

# 中国进出口贸易对人民币汇率的影响分析

邱 娟<sup>1</sup>, 林 萌<sup>2</sup>, 王 波<sup>2</sup>

(1. 福建农业职业技术学院 经管学院, 福州 350007; 2. 福建农林大学 经济学院, 福州 350002)

**摘要:**在人民币经历 2005 年的汇率改革与 2016 年人民币加入特别提款权, 中国进出口贸易经历 2009 年经济危机与 2015 年全球经济不景气到近两年中国进出口贸易恢复持续增长的背景下, 研究中国进出口贸易对人民币汇率是否有影响以及对其影响程度。选取了 2010 年 1 月到 2018 年 12 月的月度时间序列作为数据样本, 建立 VAR 模型对选取的月度数据分析中国进出口贸易额对人民币汇率的影响。实证结果分析表明, 对人民币汇率变动影响较为明显的是中国出口贸易, 而中国进口贸易对人民币汇率变动的影响并不明显。

**关键词:**中国进出口贸易; 人民币汇率; VAR 模型

**中图分类号:**F832      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-1807(2020)05-0001-08

随着“一带一路”倡议的提出和发展, 我国的对外贸易在进口和出口贸易的总量、增量和数量上都呈现出递增的态势, 作为我国对外贸易媒介的人民币, 作为中国的外贸媒体, 汇率变化对中国的进出口贸易有着不可磨灭的影响, 对中国国民经济的发展, 社会的稳定以及周边国家地区的经济发展都有一定的影响, 所以对人民币汇率的研究一直是众多学者的研究重点。从国内外众多学者所写的文章中可以看出人民币汇率对中国进出口贸易得影响是显而易见, 当人民币汇率下降, 即人民币升值时, 我国的出口贸易规模缩小, 进口贸易增加, 我国对外贸易的结构得到优化; 当人民币贬值时, 将刺激消费, 吸引外资。然而, 研究中国进出口贸易是否会对人民币产生反向作用的文章很少, 人民币汇率和中国进出口贸易间不应该仅仅是人民币汇率对中国进出口贸易会产生影响, 中国的进出口贸易对人民币汇率应该也有着反向的影响作用, 中国的进出口贸易和人民币汇率之间应该是相互作用的关系, 而不是人民币汇率对进出口贸易的单方面影响。同时, 在 2018 年的中美贸易战中, 美方提出的理由之一就是人民币升值过慢, 中美贸易逆差缩小过于缓慢, 甚至在一部分月份中美贸易逆差反而扩大, 因此质疑中国为汇率操纵国。在这一背景下, 中国进出口贸易作为人民币汇率变动的一个重要的影响因素, 研究中国进出口贸易对于人民币汇率变动的影响就有着更加重要的意义了。

## 1 人民币汇率变动及现状

中国在改革开放后已过去 40 来年, 人民币汇率分别在 1994 年、2005 年和 2015 年经历了三次重大的改革。在七八十年代的改革开放初期, 人民币汇率处于市场化改革时期, 这时的人民币实行的是单一的汇率制度。在此期间, 人民币持续贬值, 年均汇率从 1.73 不断贬值到 8.63, 这一时期的人民币汇率一直处于双轨时期。直到 1994 年, 中国经济高速增长, 中国进出口贸易不断发展, 并且进口贸易的发展程度远超出口贸易的发展程度, 对外贸易进口额超过对外贸易出口额, 中国进出口贸易出现较大的逆差, 我国对外贸易处于不利的地位, 人民币汇率面临着贬值的危险。因此, 中国开始实行汇率合并, 取消了官方汇率与外汇市场汇率并存的双重汇率制度, 人民币汇率开始实行以市场供求为基础的有管理、有规范的浮动汇率制度。在人民币汇率并轨后的几年里, 人民币汇率大幅上涨, 人民币开始大幅贬值, 由原先的 5.78 降到 8.63。从 1994 年到 2005 年间, 人民币进入了缓慢升值的过程, 人民币对美元的汇率由 8.44 逐渐上升到 8.0<sup>[1]</sup>; 在 2005 年的 7.21 汇率改革中, 人们提出人民币汇率将基于一篮子货币, 根据市场的供求关系浮动, 而不是仅仅盯住美元, 人民币汇率开始进入了单边升值的通道, 这次汇率体制的改革导致了人民币在接下来的三年里快速升值, 年均增加幅度大于 7%, 人民币汇率由 8.01 减少到 6.82, 三年内累计升值达

**收稿日期:**2020-02-20

**基金项目:**邱娟(1979—), 女, 辽宁阜新人, 福建农业职业技术学院, 讲师, 管理学硕士, 研究方向: 林产品贸易, 林业投融资; 通讯作者: 王波(1972—), 男, 江西鹰潭人, 福建农林大学经济学院, 副教授, 管理学博士, 研究方向: 林产品贸易。

到20%<sup>[2]</sup>;在2015年的8.11汇改中,我国颁布了以市场供求为基础的有管理的浮动汇率制度,使得市场供求在人民币定价中发挥出更大的作用,推进了人民币汇率市场化的进程。2015年12月1日,国际货币基金组织宣布人民币即将加入特别提款权,这意味着人民币汇率即将进入双向波动的。在往后的几年至今,人民币汇率波动的幅度、频率以及波动的趋势都在不断的扩大<sup>[3]</sup>。

图1是1994—2018年中美汇率走势图,从图1可以很直接的看出从1994年至2004年,中美的汇率一直保持平稳的状态,这是由于我国在90年代初实行的是固定汇率制度,人民币汇率始终保持在8.2左右,上下波动的幅度较小。从2005年开始中美汇率走低,可以直接看出2005年汇改后,人民币开始升值,在一年的时间内由8.02涨到7.80,涨幅高达1.5%。从图1可以看出,2006年以来,人民币升值速度加快。2008年全球经济爆发时,人民币对美元汇率突破“7”,达到6.823。然而,2008年以来,人民币汇率的升值已经放缓,到2010年下半年人民币汇率进行了又一次改革,人民币汇率的升值的速度才逐渐回升,自此开始人民币开始保持着稳定升值的状态,直到2013年。而在2014年到2018年人民币一直在贬值的状态,只在2016年出现了短暂的升值,这主要是由于国内经济疲软,中国经济发展放缓,国民收入下降以及欧债危机爆发导致经济下滑,欧洲经济不景气,欧元贬值,以及对美元需求的增加。汇率上升,人民币贬值<sup>[4]</sup>。

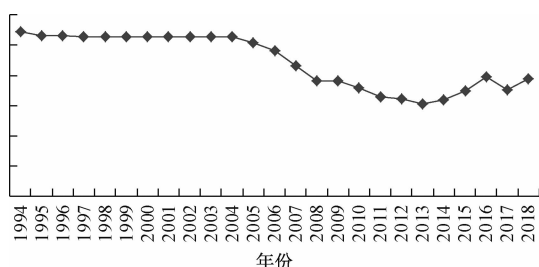


图1 1994年—2018年中美汇率走势图

## 2 中国进出口贸易发展及现状

从图2中国进出口贸易1994年到2017年的中国进出口贸易的折线图中可以看出,中国进出口贸易从1994年到2001年始终呈现出平稳的缓慢上升的势态,自2001年中国加入WTO开始,中国的进出口贸易规模迅速扩张,进出口贸易额迅速增长。但在2008年的全球经济危机后中国进出口贸易也受到了影响,表现于2009年中国进出口贸易额下降,但是由

于国内外各经济组织积极发布政策调节,2010年中国的进出口贸易迅速得到了缓解,规模迅速扩大,超越了2008年的规模,自此,中国进出口贸易稳步上升,从1987年,我国进出口总额仅仅只有205.6亿美元,位于世界第34位,到2012年中国的进出口贸易额迅猛增加至38669.8亿美元,位于世界首位<sup>[5]</sup>。同时于2015年发生的欧债危机,迅速影响到了国外的市场,国外市场需求减少,影响到了中国的进出口贸易,中国进出口贸易额减少,但是在2015年我国进出口贸易占国际市场的份额却是在增加的,中国的进出口贸易额在2015年时都达到了世界第一,在2015年中国首次成为了世界第一大贸易国。

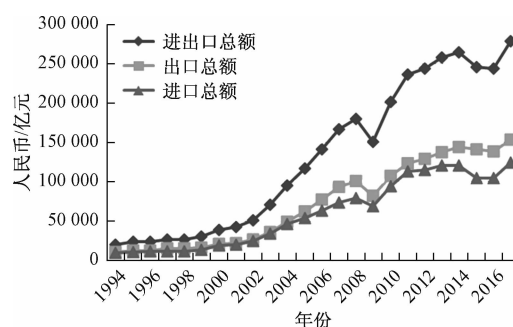


图2 1994年—2017年中国对外贸易进出口总额、进口总额、出口总额走势图

## 3 中国进出口贸易对人民币汇率的影响分析

人民币汇率的变动与中国进出口贸易总额的变动有相反的变动趋势。1994年到2003年间,我国进出口额较为平稳有小幅度的增加,人民币也呈现出稳定并小幅升值趋势。从2001年开始,由于加入了WTO,我国对外贸易的规模迅速扩大,中国贸易的进出口贸易额猛增,与此同时,自2005年开始,人民币也进入了迅速升值的状态,直到2009年中国的进出口贸易受到了全球经济危机的波及,升值速度开始减慢,在经历2015年的欧债危机导致的全球经济不景气时人民币汇率变动和中国进出口贸易额的变动也呈现出相似的变化趋势。所以可以猜测中国进出口贸易与人民币汇率间存在着一定的联系,即中国进出口贸易与人民币汇率间是相互作用的关系。

2001年以来,中国进出口贸易总额实现了飞跃式的增长。这是因为2001年,中国成功加入了世贸组织,成为了世贸组织的第143个成员。在2008年经济危机席卷全球时,中国的进出口贸易仍然呈现增长的趋势,2008年中国进出口贸易额相较于2007年中国的进出口贸易总额增长了12997.4亿美元。自2001年中国加入世贸组织以来到2008年的7年里,



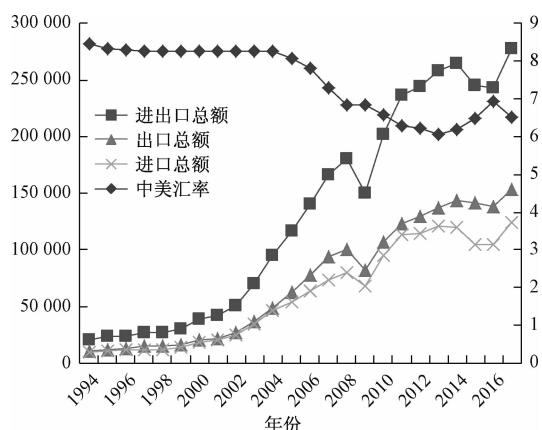


图3 1994年—2017年中国对外贸易进出口、人民币汇率走势图

中国进出口贸易迅速发展,中国成为了名副其实的贸易大国。同时,人民币汇率自2004年以来也开始下降。随着中国进出口贸易的扩大,中国在世界上的影响力不断扩大,人民币继续升值,升值幅度超过20%。从1美元兑8.2人民币,已升值至1美元兑6.8人民币。

2009年我国的进出口贸易由于2007年爆发的全球经济危机导致在进出口两个方面都大幅度下降,2009年中国贸易进出口总额比2008年中国贸易进出口总额减少了18365.25亿美元,其中我国进口总额下降了11.2%,出口总额下降了16%<sup>[6]</sup>。美国次贷危机和欧洲的欧债危机导致的西方的货币市场紧缩,全球金融市场震荡,迅速传导到中国,对中国的进出口贸易产生了巨大的冲击,对中国出口贸易的冲击尤其大。此时人民币升值的态势得到缓解,人民币汇率的变动趋势线区域平稳,自2001年至今的人民币快速上升的态势结束了,在2008年、2009年两年内,人民币汇率始终保持在6.8,几乎没有发生变化。2009年下半年,全球经济复苏,各大经济体都出台政策,刺激经济,2009年下半年,中国进出口贸易发展的形势逐渐好转<sup>[7]</sup>。2010年至2014年,我国对外贸易发展趋势恢复了上升趋势。2013年,中国进出口贸易额首次超过美国,成为世界第一大进出口贸易国。随着进出口贸易额的扩大,人民币汇率也在不断下降,2013年达到最低水平,美元兑人民币汇率为6.02元。这一次人民币升值与2001年至2007年人民币汇率升值进行比较,这次人民币的升值速度较慢,升值幅度较小,仅仅增长了11.7%。而进出口贸易额扩大的幅度也较2001年开始的迅速扩张,扩大幅度较小,从趋势线也可以明显看出,趋势线较为平稳。

从图3中可以看出,中国的进出口量在2015年第二次下降,这种下降是由于全球经济下滑所致。然而,2015年,中国仍然是世界第一大进出口贸易国,中国所占国际市场份额仍在继续扩大,出口贸易占国际市场的份额越来越大。但是相较2009年中国进出口额的下降受出口额减少的影响较大,2015年中国进口额的减少对2015年进出口额下降的影响更大<sup>[8]</sup>。人民币的汇率自2014年开始不断上升,直到2016年达到峰值1美元兑6.9元人民币,世界经济危机影响到了中国进出口贸易的发展的同时,也对人民币汇率的变动产生了影响。2016年,美国的进出口贸易额超过了中国,而中国在世界上第一个贸易国的名称,从2013年到2015年持续了三年,被美国重新夺回。2017年,世界经济市场复苏,中国经济平稳,外贸形势大好。中国的对外贸易规模继续扩大,进出口总额达到2781亿元,比2016年增加了14.2%。在对外贸易额经历了连续两年的下降后,人民币开始也升值,人民币汇率下降到6.50。虽然它高于2013年的6.01,但与2016年相比增长了5%以上<sup>[9]</sup>。

2018年中国外贸进出口总额达到了30.5万亿人民币,达到了改革开放至今的最高额,其中出口额增长到了16.42万亿人民币,比2017年增长了7.1%,进口额达到14.09万亿人民币,比2017年增长了12.9%<sup>[10]</sup>。在经历了2015、2016年两年中国对外贸易形势严峻,国际市场需求减少,中国对外贸易进出口在2017、2018年两年迅速发展,中国国内经济发展稳重向好。在这种发展背景下,人民币汇率是否会受到中国进出口贸易的影响就有着重要的意义,中国是否可以通过调控中国的进出口贸易来调控人民币汇率,保持人民币汇率的稳定,就显得十分重要。

#### 4 VAR模型的实证研究过程

为了研究中国进出口贸易的变化对人民币汇率是否会产生影响。由于中国进出口贸易和人民币汇率间是相互影响的时间序列,同时本文想要判断当中国进出口贸易受到冲击时,人民币汇率的反应,所以选取VAR模型进行分析。首先,使用ADF单位根测试检查所选时间序列是否稳定。当数据不稳定时,采用多阶差分法,将不稳定时间序列转化为稳定时间序列,时间序列稳定性是一个后续研究的前提保证。接着,在确定了模型的最佳滞后阶数后,利用Johansen检验判断各变量之间是否存在长期协整关系,如果满足变量间存在长期协整关系则进行格兰杰因果检验,判断变量间的因果关系,如果存在长期协整关

系则无法满足进行格兰杰因果检验的前提条件。最后建立 VAR 模型,并且使用 AR 单位根检验检验所建立的 VAR 模型是否稳定,如果建立的 VAR 模型稳定,便使用脉冲响应图和方差分析法分析变量之间的影响和影响程度。

4.1 模型与数据

4.1.1 数据的选择与处理

本文探讨的是中国进出口贸易对人民币汇率是否有反向的影响,所以选取自 2010 年开始人民币与美元的汇率,本文选取的是剔除了物价因素影响的实际有效汇率,用  $RATE$  表示。选取 2010 年—2018 年中国月度进出口贸易额分别用  $IM$ 、 $EX$  表示。所有数据来自国际清算银行数据库和国家统计局数据库。利用 EVIEWS7.0 软件对上述数据进行处理,将数据转化为对数形式分别用  $LN\mathit{RATE}$ 、 $LN\mathit{IM}$ 、 $LN\mathit{EX}$  来表示,以此来消除数据的异方差所带来的影响。

4.1.2 模型的建立

为了研究中国进出口贸易变动对人民币汇率变动的影响及影响程度,选取我国 2010 年到 2018 年的月度进出口额与人民币的月度实际有效汇率,建立中国进口贸易额与人民币实际有效汇率、中国出口贸易额与人民币实际有效汇率的 VAR 模型。

$$\ln\mathit{RATE} = C + \alpha_1 \ln\mathit{IM}_{t-1} + \cdots + \alpha_p \ln\mathit{IM}_{t-p} + \beta_1 \ln\mathit{RATE}_{t-1} + \cdots + \beta_p \ln\mathit{RATE}_{t-p}$$

$$\ln\mathit{RATE} = X + \gamma_1 \ln\mathit{EX}_{t-1} + \cdots + \gamma_p \ln\mathit{EX}_{t-p} + \mu_1 \ln\mathit{RATE}_{t-1} + \cdots + \mu_p \ln\mathit{RATE}_{t-p}$$

4.2 平稳性检验

从上文的理论分析中看出中国进出口贸易额与人民币实际有效汇率有相反的变化趋势,所以对其建模进行实证分析。如果选取的时间序列不是平稳的,则可能会出现伪回归的现象,而刚拿到的时序数据一般都不是平稳的,不满足建立模型进行实证分析的前提条件,所以先对所选取的时间序列进行 ADF 检验,检验通过后再可以着手建模。

从表 1 中可以看出,  $\ln\mathit{RATE}$ 、 $\ln\mathit{EX}$ 、 $\ln\mathit{IM}$  在 1%、5%、10% 置信区间上的临界值都小于 ADF 值,即  $\ln\mathit{RATE}$ 、 $\ln\mathit{EX}$ 、 $\ln\mathit{IM}$  都不是平稳的时间序列,所以对上述变量进行一阶差分得到  $D\ln\mathit{RATE}$ 、 $D\ln\mathit{EX}$ 、 $D\ln\mathit{IM}$ ,对其计算得到表 2,从表 2 中可以看出,此时  $D\ln\mathit{RATE}$ 、 $D\ln\mathit{EX}$ 、 $D\ln\mathit{IM}$  三个序列在 1%、5%、10% 三个置信区间上的临界值均大于 ADF 值,即拒绝原假设,这三个序列在上述置信区间上均为平稳的。所以  $\ln\mathit{RATE}$ 、 $\ln\mathit{EX}$ 、 $\ln\mathit{IM}$  三个序列为单变整数。

表 1 2010 年 1 月—2018 年 12 月各变量的 ADF 检验结果

	ADF 值	1%临界值	5%临界值	10%临界值	P 值	平稳性
$\ln\mathit{RATE}$	1.191 674	-2.586 960	-1.943 882	-1.614 731	1.191 674	不平稳
$\ln\mathit{EX}$	1.588 600	-2.587 172	-1.943 912	-1.614 713	0.972 1	不平稳
$\ln\mathit{IM}$	1.129 993	-2.587 172	-1.943 912	-1.614 713	0.932 4	不平稳

表 2 2010 年 1 月—2018 年 12 月各变量一阶差分后的 ADF 检验结果

	ADF 值	1%临界值	5%临界值	10%临界值	P 值	平稳性
$D\ln\mathit{RATE}$	-6.923 697	-3.493 129	-2.888 932	-2.581 453	0	平稳
$D\ln\mathit{EX}$	-12.083 17	-3.493 747	-2.889 200	-2.581 596	0	平稳
$D\ln\mathit{IM}$	-11.811 53	-3.493 747	-2.889 200	-2.581 596	0	平稳

4.3 协整分析

根据 AIC 和 SC 同时最小的原则,对 1 到 8 期的滞后期进行对比,得到 4 同时为两个 VAR 模型的最优滞后期。接下来选择使用 Johansen 协整检验来检验  $\ln\mathit{RATE}$ 、 $\ln\mathit{EX}$ 、 $\ln\mathit{IM}$  三个时间序列间是否存在着长期协整关系。

表 3  $\ln\mathit{EX}$  与  $\ln\mathit{RATE}$  的 Johansen 协整检验结果表

	特征值	T 统计量	10%统计量	Prob**
None*	0.117 868	22.097 51	13.428 78	0.004 4
At most 1*	0.085 269	9.179 855	2.705 545	0.002 4

首先假设协整检验的方程个数为 0,对  $\ln\mathit{EX}$  和  $\ln\mathit{RATE}$  进行 Johansen 协整检验得到表 3 所示结果,P 值为 0.004 4,因为 0.004 4 小于置信区间 10%,所以拒绝原假设,所以  $\ln\mathit{EX}$  和  $\ln\mathit{RATE}$  间存在着至少一个协整关系。

表 4  $\ln\mathit{IM}$  与  $\ln\mathit{RATE}$  的 Johansen 协整检验结果表

	特征值	T 统计量	10%统计量	Prob**
None*	0.073 242	15.194 65	13.428 78	0.055 4
At most 1*	0.068 965	7.360 171	2.705 545	0.006 7

对  $\ln IM$  和  $\ln RATE$  进行 Johansen 协整检验得到表 4 结果,可以看出在 10% 的显著水平下,  $P$  值为 0.055 4,因为 0.055 4 小于置信区间 10%,所以拒绝原假设,所以  $\ln IM$  和  $\ln RATE$  间存在着至少一个协整关系。

根据 Johansen 检验检验了 2010 年到 2018 年的月数据,得出中国进出口贸易与人民币实际有效汇率间存在着长期协整关系,所以进行下一步操作。

4.4 Granger 因果检验

经过上述 Johansen 检验得知中国进出口贸易与人民币实际有效汇率间存在着长期的协整关系,满足进行格兰杰因果检验的前提条件,对上述数据进行格兰杰因果检验<sup>[11]</sup>,得出表 5、表 6 的结果。

根据表 5 可以看出,当滞后阶数为 4 时,  $\ln EX$  不是  $\ln RATE$  的格兰杰原因的的概率为 0.025 2,所以在 10% 的置信区间上,拒绝  $\ln EX$  不是  $\ln RATE$  的 Granger 原因的原假设,即  $\ln EX$  是  $\ln RATE$  变化的格兰杰原因。

表 5  $\ln EX$  和  $\ln RATE$  的格兰杰检验结果

原假设	F 值(滞后期为 4)	P 值	结论
$\ln EX$ 不是 $\ln RATE$ 的 Granger 原因	2.919 32	0.025 2	拒绝原假设

根据表 6 可以看出,当滞后阶数为 4 时,  $\ln IM$  不是  $\ln RATE$  的格兰杰原因的的概率为 0.056 2,所以在 10% 的置信区间上,拒绝  $\ln IM$  不是  $\ln RATE$  的 Granger 原因的原假设,即  $\ln IM$  是  $\ln RATE$  变化的格兰杰原因。

表 6  $\ln IM$  和  $\ln RATE$  的格兰杰检验结果

原假设	F 值(滞后期为 4)	P 值	结论
$\ln IM$ 不是 $\ln RATE$ 的 Granger 原因	2.390 45	0.056 2	拒绝原假设

4.5 建立 VAR 模型

通过 Eviews 建立 VAR 模型的方程得到方程的参数,得出表达式为:

$$\begin{aligned} \ln RATE = & 0.032183 \ln EX (-1) + 0.015973 \ln EX (-2) - 0.012924 \ln EX (-3) - \\ & 0.005951 \ln EX (-4) + 1.298495 \ln RATE (-1) - \\ & 0.464530 \ln RATE (-2) + 0.369484 \ln RATE (-3) - \\ & 0.252604 \ln RATE (-4) - 0.321986 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln RATE = & 0.027558 \ln IM (-1) - 0.032614 \ln IM (-2) + 0.014792 \ln IM (-3) + \\ & 0.000795 \ln IM (-4) + 1.435300 \ln RATE (-1) - \\ & 0.658085 \ln RATE (-2) + 0.432257 \ln RATE (-3) - \\ & 0.230372 \ln RATE (-4) - 0.097996 \end{aligned}$$

通过 AR 单位根检验,判断上述两个向量自回归模型是否稳定,脉冲响应分析和方差分析的前提是模型的稳定,只有当模型稳定时,才可以进行后续的分析,当单位根检验的点全部落在单位圆内时则模型稳定,若有点不落在单位圆内,则模型不稳定,不能进行后续分析<sup>[12]</sup>。所以对上述两个 VAR 模型进行 AR 单位根检验,检验结果如图 4、图 5 所示。

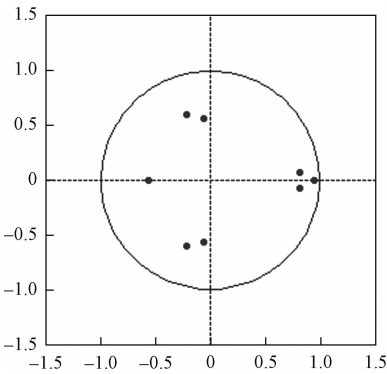


图 4  $\ln RATE$ 、 $\ln EX$  的 AR 单位根检验图

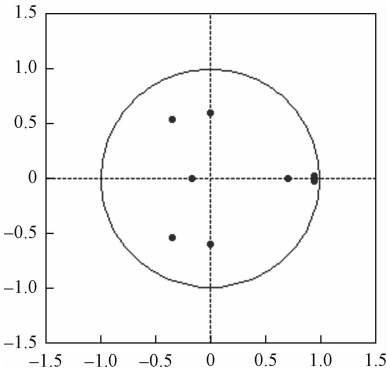


图 5  $\ln RATE$ 、 $\ln IM$  的 AR 单位根检验图

由图 4、图 5 显示的检验结果图可以看出,  $\ln EX$ 、 $\ln RATE$  的 VAR 模型和  $\ln IM$ 、 $\ln RATE$  的 VAR 模型的 AR 单位根均小于 1,这表明  $\ln RATE$  和  $\ln EX$ 、 $\ln IM$  的时间序列所构建的 VAR 模型具有良好的稳定性,是合理有效的向量自回归模型。

4.6 脉冲响应分析

图 6 是在上述 VAR 模型的基础上,当中国出口贸易额受到一个正向冲击后,得出的人民币实际有效汇率的响应函数的结果图。当中国贸易出口额发起冲击后,人民币实际有效汇率从第 1 期开始

持续上升,并且随着冲击期数的推移逐步加强,从图中可以看出人民币实际有效汇率在第 10 期达到极大值,并且仍然呈上升趋势,可以判断人民币实际有效汇率的最大值在 10 期内并未出现。可以看出中国出口贸易额变动对人民币实际有效汇率变动的影响较为显著。

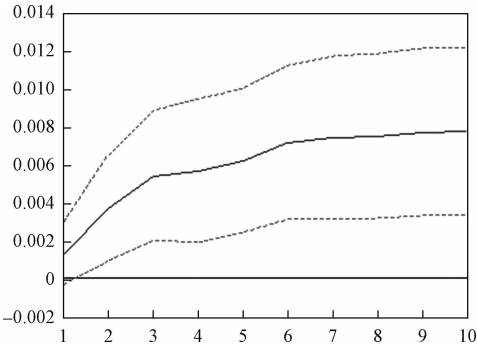


图 6 中国出口贸易额作用于人民币实际有效汇率的脉冲响应函数

图 7 是中国进口贸易额受到一个正向冲击后,得到的人民币实际有效汇率的响应函数的结果图。当中国贸易进口额发起冲击时,人民币实际有效汇率开始上升,即对上述冲击产生了正面的响应,这个上升在第二期达到峰值后就开始下降,且上升幅度较小,持续时间不长,说明中国贸易进口额对人民币实际有效汇率的影响不显著。

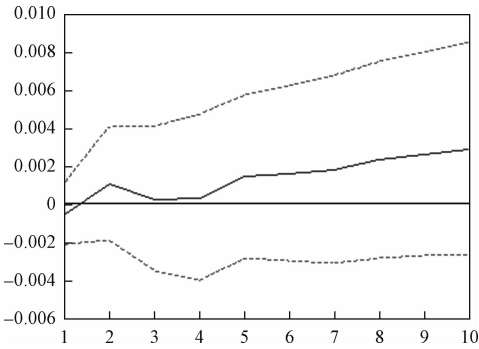


图 7 中国进口贸易额作用于人民币实际有效汇率的脉冲响应函数

4.7 方差分解

通过格兰杰因果分析分析得  $\ln EX$ 、 $\ln IM$  和  $\ln RATE$  之间具有因果关系,但是格兰杰因果检验并不能给出他们之间影响力度的大小,所以选择通过分析一个变量对一个标准差的冲击对其他变量波动的贡献的方差分解分析法来分析变量受其它变量的影响程度<sup>[13]</sup>。

表 7 是对响应变量人民币实际有效汇率受到冲击来源的方差分解,从表中可以看出,人民币实际有效汇率受到自身冲击的贡献率随着周期的增加有 97.53%锐减至 68.45%,而来自中国贸易出口额的冲击贡献率随着周期的增加由 2.46%猛增至 31.54%,这与脉冲响应分析的结果相符,即中国贸易出口额对人民币实际有效汇率的影响较为显著。

表 7  $\ln RATE$ 、 $\ln EX$  的方差分解

周期	标准误差	$\ln EX$	$\ln RATE$	周期	标准误差	$\ln EX$	$\ln RATE$
1	0.008 461	2.461 861	97.538 14	6	0.028 084	21.063 29	78.936 71
2	0.014 246	7.571 620	92.428 38	7	0.030 430	23.935 99	76.064 01
3	0.018 277	13.392 86	86.607 14	8	0.032 395	26.470 64	73.529 36
4	0.021 977	15.891 38	84.108 62	9	0.034 051	29.038 51	70.961 49
5	0.025 300	18.006 87	81.993 13	10	0.035 460	31.540 37	68.459 63

从表 8 中可以看出,人民币实际有效率受到自身冲击的贡献率随着期数的推移,始终保持在 98%以上,而中国贸易进口额的冲击贡献率在 1—10 期内的

最大值也仅为 1.91%,这与脉冲响应分析得出的结果相符,即中国贸易进口额对人民币实际有效汇率的影响不显著。

表 8  $\ln RATE$ 、 $\ln IM$  的方差分解

周期	标准误差	$\ln IM$	$\ln RATE$	周期	标准误差	$\ln IM$	$\ln RATE$
1	0.008 547	0.355 875	99.644 13	6	0.030 162	0.674 433	99.325 57
2	0.014 970	0.614 481	99.385 52	7	0.033 030	0.857 653	99.142 35
3	0.019 244	0.390 126	99.609 87	8	0.035 515	1.198 793	98.831 21
4	0.023 185	0.288 237	99.711 76	9	0.037 699	1.520 852	98.479 15
5	0.026 890	0.500 838	99.499 16	10	0.039 635	1.911 791	98.088 21

## 5 结论

本文建立了中国进口贸易额、中国出口贸易额和人民币实际有效汇率的两个向量自回归模型,通过对2010年1月到2018年12月的进出口贸易额和人民币实际有效汇率的月度数据建立VAR模型分析,得出如下结论:在10%的显著水平下,人民币实际有效汇率与中国进出口贸易均存在着长期的协整关系。中国出口贸易额,中国进口贸易额都是人民币实际有效汇率的格兰杰原因。中国的进出口贸易额在短期内会使人民币的实际有效汇率发生变动,并且逐渐趋向平稳,同时中国出口贸易额相较中国进口贸易额对人民币实际有效汇率产生的影响更大,更为显著,中国进口贸易额对人民币汇率的影响不大,影响时间也较短,幅度也较小。

## 6 政策建议

从本文的分析中可以得出,人民币实际有效汇率变动受中国贸易出口额变动冲击的影响较为显著,能否通过调整和控制中国出口贸易额来保持人民币实际有效汇率的持续稳定和调控的重要性不可忽视<sup>[14]</sup>。

1)可以通过增加贸易出口政策的弹性,使人民币汇率双向浮动新常态的进程得到推动,具体而言就是:使出口税收政策、出口补贴政策 and 出口配额政策等出口配套政策更加灵活变通,根据人民币汇率的走势进行变化;优化我国的出口贸易结构,使技术产品、奢侈品和服务外包等高净值高溢价产品在出口贸易中所占的比重<sup>[15]</sup>。

2)我国应不断推进人民币汇率制度的改革,人民币升值应该是一把双刃剑,人民币升值对中国来说应该是一件好事,但是一旦人民币升值过快,人民币做空,人民币就有可能开始崩盘,就会对中国的经济造成严重的打击,所以我国可以尝试增加出口贸易在人民币汇率形成中的影响权重,扩大包括出口贸易在人民币汇率形成中所发挥的作用,以此来使出口贸易对人民币汇率走势干预的传导效果得到强化,从而使用出口贸易对人民币汇率进行宏观调控。

3)推动人民币国际化的进程,在当下人民币离岸金融中心不断增加,人民币加入SDR的背景下,人民币在国际上的地位上升,仅次于美元与欧元的背景

下,在跨境贸易中可以使用人民币来进行直接结算的场景不断丰富,我国应加快通过出口贸易结算方式来稳定人民币汇率市场的战略。

4)中国也应该积极发展进口贸易,不能仅仅扩大出口贸易,即通过扩大内需来刺激外需。中国进口贸易额的稳定增长在短期内也可以缓解人民币升值的压力,对稳定人民币币值有一定的作用。

## 参考文献

- [1] 曹阳,李剑武.人民币实际汇率水平与波动对进出口贸易的影响——基于1980~2004年的实证研究[J].世界经济研究,2006(8):56—59.
- [2] 张尚生.人民币汇率的变动对我国进出口贸易结构的影响[J].知识经济,2018(24):41—42.
- [3] 芦方进.人民币汇率变动对我国进出口贸易的影响[J].现代经济信息,2017(5):147.
- [4] 费广平.人民币汇率与贸易顺差双向影响研究——基于“8—11汇改”结构性特征的实证分析[J].金融理论与实践,2017(9):35—40.
- [5] 谷宇,高铁梅.人民币汇率波动性对中国进出口影响的分析[J].世界经济,2007(10):49—57.
- [6] 黄锦明.人民币实际有效汇率变动对中国进出口贸易的影响——基于1995—2009年季度数据的实证研究[J].国际贸易问题,2010(9):117—122.
- [7] 蒋竞.进出口与人民币汇率波动性关系的实证研究[J].西南农业大学学报:社会科学版,2006(4):22—26.
- [8] 赵雪燕,李国东.人民币汇率波动与中国进出口贸易关系的实证研究[J].经济数学,2018,35(3):30—36.
- [9] 张军,李君君.基于中美贸易数据的人民币升值对中国出口贸易影响的实证研究[J].经济问题探索,2010(2):119—122.
- [10] 栾竹.人民币汇率波动对我国进出口贸易的非对称性影响研究[D].北京:对外经济贸易大学,2016.
- [11] 熊连庆.我国对外贸易战略与人民币汇率制度研究[D].武汉:华中科技大学,2005.
- [12] 睦川.中国进出口贸易对人民币汇率的反向影响研究[J].湖南工业职业技术学院学报,2018,18(3):32—34.
- [13] 杨凯文,臧日宏.人民币汇率波动对我国国际贸易的传导效应[J].财经问题研究,2015(2):123—129.
- [14] 丁良,纪成君.基于VAR模型的中国进口、出口、实际汇率与经济增长的实证研究[J].国际贸易问题,2014(12):91—101.
- [15] 葛阳琴,谢建国.实际有效汇率与中国的进出口贸易——基于VEC模型的实证分析[J].江汉论坛,2017(3):97—101.

(下转第14页)

# 电子商务产业园生态系统结构与运行机制研究

——基于共生理论视角

李泽建, 饶思原

(昆明理工大学 管理与经济学院, 昆明 650093)

**摘要:**基于共生理论视角,从共生单元、共生模式、共生界面、共生环境对以运营管理方为核心的电子商务产业园生态系统进行结构分析,并进一步从动力机制、进入退出机制、信任机制三方面构建电子商务产业园生态系统运行机制。在此基础上选取国家电子商务示范基地河南省电子商务创业孵化基地进行案例分析,结果表明电子商务产业园生态系统是随着共生模式演化而发展的,是由偏利共生向对称性互惠共生演化,最终实现持续健康发展的过程。

**关键词:**共生理论;电子商务产业园;生态系统;运行机制

**中图分类号:**F724.6   **文献标志码:**A   **文章编号:**1671-1807(2020)05-0008-07

近年来中国电子商务快速发展并达到较大规模。2019年,中国电子商务继续保持高速增长态势,1—11月全国网上零售额9.496万亿元,同比增长16.6%。其中,电子商务产业园作为电子商务产业集群的代表形式,在服务“双创”、推动区域产业结构调整、助力区域经济转型上发挥重要作用。随着国家对电子商务产业园发展的重视,地方政府纷纷出台政策支持电子商务产业园建设,以促进区域电子商务的发展。2019年,112家国家电子商务示范基地共产生4.42万亿电子商务交易额,吸纳就业超113万人。然而,在快速发展的同时,大量电子商务产业园,特别是中小型电子商务产业园出现了定位不准确、产业同质化严重、运营管理机制不完善等问题,严重影响了区域电子商务的发展。

电子商务作为近几年学术界研究的热点,在电子商务发展模式<sup>[1]</sup>、电子商务生态系统<sup>[2]</sup>、电商物流<sup>[3]</sup>等领域涌现出大量高质量研究,但很少涉及电子商务产业园。考虑到现阶段电子商务产业园的规模和作用,有必要对电子商务产业园进行系统的理论分析,以帮助解决当前电子商务产业园发展中出现的问题。电子商务产业园集聚了电商企业、政府、金融机构、高校等组织,组成要素复杂多元且互相存在一定的利益

关系,适合通过构建生态系统对其进行分析。现阶段国内已有学者对电子商务产业园生态系统及运行机制进行研究。孙倩构建了由电商企业、科研机构、中介机构等生态群落和科技、文化、经济等支持环境组成的电子商务产业园生态系统,并运用系统动力学构建生态群落间的反馈机制<sup>[4]</sup>。桂宗平建立了电商应用企业为领导种群,供应商和消费者为关键种群,电商服务企业为寄生种群,政府、高校、金融机构等支持种群组成的电子商务产业集群生态系统<sup>[5]</sup>。现有研究对电子商务产业园生态系统的构建做出了一定的探索,但仍存在不足。首先,这些研究将电子商务企业定位电子商务产业园生态系统的领导核心,这与电子商务产业园具有企业主导型、政府主导型、政企合办型多种领导核心的现实情况不符。其次,没有体现出电子商务产业园生态系统的协调治理机制,而协调治理机制恰是影响商业生态系统价值共创的关键<sup>[6]</sup>。

基于上述不足,本文基于共生理论,从新的理论视角对电子商务产业园生态系统的结构和运行机制进行分析,以期深化电子商务产业园生态系统的理论研究。同时,考虑到中小型电子商务产业园面临多种问题的现状,选择在中小型电子商务产业园中具有代表性的河南省电子商务创业孵化基地作为案例进行

**收稿日期:**2020-02-09

**基金项目:**云南省哲学社会科学规划项目(YB2015091)。

**作者简介:**李泽建(1975—),女,湖南长沙人,昆明理工大学管理与经济学院,副教授,管理学博士,研究方向:创新管理;饶思原(1994—),男,江苏沛县人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士研究生,研究方向:电子商务。

分析,提出现阶段中小型电子商务产业园的发展策略。

## 1 共生理论研究概述

共生最早由德国真菌学家德巴里于 1879 年提出,他把共生定义为不同物种生物密切生活在一起。共生最早应用于生物学领域,随后逐步拓展到医学、经济管理等领域。袁纯清系统地共生进行理论分析,提出了共生理论的框架<sup>[7]</sup>。共生理论近年来在产学研、创新生态系统、创业生态系统等区域社会生态系统领域的研究明显增加,逐渐形成一种趋势。张雷勇等基于共生理论和网络理论提出了产学研共生网络的概念,并在此基础上设计了产学研共生网络的培育机制指导产学研合作<sup>[8]</sup>。温兴琦认为创新系统就是创新要素相互影响、融合共生形成的,并基于共生理论对创新系统的结构与运行机制进行研究<sup>[9]</sup>。李晓娣、张小燕认为应发挥创新生态系统共生效应以促进科技创新,并证明这种效应对科技创新是一种长期正向驱动的过程<sup>[10]</sup>。李洪波、史欢运用共生理论和扩展 Logistic 模型构建创业生态系统演化模型,认为创业参与主体与支持机构间的共生系数决定共生演化的结果<sup>[11]</sup>。

现阶段尚没有基于共生理论对电子商务产业园的研究,但已有大量学者通过共生理论对产学研合作、创新生态系统、创业生态系统等类似电子商务产业园生态系统的区域社会经济生态系统开展研究,这说明基于共生理论分析电子商务产业园生态系统具有可行性和较强的理论价值。本文认为,相较于上述的产学研合作、创新生态系统等,共生理论可能更适用于电子商务产业园生态系统。首先,电子商务产业园生态系统通过实体园区为组成部分提供了稳定的时空联系,组成部分间共生关系更为清晰;其次,产学研合作、创新生态系统等虽然追求的是组成部分超越自身边界共同组成共生有机体实现价值共创,但其组成部分一般具备一定的价值创造能力,脱离有机体后仍能生存发展。而电子商务产业园如果没有电商企业入驻电子商务产业园,就无法创造价值,失去了其存在的意义。与此对应的,电商企业如果没有获得电子商务产业园提供低成本的场地、服务以及资金支持,很可能迅速消亡。因此电子商务产业园生态系统中的共生关系更为明显。

## 2 基于共生理论电子商务产业园生态系统分析

### 2.1 电子商务产业园生态系统构建

在实际运行中,电子商务产业园均会设置专门的机构来负责电子商务产业园的运营管理,即运营管理

方。运营管理方作为电子商务产业园资源的分配者、服务的提供者、产业园的管理者,实质上是电子商务产业园生态系统的领导核心。本文定义电子商务产业园是以运营管理机构为核心,基于实体产业园建立电子商务交易和服务平台吸引电商企业入驻并为入驻电商企业提供场地、政策、服务促进其发展,具备培训、仓储、孵化等功能的电商企业聚集区。本文借鉴 Moore 商业生态系统模型构建以运营管理方为核心的电子商务产业园生态系统电子商务产业园生态系统,为后续共生理论分析奠定基础<sup>[12]</sup>。本文认为,电子商务产业园生态系统是由电子商务产业园运营管理方、入驻电商企业、政府、高等院校、金融机构等生态群落组成的生态子系统与生态环境共同构成,如图 1 所示。

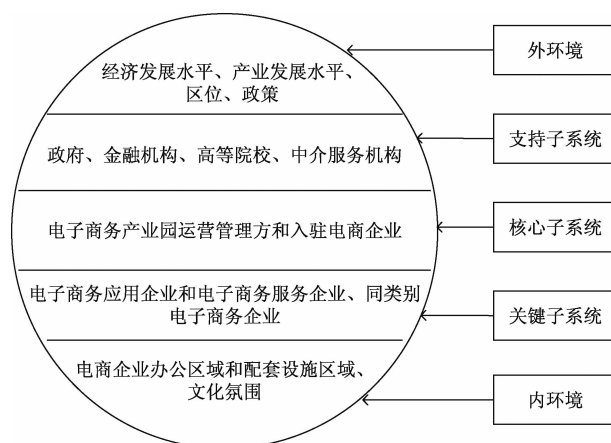


图 1 电子商务产业园生态系统

### 2.2 电子商务产业园生态系统共生要素分析

本文参照袁纯清提出的共生理论框架<sup>[7]</sup>,在建立以运营管理方为核心的电子商务产业园生态系统理论模型基础上,从共生要素对电子商务产业园生态系统进行结构分析,如图 2 所示。共生要素包括共生单元、共生模式、共生界面、共生环境。在共生要素中,共生模式是关键,生态系统共生演化实质上是共生模式的演化<sup>[13]</sup>。

1) 共生单元。共生单元是指形成共生关系的基本单元。在电子商务产业园生态系统中,共生单元根据其功能地位可分为核心共生单元、关键共生单元和支持共生单元。其中,运营管理方是电子商务产业园生态系统的管理者,对生态系统的构建、资源整合和成员协调起到不可替代的作用,是电子商务产业园生态系统的核心共生单元。入驻电商企业是产业园实现电子商务交易和获得收入的主体,是电子商务产业园生态系统的核心共生单元。政府、金融机构、高校、

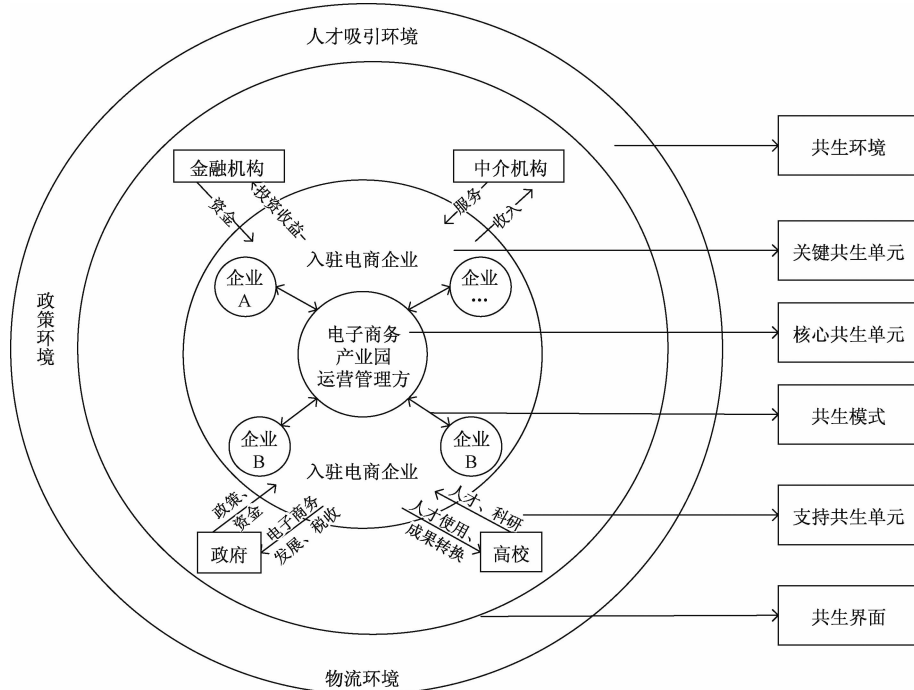


图2 电子商务产业园生态系统共生要素结构

中介服务机构可以为生态系统的发展进行提供支持帮助,是电子商务产业园生态系统的支撑共生单元。需要强调的是,支撑共生单元可以根据参与度来判断将其归为共生单元还是共生环境。若共生单元与电子商务产业园联系紧密,如入驻电子商务产业园、参与电子商务产业园的经营管理、与电子商务产业园长期合作等,便可判断其为支撑共生单元,否则便为共生环境因素。

2)共生模式。共生模式是指共生单元间的作用方式。共生模式根据共生单元的能量分配特征可分为寄生、偏利共生、互惠共生。现阶段电子商务产业园仍处于高速增长期,加之入驻电商企业在电子商务产业园的扶持下加速成长,能为产业园提供长期的发展动力,因此本文认为其共生模式为互惠共生。

3)共生界面。共生界面是指共生单元间进行物质、信息、能量交流的载体。在电子商务产业园生态系统中,实体的园区是共生界面的主体,属于实体介质共生界面。电子商务产业园构建的虚拟交易和服务平台以及入驻电商企业间通过交流合作形成关系网、业务网等属于无实体介质共生界面。

4)共生环境。共生环境是指共生模式形成和发展所处的外部环境。共生环境会对共生模式起正向、中性和反向三种影响,一般重点关注正向影响的环境因素。根据电子商务产业园发展对电商人才、政策、物流的重点需求,本文将共生环境分为人才吸引环

境、政策环境、物流环境。

### 3 基于共生理论电子商务产业园生态系统运行机制分析

商业生态系统运行机制的研究重点是发展动力问题<sup>[14]</sup>,而共生模式演化就是生态系统升级和发展的出发点和立足点<sup>[15]</sup>,说明共生模式演化可以解释生态系统发展动力问题。从共生模式演化出发,本文认为电子商务产业园生态系统的运行机制主要包括动力机制、进入退出机制和信任机制,其中进入退出机制和信任机制体现了电子商务产业园生态系统的治理机制。动力机制为电子商务产业园生态系统提供共生模式演化发展所需的动力,是运行机制的核心;进入退出机制是保持电子商务产业园生态系统活力的关键,是共生模式演化发展的必要条件;信任机制为电子商务产业园生态系统的稳定性提供保障,可以持续优化共生模式演化发展的过程。这三种机制相互联系,相互促进,共同推动电子商务产业园生态系统共生模式的演化发展,实现电子商务产业园发展,如图3所示。

#### 3.1 动力机制

动力机制是指推动电子商务产业园生态系统共生模式演化发展的力量,其本质是共生能量生成。只有持续产生新的能量,共生模式才能演化发展,生态系统及其组成部分才能实现进化。作为运行机制的核心,动力机制根据动力来源可细分为共享机制、互



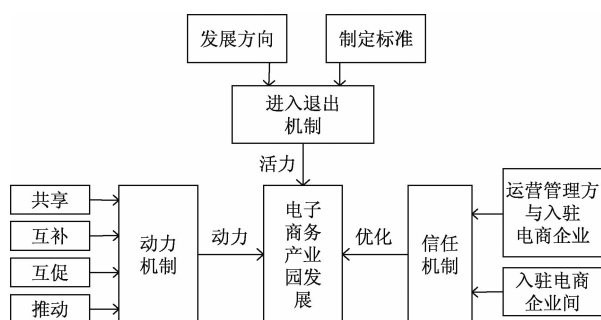


图3 电子商务产业园生态系统运行机制

补机制、互促机制和推动机制。①共享机制。在电子商务产业园中,入驻电商企业通过共享产业园的场地和配套设施、通信网络、电商人才、物流仓储、服务体系等,降低了入驻电商企业的相关成本,可以加速电商企业的发展。②互补机制。首先,电子商务产业园生态系统的组成部分如企业、政府、金融机构、中介服务机构、高校等通过优势互补,可以产生较强的互补合力;其次,在运营管理方的引导下,不同电商企业基于产品、市场、技术的差异开展相应的互补合作,形成较完善的内部产业链,不断深化相互的交流学习,最终实现融合发展。在此过程中,中小微、初创企业也可以不断吸取成熟企业的发展经验,有利于中小微、初创企业的生存和发展。③互促机制。当入驻产业园的中小微、初创企业发展起来后,会给电子商务产业园带来电子商务交易额增长、知名度提高、荣誉评定等效应,帮助产业园发展,进而产业园可以汇集更多资源,通过服务、扶持政策升级以支持入驻电商企业的发展,逐步扩大电子商务产业园规模,构建更完整的服务链和资源链,最终实现共同进化发展。④推动机制。推动机制可分为内部推动机制和外部推动机制。内部推动机制是指运营管理方通过资源配置、实施优惠措施、引导产业园内企业间合作交流等举措,加速企业集聚发展为企业集群。外部推动机制主要是政府加强对电子商务产业园的政策资金倾斜,来推进电子商务产业园发展;金融机构降低融资门槛,提供低成本的贷款以解决入驻电商企业发展的资金需求;高校和科研机构为入驻电商企业提供人才和技术以加速其发展。

### 3.2 进入退出机制

进入退出机制是指电子商务产业园设置一定的标准条件以选择进入产业园的企业和机构或淘汰已入驻产业园的企业和机构。进入退出机制可以为电子商务产业园生态系统共生模式演化提供发展活力。现阶段电子商务产业虽仍处在较快速发展阶段,但也

面临着竞争加剧、成本上升、利润下降等问题,因此及时调整电子商务产业园的发展方向,根据发展方向引进相关的企业和机构,淘汰不符合发展重点的企业和机构,对电子商务产业园的长期发展十分重要。此外,由于产业园实体建筑的面积限制,在发展到一定阶段必然会面临承载能力饱和的问题。根据进入退出标准引进与产业园发展方向和内部产业链关联度较强能产生互补以及强化效应的企业和机构,淘汰已入驻效益或关联度较差的企业和机构,以保证电子商务产业园的持续发展。

### 3.3 信任机制

信任机制是指电子商务产业园生态系统中的组成部分基于了解的深入、交流合作的增加而形成的信任关系。信任机制可以促进企业间交流合作,缓解冲突分歧,增强电子商务产业园生态系统的稳定性,持续优化共生模式演化发展过程。信任机制包括产业园与入驻企业的信任机制以及入驻企业间的信任机制。①运营管理方与入驻企业的信任机制主要是在电商企业入驻产业园后,运营管理方通过提供入驻电商企业发展切实需要的服务和资源,基于合作交流的增进来增进联系,进而逐步形成信任机制。②入驻企业间的信任机制主要是通过运营管理方举办产业园内企业间交流、合作对接等活动,基于产品、市场、业务的差异互补形成合作关系,在长期的合作交流中,形成信任关系。

## 4 案例分析

基于前述的理论分析,本文选择河南省电子商务创业孵化基地作为案例进行分析,并根据分析结果对中小型电子商务产业园运行发展提出策略建议。河南省电子商务创业孵化基地为第二批国家电子商务示范基地,其入驻电商企业以小微、初创企业为主,建筑面积较小,是典型的中小型电子商务产业园。河南省电子商务创业孵化基地凭借其“政会校企”运营管理模式和较完善的服务体系实现快速发展,在中小型电子商务产业园中具有一定代表性。

### 4.1 案例概况

河南省电子商务创业孵化基地(以下简称“基地”)由河南省商务厅主办,郑州师范学院、惠济区人民政府、河南省网络营销协会共同承办,是第二批国家电子商务示范基地、河南省众创空间、河南省大学生创新创业实践示范基地。基地于2015年11月开始运营,建筑面积3.6万平方米,拥有教育培训中心、创业孵化中心、培训实训楼、千兆级大型网络机房等设施。2018年电子商务交易额达4.739亿元,同比

增长 16.17%。基地管理方为郑州师范学院(河南)资产经营有限公司,后续引进河南亿蜂博云科技有限公司负责基地日常运营。基地 2015 年 11 月采用“省校共建”模式成立河南电子商务发展规划研究院,为企业提供规划设计、决策咨询、课题研究等服务。2016 年 12 月起相继与河南豫龙律师事务所、郑州市天赢财务咨询有限公司、重庆猪八戒网络科技服务有限公司以及北京瑞克博云科技有限公司建立合作关系,可以提供法律、会计、研发支持等服务。

基地集中整合多方资源,采取“政会校企”的运营合作模式,即河南省商务厅、惠济区人民政府等政府部门指导,河南省网络营销协会等行业协会规划设计,郑州师范学院建设,吸引创新型小型微型企业。基地现拥有世界工厂网、全球内衣网、豫货网上行、赶会网、鲜易网五大平台,具备提供场地、项目帮办、培训、融资对接、项目申报、项目孵化等较完善的服务体系。

#### 4.2 基于共生理论基地生态系统结构分析

1)共生单元。基地共生单元主要包括郑州师范学院资产管理公司、河南亿蜂、河南省网络营销协会、入驻的电商企业、律师事务所等。其中,郑州师范学院资产管理公司为主要管理方,河南省网络营销协会、郑州师范学院、惠济区政府参与管理、河南亿蜂为运营方,共同构成了核心共生单元,负责基地生态系统的运营管理。入驻电商企业为关键共生单元。豫龙律师事务所、天赢财务咨询公司、猪八戒科技服务公司为支持共生单元,为入驻电商企业提供相应服务。

2)共生模式。根据共生单元能量分配特征可将基地的共生行为模式分为“扶持”和“互促”两个阶段,是由“扶持”向“互促”演化的过程,如图 4 所示。①扶持阶段。基地为入驻电商企业提供场地、项目帮办、培训、融资对接、项目申报、项目孵化等服务,并通过“四免三支持”(即免水电、免房租、免宽带、免物业,支持小额贷款、支持网店一站式服务、支持创业指导)的优惠政策加速入驻的电商企业发展。在此阶段共生行为模式属于偏利共生,即基地投入大量资源扶入驻电商企业以加速其发展。②互促阶段。在基地的扶持下,培育出图拉朵、乐橙信息、河南亿点等优秀电商企业,实现基地电子商务交易额的稳定快速增长,提高了基地的知名度,吸引了更多电商企业入驻,加速了基地的发展。在此阶段共生行为模式为互惠共生。根据 2017 年基地入驻电商企业营收总额增长率 16.17%,而基地营收增长率 15%<sup>[7]</sup>。这表明基地处

于非对称互惠共生阶段,即双方均保持较快增长但增长率存在一定差异。

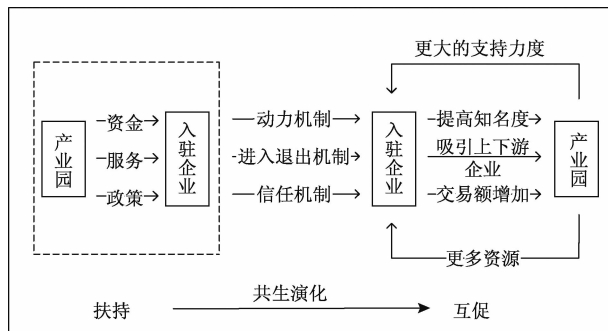


图4 河南省电子商务创业孵化基地共生模式演化

3)共生界面。①实体介质共生界面主要是基地的建筑办公区域以及大数据商务智能实验室、光影展示厅、千兆级大型网络机房等配套设施区域。②无实体介质共生界面主要是世界工厂网、全球内衣网、豫货网上行、赶会网、鲜易网五大电商平台。

4)共生环境。郑州近几年经济快速发展,且政府大力支持电子商务发展,出台了一系列电商支持政策,政策环境较好。但由于其经济发展水平、工资、教育等因素限制,对河南省内电子商务人才有较强的吸引力,对省外中高端电子商务人才的吸引力较弱,人才吸引环境仍需进一步完善。郑州作为交通枢纽城市,物流优势明显,特别是依托河南自贸区,跨境物流发展较快,拥有较好的物流环境。

#### 4.3 基于共生理论基地运行机制分析

1)动力机制。根据前述理论分析,从共享机制、互补机制、互促机制和推动机制对基地动力机制进行分析。①共享机制。基地拥有较完善的创业服务体系,依托郑州师范学院拥有的电商人才优势,入驻电商企业共享其服务体系和人才资源可以实现加速发展。其次,基地可以共享郑州师范学院餐厅、超市、健身房、体育场、图书馆等公共服务设施,完善了基地的配套设施。但基地由于地理位置以及规划的因素,没有仓储物流设施,这会提高入驻电商企业的物流成本。②互补机制。基地“政会校企”的运营模式让政府、协会、高校参与进电子商务产业园管理,共生单元较为多元,参与主体间不同资源、能力的组合可以产生较强的互补合力。但目前没有金融机构或可以直接提供投融资服务的金融企业参与,这对互补机制造成一定影响。③互促机制。基地通过优惠政策和较完善的服务体系可以较好促进入驻电商企业发展。但基地是由郑州师范学院原有建筑上改建设立的,建筑面积较小。受到场地面积制约,导致入驻基地的电

商企业获得发展后往往选择迁出基地,这削弱了入驻电商企业与基地间的互促效应。④推动机制。内部推动力。基地通过“四免三支持”优惠政策可以为小微、初创企业提供较大力度的支持,对小微、初创企业的发展具有较强的推动力。但基地内部没有设立电商发展基金,只能帮助有资金需求的电商企业与银行或投资机构进行对接,这会减弱部分内部推动力。外部推动力。由于基地“政校企”的运营合作模式让政府、协会、高校、科研机构等本属于共生环境的组织参与到基地的管理中,使其成为共生系统中的共生单元。因此对基地来说,外部推动机制主要体现为动力机制下的互补机制。

2)进入退出机制。目前基地已经确定了“培育电商人才、发展跨境电商、支持农村电商”的发展主线,并完成了对入驻企业和机构的相应调整。但由于建筑面积不足导致承载能力极易饱和,无法继续吸收一些与基地电子商务发展主线关联度较强的企业和机构,这限制了进入退出机制效应的发挥。

3)信任机制。①产业园与入驻企业的信任机制。基地拥有创业服务体系、电商人才资源、扶持政策等企业发展所必需的资源和服务,两者可以在合作交流中逐步建立信任机制。②入驻企业间的信任机制。基地通过培训、沙龙、创业大赛等活动来促进入驻电商企业间的交流互动,培育基地内良好的电商氛围。同时基于入驻电商企业间产品、市场的差异,积极推动企业间合作对接,加速企业间信任机制形成。

综上所述,从结构上看,河南省电子商务创业孵化基地生态群落十分多元,生态系统较为完整。基地最主要的优势在于管理方十分多元,特别是郑州师范学院参与管理使基地拥有人才资源优势。从运行机制来看,基地的信任机制较为完善,但基地缺少金融机构参与、未设立物流仓储设施和扶持基金,这会限制动力机制下共享和互补效应发挥。同时,基地建筑面积较小,承载能力不足,这会对动力机制下互促机制和进入退出机制产生影响。基地的特色是创业孵化,其入驻企业主体也以小微、初创企业为主。小微、初创企业入驻基地后,在基地优惠政策扶持下得以生存并进一步发展,为基地提供了进一步的发展动力,帮助基地获得荣誉称号、吸引更多电商企业入驻,推动基地进入快速发展阶段。可以看出,基地生态系统是随着共生模式演化而发展的,属于由“扶持共生”到“互促共生”,即由偏利共生向对称性互惠共生演化,最终实现持续健康发展的过程。

## 5 主要结论

本研究具有以下两方面理论贡献:①基于共生理论理论视角对以运营管理方为核心的电子商务产业园生态系统的结构和运行机制进行研究,在一定程度上弥补了现阶段电子商务产业园理论研究的不足。②对河南省电子商务创业孵化基地进行案例分析,通过该案例发现电子商务产业园生态系统内存在由“扶持”到“互促”的共生模式演化过程,以共生模式演化解释电子商务产业园生态系统发展,丰富了电子商务产业园生态系统演化发展研究。根据案例分析结果,中小型电子商务产业园发展应做到:①推动共生单元多元化,强化动力机制。②不断提高运营管理机构能力,完善进入退出机制。③电子商务产业园服务持续升级,增进信任机制。

## 参考文献

- [1] 邵鹏,胡平.电子商务平台商业模式创新与演变的案例研究[J].科研管理,2016,37(7):81-88.
- [2] 胡岗岚,卢向华,黄丽华.电子商务生态系统及其协调机制研究——以阿里巴巴集团为例[J].软科学,2009,23(9):5-10.
- [3] 王娟娟.电子商务时代的物流发展分析[J].中国流通经济,2014,28(3):54-59.
- [4] 孙倩.电子商务园区运行机制与评价研究[D].杭州:浙江工商大学,2015.
- [5] 桂宗平.基于生态学视角的电子商务产业集群健康发展对策研究[D].杭州:浙江工商大学,2017.
- [6] 彭本红,武柏宇.平台企业的合同治理、关系治理与开放式服务创新绩效——基于商业生态系统视角[J].软科学,2016,30(5):78-81,118.
- [7] 袁纯清.共生理论——兼论小型经济[M].北京:经济科学出版社,1998:7-75.
- [8] 张雷勇,冯锋,肖相泽,等.产学研共生网络:概念、体系与方法论指向[J].研究与发展管理,2013,25(2):37-44.
- [9] 温兴琦.基于共生理论的创新系统结构层次与运行机制研究[J].科技管理研究,2016,36(14):1-5,11.
- [10] 李晓娣,张小燕.区域创新生态系统共生对地区科技创新影响研究[J].科学学研究,2019,37(5):909-918,939.
- [11] 李洪波,史欢.基于扩展 Logistic 模型的创业生态系统共生演化研究[J].统计与决策,2019,35(21):40-45.
- [12] MOORE J F. Predators and prey: a new ecology of competition[J]. Harvard Business Review, 1999, 71(3): 75-83.
- [13] 欧忠辉,朱祖平,夏敏,等.创新生态系统共生演化模型及仿真研究[J].科研管理,2017,38(12):49-57.
- [14] KOENIG G. Business Ecosystems Revisited[J]. Management, 2012, 15(2): 208-224.
- [15] 吴洁,彭晓芳,盛永祥,等.专利创新生态系统中三主体共生关系的建模与实证分析[J].软科学,2019,33(7):27-33.

## Research on Layers and Operating Mechanisms of E-commerce Industrial Park Ecosystem

——Based on the perspective of symbiosis theory

LI Ze-jian, RAO Si-yuan

(Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** Based on the perspective of symbiosis theory, this paper analyzes the structure of e-commerce industrial park ecosystem with operation management as the core form symbiotic unit, symbiotic model, symbiotic interface and symbiotic environment. Furthermore, it establishes e-commerce industrial park ecosystem operation mechanism from the combination of dynamic mechanism, entry and exit mechanism, and trust mechanism. By taking Henan province e-commerce business incubation base as an example, this paper points out that the ecosystem of e-commerce industrial park develops with the evolution of symbiosis model, which is a process from partial symbiosis to symmetric mutualism, and finally achieves sustainable and healthy development.

**Key words:** symbiosis theory; e-commerce industrial park; ecosystem; operation mechanism

(上接第 7 页)

## Analysis of the Impact of China's Import and Export Trade on the RMB Exchange Rate

QIU Juan<sup>1</sup>, LIN Meng<sup>2</sup>, WANG Bo<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Fujian Vocational College of Agriculture, Fuzhou 350007, China;

2. Economic School, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** In the context of the RMB exchange rate reform in 2005 and the special drawing rights of the RMB in 2016, China's import and export trade experienced China's economic crisis in 2009 and the global economic downturn in 2015, and China's import and export trade resumed growth in the past two years. Whether the import and export trade has an impact on the RMB exchange rate and the extent of its impact. This paper selects the monthly time series from January 2010 to December 2018 as a data sample, and establishes a VAR model to analyze the impact of China's import and export trade volume on the RMB exchange rate. The empirical results show that the impact of the RMB exchange rate changes is more obvious on China's export trade, while the impact of China's import trade on the RMB exchange rate changes is not obvious.

**Key words:** China's import and export trade; RMB exchange rate; VAR model

# 基于 DEA 模型的贵州区域科技投入产出效率研究

钟小容

(铜仁学院 经济管理学院, 贵州 铜仁 554300)

**摘要:**科技水平是经济发展的重要指标,科技的投入产出效率直接关系到科技的发展。以贵州 2014—2016 年的科技投入产出数据为样本,运用 DEA 方法对贵州各区域进行相对绩效评价。结果显示:贵州各市(州)科技投入产出综合效率、纯技术效率和规模效率均存在明显改善的趋势,其中综合效率 DEA 有效的决策单元占比从 33.3% 提高到了 44.4%,但各市(州)之间的纯技术效率存在较大差异。贵州各区域应加强对科技资源的合理配置,注重基础研究,完善科技成果的转换机制。

**关键词:**贵州;科技投入产出;效率研究;DEA 模型

**中图分类号:**F204;F127 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0015-05

科学技术是经济发展的重要决定性因素之一。21 世纪以来,科学技术的发展水平对各国、各地区的经济发展起到了很大的决定性作用。“十二五”期间,贵州省科学技术进步贡献率由 2010 年的 39.83%,提高到 2015 年的 45.42%。在“十三五”时期科技计划中,贵州省力争在 2020 年科技进步贡献率要达到 50%。要实现这一目标的重要途径是要提高科技投入产出的效率,合理配置科技资源,实现科技产出的最优化。而 DEA 方法在相对效率研究方面的应用已十分成熟。在国外,DEA 方法在很多领域的效率评价方法都有应用,如 Kirkwood J 等运用 DEA 方法分析了十家在澳大利亚证券交易所上市的银行的成本效率和利润效率,得出区域银行的成本效率变化不大,利润效率有下降的结论<sup>[1]</sup>;Fatih Deyneli 研究了欧洲国家司法服务效率与薪酬之间的关系,运用 DEA 方法衡量了欧洲国家的司法服务效率<sup>[2]</sup>等等。在国内,DEA 在科技投入产出效率方面的研究主要有三个层面:一是国家层面的研究。吴和成使用改进过的数据包络分析方法针对我国 1999 年至 2000 年间的各地区科技投入产出进行了 DEA 有效性的分析,认为我国各地区科技投入产出的结构得到一定的改善<sup>[3]</sup>;姬鸿恩等<sup>[4]</sup>、张前荣<sup>[5]</sup>均以全国各省市的科技投入产出情况为研究对象,运用 DEA 方法进行了相对效率评价,结果均表明各行政区相对效率存在一定差距;杨冠琼等以 1998—2005 年全国各省的科技

投入产出数据为样本,通过对我国科技投入与经济绩效的实证研究论证了科技投入影响着经济绩效,充分说明科技投入对经济绩效是有影响的<sup>[6]</sup>;吕晨通过建立科技投入产出指标体系,运用 DEA 评价方法得出了全国各省市区的科技投入产出效率<sup>[7]</sup>。二是省级层面的研究。徐雪竹等运用 DEA 方法对云南省 2000—2004 年的科技投入产出进行绩效评价,认为云南省科技投入产出效率方面存在一些不足<sup>[8]</sup>;江曙霞等以福建省 5 个城市的民营企业、外商投资企业为研究对象,以 2004—2006 年的数据为样本做了 DEA 模型及 malmquist 指数的效率评价研究<sup>[9]</sup>;王刚运用 DEA 及 malmquist 指数法研究了湖北省 2001—2013 年的科技投入产出效率,并分析了其效率低下的原因<sup>[10]</sup>。三是城市层面的研究。城市层面由于数据不易获取,相关研究还是比较少的。张青等以上海市工业企业的科技投入产出为样本,运用 DEA 方法对上海市科技投入产出效率进行了测算和相对评价<sup>[11]</sup>。马达、马秀贞利用数据包络分析(DEA)方法,以青岛市 2001—2011 年的科技投入产出数据为样本,证明了科学技术投入的增加对城市科技进步水平的提升和城市科技创新能力的增强起着比较重要的作用<sup>[12]</sup>。

本文基于这样的研究背景,以贵州区域的科技投入产出情况为研究对象,运用 DEA 方法进行绩效评价,得出相应对策建议,为提高贵州科学技术及经济

收稿日期:2020-01-15

基金项目:铜仁市科技局基础研究项目(铜市科研[2018]25 号)。

作者简介:钟小容(1986—),女,湖南耒阳人,铜仁学院经济管理学院,讲师,经济学硕士,研究方向:科技管理等。

发展水平助力。

## 1 DEA 模型

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, 简称 DEA)是一种进行相对绩效评价的方法。1978 年,DEA 由查尼斯(Charnes)和库伯(Cooper)共同提出来,之后被广泛用于经济管理等领域的相对绩效评价。在我国,DEA 方法最早由学者魏权龄引入到国内。之后,DEA 方法被大量应用于国内的工业企业生产管理及基础研究等相关领域的相对绩效评价。对于效率的研究有很多种方法,比如层次分析法、统计回归分析法及灰色关联分析法等等。相比于其他方法,如统计回归分析需要事先确定生产函数形式,DEA 方法则具有独特优势。因其不需要事先确定生产函数形式,从而避免了因主观因素导致的随意性和非准确性。DEA 方法适用于多投入多产出的复杂系统,假定每个评价对象为一个决策单元(简记 DMU),以每个 DMU 的各投入产出权重为变量,建立数学规划模型,通过求解模型的最优解及权重值,从而对各个评价主体的相对绩效进行排序和分析,得出评价结果为管理层提供决策参考。DEA 模型有很多种不同形式,其最早最经典的模型为  $C^2R$  模型,是基于规模收益不变的假设条件下分析 DMU 的综合效率(包含纯技术效率和规模效率); $C^2GS^2$  模型单纯地用来评价 DMU 的纯技术效率,而不能评价规模效率; $C^2WH$  模型是以  $C^2R$  模型的基础上将决策者的“偏好”引入到模型中<sup>[13]</sup>,从而能更真实地描述和分析实际问题。随着 DEA 相关知识的不断发展,根据研究领域和偏重的不同,DEA 模型的形式也发生着变化。实际应用中多以规模收益可变为前提条件,因此学者贝克在  $C^2R$  模型中加入凸性假设将其改进为 BCC 模型,从而使 DEA 模型应用更为方便。本文采用 DEAP2.1 软件分析贵州区域科技投入产出的效率情况,选用 BCC 模型。具体形式如下:

假定有  $n$  个 DMU ( $j = 1, 2, \dots, N$ ),其中每个 DMU 有  $m$  项投入量( $i = 1, 2, \dots, m$ )和  $s$  项产出量( $r = 1, 2, \dots, s$ )。用  $X_{ij}$  表示第  $j$  个 DMU 的第  $i$  项投入量, $Y_{rj}$  表示第  $j$  个 DMU 单元的第  $r$  项产出量。若用  $V_i$  表示第  $i$  项投入的对应权重, $U_r$  表示第  $r$  项产出的对应权重,则每个 DMU 的投入产出效率值  $H_j$  的表达式为:

$$H_j = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} (j = 1, 2, \dots, n)$$

我们总可以选取合适的权重值  $V_i (i = 1, 2, \dots, m)$  和  $U_r (r = 1, 2, \dots, s)$ ,使其满足  $H_j \leq 1 (j = 1, 2, \dots, n)$ 。对第  $j_0$  个决策单元进行绩效评价,建立最优

$$\text{化模型(1)为: } \max H_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij_0}}$$

s. t.

$$\begin{cases} \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leq 1 & (j = 1, 2, \dots, n) \\ V_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, m), & U_r \geq 0 (r = 1, 2, \dots, s) \end{cases} \quad (1)$$

为了便于求解最优解,将模型(1)利用 Charnes—Cooper 转换及对偶理论,得到模型(2),具体形式如下:

$$\min \theta$$

s. t.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq \theta X_{ij_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{rj_0} \\ \lambda_j \geq 0; i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

为进一步方便计算各个 DMU 是否在生产前沿面及其投影,引入松弛变量  $s^+$ ,  $s^-$  及非阿基米德无穷小  $\varepsilon$  (即小于任何正数且大于 0 的数),同时加入凸性假设  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ , 将模型(2)变换为如下形式:

$$\min [\theta - (e_m^T s^- + e_s^T s^+)]$$

s. t.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s^- = \theta X_{ij_0} & (i = 1, 2, \dots, m) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - s^+ = Y_{rj_0} & (r = 1, 2, \dots, s) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, s^+ \geq 0, s^- \geq 0 & (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3)$$

利用模型(3)即可判断第  $j_0$  个 DMU 是否 DEA 有效或非 DEA 有效,又或者只是 DEA 弱有效。若  $\theta = 1$ ,且  $s^+$ ,  $s^-$  均为 0,则该决策单元为 DEA 有效;若  $\theta = 1$ ,则该决策单元为 DEA 弱有效;若  $\theta < 1$ ,则该决策单元为非 DEA 有效。对于非 DEA 有效的决策单元可再进行生产前沿面上的投影分析,为提高效率

提供决策参考。

## 2 DEA 实证研究

### 2.1 指标体系构建及数据来源

数据的选取影响 DEA 分析的结果,在指标选取时要考虑科学性、可比性、可得性等三个原则。从现有的文献综合来看,评价科技投入的因素分为人财物的投入,科技产出分为直接产出和间接产出。在指标选取的科学性的前提下,鉴于贵州区域科技投入产出数据的可比性和可得性原则,本文选取了贵州 9 个市(州)的数据,其中科技投入指标选取了万人科技活动人员数(用  $X_1$  表示)及全社会 R&D 经费支出占地区生产总值比重(即  $X_2$ );科技产出指标选取万人发明专利授权量(即  $Y_1$ )及规模以上工业企业新产品销售收入占主营业务收入比(即  $Y_2$ )。具体见表 1 所示。

表 1 贵州区域科技投入与产出指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
科技投入	人力	万人科技活动人员数( $X_1$ )
	财力	全社会 R&D 经费支出占地区生产总值比重( $X_2$ )
科技产出	直接产出	万人发明专利授权量( $Y_1$ )
	间接产出	规模以上工业企业新产品销售收入占主营业务收入比( $Y_2$ )

本文以贵州 9 个市(州)2014—2016 年三年的科技投入数据为样本,即总共 27 个样本,满足 DEA 准确性原则即所选样本数据要大于等于投入指标和产出指标之和的 3 倍。所有数据来自《贵州统计年鉴 2015—2017》及 2014—2016 年贵州省市(州)科技创新统计监测报告。

### 2.2 DEA 实证结果

#### 2.2.1 投入产出效率分析

运用 DEAP2.1 对上述指标数据进行 DEA 分析,得到 2014—2016 年贵州 9 个市(州)的科技投入产出效率值。具体结果按年份分别列出,具体见表 2—表 4。

表 2 2014 年贵州区域科技投入产出效率 DEA 实证结果

地区	综合效率	纯技术效率	规模效率	结论
贵阳	0.286	1.000	0.286	DEA 弱有效
六盘水	0.590	0.638	0.925	非 DEA 有效
安顺	0.398	0.499	0.797	非 DEA 有效
铜仁	0.568	0.605	0.939	非 DEA 有效
毕节	0.876	1.000	0.876	DEA 弱有效
遵义	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
黔西南	0.819	0.839	0.977	非 DEA 有效
黔南	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
黔东南	1.000	1.000	1.000	DEA 有效

表 3 2015 年贵州区域科技投入产出效率 DEA 实证结果

地区	综合效率	纯技术效率	规模效率	结论
贵阳	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
六盘水	0.134	0.178	0.755	非 DEA 有效
安顺	0.852	1.000	0.852	DEA 弱有效
铜仁	0.612	0.781	0.784	非 DEA 有效
毕节	0.630	1.000	0.630	DEA 弱有效
遵义	0.840	0.858	0.978	非 DEA 有效
黔西南	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
黔南	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
黔东南	0.840	0.842	0.998	非 DEA 有效

表 4 2016 年贵州区域科技投入产出效率 DEA 实证结果

地区	综合效率	纯技术效率	规模效率	结论
贵阳	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
六盘水	0.188	0.328	0.574	非 DEA 有效
安顺	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
铜仁	0.834	1.000	0.834	DEA 弱有效
毕节	0.360	1.000	0.360	DEA 弱有效
遵义	1.000	1.000	1.000	DEA 有效
黔西南	0.369	0.515	0.716	非 DEA 有效
黔南	0.810	0.897	0.903	非 DEA 有效
黔东南	1.000	1.000	1.000	DEA 有效

由以上结论可发现,首先从总体来看,2014 年贵州省 DEA 有效的市(州)个数为 3 个,2015 和 2016 年均均为 4 个;从纯技术效率来看,2014 和 2015 年贵州各市(州)DEA 有效个数均为 4 个,2016 年为 5 个。说明贵州区域科技投入产出效率无论是综合效率还是纯技术效率都有提高。但 2014—2016 年的综合效率均值均在 0.75 左右,还是相对较低的。其次,从各个市(州)来看,大多数市(州)的科技投入产出效率均存在改善趋势。比如贵阳市科技投入产出综合效率从 2014 年的 0.286 提高到了 2016 年的 1;铜仁市科技投入产出纯技术效率从 2014 年的 0.605 提高到了 2016 年的 1,无论是综合效率、纯技术效率还是规模效率均有明显改善。但也有个地区存在降低或波动的情况,比如毕节市和黔东南州。

#### 2.2.2 非 DEA 有效的投影分析

由前面的分析可知,对于非 DEA 有效率的决策单元,可再进行基于生产前沿面上的投影分析,以找到其可能的原因,如投入存在冗余或产出存在不足,进而为管理层提高效率提供决策依据。根据前面的 DEA 分析结论可知,贵州区域科技投入产出的总体效率比较低,还有部分市(州)的科技投入产出还在非 DEA 有效。对于这些非 DEA 有效的市(州)进一步做投影分析,找出其投入产出可能存在的问题,具体

结论见表 5。

表 5 贵州区域非 DEA 有效的科技投入产出投影分析结论

年份	地区	投入冗余值		产出不足值	
		$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$
2014	六盘水	2.645	0.022	0.000	0.187
	安顺	17.510	0.666	0.000	0.000
	铜仁	1.871	0.028	0.000	0.217
	黔西南	0.726	0.029	0.000	0.258
2015	六盘水	22.590	0.444	0.002	0.000
	铜仁	1.626	0.059	0.012	0.000
	遵义	2.621	0.057	0.000	0.000
	黔东南	0.908	0.908	0.000	0.000
2016	六盘水	20.012	0.356	0.000	0.000
	黔西南	13.137	0.199	0.108	0.000
	黔南	1.229	0.037	0.057	0.000

基于生产前沿面上的投影分析,从投入冗余角度来看,六盘水、安顺、铜仁、黔西南州在万人科技活动人员数和全社会 R&D 经费支出占地区生产总值比重方面均存在着不同程度的投入冗余问题。比如安顺在科技人员投入上存在投入过多,即在地区总人口的基础上平均每万人需减少 2.645 人,R&D 经费投入应该在地区生产总值上减少 0.022% 的投入比重。依此类推,六盘水、黔西南等其它非 DEA 有效的市(州)均存投入过多的问题,鉴于篇幅原因,本文不一一列出。从产出不足角度来看,在直接产出指标发明专利授权量来看,2015—2016 年部分市(州)均存在产出不足的情况,比如六盘水市在 2015 年在每万人的基础上需要再增加 0.002 件的产出,黔西南州需要再增加 0.108 件;在间接产出指标规模以上工业企业新产品销售收入占主营业务收入比来看,2015—2016 各市(州)相比于 2014 年有明显改善,不存在产出不足的问题,但 2014 年部分市(州)存在产出不足,比如铜仁市需要在现有主营业务基础上再增加 0.217 比例的新产品销售收入。同样鉴于篇幅原因,其他市(州)的情况读者可根据表 5 可自行推算出来,不再一一列出。

### 3 结论及建议

#### 3.1 结论

根据前面的 DEA 实证分析,可以得出以下结论:

1)2014—2016 年贵州省科技投入产出的综合效率存在明显提高的趋势,且无论是科技投入产出的纯技术效率还是规模效率均有改善的趋势。在 2014 年中仅有三个市(州)的科技投入产出效率为 DEA 有

效,占总地区数的 33.3%;2015 年中也有三个市达到 DEA 有效,占总地区数的 33.3%,其中安顺市的综合效率提高比较明显;2016 年中达到 DEA 有效的市(州)有 4 个,占总地区数的 44.4%,相比较 2014 年和 2015 年来看科技投入产出的效率慢慢在达到最优化,说明贵州省的科技投入产出结构在慢慢发生变化,但从全国对比来看,其科技投入产出效率仍较低。

2)各市(州)纯技术效率对比发现,少部分地区之间纯技术效率值较低,且地区与地区之间的纯技术效率差异较大。说明各地区的科技资源配置和使用情况存在较大差异。

3)从科技投入产出角度来看:少部分地区在科技投入量存在利用率不高的情况。相比于其他高效率的市(州),一些地区存在投入冗余的情况,说明科技资源未充分利用好;而在科技产出方向,从 2014 年到 2016 年,整体情况有改善,但仍有部分市(州)的产出存在明显不足。比如黔南州,在 2016 年的专利产出仍存在较大的产出不足情况,说明贵州部分市(州)的基础研究投入可能存在不足。

#### 3.2 建议

针对以上分析结论,本文提出以下建议:①合理配置科技资源,提高使用效率。贵州省作为西部重要省份,应该积极引进科技资源,强化科技资源的省内流动。必要时可构建适当的科技使用效率评价体系和监管体系,以了解各市(州)科技发展过程可能存在的问题。科技的发展直接影响经济的发展,贵州省应该努力提高全省整体的科技投入产出效率,加快区域科技水平的发展,以更好地为当地经济发展服务。②大力引进科技人才,提高基础研究经费支出。科技人才是科技发展的重要因素,科技的高水平发展离不开优质的科技人才。贵州各市(州)应该积极引进高科技人才,以政府政策为导向,制定适当的政策扶持以留住各区域的科技人才。基础研究直接关系到科技的直接产出,基础研究得到了重视,其科技的持续发展才能延续。因此,还应该注重基础研究投入,提高各区域的基础研究经费支出。③完善科技平台的建立,加快科技成果的转换。科技平台的完善有利于科技成果的转换,科技平台的完善直接影响着科技的间接产出。因此,贵州省应该向东部地区借鉴发展经验,完善其科技平台的建立,为科技成果的转换助力。同时,也应该加强科技投入产出与市场的衔接,避免出现重复开发或科技资源浪费的情况。总之,既要充分发挥市场对科技投入产出方面的资源配置作用,也要重视政府政策导向和扶持的作用,以提高贵州区域



科技投入产出效率的最优化。

### 参考文献

- [1] KIRKWOOD J, NAHM D. Australian banking efficiency and its relation to stock returns[J]. Research Papers, 2005, 82: 253—267.
- [2] DEYNELI F. Analysis of relationship between efficiency of justice services and salaries of judges with two-stage DEA method[J]. European Journal of Law and Economics, 2012, 34(3): 477—493.
- [3] 吴和成, 郑垂勇. 科技投入产出相对有效性的实证分析[J]. 科学管理研究, 2003(3): 93—96.
- [4] 姬鸿恩, 陈浩, 李咏娟, 刘丽. 基于数据包络分析的科技活动投入产出相对有效性研究[J]. 统计与决策, 2009(8): 21—23.
- [5] 张前荣. 我国省域科技投入产出效率的实证分析[J]. 南京师大学报: 社会科学版, 2009(1): 59—63.
- [6] 杨冠琼, 罗植. 我国科技投入与经济绩效的实证研究[J]. 科技管理研究, 2009, 29(1): 56—58.
- [7] 吕晨, 曾明彬. 基于 DEA 的中国区域科技投入产出相对效率研究[J]. 科学管理研究, 2014, 32(2): 101—104.
- [8] 徐雪竹, 刘振. DEA 模型在评价科技投入产出绩效中的运用[J]. 经济理论研究, 2006(2): 119—120.
- [9] 江曙霞, 戴晓彬, 高国伟. 基于 DEA 的福建省科技企业投入产出效率及生产力变动评价[J]. 统计研究, 2008, 25(12): 30—35.
- [10] 王刚. 基于超效率 DEA 模型和 Malmquist 生产率指数的湖北省科技投入产出效率分析及对策研究[J]. 科技进步与对策, 2015, 32(16): 110—114.
- [11] 张青, 徐之舟. 上海市工业企业科技投入产出效率测度与评价——基于政府财政科技投入的视角[J]. 上海管理科学, 2006(5): 20—24.
- [12] 马秀贞, 马达. 基于 DEA 的城市科技投入产出相对效率分析与评价——以青岛市为例[J]. 青岛科技大学学报: 社会科学版, 2014, 30(2): 9—13.
- [13] 魏权龄, 岳明. DEA 概论与 C<sup>2</sup>R 模型——数据包络分析(一)[J]. 系统工程理论与实践, 1989(1): 58—69.

## Study on the Input-output Efficiency of Science and Technology in Guizhou Based on DEA Model

ZHONG Xiao-rong

(School of Economics and Management, Tongren College, Tongren Guizhou 554300, China)

**Abstract:** The level of science and technology is an important indicator of economic development, and the input-output efficiency of science and technology is directly related to the development of science and technology. Using the science and technology input and output data of Guizhou from 2014 to 2016 year, the relative performance of each region in Guizhou was evaluated by DEA method. The results showed that the comprehensive efficiency, pure technology efficiency and scale efficiency of each city (state) in Guizhou showed an obvious trend of improvement, and Its share of the comprehensive efficiency in DEA efficient DMUs increased from 33.3% to 44.4%, but the pure technology efficiency of each city (state) showed a great difference. All regions in Guizhou should strengthen the rational allocation of scientific and technological resources, pay attention to basic research, and improve the transformation mechanism of scientific and technological achievements.

**Key words:** Guizhou; input and output of science and technology; efficiency studies; DEA model

# 文化数字化传承人才开发研究

——以泉州“海丝”文化为例

林 剑

(泉州师范学院 陈守仁商学院, 福建 泉州 362000)

**摘要:**加大泉州“海丝”文化数字化传承人才开发力度,既是文化经济时代背景下区域经济转型与发展的内在要求,也是提升地方文化软实力的必要手段。基于SWOT方法,在分析泉州“海丝”文化优势、地方文化产业优势和人才政策优势以及文化数字化传承人才开发实施困境的基础上,以数字中国战略以及泉州实施海丝核心区建设为历史契机,对文化数字化传承人才开发的可行性和必要性进行了研究。提出了以政府为主导、产业为载体、高校和科研机构为支撑的政产学研四位一体策略,从创新人才工作理念、提升产业科技能力、构建人才培养模式以及营造生态氛围等方面进行“海丝”文化数字化传承人才开发。

**关键词:**“海丝”文化;数字化技术;文化人才

**中图分类号:**F406 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0020-06

文化经济时代,文化资源既以有形的历史文物、建筑和遗址呈现,又以语言、文字、音乐、舞蹈、民间技艺、习俗等非物质性的方式浸润在百姓的生活中。地域文化资源对于一个地区彰显地方魅力、发展地方经济、提升文化软实力有着十分重要的意义。<sup>[1]</sup>互联网与数字技术的大力普及,为文化资源的保护与传承带来了新的思路和方法。近年来,泉州市积极推动“海丝”文化的数字化保护、传承与弘扬,在文化遗产数字化保护上进行了积极探索,互联网、三维、AR和VR等数字化新技术越来越多地引入到文化遗产保护和传承中,使文化遗产“活”在当下,走向未来。在这种背景下,大力开发数量庞大、结构合理的“海丝”文化数字化传承人才队伍显得尤为重要。

## 1 相关文献探讨

美国、法国、英国和日本是世界上较早开展文化遗产保护的国家,在法律体系、资金保障以及公众参与等方面的很多成功经验对世界各国产生了较大的影响。以日本为例,早在19世纪70年代就有了文化遗产保护的立法,20世纪90年代开展了古籍文献的数字化保护工作。2008年,由日本文化厅运营的“国家文化遗产数据库”正式开放。日本文化数字化保护

工作取得的成就主要得益于效仿英国的全民参与模式<sup>[2]</sup>。日本不仅较早在校设立文化遗产数字化保护专业,同时民间团体和非营利组织对文化传承的数字化保护也起了很大的作用<sup>[3]</sup>。美国除了在立法、教育层面确立人才的重要地位之外,还利用强大的经济实力,通过开展文化渗透活动,倚靠丰厚的物质条件和优越的发展环境来吸引优秀的文化人才。

国内学者肖远平和王伟杰<sup>[4]</sup>指出要依托文化遗产数字化公共服务平台来开展文化遗产数字化人才的培养,从文化内容研究、技术创新、产品示范以及营销管理等方面打造文化与科技融合的知识型、创新型、复合型文化数字化人才队伍。黄体杨和欧阳光<sup>[5]</sup>、谈国新和张立龙<sup>[6]</sup>认为传承人的数字化保护是非遗数字化活态传承的核心,需要对传承人进行数字化建档。邹文兵<sup>[7]</sup>提出强化文化传承群体的责任意识、创新精神以及构建数字化传播渠道是泉州提线木偶戏实现由“非遗”资源到文化产业的路径。龚春英<sup>[8]</sup>则从地方高校应用型人才培养视角构建了泉州非物质文化遗产传承人才开发框架。

纵观国内外现有研究,对文化遗产的数字化保护已经基本达成共识,研究内容和视角也较为丰富,而

收稿日期:2020-01-13

作者简介:林剑(1982—),男,福建泉州人,泉州师范学院陈守仁商学院,副教授,管理学博士,经济学博士后,研究方向:文化创意产业与人力资源开发。

对文化数字化传承人才开发的专题研究尤其是聚焦地域情境的并不是很多。本研究以“海丝”文化为背景,基于SWOT分析方法,对“海丝”文化数字化传承人才开发的可行性和必要性进行探讨,并提出具体举措,以期能够为文化传承人才的深入研究提供理论支撑和现实依据。

## 2 泉州“海丝”文化数字化传承人才开发的优势

### 2.1 泉州“海丝”文化底蕴优势

泉州位于福建省东南沿海,与台湾隔海相望,是福建省三大中心城市之一,是公元10~14世纪中国海洋经济繁荣的代表。宋元时期,泉州就已经与100多个国家地区有着密切的商贸联系,被马可·波罗誉为与埃及亚历山大港齐名的“东方第一大港”。近年来,泉州更是凭借丰富的“海丝”文化遗存,荣获“中国首批历史文化名城”、“海上丝绸之路起点城市”、“世界多元文化展示中心”、“东亚文化之都”四大文化品牌。2016年3月,泉州市委人才工作领导小组启动“21世纪海上丝绸之路人才培养工程”,正式揭开了“海丝”人才开发战略的新篇章。现阶段,为了让“海丝”文化的传承与发扬更具时代特点,必须培育一批数量庞大、结构合理、富有创业意识、创新精神和创造能力的文化新人。泉州实施“海丝”文化数字化传承人才战略,有着深厚的历史文化底蕴,这项工作的开展不仅可以唤醒全民“海丝辉煌”的文化记忆,重温“海丝精神”,同时对于拓展文化传承发展空间,提升地方文化产业竞争力,扩大海丝沿线国家(地区)的人才合作有着深远的意义。<sup>[9]</sup>

### 2.2 地方文化产业发展优势

近年来,泉州市紧紧抓住文化产业发展的重大战略机遇期,通过推动传统文化产业创新发展、培育文化新兴业态等举措,不断提升文化产业规模化、集约化水平,质量效益显著增强,有力带动和促进了全市经济社会发展,全市文化产业总量常年位居福建省首位。具体到文化遗产保护利用示范工程方面,政府十分重视“数字化”保护,采用互联网、大数据、云平台等新技术来推进传统文化资源的数字信息资源建设。以非遗戏曲数字化记录工程为例,梨园戏、提线木偶、高甲、花灯、刻纸等非遗数字记录工作不断推进中。由泉州市提线木偶戏传承保护中心和厦门大学软件学院合作开展的提线木偶数字化人偶互动项目,通过现代科技手段,把木偶的数字模式输入到计算机里面,人站在电脑前面与木偶进行互动来展示提线木偶的表演,这项创举不仅丰富了传统木偶的表现手法,

同时也是传统文化数字化传承探索的新尝试,更是泉州提线木偶由“非遗”资源到文化产业转变的新路径。<sup>[7]</sup>

### 2.3 人才“港湾计划”实施优势

2017年2月,泉州市委、市政府《关于实施人才“港湾计划”的若干意见》出台,这是泉州市人才工作史上改革力度最强、含金量最高、覆盖面最广的一份纲领性指导文件。该文件对泉州市特色文化人才“传承工程”提出了新要求。工艺美术大师、陶瓷艺术大师、非物质文化遗产代表性项目传承人等涉及“海丝”文化传承的人才均被列入到泉州高层次人才目录中,可以享受资金补助、安居保障、子女入学等19项高层次人才优惠政策。在市级政策的引领下,各县区相继出台相关落地方案。以晋江为例,晋江市把福建省戏剧会演单项奖(含戏曲、话剧、歌剧、舞剧、音乐剧、木偶剧、杂技、曲艺等)的主要作者(含编剧、导演)和主要演员前2名也纳入到该市高层次人才目录中,并规定享受常年人才津贴待遇。德化县的《“青年陶艺人才领航工程”实施方案》,把40周岁以下,从事陶瓷生产经营、具有较高技艺水平的专业人才纳入到人才工程中,通过实施陶艺人才“双导师”制和“陶瓷艺术创业导师行动”、“电商创客孵化计划”服务好“海丝”文化数字化传承人才的开发。

## 3 “海丝”文化数字化传承人才开发的限制因素

### 3.1 数字化技术与文化传承对接融合对政府职能转变提出新要求

文化数字化传承人才开发工作属于人才、文化和科技相融合创新的新生事物,而人才的异质性、文化的多样化以及科技的专业化决定了文化传承的数字化并不是单纯的把现代科技与传统文化资源进行简单的叠加。从纵向看,文化传承人才开发的管理部门,既有国家层面,又有地方层面;从横向看,既有文化主管部门,又有人事、科技、档案等部门。泉州市政府高度重视“海丝”文化传承与现代科技共创,然而,这一探索性的工作并不能够一蹴而就,需要长效共享的工作机制和系统全面的学习规划。以文化数字化共享网络平台建设的人员培训为例,据了解,虽然目前文化资源保护的管理人员都有经过必要的数字化培训,但是多数培训内容主要集中在诸如拍照、摄像和访谈等数据采集层面,或者是学术研讨、专题讲座层面,诸如后期文化数据资源的存储、加工以及数据挖掘等内容涉及的比较少。加之各个部门、单位的数字缺乏统一的建设标准和技术规范,形成了信息孤

岛。事实上,文化数字化传承是一项专业性、学术性、技术性很强的工作,在顶层设计中,需要把文化数字化管理工作的统筹规划放在首要地位。<sup>[10]</sup>

### 3.2 数字化技术与文化传承对接融合对学校人才培养提出新要求

数字化技术让文化以更加直接和生动的效果呈现,通过网站、手机、电视等多媒体客户端,人们能够更好地感受“海丝”文化产品的历史渊源、技艺展示和艺术表达,增加了文化传播受众,拓展了地域知名度,而且对文化产品的销售也能够产生较大的刺激作用。目前,“海丝”文化传承面临的另一个问题是代表性传承人老龄化和知识结构陈旧,年轻的传承人由于缺乏对传统文化的认知以及对文化经济预期效益前景不乐观的原因,导致后继乏人。数字化技术的跨界使用,又对文化传承人才的工作内容带来了更大的挑战。高校是人才培育的基地和摇篮,学校传承培养则是实现“海丝”文化数字化传承人才规模化、标准化的重要途径。近年来,泉州地面高校纷纷开设了相关的专业,甚至有研究生层次的人才培养,这些为其人才传承提供了很好的平台。但需要正视的是,由于高校自身缺乏相应师资、理论与实践不匹配、培养的人才知识结构单一等诸多条件所致,导致了文化数字化传承人才培养质量有待提高。特别是地域性较强的非物质文化遗产,其传承人的培养面临很多困难。<sup>[11]</sup>

### 3.3 数字化技术与文化传承对接融合对文化生态营造提出新要求

数字化技术的运用与文化生态的协同发展问题,一直都是文化资源数字化保护工作中的一个难点。已有的研究表明,保护传承文化赖以生存的社会生态是文化资源开发与保护的基本准则。当传统文化生态因为现代生活方式和技术改变而产生阻碍的时候,创新根植于传统文化的生态系统显得尤为重要。<sup>[6]</sup>近年来,泉州“海丝”文化不断融入到旅游中,利用数字化技术信息采集,把文化传承人的历史信息、地域文化信息、文化发展历史信息系统性输出来呈现文化产品,这是寻找文化新生态的一种表现。毋庸置疑,在新文化生态营造中,与新的文化业态、文化消费需求相结合是必由之路。但是不容忽视的是,过度数字化,容易造成文化活态资源展示的失真和体验重点的偏离,导致文化生态氛围受到破坏。以泉州国家非遗“拍胸舞”的数字化为例,目前一般采用虚拟环境的创设以及仪式的电子化展示这两种方式,但时间和地域环境尤其是居民参与的活动氛围在数字化的呈现中

却难以实现。因此,数字化技术在文化传承的广泛应用仍然需要鼓励和带动人们通过实地参与、现场体验来感受文化生态氛围。

## 4 “海丝”文化数字化传承人才开发面临的机遇与挑战

### 4.1 实施文化数字化传承是国家战略的重要内容

1992年,由联合国科教文组织发起的“世界记忆工程”在全世界展开,该项目旨在提升全民对文化遗产保护的认知。1999年,欧盟推出了以文化遗产的数字化保护与利用为核心的欧盟国家“内容创造启动项目”。随后,美国、日本等国家相继启动国家记忆项目,通过虚拟数字化重建历史建筑环境、复原民风民俗。<sup>[4]</sup>利用数字技术和信息技术实施文化传承成为世界各国文化工作的新潮流。早在2012年7月,文化部牵头的“文化资源数字化关键技术及示范应用”就列入了国家“十二五”科技支撑计划中,该项目从国家战略高度为文化数字化工作树立了典范。党的十九大报告明确指出,“数字中国”是建设创新型国家的重要内涵,国家文化软实力和中华文化影响力大幅提升是当前文化工作的着眼点。近年来,在《国家“十三五”文化发展改革规划纲要》的指引下,国家又相继出台了《“互联网+中华文明”三年行动计划》、《中国非物质文化遗产传承人群研修研习培训计划(2018—2020)》等重要文件,在重视文物保护的同时,也对文化数字化传承人才开发提出了明确要求。

### 4.2 实施文化数字化传承是人们生活方式转变的内在需求

按照国际标准,当人均GDP达到3 000美金以上的时候,人们在精神文化的消费比重将日渐提升,这也标志着文化产业作为国民经济新增长引擎的时代已经来临。近年来,随着移动互联网的大力普及,数字技术影响到人们生活的方方面面,文化与科技融合深度和广度不断扩大,传统文化资源的现代传承也呈现出了新特点。从传承主体来看,越来越多的文化传承人自发通过拍照、摄像的方式进行民俗、技艺、表演的资料搜集和储存。从传播方式来看,民众不经意在互联网社交平台上的图片、视频、文字分享,在一定程度上反映了人们文化心理和行为习惯对文化数字化表达的内在需求。从数字技术来看,不同文化消费涉及的关注、搜索、选择和分享等环节所留存的信息资源汇聚,又为文化资源数字化决策指明了方向。<sup>[10]</sup>因此,可以说,实施文化数字化传承人才开发,并非产官学界单方面的意思表示,而是人们生活方式转变下的大势所趋。互联网技术的开放性和智能化让文化

信息的传递能够突破时空与地域的限制,既让文化形态魅力得到更好的传播,又扩大和延伸了文化资源的产业链,为“海丝”文化数字化传承带来更多机遇,创造了良好的条件。

#### 4.3 实施文化数字化传承是泉州海丝核心区建设的先行项目

2015年11月17日,福建省发改委、省外办、省商务厅联合发布《福建省21世纪海上丝绸之路核心区建设方案》,提出支持泉州市建设21世纪海上丝绸之路先行区,强调要发挥地缘、人缘、历史文化及对外开放、产业发展等优势,在海上丝绸之路文化传承方面发挥先行先试作用。2016年1月,《泉州建设21世纪海上丝绸之路先行区发展规划》出炉,创建中华海洋文明传承创新示范区,推动“海丝”国际文化名城建设放在了规划的首位。传承弘扬“海丝”文化也是泉州“十三五”规划的核心内容。规划指出,泉州要打造立足亚洲、走向世界的城市文化品牌,着力加强文化资源平台建设,推进文化内容数字化和平台互通互用、共建共享。同时规划还明确提出了培养引进“海丝”合作急需人才,积极向新生代传播海丝优秀传统文化的具体要求。2019年泉州市政府工作报告中,“文化泉州云”纳入重点建设项目中,该项目基于千年“海丝”文化底蕴,旨在汇聚全市公共文化资源,打造涵盖文化服务提供、文化产品配送、文化消费等“一站式”公共文化数字共享服务平台。

#### 5 “海丝”文化数字化传承人才开发举措

“海丝”文化数字化传承人才的开发是一个复杂的系统工程,因此必须基于一个不断完善和优化的开发模式,才能使文化传承人才实现由量变到质变的转化。根据上述的研究分析,笔者认为,泉州“海丝”文化数字化传承人才开发的战略框架体系必须在把握文化传承人才的基本特征与借鉴其他地区的成功经验前提下,基于泉州“海丝”文化的独特优势,建立以政府为指导,以产业为主体、以高校为支撑、以科研机构为载体的政产学研战略联盟,通过创新人才管理机制、提升文化产业科技能力、构建地方高校特色人才培养模式和营造文化生态氛围等方式,最终才能共同培养具有扎实文化素养和现代技术创新能力的文化数字化传承人才队伍,如图1所示。

##### 5.1 创新文化传承人才工作理念

1)转变政府文化管理职能,提高文化人才工作的科学性。“人才港湾”计划的推出,从战略层面对“海丝”文化数字化传承人才的开发与管理工作提供了纲领性的指导。具体到实际操作中,首先,要健全文化

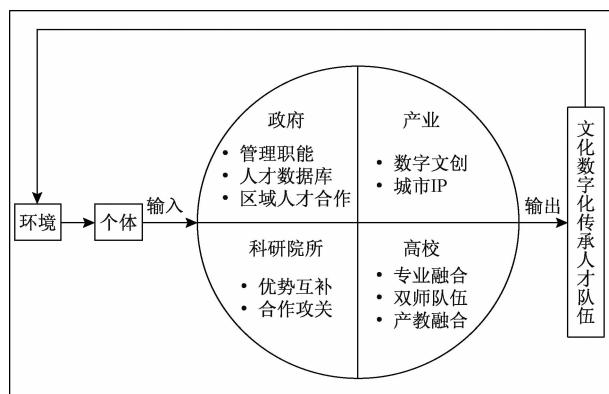


图1 “海丝”文化数字化传承人才开发机制

人才工作责任制,落实县区党政一把手的第一责任,深入了解本区域“海丝”文化传承的历史与现状,及时分析制约文化人才工作的新情况,根据文化和科技融合项目的不同目标制定人才方案。其次,要提升文化工作管理者的专业能力,加大文化数字化技术学习力度,将重心放在文化数据信息的分析与挖掘,以及文化数字化研究学术伦理的反思上。把信息采集工作延伸到真正意义上的文化数字化统筹管理上,进而提升文化管理工作的科学性。

2)做好文化传承人才信息搜集,建立人才基础数据库。为传承人建档是“海丝”文化数字化工作的起点,也是确保人才开发持续性的重要方式。建档保护又是一项多方参与的工作,涉及文化部门、档案部门、文化遗产保护机构等。因此,为了能够充分发挥政府服务文化数字化传承人才的平台作用,建议由各地人才办牵头设立文化人才储备库,并依托第三方专业人才机构,利用科学方法和工具对辖区内的文化传承工作者基础信息(如年龄、知识、技能、经验、健康状况、收入、生活地区等)采集,纳入到文化传承人才数据库管理。同时做好基础数据库的分析、挖掘,并做好定期更新和预警监测,逐步实现文化数字化传承人才工作规范化和信息化。<sup>[5-6]</sup>

3)抢抓“一带一路”合作倡议推进中的战略机遇期,加大人才合作力度。文化人才共享资源机制是实现“海丝”文化数字化传承人才开发生态系统良性循环的重要基础。首先,要抢抓海丝核心区建设的先行项目发展机遇,利用其深厚文化底蕴的先天优势,借助媒体为量,构建电视、报纸、网络多方联动的大宣传格局,对外传输“海丝”文化,加强文化交流,吸引更多的优秀文化传承人才和文化企业关注泉州、落户泉州。其次,要积极开展以政府为主导的“走出去”活动,利用长三角、珠三角等地的大型文创周、精英周、数字文化交流活动等,通过开展区域人才交流合作,

不断提升泉州市文化数字化传承人才竞争力。

## 5.2 提升文化创意产业科技能力

1) 依托大数据加持,拓宽文创发展新途径。文化产业是文化人才生存与发展的主要载体。当前IT技术日趋成熟,互联网体系更加稳定,充斥其中的数据资源急剧膨胀,大数据时代已然到来,应用大数据资源来挖掘行业发展先机,成为文化创意产业纵深发展的新途径。<sup>[12]</sup>因此,在实践中需要累积科技与文创融合的应用经验,积极寻求多产业跨界发展新出路,如加强源和1916、领SHOW天地等老牌文化创意产业集聚区建设,打造科技创意集群、云计算创意园;“文创+民俗”推动“海丝”文化旅游业实现休闲、观光、体验“链条式”发展;“文创+电商”打造线上“海丝”文化产品,并赋予线上门店特色,继而吸引更多人融入到文化数字化传承系统中。

2) 打造城市IP,实现文创融合发展。城市IP的打造不能仅仅落在知名景区的传播层面,而是要有以城市历史人文及所代表的区位文化价值为核心的IP元素,并且还要有以核心IP元素衍生的主力文化产品。在文化创意产业发展领域,“IP”概念较为丰富,游戏、影视文学、动漫等具有一定特殊性的文化形式均可视为“IP”。泉州市可以借鉴西安模式,将历史文化遗产视为原生“IP”,在“IP”衍生进程中,将其与铭记历史、发扬传统文化、保护名胜古迹等关联起来,经过产业融合发展,开发若干“文旅”体验项目,持续挖掘“IP”经济价值,继而通过体验化、生活化、互动化及综艺活动等相关渠道落实文化创意产业营销策划目标,从而拓宽“海丝”文化数字化传承人才的培养思路。

## 5.3 构建地方高校人才培养模式

1) 发挥学科优势,开设相应课程。文化部关于非遗传承人的研培计划为泉州地区高校开展“海丝”文化数字化传承人才的培育提供了参考思路和方法。地方高校可以依托“海丝”文化遗产资源,制定文化数字化传承人才培育方案,增加地域性文化项目的学习内容,塑造学生服务地方、保护和传承“海丝”文化遗产的责任和意识。同时,通过发挥高校原有学科的优势,如华侨大学的旅游管理、应用经济学专业,黎明职业大学的信息技术、建筑设计专业,泉州师范学院的历史学、南音专业等。倡导在高校内或者高校之间组建跨专业跨学科的文化数字化专业或者学院,为文化数字化传承人才的培养奠定专业基础。

2) 完善师资配备,组建双师队伍。学界与业界的相互联动是培养优秀文化数字化传承人才的主要方

式,其主要分工体现在学界注重文创理念的引导和基础知识的传授,业界负责文创思维形象化和具体化的实践指导。2019年1月,《国家职业教育改革实施方案》发布,方案中明确指出,到2022年,职业院校中“双师型”教师(同时具备理论教学和实践教学能力的教师)需要占专业课教师总数超过一半。这为文化数字化传承人才培养师资的改革带来了新的契机。因此,建议地方高校,尤其是职业院校要不拘泥学历和职称限制,大力引进“海丝”文化传承人才进课堂,积极探索学校、企业和文化传承名匠大师共同培养文化数字化传承人才的方式和途径。

3) 推进实践教学,产学研用结合。目前国内较多的院校采用了实践教学和工作室培养的方式来培养文化数字化传承人才,这种方式不仅仅将实践渗透在课程中,而且贯穿在企业、产业的人才管理当中。例如泉州职业技术大学艺术传媒学院建立的“文创工作坊”,采取实验教师课堂讲授和企业现场指导学生相结合的方法培养复合型的文化数字化传承人才。泉州师范学院采用“理论+实践一体化”的教学模式,把非物质文化遗产项目融入到专业见习、毕业实习和教学实践环节。<sup>[7]</sup>这些方式值得在其他高校中推广。除此之外,高校应当鼓励并支持教师和学生从事“海丝”文化研究项目的申报和科创训练,在教与研的互通管道中,培育师生投身地方文化研究的热情,为文化数字化传承人才的理论与应用研究提供有利的学术支持。

## 5.4 营造文化传承生态氛围

1) 开展全民文化素养教育,营造和谐发展的人文环境。全民文化素养教育是实施文化传承人才养成计划的重要基石。近年来,泉州市利用元宵节邀请非遗传承人带领中小学生制作传统花灯、航海日走进海交博物馆馆看古船做船模,在参观感知“海丝”文化的同时,博物馆举办的主题活动,已逐渐成为中小學生动手体验传统文化技艺、提升文化素养的“第二课堂”。这种经验值得在全市进行推广。因此,在中小学教育中,可以尝试通过把地方文化项目融入到课程中来加强学生文创思维的训练;通过引导文化机构和文化传承名家参与到青少年的日常教育来培养学生的文化艺术修养与文创热情。

2) 优化城市文化配套设施,营造优美温馨的人居环境。文化数字化传承人才的培养根植于文化事业的繁荣与发展,知名的文化馆、杰出的博物馆、形形色色的图书馆和丰富多彩的文化节既是传播文化的主要平台,也是激发创意源的重要基地。日前,泉州公

共文化中心——“四朵金花”(泉州科技馆、泉州工人文化宫、泉州图书馆和泉州大剧院)已经陆续投入使用,而要发挥文化中心的集聚效应,则需要内涵建设中更多融入“海丝”文化元素,让文化传承人才担任主角。

此外,政府可以通过“文创生活圈”、“文创社区”等人才孵化基地、人才驿站的建立,将文化、艺术、设计、商业等与文化数字化相关的行业整合到特定的区域中,以汇聚大量的文化数字化传承人才,为文化传承与数字技术合作搭建一个理想的平台,实现“文化赋能”。

### 参考文献

- [1] MITSCHKE N, VOGT F, KNOX D, et al. Intangibles: enhancing access to cities' cultural heritage through interpretation [J]. *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, 2013, 7(1): 68—77.
- [2] LANDORF C. A framework for sustainable heritage management: a study of UK industrial heritage sites [J]. *International Journal of Heritage Studies*, 2009, 15(6): 494—510.
- [3] 赵婷, 陶信伟. 日本文化遗产数字化保护经验与启示 [J]. *文化艺术研究*, 2018, 11(4): 19—27.
- [4] 肖远平, 王伟杰. 我国文化遗产数字化公共服务平台建设路径研究——以荆楚文化遗产的开发建设为例 [J]. *深圳大学学报: 人文社会科学版*, 2016, 33(2): 43—49.
- [5] 黄体杨, 欧阳光. 非遗数字信息资源建设的起点: 协同开展非遗传承人建档保护的分析模型 [J]. *图书馆论坛*, 2018, 38(12): 8—15.
- [6] 谈国新, 张立龙. 非物质文化遗产数字化保护与传承刍议 [J]. *图书馆*, 2019(4): 79—84.
- [7] 邹文兵. 由“非遗”资源到文化产业——泉州提线木偶戏产业化发展路径研究 [J]. *武汉理工大学学报: 社会科学版*, 2018, 31(6): 136—143.
- [8] 龚春英. 非物质文化遗产传承与地方高校应用型人才培养模式研究 [J]. *五邑大学学报: 社会科学版*, 2018, 20(4): 86—89.
- [9] 周建标. 泉州发展海丝文化旅游的机遇、优势及路径选择 [J]. *长江论坛*, 2016(5): 61—66.
- [10] 毕传龙. 大数据时代民俗文化资源的数字化 [J]. *民族艺术研究*, 2016, 29(3): 87—93.
- [11] 梁辰浩. 新媒体背景下博物馆数字化技术的应用与革新 [J]. *当代电影*, 2016(2): 178—181.
- [12] 徐进. 推动文化创意产业与科学技术高度融合 [J]. *人民论坛*, 2019(17): 140—141.

## Study on the Development of Talents on Culture Inheritance digitization

——Taking Quanzhou “Maritime Silk Road” culture for example

LIN Jian

(School of Business, Quanzhou Normal University, Quanzhou Fujian 362000, China)

**Abstract:** To intensify the development of talents for the digital transmission of “maritime silk road” culture in Quanzhou is not only the inherent requirement of regional economic transformation and development under the background of cultural economy, but also the indispensable means to enhance the soft power of local culture. SWOT method is adopted to analyses the advantages of “maritime silk road” culture, local cultural industry and talent policy in Quanzhou, also the difficulties in the development and implementation of digital talents for cultural heritage. Taking the historical opportunities of the digital China strategy and Quanzhou “maritime silk road” core area construction, it studies the feasibility and necessity of talents development for digital transmission of culture. The four-in-one strategy, which is established with the guidance of government, industries as carrier and support from universities and scientific research institutions, is put forward. It carries on the digital transmission talent development of “maritime silk road” culture from the aspects of innovative talent idea, enhancing the ability of industrial science and technology, constructing the talent training mode and creating ecological atmosphere.

**Key words:** “Maritime Silk Road” culture; digital technology; culture talents

# 中国高校科技成果产业化研究文献计量分析

许 琦

(台州职业技术学院 台州中小企业信息化应用技术协同创新中心, 浙江 台州 318000)

**摘要:**从中国知网中采集了 495 篇 2015—2019 年间中国高校科技成果产业化研究的中文核心期刊文献,借助 SATI、UCINET、NetDraw 等软件进行文献计量分析。从发文年度、载文期刊以及发文机构等三个方面分析了中国高校科技成果产业化研究的结构特征分布情况,并以关键词图谱形式展示了热点问题。研究表明:高校科技成果产业化研究在国内受到了相当重视,各类成果不断涌现,年发文量较多,且比较稳定;研究热点主要包括欧美经验模式借鉴、技术转移体系构建、成果转化因素分析以及收益分配机制改革等问题。各个热点问题的研究成果共性特征显著,瞄准中国高校科技成果产业化桎梏所在,为构建适合中国国情的高校科技成果产业化有效解决方案这一共同目标而努力。

**关键词:**科技成果;产业化;中国高校;文献计量分析;知网

**中图分类号:**G644 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0026-07

科技成果产业化是指为研发新技术、开发新产品、拓展新产业,对科技成果进行后续开发、应用、推广等活动<sup>[1]</sup>。《中国制造 2025》明确提出:要实现制造强国的战略目标,必须推进科技成果产业化,完善科技成果转化运行机制、激励机制、协同推进机制,加快科技成果转化和产业化进程<sup>[2]</sup>。目前高校科技成果产业化工作在稳步推进。但是,由于对教师考核机制不完善、成果转化体系不健全、国有资产处置责任不清晰、以及激励制度不到位等问题,高校有相当多科技成果尚停留在纸面上,并没有“走出”实验室,离产业化还很远。鉴于此,不少专家、学者对高校成果的转化、产业化问题进行了探讨。本文拟以近五年中国高校科技成果产业化研究文献为研究对象,借助文献题录信息统计分析工具(SATI)<sup>[3]</sup>、加州大学欧文分校网络分析软件 UCINET<sup>[4]</sup>、网络图谱软件(NetDraw)<sup>[5]</sup>等软件进行文献计量分析。

## 1 数据选择与统计

本文的计量数据来自中国知网的学术期刊数据库。在期刊检索面板中选择专业检索:检索式为 SU='高校'+ '大学' AND (SU='专利运营'+ '产业化'+ '技术转移'+ '成果转化'),即主题包含高校或大学,并且主题包含专利运营、产业化、技术转移或成果转化;发表时间界定为从 2015 年到 2019

年;来源类别限定在核心期刊(北京大学《中文核心期刊要览》来源期刊)、CSSCI(中文社会科学引文索引来源期刊(含扩展版))和 CSCD(中国科学引文数据库来源期刊(含扩展版))。检索日期为 2019 年 9 月 16 日,检索得到的文献为 868 篇。剔除其中的报道、简介等无关文献,最终得到 495 篇有效文献。

### 1.1 发文年度统计分析

高校科技成果产业化研究文献年度分布情况如图 2 所示。

2012 年杜黎明委员在全国政协第十届全国委员会第四次会议上提出“关于促进专利产业化的提案”<sup>[6]</sup>,由国务院转交国家知识产权局会同科技部办理。杜黎明委员提出的建立专利产业化基地、建立和完善知识产权评估体系以及推进产学研联盟建设等对策建议引起了国内相关学者的共鸣和关注。近年来,高校科技成果产业化研究在国内受到了相当重视,各类成果不断涌现。从图 2 中可以看出,近五年中国高校科技成果产业化研究的年发文量较多,且比较稳定,在 110 篇上下小幅度地波动。其中,2016 年发文量最少,为 95 篇;2017 年发文量最多,为 132 篇;2019 年不完全统计发文量为 31 篇(截止到 2019 年 9 月 16 日)。鉴于知网收录有一定的滞后性,预计 2019 年全年发文量为 80 篇左右。

**收稿日期:**2020-02-17

**基金项目:**2016 年度台州市哲学社会科学规划社科优秀青年专项课题(16GHQ17);2016 年度教育部人文社会科学研究青年基金项目(16YJC630150)。

**作者简介:**许琦(1983—),男,浙江台州人,台州职业技术学院信息技术工程学院,副院长,副教授,博士,研究方向:专利分析、技术创新管理。



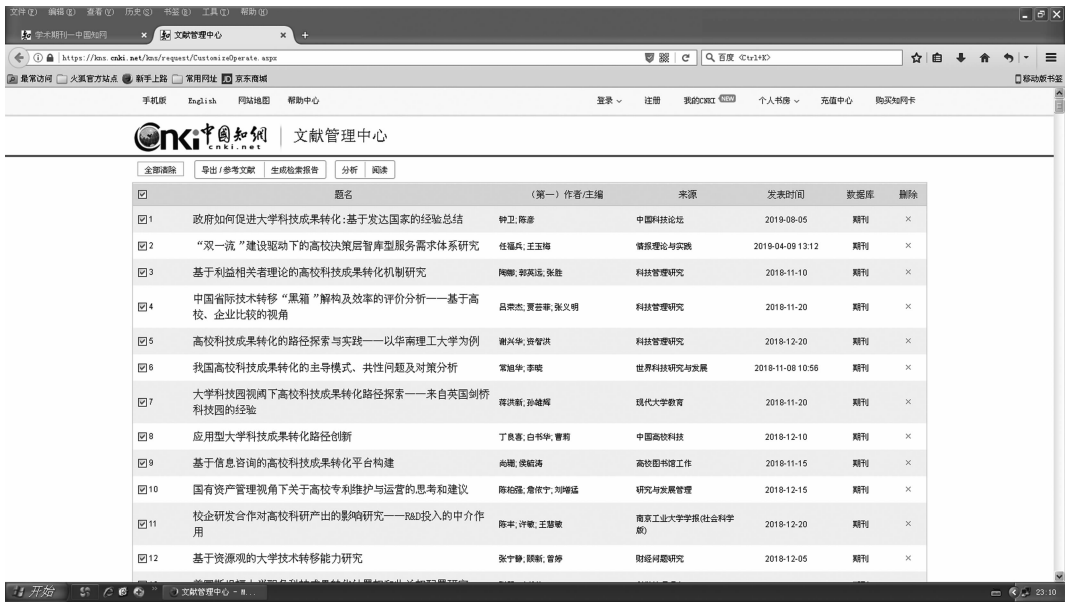


图1 有效文献检索结果

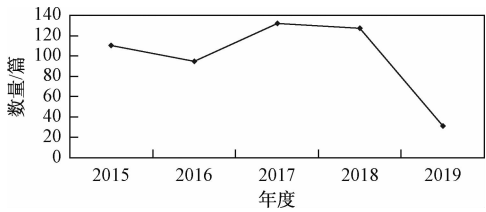


图2 中国高校科技成果产业化研究文献年度分布

1.2 载文期刊统计分析

高校科技成果产业化研究载文期刊分布情况如表1所示。

由表1可知,中国高校科技成果产业化研究载文量不少于3篇共27个期刊,这些期刊分布特征如下:①从期刊类别上看,27个期刊中,有5个一级期刊,12个C刊,其余为核心期刊,这些期刊在业内有相当的威望和影响力,也体现了相关研究成果的水平 and 价值;②从学科属性上看,27个期刊中有12个期刊属于社会科学Ⅱ辑的高等教育类;8个期刊属于基础科学类;4个期刊属于经济与管理科学类;1个期刊属于社会科学Ⅱ辑的成人教育与特殊教育类;1个期刊属于社会科学Ⅰ辑的民商法类;1个期刊属于信息科技

表1 中国高校科技成果产业化研究载文期刊分布(载文量≥3篇)

序号	期刊	载文量	类别	序号	期刊	载文量	类别
1	中国高校科技	153	核心	15	情报杂志	5	C刊
2	科技管理研究	67	核心	16	现代教育管理	5	核心
3	科技进步与对策	28	C刊	17	复旦教育论坛	4	C刊
4	中国科技论坛	17	C刊	18	高教探索	4	C刊
5	科学管理研究	15	C刊	19	高校教育管理	4	C刊
6	科学学研究	13	一级	20	中国高教研究	4	一级
7	科学学与科学技术管理	9	C刊	21	教育评论	4	核心
8	高等工程教育研究	8	一级	22	中国成人教育	4	核心
9	教育发展研究	8	一级	23	电子知识产权	3	核心
10	国家教育行政学院学报	7	C刊	24	科技导报	3	核心
11	黑龙江高教研究	7	核心	25	实验技术与管理	3	核心
12	研究与发展管理	7	C刊	26	世界科技研究与发展	3	核心
13	江苏高教	6	C刊	27	中国高等教育	3	C刊
14	科研管理	6	一级				

注:①表1类别列中,“一级”表示该期刊属于浙江大学国内学术期刊名录(2016年修订版)一级期刊;②“C刊”表示该期刊属于中文社会科学引文索引(2017—2018)和(2019—2020)来源期刊(不含扩展版);③“核心”表示该期刊属于中文核心期刊要目总览(2014版)和(2017版)核心期刊。

类。可见高校科技成果产业化研究涵盖多个学科,涉及教育学、基础科学、经济学、管理学、法学、信息学等诸多领域;③从载文数量上看,载文期刊相对比较集中,特别是中国高校科技、科技管理研究、科技进步与对策等三个期刊,近几年对高校科技成果产业化研究尤为关注,刊载了大批相关成果,共 248 篇,占比 50.1%(248/495);④从期刊出版周期上,27 个期刊中,6 个期刊两个月出版 1 期,15 个期刊一个月出版 1 期,6 个期刊半个月出版 1 期,平均出

版周期为 1.11 个月。从 2015 年 1 月到 2019 年 9 月共 57 个月中,上述期刊平均出版 51.35(57/1.11)期,每期平均载文量为 7.79(400/51.35)篇,这反映了中国高校科技成果产业化研究所受的关注效果和重视程度。

### 1.3 发文机构统计分析

发文机构统计分析以各文献标注的第一单位为准,按照一级机构统计发文数量。统计情况如表 2 所示。

表 2 中国高校科技成果产业化研究发文机构分布(发文数量不少于 5 篇)

序号	一级机构	发文数量	性质	序号	一级机构	发文数量	性质
1	上海交通大学	13	综合性大学 (211 工程,985 工程)	13	中山大学	8	综合性大学 (211 工程,985 工程)
2	同济大学	13	综合性大学 (211 工程,985 工程)	14	南京工业大学	7	综合性大学
3	浙江大学	12	综合性大学 (211 工程,985 工程)	15	清华大学	7	综合性大学 (211 工程,985 工程)
4	华南理工大学	11	综合性大学 (211 工程,985 工程)	16	天津大学	7	综合性大学 (211 工程,985 工程)
5	西南交通大学	10	综合性大学(211 工程)	17	北京工业大学	6	综合性大学(211 工程)
6	北京航空航天大学	9	综合性大学 (211 工程,985 工程)	18	北京科技大学	6	综合性大学 (211 工程)
7	北京理工大学	9	综合性大学 (211 工程,985 工程)	19	华南农业大学	6	综合性大学
8	大连理工大学	9	综合性大学 (211 工程,985 工程)	20	绍兴文理学院	6	综合性大学
9	中国科学技术大学	9	综合性大学 (211 工程,985 工程)	21	武汉大学	6	综合性大学 (211 工程,985 工程)
10	北京化工大学	8	综合性大学 (211 工程)	22	西安交通大学	6	综合性大学 (211 工程,985 工程)
11	华东师范大学	8	综合性大学 (211 工程,985 工程)	23	北京大学	5	综合性大学 (211 工程,985 工程)
12	中国科学院	8	科研院所	24	西北工业大学	5	综合性大学 (211 工程,985 工程)

从表 2 可以看出,中国高校科技成果产业化研究发文机构的特征分布如下:①从发文数量上,这 24 家机构共发文 194 篇,约占文献总量的 39.19%(194/495)。这表明高校科技成果产业化研究群体集中趋势比较明显;②从机构属性上看,排名前 24 的机构除了中国科学院外,其余均为知名的综合性大学。23 家知名综合性大学中,16 家为 985 工程大学,20 家为 211 工程大学。这表明在这些知名大学里同样存在科技成果产业化难、转化率低等问题,也引起来这些高校相关学者的重视;③从二级机构上,科技类二级机构(如科技发展研究院、产业技术研究院、科技情报研究所、战略咨询研究院、技术转移中心、创新管理研

究中心、科技成果推广中心、技术合作中心、生产力促进中心、科技处等),有 100 多家;其次为经管类二级机构(如经济学院、管理学院、商学院等),共 73 家;再次为法学类二级机构(如知识产权学院、法学院、法治战略研究中心、马克思主义学院等),共 38 家;教育类二级机构(如师范学院、教育学院、高等教育研究所、教育科学院等),共 30 家。这与科技成果产业化研究涉及教育学、基础科学、经济学、管理学、法学等诸多领域的特点相符。同时也表明各个高校为推进科技成果产业化工作,纷纷成立了科技成果推广中心、技术合作中心、生产力促进中心等二级机构,致力于建立科技成果转移服务体系、整合科技成果、开展技术

合作、促进技术创新等职能工作,并取得了一定成效。

## 2 研究热点分析

分析对象为:495 篇文献的关键词;分析环境为:操作系统为 Windows XP SP3,辅助软件为 SATI<sup>[3]</sup>、UCINET<sup>[4]</sup>以及 NetDraw<sup>[5]</sup>。分析结果为:关键词共现图谱。分析过程如下:

1)关键词提取。应用 SATI<sup>[3]</sup>提取关键词,计算关键词频率,并从高到低排序。

2)共词分析。取前 100 个高频关键词,分析计算关键词共现强度,如图 3 所示。其中数据越大,表示

关键词共现性越强。

3)聚类分析。应用 UCINET<sup>[4]</sup>做聚类分析,将关联密切(共现强度大)的关键词聚集在一起,得到关键词聚类表。

4)可视化。应用 NetDraw<sup>[5]</sup>将关键词聚类表可视化,如图 4 所示。其中,节点表示关键词,节点间的连线表示关键词的共现关系。根据步骤(3)的关键词聚类结果,对每个节点标记不同颜色,得到关键词共现图谱,用于揭示近年来高校科技成果产业化研究领域

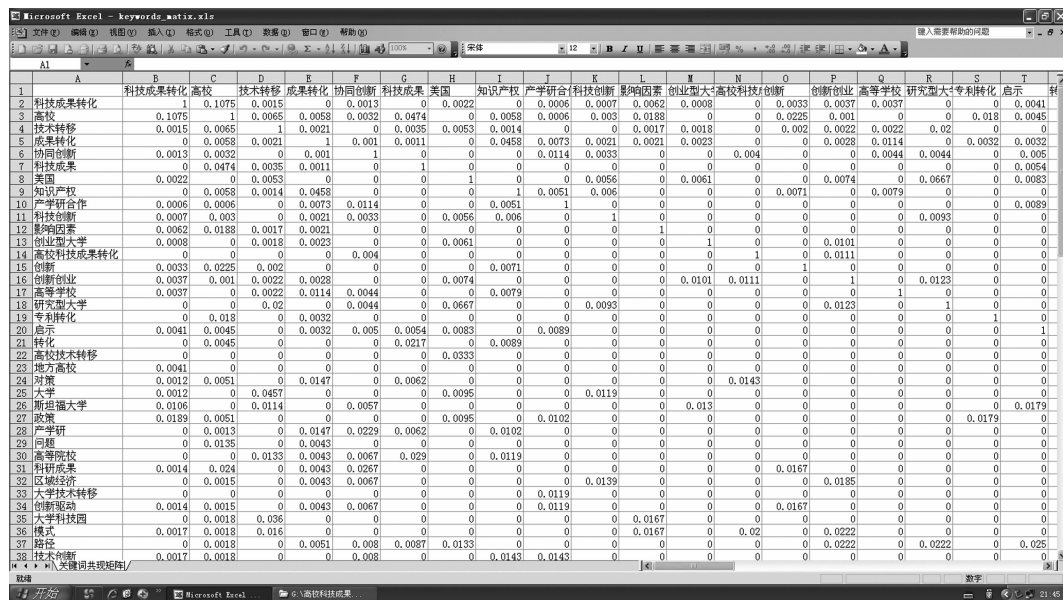


图 3 关键词(Top100)共现矩阵

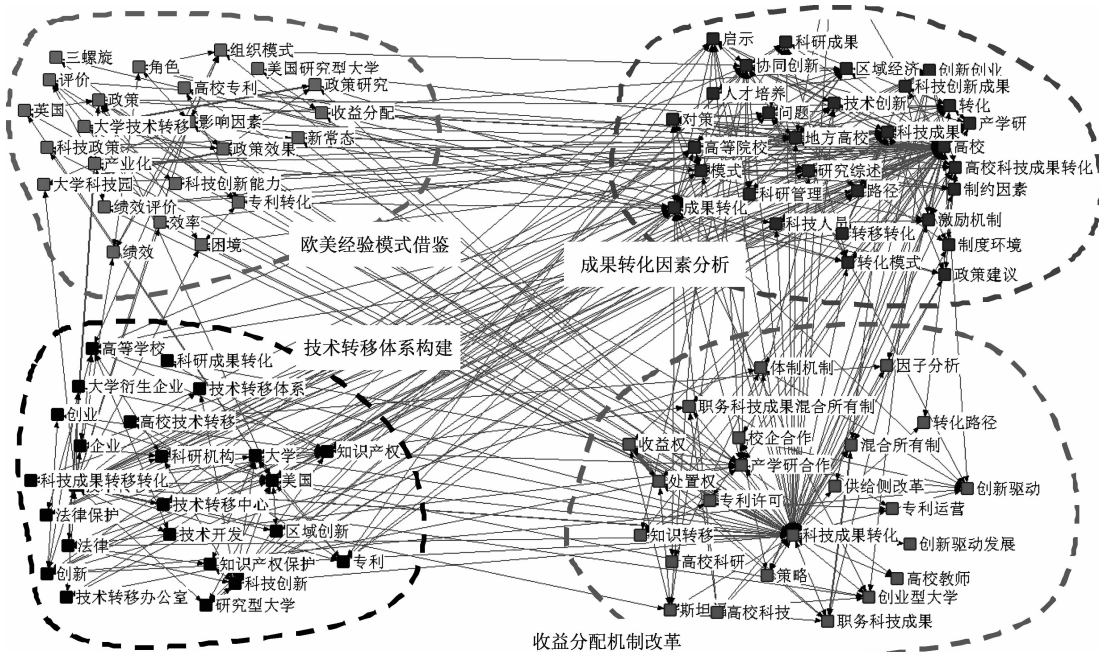


图 4 高校科技成果产业化研究热点

从图4中可以看出,高校科技成果产业化研究主要包括欧美经验模式借鉴、技术转移体系构建、成果转化因素分析以及收益分配机制改革等热点问题,具体分析如下。

## 2.1 欧美经验模式借鉴

该类别研究成果在探讨国内高校科技成果产业化困境和桎梏的基础上,尝试借鉴欧美发达国家的实施经验、组织模式和政策机制等,提出适合中国国情的高校科技成果产业化有效解决方案。例如,Milken Institute<sup>[7]</sup>在发布美国最佳技术转移高校排名并总结其实践措施的基础上,从保持基础科学研究经费、设立联邦商业化基金及配套资助、应用推广最佳实践经验等方面,提出了提高高校的技术转移和商业化效率的若干建议;李建中<sup>[8]</sup>分析了美国加州大学欧文分校商业化导向、服务团队、激励机制、产学研互动等内因和外因,提出了适合中国国情的提高高校科技成果转化效率的新思路;李晓慧等<sup>[9]</sup>解读了美国促进科技成果转化与技术转移政策体系的借鉴意义,提出了完善中国科技成果产业化政策体系的若干措施;温琳等<sup>[10]</sup>分析了科研与科技成果转化的双元协调机制,提出了构建双元型组织的有效举措;方华梁等<sup>[11]</sup>总结了美国创业型大学技术转移的实践经验,指出应给予中国高校科技成果转化内外部协同支持,为技术转移提供持久帮助;钟卫等<sup>[1]</sup>构建了干预供给方、干预需求方以及促进供需双方连接三种机制,并用欧美发达国家的政策实践解释和验证这三种机制。

这些研究成果的共性特点在于:①以欧美发达国家技术转移成效突出的高校或大型行动计划为典型,总结其实践经验、机制模式或政策体系;②从项目经费、转化媒介、产学研合作、激励机制、政策体系等方面提炼了有效的实施举措或对策建议;③不是盲目地“照搬照抄”,而是将国外经验模式借鉴吸收,为构建适合中国国情的高校科技成果产业化有效解决方案而努力。

## 2.2 技术转移体系构建

该类别的研究成果试图剖析科研机构、技术转移中心(办公室)、大学衍生企业等中介机构在高校科技成果转化产业化中角色定位,建立健全中国高校科技成果转化体系。例如,戴炳钦等<sup>[12]</sup>以华南理工大学国家大学科技园为例分析了大学科技园在技术转移中的角色定位,归纳了大学科技园促进区域内产学研技术转移的三个必要条件;任浩等<sup>[13]</sup>剖析了大学衍生企业的概念属性、创生动因与运行机制,为发展中国大学衍生企业提供了政策设计基础知识;邵渊韬<sup>[14]</sup>分

析了高校科技成果转化机构的企业化运作模式,从体制改革、市场导向、强化激励、队伍建设等方面提出了提高高校科技成果转化率的有效途径;刘启雷等<sup>[15]</sup>基于西安市科技成果转化生态分析,构建了高校科技成果转化生态系统;孙玉涛等<sup>[16]</sup>以中国136所高校为研究样本构建了高校研发合作网络,验证了技术转移中心的倒U型调节作用。

上述研究成果有如下共性特征:①均以技术转移中介机构为着力点,分析其在技术转移体系中的角色,找准其定位;②探索构建技术转移体系的驱动要素,总结其产生的必然性和存在的必要性;③剖析技术转移体系的有效运行机制,支持其健康、长期发展。

## 2.3 成果转化因素分析

该类别的研究成果主要集中在分析人才培养、区域经济、激励机制、制度环境等影响因素。例如,辛志虹<sup>[17]</sup>以陕西省为例,总结了高校科技成果转化有待完善的问题,提出完善高校科研评价体系、建立市场投资机制等措施营造良好的成果转化环境,提升高校科技成果转化率;罗林波等<sup>[18]</sup>结合《高等学校科技成果转化和技术转移基地认定工作指导标准》及高校科技成果转化与技术转移管理工作的实践,对高校成果转化与技术转移管理工作的认识、核心要点、难点和堵点展开分析并提出相应的政策建议;王丽平等<sup>[19]</sup>构建了“人才培养—科技成果创新质量”关联模型,剖析了包容型人才开发模式、心理所有权以及市场导向的影响作用;郑学党等<sup>[20]</sup>分析了当前制约高校科技成果转化的财税问题,从“提高积极性,最大程度产出科研成果”的核心目的出发,就供给和需求、作价入股、股权激励政策、国有资产评价决策体系、成果转化管理等方面提出了若干政策建议。

这些研究成果的共性特点在于:①针对中国高校科技成果转化率等问题,从人才、经济、环境等方面分析其正面和负面的影响因素,试图找到桎梏所在;②通过影响因素的正反对比,必要时进行实证分析,弘扬正面因素,抑制负面因素;③提出相应的政策建议,尝试营造一个良好的科技成果转化环境。

## 2.4 收益分配机制改革

该类别的研究成果试图采用科技成果职务化、产权配置、股权激励等方式,改革收益分配机制,为科技人员创造更好的产业化环境。例如,魏琼<sup>[21]</sup>剖析了美日两国高校职务成果转化的权利配置,具体涉及外在形式、内在原则、配置方式、收益奖励权和财务自主支配权等,并探讨了对中国的借鉴和启示;周海源<sup>[22]</sup>对高校在职务科技成果转化中应承担的义务及责任

进行剖析和细化,使得科技成果转化机制更接地气;国内一些高校尝试开展了职务科技成果混合所有制改革。康凯宁等<sup>[23]</sup>阐述了职务科技成果混合所有制的基本逻辑,在四川省全面改革创新试验区开展了促进职务科技成果有效转化的改革试验,取得了相当成效;西南交通大学出台了《西南交通大学专利管理规定》,全面深入的推开了该项改革,为其他高校职务技术成果权属分配提供了可资借鉴的经验<sup>[24]</sup>;随后,又推出了实施这种制度的实施细则,对职务科技成果转化过程中学校控制力、学校署名权、学校介入权、操作便利、线程控制等未见的潜在问题进行分析,推动改革落地<sup>[25]</sup>。

上述研究成果的共性特征包括:①尝试以企业化方式来运营,以技术干股、股权奖励等形式激励科技人员;②破除知识产权束缚,给予高校科技人员更多、更大的权限空间,尤其是收益奖励权和财务自主支配权,将科技成果推向市场;③制定相关政策,明确相关方的责任和义务,保障科技成果产业化后的合理、合法收益。

### 3 结束语

本文以中国知网核心期刊数据库 2015—2019 年间收录的中国高校科技成果产业化研究文献为数据源,从发文年度、载文期刊以及发文机构等三个方面进行了文献计量分析,并以关键词图谱形式展示了中国高校科技成果产业化研究的热点问题。结论如下:①近年来,高校科技成果产业化研究在国内受到了相当重视,各类成果不断涌现,年发文量较多,且比较稳定;②中国高校科技成果产业化研究的载文期刊相对比较集中,涉及多个学科领域,主要包含了高等教育类期刊、基础科学类期刊、经济与管理科学类期刊以及民商法类期刊等;③在 985 工程大学、211 工程大学等知名大学里同样存在科技成果产业化难、转化率高低等问题,也引起来这些高校相关学者的重视。各个高校纷纷成立了科技成果推广中心、技术合作中心、生产力促进中心等二级机构,推进科技成果产业化工作;④中国高校科技成果产业化研究热点主要包括欧美经验模式借鉴、技术转移体系构建、成果转化因素分析以及收益分配机制改革等问题。各个热点问题的研究成果共性特征显著,瞄准中国高校科技成果产业化桎梏所在,为构建适合中国国情的高校科技成果产业化有效解决方案这一共同目标而努力。

### 参考文献

[1] 钟卫,陈彦.政府如何促进大学科技成果转化:基于发达国家

的经验总结[J].中国科技论坛,2019(8):170—178.

- [2] 国务院.国务院关于印发《中国制造 2025》的通知[EB/OL]. (2015-05-08). [http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content\\_9784.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm).
- [3] 刘启元,叶鹰.文献题录信息挖掘技术方法及其软件 SATI 的实现——以中外图书情报学为例[J].信息资源管理学报,2012(1):50—58.
- [4] BORGATTI S, EVERETT M, FREEMAN L. UCINET[EB/OL]. (2010-10-21). <http://www.analytictech.com/ucinet/>.
- [5] BABIN J E. NetDraw[EB/OL]. (2003-06-09). <http://www.jeb.com.fr/en/netdraw.shtml>.
- [6] 杜黎明.关于促进专利产业化的提案[J].中国科技产业,2012(3):51.
- [7] 朱敏.美国高校技术转移现状分析与措施建议[J].世界科技研究与发展,2017(3):255.
- [8] 李建中.加州大学欧文分校科技成果转化的经验与借鉴[J].中国高校科技,2017(5):62—65.
- [9] 李晓慧,贺德方,彭洁.美国促进科技成果转化的政策[J].科技导报,2016,34(23):137—142.
- [10] 温琳,陈光华.科研与科技成果转化的二元协调机制——以美国清洁能源计划为例[J].技术经济,35(10):59—65.
- [11] 方华梁,陈艾华.内外部协同支持:美国创业型大学技术转移的模式——以斯坦福大学为例[J].中国高校科技,2015(8):62—66.
- [12] 戴炳钦,简兆权,伍紫莹.大学科技园在技术转移中的角色定位——以华南理工大学国家大学科技园为例[J].中国高校科技,2019(7):83—86.
- [13] 任浩,卞庆珍.大学衍生企业:概念属性、创生动因与运行机制[J].南京社会科学,2018(6):82—88.
- [14] 邵渊韬.高校科技成果转化机构的企业化运作[J].中国高校科技,2018(6):79—81.
- [15] 刘启雷,郭鹏,李苗,等.高校科研院所基础研究成果转化生态系统构建研究——基于西安市成果转化生态的分析[J].科学管理研究,2018,36(3):24—27.
- [16] 孙玉涛,刘小萌.高校研发合作网络位置与技术成果转移——技术转移中心的调节作用[J].科学与科学技术管理,2018,39(8):3—12.
- [17] 辛志虹.陕西高校科技成果转化环境分析[J].中国高校科技,2019(8):90—92.
- [18] 罗林波,李剑,张刚刚.高校科技成果转化与技术转移管理关键问题探析[J].中国高校科技,2019(6):75—78.
- [19] 王丽平,王俊霞.包容型人才开发模式对高校科技成果创新质量的影响机制研究[J].科技进步与对策,2019,36(3):146—153.
- [20] 郑学党,汪春雨,赵乐祥.新时代推进高校科技成果转化的财税激励政策研究[J].高校教育管理,2019,13(2):68—77.
- [21] 魏琼.美日高校职务成果转化的权利配置及启示[J].宁夏社会科学,2018(6):57—64.
- [22] 周海源.职务科技成果转化中的高校义务及其履行研究[J].中国科技论坛,2019(4):142—151.
- [23] 康凯宁,刘安玲,严冰.职务科技成果混合所有制的基本理

- 辑——与陈柏强等三位同志商榷[J]. 中国高校科技, 2018 (11): 47—50.
- [24] 西南交通大学. 西南交通大学专利管理规定[EB/OL]. (2017—03—16). <https://cyc.swjtu.edu.cn/info/1015/1055.htm>.
- [25] 西南交通大学. 南交通大学职务科技成果转化实施细则(试行)[EB/OL]. (2017—03—16). <https://cyc.swjtu.edu.cn/info/1015/1056.htm>.

## Bibliometric Analysis of Studies on the Industrialization of Scientific and Technological Achievements in Chinese Universities

XU Qi

(Taizhou Informatization Application Technology Collaborative Innovation Center for Small and Medium-sized Enterprises,  
Taizhou Vocational and Technical College, Taizhou Zhejiang 318000, China)

**Abstract:** A total of 495 Chinese core journal literatures on the industrialization of scientific and technological achievements in Chinese universities from 2015 to 2019 are collected from cnki. Bibliometrics analysis is conducted with the help of software such as SATI, UCINET and NetDraw. The structural characteristics distributions of the industrialization of scientific and technological achievements in Chinese universities are analyzed from three aspects: publication year, publication journal and publication organization, and the hot issues are present in the form of keyword map. The results show that: the studies on the industrialization of scientific and technological achievements in universities have received considerable attention in China. All kinds of achievements have been emerging, and the annual number of articles published is relatively large and stable. The studies mainly focus on the reference of European and American experiences and models, the construction of technology transfer systems, the analysis of achievement transformation factors and the reform of income distribution mechanisms. These focuses have obvious common characteristics, aiming at the shackles of the industrialization of scientific and technological achievements in Chinese universities, and striving for the common goal of constructing effective solutions to the industrialization of scientific and technological achievements in Chinese universities.

**Key words:** scientific and technological achievement; industrialization; Chinese universities; bibliometrics analysis; cnki

# 巢湖派河流域清水廊道技术产业推广模式的构建

刘花台<sup>1</sup>, 张萍<sup>1</sup>, 张浏<sup>2</sup>, 曹文志<sup>1</sup>

(1. 厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门 361102; 2. 安徽省环境科学研究院, 合肥 230000)

**摘要:**派河为巢湖一级支流,水质差,针对派河流域开展了多项研究,产生了多项清水廊道技术,尚缺乏有效的产业化推广模式,基于此,构建了多层次、多元化清水廊道技术产业推广模式(“2S”VIP)。该模式包括组织机构、运行机制、推广模式平台、保障措施等。其中清水廊道技术推广模式平台包括综合技术信息平台、综合服务平台、产业化推广平台,以综合技术信息平台为支撑,以互联网+、大数据等为手段,综合服务平台为依托,产业化推广平台实现技术与市场的衔接。在政府的引导和监督下,通过一系列保障措施使各平台能顺利运行,达到产、学、研、用的有机融合。

**关键词:**清水廊道技术;产业化;推广模式;派河;巢湖

**中图分类号:**X-324 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0033-05

巢湖富营养化现象严重,是中国政府重点治理的湖泊之一。派河为巢湖的一级支流,现状水质为地表水Ⅳ~劣Ⅴ类水。虽然国家投入大量资金开展了多项清水廊道技术研究,产生了多项科技成果,但巢湖水质并未得到根本好转,其原因与科技成果转化率低、未能实施有效的清水廊道技术有很大关系。而从科技成果向科技产业的转化不是一蹴而就的事情,必须加强科技成果转化体制机制的深化改革<sup>[1]</sup>,加强产业技术的推广应用。王治民等认为中国尚未形成完善的环保科技成果转化政策体系,尚未建立社会化、网络化的信息服务平台,环境污染防治技术评估制度体系尚未建立<sup>[2]</sup>。李孔岳从科研导向、资金来源、科研主体、科研管理、政府作用等方面比较了美国、德国、英国、日本等国家的科技成果转化模式的特点,对提高中国科研成果转化率、建立以企业为主体、官产学研相互合作机制、降低投资风险具有很好的借鉴<sup>[3]</sup>。于合龙等<sup>[4]</sup>利用信息技术和互联网平台开发出了农业科技服务云平台,使科技服务更精准化与个性化。姜红等结合哈长城市群科技服务发展现状,构建了“需求分析—资源匹配—服务对接—评估反馈”的生态化科技服务模式<sup>[5]</sup>。李玲娟等认为科技成果转化涉及到四个主要因素,分别为技术资源、商业化平台、人力资源、商业环境<sup>[6]</sup>。本文将从组织机构、运

行机制、推广模式平台、保障措施等方面论述产业推广模式的构建,对组织中各部门的职能进行分析,给出运行机制技术路线,分析产业技术的推广需要搭建的平台,各平台的作用和相互关系,以及产业推广平台顺利实施的保障措施,并希望能以简洁明了的符号替代巢湖派河流域清水廊道技术产业推广模式,方便记忆和查询,实现科研单位和企业、市场的快速、准确、有效地对接,推进派河流域清水廊道技术产业化,具有十分重要的意义。

## 1 产业推广模式架构

构建多层次、多元化清水廊道技术推广模式,包括组织机构、运行机制、推广模式平台、保障措施等。

1) 组织结构。组织机构以政府为引导和监督,技术单位为支撑,清水廊道技术推广中介服务机构为串联引线,组织搭建起政府—企业—技术单位—市场的桥梁,打造出监管严格、组织严密、产业技术转化竞争力强、联结机制紧密、环境效益显著、沟通顺畅的完整的产业链条,见图1。

2) 运行机制。通过广泛地挖掘筛选、总结提炼、逐级推荐,对清水廊道技术进行综合集成,在保护知识产权基础上寻求技术支持。

以理论和调查为基础,横向上,在政府引导和监督下,开拓市场,搭建供—需双方合作的桥梁,寻求与

收稿日期:2020-02-14

基金项目:国家科技重大专项“水体污染控制与管理”之子课题(2017ZX07603-004-04)。

作者简介:刘花台(1967—),女,河北石家庄人,厦门大学环境与生态学院,硕士生导师,副教授,博士,研究方向:水环境科学。

致谢:感谢安徽省环境科学研究院给予本项目的大力支持,感谢厦门大学环境与生态学院杨胜昌副教授和王飞飞工程师的帮助。

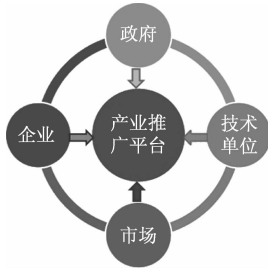


图1 产业推广平台组织结构图

相关产业的合作共赢,以 EPC、BOT、BOO、PPP、DBO 等模式开展市场运营,提供技术服务、工程实施、效果维护,对运营过程中存在的问题进行反馈,对各平台进行反复迭代修正,最终形成有利于产业化的推广模式;纵向上,构建“清水廊道技术集成—清水廊道技术遴选—单项或组合技术方案设计—污染削减效果模拟—技术、经济、工程效益综合评估—建设示范工程—应用效果验证—技术培训—应用推广—信息反馈—组合方案动态修正”的循环服务体系。运行机制路线图见图 2。

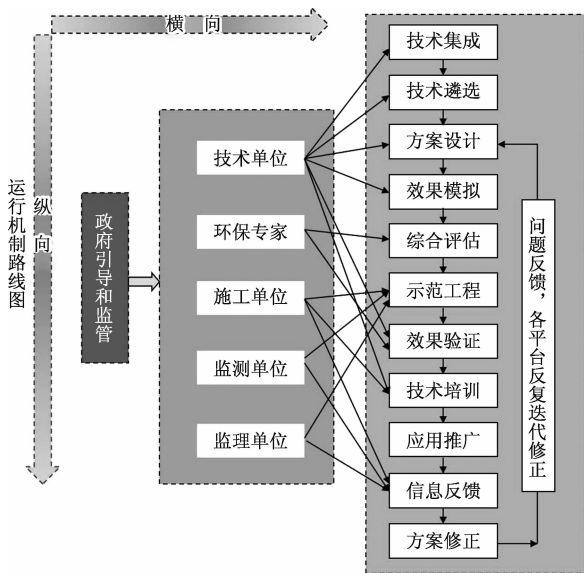


图2 产业化推广模式运行机制路线图

3)推广模式平台。清水廊道技术需要搭建平台完成产业的推广和市场化。主要包括:平台1—清水廊道综合技术信息平台;平台2—清水廊道技术综合服务平台;平台3—清水廊道技术产业化推广平台。各平台关系图见图3。

以技术信息平台为支撑,以互联网+、大数据等为手段<sup>[7]</sup>,综合服务平台为依托,产业化推广平台实现与市场的衔接。三个平台需要相互咬合,共同发力,才能实现清水廊道技术产业的顺利转化。各平台

主要结构框架见图4。

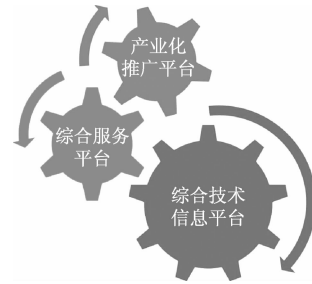


图3 清水廊道技术产业化技术平台关系图

4)保障措施。保障措施包括政策法规保障、政府支持和监督、知识产权保护和良好的综合服务,资金支持、风险管控措施等。

从技术遴选、方案设计、效果模拟、示范工程、培训、产业推广等每一步均离不开资金的支持,除了政府资金和企业资金外,天使投资、创业基金、风险投资、私募资金、上市融资等各种资金渠道都在创新成果价值增值过程的不同阶段发挥着作用<sup>[6]</sup>。寻求资金支持,是技术转化成功的关键之一。

从清水廊道技术到产业化存在一定的风险,从小试、中试到工程实施和运营,不仅存在技术风险、投资风险,还存在技术泄密风险。因此,制定良好的风险投资制度、知识产权保护政策,是做好产业推广的保障。

5)产业推广模式的简称。根据产业推广的思路和程序,选择遴选(Selection)-模拟(Simulation)-验证(Verification)-产业化推广(Industrialization Promotion)的首字母 SSVIP(“2S”VIP 模式)作为清水廊道技术产业化推广模式的简称。

## 2 产业推广模式实施细则

### 2.1 建设“派河流域清水廊道综合技术信息平台”

综合技术信息平台包括清水廊道技术遴选和集成、方案设计、技术效果模拟、技术支持和保护、技术导则及政策四部分内容。

#### 2.1.1 清水廊道技术遴选和集成

1)清水廊道技术类型。清水廊道技术类型可以按照层次划分。

第一层技术包括水质保障技术、污染负荷湿地削减技术、水系梳理技术、地形重塑技术、河道水力调蓄技术、藻华控制技术。

第二层水质保障技术包括污水集中处理技术、陆向缓冲带污染拦截技术、水陆交错带技术、河道底泥修复技术等;根据流域植被调查和植被对污染物截留净化规律,提供植被筛选技术(筛选原则、种类建议、



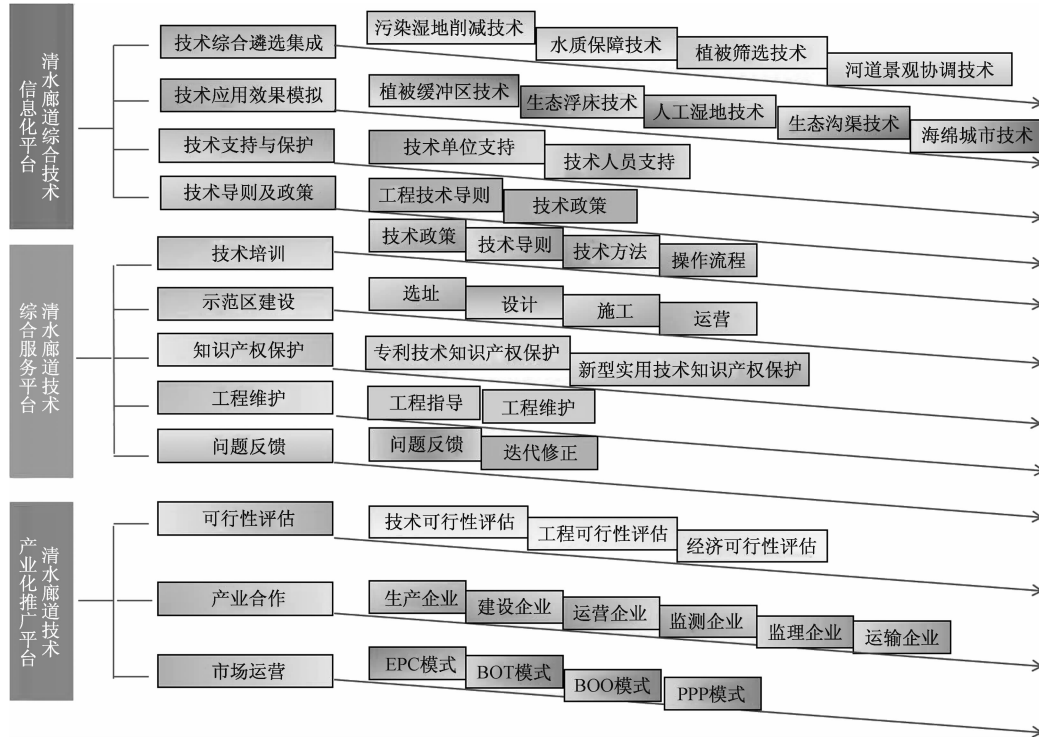


图4 清水廊道技术产业化平台结构框架图

乔灌木搭配建议)；河道底泥疏浚技术,河道底泥钝化技术;第二层污染负荷湿地削减技术包括生态沟塘技术、湿地净化前处理技术、河道湿地水质深度净化技术;其中生态沟塘技术包括生态沟塘串联湿地技术;河道湿地水质深度净化技术包括原位湿地污染负荷削减技术、旁路湿地污染负荷削减技术、河口湿地污染负荷削减技术等等。

另外还包括水质模拟技术、水环境容量计算技术、水源涵养技术、尾水补水技术、接触氧化技术、曝气生物滤床技术、雨水调蓄补水技术、生态浮岛技术、微生物修复技术等。

所有的技术均需要考虑景观规划,提供和谐的河道水质-景观-生态一体化技术等。

2)遴选原则。分类集成,严格遴选,使真正具备产业化条件的成熟环保技术走向市场。对于处于小试或中试阶段的技术暂归入动态观察区,待技术成熟再纳入技术信息平台,对外进行推广转化的环保技术应具备以下条件:

①属于清水廊道技术的范围;②在示范区或具体工程中运用一年以上,工程效果证明该项技术较先进,优于同类技术,各项环境指标、社会经济技术指标符合国家环境保护标准、规范和工程设计要求,有比较明显的环境效益、经济效益和社会效益;③示范工程设计科学、布局合理美观,与周围环境和谐统一,兼

顾景观,工程质量优良,具有一定的先进性、可靠性和实用性,运行管理水平高;⑤生产成本较低,运行费用少,操作简便;适用范围较广,在全国或分地区推广的普遍性和适用性程度较高。

根据以上遴选原则,针对具体区域、流域所具备的条件对拟推广转化的清水廊道技术进行详细技术筛选和论证,并进行单项技术尤其是复合技术的效果模拟评估,杜绝不适用或不成熟的技术进入市场,以免造成不必要的浪费和损失。

### 2.1.2 清水廊道技术应用效果模拟

1)方案设计。根据流域的气象、水文、地形地貌、流域特征(形状、长度、面积、坡降)、下垫面(土壤、植被)、岸坡类型、土地利用现状、污染程度等条件,因地制宜,进行清水廊道技术实施方案设计,给出至少3个比选方案。

2)方案效果模拟预测。应用层次分析法、HSFP模型、MatLab、GIS等分析和预测模型,对比选方案分别进行模拟预测,给出最优的植被组合,植被缓冲区宽度,人工湿地的面积、大小、工艺清水廊道组合。HSFP模型对不同清水廊道技术组合进行模拟,给出河道植被缓冲区(河岸植被缓冲带宽度模型和植被选择模型)、人工湿地、生态沟渠、海绵城市技术、生态浮床等等技术对非点源污染负荷的削减效率,模拟不同组合情况下的削减效果。

平台建立的技术路线:综合建立评估区空间数据库,包括几个模块:气象数据模块、水文数据模块、土壤数据模块、地形地貌数据模块、污染物数据模块、植被数据模块等。

①气象数据:降雨量、蒸发量、风速、风向、气温、湿度等。②水文数据:径流量(丰、平、枯水期)、流速、正常水位、洪水水位、泥沙含量等。③土壤数据:土壤饱和导水率,土壤储水能力等。④地形地貌数据:红外遥感航片解译,地形图高程点生成的坡度数据,地貌粗糙度或土地利用数据转换生成曼宁系数等。⑤污染物数据:污水径流量、水质中污染物 COD、氨氮、总氮、总磷、DO、BOD<sub>5</sub>、pH、Eh 监测值,土壤和底泥中污染物数据等。⑥植被数据:种类、数量、密度、覆盖度、生物量、植被根系层深度、宽度等。

### 2.1.3 技术支持与保护

尽可能多地汇集“十一五”、“十二五”及其他流域清水廊道技术。在平台上设置专门的技术支持和保护模块,寻求更多的技术支持和保护。

### 2.1.4 技术政策与导则

技术政策:包括国家和地方环境保护相关法律法规、标准,技术遴选、评估政策,产业政策,权益归属政策,税收优惠政策,奖励政策,政府资助政策<sup>[2]</sup>,专利保护政策,风险投资政策等。

制定清水廊道技术应用政策的具体步骤为:①首先构建清水廊道技术标准库,对经过示范流域应用后得到认可的技术工艺特性及参数进行规范;②根据流域治理需要和水质目标要求,对适用技术进行模块化处理和集合,对满足水质提升目标要求的适用技术进行标准化设置和指标细化。③在标准化数据基础上,针对不同情景下的治理需求制定对应技术解决方案,即在何种情景下适用何种技术或技术组合策略,从而实现清水廊道技术应用政策的合理制定。

技术导则:主要依托《派河流域水质提升与保障工程技术导则》及国家和地方相关技术导则和规范等。

## 2.2 建设“派河流域清水廊道技术综合服务平台”

建设技术综合服务平台,内容包括:技术培训、示范工程建设、产权保护、工程维护、问题反馈几个模块。

1)技术培训。主要包括国家环保相关政策、法律法规培训,《派河流域水质提升与保障工程技术导则》和清水廊道技术方法及操作流程的培训,清水廊道建设规划以及其他监测规范等相关的培训。

2)示范工程建设。展示示范区污染物削减效果,指导示范区选址、设计、施工、运营、监测与维护。

3)产权保护。开展知识产权保护宣传与培训,对专利技术和新型实用技术进行知识产权的界定和划分,指导技术转让和合同的签订。

4)工程维护。对开展的示范区工程或者其他工程进行指导和维护。

5)问题反馈。对设计、施工、运营、维护等过程中存在的问题及时进行反馈,对平台进行反复迭代修正,使得平台良好运行。

## 2.3 建设“派河流域清水廊道技术产业化推广平台”

技术产业化推广平台包括:可行性评估、产业合作、市场运营几个模块。

1)可行性评估。因地制宜选用清水廊道技术,对流域采用的清水廊道技术进行可行性评估,包括技术可行性评估、工程可行性评估、经济可行性评估。

2)产业合作和市场运营。在工程设计、原材料生产和运输、施工、维护等环节寻求生产企业、建设企业、运营企业、监测企业、监理企业、运输企业、的合作共赢,鼓励多元化主体参与的产业合作模式,在技术推广组织的构成中,研究政府主导推广组织、教育型技术推广组织、企业型技术推广组织与自助型技术推广组织的联合交叉模式。

在技术推广途径上,研究实现技术推广内容的综合化、推广方式的多样化、推广组织的多元化、推广保障的法制化,通过政府发挥技术推广机制的需求导向性。这其中,可通过 EPC (Engineer-Procure-Construct 模式:是指对一个工程负责进行“设计、采购、施工”,与通常所说的工程总承包含义相似)、BOT (Build-Own-Operate-Transfer 建设—拥有一经营—转让)、BOO ((Building-Own-Operation 建设、拥有、运营)、PPP (Public—Private—Partnership 公共—私营—伙伴关系,是指政府与私人组织之间,为了合作建设城市基础设施项目,或是为了提供某种公共物品和服务,以特许权协议为基础,彼此之间形成一种伙伴式的合作关系,并通过签署合同来明确双方的权利和义务,以确保合作的顺利完成,最终使合作各方达到比预期单独行动更为有利的结果)等模式引导政府资金、撬动社会资本投入实现“产学研用”相统一的科技产业转化和产业推广。

## 3 具体清水廊道技术产业化推广方案

### 3.1 平台推广

1)新闻发布会。在清水廊道技术推出时,召集新闻媒体召开新闻发布会,借助新闻媒体与政府等权威部门,提高潜在企业对该技术的认识,为下一步公关工作做好铺垫。

2)技术产品展示会。将清水廊道技术应用于派河全流域并作为示范工程,制作形象样板间,邀请企业观看应用后的处理效果,为该技术在其它流域的进一步应用推广提供标准示范。

### 3.2 信息推广

资源库营销,抓住重点,对潜在企业进行详细的调查,为企业“画像”,了解企业需求,减小因科技资源供需信息不对称为科技资源配置、对接带来的困难<sup>[8]</sup>。通过微信 APP、公众号等互联网手段,对清水廊道技术进行宣传和推广。对已形成合作关系的企业,进行及时地回访和关系维护,扩大用户的覆盖面。

## 4 结论

本文以巢湖派河流域为研究区,构建了多层次、多元化清水廊道技术产业推广模式(简称“2S”VIP模式)。该模式在单项清水廊道技术标准和规范化基础上,采用科学合理的方法对各项技术进行遴选、集成,从应用效果模拟、专利技术支持与保护、示范培训、产业化应用、市场运营等多维度开展清水廊道技术推广,在政府的引导和培育下,以清水廊道技术单位为支撑,由环保中介服务机构穿针引线,组织搭建清水廊道综合技术信息平台、清水廊道技术综合服务平台、清水廊道技术产业化推广平台,并通过一系列

保障措施使各平台能顺利运行,构建了社会化的清水廊道技术成果推广转化的网络服务体系及其运作机制,希望能在巢湖全流域形成可复制、可推广的技术产业链条,达到清水廊道技术产业化、河道清洁化、生态环境可持续发展的目的。

### 参考文献

- [1] 任媛媛. 合肥市促进科技成果转化体制机制改革研究实践[J]. 中国科技资源导刊, 2019, 51(4): 24—28, 35.
- [2] 王治民, 万宁, 孙晓蓉, 等. 环境保护科技成果转化政策思考[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(5): 172—174.
- [3] 李孔岳. 科技成果转化的模式比较及其启示[J]. 科技管理研究, 2006(1): 88—91.
- [4] 于合龙, 陈程程, 林楠, 等. 互联网+农业科技服务云平台构建与农业时空推荐算法研究[J]. 吉林农业大学学报, 2019, 41(4): 495—504.
- [5] 姜红, 高思芃, 吴玉浩. 哈长城市群科技生态化服务模式构建及发展机制[J]. 科技管理研究, 2018(23): 101—108.
- [6] 李玲娟, 霍国庆, 曾明彬. 科技成果转化过程分析[J]. 湖南大学学报: 社会科学版, 2014, 28(4): 117—121.
- [7] 赵剑东. 基于区域科技大数据平台的科技服务模式研究[J]. 产业与科技论坛, 2019, 18(14): 61—62.
- [8] 周俊杰, 赵晓萌, 方少亮, 等. 科技资源共享服务中用户“画像”研究[J]. 中国科技资源导刊, 2019, 51(4): 59—68, 77.

## Construction of Clear Water Corridor Technology Industry Promotion Model in Paihe River Basin Chaohu

LIU Hua-tai<sup>1</sup>, ZHANG Ping<sup>1</sup>, ZHANG Liu<sup>2</sup>, CAO Wen-zhi<sup>1</sup>

(1. College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen Fujian 361102, China;

2. Anhui Institute of Environmental Sciences, Hefei 230000, China)

**Abstract:** The Paihe river is a tributary of Chao hu lake with poor water quality. A number of studies have been carried out on the Paihe river basin, resulting in a number of clear water corridor technologies. Based on these, the multi-level and diversified clear water corridor technology industry promotion mode (“2S” VIP) was constructed. The mode includes organization, operation mechanism, promotion mode platform, safeguard measures and so on. The clear corridor technology promotion platform includes comprehensive technology information platform, comprehensive service platform and industrialization promotion platform. Supported by the comprehensive technology information platform, supported by Internet +, big data and integrated service platform, the industrialization promotion platform realizes the connection between technology and market. Under the guidance and supervision of the government, a series of safeguard measures have been adopted to ensure the smooth operation of all platforms and achieve the organic integration of production, education, research and application.

**Key words:** clear water corridor technology; industrialization; promotion model; Paihe river; Chaohu lake

# 农业转移人口市民化背景下农村宅基地流转驱动力研究

——基于“推—拉”理论的分析视角

刘双良, 孙 杰

(天津商业大学 公共管理学院, 天津 300134)

**摘要:**农业转移人口市民化与农村土地流转相伴而生,宅基地是农村集体建设用地,宅基地流转过程也是转移人口自身价值选择过程。产业变革、城乡差异、农户阶层分化、宅基地功能强化等问题与农村宅基地闲置、超标多占等现象关联密切,在农业转移人口市民化背景下,以“推—拉”理论为分析视角,研究宅基地流转中外部市场“拉”力与内部流转“推”力,平衡两者之间的“推—拉”驱动力,对转移人口市民化建设以及宅基地流转具有重要的现实意义。

**关键词:**转移人口市民化;宅基地流转;驱动力

**中图分类号:**F291.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0038-05

城乡二元结构导致农村宅基地利用率低下,长期的工业化、城镇化发展也挤占了社会各界对三农问题的关注度,城乡差距不断扩大。国务院《国家新型城镇化规划(2014—2020)》制定了农业转移人口市民化发展的目标和战略,规划指出要稳步提升城镇化的水平和质量,努力实现1亿左右农业转移人口和其他常住人口在城镇落户等内容工作。宅基地流转是农业转移人口市民化进程中的关键一环,外部市场牵引与内部宅基地主体推动形成相互作用力。转移人口基于自身价值做出的生活选择和发展方向,以及人力资源特有的逐利性对转移人口在城乡迁移过程中的流动方向和农村宅基地流转方式起决定性作用。分析城镇与农村二者在宅基地流转过程中的“推—拉”驱动力,优化农村土地要素的资源配置,辅助转移人口宅基地流转,逐渐带动转移人口的城市化发展,才能有序推进转移人口市民化工作,保持宅基地流转与转移人口市民化平衡、动态、联动发展。

## 1 农业转移人口农村宅基地流转问题的多维度考量

### 1.1 宅基地产权界定模糊,政策与实践之间存在差异

宅基地从属于建设用地,《宪法》、《物权法》、《土地管理法》都规定包括农业用地和集体建设用地在内

的土地归农村集体所有,在产权界定和流转关系上主要体现在其使用权的流转。2018年中央一号文件提出要在保证农村宅基地所有权基础上适度放活宅基地农民房屋使用权,这是农村宅基地制度的重要变革。而落实过程中由于宅基地用益物权不完整、缺乏处分权,与宅基地财产功能实现要求权属相对完整存在矛盾和冲突,宅基地使用权的权能扩张已经超出法律赋予的权能,造成法律与现实的巨大冲突<sup>[1]</sup>。宅基地使用权与收益权制度制定不够明晰,“集体所有”、“农民集体”概念界定不明确。宅基地“三权分置”改革关键是要放活宅基地的使用权和流转使用权,需要通过相关制度设计落实农民集体所有权、保障农民资格权和放活使用权<sup>[2]</sup>。如何确保农民真正实现“户有所居”的基本权益对农户来说至关重要,应对宅基地进行更深入的产权制度设计的考量。

### 1.2 宅基地流转主体认知受限,造成土地资源低效利用

村民主体认知与宅基地流转工作联系紧密,农户在宅基地流转中居于核心地位,农村宅基地继承没有明确的法律规定,结婚嫁娶对宅基地通常是“建新不拆旧”,导致很多老宅无人打理成为荒宅却又不能交回集体,出现大面的宅基地闲置以及“超标多占”现

收稿日期:2020-01-11

基金项目:国家社会科学基金项目(17BSH077)。

作者简介:刘双良(1979—),男,湖北大悟人,天津商业大学公共管理学院,副教授,博士(后),研究方向:土地经济与管理、住房制度与政策研究;孙杰(1994—),女,山东济南人,天津商业大学公共管理学院,硕士研究生,研究方向:土地经济与管理、住房制度与政策研究。

象。老成员宅基地不退出、新成员免费申请宅基地建房,宅基地闲置与村庄建设占地持续增长并存<sup>[3]</sup>。宅基地低效利用问题的本质是现行宅基地的制度规定和宅基地使用实践的冲突以及农民阶层分化、收入多元格局下农民对宅基地财产性权利的诉求<sup>[4]</sup>。宅基地流转问题上,流转主体认知至关重要,受教育程度、传统文化的影响,主体意愿与决策水平的限制,很大程度上会影响到宅基地流转的进程。

### 1.3 政府引导“一刀切”,宅基地流转信息不对称现象普遍存在

积极推进宅基地治理,通过闲置宅基地发展集体建设用地,节约农村土地资源,通过推动转移人口市民化循序渐进的促进城镇化建设,发展地方产业是政府的首要目标和重点工作。宅基地作为基层保障,农户更看重的是在居住有保障的前提下,如何获得更好的生活环境和生活质量,以及如何通过宅基地的流转获得更好的利于自身稳定的权益。宅基地流转治理中,政府既是引导者又是指挥者,既是实施者又是管理者,征收拆迁是政府引导下宅基地流转的普遍做法,存在强烈的政治色彩。政府不仅决策宅基地退出机制,而且控制分配土地的增值收益,作为利益直接相关方的农民基本上处于弱势状态,没有知情权,更无参与权,正常权益与合法诉求时常得不到满足<sup>[5]</sup>;政府主导宅基地流转在保证效率的同时,流转信息的不对称往往会对农户的权益产生非常不利的影响。

## 2 宅基地流转与转移人口市民化内在逻辑关系

宅基地是居住在农村的农户或个人用作家庭生活的住宅基地而占有、利用农村集体所有的土地,是乡村建设和乡村产业发展的空间载体,也是村民和农村集体经济组织的巨大财富。农地物权制度具有鲜明的社会保障属性,尤其是宅基地使用权,物权立法的价值取向是平等、安全而非效率,表现在土地立法上就是重视土地的社会保障作用<sup>[6]</sup>。宅基地流转是在宅基地所有权归农村集体组织所有的基础上,使用权可以在一定范围内通过转让、出租、买卖等形式在利益相关者之间进行交易和流转。

刘易斯(W. Arthur. Lewis 1954)在《劳动无限供给条件下的经济发展》一文中提出劳动力无限供给条件下的二元经济发展模型,通过对传统农业和现代化工业发展的联合推理,提出“古典”劳动力转移理论,并指出发展中国家农村以农业生产为首要素、城市以现代化生产和工业部门为主要要素的二元经济现象。农村剩余劳动力从农村转移到城镇成为常住人

口,未能顺利转换成市民或未有效完成市民化的人口则呈现一种半市民化的状态。在此基础上,通过办理落户手续获得城镇户口,与城镇户籍居民享有同等的社会身份地位、共享社会公共资源和基本福利,全面参与城镇政治、经济和市民文化生活,真正实现自身市民身份认同、获得城镇社会接纳和政治文化交融,从而完成市民的转换。

农村宅基地流转与农业转移人口市民化存在内在逻辑关系,农村宅基地退出可以为农民工市民化提供必要的资本支持,农民工市民化反过来对宅基地流转提出现实需求,新型城镇化是该过程中推进市民化与宅基地退出的最大动力,促进农业人口转移为市民和实现农村土地高效利用是重要的运行机制<sup>[7]</sup>。城市工业企业的收入与现代农业的收入形成明显差距,在吸引农村剩余劳动力转移的同时,对转移人口产生社会认同,激励转移人口市民化的同时推动城镇化建设。

## 3 基于转移人口市民化的农村宅基地流转驱动力分析

“推—拉”理论是最为系统、全面解释关于人口由于各种经济、社会发展因素产生城乡之间迁移尤其是农业转移人口向城市流动动因的理论。系统的推拉理论由英国学者李(Everett. S. Lee)和美国学者唐纳德·博格(D. J. Bogue)共同提出。他们认为人口迁出地的经济状况、生产成本以及劳动力资源等对人口迁移产生积极影响,原始居住环境的熟悉程度、形成的社交网络等对人口迁移产生阻碍,相比较之下前者的积极影响大于后者的阻碍,因此产生了人口迁出的行为。转移人口市民化与农村土地流转之间不是单向传递而呈现出一种双向、动态的关系,农村土地流转的目标与效率是影响市民化的重要因素,同时也是影响城镇化发展和农村建设的关键因素。完全市场经济条件下,转移人口向城市聚集流动的过程,也是市场对广大人力资源进行重新配置的过程,也是农村宅基地的重新配置和规划的过程。

### 3.1 外部驱动:“拉”力

#### 3.1.1 产业变革不断拉动人口城镇化

工业化发展积极探索确立了社会主义市场经济体制下的工业化道路,新型工业化、新型城镇化、信息化和农业现代化成为当代工业化发展的战略目标和新要求,更加强调创新联动、包容性和可持续发展在现代工业化发展中的重要性。与此同时,城镇化发展迅速,常住人口城镇化率由1949年的10.64%逐渐上升到2018年末的59.58%,七十年之间上升幅度

接近50%。《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》明确提出将加快人口城镇化进程、促进更多的农业人口实现市民化作为推进新型城镇化发展的核心目标<sup>[8]</sup>,城市数量和城市人口持续增加。工业化、城镇化产业变革使城乡社会经济发展格局产生明显变化,占城镇主要发展地位的第二、第三产业对劳动力的需求逐渐提高,加上城镇地区较为完善的基础设施和社会福利,对向往更好生活条件的农村人口产生极大诱惑,转移人口希望通过自身所有的土地资产获益,农村人口大量涌入城镇,人口城镇化促使农户积极退宅。

### 3.1.2 城乡差异带动农村人口职业转移

社会经济的发展和科技水平的提升加快了农村与城镇之间生产要素的流动,由于城镇整体发展水平远远高于农村,使得城乡之间的要素呈现单向流动的特点,即生产要素更多的是由农村流入城镇而很少出现反向流动的现象,体现在农村人口进城务工、大学生毕业留城发展等方面,而城镇却鲜少有这样的人力资源向农村流动的现象。这种情况下,城镇常住人口大致可分为两类:一类是将生活与工作完全转移至城镇,除了维持农村社会关系网络之外几乎不回村居住,这类往往体现在大学生毕业之后选择留城发展方面;一类则是季节性的外出务工,农忙时节则返乡从事农业生产和种植等活动,也就是兼业型的农户,主要体现为改善生活质量选择进城务工的农户。城镇居住环境好、工作机会多、文化教育等各种资源丰富,公共基础设施较完善的拉动之下,青壮年进城务工人员均选择由农村劳动力向城镇务工人员的职业转移,对农村宅基地的流转形成强劲拉力。

### 3.1.3 “人地挂钩”促进城乡生产要素流动

为保证国家耕地总量和耕地质量,更好的解决城镇化建设、工业化现代发展带来的人地发展不协调、土地城市化水平远远高于人口城市化等问题,2011年10月,《国务院关于支持河南省加快建设中原经济区的指导意见》正式将河南作为“人地挂钩”政策的试点省市,这是城乡建设用地增加挂钩政策的延伸和拓展,也是有序推进城乡一体化发展、促进区域人口转移和土地等生产要素重新布局与配置的重要举措。“人地挂钩”是促进城乡土地资源互通的重要理论构想<sup>[9]</sup>,政策核心是“人往城转、地随人走、钱从地出”,实现土地要素跟随人口城乡迁移过程同时流动。农村人口随生产要素流动转移至城镇成为常住人口,在职业转移和阶层分化基础上,通过政策驱动,经由流转农村宅基地的方式在城镇拥有新的建设用地面积,

并根据实际情况获取一定的补偿,从而促进农村宅基地的流转。

## 3.2 内部驱动:“推”力

### 3.2.1 宅基地功能变迁,单一居住属性逐渐减弱

宅基地是居住在农村的农户或个人用作家庭生活的宅基地而占有、利用农村集体所有的一定面积的土地。农村宅基地的原始功能主要体现在其所具有的农户住房保障功能,这是作为发展中国家的国情所决定的计划经济农村福利思想下的土地制度安排。随着人们生活水平不断提升,宅基地对于农户的意义已不再是以往传统时期赖以生存的生活空间和生产场所,作为农村基本居住保障的宅基地功能属性逐渐弱化,在原始居住功能、生产功能、资产功能、社会保障功能的基础上又延伸出文化功能、种养加工功能、商业经营功能、乡村旅游功能以及生态功能等。宅基地“三权分置”对宅基地使用权做出进一步权利分解,通过宅基地使用权的自由流转实现宅基地财产价值<sup>[10]</sup>,增加农户财产性收入。宅基地社会商品属性和财产属性逐渐凸显,功能属性增多,成为农户开展其他庭院经济的重要生产要素。

### 3.2.2 宅基地价值强化,财产变现能力增强

宅基地“三权分置”的提出和探索为宅基地赋予了更多潜在和待开发的价值,在保障农户基本权益的基础上对宅基地尤其是闲置宅基地进行一定程度的开发,在创新宅基地流转模式的基础上合理利用闲置宅基地,提高宅基地的利用效率。宅基地价值既体现在作为生产资料的市场价值,也体现在提供农民生存居住及保障的非市场价值,在基准地价基础上对宅基地的土地发展权价值进行分配,符合建立兼顾国家、集体、个人的土地增值收益分配机制的改革方向<sup>[11]</sup>。现有的关于宅基地的政策和制度也正在推广和执行,包括“一户一宅”政策的推广和实施;乡镇附近的村庄合并,在适当的区域建设集体保障性住房,村民按照原有宅基地住宅面积和构造换取相应面积的住房,集体搬迁等等都是宅基地价值强化的表现。

### 3.2.3 农民阶层分化,不断衍生新的利益诉求

农户对生活的最基本需求是生存,主要体现为拥有特定的属于自己的生存空间也就是栖息地,当基本的需求被满足之后才会有下一层面的生活生产需求。时代的更迭使得社会生产力水平不断提升,互联网信息技术迅速发展并逐渐渗透至社会生活的方方面面,农户接触的信息面不断扩大,以职业转移、地域转移、身份变更为递进的农民阶层分化程度不断提高。乡村工业化和农民就业非农化的背景下,农民居住形态

呈现空间区隔化,进一步型塑了农户阶层分化再生产<sup>[12]</sup>。

农户不断产生出新的利益诉求,在生存空间的选择上逐渐倾向于交通便捷、生活便利、居住环境好的地区,追求更高质量的家庭生活,加上对下一代的考虑,大部分人选择搬迁至城镇地区居住,种种新的利益诉求都成为农户产生宅基地流转行为的推力。

#### 4 基于“推一拉”理论视角的转移人口宅基地流转对策分析

人口迁移的“推一拉”理论能够对转移人口的宅基地流转驱动力做出解释,转移人口本身作为人力资源的物质承担者的同时又是理性的经济人,转移人口向城镇迁移,其农村宅基地随之进行流转,整个过程是双向、流动的,这也是转移人口在其人力资源本身角色的基础上又作为理性经济人的双重身份而进行的在行业和地区生活之间的选择。基于农户个体的角度,其自身价值的选择过程和城镇之间流动就业的过程就是在市场内部和外部同时存在的“推”力和“拉”力共同作用下产生的。因此在城镇化建设过程中,借助和把握市场存在的“推”、“拉”两股力量,对转移人口宅基地流转能够提供有益启发,从而推动农业转移人口市民化。

##### 4.1 借助外部“拉”力,提升宅基地流转主体市民化承载力

借助宅基地流转外部拉力驱动,充分利用产业变革对城乡社会经济和人口城镇化的拉力,城乡差异对农村人口职业转移的拉力,“人地挂钩”政策促进城乡生产要素流动产生的拉力,稳步、快速提升转移人口市民化承载力。一是合理规划和配置转移人口市民化的分担成本,提高市民化效率。统筹考虑公共成本、个人成本、企业成本;做好转移人口落户后迁入地的接收工作;健全相关政府财政支付制度,增强对转移人口宅基地流转补偿的力度。二是推进住房保障政策,提升城镇的市民化支撑能力。转移人口只有解决了农村宅基地流转后的居住保障问题,真正实现生活空间的转移保障,才有提高转移人口自愿有偿退宅的可能。三是提高转移人口就业稳定性,鼓励就业地落户。城镇要逐渐扩大农业转移人口就业空间,为转移人口拓展就业,提高其就业的稳定性,在农户宅基地所处位置可进行建设用地置换的基础上,鼓励转移人口就业地落户。

##### 4.2 把握内部“推”力,规范政府在宅基地流转中的引导行为

在宅基地功能变迁减弱其居住属性产生推力、农

村宅基地价值强化增强其财产变能力产生推力、农户阶层分化不断衍生新的利益诉求产生推力的基础上,规范政府在宅基地流转中的引导行为,积极推进转移人口宅基地流转。一是处理好地方政府与流转主体以及相关利益者之间的关系。农户在宅基地流转中考虑的更多的是当前的宅基地在未来可能发生的增值以及迁入地和迁出地的政府能否通过政策工具实现其流转后的住房保障和再度就业,地方政府要在此基础上结合地区经济发展、财政收入,综合考虑农户的宅基地流转问题。二是处理好地方政府与村内集体组织的关系,村集体组织希望可以借助人口迁移和宅基地流转带来村集体利益的增收,提高集体内部可供分配的经济总量,当宅基地通过政府租用给相关用地企业时往往促使政府、集体组织、用地企业之间由于利益分配问题而引发矛盾和冲突,政府应当多方位思考,根据实际情况制定合理的流转价格和收益分配。

##### 4.3 综合宅基地流转“推一拉”驱动力,合理制定宅基地流转行动对策

农村宅基地流转受市场内部推力和外部拉力的共同作用,乡村社会经济的发展使农民就业逐渐趋于非农化。新一代农民本身存在对农业的排斥,向往更好的生活环境、对农业生产作业方式的不适应等,加剧了农村人口向城镇迁移的内在意愿和动力,对农民退宅也产生了很大的驱动。在农村宅基地流转方面,许多地方政府在推动宅基地流转的同时也在进行城镇化、农业转移人口市民化的双向探索,诸如天津“宅基地换房”模式、成渝“城乡统筹”模式、浙江嘉兴“两分两换”模式,等等,这些宅基地流转和置换模式的探索为我国农业转移人口市民化的进一步推进奠定了坚实的实践基础。在推进宅基地流转,加快城镇化建设与转移人口市民化进程中,着力把握宅基地流转的外部“拉”力驱动和内部“推”力驱动,合理利用两股力量,形成 $1+1>2$ 的行动局面。政府、流转主体、用地企业三方协同合作,深入了解当前宅基地流转情况,合理设置农户宅基地流转行动框架,提升宅基地流转主体的市民化承载力,规范政府引导行为,规范农户宅基地流转,平衡宅基地流转与农业转移人口市民化之间的相互影响,确保两者之间的动态、平衡、联动发展。

农村宅基地流转、农业转移人口市民化是一个综合、复杂、系统的庞大流程体系,流转过程中涉及流转主体、政府部门、集体组织等多个群体的多重利益,层次较多,关系较为复杂。为此要处理好城镇、农村之

间的衔接,逐渐建立两者之间的衔接、互通渠道,兼顾宅基地流转效率与效用的统一基础上合理运用市场外部“拉”力和内部“推”力的驱动作用,对宅基地流转进行科学的双轨制管理,规范宅基地流转路径和各相关者行为,建立健全农村宅基地流转的长效机制,推动宅基地流转,加快转移人口市民化建设。

### 参考文献

- [1] 张克俊,付宗平.基于功能变迁的宅基地制度改革探索[J].社会科学研究,2017(6):47—53.
- [2] 张占仓.中国农业供给侧结构性改革的若干战略思考[J].中国农村经济,2017(10):26—37.
- [3] 叶兴庆.有序扩大农村宅基地产权结构开放性[J].农业经济问题,2019(4):4—10.
- [4] 刘双良.宅基地“三权分置”的权能构造及实现路径[J].甘肃社会科学,2018(5):228—235.
- [5] 常城.构建农村宅基地管理政府权力清单制度的政策建议[J].农业经济,2018(11):78—80.
- [6] 吕军书.论社会保障性物权立法的价值取向及改革走向[J].理论与改革,2015(5):60—65.
- [7] 张勇,汪应宏.农民工市民化与农村宅基地退出的互动关系研究[J].中州学刊,2016(7):43—48.
- [8] 《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》[EB/OL].(2014—03—16).央广网, [http://china.cnr.cn/news/201403/t20140316\\_515086263.shtml](http://china.cnr.cn/news/201403/t20140316_515086263.shtml).
- [9] 戴波,吕萍.“人地挂钩”视域下农民工住房问题的解困思路——天津、重庆和广州的经验[J].城市发展研究,2014,21(12):26—30,44.
- [10] 董新辉.新中国70年宅基地使用权流转:制度变迁、现实困境、改革方向[J].中国农村经济,2019(6):2—27.
- [11] 朱从谋,苑韶峰,李胜男,夏浩.基于发展权与功能损失的农村宅基地流转增值收益分配研究——以义乌市“集地券”为例[J].中国土地科学,2017,31(7):37—44.
- [12] 刘超.农民居住形态与阶层分化:浙江例证[J].重庆社会科学,2017(3):63—70.

## Research on the Driving Forces of Rural Homestead Circulation under the Background of the Urbanization of Agricultural Transfer Population ——The analysis based on “Push-Pull” theory

LIU Shuang-liang, SUN Jie

(School of Public Administration, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** The urbanization of the agricultural transfer population is accompanied by the rural land transfer. The homestead is the rural collective construction land. The transfer process of the homestead is also the selecting process of the transfer population's own value. Industrial transformation, urban-rural differences, differentiation of rural households and enhancement of the functional value of homesteads are closely related to the phenomenon of rural residential sites being idle and exceeding the standard. Under the background of the urbanization of agricultural transfer population, based on the analysis of “push-pull” theory, this paper studies the “pull” force of external market and the “push” force of internal circulation and the interaction of both urban and rural areas in the process of homestead circulation, and balances the driving force of “push-pull” between the homestead and the transfer of population and the population has important practical significance for the citizenship construction of transfer population and the transfer of homesteads.

**Key words:** transfer population urbanization; homestead circulation; driving force



# 京津冀地区制造业协同发展策略研究

李 冰, 张纪海

(北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081)

**摘要:**制造业是我国实体经济的重要支柱,为进一步疏解北京非首都功能,实现三地制造业协调发展。以京津冀三地制造业在 2003—2015 年间 28 个规模以上工业企业的总产值为原始数据,利用偏离份额分析法计算产业结构相关指数指标,明确各行业产业竞争力差距,分析三地制造业协调发展情况。研究发现,京津冀三地有着不同的制造业格局,但专业化分工不明确,存在不同程度的产业结构重叠。为此提出有针对性的策略,为京津冀制造业协同发展提供新动能。

**关键词:**京津冀;制造业;协同发展;产业结构偏离

**中图分类号:**F127.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0043-07

随着移动互联网、物联网及云计算等技术逐渐成熟,制造业将能够收集、传输及处理大数据,工业互联网的形成推动了传统制造业的调整与重构。《中国制造 2025》是中国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领,以德国“工业 4.0”为启示,学习德国的智能制造,为我国现代化工业强国之路绘制出清晰的路线图<sup>[1]</sup>。京津冀是我国制造业的重要聚集区,为此,探讨京津冀三地制造产业协同发展策略,优化制造产业区域布局,创新产业链空间结构,构建差异化区域创新体系,形成具有国际竞争力的区域制造产业集群具有重要意义。

德国政府提出“工业 4.0”,通过传统制造业与信息技术(ICT)的结合,创造出更具竞争力的产品。具体来说,是智慧工厂、智能生产和智能物流三方面互相配合、从生产到运输的各个环节整合产品的全生命周期,最终实现可追溯、个性化、数字化的生产模式,即智能化生产模式,有助于提高企业、行业乃至国家的整体竞争力<sup>[2]</sup>。此外,美国、英国、日本等国家也提出了与“工业 4.0”相对应的制造业发展规划。在国内外市场环境、制造业格局、科技水平及经济发展趋势等诸多因素快速变化的前提下,我国政府提出了《中国制造 2025》<sup>[3]</sup>。与传统规划相比,其主要突出:通过该规划的实施,推动我国经济的跨越式发展,实现十大重点领域突破;通过“三步走”战略,实现我国从制造大国向制造强国转变<sup>[4]</sup>。该规划的出台为

京津冀、长三角、珠三角等重点区域的协同发展提供了契机<sup>[5]</sup>。区域协同是指区域之间资源禀赋和比较优势的差异,在效益最大化思想的指导下,通过有序的分工与合作,区域内的各主体进行协调配合,形成整体效应,实现整体利益最大化,促进区域共同发展<sup>[6]</sup>。

本研究旨在借鉴国内外相关区域经济结构和竞争力相关理论及研究方法,以京津冀三地制造业在 2003—2015 年间 28 个规模以上工业企业的总产值为原始数据,运用偏离份额分析法对京津冀区域制造业产业结构与竞争力进行实证分析。基于当前制造业的重要地位,在科学评价的基础上,明确各行业产业竞争力的差距,采取有效途径提高制造业各行业的竞争力,不仅能够优化产业结构、协调各行业产业发展、提高资源配置效率,而且有利于提高制造业国际竞争力,从而促进整个国民经济的繁荣发展。

## 1 文献综述

针对京津冀地区制造业协同发展,国内外学者进行了广泛研究。协同理论最早由 Haken<sup>[7]</sup>提出,该理论认为,大量的子系统组成了一个复杂系统,任何复杂系统既存在自发、无规则、独立运动的子系统,又存在相互影响的整体运动,且还受到其他子系统运动的影响。通过子系统间相互协调、合作或同步的联合作用和集体行为,产生  $1+1>2$  的协同效应。从地域分散的产业集群与城市群来看,二者从本质上都是一

**收稿日期:**2020-02-16

**基金项目:**国家自然科学基金面上项目(71841051)。

**作者简介:**李冰(1993—),女,山东聊城人,北京理工大学管理与经济学院,博士研究生,研究方向:协同创新,国民经济动员;通讯作者:张纪海(1976—),男,黑龙江哈尔滨人,北京理工大学管理与经济学院,副教授,博士生导师,研究方向:科技创新,企业管理,国民经济动员。

种集聚的群效应,产业集群存在于城市群的地理空间中,城市群之间不可避免存在产业集群上的协作和分工。针对协同发展研究主要是分析京津冀区域制造业产业布局,了解制造业不同行业在不同地区的发展格局和协作水平,以期调整升级产业结构,优化基于产业集群的城市群功能。

通过对制造业结构研究的文献梳理发现,Robinson<sup>[8]</sup>是最早研究制造业结构的,1971年他利用增长原因模型验证了外部经济和生产联系,使得工业部门的边际生产效率高于非工业部门,还提出产业结构转型是制造业发展的根本原因。1996年,Franco<sup>[9]</sup>研究了影响美国制造业企业投资的因素,得出发展空间、劳动生产率、政府态度等是影响现有的制造业结构和投资间关系的中间变量。京津冀协同发展是区域经济协同发展的重要领域,目前,许多学者从不同角度对京津冀协同发展开展了研究。通过对京津冀协同发展研究的文献梳理发现,郭斌<sup>[10]</sup>从区域科技资源耦合的视角,学习并参考东京、首尔等都市圈的科技协同创新模式,构建了京津冀都市圈科技创新的区域共生机制;此外,郭斌<sup>[11]</sup>基于区域协同创新绩效评价的现有相关文献,构建逻辑框架,通过层次分析与复杂网络分析,评估京津冀区域近10年间(2004—2013)科技协同创新绩效水平,得出促进产业聚集和发展的针对性政策与建议;皮建才<sup>[12]</sup>从功能疏散和产业转移角度,搭建了区域内产业转移模型,发现如果区域内不同地区对经济增长和功能拥挤效应的重视程度不同,那么产业从功能拥挤程度较高迁往较低的地区会提高区域的社会福利水平;李君艳<sup>[13]</sup>对京津冀产业协同发展的策略、分工、合作等方面进行梳理,重点关注于京津冀地区产业协同发展路径;刘秉镰<sup>[14]</sup>主要阐述了雄安地区的规划建设对京津冀协同开放的推动作用,并从政府治理、基础设施、产业协同和市场协同四个方面着手实现协同开放;温锋华<sup>[15]</sup>主要研究京津冀区域产业协同网络中发展格局及优化策略。

通过分析以上研究可以发现,学者多从宏观层面分析当前京津冀地区面临的机遇、发展重点、思路、协同路径及绩效,对具体产业的分析较少,尤其是针对《中国制造2025》背景下制造业布局与规划的研究尚显不足。基于相关的理论基础指导,主要选择偏离—份额法分析京津冀地区制造业的结构现状,选用工业产值份额比较分析该区域制造业的产业布局。通过总偏离状态、结构偏离状态、竞争力偏离状态、产业布局及发展定位来深入研究其动态发展变化,提出京津

冀制造业协同发展路径。

## 2 偏离份额分析法

偏离—份额分析法是由美国经济学家 Daniel 和 Creamer 提出的,是在一定时期内对某一地区系统、全面的分析经济总量动态变动过程的方法,在研究区域未来经济发展方向中较为普适。该方法分为三个子变量,即区域增长分量、产业结构偏离分量和竞争力偏离分量<sup>[16]</sup>。通过分析各子变量对经济增长的贡献程度,总结出该区域经济发展走势。此方法客观阐述了产业结构现状和竞争力发展水平,找到了区域优势发展产业,为产业结构优化升级和区域协调发展提供了现实依据。

设  $A_{ij}(T)$  表示  $T$  时期  $j$  地区  $i$  行业的产值,  $j=1, 2, 3$ ,  $i$  为研究的 28 个制造行业,  $T=t_0$  为基年,  $T=t$  为末年。

设  $A_i(T)$  为  $T$  时期某地区  $i$  行业的产值,则:

$$A_i T = \sum_{j=1}^n A_{ij}(T)$$

设  $A(T)$  为  $T$  时期某地区制造业总产值,则:

$$AT = \sum_{i=1}^n A_i(T)$$

$j$  地区  $i$  行业在  $[0, t]$  时间段的变化率为:  $r_{ij} = \frac{A_{ijt} - A_{ijt_0}}{A_{ijt_0}}$ ; 地区内  $i$  行业在  $[0, t]$  时间段的变化率为:  $R_i = \frac{A_{it} - A_{it_0}}{A_{it_0}}$ 。设其在该时期的增长额为  $G_{ij}$ , 则根据偏离—份额分析法可得:  $G_{ij} = N_{ij} + P_{ij} + D_{ij}$ ; 其中:

$$1) N_{ij} = R_i * \frac{A_{jt_0} * A_{it_0}}{A_{t_0}}, \text{为区域增长分量,即}$$

$j$  地区  $i$  行业根据京津冀地区制造业总产值的规模变化,若  $N_{ij}$  大于 0, 表明  $j$  地区  $i$  产业经济增长率高于对比区域,反之亦然;  $N_j = \sum_{i=1}^n N_{ij}$ , 它表示  $j$  地区京津冀地区制造业增长速度而产生的变化量。

2)  $P_{ij} = R_i * \left[ A_{ijt_0} - \frac{A_{jt_0} * A_{it_0}}{A_{t_0}} \right]$ , 表示产业结构分量,即  $j$  地区  $i$  行业产值增长偏离京津冀地区  $i$  行业平均增长,反映了基于京津冀地区为标准,  $j$  地区  $i$  行业的产业结构优劣程度;  $P_j = \sum_{i=1}^n P_{ij}$ , 它表示  $j$  地区制造业结构的优劣程度,若以快速增长型产业为主,则  $P > 0$ , 反之,  $P < 0$ 。

$$3) D_{ij} = A_{ijt_0} * \left[ \frac{A_{ijt}}{A_{ijt_0}} - \frac{A_{it}}{A_{it_0}} \right], \text{表示竞争力分量,}$$

反映出  $j$  地区  $i$  行业在京津冀地区的竞争态势;  $D_j = \sum_{i=1}^n D_{ij}$ , 表明  $j$  地区制造业在京津冀地区的竞争力, 如果  $D$  值更大, 则意味着该地区的大多数产业的竞争力更强。其中,  $T_{ij} = P_{ij} + D_{ij}$ , 代表总偏离分量。

3 京津冀地区制造业协同发展分析

选择偏离一份额分析法来分析京津冀地区制造业的结构, 并将工业产值份额比较分析该区域制造业的产业布局。通过总偏离状态、结构偏离状态、竞争

力偏离状态、产业布局及发展方向, 深入研究其动态发展变化。

3.1 偏离状态分析

选择 2003 年和 2015 年两个截面, 以京津冀三地制造业 28 个规模以上工业企业的工业总产值作为原始数据, 代入上述公式, 得到相应的偏离一份额分析表, 具体见表 1。研究数据主要来源于 2004 年和 2016 年《北京统计年鉴》、《天津统计年鉴》以及《河北经济年鉴》。

表 1 北京市制造业偏离一份额——产业结构及竞争力分量分析表

行业	产业结构分量( $P_{ij}$ )			竞争力分量( $D_{ij}$ )		
	北京	河北	天津	北京	河北	天津
农副食品加工业	-330.365	566.674	-236.308	-295.109	114.973 9	180.135 3
食品制造业	-58.574 3	292.288 8	-233.714	-444.024	-377.92	821.944
酒、饮料和精制茶制造业	26.388 18	32.036 83	-58.424 9	-108.277	117.005 4	-8.728 64
烟草制品业	-12.557 5	40.292 07	-27.734 5		27.733 52	21.163 41
纺织业	-211.904	383.854 1	-171.95	-241.94	451.008 2	-209.068
纺织服装、服饰业	-8.980 47	-40.696 3	49.676 88	-134.473	110.370 8	24.102 54
皮革、毛皮、羽毛及其制品业和制鞋业	-336.784	476.204 9	-139.421	-32.254 6	235.395 7	-203.141
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	-71.519 6	77.863 33	-6.343 67	10.669 03	58.919 94	-69.589
家具制造业	-30.757 5	-36.533 3	67.290 92	-19.899 1	137.195 9	-117.297
造纸及纸制品业	-82.022 8	135.751 8	-53.728 8	-63.978	8.274 86	55.703 15
印刷和记录媒介复制业	-80.727	33.195 27	47.531 83	43.226 17	69.636 93	-112.863
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	-42.732 4	-260.656	303.388 2	-129.633	222.304 2	-92.671 6
石油加工、炼焦及核燃料加工业	126.441 4	-173.911	47.470 28	-646.231	517.200 8	129.030 5
化学原料及化学制品制造业	-7.967 7	-100.075	108.043 1	-963.531	1 094.497	-130.967
医药制造业	-35.818 4	91.735 08	-55.916 4	164.083 9	-132.066	-32.017 7
化学纤维制造业	-18.550 3	23.854 9	-5.304 56	-2.936 86	9.143 339	-6.206 48
橡胶和塑料制品业	-486.747	199.231 5	287.516 1	58.451 78	296.768	-355.22
非金属矿物制品业	-86.875 2	486.769 4	-399.894	-316.657	284.447 3	32.209 58
黑色金属冶炼和压延加工业	-1 547.52	2 969.149	-1 421.62	-2 347.8	815.211 1	1 532.591
有色金属冶炼和压延加工业	-170.687	171.051 6	-0.364 21	-171.928	-281.546	453.473 8
金属制品业	-420.068	-30.888 4	450.956 8	-529.356	1 037.104	-507.747
通用设备制造业	12.656 9	-128.59	115.934	-422.746	293.578 7	129.167
专用设备制造业	376.111 9	-120.293	-255.819	-832.476	333.079 4	499.396 7
运输设备制造业	1 597.856	-1 701.95	104.094	-576.933	330.794 3	246.139 1
电气机械和器材制造业	5.202 858	-311.355	306.152 6	-387.02	812.788 1	-425.768
计算机、通信和其他电子设备制造业	710.660 3	-1 274.02	563.365 3	-519.769	385.504 1	134.264 9
仪器仪表制造业	102.109 1	-99.092 8	-3.016 22	-18.157 1	70.292 02	-52.134 9
其他制造业	-32.368	-10.988 5	43.356 49	44.983 04	-27.271 2	-17.711 9

3.1.1 产业结构偏离状态分析

观察表 1 产业结构角度分析可以发现, 河北省在

农副食品加工业、食品制造业、烟草制品业、纺织业、造纸及纸制品业、化学纤维制造业等 13 个行业的产

业结构分量显著增加,相比北京、天津两地数值最高,且均为正值。产业结构分量最低的两个行业为运输设备制造业和计算机、通信和其他电子设备制造业;最高的两个行业为黑色金属冶炼和压延加工业、农副食品加工业。

天津在家具制造业、印刷和记录媒介复制业、化学原料及化学制品制造业、橡胶和塑料制品业、金属制品业、仪器仪表制造业等 10 个行业产业结构分量明显增加,相比北京、河北两地数值最高,且均为正值。天津市产业结构分量最低的两个行业为非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和压延加工业;最高的两个行业为计算机、通信和其他电子设备制造业、金属制品业。

北京市在石油加工、炼焦及核燃料加工业、专用设备制造业、运输设备制造业、计算机、通信和其他电子设备制造业、仪器仪表制造业这 5 个行业产业结构分量显著增加,相比天津、河北两地数值最高,且均为正值。北京市产业结构分量最低的两个行业为橡胶和塑料制品业、黑色金属冶炼和压延加工业;最高的两个行业为运输设备制造业、计算机、通信和其他电子设备制造业。

综上所述,京津冀地区制造企业大部分都处于中低端链条,产业链向上游延伸空间有限。尽管河北省在传统制造业中产业结构较为合理,但新兴制造业、高新技术产业尚处于起步阶段,主要集中于加工环节,产业整体存在滞后性,产业结构及发展速度相比京津地区存在很大差距,发展势头太弱;北京市的制造业结构在一些传统领域优化升级过程缓慢,发展相对滞后。天津市的产业结构优势主要集中于化学原料及化学制品制造业、橡胶和塑料制品业等领域<sup>[17]</sup>,对于传统领域和新兴领域的产业结构有待进一步调整升级。

### 3.1.2 竞争力偏离状态分析

根据表 1,北京市只有木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业、印刷和记录媒介复制业、医药制造业、橡胶和塑料制品业及其他制造业的竞争力分量为正,且竞争力分量最高的行业为医药制造业,竞争力分量最低的为黑色金属冶炼和压延加工业,制造业总体竞争力普遍较低。

河北省除了食品制造业、医药制造业、有色金属冶炼和压延加工业以及其他制造业,其余制造业的竞争力分量均为正值,且有 19 个制造业竞争力分量数值相比京津两地最高,对于竞争力分量最高的行业为化学原料及化学制品制造业,竞争力分量最低的为食

品制造业。从整体看,河北省传统制造业竞争优势明显,新兴产业竞争力也在逐步加强<sup>[18]</sup>。

天津最具竞争力的是黑色金属冶炼和压延加工业;竞争力分量最低的是金属制品业。其中,有 15 个制造业为负值,13 个制造业竞争力分量为正值,有 7 个制造业竞争力分量数值相比北京、河北最高,总体竞争力一般。但机电类、深加工类和化纤类科技含量较高,产业竞争力较强,发展潜力大,成长性好。

### 3.2 产业布局分析

从整体发展来看,京津冀地区具有得天独厚的地理区位优势,汇集了大量的科技、教育和人力资源,为制造业发展提供了客观条件。并继续以 2003 年和 2015 年为两个截面,选择京津冀各地区 28 个制造业规模以上工业企业总产值占该制造业京津冀区域比重变动趋势作为指标,对比三地产值份额不同的变化趋势,分析三地在各制造业空间布局的现状与动态变化。计算公式如下:

$$e_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{j=1}^3 A_{ij}}$$

其中, $A_{ij}$  表示  $j$  地区  $i$  行业的工业总产值,  $\sum_{j=1}^3 A_{ij}$  表示京津冀地区  $i$  行业的总产值, $e_{ij}$  表示  $i$  行业占京津冀地区行业总产值的份额。利用该公式测算出京津冀 2003、2015 年制造业产值份额变动情况,结果如表 2 所示。

由表 2 和图 1 显示出京津冀地区各制造业的转移趋势及特征:①总体而言,北京的制造业产值大幅下降,转出迹象明显,特别是劳动密集型制造业因商务成本上升而大量迁出。有 25 个制造业产值份额呈下降趋势,仅有 3 个行业产值比重有所增加;②天津在食品制造业、有色金属冶炼和压延加工业、专用设备制造业产值比重份额增加较为凸出;在纺织业、皮革等制品业和制鞋业、木材加工和草制品业、家具制造业、橡胶和塑料制品业、金属制品业、仪器仪表制造业产值比重下降趋势明显;③河北省可能成为京津两地制造业重要的转入地,该省制造业产值份额变动态势与京、津两地存在显著差异,仅有 5 个制造业产值比重有所下降,其他均呈现上升趋势。尽管如此,河北省转入的大多是劳动密集型、资源消耗型低附加值产业,不能有效发挥河北的地理优势,更无法利用京津市场、信息、技术和资源来推动自身发展,发展模式转型困难。根据图 1,京津冀地区制造业呈现京津份额减少,河北份额增加的情况;④京津冀地区制造业存在逆梯度转移趋势,如河北省在食品制造业、医药

制造业、有色金属冶炼和压延加工业及交通运输设备制造业产值比重有所下降,而北京在医药制造业、交

通运输设备制造业及其他制造业的产值比重有所增加。

表 2 2003 年、2015 年京津冀内部制造业空间布局变动情况 (%)

行业	北京	天津	河北	行业	北京	天津	河北
农副食品加工业	-8.290 27	+5.058 6	+3.231 67	医药制造业	+7.766 79	-1.514 68	-6.252 11
食品制造业	-16.264 9	+30.103 75	-13.838 8	化学纤维制造业	***	-5.594 61	+8.244 61
酒、饮料和精制茶制造业	-12.772 9	-1.034 78	+13.807 72	橡胶和塑料制品业	-8.640 29	-12.737 6	+21.377 9
烟草制品业	***	+9.264 6	+12.135 4	非金属矿物制品业	-11.295 1	+1.145 55	+10.139 6
纺织业	-13.265 6	-11.461 3	+24.736 95	黑色金属冶炼和压延加工业	-15.936	+10.401 45	+5.534 53
纺织服装、服饰业	-14.676 8	+2.630 43	+12.046 39	有色金属冶炼和压延加工业	-11.611 6	+30.638 28	-19.026 7
皮革、毛皮、羽毛及其制品业和制鞋业	-2.238 24	-14.074 7	+16.302 89	金属制品业	-11.972 3	-11.483 6	+23.465 88
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	-10.010 9	-18.430 8	+28.431 67	通用设备制造业	-13.694 9	+4.186 7	+9.508 18
家具制造业	-4.081 73	-24.044 8	+28.126 49	专用设备制造业	-25.159 2	+15.089 39	+10.069 82
造纸及纸制品业	-8.056 93	+7.018 74	+1.038 19	交通运输设备制造业	+5.441 15	-2.321	-3.120 15
印刷和记录媒介复制业	-38.527 5	+0.523 78	+38.013 76	电气机械和器材制造业	-9.626 57	-10.592 9	+20.219 49
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	-12.808 8	-9.157 1	+21.965 85	计算机、通信和其他电子设备制造业	-9.907 68	+2.563 56	+7.354 12
石油加工、炼焦及核燃料加工业	-17.286 5	+3.447 84	+13.838 62	仪器仪表制造业	-4.098 02	-11.767 7	+15.865 76
化学原料及化学制品制造业	-21.630 6	-2.939 4	+24.579 98	其他制造业	+17.452 74	-6.869 56	-10.583 2

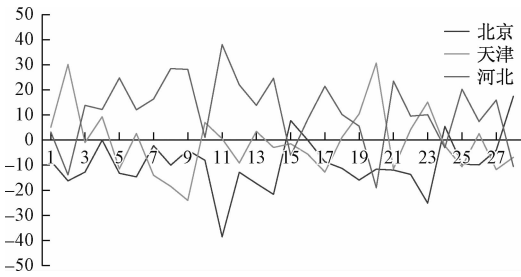


图 1 2003 年、2015 年京津冀三地制造业空间布局变动情况

3.3 发展定位分析

在《京津冀协同发展规划纲要》中可以了解到京津冀地区的功能定位:北京注重优化产业结构,大力发展服务经济、知识经济、创新经济和绿色经济,加快构建高精尖经济结构;天津致力于优化发展高端装备、电子信息等先进制造业,大力发展航空航天、生物医药和节能环保等战略性新兴产业,以及金融、航运物流、服务外包等现代服务业,建设国家先进制造研发基地和生产性服务业集聚区;河北积极承接首都产

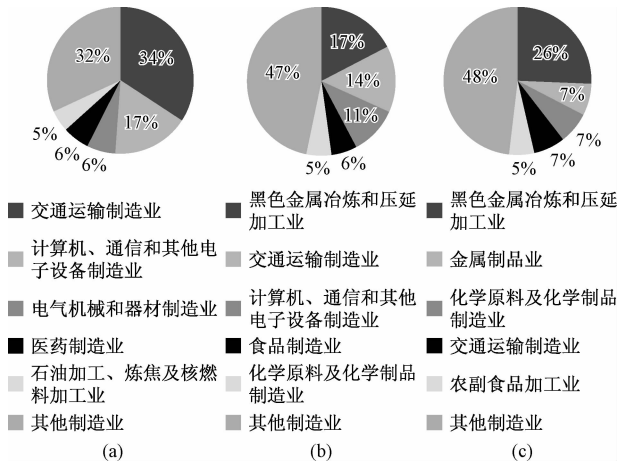


图 2 2015 年北京、天津、河北三地制造业总产值排名

业功能转移和京津科技成果转化,改造提升传统优势企业,大力发展先进制造业、现代服务业和战略性新兴产业。根据规划中的发展定位可以看出,北京、天津、河北分别处于不同的经济发展阶段,即后工业化阶段、工业化后期阶段和工业化中期阶段。

三地根据各自的发展定位形成了不同的制造业格局,但专业化分工不明确。尤其是河北与天津之间的专业化指数较小,存在不同程度上的产业结构重叠现象,分析图2发现在工业总产值排名前十的行业中,京津冀三地在交通运输、电气机械与器材、石油加工、专用设备制造业等行业领域存在重合,北京与天津在通信电子、通用设备制造业等领域存在重合,河北与天津在黑色金属冶炼、金属制品制造业存在重合。虽然京津冀三地一直有合作的历史,但由于体制、利益、绩效因素的影响,三地产业协作水平低,产业发展出现竞争大于合作的趋势,而现有的产业合作也只是停留在较低层次<sup>[19]</sup>。此外,由于京津冀地区的制造业多集中在生产、加工等环节,使得同质化竞争严重,过度竞争以及产业外部大环境的改变将导致生产制造环节利润减少,阻碍产业的可持续发展。

## 4 发展策略

### 4.1 协调区域,科学转移

根据产业布局分析,为实现三地的协调发展,京津冀地区应制定鼓励政策促成跨边界地区合作,加速区域内产学研资源共享和流通;改变传统的转移转化机制,相关单位目前对河北高污染、高排放的企业已经实行关停整改,下一步应加强监管力度,不断推进京津冀地区智慧城市的建设,重点部署智慧交通及智慧环保的应用;发展各种类型的技术转移机构,促进科技成果在京津冀的转移转化<sup>[20]</sup>;搭建区域内及跨区域的科技信息平台,实现技术交易的互通互联<sup>[21]</sup>。

### 4.2 实现制造业信息化、数字化、智能化

为加强京津冀地区制造业竞争力,以《中国制造2025》为指导,在建设智能制造装备集群化、集成化发展的前提下,随着产业的不断集聚,联盟应依托市场搭建出一个具有战略性、前瞻性的智能制造产业智力支持系统。此外,联盟应动态跟踪国内外智能制造的发展趋势,研究和实施新兴信息技术在制造业的推广应用模式,探索各种促进机制,如建立产业专项培育基金、人才培养引进和交流平台、技术研发检测及认证公共服务平台等。

### 4.3 构建差异化区域创新体系

京津冀三地应紧密依托各自的发展定位,合理分工,不是同质化的竞争,而是根据自身优势和条件,在整体框架下互相配合、协同发展。为此,必须有良好的制造产业结构网作支撑,构建京津冀三地差异化区域创新体系,促进人才和科技资源的高效流动。北京将重点升级其原有创新和技术服务能力;天津将致力于提高应用研究与工程技术研发能力;河北将重点加

强科技创新成果应用和示范推广。通过调整各自科技创新支撑产业结构,形成错位竞争、优势互补的产业发展格局,从功能集聚为主向积聚、疏散与扩散并重转型,建立以区域为基础,服务于全国、辐射全球的优势产业集群。

### 4.4 重塑区域产业链,打造产业集群

根据结构偏离状态分析可以发现,当前京津冀地区制造企业大部分都处于中低端链条,为此需要重塑区域产业链,调整传统领域和新兴领域的份额和发展模式,可以通过合理分配资源形成较好的产业结构,提高区域生产效率,实现帕累托最优<sup>[22]</sup>;区域内的制造业上游产品可以通过基础制造业发展为有规模的地区承担,而中间组装及深加工可由具备一定科研实力的地区承担,产品的销售端和基础研究端可设立于高校和科研机构密集的地区,使得产业结构和生产环节与地区优势相适应。

北京、天津、河北联手共同推进制造业转移,以园区共建打造“合作网络”,形成区域间产业的协调发展模式<sup>[23]</sup>。同时,依托曹妃甸新区,渤海新区和滨海新区,探索建立产业集群合作示范区,推进产业集群和产业链群的整体转移。

## 参考文献

- [1] 陈志文.“工业4.0”在德国:从概念走向现实[J].世界科学,2014(5):6.
- [2] LIAO Y, DESCHAMPS F, LOURES E D F R, et al. Past, present and future of industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(12): 3609—3629.
- [3] 朱高峰,王迪.当前中国制造业发展情况分析展望:基于制造强国评价指标体系[J].管理工程学报,2017,31(4):1—7.
- [4] 徐广林,林贡钦.工业4.0背景下传统制造业转型升级的新思维研究[J].上海经济研究,2015(10):107—113.
- [5] 谷瑞.京津冀金融协同发展测度与优化研究[D].北京:首都经济贸易大学,2016.
- [6] 佚名.京津冀协同发展功能定位明确[N].经济日报,2015—08—24(01).
- [7] HAKEN H. Synergetics: an introduction; nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics, chemistry, and biology[J]. Zeitschrift Für Allgemeine Mikrobiologie, 1978, 20(9): 600.
- [8] ROBINSON S. The economic and financial system, by richard a. ward[J]. Economica, 1971, 38: 114—115.
- [9] ULGADO F M. Location characteristics of manufacturing investments in the U. S.: a comparison of American and foreign-based firms[J]. Mir Management International Review, 1996, 36(1): 7—26.
- [10] 郭斌.京津冀都市圈科技协同创新的机制设计——基于日

- 韩经验的借鉴[J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37(9): 37—48.
- [11] 郭斌. 京津冀科技协同创新绩效体系重构——基于文献编码的复杂网络分析[J]. 中央财经大学学报, 2016(6): 87—96.
- [12] 皮建才, 薛海玉, 殷军. 京津冀协同发展中的功能疏解和产业转移研究[J]. 中国经济问题, 2016(6): 37—49.
- [13] 李君艳. 京津冀地区产业协同发展策略研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2015.
- [14] 刘秉镰. 雄安新区与京津冀协同开放战略[J]. 经济动态, 2017(7): 12—13.
- [15] 温锋华, 谭翠萍, 李桂君. 京津冀产业协同网络的联系强度及优化策略研究[J]. 城市发展研究, 2017, 24(1): 35—43.
- [16] 文继常. 重庆制造业发展研究——基于偏离份额分析法的应用[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2011.
- [17] 黄巧玲. 基于京津冀协同发展的天津制造业结构优化路径的研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2015.
- [18] 刘云枫, 刘聪杰, 何喜军. 北京市制造业竞争力分析——基于偏离份额法[J]. 科技管理研究, 2012, 32(3): 38—41.
- [19] 彭正银, 王永青. 京津冀流通业网络化协同内涵与运行机制研究[J]. 北京工商大学学报: 社会科学版, 2018, 33(3): 49—57.
- [20] 尹志超, 杨阳, 张号栋. 金融普惠和京津冀家庭收入差距——来自 CHFS 数据的证据[J]. 北京工商大学学报: 社会科学版, 2017, 32(3): 13—21.
- [21] 孙兵. 京津冀协同发展区域管理创新研究[J]. 管理世界, 2016(7): 172—173.
- [22] 何喜军, 魏国丹, 张婷婷. 区域要素禀赋与制造业协同发展度评价与实证研究[J]. 中国软科学, 2016(12): 163—171.
- [23] 边继云, 薛维君. 京津冀协同发展产业突破的“三要点”[N]. 光明日报, 2016—03—02(16).

## Research on Cooperative Development Strategy of Manufacturing Industry of Beijing-Tianjin-Hebei Region

LI Bing, ZHANG Ji-hai

(School of Management and Economics, University of Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Manufacturing is the pillar industry of our country's national economy. At present, the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei has risen to a national strategy. To promote easing Beijing's non-capitalist functions as a "cow nose," Beijing-Tianjin-Hebei region will optimize the layout of manufacturing industries to achieve coordinated economic development among the three places. Based on the total output value of 28 industrial enterprises above designated size in the Beijing-Tianjin-Hebei region between 2003 and 2015, this paper analyzes the present situation of coordinated development of manufacturing industries in the three places by using the deviation share analysis method with index of industrial structure deviation, competitiveness deviation and total deviation. Studies have shown that the Beijing-Tianjin-Hebei region has different manufacturing patterns, but the division of specialization is not clear, and there are different levels of industrial structure overlap. To the end, the article puts forward targeted strategies to break the constraints and provide new impetus for the coordinated development of the manufacturing in Beijing-Tianjin-Hebei region.

**Key words:** Beijing-Tianjin-Hebei; manufacturing; collaborative development; industrial structure deviation

# 考虑需求响应及其不确定性的台区三相不平衡治理

刘国伟<sup>1</sup>, 陈宏辉<sup>1</sup>, 陈 童<sup>1</sup>, 杨 永<sup>1</sup>, 陈 阅<sup>1</sup>, 马宇航<sup>2</sup>

(1. 广东电网有限责任公司 茂名供电局, 广东 茂名 525000; 2. 四川大学 电气工程学院, 成都 610065)

**摘要:**计及电力用户电量需求调整不确定性,建立了价格型需求响应模糊模型;基于可信性理论,考虑电力用户用电量与用电支出满意度,建立了台区负荷调整的模糊机会约束规划模型;利用清晰等价类方法对模糊机会约束进行处理,以台区三相用户用电偏差最小为目标,对A、B、C三相电力用户日前电价进行调整。算例表明所提治理措施能够减小台区三相不平衡度,降低台区负荷峰谷差,控制用户的用电成本,为三相不平衡治理提供新的思路。

**关键词:**智能台区;需求响应;三相不平衡;模糊变量;模糊机会约束规划

**中图分类号:** TIM715 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2020)05-0050-07

我国低压配电台区数目众多、分布广泛,多为三相四线制供电模式,其中单相负荷占据绝对比重。由于各相负荷时空分布不均匀,台区存在着不同程度的三相不平衡现象。长期处于不平衡运行状态的台区主要面临以下4个问题:①变压器和线路损耗增加<sup>[1]</sup>;②重载相电压降低,轻载相电压升高,对用电设备造成不利影响;③降低变压器的运行效率与过载能力<sup>[2]</sup>;④变压器产生额外的涡流损耗,运行温度升高,使用寿命降低<sup>[3]</sup>。因此,亟需采取有效的治理措施应对台区三相不平衡,实现台区安全经济运行。

目前,台区三相不平衡治理方案主要有以下4种:①人工离线调整负荷相序<sup>[4]</sup>。该方案采用人工实地施工的方式调整电力用户的接入相别,能够在一定程度上缓解台区三相不平衡问题,但调整周期难以确定,可靠性低,施工时间长,调整期间用户供电中断,方案总体较为落后。②相间无功补偿<sup>[5]</sup>。该方案通过在变压器低压侧加装并联电容器等无功补偿装置实现三相不平衡治理,能够发挥一定的效用,但补偿方式不够灵活,无法适应实时变化的电力负荷,补偿效果有限。③三相负荷不对称调补<sup>[6-7]</sup>。该方案通过特定算法求取补偿导纳,利用并联补偿网络同时实现无功补偿与三相电流不平衡补偿,但存在控制策略复杂,治理成本高等问题。④采用低压负荷换相开关<sup>[8]</sup>。该方案通过安装在变压器低压侧的控制终端监测台区三相不平衡度,当三相不平衡度越限时,通过特定控制策略向安装在负荷侧的换相开关发出换

相指令,实时调整负荷相位。该方案可靠性较高,但也需要额外的设备安装及运行维护费用,成本较高。

综上所述,目前的三相不平衡治理措施或是效率低下,可靠性差,或是需要安装额外的设备,治理成本较高,因此需要寻求一种面向未来台区智能化的低成本、高普适性的三相不平衡治理措施。随着我国电力体制改革的推进及电力市场的逐步开放,未来通过需求响应(demand response, DR)引导电力用户改变自身用电行为将成为电网公司实现与用户之间灵活交互的重要方式<sup>[9-10]</sup>。实现需求响应的措施有两种<sup>[11]</sup>:一是基于价格的需求响应(price-based demand response, PBDR),利用用户负荷与电价之间的关联关系,通过改变电价影响用户的用电需求;二是基于激励的需求响应(incentive-based demand response, IBDR),通过给予电力用户一定的补偿,使用户按照系统需求对自身负荷进行调整。需求响应已被应用在许多场景中,取得了丰富的研究成果,但尚未有文章在考虑需求响应的前提下对台区三相不平衡治理这一实际问题进行探索,因此如何有效利用需求响应对用户用电行为的影响,解决台区三相不平衡问题,是一项具有重要意义的研究。

本文以未来电力市场化环境下的智能台区为研究背景,考虑价格型需求响应,充分利用负荷的价格-需求响应特性,在给定日前台区负荷预测曲线的基础上,通过调整日前电价改变电力用户的用电曲线,达到降低三相不平衡度的目的。为了应对用户响应电

收稿日期:2020-02-17

作者简介:刘国伟(1978—),男,陕西兴平人,广东电网有限责任公司茂名供电局,高级工程师,继电保护高级技师,大学本科,研究方向:继电保护及自动化、配网自动化及电力生产设备运维管理。



价变化的不确定性,采用模糊变量与模糊机会约束规划对电力负荷进行处理,确保三相不平衡治理效果的客观有效性。

### 1 不确定性 PBDR 建模

在考虑价格型需求响应时,常采用需求弹性矩阵表征负荷变化量与电价变化量之间的关系<sup>[12]</sup>,则价格型需求响应模型如下:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta L_{\varphi,1}}{L_{\varphi,1}^0} \\ \frac{\Delta L_{\varphi,2}}{L_{\varphi,2}^0} \\ \vdots \\ \frac{\Delta L_{\varphi,T}}{L_{\varphi,T}^0} \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} \frac{\Delta p_{\varphi,1}}{p_{\varphi,1}^0} \\ \frac{\Delta p_{\varphi,2}}{p_{\varphi,2}^0} \\ \vdots \\ \frac{\Delta p_{\varphi,T}}{p_{\varphi,T}^0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $T$  为总时段数,本文采用 24 h 作为三相不平衡优化时间尺度,各时段间隔为 1 h;下标  $\varphi$  为电力用户的接入相别标识,  $\varphi \in \{A, B, C\}$ ;  $L_{\varphi,t}^0$  为  $\varphi$  相用户  $t$  时段初始电力需求,本文采用该时段内总用电量表征用户电力需求;  $p_{\varphi,t}^0$  为  $\varphi$  相  $t$  时段初始电价;  $\Delta L_{\varphi,t}$  为  $\varphi$  相用户  $t$  时段实施需求响应后的电力需求变化量,  $\Delta p_{\varphi,t}$  为  $\varphi$  相  $t$  时段实施需求响应后的电价变化量,分别由下式计算:

$$\Delta p_{\varphi,t} = p_{\varphi,t} - p_{\varphi,t}^0 \quad (2)$$

$$\Delta L_{\varphi,t} = L_{\varphi,t} - L_{\varphi,t}^0 \quad (3)$$

式中:  $L_{\varphi,t}$  为  $\varphi$  相用户  $t$  时段实施需求响应后的电力需求;  $p_{\varphi,t}$  为  $\varphi$  相  $t$  时段实施需求响应后的电价。

式(1)中,  $E$  为价格型需求弹性矩阵,表征实施需求响应后的负荷变化率与电价变化率之间的关系,表达式如下:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1T} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2T} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{T1} & e_{T2} & \cdots & e_{TT} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $e_{ii}$  为用户需求的自弹性系数,  $e_{ij}$  为用户需求的互弹性系数,下标  $i$  和  $j$  为时段标识。  $e_{ii}$  一般为负值,表示某一时段电力需求变化与电价变化相反;  $e_{ij}$  一般为正值,表示某一时段电力需求变化与其他时段电价变化相同,需求弹性矩阵中的系数通过实地调查确定。上述模型所表示的电价—需求关系曲线如图 1 所示。

上述模型为确定性模型,然而实际价格型需求响应的实施效果会受到电力用户的主观意愿影响,因此具有一定的不确定性。为了概括这一不确定性,本文引入三角模糊变量来表示实施需求响应后的用户电

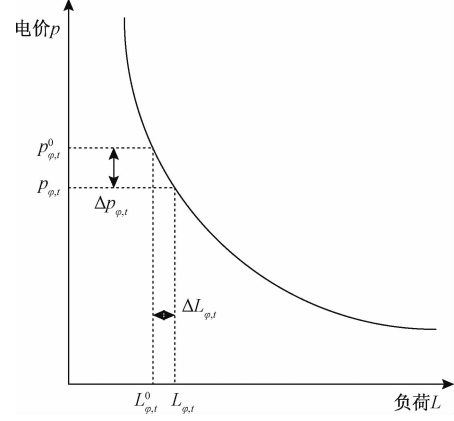


图 1 电价型需求响应的电价—需求关系曲线

力需求<sup>[13]</sup>。其由清晰数构成的三元组表达式为:

$$Le_{\varphi,t} = (L_1, L_2, L_3) = (\omega_1 L_{\varphi,t}, \omega_2 L_{\varphi,t}, \omega_3 L_{\varphi,t}) \quad (5)$$

式中:  $Le_{\varphi,t}$  为  $\varphi$  相用户  $t$  时段实施需求响应后的电力需求的模糊表达式,  $L_1, L_2, L_3$  为模糊表达式的隶属度参数,  $L_{\varphi,t}$  为由式(1)确定的清晰表达式,  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  为表征不确定范围的比例系数。上述模糊变量的隶属函数为:

$$\mu(L_{\varphi,t}) = \begin{cases} \frac{L_{\varphi,t} - L_1}{L_2 - L_1}, & \text{若 } L_1 \leq L_{\varphi,t} \leq L_2 \\ \frac{L_3 - L_{\varphi,t}}{L_2 - L_3}, & \text{若 } L_2 \leq L_{\varphi,t} \leq L_3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

### 2 台区三相不平衡优化模型

本文所提三相不平衡治理措施建立在负荷预测的基础上,根据台区 A、B、C 三相电力用户负荷预测值,通过调整日前各时段电价引导用户改变自身用电行为。在建立三相不平衡优化模型时,需要充分考虑台区整体运行状态,兼顾电力用户用电习惯,因此需要满足以下约束条件:

1) 电价约束。为了避免优化过程中过高、过低电价的出现,维持整个系统的运行稳定性,通过优化确定的各时段日前电价波动范围应限制在初始电价的一定比例范围内。

$$\alpha_{\min} p_{\varphi,t}^0 \leq p_{\varphi,t} \leq \alpha_{\max} p_{\varphi,t}^0 \quad (7)$$

式中:  $\alpha_{\min}, \alpha_{\max}$  分别为电价允许波动范围的最小、最大值对应的比例系数。

2) 电力用户用电量约束。为了尽可能保证优化前后台区运行的稳定性,优化后的各相用户日总用电量应在原日总用电量的一定范围内。考虑用户参与需求响应的不确定性,本文采用模糊机会约束对优化后的用户日用电量进行限制,使得在满足某一置信度的前提下,用户的日用电量处于给定范围内。

$$\text{Cr}\left\{\beta_{\min} \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}^0 \leq \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t} \leq \beta_{\max} \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}^0\right\} \geq \alpha_1 \quad (8)$$

式中:  $\text{Cr}\{\cdot\}$  为置信度表达式;  $\beta_{\min}$ 、 $\beta_{\max}$  分别为各相日用电量允许波动范围的最小、最大值对应的比例系数;  $\alpha_1$  为给定的置信度。

3) 用电量满意度约束。为了充分考虑用户的用电习惯与利益, 本文将用户用电量满意度作为三相不平衡治理的约束条件, 同样以模糊机会约束的形式给出, 如式(9)所示。

$$\text{Cr}\left\{1 - \frac{\sum_{t=1}^T |L_{\varphi,t} - L_{\varphi,t}^0|}{\sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}^0} \geq S_{\min}^u\right\} \geq \alpha_2 \quad (9)$$

式中:  $S_{\min}^u$  为用户用电量满意度的最小允许值;  $\alpha_2$  为给定的置信度。

4) 目标函数。本文所解决的问题为降低台区三相不平衡度, 因此以 24 h 内三相负荷用电量期望值与三相用电量期望值的平均值之差的平方和最小为目标。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{\varphi \in \{A,B,C\}} [E(L_{\varphi,t}) - L_{av,t}]^2 \quad (10)$$

式中:  $E(\cdot)$  为模糊变量期望值计算算子;  $L_{av,t}$  为  $t$  时段 A、B、C 三相用电量期望值的平均值, 由式(11)计算得到。

$$L_{av,t} = \frac{\sum_{\varphi \in \{A,B,C\}} E(L_{\varphi,t})}{3} \quad (11)$$

### 3 模型求解

式(5)定义了以三角模糊变量表示的优化后的各时段三相电力需求, 式(10)为含模糊变量期望值的目标函数。根据三角模糊变量期望值计算公式<sup>[14]</sup>, 可以求得优化后的电力需求期望值为:

$$E(L_{\varphi,t}) = \frac{1}{4}(\omega_1 + 2\omega_2 + \omega_3)L_{\varphi,t} \quad (12)$$

将式(12)代入式(10), 即可得到对应的确定性表达式。

式(8)–(9)为模糊机会约束表达式, 本文采取文献[14]中的清晰等价类方法, 将其转化为确定性表达式。

清晰等价类方法适用于形如式(13)的模糊机会约束:

$$\begin{cases} \text{Cr}\{g(x, \xi) \leq 0\} \geq \alpha \\ g(x, \xi) = h_1(x)\xi_1 + h_2(x)\xi_2 + \\ \quad \dots + h_n(x)\xi_n + h_0(x) \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $x$  为决策变量;  $\xi$  为模糊变量集合;  $\alpha$  为给定的

置信水平;  $\xi_k (k=1, 2, \dots, n)$  为梯形模糊变量, 其四元组表达式为  $(r_{k1}, r_{k2}, r_{k3}, r_{k4})$ , 当  $r_{k2} = r_{k3}$  时, 梯形模糊变量退化为三角模糊变量。

上述模糊机会约束的清晰等价形式如式(14)所示。

$$\begin{aligned} & (2-2\alpha) \sum_{k=1}^n [r_{k3}h_k^+(x) - r_{k2}h_k^-(x)] + \\ & (2\alpha-1) \sum_{k=1}^n [r_{k4}h_k^+(x) - r_{k1}h_k^-(x)] + \\ & h_0(x) \leq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

其中,  $h_k^+(x)$ 、 $h_k^-(x)$  的含义如下:

$$\begin{cases} h_k^+(x) = h_k(x) \vee 0 \\ h_k^-(x) = h_k(x) \wedge 0 \end{cases} \quad (15)$$

式中:  $\vee$  表示取二者中的较大者,  $\wedge$  表示取二者中较小者的相反数。

采用上述方法对式(8)–(9)进行处理, 最终得到的确定性约束分别如式(16)–(17)所示。

$$\begin{cases} (2\alpha_1-2) \sum_{t=1}^T \omega_2 L_{\varphi,t} + (1-2\alpha_1) \cdot \\ \quad \sum_{t=1}^T \omega_1 L_{\varphi,t} + \beta_{\min} \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}^0 \leq 0 \\ (2-2\alpha_1) \sum_{t=1}^T \omega_2 L_{\varphi,t} + (2\alpha_1-1) \cdot \\ \quad \sum_{t=1}^T \omega_3 L_{\varphi,t} - \beta_{\max} \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}^0 \leq 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$S_{\min}^u - 1 + \frac{1}{\sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}^0} \cdot \sum_{t=1}^T \left| \begin{aligned} & (2-2\alpha_2)\omega_2 L_{\varphi,t} + \\ & (2\alpha_2-1)\omega_3 L_{\varphi,t} - L_{\varphi,t}^0 \end{aligned} \right| \leq 0 \quad (17)$$

转化后的优化模型为确定性模型, 不含模糊变量, 可以采用商业求解器 GUROBI 进行求解。

## 4 算例分析

### 4.1 算例参数

本文以 24 h 为一个用电周期, 将其分为 24 个时段, 每个时段为 1 h, 图 2 为某台区典型日三相负荷曲线(即初始电力需求)。

在本文算例中, 三相用户初始固定电价均为 0.5 元/kW·h, 需求弹性矩阵系数参考文献[15], 三角模糊变量比例系数  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$  分别为 0.8、1、1.2, 各时段电价约束的最大、最小比例系数  $\alpha_{\min}$ 、 $\alpha_{\max}$  分别为 0.4、2, 日用电量约束比例系数  $\beta_{\min}$ 、 $\beta_{\max}$  分别为 0.825、1.15, 用电量满意度的最小值  $S_{\min}$  为 0.8, 置信水平  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  分别为 90%、95%。在 Matlab R2017b 平台上使用 YALMIP 工具包调用 GUROBI

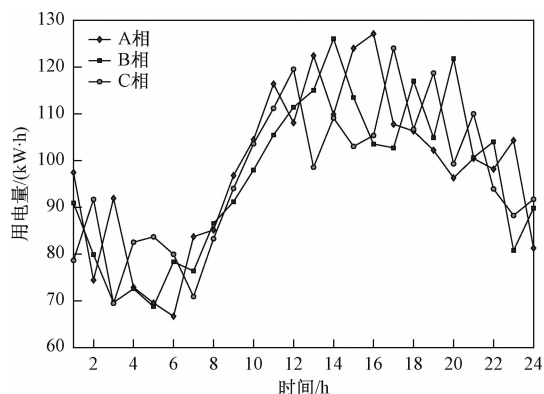


图2 三相初始电力需求

求解器对优化模型进行求解。

#### 4.2 算例结果分析

定义三相不平衡度计算公式如式(18)所示,式中 $\eta_t$ 为 $t$ 时段台区三相不平衡度。

$$\eta_t = \frac{\max_{\varphi} L_{\varphi,t} - \min_{\varphi} L_{\varphi,t}}{\max_{\varphi} L_{\varphi,t}} \quad (18)$$

优化后的三相负荷曲线与按式(18)计算的优化前后三相不平衡度如图3所示,优化后的日前电价如图4所示。

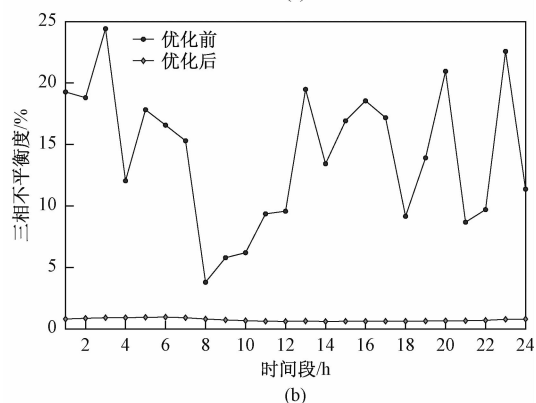
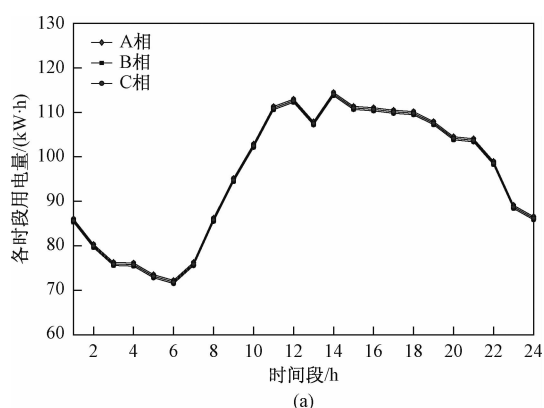
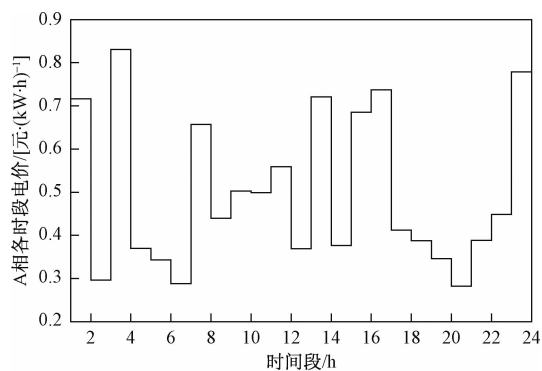
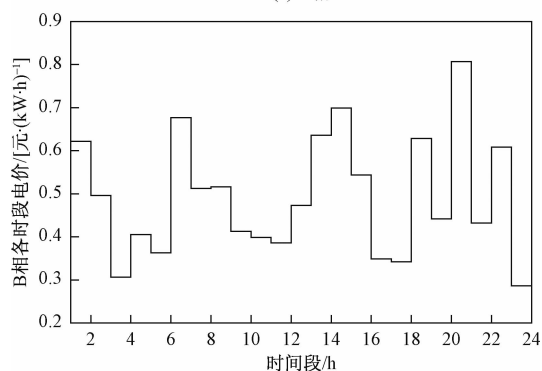


图3 优化后的三相负荷曲线及不平衡度  
(初始为固定电价)

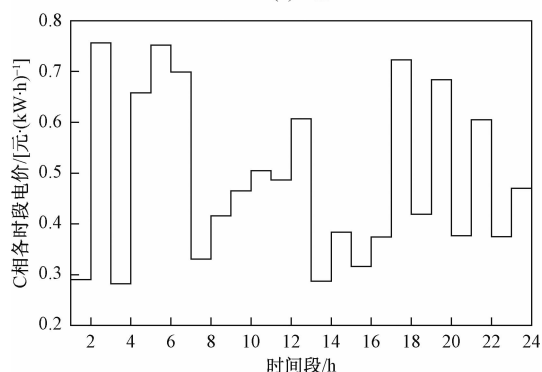
由图3可以看出,优化后24 h内各时段三相



(a) A相



(b) B相



(c) C相

图4 优化后的三相分时电价(初始为固定电价)

负荷大小基本相同,三相不平衡度均在1%左右,达到了减小三相不平衡度的目的。通过观察图4中优化后的各相电价可以看出,在每个时段内,对三相不平衡度贡献越大的相,其电价越高,这是由模型的目标函数决定的。进一步分析优化后的电价可以看出,在第2至7个时段(负荷低谷),部分相别出现电价过高的现象,而在第11至15个时段(负荷高峰),部分相别则出现电价过低的现象,这些会给台区实际运行造成不利影响,可能导致台区日负荷峰谷差增大。作者认为这是由于仿真算例采用的初始电价为固定电价,电价本身没有体现峰谷用电需求的差异。为了进行对比分析,将算例中的初始电价由固定电价变更为图5所示的分时电价,其他参数不变,再次进行计算,对应

优化后的三相负荷曲线与优化前后三相不平衡度、优化后三相分时电价分别如图 6、图 7 所示。

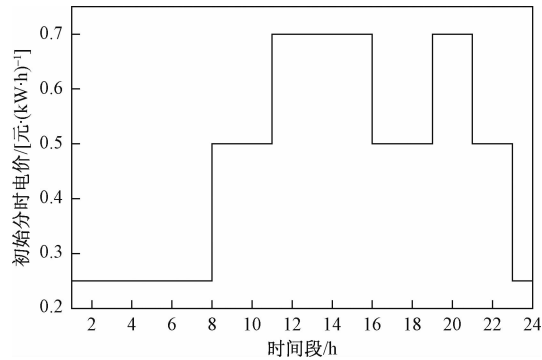


图 5 初始分时电价

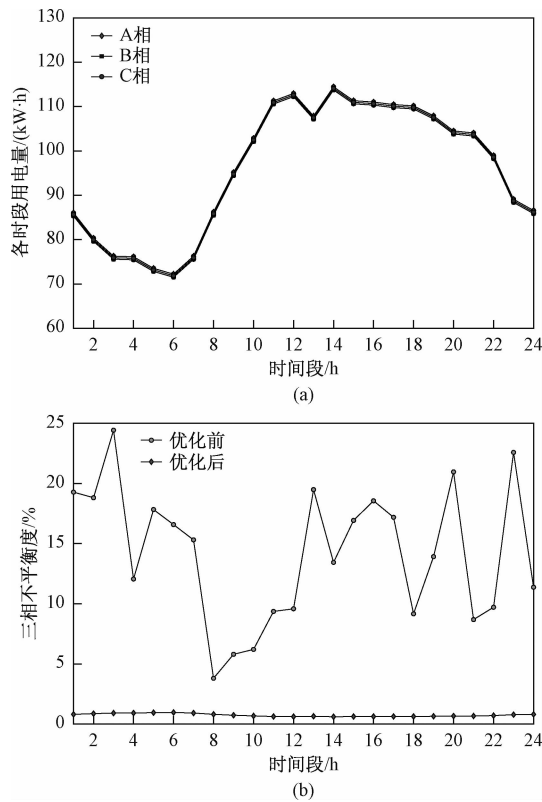


图 6 优化后的三相负荷曲线及不平衡度  
(初始为分时电价)

从优化结果可以看出，初始电价为分时电价时，三相不平衡治理同样取得了较为明显的效果，且避免了固定电价情况下出现的负荷低谷高电价、负荷高峰低电价问题，总体治理效果较好。对初始（未治理）状态、初始电价为固定电价时、初始电价为分时电价时三个场景下的优化结果进行比较，结果如表 1 所示。

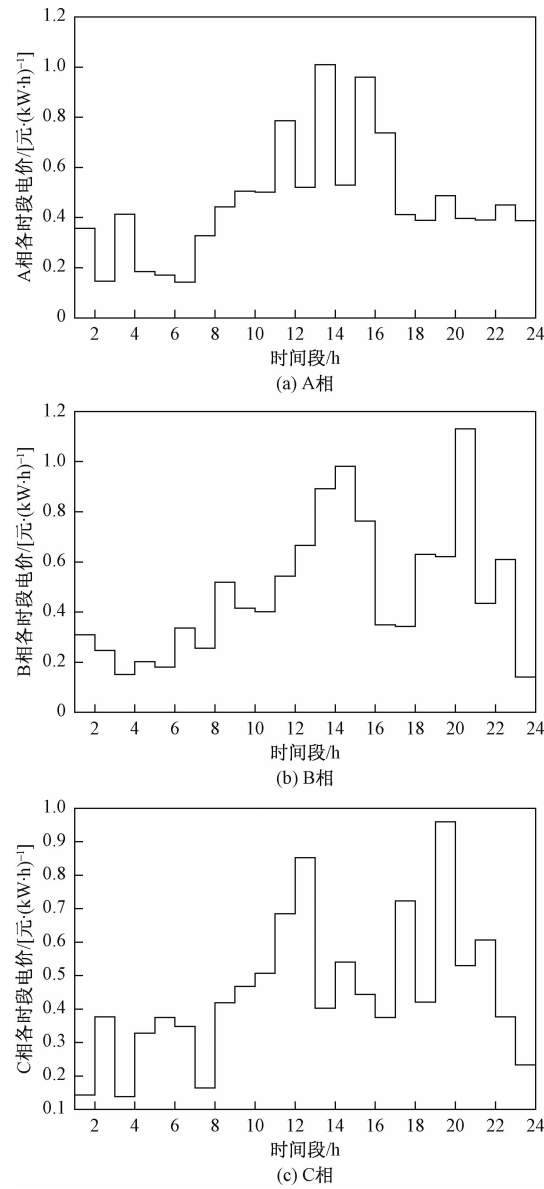


图 7 优化后的三相分时电价(初始为分时电价)

表 1 不同场景下的三相不平衡优化结果对比

场景	相别	负荷峰谷差/ kW·h	最大三相不 平衡度/%	平均三相不 平衡度/%
治理前	A	60.41	24.42	14.21
	B	57.27		
	C	54.57		
初始为 固定电价	A	42.22	0.97	0.75
	B	42.22		
	C	42.22		
初始为 分时电价	A	42.02	0.97	0.75
	B	42.02		
	C	42.02		

由表 1 可知，本文提出的考虑需求响应及其不确定性的台区三相不平衡治理措施能够有效降低三相

不平衡度,提高台区经济运行水平,同时能够减小负荷峰谷差。对于不同电价政策,本文提出的治理措施优化效果不同。初始电价为固定电价时,优化结果存在低谷电价高、高峰电价低的问题,初始电价为分时电价,能够有效避免上述问题,且治理效果稍优于固定电价。为了进一步说明本文所提治理措施的有效性和经济性,按式(19)与式(20)分别计算优化前后各相电力用户的平均用电电价和台区用户总体平均电价,结果如表2所示。

$$pe_{\varphi} = \frac{\sum_{t=1}^T L_{\varphi,t} p_{\varphi,t}}{\sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}} \quad (19)$$

$$pe = \frac{\sum_{\varphi} \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t} p_{\varphi,t}}{\sum_{\varphi} \sum_{t=1}^T L_{\varphi,t}} \quad (20)$$

式中:  $pe_{\varphi}$  为  $\varphi$  相用户平均用电电价;  $pe$  为台区用户总体平均电价式中:  $pe_{\varphi}$  为  $\varphi$  相用户平均用电电价;  $pe$  为台区用户总体平均电价。

表2 优化前后台区用户平均用电电价对比

场景	相别	分相用户平均电价/ 元·(kW·h) <sup>-1</sup>		用户总体平均电价/ 元·(kW·h) <sup>-1</sup>	
治理前	A	0.5		0.5	
	B				
	C				
初始为 固定电价	A	0.490 2		0.493 1	
	B	0.499 6			
	C	0.489 6			
初始为 分时电价	相别	治理前	治理后	治理前	治理后
	A	0.487 3	0.474 5	0.488 6	0.481 7
	B	0.492 6	0.503 1		
	C	0.486 0	0.467 5		

从表2可以看出,初始电价为固定电价时,优化后各相用户平均电价均低于初始电价;初始电价为分时电价时,优化后A、C相用户平均电价低于优化前平均电价,B相用户平均电价略高于优化前,但台区用户总体平均电价低于优化前。

## 5 结论

1)针对低压配电台区日常运行中普遍存在的三相不平衡问题,立足于未来电力市场建设及智能台区发展,提出了基于电价型需求响应的三相不平衡治理措施,为了充分考虑用户参与需求响应的不确定性,利用三角模糊变量建立了PBDR模型。

2)利用清晰等价类方法处理模糊机会约束,将其转化为确定性约束进行求解,大大提高了模型求解效率。

3)算例采用固定电价与分时电价两种初始电价形式,算例结果表明所提出的治理措施在两种电价政策下均能有效改善台区三相运行水平,且分时电价下的治理效果略优于固定电价,能够避免负荷低谷时期高电价与负荷高峰时期低电价问题的出现。

本文提出的台区三相不平衡治理方法对市场及技术发展有一定要求,在现阶段实际应用中存在一定难度,但为目前所面临的问题提供了一种新的解决思路。实际负荷中有相当一部分用电需求缺乏弹性,单靠价格机制应不足以解决三相不平衡问题,这也是今后研究的重点。

## 参考文献

- [1] 钟晓东. 低压配网三相不平衡运行的影响及治理[J]. 中外企业家, 2018(36): 127—128.
- [2] 盛万兴, 王金丽, 王金宇, 等. 农村电网电压质量治理技术与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 张五一, 张言滨, 刘华伟. 配电网三相负荷不对称的线损分析[J]. 继电器, 2007, 35(7): 24—27.
- [4] 黄芷定. 调整接线相序和负荷中心解决“低电压”[J]. 农村电气化, 2012(5): 5—6.
- [5] 杨云龙, 王凤清. 配电变压器三相不平衡运行带来的附加损耗、电压偏差及补偿方法[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 73—76.
- [6] 胡应宏, 王建勋, 任佳佳, 等. 不平衡负载的平衡分量法分解及补偿方法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(34): 98—104.
- [7] 王松, 谈龙成, 李耀华, 等. 链式星形 STATCOM 补偿不平衡负载的控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(27): 20—27.
- [8] 方恒福, 盛万兴, 王金丽, 等. 配电台区三相负荷不平衡实时在线治理方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(9): 2185—2193.
- [9] 李彬, 陈京生, 李德智, 等. 我国实施大规模需求响应的关键问题剖析与展望[J]. 电网技术, 2019, 43(2): 694—704.
- [10] 张钦, 王锡凡, 王建国, 等. 电力市场下需求响应研究综述[J]. 电力系统自动化, 2008(3): 97—106.
- [11] 徐肇, 孙宏斌, 郭庆来. 综合需求响应研究综述及展望[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(24): 7194—7205, 7446.
- [12] ZHAO C, WANG J, WATSON J P, et al. Multi-stage robust unit commitment considering wind and demand response uncertainties[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2013, 28(3): 2708—2717.
- [13] 罗纯坚, 李姚旺, 许汉平, 等. 需求响应不确定性对日前优化调度的影响分析[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(5): 22—29.

(下转第66页)

# 国家重点生态功能区人口政策适应性探究

黄婷<sup>1</sup>, 吕晨<sup>2</sup>

(中国科学院大学 1. 中丹学院; 2. 公共政策与管理学院, 北京 100190)

**摘要:**重点生态功能区的保护和发展对国土空间生态安全格局和国家长远发展具有重要意义。引入了公共政策适应性理论分析该功能区人口政策的适应性。结果表明,宽松的生育政策、二元的户籍政策不利于人口总量控制和人口迁移;差别化的社保政策、基于人口数量的农村补偿政策不利于人口迁移,普适性的教育政策未凸显发展新要求;政出多门、公众参与渠道缺失、绩效考核机制滞后等也起着阻碍作用。倡导更新人口政策体系及相关实施机制。

**关键词:**重点生态功能区;人口政策;政策适应性;人口迁移

**中图分类号:**C924.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0056-06

生态功能区划对环境保护、可持续发展具有重要意义。2010年12月,国务院发布《全国主体功能区规划》,正式推行国家重点生态功能区划,并提出了人口政策调整的设想。国家重点生态功能区是中国主体功能区划分中限制开发区的子类别之一,旨在保护、恢复和提高区域水源涵养、防风固沙、保持水土、调蓄洪水、保护生物多样性等重要生态功能,维护和提高区域提供各类生态服务和产品的能力<sup>[1]</sup>。经整理发现,自2000年国务院提出设想以来,政府部门先后发布了14项政策,落实该功能区的环境保护与发展。2010—2017年间,经过两次大的调整,国家重点生态功能区占国土面积的比例从40.2%提高至53%<sup>[2]</sup>,即占国土面积的1/2以上。基于顶层政策发布频次和国土面积占比,可见国家重点生态功能区的发展已成为国家环保战略的重中之重。

主体功能区内人口发展的研究主要集中在地理学视角的人口分布、公共政策视角的人口迁移两方面。地理学视角的人口分布研究认为我国人口与经济的协调关系程度仍然较低<sup>[3-5]</sup>。在人口迁移视角的研究中,学者们提出重点生态功能区人口总量、流量、流向、素质与功能区建设要求仍有差距。熊理然等分析了重点生态功能区存在人口超载、人力素质不高等问题<sup>[6]</sup>;欧阳慧提出功能区之间人口迁移流量分散,组织化程度低<sup>[7]</sup>;牛雄研究表明限制开发区内部不同省份人口迁移差别较大<sup>[8]</sup>;张耀军利用ArcGIS

分析认为同一功能区内不同类型功能区之间和城乡之间的人口密度、比例、文化素质存在明显差异<sup>[9]</sup>。徐诗举提出大量迁移人口户籍地与居住地分离,且重点生态功能区人口主要流向重点开发区,而非规划中的优化开发区<sup>[3]</sup>。在归因分析上,学者们认为迁移政策缺失,户籍、教育及相关社会保障政策对人口迁移的阻力较大<sup>[6-10]</sup>。

根据学者研究可见,在新的政策背景下,现有人口状况显然与功能区建设的设想存在较大差距。人口政策有狭义与广义之分,由于国家重点生态功能区的人口数量、素质、迁移等会对环境造成重要影响,进而直接影响该功能区建设目标的实现,因此本文将采用广义的人口政策,即影响人口发展的一切法律法规、政策等<sup>[11]</sup>。那么在提出系统的调整方案之前,首先需要探讨的是我国重点生态功能区这一特殊的地域类型人口政策导向是怎样的?现有人口政策能否适应新政策与制度发展的需要?因此,本文主要解决以下两个问题:①在重点生态功能区实施的新背景下,该功能区人口政策的适应性如何?②政府应该如何调整现有人口政策,以达到重点生态功能区建设的新要求?本文主要通过质性研究,尝试回答怎么样和怎么办的问题,以期发现当前重点生态功能区人口政策实施过程中应对新目标的问题,并提出人口政策调整的方向,以实现重点生态功能区内人口、经济、资源环境的协调发展。

**收稿日期:**2020-02-12

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41671124);北京市社会科学基金项目(14CSB010)。

**作者简介:**黄婷(1995—),女,湖北荆州人,中国科学院大学中丹学院,硕士研究生,研究方向:政府治理与区域发展;吕晨(1982—),女,辽宁铁岭人,中国科学院大学公共政策与管理学院,副教授,博士,研究方向:区域发展与区域规划。

## 1 公共政策适应性理论框架

### 1.1 公共政策适应性理论内涵

适应性(Adaptability)一词起源于生态学,最早由英国生物学家达尔文于提出,其本义是表达有机体与环境的逐渐适应和协调的过程<sup>[12]</sup>。1961年,行政学家弗雷特·里格斯(Fred W. Riggs)在此基础上发表了《行政生态学》一书,使行政生态学成为一门新的、系统的学科<sup>[13]</sup>。至此,西方行政学界开始进行学科交融,从生态学视角来研究行政系统与其周围环境的适应性关系。

此后,生态学的适应性概念被引入到公共政策的研究中,但未形成系统的理论体系。在国外研究中,罗伯特·艾斯顿(Robert Eyestone)将公共政策与生态环境之间的关系表述为: $P=(E,G)$ 其中P、E、G分别代表公共政策、生态环境和政府,阐述了公共政策与政府、生态环境的联系<sup>[14]</sup>。公共政策学创始人拉斯韦尔(Lasswell)提出政策学科的三个特征:跨学科性、情境和问题导向,其中情境性强调公共政策与外部环境的关系<sup>[14]</sup>。国内学者对政策适应性的研究开始较晚,2002年,曹堂哲对公共政策与中国加入WTO的政策新环境之间的适应性进行了初步探究。在此基础上,向玉琼提出了政策生态学的概念,即借用生态学的理论和方法,来研究政策系统与环境的相互关系。

政策生态学的适应性理论主要包含以下几个要素:公共政策、政策环境、政策与环境的作用机理与理论假设前提。公共政策是若干政策要素组成的政策整体,包括信息、咨询、决策、执行、评估、监控、反馈等<sup>[15]</sup>。政策环境是指“影响政策产生、存在和发展的一切因素的总和”<sup>[16]</sup>,但在环境的归类上仍然存在争议。曹堂哲认为应分为一般环境和具体环境<sup>[17]</sup>,向玉琼认为应分为自然环境和社会环境<sup>[15]</sup>,此时政策环境仍仅指政策外部环境,周新伟首次提出政策的实施会部分地改变外部环境,应将政策与其实施机制、其他政策相互作用纳入政策环境的考察范围<sup>[18]</sup>,董幼鸿则认为政策环境应包括宏观和微观生态环境,即经济、政治、社会、国际因素和具体公共政策所处的具体的、特定的背景<sup>[14]</sup>。结合学者们的观点和重点生态功能区建设的制度背景,本文中的政策环境指外部和内部两个层面,即具体公共政策所处的特定的背景、相关政策和内部的实施机制。

公共政策适应性是指公共政策与其所处的特定背景、相关政策和实施机制相互作用、相互调适的过程。政策适应性相互作用的关系为:一方面,当政策

所处的特定背景发生变化,公共政策本身、其实施机制及与其相关的政策需要进行调整,从而与新的环境之间实现动态均衡;另一方面,公共政策又会塑造或形成新的政策环境,推动特定背景下新目标的实现。因而,公共政策适应性的理论假设为:公共政策具有动态性,公共政策是从政策问题、政策执行、政策评估、政策调整、政策终止的循环过程的总和;公共政策与制度、其他政策等环境是一个相互联系的生态系统,公共政策可以通过内部改善和外部影响与新的政策环境相适应;当原有政策与新的环境出现不一致、滞后或冲突时,需要进行政策调整,以适应新的目标。

### 1.2 人口政策与国家重点生态功能区适应性的研究视角与框架

重点生态功能区是国家生态安全的重要区域,其核心目标是保护生态环境,通过政策调控功能区人口的流向、流速、流量、边界和产业规模、结构,改善区域内生态环境,以实现人口分布、经济布局与资源环境承载能力的空间均衡。因而在功能区建设的新环境下,对人口政策也提出了新的要求,即人口政策从户籍制度实行以来的抑制人口迁移、重视经济增长的城镇化,逐步转变为鼓励人口流动、追求可持续发展的城市化布局。具体来说(如图1),主要通过人口总量控制、超载人口迁移、人力资本提升三种手段实现,其中人口迁移既包括人口的跨功能区迁移,也包括本功能区内的城乡、地域转移。

理想状态下,人口政策为适应环境的变化,应满足以下几方面新要求:其一,功能区人口总量减少,这一目标通过人口自然增长率降低和人口退出两种手段实现。因此应充分发挥计划生育的利益导向机制,引导功能区居民自觉降低生育水平;其二,突破人口迁移的政策和管理限制,实现人口的跨区域转移或本区域转型。一方面,由于对与功能区定位和发展方向不相符合、地区不具备资源要素禀赋的产业进行了淘汰和限制,在该类产业的劳动力转移或转型成为重中之重。另一方面,人类活动在该功能区占用的空间要得到控制,就要破除政策与体制机制障碍,逐步实现合理的人口城镇化;其三,通过再教育和培训实现劳动力转型,且需要解决产业退出和劳动力退出而产生的贫困问题。

基于以上分析,人口政策与国家重点生态功能区适应性的分析主要分为以下三个方面(如图1):一是国家人口政策与政策环境的适应性,即人口政策本身对于重点生态功能区主体功能定位之间的适应性,主要指人口政策是否有利于新时期重点生态功能区主

体功能的发挥、是否能促成功能区人口新目标的实现、是否满足人口政策新要求;二是政策与政策之间的适应性,即政策之间的协同配套是否有利于实现功能区人口总量的控制、人口区域间转移和区域内转型、人口集聚;三是政策与实施机制的适应性,即在为实现国家重点生态功能区人口管理的主要目标,各部门机构的权力分配是否合理、政策制定主体与微观人口之间是否建立了有效的沟通和信息反馈机制、政策执行是否有恰当的考核方式和奖惩机制。

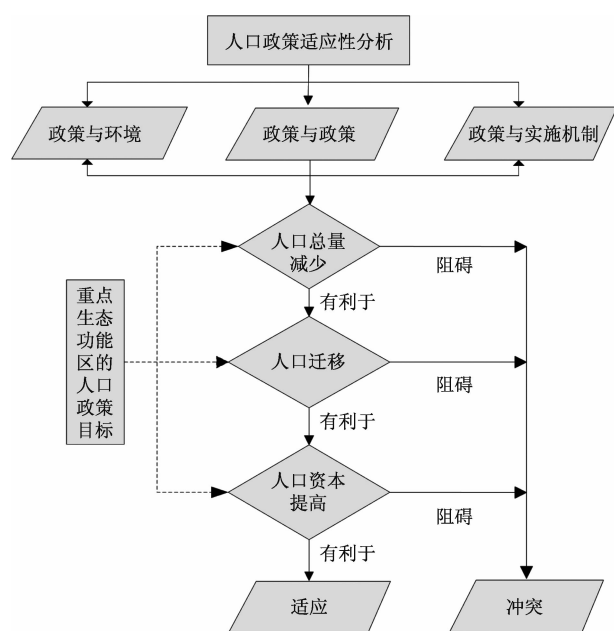


图1 重点生态功能区人口政策适应性分析框架

要对政策适应性作分析,就需要对政策适应性的结果加以判断。本文将适应性结果分为了两类:适应、冲突。若原有政策本身、相关政策及其实施机制能够促进功能区人口总量的减少、人口迁移、以及人力资本提升,或者政策进行调整后,能持续向着新时期的人口目标前进,或与新的人口目标无相关关系,则为政策适应;若原有政策本身、配套政策及其实施机制政策不能促进功能区人口总量的减少、人口迁移、人力资本提升,或者政策向着背离新时期人口目标的方向运动,则为政策冲突。

## 2 重点生态功能区人口政策的适应性分析

### 2.1 人口政策与重点生态功能区发展环境的不适应

在重点生态功能区主体功能定位和产业准入负面清单制度的新环境,衍生出了人口总量下降、人口迁移和人力资本提升的政策新目标。在重点功能区建设提出新要求的过程中,二胎政策与户籍政策没有适应环境的变化而进行动态调整,更无法对环境产生

能动的反作用。

其一,宽松的二胎政策与功能区人口总量控制相矛盾。2015年10月,我国开始实行全面放开二胎政策。然而,如表1所示,2010—2015年,西藏、新疆、甘肃、四川等重点生态功能区分布较多的省份人口自然增长率已出现明显提高;至2015年,新疆、西藏、海南、青海、河北、甘肃等省份人口自然增长率明显高于全国平均水平。此外,西部地区少数民族分布较多,我国长期对其实行差别化的生育政策,使得西部生态功能区人口控制效果不佳。其二,二元的户籍政策不利于功能区人口的迁移与集聚。尽管有学者认为目前户籍政策相对放宽了,但仅指省内城市人口迁移,城乡、跨省、跨功能区的人口流动仍然受到较强的管制,特别是优化开发区的准入门槛仍然较高。且由于户籍制度限制,许多劳动人口被动选择在城乡之间“候鸟式”往返流动,从而形成功能区人口流而不迁的局面。客观来说,户籍政策所形成的制度依赖仍然长期存在,而值得注意的是,二元户籍制度的本质是限制人口流动,而功能区建设鼓励人口流动是其必然要求,二者在本质上是相互矛盾的。因而,户籍制度的价值取向应重新界定为人口迁徙的自由<sup>[19]</sup>。

表1 国家重点生态功能区主要省域人口自然增长率

省区	功能区面积 (平方公里)	人口 (万人)	人口自然增长率(%)		
			2000年	2010年	2015年
内蒙古	733 174.4	2 308.7	4.4	3.76	2.4
西藏	65 040	1 053.9	12.9	10.25	10.65
新疆	562 346	463.3	12.17	10.56	11.08
青海	353 394	72.3	13.1	8.63	8.55
河北	168 048	288.1	5.1	6.81	5.56
吉林	111 857	637.3	4.46	2.03	0.34
黑龙江	47 727	142.2	—	2.32	-0.6
甘肃	33 827	155.5	7.97	6.03	6.21
四川	28 514	18.2	5.1	2.31	3.36
海南	7 119	74.6	9.87	8.98	8.57
全国			7.58	4.79	4.96

数据来源:根据《全国主体功能区规划》和国家统计局数据整理而得。

### 2.2 人口政策与相关政策之间的不适应

我国现行政策体系的主要特征为“广覆盖、多层次”<sup>[20]</sup>,政策与政策之间相互嵌套、相互影响。在国家重点生态功能区建设的背景下,与人口政策相互关联的政策主要有教育政策、医疗保障与养老保险等社会保障政策、农村补偿政策等。尽管这些政策自实施以来经过了多次调整,但仍然与人口政策出现了相互



矛盾、相互抵触的现象。

第一,普适性教育政策未能凸显人力资本提升和环保意识提升的新目标。面对人口迁移与集聚的大格局,现有教育政策应注重职业技能教育、转移就业培训、环保意识培养三方面,以提高劳动力自身的流动能力、强化其环保行为。然而我国目前实行的是普适性的教育政策,不能满足人力资本存量和增量提升的新要求,劳动力也难以适应地域转移、产业转型的新挑战。且生态功能区人口迁移中人力资本较高的劳动力大量流失<sup>[9]</sup>,而功能区内的人口迁移、集聚和环境保护同样需要高素质的人口。第二,差别化的社会保障政策与人口异地安置新要求相矛盾。医疗、住房、养老等社会保障政策依然以城乡分割和行政区分割为基本特征<sup>[20]</sup>,流动人口难以获得当地户籍人口所拥有的各项社会保障上的显性和隐性福利,进一步固化分割格局,不利于劳动力合理流动。第三,农村地区的移民帮扶、公共建设征地补偿等惠农政策大多以农村户籍人口基数来计算补偿金额,按这一逻辑,农村中“流而不迁”的农民、超生群体将获得更多的补助,这在一定程度上将增强生态功能区及农村地区的粘力,阻碍人口流出和城镇化。

### 2.3 人口政策与其实施机制之间的不适应

政策实施机制指政策在执行过程中,一系列具有功能结构的相关要素间的内在作用方式和相互联系<sup>[21]</sup>,它包括政策执行各部门职责和权力配合机制、政策执行主体与客体的沟通和信息反馈机制、政策执行的考核与奖惩机制等。一项政策目标的有效实现很大程度上取决于科学合理的实施机制,然而在实际执行过程中,重点生态功能区的人口政策与实施机制仍然存在较多矛盾或冲突的情况。

第一,政出多门的低效管理与人口及时迁移的要求相矛盾。流动人口的管理涉及国务院、人力资源和社会保障部等7大部门,经整理发现,仅在国家层面,各部门出台了共175条管理文件,同时地方又出台系列文件,形成了政出多门、多头领导的管理格局。然而各部门尚未形成有效的信息资源共享平台和协调机制,各个管理机构各自为政,使得管理职责不明晰、行政效率相对较慢。第二,公众参与和反馈机制的缺失与功能区公共服务水平提升要求的矛盾。即有的人口政策,以一元的科层制管理为主,以资金补偿、劳动力退出与转型作为制度化工具,通过“自上而下”的政策落实和社会动员,对重点生态功能区的人口进行疏解。在人口政策制定和执行过程中,沟通与反馈渠道缺失,这使得生态功能区民生需求难以反馈至顶

层,公共服务水平难以提高,进而降低人口集聚的动力。第三,绩效考核机制的滞后与功能区新目标之间的矛盾。首先,现行的地方政府绩效考核主要反映地区的经济增长水平,无法反映资源消耗和环境代价。其次,统一的绩效考核指标难以体现功能区水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性维护四种不同类型功能区各自发展的特殊性,无法有效引导地方政府开展精准维护,实现规划目标。

## 3 重点生态功能区人口政策调整建议

### 3.1 及时更新人口政策体系,合理认知政策与新环境的关系

人口政策与重点生态功能区的发展是双向循环互动的过程。一方面,人口管理与安置作为重点生态功能区发展的重要民生工程,政府应将人口政策作为实现该功能区总目标的重要手段。另一方面,功能区建设的新背景要求人口政策从抑制人口迁移、重视经济增长的城镇化,转变为鼓励人口流动、追求可持续发展的城市化布局<sup>[22]</sup>。因而,人口政策更新应主要围绕人口总量控制、人口迁移、人力资本提升三方面展开。人口政策应控制人口的自然增长、减少人口的机械增长,从而减少人口对生态环境的干扰和破坏,因此,政府应利用利益导向机制,引导功能区居民自觉降低生育水平,且对现有户籍制度进行改革,以适应人口流动的新格局。

### 3.2 调整人口管理的相关政策,重视功能区的教育与扶贫工作

政府应更新人口管理的相关政策,以形成政策之间的促进效应。为实现人口的空间合理分布,将生态敏感脆弱地区的人口向外区迁出并推进城镇化的发展,需要有配套的迁移人口生活安置、城市融入政策,特别是异地社会保障政策。在进行重点生态功能区产业和劳动力退出同时,政府应注重新时期的教育与贫困问题。人口教育方面,一是与产业退出和转型的从业人员的再就业教育和培训,二是与劳务输出相关从业人员的就业培训。人口扶贫方面,应重点关注由于产业负面清单实施导致的部分人群失业、收入减少、发展机会丧失而进行的扶贫工作,其次,是生态功能区搬迁出人口的扶贫工作。

### 3.3 调整人口政策的实施机制,形成生态的绩效考核新格局

功能区人口政策目标的实现有赖于合理的政策实施机制。首先,应对现有人口管理明确责任分工,或让少数部门实行一站式管理,减少政出多门、互相推诿等行政效率低下的现象;其次,进行政策

参与渠道建设,提高公众的参与意识,从而扩大信息反馈来源,及时发现现有政策与实际环境之间的不适应,更好的提升公共服务水平;最后,更新人口政策的绩效考核机制,重点生态功能区应提升生态环境保护 and 资源节约指标的比重,降低经济增长占地方政府绩效考核的比重,从而形成生态的绩效考核新格局。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

在新的制度背景下,对原有公共政策进行适应性分析,本质上是促进公共政策与环境的动态均衡。政策新目标的实现,离不开原有政策与其特定环境、其他相关政策、实施机制的良性调适过程。通过将公共政策适应性理论置于重点生态功能区的人口政策分析领域发现,当宏观环境或价值导向发生变化时,该理论能较好的评价目标政策的总体适应能力,并为政策调整指明宏观方向。

重点生态功能区作为国家生态安全的重要区域,其人口管理的核心目标是人口总量控制,推进人口迁移与城镇化和劳动力转型。然而在重点生态功能区建设的新背景下,人口政策并没有很好的满足新的发展要求,反而存在较多不适应之处。在政策与环境方面,宽松的生育政策、二元的户籍政策与新要求下的人口总量下降、鼓励人口迁移相悖;在相关政策方面,差别化的社会保障政策、基于人口基数的农村补偿政策不利于人口的异地安置,反而增强了重点生态功能区的粘力,但值得注意的是,普适性的教育政策在提

高人口素质方面仍然具有一定程度的适应性;在实施机制方面,多头管理、公众参与和反馈机制的缺失、绩效考核机制滞后等都阻碍着新目标的实现。因而,本文认为政府应及时更新人口政策体系,调整人口管理的相关政策与实施机制,并注重新时期的教育与扶贫问题,形成生态的绩效考核新格局。

### 4.2 讨论

尽管公共政策适应性理论具有一定的解释力,但尚未形成完整的理论体系,经过分析发现该理论忽视了政策主体对公共政策和环境的主导作用,特别是在中国情境下,政府的主导作用更强。公共政策与生态学上的有机体不同,政策不能主动对环境的变化作出调适,而是政策主体接受到环境变化的讯息,权衡利弊,从而对政策作出相应的调整,此外,还会存在信息获取不充分的问题,缺乏有效的反馈渠道。

因而本文对公共政策适应性理论进行了修正(如图2),公共政策适应性存在三大要素系统:政策系统、环境系统和政策主体。其中政策系统里包含多个政策子系统,环境系统指特定时期公共政策所处的具体环境,政策主体包含两大类,一是官方决策系统,包括中央政策各部门及地方政府;二是非官方参与系统,包括公众、媒体、社会组织、专家学者等。公共政策适应性评价主要从三方面展开,即政策与特定环境,政策与相关政策,政策与实施机制,输出政策结果后反馈至官方和非官方政策主体系统,经过主体系统对政策问题的重新界定和决策,对政策及相关政策、实施机制进行相应的调整,从而塑造新环境。

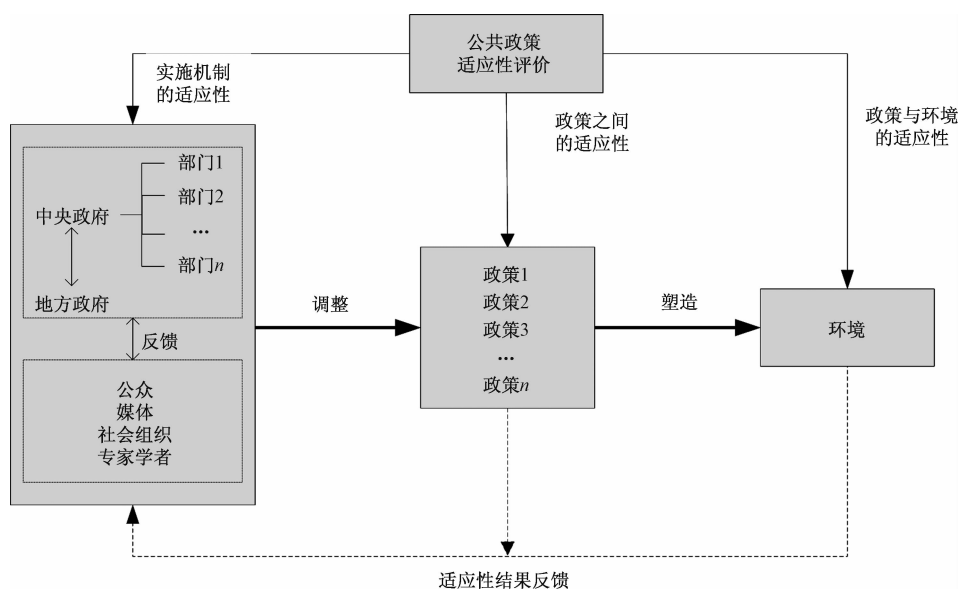


图2 公共政策适应性理论修正结构图

尽管本文尝试对重点生态功能区人口政策的适应性进行了探究,并对公共政策适应性理论进行了修正,但仍然属于宏观层面的研究,未来可以加强典型区域的案例研究,对理论进行验证。另外还可对特定政策的适应性进行定量研究,判断特定环境、相关政策、实施机制对特定政策影响力的大小及调整的优先次序,并进一步发展公共政策适应性的理论内涵。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 关于印发《全国主体功能区规划》的通知[EB/OL]. (2010-12-21)[2016-05-03].
- [2] 国务院关于同意新增部分县(市、区、旗)纳入国家重点生态功能区的批复[Z]. 中华人民共和国国务院公报,2016(29): 26-28.
- [3] 徐诗举. 全国主体功能区人口分布状况分析[J]. 铜陵学院学报,2016,15(3):7-10.
- [4] 齐浩良,栾贵勤. 差异性:主体功能区划背景下经济——人口协调状况对比分析[J]. 开发研究,2010(1):5-7.
- [5] 涂建军,周艳. 主体功能区人口—经济耦合协调关系研究——以四川省重点开发区为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2013,35(4):118-124.
- [6] 熊理然,成卓,李江苏. 主体功能区格局下中国人口再布局实现机理及其政策取向[J]. 城市,2009(2):62-67.
- [7] 欧阳慧. 推进形成主体功能区的人口迁移政策[J]. 宏观经济管理,2008(6):47-49.
- [8] 牛雄. 主体功能区构建的人口政策研究[J]. 改革与战略,2009,25(4):42-47.
- [9] 张耀军,陈伟,张颖. 区域人口均衡:主体功能区规划的关键[J]. 人口研究,2010,34(4):8-19.
- [10] 丁四保,宋玉祥,王荣成. 农村人口城市化是实现主体功能区价值目标的根本途径[J]. 经济地理,2009,29(8):1355-1359,1364.
- [11] 王冰. 人口政策的内容、分类和特点 人口政策一般理论的探讨[J]. 西北人口,1985(2):26-29.
- [12] 陈玮. 规划理论研究丛书[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009:7.
- [13] 徐中奇. 行政生态学研究述评及其对我国行政改革的启发[J]. 江西行政学院学报,1999(4):26-29.
- [14] 董幼鸿. 我国地方政府政策评估困境的政策生态学分析——兼析S市车牌拍卖政策评估[J]. 甘肃行政学院学报,2009(3):39-46.
- [15] 向玉琼. 全球化与公共政策的适应性分析[D]. 武汉:武汉大学,2004.
- [16] 陈振明. 公共政策学——政策分析的理论、方法和技术[M]. 北京:中国人民大学出版社,2004:1-368.
- [17] 曹堂哲. 中国加入WTO后政府公共政策的适应性问题[J]. 江海学刊,2002(4):111-116.
- [18] 周新伟,卢帅兵. 转型时期公共政策的适应性分析[J]. 湖南农业大学学报:社会科学版,2008(5):99-102.
- [19] 黄仁宗. 对我国户籍制度改革价值取向的反思[J]. 中国行政管理,2003(1):24-29.
- [20] 郁建兴,何子英. 走向社会政策时代:从发展主义到发展型社会政策体系建设[J]. 社会科学,2010(7):19-26,187-188.
- [21] 林梅. 环境政策实施机制研究——一个制度分析框架[J]. 社会科学研究,2003(1):102-110.
- [22] 夏永祥. 论人口城市化与要素城市化[J]. 学术月刊,2007(6):78-82,88.

## Adaptability of Population Policies in National Key Ecological Function Areas

HUANG Ting<sup>1</sup>, LV Chen<sup>2</sup>

(1. Sino-Danish College; 2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** The key ecological function areas are the most fragile areas in the national main functional area. The protection and development of this area is of great significance to the long-term development of China. The theory of adaptability of public policy is applied. The results show loose birth policies and dual household hukou policies impede population control and migration. And social security policies and the rural compensation policy are also negative factors. With regarding to its implementation mechanism, various factors hinder the realization of new goals. Therefore, this paper advocates timely updating of population policy system and population management related policies and implementation mechanisms. Finally, this paper develops the public policy adaptability theory.

**Key words:** key ecological function areas; population policies; policy adaptability; migration

# 生物降解塑料产业发展路径研究

罗兰芳<sup>1</sup>, 邓舟羽<sup>1</sup>, 叶宁<sup>1</sup>, 黄雅丽<sup>2</sup>

(三明学院 1. 经济与管理学院; 2. 资源与化工学院, 福建 三明 365004)

**摘要:**采用定性和定量相结合的研究方法,分析生物降解塑料产业发展现状及市场。基于层次与对比分析法,就生物降解塑料产业发展所面临的生产成本与售价高,降解不彻底、可控性较差,材料与使用性能存在缺陷,行业相关标准不一致等瓶颈进行深入剖析,提出降低成本,实现规模经济;加强产学研合作,提高降解可控性;加大技术创新,改善高分结构缺陷;统一行业标准与规范等发展路径。

**关键词:**生物降解塑料; 产成本; 可控性; 行业标准

**中图分类号:**F423.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0062-05

塑料诞生百年来,因其优良性能以及低成本的优势,已被广泛应用于生产和生活的方方面面。塑料工业的迅速发展是一把“双刃剑”,在促进各产业发展的同时,所产生的塑料废弃物对生活和生态环境造成了严重的危害。自20世纪50年代以来,人类已经生产了83亿吨塑料制品,其中约63亿吨塑料彻底成为废弃物,这些废弃的塑料制品,只有9%被回收,另有12%被焚烧处理,剩余79%的废弃塑料则深埋在垃圾填埋场或在自然环境中累积<sup>[1]</sup>。这不仅对人类赖以生存的土地、空气、水体环境产生了严重的负面影响,还威胁其它生物的生存,通过食物链又将微塑料带到人类餐桌,影响人类健康。

随着低碳经济的发展和公众环保意识的不断增强,面对日趋严峻的“白色污染”和传统资源的日益枯竭,世界各国纷纷制定相关法令、法规,采用禁止、限用和强制回收等措施限制不可降解塑料的生产与使用。生物降解塑料由于其环保的优良特性开始受到关注并推广使用,为该行业带来了巨大的发展空间与机遇。目前,生物降解塑料主要应用于农业、食品包装、医疗、纺织、渔业、建筑材料、卫生用品<sup>[2]</sup>、3D打印、汽车、电子电气<sup>[3]</sup>和一次性日用品等领域,是一个新兴的朝阳产业。因此,发展生物降解塑料产业既是治理塑料废弃物对环境污染、缓解资源紧张、保障人类健康与实现可持续发展的有效途径,又是发展低碳经济和推进生态文明建设实现高质量发展的必由之路。

## 1 生物降解塑料产业发展现状

生物降解塑料是一类可以通过自然界中存在的微生物作用而降解回归环境的塑料高分子材料<sup>[4]</sup>。理想的生物降解塑料在废弃后可被环境微生物完全分解并最终生成二氧化碳和水,进入自然生物圈的物质循环系统,不再对生态环境造成危害<sup>[5]</sup>。与石化为原料的传统塑料产品相比,生物降解塑料的生产和使用可以显著地降低原油、水和电等能源的消耗量,减少碳排放量,极大地降低对环境的污染,是一种绿色、环保型产品。欧洲生物塑料公司表示全球生物塑料产能将从2017年的约205万吨增加至2022年的约244万吨,并且生物聚合物如聚乳酸(PLA)和聚羟基脂肪酸酯(PHA)增速最快<sup>[6]</sup>。目前,中国市场上使用和销售的生物降解塑料主要有聚羟基丁酸酯(PHA)、聚乳酸(PLA)、聚丁二酸丁二醇酯(PBS)以及己二酸丁二醇酯和对苯二甲酸丁二醇酯的共聚物(PBAT)。近年来,中国生物降解塑料的产量和市场规模都呈现快速增长的势头,产量由2012年的28万吨猛增到2018年的65万吨(如图1所示),年复合增长率达12.78%;市场规模则由2012年的25.12亿元增至2018年的50.4亿元(如图2所示),增长了2.006倍。国内生物降解塑料的市场占有率不高,其产品主要用于出口,2017年国内生物可降解材料使用量不足2万吨,而同期出口量却达到了7.2万吨<sup>[7]</sup>。但随着国家环保政策的不断加码、“十三五”生物

收稿日期:2020-01-30

基金项目:福建省科技厅软科学研究计划指定项目(2019R0088);2019年福建省大学生创新创业训练计划项目(201911311028)。

作者简介:罗兰芳(1978—),女,福建三明人,三明学院,副教授,双硕士,研究方向:创新驱动和管理创新研究。

产业发展规划》的推行和环保消费观念的不断升级,生物降解塑料市场将在国内迎来爆发式增长。

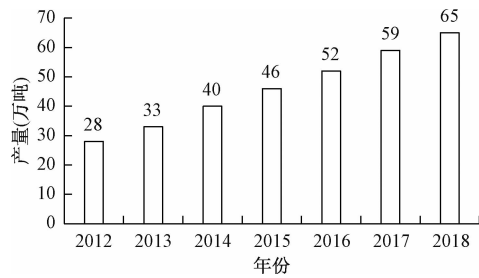


图1 2012—2018年中国生物降解塑料产量  
数据来源:根据智研咨询公布信息整理。

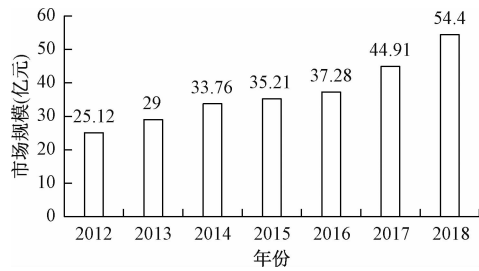


图2 2012—2018年中国生物降解塑料市场规模  
数据来源:根据智研咨询公布信息整理。

2 生物降解塑料产业发展瓶颈

2.1 生产成本与售价高

成本问题一贯是困扰生物降解塑料产业发展的

关键问题之一。生物降解聚合物的来源有:细菌、甜菜、玉米、马铃薯、小麦、木薯、木材、棉花、大豆等天然材料,使用发酵法或者基因工程法,通过聚合工艺处理后得到。与其他塑料相比,生物降解塑料原料价格相对较高且技术尚未成熟(如表1所示)。

由于需要使用多种原材料,生产工艺复杂,技术含量较高且处于发展初期,需要投入大量的研发费用;加之目前该产业的生产规模还未充分实现规模经济,产品单位生产成本低,导致生物降解塑料的价格要远远高于普通塑料。按现有工艺生产的生物降解塑料价格,大约是普通聚乙烯和聚丙烯的2~10倍<sup>[8]</sup>(如表2所示)。

2.2 可控性较差,降解不彻底

所谓环境降解高分子材料(含生物降解塑料)是指高分子材料在完成使用使命后,能被环境中的各种因素自动降解,变成对环境无害的小分子化合物。高分子材料降解包括材料形状的破坏、凝聚态结构的破坏和降解的高分子链这三个过程,缺一不可。降解利用微生物代谢作用,将塑料大分子分解成小分子的速度缓慢,生物降解高分子也易受材料自身特性和外界因素的干扰。材料的高级结构、高分子的凝聚态结构、相界面、分子量、分子间作用力;氧气、湿度、温度、气压、催化剂、微生物菌株、pH值、紫外线、酶的种类等因素都会影响生物塑料的降解。

表1 生物降解塑料和其他塑料对比

种类	生产规模	原材料	原材料价格	技术成熟度
生物降解塑料	小	淀粉、可降解有机高分子材料等	较高	发展初期
传统塑料	大	石油	适中	成熟
再生塑料	中	废旧塑料	较低	成熟
填充塑料	中	碳酸钙、滑石粉等	低	有待改进和提高

表2 生物降解塑料与传统塑料价格对比

种类	原料名称	价格范围 (美元/磅)	对比结果
生物降解塑料	聚乳酸(PLA)	1.75—3.75	价格高
	淀粉衍生的聚己酸内酯(PCL)	2.75—3.50	
	聚羟基丁酸酯(PHA)	4.75—7.50	
传统塑料	高密度聚乙烯(HDPE)	0.65—0.75	价格低
	低密度聚乙烯(LDPE)	0.75—0.85	
	聚苯乙烯(PS)	0.65—0.85	
	聚丙烯(PP)	0.75—0.95	
	聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	0.90—1.25	

例如有些具有树脂分子骨架的结构非常难以分解,这样使得废弃塑料的回收处理增加了不少难度。对填充型的淀粉塑料进行分析试验,其中可在一年内降解的组分只占了很小的一部分,试验证明在紫外线的作用下可以加快塑料的降解情况,但离实际应用还有较大差距。生物降解塑料在使用中,较难保持性质不发生变化,而在丢弃之后又能实现能快速降解的目的。生物降解塑料降解的可控性不易受控制,会造成降解不彻底,对生态环境仍有可能造成危害,这将阻碍产品推广和使用。

2.3 材料与使用性能存在缺陷

材料性能的缺陷归根结底是材料结构性质的问题,拥有什么样的结构就决定了材料有什么样的性

质。与传统塑料相比较,生物降解塑料生产使用的材料存在一定缺陷,如 PLA 大部分呈现的是全规立构和间规立构<sup>[9]</sup>,性质硬而脆,不利于加工,导致使用场所受限;淀粉有直链结构和支链结构<sup>[10]</sup>,遇水易被凝胶化和重结晶,从而导致产品变形,撕裂等。

生物降解塑料的使用性能也存在缺陷,例如:PLA 耐水但是不耐高温,材质硬但容易断裂,使其在实际应用中受到很大的限制。淀粉基塑料则具有性

脆、易发霉、耐高温性能差等特点,若加工成包装袋或者是餐盒,遇到温度较高的食品,易变形、撕裂。由于原料来源、合成方法的不同,生物降解塑料在环保性能上比其他塑料更具优势,但与传统塑料相比,在力学性能、加工性能、应用性能上都存在一定劣势。以石油为原料合成的塑料产品,在加工性能和力学性能比以可再生资源为原料的生物降解塑料优秀(如表 3 所示)。

表 3 生物降解塑料与其他塑料的性能对比

种类	产品代表	产品性能	原料来源	生产环保性
生物降解塑料	淀粉基塑料	加工性一般,力学性一般,耐水性较差	主要为淀粉,来源广	较环保
	PLA	力学性能好,耐热性较差	生物发酵及合成	环保
	PBS	力学性能优,耐热性能好,加工性好	化学合成	环保
传统塑料	PE	优异	石油	不环保
	PP	优异		
	PS	优异		
	POE	韧性好		
	EVA	韧性好,耐热性差		
再生塑料	—	良好	废旧塑料或进口	具有一定污染性
填充塑料	CaCO <sub>3</sub> 填充母料	良好	矿物,来源丰富、易得	具有一定环保性

## 2.4 行业相关标准不尽一致

生物降解塑料已有一定的市场份额,随着生物降解塑料的研发和产业化的不断深入与推进,很多国家出台了生物降解能力评价方法和标准。但由于不同国家的地理环境、气候、土壤成分、垃圾处理方式等的不同,都对生物塑料降解性能形成约束条件。降解的解释、时间、产物等问题都未能统一,评价方法和标准更是形形色色。目前,国际现行的生物降解塑料标准主要有国际标准化组织生物降解塑料标准(ISO)、欧盟生物降解塑料标准(CEN)、美国生物降解塑料标准(ASTM)。对于降解塑料的定义、降解机理、评价方法和标准,中国近些年来一直在努力研究和建立相应的标准,国内关于降解性能的标准有国家标准(GB/T)和行业及地方(TB/T、QB/T)测定标准,多达二三十种。现有各标准所适用的试验条件差异较大,取得的生物降解性数据无法实现相互之间的换算;且现行的标准方法,大都只能近似反映塑料的真实降解行为,与真实废弃塑料的生物降解行为还有一定的差别;对降解机理复杂的多元降解机理塑料,尚无相应的执行标准<sup>[11]</sup>。由于目前对生物降解塑料还没有统一的产品检验方法和检测标准,以至于在技术和产品市场方面较为混乱,不利于行业的进一步发展。

## 3 生物降解塑料产业发展路径

### 3.1 降低成本,实现规模经济

#### 3.1.1 改良加工设备,优化生产工艺

生物降解塑料生产企业可改良原有生产设备,降低转型生产投资费用,努力实现关键设备大型化生产,为规模经济的形成提供条件。也可考虑在原有生产基础上使生产装置柔性化,以生产多种生物降解塑料产品,使生产更加经济便捷。政府则可考虑为企业提供技术改造专项贷款或低息贷款,促进生物降解塑料生产企业升级技术设备,简化生物降解塑料的生产工艺路线,优化生产过程,建立生态安全、绿色低碳、循环发展的工艺体系,扩大生物降解塑料的品种和使用范围。

#### 3.1.2 促进产业集群深度发展

国家、生物降解塑料行业协会和生物降解塑料生产相关企业应着力建设高度集聚和高度专业化的生物降解塑料产业集群,形成科学合理的产业链,通过共享公共设施,联合创新研发,减少分散布局所需要的额外投资,增强企业间的高度分工与协作,优化工艺技术,降低原料采购成本,提高生产效率,实现内、外部的规模经济与范围经济。

#### 3.1.3 培育绿色消费市场

2019 年海南省率先出台“禁塑令”,规定 2020 年底前将全面禁止生产、销售和使用一次性不可降解塑

料袋、塑料餐具<sup>[12]</sup>。国家可通过颁布相关法令法规,在全国范围内推行禁售不可降解的塑料制品;或强制生产传统塑料企业承担回收义务;或发挥税收促进环境保护和资源、能源节约利用的作用,倒逼传统塑料生产企业退出市场或加快转型升级。培育中国绿色消费市场,通过广泛的宣传与引导,进一步提高民众绿色消费的意识 and 主动性,借鉴日本政府的做法对消费者购买环保塑料产品给予适当补助<sup>[13]</sup>。提高对石油基用塑料制品的替代率,促进生物降解塑料产品的市场规模不断扩大,使生产企业尽早实现规模经济,并最终替代对环境污染、能源消耗大的传统塑料制品。

### 3.1.4 加大政策补贴力度

据相关统计显示:我国每年在治理环境污染方面的投入超过 9 000 亿<sup>[14]</sup>,这种先污染后治理的方式,治标不治本。国家可考虑针对生物降解塑料产业制定并出台相应的财政补贴政策,以补助、专项资金、贴息等方式支助生产企业;同时设置单独的海关编码,制定相应的税收优惠政策,提高生物降解塑料生产企业的出口退税率。这既可从一定程度上弥补企业的生产成本,又能实现从源头出发保护生态环境与降低能源消耗。

### 3.2 加强产学研合作,提高降解可控性

生物降解塑料产业企业应以创新为纽带,在围绕生物降解塑料产业链建设产业集群的同时,加大产学研合作力度,形成科技、产业、高校和科研院所协同研发的良好局面。加强对生物降解机理的研究,探索各影响因素对生物降解塑料的降解情况,根据塑料制品的实际用途研发具有相关性能的可降解塑料,寻找提高控制降解率的有效途径,减少受材料自身特性和外界因素的干扰。此外,还可通过对微生物进行培育,获取新的生物降解塑料,探寻可以降解高分子塑料的微生物,探究并剖析新的高分子材料的合成机理,找出控制性能优良生物降解高分子,然后通过现有方法及基因工程的手段提高其产量。

### 3.3 加大技术创新,改善高分子结构缺陷

提高生物降解塑料的材料与使用性能,缩小产品性能与使用性能要求存在的差距,可以减少市场推广的制约,加快生物降解塑料产业的创新发展。生物降解塑料行业应加大材料创新,对原有材料进行化学合成或改性处理,发展多元共混生物降解塑料,即将一种或多种生物降解塑料与普通塑料共混,利用普通塑料的性能优点补足生物降解塑料的材料与使用缺陷,获得更好的机械强度、柔韧性、耐湿和耐热性能,改变

其在力学性能、加工性能和应用性能上的劣势,这样既提高了生物降解塑料的力学性能和加工性能,又便于推广应用;同时还可考虑通过基因工程技术探索生物降解塑料的结构,寻求合理的改善生物降解塑料结构的方法,提升生物降解塑料的使用性能,提高产品的市场竞争力。

### 3.4 统一行业标准与规范

耐用性和可降解性是好的降解材料必须具备的。生物可降解塑料的评价标准应该从塑料的基本性能和塑料的降解性两方面着手。生物降解塑料行业应尽快促成国家生产标准或行业生产标准的统一、完善与国际化,使各类标准保持高度协调、统一,各类生物降解塑料性能的测定参数与检验标准具有可比性、可换算性,检测标准能高度仿真真实的降解行为,以规范生物降解塑料的生产与市场秩序。

总之,生物塑料产业是技术含量高、能源消耗低、节能的环保产业,其发展有利于解决白色污染的问题,使塑料行业向着资源节约型、环境友好型转变,有利于发展塑料制品的绿色之路。因此,解决好制约生物塑料产业的发展瓶颈,促进该产业的健康与高质量发展,对缓解资源紧张,促进环境保护,提升经济发展质量,朝绿色可持续模式发展具有重要的推动作用。

### 参考文献

- [1] 刘海英.震惊!人类已生产 83 亿吨塑料[N].科技日报,2017-07-20(1).
- [2] FINK KARL J. The chemistry of bio-based polymers[M]. Beverly: Scrivener Publishing LLC, 2014.
- [3] 霍鹏.可降解塑料的研究现状及发展趋势[J].工程塑料应用,2016,44(3):150-153.
- [4] BRODHAGEN M, MILES C, et al. Biodegradable plastic agricultural mulches and key features of microbial degradation[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2015, 99(3): 1039-1056.
- [5] 王洪杰.改性大豆蛋白可生物降解材料的制备及应用研究[D].郑州:河南工业大学,2013:2-4.
- [6] 慧聪塑料网.2022 年全球生物塑料产量将增至 244 万 t[J].工程塑料应用,2018(1):118.
- [7] 冯瀚东.中国生物可降解塑料市场即将进入爆发期[EB/OL].(2018-11-15).<http://www.newsijie.com/chanye/huagong/jujiao/2018/1115/11245969.html>.
- [8] 京讯.关注生物可降解塑料[J].绿色包装,2018(02):77-78,80.
- [9] 田怡,钱欣.聚乳酸的结构、性能与展望[J].石化技术与应用,2006,24(3):233-235.
- [10] 袁美兰.淀粉结构和性质的研究概况[J].畜牧与饲料科学 Animal Husbandry and Feed Science, 2011, 32(1): 102-104.

- [11] 魏晓晓, 张梅, 李琴梅, 等. 生物降解塑料国内外标准概况[J]. 标准科学, 2016(11): 58—64.
- [12] 《海南省全面禁止生产、销售和使用一次性不可降解塑料制品实施方案》发布[J]. 中国包装, 2019, 39(11): 13.
- [13] 高茜斐. 生物塑料发展现状及前景[J]. 广东化工, 2015(15): 87—88.
- [14] 中国生物降解产业技术创新战略联盟. 发展生物降解产业守护“绿水青山”[J]. 中国科技产业, 2017(9): 41—42.

## The Development Path Research of Biodegradable Plastics Industry

LUO Lan-fang<sup>1</sup>, DENG Zhou-yu<sup>1</sup>, YE Ning<sup>1</sup>, HUANG Ya-li<sup>2</sup>

(1. Eco & MGT School; 2. School of Resources and Chemical Engineering, Sanming University, Sanming Fujian 365004, China)

**Abstract:** The development status and market prospect of biodegradable plastics industry were analyzed by combining qualitative and quantitative research methods. Based on the analytic hierarchy process and comparative analysis method, the problems faced by the development of biodegradable plastics industry, such as high relative production cost and price, incomplete degradation, poor controllability, defective materials and performance, inconsistent industry standards and so on, are analyzed in depth, and cost reduction, scale economy are put forward, and production and learning are strengthened. Research and cooperation to find ways to improve the controllability of degradation; technological innovation to improve the structural defects of high scores; formulation of industry unified standards and norms and other development paths.

**Key words:** biodegradable plastics; production cost; controllability; industry standards

(上接第 55 页)

- [14] 刘宝碇. 不确定规划及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [15] 别朝红, 胡国伟, 谢海鹏, 等. 考虑需求响应的含风电电力系统的优化调度[J]. 电力系统自动化, 2014(13): 115—120.

## Three-phase Imbalance Control Considering Demand Response Uncertainty in Distribution Area

LIU Guo-wei<sup>1</sup>, CHEN Hong-hui<sup>1</sup>, CHEN Tong<sup>1</sup>, YANG Yong<sup>1</sup>, CHEN Yue<sup>1</sup>, MA Yu-hang<sup>2</sup>

(1. Maoming Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Corp, Maoming Guangdong 525000, China;

2. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Firstly, based on the load demand elasticity matrix, considering the uncertainty of electricity demand adjustment of electric customers, a price-based demand response fuzzy model is established. Secondly, based on the credibility theory, considering the satisfaction degree of electricity consumption and electricity expenditure of electric customers, a fuzzy chance-constrained programming model for load adjustment of distribution area is established. On this basis, a clear equivalence method is used to calculate the fuzzy chance-constraint. With the objective of minimizing the deviation of three-phase users' electricity consumption in the distribution area, the daily electricity price of three-phase users of A, B and C is adjusted. Case study shows that the proposed method can reduce the three-phase imbalance, reduce the peak-valley load difference and control the user's cost.

**Key words:** intelligent area; demand response; three-phase imbalance; fuzzy variable; fuzzy chance constrained programming



# 移动互联网对农业全要素生产率的影响研究

石晓阳<sup>1</sup>, 张亦弛<sup>2</sup>, 夏恩君<sup>1</sup>

(1. 北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081; 2. 中国农业大学 经济与管理学院, 北京 100083)

**摘要:**利用中国30个省份的面板数据,研究了移动互联网对农业全要素生产率的影响,结果显示:①农户移动终端设备拥有情况对农业全要素生产率具有显著的促进作用;②不同的移动通讯网络对农业全要素生产率的影响不同;③农业发展水平分组下,农户移动终端设备拥有情况对农业全要素生产率的作用无区域差异,但移动网络在农业发达地区和中等地区对农业全要素生产率的促进作用大于农业欠发达地区;④农业产值规模分组下,农户移动终端设备拥有情况在农业产值规模较大地区和中等地区对农业全要素生产率的促进作用大于农业产值规模较小地区,但移动网络对农业全要素生产率的作用无区域差异。研究结论对农村地区移动互联网建设具有参考意义。

**关键词:**移动互联网;农业全要素生产率;受限因变量模型

**中图分类号:**F32 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0067-08

1994年中国成功接入互联网,1998年我国在部分地区开始修建3G移动互联网基站,2008年12月正式发放3G牌照。经过二十余年的实践与发展,移动互联网已经成为人们生活的重要组成部分,而越来越多的生产者也开始利用移动互联网及相关技术为其生产服务。据中国互联网协会发布的《中国互联网发展报告2019》<sup>①</sup>:截至2018年底,我国网民规模达8.29亿,互联网普及率达59.6%。近年来,我国大力推动农村互联网建设,发布了《关于实施乡村振兴战略的意见》、《乡村振兴战略规划(2018—2022)》等政策文件。2019年5月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《数字乡村发展战略纲要》,强调数字乡村是乡村振兴的战略方向。由经验判断,移动互联网的发展对农业生产以及农业全要素应有积极的促进作用,但现象背后的本质是否如此?由于数据、变量和方法的选取不同,学界尚未给出一致性的回答。因此,有必要更为全面的研究移动互联网如何影响农业全要素生产率。这对我国推进农村地区互联网建设以及“互联网+农业”模式发展农村经济也具有十分重要的现实意义。

## 1 文献回顾与理论分析

### 1.1 文献回顾

关于移动互联网对生产率的研究可以追溯到

1987年的“索罗悖论”,他指出“我们随处都可以看到计算机,就是在生产率统计方面看不见计算机”。自此之后,许多学者利用更广泛的统计数据对“索罗悖论”进行研究。绝大多数结论仍然支持索罗观点:企业对信息技术的大量投资并不能增加生产率,也不能帮助经济增长。其中,有代表性的学者Baily<sup>[1]</sup>认为,整个社会的生产率与大量的计算机投资之间存在负向相关关系。此外, Lucas<sup>[2]</sup>、Cron 和 Sobol<sup>[3]</sup>、Strassmann<sup>[4]</sup>、Oliner 和 Sichel<sup>[5]</sup>从企业绩效、行业效率等各个角度的研究,也表明在计算机等信息技术方面的投入对经济增长没有显著的促进效应。

通过现实观察,经济学家们提出了扩散时滞假说、资本存量假说等各类理论来解释“生产率悖论”产生的原因。一方面,以美国经济史学家 Paul A. David 为代表的支持扩散时滞假说的学者们认为:纵观历史,可以发现从人们掌握了电力的使用方法起,经历了40年的时间(电力)才对工业劳动生产率增长产生了促进作用。以此类推,信息技术需要时间的累积才能显现其作用。另一方面,主张资本存量假说的 Oliner 和 Sichel 认为<sup>[5]</sup>,只有当计算机等信息技术得到有效传播时,才能促进经济增长。他们分别在不同假设前提下,进一步针对美国1970—1992年间其国

收稿日期:2020-01-14

**作者简介:**石晓阳(1990—),女,河北邯郸人,北京理工大学管理与经济学院,博士生,研究方向:技术经济,共享经济;张亦弛(1985—),男,河北廊坊人,中国农业大学经济与管理学院,博士生,研究方向:农业经济管理;通讯作者:夏恩君(1962—),男,吉林松原人,北京理工大学管理与经济学院,教授,博士生导师,研究方向:技术创新管理、技术经济评价、区域经济发展、产业经济、金融预测及投资分析等。

注:①数据来源: <http://net.blogchina.com/blog/article/704601221>。

内各类电脑设备投资的超额回报率进行估算,得出:计算机资本对产出增长的贡献率在 $0.31\%\sim 0.38\%$ 之间。Capello 和 Nijkamp<sup>[6]</sup>研究了电信网络的网络外部性与区域经济发展之间的关系,认为电信网络在区域经济发展中具有重要的促进作用。Duggal, Saltzman 和 Klein<sup>[7]</sup>采用非线性生产函数模型,将由电缆、互联网设施、卫星等信息部门所产生的技术增长率作为非线性生产函数模型的重要变量,研究了信息技术在美国经济扩张中的作用。结果表明,信息技术对美国 20 世纪 90 年代经济扩张的贡献最大。

从 2000 年 3 月至 10 月,以技术股为主的纳斯达克股市下跌了 50%。作为纳斯达克指数成分股的信息通信技术公司遭受重创,互联网泡沫破裂,美国经济增速开始放缓。这导致一些学者重新关注信息通信与经济增长之间的关系。Kraemer 和 Dedrick<sup>[8]</sup>的研究表明:由于预期失误所致的短期冲击是造成当时(美国)经济减速的主要原因,信息通信技术所触发的生产率增长是真实的。近年,有学者针移动信息通讯对经济增长的影响。Jacobsen<sup>[9]</sup>, Waverman, Meschi 和 Fuss<sup>[10]</sup>研究均得出,手机这类移动通讯终端对于信息扩散和经济增长有促进作用。Gruber 和 Koutroumpis<sup>[11]</sup>通过理论分析指出,信息通讯建设对经济体 GDP 和生产率的提高主要是通过移动网络的渗透作用实现的。

然而,学界研究信息通讯对农业 TFP 影响的文献较少,直到 2010 年后才逐渐增多其中具有代表性的有:尹宗成<sup>[12]</sup>选用我国省级面板数据检验农业信息服务对农业 TFP 的影响,结果表明,交通和通讯有助于农业 TFP 的提高,但不同区域的影响程度和显著性不同。于淑敏<sup>[13]</sup>将农业信息化水平作为农业技术进步的内生变量,研究了其对农业 TFP 的影响,发现中国农业信息化水平能够长期促进农业 TFP 提高。田涛和李玮玮<sup>[14]</sup>针对交通和通讯对农业 TFP 的影响进行了研究,利用相关支出、每百农户电视机数为代理变量,研究得出农业信息服务水平显著促进了农业 TFP。韩海彬和张莉<sup>[15]</sup>的研究结果表明,信息通讯技术对农业 TFP 的作用为非线性,并受人力资本的制约,农业信息化对农业 TFP 的作用具有门槛效应,即人力资本水准越高,作用程度越大。然而,李士梅、尹希文<sup>[16]</sup>将每百人电话拥有量纳入考量农业 TFP 的计量模型,结果表明其对农业 TFP 的影响不显著。

通过以上对现有文献的整理分析,由于移动互联网建设相对于基础设施建设和公共服务而言属于新

兴领域,关于农村地区移动互联网建设的许多重要问题在理论界仍未达成共识,关于农村地区移动互联网建设和使用的研究文献尤其少,文献层面缺乏系统、深入、完整的论述,相关的研究还有待完善,缺乏从移动互联网建设和应用的角度去考虑对农业 TFP 的影响,以及农户如何借助移动互联网有效获取技术、政策以及专业化服务。本文的研究可以从以下几个方面进行改进:

第一,现有研究多为互联网对二三产业 TFP 的研究。而在少量涉农研究中也多以对农业 GDP 的影响为主,针对互联网对农业 TFP 影响的研究更少,而针对移动互联网的研究无论从理论还是实证方面都少之又少。所以,本文从移动互联网视角分析农业 TFP。

第二,农村地区受限于人口密度和搭设成本,因而除城郊地区农村外,大多数农村固话宽带铺设难度较大。因而近年国家在农村地区大力推广移动互联网建设。随着近期 5G 网络的实现,对此前 3/4G 移动互联网在农村地区的影响进行总结并加以研究也就更具现实意义。

## 1.2 理论分析

学界通常认为现实中的全要素生产率由两个部分构成:微观生产效率和资源重新配置效率。其中,前者的提高主要由“创新”为代表的广义的技术进步和已有技术的推而广之引致。后者在理论上被称作帕累托改善(Pareto Improvement),指在不使其他任何人的境况变差的前提下,通过资源的重新配置使至少一个人的境况变好。

微观生产效率的提高主要由技术进步和已有技术更广泛应用两方面引起,此处技术为涵盖技术、政策和管理等诸多方面的广泛涵义。如出现科学技术突破创新、体制和政策进行了改革调整、生产环节管理得到优化完善等均属于技术进步,而当技术相对稳定时,扩大已有技术影响范围的活动则属于纯技术效率内容。无论是哪种情况,移动互联网在微观,一方面打破了时间和空间对技术传播的限制,另一方面降低了农户获得技术的各种成本。这就为科技成果的加速扩散、教育培训的推广、政策规划及时推行创造了客观条件。具体而言,农村地区的移动互联网建设可以在农业体系内、外部两个维度促进农业全要素生产率:首先,在农业经济体系内部,农村信息网络基础设施为农民提供高质量的信息服务。农户可以更好了解外部信息、技术和扶持政策,全面掌握种植、养殖、储藏、加工的方式方法,从而使生产经营活动的效

率更高。其次,在农业经济体系外部,农村信息网络基础设施能够帮助政府掌握准确的农业、农村信息,可制定更有针对性的政策与规划;而涉农企业更可能的放矢,更准确的为农户提供优质的生产生活服务和物资。农业生产也将借助外部信息,规避各类风险和降低灾害损失、促进传统农业生产方式升级、促进农业产出增加。

最优生产规模是对资源的充分利用,农村地区的移动互联网络建设可从以下三方面影响农业生产的规模效率:首先,消除信息不对称,促进农业经济内部资源重获配置效率。农村地区的移动互联网络建设可以打破信息资源在时间和空间上的限制,优化其它资源的配置,促进农业结构的调整、升级。其次,农村地区的移动互联网络建设可以促进农业生产分工协作。当前农村专业服务组织服务范围有限和农技农艺人才短缺,移动互联网络可以扩大农业专业服务的范围,提高专业服务的及时性,促进农业生产分工协作和农业科技推广应用,并降低相关成本。最后,使市场信息更为透明,促进市场竞争。移动互联网络加速信息传播,高效对接供求双方。农业生产效率高的农户会因此获利,进而选择继续留在农业经济体系内。一方面最具生产效率的农户扩大生产规模逐渐取代低效率者,另一方面也客观上使最具比较优势农产品得以被高效种植。

## 2 研究设计

### 2.1 研究期的确定

移动通讯网络先后完成了四次换代升级,研究期内正好涉及 2G 和 3G 网络的更迭,而 2G 网络升级到 3G 网络又恰是移动互联网正式接入的开端。G 是 Generation 的缩写,是根据速率、业务类型、传输时延还有各种切换成功率角度的不同,对移动通讯技术和服务“代”的划分。

本研究的关键变量为农户手机拥有情况、移动互联网模式以及两者的交互项。其中前者农户手机拥有情况在国家统计指标体系中仅到 2014。因此,本研究期选取了 2003—2014 年作为研究期,该时间段正好是 2G 移动网络向 3G 高速 IP 数据网络阶段的跨越阶段。

2G(数字网络通信阶段)使用了数字传输模式,除了提高了电话寻找网络的效率,还增加了短息功能,初步为移动上网功能的实现打下了技术基础。研究期初移动通讯多为 2G 模式,此后少数经济发达的一线城市开始兴建 3G 信号基站,但在农村 3G 基站建设比较少,仍以 2G 模式为主。

3G(高速 IP 数据网络阶段)此阶段,移动通讯用户可以通过互联网进行包括语音、发送图文信息,进行视频和其它多媒体数据包传输。工业和信息化部 2008 年 12 月 12 日首次明确了对 3G 牌照的发放。

### 2.2 模型的建立

Nishimizu<sup>[17]</sup> 和 Hulten<sup>[18]</sup> 分别检验了基础设施对生产率的影响。他们共同的研究思路是:通过检验证明基础设施对全要素生产率是否产生影响。Hulten<sup>[18]</sup> 在 2006 年提出的实证研究模型(1),他认为基础设施能够通过其外部性提高生产的效率,即项中的对生产效率具有促进作用。

$$Y = F(K, L, t)E(I, t) \quad (1)$$

本文将研究  $E(I, t)$  来分析农村地区的移动互联网络建设如何影响农业生产效率。Hulten<sup>[18]</sup> 认为基础设施对生产的影响能在实际生活中直接观察到,但却无法度量,只能通过 Solow 残差或全要素生产率(TFP)来代表。模型(2)是农村移动互联网对农业全要素生产率的影响。TFP 为农业全要素生产率:

$$\ln TFP_{i,t} = \sigma_0 + \sigma_1 \ln I_{i,t} + \sigma_2 \ln X_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

其中,  $I$  是反映农村地区的移动互联网络建设情况的研究变量,  $X$  是控制变量,  $t$  是时间趋势,  $i$  为不可观测的省区效应,  $\epsilon$  为随机扰动项。

### 2.3 变量的选取

因变量:参照学者 Nishimizu<sup>[17]</sup> 和 Hulten<sup>[18]</sup> 相关研究,代理指标选取农业 Malmquist 全要素生产率指数。全要素生产率的计算主要有两类:参数方法和经济计量法。前者只考虑了少量基本要素,因此优点是计算简单,但由于以新古典增长理论为依据,因此依附于强假设前提;后者是由不同的计量模型计算得出,优点是估算过程可以涵盖了绝大多数因素,缺点则是由于计算过程复杂极容易出现错误,但二十世纪 80 年代后计算机的出现和计量软件快速发展极大地解决了这一问题。本研究计算方法选用 Fare<sup>[19]</sup> 的非参数包络分析,DEAP2.1 软件采用单输入多输出指标体系计算出每个省的农业全要素生产率,其中输出指标为农林牧渔业总产值,输入指标为农作物总播种面积、农林牧渔业从业人数、农机总动力、化肥施用折纯量和有效灌溉面积。由于在 DEA 方法中,估计的各个生产单元的农业全要素生产率是根据相邻两期的数据计算而出的环比指数,只能呈现短期的变化(本期同比上期的变化倍数),不能反映相较基期的变化情况(长期变化)。因此,本部分研究选用累计指数,即将各省各年的环比指数连环相乘。

研究变量:移动互联网是指移动通信终端与移动

通信网络相结合为一体<sup>[20]</sup>,是用户使用手机或者其他无线终端设备,通过移动网络,在移动的状态下随时、随地访问 Internet 以获取信息,使用商务、娱乐等各种网络服务。本文选取农村地区移动电话数量作为移动终端的代理变量;选择 2G 和 3G 牌照发放的虚拟变量作为移动网络的代理变量。

控制变量:本文所选取的控制变量主要是学术界普遍认为对农业全要素生产率有显著影响的因素,主要分为三类:农业经济内部其它变量、农业经济体系内部结构效应以及影响农业经济的宏观因素。

1)农业经济内部其它变量:①农村交通运输:由于乡村道路多为等外公路,所以本文选取等级外公路里程数作为其替代数据,能相对客观真实的反映出农村地区交通运输基础设施建设情况。②农村能源供应:选择农村用电量为农村能源供应基础设施代理变量。③农村教育培训:选取农村劳动力接受正规教育的平均年限进入模型,作为控制变量农村教育培训的

代理变量。

农村劳动力人均接受正规教育年数=(未接受过正规教育者人数×0+小学文化人数×6+初中文化人数×9+高中文化人数×12+中专文化人数×12+大专及以上学历人数×16)÷总人数。

2)农业经济体系内部结构效应:在农业增长的研究中常选取种植业占农业总产值比重作为结构效应的代理变量。

3)影响农业经济的宏观因素:本文考虑到宏观因素对农业经济的影响,选取农林牧渔业就业人员数占社会总就业人员人数比重作为其代理变量。

## 2.4 数据来源与统计描述

本文数据主要来源于国家统计局网站和相关农业统计年鉴,并构建 2004 年至 2014 年各省的面板数据。除离散类数据、百分比数据和指数类数据外,本章研究对其它各项数值均取对数,以使这些数据的变化走势呈线性化特征,又排除了异方差。各变量的描述性统计结果如表 1 所示。

表 1 各变量的描述性统计

变量		代理变量	平均值	标准差	最小值	最大值
因变量	农业生产效率	农业全要素生产率	1.514 6	0.470 2	0.842 0	3.7885
研究变量	移动终端设备	每百农户平均有移动电话数量	102.558 3	78.736 1	0.270 0	276.660 0
	移动网络	2G	0.933 3	0.249 7	0	1
		3G	0.400 0	0.490 4	0	1
控制变量	农业经济内部其它影响因素	农村交通运输基础设施(等外公路里程)	1.939 9	2.157 0	0	10.940 0
		农村能源(农村用电量)	4.318 3	1.360 9	0.398 8	7.514 8
		农村教育(受教育年限年数)	8.139 0	0.907 6	5.200 0	12.030 0
	农业经济内部结构情况	种植业占农业总产值比重	0.521 9	0.087 2	0.338 8	0.740 0
	影响农业经济的宏观因素	农林牧渔业就业人员数占社会总就业人员人数比重	0.398 3	0.213 4	0.030 2	3.574 1

## 3 实证结果及分析

本文基于 2003 年—2014 年的各省份面板数据,利用 Xtobit 模型,研究移动互联网对农业全要素生产率的影响。由于农业全要素生产率指数及其分解指数存在上下限,且不可观测,只能通过相关计算得到(存在忽略某些不可度量因素的可能性),这使得数据中可能隐藏着选择性偏差。因此,当因变量(数据)必须在特定约束条件下取值时,需要选用受限因变量模型(Xtobit 模型)以使估计更为有效。

### 3.1 移动终端设备对农业全要素生产率的影响

模型结果显示(见表 2),无论是在不考虑宏观因素和农业经济内部结构影响的封闭的经济体系内[模型(1)]、还是考虑到宏观因素以及农业经济内部结构

影响的开放经济体系内[模型(2)和模型(3)],农户移动电话拥有量在 1%的显著性水平上正向影响农业全要素生产率。这一方面是由于手机可以消除信息不对称,打破信息沟通在时间和空间上的限制,另一方面也高效对接各类供求双方,大大减少了各方的交易成本。此外,农村用电量在 5%的显著性水平上正向促进农村全要素生产率。

### 3.2 移动网络对农业全要素生产率的影响

在模型(3)中引入反映不同移动网络模式属性的虚拟变量,以及和移动终端设备的交互项:先后加入 2G 和 3G 虚拟变量针对不同移动通讯模式做进一步拓展研究,估计结果如表 3 所示:2G 网络的引入不会对农业全要素生产率产生影响;而 3G 网的引入均在

表 2 移动终端对农业全要素生产率的影响

变量		代理变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)
研究变量	移动终端设备	每百农户平均有移动电话数量	0.004 5*** (0.000 2)	0.004 5*** (0.000 2)	0.004 5** (0.000 2)
控制变量	其它基础设施 和公共服务	交通运输 (等外公路里程)	-0.007 7 (0.007 0)	-0.007 8 (0.007 0)	-0.008 6 (0.007 1)
		农村能源 (农村用电量对数值)	0.062 7** (0.027 6)	0.065 8** (0.027 7)	0.657 1** (0.027 9)
		农村教育 (受教育年限年数)	0.039 4 (0.028 6)	0.042 6 (0.028 6)	0.041 4 (0.028 7)
	农业经济内 部结构情况	种植业总产值占 农业总产值比重	—	—	-0.198 4 (0.260 3)
	影响全要素生 产的宏观因素	农林牧渔业就业人员 占全社会就业比重	—	0.088 4 (0.063 1)	0.090 1 (0.063 1)
		常数项	0.476 6** (0.226 6)	0.400 1* (0.232 2)	0.514 8* (0.276 8)
		Wald chi2	1 503.420 0	1 512.790 0	1 517.140 0
		P 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0
		观测值	450	450	450
		省份数	30	30	30

注:括号中数据是标准误;\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的显著水平下显著。

表 3 移动网络模式对农业全要素生产率的影响

变量		代理变量	2G 网络		3G 网络	
			模型(4)	模型(5)	模型(6)	模型(7)
研究 变量	移动终端设备	每百农户平均有移动电话数量	0.004 5*** (0.000 0)	0.007 1 (0.006 3)	0.004 *** (0.000 )	0.003 3*** (0.000 4)
	2G 网络	2G	0.035 8 (0.043 1)	0.048 9 (0.053 5)	—	—
		手机 * 2G	—	-0.002 6 (0.006 3)	—	—
	3G 网络	3G	—	—	0.110 *** (0.040 )	-0.059 2 (0.075 5)
		手机 * 3G	—	—	—	0.001 4*** (0.000 5)
控制 变量	其它基础设施和 公共服务	交通运输 (等外公路里程)	-0.009 5 (0.007 2)	-0.009 9 (0.007 2)	-0.006 (0.007 )	0.002 2 (0.007 6)
		农村能源 (农村用电量对值)	0.064 0** (0.027 7)	0.064 5** (0.027 8)	0.065** (0.027 )	0.072 0** (0.027 9)
		农村教育 (受教育年限年数)	0.040 8 (0.028 7)	0.040 8 (0.028 7)	0.034 (0.028)	0.038 3 (0.028 4)
	农业经济内部 结构情况	农林牧渔业就业人员 占全社会就业重	0.091 2 (0.063 1)	0.091 0 (0.063 1)	0.086 (0.063 )	0.079 7 (0.062 1)
	影响全要素生 产的宏观因素	种植业总产值 占农业总产值比重	-0.147 5 (0.266 3)	-0.137 6 (0.267 5)	-0.345 (0.263 )	-0.518 1*** (0.272 5)
		常数项	0.471 1* (0.281 0)	0.451 1 (0.285 4)	0.663** (0.278 )	0.716 8** (0.278 0)
		Wald chi2	1 519.440 0	1 520.560 0	1 550.610 0	1 585.570 0
		P 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
		观测值	450	450	450	450
		省份数	30	30	30	30

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的显著水平下显著。

1%的显著性水平上正向影响农业全要素生产率,可见,移动通信技术的提升有利于提升农业全要素生产率。此外,从模型(7)中可知,移动网络与移动设备相互作用,共同促进农业全要素生产率的提高。其原因在于:2G网以数字语音技术为核心,一般无法直接传送电子邮件、软件等信息,3G网络技术全面支持图像、音乐、视频等多样化的多媒体形式,提供包括网页浏览、电话会议、电子上午等多种信息服务。3G网的普及使得农户可以使用移动终端设备接入互联网了解农业信息、新闻以及农业科技信息等。一方面,市场信息更为透明,农产品交易会更为频繁,农户会因此获利。另一方面,市场信

息更为透明又促进市场竞争,最具比较优势农产品得以被高效种植,低效率生产者也将被淘汰。

从不同农业发展水平(分组情况见附录)地区来看(见表4),移动终端设备在1%的显著水平下对农业全要素生产率有促进作用,且对农业全要素生产率的影响在不同的农业发展水平区域之间无明显差异;移动互联网农村移动互联网在1%的显著水平下对农业全要素生产率有促进作用,且农村移动互联网对农业全要素生产率的影响在不同的农业发展水平区域之间存在明显差异,大小顺序是:农业发达地区 and 中等地区>农业欠发达地区。

表 4 不同农业发展水平地区、农业产值规模地区移动网络模式对农业 TFP 的影响

变量		代理变量	农业发展水平	农业产值规模
研究变量	移动终端设备	每百农户平均有移动电话数量	0.004 1*** (0.000 4)	0.005 1*** (0.000 5)
		手机 * 中等地区/ 手机 * 中等规模地区	-0.000 2 (0.000 6)	-0.000 8 (0.000 6)
		手机 * 欠发达地区/ 手机 * 较小规模地区	-0.000 1 (0.000 6)	-0.001 9*** (0.000 6)
		3G 网络	0.183 2*** (0.059 7)	0.073 1 (0.065 1)
	移动互联网络	3G * 中等地区/ 3G * 中等规模地区	-0.060 2 (0.086 4)	0.050 7 (0.088 6)
		3G * 欠发达地区/ 3G * 较小规模地区	-0.217 1** (0.090 8)	-0.018 4 (0.088 7)
控制变量	其它基础设施和公共服务	交通运输(等外公路里程)	-0.001 6 (0.007 0)	-0.004 0 (0.006 8)
		农村能源(农村用电量对数值)	0.038 7 (0.026 9)	0.013 2 (0.027 9)
		农村教育(受教育年限年数)	0.041 6 (0.028 0)	0.082 7*** (0.028 2)
	农业经济内部结构情况	农林牧渔业就业人员 占全社会就业比重	0.118 5* (0.061 1)	0.135 2** (0.060 0)
	影响全要素生产率 的宏观因素	种植业总产值占农业总产值比重	-0.206 4 (0.259 6)	0.012 4 (0.256 3)
		Wald chi2	1 687.870 0	1 772.570 0
		P 值	0.000 0	0.000 0
		观测值	450	450
		省份数	30	30

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的显著水平下显著。

从不同农业产值规模(分组情况见附录)地区来看(见表4),移动终端设备农户移动电话拥有情况在1%的显著水平下对农业全要素生产率有促进作用,且对农业全要素生产率的影响在不同的农业产值规模地区之间存在明显差异,大小顺序是:农业产值规模较大地区和中等地区>农业产值规模较小地区;移

动互联网对农业全要素生产率的影响在不同的农业产值规模区域之间无明显差异。

#### 4 结论与启示

本研究利用 2004—2014 年全国 30 个省相关数据,使用受限因变量模型,实证分析了农村地区移动互联网对农业全要素生产率的影响情况,结果发现:

①农户的移动终端设备拥有情况对农业全要素生产率具有显著的促进作用;②农村地区不同的移动通讯网络对农业全要素生产率的影响不同,且移动互联网具有显著的促进作用;③农业发展水平分组下,农户的移动终端设备拥有情况对农业全要素生产率的作用无区域差异,但农村移动互联网在农业发达地区和中等地区对农业全要素生产率的促进作用大于农业欠发达地区;农业产值规模分组下,农户的移动终端设备拥有情况在农业产值规模较大地区和中等地区对农业全要素生产率的作用大于农业产值规模较小地区,但农村移动互联网对农业全要素生产率的作用无区域差异。

本文的研究有如下政策启示:首先,移动互联网在提高农业全要素生产率方面有着至关重要的作用,因此加强智能终端设备、农村移动网络覆盖尤为重要。然而,到目前为止,部分地区 4G 网络尚未全覆盖,部分地区虽然实现了移动网络的覆盖,但会有网络运行质量较差,运营商维修不及时等问题亟待解决。因此,政府部门在做好基础情况的排查工作,完善 4G 网络全覆盖的问题的同时改进通信设施和网络设施建设。

其次,从农业发展水平角度出发,应注重从移动互联网建设入手,并优先在农业发达地区和中等地区进行移动互联网网站建设。总结经验教训,再逐步覆盖农业欠发达地区。

最后,从农业总产值角度,应从智能终端设备的补贴入手,优先在农业产值规模较大地区和中等地区对农户购买智能终端设备给予适当补贴。选取农业产值规模较大和中等地区为补贴试点,再稳步有序地扩大补贴范围,从而促进农村地区智能移动终端设备的覆盖。

#### 附录:

由于本研究的期限跨越 2003—2014 年,首先以 1987 年为基期,用各年 GDP 指数对农林牧渔业从业总产值进行平减,剔除价格因素影响;通过除以各省历年农林牧渔业从业人员数计算出人平均值,较大的前 10 个省份为农业发达地区,后 10 个省份为农业欠发达地区,中间 10 个省份为农业中等地区(见表 5)。

以 1987 年为基期,用各年 GDP 指数对农林牧渔业从业总产值进行平减,剔除价格因素影响;其次将各省历年农业 GDP 相加计算出年平均值。农业 GDP 年平均值较大的前 10 个省份为产值规模较高地区,后 10 个省份为农业产值较低地区,中间 10 个省份为农业产值中等地区(见表 6)。

表 5 按农业发展水平分组

区域名称	分类办法	范围
发达地区	前 10 位省份	上海、江苏、北京、天津、辽宁、海南、湖北、黑龙江、吉林、广东
中等地区	11~20 位省份	福建、内蒙古、新疆、浙江、山东、河北、四川、安徽、江西、陕西
欠发达地区	后 10 位省份	河南、甘肃、重庆、宁夏、湖南、广西、青海、云南、山西、贵州

表 6 按农业产值规模分组

区域名称	分类办法	范围
规模较大地区	前 10 位省份	辽宁、河北、河南、山东、湖北、湖南、安徽、江苏、四川、广东
中等地区	11~20 位省份	黑龙江、吉林、内蒙古、新疆、陕西、浙江、江西、福建、广西、云南
规模较小地区	后 10 位省份	北京、天津、上海、重庆、山西、贵州、甘肃、海南、宁夏、青海

#### 参考文献

- [1] BAILY M N. What has happened to productivity growth? [J]. Science, 1986, 234(4775): 443—451.
- [2] LUCAS JR R E. An equilibrium model of the business cycle [J]. The Journal of Political Economy, 1975, 83(6): 1113—1144.
- [3] CRON W L, SOBOL M G. The relationship between computerization and performance: a strategy for maximizing the economic benefits of computerization [J]. Information & Management, 1983, 6(3): 171—181.
- [4] STRASSMANN G, RESS S, ANICHINI A, et al. Inhibition of Anti-class I cytotoxicity by anti-class II monoclonal antibodies (MoAb). I. Blocking of bulk non-DR and non-DQ-directed cytotoxic T cells by MoAb against DR, DO, and DP [J]. Human Immunology, 1985, 13(2): 125—137.
- [5] OLINER S D, SICHEL D E. Computers and output growth revisited; how big is the puzzle? [J]. Brookings Papers on Economic Activity, 1994, 25(2): 273—334.
- [6] CAPELLO R, NIJKAMP P. Telecommunications technologies and regional development: theoretical considerations and empirical evidence [J]. Annals of Regional Science, 1996, 30(1): 7—30.
- [7] DUGGAL V G, SALTZMAN C, KLEIN L R. Infrastructure and productivity: an extension to private infrastructure and it

- productivity[J]. *Journal of Econometrics*, 2007, 140(2): 485—502.
- [8] KRAEMER K, DEDRICK J. The productivity paradox: is it resolved? is there a new one? what does it all mean for managers[R]. Irvine, CA: Center for Research on Information Technology and organizations, University of California, 2001: 1—12.
- [9] JACOBSEN T, HÖFEL L. Descriptive and evaluative judgment processes: behavioral and electrophysiological indices of processing symmetry and aesthetics[J]. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 2003, 3(4): 289—299.
- [10] WAVERMAN L, MESCHI M, FUSS M. The impact of telecoms on economic growth in developing countries[J]. *The Vodafone Policy Paper Series*, 2005, 2(3): 10—24.
- [11] GRUBER H, KOUTROUMPIS P. Mobile communications: diffusion facts and prospects[J]. *Communications and Strategies*, 2010, 77: 133—145.
- [12] 尹宗成. 粗糙集理论在我国粮食产量预测中的应用[C]//安徽省科学技术协会, 安徽省农业委员会. 现代农业理论与实践——安徽现代农业博士科技论坛论文集. 合肥: 安徽省科学技术协会, 安徽省农业委员会, 2007: 384—387.
- [13] 于淑敏, 朱玉春. 农业信息化水平的测度及其与农业全要素生产率的关系[J]. *山东农业大学学报: 社会科学版*, 2011(3): 31—36.
- [14] 田涛, 李玮玮. 农业信息服务的生产率增长效应检验[J]. *安徽农业大学学报: 社会科学版*, 2012, 21(4): 1—5.
- [15] 韩海彬, 张莉. 农业信息化对农业全要素生产率增长的门槛效应分析[J]. *中国农村经济*, 2015(8): 11—21.
- [16] 李士梅, 尹希文. 创新模式、城镇化与工业企业产能过剩治理研究[J]. *求是学刊*, 2017(4): 60—65, 178.
- [17] NISHIMIZU M, HULTEN C R. The sources of Japanese economic growth: 1955—71[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1978, 60(3): 351—361.
- [18] HULTEN C R, BENNATHAN E, SRINIVASAN S. Infrastructure, externalities, and economic development: a study of the Indian manufacturing industry[J]. *The World Bank Economic Review*, 2006, 20(2): 291—308.
- [19] FÄRE R, GROSSKOPF S, NORRIS M, et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J]. *The American Economic Review*, 1994, 84(1): 66—83.
- [20] 肖志辉. 移动互联网研究综述[J]. *电信科学*, 2009(10): 36—42.

## Research on the Impact of Mobile Internet on China Agricultural Total Factor Productivity

SHI Xiao-yang<sup>1</sup>, ZHANG Yi-chi<sup>2</sup>, XIA En-jun<sup>1</sup>

(1. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. School of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the data of 30 provinces in China, this paper studied the impact of mobile Internet on agricultural TFP. Results showed that: ① farmers' ownership of mobile devices promoted agriculture TFP; ② different mobile networks had different effects on agriculture TFP; ③ in terms of agricultural development level, there was no regional difference in the effect of mobile terminal equipment on agricultural TFP, but the promotion effect of mobile network on agricultural TFP was greater in developed and medium areas than in less developed areas; ④ in terms of agricultural output value scale, in the regions with larger and medium agricultural output value, farmers' ownership of mobile terminal equipment promoted agriculture TFP more than those with smaller agricultural output value. However, there was no regional difference in the effect of mobile network on agriculture TFP. The conclusion of this paper could be a reference to the construction of mobile Internet in rural areas.

**Key words:** mobile Internet; agriculture TFP; xtobit model



# 基于技术创新的装备制造业高质量发展综述

孙 斌, 田植良

(内蒙古科技大学 经济与管理学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:**加快推进装备制造业实现高质量发展,对于实现制造业高质量发展有着重要的意义。通过回顾国内高质量发展的相关文献,梳理了高质量发展的相关内涵和学术界达成的一致见解,探讨了我国技术创新与经济发展质量之间的关系,进而对当前装备制造业的发展情况进行了讨论,最后对高质量发展文献研究进行了整体评述。

**关键词:**高质量;技术创新;装备制造业;仿真

**中图分类号:**F224.32 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0075-05

习近平总书记指出,装备制造业是国之重器,是制造业的脊梁,更是实体经济的重要组成部分,必须把握优势,乘势而为,做强做优做大。装备制造业的转型升级,对于我国整个工业体系的优化提升具有基础性、决定性作用,是国民经济效率提升、供给侧结构优化的关键性行业。《中国制造2025》中提出要在集成电路及专用设备、信息通信设备、航空航天设备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、电力装备和农机装备等重点领域取得突破发展。为进一步更好地推动制造业高质量发展,必须将装备制造业摆在更加突出的地位。

## 1 高质量发展相关研究

自2010年至今,我国GDP增速已经从10.6%下降至6.5%左右,经济以稳定的态势向好发展,标志着我国经济发展已经进入了中高速增长阶段。随着中共十九大中提出“高质量”一词,便迅速地被学术界用来描述当前我国经济发展新常态的阶段特征和目标特征,高质量发展已经成为解决我国现行经济压力和突破发展困境的必由之路。

### 1.1 高质量发展内涵研究

高质量发展一词提出时间尚短,企业界上对于高质量发展也没有相关成熟的实践经验,加上学术界对高质量发展的研究也尚不充足,使得高质量发展还未形成一个明确的定义。但是国内外一些学者已经围绕高质量发展的理论内涵、作用机制以及实现路径进行了深入的探讨。吕守军等从马克思主义理论出发,

认为高质量发展遵循了马克思辩证唯物主义和历史唯物主义,是追求更高的使用价值、实现人民美好生活的必由之路,其重要实现路径主要分为三方面,分别是深化供给侧结构性改革和“放管服”改革、完善创新体系、大力弘扬劳模精神和工匠精神<sup>[1]</sup>。金碚指出当经济发展由高速增长转向高质量发展阶段的过程中,不能仅仅依靠无限追求交换价值的工具理性所主导的“单发”性动力机制,而是必须具有能够体现人民向往目标和经济发展的最根本战略目标的新动力机制,这种新动力机制的供给侧和需求侧分别是创新引领和人民向往<sup>[2]</sup>。史丹等认为高质量发展就是以供给侧结构性改革为主线的推动经济发展在企业、产业、宏观三个层面的质量变革,提升全要素生产率、产业发展效益、生态质量水平的效率变革以及从旧的资本或劳动投入驱动模式转变为创新驱动的动力变革三大变革齐头并进的全面变革<sup>[3]</sup>。胡鞍钢等从逻辑演进视角分析了我国经济发展从数量到质量的三重逻辑后认为,“从数量型增长到质量型发展的历史性变迁,是马克思主义唯物辩证法质量互变规律和矛盾对立统一规律作用于我国特定发展时期的动态反映,符合质量并重的古典经济学逻辑和先量后质的后发国追赶逻辑”,并且提出推动高质量发展必须把人民幸福作为价值引领<sup>[4]</sup>。贺晓宇等从创新、市场、供给、开放四个方面分析了现代化经济体系的理论内涵,并且以此构建了现代化经济体系的评价体系,并将全要素生产率作为经济发展质量的替代指标,证明完善现

收稿日期:2020-01-10

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJSZ19136);包头市哲学社会科学规划课题(2019-yy09)。

作者简介:孙斌(1974—),男,辽宁东港人,内蒙古科技大学经济与管理学院,副教授,博士,研究方向:智慧城市与城市群;田植良(1995—),男,山西汾阳人,内蒙古科技大学经济与管理学院,硕士研究生,研究方向:城市群产业发展。

代化经济体系对高质量发展有着积极地的促进作用<sup>[5]</sup>。洪银兴从优化经济结构、转换增长动力和建设新的经济治理体系三个方面描述了现代化经济体系的重要特征,并且认为促进经济高质量发展对现代化经济体系的建立起着重要的支撑作用,提出了建立现代化经济体系需要各个方面一体建设、整体推进的政策建议<sup>[6]</sup>。

## 1.2 高质量发展的认知

经过文献梳理发现,尽管高质量发展尚未形成一致的定义,但政策报告和学术研究已经在以下三个方面已经达成了一致的认知:

高质量发展是创新成为第一驱动力的发展。中共十九大报告中明确指出创新是发展的第一驱动力。陈诗一等认为创新是包括经济、社会、科技、文化等各个领域的创新,不单单指科技创新<sup>[7]</sup>。冯俏彬强调推动我国经济由高速度增长转向高质量增长,就是要进一步树立“创新是引领发展的第一力量”、“技术进步是经济繁荣的根源”的理念<sup>[8]</sup>。

创新驱动的内涵包括技术、制度和文化在内的全面创新。十九大报告中重点提出要对科技体制进行深层次改革,创建企业、市场、产学研三位一体的技术创新体系,推进文化创新不断进步,促进文化繁荣发展,强化对知识产权的保护。任保平指出,创新是包含技术、产业、产品等各方面在内的协同创新<sup>[9]</sup>。储节旺等认为企业与国家的创新驱动战略殊途同归,二者俱是重点利用技术、管理、市场三方面的共同创新来推动企业的发展<sup>[10]</sup>。沈敏提出技术和制度是创新型国家建设的双引擎,在现代化经济体系建设中,必须坚持技术创新和制度创新的双擎驱动,立足于技术创新,积极探索制度创新,实现技术创新与制度创新的协调互动<sup>[11]</sup>。

高质量发展最根本的目标是实现经济社会的全面进步与发展。十九大报告中指出高质量发展的目标就是要推动我国经济持续健康地向前推进,更好地满足人民群众对美好生活多层次、多样化、多方面的需求。赵昌文认为城乡区域发展和收入分配差距较大、风险过度积聚、环境污染严重、创新能力不足都不是高质量发展;反之,促进共同富裕、防范化解风险、创新驱动和人与自然和谐共生的发展就是高质量发展<sup>[12]</sup>。张军扩等认为,高质量发展是以满足人民日益增长的美好生活需要为目标的高效率、公平和绿色可持续发展<sup>[13]</sup>。

## 2 技术创新相关研究

最早在经济上使用创新概念的是熊彼特。熊彼

特认为,创新即生产要素的新组合,并且将其归纳为五个方面:①引进一种新的产品;②采用一种新的生产技术;③开辟一个新的市场;④垄断原材料或半成品的供应来源;⑤实现任何一种新的组织<sup>[14]</sup>。随着科技进步和经济的发展,创新理论得到了不断地演化。后来弗里曼在解释创新概念时,把熊彼特的创新的内涵概括为新发明、新产品、新工艺、新方法或新制度第一次运用到经济中去的尝试。

1962年,技术创新的概念被第一次提出,当时认为技术创新是一种行为集合模式,这些行为包括发明的选择、资本投入保证、组织建立、制定计划、招工用人 and 开辟市场等。其他学者也提出了技术创新概念,认为技术创新过程是一个复杂的系统,其中包括了基础技术、工艺进步等整体过程。以Romer和Lucas为代表的经济学家,利用内生经济增长理论论证了技术创新对经济长期稳定增长的重要作用<sup>[15-16]</sup>。

罗斯托认为,经济增长总是先由某个部门进行技术创新开始的,技术创新使该部门降低成本,扩大市场、增加利润,扩大了对其它部门产品的需求,从而带动了地区经济和整个国民经济的增长<sup>[17]</sup>。

到了上世纪80年代,有学者在前人研究成果的基础上,对技术创新作了系统的分析,指出技术创新是:“以其构思新颖性和成功实现为特征的有意义的非连续事件”。其内涵包括两个方面:一方面是技术创新的新颖性和非连续性;另一方面是技术创新活动必须获得最终的成功实现。Martin和Chowdhury等通过实证分析研究了技术创新与经济增长的关系,认为技术创新对经济增长有明显促进作用,是经济增长的长期动力,技术创新还会通过知识积累、改变原有产业结构、提升全要素生产率等途径直接或间接地推动经济长期发展<sup>[18-19]</sup>。

国内一些经济学家根据国外的实际做法,结合我国国情进行深入研究,对技术创新界定问题给出了明确的回答:“技术创新是企业家抓住市场的潜在盈利机会,以获取商业利益为目标,重新组织生产条件和要素,建立起效能更强、效率更高和费用更低的生产经营系统,从而推出新的产品、新的生产(工艺)方法、开辟新的市场,获得新的原材料或半成品供给来源或建立企业的新组织,它是包括科技、组织、商业和金融等一系列活动的综合过程”。

赵树宽等通过构建技术标准、技术创新与经济增长三者关系的理论模型,实证分析了三者长期的动态关系,认为技术创新与技术标准在长期内促进经济增长,技术创新是经济增长的源动力;经济增长对技术

创新的影响不明显,对技术标准具有长期稳定的正向促进作用<sup>[20]</sup>。彭福扬等实证发现知识产权保护通过影响技术创新而间接影响经济增长方式,技术创新和知识产权保护是提高我国经济增长集约化水平的重要因素,坚定不移地实施知识产权战略和提高知识产权保护水平,是实现我国经济增长方式转变的重要手段<sup>[21]</sup>。

### 3 技术创新与经济发展质量的相关研究

我国学者关于技术创新与经济发展质量的研究最早可追溯到上个世纪末。改革开放以来,我国经济保持了两位数的增长,盲目求“热”求“快”使我国经济陷入高投入、高消耗、低效率、低效益的困境而难以改善,本质上就是为了追求速度而忽略了经济增长的质量。针对经济发展中存在的这种现象,许多学者开始探索一条新的经济发展路线。傅家骥等指出,一般而言,决定经济增长状态的主要是五类要素,即人力资本、社会资产、科技进步、生态环境与制度效率,消耗性地使用前三类要素,可以实现经济增长,甚至会有惊人的速度,但增长的质量必然是低劣的<sup>[22]</sup>。我国在改革开放后一段时间内的经济增长速度中,以技术创新为实现过程的技术进步起到的作用才占30%左右(发达国家约为60%~70%),这并不足以支撑两位数的经济增长。

以往的文献研究认为,历史上存在着两种经济增长的方式。一种是经济增长主要依靠不断增加各种生产要素的投入实现,在这一种经济增长中,持续地投入生产要素可能使得生产要素的使用率有一定的提高,但是不会对经济增长的贡献起主导作用。这种方式带来的经济增长更多的是要素的价值转移,而不会带来实质性的财富变化,所以满足不了人民对于日益增长的美好生活的需要。另一种经济增长方式主要依靠生产要素使用率的提高来实现,这种经济增长方式并非排斥生产要素的投入增加。这种增长方式带来的是社会财富的持续增长,人民生活福利的不断增多,因此这一类增长既有“量”的增加,也有“质”的改变。杨久炎指出,质量较高的经济增长,主要表现为用较少的消耗得到同样的产出,或者用同样的消耗获得更多的产出,企业实现经济增长的方式一靠增加要素投入量,二靠提高要素生产效率,提高要素的生产率,只能靠人员素质的是不断提高,技术、工艺、组织、管理、服务、市场等方面的不断创新,而技术创新是提高经济增长质量的唯一出路<sup>[23]</sup>。张小兰将我国经济低质量发展的原因总结为以下几点:人力资源不足、劳动力素质不高、企业缺乏创新理念、创新支持系

统不完善,由此得出了促进我国经济高质量发展的建议:更新技术创新理念、培养并引进领军人才、营造良好的创新氛围,并从政策上给予支持<sup>[24]</sup>。

由于改革开放以来的高速发展,中国取得了举世瞩目的成绩,2010年经济总量超过日本,一举成为世界第二大经济体,但在这期间所带来的问题也是有目共睹的。在社会各界的努力下,我国经济发展中的各种问题得到了不断的解决。党的十六届三中全会适应新的经济发展情况,提出了科学发展观,以人为本,实现全面、协调、可持续发展,对这一发展目标所做出的努力就是转变发展方式,转变长久以来的以高投入高消耗换来的经济增速。党的十七大认真总结了改革开放30年历史进程和十六大以来的工作,提出要转变发展理念,破解发展难题,提高发展质量,实现又好又快的发展。张静认为,由于在发展战略的运行中重制定而轻执行,实施机制存在严重缺陷,而且由于缺乏相应的激励机制,使得在这段时间内战略的实施效果并不明显<sup>[25]</sup>。虽然这段时间内取得的成果并不显著,但是党的十六大和十七大已经对我国经济发展规律的认识取得了重大的进展。这表明国家对于经济发展由重“速”渐渐变为了重“质”。

创新是一个民族进步的灵魂,是一个国家兴旺发达的不竭动力。改革开放四十多年来,中国已经先后经历了要素驱动和投资驱动,目前正进入创新驱动阶段,这要求实现技术创新模式的重大转变。技术创新模式主要有三种:消化吸收创新、集成创新、原始创新。而随着改革开放的不断深入,我们最终的目的是实现自主创新。十八大以来,围绕着创新驱动发展战略,学者们就技术创新对经济发展质量的作用展开了论证。王竹君利用经济增长质量指数测度我国2000—2010年的经济增长质量,通过分析技术创新对经济增长质量各方面的影响发现经济增长的结构和经济增长的稳定性是导致技术创新对经济增长质量整体作用不显著的重要原因<sup>[26]</sup>。白俊红等通过构建创新评价体系对各地区的创新能力进行量化考察,并且运用空间计量分析方法,检验了创新驱动对中国经济增长质量的影响,发现创新驱动能够显著提升东部地区经济发展质量,但对于西部地区效果不明显,而对西部地区有着显著的负向影响<sup>[27]</sup>。

2017年党的十九大上习近平总书记对我国现阶段经济发展矛盾做出了重要陈述,我国现阶段的主要矛盾是人民对于美好生活的需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。并且对我国经济发展阶段做出了重要的判断,我国已经由高速增长阶段转向了高质量

增长阶段,正处在转换增长动力的攻坚期。围绕着高质量发展,一些学者就技术创新和高质量发展展开了研究。在高质量发展阶段,创新驱动其实更多强调的是自主创新,将自主创新与高质量发展相结合是我国特有的提法。白雪飞等认为,高质量发展涉及经济、文化、社会和生态等诸多系统,其内涵更系统,更广泛,更深刻,只有依靠技术的学习、知识的积累、人力资本的培育以及自主创新能力的提升,才能真正实现高质量发展<sup>[28]</sup>。辜胜阻等提出核心技术是在技术系统中起关键作用的技术,其创新具有高投入、高风险、高门槛、长周期、人才密集与颠覆性等特征,推动核心技术创新有利于促进我国经济高质量发展、维护国家安全与抢占全球科技发展先机<sup>[29]</sup>。孙久文认为技术引进消化吸收创新在我国经济社会发展的要求下已经碰到了巨大的制约和瓶颈,主要集中在三个方面:一是外国对华技术限制导致技术引进日益困难,二是发达国家对关键核心技术的垄断,三是技术引进对于经济增长的作用不断递减,因此,目前的技术创新路线应当是以自主创新为主<sup>[30]</sup>。

#### 4 装备制造业产业相关研究

Lee等采用DEA-Malmquist分析法,以亚洲多个国家装备制造业为研究对象。评价了其科技创新效率的发展情况,发现日本、韩国等技术创新效率较强,而中国、新加坡等效率较弱<sup>[31]</sup>。李亚杰等在以2007—2017年沪深A股装备制造业上市公司为研究样本,检验研发投资、技术并购对企业持续力的影响的研究中发现,现有装备制造企业的研发投资占比对持续竞争力有显著负向影响;技术并购对装备制造企业的持续竞争力影响不显著;但研发投资与技术并购的交互项对装备制造企业的持续竞争力具有显著正向影响<sup>[32]</sup>。童纪新等用三阶段DEA方法对中国装备制造业的五大“热点”区域18个省份的装备制造业技术效率的空间布局、动态发展和影响因素进行了分析后发现,装备制造业技术效率的均值有典型区域差异性,依次以珠三角、环渤海、长三角、中西部、东北地区的顺序递减,区域间规模效率差异大是制约装备制造业综合效率提升的瓶颈<sup>[33]</sup>。

宋皓皓等通过构建高端装备制造业生态位指标体系,分别测算了我国沿海各省市高端装备制造业整体发展水平以及发展潜力,研究结果表明,中国东部沿海省市地区高端装备制造业发展环境差距较大,江苏和广东产业发展环境较为优越,浙江、山东整体产业发展环境稍逊,而天津、辽宁、河北和福建产业发展环境较差<sup>[34]</sup>。段浩楠利用系统动力学方法分析了哈

尔滨市装备制造业产业集群发展现状,并且通过仿真结果给出了提高集群自主创新能力的建议<sup>[35]</sup>。赵磊运用DEA模型对我国制造业不同行业、不同地区的各环节创新效率进行了测算和评价,研究结果显示,无论是分行业还是分地区,我国制造业普遍存在科技产出效率及价值产出效率较高,而物化产出效率较低的情形<sup>[36]</sup>。

#### 5 文献评述

总结上述文献,首先就高质量发展的研究现状来看,对高质量发展的研究尚处于理论构建时期,且未形成一致认可的定义。在文献梳理过程中总结发现,现有的对高质量发展的研究热点问题主要集中于几个方面,分别是高质量发展的内涵研究、构建评价体系、高质量发展的影响因素和实现路径等方面,以具体行业为例并且从微观视角对产业高质量发展的文献研究较少,同时以量化的方式对高质量的研究尚为空缺。而更多的是从宏观视角出发,集中于从经济学角度对高质量发展开展研究。

其次,我国现阶段由经济发展的动力已经由要素驱动和投资驱动转向了创新驱动,这在学术界已经达成了一致的认知。但对于高质量视域下的技术创新驱动的研究多集中在理论阐述、评价、路径构造等几个方面,结合具体行业进行实证研究较少。

然后,关于技术创新的相关研究因为开始时间比较早,已经比较成熟。技术创新对经济发展质量的正向提升作用也已经得到了充分的证实。但在高质量发展的背景下利用微观数据去探索高质量视域下技术创新与装备制造业发展之间的关系的文献研究尚不充分。

对于装备制造业的相关研究多集中在对我国各省市、各地区的装备制造业产业发展情况的评价与对比两个方面以及我国与国外的装备制造业产业的发展情况对比,还有一部分学者对装备制造业的创新效率做了评价研究。

#### 参考文献

- [1] 吕守军,代政.新时代高质量发展的理论意蕴及实现路径[J].经济纵横,2019(3):16—22,2.
- [2] 金碚.关于“高质量发展”的经济学研究[J].中国工业经济,2018(4):5—18.
- [3] 史丹,赵剑波,邓洲.推动高质量发展的变革机制与政策措施[J].财经问题研究,2018(9):19—27.
- [4] 胡鞍钢,谢宜泽,任皓.高质量发展:历史、逻辑与战略布局[J].行政管理改革,2019(1):19—27.
- [5] 贺晓宇,沈坤荣.现代化经济体系、全要素生产率与高质量发

- 展[J]. 上海经济研究, 2018(6): 25—34.
- [6] 洪银兴. 建设现代化经济体系的内涵和功能研究[J]. 求是学刊, 2019, 46(2): 91—98, 2.
- [7] 陈诗一. 上海创新驱动和转型发展的评估指标研究[J]. 湖南科技大学学报: 社会科学版, 2017, 20(1): 70—77.
- [8] 冯俏彬. 我国经济高质量发展的五大特征与五大途径[J]. 中国党政干部论坛, 2018(1): 59—61.
- [9] 任保平. 新时代中国经济高质量发展的判断标准、决定因素与实现途径[J]. 中国邮政, 2018(10): 8—11.
- [10] 储节旺, 吴川徽. 创新驱动发展的协同主体与动力机制研究[J]. 安徽大学学报: 哲学社会科学版, 2018, 42(3): 148—156.
- [11] 沈敏. 现代化经济体系的双擎驱动: 技术创新和制度创新[J]. 财经科学, 2018(8): 56—67.
- [12] 赵昌文. 推动我国经济实现高质量发展[N]. 学习时报, 2017—12—25(001).
- [13] 张军扩, 侯永志, 刘培林, 等. 高质量发展的目标要求和战略路径[J]. 管理世界, 2019, 35(7): 1—7.
- [14] 熊彼特. 经济发展理论[M]. 北京: 商务印书馆, 2000.
- [15] ROMER P M. Increasing returns and long run growth[J]. Journal of Political Economy, 1986, 94(5): 1002—1037.
- [16] LUCAS JR R E. On the mechanics of economic development[J]. Journal of Monetary Economics, 1988, 22(1): 3—42.
- [17] 罗斯托. 经济成长的阶段[M]. 北京: 商务印书馆, 2010.
- [18] MARTIN B R. The evolution of science policy and innovation studies[J]. Research Policy, 2012, 41(7): 1219—1239.
- [19] CHOWDHURY R H, MAUNG M. Financial market development and the effectiveness of R&D investment: Evidence from developed and emerging countries[J]. Research in International Business and Finance, 2012, 26(2): 258—272.
- [20] 赵树宽, 余海晴, 姜红. 技术标准、技术创新与经济增长关系研究——理论模型及实证分析[J]. 科学学研究, 2012, 30(9): 1333—1341, 1420.
- [21] 彭福扬, 彭民安, 李丽纯. 知识产权保护、技术创新与经济增长方式转变——基于我国区域面板数据的实证研究[J]. 科技进步与对策, 2012, 29(24): 56—61.
- [22] 傅家骥, 雷家骥. 靠什么提高中国经济增长的质量——增加经济中的创新流量[J]. 数量经济技术经济研究, 1996(3): 7—13.
- [23] 杨久炎. 技术创新: 高质量经济增长的源泉[J]. 科学学研究, 1995(1): 50—55.
- [24] 张小兰. 技术创新与我国经济增长的质量[J]. 经济体制改革, 2002(3): 34—37.
- [25] 张静. 改革开放以来国家发展战略的演变及反思[J]. 经济理论与经济管理, 2008(12): 37—40.
- [26] 王竹君. 中国技术创新对经济增长质量的影响分析[J]. 生产力研究, 2014(6): 1—6, 35.
- [27] 白俊红, 王林东. 创新驱动是否促进了经济增长质量的提升? [J]. 科学学研究, 2016, 34(11): 1725—1735.
- [28] 白雪飞, 杜娟. 自主创新与高质量发展的互动机理与实证研究[J]. 技术经济与管理研究, 2019(9): 39—44.
- [29] 辜胜阻, 吴华君, 吴沁沁, 等. 创新驱动与核心技术突破是高质量发展的基石[J]. 中国软科学, 2018(10): 9—18.
- [30] 孙久文. 自主创新推动区域高质量发展: 从战略到路径[J]. 人民论坛·学术前沿, 2019(13): 16—22.
- [31] LEE H, PARKA Y. Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: a DEA approach[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(3): 847—855.
- [32] 李亚杰, 李沛浓. 研发投入、技术并购对装备制造企业持续竞争力的影响[J]. 辽宁大学学报: 哲学社会科学版, 2019, 47(6): 76—85.
- [33] 童纪新, 徐倩, 李莹. 基于五大空间布局的装备制造业技术效率评价与测度[J]. 中国科技论坛, 2019(4): 84—92.
- [34] 宋皓皓, 王英. 基于生态位理论的中国沿海省市高端装备制造业发展环境综合评价研究[J]. 管理现代化, 2019, 39(6): 12—15.
- [35] 段浩楠. 基于系统动力学的哈尔滨市装备制造业集群发展仿真研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- [36] 赵磊. 基于创新价值链的我国制造业创新效率研究[D]. 上海: 上海社会科学院, 2019.

## Summary of High Quality Development of Equipment Manufacturing Based on Technology Innovation

SUN Bin, TIAN Zhi-liang

(School of Economics and Management, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

**Abstract:** Accelerating the advancement of the equipment manufacturing industry to achieve high-quality development is of great significance for achieving the high-quality development of the manufacturing industry. By reviewing the relevant domestic high-quality development literature, the relevant connotations of high-quality development and the unanimous opinions reached in academia were sorted out, and the relationship between China's technological innovation and the quality of economic development was explored. After discussion, the overall review of high-quality development literature research was finally made.

**Key words:** high quality; technical innovation; equipment manufacturing; simulation

# 高技术跨国公司组织创新影响因素与路径研究

王成刚

(黑龙江大学, 哈尔滨 150080)

**摘要:**通过使用问卷调查、专家访谈等方法,总结出高技术跨国公司组织创新特征有复杂性、系统性和动态性。分别从管理者能力、企业要素禀赋和企业外部环境视角,总结出了高技术跨国公司组织创新影响因素及其作用机理。最终提出提升高技术跨国公司组织创新效率的对策建议,包括提升企业管理者能力,优化企业资源配置,积极适应企业外部环境。

**关键词:**高技术;跨国公司;组织创新;影响因素

**中图分类号:**F270.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0080-04

随着全球科技水平的不断进步,在第四次产业革命即将来临的背景下,全球高技术跨国公司的影响力迅速提升。在高技术跨国公司发展的进程中,组织创新管理工作因在较大程度上影响公司的运营效率,而变得日益重要<sup>[1]</sup>。然而当前很多高技术跨国公司在日常的组织创新管理中,仍然存在着管理者能力偏低,资源利用不充分,无法适应多变的外部环境等方面的问题。因而为了更好地保障高技术跨国公司组织运行效率的提升,本文针对高技术跨国公司的组织创新影响因素、创新路径等问题展开研究,从而为推动高技术跨国公司的组织运行效率提供重要的参考和借鉴。

为了确保本文研究的科学性,本文在研究中使用了问卷调查法和专家访谈法,针对我国 26 家高技术跨国公司的管理人员以及技术人员,共计发放了 119 份调查问卷,回收问卷 103 份,其中有效问卷 101 份,问卷有效回收率为 84.9%。此为,本文还访谈了 5 位在高技术跨国公司管理行业较有影响力的专家学者。通过相关的问卷调查和专家访谈,得到了本文的研究内容和结论。同时,通过实证调研方法的运用也在一定程度上确保本文研究能够尽可能地贴近高技术跨国公司组织管理的现实状况,从而能够得到科学的研究结论。

## 1 高技术跨国公司组织创新特征

结合本文的相关调研结论,可以总结出高技术跨

国公司的组织创新过程中,存在着主要特征包括有复杂性、系统性和动态性,如图 1 所示。

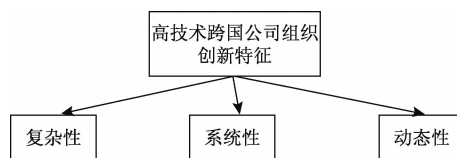


图 1 高技术跨国公司组织创新特征

### 1.1 复杂性

高技术跨国公司的组织创新管理具有较为显著的复杂性<sup>[2]</sup>。高技术跨国公司在日常的组织管理过程中,既要保证企业技术管理的领先性,同时还要兼顾跨国公司管理的国际性。不论是在高技术的保障方面,还是从跨国公司的管理方面,都存在着较为明显的复杂性。首先,高技术的复杂性。高技术企业在技术的进步与水平保持方面,必须要在行业中保持较高的水平,否则就会被其它企业所超越,从而失去技术领先的优势。然而从高技术的研发到高技术的运用等一系列的过程,都是一个复杂的过程。这种高技术保持的复杂性也给高技术企业组织管理带来了一定的难度。其次,跨国公司的复杂性。作为跨国公司在日常的组织创新管理过程中,必然会涉及到多个国家,多个经营环境,数量众多的员工和资金等内容。这必然会给跨国公司的组织管理带来较大的复杂性,从而给跨国公司

收稿日期:2020-02-17

基金项目:黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(HDYJW201907)。

作者简介:王成刚(1988—),男,山东梁山人,黑龙江大学经济与工商管理学院,讲师,管理学博士,研究方向:跨国公司管理,对外直接投资。

的组织管理带来了一定的难度。

## 1.2 系统性

高技术跨国公司组织创新管理中具有较为显著的系统性。首先,技术的系统性。从高技术跨国公司的组织创新管理实践来看,技术进步管理中仍然存在着明显地系统性。这主要是由于技术的进步不是一蹴而就的,而是逐渐的积累的过程<sup>[3]</sup>。因而高技术跨国公司在积累技术进步的同时,必须要重视技术的系统性积累。而且不论是任何一项技术,如航天技术、通信技术、海洋技术等,都需要在其系统内,不断地积累。通过相关的调研也可以知道,高技术企业技术进步的系统性贯穿于整个企业发展的始终。其次,跨国公司的系统性。在跨国公司的组织管理过程中,也存在着明显的系统性。这主要是由于跨国公司以其母公司的管理为核心,其它分公司都要在母公司的管理系统之内开展组织经营活动。这一系统性也在一定程度上决定了跨国公司的母公司与子公司,都具有较为相似的公司属性。

## 1.3 动态性

高技术跨国公司的组织创新管理过程中,表现出了较为显著的动态性。这种动态性与高技术跨国公司的基本属性密切相关。首先,高技术进步的动态性<sup>[4]</sup>。高技术跨国公司要想在国际范围内始终处于领先地位,必须要动态性地更新企业自身的技术管理。而且在当前技术快速进步的背景下,高技术企业的这种技术的进步是不间断的,技术进步的周期也是十分短的。这也就在一定程度上体现出了高技术公司技术进步与科学管理方面的动态性。其次,跨国公司的动态性。跨国公司在国际环境下进行发展,投资规模较大,所处的国际环境变化较快,因而公司的各类资源要素禀赋变化也是比较快的。这也就在一定程度上体现出了跨国公司组织管理的动态性。

## 2 高技术跨国公司组织创新影响因素作用机理

基于本文针对我国高技术跨国公司的组织创新管理现状的实践调研情况,结合相关的企业管理理论,可以总结出高技术跨国公司组织创新影响因素作用的机理,如图2所示。企业管理者能力、企业要素禀赋、企业外部环境都会在不同程度上影响高技术跨国公司组织创新的管理情况<sup>[5]</sup>。同时,这三大类的因素之间也存在着相互的影响和作用关系。这也就在一定程度上加大了各类因素作用高技术跨国公司组织创新的复杂程度。

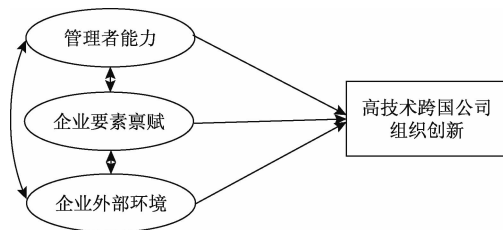


图2 高技术跨国公司组织创新影响因素作用机理

### 2.1 基于管理者能力视角的影响因素

基于相关的问卷调研结论,从管理者能力的角度来看,管理者各方面的素质会在不同领域对高技术跨国公司的组织创新管理产生重要的影响。如管理者学历,管理者的管理经验,管理者的风险偏好以及管理者决策能力。

管理者的学历层次,在一定程度上决定了高技术跨国公司管理者的知识储备,学习能力等基本素质,从而能够进一步地影响管理者的管理水平和能力,进而会影响高技术跨国公司的组织创新管理的效率。管理者的管理经验也是影响高技术跨国公司组织创新管理的一个重要因素。管理经验较为丰富的管理者,必然能够更为高效地优化高技术跨国公司的组织创新管理水平;相反,则会限制公司的组织创新管理<sup>[6]</sup>。管理者对风险的偏好情况,也会影响到高技术跨国公司的组织创新管理水平。风险偏好型的管理者,会在一定程度上给高技术跨国公司的组织创新管理带来一定的管理风险,但也有可能会给公司的组织管理与发展带来一定的发展机遇;而风险规避型的管理者,可能会减少公司所面临的组织创新管理风险,但同时也可能会使得公司的组织创新管理过于保守,缺乏足够的发展动力。另外,管理者个人综合决策能力也是影响高技术跨国公司组织创新管理的重要因素之一。一般来说,决策能力较强的管理者,更有可能做出科学的管理决策。

### 2.2 基于企业要素禀赋视角的影响因素

基于相关的问卷调研结论,从企业要素禀赋的角度来看,也仍然存在着诸多的因素影响着高技术跨国公司的组织创新管理过程,如人力要素、资金要素、技术要素、信息要素等。

高技术跨国公司在开展组织创新管理的过程中,在较大程度上受到人力资源要素的影响。这主要是由于高技术跨国公司需要综合性的高素质人才。这类人才需要熟悉企业管理、国际贸易、外国语、国际法律等方面的相关知识<sup>[7]</sup>。因而只有在综合性人才较为充足的高技术跨国公司才能够提升公司的组织创新管理水平。在开展组织创新与管理的过程中,高技



术跨国公司仍然需要大量的资金支持。因而公司的资金禀赋的多寡也必然会在较大程度上影响到高技术跨国公司的组织创新管理水平。高技术跨国公司对技术的要求相对较高,在组织创新管理方面也不例外。因而高技术跨国公司在组织创新过程中,也必须投入大量的技术要素,利用先进的管理技术,提升组织创新的管理效率。另外,信息要素也是高技术跨国公司开展组织创新与管理的重要影响因素之一。这主要是由于高技术跨国公司在组织创新管理过程中对公司与管理信息的依赖程度相对较高,因而企业管理者必须要充分地快速搜集到相关的信息,并实现尽可能地科学共享,从而也就能够在一定程度上提高公司的整体组织创新与管理效率。

### 2.3 基于企业外部环境视角的影响因素

基于相关的实证调研可以看出,高技术跨国公司所处的外部环境也会在一定程度上影响公司的组织创新管理,如其他公司的组织创新管理状况环境、外部经济稳定性、政治环境、文化环境等。

一般来说,在同类企业的组织创新管理水平快速提升的背景下,必然能够在一定程度上刺激或带动高技术跨国公司的组织创新管理水平的提升。因而高技术跨国公司必然要迅速了解同类企业的组织创新发展状况。外部经济发展状况的稳定性也是影响高技术跨国公司的组织创新水平<sup>[8]</sup>。这里的外部经济既包括母国的经济发展稳定性,还包括全球的经济发展稳定性。只有在外部经济环境较为稳定的状况下,才能够为高技术跨国公司的组织创新管理提供较为高质量且有利的经济环境。而且母国以及整个全球的政治环境也会在一定程度上影响到高技术跨国公司的组织创新效率。只有在政治环境相对较为稳定的状况下,才能够有利于促进高技术跨国公司组织创新效率的提高。高技术跨国公司的内部企业文化环境、所处的外部文化环境是否鼓励创新,也是影响高技术跨国公司开展组织创新的重要因素之一。只有在鼓励创新的文化环境中,才能够有利于推动高技术跨国公司组织创新水平的不断提升。

## 3 高技术跨国公司组织创新管理路径确定

基于前文的相关研究以及问卷调研,为了能够更为有针对性地提升高技术跨国公司的组织创新水平,本文确定了高技术跨国公司组织创新的路径,包括提升企业管理者能力,优化企业资源配置,积极适应企业外部环境。

### 3.1 提升企业管理者能力

高技术跨国公司的发展必然伴随着产品的高技

术性、跨国经营的复杂性等方面的特征。因而为了能够进一步地提升高技术跨国公司组织创新效率,高技术跨国公司的管理者必须要积极地提升管理能力。

首先,提升企业管理者的学历水平。为了能够丰富管理者的知识储备,提升管理者的学习能力,企业管理者要积极提升学历水平,如参加EMBA、高级管理者研修班等相关的培训活动。通过参加这些培训活动,更新企业管理者的管理知识储备,并以此能够进一步地提升高技术跨国公司的管理能力。其次,提升企业管理者的决策能力。在决策方法、决策经验总结、决策结果评估等方面,高技术跨国公司都要对管理者进行相应地培训,从而能够进一步地提升企业管理者的综合决策能力。特别是在组织创新管理方面的决策,更加需要管理者具备较强的组织创新管理决策能力。最终能够进一步地促进高技术跨国公司组织创新能力的不断提升。

### 3.2 优化企业资源配置

针对当前影响高技术跨国公司组织创新管理的企业资源禀赋状况,为了能够进一步地提升高技术跨国公司组织创新管理的效率,企业应当进一步地积极优化资源配置的效率。

首先,科学评估企业自身的资源禀赋状况。高技术跨国公司应当科学准确地评估公司现有的资源禀赋状况,包括人力资源、资金、技术、信息等要素。通过准确地评估可以进一步判断出公司现有资源能否满足当前的公司组织创新运营管理需求。或者是可以判定出哪些资源要素禀赋充足,哪些资源要素禀赋稀缺等。在此基础上更加有利于高技术跨国公司的管理者对公司的资源进行优化配置。其次,合理分配各类资源使用。在评估公司现有资源禀赋的基础上,公司的管理者还要进一步地合理分配各类资源的使用。对于资源充足甚至是过剩的情况,企业管理者要适时地减少各类资源的投入和使用。而对于资源较为缺乏的情况,企业管理者则要积极采取措施,增加此类资源的投入。从而实现企业内外部资源的充分利用,进而推动高技术跨国公司组织创新管理效率的提升。

### 3.3 积极适应企业外部环境

通过调研可以发现高技术跨国公司所处的外部环境是复杂多变的。特别是跨国公司所处的经营环境涉及到多个国家或文化区域,所面临的各类情况也都是比较复杂的。因而高技术跨国公司在开展组织创新管理的过程中,必须要积极地适应企业外部的发展环境,从而才能够进一步地提升企业的组织创新



效率。

首先,高技术跨国公司要积极适应所处经济环境中的不稳定性。经济环境的波动会在较大程度上影响高技术跨国公司的整体运行效率。因而高技术跨国公司在开始组织创新管理的过程中,必须要能够积极地适应经济环境的变化。如当前全球的经济都处于较为低迷的状况下,高技术跨国公司的组织创新管理要在严格控制管理成本的背景下,积极地提高管理效率,努力适应低迷的外部经济环境。其次,高技术跨国公司要适应所处政治环境的不稳定性。跨国公司会在较大程度上受到外部政治环境的影响。因而公司组织创新管理者必须要能够积极地应对时刻变化着的政治环境。如增加对外投资,规避贸易壁垒,减少贸易战的负面影响等。同时高技术跨国公司还要增强自身的经济发展实力,减少对外的技术进口依赖,提高企业自身的综合竞争实力。

#### 参考文献

- [1] 杨水飏. 高技术跨国公司的形成,趋向及对策研究[J]. 科学与科学技术管理,1997,18(12):28—30.
- [2] GIULIANI E. Multinational corporations and patterns of local knowledge transfer in Costa Rican high-tech industries [J]. *Development & Change*,2010,39(3):385—407.

- [3] DIRK ULRICH GILBERT, MICHAEL BEHNAM. Strategy process management in multinational companies: status quo, deficits and future perspectives[J]. *Problems & Perspectives in Management*,2017,7(1):70—85.
- [4] WANG C Y P, JAW B S, HUANG C Y. Towards a cross-cultural framework of strategic international human resource control: the case of Taiwanese high-tech subsidiaries in the USA[J]. *International Journal of Human Resource Management*,2008,19(7):1253—1277.
- [5] NASCHBERGER C, RAVIKUMAR M. Gender diversity and corporate sustainability: insights from a German multinational company[M]. *Beyond the Bottom Line: Integrating the UN Global Compact Into Business Practice*. 2017:22—29.
- [6] PALMIRA JUCEVICIENE, VYDA MOZURIUNIENE. Cultural factors influencing the knowing of a multinational company[M]. Berlin: Springer International Publishing,2017.
- [7] ROBYN TAMBLYN, DAVID WESTFALL BATES, DAVID L BUCKERIDGE. Multinational comparison of new antidepressant use in older adults: a cohort study[J]. *BMJ Open*, 2019,9(5):27—39.
- [8] LUIS FERNANDO MEDINA, MARCELO BUCHELI, MIN-YOUNG KIM. Good friends in high places: politico-economic determinants of the expropriation and taxation of multinational firms[J]. *Journal of International Business Policy*, 2019,2(2):119—141.

## Research on the Influencing Factors and Paths of Organizational Innovation in High-tech Multinational Corporations

WANG Cheng-gang

(School of Economics and Business Administration, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

**Abstract:** By using of questionnaire surveys, expert interviews and other methods, this paper concluded that the organizational innovation characteristics of high-tech multinational companies are complex, systematic and dynamic. Then based on the perspectives of manager's ability, enterprise factor endowment, and external environment of the company, the influencing factors and mechanism of high-tech multinational corporation's organizational innovation are summarized. Finally, this paper puts forward countermeasures and suggestions for improving the innovation efficiency of high-tech multinational companies, including improving the capabilities of enterprise managers, optimizing the allocation of corporate resources, and actively adapting to the external environment of the enterprise.

**Key words:** high technology; multinational company; organizational innovation; influencing factors

# 基于 LASSO 回归的江西省高校 R&D 投入强度的影响因素分析

胡聿文

(江西财经大学 统计学院, 南昌 330013)

**摘要:**基于 2001—2016 年江西省高校 R&D 创新绩效的面板数据,利用 LASSO 方法筛选,探究江西省高校 R&D 创新绩效的影响因素。实证研究结果显示,R&D 全时人员、R&D 投入强度、举办学术交流活动次数、省人均 GDP、技术转让合同数以及专利出售合同数 6 个因素对江西省高校 R&D 创新绩效影响显著。进一步提出江西省高等院校加强对自身 R&D 活动的重视和投入等对策建议。

**关键词:**江西省高校;R&D;创新绩效;LASSO

**中图分类号:**O29 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0084-05

R&D(Research and Development), 指在科学技术领域,为增加知识总量(包括人类文化和社会知识的总量),以及运用这些知识去创造新的应用进行的系统的创造性活动,包括基础研究、应用研究、试验发展三类活动<sup>[1]</sup>。发达国家社会和经济经验表明:科学技术创新是一个国家的生命力,也是事关一国发展强弱的重要因素。我国 R&D 活动的主体分三类:大中型工业企业、科研机构与高等院校。根据中华人民共和国科学技术部 2017 年 8 月印发的《我国高等学校 R&D 活动统计分析》可知,高等院校 R&D 科技活动对促进我国经济建设作出了重要贡献。然而,当前我国高校科技资源有限,在资源投入有限的条件下,实现高校科研产出的最大化,需要提高 R&D 创新研发效率。本文以江西省高校 R&D 创新绩效为例,深入分析江西高校 R&D 创新绩效影响因素,对症下药,提高江西高校 R&D 活动效率,让江西高校 R&D 为江西地区经济发展腾飞助力。

目前国内外学者对高校 R&D 创新绩效影响因素的分析研究主要采用面板数据回归、向量自回归等方法<sup>[2-4]</sup>。从现有的研究成果中不难发现,高校 R&D 创新绩效的影响因素众多,且实证时选取的自变量过于主观,无法保证实证分析时选择变量的客观性,这既容易造成某些影响显著的自变量遗漏,又会引入多余的影响不显著的自变量,从而导致实证模型的估计和预测准确度大大降低。因此,本文将运用现

代变量筛选方法——LASSO 估计法,从众多影响因素中客观准确地筛选出真正影响江西省高校 R&D 创新绩效的因素。

## 1 LASSO 方法

实证分析中,通常会设置尽可能多的自变量,选取自变量时容易出现偏主观意愿的疏漏,从而导致实证分析失真。而 lasso 方法<sup>[5]</sup>是一个能够客观筛选有效变量并且解决多重共线性等问题的估计方法。它是 1997 年由 Tibshirani 提出的一种压缩估计方法,通过构造一个惩罚函数,让回归系数的绝对值之和在小于一个常数的约束条件下,使得回归模型残差平方和最小,产生严格等于零的回归系数,从而有效解决回归模型中的多重共线性问题。

LASSO 方法是在普通线性回归模型中增加惩罚项,对于普通线性模型 LASSO 估计为:

$$\hat{\beta}_{Lasso} = \arg \min_{\beta \in R^d} \|Y - X\beta\|^2_{s.t.} \sum_{j=1}^d |\beta_j| \leq t, t \geq 0$$

等价于:

$$\hat{\beta}_{Lasso} = \arg \min_{\beta \in R^d} (\|Y - X\beta\|^2 + \lambda \sum_{j=1}^d |\beta_j|)$$

其中  $t$  与  $\lambda$  一一对应,为调节系数。

令  $t_0 = \sum_{j=1}^d |\hat{\beta}_j(OLS)|$ , 当  $t < t_0$  时,一部分系数就会被压缩至 0,从而降低  $X$  的维度,达到减小模型复杂度的目的。例如:如果  $t = t_0/2$ ,粗略地说,模

收稿日期:2020-01-10

作者简介:胡聿文(1996—),男,江西南昌人,江西财经大学统计学院,硕士研究生,研究方向:经济统计、深度学习。

型中非零系数个数就会由  $d$  大约减少至  $d/2$ 。

通过对调节系数  $\lambda$  的控制,可实现变量筛选。

## 2 影响因素分析

### 2.1 数据来源及指标选取

文章选取 R&D 投入能力作为主要解释变量,同时还兼顾 R&D 转化能力、R&D 支撑能力以及 R&D 外部经济环境对高校 R&D 创新绩效的影响。从以上 4 个体系中挑选出 10 个相关的影响因素,运用 Lasso 回归方法进行变量筛选和参数估计,以探究各因素对高校 R&D 绩效的影响程度。原始数据均来自 2001 至 2016 年《高等院校科技统计资料汇编》、《江西统计年鉴》以及《中国科技统计年鉴》。

1)被解释变量:创新绩效。目前,国内外学者在研究高校 R&D 创新绩效的实证中,普遍将专利申请

数作为衡量创新绩效的重要指标,这里我们继续沿用专利申请数这一指标来衡量创新绩效<sup>[6-7]</sup>。

2)解释变量:高校 R&D 全时人数、高校 R&D 投入强度、高校科技项目数、高校科技项目投入经费、举办学术交流活动次数、参加学术交流活动人数、江西省人均 GDP、江西省政府规模、高校技术转让合同数、高校专利出售合同数。其中 R&D 投入强度 = R&D 经费/GDP \* 100%,政府规模 = 政府财政支出/ GDP \* 100%,上述解释变量详见表 1 的描述性统计。由于本文所选取的 10 个自变量中,它们的量纲和数值的量级具有不一致性,本文第一步就是对这 10 个自变量数据进行标准化处理。通过标准化处理,使得不同的特征值具有相同的尺度。利用 R 语言中 scale()函数对数据进行标准化处理。

表 1 江西省高校 R&D 创新绩效影响因素指标描述

维度	指标	单位	变量	中位数	标准差	最小值	最大值
R&D 投入能力	高校 R&D 全时人数	人年	$X_1$	3 304	694.622	1 900	4 105
	高校 R&D 投入强度	%	$X_2$	0.538 7	0.018 4	0.011 8	0.066 3
	高校科技项目数	项	$X_3$	10 884.5	6 893.77	1 219	19 723
	高校科技项目投入经费	千元	$X_4$	575 800	343 406	25 759	953 234
R&D 转化能力	高校技术转让合同数	项	$X_5$	63	115.716	23	402
	高校专利出售合同数	项	$X_6$	1.5	21.690 2	0	86
R&D 支撑能力	参加科技学术交流活动人数	人次	$X_7$	51 791	18 339.9	20 215	81 630
	举办科技学术交流活动次数	次	$X_8$	494	240.811	222	1101
R&D 外部 经济环境	江西省政府规模	%	$X_9$	0.187 53	0.004 88	0.130 4	0.262 1
	江西省人均 GDP	元/人	$X_{10}$	16 704.5	12 011.0	5 221	40 159

### 2.2 高校 R&D 创新绩效影响因素分析

对数据进行标准化处理后,接下来利用 LASSO 模型对时间序列数据进行分析,以进行变量筛选。运行结果显示,只需要 10 步就可以得到 LASSO 的全部解。根据最小角回归原理,选择  $C_p$  统计量最小值对应的拟合方程,由表 2 和图 1 可知,第 6 步的  $C_p$  值最小为 5.258 9,模型最优,根据表 2 结果,选取  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_5$ 、 $X_7$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$  等 6 个变量。

图 1 为 LASSO 模型筛选结果。图中右侧数据分别代表相应自变量,其中 1 为高校 R&D 全时人数,2 为高校 R&D 投入强度,3 为高校总科技项目数,4 为高校科技项目投入经费,5 举办学术交流活动次数,6 参加学术交流活动人数,7 江西省人均 GDP,8 江西省政府规模,9 高校技术转让合同数,10 高校专利出售合同数。

通过对以上 LASSO 回归分析结果的整理,可以得到江西省高校 R&D 创新绩效的影响因素系数如表 4 所示。其中,高校 R&D 投入强度影响最显著,

其次是高校专利出售合同数;正向影响的有高校 R&D 投入强度、江西省人均 GDP、高校技术转让合同数和高校专利出售合同数;负向影响的有高校 R&D 全时人数、举办学术交流活动次数。这一结论与国内外大多数研究结论基本一致<sup>[8-11]</sup>。

表 2 统计量值

步骤	$D_f$	$C_p$
0	1	508.773 5
1	2	471.768 7
2	3	13.533 8
3	4	12.297 3
4	5	11.286 7
5	6	12.826 8
6	7	5.258 9
7	8	6.492 1
8	9	7.523 6
9	10	9.006 1
10	11	11.000 0

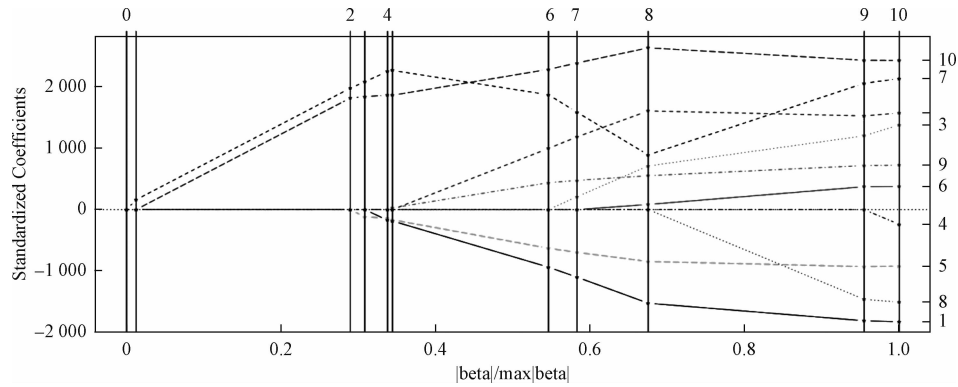


图 1 LASSO 方法下变量筛选

表 3 LASSO 回归的参数估计

步数	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0.003 5	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0.042 6	0	0	21.648 7
4	0	0	0	0	-0.127 5	0	0.044 8	0	0	21.932 0
5	-0.064 4	0	0	0	-0.150 3	0	0.048 4	0	0	22.203 0
6	-0.069 0	0	0	0	-0.178 4	0	0.048 8	0	0.063 9	22.192 3
7	-0.349 0	1.402e4	0	0	-0.675 8	0	0.040 3	0	0.978 4	27.222 8
8	-0.409 4	1.666e4	0.078 6	0	-0.748 3	0	0.034 1	0	1.063 1	28.454 2
9	-0.567 3	2.261e4	0.026 6	0	-0.906 5	0.001 2	0.019 1	0	1.234 0	31.399 1
10	-0.673 9	2.148e4	0.045 1	0	-0.997 1	0.005 3	0.044 3	-7.75e3	1.602 3	28.994 8
11	-0.679 5	2.213e4	0.051 7	-0.001 8	-0.988 7	0.005 3	0.045 9	-7.98e3	1.614 9	28.956 2

表 4 2001—2016 年江西省高校 R&D 创新绩效影响因素系数

变量	系数
高校创新绩效	y
高校 R&D 全时人数	-0.49
高校 R&D 投入强度	2.1e+4
高校科技项目数	0
高校科技项目投入经费	0
举办学术交流活动次数	-0.93
参加学术交流活动人数	0
江西省人均 GDP	0.035 8
江西省政府规模	0
高校技术转让合同数	1.448
高校专利出售数	29.8

3 结论

- 1)高校 R&D 投入强度对高校创新绩效影响最为显著。高校 R&D 投入强度反映了江西省高校对 R&D 科研活动的经费投入力度。R&D 科研经费就像是燃油,为高校 R&D 科研这台发动机提供源源动力。只有大力提升科研经费投入,才是提高高校创新绩效的有力保障。
- 2)高校技术转让合同数和高校专利出售合同数

对高校创新绩效正向影响也较为明显。高校技术转让合同数与高校专利出售合同数皆能表现出江西省高校 R&D 科研转化能力,它与高校 R&D 创新绩效是互相正向影响的关系,地方高校高新技术转让和所出售的专利数量越多,越能表明这个地区的高校科研能力强盛,能够给地区高校科研带来可观的收入,对于高校科技创新是一个极大的激励。高校 R&D 投入经费不仅来源于政府和高校的专项资金拨款,还依赖于高校的专利转让收入,也就是说高校的科研转化能力越强,越会促进高校 R&D 发展向好。

3)江西省人均 GDP 对江西省高校 R&D 创新绩效有正向影响。一个地区的高校科研发展的好坏,与其外部经济环境有着密不可分的联系,当前我国高校 R&D 资金投入仍然具有政府主导性质,因此一个省的经济发展情况能够从根本上影响当地高校的科研发展水平与质量。通过 LASSO 模型筛选出的江西省人均 GDP 是最能直接反映江西省的经济发展情况的一项指标。

4)高校 R&D 全时人数对江西省高校 R&D 创新绩效有负向影响。这一结果与大多数研究者得出的结论不同,通常情况下,高校引进科技人才,增加高

校 R&D 全时人员对于高校 R&D 创新绩效起着正向促进作用。但是有一种情况不容忽视,那就是一个地区的高校其引进的科研人才质量是否达标。张乐平在 R&D 资源投入对不同类型高校专利产出的影响研究中得出,不同类型的高校,其 R&D 全时人员对其专利产出有着不同的影响<sup>[12]</sup>。他将高校按照副教授以上高级职称占专任教师的比例高中低分为三类:研究 1 类大学、研究 2 类大学和非研究类大学。其中,R&D 全时人员的数量可以促进研究 1 类大学的专利产出,而对研究 2 类大学的专利产出表现出负影响,非研究类大学则是无影响。江西作为经济发展较为缓慢的省份,仅有一所 211 工程高校,江西省高校得到国家层面专项资金不如其他沿海发达省份的高校多,引进和保留顶尖科研人才的能力相较于周围省份偏弱,容易造成顶尖科研人才流失,所以将江西省高校划分为研究 2 类大学。江西省高校需要的是提高 R&D 人员的整体创新能力,而不是急于扩大 R&D 人员规模。如果只重视 R&D 人员规模增长而不重视其科研水平,只会使得江西省高校创新绩效因低水平科研人员人数的增长而降低。

5)举办学术交流活动次数对江西省高校 R&D 创新绩效有负向影响。近十余年来,江西省内学术交流活动举办在县级层次的数量占比过大半,而开展在省级和市级层面的学术交流活动两者总和不过三成。低层次的学术交流对于高水平的科研创新而言无非是滥竽充数,成效甚微甚至产生负面作用,科研创新需要的是高层次学术交流,所以增加省、市级层面的科研学术交流活动次数,邀请全国乃至世界范围高层次科研专家进行省、市级学术探讨和交流,对于提高江西省高校 R&D 创新绩效至关重要。

#### 4 建议

为切实提高江西省地方高校 R&D 创新绩效,推动江西省地方高校 R&D 活动的健康发展,结合 LASSO 模型分析所得结果以及实际情况,提出如下建议:

1)加大高校 R&D 经费投入,优化高校 R&D 资金支出。R&D 经费投入是高校 R&D 活动的燃料,必须保证燃料的充足和合理使用。江西省高校的 R&D 经费来源主要为三类:政府财政资金、企业投资和事业单位合作。其中政府财政资金所占比重有绝对优势。首先,必须加大政府财政性 R&D 专项经费投入,提高科学技术支出占政府财政支出比例。其次,政府应该积极引进各类高新技术企业,大力促进高校 R&D 与高新技术企业、事业单位产学研融合,

让高校能够吸纳各类社会资金并将科技成果反馈应用于社会大众。另一方面,应该着手制定省、校领导监管科研资金责任制度,优化高校 R&D 资金管理,避免科技投入的随意性,从根源上扼制个别高校教授滥用、挪用科研资金等科研腐败问题,切实将科研经费用到刀刃上。

2)加强知识产权保护,营造健康良好的科研环境,促进高校 R&D 科研成果转化。高校对知识产权进行有效的保护,是营造健康良好科研环境、提高科研成果转化能力必不可少的一个条件。对于知识产权的保护,建议高校做如下工作:第一,高校对校内的知识产权进行整体规划,并有效管理高校的 R&D 科研活动可能涉及到的不同知识产权,如专利权、著作权等。其次,高校应加强对知识产权保护工作的组织和领导,完善本校知识产权保护制度,加强本校知识产权工作机构建设,组织开展本校知识产权的鉴定、申请、登记、注册、评估和管理工作。第三,高校聘请专业的知识产权律师给科研人员宣传、普及知识产权法律法规,提高高校科研人员知识产权保护意识,并为其科技成果知识产权保护提供专业高效的咨询与服务。

3)保持地区经济稳定增长,提高地区经济发展水平。当前江西省高校 R&D 经费投入仍然具有政府主导性,这一性质在建议 1)中也有所提及。保持地区经济稳定增长无论对于高校 R&D 经费投入还是科研外部经济环境来说都是至关重要的。一个地区只有经济发达,才能吸引并留住先进科研企业和顶尖科研人才,使得高校科研发展资源更加丰富,这个结论在我国各大沿海经济发达城市亦可得出。

4)重视高层次科研人才引进和培养,提升高校 R&D 科研硬实力。江西省高校不能在引进科研人才的工作上只做到量而不做精。高校必须大力引进全国乃至全世界范围内的高素质高科研能力人才。只有把地基夯牢夯实,才能把高校 R&D 科研这座大楼建成。因此,省政府和地方高校需要进一步加大高层次人才引进力度,在待遇、福利以及落户等方面吸引顶尖科研人才,还要积极鼓励并提供经费支持校内现有的科研人员通过学术交流、外派深造等方式进一步提升自身科研能力,使其培养成高素质和高质量的顶尖科研人才。值得一提的是,江西省科协和科技活动机构必须着重增加省、市级层面的科研学术交流活动次数,邀请高层次高水准科研专家来赣进行学术探讨和交流,进而提升科技学术交流活动的水准,这对于提升高校 R&D 科研人才的科研水平和江西

省高校 R&D 创新绩效尤为重要。

### 参考文献

- [1] 徐新爱,易玥理,朱恩芳,胡启宙. 地方高校 R&D 活动的特征分析及其发展研究——以江西省为例[J]. 教育学术月刊, 2019(1):58—67.
- [2] 张晓月,甄伟军. 高校 R&D 人员投入与专利产出关系分析[J]. 科技管理研究, 2018,38(20):128—133.
- [3] 郑丽霞,翟磊. 产学研合作项目模式与高校科研绩效——R&D 投入的中介作用[J]. 科技管理研究, 2017,37(2):104—110.
- [4] 何昀昆,朱枫,范勇,田晓琴. 贵州省高校 R&D 经费资源配置状况分析[J]. 科技管理研究, 2014,34(4):86—89.
- [5] TIBSHIRANI R. Regression shrinkage and selection via the lasso:a retrospective[J]. Journal of the Royal Statistical Society:Series B (Statistical Methodology), 2011, 73(3): 273—282.
- [6] 陈玉娟,姚笑秋. 浙江省高校 R&D 活动结构配置合理性分析[J]. 科技管理研究, 2013,33(24):88—91.
- [7] 周代数,朱明亮. R&D 投入强度、R&D 人员规模对创新绩效的影响[J]. 技术经济与管理研究, 2017(5):19—23.
- [8] 赵聚辉,魏晓慧,王贺. 东北地区高校 R&D 资源配置现状与对策[J]. 改革与开放, 2018(2):120—122.
- [9] 郑凌莺,陈思浩,刘月波. 地方高校 R&D 资源绩效评价研究[J]. 科技管理研究, 2012,32(18):45—47,58.
- [10] RESEARCH POLICY. Investigators at national university report findings in research policy (internal and external effects of r&d subsidies and fiscal incentives: empirical evidence using spatial dynamic panel models)[J]. Politics & Government Week, 2015(3):45—48.
- [11] MEO SULTAN AYOUB, AL MASRI ABEER A, USMANI ADNAN MAHMOOD, MEMON ALMAS NAEEM, ZAIDI SYED ZIAUDDIN. Correction: impact of GDP, spending on R&D, number of universities and scientific journals on research publications among asian countries [J]. Plos One, 2013(10):8—12.
- [12] 付晔,张乐平,马强,陈钦昌. R&D 资源投入对不同类型高校专利产出的影响[J]. 研究与发展管理, 2010,22(3):103—111.

## Analysis of the Influencing Factors of R&D Input Intensity in Jiangxi Province Based on LASSO Regression

HU Yu-wen

(College of Statistics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Based on the panel data of R&D innovation performance of colleges and universities in Jiangxi Province from 2001 to 2016, the LASSO method was used to screen the factors influencing R&D innovation performance of colleges and universities in Jiangxi Province. The results of empirical research show that six factors, including R&D full-time personnel, R&D investment intensity, number of academic exchange activities, provincial per capita GDP, number of technology transfer contracts, and number of patent sale contracts, have significant effects on the R&D innovation performance of universities in Jiangxi Province. Further suggestions are put forward for Jiangxi Province's colleges and universities to strengthen their R&D activities.

**Key words:** universities in Jiangxi province; R&D; innovation performance; LASSO

# 专利视角下我国轨道交通装备制造业 pest 分析

邱开忠, 肖 衡

(昆明理工大学 管理与经济学院, 昆明 650093)

**摘要:**随着知识产权强国战略的实施,科技创新和专利成果在新时代扮演着的角色越来越重要。而轨道交通装备制造业作为我国制造业中璀璨的明珠,历来受到业内极大的重视。将专利分析指标引入 PEST 分析模型中,从 P、E、S、T 四个层面分析我国轨道交通装备制造业的发展现状。研究结论表明,构建的 PEST 模型中的各个指标主要采用定量分析,增强了客观性,可以从宏观上对我国轨道交通装备制造业的发展现状进行有效地分析。

**关键词:**轨道交通装备制造业;PEST 分析法;专利分析

**中图分类号:**G255.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0089-06

“十三五”时期,我国国内外形势发生着深刻复杂的变化,我国经济由高速增长转向高质量发展阶段,轨道交通运输正处于支撑全面建成小康社会的攻坚期,优化网络布局关键期,提升质量效益的转型期,对于轨道交通装备科技发展提出了更高更新的要求。到 2018 年,我国对高技术产业研究与试验发展经费接近 3 千亿元,占总体科研经费的 14.8%,我国轨道交通装备制造专利总量超过其他所有国家总量之和,正处于持续发展阶段。然而,我国的专利密度和部分国家之间尚有些差距,区域分布不均衡也会对我国经济的全面发展造成不良影响。

我国对于轨道交通装备制造业相关研究比较少,主要集中在对部分区域轨道交通现状分析和部分轨道交通技术现状分析。江新,苏玲,杨锐分别对常州,上海,四川等地轨道交通制造业进行了专利信息分析<sup>[1]</sup>;苏博,王阳,刘新旭分别对轨道交通轮胎,环境智能节能控制,防撞安全技术进行分析并给出了相应的策略<sup>[2-3]</sup>。

本文将专利信息分析指标引入到 PTST 分析模型中,从政治、经济、社会和技术四个层面对我国轨道交通装备制造业发展现状进行分析,有效地避免了从单层面分析行业现状的局限性。专利作为行业发展程度的重要指标,专利文献当中记载了整个专利技术的完整资料,能够有效反映技术的各个角度。因此从专利的角度对我国轨道交通装备制造业进行 PEST

分析具有重大的意义<sup>[4]</sup>。

## 1 数据来源及方法

### 1.1 数据来源

Incopt 科技创新情报平台是将全球顶尖发明专利进行深度整合并翻译成中文的专利信息数据库,完整收录了全球 120 个国家和地区一亿多项专利数据,并对 22 个主要国家的专利数据进行了特殊收录和加工处理,使其数据字段更加完善,质量更高。本文所需要的是轨道交通装备几个主要制造国家的专利信息数据。因此,选择 incopat 科技创新情报平台作为本文主要信息检索来源。

### 1.2 检索式

根据 2015 年国务院印发的《中国制造 2025》以及 2018 年国家工业部印发《高端装备制造业“十三五”发展规划》中所定义的轨道交通装备制造发展内容对轨道交通装备进行分解分类,然后通过 IPC 分类号进行筛选分析,得到轨道交通装备制造业主要专利技术 IPC 小类(见表 1)。随后借助 incopat 软件中的关键词工具,选取轨道交通装备专利关键词进行整理后建立检索式。

TIAB=(“轨道车辆” OR “轨道列车” OR “列车” OR “地铁车辆” OR “轨道交通车辆” OR “城轨” OR “高速动车组” OR “动车” OR “城轨车辆” OR “动车组” OR “运行列车” OR “地铁车” OR “列车车厢” OR “铁路列车” OR “城市轨道车辆”

收稿日期:2020-01-11

基金项目:云南省教育厅科学研究基金项目(2017ZZX161);昆明理工大学引进人才科研启动基金项目(KKSY201657005)。

作者简介:邱开忠(1994—),男,江西赣州人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士生,研究方向:知识产权与科技创新;肖衡(1987—),女,云南昆明人,民航航空学院,博士,讲师,硕士生导师,研究方向:知识产权与科技创新。

OR“铁路车辆”OR“铁路客车”OR“有轨电车”  
OR“列车制动”OR“城市轻轨”OR“轻轨列车”  
OR“城铁”OR“旅客列车”OR“客运列车”OR  
“货物列车”OR“铁路机车”OR“重载货运列车”  
OR“快捷货运列车”OR“城市轨道”OR“单轨”  
OR“城市轨道交通”OR“轨道交通”OR“铁路”  
OR“列车轨道”OR“轨道线路”OR“交通列车”  
OR“高速铁路”OR“现代有轨电车”OR“铁路线”  
OR“地铁”OR“高铁”OR“铁路交通”OR“工程  
机械装备”OR“重型工程机械”OR“养路机械装  
备”OR“养路机械”OR“铁路养护”OR“铁路运  
营”OR“铁路运营管理系统”OR“铁路信号管理  
系统”OR“轨道电路”OR“轨道继电器”OR“铁路  
信号系统”OR“列车自动监控”OR“列车总线”  
OR“铁路综合监控系统”OR“列车核心零部件”  
OR“轨道核心零部件”OR“直轨道”OR“轨道系  
统”OR“轨道运动”OR“轨道平行”OR“轨道式”  
OR“轨道间”OR“接轨”OR“变轨”)。

表 1 轨道交通装备制造业主要专利技术 IPC 小类及含义

IPC	小类及含义
B60L	电动车辆动力装置;车辆辅助装备的供电;一般车辆的电力制动系统;车辆的磁悬浮或悬浮;电动车辆的监控操作变量;电动车辆的电气安全装置
B60K	车辆动力装置或传动装置的布置或安装;两个以上不同的车辆原动机的布置或安装;车辆辅助驱动装置;车辆用仪表或仪表板;与车辆动力装置的冷却、进气、排气或燃料供给结合的布置
B60R	不包含在其他类目中的车辆、车辆配件或车辆部件
B61D	铁路车辆的种类或车体部件
B62D	机动车;挂车
B61L	铁路交通管理;保证铁路交通安全
E01B	铁路轨道;铁路轨道附件;铺设各种铁路的机器
B60W	不同类型或不同功能的车辆子系统的联合控制;专门适用于混合动力车辆的控制系统;不与某一特定子系统的控制相关联的道路车辆驾驶控制系统
H02J	供电或配电的电路装置或系统;电能存储系统
F16H	传动装置
B60T	车辆制动控制系统或其部件;一般制动控制系统或其部件
H01M	用于直接转变化学能为电能的方法或装置
B61F	铁路车辆的悬架,如底架、转向架,或轮轴装置;在不同宽度的轨道上使用的铁路车辆;铁路车辆预防脱轨;铁路车辆护轮罩、障碍物清除器或类似装置
F16D	传送旋转运动的联轴器;离合器;制动器
G08G	交通控制系统
G06F	电数字数据处理
B62K	自行车;自行车架;自行车转向装置;专门适用于自行车乘骑者操作的终端控制装置;自行车轴悬挂装置;自行车跨斗、前车或类似附加车辆
G01M	机器或结构部件的静或动平衡的测试;其他类目中不包括的结构部件或设备的测试
H02K	电机
B65G	运输或贮存装置,例如装载或倾卸用输送机、车间输送机系统或气动管道输送机

2 基于专利分析 PEST 模型构建

PEST 分析是指宏观环境分析,是指对行业和企业造成影响的宏观因素,包括政治(Political)、经济(Economic)、社会(Social)、和技术(Technological)四个层面。专利是集技术、经济、法律等方面于一体的知识产权保护方式,专利信息能够有效地体现行业的发展现状,因此,本文将专利分析指标引入到 PEST 模型中并进行改进具有现实可行性。

P(Political)是指行业的政策,在此层面分析政

府对轨道交通装备制造业推行的发展政策,政府对其支出等方面。不仅可以窥探现阶段我国轨道交通装备发展的现状,还可以预测其行业下一步的发展策略。

E(Economic)是指整体经济,该层面旨在从专利总量、发展趋势、专利密度等方面分析我国轨道交通装备制造业的总体发展态势。

S(Social)是指社会大环境层面,通过专利地域分布分析,了解我国轨道交通装备专利分布情况和地



区科技实力,通过优先权国家 G 指数分析我国轨道交通装备制造业在全世界大环境中的位置,并从中分析我国与其他成员之间的关系,可以为下一步专利布局提供启示。

T(Technological)即技术,通过技术生命周期,技术发展阶段等方面分析我国轨道交通装备制造业专利技术发展历程,从而为我国轨道交通装备进一步发展对策提供依据。

### 3 专利视角下我国高端装备制造业 PEST 分析

#### 3.1 P(Political)层面分析

##### 3.1.1 发展政策

2015 年国务院印发《中国制造 2025》,将先进轨道交通装备制造业纳入我国十大重点制造领域,指出要研发新一代绿色智能、高速重载轨道交通装备系统,要建成世界领先的现代轨道交通产业体系;2017 年政府发布《铁路十三五发展规划》,指出要从大力推进机车车辆装备升级,加快发展先进列车控制系统,着力强化监控检测保障能力等方面提升轨道交通技术装备水平,完善《铁路法》、《铁路运输条例》等法律法规的修订工作,建立健全轨道交通装备制造业高效协同的铁路科技创新机制,加大技术创新力度,加速重大科研成果转化应用,加强铁路行业研究实验、创新平台建设,深化基础性、前瞻性、通用性研究,进一步推动基础研究、应用研究、成果转化及产业化之间紧密结合<sup>[5]</sup>;2019 年“一带一路”轨道交通发展论坛中开展了“中国铁路走出去”、“智能铁路建设”、“西部铁路发展”等议题,指出要将轨道交通建设通用施工装备的第一优势始终稳固、持续做强,将轨道交通建设专用施工装备以专精特新打造出一批隐形冠军,要以数字化推动成套装备解决方案供应商向全场景智慧赋能商转型,全力搏击“一带一路”和全球化建设装备市场,加快“一带一路”国家市场布局<sup>[6]</sup>。

从以上国家战略中可以看出我国对轨道交通制造业的重视,我国大力扶持轨道交通制造业的发展,需要在飞速发展的基础上提升该行业发展的质量,以此为我国国民经济的突飞猛进提供支撑。

##### 3.1.2 政府投入力度

图 1 是 2009—2018 年我国研究与试验发展(R&D)经费投入、高科技产业研究与试验发展(R&D)经费投入情况与 m 指数折线图,从堆积的条形图中可以看出我国 R&D 经费年年创新高,到 2018 年我国总体 R&D 经费投入突破 19 000 亿元,高科技产业 R&D 经费投入突破 2 900 亿元。但是光从 R&D 投入经费中只能得出我国越来越重视总体科

技的发展的结论,并不能有效体现对子行业的重视程度,因此引入 m 指数这个指标,m 指数是指高科技产业研究与试验发展(R&D)经费投入与我国研究与试验发展(R&D)经费投入之间的比值,以此评价我国对高科技产业的重视程度,进而探究我国对先进轨道交通装备制造业的重视。从折线图中可以看出我国对轨道交通装备制造业的重视程度呈增长态势,到 2005 年达到顶峰,随后下降。说明随着科技的发展,我国轨道交通装备制造业发展逐渐朝着平稳方向发展,而不像以往突飞猛进的势头。

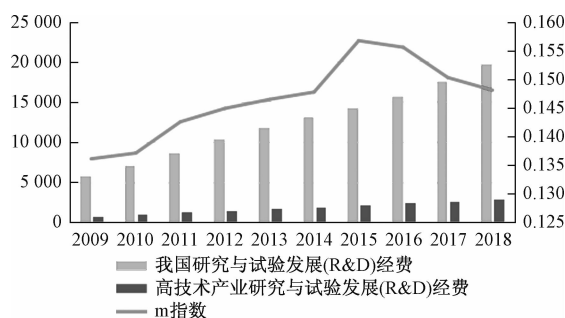


图 1 2009—2018 年我国研究与试验发展(R&D)经费投入及 m 指数

#### 3.2 E(Economic)层面分析

##### 3.2.1 整体趋势分析

图 2 是 2000—2019 年全球轨道交通装备专利公开量,从图 2 中可以看出,轨道交通装备专利从 2001 年开始逐步公开,但在 2005 年之前的专利公开数量比较少,在此之后开始迅猛增长,说明交通轨道装备制造行业得到越来越多的关注,渐渐重视该行业科技研发。而我国从 2007 年开始起步,随后发展迅速,到 2010 年便成为全世界轨道交通装备专利公开量最高的国家,此后更是增速不减,到 2019 年我国当年该领域专利公开量超过 85%,全球占有量超过 60%。说明我国在交通轨道装备制造领域专利量具有巨大的优势,为我国交通轨道装备制造经济体的发展奠定了巨大的基础。

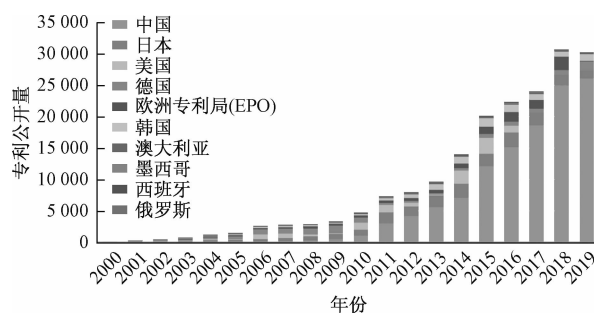


图 2 2000—2019 年全球轨道交通装备制造业专利公开量

### 3.2.2 专利密度分析

虽然我国轨道交通装备制造业专利量具有巨大的优势,但却很难准确衡量单位研发人员的专利产出。本文用某个地区的专利申请量与专利科研人员数量的比值得出专利密度,用专利密度这个指标科学有效地反映各个地区在轨道交通装备制造领域的专利产出现状<sup>[7]</sup>。图 3 是主要国家轨道交通装备制造专利密度折线图,通过该图,可以看出我国虽然专利产量第一,然而单位研发人员产出却不是第一,我国与欧洲专利局(EPO)、澳大利亚国家专利密度大致相当,与排名第一的韩国尚有一定的差距。

### 3.3 S(Social)层面分析

#### 3.3.1 地域分布分析

图 4 是我国轨道交通装备制造业专利区域分布情况图,左图描述了该领域专利数量在我国各省市分布情况,右图描述了该领域 IPC 小类主要分布,从整体上看轨道交通装备制造业专利主要分布在我国东部沿海

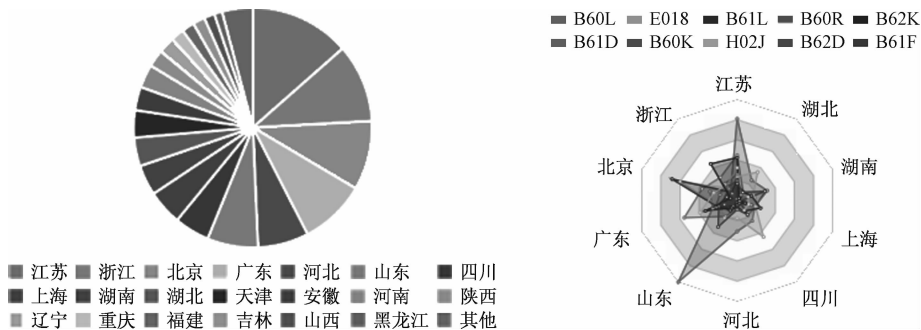


图 4 我国轨道交通装备制造业专利数量区域分布与 IPC 小类分布图

#### 3.3.2 优先权国家 G 指数分析

优先权国家 G 指数是指描述国家之间专利申请关联性的指标,是指本国专利中,其他优先权国家专利公开数量的占比,可以用以分析在专利数据大环境下某国与其他国家之间的潜在关系。表 2 是轨道交通装备制造主要几个国家的 G 指数,从表中可知,我国在该领域主要 5 个国家中的 G 指数偏低,占 14.60%,只略微领先于韩国的 14.40%,而 G 指数最高是美国的 57.60%,说明我国轨道交通制造业专利大多数用于国内,在国外尚且比较封闭,在国外保护不够。

表 2 主要国家 G 指数

国家	G 指数
中国	14.60%
日本	25.30%
美国	57.60%
德国	30.50%
韩国	14.40%

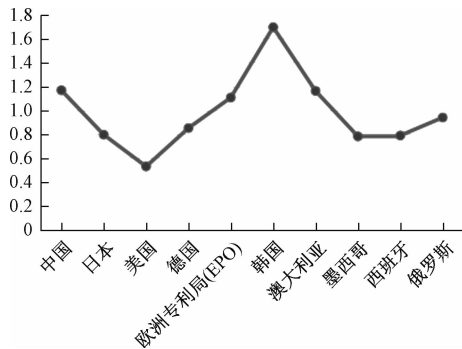


图 3 主要国家交通轨道装备制造专利密度

地区。专利数量方面,从图中可以看出我国轨道交通装备制造专利主要集中在江苏、浙江、北京、广东四省,占全国专利数量 42%;从 IPC 小类分布方面,该雷达图体现了轨道交通装备制造业主要专利在我国分布,其中 B61D, B61L 两类分布比较极端, B61D 主要分布在江苏、北京、山东三个省市, B61L 主要分布在浙江、江苏、北京三个省市,而其他小类专利分布较为均衡。

### 3.4 (Technological)层面分析

#### 3.4.1 技术生命周期分析

对专利申请数量和专利申请人数量随着时间的关系分析,可以探究某地区的技术生命周期<sup>[8]</sup>,图 5 是 2009—2018 年间主要国家轨道交通装备制造专利技术生命周期。对中国的分析中,我国轨道交通装备制造专利研发起步较晚,专利申请数量从 2009 年开始增长,随后专利申请数量和专利申请人数量持续猛增,说明我国轨道交通装备制造正处于技术发展阶段;美国在一段技术发展阶段中出现了一段时间专利申请数量停滞,与德国一样,在 2007 年以前都处在技术发展阶段;而日本虽然起步期较早,但是其技术衰退期也来的早,日本在 2014 年便进入技术衰退期。美国、日本、德国专利技术都有一个相同的趋势,就是在 2018 年专利申请数量和专利申请人数量都骤降,急速进入技术衰退期。

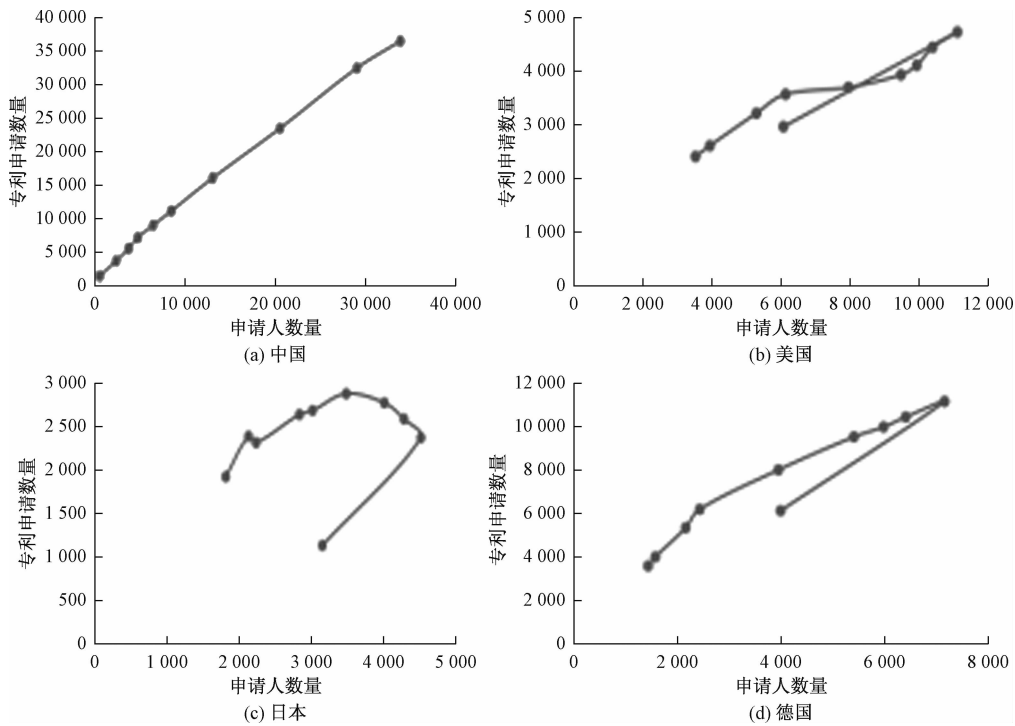


图5 2009—2018年间主要国家轨道交通装备制造业专利技术生命周期

3.4.2 技术发展阶段分析

为了进一步研究近几年轨道交通装备制造业专利技术所处的发展阶段,本文通过计算该领域的技术生长率(V)、5年内技术成熟度( $\alpha$ )和性特征指数(N)(见表3),根据V、 $\alpha$ 、N随着时间的变化情况计算该技术领域的技术发展阶段<sup>[9]</sup>。经测算得到图6所示的2015—2019年我国轨道交通装备制造业技术发展

阶段,从图中可知我国轨道交通装备制造业专利技术生长率(V)一直递增,表明该领域专利技术正在生长阶段;技术成熟度( $\alpha$ )指数从2016年来一直呈现递减趋势,表明该领域专利技术日渐成熟;新特征指数(N)自2016年达到顶峰,随后下降到2018年趋于平稳状态,表明该领域专利技术几乎达到技术瓶颈,只有不断创新才能突破现有技术。

表3 技术发展阶段计量指数

计量指数	公式	意义
技术生长率(V)	$V=a/A$	V值递增说明该领域技术正在萌芽或者生长阶段
技术成熟度( $\alpha$ )	$\alpha=a/(a+b)$	$\alpha$ 递减说明该领域技术日趋成熟
新特征指数(N)	$N=\sqrt{V^2+(\alpha^2)}$	N值越大,新技术特征越强,该技术越具有发展潜力

注:a;当年该领域的发明专利公开数量;b:当年该领域的实用新型公开数量;A:前5年该技术领域的发明专利累积公开数量。

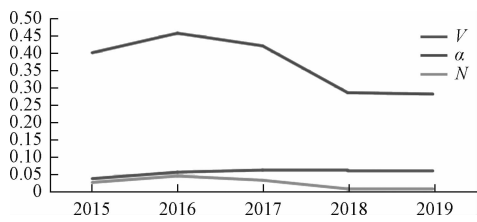


图6 2015—2019年我国轨道交通装备制造业技术发展阶段

4 结论与建议

本文引入 PEST 分析模型结合专利信息对我国

轨道交通装备制造业发展现状进行分析,分别从政治、经济、社会、技术四个层面,识别出我国轨道交通装备制造业政策支持,政府 R&D 投入力度,专利技术发展整体趋势与密度,专利地域分布,国家关联度,以及技术生命周期和技术发展阶段。通过对轨道交通装备制造业的专利信息进行分析,可以得出以下几个结论和建议。

从政治政策层面上看,我国对轨道交通装备制造业大力支持,通过政策和研发经费等方面推动我国轨道交通装备制造业的发展。因此,政府企业科研院所

要牢牢抓住机会,充分有效地利用好现有的资源,为我国轨道交通装备制造业的下一轮突飞猛进做好准备。

从经济发展层面上看,我国轨道交通装备制造业专利公开量独占鳌头,是我国交通领域经济发展重要支柱,极大地促进了我国经济的发展,但是我国单位研发人员的专利产出却不高,这意味着我国大量的科研人员研发效率偏低。因此,我国政府企业科研院所之间可以多做一些科研学术交流,相互学习,相互支持,打破学术之间的壁垒。

从社会大环境层面上看,我国轨道交通装备制造业专利集中分布在江苏、浙江、北京、广东几个大省市,地域之间的分化严重,此外,我国轨道交通装备制造业专利信息在国外稍少,存在一定的封闭性,在国外专利保护范围很窄。因此,一方面需要在鼓励强省大力发展科研的同时,对科研弱省做好扶持,另一方面要增强科研人员的知识产权保护意识,在国外做好专利布局,争取与其他国家相互合作。

从专利技术本身的层面上看,我国轨道交通装备制造业专利技术日渐成熟,专利技术特征趋于平稳。我国要加强持续创新意识,在现有的基础上持续创新

突破。

## 参考文献

- [1] 江新,田名义,马坤.常州轨道交通产业专利分析[J].常州信息职业技术学院学报,2011,10(4):69—72.
- [2] 刘新旭,赵景焕,赵强,吴坤军,熊青.轨道交通防撞安全技术的国内外专利分析[J].电子制作,2015(19):65—66.
- [3] 苏博,李玉庭,王丽.城市轨交轮胎的开发应用及专利技术特点分析(上)[J].中国橡胶,2018,34(8):24—28.
- [4] 娄岩,王雪婷,黄鲁成,苗红,常兰兰.基于专利的我国低碳服装产业现状分析及其对策研究[J].情报杂志,2015,34(9):54—60.
- [5] 谭小伟.新中国成立70年江苏铁路的变化与发展[J].江南论坛,2019(10):21—23.
- [6] 王业立.浅谈勘察设计公司新产品研发的发展策略[J].中国勘察设计,2019(4):83—85.
- [7] YADING ZHANG, RAN SU, XIAOFEI CHEN, et al. The development status of purex process for nuclear fuel reprocessing from an insight from patents[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2019(3):1657—1662.
- [8] 尹然,张文龄.从专利视角看我国滑雪产业现状及创新方向[J].中国发明与专利,2019,16(4):69—75.
- [9] 娄岩,王雪婷,黄鲁成,等.基于专利的北京市老龄产业研究[J].情报杂志,2016,35(1):45—50.

## PEST Analysis of China's Rail Transit Equipment Manufacturing Industry from the Perspective of Patent

QIU Kai-zhong, XIAO Heng

(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** With the implementation of the strategy of strengthening the country with intellectual property rights, scientific and technological innovation and patent achievements play an increasingly important role in the new era. As a bright pearl in China's manufacturing industry, rail transit equipment manufacturing industry has always been attached great importance to. In this paper, the patent analysis index is introduced into PEST analysis model, and the development status of China's rail transit equipment manufacturing industry is analyzed from the four levels of P, e, s and t. The conclusion shows that the quantitative analysis is mainly used in the pest model, which enhances the objectivity and can effectively analyze the development of China's rail transit equipment manufacturing industry from a macro perspective.

**Key words:** rail transit equipment manufacturing industry; PEST analysis; patent analysis

# 多目标双重覆盖下的急救中心选址及其狼群算法求解

孙 冉, 张惠珍

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:**考虑到急救中心提供的急救服务的时效性以及服务的特殊性,通过优化急救中心选址和合理安排急救车数量,提高急救系统的运营效率,保证患者生命安全。结合实际情况对某地区当前急救服务进行改善,对当前急救中心进行优化,选址合适的候选点安排一定数量的救护车提供高效的急救服务,建立多目标双重覆盖模型,并设计狼群基因算法对其进行求解。算法采用游走、召唤、围攻等搜索方法,能够有效找到较优解,而且快速的邻域解的适应度计算方法确保了其搜索效率。以某区急救中心为研究对象,从候选急救机构中选择合适的医疗设施作为急救中心提供急救服务,并对每个急救中心的救护车数量进行管理,以满足居民日常急救就医需求,求解结果使区域医疗资源配置更加均衡,为探索建立分级诊疗和双向转诊机制打下基础。

**关键词:**急救中心;最大覆盖模型;狼群算法

**中图分类号:**F274      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-1807(2020)05-0095-09

## 1 研究背景

优化急救中心选址可以降低由于急救不及时所导致的死亡率升高,提高院前急救的工作质量,保证患者生命安全,降低病死率和病残率<sup>[1]</sup>。通过优化急救中心选址和合理安排急救车数量,提高急救系统的运营效率。在实际选址问题中,并非仅要求达到一个最小成本或最短出行距离的目标,同时需要考虑多个目标,并且这些目标可能是互相冲突的,也就是说,一个目标的优化可能会导致其他目标的恶化。在多目标优化中,每组目标值都对应一个解,需要针对每个解得到的一组目标函数进行甄别,选择其中一组表示目标之间最佳权衡的解决方案<sup>[2]</sup>。根据急救服务的特点以及急救中心的基本条件,急救中心选址既要考虑所能提供服务的最大居民数量,又要考虑建设成本以及运营成本,此外,针对急救车提供的急救服务的特点,还需考虑未能在规定时间内服务到的居民,虽然这类地区较为偏远,但仍需考虑到这些部分的服务需求。因此在模型中加入代表惩罚的一个目标,要求到偏远地区的救护服务也应满足病人的急救需求。因此,本文在这一部分将提出一个考虑双重覆盖的多目标急救中心选址模型,并构造求解该问题的多目标狼群算法,得到多目标较优解。

急救中心选址问题包括确定哪个候选设施开放

作为急救站以及在这个救护站应安排多少辆救护车。由于在实际急救车进行急救服务的过程中,急救车的出行时间在急救服务中至关重要,因此需要通过高效的车辆分配和急救站中心布局来确保救援行动的快速响应,考虑出生率的增长和环境增长加快等全球普遍的趋势,在满足当前需求的基础上,对未来人口数量和就医需求进行预测,将其加入模型中,对当前急救医疗系统进行补充和完善。

## 2 急救中心选址问题的多目标双重覆盖模型

### 2.1 问题描述

急救中心选址问题包括确定救护中心位置以及该救护中心安排的救护车数量,从候选设施中选择符合要求的设施并安排一定数量的救护车为周边居民提供急救服务。考虑到救护车的服务场景,救护车在提供救助服务时应通过规划救护车路径以及保证响应时间,因此针对急救中心选址问题,不仅要考虑建设成本,还要将救护中心为周边居民点提供服务的响应时间纳入考虑,结合实际就医状况合理优化急救中心选址布局能够有效降低死亡率,完善院前急救,提高急救医疗系统的效率。

对于应急服务而言,其目标通常被表述为对公众的损失最小化,也就是说居民所享受的急救医疗服务的利益最大化,称为最大覆盖问题<sup>[3]</sup>。早期的救护车

**收稿日期:**2020-01-10

**基金项目:**国家自然科学基金项目(71401106);教育部人文社会科学基金项目(16YJA630037)。

**作者简介:**孙冉(1994—),女,河南许昌人,上海理工大学管理学院,硕士研究生,研究方向:智能优化;张惠珍(1979—),女,山西忻州人,上海理工大学管理学院,副教授,博士,研究方向:运筹学及智能优化等。

选址模型并未考虑到在某个时间段内救护车处于繁忙状态,仅仅要求在给定响应时间内用最少的救护车(最小成本)覆盖所有的需求点。这类模型忽略了现实问题的几个方面,即一旦救护车被派遣出去,一些需求点就不再被覆盖,无法得到急救服务。人口密集的地区通常比人口较少的地区有更高的紧急服务的呼叫频率,一辆急救车一次只能响应一个紧急呼叫,并且只有在完成该任务后才可用。因此人口越密集的地区,急救车忙碌的可能性就越大,平均响应时间就越长,它提供的服务就越差。为了确保一个电话的平均响应时间是可接受的,可以设定每个急救中心都应双重覆盖该居民的,即每个居民可以在响应时间范围内有2个急救中心可以为其提供服务。

救护中心的选址应确保覆盖到周边居民,确保院前急救系统能够提供救护服务的时间缩短,提供及时的服务<sup>[4]</sup>。综合上述因素,最大覆盖模型可以应用于求解急救中心选址问题<sup>[5]</sup>,但是由于急救服务不仅仅需要最大化覆盖居民数量,现实生活中影响急救服务水平的因素较多,例如紧急救护情况下不同疾病的发病时间和危重情况,急救过程中环境因素(路况,交通状况)等附加情况。因此仅仅将最大化覆盖作为优化目标并不能得到合理的优化方案,应结合实际情况进行改进。

## 2.2 多目标双重覆盖模型

考虑到救护车利用率较高,对急救服务的需求较多,如果某个区域中急救中心的车辆均被派出进行救护,此时该区域有急救需求,此需求无法被满足,可能造成一定情况的延迟,对患者的病情有较大影响。因此改进的模型要求居民点应在服务范围内被至少两个急救中心覆盖以提高急救服务的可靠性<sup>[6]</sup>,缩短响应时间,降低因急救不及时造成的死亡率。与最大覆盖模型仅仅要求覆盖最大数量的居民不同,改进后的模型考虑到当救护车被派出后可能会有个别居民在需要急救服务时,急救中心已经没有救护车,因此无法及时提供急救服务。因此设立备用覆盖,并且考虑建设成本得到多目标优化问题。

本文中在最大覆盖模型的基础上进行改进,目标函数包括最小化建设成本,最大化二次覆盖居民数量以及最小化为被覆盖的居民至当前设施的距离。要求每个居民点均被一个小半径  $r_1$  覆盖一次,同时一个大半径  $r_2$  覆盖2次,同时,以保证每个居民点都有备用的救护车提供急救服务,即可以在救护车处于服务状态时为需求点提供备份覆盖<sup>[7]</sup>。现阶段大部分居民均可在大半径  $r_2 = 12 \text{ min}$  内接受急救服务,但

是急救车忙碌的情况下,通常会造成等待时间,因此应对每个救护站的救护车数量进行分配,适当增加需求密集附近救护车的数量,以保证有病人需求时有对应的车辆到达。小半径  $r_1$  对应更高的服务需求,为居民提供更加可靠的医疗救助服务。因此设置  $r_1 = 8 \text{ min}$ ,表示在8分钟内可以到达需求点。与此同时,二次覆盖可以作为对当前救护站点的补充,以应对繁忙时的情况。此外对于较为偏远的居民点而言,当期需要急救服务时,仍需派出救护车进行救助。虽然救护车可能无法在15分钟内到达,但在选址时仍然要考虑这些居民点,因此应将该类服务点的服务质量考虑在内,若该点未被二次覆盖,则应保证该点至当前设施点的距离最小,进而在派出车辆时,可以尽快到达该点,确保该地区居民能够获得有效的急救医疗服务。多目标双重覆盖模型如下:

$$\text{Max} \quad \sum_i^N d_i z_i \quad (1)$$

$$\text{Min} \quad \sum_j^M \sum_i^N d_i (1 - z_i) t_{ij} x_j \quad (2)$$

$$\text{Min} \quad \sum_j^M q_j f_j + x_j l_j \quad (3)$$

$$\text{S. T.} \quad \sum_j^M b_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_i^N d_i y_i \geq \alpha \sum_i^N d_i \quad (5)$$

$$\sum_j^M a_{ij} x_j \geq y_i + z_i \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$z_i \leq y_i \quad (7)$$

$$x_j < p_j \quad (8)$$

$$\sum_j^M x_j < P \quad (9)$$

$$y_i, z_i \in (0, 1) \quad (10)$$

$$q_j = 1, \text{ if } x_j > 0 \quad (11)$$

$$q_j = 0, \text{ if } x_j = 0 \quad (12)$$

$$x_j \text{ is inter}, \{0, 1, 2, 3, 4, 5\} \quad (13)$$

$$r_2 > r_1 \quad (14)$$

其中目标函数(1)表示最大化在  $r_1$  范围内至少被覆盖2次的居民数量;目标函数(2)表示最小化未被覆盖的居民点到当前的急救中心的距离;目标函数(3)表示最小化建设成本和运营成本;约束(4)要求每个需求点均在小半径  $r_1$  范围内被覆盖一次,即确保每个需求点均可在15分钟内接到急救车的服务;约束(5)要求一定比例  $\alpha$  的居民可以在  $r_1$  范围内被覆盖2次;约束(6)保证居民点可以在大半径  $r_2$  内被覆盖两次;约束(7)限制只有在被一次覆盖的情况下,才能

被覆盖两次;约束(8)表示安排救护车数量不超过  $p$  辆,约束(9)和约束(10)表示,只有在候急救中心安排救护车的情况下,该候选点才开放;否则该候选点不开放。

大部分多目标问题可以转化为单目标问题<sup>[8]</sup>,考虑到急救中心选址问题的特点,将多目标优化问题的每个目标函数赋予一定权重,转化为单目标优化问题,以供决策者根据要求进行选择。其中,三个目标函数并不是同一量纲,因此应对其进行归一化。通过数学性质分析,对每个目标函数设定其上界和下界,即归一化的参照。对于目标函数(1)最大化二次覆盖的人数而言,该目标的上界为该地区的需求点由当前设施全部进行覆盖,即  $\max F_1 = \sum_i^I d_i$ ,下界为任何一个居民的都无法被覆盖,即  $\min F_1 = 0$ ;对于目标函数(2)最小化无法提供及时服务的惩罚值,则该目标的上界为每个需求点都无法提供及时服务的惩罚值,即为  $\max F_2 = \sum_j^M \sum_i^N d_i t_{ij}$ ,该目标的下界为均可以提供及时服务,因此没有另外的惩罚值,即  $\min F_2 = 0$ ;目标函数(3)表示最小化建设成本,因此该目标的上界为所有设施均开放并且安排最大容量的救护车,即  $\max F_3 = \sum_j^M q_j + l_j$ ,下界为所有设施均不开放,因此  $\min F_3 = 0$ 。由此可以根据归一化方法对不同量纲的多目标函数进行归一化。得到 $[0,1]$ 中间的值来代表统一后的目标函数值,并对其加权得到对应的目标函数值,具体过程如下:

$$F_i = \omega_1 \frac{F_{1\max} - F_{i1}}{F_{1\max} - F_{1\min}} + \omega_2 \frac{F_{i2} - F_{2\min}}{F_{2\max} - F_{2\min}} + \omega_3 \frac{F_{i3} - F_{3\min}}{F_{3\max} - F_{3\min}} \quad (15)$$

其中,  $F_i$  表示第  $i$  个解所得到的目标函数值,即第  $i$  个解所布局的急救中心得到的目标函数值;  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  和  $\omega_3$  分别代表每个目标函数的权重,决策者可以通过设置权重来平衡不同目标函数,从而根据自己的决策偏好得到对应的目标函数值。其中  $F_{ij}$  表示第  $i$  个解产生的解得到的第  $j$  个目标函数值,带入每个式子得到归一化后得目标函数。其中  $\frac{F_{1\max} - F_{i1}}{F_{1\max} - F_{1\min}}$ ,

$\frac{F_{i2} - F_{2\min}}{F_{2\max} - F_{2\min}}$ ,  $\frac{F_{i3} - F_{3\min}}{F_{3\max} - F_{3\min}}$  三个分别表示归一化后的目标函数,分布在 $[0,1]$ 之间。

### 2.3 参数说明

给定某个距离  $r$ ,若  $t_{ij} < r$ ,则需求点  $i$  可以由急

救中心  $j$  提供服务。因此构造 2 个距离判断矩阵  $a_{ij}$  和  $b_{ij}$ 。 $r_1$  和  $r_2$  代表覆盖半径,  $r_1 < r_2$ 。在判断矩阵中,若  $a_{ij} = 1$ ,需求点  $i$  至候选设施  $j$  的距离小于  $r_1$ ,否则  $a_{ij} = 0$ ;距离  $r_2$  判断矩阵,若  $b_{ij} = 1$ ,需求点  $i$  至候选设施  $j$  的距离小于  $r_2$ ,否则  $b_{ij} = 0$ 。小半径  $r_1$  代表基本的急救服务需要在 12 分钟内到达需求点,相比较现有的 15 分钟有所改善,大半径  $r_2$  则代表需要对于大部分需求点提供备用服务,若对应的救护中心已经没有可以提供服务的救护车,则应对由备用的距离较远的救护车提供服务,备用覆盖的半径可以调整为 15 分钟。通过设置覆盖半径的约束对当前的救护车的服务水平进行改进提高,设置一个更小的覆盖半径能够减少救护车的出行时间<sup>[9]</sup>,提高救护车效率,保证院前急救的有效性,为病人争取宝贵的时间。

算法中相关参数含义如表 1 所示。

表 1 参数意义

变量	含义
$d_i$	需求点 $i$ 的需求量
$z_i$	需求点 $i$ 在半径 $r_1$ 内至少有两个候选设施为其提供服务,若存在两个设施为其提供服务则 $z_i = 1$ ,否则 $z_i = 0$
$t_{ij}$	需求点 $i$ 至候选设施点 $j$ 的时间
$y_i$	需求 $i$ 在半径 $r_1$ 内至少有一个候选设施为其提供服务
$x_j$	候选设施点 $j$ 安排救护车的数量
$b_{ij}$	距离 $r_2$ 判断矩阵,若 $b_{ij} = 1$ ,需求点 $i$ 至候选设施 $j$ 的距离小于 $r_2$ ,否则 $b_{ij} = 0$
$a_{ij}$	距离 $r_1$ 判断矩阵,若 $a_{ij} = 1$ ,需求点 $i$ 至候选设施 $j$ 的距离小于 $r_1$ ,否则 $a_{ij} = 0$
$f_j$	固定设施费
$l_j$	救护车数量的成本
$q_j$	候选设施点开放,则 $q_j = 1$ ;候选设施点不开放,则 $q_j = 0$

## 3 狼群算法

### 3.1 算法介绍

选址问题是典型的组合优化问题,可以采用启发式算法进行求解,对于双重覆盖下的最大覆盖问题,提出了改进的多目标狼群算法进行求解。其中算法相关参数及操作介绍如下:

1)编码方式。将每头人工狼  $wolf_i$  作为该问题的初始解进行编码,其中  $wolf_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iD})$ ,其中  $x_{ik}$  表示第  $i$  头人工狼在第  $k$  个候选设施安排  $x_{ik}$  辆救护车为周边居民提供服务。考虑到每个设施的容量限制,根据当前候选设施的具体情况,设

置每个候选设施安排的救护车数量不超过 5 辆。

2)“胜者为王”的头狼产生规则。初始化狼群,计算每个解得到其适应度函数,将适应度值最优的解作为头狼,后续迭代过程中根据头狼产生规则进行更新<sup>[10]</sup>。当前解中有多个目标函数值最优时,随机选择一个作为头狼。头狼不进行游走、召唤和围攻,仅在种群迭代过程中进行更新。每一匹人工狼都对应一个猎物气味浓度值,即每个解对应一个目标函数的适应度值。因此将人工狼  $i$  的适应度定义为:

$$Y = f(X_i) \quad (16)$$

其中,  $f(X_i)$  目标函数。在种群迭代更替的过程中,当某个人工狼的目标函数值满足  $Y_i > Y_{lead}$ ,  $X_i$  替换当前头狼作为新一轮迭代过程中的  $X_{lead}$ , 同时更新  $Y_{lead} = Y_i$ 。

3)“强者生存”的狼群更新机制。自然界中“物竞天择,适者生存”的原则使种群不断更新,保留精英个体。在狼群算法中,根据人工狼的适应度值将其按照“由弱到强”的顺序进行分配,强壮的狼将得到充足的食物,但弱小的狼将会因缺乏食物而被饿死。在算法中体现为,将当前种群中的适应度值进行排序,去掉较差的解,并且根据初始化方法随机产生同样数量的人工狼,从而使种群保持多样性。算法能够拓展搜索范围,开辟新的搜索空间,跳出局部最优解。

4)游走行为。根据探狼比例因子  $\alpha$ , 确定探狼数量,选择除了头狼以外的前  $S_{num}$  头人工狼作为探狼,进行随机搜索以增加种群的多样性,拓展全局搜索的范围<sup>[11]</sup>。探狼  $X_{search,i}$  根当前的位置所感知到的猎物气味浓度  $Y_{search,ii}$ , 即这头狼的适应度值,确定猎物的位置及搜索方向。若当前猎物浓度  $Y_{search,i}$  大于头狼所感知的猎物浓度  $Y_{lead}$ , 说明其距离猎物较近,更容易捕获猎物,因此用该探狼  $X_{search,i}$  代替头狼并更新头狼位置及其目标函数值  $Y_{lead} = Y_{search,i}$ , 并发起召唤行为;若  $Y_{search,i} < Y_{lead}$ , 则探狼  $X_{search,i}$  应进行游走操作。对于本文选址问题的游走操作,设计新的游走行为进行随机搜索,即对于一头探狼  $X_{search,i}$  而言,随机选择一个位置上的救护车数量  $x_{ik}$  进行局部搜索,即根据候选设施的救护车数量,确定对应的调整方法,如下式所示:

$$x_{ik} = \begin{cases} x_{ik} - 1, & \text{if } x_{ik} \geq 3 \\ x_{ik} + 1, & \text{if } x_{ik} < 1 \\ x_{ik}, & \text{if } x_{ik} = 1 \end{cases} \quad (17)$$

即:每个候选点安排的救护车数量以固定值  $O$  为基准,  $O = 3$ 。当候选点的救护车数量超过 3 辆,

则可以减少 1 辆进行调整,若候选点救护车数量仅 1 辆则保持不变,若候选点没有安排救护车,则在该位置增加一辆救护车。具体操作步骤如图 1。

$wolf_i$	1	2	0	1	2	1	0
$wolf_{(i,2)}, p=2$	1	1	0	1	2	1	0
$wolf_{(i,3)}, p=3$	1	2	1	1	2	1	0
$wolf_{(i,5)}, p=5$	1	2	0	1	1	1	0
$wolf_{(i,7)}, p=7$	1	2	0	1	2	1	1

图 1 游走行为示意图

其中  $wolf_i$  代表进行游走的探狼,  $wolf_{(i,k)}$  表示探狼在第  $k$  个候选设施的位置上进行游走,即在第  $k$  个方向上进行游走。游走后探狼  $X_{search,i}$  的当前适应度值为  $Y_{search,i} = Y_{search,i}^k$ , 选择比当前适应度值更优位置所在的方向进行游走,并更新探狼  $X_{search,i}$  的状态。重复以上游走行为直至某人工狼  $X_{search,i}$  的适应度值比头狼适应度值更佳或游走次数  $T$  到最大游走次数  $T_{max}$ 。根据算法的搜索效率和  $k$  的不同取值,可以确定探狼的搜索方式,开辟新的搜索范围。

5)召唤行为。头狼在靠近最优解(猎物)时,通过嚎叫召唤其他人工狼聚集到猎物附近进行围攻。除头狼和探狼以外,将其他人工狼作为猛狼,它们在听到召唤后迅速向头狼所在的位置聚集靠拢,猛狼以较大的奔袭步长,朝着头狼方向靠拢。为了体现狼群内部的信息交流,将头狼和探狼的解进行比较,根据不同情况进行召唤行为。因此,设计召唤行为如下:对于头狼和猛狼对应位置安排相同数量救护车的候选点,保持该位置救护车数量不变,对于不同救护车数量的候选设施处的数量进行调整,将当前解猛狼  $wolf_{ferocious,i} = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iD})$  和当前最优解头狼  $wolf_{lead} = (x_{lead1}, x_{lead2}, x_{lead3}, \dots, x_{leadD})$  的不同候选位置的救护车数量进行比较,相同数量的不作改变,以体现保留头狼传递的有效信息。继续改变数量不同的位置,改变方法则考虑此处所有解安排救护车的数量,计算一个频率,选择频率较高的数量作为调整后的解。具体改变方式如图 2。

$wolf_{lead}$	1	2	0	1	2	1	0
$wolf_{(ferocious,1)}$	2	0	0	1	1	2	1
$wolf_{(ferocious,2)}$	2	0	1	1	2	1	0
$wolf_{(ferocious,3)}$	2	1	0	2	2	1	0
$wolf_{(ferocious,4)}$	2	1	0	0	2	1	0

图 2 召唤行为示意图



如上所示,将  $wolf_{lead}$  和  $wolf_{(ferocious,1)}$  进行比较,候选点 3 和 4 处的救护车数量相同,因此  $wolf_{(ferocious,1)}$  的第 3 和 4 个候选位置救护车数量保持不变,对于候选点 1 而言,两者救护车安排数量不同,因此分别考虑头狼的第 1 个候选设施处安排 1 辆和猛狼的第 1 个候选设施处安排 2 辆在所有解中出现的概率。在候选点 1 处安排 1 辆救护车仅出现 1 次,在头狼和猛狼中出现的频率为  $\frac{1}{5}$ ;在候选点 1 处安排 2 辆救护车出现 4 次,在头狼和猛狼中出现的频率位  $\frac{4}{5}$ ,因此选择安排 2 辆救护车在候选点 1 处。同理对于其他猛狼同样采用这样的方法相应头狼的召唤,进行奔袭之后的猛狼位置如下图 3 所示。这种行为体现了对头狼召唤信息的提取,同时调整的方法也促进了搜索朝着最优解的方向进行。若  $Y_{frisiouc,i} > Y_{lead}$ ,则若  $Y_{lead} = Y_{frisiouc,i}$ ,该猛狼转化为头狼并发起召唤行为;若  $Y_{frisiouc,i} < Y_{lead}$ ,则该猛狼  $X_{frisiouc,i}$  继续奔袭,此时猛狼加入到对猎物围攻的行动中,即转入围攻行为。为了保证种群的多样性,奔袭至头狼的过程中,需保证头狼和猛狼解不完相同,结合原始狼群算法中的距离判定因子,将  $w$  定义为保证猛狼的解中的候选点的救护车数量与头狼不同的比例,从而确定奔袭行为进行的程度。

$wolf_{(ferocious,1)}$	2	1	0	1	1	2	1
$wolf_{(ferocious,2)}$	2	1	0	1	2	1	0
$wolf_{(ferocious,3)}$	2	1	0	2	2	1	0
$wolf_{(ferocious,4)}$	2	1	0	0	2	1	0

图 3 猛狼听到召唤后的位置图

6) 围攻行为。围攻行为可以看作是狼群算法中的局部搜索,在最优解附近进行更加细致的搜索以发现最优解的过程。猛狼奔袭至猎物附近后联合探狼,将头狼的位置看作猎物的位置对其进行围攻,此时已经较为靠近最优解,因此,只需在当前解的基础上进行局部搜索,因此设定以下行为进行围攻。

$wolf_{lead}$	1	2	0	1	2	1	0
$wolf_{(ferocious)}$	2	0	0	1	1	2	1
step1:			0	1			
step2:	-	+	0	1	-	-	-
step3:	1	1	0	1	1	1	1

图 4 围攻操作示意图

如图 4 所示,猛狼局部搜索,保持与头狼相同的

救护车数量,对其他不同位置的救护车数量根据下式进行调整。即:当候选点的救护车数量超过 2 辆,则可以减少 1 辆进行调整,若候选点救护车数量仅 1 辆则保持不变,若候选点没有安排救护车,则在该位置增加一辆救护车。猛狼  $wolf_{(ferocious)}$  围攻后当前的位置如 Step3 中所示。

$$x_{ik} = \begin{cases} x_{ik} - 1, & \text{if } x_{ik} \geq 2 \\ x_{ik} + 1, & \text{if } x_{ik} < 1 \\ x_{ik}, & \text{if } x_{ik} = 1 \end{cases} \quad (18)$$

围攻后人工狼当前的适应度值大于原位置的适应度值时,即人工狼距离猎物更近即围攻后的解得到的适应度函数更优,则更新该人工狼  $i$  的位置,否则保持原位置不变。

### 3.2 算法步骤

因此改进后的狼群算法求解双重覆盖问题的求解流程如下所示:

Step1: 初始化算法参数。包括狼群规模  $Num$ , 候选设施数量、需求量、种群更新因子  $\beta$ , 最大迭代次数  $iters$  等;并对种群进行初始化,得到人工狼群;

Step2: 选取头狼。选择适应度值最小的人工狼为头狼;若同时存在多匹人工狼适应度值相等且最小,则在其中随机选取一匹人工狼充当头狼;

Step3: 游走。探狼  $k$  根据游走策略进行游走,比较探狼和头狼的目标函数值,若  $Y_{search,i} < Y_{lead}$ ,则将探狼  $k$  作为头狼进行后续搜索,即  $Y_{lead} = Y_{search,i}$ ,否则继续在  $k$  个方向上依次进行游走;

Step4: 召唤。其他人工狼接收头狼信息,再在头狼的号召下,猛狼向头狼进行奔袭。在奔袭的过程中,若  $Y_{frisiouc,i} < Y_{lead}$ ,则  $Y_{lead} = Y_{frisiouc,i}$ ,则更新头狼,由猛狼  $k$  替代头狼;

Step5: 围攻。把头狼位置视为猎物的移动位置,即最优解所在的位置。参与围攻的猛狼按照前述围攻方法对猎物进行围攻,若  $Y_{frisiouc,i} < Y_{lead}$ ,则  $Y_{lead} = Y_{frisiouc,i}$ ,否则继续进行围攻直至围攻结束;

Step6: 更新狼群。参照“强者生存”的规则,对狼群进行更行。保留最优解,剔除种群中的其他部分弱者,同时产生等量新的个体,保持狼群数量;

Step7: 终止。若  $t < Gmax$  或者最优解在  $T$  次内未发生改变,则算法结束,并输出当前最优解;否则  $t = t + 1$ ,并转 Step2。

## 4 数值计算

### 4.1 模型数据

为了提高急救中心服务效率,缩短救护车进行救护工作的平均时间,以保证该区域居民能够在规定时

间内接收到急救服务并提高医疗急救系统的效率<sup>[12]</sup>,选址某市特定区域进行急救中心选址优化。该地区候选设施点由社区卫生服务中心、二级医院、三级医院和卫生防疫站等医疗机构选择,根据急救车安排的要求,初步剔除不能改建成为急救中心的候选设施,并加入一些有硬件条件的候选设施,最终得到 50 个地点作为后续选址问题的候选点。

以某地区为例,为该地区 80 个需求点提供医疗急救服务,在当前 73 个候选设施筛选出硬件条件满足急救中心要求的设施作为候选点,并且另外增加一些候选设施,从中选择 50 候选点作为急救中心,并安排救护车在该急救中心为该区域居民提供急救服务,考虑到急救中心救护车数量的限制,救护车数量应不得超过 150 辆。以该地区的最小行政划分区域(街道)作为居民点的划分依据,并将街道办事处所在地作为该需求点的具体位置。

#### 4.2 模型参数

模型中涉及到的候选点和需求点位置、需求点规模、需求点与设施点最短通达时间、二次覆盖比例因子、多目标权重、各地区需求人数以及候选设施建立费用等的设定如下:

1) 候选点位置。选择某市的医疗卫生服务机构以及大型公共设施作为候选点,包括三甲医院、社区卫生服务中心、卫生防疫站等<sup>[13]</sup>。考虑到急救中心需配备急救车以及医护人员,因此应选择具有一定规模并且医护人员具备急救技能的医疗设施作为候选点。共计 35 个候选点,分布位置如图 6 所示。

2) 救护车的行驶时间。考虑到救护车进行救助时的行驶速度和交通情况,设定救护车在市区行驶速度为 60 km/h,不考虑通过交通信号等的时间。将需求点和候选设施点的出行距离转化为出行时间进行计算。

3) 需求点位置及人口规模。以行政区域划分该区域居民,将该区域的各个街道作为需求点集合,街道的几何中心视为人口中心,及需求点位置。该街道的常住人口数量作为需求量。

4) 急救中心个数以及急救车数量。根据《上海市医疗机构设置“十三五”规划》中关于急救医疗卫生机构设置的规定,根据该区域内居民的数量以及当前可供选择的设施的具体情况等相关因素,选择 50 个作为急救中心安排救护车。根据急救电话的呼出频率确定急救车数量,正常情况下,急救中心的救护车一般为 3 辆,因此在本文中设定每个候选点做安排的急救车不得超过 5 辆,由此来设定每个候选设施的救护

车数量上限。

5) 覆盖半径。考虑到病人发病的黄金救助时间,救护车进行救护的时间以及出行时间应规定在 15 分钟内到达病人处,从而使病人得到有效的救治<sup>[14]</sup>。因此,在基础的救助时间 15 分钟的基础上,对全部的居民点的病人提供服务。考虑到建立的救护站应在以后较长时间内满足急救需求,在该模型中考虑未来的人口变化以及急救服务水平的提高,在基础的 15 分钟应急服务的情况下,确保一定比例的居民的能够在 12 分钟内接到急救服务,这是对当前急救服务的改善,通过缩小覆盖半径进行提高救护时间。如图 5 所示,急救中心为周围候选点提供服务时,有一定的有效服务半径,在这一半径内,需求点 1,2 可以得到急救中心为其提供的服务。其他的需求点 2 则无法得到急救中心的相关服务。

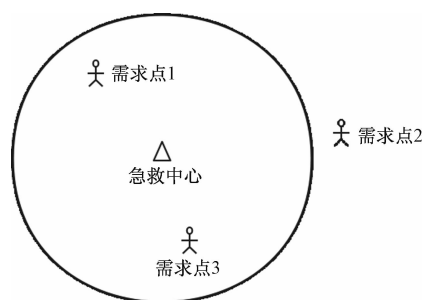


图 5 急救中心覆盖半径示意图

6) 距离判断矩阵。距离判断矩阵作为中间变量,可以判断每个居民点到每个候选设施点是否在规定覆盖半径范围以内。该模型中涉及到两个覆盖半径,因此对于小半径  $r_1$ ,有距离  $r_1$  判断矩阵,若  $a_{ij} = 1$ ,需求点  $i$  至候选设施  $j$  的距离小于  $r_1$ ,否则  $a_{ij} = 0$ ;对于大半径  $r_2$ ,有距离  $r_2$  判断矩阵,若  $b_{ij} = 1$ ,需求点  $i$  至候选实施  $j$  的距离小于  $r_2$ ,否则  $b_{ij} = 0$ 。由此可以判定产生的候选解是否满足全部覆盖和二次覆盖约束。例如,在 3 个需求点和 3 个急救中心的距离

矩阵  $d_{ij}$  和距离判断矩阵中  $a_{ij}$ ,  $C = \begin{bmatrix} 3 & 5 & 6 \\ 5 & 3 & 8 \\ 3 & 6 & 4 \end{bmatrix}$ ,  $r_1 =$

4, 则  $a_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 。

7) 覆盖次数。考虑到救护车的救助服务类型,对任何一个需要救护车到达的地方都应考虑在内,因此当某急救中心的救护车全部派出执行救护任务后,若仍有救护需求,该救护站则无法派出车辆。在这种情况下,居民的病情无法得到及时的救治,考虑到这种

情况,建立二次覆盖模型,可以在该居民点对口急救站无法提供急救服务时,可由其他急救中心提供服务。因此该居民可以被急救中心覆盖 2 次,即可以接受 2 个急救中心提供的服务,当一个急救中心忙时,另一个急救中心可以作为备用服务设施为其提供服务。因此当某居民可以在规定时间内被 1 个急救中心服务时,该居民可以被覆盖 1 次;当某居民点可以在规定时间内被 2 个急救中心服务时,该居民可以被覆盖 2 次,即可以得到备用服务。

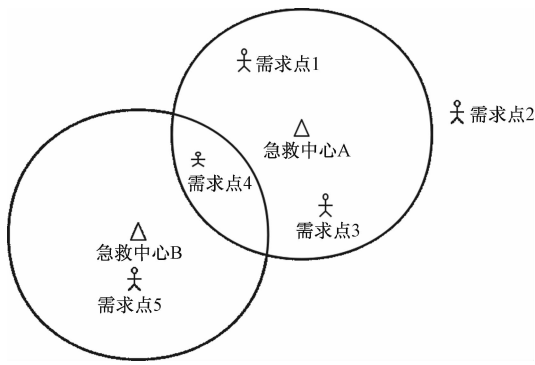


图 6 多次覆盖示意图

如图 6 示,对于需求点 1 来说,在规定时间内,急救中心 A 可以为其提供服务;对于需求点 4 而言,该需求点可以由急救中心 A 和急救中心 B 提供服务,当某个急救中心的救护车派出后,则另一个急救中心可以为其提供服务,为该需求点提供双重保障,以避免救护车派出的情况下,部分地区无法得到及时的急救服务,错过黄金抢救时间。

8)固定设施费和救护车数量的成本。对于所设立的急救站应有固定设施费,考虑到救护车停车位置以及急救人员休息区的建设费用,若该候选点以及具备条件,则固定设施费为 0,一般情况下候选点中医院已经具有急救车需要的固定配套设施,因此该费用为 0;对于一些社区卫生服务中心或者公共设施应增设急救中心的固定配套设施,因此应根据统一设定候选点的固定设施费为 30 万到 100 万之间,因此文章中随机确定该地区候选设施的建设成本。假设该设施的使用年限为 15 年,则每个月的费用根据该候选设施的具体情况确定。考虑到具体采集数据的难度和不确定性,在本文中随机确定每个候选设施点的每个月的建设成本在急救站安排急救车除了车辆本身费用外,还应考虑救护车配备的司机及医生的费用,因此每辆救护车的成本参考医生的工资,分摊到每个月为 8 000 元,根据相关文件指出,人员薪资每个月为 24 000。因此根据以上假设确定每个候选点的固

定设施费和救护车数量的费用。

4.3 求解结果

利用 Matlab2016b 对狼群算法进行编程实现,实验所用硬件环境为 Intel © Processor 5Y10 CPU@ 0.80 GHz,8.0 GB 内存,64 位 Windows 10 操作系统。在现有 50 个急救中心候选点中,选择若干个作为急救中心,为 80 个街道提供紧急医疗服务,以满足居民突发情况的就医需求。其中算法相关参数通过调整某一参数值,固定其他参数保持不变的调整方式,得到狼群算法中相关参数的最佳值,逐一调整得到算法参数:种群数量 pop:100;最大迭代次数 gmax:0.4;探狼游走方向  $\beta$ :0.2;探狼比例因子  $\rho$ :0.6。

采用所构造的狼群算法求解急救中心选址的多目标双重覆盖模型,根据某区域的实际情况,进行求解。所得结果为 0.447,对于所得到的结果如表 2 所示。

表 2 急救中心选址结果表

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
数量	3	3	4	2	0	4	1	5	5	1
编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
数量	4	4	5	5	4	3	3	5	5	1
编号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
数量	2	3	1	3	3	5	4	1	3	4
编号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
数量	5	4	3	1	2	2	5	3	5	5
编号	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
数量	5	5	1	1	2	2	2	2	4	5

在表 2 中,根据算法得到结果可得,2 号候选设施启用,作为急救中心建立,并安排 3 辆救护车,5 号候选设施处不安排救护车,因此该候选设施不启用。同样可以得到其他候选设施处安排的救护车数量以及选址开放的急救中心,同理,其他候选设施点救护车数量安排可参照表 1。

根据算法求解结果可得在候选急救中心中选择合适的急救中心安排救护车,并根据该地区的人口密度和急救医疗服务的需求安排救护车,以满足双重备用覆盖的要求。通过结果可以得出每个急救中心安排的救护车数量,得到对应急救中心分别覆盖的居民点以及相应的配备救护车数量。根据覆盖半径的覆盖范围可以得到,急救中心能够为周边居民提供可靠的服务,即使该急救中心的急救车被派出,居民点仍然可以被其他急救中心的急救车服务。同时,急救服务响应时间也能满足要求,保证病人的黄金救援时间。重新进行布局急救中心并合理安排急救车后,该

地区的急救医疗服务效率得到提高,急救响应时间由原来的15分钟缩短到12分钟,缩短了院前急救的时间为病人的安全提供保障。对于突发疾病,能够更快的到达危重病人所在地点,展开急救服务,确保在黄金救护时间进行有效的救护,降低死亡率。每个急救站可以为周围居民提供响应时间在12分钟内的急救服务,而居民点也可以得到2个急救站所提供的服务。此外较为偏远的需求点也能接收到同样的服务,因为求解算例是某市的急救中心选址,城市人口密集,没有较为偏远的居民点,因此对偏远地区无法服务的惩罚较小。如果将该模型推广到大范围的急救中心选址,则偏远地区的服务水平将会在目标函数中体现出惩罚因素。同样,当前要求急救车的响应时间是15分钟,考虑到未来交通状况、人口老龄化问题以及各种突发疾病的发病率等因素,建设急救中心时应具有一定的前瞻性,因此应提出一部分人口密集的居民点的救护车到达时间应在12分钟以内,作为一个提高服务质量的要求加入模型中,因此当前选址布局下,居民在小半径的情况下仍能保证全部居民点都可接受急救服务。

## 5 小结

考虑到急救医疗服务的高效性和敏捷性的特点,通过设立分散的急救中心来进行有效的院前急救,在一些突发疾病的黄金时间进行救护,提高患者的存活率。通过安排急救中心以及救护车,来缩短急救车的响应时间,建立有序、有效的新型医疗服务体系。构造求解该问题的狼群算法,重新定义游走、召唤、围攻等操作以及种群更新策略,能够有效地求解此类问题,效率较高。当前优化后的急救中心选址布局克服了当前急救车出行时间较长的问题,重新合理安排急救车数量,避免了人口密集地区救护车数量的短缺。通过算例求解表明,该模型及求解算法在实际应用中是可行和有效的,并且能够在当前急救中心布局的情况下有所改进,能够更好地满足居民的就医需求,加强了急救中心等各类医疗资源有效配置,提升综合医疗服务能力。在实际问题基础上,结合未来医疗资源分配的要求以及当前医疗资源分配中的问题,对当前医疗设施重新进行改进,使其适应社会发展对医疗资源服务的需求。

根据急救中心所提供的急救服务的特点采用最大覆盖模型进行求解,并在此基础上进行改进,建立多目标双重覆盖模型,引入双重备用覆盖约束,并对未能提供及时的急救服务的居民的施加惩罚值,从而建立具有一定前瞻性的贴合实际情况的多目标双重

覆盖模型。模型中引入3个目标,包括最小化成本,最大化覆盖人数和最小化不能服务的惩罚值,通过求解得到Paroto解来平衡不同目标,决策者可以根据权重选择对应的选址方案。所得到的结果与当前急救车分布相比,提供的急救服务更加高效及时,救护车平均响应时间大大缩短,居民得到的急救服务更加及时,急救医疗系统更加高效。此外多目标问题可以为决策者提供选址空间,可供决策者参考,通过调整权重进而得到符合实际情况的选址方案。

## 参考文献

- [1] JAYASWAL S, VIDYARTHI N. Facility location under service level constraints for heterogeneous customers[J]. *Annals of Operations Research*, 2017, 253(1): 275—305.
- [2] JOHN H SORENSEN, SAM A CARNES, GEORGE O ROGERS. An approach for deriving emergency planning zones for chemical munitions emergencies[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1992, 30(3): 223—242.
- [3] SHAHRZAD KHOSRAVI, MOHAMMAD REZA AKBARI JOKAR. Facility and hub location model based on gravity rule[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 109: 28—38.
- [4] SOUMEN ATTA, PRIYA RANJAN SINHA MAHA-PATRA, ANIRBAN MUKHOPADHYAY. Multi-objective uncapacitated facility location problem with customers' preferences: pareto-based and weighted sum GA-based approaches[J]. *Soft Computing*, 2019, 23: 12347—12362.
- [5] 罗凤连, 郭强. 急救中心选址及其配车问题研究[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(28): 241—244, 248.
- [6] 李东, 晏湘涛, 匡兴华. 考虑设施失效的军事物流配送中心选址模型[J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(11): 3—6.
- [7] 王继光, 李景峰. 随机中断情境下的离散型设施选址问题研究[J]. *计算机工程与应用*, 2015, 51(17): 1—7.
- [8] 项寅. 考虑信息隐藏策略的反恐应急设施选址模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(5): 1164—1177.
- [9] 俞武扬, 吕静. 需求导向的容量设施竞争选址问题研究[J]. *运筹与管理*, 2019, 28(10): 13—19.
- [10] 宋艳, 滕辰妹. 基于现存设施布局的设施选址: 应对恐怖袭击[J]. *运筹与管理*, 2019, 28(10): 5—12.
- [11] IVÁN A CONTRERAS, JUAN A DÍAZ. Scatter search for the single source capacitated facility location problem[J]. *Annals of Operations Research*, 2008, 157(1): 73—89.
- [12] AKHMEDOVA S A, SEMENKIN E S. Collective bionic algorithm with biogeography based migration operator for binary optimization[J]. *Journal of Siberian Federal University*, 2016, 9(1): 3—10.
- [13] 王日宏, 李祥, 李娜. 基于高斯扰动和混沌初始化的狼群算法[J]. *计算机工程与设计*, 2019, 40(10): 2879—2884.
- [14] 陈超, 张莉. 三级领导式的快速自适应狼群优化算法[J]. *计算机工程与应用*, 2019, 55(15): 59—68.

(下转第155页)

# 基于随机前沿引力模型的中国大豆进口 贸易影响因素研究

张翔宇, 田明华, 张亦驰

(北京林业大学 经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:**利用 1980—2016 年中国大豆进口贸易的前 8 位贸易伙伴国的相关数据,运用随机前沿引力模型将变量划分为基础变量和贸易非效率项同时进行回归分析,研究中国大豆进口贸易的影响因素。结果显示,贸易双方的国内生产总值、贸易双方的大豆产量、中国人口、双边汇率等对中国大豆进口贸易呈正相关;出口国人口、与中国的绝对距离、是否为内陆国家和是否采用转基因安全管理政策等对中国大豆进口贸易呈负相关。根据实证结果计算中国从主要贸易伙伴国的大豆进口贸易潜力和贸易效率,进而提出相关政策建议以争取更加有利的中国大豆进口贸易环境,保证大豆贸易安全。

**关键词:**大豆;进口贸易;随机前沿引力模型;影响因素;贸易潜力

**中图分类号:**F752.61 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0103-06

中国是大豆的原产国,也曾是世界上生产大豆的主要国家之一。近年来,随着中国压榨业、畜牧业和饲料行业的兴起,中国大豆消费量不断攀升,而国内大豆产量则呈现持续低位徘徊趋势。根据联合国粮农组织(FAO)数据库,2017 年中国大豆消费总量超过 1.1 亿吨,当期大豆产量仅 1 530 万吨,占消费总量的 13.9%。中国大豆供给与需求缺口的不断扩大,导致中国大豆进口贸易量节节攀升。2018 年开始的中美贸易战使中国大豆进口问题一下子被推向风口浪尖,大豆贸易安全成为一个迫切需要关注的问题。因此,研究影响中国大豆进口贸易因素,对改善中国大豆进口贸易环境、保证大豆贸易安全具有十分重要的现实意义。

国内外学者探究大豆贸易影响因素的方法大部分集中在引力模型、恒定市场份额模型、多元回归模型,例如基于贸易引力模型对中美大豆贸易影响因素及贸易潜力进行分析<sup>[1]</sup>,运用恒定市场份额模型分析中国大豆进口不断增长的各影响因素及各因素对进口增速的贡献率<sup>[2]</sup>;利用供需理论和逐步回归的方法分析影响大豆进口的因素<sup>[3]</sup>;运用协整检验和误差修正模型对中国大豆进口依存度影响因素进行实证研究<sup>[4]</sup>;构建多元对数模型、ADF 单位根检验、OLS 回

归等方法,实证分析中国的国内生产总值和人口增长率对中国的大豆进口的影响方向和程度<sup>[5]</sup>;以风险作为测量维度,以方差变动描述中国国内大豆市场价格的波动,以时间作为衡量市场稳定性的标准,检查价格和成本对于中国大豆进口贸易的影响<sup>[6]</sup>。大豆进口贸易的关联变量复杂且繁多,仅从单一国家、少数因素、特定理论进行分析存在缺陷,即使采用传统引力模型方法,由于其基于时不变的假设(即引入模型的影响因素不随时间变化)也存在固有缺陷。随机前沿引力模型是对传统引力模型的改进,相较传统引力模型,随机前沿引力模型充分考虑非效率项的影响,不仅可以对共性变量和贸易非效率项同时进行回归,还可以估计贸易潜力的最优值,准确反映贸易可增长空间<sup>[7]</sup>。因此,采用随机前沿引力模型探究中国大豆进口贸易影响因素,进一步估计大豆进口贸易潜力和分析大豆进口贸易效率具有较高的科学性和可靠性。

## 1 中国大豆进口贸易总量和来源国分析

### 1.1 中国大豆进口总量分析

20 世纪 80 年代至 90 年代中期,中国大豆进口比较稳定,90 年代中期后中国大豆进口进入快速增

收稿日期:2019-06-19

基金项目:北京林业大学热点追踪项目(2019BLRD02);教育部人文社会科学研究一般项目(13YJA790106)。

作者简介:张翔宇(1995—),女,山东东营人,北京林业大学经济管理学院,硕士研究生,研究方向:国际商务;通讯作者:田明华(1969—),男,山东桓台人,北京林业大学经济管理学院,教授,管理学博士,研究方向:农林经济管理、国际贸易。

长时期,90年代末至今,大豆进口量激增,大豆贸易呈现以大量进口为主,大豆贸易逆差不断扩大的态势。大豆进口量激增一方面源于中国在90年代末期放开对进口大豆关税和进口配额的限制,加之人们对高蛋白食物种类需求量的增加。

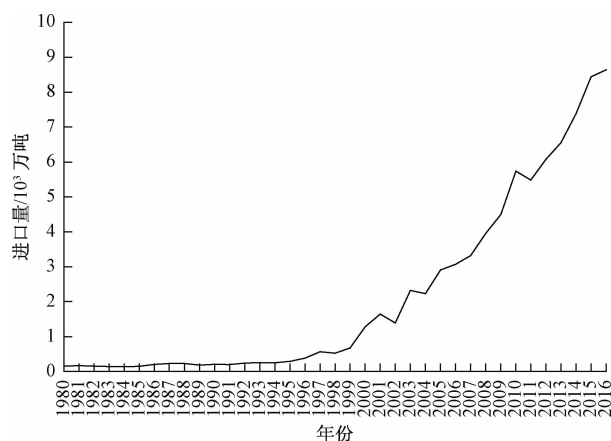


图1 1980—2016年中国大豆进出口变化趋势图

注:数据来源于联合国粮农组织数据库。

## 1.2 大豆进口来源国分析

中国大豆进口来源国家分布较为集中。截至2017年,进口数量方面,中国进口大豆前八位贸易伙伴国分别是巴西、美国、阿根廷、巴拉圭、加拿大、乌拉圭、乌克兰和南非。2017年中国大豆进口总量达11317万吨,其中,从巴西进口大豆数量达5092万吨,占比约为45.0%;从美国进口3286万吨,占比约为29.0%<sup>[8]</sup>。

## 2 模型设定和数据来源

### 2.1 模型的设定

随机前沿模型的一般表示形式为:

$$Y_{ijt} = f(x_{ijt}, \beta) \exp\{-u_{it}\} \exp\{v_{it}\} \quad (j=1, 2, 3, \dots, N; t=1, 2, 3, \dots, N)$$

$$Y_{ijt}^* = f(x_{ijt}, \beta) \exp\{v_{it}\} \quad (j=1, 2, 3, \dots, N; t=1, 2, 3, \dots, N)$$

$$TE_{ijt} = y_{it}^* / y_{it} = \exp\{-u_{it}\} \quad (u_{it}(0))$$

其中,  $Y_{ijt}$ 、 $Y_{ijt}^*$  分别是  $i$  国对  $j$  国在时间  $t$  的实际和前沿产出,  $x_{it}$  是投入向量,  $\beta$  是技术参数,  $u_{it}$  代表所有不可考量的非效率因素,  $v_{it}$  代表随机冲击,  $TE_{ijt}$  表示时变效率。方程总体取对数,模型形式可转化为:

$$\ln Y_{ijt} = \ln f(x_{ijt}, \beta) + v_{it} - u_{it} \quad (j=1, 2, 3, \dots, N; t=1, 2, 3, \dots, N)$$

$$\ln Y_{ijt}^* = \ln f(x_{it}, \beta) + v_{it} \quad (j=1, 2, 3, \dots, N; t=1, 2, 3, \dots, N)$$

中国大豆进口贸易伙伴国经济发展差异较大,大

豆产业在不同国家发展也存在不同程度的差异。如果忽视国别个体效应的影响,将导致效率项和非效率项出现较大偏差。因此借鉴 Wang 和 Ho<sup>[9]</sup> 的建模思路,建立固定效应的面板随机前沿模型进行分析。基本方程设定如下:

$$\ln Y_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln GDP_{jt} + \beta_3 \ln Dist_{ij} + \beta_4 \ln POP_{it} + \beta_5 \ln POP_{jt} + \beta_6 \ln AGNI_{it} + \beta_7 \ln AGNI_{jt} + \beta_8 \ln YIE_{it} + \beta_9 \ln YIE_{jt} + \beta_{10} WTO_{jt} + \beta_{11} APEC_{jt} + (\beta_{12} TAF_{ijt} + (\beta_{13} LANDLOCK_{ijt} + (\beta_{14} GM_t + \beta_{15} RATE_{ijt} + v_{it} - u_{it}$$

$$TE_{ijt} = E(\exp\{-u_{ijt}\} / v_{ijt} - u_{ijt})$$

$$U_{ijt} = \beta(t) * u_{ijt}$$

$$\beta(t) = \exp\{-(t-T)\}$$

其中,  $Y_{ijt}$  表示  $t$  时期中国对  $j$  国的进口大豆数量,  $TE_{ijt}$  表示  $t$  时期中国与  $j$  国贸易效率,  $\beta_0$  为常数项,  $\beta_1 - \beta_9$  为回归系数。解释变量各自含义以及可能对中国大豆进口产生的作用效应如表1所示。

### 2.2 样本数据和时间选取

选取中国进口大豆数量最多的八个国家作为研究的样本。由于中国从巴西、阿根廷、美国等样本国进口总量占中国大豆进口总量的99%以上,因此样本国的选取具有代表性。限于数据可得性,样本数据的时间范围选定为1980—2016年。其中,1988—1992年、1994—1996年中国从乌拉圭进口大豆数据存在缺失,采用对已知数据平均化处理、按照平均值的变动趋势方法补足缺失数据。

## 3 模型检验和结果分析

### 3.1 模型的相关检验

#### 3.1.1 平稳性检验

运用 Eviews 8.0 对数据进行平稳性测度。结果显示,大部分变量的原始数据均呈现平稳状态,一阶差分后的本国与他国的国内生产总值、中国人口数量、他国大豆产量、贸易伙伴国人均国民收入为平稳序列。其中,虚拟变量无需做单位根检验。

#### 3.1.2 多重共线性检验

利用容忍度和方差膨胀因子双重指标进行多重共线性检验。检验结果显示大多数变量不存在多重共线性,但中国国内生产总值、中国人均国民收入容忍度较低,二者存在一定程度上经济意义的重合,因此,将在实证检验过程中根据各变量显著情况和模型效果进行变量的取舍。

#### 3.1.3 随机前沿模型合理性检验

运用最大似然比方法验证模型是否适用和技术效率是否存在。

表 1 模型解释变量及预期符号解释说明

解释变量	含义	预期符号	解释说明	数据来源
$GDP_{it}$	中国 $t$ 时期的名义 GDP	+	代表中国大豆的潜在进口能力,需求越多,则进口量越大	世界银行数据库
$GDP_{jt}$	$j$ 国 $t$ 时期的名义 GDP	+	代表 $j$ 国大豆的潜在进口能力,需求越多,则进口量越大	世界银行数据库
$Dist_{ij}$	$j$ 国与中国的地理距离	-	代表贸易成本的大小,距离越远,贸易阻力越大	Timeanddate 网站
$POP_{it}$	中国 $t$ 时期的人口总量	+	代表中国国内的市场规模,人口越多,市场规模越大	世界银行数据库
$POP_{jt}$	$j$ 国 $t$ 时期的人口总量	+	代表 $j$ 国国内的市场规模,人口越多,市场越大	世界银行数据库
$AGNI_{it}$	中国 $t$ 时期人均国民收入	+	人均国民收入能够更好的反应出人民的生活水平,人民生活水平的提升也会积极作用于大豆的进口	世界银行数据库
$AGNI_{jt}$	$j$ 国 $t$ 时期的人均国民收入	+	人均国民收入能够更好的反应出人民的生活水平,人民生活水平的提升也会积极作用于大豆的进口	世界银行数据库
$YIE_{it}$	中国大豆产量	-	体现国内大豆生产规模,国内大豆产量越多,对外进口大豆需求则递减	联合国粮农组织数据库
$YIE_{jt}$	$j$ 国大豆产量	+	体现就 $j$ 国大豆生产规模, $j$ 国大豆产量越多,对外出口的能力越大	联合国粮农组织数据库
$WTO_{jt}$	$j$ 国是否为 WTO 成员国	+	若均为 WTO 成员,则贸易限制减少,优惠政策有利于双边贸易的开展	WTO 官网
$APEC_{jt}$	$j$ 国是否为 APEC 成员国	+	若为 FTA 成员,自由贸易协定提供的贸易环境将有助于双边贸易的开展	CEPII 数据库
$LANDLOCK_{ijt}$	若 $j$ 国是否为内陆国家	-	若 $j$ 国为内陆国家,则运输大豆的贸易成本较非内陆国家更高,不利于双边贸易的开展	CEPII 数据库
$TAF_{ijt}$	$j$ 国简单平均关税税率	-	反映一国的关税壁垒,一国平均关税越高,越不利于他国进口	世界银行世界发展指标
$RATE_{ijt}$	双边汇率, $j$ 国币种兑美元汇率/人民币兑美元汇率	+	若汇率上涨,人民币升值,有利于大豆进口	世界银行数据库
$GM_t$	转基因安全管理政策的实施	-	若中国实施转基因安全管理政策,出于安全角度的考虑对中国大豆进口产生阻碍(2004 年为分界点)	百度百科

表 2 各变量平稳性检验结果

变量	LLC 原始值	Fisher-ADF 原始值	Fisher-PP 原始值	LLC 一阶差分	Fisher-ADF 一阶差分	Fisher-PP 一阶差分
$Y_{ijt}$	-3.37(0.00)	45.48(0.00)	48.01(0.00)			
$\ln GDP_{it}$	7.65(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)	-9.70(0.00)	104.89(0.00)	102.01(0.00)
$\ln GDP_{jt}$	-2.96(0.00)	14.78(0.54)	31.73(0.01)	-11.60(0.00)	134.24(0.00)	134.68(0.00)
$\ln POP_{it}$	12.80(1.00)	20.54(0.20)	320.37(0.00)	-9.43(0.00)	73.55(0.00)	13.84(0.00)
$\ln POP_{jt}$	-3.94(0.00)	38.57(0.00)	138.81(0.00)			
$\ln Dist_{ij}$	-7.36(0.00)	102.10(0.00)	88.49(0.00)			
$\ln YIE_{it}$	-4.76(0.00)	38.48(0.00)	38.08(0.00)			
$\ln YIE_{jt}$	0.78(0.78)	2.55(0.99)	2.59(0.99)	14.65(0.00)	201.50(0.00)	225.90(0.00)
$\ln AGNI_{it}$	5.63(1.00)	33.21(0.01)	33.89(0.01)	8.26(0.00)	141.66(0.00)	127.76(0.00)
$\ln AGNI_{jt}$	-0.77(0.00)	6.82(0.98)	6.32(0.98)	-11.60(0.00)	130.66(0.00)	130.63(0.00)
$RATE_{ijt}$	1.32(0.00)	3.74(0.00)	2.34(0.00)			
$TAF_{ijt}$	6.37(0.00)	10.23(0.00)	7.34(0.00)			

注:表格中括号内数值为 P 值。

表3 多重共线性诊断结果

自变量	容忍度	方差膨胀因子	自变量	容忍度	方差膨胀因子
$GDP_i$	0.13	4.34	$DIST_{ij}$	0.97	1.03
$GDP_j$	0.08	12.5	$YIE_i$	0.87	1.15
$POP_i$	0.67	1.49	$YIE_j$	0.9	1.11
$POP_j$	0.73	1.37	$WTO_{ijt}$	0.37	2.7
$AGNI_i$	0.09	11.11	$APEC_{ijt}$	0.29	3.45
$AGNI_j$	0.17	5.88	$LANDLOCK_{ijt}$	0.82	1.22
$TAF_{ijt}$	0.77	1.29	$GM_i$	0.43	2.33
$RATE_{ijt}$	0.58	1.72			

表4 随机前沿模型适用性检验

原假设	约束模型 对数似然 值 $\ln L(\theta_0)$	非约束模型 对数似然值 $\ln L(\theta_1)$	LR 统计量	1%临 界值	检验 结论
不存在贸易非效率	-459.12	-388.79	140.78	15.36	拒绝***
贸易非效率不变化	-388.79	-365.90	45.78	12.81	拒绝***

基于 Frontier14.0 检验结果显示,检验是否存在贸易非效率项时,LR 统计量为 140.78,大于临界值 15.35,说明贸易非效率项存在,随机前沿模型设定形式正确;检验贸易非效率项是否会随时间改变时,LR 检验值为 45.78,大于临界值 12.81,在 1%显著性水平下拒绝原假设,说明贸易技术效率随时间改变,模型适合选择时变型(TVD)展开分析。

### 3.2 模型估计与结果分析

运用计量软件 Frontier 14.0 对 1980—2016 年中国大豆进口数量进行时变型随机前沿引力模型估计。同时选择包含四种不同变量组合的模型进行检验,以测度回归的整体结果。回归 1 有基本变量包括贸易双边贸易国的国内生产总值、人口数量、大豆产量、绝对距离和贸易非效率项包括是否为内陆国家影响、是否受转基因政策影响以及汇率等;回归 2 增加贸易非效率项  $WTO_{ijt}$  的测算;回归 3 增加贸易非效率项  $APEC_{ijt}$  的测算;回归 4 增加基本变量人均国民总收入和贸易非效率项关税。估计结果如表 5 所示,回归 1 中包含的解释变量均通过不同水平的显著性检验,因此以回归 1 作为测度中国大豆进口影响因素的模型设定。

#### 3.2.1 基本变量分析

从随机前沿函数分析结果来看,国内生产总值( $\ln GDP_i$ 、 $\ln GDP_j$ )、人口( $\ln POP_i$ 、 $\ln POP_j$ )以及两国距离( $\ln Dist_{ij}$ )的系数均通过不同程度的显著性水平检验,只有人均国民收入系数呈不显著状态,因此最终模型将此变量剔除。以下为具体的基本变量分析结果:

表5 随机前沿模型回归结果

解释变量	回归 1	回归 2	回归 3	回归 4
$\ln GDP_i$	0.83*** (9.37)	0.67*** (6.50)	0.64*** (6.88)	2.38*** (3.60)
$\ln GDP_j$	0.29* (1.89)	0.21 (1.12)	0.22 (0.98)	0.36 (1.01)
$\ln POP_i$	0.92*** (8.77)	0.95*** (8.85)	0.94*** (8.57)	0.91*** (8.89)
$\ln POP_j$	-1.91* (-1.95)	-1.37 (-0.38)	-1.64 (-0.55)	-0.88 (-0.25)
$\ln AGNI_i$	/	/	/	-1.19 (-1.56)
$\ln AGNI_j$	/	/	/	-1.68 (-1.56)
$\ln Dist_{ij}$	-1.03* (-1.99)	-1.02* (-2.09)	-1.03** (-2.13)	-1.03** (-1.98)
$\ln YIE_i$	2.21* 1.98	1.53 1.68	1.53 1.62	1.66* 1.91
$\ln YIE_j$	0.02** (2.53)	0.01** (2.77)	0.008* (2.31)	0.02** (2.51)
$WTO_{ijt}$	/	0.02 (0.90)	0.13 (1.10)	0.13 (1.01)
$LANDLOCK_j$	-5.43* (-2.19)	-4.29** (-3.00)	-4.63** (-2.55)	-4.22** (-2.57)
$GM_i$	-4.26** (-2.52)	-4.21** (-2.61)	-4.38** (-2.39)	-3.71* (-2.12)
$RATE_{ijt}$	0.09* (-2.04)	0.13* (-2.14)	0.67* (-2.28)	-4.29* (-2.34)
$APEC_{ijt}$	/	/	0.02 (0.98)	0.04 (1.57)
$TAF_{ijt}$	/	/	/	-0.67 (-0.56)
$\mu$	0.99	0.99	0.98	0.99
$\sigma^2$	0.51	0.52	0.52	0.42
$R^2$	0.79	0.80	0.73	0.69

注:括号内数值表示 t 值;\*\*\*、\*\*、\* 表示变量系数分别通过 1%、5%、10% 的显著性检验。

国内生产总值( $\ln GDP_i$ 、 $\ln GDP_j$ )回归系数符号与预期一致,表明中国相较于贸易伙伴国对中国大豆进口有更加显著的影响。随中国经济持续进步,大豆需求也将进一步上涨。

人口( $\ln POP_i$ 、 $\ln POP_j$ )的回归系数符号分别为一正一负。中国人口数量增长对大豆进口产生比较强烈的促进效果,这是因为中国庞大的人口基数意味着更巨大的市场规模,更有助于刺激大豆的进口。贸易伙伴国人口增长会在一定程度上抑制中国大豆的进口,原因在于贸易伙伴国会优先满足其国内的大豆需求,因而对国外出口份额相对减少。



两国距离( $\ln Dist_{ij}$ )回归系数符号与预期相符。两国距离代表了两国之间的贸易成本,两国距离具有显著影响意味着贸易成本是中国大豆进口贸易的重要考量因素。这是因为大豆是大宗的薄利多销的农产品,贸易成本的高低将显著作用于进口贸易的多少。可见,把控贸易成本是未来开展大豆贸易的重要目标。

大豆产量( $\ln YIE_{it}$ 、 $\ln YIE_{jt}$ )回归系数显著通过检验。其中,国内大豆产量  $\ln YIE_{it}$  符号为正,与预期不符。原因是中国国内大豆榨油率低,多以食用为主,中国进口大豆多以榨油为主,因此国内大豆产量即使处于扩张状态也无法直接取代国外大豆在本国市场的需求。国外大豆产量  $\ln YIE_{jt}$  为正,符号与预期相符。

### 3.2.2 贸易非效率项分析

运用一步法对贸易非效率项进行综合分析,结果显示  $\mu$  等于 0.99,说明随机前沿引力模型的设定合理,贸易非效率项是阻碍中国大豆进口的重要影响因素。六个贸易非效率项在经过上述四步回归后,显示是否为内陆国( $LANDLOCK_{ijt}$ )、是否实施转基因政策( $GM_t$ )以及双边汇率( $RATE_{ijt}$ )为显著的贸易非效率项。

是否为内陆国( $LANDLOCK_{ijt}$ )系数负向显著,与预期符号相符。说明内陆国家的地理位置不利于商品的跨国流通,运输成本将显著提高。因此良好的交通条件是国与国之间开展大宗贸易的必备条件。

双边汇率( $RATE_{ijt}$ )系数正向显著,与预期符号相符。双边汇率走高,说明人民币单位购买力增强,外币单位购买力缩水。本币升值表示国际市场价格更为低廉,有利于本国大豆的国内输入。

是否开展转基因安全管理政策( $GM_t$ )负向显著,与预期符号相符。是否开展转基因安全管理政策是针对中国展开的深入探讨。进口大豆多以转基因大豆为主,出于安全因素的考虑,中国 2004 年出台转基因安全管理政策。模型系数为负值,说明实施转基因安全管理政策对中国大豆进口存在一定程度的阻碍。

## 4 中国对样本国家的大豆进口贸易潜力和贸易效率分析

根据回归 1 作为测度中国大豆进口影响因素的检验模型的最终估计结果:

$$\hat{Y}_t = 5.02 + 0.83 \ln GDP_{it} + 0.29 \ln GDP_{jt} + 0.92 \ln POP_{it} - 1.91 \ln POP_{jt} - 1.03 \ln Dist_{ij} + 2.21 \ln YIE_{it} + 0.02 \ln YIE_{jt} - 5.43 LANDLOCK_{ijt} - 4.26 GM_t + 0.09 RATE_{ijt}$$

推算出中国从各国进口大豆的贸易潜力和贸易效率。

表 6 2016 年中国与样本国家大豆进口贸易潜力和贸易效率

国家	贸易效率 $TE_{ijt}$	贸易潜力 $\hat{Y}$ (万吨)	与实际贸易 差额(万吨)
巴西	0.60	6 367.57	2 547.03
美国	0.98	3 486.83	69.74
阿根廷	0.80	1 001.78	200.36
加拿大	0.55	266.67	120.00
乌拉圭	0.75	252.93	63.23
巴拉圭	0.79	114.49	24.04
乌克兰	0.81	70.29	14.06
南非	0.46	51.09	27.59

### 4.1 中国对样本国家的进口潜力分析

巴西大豆进口潜在贸易量超过 6 000 万吨,位列八国第一,存在超过 2 500 万吨的增长空间,可见巴西未来足以成为中国持续稳定进口大豆的主要供应国;美国贸易潜力位居第二,然而仅有不足 70 万吨的增长空间;阿根廷贸易潜力居处第三位,潜在与实际贸易差额位处第二位,仍有 200 万吨的提升空间,未来可与巴西一道作为中国进口大豆的主要供应国家;加拿大贸易潜力位处第四位,潜在与实际贸易差额位处第三位,有 120 万吨的提升空间;乌拉圭贸易潜力位处第五位,潜在与实际贸易差额位也处于第五位,有 60 万吨的增长空间。贸易潜力排名靠后的巴拉圭、乌克兰和南非潜在与实际贸易大多仅有 20 万吨左右的差距,未来作为中国大豆进口分散化的国家值得持续关注。

### 4.2 中国对样本国家的进口贸易效率分析

从贸易效率上来看,中美大豆进口贸易效率最高,2016 年中国对美国进口效率达到 0.98,意味着中国对美大豆进口已接近贸易饱和状态,但中美贸易战打响,势必会降低中美大豆进口贸易效率。乌克兰、阿根廷、巴拉圭、乌拉圭的大豆进口贸易效率在 0.8 左右,有待于进一步提高贸易效率。巴西、加拿大、南非的大豆进口贸易效率比较低,在 0.60 以下,需要采取有效措施降低贸易非效率影响,迅速提高贸易效率。造成贸易效率不高的因素主要是相关国家大豆产量不稳定、运费成本高、生产商与运输商之间存在摩擦等导致贸易受阻,一定程度上导致对中国进口的低效率。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

1) 中国大豆进口贸易主要受共性基本变量和贸易非效率项的共同作用。其中,双边国内生产总值的增长,大豆产量的增加、本国人口的增长,本币升值对

大豆进口呈现促进作用;他国人口的增长、两国间绝对距离的增加、是否为内陆国家和采用转基因安全管理政策对中国大豆进口呈阻碍作用。

2)就中国对样本国家的大豆进口潜力分析,巴西、美国、阿根廷三国位列前三位,未来存在较大实现空间。为减少中美贸易战对我国大豆国内供应的冲击,巴西、阿根廷等大豆新兴国家的崛起可以替代美国成为中国持续且稳定的大豆供给国。

3)加拿大、巴西等国虽呈贸易不足状态,但凭借本国大豆产量快速增长及出口大量输出,未来进口贸易效率有望提高。因此,中国有望抓住中美贸易战的契机,主动寻求多元化大豆进口来源渠道,分散进口采购份额,以维持中国在大豆进口贸易上的主动权。

## 5.2 政策建议

1)制定农产品贸易保护政策,维持国内大豆产业稳态。确保大豆进口维持在相对合理的关税水平,实施大豆进口配额等贸易保护措施,适度提高国际大豆进入国内市场的门槛,建立适当的贸易进出壁垒对于国内大豆产业的稳态将起到有效的保护作用。

2)分散大豆进口来源渠道,开启多元化进口轮换方式增加进口活力。“一带一路”沿线国家是近年来大豆产量和出口量增长较快的国家,中国应当抓住“一带一路”提供的战略契机,与沿线国家建立良好的农产品贸易关系。

3)开辟新兴安全运输渠道,降低大豆在途成本损耗。大豆进口过程中发生霉变、检疫性病虫害的几率较高。因而运输方式的选择对于大豆运输而言非常重要。依靠海陆结合的运输方式,一方面开辟便捷的海运航线,确保大豆运输的安全,保证大豆品质不受运输环境的干扰和影响,同时完善我国大豆进口关于安全卫生检疫方面的标准制度,确保大豆进口不会威

胁到国内农业系统稳态。

4)完善风险管理体系构建,减少价格因素对国内大豆市场的冲击。汇率的变动显著影响大豆国际交换价格,进而冲击中国进口贸易。因此,加强风险管理体系的建设力度非常必要。

5)构建与大豆新兴产国的战略合作,以农业为基石推动多边国家发展的共赢。巴西、阿根廷、加拿大目前与我国大豆进口贸易效率处于低位,而贸易潜力位居前列,且实际贸易额与潜在贸易额存在较大发展空间。中国应借助大豆进口贸易的合作背景,开辟积极的战略合作愿景。

## 参考文献

- [1] 曹姗姗. 中美贸易影响因素及贸易潜力研究[J]. 河海大学学报:哲学社会科学版, 2018, 20(4): 84-89, 93.
- [2] 钱媛. 基于 CMS 模型的中国大豆进口增长影响因素分析[J]. 内蒙古农业科技, 2014(2): 3-5, 30.
- [3] 郑玉冰. 中国农产品贸易的主要特征及影响因素分析——以大豆为例[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- [4] 王雪琴, 王锐. 中国大豆进口依存度影响因素实证研究[J]. 粮食科技与经济, 2017, 42(3): 24-28.
- [5] 杨瑞蛟. 中国大豆进口影响因素的实证分析[J]. 商, 2016(10): 125.
- [6] MUHAMMAD A. Price risk and exporter competition in China's soybean market [J]. Agribusiness, 2014, 31(2): 188-197.
- [7] 王芳, 田明华, 程宝栋, 印中华. 后危机时代中国木质家具出口影响因素及贸易潜力研究——异质性随机前沿出口模型实证分析[J]. 林业经济问题, 2019, 39(4): 337-346.
- [8] 中华人民共和国农业部. 中国农业发展报告 2017[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [9] WANG H J, HO C W. Estimating fixed-effect panel stochastic frontier models by model transformation[J]. Journal of Econometrics, 2010, 157(2): 286-296.

## The Influencing Factors of China's Soybean Import Trade Based on Stochastic Front Gravity Model

ZHANG Xiang-yu, TIAN Ming-hua, ZHANG Yi-chi

(School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the relevant data of the top 8 trading partners of China's soybean import trade from 1980 to 2016, the stochastic frontier gravitational model was used to study the influencing factors of China's soybean import trade while the regression analysis was performed after the variables were divided into basic variables and trade inefficiency terms. The results show that six variables, including the GDP of the two trading parties, the soybean output of the two trading parties, the Chinese population, and the bilateral exchange rate, are positively related to China's soybean import trade. Four variables, such as the population of the exporting country, the absolute distance from China, a landlocked country or not, adopting the GM safety management policy, have negative correlation with China's soybean import trade. Based on the empirical results, China's soybean import trade potential and trade efficiency from major trading partner countries are calculated, and relevant policy recommendations are proposed to strive for a more favorable trade environment of China's soybean import and to ensure China's soybean trade security.

**Key words:** soybean; import trade; stochastic frontier gravitational model; influencing factors; trade potential

# 青河县易地扶贫搬迁问题、成因及推进策略

王超杰, 王承武

(新疆农业大学 管理学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**易地扶贫搬迁是精准扶贫背景下解决“一方水土养不起一方人”地区贫困人口脱贫问题的有效途径。青河县作为新疆五个率先脱贫摘帽的贫困县之一,将易地扶贫搬迁作为打赢脱贫攻坚战的头号项目。在相关研究基础上,通过对工作人员的访谈和易地扶贫搬迁户的实地调查,找出了政策规定、搬迁计划和后续发展三个方面的问题,进一步分析出造成这些问题的原因,最后提出了为推进易地扶贫搬迁工作的进行,应该在完善政策体系、提高工作人员执行能力以及加强监督考核等方面着手,确保搬迁户“搬得出”、“稳得住”、“能致富”。

**关键词:**易地扶贫搬迁;精准扶贫;青河县

**中图分类号:**F320.3   **文献标志码:**A   **文章编号:**1671-1807(2020)05-0109-04

易地扶贫搬迁是为了解决“一方水土养不起一方人”的突出问题,由地方政府引导并组织实施,采取群众自愿的原则,将不适宜人类生存居住地区的贫困人口集中统一安置到基础设施条件较为完善、生态环境较为适宜的地方<sup>[1]</sup>,并采取产业扶持以及就业技能培训等手段,调整其经济结构、拓展其增收渠道,增强其内生动力和自我发展能力,帮助其稳定脱贫,确保其“搬得出,稳得住,能致富”。青河县是新疆五个率先摘帽贫困县之一,为了打赢脱贫攻坚战,遵循“群众自愿、保障基本、精确瞄准、因地制宜、实事求是”的原则,紧盯居住在“一方水土养不起一方人”地方的建档立卡贫困人口,将易地扶贫搬迁作为打赢脱贫攻坚战的“头号工程”来实施。

## 1 文献回顾

脱贫攻坚工作启动以来,易地扶贫搬迁作为其政策组成的重要部分,受到了国内学者的广泛关注,取得了许多卓有成效的研究成果。在对现有文献进行梳理之后发现对易地扶贫搬迁的研究主要包括政策、安置模式以及效益评价三个方面。在政策实际推进中,施政理念的不一导致了地方政府对易地扶贫搬迁有不同的政策安排,而不同的政策安排导致了民众对于易地扶贫搬迁政策的反应不一<sup>[2]</sup>,由此有学者提出要构建整合的政策实践网络,改变贫困群体的经济、社会与文化资本构成,在新的易地扶贫搬迁聚居地重新整合,实现多元互动<sup>[3]</sup>,要提高基层政策理解能力

和执行能力,建立相关的政策跟踪反馈机制,优化扶贫政策实践环境,努力提高贫困户脱贫意愿、激发内生动力<sup>[4]</sup>。在安置模式上,大部分学者认同复合式安置方式,认为复合式安置方式可以规避单一安置方式的风险,一方面不同地区应选择适合其发展的产业、优化产业发展模式、提高后续产业发展质量,降低搬迁后返贫风险<sup>[5]</sup>;另一方面易地扶贫搬迁项目中,政府的角色应该从“管理者”向“服务者”转型<sup>[6]</sup>,加强易地扶贫搬迁户的参与,如在住房和道路建设等环节通过以工代赈的方式促进剩余劳动力再就业,增加护林员、护边员以及社区工作人员等公益性岗位提高剩余劳动力就业水平,稳定易地扶贫搬迁户的工资性收入,提升搬迁后困难群众的生活水平<sup>[7]</sup>。在效益评价方面,易地扶贫搬迁对农户生计资本的提升起正向作用<sup>[8]</sup>,并且能够降低农户的贫困脆弱性<sup>[9]</sup>,很大程度上提高了易地扶贫搬迁户的生活质量,对特色产业发展以及生态环境的恢复等方面也起到了积极显著的作用<sup>[10]</sup>。这说明了易地扶贫搬迁作为精准扶贫的一种手段,能够有效解决因自然条件不利带来的贫困。

总的看来,虽然对易地扶贫搬迁的研究较多,但可以看出已有研究大多只涉及易地扶贫搬迁的政策、易地扶贫搬迁的安置模式以及易地扶贫搬迁的效益评价三个方面,专门针对边境贫困县易地扶贫搬迁问题的相关研究很少。随着我国易地扶贫搬迁工程的展开,边疆地区贫困户能否顺利实现脱贫可持续性,

收稿日期:2020-02-17

**作者简介:**王超杰(1994—),男,山东诸城人,新疆农业大学管理学院,硕士研究生,研究方向:农村发展;通讯作者:王承武(1975—),男,湖北麻城人,新疆农业大学管理学院,副院长,教授,研究方向:公共政策分析。

甚至影响到全面建设小康社会的成色和社会主义现代化的质量。本文根据实地调研,针对边境贫困县易地扶贫搬迁工作的开展发现问题,查找原因,提出有针对性的解决措施,找到推进易地扶贫搬迁工作的策略。

## 2 青河县概况及易地扶贫搬迁实施情况

青河县隶属新疆维吾尔自治区阿勒泰地区,与蒙古国接壤,高山高寒,四季变化不明显,空气干燥,冬季漫长而寒冷,风势较大,夏季凉爽。域内农村人口和少数民族人口占比重大,截至2018年底,全县农村人口46 441人,占总人口的76.63%,哈萨克族人口48 359人,占总人口的76.67%,其他少数民族人口3 307人,占总人口的5.24%。全县辖4乡3镇,52个行政村,其中22个为贫困村。

青河县易地扶贫搬迁计划实施1 258户4 357人,实际实施1 227户4 709人。在易地扶贫搬迁户安置方式上,全县采取了移民新村安置和依托城镇安置相结合的方式。通过新建移民村共安置1 106户4 358人,其中阿魏灌区新村安置852户3 424人,住房面积70 340平方米,8个新村安置254户931人(分别为阿尕什敖包乡阿克加尔村安置44户162人、萨尔托海乡萨尔哈仁村安置49户182人、查干郭勒乡克孜勒萨依村安置10户37人、查干郭勒乡萨尔布拉克村安置14户41人、查干郭勒乡博塔莫因村安置57户218人、查干郭勒乡加勒特尔塔斯村安置54户192人、塔克什肯镇五队安置11户42人、塔克什肯镇三队安置15户60人),住房面积19 100平方米;依托城镇安置121户351人,其中青河镇安置111户334人,住房面积10 650平方米,塔克什肯镇镇区安置10户17人,住房面积550平方米。

青河县共实施易地扶贫搬迁项目40项,总投资49 908万元,其中:住房及配套水、电、路、供热、供气、排水等基础设施项目22项,总投资36 940万元;配套建设学校、幼儿园、卫生院(所)、活动室、惠农超市、通信、广播电视、文化社区、客运站、派出所等公共服务设施工程17项,总投资9 968万元;庭院经济和生产发展工程1项,总投资3 000万元。

## 3 青河县易地扶贫搬迁存在问题

### 3.1 政策规定与现实需要存在矛盾

为了不让贫困户因建房而举债,中央政府明确规定“十三五”易地扶贫搬迁建档立卡搬迁人口人均住房建设面积不超过25平方米<sup>[11]</sup>。在实地调研中发现,青河县严守该条政策红线,但对村干部以及农户访谈中发现:易地扶贫搬迁户中存在单人单户的情

况,按政策要求只能分到25平方米以下的住房,而在实际建设中,开发商对于搬迁房户型有着统一规划,户型固定,虽然政策允许集中建设公寓等方式解决单人单户的问题<sup>[12]</sup>,但是实际操作中由于单人单户的比例太小,单独建造25平方米以下住房亦不现实;还有一部分农牧民因为家庭人口较多,认为搬迁安置房面积过小,不符合自己的家庭生活实际,而搬迁房户型固定,单独建造大面积住房亦不现实,想要自己出资购买多套住房,又受制于政策红线,也不能自购搬迁房,因此出现政策规定与农牧民实际需要存在矛盾的现象。

### 3.2 搬迁计划与实际需要存在矛盾

易地扶贫搬迁针对的是“一方水土养不起一方人”地区的建档立卡贫困户和非建档户,在对青河县发改委相关人员的访谈中发现,对易地扶贫搬迁户的确定主要按照“贫困户申请、村民代表大会评议、乡(镇)审查、扶贫办核查”的精准识别程序,也就是扶贫办提供的数据来进行易地扶贫规划搬迁,虽然也有定期核查的工作开展,但是易地扶贫搬迁户家庭的人员变动数据更新不及时,比如家中有人怀孕、婚姻状况发生改变但户籍未变更以及实际共同生活但不在同一户籍的情况。这些情况的发生导致群众偶有议论并引发不满情绪,也影响到了易地扶贫搬迁工作的正常开展。

### 3.3 后续发展与现实需求存在矛盾

在实地调研中也发现,青河县的易地扶贫搬迁大部分是以游牧为主的哈萨克族,易地扶贫搬迁安置点的选择大多靠近城镇及旅游景区,虽然搬迁安置点的生产生活水平和教育医疗水平远高于原住地,但是还有少部分农牧民一时难以适应搬迁后的生产生活现状。虽然青河县出台了易地搬迁户享受人均不足10亩地补足10亩地的特殊优惠政策,但是搬迁后农牧民的长期就业问题还有待解决。在易地扶贫搬迁后续产业发展方面,青河县投入了一定资金发展庭院经济以及生产工程,在安置点规划扶贫产业和企业以及推进土地流转增加搬迁后的农牧民收益,但是受地理环境以及经济发展水平的影响,安置点的扶贫相关产业主要是短平快类型的劳动密集型产业以及传统低质农业,虽然目前看来对于农牧民增收有着一定帮助,但是从长远来看产业发展不能做到长短结合,难以保障搬迁户的持续性收益。还有部分产业尚在酝酿阶段,与易地扶贫搬迁的工程存在脱节,这也势必影响搬迁户的脱贫质量,距离“能致富”还有很长一段路要走。另外,站在安置点企业的角度,虽然他们也

愿为搬迁户提供就业岗位,但是一方面搬迁农户长期从事放牧、农耕等相对自由的生产方式,难以适应现代工厂的管理制度,导致用人单位增加管理成本;另一方面,由于政府就业培训对农牧民们的针对性不强,农牧民自身又缺乏必备的工作技能,导致用人单位边培训边生产或先培训才能生产的困境,也增加了企业的生产成本。

## 4 青河县易地扶贫搬迁成因分析

### 4.1 政策的短板

青河县易地扶贫搬迁政策的制定多数都是按照上级政府部门实行,能够结合本县实际制定的详细细则不多,一方面受上级政策的限制,在政策的制定过程中没有采取“自下而上”的策略,没有充分听取待搬迁户的意见和建议,导致某些制定的政策在自治区、地区两级尚属合理,但是到县这一级适应不了实际情况,而下级地方政府又必须执行上级政府的政策规定,这就造成了现有政策与搬迁户实际需求之间的矛盾,比如要严格执行建档立卡搬迁户人均住房建设面积不超过25平方米的规定,允许集中建设公寓的方式解决单人单户的住房面积偏小问题<sup>[12]</sup>,但是到县级政府执行的时候,很可能出现单人单户的情况不多,集中建造公寓成本偏高等问题;另一方面则受到县本级的影响,在上级部门文件下发后,一般都热衷于抓紧时间分解安排任务,所谓“贯彻落实不过夜”,但是对政策的学习理解不够深入,对政策落实到政策受众时可能出现的问题预想不够,导致群众不满意的现象发生。

### 4.2 执行的惯例

政策执行人员的数量短缺、对政策了解程度不深以及政策宣传存在不足都导致了政策执行与政策制定初衷存在偏差。首先是政策执行人员的数量短缺,通过对青河县相关行业部门的访谈,发现推动易地扶贫搬迁工作的执行机构人员不足,一名工作人员要同时负担互不交叉的多项工作,在处理一些突发情况时不能及时有效解决,工作推进存在阻碍;再者是政策执行人员对政策了解程度不深,通过访谈了解到,扶贫搬迁相关工作人员政策培训不足导致其对政策把控不力,在工作中处理问题不够科学高效;最后是政策宣传存在不足,对易地扶贫搬迁政策的宣传主要靠第一书记、驻村工作队,在走访宣传的过程中,由于受众的文化程度不一导致宣传效果有差异,而包户干部又来源于各行业部门,对政策了解不够,宣传也就不够得力。

### 4.3 监督的乏力

合理的监督考核机制,可以调动政策执行人员的

工作积极性,推进工作进度。一方面,在考核管理中,现有的考核制度缺乏对村级执行主体的量化考核,而在实际搬迁工作中,各方面都离不开村级主体的全力配合;另一方面,搬迁户反馈自身问题的渠道匮乏,在遇到相关问题的时候多数还是向第一书记、驻村工作队以及包户干部反映问题,但是这些人员由于对政策把控不够,也只能向有问题的农户含糊的解释,并不能彻底解决易地搬迁户的问题,这就造成了搬迁户对工作不认可、参与不积极。另外对现有政策进行分析发现多数政策的制定都是围绕“搬得出”这一个方面,对于“稳得住”、“能发展”和“可致富”制定的政策规划不多,资金投入也更缺乏,这主要是因为搬迁的基础设施建设、搬迁的人口以及入住率等都很好量化,也容易出成绩,而后续发展过程量化困难,要做出成绩也需要一定的时间成本。

## 5 青河县易地扶贫搬迁推进策略

### 5.1 完善政策体系

首先,是针对易地扶贫搬迁目标群体的动态精准识别,要建立统一的易地扶贫搬迁管理信息平台,将扶贫办、发改委以及相关行业部门信息实现对接,在基层工作人员做好精准识别工作的基础上掌握建档立卡贫困户的信息动态管理,将符合易地扶贫搬迁条件的贫困户及时纳入,不符合条件的及时剔除,简化工作流程,提高工作效率。其次,要保证搬迁户的后续发展,就要因地制宜的建立后续产业扶贫规划,制定好到户到人的脱贫措施,调动搬迁户的劳动积极性,确保有稳定的就业岗位、充足的生产资料以及良好的产业扶持。在就业方面,要在尊重个人意愿的前提下提供相应就业培训,有针对性的提供就业岗位,产业扶持方面,要加大资金扶持和技术扶持力度,从根本上解决易地扶贫搬迁户的贫困问题,确保稳定有质量的如期脱贫。

### 5.2 提高执行能力

在建立完善好政策体系后,首要的就是提高政策执行人员执行能力。一方面,要提高认识,针对易地扶贫搬迁这项工作本身任务数量多、工作繁琐的特点,抽调各相关行业部门精干力量组成易地扶贫搬迁办公室,为工作开展打下良好的人员基础;另一方面,要落实部门工作人员待遇以及晋升问题,解决人员的后顾之忧。另外,要切实加强对易地扶贫搬迁工作人员的政策培训,做到相关工作人员对政策能够理得清、说得明,尤其要注意针对第一书记、驻村工作队等基层人员的政策培训,并就群众反映多、反应大的问题集中重点培训,灵活培训的方式方法,提高人员的

宣讲能力。只有这样,才能解决易地搬迁户的问题,推进工作的顺利开展。

### 5.3 加强监督考核

完善政策体系是基础,提高执行能力是关键,加强监督考核是保障。要建立易地扶贫搬迁工作考核机制,坚持推进易地扶贫搬迁工作的目标,对政策落实情况 and 人员执行情况进行考核,调整现有考核指标要素,将“搬得出”、“稳得住”、“能致富”作为考核目标。特别地,要加强村级执行主体的考核,摸清政策执行的实际情况。除此之外,将高校或专家第三方评估引入到考核机制中来,通过主管领导、行业部门负责人、基层工作者以及易地扶贫搬迁户座谈和问卷调查等方式,让第三方力量参与进来,对易地扶贫搬迁政策制定、执行和效果进行监督考核评估,对发现的问题及时反馈到工作部门,以此推进易地扶贫搬迁工作的有效进行。

### 参考文献

- [1] 程丹,王兆清,李富忠.易地扶贫搬迁研究——以山西省五台县为例[J].天津农业科学,2015,21(1):70-73.
- [2] 张文博.易地扶贫搬迁政策地方改写及其实逻辑限度——以Z省A地州某石漠化地区整体搬迁为例[J].兰州大学学报:社会科学版,2018,46(5):51-62.
- [3] 叶青,苏海.政策实践与资本重置:贵州易地扶贫搬迁的经验表达[J].中国农业大学学报:社会科学版,2016,33(5):64-70.
- [4] 陈坚.易地扶贫搬迁政策执行困境及对策——基于政策执行过程视角[J].探索,2017(4):153-158.
- [5] 侯茂章,周璟.湖南省易地扶贫搬迁后续产业发展研究[J].经济地理,2017,37(8):176-181.
- [6] 刘汉秦.易地扶贫搬迁的差异化安置方式研究[D].郑州:郑州大学,2018.
- [7] 汪三贵,胡骏,徐伍达.民族地区脱贫攻坚“志智双扶”问题研究[J].华南师范大学学报:社会科学版,2019(6):5-11,191.
- [8] 金梅,申云.易地扶贫搬迁模式与农户生计资本变动——基于准实验的政策评估[J].广东财经大学学报,2017,32(5):70-81.
- [9] 宁静,殷浩栋,汪三贵,王琼.易地扶贫搬迁减少了贫困脆弱性吗?——基于8省16县易地扶贫搬迁准实验研究的PSM-DID分析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(11):20-28.
- [10] 李博颖.涑源县易地扶贫搬迁效果评价与对策研究[D].保定:河北大学,2018.
- [11] 柳立清.政策多变与应对失矩——基层易地扶贫搬迁政策执行困境的个案解读[J].中国农村观察,2019(6):77-90.
- [12] 檀学文.中国移民扶贫70年变迁研究[J].中国农村经济,2019(8):2-19.

## Problems, Causes and Promotion Strategies of Poverty Alleviation Relocation in Qinghe County

WANG Chao-jie, WANG Cheng-wu

(School of Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** Relocation to help the poor is an effective way to solve the problem of poverty alleviation in areas where "one side of the soil and water cannot support one side of the people" under the background of precise poverty alleviation. As one of the five poverty-stricken counties in Xinjiang that took the lead in shaking off poverty and taking off the hat, Qinghe has made relocation to help the poor a top priority in winning the battle against poverty. On the basis of relevant research, through interviews with staff and on-the-spot investigations of relocated households, this paper finds out the problems in three aspects: policy regulations, relocation plan and follow-up development, further analyzes the causes of these problems, and finally proposes that in order to promote the relocation of relocated households, it is necessary to improve the policy system, enhance the implementation ability of staff and strengthen supervision and assessment to ensure that relocated households can "move out", "stay stable" and "become rich".

**Key words:** relocation of poverty alleviation; accurate poverty alleviation; Qinghe

# 中国核电产业国产化发展分析

杨已颢, 刘建全, 徐佩佩, 赵柏阳

(上海电力大学 能源与机械工程学院, 上海 200090)

**摘要:**自第一座军用堆的建成到 2019 年 7 月三代核电机组再次获批建设,我国核电经历了长期的发展,进入了核电重启时期。主要简述了不同发展阶段的核电技术路线,核电设备国产化率,以及相关的发展规划。我国核电产业的发展,是核电产业和制造业的奋斗史。核电设备的国产化率在有限的核电项目中不断提高。面对核电国产化过程中遇到的技术难点,我国核电从设计院到制造商共同承担风险,突破困境,实现了三代技术的国产化。在更先进的核电技术需求背景下,核电产业需要建立可持续发展的先进产业设备制造供应管体系。

**关键词:**核电发展历程;国产化率;产业协同体系;先进核电技术;可持续发展

**中图分类号:**TM613 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0113-06

1984 年至今中国大陆核电经历了四次建设热潮,分别在 1985 年—1990 年,1997 年—2002 年,2006 年—2011 年,2012 年开始至今。截至 2019 年 7 月,全国目前投入商业运行的核电机组共计 45 台,装机容量 4 590 万千瓦;在建的核电机组共计 11 台,装机容量 1 218 万千瓦;筹备中的核电机组共计 15 台,装机容量 1 660 万千瓦。全国累计投运核电机组达 45 台。<sup>[1]</sup>

目前我国在运的 45 台核电机组在技术层面,有 40 个属于“二代”或者“二代+”,5 个属于“三代”技术分别为海阳 1 号、2 号 AP1000 机组,三门核电 1 号、2 号 AP1000 机组,台山 1 号 EPR—1750 机组;在建的 11 台机组中,5 台属于“第三代”技术,包括 4 台华龙一号、1 台 EPR 机组,5 台“二代+”机组,以及一台“四代”技术高温气冷堆。而今后新建的机组将全部采用“第三代”技术,我国核电已经实现了由“二代”向“三代”的技术跨越。

在长期的核电项目建设过程中,我国核电产业不断推进国产化工作,形成了成套供应核电设备的完整核电产业链。大型铸锻件、核岛大型主设备、常规岛设备、核级泵阀、控制系统等绝大多数已经实现国产化研制。通过重大专项的实施、工程设计经验的实践及积累,我国三代核电综合国产化率<sup>[2]</sup>从 2008 年依托项目的 30% 提高到 85% 以上。

核电设备的国产化之路,推动了国家核电制造业

的升级,推动了核电相关企业的发展。中国核电设备的制造工艺与不断提高的核电技术一起成长,不断突破技术难关,从追赶者向领跑者的角色转换。

## 1 中国核工业发展历程

### 1.1 自主研发与引进技术起步阶段

相比于美国用了 12 年、前苏联 2 年、英国 6 年、法国 8 年,我国第一座军用堆 1966 年 10 月启动,至第一座秦山核电站 1991 年 12 月 15 日首次并网,共经历了 25 年。中国核电站的发展起步不晚,但是依靠自身实力发展核电的速度缓慢。<sup>[3]</sup>

秦山一期<sup>[4]</sup>采用自主设计的 CNP300 二代核电技术,从 1985 年开工建设到 1991 年投产,标志着大陆无核电站历史的终结。中国成为世界上为数不多的能够自主设计建造的核电站的国家。秦山核电一期综合国产化率高于 70%,其中除反应堆压力容器由三菱重工提供,大型主设备如汽轮机、蒸汽发生器、堆内构件、控制棒组件均由上海电气供货,实现国产化制造。

广东大亚湾核电站引进法国 M310 二代核电技术,遵循“以我为主,中外合作”的方针,实现了我国大陆大型商用核电站的起步,为我国核电事业发展奠定基础,同时为广东和香港的发展作出了贡献。大亚湾核电采用合资经营的方式,打破了国家重大项目由国家投资的模式,尝试了“借贷建设、售电还钱”<sup>[5]</sup>的全新模式,成就了“零资本裂变”的奇迹。

**收稿日期:**2020-02-07

**作者简介:**杨已颢(1994—),男,上海人,上海电力大学能源与机械工程学院,硕士研究生,研究方向:核电站一回路反应堆热工水力、气液两相流。

我国在核电发展的初始阶段(1966—1994年)缺少清晰明确的核电发展路线,最初将核电定义为除火电、水电外的第三个可靠稳定能源支柱。后来将核电又定义为火电和水电能源的补充能源,直到1990年后,将“以我为主,掌握核心技术”作为发展重点。<sup>[6]</sup>这个时期核电建设规模小,虽然我国已掌握30万千瓦时自主设计建造技术,但是相对于大型商用核电站,发电功率在百万千瓦以上的技术匮乏,无法满足经济发展的需要。

### 1.2 适度小批量发展核电阶段

“九五”计划期间共开工4项重点核电建设工程,8个机组,其中秦山二期项目两台机组采用自主知识产权的CNP650技术,岭澳一期两台机组首次采用自主创新、探索研发形成的百万千瓦级核电技术路线CPR1000。秦山三期核电站,采用加拿大CANDU重水技术,是我国首座商用重水堆核电站工程。田湾一期两个机组采用了俄罗斯AES-91(VVER-1000)二代技术,是两国间迄今最大的技术经济合作项目。

1996年我国第一座自主设计、自主建造、自主管理、自主运营的2×65万千瓦商用压水堆核电站秦山核电二期<sup>[7]</sup>的建设,大幅提升了我国核电设备制造的能力。在55项关键设备中,有47项基本实现了国产化,设备国产化率达到了55%。

岭澳项目作为中广核集团(简称中广核)成立以来第一个核电项目,坚持“以核养核,滚动发展”方针,实现了部分设计自主化和部分设备制造国产化,整体国产化率达到30%,国内180余家企业参与了工程建设和设备制造。岭澳核电设备国产化是实现中广核核电国产化分阶段的第一步。我国在核电建设上坚持“以我为主,中外合作”,重点实现核电国产化工作,核电设备国产化正是核电国产化目标之一。田湾核电和秦山核电虽然引进国外技术,但是在前期经过快速消化,两个项目的综合国产化率分别达到了70%和50%。

经过“九五”重点工程的建设,我国具备了自主设计30万千瓦和60万千瓦压水堆核电站的能力,以及具备“以我为主、中外合作”设计建设百万千瓦级压水堆商用核电站的能力,但是不具备独立设计、制造百万千瓦级先进压水堆的能力。1994年至2005年阶段,为小批量化发展核电阶段<sup>[6,8]</sup>,核电目前不具备商业化发展条件,经济性不如煤电。

### 1.3 核电快速发展阶段

随着中国经济的发展,传统火电、水电能源已经

无法满足日益增长的能源需求。核电作为高效、清洁、稳定的非常规能源,能够为中国能源的发展提供持续支持,填补能源缺口。《核电中长期发展规划》(2005—2020年),明确核电运行装机容量将由目前的700万千瓦争取提高到2020年的4000万千瓦,为实现上述目标,在未来10年中,我国每年要开工建设3台以上核电机组。我国核电发展正式从“小批量、适度发展”进入“积极发展核电”阶段<sup>[4]</sup>,坚持“以我为主,中外合作”的方针,遵循“统一堆型”、“统一思想”、“统一组织”、“统一行动”,以政府主导型原则,尽快实现核电国产化。

2006年至2011年间,共有30个核电机组陆续投入建设。中国核工业集团有限公司(简称中核)建设的项目,除采用自主研发的CNP650技术外,进行吸收、消化、创新,形成M310改,实现了百万千瓦机组的突破。中核项目CNP/M310(改)综合国产化率如图1,国产化率依托项目不断提高,其中秦山二期3/4、昌江1/2机组采用CNP650技术。中广核在大亚湾引进M310核电技术后,结合自身的经验,自主创新,研发了中国改进型百万千瓦级压水堆技术CPR1000。中广核CPR1000项目综合国产化率如图2,从建设初期大亚湾的不到1%,到岭澳一期的30%,中广核依托CPR1000项目,不断推进国产化工作,防城港二期国产化率已达85%。

在吸收创新引进的M310二代技术的同时,我国也在积极引进三代核电技术EPR和AP1000。中广核引进欧洲EPR技术在台山核电应用,中核和国电投在浙江三门、山东海阳核电站采用AP1000技术,国产化在三门1号机组只有30%,在三门2号机组以及海阳项目中提升至62%,三代核电国产化率进一步提高。

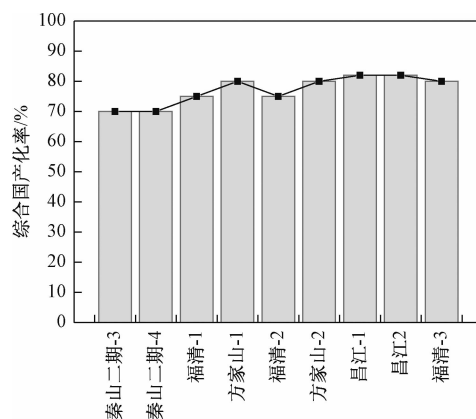


图1 中核项目CNP/M310(改)综合国产化率

### 1.4 核电重启道路

2011年5月11日,日本福岛核电站地震发生了



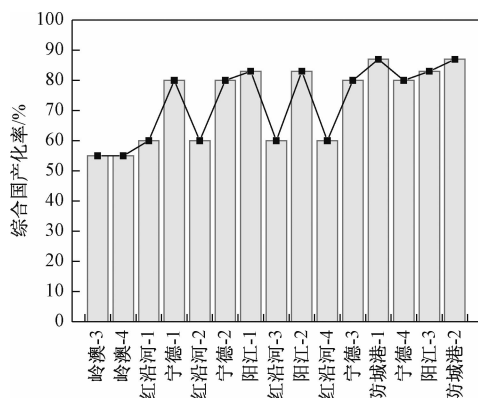


图2 中广核 CPR1000 项目综合国产化率

核泄漏,促使世界各国对核电发展策略做出调整。中国从快速发展核电阶段,进入安全高效可持续发展核的新时期。2012年5月,《核安全与防辐射污染防治“十二五”规划及2020年远景目标》<sup>[9]</sup>中提出,要提高我国核安全与放射性污染防治手段,推动核能利用事业安全、健康、可持续发展。

2012年10月,国务院发布《核电中长期发展规划(2011—2020)》<sup>[10]</sup>明确规定至2015年,在运机组达4000万千瓦、在建机组容量达2000万千瓦,2020年在运机组5800万千瓦、在建3000万千瓦的建设目标。11年后我国核电项目审批陷入停滞,国务院提出要对核设备、所有在建项目进行安全审查,仅田湾二期CNP1000项目在2012年12月获批。

2014年1月,国家能源局发布《2014年能源工程指导意见》<sup>[11]</sup>,指出要安全高效发展核电,明确将适时重启核电重点项目审批。2015年3月10日,国家发改委发布文件,确定中广核红沿河核电二期项目两台百万千瓦核电机组获批准,也是4年来我国真正意义上新批的核电项目。2015年12月国务院常务会议核准了田湾5、6号CNP1000项目以及防城港3、4

号机组 HPR1000。2016年《电力发展“十三五规划”》<sup>[12]</sup>,指出要坚持安全发展核电,加大自主核电示范工程建设力度、着力打造核心竞争力,加快沿海核电项目建设。2015年至2019年三年内无核电项目获批,直到国家能源局2019年7月25日会议上,核准山东荣成CAP1400、福建漳州 HPR1000、广东太平岭 HPR1000项目开工。此次新建机组均采用自主研发的三代核电技术,中国核电已经走向正式重启道路,发展自己的核技术、共同研发形成了一条完整的三代核电工业供应链体系。

华龙一号是由中核在CNP1000基础上自主研发的ACP1000和中广核在ACPR1000三代压水堆技术上按照最新法规标准完善形成的ACPR1000+,在2013年进行融合,联合开发而形成的。目前华龙一号(HPR1000)全球首个示范项目福清核电5号机组国产化率达85%。

自2006年引进AP1000技术后,依托项目建设,国家重点专项等累积的经验,在福岛核事故后,CAP1000标准设计完成,实现了关键设备自主化。在2014年底,在突破大型先进非能动压水堆关键技术、关键设备和制造技术、重大试验验证技术后,国家核电完成了具备自主知识产权的三代核电国家品牌CAP1400研制工作。三代核电自主化型号“国和一号”(CAP1400)设备研制基本完成,示范工程设备国产化率达85%以上。<sup>[13]</sup>

## 2 国产化遇到的问题

### 2.1 设备国产化现状

我国核电事业经过长期的发展,已经形成了完整的成套核电产业链,如图3。核电产业中处于上游的企业有铸锻件、有色金属、核原料等原材料和零部件厂商;核岛、常规岛、辅助厂房设备三个领域的制造企业在核电产业中位于中游;核电站的设计、建设及运

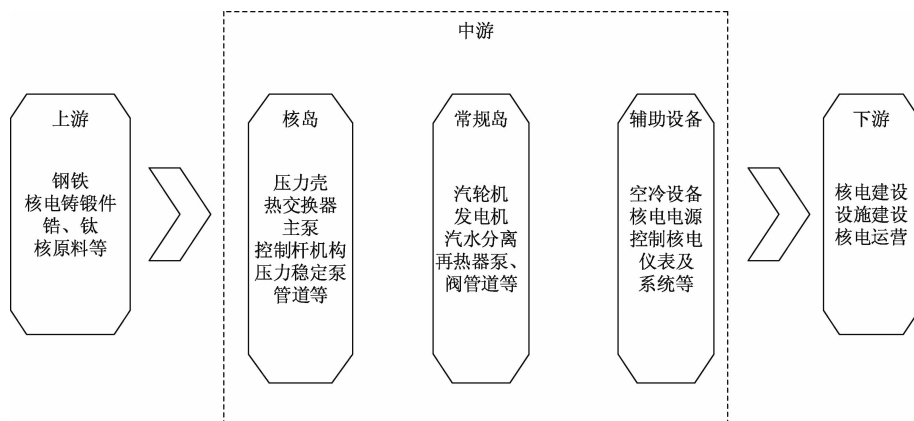


图3 核电产业链

营商处于核电产业的下游位置。

我国二代核电技术国产化率从大亚湾不到1%，提升到防城港二期85%以上。引进的AP1000技术从三门一号机组的30%提升到了72%。我国自主研发的华龙一号、国和一号示范工程国产化率都在85%以上，并且在后续依托项目批量化建设，能够将国产化率提高到90%以上。

目前核电制造业形成了上海电气、东方电气、哈尔滨电气三大常规岛、核岛设备大型制造基地。国内大量原材料制造厂成为核电原材料备选的供应商。三代核电产业竞争体系呈现出国有大中型企业为主，民营企业在细分领域竞争的格局。在原材料和零件自主化研发方面，蒸汽发生器用U形管、核岛设备用焊接材料、密封件等都取得重大突破。在大型材料和设备制造研制方面，大型铸锻件、核岛大型主设备、常规岛设备、核级泵阀、控制系统等绝大多数已经实现国产化研制。

## 2.2 国产化过程中遇到的问题

### 2.2.1 采购设备多样化

业主在工程项目管理上存在不同的合同方式<sup>[14-15]</sup>，按照合同范围通常分为三大类：即交钥匙/总承包方式、少合同/分岛方式和多合同散件方式。不同的合同方式将极大程度上影响技术转让与经验反馈的获得和国产化计划的执行。设备采购模式可按合同不同的方式分为少合同/分岛方式中的成套采购模式，多合同/散件方式中的部件采购模式，成套采购与部件采购结合的模式、委托专业公司采购模式。

在我国引进商业核电厂技术前期阶段，业主主要选择整岛采购方式如岭澳项目<sup>[16]</sup>。核岛、常规岛的设备分别由法国法马通公司、英国通用电气/阿尔斯通公司成套供应。电站配套设施(BOP)被分成若干合同包，由业主在工程服务承包商的技术支持下自行分包采购。大量设备采购由于采购方式不同，国外设备采购公司倾向于国外的核电设备制造商。

其次，核电项目各系统的设备约有48 000多套件，其中机械设备约6 000套件，电器设备5 000多套件，仪器仪表25 000余套件，总重约6.7万吨。如此庞大的设备数量，技术路线的差异，导致核电设备的要求不同。要针对不同的设计标准，不同设计要求，设备开展国产化工作阻力极大。并且在建设初期的供货商都是国外为主，国内没有消化能力。

### 2.2.2 国内核电设备竞争力不足

核电国外设备供应商运行业绩多，出于核安全考虑，运行业绩是很大的考量供应商的标准。国内核电

工程，优先用有核电业绩的国外设备供应商，在引进技术初期，选择技术引进方提供的供应商，同时占领了国内核电业绩。另一方面，国内发展核电起步晚，国内制造商运行业绩少、产能低，产品停留在多品种小批量的生产模式上。面对不断审批建设的核电项目，核电设备制造业面临着全面国产化的挑战。<sup>[17]</sup>

在一些关键工艺、关键技术、关键材料国外存在技术垄断，国内对这些技术研发周期长，国内制造能力和技术处于成长阶段。国外技术相对成熟，在没有达到技术标准的情况下，只能依靠进口。这些高技术含量关键工艺、技术材料，是核电设备技术消化的重点，在有限的项目中，不断磨炼高技术含量的设备制造能力，对于国内设备制造商来说是个挑战。

### 2.2.3 国产化工作需要多方力量支撑

国产化工作的开展，需要核电产业各部门共同承担风险，单靠个别的企业推进国产化工作是不切实际的。核电产业作为一个重大装配生态链，上游材料零件生产商、中游设备制造商、下游核电站的设计、建设及运营商之间的合作对于中国核电国产化工作的推进至关重要。关键重大设备完全从国外进口，无法满足国内建设核电的需要。在国产化攻坚工作中，重大设备的研制周期直接决定整个核电项目的建设进度。目前采用的是将引进的国外先进技术同国内国产化力量结合起来，集中突破关键设备国产化工作。国产化工作在研发和推广阶段，离不开政府的协调和组织，用户单位的支持参与。国产化工作在实践阶段，需要依托有限的项目建设，不断验证国产化各部门协同工作能力，检验核电产业国产化的有效性程度。核电关键设备大多数是单台小批量设备，研发制造周期长，对于我国核电设备制造业的生产能力也是一个巨大的考验。对于重大设备的制造过程，需要各部门把关设备生产的每一个阶段，对于部门质量管理能力也是一个重大的考验。我国核电产业在推进国产化工作中承担风险的同时，也在推进各装备制造业升级突破。

## 3 核电国产化必由之路

### 3.1 提高核电竞争力的重要途径

核电国产化的战略，是我国发展核电产业中必须选择的途径。在国产化战略的影响下，核电设备制造商不断提高产能，降低设备制造成本，具备成套供货能力，才能在全球竞争的大环境下，提高竞争力。核电设备国产化不单单是为了降低设备造价，还有发展我国核工业供应链的效应。核电产业链是一个极其庞大的系统，国产化战略，有利于提高国家核工业技

术水平。我国核电引进的核电技术从二代到三代核电,为了满足更高要求的技术要求,我国核电制造商从引进技术到创新不断攻坚、突破,核工业供应链不断完善。立足于国产化,将会驱动核电产业升级。

高品质的产业协同体系是在国产化合作中催生而形成的体系。高效的核电设备产业联盟、产业基地的发展,有利于推动技术革新,是核电技术不断进步创新的源动力。核电设备制造安全质量要求高,需要严格的质量保证体系。依托核电项目,核电设备制造商,学习国外先进管理方式,形成符合核电体系的管理系统,形成成熟的生产工艺,确保产品性能的稳定性。核电设备国产化,将对制造商原材料、零部件等备件库存管理提出更高的要求。如何形成高效、标准化、模块化、专业化的核电体系,对我国核电事业的后期发展至关重要。核电产业未来能否结合先进数字化制造技术,将所有核电设备进行全生命周期的从设计到生产制造的数据管理。

### 3.2 先进核电技术设备的需求

当我国没有需求制造技术能力时,国外企业和政府会提出不合理要求,并且可能拒绝开放出口,限制出口核电技术。由于没有相关技术研发或未达到国产化要求,导致我们在政治方面、市场方面是处于弱势,业主只能选择国外供应商。在协商过程中,存在增加采购周期,提高采购成本,拖延工期的风险。

即使是国外供应商,没有足够的三代核电机组设备制造经验,无法到达关键设备的技术要求。西屋公司首次制造的主泵,原来的屏蔽泵设计软件或许根本不能涵盖 AP1000 大功率、高流量的屏蔽主泵设计。在国家大型核电电压水堆重大专项的支持下,沈鼓核电和哈电动装在引进、消化、吸收 AP1000 屏蔽电机主泵基础商,开展了多项关键制造技术的国产化攻坚,为后续 CAP 系列电站主泵国产化供货提高保障。<sup>[13]</sup>

对于核电技术的研发,我国已经从引进技术的初期阶段走向核电创新的领航者,先进核电技术的研发设计,都将是项目为依托,而是否具备设备国产化能力,直接影响着未来先进核电设备批量化建设。将核心关键设备的制造技术掌握在手中,不受制于国外供应商、变化不定的国际形势,提高国内核电供应链的先进性和稳定性,才能为后续要求更高的核电技术路线的设备制造铺平道路。只有掌握先进制造技术,开发符合标准的国内供应商,才能降低采购风险。

### 3.3 国产化是核电走出去的前提

《核电中长期发展规划(2005—2020 年)》提出“积极推进核电建设,统一发展技术路线,坚持以我为

主,形成批量化建设中国品牌先进核电站的综合能力,提高核电所占比重”的目标,是对于核电走出去策略的布局。中国火电依托“一带一路”走出去的主要基础,是火电产业充足完整的国产化设备供货能力。在核电工程中设备占总投资的 50% 左右,核电设备国产化制造将对降低工程造价产生至关重要的作用。核电走出去<sup>[12]</sup>的前提是,拥有一条完整的核电设备供应链,具备充足的设备成套供货能力。目前国内核电设备产业链不断国产化升级,为核电工程建设提供坚实基础。国内需要形成一条较为完整的自主化核电工业体系,形成核电标准化体系,将中国核电品牌打上国家舞台。而标准化体系的建立基础是基于强大的设备制造能力,为海外市场成套供货提供重要保障。

## 4 结论

1) 核电发展初期多技术路线、设备类型多,核电发展初期阶段国产化推动比较缓慢,由于核电设备国产化很大程度上依托于项目的建设,初级建设的核电站主要是以引进、消化国外先进二代技术为目标,核电设备国产化的诉求不强烈。其中大亚湾核电站 M310 机组的国产化率不到 1%,中国自主设计的 CNP300 技术国产化率 70%,核电发展尚未具备商业化条件。

2) 核电发展步入小批量发展和快速发展阶段后,核电发展依托项目的建设,M310 技术依托中广核的项目设备国产化率不断提高,并且对 M310 技术进行再创新,形成 CPR1000 二代加技术,核电设备国产化率从 1% 提升到防城港二期的 85% 以上。我国核电产业在核电项目的建设不断成长,已经逐渐形成了二代核电设备产业体系,并且积极引入先进三代核电技术。

3) 我国设计自主的核电技术路线华龙一号、国和一号设备国产化率高达 85%。三代核电产业体系的建立,离不开政府、业主、设计院、设备制造商等协同合作,形成三代核电技术产业联盟,促进三代核电设备的研发制造。我国实现三代核电机组首堆的运行业绩,离不开核电产业中各方的努力推进。国产化核电设备在其中扮演重要角色。

4) 对于未来先进核电技术、新堆型的要求,我国的核电产业面临的不仅是更高难度的核电技术要求带来的挑战,更需要形成高效、标准化、模块化、数字化的生产运营体系,对核电设备进行全生命周期的管理。先进的核电设备管理体系是实现核电产业可持续发展的必由之路。

## 参考文献

- [1] 最新! 中国大陆投运、在建、筹备核电项目一览装机容量[EB/OL]. (2019-05-28). [http://www.sohu.com/a/316921977\\_656992](http://www.sohu.com/a/316921977_656992).
- [2] 科技部:核电重大专项成果发布三代核电技术综合国产化率达85%以上[EB/OL]. (2017-09-04). [http://www.nmp.gov.cn/mtjj/201709/t20170905\\_5364.htm](http://www.nmp.gov.cn/mtjj/201709/t20170905_5364.htm).
- [3] 杨阿卓,杨志平. 从第一座生产堆到第一座核电站——中国科学院院士欧阳予访谈录[J]. 中国核工业, 2005(1): 30-31.
- [4] 战略与选择——中国核电产业发展政策研究[J]. 中国核工业, 1999(3): 13-16.
- [5] 刘嘉铨. 实现核电国产化促进我国核电技术进步[J]. 上海工业, 1999(S1): 14-16.
- [6] MING Z, WANG S, DUAN J, et al. Review of nuclear power development in China: environment analysis, historical stages, development status, problems and countermeasures[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 59: 1369-1383.
- [7] 钟华, 帅月智. 秦山核电二期工程设备采购管理及体会与思考[C]//核电建设与浙江先进制造业发展研讨会. 2005.
- [8] 鲁志强, 熊贤良. 对我国核电产业发展战略和政策的建议[J]. 核动力工程, 2000(1): 2-6.
- [9] 国家核安全局环境保卫部. 核安全与防辐射污染防治“十二五”规划及2020年远景目标[Z]. 2012-05-31.
- [10] 国家能源局. 核电中长期发展规划(2011-2020)[Z]. 2007-11-02.
- [11] 国家能源局. 2014年能源工程指导意见[Z]. 2014-01-20.
- [12] 电力发展“十三五”规划[J]. 中国电力企业管理, 2016(11): 7.
- [13] 郑明光. 从AP1000到CAP1400,我国先进三代非能动核电技术自主化历程[J]. 中国核电, 2018, 11(1): 41-45.
- [14] 程平东, 孙汉虹. 核电工程项目管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 105-154.
- [15] 中国广东核电集团核电学院、中广核工程有限公司工程培训中心. 核电工程总承包与项目管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 43-78.
- [16] 叶明. 坚持国际标准, 大力推进核电国产化——岭澳核电站建设经验谈(三)[J]. 中国核工业, 2003(2): 9-14.
- [17] 王思童. 重大技术装备国产化30年回顾与思考[J]. 电器工业, 2013(8): 16-18.

## Analysis on the Domestic Development of China's Nuclear Power Industry

YANG Yi-hao, LIU Jian-quan, XU Pei-pei, ZHAO Bo-yang

(College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** From the completion of the first military reactor to the approval of the third generation nuclear power unit in July 2019, nuclear power in China has experienced long-term development and entered a period of nuclear power restart. This paper mainly describes the nuclear power technology route, the localization rate of nuclear power equipment and the related development plan at different stages of development. The development of nuclear power industry in China is the struggle history of nuclear power industry and manufacturing industry. The localization rate of nuclear power equipment is constantly improving in the limited nuclear power projects. In the face of the technical difficulties encountered in the process of localization of nuclear power, China's nuclear power from the design institute to the manufacturer share the risk, break through the predicament, and realize the localization of three generations of technology. In the face of more advanced nuclear power technology demand, the nuclear power industry should establish a sustainable advanced industrial equipment manufacturing supply management system according to the technical needs.

**Key words:** nuclear power development; localization rate; industrial coordination system; advanced nuclear power technology; sustainable development

# 新疆航空货运的问题及对策研究

袁媛, 翟好鑫, 黎莹

(沈阳航空航天大学 经济与管理学院, 沈阳 110136)

**摘要:**随着“一带一路”合作倡议的提出与深入落实,新疆航空货运业将面临激烈的市场竞争和前所未有的发展机遇。运用灰色关联理论对新疆航空货运业的影响因素进行综合分析,识别出影响航空货物运输的主要因素。运用SWOT分析方法,结合新疆航空货运业实际发展现状,从其自身的内部优势和劣势、面临的外部机遇和威胁出发,对新疆航空货运业进行全面分析,并在分析的基础上提出新疆航空货物运输的发展战略。

**关键词:**航空货运;“一带一路”合作倡议;灰色关联理论;SWOT分析法

**中图分类号:**F562 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0119-04

随着“一带一路”合作倡议的正式颁布和实施,我国将建立全方位对外开放的新格局。民航运输业的独特产业属性和特有优势决定了民航运输业在实施“一带一路”合作倡议中的重要性<sup>[1]</sup>。新疆是古代丝绸之路的重要组成部分,它地处西部边疆,在“一带一路”合作倡议中具有明显的地理优势,也是新丝绸之路经济带的核心建设区。在分析新疆航空货运业现状的基础上,通过灰色关联分析法识别出新疆航空货运的影响因素,指出新疆航空货运的优势、劣势、机遇与威胁,分析并提出新疆航空货运业的发展战略及建议。

## 1 新疆航空货运业发展现状及问题

### 1.1 “一带一路”合作倡议

丝绸之路经济带是以古丝绸之路概念为基础形成的一个新的经济发展区域,它拥有丰富的自然资源、矿产资源、土地资源和宝贵的旅游资源,被视为是“世界上最长、最具发展潜力的经济大走廊”。21世纪海上丝绸之路将进一步深化合作,构建更加紧密的命运共同体,加强与边境国家和地区的交流,与东盟国家共同分享机遇、共同迎接挑战,实现共同发展,共同繁荣<sup>[2]</sup>。

### 1.2 新疆航空货运业的发展现状

新疆位于欧亚大陆中部地区,与俄罗斯、蒙古、印度等多国接壤,是古代丝绸之路的重要组成部分。新疆作为西部地区的重要窗口,可以利用其独特的地理优势,建设成为丝绸之路经济带的核心区域,加深与

中亚、南亚、西亚等国家的交流与合作。

新疆依托“一带一路”合作倡议思想,积极创建符合现代化的综合交通运输体系,实现立体化的丝绸之路。而航空货运作为民航业的一个分支点,已经成为航空运输发展的新的增长点<sup>[3]</sup>。“一带一路”合作倡议提出后,新疆各级政府不断加强民航建设,近几年对于交通运输业的固定资产投资力度逐年提高,尤其是民航运输业,不断有新的航空公司进入新疆民航运输市场,未来几年新疆的航空货运业将快速发展,货运量和货物周转量将持续、高速的增长<sup>[4]</sup>。

### 1.3 新疆航空货运业的发展中存在的问题

长期以来,我国航空货运业依靠客机机舱进行货物运输,货运业务仅仅是客运业务的附带产品<sup>[5]</sup>。由于对“一带一路”合作倡议的理解和发展理念仍存在不足,在与快递公司合作中,很多公司只讲竞争和收益而忽略合作共赢,导致高价的恶性循环。新疆气温温差较大,航空货运呈现出很强的季节性。尽管近年来新疆航空货运的重要性不断增加,机场建设仍在继续,但从整体来看,航空货运基础设施和服务质量要求仍不能得到地面支持和推广服务的有效支撑。

## 2 新疆航空货运业的影响因素分析

### 2.1 灰色关联理论

灰色系统理论是用来解决部分信息未知的系统的一种数学方法,通过研究、分析获得有价值的信息,以便对整个系统的运行行为和演变规律进行正确描

收稿日期:2020-01-09

基金项目:国家自然科学基金青年项目(71802141);教育部人文社会科学研究青年基金项目(18YJC630219)。

作者简介:袁媛(1986—),女,辽宁沈阳人,沈阳航空航天大学,副教授,博士,研究方向:航空运营管理;翟好鑫(1994—),女,河南封丘人,沈阳航空航天大学,硕士研究生,研究方向:航空运营管理。

述和有效监控<sup>[6]</sup>。灰色关联度分析法是由灰色系统理论所提出的,旨在通过一定的方法去研究系统中各因素之间的数值关系即关联程度。

## 2.2 灰色关联分析的计算方法

1)确定参考数列和比较数列。

2)对数列进行无量纲化处理。采用均值化处理数据,设原始的  $n+1$  个序列为  $\{X_i^{(0)}(k)\}$ , ( $i=0,1,$

$$\epsilon_{0i}(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0^{(1)}(k) - X_i^{(1)}(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0^{(1)}(k) - X_i^{(1)}(k)|}{|X_0^{(1)}(k) - X_i^{(1)}(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0^{(1)}(k) - X_i^{(1)}(k)|} \quad (2)$$

其中,  $\rho$  为分辨系数,在  $[0,1]$  中通常取 0.5;  $\min_i \min_k |X_0^{(1)}(k) - X_i^{(1)}(k)|$  表示两级最小差;  $\max_i \max_k |X_0^{(1)}(k) - X_i^{(1)}(k)|$  表示两级最大差,  $\epsilon_{0i}(k)$  表示  $X_i$  和  $X_0$  在  $k$  点的关系系数。

4)求关联度。关联系数是比较序列与参考序列在曲线中的每个点的关联程度值,因此会存在多个关联系数。但是,如果信息过于分散将不便于进行总体比较,求其平均值作为比较序列与参考序列间关联程度( $\varphi_{0i}$ )的数量表示。公式如下:

$$\varphi_{0i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \epsilon_{0i}(k) \quad (3)$$

5)关联度排序。将  $m$  个子序列对同一母序列的关联度按大小顺序排列起来,就组成了关联序列,记为  $\{X\}$ ,它反映了对于母序列来说各子序列的“优劣”关系。

$\dots, n; k=1,2,\dots,m)$ ,则均值化处理后的新序列为:  $\{X_i^{(1)}(k)\}$

$$X_i^{(1)}(k) = \frac{X_i^{(0)}(k)}{\bar{X}_i} \quad (1)$$

3)求灰色关联系数。各比较数列  $X_1, X_2, \dots, X_n$  与参考数列  $X_0$  在曲线中各点的关联系数可由下列公式算出:

## 2.3 新疆航空货运影响因素

### 2.3.1 新疆航空货运影响因素数据收集

从生产和消费两方面选取可能影响新疆航空货运量( $X_0$ )的因素,根据数据的可得性及验证分析选取如下可能影响因素:反映生产力发展水平的指标:  $X_1$  新疆生产总值,  $X_2$  人均新疆生产总值;反映运输供给能力的指标:  $X_3$  新疆民航运输里程;反映需求能力的指标:  $X_4$  新疆人口数量,  $X_5$  新疆居民消费水平,  $X_6$  新疆全社会固定资产投资,  $X_7$  新疆职工平均工资。

根据上述条件,收集 2008—2017 年影响新疆航空货运业的因素数据并汇总。

1)数据均值化。

2)求关联系数(如表 1)。

表 1 参考序列与比较序列的关联系数

年份	$\epsilon_{01}$	$\epsilon_{02}$	$\epsilon_{03}$	$\epsilon_{04}$	$\epsilon_{05}$	$\epsilon_{06}$	$\epsilon_{07}$
2008	0.953 4	0.901 2	0.754 1	0.623 0	1.000 0	0.984 8	0.847 5
2009	0.937 4	0.896 1	0.735 4	0.616 2	0.945 7	0.900 7	0.941 1
2010	0.765 6	0.738 1	0.642 3	0.604 0	0.785 6	0.786 7	0.997 7
2011	0.669 8	0.650 6	0.661 5	0.611 2	0.695 0	0.697 3	0.827 7
2012	0.760 7	0.741 3	0.842 9	0.767 6	0.751 2	0.778 9	0.848 2
2013	0.748 8	0.738 7	0.729 7	0.858 5	0.786 4	0.788 5	0.747 8
2014	0.713 4	0.716 3	0.851 1	0.913 5	0.757 6	0.759 0	0.605 9
2015	0.660 3	0.679 2	0.794 0	0.808 8	0.628 2	0.616 7	0.511 0
2016	0.406 1	0.393 2	0.381 2	0.360 8	0.448 6	0.430 3	0.448 4
2017	0.430 9	0.408 6	0.412 4	0.351 0	0.424 2	0.434 7	0.509 7

3)计算关联度(如图 1)。

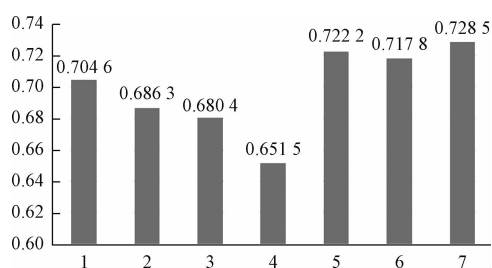


图 1 关联度

### 2.3.2 关联度计算结果分析

从上述结果中可以得出以下结论:

1)影响新疆航空货运的主要因素为:新疆居民消费水平、新疆全社会固定资产投资、新疆职工平均工资。从上述计算结果可以看出,对新疆航空货运影响最大的因素是职工平均工资,其次是新疆居民消费水平和新疆全社会固定资产投资。所以,要促进新疆航空货运发展,必须大力发展新疆区域经济,适当增加民航业的固定资产投资,只有当民航运输业的基础设

施不断完善,航空货运业才能得到足够的发展。另外提高职工平均工资,这样居民人均消费支出也会随之增加。

2)新疆生产总值、人均新疆生产总值和新疆民航运输里程是影响新疆航空货运的次要因素。在此情形下,提高新疆生产总值和人均生产总值也会刺激航空货运量的增加,同样的通过增加新疆航空运输里程来促进新疆航空货运业的发展。

3)虽然新疆人口总数呈现出一定的增长趋势,但是通过计算可以看出,相对于其它因素来说,新疆人口数量对新疆航空货运影响最小。所以,仅仅增加新疆人口数量并不能促进新疆民航货运业的发展,要适当增加新疆人口的工资水平和消费能力,航空货运业才能得到足够发展。

### 3 新疆航空货运业发展 SWOT 分析

随着经济的发展和新疆市场的逐步开放,给新疆航空货运行业带来了机遇和挑战。采用 SWOT 分析法对新疆航空货运业在竞争中拥有的优势、劣势和外部环境带来的机遇、威胁进行分析。

#### 3.1 新疆航空货运业 SWOT 分析

##### 3.1.1 优势分析

新疆丝绸之路的核心区,作为中国向西开放的重要窗口,它具有东进西出、全方位开放的地缘优势<sup>[7]</sup>。“一带一路”合作倡议提出后,新疆大力发展民航运输业,现已初步形成了以乌鲁木齐国际机场为中心,喀什国际机场为辅助,其余支线机场相互配合的基本格局。经过长期发展,新疆民航业已建立了较为丰富的航线网络与较为完善的销售体系,并拥有了较强的综合运输能力。

##### 3.1.2 劣势分析

新疆目前是拥有机场最多的省份,但机场密度却不足全国水平的一半,导致每段航线的运营成本高。另外新疆航空市场的季节性特征突出,部分机场大雾多发,对确保机场正常运营具有不利影响。目前,新疆航空货运业信息技术应用和创新水平普遍较低,信息技术功能不完善,航空货运企业提供的业务模式比较单一,主要业务仅是完成货物的空中运输。

##### 3.1.3 机遇分析

“一带一路”沿线地区以新疆作为核心区域,并结合西部大开发和援疆政策的推进与实施,为新疆航空货运业的发展创造了良好的外部条件。新疆维吾尔自治区政府对新疆航空货运业进行产业政策支持,为航空公司引导、宣传,为国际航空发展提供了良好的发展环

境。在“一带一路”与西部大开发战略的支持下,新疆各经济领域高效而有力的促进了交通运输事业的发展。在电子商务的快速发展中,新疆应抓住机遇,充分利用丰富的航线网络和客机机舱等资源优势,在满足客户需求的同时创造高附加值。

#### 3.1.4 威胁分析

随着新疆铁路与公路的逐步建设,其在短距离与中距离范围内的运输对航空货运将有重大冲击<sup>[8]</sup>。民用航空体制的改革,许多地方航空公司以全新的机制、理念和管理参与运营与竞争,使新疆航空市场竞争日趋激烈,营利性的经营理念也开始渗透到公司治理中。另外,国内一些快递公司纷纷成立自己的航空货运公司以摆脱航空公司的制约,以顺丰速递为首的快递航空公司在航空货运方面给传统航空公司带来的竞争压力也越来越大<sup>[9]</sup>。

#### 3.2 SWOT 策略矩阵

通过分析新疆航空货运业面临的外部机会和威胁、内部优势和劣势,得出表 2 中四类战略组合,为新疆航空货运业发展战略的制定提供参考。

### 4 新疆航空货运业发展对策

#### 4.1 发挥好政府政策引导和支持作用

建立与各国民航业之间的合作关系,以确保民航基础设施建设的投资、所需产品的配套采购以及管理运营服务的输出。同时,健全和完善民航与国内有关部门、相关企业的合作机制,全面建立民航合作机制,加快与其他国家签订双边航权协议和适航协议。

#### 4.2 加快基础设施建设,提高民航保障能力

升级和改造新疆沿线航空交通基础设施,健全边防空管基础设施的对接机制,提高民航的地面保障能力。优化和完善机场运输体系的建设,在机场周围建设公共交通网络,推动服务标准体系中民航与其他运输方式的相互连通,以推动大型机场的客货多式联运的发展。

#### 4.3 提高航空运输服务能力,建设大型空中运输通道

一是率先建设大型空中运输通道,增加空中丝绸之路航线数量,扩大航空服务覆盖面。二是加快航权协商,扩大航空运输权,为大航空走廊的开通和延伸奠定良好的航权基础。三是加大投入力度,合理优化航线航班,有针对性地开通新的“一带一路”国际航线。四是培育“一带一路”国际航空枢纽,加强乌鲁木齐国际枢纽地位,建立联通国际国内政治、金融、经济中心的主干通道。

表 2 SWOT 策略矩阵

<div>内部</div> <div>外部</div>	优势 (Strength)	劣势 (Weakness)
	区位优势 初具规模的机场体系 丰富的运输网络	机场密度小 航线市场季节特征突出 信息化建设不足 航空货运模式单一
机会 (Opportunities) 区域经济发展的支持 政策环境的改善 综合交通运输体系不断完善 快速发展的电子商务	SO 策略 顺应经济发展,改革发展航空运输 整合资源,扩大运力规模 强化枢纽机场,完善干线机场,充实支线机场, 完善航线网络	WO 策略 克服困难,提高航空运输的覆盖率 多样化运输模式,提供增值服务 加大空地联合,实现资源共享和价值共享
威胁 (Threats) 航空公司间竞争激烈 与其他运输方式的竞争 与快递公司的竞争	ST 策略 重视航空市场营销战略,提升企业竞争力 充分利用运输网络,与快递公司友好合作 提升机场综合服务水平,与其他运输方式形成 货运联盟	WT 策略 加快信息化建设,提高运输效率 建立机场运营政策协调机制 提升机场运营的市场支撑度

4.4 提升机场运营的市场支撑度

政府要协调有关部门和单位,协调相应资源,通过规划双边合作项目、加强旅游产品设计、经济贸易往来等方式,增加客流、货流、信息流的流速和流量,培育航线稳定且成熟的客货源市场。可以通过引进使领馆,促进国际交流,确保航线的持续运行,从而提升新疆民航在丝绸之路经济带的竞争力。

参考文献

[1] 钟波兰,张为民. 基于 SWOT 分析的我国航空物流产业发展研究[J]. 物流技术,2011,30(3):18-20,25.  
[2] 王娅. “一带一路”背景下我国西部民航业发展新机遇——以西安咸阳国际机场为例[J]. 西安财经学院学报,2016,29(6):51-55.  
[3] 张婧. “一带一路”背景下我国民航空运输业的发展对策研究

[J]. 现代营销(下旬刊),2017(4):159.  
[4] 李萌洁. “一带一路”背景下乌鲁木齐民航业的发展机遇[J]. 市场研究,2017(9):39-41.  
[5] 杨学梅. 我国航空物流产业发展 SWOT 分析研究[J]. 价格月刊,2016(3):64-67.  
[6] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.  
[7] 王宁. 新疆参与“一带一路”合作倡议的优势、挑战与对策[J]. 大陆桥视野,2017(8):52-57.  
[8] GUNDELFINGER-CASAR J, COTO-MILLÁN P. Inter-modal competition between high-speed rail and air transport in Spain[J]. Utilities Policy,2017,47:12-17.  
[9] XIA W,ZHANG A. High-speed rail and air transport competition and cooperation:a vertical differentiation approach[J]. Transportation Research Part B: Methodological,2016,94:456-481.

The Research on the Problems and Countermeasures of Xinjiang Air Cargo

YUAN Yuan, ZHAI Hao-xin, LI Ying

(Shenyang Aerospace University,Shenyang 110136,China)

**Abstract:** With the introduction and implementation of the Belt and Road cooperation initiative, the air cargo industry in Xinjiang will face unprecedented development opportunities and fierce market competition. This dissertation makes a comprehensive analysis of the influencing factors of the air cargo industry in Xinjiang by using the grey correlation theory to find out the main influencing factors of the air cargo transportation in Xinjiang. Based on the actual development of the air cargo industry in Xinjiang, the SWOT analysis method is employed to comprehensively analyzed the air cargo industry in Xinjiang from the internal advantages and disadvantages, external opportunities and threats, and the development strategy of air cargo transportation in Xinjiang is put forward on the basis of the analysis.

**Key words:** air cargo; “The Belt and Road” cooperation initiative; the grey correlation theory; the SWOT analysis



# 中小型风电测试场风力机优化布置方法的研究

包道日娜, 刘嘉文, 尚 伟, 王帅龙, 刘旭江

(内蒙古工业大学 能源与动力工程学院, 呼和浩特 010051)

**摘要:**针对中小型风电测试场的用途及风能资源的有效利用,提出了机位“梯形”和“分散”两种布置方案,基于 WAsP 软件进行两种方案下的年发电量和尾流损失计算,得出“分散布置”方案下年发电量、尾流损失均优于“梯形布置”。根据该地区盛行风向和第二主风向的特点,进行了两种不同方案的数值模拟,利用 CFD 数值模拟方法深入剖析尾流损失的具体原因,得出了机位之间尾流速度相互影响的关系,加入第三风向对机位作出调整,并最终得到了最优布置方案,将风电测试场的年发电量提高到了 142.323 MWh,风力机的尾流损失减少到了 0.219%。

**关键词:**中小型风力机;风电测试场;尾流损失;年发电量;最优布置

**中图分类号:**TK83 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0123-07

目前,我国风力发电技术已经较为发达,装机总容量占据世界市场份额的 33.6%,早在 2010 年就位列世界第一,超越了整个欧盟,并且我国风力发电装机量仍在持续上涨<sup>[1-2]</sup>。风力发电技术的长足进步离不开风电测试认证技术的支持,但随着风力发电技术的日益提高,我国风电测试认证技术的发展显得尤为不足<sup>[3-4]</sup>。在风电测试认证技术领域,除了风电测试场的微观选址,最重要的就是风力机的机位布置。良好的布置方案不但可以满足测试标准、缩小测试周期,还可以提高测试场的年发电量和风能利用率。

在风电测试场实际运行过程中,因不同机位布置方案引发的尾流损失是造成测试场测试周期较长和发电能力不足的一大因素,特别是在风资源相对匮乏的区域,尾流损失对风电测试场效益的影响更为严重。因此,通过优化风电测试场机位布置方案以减少尾流损失从而提高测试场效益引发了越来越广泛的关注。国内外学者在风电场风力机机位布置方面做了大量研究,取得了卓有成效的研究成果。文献[5]提出了一种通过优化风电场主风向上风机塔筒高度从而降低风电场尾流损失的方法,并用 Wasp10.0 软件验证了方法的有效性。文献[6]基于尾流损失影响,利用 Wind PRO 软件进行了风电机组排布优化,最终得到了一种尾流影响较小

的风电场风力机排布方案。文献[7]以高斯尾流模型为基础,通过粒子群优化算法对风电场风机布置进行了排布优化。相对于风电场机位优化布置研究,国内外在风电测试场风力机优化排布方面研究较少。为了弥补风电测试认证技术方面的缺陷,我国有关单位分别在内蒙古和山东策划并建立了中小型野外风电测试场。这一举措为风力机市场提供了强有力的监督手段,填补了我国中小型风电测试认证技术的空白。同时也推动了风力发电产业的发展<sup>[8]</sup>。为了缩短风电测试场测试周期并提高其经济效益,本文主要以东营沿海野外中小型风电测试场内风力机优化布置为研究目的,探究测试场风力机机位最优布置方法。

## 1 测试场机位初步布置方案

东营市中小型风力机测试认证中心位于黄河入海口三角洲地区,地势平坦,具备优良的风能资源<sup>[9]</sup>。依据 IEC 标准对六台被选风力发电机进行合理布置,该六台风力机机型分别为 5 kW 伞形风力机、10 kW 三叶片风力机、30 kW 三叶片风力机、100 kW 三叶片风力机、3 kW 五叶片风力机和 1.5 kW 五叶片风力机。风力机具体参数如表 1 所示。

对中小型风力机认证测试场进行全年风资源数据观测,并经过数据筛选得出当地每月风向玫瑰图。按照其分布规律可分为春夏秋冬四季的风向玫瑰图。

**收稿日期:**2020-02-17

**基金项目:**内蒙古工业大学科学研究项目基金资助(ZZ201805)。

**作者简介:**包道日娜(1976—),女(蒙古族),内蒙古兴安盟人,内蒙古工业大学能源与动力工程学院,教授,博士,研究方向:风能利用技术。

图 1 为中小型风电认证测试场一年之中四个季节的风向玫瑰图。由图 1(a)和(b)可知,SSE(南南东)方向为春夏两季的盛行风向,NE(北东)方向为春夏两季第二主风向。由图 1(c)和(d)可知,秋冬季节盛行风向在 157.5°~180°之间,第二主风向在 315°~337.5°之间。由图 2 全年风向玫瑰图可知,SSE(南南东)方向为全年盛行风向,NE(北东)方向为全年第二盛行风向。

表 1 被测风力机参数表

位置	容量(kW)	叶片长度(m)	叶片个数(个)	轮毂高度(m)
A	5	3	3	10
B	10	5	3	15
C	30	6.3	3	18
D	100	10.5	3	37
E	3	1.5	5	10
F	1.5	1	5	10

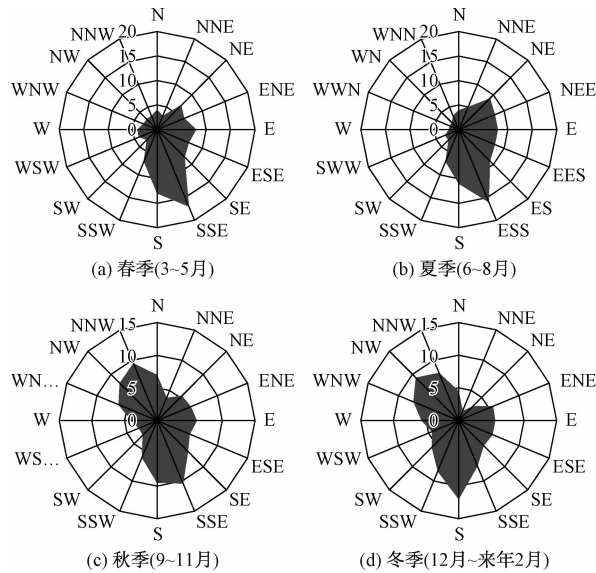


图 1 中小型风电认证测试场一年四个季节的风向玫瑰图

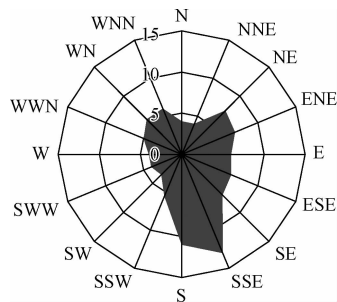


图 2 中小型风电认证测试场全年的风向玫瑰图

考虑到第二主风向和盛行风向的影响,结合 IEC 61400—12—1:2005《风力发电机组 功率特性测试》标准对给定轮毂高度、风轮直径的被选机型作出具体布置要求,提出“梯形布置”和“分散布置”两种测试场布置方案,如图 3 所示。

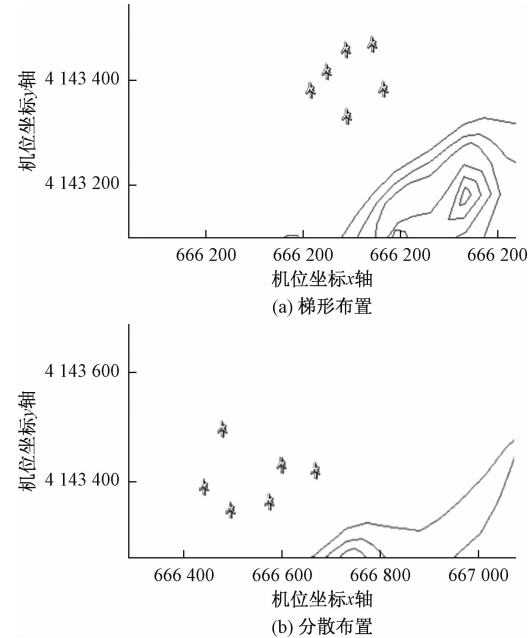


图 3 中小型风电测试场布置方案

根据春夏两季和秋冬两季风向分布规律,在 WAsP 软件中分别对两种布置方案进行年发电量和尾流损失的计算并汇入表 2。对比“分散布置”和“梯形布置”两种方案,无论春夏两季还是秋冬两季,“分散布置”方案下的总尾流损失因子较小,年发电量较大。继而结合全年测风数据对“分散布置”方案进行尾流损失和年发电量计算,得出风电测试场在使用“分散布置”方案时,尾流损失最低为 0.27%,年发电量最高为 142 MWh,因此将“分散布置”作为风电测试场的初步布置方案,并利用数值模拟的方法深入探究尾流损失的具体原因。

2 中小型风电场测试场布置方案分析

2.1 数值计算理论模型

依据实际情况,可利用非稳态的连续性方程来描述来流风<sup>[10]</sup>,可由式(1)所表述:

$$\begin{aligned} \text{div} u &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(uv) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(vu) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(wu) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) \end{aligned} \tag{1}$$

表 2 不同方案下测试场尾流损失及年发电量计算

机组	依据春夏季风向制定的布置方案的尾流损失因子/%		依据秋冬季风向制定的布置方案的尾流损失因子/%		依据全年风向制定的布置方案的尾流损失因子/%
	“分散布置”	“梯形布置”	“分散布置”	“梯形布置”	“分散布置”
A	0.582	0.992	0.91	1.783	0.582
B	0.469	0.364	0.723	1.79	0.469
C	0.267	0.333	0.154	0.252	0.267
D	0.019	0.082	0.006	0.013	0.019
E	0.444	0.345	2.372	1.045	0.444
F	0.687	0.594	2.721	0.823	0.687
总尾流损失(%)	0.273	0.291	0.324	0.572	0.273
年发电量(MWh)	142.264	140.212	140.311	140.273	142.264

式中:  $\rho$ —气流密度,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $t$ —时间,  $\text{s}$ ;  $u$ —速度矢量在  $x$  方向上的分量;  $v$ —速度矢量在  $y$  方向上的分量;  $w$ —速度矢量在  $z$  方向上的分量;  $\mu$ —动力粘性系数,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ;  $p$ —压力,  $\text{Pa}$ 。

在实际情况下, 流体密度往往是发生变化的, 此时可用如式(2)关系进行描述:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mu u) = \text{div}(\mu \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial x} + \\
 & \left[ -\frac{\partial(\rho \overline{u'^2})}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \overline{u'v'})}{\partial y} - \frac{\partial(\rho \overline{u'w'})}{\partial z} \right] + \\
 & s_u \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mu v) = \text{div}(\mu \text{grad} v) - \frac{\partial p}{\partial y} + \\
 & \left[ -\frac{\partial(\rho \overline{u'^2})}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \overline{u'v'})}{\partial y} - \frac{\partial(\rho \overline{u'w'})}{\partial z} \right] + \\
 & s_v \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mu w) = \text{div}(\mu \text{grad} w) - \frac{\partial p}{\partial z} + \\
 & \left[ -\frac{\partial(\rho \overline{u'^2})}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \overline{u'v'})}{\partial y} - \frac{\partial(\rho \overline{u'w'})}{\partial z} \right] + s_w
 \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $\rho$ —气流密度,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $t$ —时间,  $\text{s}$ ;  $u$ —速度矢量在  $x$  方向上的分量;  $v$ —速度矢量在  $y$  方向上的分量;  $w$ —速度矢量在  $z$  方向上的分量;  $\mu$ —动力粘性系数,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ;  $p$ —压力,  $\text{Pa}$ 。

## 2.2 数值模拟方案

利用 CFD 数值模拟的方法对尾流损失的具体原因进行验证分析。首先对测试场进行建模并导入六台风力机模型, 然后进行网格划分和设置边界条件, 经相关网格无关性验证得出, 当网格数从 700 万变至 900 万时, 网格数量的变化对计算结果的影响极小, 因此该网格数量可作为计算网格。最后利用 CFX 求解器进行求解。其中, 东南南(ESS)方向作为测试场盛行风向, 东北(NE)方向作为测试场第二主风向, 根据盛行风向和第二主风向的特点, 进行了两种不同方案的数值模拟来探究风机的尾流速度分布规律。具

体布置方案为方案一的入口为盛行风向, 出口为反方向。方案二的入口为第二主风向, 出口为反方向。如图 4 所示, (a)和(b)分别为方案一和方案二模型立体图, (c)和(d)为模型的俯视图, 图中多边形角点处为风力机安装位置。

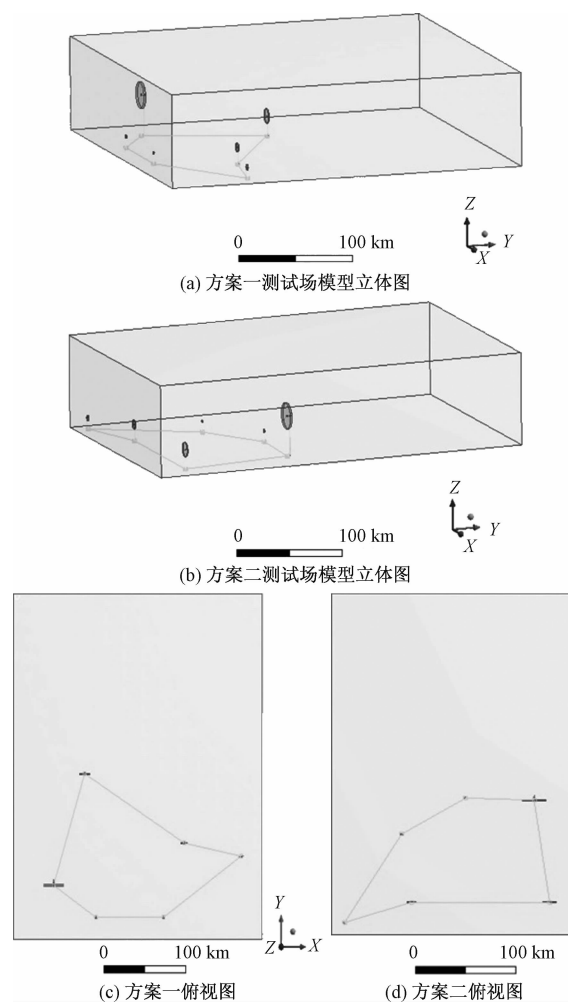


图 4 测试场模型图

不同方案下入口风向都与测试场模型的入口边界相垂直, 入口距离前排风力机长度均为  $2 D_t$  ( $D_t$  为

前排风力机的风轮直径)。出口距离后排风力机长度为  $14 D_b$  和  $9 D_b$  ( $D_b$  为出口处风力机的风轮直径, 由于方案二中后排风力机风轮直径大, 因此其尾流距离较长, 为了保证整体计算的准确性, 因此将该方案出口距离后排风力机长度设置为  $9 D_b$ )。两侧距离邻近两侧风力机的长度分别为  $2 D_{s1}$  和  $2 D_{s2}$  ( $D_{s1}$  和  $D_{s2}$  分别为左右两侧风力机的风轮直径)。测试场模型高为  $H_0 + H_b$  ( $H_0$  和  $H_b$  分别为容量最大风力机的轮毂高度和风轮直径)。

### 3 计算结果分析与验证

#### 3.1 不同方案下风力机尾流速度分布分析

经计算可得不同方案下风力机尾流速度分布曲线如图5所示。由图5(a)可看出六台风机尾流速度曲线分布趋势较为相似, 尾流速度均是从  $5D$  处开始恢复, 到  $18D$  处基本恢复至来流风速。由图5(b)方案二可得 A 机位和 E 机位风力机的尾流正常发挥, 速度曲线较为平滑, 但其余 B 机位、C 机位、D 机位和 F 机位风力机的尾流速度分布变化较为明显。

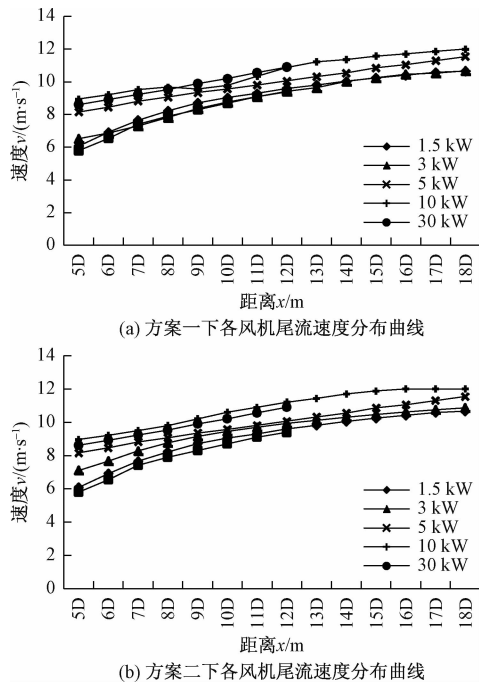


图5 不同方案下风机尾流速度分布曲线

为了分析得出上述方案中影响机位之间尾流速度的原因, 作出相互影响的 BF 机位和 CD 机位的布置方法简化图, 如图6所示。

图7为BF机位纵向的尾流速度分布图, 对比分析两种方案下的速度分布曲线。由图7(a)可知, B机位风力机尾流速度曲线在下游  $7D$  处突然开始变得平缓, 直到  $10D$  处速度才开始恢复上升趋势, 到  $18D$  处尾流速度基本上升到来流风速。结合图6 BF

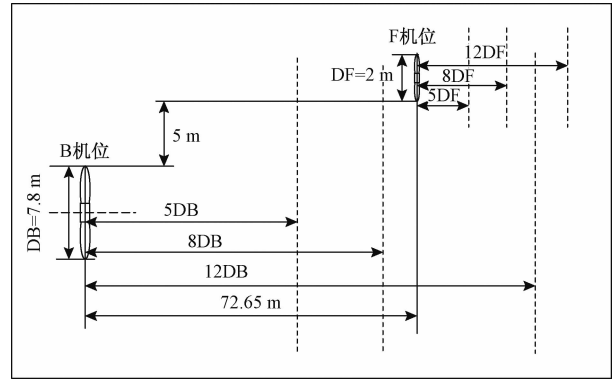


图6 BF机位位置简图

机位位置简图分析可知, 这是因为下风向  $7D$  到  $10D$  处 F 机位风轮的旋转对此区域内尾流速度的恢复造成了一定影响, 致使 B 机位风机尾流速度恢复在此区域内突然变得平缓, 虽然在  $10D$  处 B 机位尾流速度开始恢复, 但是 F 机位在此处的尾流发挥使得 B 机位尾流恢复减慢, 到  $18D$  处基本恢复至来流风速。由图7(b)可以看出, 相较于方案二, 方案一尾流速度曲线更为平滑, 结合图6可知, 这是因为 F 机位始终受到 B 机位的尾流干扰, 不但造成了 F 机位对风能的吸收比较消极, 而且造成了 F 机位的尾流速度出现波动, 影响了其尾流速度的恢复。

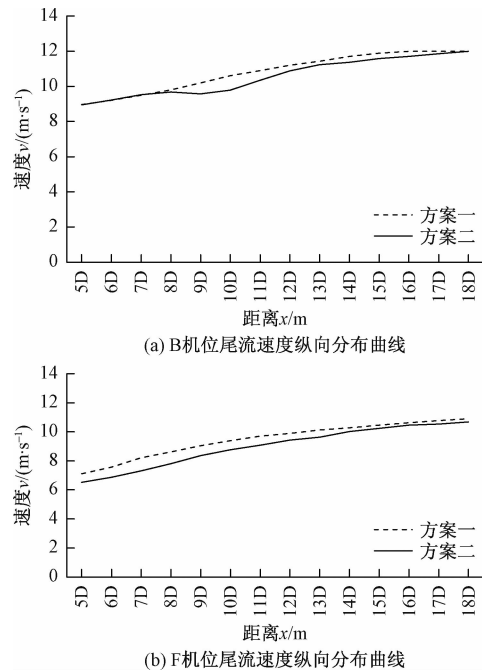


图7 BF机位纵向尾流速度分布曲线图

图8为BF机位横向的尾流速度分布图。由图8(a)可知, B机位下风向  $5D$  处速度曲线较为对称, 且速度变化区域在  $-0.75D$  到  $0.75D$  之间。下风向  $8D$  处的速度曲线从  $-1.5D$  处开始出现波动, 到

轮毂中心处呈现上升趋势,到  $0.5D$  处速度曲线恢复平稳。结合图 6 分析可知,因为此区域恰好处于 F 机位风轮旋转处,由于风轮的旋转对此区域造成扰动使得 B 机位风机尾流速度出现波动。B 机位下风向  $12D$  处受 F 机位尾流影响速度曲线从  $-1.5D$  开始呈现下降趋势,到  $-0.75D$  时,最低速度为  $10 \text{ m/s}$ 。但随后从  $-0.75D$  开始,B 机位进入到单独尾流区域,尾流速度开始恢复平稳。由图 8(b)可知,F 机位下风向  $5D$ 、 $8D$ 、 $12D$  处横向尾流速度变化较为相似,均是从  $-1D$  处开始下降,到轮毂中心处尾流速度降到最低,随后呈现上升趋势。但轮毂中心右侧速度始终低于左侧,由图 6 可知,这是因为 F 机位下风向  $0.75D$  到  $1.5D$  区域处于 B 机位尾流区域内,B 机位尾流发挥对 F 机位尾流速度恢复造成了干扰,使其尾流速度始终低于  $-1.5D$  到  $-0.75D$  的速度。

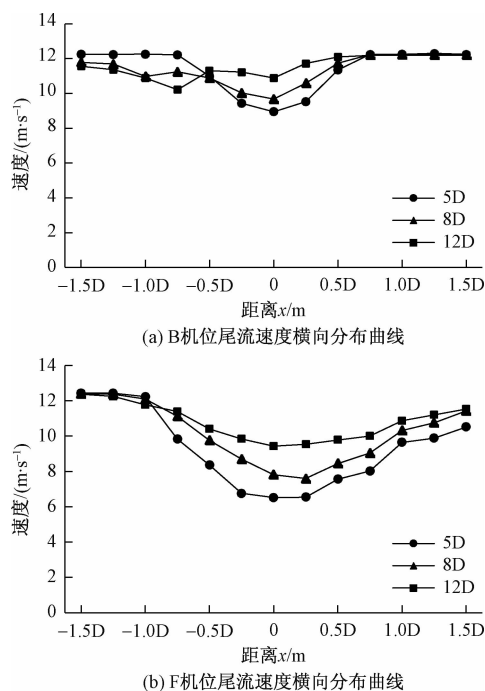


图 8 BF 机位下风向尾流速度横向分布曲线图

沿第二主风向 CD 机位位置简化图如图 9 所示。图 10 为 CD 机位尾流速度纵向分布曲线图。由图 10(a)可知,相较于方案一,方案二下的尾流速度曲线更为平滑。结合图 9 可知,这是因为 D 机位处于 C 机位的尾流区域内,D 机位风轮的旋转对周围空气产生了扰动,因此减慢了 C 机位尾流的恢复。由图 10(b)可知,在  $5D$  到  $7D$  处,方案二下的尾流速度略低于方案一,这是因为 D 机位位于 C 机位的尾流区域内,C 机位的尾流发挥不但使 D 机位对于风能的吸收极为被动,还造成了其尾流速度恢复减慢。

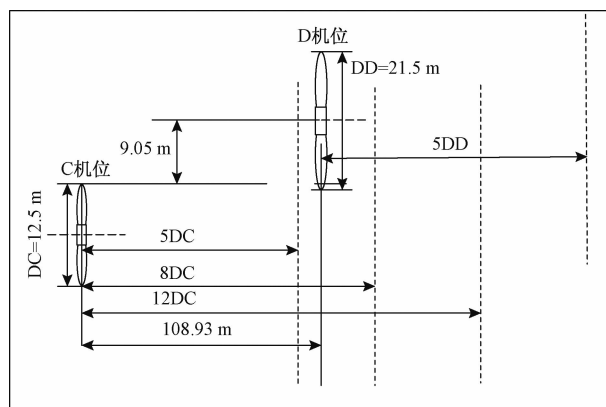


图 9 CD 机位风力机位置简图

但由于两机位距离较远,D 机位在下风向  $7D$  后尾流速度开始恢复正常。

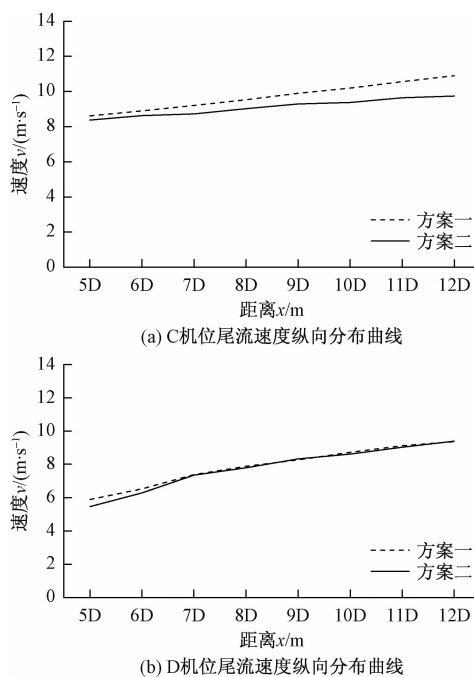


图 10 CD 机位尾流速度纵向分布曲线图

CD 机位尾流速度横向曲线图,如图 11 所示。由图 11(a)可得,C 机位下风向  $5D$ 、 $8D$  和  $12D$  处尾流速度从  $-1.5D$  开始均产生了波动,且整个横向尾流速度曲线为非对称分布,其中  $8D$  位置处的波动最为明显。这是因为 D 机位恰好位于 C 机位下风向  $5D$  和  $8D$  之间偏左侧的位置,由于 D 机位风轮吸收部分能量使得空气流速降低,再加上风轮的旋转对周围空气产生扰动,造成了此区域内湍流强度较大,因此 C 机位在此区域内的尾流速度波动较大。但在距离较远的  $12D$  处,C 机位受其尾流影响逐渐降低,尾流速度开始恢复。且轮毂中心右侧下风向不同位置处的尾流速度均恢复至来流风速。

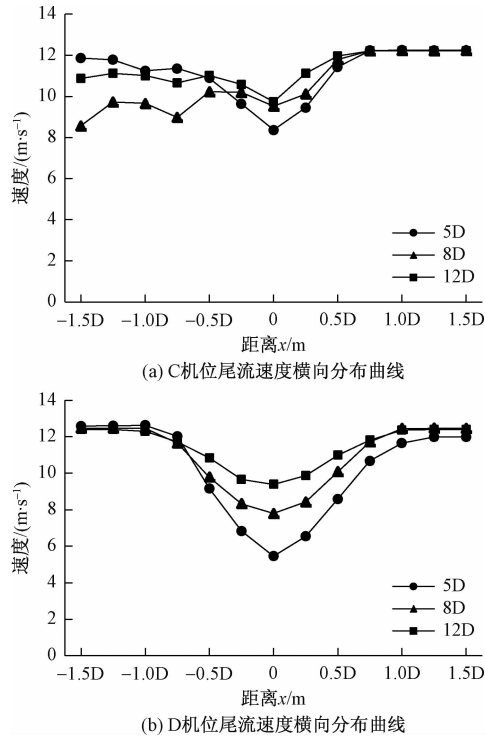


图11 CD机位下风向尾流速度横向分布曲线图

由图11(b)可知,D机位下风向不同位置处的横向尾流速度分布趋势都大体相似,且为对称分布。尾流速度均是从 $-1.5D$ 处开始下降,到轮毂中心处降为最低,随后开始恢复至来流风速。但其中5D处轮毂中心右侧速度略低于左侧,这是因为D机位处于C机位下风向偏左侧的位置,D机位右侧尾流速度恢复

受C机位尾流发挥的影响,但由于D机位风轮直径较大,其下风向5D处距离已经足够远,因此C机位的尾流速度在此位置已经基本恢复至来流风速,对D机位尾流速度影响极小。

### 3.2 中小型风电测试场优化方案提出与验证

在保证盛行风向下各机型尾流正常发挥,避免沿第二主风向BF机位和CD机位尾流相互影响的情况下,再加入WN(西北)风向来重新校准机位布置。得到如图12所示的测试场机位布置调整图,其中,虚线为初步方案机位连线,实线为调整后的机位连线。

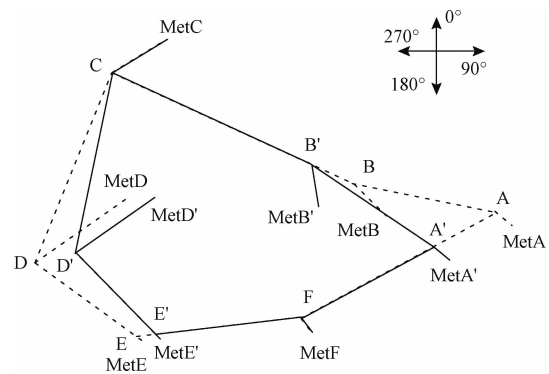


图12 测试场机位布置调整图

为验证重新调整后的机位布置的可行性,利用WAsP软件计算了调整后方案下的年发电量和尾流损失,结果如表3所示。可以看到,年发电量提高了142.323 MWh,尾流损失降低到0.219%。

表3 测试场最优布置方案下风力机尾流损失及发电量计算统计

机位		A	B	C	D	E	F	总和
发电量(MWh)	初步布置方案	9.054	23.782	66.817	35.675	3.591	3.327	142.246
	最优布置方案	9.075	23.788	66.857	35.676	3.593	3.334	142.323
尾流损失(%)	初步布置方案	0.582	0.469	0.267	0.019	0.444	0.687	0.273
	最优布置方案	0.352	0.445	0.207	0.016	0.389	0.479	0.219

由此可以确定,调整后的方案为最优布置方案,其中的尾流损失可能是其他风向的影响造成的。最终得出的最优布置方案,不仅增加了测试场的年发电量,而且还减少了风机的尾流损失。且该布置方案综合研究了盛行风向、第二主风向和第三风向下机位之间的尾流影响,提高了测试场的经济效益和风能的利用率,有效地缩短了风力机的测试周期。

## 4 结论

本文对不同类型的风力机在沿海野外中小型风电认证测试场中的机位布置进行了研究,依据该地区四季的风资源分布情况,对测试场的风力机布置提出“梯形”和“分散”两种布置方案,利用WAsP软件进

行年发电量和尾流损失的计算,得到其年发电量和尾流损失,将“分散布置”方案作为初步布置方案,为探究尾流损失的具体原因。利用CFD对其进行数值模拟计算,得到改方案下机位之间尾流相互影响的具体原因,并对其作出调整,并最终确定了最优布置方案,最优布置方案下年发电量从142.246 MWh增加到了142.323 MWh,尾流损失从0.273%减少到了0.219%。

## 参考文献

- [1] 佚名. 2018年中国风电行业发展趋势及市场前景预测[J]. 玻璃钢/复合材料, 2018(4): 113—114.

- [2] 吴忠群, 李佳, 田光宁. 世界风电政策的分类及其具体措施研究[J]. 华北电力大学学报: 社会科学版, 2017(6): 1—8.
- [3] 姚兴佳. 风力发电测试技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [4] 本刊编辑部. IEC 国际电工委员会概况及我国参与情况[J]. 日用电器, 2013(1): 15—17.
- [5] 刘晴晴, 王华君, 何昌国. 基于尾流效应的低风速地区风电场布局优化方法[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(1): 34—39.
- [6] 张翔, 张永刚, 尉孟涛. 基于尾流效应影响的风电场选址规划研究[J]. 工程技术研究, 2018, 28(12): 32—34.
- [7] 张忠伟, 姚秀萍, 常喜强. 基于高斯分布的尾流模型研究[J]. 风能, 2018(3): 66—69.
- [8] 尚伟. 中小型风电测试场风力机布置的优化设计研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2018.
- [9] 包道日娜, 霍亚楠, 尚伟. 基于 WAsP 对中小型风电测试场最优布置方案的研究[J]. 可再生能源, 2017, 35(2): 290—297.
- [10] 赵家瑜, 史绍平, 闫妹. 基于动网格对风力机尾流的数值模拟[J]. 太阳能学报, 2016, 37(12): 3170—3177.

## Research on Optimal Arrangement Method of Wind Turbines in Small and Medium Scale Wind Power Test Sites

BAO Dao-ri-na, LIU Jia-wen, SHANG Wei, WANG Shuai-long, LIU Xu-jiang  
(The College of Energy and Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** For the use of small and medium-sized wind power test sites and the effective use of wind energy resources, provided two layout plans: “trapezoidal layout” and “distributed layout”. Based on WAsP to simulate the annual generating capacity and wake losses for both plans. It is concluded that the annual generating capacity and wake loss of the “distributed layout” are better than the “trapezoidal layout”. Based on the characteristics of the prevailing wind direction and the second main wind direction in the area, carried out numerical simulation of two different plans. Using CFD numerical simulation method to deeply analyze the specific reasons of wake loss, obtained the relationship between the wake velocity interaction of the position, and the third wind direction is added to adjust the position, and finally got the optimal layout. The annual generating capacity of the wind power test site is increased to 142.323 MWh, and the wake loss of the wind turbine is reduced to 0.219%.

**Key words:** medium and small wind turbine; wind power test field; wake lose; annual power generation optimal layout

# 周跳探测法在北斗精度定位中的应用研究

黄 晋, 陈 清, 李保强

(中国民用航空飞行学院 空中交通管理学院, 四川 广汉 618307)

**摘要:**介绍了北斗卫星导航系统的发展现状以及北斗卫星的组成,运用载波相位测量卫星信号,得出卫星观测过程中存在卫星周跳现象。在此之后,解析了该卫星导航精度定位的误差来源,一共能够分成三种不同的类型,分别指的是:与该卫星自身有关联的误差;与其信号传播路径有关联的误差;与接收机以及测站有关联的误差。在此步骤结束之后,剖析了周跳的定义与特性,除此之外也分析了周跳对精密定位带来的影响。最终,通过仿真方法得到了有无周跳状况下的高次差法的影响。

**关键词:**北斗卫星导航系统;精度定位;周跳;高次差法

**中图分类号:**F562.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0130-05

## 1 北斗卫星导航系统研究现状及组成

如今的科技发展趋势极为迅猛,短短几十年的时间,全球卫星导航定位系统(GNSS)从初露锋芒,到发展壮大。随着技术的成熟,卫星导航系统的工作重心已经从军事应用转移到民用领域,现在,已经扩大到国民日常的生活和工作中。导航定位系统产业链从原来的由个别发达国家垄断,逐步扩展成为全球性产业<sup>[1]</sup>。

为了保障我国国防安全 and 经济安全,我国一直在研究符合我国的卫星导航系统。如今,随着北斗卫星导航系统(BDS)建成并应用后,国内专家从各方面提出了整改建议和措施,从而使北斗系统的性能得到不断增强完善。如今导航定位系统设备已应用到包括气象预报,民航运输,水文监督和电力调度等领域。预估到 2021 年之前,全球都将覆盖 BDS<sup>[2]</sup>。

作为我国新兴的强军强国战略产业之一,我国正不断加紧完善对北斗导航系统的关键技术研究,提升 BDS 的成熟度。随着北斗应用领域的越来越宽广,国家和人们对北斗定位精度的要求也相应提高。提高 BDS 定位精度中,有两大难题需要克服,分别是周跳探测与修复和整周模糊度的解算<sup>[3]</sup>。实际上,周跳探测与修复还有整周模糊度的解算研究在一般情况下都是针对美国的 GPS 展开的,鉴于北斗与 GPS 在频率参数,星座分布等存在不同的地方,无法直接利

用 GPS 的方法和原有的研究。目前,我国正大力开展提高北斗系统高精度算法的研究。

BDS 主要包括以下三部分组成:

1)空间段:此部分涵盖的中地球(GEO)轨道卫星与地球静止轨道卫星(MEO)分别达到了 27 颗与 5 颗,除此之外,亦有倾斜同步轨道卫星共计 3 颗<sup>[4]</sup>。

2)地面运行控制段:在此部分中涉及到了诸多主控制站和时间同步站,除此之外还含有监测站等几十个地面站<sup>[5]</sup>。主控制站从其所含的监测站记录手机全部实时数据,进行分析处理,实施调度卫星的最终目的。

3)用户系统段:主要是指使用北斗的终端部分(这里主要是指接收机)。随着北斗技术的不断发展,接收机的种类和接收能力也在发生变化,能应用在各种部队提供导航定位服务,并且能与 GBAS 等其它导航系统兼容。

## 2 北斗卫星精密定位的测量原理

载波相位测量。观察下述公式(1),假定  $\varphi_s$  表示 A 卫星所发射的信号在卫星处的相位,而  $\varphi_M$  表示地面站所接收到的相位, $\rho$  表示 B 星站所处的距离,则  $\rho$  大致为下述公式所示:

$$\rho = \lambda(\varphi_s - \varphi_M) \quad (1)$$

结合上述的公式,不难发现  $\lambda$  指的是信号的波长, $\varphi_M$ 指的是整周部分里载波相位值, $\varphi_s$ 指的是非

收稿日期:2020-02-28

**作者简介:**黄晋(1973—),男,四川广汉人,中国民用航空飞行学院空中交通管理学院,导航工程教研室主任,教授,交通运输规划与管理硕士,研究方向:飞行程序设计、通信导航;通讯作者:陈清(1993—),男,山东临沂人,中国民用航空飞行学院空中交通管理学院,硕士研究生。



上述部分中,该波的相位值。但是,非整周部分的载波相位值在实际中我们测不到,所以通常用信号发射机发射一个与  $\varphi_s$  频率相同的基准信号  $\varphi$  来代替  $\varphi_s$ 。因此,在  $t$  时刻,  $\varphi(t) = \varphi_s(t)$ 。那么距离量  $\rho$  可以大致表示为:

$$\rho = \lambda[\varphi(t) - \varphi_s] \quad (2)$$

在测量载波相位过程中,载波相位差由整数周部分  $N_0$  和非整数周部分  $N^0(\varphi)$  组成。鉴于载波属于正弦波,故而想要直接的识别误差所处的详细位置是不可取的,在这种情况下,  $N_0$  是不能直接测定出来的。我们称这种情况为整周模糊度<sup>[6]</sup>。若以符号  $\varphi$  表示  $t_i$  时刻的相位观测值,则:

$$\tilde{\varphi} = f^i(\varphi) + dN_i \quad (3)$$

当接收机不间断跟踪 A 卫星信号时,所有的单位测量时间内都包含同样的整周模糊度  $N_0$ 。在  $t_i$  时刻下,该波的相位观测值可表位成下述公式所示:

$$\varphi = N_0 + \tilde{\varphi} = N_0 + f^i(\varphi) + dN_i \quad (4)$$

一旦信号发生了中断的状况以后,计数仪便不会继续记录相应的整数周数据,故而人们称呼此部分整数周为周跳<sup>[7]</sup>。观察图 1 所示可掌握该波相位观测量情况。

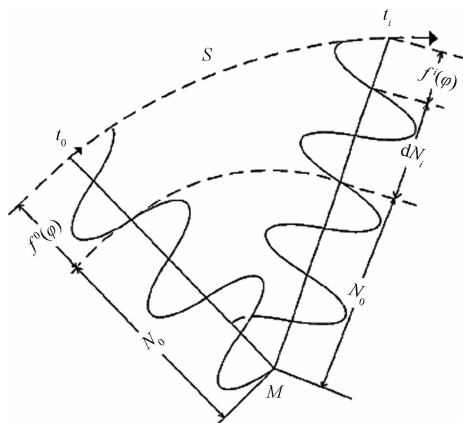


图 1 载波相位观测量图

除了周跳会存在之外,整周模糊度亦会存在,甚至还可能出现其余的误差,考虑到误差的问题,该机器与卫星的载波相位观测方程,如下所示:

$$\varphi_{i,k}^j = \frac{f_k}{c} [\rho_i^j + d\rho_i^j - \theta_{ik} I_{i,k}^j + T_i^j + M_{i,k}^j] + N_{i,k}^j + f(\delta t_i + \delta t^j) + \epsilon_\varphi \quad (5)$$

由于频率  $f$  和波长  $\lambda$  满足  $\lambda = c/f$ ,  $c$  表示光速。因此式(5)也可表示为:

$$\varphi_{i,k}^j = \lambda_k \varphi_{i,k}^j = \rho_i^j + d\rho_i^j - \theta_{ik} I_{i,k}^j + T_i^j + M_{i,k}^j + \lambda_k N_{i,k}^j + c(\delta t_i + \delta t^j) + \epsilon_\varphi \quad (6)$$

观察上文所述的两个公式,  $\varphi$  与  $\varphi_s$  指的是卫星与该机器两者之间的载波相位观测值,  $\lambda k$  指的是频点  $Bk$  中的波长;  $f k$  为  $Bk$  上的频率。  $N$  为整周模糊度;  $\epsilon_\phi$  和  $\epsilon_\varphi$  为载波相位观测误差;其余字母均与前文表示相同。

用载波相位对北斗卫星进行精密定位,从理论而言,精度可达到毫米级别,但是从公式(5)和(6)可知,在载波相位测量时会受到多种因素的影响,使测量数据不精确。为了提高定位精度,前人通过建立数学修正模型,研究产生的误差规律,对误差进行修正。但是,前人所建立的数学修正模型往往计算量很大<sup>[8]</sup>。

### 3 北斗卫星导航定位精度的误差分析

对北斗定位的分析不难得知,误差普遍存在于使用北斗卫星进行定位导航的过程当中。站在误差的角度上思考,这能够细分为系统与偶然误差。后者的影响比前者更低一些。以误差的数量级来对比,北斗导航定位中偶然因素造成的误差可以忽略。在下文中,本文将误差分成了三大类型,如下所述。

#### 3.1 与北斗卫星自身相关的误差

星历误差是由观测卫星所在位置来确定的误差。星历误差主要是受来北斗卫星地面监测站的数量、使用的数学模型精确度等误差因素影响。星历类型包括两种:分别是广播星历以及实测星历<sup>[9]</sup>。前者指的是信号在传递的时候,传递导航电文里涵盖的信息,此类信息一开始的时候是从卫星中心获取的,接着对观测到的数据执行递推处理的操作,从而得到预报星历,再把信息发送给使用者。考虑到条件带来的影响,某些处于卫星中的摄动变化,认知难以彻底,故而会存在一些偏差。而我们利用实测数据拟合得到的结果精度相对较高,但是获得实测数据消耗的时间过长。

1) 卫星钟差。当原子钟出现了变化之后,钟时间与基准时间会出现差值,这指的就是卫星钟差。因为北斗卫星相对地面在不停在发生位置变化,因此只有精确的获取到那一刻的瞬时时间,卫星定位的结果才有意义。卫星钟差里同样也存在系统和随机误差。由于受到目前的技术限制,计算后卫星改正精度限制在 5 ns 到 10 ns 之间<sup>[10]</sup>。但是这些误差仍然会引起定位上 1.5 m 到 3 m 左右的误差。因此,当我们有进行精密定位需求时,常用的方法是通过差分法或事后使用精密卫星钟差产品。

2) 相对论效应。考虑到此效应带来的影响,卫星与该机器之间的钟频率进行对比后,某些情况下会存

在频率偏移的现象。故而在正式的发射卫星以前,需要将标准频率予以调整,将该频率减小到合适的值方可。尽管残余频偏依旧存在着,然而能够基本上保证两者的频率是一致的。

### 3.2 与卫星信号传播路径相关的误差

1) 电离层折射延迟误差。站在电离层的角度上思考,其距离地面的高度大约是 50~1 000 km,该层中存在的大气分子会受到诸多来自于天体的射线照射,从而出现显著的电离现象。此现象能够产生海量的正离子以及自由电子<sup>[11]</sup>。考虑到这种情况,信号在传输至该层的时候,会发生路径上的变化。速率也会有一定的变化。此时不能再利传统的计算公式来计算信号传输的距离。观察下述公式,指的是在去除高阶电离层影响之后,信号在该层延时的距离误差:

$$dP_{ion} = -\frac{40.28}{f^2} TEC \quad (7)$$

$$d\Phi_{ion} = +\frac{40.28}{f^2} TEC \quad (8)$$

结合上文所述的两个公式,  $dP_{ion}$  以及  $d\Phi_{ion}$  分别指的是伪距离、载波相位测量的该层的延迟距离偏差<sup>[12]</sup>。其中, TEC 表示电子含量, Ne 表示电子密度。

根据这两个公式不难发现,延时会受到电子分布与电子含量的影响。后者与太阳活动的大小等因素有着密不可分的联系。如今尚不存在标准的数学模型予以表述。现在所有的卫星定位大部分采用的是差分定位技术和双频接收技术来降低电离层折射延迟导致的定位精度偏差。

2) 多径效应误差。对于该机器与天线而言,当这两者正式接收信号的时候,其周边的物体对信号产生一定的阻碍与反射的作用,这就是多径效应误差。在大多数情况下,给该机器设点的时候,人们都会尽可能的规避信号反射面,来降低或避免误差。

### 3.3 与接收机和测站有关的误差

1) 观测误差。观测误差属于偶然误差。其会受到接收机的软、硬件等因素带来的影响,长期观测条件下,观测量越大该误差的影响也越低,总体呈正相关。

2) 接收机钟差。该机器在一般情况下会装备石英钟,此钟的显著特征就是在短暂的时间内具备着很强的稳定性。倘使每一个历元的该机器的钟差均具备相对独立性,那么可将相同地面观测站中,钟差予

以求解并消除。

3) 相位中心位置误差。对于此卫星而言,其获取的定位观测值的参考点全部是接收机天线相位中心。在实际应用中,我们发现天线的相位中心会受到所接受信号的强度和信号对准的方向这些因素的影响,使得相位中心位置偏离体现几何中心。实际采用解决办法是利用事先确定校准过的修正模型来消除相位中心位置误差影响。

观察图 2 所示,可掌握该卫星导航系统的误差来源的情况。

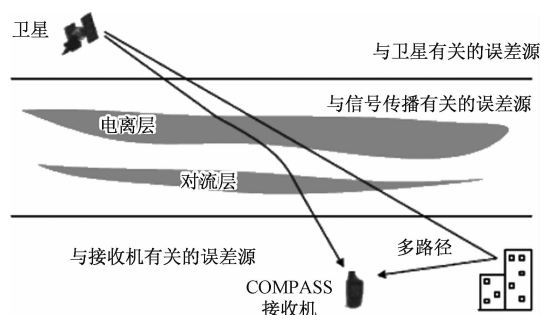


图2 北斗卫星导航系统测量误差来源

## 4 周跳

根据前一部分所述,接收机能够持续性的追踪信号,追踪后亦能够记录时间段内,载波相位整周数具体变化的情况。需要注意的是,依旧会有难以确定的因素带来影响,导致两个单位历元间,该整周数的变化情况无法被详细清晰的记录下来,此变化现象指的就是周跳的现象<sup>[13]</sup>。结合下图 3 所示,可以掌握这种现象详细的示意图,不难发现,在该现象正式出现以前,相位观测值属于连续性的曲线,而在该现象出现以后,此线的平滑性迅速的停止下来,有一个跳变产生。

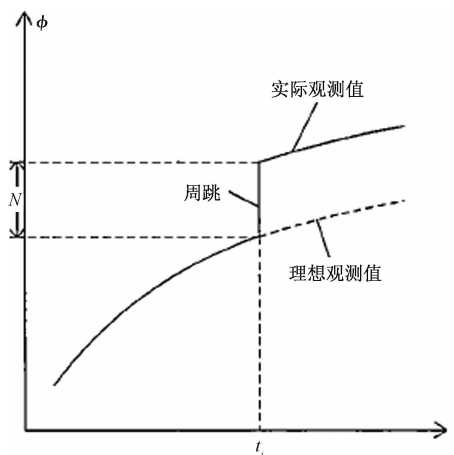


图3 周跳示意图

4.1 周跳对精密定位的影响

如今的科学技术发展呈风驰云走的趋势,不足整周的部分能够测定出时间位置,需要注意的是,唯有人们知晓该整周数的变化数值,才能够达到精密定位的实际意义。出现 10 周以上的周跳时,探测便轻而易举,然而处于 5 周之下的话,探测难度就会直线上升。根据数据统计,发生 1 周的周跳,经度影响是 4~7 厘米,纬度影响为 11~19 厘米,高度影响为 15~17 厘米。由此我们可以看出周跳对的测量精度会产生非常大的影响,所以必须提前探测出周跳发生的位置和发生的时间,并加以修复周跳。

4.2 高次差法在周跳探测与修复的应用

根据图 3 不难发现,伴随着卫星与该机器两者的距离产生了变化以后,该相位值亦会有所变化,由于北斗卫星在一秒内可以发生几千周计数变化值,当存在仅仅几周周跳时,难以直接察觉出周跳变化。站在高次差法的角度上思考,这种方法的原理是先根据对两个邻近历元间的观测值展开求差的计算,接着对存在的差值予以对比,获取周跳出现的时间,还有出现的具体地方。在展开一次求差计算的时候,实际上就等于历元间平均视向速度  $d\rho/dt$  与采样周期  $T$  这两者之间的乘积<sup>[14]</sup>。得到的

值如果变化非常缓慢,那么就表明周跳的频率非常低。对观测值展开四次求差计算的时候,得到的结果将接近零,需要注意的是,得到的结果会存在一定的偶然性,这是因为该机器的振荡器亦会带来影响。

观察下表 1 所示,表格给出了上述方法对周跳带来的影响,从  $t_5$  历元伊始,会产生  $\epsilon$  大的值,执行四次求差的操作之后,在  $t_6$ 、 $t_7$  历元中,周跳值扩大了三倍,因为值的扩大,便更有利于人们去尽早的发现周跳值。

表 1 高次差法对周跳的影响

历元序号	$\varphi$	1 次差	2 次差	3 次差	4 次差
$t_1$	0	—	—	—	—
$t_2$	0	0	—	—	—
$t_3$	0	0	0	—	—
$t_4$	0	0	0	0	—
$t_5$	$\epsilon$	$\epsilon$	$\epsilon$	$\epsilon$	$\epsilon$
$t_6$	$\epsilon$	0	$-\epsilon$	$-2\epsilon$	$-3\epsilon$
$t_7$	$\epsilon$	0	0	$\epsilon$	$3\epsilon$

在此次设计中,本人选取了一组没有周跳情况下的 高次差影响,两次采样的时间间隔为 1S,表 2 给出的是没有发生周跳的高次差法的结果。

表 2 无周跳情况下的高次差影响

历元	相对观测值	1 次差	2 次差	3 次差	4 次差
80	-589 110.189 7	—	—	—	—
81	-589 137.675	-24.248	—	—	—
82	-589 162.205 5	-24.928	1.41	—	—
83	-589 146.603 5	-24.721	0.442	-0.986	—
84	-589 212.537 5	-25.615	-1.128	-1.489	-0.507
85	-589 237.495 5	-25.279	0.832	1.756	3.374
86	-589 262.876 5	-24.238	0.243	-0.374	-1.931
87	-589 287.457 4	-24.724	0.479	0.467	0.78
88	-589 311.605 5	-24.138	-0.048	-0.487	-0.872
89	-589 142.606 2	-24.793	-1.032	-0.507	-0.387

观察上表 2 所示,不难发现因为钟差以及大气层带来的影响,即使执行了四次求差的操作,也依旧存在着某些值并不是零的情况,假设接收机钟短期稳定性是  $6 \times 10^{-10}$ ,那么当两次采样的时间间隔为 1 s 时,钟差会对观测值带来影响,影响的值是 0.78 周左右。处于相同的时间段内,倘使大气层的活动非常的强烈,电离层与对流层误差亦会带来显著的影响。当采样间隔是两秒钟的时候,并不能探测出一周之内的周跳变化情况。对相位观测值而言,在其做了四次以

上差后依旧有不小的值,而且大致呈现 3:-3:1 的状态,就足以表明该值中存在周跳。所以这种方法仅仅能探测出高采样率情况下,比较大的(通常为五周以上)的周跳<sup>[15]</sup>。

从第 86 历元里附加 10 整数周的周跳以后,便能够获取如下表 3 所示的结果。有 \* 的数指的是此处出现周跳现象,通过表 3 我们可以得知,在求差的过程中,周跳在被逐渐放大。在经过了求差以后,能够获取周跳出现的时间与大小。

表 3 有周跳情况下的高次差影响

历元	相对观测值	1 次差	2 次差	3 次差	4 次差
80	−589 110.189 7	—	—	—	—
81	−589 137.675	−24.248	—	—	—
82	−589 162.205 5	−24.928	1.41	—	—
83	−589 146.603 5	−24.721	0.442	−0.986	—
84	−589 212.537 5	−25.615	−1.128	−1.489	−0.507
85	−589 237.495 5	−25.279	0.832	1.756	3.374
86	−589 262.876 5*	−24.238*	10.186*	9.814*	8.098*
87	−589 287.457 4*	−24.724*	−9.436*	−18.862*	−29.421*
88	−589 311.605 5*	−24.138*	−0.048	9.422*	29.146*
89	−58 942.606 2*	−24.793*	−1.032	−1.461*	−10.529*

结合上述的数值予以解析后不难发现,对于高次差而言,这种方法实际上仅仅适用于较小的范围,与此同时亦只能够在静态、高采样率的情况下展开探测。无法探测持续性的周跳。如果使用星间双差方法去观测数值,尽管能够对钟差带来的影响予以消除,然而却无法明确究竟是哪颗卫星的信号出现了周跳。

参考文献

[1] 张孟阳. “北斗”卫星导航系统应用发展综述[J]. 国际太空, 2009(11): 27—31.

[2] 应振华, 尹清卿. 移动互联网时代中的卫星应用[J]. 卫星应用, 2015(5): 61—63.

[3] 乔雪峰. 带你认识中国北斗卫星导航系统[J]. 珠江水运, 2015(15): 22—24.

[4] 马景金, 赵金忠, 李世宝. 中国卫星导航系统发展现状及应用前景展望[J]. 地矿测绘, 2013, 29(1): 44—45.

[5] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 1—6.

[6] 周巍. 北斗卫星导航系统精密定位理论方法研究与实现[D].

郑州: 解放军信息工程大学, 2013.

[7] 张家慧. 基于载波相位实时动态差分的 GPS 精确定位系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2015.

[8] 胡刚, 马昕, 范秋燕. 北斗卫星导航系统在海洋渔业上的应用[J]. 渔业现代化, 2010, 37(1): 60—62.

[9] 何运成. 北斗系统在我国民航领域应用现状及发展前景[J]. 卫星应用, 2019(9): 19—24.

[10] BLEWITT G. An automatic editing algorithm for GPS data [J]. Geophysical Research Letters, 1990, 17(3): 199—202.

[11] BASTOS L, LANDAU H. Fixing cycleslips in dual—frequency kinematic GPS applications using Kalman filtering [J]. Mark Twain Journal, 1988(1): 7.

[12] 布金伟. 多模 GNSS 精密单点定位精度分析与比较[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.

[13] 许岭峰. 北斗三频精密单点定位技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2017.

[14] 王趁香. GPS/BDS 精密单点定位算法研究与实现[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2017.

[15] 汪洋. GNSS 周跳探测与修复的算法研究与程序实现[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.

Research on the Application of Cycle Slip Detection in Beidou Precision Positioning

HUANG Jin, CHEN Qing, LI Bao-qiang

(Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618300, China)

**Abstract:** This article introduces the development status of Beidou satellite navigation system and the composition of Beidou satellites. Using carrier phase to measure satellite signals, it is concluded that there is a satellite cycle slip phenomenon during satellite observation. Then further analyze the sources of errors in Beidou satellite navigation precision positioning, which can be divided into the following three categories: errors related to Beidou satellites themselves, errors related to satellite signal propagation paths, and errors related to receivers and stations. Then analyze the definition and characteristics of cycle slip and the effect of cycle slip on precision positioning. Finally, the influence of high order difference method with or without cycle slip is obtained by simulation method.

**Key words:** Beidou satellite navigation system; precision positioning; cycle slip; high-order difference method

# 怀衡铁路运营合理分工与旅客列车开行方案优化设计

李俊<sup>1</sup>, 李夏苗<sup>2</sup>

(1. 中国铁路广州局集团有限公司, 广州 510088; 2. 中南大学 交通运输工程学院, 长沙 410075)

**摘要:**怀衡铁路是2008年12月开通客运运营的快速铁路,优化运输组织对提高其运营效益有重要作用。在对怀衡铁路的线路情况、路网位置和沿线地区经济社会状况分析的基础上,论述了怀衡铁路的路网分工和列车开行方案优化的原则与方法,结合路网已有关联旅客列车开行情况与沿线客流条件,从跨线列车、半跨线列车、本线列车三个层次优化设计了相应的列车开行方案,优化方案符合怀衡铁路的客流实际,部分结论已应用到新制定的列车运行图中。最后,对进一步提升怀衡铁路的运营效益提出了相应的建议。

**关键词:**怀衡铁路;线路分工;列车开行方案;优化设计

**中图分类号:**U292.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0135-06

2018年12月怀衡铁路正式开通客运运营,是湖南省境内一条东西走向的大能力运输通道,将西南、东南部间的高速铁路、普速铁路沟通联系为整体,湖南的铁路运输网络更加完善。合理确定怀衡铁路的运营分工和优化旅客列车开行方案,既有利于发挥新建铁路的经济与社会效益,也有助于提高湖南省中西部铁路网及关联线路的运输效果。

## 1 怀邵衡铁路概况

### 1.1 线路情况

该线西起焦柳线怀化西编组站,东至衡茶吉线颜家垄站,自湖南省西北部的怀化市,沿东南方向经邵阳市至衡阳市,沿途经过14个县(区)。全线共设怀化西编组站(在建)、怀化南怀邵衡场、杨村所、安江东、月溪、洞口、隆回西、隆回、邵阳西、邵阳、邵阳东、邵东、杨桥、库宗桥、西渡、松木、咸塘、长塘所、颜家垄共17个车站、2个线路所。最大站间距29.992 km(邵东~杨桥),最小站间距9.788 km(邵阳站~邵阳东站),平均站间距22.9 km。

怀邵衡铁路主要技术标准<sup>[1]</sup>:

- 1) 铁路等级:电气化Ⅰ级铁路;
- 2) 正线数目:双线;
- 3) 设计行车速度:200 km/h;
- 4) 机车类型:货机HXD3,客车:SS9、动车组;

5) 牵引定数:4 000 t;

6) 到发线有效长度:850 m(双机880 m);

7) 闭塞类型:自动闭塞。

### 1.2 在路网的地位与特征

怀衡铁路连通了京广、沪昆高速线和京广、渝怀、焦柳、益湛、衡柳线共7条线路,向东连接吉衡线、京九、赣瑞龙线,直达东南沿海,是连接西南地区、西北地区至东南沿海地区和珠三角地区一条快捷运输通道,也是一条重要的国土开发和旅游观光线。线路开通运营显著地提升了怀化、邵阳和衡阳市的交通区位优势。

### 1.3 沿线主要地区经济社会状况

2018年,怀衡铁路沿线三市常住人口1 984.91万人,三市共完成GDP 6 341.95亿元,占湖南全省的17.4%;三次产业结构为20.5:40.8:38.6,第一产业比重较高,第二、三产业比重较低,沿线地区农业基础较好,但工业、服务业等发展相对滞后。

沿线所处湘西南地区也是江南丘陵向云贵高原的过渡地带,雪峰山脉横亘其中,丹霞和喀斯特地貌均有分布,旅游资源十分丰富,拥有众多的自然景观、人文景观和名胜古迹。2018年沿线三市共接待游客14 986.53万人次,占湖南全省接待游客总量的23.8%、旅游总收入占18.5%。

**收稿日期:**2020-01-19

**基金项目:**中国铁路广州局集团有限公司科技研究项目(2018K109-Y)。

**作者简介:**李俊(1971—),男,广东广州人,中国铁路广州局集团有限公司运输部,总工,高级工程师,硕士,研究方向:铁路运输管理;李夏苗(1963—),男,湖南茶陵人,中南大学交通运输工程学院,教授,博士,研究方向:铁路运输管理、系统分析与优化研究。

表 1 怀衡铁路沿线三市 2018 年经济社会主要指标<sup>[2]</sup>

地区/指标	常住人口	城镇化率	GDP	人均 GDP	城镇居民 人均可 支配收入	城镇居民人 均可支配收 入增长率	农村居民 人均可支 配收入	农村居民人 均可支配 收入增长率
	万人	%	亿元	万元	元	%	元	%
怀化市	523.52	47.75	1 513.27	30 449	26 703	9.0	9 811	11.1
邵阳市	737.05	47.49	1 782.65	24 178	27 167	8.5	11 857	10.2
衡阳市	724.34	53.61	3 046.03	43 233	33 741	7.8	18 250	8.3
三市合计	1 984.91	—	6 341.95	32 232	26 942.3	—	12 146	—
湖南省	6 898.8	56.02	36 425.8	52 949	33 213	5.1	12 701	6.9
占全省百分比/%	28.8	—	17.4	61.6	87.9	—	1.10	—

1.4 线路定位与基本分工

怀衡铁路是连接西南地区与珠三角及东南沿海地区的快捷铁路运输通道的重要组成部分,本线既衔接高标准的客运专线又衔接普速铁路,线路定位为客货并重的快速区域铁路干线。

线路以输送西南地区与珠三角及东南沿海间的长途跨线客流为主,其次为怀化、邵阳地区与珠三角及东南沿海间的客流。开行的客车主要为成都、重庆(其次怀化、邵阳)与广州、深圳、厦门等城市间的列车,以跨线客车为主。

2 线路合理分工与客车开行方案优化的原则与方法

线路合理分工的目的是区域路网关联线路上客流组织使得线路的效能得到充分利用、客流得到更高效用的输送,实现运营企业增加收入、旅客降低出行成本。客车开行方案优化的目的是在合理的线路分工前提下,依据客流的结构与规模,合理利用铁路运输资源组织旅客列车输送,实现客运综合效果最大化。

2.1 优化原则

从列车开行方案的内涵可知,线路分工的具体内容包含在列车开行方案之中。线路合理分工与列车开行方案优化的原则主要是<sup>[3]</sup>:

- 1)以铁路线路资源可用性为基本条件,旅客列车开行方案分析基于怀化枢纽联络线修建好考虑。
- 2)以已有旅客列车开行方案作为客流分析的基础,优化开行方案能最大化铁路客运效益。
- 3)旅客列车开行方案要符合客流特点,尽量提高列车开行的综合效用。

2.2 优化方法

分析可知,怀衡铁路的旅客列车开行方案优化是一个多目标问题,既要考虑铁路企业运营效益又要考虑旅客的综合效益。一般优化过程是以客流为依据、

旅客列车开行条件为约束,优化开行方案。

怀衡铁路的客车开行方案可分为 3 部分:一是跨线列车方案(列车的始发、终到站都不在本线范围内);二是部分跨线(简称半跨线)列车方案(列车的始发或终到站只有一个在本线范围内);三是本线列车方案(列车的始发站或终到站都在在本线范围内)。

怀衡铁路旅客列车开行方案问题可分三个部分分析。跨线列车的方案主要是优化列车的运行路径;本线与半跨线列车的方案是分析的主要内容。

考虑到怀衡铁路旅客列车开行方案的特征,方案优化是在可能方案中选优。故此,列车开行方案优化采用帕累托选优的原理。即,以增加目标函数为导向,在不减少关联方利益的前提下设计可行且目标值最大的方案<sup>[3]</sup>。

1)优化设计目标。列车开行方案优化目标主要考虑铁路运营方和旅客方的利益。即:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= F_{\text{铁}} + F_{\text{客}} \\ \text{s. t. } &\{\text{列车开行方案可行}\} \end{aligned}$$

(1)

式中, $F_{\text{铁}}$ 表示铁路运营企业的利益; $F_{\text{客}}$ 表示旅客的综合效益。

2)优化设计策略。铁路运输企业的主要效益因素:①川渝、云贵和湘西北与珠三角间的普速直通旅客径路调整,减少普速京广铁路株洲—衡阳间能力占用;同时缩短列车运行距离 250 km 以上。高铁旅客列车径路调整,即京广高铁长衡段的能力占用,缩短湘西至广州、深圳间列车运行距离 100 km 以上。②增加了湘西南、湘中与长株潭间铁路联系通道,以及湘西南与广州、深圳间铁路联系可增加旅客发送量。

旅客出行的主要效益因素:①川渝、云贵、湘西、湘中与珠三角地区间旅客出行,高速列车出行减少 1 h、普速列车出行减少 3 h。②湘西南、湘中地区与长株潭间、广州和深圳间联系更加方便,相对公路运输

旅客出行广义费用减少。

优化设计策略。结合湖南省境内主要铁路线路的运营的实际,从提高路网总体效能的角度,怀衡铁路列车开行方案优化的策略是:①因为“长沙/株洲——衡阳”间普速铁路、高速铁路的能力释放,就可增开路网上其他的旅客列车、增加运营收入;尽可能减少通过普速京广铁路和高速京广铁路“长沙/株洲——衡阳”间的列车流,以缓解其通过能力的压力<sup>[4]</sup>。

②保证不同线路区域间铁路客运直达服务网络的覆盖;客运服务网络的覆盖是客源的基础,同时也是为社会提供运输服务的公益性要求<sup>[5]</sup>。

3 近期列车开行方案优化设计

3.1 跨线列车方案优化设计

跨线旅客列车的始发终到站都不在本线上,优化设计的主要内容是径路的设计问题。现有关联旅客列车的开行情况见表 2。

表 2 现有关联跨线列车开行情况(2018 年)

项目	车次	始发/终到站	始发/终到站	列车运行进路	备注
1	K433*	重庆北	厦门	重庆北—铜仁—怀化—株洲—新余—赣州—龙岩—厦门	1 对
2	K94*	贵阳	厦门	贵阳—株洲—鹰潭—漳平—厦门	1 对
3	K47*	贵阳	福州	贵阳—怀化—株洲—鹰潭—南平南—福州	1 对
4	G175*	重庆西	福州南	重庆西—怀化南—上饶—福州	1 对
5	G168*	昆明南	厦门北	昆明南—南昌西—三明北—厦门北	1 对
6	G169*	昆明南	福州	昆明南—怀化南—鹰潭北—上饶—南平北—福州	1 对
7	G168*	贵阳北	厦门北	贵阳北—上饶—福州—厦门	1 对
8	K81*	达州	广州	达州—重庆北—铜仁—怀化—株洲—广州 调整:经由怀邵衡	1 对
9	K48*	成都东	深圳	成都东—重庆西—贵阳—怀化—株洲—广州—深圳 调整:经由怀邵衡	1 对
10	K19*	成都	广州	成都—重庆北—铜仁—怀化—株洲—广州 不调整,以维系成渝区域与娄底、长株潭地区的直达联系	1 对
11	K77*	重庆北	广州	渝怀—沪昆—京广 调整:经由怀邵衡	1 对
12	K20*	重庆北	广州	渝怀—沪昆—京广 调整:经由怀邵衡	1 对
13	K68*	重庆北	汕头	渝怀—沪昆—京广(广州)—汕头 调整:经由怀邵衡	1 对
14	K906*	铜仁	深圳西	渝怀—沪昆—京广 调整:经由怀邵衡	1 对
15	K900*	张家界	深圳	焦柳—沪昆—京广 不调整,以维系湘西与区域与娄底、株潭地区的直达联系	1 对
16	K57*	成都东	长沙	成都东—重庆北—铜仁—怀化—株洲—长沙 不调整,以维系川渝与长株潭地区的直达联系	1 对
17	G21*	成都东	长沙南	成都东—贵阳东—沪昆高铁	2 对
18	G21*	重庆西	长沙南	重庆西—贵阳东—沪昆高铁	1 对
19	G21*	昆明南	长沙南	沪昆高铁 部分调整,建议 1 对经由怀邵衡线路	6.5 对
20	G21*	贵阳东	长沙南	沪昆高铁 部分调整,建议 1 对经由怀邵衡线路	3 对

依据优化设计策略,比较分析后的调整方案建议见表 2。由于赣厦间的线路条件,东南沿海与西南间的列车运行径路不做调整。川渝区域与广深汕地区普速列车转移 6 对,高速列车转移 2 对。方案效果是释放“长沙/株洲——衡阳”间普速铁路线路通过能力 6 对,川渝区域与广深汕间的客流节约旅行时间 3 小

时。增加了邵阳—怀化区域与贵昆区域的直达联系,有利于增加客流量。长株潭间与川渝地区的联系频率降低了,但不影响地区间铁路客运直达联系。

3.2 半跨线列车方案优化设计

怀衡铁路开通增加了怀化、邵阳地区更便捷到达珠三角地区的径路,现有关联列车运行径路见表 3。

表 3 现有关联半跨线列车开行情况(2018 年)

项目	车次	始发/终到站	始发/终到站	列车运行进路	备注
1	K906*	怀化	深圳西	沪昆—京广铁路 调整:经由怀邵衡	1 对
2	K905*	怀化	深圳东	沪昆—京广铁路 不调整,以维系娄底、湘潭地区与广深间的直达联系	1 对
3	G615*	怀化南	广州南	沪昆—京广高铁 调整:经由怀邵衡	1 对
4	G61**	怀化南	福田	沪昆—京广高铁 调整 2 对改经由怀邵衡	4 对
5	G64**	怀化南	长沙南	沪昆高铁	4 对
6	K901*	怀化	长沙	京广线—沪昆	1 对
7	K908*	邵阳	深圳西	邵阳—娄底—株洲—广州—深圳西 调整:经由怀邵衡	1 对
8	G64*	邵阳	福田	邵阳—娄底南—沪昆—京广高铁 调整:经由怀邵衡	1 对
9	G64*	邵阳	广州南	邵阳—娄底南—沪昆—京广高铁 调整:经由怀邵衡	1 对
10	G64*	邵阳	长沙南	邵阳—娄底南—沪昆	7.5 对

现状开行的列车方案是具有客流基础和合理运营效果,怀衡铁路开通进一步优化了湖南的区域路网结构,但关联区域诱增客流量有限。

将半跨线列车方案分为两类:一是跨省列车组织,即怀化、邵阳与珠三角地区间列车组织;二是省内跨线列车组织,即怀化、邵阳、长沙三地间列车组织。依据优化策略,跨线列车组织优化途径应是省内客流

输送与省外客流输送相对独立分析。即,邵阳与珠三角间的列车主要承担邵阳地区与珠三角间的客流输送,怀化与珠三角间的列车主要承担怀化、娄底及部分湘潭地区与珠三角间的客流输送。服务吸引区人口数量是影响客流的主要因素,相关地区的常住人口情况见表 4<sup>[2]</sup>。

表 4 相关地区的常住人口情况(2018 年)

地区	怀化市	娄底市	湘潭市	邵阳市	邵东县	隆回县	洞口县
常住人口(万人)	497.96	393.18	286.5	737.05	91.06	115.81	80.53
其中城市人口	237.78	189.16	180.2	350.02	50.91	43.75	36.69
农村人口	260.18	204.02	106.3	387.03	40.15	72.06	43.84
城镇化率/%	47.75	48.11	62.90	47.49	55.91	37.78	45.56

1)跨省列车组织方案优化设计。从人口分布情况可以看出,客流的终到始发节点主要是怀化市、邵阳市,旅客列车开行的径路结构主要是:

怀化市—娄底—株洲—衡阳—珠三角

怀化市—洞口—隆回—邵阳—邵东—衡阳—珠三角

邵阳—邵东—衡阳—珠三角

既有方案的优化:根据客流与吸引区域人口数量间关系,怀化、娄底、湘潭三个地区的人口总量为 1 177.64 万人,其中怀化占 42.3%、娄底与湘潭占 57.7%。故此可推断,选择(怀化市—娄底—株洲—珠三角)路径的列车数量应占 60%(考虑服务覆盖怀化部分人口),另外 40%可选择(怀化—邵阳—衡

阳—珠三角)。故此,调整怀化始发/终到普速旅客列车 2 对中的 1 对进径路改由怀衡;高速列车 5 对中 2 对进径路改由怀衡。类似,邵阳始发/终到旅客列车全部改由怀衡铁路。

新增客流的解决:怀衡铁路开通使怀化市部分、洞口、隆回等地方有了便捷铁路交通条件,将增加沿线的铁路客流。服务覆盖人口在 300 万左右,依据类比原理,可增加 1 对怀化—珠三角普速列车、1~2 对高速列车。

怀化、邵阳 2 地始发/终到列车的协调:怀化始发/终到珠三角普速列车 2 对、邵阳始发/终到珠三角普速列车 1 对,建议将邵阳始发/终到调整到怀化。根据实际运营过程中客流变化相应调整列车的开行数量。



最终的跨省列车方案优化结果如下:

怀化市—娄底—株洲—衡阳—珠三角(普速 1 对+高速 3 对)

怀化市—洞口—隆回—邵阳—邵东—衡阳—珠三角(普速 2 对+高速 4 对)

邵阳—邵东—衡阳—珠三角(高速 2 对)

2)省内跨线列车组织方案优化设计。旅客列车开行的径路结构是:

邵阳—娄底—株洲—长沙(既有:普速 1 对、高速列车 7.5 对)

怀化—娄底—株洲—长沙(既有:普速 1 对、高速列车 4 对))

怀化—洞口—隆回—邵阳—娄底—株洲—长沙(高速列车)

对于湖南省内跨线列车,怀衡铁路无径路优化作用,重点是新增服务区客运服务覆盖与列车始发/终到站之间的协调。

新增客流的解决:即要满足怀化—邵阳间普速客运需求与高速客运需求,依据服务覆盖人口,类比可知,怀化—邵阳间至邵阳—长沙间需要开行 1 对列车、高速列车 2~3 对提供服务覆盖。既有邵阳—长沙间的高速列车 7.5 对明显与服务覆盖人口不成比例,合理数量应是 3~4 对。

列车始发/终到间协调:依据优化策略,延长邵阳到长沙的普速列车的始发/终到站“怀化——长

沙”,解决普速客运覆盖。延伸邵阳—长沙间高速列车的始发/终到站“怀化南—长沙南”,开行 7~8 对。优化设计结果如下:

怀化—娄底—株洲—长沙(既有不变:普速 1 对、高速列车 4 对)

邵阳—娄底—株洲—长沙(调整:普速 0 对、高速列车 0 对)

怀化—洞口—隆回—邵阳—娄底—株洲—长沙(新增:普速列车 1 对、高速列车 7~8 对)

### 3.3 本线列车开行方案优化设计

客流调查分析结果表明,怀衡铁路开通后客流变化有 3 个基本特点:一是新增的客运需求和客运量不大;二是客流的发生/吸引的主要节点是怀化与邵阳;三是转移客运量主要来自公路运输。考虑到沿线地区的经济社会条件、旅游资源和交通条件等因素,怀衡铁路开通诱增客源主要在怀化—邵阳间。通过调查分析,预计怀邵衡间的铁路近期本线最大断面日客流量在 1 500 人左右。

由此,在跨线列车开行方案的基础上,结合客流状态,建议在怀化南—衡阳东之间开行动车组列车 2~3 对。

依据优化策略,采用类比原理,从三个层次优化怀邵衡铁路的旅客列车开行方案,优化设计的开行方案导向了 $\{F_{\text{铁}} + F_{\text{客}}\}$ 最大化的效果。半跨线和本线近期的旅客列车开行方案见表 5。

表 5 怀衡铁路本线、半跨线旅客列车开行优化方案

序号	列车运行区段	列车种类	数量/对	列车经由本线区段
1	怀化南—衡阳东	动车组列车	2~3	本线列车
2	怀化—长沙	普速列车	1	经由怀化—邵阳段
3	怀化南—长沙南	动车组列车	7~8	经由怀化南—邵阳段
4	怀化—深圳西	普速列车	1	经由怀邵衡
5	怀化南—广州南	动车组列车	1	经由怀邵衡
6	怀化南—福田	动车组列车	2	经由怀邵衡
7	邵阳(或怀化)—深圳西	普速列车	1	经由怀邵衡
8	邵阳—福田	动车组列车	1	经由怀邵衡
9	邵阳—广州南	动车组列车	1	经由怀邵衡

## 4 主要结论与建议

以上述研究为基础,对怀衡铁路运行图进行了优化。2019 年 10 月 11 日零时执行的列车运行图<sup>[6]</sup>,开行动车组列车 20 对、快速列车 1 对;其中,本线车 2 对、跨线车 4 对、半跨线 15 对。相对开通初期方案,调减怀化南到衡阳东本线车 6 对,增加怀化南到长沙南列车 6 对,体现了本线客流特征与主要流向。

### 4.1 优化方案主要效果

#### 4.1.1 铁路运输企业的主要效果

1)川渝、云贵和湘西北与珠三角间的普速直通旅客有 8 对转移,减少普速京广铁路株洲—衡阳能力占用;同时缩短列车运行距离 250 km 以上。高铁旅客列车转移 7 对,即京广高铁长—衡段释放 6 对列车的能力,而且缩短湘西至广深间列车运行距离 100 km 以上。

2)增加了湘西南、湘中与长株潭间铁路联系通道,可增加日均旅客发送人1 500人;增加湘西南与广深间铁路联系可增加日均旅客发送人1 000人。

#### 4.1.2 旅客出行的主要效果

1)川渝、云贵、湘西、湘中与珠三角地区间旅客出行,高速列车出行减少1个小时、普速列车出行减少3 h。

2)湘西南、湘中地区与长株潭间、广深间联系更方便,相对公路运输旅客出行广义费用减少。

#### 4.2 主要建议

1)优化设计方案是基于怀化站与怀化南之间的联络线建成。从分析结果可以看到,加快怀化枢纽联络线建设,将更好地发挥怀邵衡铁路的综合社会经济效果。

2)从客流增长的发展趋势来讲,一定时期内怀邵衡铁路线路通过能力的利用率还偏低;定位怀邵衡铁路“网络意义大于区域作用”,注重跨线旅客列车的组织,以提高线路的利用率,增加运营收入。

3)从运营层面试验总结,推广集中动力型动车组

在客货共线铁路上的运用,解决普速客车在动车组运行线路的机车换挂问题,同时优化“客货共线快速铁路”的客货共线行车组织办法,是提高线路运用效率的、增加运营收入的必须探索课题。

#### 参考文献

- [1] 邓劼.新建铁路怀邵衡线怀化至衡阳段可行性研究[R].武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2010.
- [2] 湖南省及地方统计局.2017年、2018年国民经济和社会发展统计公报[OB/MT].[http://www.hunan.gov.cn/zfsj/tjgb/201903/t20190313\\_5294248.html](http://www.hunan.gov.cn/zfsj/tjgb/201903/t20190313_5294248.html),2019-03-13.
- [3] 陈钉均,徐长安,倪少权,潘金山.路网条件下旅客列车运行方案图编制问题研究综述[J].交通运输工程与信息学报,2015,13(4):68-76.
- [4] 彭文高.武广高速铁路跨线列车运输组织模式优化研究[J].铁道运输与经济,2018,40(12):6-12.
- [5] 王文宪,成利刚,陈韬,倪少权.列车开行方案与客流适应性评价研究[J].铁道运输与经济,2019,41(7):65-71.
- [6] 中国铁路广州局集团有限公司.关于公布2019年第四季度调整列车运行图的通知(广铁运函〔2019〕535号)[R].广州:中国铁路广州局集团有限公司,2019.

## Reasonable Division and Optimal Plan of Passenger Trains Operation of Huai-Heng Railway

LI Jun<sup>1</sup>, LI Xia-miao<sup>2</sup>

(1. China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Guangzhou 510088, China;

2. School of Traffic and Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Huai-heng railway is an express railway which opened passenger transport in December 2018. Optimizing transport organization plays an important role in improving its operation efficiency. Based on analysis of the location in railway network and technical conditions of the line, the regional economic and social situation along the railway line, optimizing principle and method of the line operation division and train plan are discussed. Combined with associated passenger trains and passenger flows, the optimal scheme of crossing trains, part-crossing trains and line trains are hierarchically designed, the optimization trains scheme accords with passenger demands, and the results have been partly applied to the new trains diagram. Finally, some suggestions are put forward to further improve the operation efficiency of huai-heng railway.

**Key words:** Huai-Heng railway; division of Lines; operation scheme of passenger trains; optimal plan

# 区块链技术在工程管控中的审计监督应用

杨国军, 于 玲

(中国雄安集团有限公司, 河北 保定 071700)

**摘要:**2018年,中国雄安集团推出“雄安区块链资金管理平台”,它是国内首个基于区块链技术的项目集成管理系统,具有合同管理、履约管理、资金支付等功能,实现工程管控透明化。信息系统迭代为审计监督前置提供了可操作性,着重对区块链技术在工程管控中的审计监督应用优势进行探讨和研究,以期实现审计的增值服务。

**关键词:**区块链技术;工程管控;审计监督

**中图分类号:**F239 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0141-04

## 1 区块链技术发展

自基于区块链技术的比特币发布以来,其成长速度成星火燎原之势,区块链技术已慢慢被更多国家、区域、团体机构、大众所熟知、接受。区块链是一个由不同节点共同参与的分布式数据库系统,是开放式的账簿系统;它是由一串按照密码学方法产生的数据块或数据包组成<sup>[1]</sup>,即区块,对每一个区块数据信息都自动加盖时间戳,从而计算出一个数据加密数值,即哈希值<sup>[2]</sup>。每一个区块都包含上一个区块的哈希值,从创始区块开始链接到当前区域,从而形成区块链<sup>[3]</sup>。

移动互联网、大数据、云计算是区块链技术的基础设施,算法信任是关键机制,加密算法是技术基础。区块链技术的实质是在信息不对称的情况下,无需相互担保信任或第三方核发信用证书,采用基于互联网大数据的加密算法创设的节点普遍通过即为成立的节点信任机制。任何机构和个人都可以作为节点参与创设信任机制,而且创设的区块必须在全网公示,任何节点参与人都能看得见<sup>[4]</sup>。其本质是区别于传统中心化数据库的一种弱化中心数据库职能的信息处理、发布、存储的线上系统工具。区块链技术还具备信息公开、无法篡改、可追溯、信息时序、数据处理等特点<sup>[5]</sup>。

截至目前按照参与节点上链授权与否,可进一步将区块链细分为两类:公有链和许可链。

### 1.1 公有链特点

公有链允许任何人或机构接入,进入系统读、写

数据,发送信息,并极大的鼓励竞争记账,即内含代币机制,通过计算机算力的强弱公平、公开的获取公布信息的权利,以一定量的报酬奖励信息发布者,并由链上所有节点进行记录保存,以此确保链上数据的安全性,体现了区块链技术完全的去中心化、自治特点。

### 1.2 许可链特点

许可链技术较公有链相比,强调各节点事前的许可进入,即所有节点经事先“授权”后进入基于许可链技术的数据系统,而未经许可的节点是无法接入系统中的。

根据系统维护管理方的不同,许可链又分为私有链和联盟链。私有链是指其数据的写入和读写权限都被严格控制的非公开“链”。由于所有参与节点的权限会被严格的限制,链上信息的公开程度根据自身情况自行决定,因此参与的节点数量、节点权限是可控的。联盟链是指由多个组织或机构共同参与管理的区块链,每个组织或机构作为链上参与者都运行着一个或多个节点,联盟链只允许链上系统内经授权的组织或机构进行数据读写、发布,信息一经发布由所有节点共同记录、保存。

### 1.3 联盟链的优缺点

联盟链与公有链相比,可以看作是“部分去中心化”,拥有更快的交易速度和成本、更好的保护隐私、不容易被恶意攻击;与私有链相比,其去中心化程度更高,在系统设计上提高了链上数据信息的安全性和可信性。

收稿日期:2020-02-16

**作者简介:**杨国军(1975—),男,河北衡水人,中国雄安集团有限公司审计部,高级业务总监,中级审计师,法学学士,研究方向:法学和审计理论与方法;于玲(1976—),女,山东文登人,中国雄安集团有限公司审计部,业务总监,高级会计师,高级审计师,经济学学士,研究方向:会计和审计理论与方法。

本文后称区块链、区块链技术或管理平台,均特指联盟链、基于联盟链概念下的区块链技术或管理平台。

## 2 雄安新区区块链资金管理平台在工程管控中的实践

在对雄安集团现阶段工程资金管控方面进行深入调查,巩固现有技术应用成果的基础上,剖析技术所带来的自主审计监督优势,进一步发挥基于区块链技术特点的审计监督作用,为建设廉洁雄安、数字雄安打下坚实基础。

结合区块链技术特点,雄安集团团队研发了资金拨付穿透式管理系统,它是基于联盟链技术的项目资金管控系统,将数据隐私、时间戳、可追溯、分布式记账、智能合约等功能融入项目资金拨付线上流程,将企业与总包商之间、总包商与分包商之间、分包商与施工人员之间所有的合同都上传到区块链平台,通过智能合约的方式确认付款路径,实现一键式、穿透式付款。它无需代币机制鼓励参与者竞争记账,避免了来自任意某个节点攻击链上其他授权节点或智能合约的安全问题,亦防止了特定组织或机构(具有唯一读写权限的节点)故意隐瞒或篡改数据的可能,相比纯粹的私有链,它更具可信度。在数据链条上,即便虚假、错误的信息也能够通过数据痕迹很快发现问题,追本溯源。

截至目前,雄安新区9号地块一区、十万亩苗景兼用林、截洪渠一期、唐河污水库治理、容西污水厂建设、雄县及安新征地拆迁补偿等项目都得以在该平台应用,使项目资金运转与项目进度有机结合,实现了全程化、透明化的资金监管、项目进度控制。雄安新区区块链资金平台主要解决传统工程项目中的痛点问题,如违约转包、资金挪用、工程安全质量隐患;小微企业账期长、融资难、融资贵;拖欠农民工工资且维权难等。截至目前,部分商业银行与雄安新区区块链平台进行了对接。基于信息流与资金流的强耦合性,雄安新区区块链平台在初期实现资金管理、工程进度管理、合同管理等功能的基础上,逐渐增加贷款管理、运营等功能。具体表现在以下五个方面。

### 2.1 各参与节点上链授权

对于个人节点的授权是借助人脸识别、声纹识别、GPS定位等手段直接现场采集完成,与个人银行卡、其他财产信息等关键个人信息关联,共同形成身份验证、认证,所有信息采集时,直接上传区块链,并设置节点权限,加强隐私保护,形成身份链;对于机构节点,则以招标公示结果为前提,采用合同法律关系

为基础的授权上链机制,由总包商、供应商、监理单位等用户申请,经雄安集团相关部门按照合同审批流程执行线下控制审批、上传合同审批单,并根据申请单位工作职责、角色赋予其在区块链上的身份信息及相关权限;总包商与分包商及与其产生采购、供货的关系方,统一由合同乙方申请、合同甲方审核,并根据合同信息,明确其身份信息、分配具体工作职责、角色权限。

上链机构需与合作银行签订银企互联协议,此后由雄安集团区块链管理员为新建机构、个人用户开通资金管理平台功能,导入软证书文件,增强隐私和交易安全保护,形成资金管理通道。

### 2.2 供应链合同信息录入

根据招标公示结果,明确合同相对方,在完成合同相对方节点的上链授权后,需将线下合同法律关系上传至区块链中,明确各方在区块链上的供应、需求关系。合同信息录入由合同乙方负责,包括所属标段信息、合同名称、合同金额、签约时间、计划开始及结束时间、乙方工作内容、甲方名称。合同甲方在管理平台收到乙方提交的合同信息录入,与线下合同条款核对一致后,确认链上业务关系,形成供应链网络。

通过参与节点上链授权与供应链合同信息录入环节,结合原有线下招标采购、合同审批控制流程,共同建立集链上标段信息、合同供应链关系图谱、工程监理、劳务服务、资金通道于一体的基础管理框架。

### 2.3 工程实施过程中付款

与工程施工相关的资金拨付,是以标段合同、供应合同为基础进行。由总包商在链上发起资金付款申请,经监理单位审核、雄安集团负责工程审核和财务审核等相关部门完成线下付款审批,上传付款审批单后,通过银企网银双U盾复核向链上合作银行(以银企互联协议为基础的企业网银系统)发起付款指令(智能合约的主要体现)。链上其他方之间的资金拨付,同样是以其供应链合同为基础进行的,即由合同乙方填报资金付款申请,由合同甲方审核、上传付款审批单,并通过银企网银双U盾复核向链上合作银行发起付款指令。

### 2.4 银行账户的链上对接

参与付款、收款的节点以软证书安全加密方式,向合作银行发送支付指令。通过智能合约,由银行系统直接完成资金拨付。相关信息由付款户、收款户所在行向区块链上传信息,反馈资金转出、转入状态,并以区块信息形式在链上永久保存。在资金划拨过程中,需达成协议约定的特定付款条件,上传经审批的

信息后由区块链系统自动触发付款行为,避免了资金截留,降低了资金沉淀成本,且所有资金往来信息在链上自动勾稽,实现了基本的审计溯源功能。

### 2.5 其他关键信息直接录入控制

为降低由于资料归档不及时、资料手续不全、未经恰当授权、授权权限不合理等人为操作的可能性,区块链管理平台要求与资金拨付相关的其他关键交易信息均采用现场采集或机构信息直接录入的方式进行,如航测、实测、评估、监理、公示、审批文件上传等。在相应工作结束时同时将信息记录在区块链中,在区块信息时间戳的功能下,形成整个工程或事件的完整证据链,以达成资金拨付动作的前置输入条件。

## 3 区块链技术的审计监督实施路径

现阶段,雄安集团各工程建设项目已完成基于区块链技术的全过程资金拨付穿透式管理系统的升级,应用区块链技术增强了项目参与方、利益相关方的信息透明化,实现了项目建设进度、合同法律关系、资金流转等在建设方、施工方、个人、外部金融机构之间的高效传递,充分发挥了区块链技术的自主审计监督功能。

审计监督应以资金监管为出发点,以工程管理精细化、效率化为目标,拓展技术使用场景,为大数据审计提供可靠信息来源,并开发基于区块链工程资金管控系统的多层级监督功能。从国家审计、社会审计、内部审计监督的角度,分析现阶段雄安新区工程监管平台、区块链管理平台、BIM系统<sup>[6]</sup>、CIM系统等信息管理技术的使用特点,明确各系统开发主体研发各类管理平台对施工管控、劳务管理、资金监管、审计监督等功能模块所要达成的目标,逐一落实监管实施路径。

雄安集团区块链资金拨付系统将面临国家审计、社会审计和内部审计等三方面的监督检查<sup>[7]</sup>,三方面审计均是以信息收集(账务及实物信息)为基础,进行信息数据复算、重新执行、实地查验、勾稽比对、函证、观察、询问及分析性复核后,形成审计结论。高质量的审计监督工作关键在于运用高效的、有针对性的审计程序和审计方法,收集到充分、完整、恰当的审计证据。而利用传统手段执行程序收集信息工作,占用了极大的审计监督成本。

区块链技术中内涵的分布式记账功能,实现了链上节点信息的对称,能够有效保障资金交易的透明性。主要表现在:

一是链上资金在各银行间流转,银行节点的收付款信息的全网广播报账,实现了资金流水的自动

勾稽。同时,带有时间戳的、连续的(Harsh)块链信息,有助于审计监督人员快速梳理整个交易流程的全过程,从而形成完整的、可追溯的、连贯的审计证据链条。通过检索、整理电子交易数据,审计监督工作无需第三方提供查询信息服务,从而提高了数据复算、重新执行、勾稽比对及执行函证程序的效率和效果。

二是基于区块链的分布式记账功能与共识机制(经由授权节点发布信息)的共同作用,在一定程度上确保了链上交易信息无法篡改。与传统的基于中心数据库审计监督的概念不同,区块链中审计监督节点所保存的信息与所有节点保存的信息一致,是完整的、相对可信的,避免了被审计单位主观故意单方面删、改数据库的风险,其弱化中心数据库职能的优势显而易见。区块链技术的上述特征,满足了审计监督人员对于资料信息可再加工、不可篡改及完整性的基本数据质量要求。

三是基于工程资金穿透式管控系统,无论资金支付方还是收款方,其工程进度信息、款项流转信息均被记录在块链中,并保存在所有链上节点中。在授权访问的前提下,无论社会审计和内部审计人员均可通过审计监督节点直接读取信息,同时基于更为完备的社会审计、内部审计工作基础,也为国家审计工作带来了便利性,从本质上改进了传统审计程序的执行效率。

四是尽管区块链技术并不能完全保证区块信息不被修改,其技术特点决定,除经所有授权节点同意替换区块信息,否则原区块信息不可修改、不可覆盖,对于人为操作错误、失误或基于新增事项完善原业务信息的情况,仅可通过上传发布新的交易信息,以新增区块的形式对原交易区块信息进行补充。原交易信息和补充信息,均按照时间戳排序在链上保存,即任何对真实业务的补充、修改信息、已发生的虚假资金的拨付、违规资金的调拨挪用等均在区块链中储存。而基于串通舞弊的操作特点,在区块链资金管理系统中上报虚假信息、篡改交易记录的行为,需说服授权节点上传或尝试说服所有授权节点变更已发布信息成本将极大地提高,进而在客观上降低了舞弊发生的可能性。

但区块链技术在审计监督应用中,审计人员仍然需要面对一些新的问题。一方面由于审计人员在区块链系统中可接触到超出被审计单位、委托单位法人主体以外的信息,如上、下游资金账户,所以不同层级的审计机构需避免潜在法律风险。与此同时,区块链

技术引发了审计重点、审计方法的转变,进一步聚焦了管理风险,为审计监督前置提供了可操作性。应用新技术在节省管理成本的同时,亦影响着审计方法论。

#### 4 结论及建议

当前,区块链技术在审计监督中的应用一定程度上改变了传统审计的重点。基于区块链下资金管理平台的技术特点,笔者认为未来审计监督工作的重点应大致分为两个部分:一是区块链技术本身的稳定性和安全性,如系统开发、管理人员、维护升级日志,共识机制(授权发布信息节点的权限)设置的合理性,智能合约的规则设定及编码的稳定性、安全性等;二是原始信息的上链前控制,即对于录入的原始数据真实性、可靠性的保证。

总之,信息系统迭代作为管理工具的创新,以信息技术为主的审计手段将促成业务管控的全面覆盖,助力常态化审计监督工作的落实。只有深入到信息系统研发、使用、升级维护的工作中,才能发现其如何为管理层服务,为审计监督服务,才能发现新环境下

的风险点,从而设计出适应当下的审计新思路、新方法。在审计工作全覆盖的监管要求下提高审计效率,实现抽丝剥茧、找出线索、查出问题、提出建议,达到服务企业发展、实现审计增值的最终目标。

#### 参考文献

- [1] 李凡. 区块链技术对传统金融业的影响[J]. 合作经济与科技, 2018(15): 44—45.
- [2] 张艳. 基于区块链技术的广告场景应用与生态网络变革[J]. 中国出版, 2018(5): 25—28.
- [3] DON TAPSCOTT, ALEX TAPSCOTT. 区块链革命[M]. 北京: 中信出版集团股份有限公司, 2016.
- [4] 熊健坤. 区块链技术的兴起与治理新革命[J]. 哈尔滨工业大学学报: 社会科学版, 2018, 20(5): 21—24.
- [5] 周亮. 区块链开放服务平台飞洛介绍[EB/OL]. 2019. <http://www.elecfans.com/blockchain/901218.html>.
- [6] 丁华营, 梁清森, 吴延宏. BIM 技术在华润深圳湾国际商业中心项目中的集成应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016(2): 54—59.
- [7] 孙宏强. 基于 B/S 架构的物资采购管理系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.

### Discussion on the Application of Blockchain Technology in Audit & Supervision on Project Control

YANG Guo-jun, YU Ling

(China Xiongan Group Co., Ltd, Baoding Hebei 071700, China)

**Abstract:** China Xiongan Group launched the "Xiongan Blockchain Fund Management Platform" in 2018. As the first integrated management system based on blockchain technology in China, it has such functions as contract management, performance management, fund payment, etc. and realizes the transparency of project management and control. The iteration of information system makes the proposed audit & supervision actionable. It focuses on the application advantages of blockchain technology in project management and control, in order to realize the value-added services of audit.

**Key words:** blockchain technology; project management and control; audit & supervision

# 基于 STM32 的石油管材测厚系统设计

王 朗<sup>1</sup>, 王军民<sup>1,2</sup>, 李方旭<sup>1</sup>

(1. 长江大学 地球物理与石油资源学院, 武汉 430100; 2. 油气钻井技术国家工程实验室, 武汉 430100)

**摘要:**针对现有石油管材检测存在的不足,设计了一种石油管材实时检测与数据处理的智能测厚系统。该系统以 STM32 为主控芯片,以 TDC-GP22 为采集芯片经过计算得到管道厚度,以 I2C 总线方式实现主从机通信,以 HLK-RM04 嵌入式模块实现与上位机应用软件的数据传输与采集功能,同时配合控制多个 42 步进电机与直流喷液电机实现运动、耦合、温湿度检测等功能,给出了硬件部分与上位机软件的设计与实现。与传统的人工作业效率相比,该系统大大提升了安全系数、工作效率。

**关键词:**石油管材;数据采集;STM32;电机

**中图分类号:** TM930 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2020)05-0145-04

目前油田物资检验部门普遍采用传统到货检验模式主要以人工检验为主,市场上主流的测厚仪器以手持测厚仪为主,而传统石油管壁的检验方法存在着诸多问题,诸如检验方式落后,检验效率和检验结果有效性不够理想,精度较低等。

国内有关石油管材内在线检测与分析厚度的控制系统在国内还是空白。本文结合实际检验中的痛点和难点,将市面流行的石油管壁外涂抹耦合剂,手动定点测量厚度的方式,升级为在石油管道内自动爬行测量的方式,相比之下,该系统更加安全效率更高、误操作率大大降低,实现了实时测量管壁厚度与远程监测,为质检工作提供了新的思路 and 解决方案<sup>[1]</sup>。

## 1 系统总体框架

本文研制的石油管材测厚控制系统偏向于实际生产应用,以 STM32 单片机为主控芯片,设计了测厚数据采集模块、运动状态控制模块、推靠电路模块、耦合剂喷液控制模块,以及移动终端 APP 等。在终端安装对应 APP 应用程序后,通过无线模块在用户(Client)和服务器(Server)之间建立通信,就可对该系统进行操作控制,实现管道内的爬行运行以及管壁厚度、环境温湿度数据的采集和在终端的实时反馈等功能<sup>[2-4]</sup>。本系统原理框图如图 1 所示。

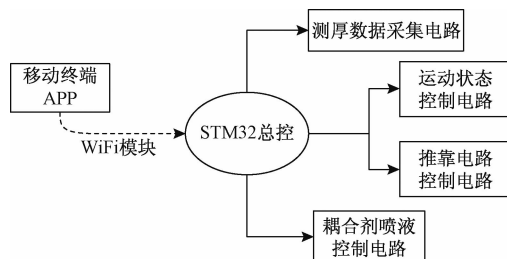


图 1 系统原理框图

## 2 系统硬件设计

硬件整体设计单元主要包括 STM32F103,作为系统总控制单元,实时检测各工作单元的状态,以便做出相关的调整<sup>[5-6]</sup>;管壁厚度与温湿度采集模块,用来采集壁厚、温湿度数据;运动与推靠电路模块,负责为麦克纳姆轮和机械结构提供动力;无线传输模块,实现移动终端与本系统的通讯;耦合剂喷液模块,是为了让超声波探头与管壁紧密贴合;系统状态检测模块,负责监控系统的安全稳定运行,提高在复杂电磁环境中的稳定性与抗干扰性;还有电源保护模块等。

### 2.1 管壁厚度测量算法

测厚数据采集部分是由 STM32f103 单片机、时间数字转换芯片 TDC-GP22、10Mhz 微晶探头组成。ACAM 公司生产的 TDC-GP22 芯片,因为其功耗较

收稿日期:2020-02-20

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41874119)。

作者简介:王朗(1994—),男,湖北鄂州人,长江大学地球物理与石油资源学院,硕士研究生,研究方向:地球物理仪器仪表;通讯作者:王军民(1960—),男,长江大学,副教授,博士,研究方向:智能仪器、工程物探、电火花震源和大功率脉冲电磁场源、随机编码震源的编码。

低,所需外围电路元件较少,在测厚仪、流量计、热量表等中使用广泛。TDC-GP22 的典型工作电压为 3.3 V,采用 SPI 总线结构,在本文的设计中,应用其中一种测量模式,它的测量范围在 500 ns 到 4 ms 之间,单通道典型 90 ps 分辨率,多道测量脉冲的数据处理和读出能力满足管壁厚度的测量需求<sup>[7-8]</sup>。

首先需要将测试芯片与 STM32 成功通信,芯片对时钟进行校准,采用时差法测量原理,驱动 10 Mhz 微晶探头发出超声波,通过固定的 Offset 作为 Start 信号和 Stop 信号时,得到的偏移量,可以得到两个信号的上升沿的时间间隔  $\Delta t$ ,再根据所通过的介质不同波速  $v$  不同,由公式(1)得出厚度值  $d$ 。

$$d=v\Delta t/2 \quad (1)$$

式中: $v$ ——介质波速;

$\Delta t$ ——时间间隔。

相比 TDC-GP2x 系列,最新一代的 GP22 芯片增加了一项首波脉冲宽度测量功能,使得测量的误差进一步减少,首波测量功能如图 2 所示。

由于不同介质和耦合剂影响,脉冲的幅度值随之不稳定,使得整个  $T_0$  趋于不稳定,GP22 可以设置寄存器 4 中的第 8—12 位来确定 -20 mV 到 +20 mV 之间的比较电压 Offset,然后根据公式(2)测量第

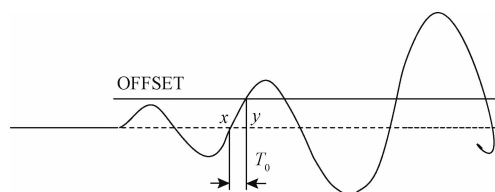


图2 首波测量示意图

$n+1$ 个脉冲与 start 脉冲的时间间隔,从而测得时间差  $T_{of}$ 。

$$T_{of} = T_{of} + nT_c \quad (2)$$

式中: $T_{of}$ ——飞行时间;

$n$ ——返回脉冲的时钟周期;

$T_c$ ——脉冲周期。

## 2.2 温湿度采集模块

本系统所使用的数字式温湿度传感器 DHT12,与其前代产品 DHT11 参数对比如表 1 所示。包括在相同湿度和相同温度下,两个型号的传感器性能和电气特性的对比,在 25 °C 下,测量时功耗只有 800  $\mu$ A,采样周期 2 s 左右,温漂小于  $\pm 0.1\%$ /Yr,具有稳定且成本低廉等优点。值得注意的是,DHT12 器件作为从机使用,具有唯一地址 0xB8,如果设置不对,可能会导致通讯失败。

表1 传感器参数对比

参数	湿度			温度			
	量程范围	精度	漂移	量程范围	精度	漂移	供电
DHT11	5%~95%RH	$\pm 5\%$ RH	$< \pm 0.5\%$ RH/Yr	-10~60 °C	$\pm 2$ °C	$< \pm 0.5\%$ RH/Yr	3.3~5.5 V
DHT12	20%~95%RH	$\pm 4\%$ RH	$< \pm 0.5\%$ RH/Yr	-20~60 °C	$\pm 0.5$ °C	$< \pm 0.1\%$ RH/Yr	2.7~5.5 V

## 2.3 运动与推靠模块

运动与推靠模块包括运动部分和推靠部分,硬件电路设计相同,但是结构设计不相同,因而所完成的功能不同。

运动部分采用两相四线型 42 步进电机和全向轮方式,由于普通轮子在石油管内无法保持其稳定性,导致系统整体在行进过程中会有倾覆的可能,因此采用三组全向轮分布在系统的前、中、后段,保证了系统在管内的平稳行进。运动部分的典型工作顺序是,首先移动终端发出前进或后退命令,运动部分从机进入待命状态,接收到命令,驱动步进电机行进某距离,最后完成向上位机反馈的工作命令。

推靠部分的机械结构简化示意图如图 3 所示,探头支撑架和螺纹支撑杆起到固定作用,电机的中心旋转轴可以上下旋转,单片机和驱动电路实现步进电机的定时定点旋转,使微晶探头接触到管壁,并利用弹

簧的张力将探头压到管壁上,从而得到测厚数据。推靠部分的典型工作顺序是,首先移动终端发出测厚指令,推靠部分从机进入待命状态,管壁测厚部分待命,喷液部分待命,然后喷液部分开始喷液,推靠从机部分上升,顶到管壁后,管壁测厚部分测量数据,推靠从机部分下降,各部分重新进入待命状态,直到接收到新的命令。

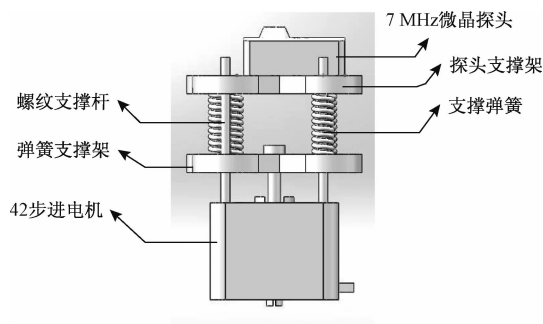


图3 推靠部分机械结构图



2.4 无线传输电路

本系统采用 HLK-RM04 无线通信模块,该模块基于通用串行接口,能够实现串口、无线网接口之间的转换,从而实现与终端之间的通讯,该模块工作频率在 2.4~2.483 5 Ghz 之间,最高传输速率可达 150 Mbps,能够满足石油管内数据传输的需要。在实验过程中,由于试验场地摆放了较多石油管材,屏蔽性较强,另一方面由于电磁干扰等问题的存在,模块的传输距离由空旷条件下的 500~800 M,缩短到了只有 100 m 左右,整体系统的控制距离大大缩减,成为制约本系统的一大问题。

2.5 运动状态检测电路

运动状态检测电路是通过光敏传感器来检测本系统的状态,采集端光强信号通过比较器输出的状态

写给单片机,只有当光敏传感器输出为允许时,整个系统才开始工作。

光敏传感器模块的工作原理是,利用光敏元件受到光照强度而引起的阻值变化,将光信号转化为电信号,然后这个电信号传递到电压比较器,通过比较通向输入端和反相输入端的数值差异,从而得到输出为允许和禁止的结果。从输出的结果判断本系统所处的位置。

3 测厚系统的终端设计

本系统的上位机软件采用 QT 开发,并基于 2.4 Ghz 的 HLK-RM04 无线透传模块实现与下位机硬件部分的数据通讯,从而对下位机进行控制并将数据回传,对数据进一步分析和处理<sup>[9-10]</sup>。上位机软件的逻辑流程图如图 4 所示。

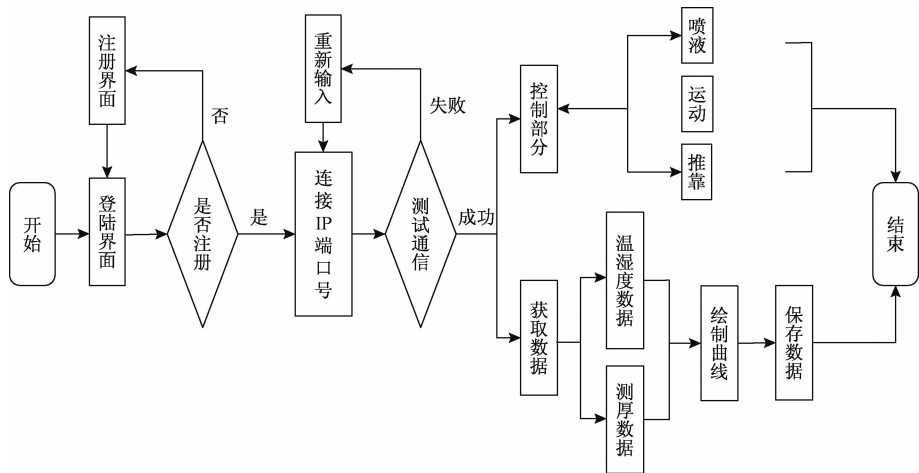


图 4 上位机逻辑流程图

每一个产品使用者可以注册一个自己的账户,每次测量后数据都会记录在自己的数据库里。待通信连接正常后,系统接收命令进行工作,用户可以通过自定义的命令对待测目标进行相关的测量,同时所得数据可以保存,便于处理分析。

4 系统实物与实验效果

通过对各个模块的功能进行整合,结合机械结构和软件的编写,设计出如图 5 所示管材测厚系统。机械结构通过 Solidworks 完成,包括内部各个零件的设计与整个的装配,再经 3D 打印机将每个部分打印出来,形成整个系统的模型,共计有十八个结构。不同模块分装在小车的不同箱体中,各个部分有条不紊,相互配合,共同完成管材测厚任务。

在实验场地进行试验时,由于待测管壁内部含有铁屑、尘土等,使刚进入管子内部时被卡住,这里可以采用功率更大的运动控制驱动板来提供动力。

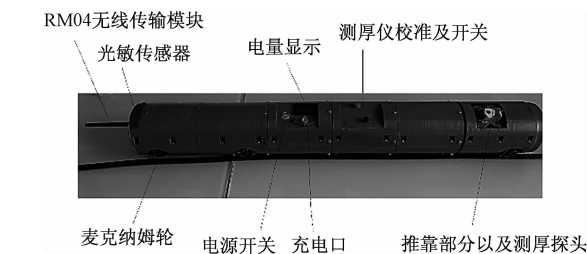


图 5 石油管材测厚系统

从图 6 终端软件测量数据可得,在室温 9℃左右,湿度基本在 70%的环境下,该测量段钢管的平均厚度为 8.9 mm,最薄的剖面厚度是 7.8 mm,最厚为 10.5 mm。符合实际情况,该系统的测量结果基本正确,测量精度较高,相关功能能够满足目前石油管材测厚的需求<sup>[11-12]</sup>。

5 结论

本文结合手工测厚过程的繁琐和效率低下等实

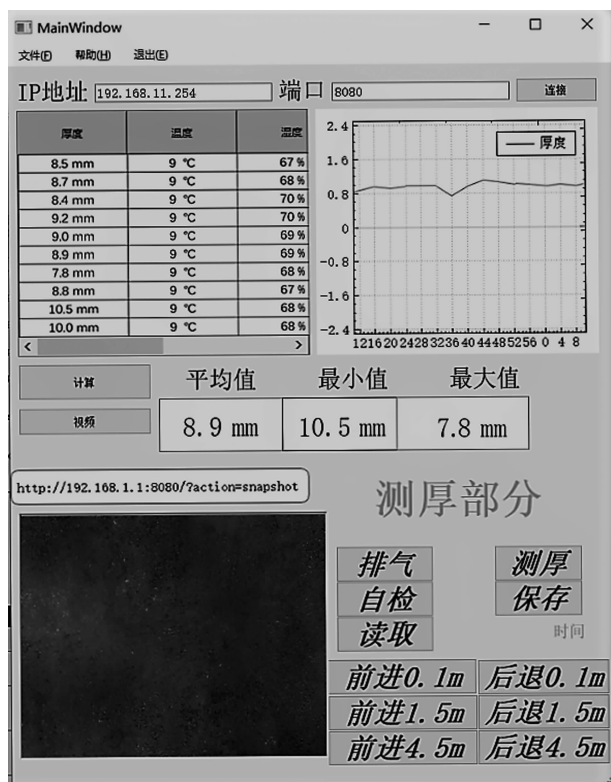


图6 移动终端软件界面

际问题,研制了一种石油管材的在线控制测厚系统。首先对该系统的总体方案作了介绍,将大数据处理技术运用到对管材厚度的在线实时检测与数据处理,然后利用 STM32 单片机实现整个系统的协同工作,利用 QT 写成的应用软件实现对整个测厚控制系统的控制与数据传输。经试验检测结果可知,本系统能够

准确完成远程测厚与数据处理与保存的功能,达到了设计目的。

### 参考文献

- [1] 李大海,张亚超,陈素. 基于 ZigBee 和 GPRS 技术的油田抽油机无线数据采集传输系统[J]. 仪表技术与传感器, 2018(11): 93—96,100.
- [2] 牛国臣,张云霄. 基于 STM32 的 24 路舵机同步控制系统设计[J]. 现代电子技术, 2019,42(10):151—155.
- [3] 黄邑桑. 基于 Qt 的微波辐射计数据采集系统上位机软件设计[J]. 电子设计工程, 2018,26(24):101—106.
- [4] 韩飞,吴宝春,陈益,王志远,李志刚. 四足爬行动物机器人控制研究[J]. 智能计算机与应用, 2017,7(1):117—118,120.
- [5] 张鑫. 单片机原理及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 2—114.
- [6] 李艳,周堂亮,李可可. 基于 STM32 的移动机器人目标自动跟随系统设计[J]. 电子器件, 2019,42(2):403—410.
- [7] 何平,王猛,刘超,李莹. 非接触式高精度钢板在线测厚系统的研究[J]. 自动化与仪表, 2014,29(8):13—16.
- [8] 张鹏,邵惠鹤. 基于 ARM 嵌入式系统的软测量应用[J]. 控制工程, 2008(1):72—74.
- [9] 宁效龙,何子力,张昕昱,徐景宏,刘文. 基于 Zynq 与 Qt 的视频采集与图像边缘检测系统[J]. 信息技术与网络安全, 2019,38(2): 71—74,78.
- [10] JASMIN BLANCHETTE, MARK SUMMERFIELD. C++ GUI Programming with Qt4[Z]. 2006.
- [11] 张志成,钱慧芳,程诚. 基于 C++/Qt 的仓储环境监控客户端应用设计[J]. 电脑知识与技术, 2017,13(26):56—58.
- [12] 陈典,郭健忠,谢斌,闵锐,刘峰,吴建立,程峰. 基于 Qt 技术的汽车显示系统的设计与实现[J]. 电子器件, 2019,42(2): 530—534.

## Design of Oil Pipe Thickness System Based on STM32

WANG Lang<sup>1</sup>, WANG Jun-min<sup>1,2</sup>, LI Fang-xu<sup>1</sup>

(1. College of Geophysics and Petroleum Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, China;

2. National Engineering Laboratory of Oil and Gas Drilling Technology, Wuhan 430100, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of existing petroleum pipe inspection, an intelligent thickness measurement system for real-time detection and data processing of petroleum pipes was designed. The system uses STM32 as the main control chip, and the TDC-GP22 is used as the acquisition chip to calculate the pipe thickness. The master-slave communication is realized by I2C bus, and the HLK-RM04 embedded module is realized. With the data transmission and acquisition function of the upper computer application software, and at the same time control multiple 42 stepping motor and DC liquid-jet motor to realize the functions of motion, coupling, temperature and humidity detection, etc., the design and implementation of the hardware part and the upper computer software are given. Compared with the traditional manual work efficiency, the safety factor and work efficiency are greatly improved.

**Key words:** OCTG(Oil Country Tubular Goods); data collection; stm32; electrical machinery

# 基于粒子群优化反向传播神经网络的 铁路路基沉降量预测

王瑜鑫<sup>1,2</sup>, 王旭<sup>2</sup>, 杨昊天<sup>1</sup>

(1. 中铁西北科学研究院有限公司, 兰州 730070; 2. 兰州交通大学 土木工程学院, 兰州 730070)

**摘要:**铁路路基沉降规律复杂、沉降量难以预测,因此提出一种粒子群优化反向传播神经网络的路基沉降量预测模型。传统神经网络建模时存在收敛速度慢、易陷入局部极小值等不足。因此,通过粒子群算法修正网络的初始权/阈值,提高全局收敛性,建立基于粒子群优化的反向传播神经网络预测模型。通过对宝中线实测数据进行仿真实验,结果显示:经粒子群优化的神经网络可避免局部极小问题,加快网络收敛速度,提高了对铁路路基沉降量的预测精度。

**关键词:**铁路路基;沉降量预测;粒子群算法;神经网络

**中图分类号:**U216 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0149-07

在铁路建设与营运期间,由于路基土体或后期周围农田大面积漫灌的影响,路基出现不均匀沉降。同时,在长期整修过程中,由于不断补充石碴和起道作业,造成下沉地段的线路道床厚度逐年增大,道床厚度的不均匀和路基沉降的不均匀两种因素叠加,致使下沉地段线路几何尺寸不易保持。对路基的沉降进行防控是铁路工程中一个紧要问题,直接影响运输安全与效率。所以,准确的预测铁路路基的沉降量,对指导施工、节约工程造价均具有不可小觑的作用。

如今,众多学者在路基下沉情况预测领域进行研究。曲线拟合法是预测路基下沉量的常用手段,文献[1]选取其中三种曲线实现对软土路基下沉量的预测,该方法简单实用,但在前期预测中不够稳定,与实际偏差略大。文献[2]在沉降观测数据的基础上,通过 Peck 公式与双线叠加原理进行沉降预测,但公式法受不同地区地质情况影响大,方法具有局限性。文献[3]选择灰色 GM(1,1)模型来分析路基在加固后产生的下沉变化,掌握其变化规律,然而这种模型需要数值呈指数分布,适用于短时间内的预测,对中期以及长期预测的准确程度相对就比较低。由于影响路基沉降的因素众多,各因素影响程度难以量化,因此较难用目前的预测方法建立输入和输出的关系。铁路路基沉降为一个动态过程,沉降历史数据量大且数据间存在非线性关联,反向传播神经网络具有并行

计算能力、泛化性强,可以任意精度逼近任何非线性函数<sup>[4]</sup>。相较传统方法,反向传播神经网络能更好的利用数据间的关联,无需建立任何土工模型,易达到预测目的<sup>[5-7]</sup>,但在网络的训练阶段误差函数容易寻找到局部最小值,并且训练阶段收敛速度慢。为此,在本研究中结合粒子群算法能够实现全局寻优的优点<sup>[8-9]</sup>,完成对反向传播神经网络初始权/阈值的优化,将所找到的最佳数值带进神经网络,利用优化后具有新的权/阈值的网络模型实现路基沉降量的预测。使得模型即发挥反向传播神经网络良好的映射能力,又避免局部最优的问题,提升对铁路路基沉降量的预测效果。本文以宝中线 K329~K331 段实测数据为依据进行实验仿真,同时对实验结果进行分析,为铁路路基的下沉量预测提供依据。

## 1 预测模型建立

### 1.1 反向传播神经网络原理

神经网络是可以实现自学习和自适应的一种非线性系统,利用大量的样本对网络进行训练,能够找到数据和结果间的因果关联<sup>[10]</sup>。在各类的预测任务中,反向传播神经网络也是应用热点。该网络的输入信号延正方向传递,误差信号延反方向传递。本文选取输入层、隐层和输出层共三个层级所组成的反向传播神经网络,其拓扑结构如图 1 所示。

每层神经元数目依次为  $I$ 、 $H$ 、 $O$ ,  $w_{ih}$  和  $w_{ho}$  依

收稿日期:2020-02-18

基金项目:国家自然科学基金项目(41662017)。

作者简介:王瑜鑫(1992—),男,甘肃白银人,中铁西北科学研究院有限公司,助理工程师,硕士,研究方向:工程地质及岩土工程相关的风险管理。

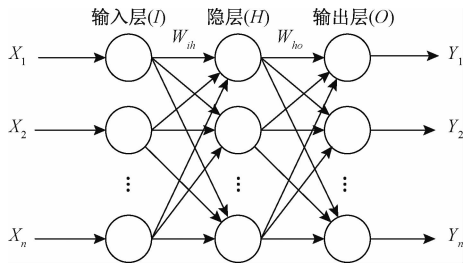


图1 反向传播神经网络结构

次为输入层与隐层、隐层与输出层神经元间的权值， $\theta_h$  和  $\theta_o$  依次为隐层和输出层的神经元阈值。将输入到网络中的训练样本集记作  $x_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{ki})$ ， $k = 1, 2, \dots, n$ ，网络所输出的预期目标值记作  $d_k = (d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{ko})$ 。则该网络中隐层输出的信号可由下式进行表达：

$$H_h = g\left(\sum_{i=1}^I w_{ih} \cdot x_{ki} - \theta_h\right) \quad (1)$$

式中  $g(\cdot)$  是隐层的激活函数。将  $H_h$  继续向前传递，即可获取到整个网络的真实输出：

$$y_{ko} = f\left(\sum_{h=1}^H w_{ho} \cdot H_h - \theta_o\right) \quad (2)$$

式中  $f(\cdot)$  是输出层的激活函数。网络的总体误差可以根据预期输出与真实输出共同得到：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{o=1}^O (d_{ko} - y_{ko})^2 \quad (3)$$

反向传播神经网络训练的目的在于沿着误差的最快下降方向，连续不断地更新神经网络的权/阈值  $w_{ih}$ 、 $w_{ho}$ 、 $\theta_h$  和  $\theta_o$ ，直至误差可以满足精度要求。权值的调整公式为：

$$w_{ho}(t+1) = w_{ho}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ho}} \quad (4)$$

$$w_{ih}(t+1) = w_{ih}(t) - \eta' \frac{\partial E}{\partial w_{ih}} \quad (5)$$

阈值的调整公式为：

$$\theta_o(t+1) = \theta_o(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial \theta_o} \quad (6)$$

$$\theta_h(t+1) = \theta_h(t) - \eta' \frac{\partial E}{\partial \theta_h} \quad (7)$$

其中  $\eta$  和  $\eta'$  分别为隐层和输出层的学习步长。重复上述流程，优化各层级神经元之间的权/阈值，使其等于或者近似等于误差允许范围。

## 1.2 粒子群算法原理

粒子群算法是通过全局优化实现随机搜索的一种智能算法，可利用种群中各粒子之间的信息共享及相互协作寻找到最佳解。该算法在对每一个粒子进行随机初始化之后，让每个的粒子逐步跟踪个体本身

的最佳位置，同时也跟踪整个粒子群的全局最佳位置，不停更新粒子的位置和速度最终达到最佳解。设有一个粒子群，将其中每一个粒子初始的位置都记作  $x$ ，它们初始的速度记作  $v$ ，每一个粒子现阶段最佳的位置设为  $P_{best}$ ，整个群体现阶段最佳的位置设为  $G_{best}$ 。在每一个粒子寻找最佳位置的过程中，它们在  $t+1$  时刻的速度更新如(8)式，位置的更新如(9)式：

$$v(t+1) = \omega v(t) + c_1 r_1 [P_{best} - x(t)] + c_2 r_2 [G_{best} - x(t)] \quad (8)$$

$$x(t+1) = x(t) + v(t+1) \quad (9)$$

式中， $c_1$  和  $c_2$  是步长，它们分别调整各个粒子走向的自身最佳位置以及群体最佳位置； $\omega$  为惯性因子； $r_1$  和  $r_2$  是2个随机数，它们在  $[0, 1]$  都服从均匀分布。

## 1.3 粒子群优化反向传播神经网络预测模型的构建

由于反向传播神经网络利用预期输出与真实输出间的误差延梯度下降最快的方向对网络不停迭代，因此它本质上是局部搜索来获得最佳性能，所以不具备搜索全局最优解的能力。同时也对初始的权重十分敏感，往往会陷入到局部最小值，在训练过程中收敛速度也相对较缓慢<sup>[11]</sup>。而粒子群算法为群智能优化法，它不断追踪并且更新各个粒子的速度和位置来获取全局的最佳解，而且具备鲁棒性高、训练时收敛迅速等优势。故借助粒子群算法的优势，把反向传播神经网络的相关参数，包括权值以及阈值，都对应为粒子群中的各个粒子，然后通过粒子间的相互协作进行全局寻优，从而实现了对权/阈值的优化，流程如图2所示。

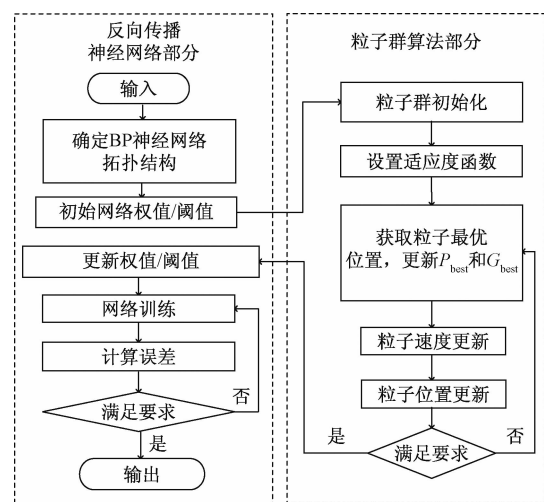


图2 粒子群优化反向传播神经网络预测流程图

基于粒子群优化反向传播神经网络的铁路路基沉降量预测模型步骤如下：

1) 构建反向传播神经网络。确定拓扑结构，设置

相关参数,并实现网络权/阈值的初始化。将连续多期路基沉降数据和接下来的一期路基沉降数据数据分别作为粒子群一反向传播神经网络的输入与输出,隐层神经元的个数可以根据下式来获得:

$$h = \sqrt{n+m} + a \quad (10)$$

式中  $n$  和  $m$  分别为输入以及输出神经元个数,  $a$  是正整数,其取值范围是  $[1,10]$ 。

2)对粒子群进行初始化。将网络中经过初始化后的权/阈值均映射到粒子群中,成为粒子群里的各个粒子。将一组起始种群的数目记作  $D$ ,该数目可根据网络拓扑结构中预设好的输入层、隐层和输出层的神经元个数  $I$ 、 $H$  和  $O$  来计算:

$$D = I \cdot H + H \cdot O + H + O \quad (11)$$

根据 1.2 节粒子群方法原理设置相关参数,确定各粒子的最初的位置  $x$  和速度  $v$ ,初始化各粒子现阶段最佳的位置为  $P_{best}$ ,种群现阶段最佳的位置  $G_{best}$ ,加速因子  $c_1$ 、 $c_2$  和惯性因子  $w$ 。

3)设计适应度函数。该函数可以对各个粒子的性能进行评估,可以根据网络的误差函数来设计适应度函数。对该函数进行计算,所得结果越小,就表明粒子的适应程度越好,具体表达式如下:

$$f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y_{ij} - o_{ij})^2 \quad (12)$$

式中,  $N$  为样本数目;  $M$  为粒子维度;  $y_{ij}$  和  $o_{ij}$  依次表示第  $i$  个样本在所构建网络的第  $j$  个节点的预期输出结果以及真实输出结果。

4)获取粒子最佳位置。对种群中的各个粒子,可以根据公式(12)来求适应度值。若当下粒子的适应度值要比之前的最佳适应度值大,则用当下的数值对  $P_{best}$  进行更新;若当下粒子所求得的最佳适应度值比全局最佳适应度值大,则将当下的数值作为  $G_{best}$ 。

5)在每一个粒子不断寻找最优值的过程中,根据上文所述的式(8)、式(9),不断更新每个粒子的位置和速度。

6)判断是否已经满足所设置的最大迭代次数或者训练精度,条件满足则终止迭代运算,并输出优化过后的权值和阈值;否则返回步骤(4)继续搜索。

(7)采用步骤(6)输出的最优权/阈值来替代反向传播神经网络的参数,之后再根据输入数据延正方向传递以及误差延相反的方向传递,利用该过程训练此网络。

## 2 工程实例与预测数据分析

### 2.1 工程概况

本文选取宝中线 K329~K331 段线路监测数据

对所构建的网络来验证。该段位于宁夏回族自治区中卫市海原县,此段路基受农田大面积漫灌等因素的影响,路基出现不均匀沉降。按测量规范要求,设置两个观测点作为基点(记为 BM1, BM2),BM1 设置于一混凝土涵洞上方,同时在路肩附近垂直做 8 m 旋喷桩,桩头布置水泥台, BM2 设置于水泥台上方。两基点能够互相通视,以便校核,如图 3 和图 4 所示。

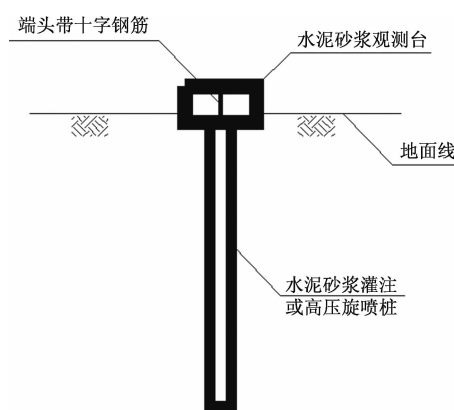


图3 观测点建造示意图



图4 BM2观测点照片

基点布置完毕后从里程 K329+450 左侧开始,每隔 25 m 在线路左、右两侧交叉布置观测点。从 2015 年 4 月开始进行沉降观测,到 2015 年 9 月外业全部结束,以 3 天为一个周期,共获取 50 期观测数据。观测仪器选用拓普康水准仪,用于测量的标尺其刻度精确到毫米,可以满足观测该段路基的沉降。为避免预测结果的偶然性,本文选取其中 3 个观测点进行预测研究,记作 H1、H2 和 H3,各点实测累计的沉降量如表 1 所示。

### 2.2 基于粒子群一反向传播神经网络的沉降量预测

本文选用 Matlab/simulink 作为实验环境,来实现粒子群优化反向传播神经网络对沉降量的训练和分析。每组数据以连续 5 期路基沉降实际监测数据作为网络的输入量,将接下来的 1 期数据作为网络的预期输出。利用第 1—35 期的下沉量来实现网络的训练,并预测 41—50 期的下沉量。

表 1 H1、H2 和 H3 实测累计沉降值

期数	测点累计沉降/mm			期数	测点累计沉降/mm			期数	测点累计沉降/mm			期数	测点累计沉降/mm		
	H1	H2	H3		H1	H2	H3		H1	H2	H3		H1	H2	H3
1	0.2	0.3	0.5	14	8.1	7.6	11.5	26	15.3	13.2	23.6	39	21.0	16.1	30.0
2	0.7	1.0	1.0	15	8.6	8.1	12.3	27	16.9	13.4	24.4	40	21.1	16.1	30.4
3	1.5	1.7	1.8	16	9.4	9.2	14.8	28	17.0	13.4	25.2	41	21.1	16.1	30.4
4	2.1	2.3	2.2	17	10.2	10.4	16.2	29	17.2	13.4	26.1	42	21.1	16.1	30.5
5	2.7	3.2	3.0	18	11.0	11.2	16.4	30	18.1	13.7	26.6	43	21.1	16.1	30.5
6	3.3	3.8	3.8	19	11.2	11.9	18.1	31	18.1	14.0	27.0	44	21.6	16.1	30.7
7	3.6	4.1	4.2	20	12.0	12.2	19.3	32	18.9	14.4	27.7	45	21.6	16.2	30.7
8	3.8	4.4	4.6	21	12.4	12.5	20.7	33	19.4	15.0	28.1	46	21.7	16.2	30.8
9	4.1	4.9	5.1	22	12.7	12.7	21.5	34	19.7	15.0	28.8	47	22.0	16.4	31.0
10	4.9	5.2	6.7	23	13.0	12.7	22.1	35	20.2	15.4	29.1	48	22.0	16.4	31.0
11	5.7	5.7	7.4	24	13.9	13.1	23.0	36	20.6	15.8	29.6	49	22.1	16.4	31.2
12	6.6	6.5	8.9	25	14.1	13.1	23.5	37	20.8	16.1	30.0	50	22.1	16.4	31.3
13	7.5	7.3	10.9			38	20.8	16.1	30.0						

设置反向传播神经网络部分的参数:输入层所需的神经元为 5 个,输出层所需的神经元为 1 个,根据式(3)计算并实验,当隐层神经元个数达到 5 个时,预测的精准度最高。设置粒子群算法部分的参数:最大的迭代次数置为 30 次,最大的限制速度置为 1,自我学习步长  $c_1 = 1.5$ ,群体学习步长  $c_2 = 1.5$ ,惯性因子  $w = 1$ 。

为了验证本文所提出的粒子群-反向传播神经网络在路基下沉量预测方面的有效性和准确性,选取未优化的反向传播神经网络进行实验对比,且参数设置与本文方法中的反向传播部分参数一致。利用相同的前 35 期沉降记录作为每一个网络所需要的训练样本,分别对未优化的反向传播神经网络和本文所提出的粒子群优化反向传播神经网络进行训练,训练误差曲线如图 5 和图 6 所示。

对比图 5 和图 6 的训练误差曲线可知,在 H1、

H2 和 H3 这 3 个观测点上,没有经过优化的反向传播神经网络分别在 33 步、67 步和 56 步达到收敛,粒子群优化反向传播神经网络的收敛步数分别为 26 步、36 步和 24 步。粒子群优化反向传播神经网络所用的收敛步数得到显著减小,并且最佳均方误差也均小于未经过优化的反向传播神经网络,证明利用粒子群来实现反向传播神经网络的改进,避免了随机产生的初始化网络权/阈值引起网络训练过程中发生震荡现象,同时也提高了网络整体的稳定性,收敛速度明显加快,更有利于稳定、迅速的获取沉降量预测结果。

为进一步验证文中提出的粒子群优化反向传播神经网络对下沉量的预测效果,后续实验将下沉量的实测值和预测值进行对比,并分析网络优化前后对沉降量预测结果的性能差异。选取绝对误差、相对误差和平均相对误差作为预测结果的评价指标。

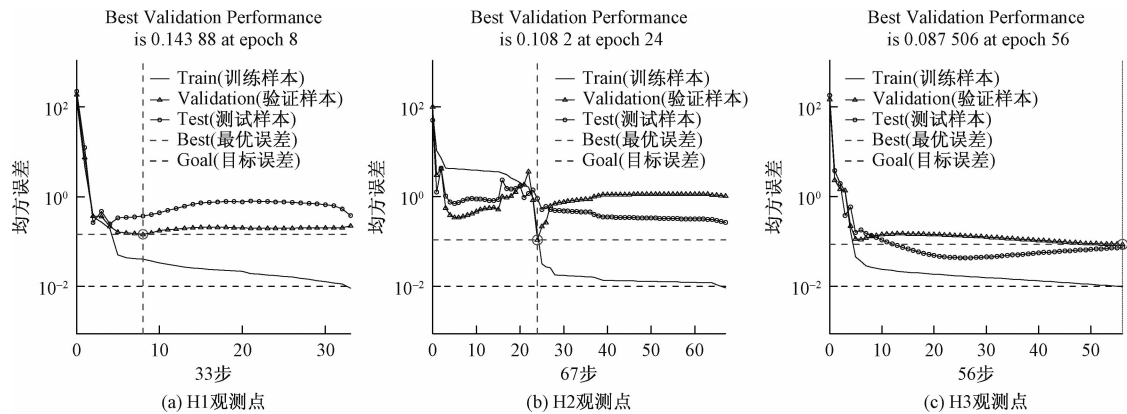


图 5 反向传播神经网络误差曲线

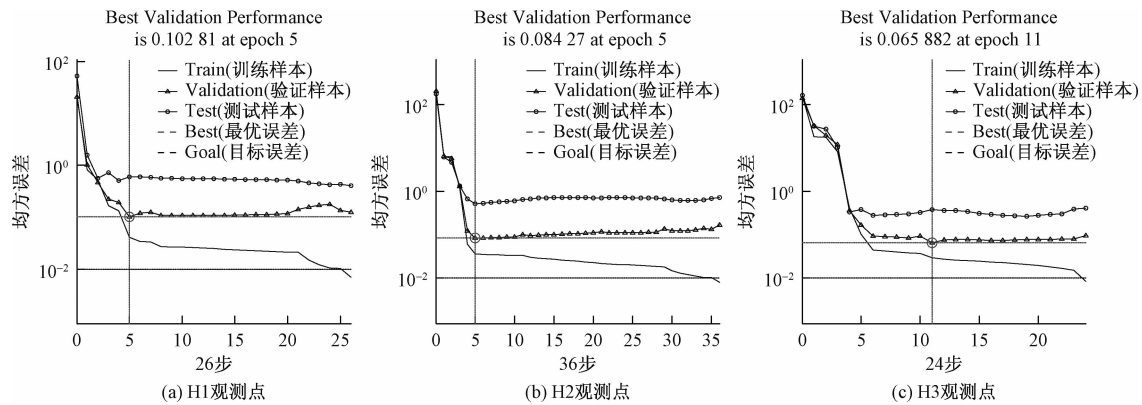


图6 粒子群优化反向传播神经网络误差曲线

由表2、表3和表4可知,在H1、H2和H3这三个观测点上,反向传播神经网络预测模型的平均绝对误差分别为1.1499%,0.7525%和1.1562%,经优化后,粒子群优化反向传播神经网络预测模型的平均绝对误差分别达到0.6%,0.5002%和0.3515%,均有大幅度降低。由此可知粒子群优化反向传播神经网络可有效提高预测精度,对未来的铁路路基沉降量有较好的预测效果。

表2 H1观测点铁路路基沉降量预测误差

期数	实测值/ mm	粒子群优化反向传播神经网络预测模型				反向传播神经网络预测模型			
		预测值/ mm	绝对误差/ mm	相对误差/ %	平均相对 误差/%	预测值/ mm	绝对误差/ mm	相对误差/ %	平均相对 误差/%
41	21.1	21.055 6	0.044 4	0.210 6	0.600 0	21.267 1	0.167 1	0.791 9	1.149 9
42	21.1	21.172 7	0.072 7	0.344 4		21.277 9	0.177 9	0.843 3	
43	21.1	20.995 9	0.104 1	0.493 4		21.266 0	0.166 0	0.786 9	
44	21.6	20.998 3	0.601 7	2.785 2		21.298 3	0.301 7	1.396 9	
45	21.6	21.580 2	0.019 8	0.091 5		21.458 0	0.141 9	0.657 4	
46	21.7	21.729 3	0.029 3	0.135 2		21.611 5	0.088 5	0.407 8	
47	22.0	21.832 7	0.167 7	0.762 4		21.527 8	0.472 2	2.146 3	
48	22.0	21.784 0	0.215 9	0.981 8		21.668 3	0.331 7	1.507 7	
49	22.1	22.106 1	0.006 0	0.027 5		21.787 9	0.312 1	1.412 0	
50	22.1	22.137 0	0.037 0	0.167 5		21.757 6	0.342 4	1.549 3	

表3 H2观测点铁路路基沉降量预测误差

期数	实测值/ mm	粒子群优化反向传播神经网络预测模型				反向传播神经网络预测模型			
		预测值/ mm	绝对误差/ mm	相对误差/ %	平均相对 误差/%	预测值/ mm	绝对误差/ mm	相对误差/ %	平均相对 误差/%
41	16.1	16.075 4	0.024 6	0.152 5	0.500 2	16.147 4	0.047 4	0.294 6	0.752 5
42	16.1	16.050 2	0.049 8	0.309 0		16.195 8	0.095 8	0.595 3	
43	16.1	16.068 0	0.032 0	0.198 9		16.128 4	0.028 4	0.176 3	
44	16.1	16.068 0	0.032 0	0.198 9		16.128 4	0.028 4	0.176 3	
45	16.2	16.068 0	0.132 0	0.814 9		16.128 4	0.071 6	0.442 1	
46	16.2	16.068 0	0.132 0	0.814 9		16.128 4	0.071 6	0.442 1	
47	16.4	16.195 4	0.204 6	1.247 8		16.162 2	0.237 8	1.450 1	
48	16.4	16.202 0	0.198 0	1.207 6		16.142 9	0.257 1	1.567 5	
49	16.4	16.405 5	0.005 5	0.033 7		16.200 9	0.199 1	1.214 3	
50	16.4	16.403 9	0.003 9	0.023 9		16.208 8	0.191 2	1.166 0	

表 4 H3 观测点铁路路基沉降量预测误差

期数	实测值/ mm	粒子群优化反向传播神经网络预测模型				反向传播神经网络预测模型			
		预测值/ mm	绝对误差/ mm	相对误差/ %	平均相对 误差/%	预测值/ mm	绝对误差/ mm	相对误差/ %	平均相对 误差/%
41	30.4	30.305 5	0.094 5	0.310 9	0.351 5	29.988 7	0.411 3	1.353 0	1.156 2
42	30.5	30.546 0	0.046 0	0.150 7		30.377 1	0.122 9	0.402 9	
43	30.5	30.694 4	0.194 4	0.637 4		30.354 6	0.145 4	0.476 6	
44	30.7	30.824 0	0.124 0	0.403 8		30.377 0	0.323 0	1.052 1	
45	30.7	30.706 4	0.006 4	0.020 8		30.370 3	0.329 7	1.074 0	
46	30.8	30.985 4	0.185 4	0.602 0		30.588 5	0.211 5	0.686 7	
47	31.0	30.933 0	0.067 0	0.216 2		30.526 7	0.473 3	1.526 8	
48	31.0	31.063 7	0.063 7	0.205 4		30.590 8	0.409 2	1.320 1	
49	31.2	31.045 6	0.154 4	0.494 7		30.690 4	0.509 6	1.633 3	
50	31.3	31.152 0	0.148 0	0.472 8		30.662 7	0.637 3	2.036 0	

3 结论

本文针对铁路路基的下沉问题,建立粒子群算法优化的反向传播神经网络沉降量预测模型。以宝中线实际测量值为依据,利用 Matlab 环境进行沉降量预测的仿真实验,同时与未被优化的标准反向传播神经网络预测模型展开对比,分析可得:通过粒子群算法对反向传播神经网络进行改进,能够克服标准反向传播神经网络容易落入到局部最小值以及网络训练收敛速度慢等不足。优化了网络的全局收敛性,有效的减少网络收敛步数,提高网络的稳定性,并且降低了沉降量预测结果的平均相对误差,且提高了整体的预测精度,是一种有效且实用的铁路路基沉降量预测模型。

参考文献

[1] 崔凯,杨文恒. 软土路基沉降的联合法预测研究[J]. 西南交通大学学报,2017,52(5):926—934.

[2] 宫亚峰,王博,魏海斌,等. 基于 Peck 公式的双线盾构隧道地表沉降规律[J]. 吉林大学学报:工学版,2018,48(5):1411—1417.

[3] 陈洋,文鸿雁,覃辉,等. 非等间距 GM(1,1)抗差估计及其在路基沉降预测中的应用[J]. 公路工程,2017,42(6):64—68,74.

[4] 周璐婕,董昱. 基于 GA—BP 神经网络的列车车载设备故障诊断方法研究[J]. 铁道科学与工程学报,2018,15(12):3257—3265.

[5] 黄定川,谢世成. 一种基于 BP 神经网络的尾矿坝沉降预报方法[J]. 测绘工程,2016,25(8):53—56,64.

[6] 周星勇,杨容浩,王志胜,等. 一种改进遗传神经网络的建筑基坑沉降预测模型[J]. 测绘工程,2018,27(3):53—57.

[7] 彭立顺,蔡润,刘进波,等. 基于遗传优化神经网络的高速公路路基沉降量预测[J]. 地震工程学报,2019,41(1):124—130,207.

[8] LONG Q, GUO S, LI Q, et al. Research of converter transformer fault diagnosis based on improved PSO-BP algorithm [C]//The Proceedings of 2nd International Seminar on Advances in Materials Science and Engineering. Singapore: 2017:28—30.

[9] 刘海明,周小贵,王忠伟,等. 基于粒子群与 Markov 优化的 PMIGM(1,1)模型预测路基沉降方法研究[J]. 岩土工程学报,2019,41(1):205—208.

[10] AHMED R S, MONCEF N. Modeling Self-Healing of Concrete Using Hybrid Genetic Algorithm Artificial Neural Network[J]. Materials,2017,10(2):135—140.

[11] MO L. Study on surface settlement prediction technique based on BP neural network[C]//The Proceedings of 6th International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications. Guiyang:2015:760—762.



## Prediction of Railway Subgrade Settlement Based on Back Propagation Neural Network Optimized by Particle Swarm

WANG Yu-xin<sup>1,2</sup>, WANG Xu<sup>2</sup>, YANG Hao-tian<sup>1</sup>

(1. Northwest Research Institute Co., Ltd., of CREC, Lanzhou 730070, China;

2. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In view of the fact that the settlement deformation law of railway subgrade is complex and the settlement is difficult to predict, a back propagation neural network optimized by particle swarm optimization was proposed to predict the settlement of railway subgrade. Considering the shortcomings of using traditional back propagation neural network to establish settlement prediction model, such as slow convergence speed and easy to fall into local minimum. Therefore, a particle swarm optimization algorithm was used to modify the initial weight and threshold of back propagation neural network, the global convergence of the network was optimized, and the prediction model based on back propagation neural network optimized by particle swarm was established. Through the simulation experiment on the measured data of Baozhong Railway, the results show that the back propagation neural network optimized by particle swarm optimization can avoid the local minimum problem, accelerate the convergence speed of the network, and improve the prediction accuracy of railway subgrade settlement.

**Key words:** railway subgrade; settlement prediction; particle swarm optimization; neural network

---

(上接第 102 页)

## The Location of Emergency Center under the Multi-objective Double-covering and Solving by Wolf Pack Algorithm

SUN Ran, ZHANG Hui-zhen

(School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The ambulance location problem consists of determining which ambulance station should be open and how many ambulances should be allocated at this station. Since in reality circumstances time is crucial, one of the major issue in emergency conditions is to ensure a quick response of the rescue operations by an efficient vehicle location management. From a practical point of view, it is essential that emergency vehicles be located so as to ensure an adequate coverage of the interested area and the pre-hospital care system can provide a prompt rescue. Take account of issues above, covering modeling is applicable for solving ambulance location problem. however, because of globally pervasive trends, such as decreasing birth rates, and increasing environmental growth, supplementary issues should be taken into consideration, instead of solely seek for maximizing covering demand. We formulate a improved programming model that determines the location of ambulance bases among a set of potential ones with three objectives involved: maximizing total demand covered twice within a predetermined distance parameter, minimizing the total distance between the uncovered allocated demands and the facilities to which they are assigned and minimize the cost of emergency facility location, including construction cost and labor cost. Then we illustrate the high efficiency of pre-hospital system and first-aid station location brought, and the positive role which played in all kinds of emergency relief. Also to solve this NP-hard problem, we employ wolf pack algorithm to effectively get an ideally location result.

**Key words:** emergency center; maximum coverage model; wolf pack algorithm

# 贵州织金垮坡组滑坡成因分析及稳定性评价

李海军<sup>1</sup>, 董建辉<sup>2</sup>, 朱要强<sup>3</sup>, 邹银先<sup>3</sup>, 丁恒<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059;

2. 成都大学 建筑与土木工程学院, 成都 610106; 3. 贵州省地质环境监测院, 贵阳 550000)

**摘要:**强降雨诱发了大量的滑坡地质灾害, 织金县垮坡组滑坡在强降雨后, 坡体在后缘出现大量张拉裂缝以及两侧公路出现局部破坏之后发生了变形破坏。为了研究滑坡成因以及稳定性, 在对现场进行详细调研以及查明变形破坏特征的基础上, 对滑坡成因做出了详细分析, 采用了定性分析、定量计算的方法对稳定性进行了研究。结果表明: 垮坡组滑坡总方量 14.95 万 m<sup>3</sup>, 属于中型土质滑坡; 坡体在自重状态、自重+坡脚开挖状态下稳定系数分别为 1.095、1.098, 都处于基本稳定状态, 在自重+暴雨、自重+暴雨+坡脚开挖状态下稳定性系数分别为 0.711、0.722, 都处于不稳定状态; 强降雨是此次滑坡的主要诱发因素。

**关键词:** 滑坡; 变形破坏; 滑坡成因; 稳定性

**中图分类号:** P642.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2020)05-0156-05

贵州独特的地质环境决定了其为滑坡地质灾害频发的省份之一<sup>[1]</sup>。2012年6月29日, 贵州大榕滑坡, 造成约348户1020名群众受到威胁<sup>[2-3]</sup>。2019年7月23日, 贵州省水城县鸡场镇坪地村岔沟组发生特大型山体滑坡, 截至2019年7月29日, 造成42人死亡, 失联9人, 27栋房屋损坏, 其中21栋被埋<sup>[4]</sup>。2019年6月16日至2019年6月24日期间, 贵州省毕节市织金县三塘镇岩硐口村垮坡组连续降中至暴雨, 2019年6月27日在后山发现地表开裂现象, 最大开裂宽度约5 cm, 直接威胁着下部垮坡组居民7户34人及垮坡至纳雍县张家湾镇乡村公路上过往行人及车辆的生命财产安全。2019年7月30日, 发生了山体滑坡, 滑坡体体积约14.95万m<sup>3</sup>, 造成垮坡至纳雍县张家湾镇乡村公路约100 m严重损毁, 由于避险得当, 未造成人员伤亡。

关于滑坡成因及稳定性评价, 穆鹏等<sup>[5]</sup>通过对陇南红土坡滑坡进行现场调查, 研究了形成该滑坡的主要因素, 并做出了稳定性评价; 刘德平等<sup>[6]</sup>通过对滑坡区详细的勘察, 分析了滑坡成因, 并对稳定性进行了定量分析; 魏昌利等<sup>[7]</sup>采用工程地质分析、定量计算和数值模拟方法对滑坡堆积体稳定性及变形破坏机制进行了研究, 并对滑坡稳定性进行了预测; 杜岩等<sup>[8]</sup>以重庆开县桌子石滑坡为案例, 基于最新的研究成果和现场勘察结果, 对滑坡的成因机制进行分析并

对稳定性计算公式进行修正; 郭宁<sup>[9]</sup>通过对普格县姚家山滑坡的基本特征及影响因素分析, 研究了滑坡成因机制, 并进行了稳定性计算; 李海军等<sup>[10]</sup>通过对贵州发耳煤矿尖山营的地形、地貌特征详细查明, 研究了滑坡的变形破坏特征及成因机制; 马平等<sup>[11]</sup>通过对瓮马高速公路顺层边坡现场详细的调研, 研究了顺层边坡的失稳机理。滑坡地质灾害严重威胁着人民的生命财产安全<sup>[12-14]</sup>。因此, 通过对贵州织金垮坡组滑坡成因及稳定性的分析, 为其边坡的治理提供科学的依据。

## 1 地质环境条件

### 1.1 地形地貌

研究区地貌类型属中山地貌, 居民点主要分布滑坡区的东北侧。区内出露地层为第四系、长兴组及飞仙关组, 出露地段为地层反向坡。总体地形特征为北高, 南低, 高程1880~1977 m, 最高点位于滑坡区后缘山顶, 标高1977.88 m。最低点位于滑坡区左侧冲沟与后寨一三塘道路交叉点, 高程为1880.77 m, 相对高差达97.11 m。垮坡组滑坡工程地质平面图如图1所示。

### 1.2 地层岩性

第四系耕植土层(Q<sub>4</sub>pd): 分布于滑坡体上原始斜坡地带, 呈褐黄色, 含植物根系, 结构松散, 偶夹岩石碎屑块。第四系残坡积层(Q<sub>el</sub>+dl): 主要分布于

收稿日期: 2020-01-15

基金项目: 黔科合支撑[2017]2814项目; 黔科合平台人才[2017]5402项目; 成都大学引进人才启动项目(2081917010)。

作者简介: 李海军(1994—), 男, 四川达州人, 成都理工大学, 硕士研究生, 研究方向: 地质灾害与防治。

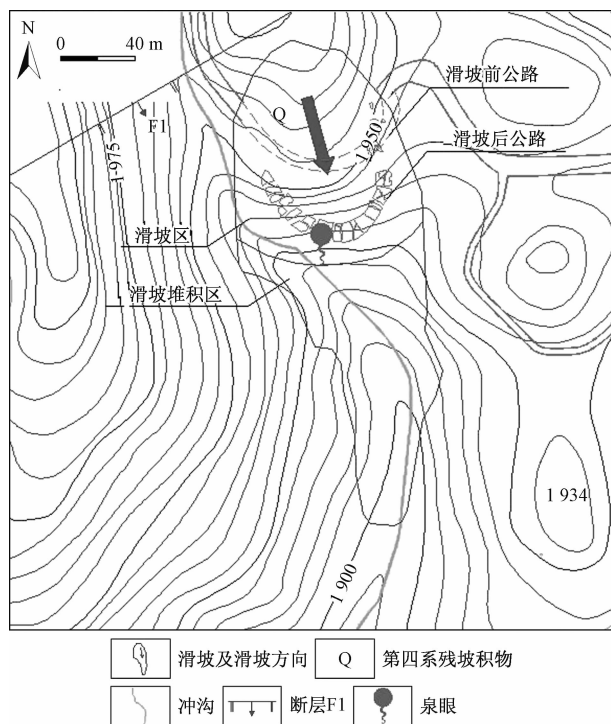


图1 垮坡组滑坡工程地质平面图

滑坡体上原始斜坡地带,呈黄褐~灰褐色,可塑状,含少量碎石,碎石呈棱角形,其含量约占10%,为粉砂岩、泥岩风化产物;三叠系下统飞仙关组( $T_1f$ ):岩性为薄至中厚层状灰黄色、紫灰色粉砂质泥岩及泥质粉砂岩,强风化粉砂岩、泥岩,呈灰黄、紫灰色,岩体完整程度为碎裂,少部分为极破碎,中风化粉砂岩、泥岩,呈灰黄、灰绿色,岩体较破碎,岩石为软岩,浸水后崩解,手折可断。

### 1.3 水文地质条件

研究区属于长江流域乌江水系,区内地表水体不发育,主要为季节性冲沟,最大水量约30.0 l/s,最小水量约0.41 l/s。在滑坡体上大部分为旱地,滑坡体中下部初露有一泉眼,流量0.421 l/s。该部分地表水体易流入滑床,造成部分水渗入滑坡体中。滑坡工程地质剖面图如图2所示。

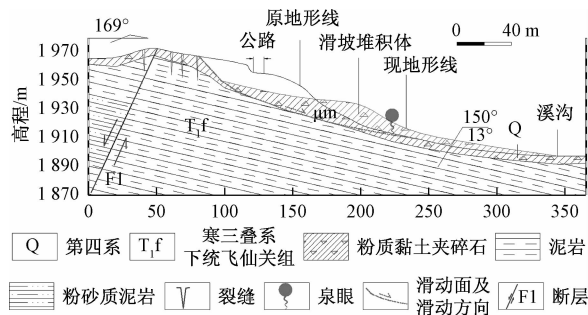


图2 工程地质剖面图

## 2 滑坡变形破坏特征

该滑坡平面形态总体呈“鞋履”,主滑方向 $167^\circ$ 。滑坡后缘靠北侧山顶一带为缓斜坡,局部为陡坎,标高为1970~1965 m,高差约5 m,该区域出现近平行于滑坡滑面的拉张裂缝,地面可见明显下沉、开裂现象,下沉高度0.1~2.0 m不等。滑坡前缘位于冲沟,即剪出口位于冲沟中下部临空面上,最低剪出口为沟底;滑坡左侧变形迹象为在公路及居民房屋上出现裂缝,边界确定是以滑坡左侧缘处于地势陡、缓斜坡交界线一带,即处于山脊梁微地貌交汇。

地带:滑坡右侧缘上部公路上出现有大小不同的裂缝,裂缝发育具有拉张性,集中在公路一带滑坡体上,裂缝呈间断性,总体走向 $220^\circ\sim 280^\circ$ ,最长缝长10.0 m、宽度0.05~0.25 m的裂缝,同时也有近垂直滑向裂缝。下部以负地形沟槽控制,直到冲沟下部。滑坡全貌图如图3所示。

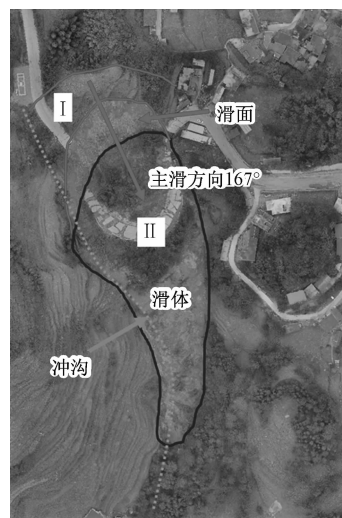


图3 滑坡全貌图

据调查,Ⅰ变形区位于已发生滑坡后缘,地坪标高1972.50~1963.56 m,纵长16~32 m,横向宽124 m,平均厚8 m,总体约1.98万 $m^3$ 。该变区块上出现大小不同的裂缝许多条,具有代表性的1条性质属拉张裂缝,如图4所示。裂缝走向为 $238^\circ$ ,张开度150~200 cm,裂缝下错高度150~200 cm,下错方向 $160^\circ$ ;裂缝多呈折线性,部分裂缝为间断性的贯通,可见明显的下错现象。

已发生滑坡左右两侧公路上,分布有大小不一的许多条张拉裂缝,越靠近滑坡面的地区裂缝的张拉程度逐渐增大,下错的现象也越为明显,其中裂缝张开度最大20~50 cm,下错最大高度50~80 cm。滑坡左侧挡土墙发生拉裂,前侧道路及挡土墙严重变形损

毁,左侧建筑物同样出现张拉裂缝并错位变形,如图5所示。

Ⅱ堆积区,该区由滑坡滑体构成,整体呈“鞋履”状,纵长约230 m,横向宽26~105 m,平均厚10.0 m,总体约14.95万 $\text{m}^3$ ,相对高差约49 m。主要成分为土体、岩屑及块石,土体极为松散,土石比约7:3,分布极为不均,见杉树林呈倾伏状,部分根系翻出,如图6所示。



图4 I 变形区裂缝



图5 滑坡损坏的公路



图6 Ⅱ堆积区

### 3 滑坡成因分析

垮坡组滑坡受岩体结构、岩性特征、地形特征、强降雨条件及人类工程活动等综合因素的影响。

#### 3.1 岩体结构

由于受区域构造的影响,研究区地层产状总体较稳定,总体岩层产为 $142^\circ\angle 13^\circ$ ,节理裂隙较发育。天然基岩露头地段,对滑坡区节理裂隙进行了详细的地

表调绘及统计,滑坡区节理裂隙玫瑰花图如图7所示。

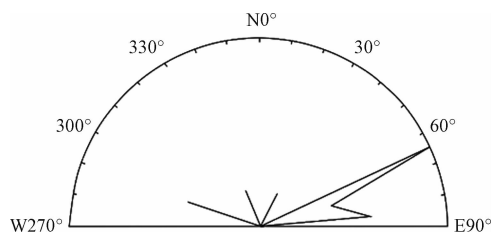


图7 滑坡区节理裂隙玫瑰花图

根据对节理玫瑰花图分析,比较清楚的反映出主要节理发育走向,同时结合研究区的滑坡坡向,总结出滑坡坡向与近平行或近垂直节理关系。即与顺层滑坡坡向近垂直一组节理( $62^\circ\sim 85^\circ\angle 65^\circ\sim 90^\circ$ ),使滑坡体容易与后缘陡斜的稳定体(母体)发生脱离;另一组节理( $115^\circ\sim 152^\circ\angle 78^\circ\sim 89^\circ$ )的走向与坡向近平行,同样使滑坡体与左侧缘斜坡稳定体(母体)发生脱离,最终形成现状滑坡形态特征。

#### 3.2 岩性特征

研究区坡体结构为缓倾角顺向斜坡,岩体主要为泥岩、粉砂质泥岩,节理发育,部分节理裂贯通性好,强风化层岩体破碎,而地表土体呈松散状,构成斜坡坡体自身稳定较差。

#### 3.3 地形特征

斜坡坡面多呈台阶状,台阶高低不一,前缘为陡缓不一临空面,为滑坡形成提供了较好的临空条件。此外,阶梯状的地形不利于雨水的排泄,极易形成集水地带,加之地表松散的岩土体条件,造成降雨之后的水体渗入滑体及滑面之中,导致滑面抗剪强度降低,潜在滑体重量增重,从而进一步加快了斜坡发生变形破坏。

#### 3.4 强降雨

强降雨是该滑坡产生变形的另一诱发因素,由于滑坡体上土体结构松散,加上滑坡体内节理裂隙发育,坡面汇集的地表径流极易沿节理裂隙下渗而转化成地下水,在下部滑床的阻隔下,地下水在滑带附近汇集,对滑带土进行长时间的浸泡和软化,降低岩带土体的物理力学性质,使其成软塑一流塑状态,其上部滑体与滑床之间的粘聚力、内摩擦角降低,有利于滑坡向前缘蠕滑变形,促进后缘拉裂缝的形成及演化。同时,由于地下水的汇集,并在滑面以上形成水压力,后缘拉裂缝中形成动水压力,从而加剧了滑坡的变形和发展。

#### 3.5 人类工程活动

未发生大规模滑动前,其坡脚有煤矿企业自建道

路环绕而过,而修建道路时切坡切断了岩体的连续性,道路下方一陡斜坡则形成了较好的剪出条件。运输煤炭的车辆在道路上通过时,可视为加载于坡体上连续的外荷载。

## 4 滑坡稳定性分析

### 4.1 滑坡稳定性定性分析

1)内在因素:从滑坡形态特征角度,地形坡度均较陡,且滑坡前缘具有高陡临空面,这为滑坡的滑动变形提供了有利的空间几何条件和临空条件;从滑坡岩土组合特征角度,滑坡体浅地表为第四系松散体及全(强)风化层,下覆基岩为泥岩,这些都为滑坡的滑动变形破坏提供了有利的物质组合条件。

2)外在因素:对滑坡体进行开挖修建公路,扰动了岩体稳定性,新建公路主要用于运煤车通行,增加了坡体的荷载;在滑坡前几天研究区普降中至暴雨,下渗的水体为滑坡的滑动提供动力,且水体渗入坡体对滑面起到润滑作用。

### 4.2 滑坡稳定性定量分析

1)计算方案。根据岩层分布情况及其岩性特征,滑坡滑动面位于坡积层内,按照土质滑坡稳定性分析方法,滑动面的形态按折线型,采用不平衡推力法进行边坡稳定性计算,计算公式如下:

$$P_i = P_{i-1} \psi_i + T_i - R_i / F_s \quad (1)$$

$$\psi_i = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_i / F_s \quad (2)$$

$$T_i = (W_i + Q_i) \sin \theta_i \quad (3)$$

$$R_i = c_i l_i + (W_i + Q_i) \cos \theta_i \tan \varphi_i \quad (4)$$

式中:  $P_i$ —第  $i$  计算条块与第  $i+1$  计算条块单位宽度剩余下滑力(kN/m);  $P_n = 0$ ;  $W_i$ —第  $i$  条块的重量(kN/m);  $Q_i$ —第  $i$  条块上受到的外力(kN/m);  $T_i$ —作用于第  $i$  块段滑动面上的滑动分力(kN/m),出现与滑动面方向相反的滑动分力时,取负值;  $R_i$ —作用于第  $i$  块段抗滑力(kN/m);  $\psi_i$ —传递系数;  $\theta_i$ —第  $i$  条块滑面倾角( $^\circ$ );  $\varphi_i$ —第  $i$  条块内摩擦角( $^\circ$ );  $c_i$ —第  $i$  条块内聚力(kPa);  $l_i$ —第  $i$  条块滑面长度(m);  $F_s$ —稳定系数。

2)计算参数。根据在该滑坡区采取的试验样品分析测试结果,对比参数反演结果并结合以往经验进行取值。参数反演结果的内聚力  $c$  值与试验结果的内聚力值接近,该参数与滑坡滑动破坏的实际情况较吻合,而试验的内摩擦角  $\varphi$  值较低,采用反演值与试验值按权重比例确定作为抗剪强度中的  $\varphi$  值;而饱和状态下的  $c$  值和  $\varphi$  值均偏低,因此采用试验值与反演值按权重比例取值,并以反演值为主。在天然状态(工况 I)下和饱和状态(工况 II)下的计算参数取值

见表 1,计算示意图如图 8 所示。

表 1 滑坡稳定性分析计算参数取值表

工况	内聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\Phi$ ( $^\circ$ )	容重 $\gamma$ (KN/m $^3$ )
天然状态	34.5	12.0	18.5
饱和状态	22.62	8.02	19.10

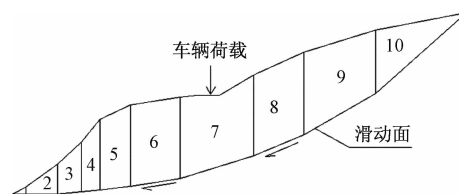


图 8 坡体条块划分

该滑坡发生之前连续强降雨,边坡上部有一条公路,因此,在稳定性计算中考虑天然、暴雨和公路边坡开挖几种工况。根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015),三塘镇的地震烈度为 VI 度,区域地壳稳定性相对较好,按规范要求可不做地震工况计算。边坡上的交通荷载按照《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)中对于计算荷载由标准规定取车重  $G=300$  KN,考虑荷载分项系数  $\gamma=1.2$ 。交通荷载以外荷载的形式作用在边坡上。

工况 I: 天然自重状态;工况 II: 自重+持续暴雨;工况 III: 自重+边坡开挖;工况 IV: 自重+暴雨+边坡开挖。

3)计算结果分析。根据上述计算,结果汇总见表 2。

表 2 计算结果汇总表

计算工况	稳定系数	末块剩余下滑力(KN)	评价
I	1.095	0	基本稳定
II	0.711	2 442.5	不稳定
III	1.098	0	基本稳定
IV	0.722	2 388.7	不稳定

注: I: 自重状态; II: 自重+暴雨; III: 自重+边坡开挖; IV: 自重+暴雨+边坡开挖。

由表 2 可知,运煤公路开挖之前,在天然状态下,织金县三塘镇岩硐口村垮坡组滑坡的稳定系数大于 1.05,小于 1.15,坡体处于基本稳定状态;在饱和状态下,稳定系数为 0.711,坡体处于不稳定状态。运煤公路开挖之后,边坡开挖与车辆荷载作用对整个边坡稳定性的影响极小,天然状态下,坡体处于基本稳定状态;在连续强降雨,滑面岩土处于饱和状态的条件下,坡体处于不稳定状态。

通过稳定性计算表明,水对滑坡体的影响极大,敏感性也极强,因此水是促发此次滑坡的主要因素。

## 5 结论

本文通过对垮坡组滑坡成因及稳定性分析,得到以下结论。

1)滑坡平面形态总体呈“鞋履”,纵长16~32 m,横向宽124 m,平均厚10 m,总体14.95万 $\text{m}^3$ ,属于中型土质滑坡。

2)诱发该滑坡的因素分为内因与外因,主要原因是强降雨抬升地下水位,增加了坡体自重,软化滑动带土体,降低滑带土体的抗剪强度,影响坡体稳定性。

3)根据定性分析结果,地层岩性为第四系松散体和泥岩,滑坡前地形坡度均较陡,为滑坡提供了前提条件,遇到强降雨与坡脚开挖,使得坡体发生了整体滑动。根据定量分析结果,坡体在自重状态、自重+坡脚开挖下都处于基本稳定状态,在自重+暴雨、自重+暴雨+坡脚开挖状态下都处于不稳定状态。因此,强降雨是此次滑坡的主要诱发因素。

## 参考文献

- [1] 傅鹤林,卜翠松,周中,等. 贵州崩塌滑坡的特点及防治技术[J]. 湘南学院学报,2005,26(5):39-45.
- [2] 林锋,王茜,葛海龙,等. 贵州省岑巩县大榕滑坡特征及形成机制研究[J]. 工程地质学报,2014,22(3):396-404.
- [3] 张大权,江兴元,邹姐姐,等. 降雨渗流对堆积型滑坡稳定性影响的数值模拟——以贵州大榕滑坡为例[J]. 科学技术与工程,2019,19(26):338-344.
- [4] 王立朝. 贵州水城“7·23”特大山体滑坡[J]. 中国地质灾害与防治学报,2019,30(4):8.
- [5] 穆鹏,吴玮江,折学森. 汶川地震重灾区陇南红土坡滑坡稳定性分析与防治对策研究[J]. 工程地质学报,2012,20(2):204-212.
- [6] 刘德平,陈涛. 甘南某高速公路滑坡稳定性分析及治理研究[J]. 灾害学,2019,34(S1):174-179.
- [7] 魏昌利,陈亮,杨志华,等. 岷江上游俄寨村滑坡成因与稳定性预测[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(3):185-192.
- [8] 杜岩,谢谟文,吴志祥,等. 平推式滑坡成因机制及其稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报,2019,38(S1):2871-2880.
- [9] 郭宇. 普格县姚家山滑坡成因及稳定性分析[J]. 科学技术与工程,2014,14(11):114-118.
- [10] 李海军,董建辉,朱要强,等. 贵州发耳煤矿尖山营滑坡特征及成因机制[J]. 科学技术与工程,2019,19(26):345-351.
- [11] 马平,张华. 瓮马高速公路低缓顺层边坡失稳机理与反思[J]. 灾害学,2019,34(S1):154-156,183.
- [12] 陈玉禄,苟宁刚,单成德,等. 四川省宁南县主要地质灾害特征及防御对策[J]. 地质灾害与环境保护,2005(2):119-124.
- [13] 韩振华,陈鑫,王学良,等. 四川罗家青杠岭崩塌风险的定量评价研究[J]. 工程地质学报,2017,25(2):520-530.
- [14] 菊春燕,王治良,刘真,等. 青岛崂山地区地质灾害变形监测研究[J]. 工程地质学报,2013,21(3):450-458.

## Genetic Analysis and Stability Evaluation of the Collapse Slope Landslide in Zhijin, Guizhou Province

LI Hai-jun<sup>1</sup>, DONG Jian-hui<sup>2</sup>, ZHU Yao-qiang<sup>3</sup>, ZOU Yin-xian<sup>3</sup>, DING Heng<sup>3</sup>

(1. Statekey Laboratory of Geological Disaster Prevention and Environmental Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China; 3. Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang 550000, China)

**Abstract:** Heavy rainfall induced a large number of geological disasters of landslides. After heavy rainfall, a large number of tensile cracks appeared in the back edge of the landslide of the collapse slope formation in zhijin county, and deformation and failure occurred after the local destruction of the highway on both sides. In order to study the cause of landslide and its stability, on the basis of a detailed investigation on the site and the identification of deformation and failure characteristics, the causes of landslide are analyzed in detail, and the stability is studied by means of qualitative analysis and quantitative calculation. The results show that the landslide volume of the collapse slope group is 149,500  $\text{m}^3$ , which belongs to medium soil landslide. The stability coefficients of the slope were 1.095 and 1.098 respectively in the dead weight state and the dead weight + toe excavation state, which were in the basic stable state. The stability coefficients were 0.711 and 0.722 respectively in the dead weight + rainstorm, and the dead weight + rainstorm + toe excavation state, which were in the unstable state. Heavy rainfall is the main factor causing the landslide.

**Key words:** landslide; deformation failure; landslide cause; stability

# 分布式光纤传感技术在涠洲岛跨海 联网工程中的应用研究

覃 华<sup>1</sup>, 徐志钮<sup>2</sup>, 袁柏秋<sup>1</sup>, 甘涌泉<sup>1</sup>

(1. 广西电网公司 电网规划研究中心, 南宁 530000; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

**摘要:**海缆长期处于复杂的海底环境中,一旦发生故障停电则对海岛造成重大影响,非常有必要对其状态进行监测以避免事故的发生。针对涠洲岛跨海联网工程现状,在综述现有海缆故障检测技术的基础上,引入了一种布里渊频移的快速测量方法并进行了验证,提出了一种基于分布式光纤传感技术的海缆温度、应变快速监测方法,详细介绍了监测系统结构和原理;在此基础上提出了一种利用有限元建模和实测光纤温度、应变的海缆运行、绝缘和机械状态评估和故障诊断方法并初步进行了验证。研究提出的解决方案对涠洲岛跨海光电复合缆监测系统的实现具有指导价值,对类似跨海光电复合缆监测系统的实现具有参考价值。

**关键词:**光电复合海底电缆;分布式光纤传感;在线监测;快速;故障诊断

**中图分类号:**TM930;TP212 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0161-07

随着涠洲岛的用电负荷随着旅游业的增加而快速增长,岛内用电缺口越来越大,同时由于缺乏主网支撑,台风等自然灾害容易使涠洲岛供电系统瘫痪。为了解决该问题南方电网公司批准了涠洲岛跨海联网工程,该工程拟采用光电复合交流高压海底电缆(下文简称海缆或高压海缆)输电。

海缆不仅造价十分昂贵,更为关键的是它长期处于复杂的海底环境中,运行和维护都非常困难,一旦发生故障停电造成的危害更大。因此,较之陆地电缆,海缆的寿命和可靠性方面的要求更高。高压海缆在海底运行时还会承受电应力、热应力、机械应力(地质变动、海洋潮汐、船只落锚、钩挂、拖拽等破坏)和环境应力(海水的冲刷、侵蚀、微生物危害)的作用<sup>[1]</sup>,对海缆破坏的影响较大<sup>[2]</sup>。随着海洋开发利用活动的日益增加,海域内船只的落锚和拖拽以及海浪冲刷和地质变动等可能会破坏海缆的事件会增加。海缆事故的发生比较频繁、造成的后果也比较严重,有统计表明埕岛油田 2003—2013 年海缆发生了 37 次故障<sup>[2]</sup>,2007 年 7 月,福建平潭 110 kV 海缆被船锚拖断造成全岛大面积停电 27 天,损失严重,对社会造成

重大影响<sup>[3]</sup>。相对于陆上电缆来说,海缆维修难度大,时间要求紧,施工风险大,维修成本也是陆上电缆的几十甚至几百倍。故障点的准确定位可以极大提高维修效率,对于海缆后续维修非常关键。因此,研究海缆状态在线监测、故障诊断及定位的有效方法,对于确保电网安全稳定运行、实现智能电网,保障我国海岛供电和海洋权益具有重要意义。

为了更好地实施涠洲岛跨海联网工程,广西电网公司联合华北电力大学对涠洲岛海缆监测系统进行了前期研究提出了切实可行的解决方案。本文首先介绍了涠洲岛跨海联网工程及其实施的必要性,然后在综述了现有海缆检测手段及其不足的基础上,提出了一种基于分布式光纤传感技术的海缆温度、应变快速监测方法,详细介绍了分布式光纤传感技术原理以及测量方案并进行了验证。针对现有海缆在线监测系统的不足,采用有限元分析方法建立了海缆热电耦合场和应变场模型,提出了构建实测光纤温度、应变到海缆运行和故障状况的关系模型以及基于光纤温度和应变的海缆运行、绝缘和机械状态评估和故障诊断方法的研究思路并初步进行了验证。本文工作对涠

**收稿日期:**2020-02-10

**基金项目:**国家自然科学基金项目(51607066;61377088);河北省自然科学基金资助项目(E2019502177);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2019MS090, 2019MS085)。

**作者简介:**覃华(1979—),男,广西都安人,广西电网公司电网规划研究中心,高级工程师,硕士,研究方向:架空输电线路及电缆的监测;徐志钮(1979—),男,浙江苍南人,华北电力大学电气与电子工程学院,副教授,博士,研究方向:光纤分布式传感及在电气设备状态监测与故障诊断中的应用。

洲岛跨海联网工程中海缆的监测及海上风电平台、海上石油钻井平台、大陆与岛屿、岛屿与岛屿间等跨海联网工程海缆监测具有较强的示范作用和推广价值。

## 1 涠洲岛跨海联网工程介绍

涠洲岛位于广西北海市东南面北部湾海域中,距北海约 37 公里。涠洲岛致力于打造成国内一流、国际知名的休闲度假海岛,高规格的发展思路对能源供应提出了更高的要求。但长期以来,涠洲岛电力供应来源单一、可靠性较低。随着涠洲岛旅游业的快速增长,近几年岛上用电负荷每年以 30% 以上的速度增长,2017 年已出现 2~4 MW 电力缺口,而且主要是燃气电厂供电,用电价格偏高,对涠洲岛民生保障和旅游产业发展影响极大。此外,涠洲岛电网由于缺乏主网支撑,一旦发生台风等自然灾害,岛内供电系统可能瘫痪。而附近的斜阳岛仅通过自备柴油发电机供电,尚不能确保 24 小时不间断供电,岛上居民和驻军的用电可靠性较低。所以,有必要研究涠洲岛与北海主电网跨海联网方案,解决涠洲岛孤网运行问题,为边防驻军提供可靠坚强的电力保障。

前期广东电力设计研究院从供电能力、供电可靠性、建设条件、投资估算及经济比较和电价角度比较了潜在的不联网仅发展本地电源模式、本地电源主供加联网辅助模式和联网海缆线路主供模式,推荐采用联网海缆线路主供加储能模式作为涠洲岛供电方案。联网工程中海缆铺设示意图如图 1 所示。



图1 涠洲岛联网工程中拟定的海缆铺设示意图

## 2 分布式光纤传感技术

### 2.1 现有海缆检测手段的不足

目前针对电缆绝缘状态的监测技术主要有以下几种:①介质损耗角正切( $\tan\delta$ ,简称介损)法,绝缘受潮、老化或发生局部放电时  $\tan\delta$  会增大,通过测量  $\tan\delta$  可以反映绝缘的整体性能<sup>[4]</sup>;②局部放电法,局部放电发生时在绝缘上会产生电压的突变、特高频的电磁波以及振动产生超声信号。对应地,局部放电的检测方法又可分为脉冲电流法、特高频法和超声波法<sup>[5]</sup>等;③接地电流法,绝缘老化或受潮后绝缘电阻通常会有不同程度下降,相应地,工作电压下的泄漏电流会增加,故通过测量接地电流可以判断电缆护套的状态<sup>[6]</sup>;④红外热成像法<sup>[7]</sup>,泄漏电流和局部放电都会导致绝缘发热并温升,可用红外热像仪检测电缆附件。这些方法广泛应用于电缆检测,对其可靠性的提高发挥了显著的作用。由于现场电磁干扰强烈,前文提到的几种基于电气量的海缆绝缘检测方法误差偏大。局部放电检测的超声法和特高频法仅能对海缆陆上部分的故障进行检测,红外热成像法只能监测电缆头等局部区域,它们均无法应用于埋入海底的海缆部件的监测。上述方法在海缆运行状态(载流量)、绝缘状态(老化、劣化、受潮和局部放电、击穿)检测的有效性欠佳,更为重要的是它无法监测海缆由于地质变动、海洋潮汐、拉伸、拖曳、弯曲、钩挂、锚砸等导致的机械故障。

综上所述,以上方法无法为海缆全寿命周期范围内可能出现的运行、绝缘和机械状态进行监测。如果未能及时进行故障预警,一旦发生故障,经济损失巨大,因此迫切需要一种不受电磁干扰、安全可靠、长距离、不仅可以监测运行状态和绝缘故障、机械故障的在线监测方法,而且设备还能耐海水腐蚀,分布式光纤传感技术<sup>[8-9]</sup>正好可以满足这一要求。

### 2.2 分布式光纤传感技术

光在光纤中传播可能会发生瑞利散射、拉曼散射和布里渊散射<sup>[10]</sup>,如图 2 所示。

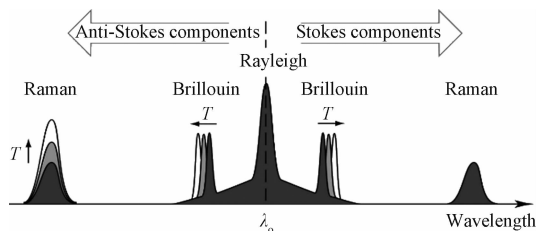


图2 瑞利散射、拉曼散射和布里渊散射示意图



对应的分布式光纤传感技术主要包括基于瑞利散射的光时域反射技术(Optical Time Domain Reflectometry, OTDR)、基于拉曼散射的分布式光纤温度传感技术(Raman Optical Time Domain Reflectometry, ROTDR)和基于布里渊散射的分布式光纤温度/应变传感技术。OTDR利用背向散射光的强度提供对光纤衰减的测量,它主要用于测量弯曲、接续、损坏等产生的损耗沿光纤的空间分布,也可用来进行光纤断裂等故障的空间定位。拉曼散射主要对温度敏感,因此 ROTDR 主要实现温度的分布式测量。三者中只有布里渊散射同时对温度和应变敏感,可以实现温度和应变的测量。根据传感机制、信号处理方法的不同,基于布里渊散射的分布式光纤温度/应变传感器技术又分为基于自发布里渊散射的布里渊光时域反射(Brillouin Optical Time Domain Reflectometer, BOTDR)技术、基于受激布里渊散射的布里渊光时域分析(Brillouin Optical Time Domain Analysis, BOTDA)技术、基于频域分析的布里渊光频域分析(Brillouin Optical Frequency Domain Analysis, BOFDA)技术和基于相干连续波的相关域布里渊传感(Brillouin Optical Coherent Domain Analysis 和 Brillouin Optical Coherent Domain Reflectometer, BOCDA 和 BOCDR)技术。目前最为常用的还是 BOTDR 或 BOTDA 技术。该技术通过测量布里渊散射光,根据其中的布里渊频移  $\nu_B$  和散射光强  $P_B$  (图 3)来实现温度和应变的传感。

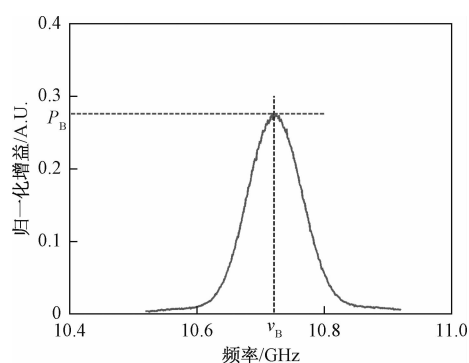


图 3 布里渊谱、布里渊频移和散射光强示意图

由于布里渊频移与光纤温度和应变的关系满足式(1)和(2)。

$$\nu_B(T) = \nu_B(T_0, 0)(1 + C_{vT}\delta T) \quad (1)$$

$$\nu_B(\epsilon) = \nu_B(T_0, 0)(1 + C_{\epsilon}\delta\epsilon) \quad (2)$$

式中  $\delta T$  为温度变化量;  $\nu_B$  为布里渊频移;  $\delta\epsilon$  为应变变化量;  $\nu_B(T_0, 0)$  为温度和应变分别为  $T_0$  和 0 时的布里渊频移;  $C_{vT}$  和  $C_{\epsilon}$  分别为针对布里渊频移的温度

和应变敏感系数。

根据式(1)和(2)以及实测的布里渊频移即可推算出导致布里渊频移变化的温度和应变的变化量<sup>[11]</sup>。但该方式仅能将布里渊频移变化归结为仅由温度或应变导致,无法同时测量温度或应变。考虑到温度与应变与布里渊频移和散射光强均成线性关系,即满足:

$$\begin{bmatrix} \delta\nu_B \\ \delta P_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{vT} & C_{\epsilon} \\ C_{PT} & C_{Pe} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta T \\ \delta\epsilon \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中  $\delta P_B$  为散射光强的变化量;  $C_{PT}$  和  $C_{Pe}$  分别为针对散射光强的温度和应变敏感系数。

求解式(3)可得温度和应变变化量计算公式<sup>[12]</sup>如下。

$$\begin{bmatrix} \delta T \\ \delta\epsilon \end{bmatrix} = \frac{1}{|C_{vT}C_{Pe} - C_{\epsilon}C_{PT}|} \begin{bmatrix} C_{Pe} & -C_{\epsilon} \\ -C_{PT} & C_{vT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\nu_B \\ \delta P_B \end{bmatrix} \quad (4)$$

由于针对布里渊频移和散射光强的温度和应变敏感系数具有差异性,即满足:

$$C_{vT}C_{Pe} \neq C_{\epsilon}C_{PT} \quad (5)$$

因此,基于式(4)有望实现海缆中复合光纤的温度和应变的同时测量。

分布式光纤传感器不仅具有普通传感器所具有的尺寸小、耐高温和电磁干扰等优点,还具有一条光纤即可代替成千上万个传感器、一次测量即可获得几十公里范围内温度和应变数据等优点。由于高压海底光电复合缆有大量备用光纤,利用备纤以及布里渊分布式光纤传感技术完全有可能实现海缆温度和应变的测量,进一步地可实现海缆状态监测。该方法无需敷设额外的光纤,同时监测用的光纤也无需人工维护,成本较低且可以实现整条海缆状态的在线监测,具有很好的应用前景。因此涠洲岛跨海联网工程中海缆本体的监测采用基于布里渊散射的分布式光纤传感技术。

现有基于光纤分布式传感的海缆在线监测系统<sup>[12-13]</sup>存在的问题主要有:①温度和应变测量耗时较长,尤其是针对海缆较长时实时性较差;②针对测量得到海量数据应用的方法不多。

### 3 分布式光纤传感在涠洲岛海缆监测中的应用

#### 3.1 在线监测方案

基于布里渊散射的分布式光纤传感技术主要包括 BOTDR 技术和 BOTDA 技术,二者对温度和应变的传感原理相似,如 2.2 节所示。区别在于前者是基于光在光纤中传输自发产生的布里渊散射导致,信号比较微弱,检测更为困难,同等条件下测量精度和传

感距离偏低。但它的优势是单端入射,测量系统集中在一端即可。BOTDA 技术基于受激布里渊散射,信号较强,基于它的传感器的测量精度和传感距离更远。但该方式需要光纤双端入射,且不能确定断点位置,系统结构较复杂,造价较高。综合考虑涠洲岛海缆实际情况,本系统拟定 BOTDR 技术构建海缆温度和应变的综合监测系统。

基于 BOTDR 的光电复合高压海底电缆状态监测系统由硬件和软件两部分组成。硬件部分主要由监控计算机、定制的 BOTDR 和复合于海缆中的传感光纤组成。其中,BOTDR 包括光源、光脉冲形成单元、光电检测单元和数据处理单元,如图 4 所示。测量时光源发出的连续光,它被定向耦合器分成两部分,一部分由电光调制器(Electrical Optical Modulator, EOM)调制为脉冲光后入射到传感光纤,另一部分作为本振光。同时,入射的脉冲光在光纤中传播的同时发生布里渊散射,散射光与本振光一起入射到光电检测器进行外差检测,取出差频分量,对本振光进行扫频获得布里渊谱信号,它直接反映入射光频率与散射光频率之差与散射光强的关系。目前该系统已经在实验室中构建。

采用数字信号处理方法再结合谱特征量提取方法对布里渊谱进行分析处理,可获得较为准确的布里渊频移  $\nu_B$  和散射光强  $P_B$  的测量值。然后根据式(1)、(2)或(4)来计算散射点光纤的温度和应变值,再根据入射光与背向散射光时间差来确定散射点位置,最终得到光纤各点的温度或应变值。软件部分主要包括:①各种设置的控制,比如测量参数的设置、报警临界值的设置;②布里渊频移和散射光强以及温度和应变的计算及测量结果不确定性的评估;③实测温度和应变数据的显示、存储和查询;④基于光纤温度和应变的海缆状态评估和故障诊断。

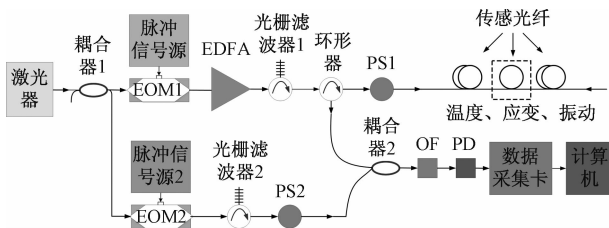


图4 基于 BOTDR 的海缆温度和应变综合监测系统构成框图

常规的基于布里渊散射的海缆监测系统通过扫频测量布里渊谱方式测量温度或应变,但由于为准确测量布里渊频移需要较多的扫频点数耗时较长,而频

率切换进一步增加了测量时间,导致系统实时性较差。为此,项目组在分析布里渊谱模型的基础上将一种快速布里渊频移测量方法<sup>[14]</sup>引入到海缆监测系统中,该方法无需增加硬件环节而使监测系统同时能有效减少温度、应变的测量时间。

当脉冲宽度较大时布里渊谱表示如下:

$$g_B(\nu) = g_0 \frac{(\Delta\nu_B/2)^2}{(\nu - \nu_B)^2 + (\Delta\nu_B/2)^2} \quad (3)$$

式中  $g_0$  为布里渊增益峰值;  $\Delta\nu_B$  为线宽;  $\nu$  为频率(频移);  $\nu_B$  为布里渊频移;  $g_B$  为增益。

当频率固定为  $\nu_0$  时改变布里渊频移  $\nu_B$ , 则增益  $g_B$  变化如图 5 所示。

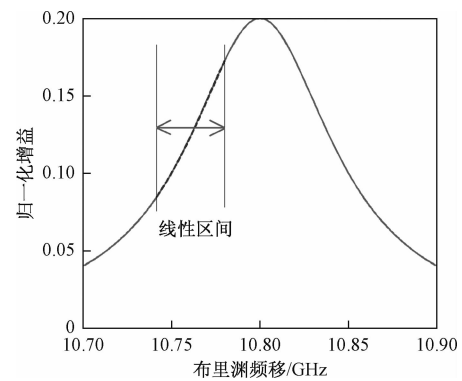


图5 频率固定时布里渊频移与增益的关系

如果布里渊频移在图 5 的线性区间范围内,布里渊频移的变化导致  $\nu_0$  对应增益近似线性变化,基于测得增益即可预测布里渊频移,进而获得光纤对应位置的温度和应变。

基于中电科仪器仪表有限公司生产的 AV6419 型光时域反射计(BOTDR, Brillouin Optical Time Domain Reflectometry)搭建了光纤布里渊散射信号测量系统,选择了 1 km 左右的 G657A2 型光纤。扫频范围为 10.52~10.92 GHz,扫频间隔为 1 MHz,入射脉冲光波长和脉宽分别为 1 550 nm 和 200 ns。叠加平均次数为  $2^{14}$ 。为了采集更多的谱,采样分辨率设置为 0.1 m。综合分析光纤特性及实际情况后快速应变测量方法的  $\nu_0$  设置为 10.704 GHz。由于脉宽为 200 ns 时布里渊谱近似满足洛伦兹模型,因此对于实测布里渊谱信号采用基于洛伦兹模型的拟合算法<sup>[15]</sup>提取布里渊频移,且扫频间隔较小扫频点数较多时这种基于非线性最小二乘拟合算法通常认为具有足够高的准确性。两种方法的计算结果如图 6 所示。由图 6 可知,两种方法算得布里渊频移随测量点(光纤位置)变化趋势比较吻合,二者差距并不大,差距的均值仅为  $2.80 \times 10^{-1}$  MHz,如果考虑温

度和应变敏感系数的典型值分别为  $1.2 \text{ MHz}/^{\circ}\text{C}$  和  $0.05 \text{ MHz}/\mu\epsilon$ , 则该差距对应温度和应变的差距仅分别为  $0.23^{\circ}\text{C}$  和  $5.61 \mu\epsilon$ 。也就是说快速方法的准确性与普通扫频方法接近, 但前者仅需要测量 1 个频率点, 后者需要测量 401 个频率点, 而且前者无需耗时较长的频率切换操作<sup>[16]</sup>。因此快速方法不仅有望达到不错的测量准确性而且测量耗时大大减少。由于温度和应变与布里渊频移成线性关系, 获得布里渊频移数据后结合式(1)和(2)即可获得光纤上的温度或应变, 快速的应变测量即为振动测量。同时测量时间也与长度成正比<sup>[16]</sup>, 因此, 系统对于长度较短的海缆也具备一定的振动测量能力。

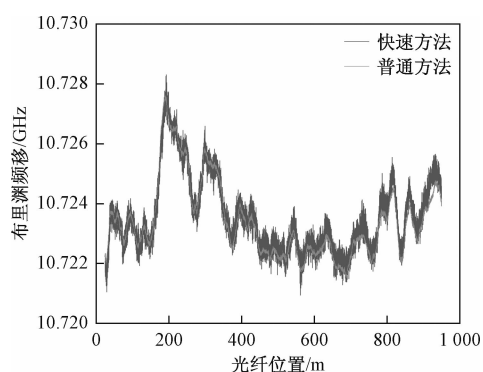


图6 慢速的谱扫频方法和快速的固定频率方法得到布里渊频移

### 3.2 基于温度和应变的海缆状态评估和故障诊断方法

海缆的运行状态(载流量、温度、电压)、绝缘状态(整体和局部的老化和受潮, 局部放电, 绝缘击穿)和机械故障(拉伸、拖曳、弯曲、钩挂、锚砸、海浪冲刷、海缆断开)等都会使光纤的温度和应变发生变化。正确识别出故障原因并评估严重程度, 对于合理安排检修计划、制定检修方案具有重要意义。目前已建立的基于 BOTDR 或 BOTDA 的海缆状态监测系统<sup>[12, 17]</sup>积累了大量光纤温度和应变数据, 但如何根据实测数据去评估海缆实际状态、诊断海缆故障情况需要进一步研究。本节介绍了项目组在这方面的研究思路和前期工作。

为了能有效监测海缆状态和诊断故障情况, 需要建立实测光纤温度和应变到海缆运行状况和故障状况的关系模型。但由于真型海缆开展实验的条件要求较高, 而且如果全部采用实验方式模拟海缆各种运行状态耗时耗力且成本很高。因此, 项目组前期采用有限元方法构建了海缆的热电耦合场模型和应变场模型。

交流海缆正常运行过程中的主要热源包括缆芯、金属屏蔽层和铠装层的焦耳损耗以及绝缘层的介质损耗, 计算这些损耗并添加到模型中作为热源。模型中同时考虑通电导体电阻的动态温升效应, 耦合导体周围交变磁场产生的趋肤效应和邻近效应, 采用有限元方法进行模型求解。分析环境温度、载流量、海床土壤参数、绝缘的介损值、绝缘电阻值、故障区域形状和位置等因素对光纤温度分布的影响。由于涠洲岛跨海联网工程尚未具体施工, 海缆的型号尚未最终确定, 项目组针对典型的  $110 \text{ kV YJQ41} \times 300 \text{ mm}^2$  光电复合海底电缆进行了建模分析。在 COMSOL 中的建模、剖分和计算结果如图 7—图 9 所示。模型中  $d=5 \text{ m}$ , 设置海水的对流换热系数  $h=200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。海缆载流量设置为额定值  $500 \text{ A}$ 。由于模拟夏季涠洲岛附近海域情况,  $T_1$  和  $T_2$  的初始值设定为  $28^{\circ}\text{C}$ , 其等于海水和土壤的原始温度。计算结果与改进 IEC60287 标准<sup>[18]</sup> 计算结果及其差别如表 1 所示。

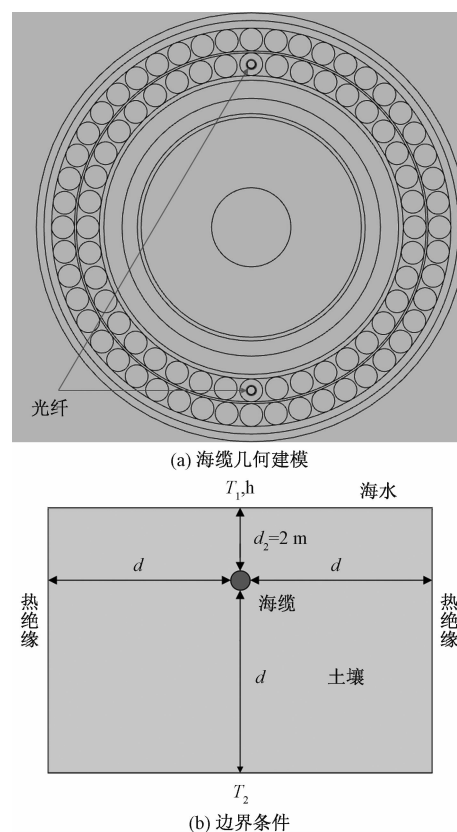


图7 海缆热电耦合场建模

由表 1 可知, 在缆芯和光纤温度上两种方法仅分别差  $0.09^{\circ}\text{C}$  和  $0.08^{\circ}\text{C}$ , 而在海缆表层二者温度相差为  $0.59^{\circ}\text{C}$ , 这是因为 IEC 标准方法在计算模型绞合结构的热阻时引进的修正系数造成了较大误差, 而建

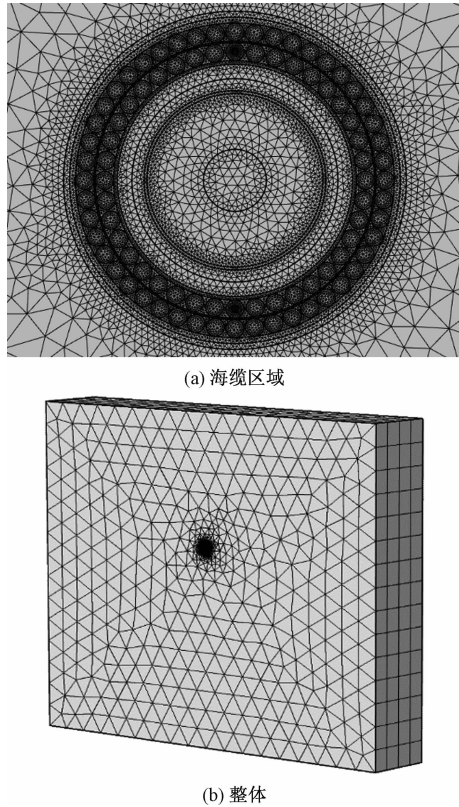


图8 海缆模型网格剖分

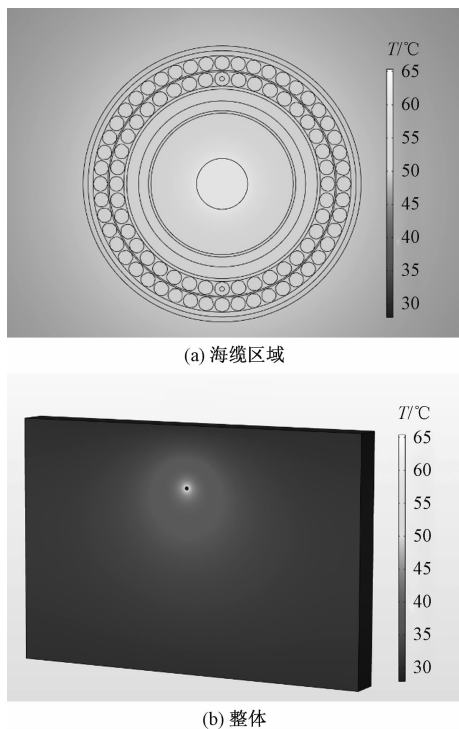


图9 海缆温度分布仿真结果

模方法就不涉及上述问题。这初步验证了以上建模方法的可靠性。

通过改变模型中的环境参数、载流量、海缆绝缘参数即可模拟环境、运行和绝缘状态对光纤温度的影

响。因此,以上建模方法为相关因素对海缆中复合光纤温度变化规律以及根据复合光纤温度预测海缆绝缘状态、诊断绝缘故障的研究奠定了基础。根据海缆热电耦合模型研究获得海床温度、光纤温度与导体温度的关系模型,基于该模型获得根据海床温度和光纤温度的导体温度预测方法。

表1 基于改进 IEC 标准方法和建模所得的海缆关键点温度

温度/℃	缆芯 中心	XLPE 外层	金属屏 蔽外层	光纤	海缆 表层
改进 IEC60287 标准	65.36	56.26	56.11	51.26	50.56
COMSOL 建模	65.27	56.23	56.06	51.34	49.97
差值	0.09	0.03	0.05	-0.08	0.59

由于地质变动、海洋潮汐、拉伸、拖曳、弯曲、钩挂会导致海缆的拉伸和扭转,它与锚砸一起是海缆在运行中可能遭受的典型机械受力和破坏情况。为了分析直线拉伸、扭转、锚砸等情况对海底电缆各部件应变、应力的影响规律,分析海底电缆应力或应变及光纤应变之间的变化规律,本文提出采用有限元方法建立海缆的应力场模型,揭示以上各种故障情况下海底电缆应力或应变、损伤与光纤应变之间的变化规律,然后提取出基于光纤应变的海缆机械故障诊断方法的研究思路。本文采用有限元法在 ANSYS 中构建了锚砸时 110 kV YJQ41 $\times$ 300 mm<sup>2</sup> 光电复合海底电缆应力场模型,选取最具有代表性的 660 kg 霍尔锚作为锚砸故障的建模对象,考虑实际情况对锚进行了适当简化,锚砸深度设置为 8 cm,建立的模型和计算结果如图 10 所示。根据以上建模结果可以提取出锚砸过程中海缆各部件的应变、应力、损伤程度以及光纤应变的变化,研究基于光纤应变评估海缆机械损伤程度的方法。

根据建模结果再结合海缆相关实验进一步修正和调整海缆模型,根据海缆绝缘和机械故障情况下光纤应变的变化规律确定基于光纤测量结果的海缆绝缘和机械故障诊断方法。

#### 4 结论

针对即将开展的涠洲岛跨海联网工程,本文基于光纤布里渊光时域反射技术,引入并验证了一种快速布里渊频移测量方法,基于此提出了一种高实时性的海底电缆温度和应变的综合监测方法,探讨了监测系统的构成。进一步采用有限元方法构建了海缆的热电耦合场模型和应变场模型并进行了初步验证,为基于光纤温度、应变的海缆运行、绝缘和机械状态评估和故障诊断方法的提出奠定了基础。



图 10 锚砸状态下的海缆的建模和仿真结果

本文提出的解决方案对涠洲岛跨海联网工程中光电复合缆监测系统的实现具有很好的指导价值,对类似跨海光电复合缆监测系统的实现具有很好的参考价值。

#### 参考文献

- [1] 赵智大. 高电压技术[M]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [2] 郑春生. 埕岛油田海底电缆故障原因与分布规律[J]. 电气应用,2017,36(10):28-32.
- [3] 吴飞龙,杨力帆. 光电复合技术在我国 110 kV 海底电缆中的首次应用[J]. 中国电力,2011,44(2):27-30.
- [4] SOMA K, AIHARA M, KATAOKA Y. Diagnostic method for power cable insulation[J]. IEEE Transactions on Electrical Insulation,1986,21(6):1027-1032.
- [5] 李军浩,韩旭涛,刘泽辉,等. 电气设备局部放电检测技术述评[J]. 高电压技术,2015,41(8):2583-2601.
- [6] 杜伯学,李忠磊,张锴,等. 220 kV 交联聚乙烯电力电缆接地电流的计算与应用[J]. 高电压技术,2013,39(5):1034-1039.
- [7] 梁正波,徐明忠,侯俊平,等. 超高压交联电缆户外终端的热状态评价方法[J]. 高电压技术,2017,43(2):682-688.
- [8] 高磊,龚云皓,余彦杰,等. 基于布里渊散射光时域反射测量技术的分布式光纤测斜管研发与应用[J]. 科学技术与工程,2017,17(30):81-85.
- [9] 安琪,李永倩,张立欣. 布里渊光时域分析传感器扰偏性能研究[J]. 科学技术与工程,2016,16(31):46-49.
- [10] 赵丽娟. 光纤布里渊散射特性测量方法及其应用研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.
- [11] KRISHNAN R S. Fine structure of the rayleigh line in amorphous substances[J]. Nature,1950,165:933-934.
- [12] ZHAO LIJUAN, LI YONGQIAN, XU ZHINI, et al. On-line monitoring system of 110 kV submarine cable based on BOTDR[J]. Sensors and Actuators A:Physical,2014,216:28-35.
- [13] 周路遥,刘黎,蒋榆宽,等. 光纤分布式传感技术在海底电缆状态监测中的应用[J]. 浙江电力,2018,37(2):6-10.
- [14] BERNINI R, MINARDO A, ZENI L. Dynamic strain measurement in optical fibers by stimulated Brillouin scattering[J]. Optics Letters,2009,34(17):2613-2615.
- [15] ZHAO LIJUAN, LI YONGQIAN, XU ZHINI. A fast and high accurate initial values obtainment method for Brillouin scattering spectrum parameter estimation[J]. Sensors and Actuators A:Physical,2014,210:141-146.
- [16] 涂晓波. 光纤布里渊测量分布式传感技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2015.
- [17] 李永倩,赵丽娟,杨志,等. 基于 BOTDR 的海缆 3D 立体监测系统设计与实现[J]. 仪器仪表学报,2014,35(5):1029-1036.
- [18] International Electrotechnical Commission. IEC60287-1 Calculation of the current rating-part 1: current rating equations (100% load factor) and calculation of losses [S]. Geneva, Switzerland:IEC,2006.

## Study on the Application of Distributed Fiber Sensing Technology in Weizhou Island Sea-crossing Power System Connection Project

QIN Hua<sup>1</sup>, XU Zhi-niu<sup>2</sup>, YUAN Bo-qiu<sup>1</sup>, GAN Yong-quan<sup>1</sup>

(1. Grid Planning & Research Center, Guangxi Power Grid Corporation, Nanning 530000, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

**Abstract:** Submarine cable long operates in complicated seabed environment. Interruption of the power supply caused by submarine cable fault has a big influence on island. Therefore, its condition must be monitored to avoid power cut. In view of the status of the Weizhou island sea-crossing power system connection project, the existing submarine cable fault detection methods are reviewed. A fast Brillouin frequency shift measurement method is introduced and validated. Based on this, a fast submarine cable temperature and strain monitoring method based on distributed fiber sensing technology is proposed, and at the same time its principle and architecture are introduced. On this basis, a submarine cable operation, insulation and mechanical conditions evaluation and fault diagnosis method based on finite element method and measured fiber temperature, strain is proposed and preliminarily validated. The proposed solution is useful guides for the optic-electric composite submarine cable monitoring system in the Weizhou island sea-crossing power system connection project. It also provides a frame of reference for the realization of similar sea-crossing optic-electric composite submarine cable monitoring system.

**Key words:** optic-electric composite submarine cable; distributed fiber sensing; on-line monitoring; fast; fault diagnosis

# 凹陷管道水压爆破实验分析

何勇君<sup>1</sup>, 张 平<sup>2</sup>, 熊道英<sup>1</sup>, 王 焱<sup>1</sup>, 马昕昕<sup>1</sup>, 张玉乾<sup>1</sup>

(1. 中国石化销售有限公司 华南分公司, 广州 510000; 2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100029)

**摘要:**为了研究凹陷管道的失效行为与机理,进行了含凹陷管道的水压爆破实验,对整个爆破过程凹陷管道的变形情况、裂口特征以及应变响应进行了分析。结果表明:实验所制 6%OD 深度的凹陷不影响管道的承载能力,管道爆破方式为直焊缝撕裂,屈服压力 34.2 MPa,爆破压力 36.8 MPa;远离凹陷中心超过 200 mm 的区域,应变响应与凹陷无关;凹陷的存在改变了凹陷以及周围的应变响应状态,产生了较大的应变,容易导致管道疲劳。

**关键词:**管道凹陷;水压爆破实验;应变响应;爆破压力

**中图分类号:**TE832 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)05-0168-03

凹陷的存在会影响油气管道的运行安全<sup>[1]</sup>,水压爆破实验是进行管道完整性评价研究<sup>[2]</sup>的一种重要手段,尤其是针对含缺陷管段的评价。在国内,闫峰等<sup>[3]</sup>通过对含缺陷管道全尺寸实验,分析了高压对管道塑性变形以及管道承压能力逆转的影响;田晓等<sup>[4]</sup>拟合得到爆破压力预测公式,随着凹陷深度增加最大应变位置会远离凹陷中心。在国外,Zarea M 等学者<sup>[5-6]</sup>在爆破试验项目发现管道韧性影响着凹陷处裂纹的扩展情况,从而影响着管道失效压力;Blachut 等<sup>[7]</sup>对屈曲失稳的含划伤凹陷管道进行爆破试验,发现管道爆破压力并未明显降低。

国内外大部分研究针对含凹陷管道的承载能力,而对凹陷以及附近区域的应变响应情况研究较少<sup>[8-11]</sup>。因此,将通过水压爆破实验重点分析凹陷管道的应变规律以及失效机理,为管道完整性管理提供参考与决策。

## 1 实验试样

实验试样来自某成品油管道现场替换下来的管段,长度为 3 m,材质为 X60,规格为 406.4 × 9.53 mm。将管段中间 1 m 范围的防腐层去除,露出金属光泽。在管段两端采用标准椭圆封头焊接成封闭容器,封头与管道连接的环焊缝按照 NB/T 47013—2015《承压设备无损检测》进行 100%射线和超声

检测,保证其没有超标缺陷。试样其中一端封头中心焊接打压接头,另一端距离封头环焊缝 300 mm 处设置排气孔。采用直径 100 mm 球面压头,在实验试样 1.5 m 处压制凹陷,绝对深度为 24.4 mm,相对深度为 6%OD(其中 OD 为管道外径)。实验试样具体信息见表 1。

表 1 实验试样信息

压头类型	实验长度	规格(mm)	材质	凹陷绝对深度(mm)	凹陷相对深度(%)
球形	3 m	406.4 × 9.53	X60	24.4	6

## 2 爆破实验

### 2.1 实验步骤

在凹陷附近位置布置应变传感器,监测爆破实验过程中凹陷外壁的应变响应情况,如图 1 所示。位置 1~位置 9 沿管道轴向分布,相邻两个位置间距为 50 mm,其中位置 1 位于凹陷中心,位置 3 位于凹陷变形边缘。每个位置的应变传感器均监测环向和轴向两个方向,位置 1 所布应变传感器有效量程为 50 000  $\mu\epsilon$ ,其余位置所布应变传感器有效量程为 20 000  $\mu\epsilon$ (后期数据处理,摒弃超过量程应变数据)。

实验采用 250 MPa 打压爆破系统进行加压,介

收稿日期:2020-02-15

基金项目:国家重点研发计划“国家质量基础的共性技术研究与应用(NQI)”(2018YFF0215000);中国石油化工股份有限公司技术开发项目(30251731-17-ZC0607-0004)。

作者简介:何勇君(1981—),男,四川绵阳人,中国石化股份有限公司华南分公司,管道管理处副处长,高工,大学本科,负责外管道管理,通信信息管理;通讯作者:张平(1987—),男,河北张家口人,中国特种设备检测研究院,工程师,从事油气管道完整性评价管理工作。

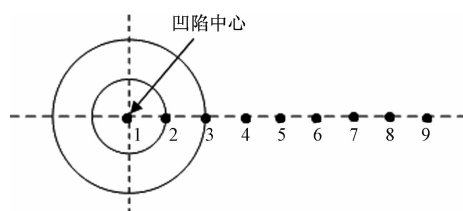


图1 应变传感器布置位置

质为纯净水,压力采用量程 60 MPa、精密 0.4 级的高精度压力表进行测量,进水量采用精度为 0.25%、分辨率为 0.1 mL 的质量流量计进行采集。

首先,向实验管段内充满纯净水,充满后密封封堵,利用打压爆破系统对试样进行几次打压,充分排出管段内的残余空气,同时查看并校对应变传感器,保证测量数据的准确性和和有效性。然后,开始逐级加压,启动数据采集系统,包括压力采集系统、进水量采集系统、应变采集系统,采样频率为 10 Hz,直到实验管段发生破裂为止。

## 2.2 实验结果

水压爆破实验过程中采集的压力—进水量曲线如图 2 所示。可以看到,在试样屈服之前,压力随着进水量基本按线性关系增加;当试样开始屈服时,压力增量逐渐减小,压力变化速率也逐渐变缓;此后,试样发生屈服变形,压力在一段时间内基本保持平稳,不再随进水量的增加而发生明显变化,直至管段爆破。由此,得到试样的屈服压力为 34.2 MPa,爆破压力为 36.8 MPa,绝对进水量为 31.39 L,相对进水量为 8.38%。

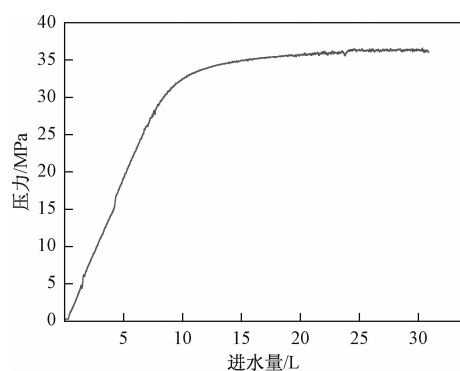


图2 爆破实验压力—进水量曲线

实验管段爆裂位置为直焊缝处,与凹陷轴向距离约 280 mm,环向角度为  $140^{\circ}$ ,裂口长度为 830 mm,破裂方式为沿着焊缝纵向撕裂,如图 3 所示。而凹陷部位发生明显回弹,回弹后凹陷绝对深度为 9.3 mm,相对深度为 2.3% OD。由此,可以说明由直径

100 mm的球形压头压制的、6%OD 深度的凹陷并不影响管道的承载能力。

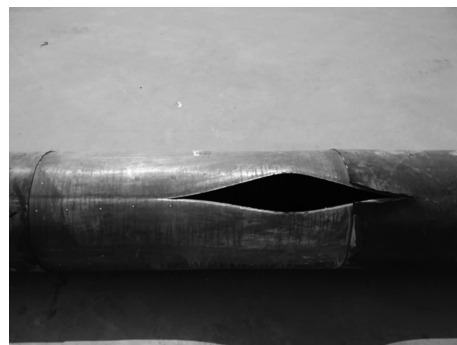


图3 爆破裂口

## 2.3 应变响应

在水压爆破实验过程中,所监测位置的环向应变响应情况如图 4 所示。从图中可以看到位置 2 和位置 3 的环向应变在加压过程中迅速增大,这是因为位置 2 和位置 3 是加压过程的最快发生形变的位置;凹陷中心的环向应变变化也比较大,但是开始增大的时间晚于受凹陷影响的其他位置,原因是凹陷中心的变形虽大,但在加压反弹过程,该位置却排在最后;距离凹陷中心 150 mm 的位置 4 的环向应变仍受凹陷影响,其增加速度仍大于远离凹陷的区域;距离凹陷中心超过 200 mm 的区域,环向应变变化与凹陷无关。

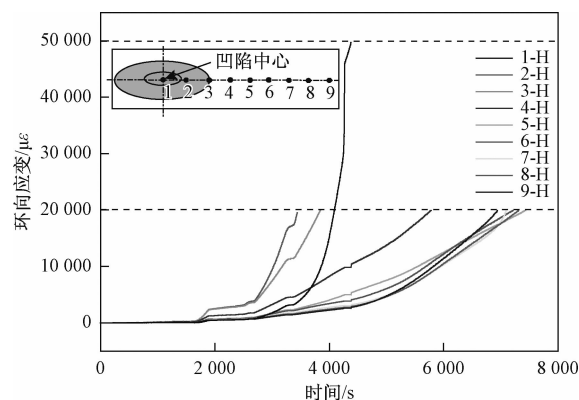


图4 环向应变响应情况

所监测位置的轴向应变响应情况如图 5 所示。从图中可以看到,凹陷中心处的轴向应变在加压过程中先为压应变,最后变成拉应变;而处于凹陷边缘与凹陷中心中间的位置 2,其轴向应变在加压过程中先为拉应变,后为压应变;位置 3 处于凹陷边缘,轴向应变始终为压应变,因为变形大和优先反弹,所以变化速率最快;距离凹陷中心 150 mm 的位置 4 的轴向应变仍受凹陷影响,始终为压应变,变化速率较慢;距离

凹陷中心超过 200 mm 的区域,轴向应变几乎与凹陷无关。

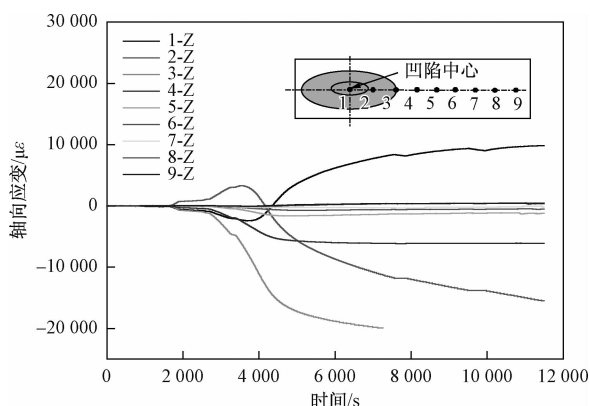


图5 轴向应变响应情况

### 3 结论

通过以上全尺寸水压爆破实验以及应变数据分析,得出以下结论:

1)由直径 100 mm 的球形压头压制的、6%OD 深度的凹陷不影响管道的承载能力,试样管道爆破方式为直焊缝撕裂,屈服压力为 34.2 MPa,爆破压力为 36.8 MPa;

2)凹陷中心的反弹效率明显低于凹陷其他位置,距离凹陷中心轴向超过 200 mm 区域,环向应变和轴向应变响应与凹陷无关;

3)凹陷加压反弹过程,所监测位置的环向均为拉应变,而凹陷中心的轴向先受压后受拉,凹陷边缘与凹陷中心的中间位置的轴向先受拉后受压,凹陷边缘以及边缘以外受凹陷影响区域的轴向则始终受压。

### 参考文献

- [1] 马欣,薛涛,师统庵,等.影响凹陷管道安全因素分析[J].中国安全生产科学技术,2016,12(6):123-127.
- [2] 焦中良,帅健.含凹陷管道的完整性评价[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(4):157-164.
- [3] 闫峰,张宏,段庆泉,等.输气管道高强度试压全尺寸爆破实验[J].天然气工业,2009,29(1):95-99.
- [4] TIAN X,ZHANG H. Failure criterion of buried pipelines with dent and scratch defects[J]. Engineering Failure Analysis, 2017,80:278-289.
- [5] ZAREA M,BATISSE R,LEIS B,et al. Full scale experimental database of dent and gouge defects to improve burst and fatigue strength models of pipelines[C]//Calgary:Proceedings of the 9th International Pipeline Conference,2012:845-861.
- [6] ZAREA M,BATISSE R,LEIS B. Experimental investigation of combined "dent and gouge" defects on vintage steel transmission pipelines[C]//Calgary:Proceedings of the 10th International Pipeline Conference,2014:1-8.
- [7] BLACHUT J,IFLEFEL I B. Collapse of pipes with plain or gouged dents by bending moment[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping,2007,84(9):560-571.
- [8] 帅义,帅健,狄彦.含凹陷管道全尺寸爆破实验[J].油气储运,2017,36(1):44-48.
- [9] RAFI A,SILVA J,KENNO S,et al. Strength of line pipe with dent and crack[C]//Calgary:Proceedings of the 8th International Pipeline Conference,2010:151-157.
- [10] GHAEDNIA H. Burst strength of NPS30 steel pipes with dent-crack defect [D]. Windsor: University of Windsor,2015.
- [11] POURNARA A E,PAPATHEOCHARIS T,KARAMANOS S A,et al. Mechanical behavior of dented steel pipes subjected to bending and pressure loading[J]. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering,2019,141(1):1-16.

### Analysis on Dented Pipeline for Burst Experiment

HE Yong-jun<sup>1</sup>, ZHANG Ping<sup>2</sup>, XIONG Dao-ying<sup>1</sup>, WANG Yao<sup>1</sup>, MA Xin-xin<sup>1</sup>, ZHANG Yu-qian<sup>1</sup>

(1. Sinopec Sales Co., Ltd. South China Branch,Guangzhou 510000,China;

2. China Special Equipment Inspection and Research Institute,Beijing 100029,China)

**Abstract:** The hydraulic burst experiment was conducted on the dented pipeline to study the failure behaviors and mechanisms of dented pipeline. During the whole experiment, the deformation, crack characteristics and strain response of the dented pipeline were analyzed. The results show that the 6%OD depth of the dent does not affect the bearing capacity of the pipeline. The burst mode of the pipeline is straight weld tearing, and the yield pressure is 34.2 MPa, burst pressure is 36.8 MPa. The strain response of the area more than 200 mm away from the center of the dent has nothing to do with the dent. The existence of the dent changes the state of the strain response of the dent and the surrounding area, results in large strain, which is easy to cause pipeline fatigue failure.

**Key words:** pipeline dents;hydraulic burst experiment;strain response;burst pressure