

基于混合指数选择模型的机场航线开辟研究

景崇毅, 焦国庆, 崔丽娟

(中国民用航空飞行学院 机场工程与运输管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要:针对国内中小机场布局日益完善,而新航线开辟选择方面缺少量化的问题,从机场的角度出发,结合旅客潜在需求量指标、连通性指标以及空铁竞争指标构建混合指数选择模型,来研究中小机场新航线的开辟选择问题,为机场航线开辟选择提供量化参考依据。通过对日照机场作为研究对象进行实例验证,在预计 3 年旅客吞吐量达到 120 万、机场设计年起飞架次为 79 500 次、航线补贴金额为 100 万的规划要求下,计划开通 6 条航线,运用混合指数选择模型进行航线开辟选择,求出最优的 6 条航线,达成规划要求。实例证明模型在航线开辟方面具有可行性,可为机场的航线开辟选择提供参考。

关键词:混合指数;航线选择;经济性;连通性

中图分类号:U8 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2021)04—0114—08

中国民航业自开始至今,发展迅速,机场规模不断壮大。改革开放初,全国仅有 69 个民用航空机场,到 2019 年全国的民用航空机场已增加到 238 个,成为 2005 年以来世界第二大航空运输市场(仅次于美国)。2013—2019 年,中国客运运输机场旅客吞吐量呈稳步上升态势,2019 年民航旅客吞吐量 13.52 亿人次,较去年增长了 6.9%,增长速度略有放缓,但保持上升势头。中国民航业的发展趋势整体向好,国内机场布局正稳步推进。

对于航线开辟选择方面的研究,国外学者 Skinner 采用多项 Logit 模型对华盛顿地区的 3 个机场进行选择竞争研究机场的航线开辟和网络^[1]。Harvey^[2]总结出结合通达时间和服务频次作为多项 Logit 模型的解释变量,得出针对旧金山湾区域的近似最优机场选择方案。但多项 Logit 模型视机场网络中的节点无论远近无差异,这种 IIA (independence of irrelevant alternatives) 的性质可能使结论偏离。张荣军^[3]首先分析了航线运行效率的影响因素,其次通过专家打分的方法对评价指标进行打分从而实现枢纽机场进行排序选择,最后通过航线规划模型进行航线网络的规划设计。使用国航的部分数据进行了航线的规划和运行效能的评价。柏明国^[4]首先通过多属性决策的方法对备选的枢纽

机场和航线进行选择,并提出了两种多混合属性决策方法且将这两种算法应用到实际的航线选择的过程中。

综上所述,机场的航线网络方面的研究主要着眼于航线网络连通性方面,对于机场的航线开辟选择也都是通过定性分析来确定。虽然连通性是研究机场航线网络的主要参考指标,但在实际工作中,机场开辟新航线还需要考虑经济性指标,包含航线的旅客潜在需求量和高铁的竞争强度。本文结合机场开辟航线的旅客潜在需求量指标、连通性指标以及空铁竞争指标,建立混合指数选择模型,定量地分析机场航线开辟选择。

1 机场航线开辟的影响因素

机场在新航线的选择考虑是跟地方政府密切一致的,所以机场在航线开辟时,网络的通达性考虑占比很大。但是机场还需要考虑开辟航线的经济效益,以吸引航空公司参与进来飞行航班任务。

综合两部分,机场的航线网络的开辟既要考虑网络连通性,还要考虑经济效益,因此从这两方面进行航线开辟的影响因素调查发现,影响机场开辟航线的因素有很多,其中具有决定性的因素有:

1.1 航线旅客需求量

航线旅客需求量可以通过当地的 GDP 的影响、

收稿日期:2020-11-11

基金项目:中国民用航空飞行学院大学生科研创新计划项目(S201910624120)。

作者简介:景崇毅(1981—),男,四川射洪人,中国民用航空飞行学院,副教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为民航运输管理;焦国庆(1995—),男,山东日照人,中国民用航空飞行学院,硕士研究生,研究方向为民航运输管理。

第三产业产值的影响以及人口的影响反映出来,有研究表明城市的经济情况、第三产业的发展情况越好,具有旅游出行的需求量越大。人口越多,对于交通的需求也越高,出行量也会越大。所以通过城市的 GDP、第三产业产值以及人口的数量可以求出航线旅客需求量。

1.2 空铁竞争强度

考虑高铁的影响,高铁与民航运输互为替代品,有高铁的线路民航运输竞争压力就会加大,营利性降低,但是高铁与民航运输有一个竞争临界点,根据这个临界点来开辟航线也是关乎机场利益的考虑。空铁竞争强度关乎航线是否有价值开通。

1.3 对机场航线网络连通性的提升

1)通航城市数量。机场航线网络连通性的提升主要考虑待开辟的备选机场的通航城市数量,通航城市数量越多,代表该机场的连通性越高,与该机场通航线会对机场网络的连通性有提升。

2)中心城市数量占比。待开辟备选机场的通航航点里中心城市数量也是一个机场连通性的重要指标。中心城市代表的是一个地区枢纽,必须是具有高连通性的网络,航点与中心城市通航,借助中心城市的辐射作用,可以提高自己的网络连通性。

3)互补机场数量。互补机场数量代表的是该备选机场是否可以作为本机场的通程航班中转点的重要参考,互补机场数量越多,代表备选机场的通航点里包含较多的本机场未开辟航点,对本机场航线网络的补充效果较大,对于机场布局全国航线的战略提升显著,对机场网络连通性提升也会很明显。

2 航线开辟选择指标

2.1 航线旅客潜在需求量

一条航线的旅客流通受多方面因素的影响,包括城市间的旅客需求量、GDP、第三产业发展程度,还有两城市间的距离也有一定的关系。城市间的是机场和航司特别关注的点,前者为了方便旅客运输转移,为出行的人提供方便的路途;后者关注其中的市场,有出行需求,代表有市场需要开发。所以在进行航线开发的时候需要进行航线旅客需求量的预测。

常用于对两个城市的旅客需求量预测的方法是引力模型预测求解,市场引力模型是借用物理学中“万有引力定律”而来的。两个物体之间存在着引力,其引力的大小与两个物体的质量的乘积成正比,与其距离成反比。用市场引力模型来确定两个

城市间的航空运输需求量比较合适。许多实例计算表明,航空运输周转量的增长量与国民经济的 GDP 指数存在高度相关。那么两个城市之间的航空客货需求量就应当与两个城市的国民生产总值(或者其他经济变量)的乘积成正比,与两个城市间的空运价格(或其他变量如距离)成反比。城市市场引力模型在西方国家航空公司中应用比较广泛,尤其对于新开辟航线的运量预测是比较有效的方法^[5]。

标准的引力模型形式为

$$Q_{ij} = \frac{k P_i^\alpha A_j^\beta}{f(d_{ij})}$$
 (1)

式中: Q_{ij} 为 OD 矩阵的节点 i 和节点 j 之间的旅客需求量; k 为规模常量; P_i^α 和 A_j^β 分别为节点 i 和节点 j 的旅客生成量和吸引量(如人口、GDP 和收入等社会经济指标); α 、 β 为修正指数; $f(d_{ij})$ 为节点 i 和节点 j 之间的交通阻抗函数,有多种形式,且以幂形式为主,即 $f(d_{ij}) = d_{ij}^\gamma$, d_{ij} 用两地的距离、时间或费用来表示,修正指数 γ 为客流量随阻抗增加而衰减的弹性系数。

引力模型的求解需要先进行模型参数的求解,本研究就是根据已开通城市航班数据,通过回归分析进行变量参数的求解,进而将备选机场数据代入到模型中,进行机场航线需求量预测,再对预测的航线需求量进行归一化处理得到旅客潜在需求量指标 q_{ij} 。

2.2 连通性指标

选择的备选机场连通性参考指标为通航城市数量、中心城市数量占比以及互补城市数量。每一个指标都能反应机场的通航程度,三者结合作为航线连通性的参考指标。但 3 个指标的重要程度不一样,不能主观地给予赋值权重,所以通过运用熵权法客观地定量分析计算出连通性 3 个指标的权重分配。

熵权法:熵是系统无序程度的度量,可以用于度量已知数据所包含的有效信息量和确定权重,在水质评价中得到了广泛的应用。在水质模糊评价中,通过对“熵”的计算确定权重,就是根据各项监测指标值的差异程度确定各指标的权重。当各评价对象的某项指标值相差较大时,熵值较小。说明该指标提供的有效信息量较大,离散程度越大,该指标对综合评价的影响(即权重)也就越大;反之,若某项指标值相差较小,熵值较大,说明该指标提供的信息量较小,其权重也应较小。当各被评价对

象的某项指标值完全相同时,熵值达到最大,这意味着该指标无有用信息,可以从评价指标体系中去除^[6]。

使用熵权法确定权重主要有以下 3 个步骤:

1)原始数据矩阵归一化。设 m 个评价指标 n 个评价对象的原始数据矩阵为 $\mathbf{A} = (a_{ij})_{m \times n}$, 对其归一化后得到 $\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}$, 对大者为优的指标而言, 归一化公式为

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j \{a_{ij}\}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}} \quad (2)$$

而对小者为优的指标而言, 归一化公式为

$$r_{ij} = \frac{\max_j \{a_{ij}\} - a_{ij}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}} \quad (3)$$

2)定义熵合。定义熵的一般计算公式为

$$H_i = \frac{-\sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}}{\ln n} \quad (4)$$

式中, $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}$ 。

3)定义熵权。定义了第 i 个指标的熵之后, 可得到第 i 个指标的熵权:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}, 0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (5)$$

通过熵权法就可以得到 3 个指标的权重, 通过赋权求和得出连通性综合指标值:

$$c_{ij} = \sum_{i=1}^3 w_i r_{ij} \quad (6)$$

2.3 空铁竞争强度

虽然高铁运行速度不及民航, 但高铁的运营效率高于民航, 因为乘坐民航客机必须经历安检等繁琐的登机程序, 飞行又受天气限制和空域限制, 机场所在地相较于火车站离市区距离更远, 使得候机时间大大延长。所以高铁候车、上下车的时间小于候机、上下机的时间, 存在某个临界距离, 使得乘坐高铁所耗费的总旅行时间与乘坐飞机所用时间相同, 即在这个临界距离以下, 由于高铁的票价普遍低于民航价格, 高铁占据竞争的绝对优势地位, 记这个距离为 L_h ^[7]。下面确定这个临界距离的具体大小。

当运输距离为 L_h 时, 乘坐高铁的总旅行时间与乘坐客机的总旅行时间相等, 即

$$\frac{L_h}{V_1} + t_{hw} + t_{hg} + 2t_{cz} = \frac{L_h}{V_2} + t_{aw} + t_{ag} + 2t_{jc} \quad (7)$$

式中: V_1 为高铁的平均运行速度; t_{hw} 为高铁候车时间; t_{hg} 为高铁上下旅客所用时间; t_{cz} 为车站到旅客居住地时间; V_2 为航空器平均运行速度; t_{aw} 为航空出行旅客候机时间; t_{ag} 为航空出行旅客上下机时间; t_{jc} 为机场到旅客居住地时间。

根据结果可以求得临界距离 L_h , 进而换算成时间指标为

$$s_{ij} = T - L_t = T - L_h / V_1 \quad (8)$$

2.4 航线混合指数选择模型

根据上述分析的影响机场航线开辟选择的指标, 结合机场的基础设施建设和规划约束条件: 机场规划客运量限制、航线班次补贴预算、机场年起飞架次约束、连通性要求的提升效果、空铁竞争强度要求等构建航线混合指数选择模型。各指标具体参数定义如下。

R_{ij} 为 i 与 j 城市间的潜在旅客需求量; q_{ij} 为 i 与 j 城市的潜在旅客需求量指标; c_{ij} 为 i 与 j 机场的连通性指标; s_{ij} 为 i 与 j 航线的空铁竞争指标; x_{ij} 为 0-1 变量, i 与 j 机场是否有连接, 有就是 1, 无就是 0; Q_3 为 i 机场 3 年规划的客运量限制; M_{ij} 为 i 与 j 机场开通航线航班补贴; P_i 为 i 机场的年飞机起降架次; L_i 为 i 机场的连通性指标提升要求; H_i 为 i 机场的空铁竞争强度要求; α, β, γ 为机场类型权重(本文案例为 0.5, 0.3, 0.2)。

标准化:

$$AQI(ij) = \max_{j=1}^n (\alpha q_{ij} + \beta c_{ij} + \gamma s_{ij}) x_{ij} \quad (9)$$

约束:

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} x_{ij} \leq Q_3 \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n M_{ij} x_{ij} \leq B_i \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_{ij} x_{ij}}{250} \leq P_i \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \geq L_i \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \geq H_i \quad (14)$$

式(9)为基于经济性与连通性的结合航线旅客潜在需求指标、连通性指标和空铁竞争强度指表于一体的混合选择指标, 代表着对于机场开通航线的最优选择指标。式(10)为机场规划客运量限制; 式(11)为航线班次补贴预算; 式(12)为机场年起飞架次约束; 式(13)为连通性要求的提升效果; 式(14)为空铁竞争强度要求。

3 实例仿真

以日照机场作为研究对象,机场现在的情况如下:预计3年旅客吞吐量达到120万,机场设计年起飞架次为79 500次,航线补贴金额为100万,计划开通6条航线。

3.1 机场通达性现状

机场通达区域:东北、华北、华东、西南、西北、中南(6个)。

机场通达城市:北京(首都、大兴)、上海(浦东、虹桥)、广州、深圳、成都、重庆、武汉、杭州、西安、太原、长沙、海口、贵阳、黔江、大连、哈尔滨、长春、沈阳、天津、济南、厦门、昆明、福州、呼和浩特。

3.2 OD需求判断

进行OD需求预测需要用到引力模型,引力模型参数的求解需要用到已经开通的通航城市数据,数据来源于2019年度报,如表1所示。

表 1 已开通的城市各项基础数据

机场	距离/km	人口/万人	GDP/亿元
长春龙嘉国际机场	1 099	854.4	5 904.1
沈阳桃仙国际机场	782	832.2	6 470.3
上海浦东+虹桥国际机场	526	2 428.14	38 155.32
福州长乐国际机场	1 054	780	9 392.3
太原武宿国际机场	652	446.19	4 028.51
成都双流国际机场	1 530	1 658.1	17 012.65
深圳宝安国际机场	1 517	1 343.88	26 927.09
广州白云国际机场	1 456	1 530.59	23 628.6
大连周水子国际机场	442	598.7	7 001.7
重庆江北+黔江武陵山	1 345	3 124.32	23 605.77
北京大兴机场	524	2 153.6	35 371.3
杭州萧山国际机场	584	1 036	15 373
呼和浩特白塔国际机场	893	313.68	2 791.5
武汉天河国际机场	701	1 121.2	16 223.21
昆明长水国际机场	1 943	695	6 475.88
贵阳龙洞堡国际机场	1 546	488.19	4 039.6
哈尔滨太平国际机场	1 278	1 076.3	5 249.4
长沙黄花国际机场	987	839.45	11 574.22
厦门高崎国际机场	1 213	429	5 995.04
西安咸阳国际机场	969	1 020.35	9 321.19
济南遥墙国际机场	249	890.87	9 443.4

每条航线的旅客客运量没有确定的数据,本研究根据所飞航线的机型、航班频次、座位数,还有客

座率进行航线年客运量预估,数据来源于机场官网的航班计划表,如表2所示。

表 2 预估已开通的机场城市客运量

机场	机型	座位数	频次	客座率/%	年客运量/人
长春龙嘉国际机场	A320	150	156	80	18 720
沈阳桃仙国际机场	A320	150	208	80	24 960
上海浦东+虹桥国际机场	A320+B737	150	521	80	62 520
福州长乐国际机场	B737	150	365	80	43 800
太原武宿国际机场	A320	150	156	80	18 720
成都双流国际机场	A320	150	156	80	18 720
深圳宝安国际机场	B737	150	312	80	37 440
广州白云国际机场	A320	150	208	80	24 960
大连周水子国际机场	B737	150	365	80	43 800
重庆江北+黔江武陵山	CR9+A320	150+90	208+156	80	36 192
北京大兴机场	B737	150	730	80	87 600

续表 2

机场	机型	座位数	频次	客座率/%	年客运量/人
杭州萧山国际机场	A320	150	156	80	18 720
呼和浩特白塔国际机场	B737	150	156	80	18 720
武汉天河国际机场	B737	150	365	80	43 800
昆明长水国际机场	B737	150	365	80	43 800
贵阳龙洞堡国际机场	CR9	90	156	80	11 232
哈尔滨太平国际机场	A320	150	208	80	24 960
长沙黄花国际机场	E190	100	208	80	16 640
厦门高崎国际机场	B737	150	365	80	43 800
西安咸阳国际机场	E190	100	156	80	12 480
济南遥墙国际机场	E190	100	208	80	16 640

基于引力模型及类比法测算某机场至备选航点城市的 OD 需求,根据现有的数据通过回归分析进行引力模型参数的求解。并把参数代入到对备选航点潜在旅客需求量的预测上,得出需求量如

表 3所示。
预测出的需求量为旅客潜在需求量,代表着该条航线的潜力,考虑到数据颇大,为了便于比较,进行数据归一化处理。

表 3 预测的备选机场城市旅客需求量

机场名称	距离/km	人口/万人	GDP/亿元	OD 需求量/人
南京禄口国际机场	410	850	14 030	29 190.869 27
石家庄正定国际机场	522	1 103	5 810	31 095.664 87
郑州新郑国际机场	508	1 035	11 590	30 496.055 32
合肥新桥国际机场	438	819	9 409	28 563.740 49
南昌昌北国际机场	795	560	5 596	23 085.668 11
南宁吴圩国际机场	1 785	725	4 507	22 857.629 01
银川河东国际机场	1 194	229	1 901	15 889.292 68
兰州中川国际机场	1 417	413	2 837	19 223.314 12
西宁曹家堡国际机场	1 559	239	1 286	15 583.108 69
拉萨贡嘎国际机场	2 744	56	618	8 594.243 945
徐州观音国际机场	220	883	7 151	32 034.810 08
苏南硕放国际机场	445	659	11 852	26 358.372 34
邯郸机场	458	955	3 486	30 016.404 33
秦皇岛北戴河国际机场	475	315	1 612	20 028.597 93
洛阳北郊机场	635	692	5 035	25 640.080 61

原始数据矩阵归一化。设 m 个评价指标 n 个评价对象的原始数据矩阵为 $\mathbf{A} = (a_{ij})_{m \times n}$,对其归一化后得到 $\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}$,对大者为优的指标而言,归一化公式为

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j \{a_{ij}\}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}}$$

(15)

通过公式进行旅客需求量归一化,结果如表 4 所示。

3.3 连通性指标

航点的连通性指标包括通航城市数量、中心城市数量和补充航点数量。备选机场各指标数据来源于各机场官网,部分为百度百科及航线开通新闻,如表 5 所示。

表 4 机场需求量归一化

机场名称	需求归一化
南京禄口国际机场	0.878 674 397
石家庄正定国际机场	0.959 935 046
郑州新郑国际机场	0.934 355 051
合肥新桥国际机场	0.851 920 403
南昌昌北国际机场	0.618 219 888
南宁吴圩国际机场	0.608 491 492
银川河东国际机场	0.311 214 699
兰州中川国际机场	0.453 447 673
西宁曹家堡国际机场	0.298 152 558
拉萨贡嘎国际机场	0
徐州观音国际机场	1
苏南硕放国际机场	0.757 837 004
邯郸机场	0.913 892 62
秦皇岛北戴河国际机场	0.487 801 955
洛阳北郊机场	0.727 193 898

表 5 机场连通性指标数据

机场名称	通航城市数量	中心城市数量	补充航点数量
南京禄口国际机场	115	35	96
石家庄正定国际机场	84	35	67
郑州新郑国际机场	116	31	99
合肥新桥国际机场	69	29	53
南昌昌北国际机场	68	25	48
南宁吴圩国际机场	104	35	83
银川河东国际机场	85	41	64
兰州中川国际机场	119	37	99
西宁曹家堡国际机场	65	38	44
拉萨贡嘎国际机场	48	25	32
徐州观音国际机场	39	21	25
苏南硕放国际机场	42	24	26
邯郸机场	21	15	11
秦皇岛北戴河国际机场	10	9	4
洛阳北郊机场	24	17	15

进行归一化处理,如表 6 所示。
定义熵的一般计算公式为

$$H_i = \frac{-\sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}}{\ln n}$$

(16)

式中, $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}$ 。

定义熵权:定义了第 i 个指标的熵之后,可得到第 i 个指标的熵权:

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}, 0 \leq \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^m \omega_i = 1。$$

熵权法得到数据如表 7 所示。

3.4 空铁竞争强度

京沪高铁全程 1 318 km,运行多在 5 h 左右,运行速度为 263 km/h;武广高铁,全程 1 069 km,运行多在 4 h 左右,平均运行速度为 267 km/h;郑西高铁全程 505 km,运行时间多在 2 h 多一点,平均速度为 250 km/h。由此可知中国高铁速度经历过降速之后,速度并没有达到 300 km/h 的速度,取高铁速度为 260 km/h。京沪航线全程 1 175 km,运行多在 2 h 10 min 左右,运行速度 560 km/h,武广航线,全程 873 km,运行 1 h 40 min 左右,平均运行速度为 623 km/h,民航速度取 600 km/h。

由于每个城市的火车站与机场离旅客住所距离不同,且各个城市的交通堵塞情况也不同,在此按常理推算, t_{hw} 取 0.5 h, t_{hg} 取 0.25 h, t_{cz} 取 0.7 h, t_{aw} 取 1.2 h, t_{ag} 取 0.6 h, t_{jc} 取 1.2 h,可以得到 $L_h = 895$ km。即在 895 km 以下,乘坐高速铁路所耗费的总时间小于或约等于乘坐民航飞机耗费的总时间,而在 895 km 以下的运输距离中,乘坐高铁的总花费一般要少于乘坐民航的总花费,此时,高速铁路是旅客出行的首席选择。所以,在这个距离以下高速铁路对民航占有绝对的竞争优势。

表 6 连通性指标归一化数据

机场名称	通航城市归一化	中心城市归一化	补充航点数量
南京禄口国际机场	0.963 302 752	0.812 5	0.968 421 053
石家庄正定国际机场	0.678 899 083	0.812 5	0.663 157 895
郑州新郑国际机场	0.972 477 064	0.687 5	1
合肥新桥国际机场	0.541 284 404	0.625	0.515 789 474
南昌昌北国际机场	0.532 110 092	0.5	0.463 157 895
南宁吴圩国际机场	0.862 385 321	0.812 5	0.831 578 947
银川河东国际机场	0.688 073 394	1	0.631 578 947
兰州中川国际机场	1	0.875	1
西宁曹家堡国际机场	0.504 587 156	0.906 25	0.421 052 632
拉萨贡嘎国际机场	0.348 623 853	0.5	0.294 736 842
徐州观音国际机场	0.266 055 046	0.375	0.221 052 632
苏南硕放国际机场	0.293 577 982	0.468 75	0.231 578 947
邯郸机场	0.100 917 431	0.187 5	0.073 684 211
秦皇岛北戴河国际机场	0	0	0
洛阳北郊机场	0.128 440 367	0.25	0.115 789 474

表 7 机场通航指标

机场名称	w_1	w_2	w_3	通航指标
南京禄口国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.936 259
石家庄正定国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.697 884
郑州新郑国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.929 294
合肥新桥国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.546 243
南昌昌北国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.495 264
南宁吴圩国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.839 014
银川河东国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.723 637
兰州中川国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.975 7
西宁曹家堡国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.545 594
拉萨贡嘎国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.354 134
徐州观音国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.267 26
苏南硕放国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.300 113
邯郸机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.105 662
秦皇岛北戴河国际机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0
洛阳北郊机场	0.361 757	0.194 399	0.443 844	0.146 456

因为航线和路线问题,高铁和民航运输的距离不便比较,所以统一换算为时间值,这个临界时间为 L_t 。进行空铁竞争强度指标构建的时候要减去 L_t ,余下的为航空运输占优的部分,数据越大说明航空占优程度越高。

高铁一直与民航运输互为替代品,在航线开通方面不能忽视高铁对民航运输的冲击。因此在航线开通选择时加入高铁通航时间(包含接续和等待时间)指标。有研究证明在高铁通航时间大于 L_t ,民航运输占据有利优势,所以数据都是减去 L_t ,再进行归一化处理,对数据进行归一化后得到待选机场城市的空铁竞争指标 $s_{ij} = T - L_t = T - 895 \times 60 / 260 \text{ min}$,得出数据来源于 12306 网站,如表 8 所示。

表 8 高铁通航时间

机场名称	路途时间/min	归一化
南京禄口国际机场	389.00	0.19
石家庄正定国际机场	291.00	0.12
郑州新郑国际机场	288.00	0.11
合肥新桥国际机场	247.00	0.08
南昌昌北国际机场	840.00	0.39
南宁吴圩国际机场	1 401.00	1.00
银川河东国际机场	1 385.00	0.99
兰州中川国际机场	794.00	0.42
西宁曹家堡国际机场	1 653.00	0.79
拉萨贡嘎国际机场	无穷大	1.00
徐州观音国际机场	145.00	0.00
苏南硕放国际机场	299.00	0.12
邯郸机场	442.00	0.24
秦皇岛北戴河国际机场	348.00	0.16
洛阳北郊机场	473.00	0.26

4 模型求解结果及分析

根据模型需要的机场各项数据,通过MATLAB 软件进行编程对模型进行求解,运行结果如图 1所示,得出最优混合指数选择值是 4.237 4,最优开通的 6 个航点选择城市为南京禄口国际机场、石家庄正定国际机场、郑州新郑国际机场、南宁吴圩国际机场、银川河东国际机场、兰州中川国际机场。开通这 6 个机场的航线可以达到 3 年后旅客吞吐量 120 万,机场年起飞架次不超过设计起降架次 79 500次,航线补贴金额不会超过 100 万的规划目标。

5 结语

针对中小机场航线开辟选择的问题提供一个客观的定量的研究方法,为机场进行航线选择提供参考依据。通过分析影响机场航线开辟的因素指标:引力模型求得的旅客潜在需求量指标、运用熵权法求得的连通性指标以及空铁竞争指标,定量地研究机场的航线开辟选择。采用的混合指数选择模型的目标函数为旅客潜在需求量指标、连通性指标以及空铁竞争强度指标的结合,约束条件为机场规划客运量限制、航线班次补贴预算、机场年起飞架次约束、连通性要求的提升效果、空铁竞争强度要求等约束,来研究中小机场新航线的开辟选择问题。通过对中小机场日照机场进行实例仿真,根据机场的运行数据,运用 MATLAB 进行模型的求解,得出开通南京禄口国际机场、石家庄正定国际机场、郑州新郑国际机场、南宁吴圩国际机场、银川河东国际机场、兰州中川国际机场的规划选择。验证

了模型在机场开辟航线进行定量分析选择的可行性,对于国内越来越多的中小机场在新航线开辟时提供借鉴和参考。

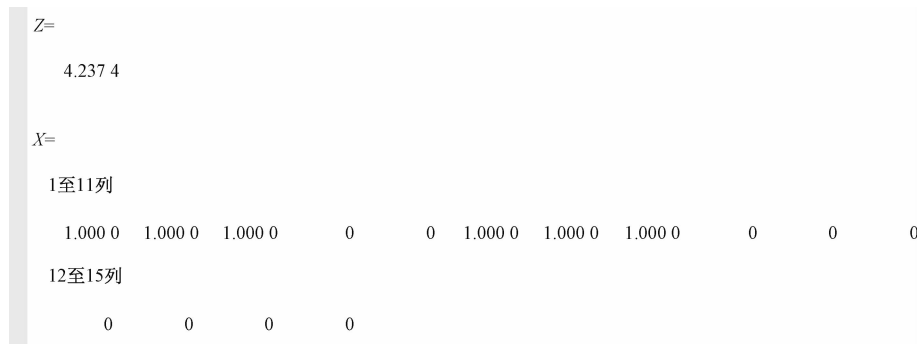


图 1 MATLAB 运行模型结果

参考文献

[1] WINDLE R,DRESNER M. Airport choice in multiple-air-
port regions [J]. Journal of Transportation Engineering
1995,121(4):332—337.

[2] HARVEY G. Airport choice in a multiple airport region
[J]. Transportation Research Part A: General, 1987, 21
(6):439—449.

[3] 张荣军. 基于运行效能的航线规划与评价[D]. 广汉:中国
民用航空飞行学院,2016.

[4] 柏明国. 航空公司航线网络优化设计问题研究[D]. 南京:
南京航空航天大学,2006.

[5] 刘晓明,夏洪山. 基于航空 OD 客流的重力模型逆向算法
[J]. 西南交通大学学报,2008(3):409—414.

[6] 陆添超,康凯. 熵值法和层次分析法在权重确定中的应用
[J]. 电脑编程技巧与维护,2009(22):19—20,53.

[7] 于世云. 中国高速铁路与民航竞争博弈建模及实证研究
[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.

Research on Airport Route Network Based on Hybrid Index Selection Model

JING Chong-yi, JIAO Guo-qing, CUI Li-juan

(School of Airport Engineering and Transportation Management,Civil Aviation Flight University of China,
Guanghan Sichuan 618307,China)

Abstract: For domestic small and medium-sized airport layout is increasingly perfect, the lack of quantitative problems, open up new routes to choose from the perspective of the airport, combined with passenger demand of potential indicators and connectivity index and empty tin competition index build hybrid index selection model, to study the opening of new routes selection problem of small and medium-sized airport, provide quantitative reference basis for the airport in route choice. Through the study of the example of sunshine airport as the research object, the passenger throughput of 1.2 million, 3 years is expected to design of airport departure flights to 79500 times, route subsidies for 1 million planning requirements, plans to open six routes, using mixed index selection model of route choice, the six of the optimal route, a planning requirements. The example proves that the model is feasible in route development and provides reference for the selection of airport route development.

Key words: hybrid index; route choice; economy; connectivity