

基于两阶段 DEA 的高新技术企业技术创新效率研究

徐子颖, 徐 晨

(大连海事大学 航运经济与管理学院, 辽宁 大连 116026)

摘要:科技创新能力是实施国家战略的支持力量,高新技术企业作为技术创新的内在推动力,对国家发展具有重大意义。应用动态两阶段 DEA 模型,在时滞效应的基础上将创新活动分为技术研发和成果转化两个阶段,构建两阶段创新投入产出指标体系,测度中国 19 个副省级及以上城市高新技术企业 2016—2019 年的技术创新效率。结果表明:19 个副省级及以上城市的高新技术企业技术创新效率存在显著差异,且整体效率偏低;大部分城市存在重视技术研发而忽视成果转化的问题;研发阶段主要依赖规模经济效益,转化阶段纯技术效率的贡献率相对较高;大部分企业的创新效率有待提高。研究成果为不同地区的高新技术企业技术创新活动提供了新角度。

关键词:高新技术企业;技术创新效率;两阶段 DEA 模型

中图分类号:F273.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2022)05—0192—06

创新是新时代高质量发展的动力,党的十九大报告提出中国将加快建设创新型国家,也将支持有条件的地方建设国际和区域科技创新中心,更加注重企业在创新活动中的主体地位^[1]。高新技术企业作为创新驱动发展的“先锋队”,直接影响了区域技术进步和区域经济发展^[2]。然而,高新技术企业还存在整体国际竞争力较低、缺乏持续成长能力、研发能力和成果转化能力不平衡等问题^[3]。《2019 年全球竞争力报告》对 141 个经济体的竞争力指数进行分析和排名,中国内地的总体竞争力排名第 28 位,创新能力排名第 24 位,研发支出占 GDP 比例的排名为 15 位,申请专利数排名第 32 位,商业化排名第 34 位。这些数据说明了中国创新能力虽然有较大提升,但科技研发投入与产出不能匹配,商业化程度不高。因此,开展高新技术企业创新效率评价,有利于各地区认清现状,提升管理水平,优化资源配置,有针对性地采取相关措施提高区域科技创新能力。

高新技术企业具有高技术、高知识产权的特点,企业如何进行科技资源配置将会直接影响科技创新产出,并作用于经济产出,从而影响到区域经济的发展^[4]。目前,越来越多的学者运用多种创新方法从不同角度探索了技术创新效率,常用的参数法包括 SFA 方法,非参数方法包括 DEA 方法。Liu 等^[5]基于 DEA-Tobit 模型测度了高技术产业发展

环境与创新效率的关系;Fan 等^[6]将区域内创新和区域间合作创新整合,采用改进的 DEA 模型分析 2003—2016 年区域创新效率的总体影响;肖仁桥等^[7]从价值链角度出发,应用两阶段链式 DEA 模型对 28 个省份高新技术产业整体效率进行评价,发现高新技术产业整体效率和分阶段效率偏低且呈现“U”形变化趋势;Li 等^[8]采用了 RAGA-PP-SFA 模型,测度 2010—2015 年高端制造业绿色技术创新效率,发现高端制造业绿色技术创新效率区域差异较大,总体水平偏低;韩晶^[9]利用 SFA 方法对高新技术产业技术创新效率和影响因素进行分析,认为高新技术产业创新产出是经费拉动型,产业利润与创新效率呈正相关;Hong 等^[10]利用 SFA 方法研究了政府补贴、私人研发资金对高新技术产业创新效率的影响,发现人力资本和私人研发资金对高新技术产业的创新绩效贡献较大,而政府补助会对创新效率带来负面影响;刘伟^[11]使用三阶段 DEA 模型测算了高新技术产业的研发创新效率,发现在剔除环境因素的影响之后规模效率被高估,纯技术效率被低估;范德成等^[12]运用 DEA-Malmquist 和 BMA 方法对中国 29 个城市的技术创新效率和潜在影响因素进行检验;冯缨等^[13]基于 DEA 方法从横向和纵向两个角度分析了江苏省 5 大高新技术产业的技术创新效率;韩兵等^[14]采用动态两阶段 DEA 模型对中国 27 个省域 2012—2015 年高新技

收稿日期:2022-01-18

作者简介:徐子颖(2001—),女,河南南阳人,大连海事大学航运经济与管理学院,学生,研究方向为企业管理;徐晨(2001—),女,天津人,大连海事大学航运经济与管理学院,学生,研究方向为企业管理。

术创新绩效进行评价。

通过对已有文献的整理,发现国内外的学者对评价方法进行了多维度的创新,从指标体系构建、区域绩效水平和影响因素角度切入,为高新技术企业持续发展和政府政策制定提供了新角度。同时,现有研究也存在可完善之处:①已有文献评价对象大多是省级区域或局部地区的高新技术企业,城市级别角度的研究较少,而高新技术企业主要集中于 19 个副省级及以上城市,从而导致不能有针对性地提出区域性的相关建议。②大多数学者在进行指标体系设计时对中间过程的关注不够,没有充分考虑技术活动的特点,测得结果的精度大大降低。为解决这些问题,基于高新技术企业创新活动的多投入和多产出特征,以时滞效应为前提,运用动态两阶段 DEA 模型,构建高新技术企业两阶段指标体系,评价中国 19 个副省级城市及以上高新技术企业的技术创新效率,打开技术创新过程中的“黑箱”,并为强化科技战略背景下的高新技术企业的发展提供建议。

1 研究设计

1.1 研究方法

DEA 方法是由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 在 1978 年提出的一种效率评价方法^[15]。基于规模报酬不变的假设,通过对多个决策单元(DMU)输入与输出的研究,从相对有效性的角度评价同类型的多投入、多产出决策单元的综合技术效率(technical efficiency, TE),该模型被称为 C²R 模型。Banker 等^[16]在规模报酬可变的基础之上构建了 BC²模型,用于评价决策单元的纯技术效率(pure technical efficiency, PTE),剔除了规模效率(scale efficiency, SE)对技术效率的干扰。在技术创新过程中,边际收益具有不确定性。因此,采用以投入导向的 BC²模型为基础对高新技术企业技术创新效率进行评价。

投入导向的 BC²模型为

$$\min_{\theta, \lambda} [\theta - \epsilon(e^T s^- + e^T s^+)]$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ji} + s^- = \theta x_{oi} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{jr} - s^+ = y_{or} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m \\ r = 1, 2, \dots, s \end{array} \right. \quad (1)$$

式中: m 表示投入变量数; s 表示产出变量数; θ 表示决策单元 DMU 的有效值; x_{ji} 为投入要素; y_{jr} 为产出要素; λ 表示 n 个 DMU 的线性组合向量; s^- 、 s^+ 为投入、产出松弛变量; ϵ 为一个很小的正数。对于该模型假设其最优解为 λ^0 、 s^{-0} 、 s^{+0} 、 θ^0 在满足不同情况下, DMU₀ 的有效性情况见表 1。

表 1 DMU₀ 有效性情况

序号	条件	DMU ₀ 有效性情况
1	$\theta^0 = 1$ 且 $s^- = s^+ = 0$	DEA 有效
2	$\theta^0 = 1$ 且 $s^- \neq 0$ 或 $s^+ \neq 0$	DEA 弱有效
3	$\theta^0 < 1$	DEA 无效

1.2 变量选取

在已有研究成果的基础上,根据数据可获得性、系统性及科学性等指标体系构建原则,综合考虑高新技术企业创新的过程,分别构建了两阶段的投入产出指标体系。在研发阶段,选取 R&D 人员折合全时当量作为创新人力投入指标,R&D 内部经费支出作为创新经费投入指标^[17],以专利申请数作为产出指标衡量企业的技术研发成果^[18];在成果转化阶段,选取专利申请数、R&D 人员折合全时当量和 R&D 内部经费支出作为创新投入指标,衡量技术、人力和资金投入,技术收入作为产出指标,衡量企业的技术经济成果。构建的评价指标体系见表 2。

表 2 高新技术企业技术创新指标体系

阶段	一级指标	二级指标
第 1 阶段	投入指标	R&D 人员折合全时当量/人年 R&D 内部经费支出/千元
	产出指标	专利申请数/件
第 2 阶段	投入指标	专利申请数/件 R&D 人员折合全时当量/人年 R&D 内部经费支出/千元
	产出指标	技术收入/千元

1.3 数据来源

研究对象为中国 19 个副省级及以上城市的高新技术企业,原始数据来源为 2017—2020 年的《中国火炬统计年鉴》以及 2018 年专利统计年报。充分考虑到科技创新活动的时滞效应,借鉴 Nasierowski 等^[19]的研究成果,将研发投入到成果产出延后 1 年,选择 2016 年为第 1 阶段的投入时点,研发投入需要一年的时间形成发明专利,因此技术产出选取 2018 年的数据,选取 2019 年的数据作为技术转化后的产出。各地区指标的原始数据见表 3。

表 3 2016、2018、2019 年指标原始数据

城市	2016		2018			2019
	人员折合全时当量/人年	内部经费支出/千元	专利申请数/件	人员折合全时当量/人年	内部经费支出/千元	技术收入/千元
北京	138 912	55 202 657	211 212	168 979	93 978 739	1 414 367 659
天津	69 070	25 989 024	99 038	77 017	29 011 963	172 828 356
上海	138 333	66 768 741	150 233	137 503	60 466 265	716 730 988
重庆	34 554	14 702 807	72 121	46 895	20 208 339	73 335 166
广州	94 796	31 678 818	173 301	121 750	47 448 247	310 940 440
长春	5 835	2 329 998	19 917	6 884	2 345 684	9 242 633
武汉	36 846	18 935 739	60 511	96 613	27 516 109	332 801 093
南京	39 668	13 109 072	99 193	85 716	28 023 522	128 604 083
杭州	75 834	31 323 112	98 536	94 653	33 914 825	440 600 982
西安	37 389	17 465 158	57 135	78 070	26 263 952	172 223 032
济南	26 624	8 271 167	35 463	33 310	10 172 498	55 184 601
沈阳	20 400	5 302 947	23 826	22 314	5 833 258	24 263 447
成都	37 707	12 068 091	98 944	51 847	15 586 717	202 150 473
大连	14 250	6 440 611	21 605	19 097	6 400 286	12 401 124
厦门	33 698	8 274 341	32 270	36 726	10 461 555	20 959 445
哈尔滨	18 276	5 188 060	22 383	12 238	3 681 669	14 576 660
深圳	163 980	76 244 243	228 636	298 799	137 888 694	478 057 847
青岛	22 437	9 061 591	60 994	28 524	10 847 507	34 311 299
宁波	40 817	12 030 368	72 954	49 908	18 765 687	15 338 748

2 实证分析

根据理论模型,运用 DEAP2.1 软件,以投入为导向分析创新投入和产出数据,测度 2016—2019 年 19 个副省级及以上城市技术创新效率。

2.1 第 1 阶段创新效率分析

将第 2 阶段投入、产出指标输入,得到第 1 阶段技术创新效率见表 4。

表 4 第 1 阶段技术创新效率

城市	TE	PTE	SE	规模收益
北京	0.448	1.000	0.448	drs
天津	0.446	0.547	0.815	drs
上海	0.318	0.557	0.571	drs
重庆	0.611	0.778	0.786	drs
广州	0.640	1.000	0.640	drs
长春	1.000	1.000	1.000	—
武汉	0.481	0.603	0.798	drs
南京	0.885	0.955	0.927	drs
杭州	0.381	0.495	0.769	drs
西安	0.448	0.558	0.803	drs
济南	0.502	0.513	0.977	drs
沈阳	0.526	0.530	0.991	drs
成都	0.959	1.000	0.959	drs
大连	0.444	0.457	0.971	drs
厦门	0.456	0.466	0.980	drs
哈尔滨	0.505	0.508	0.994	drs
深圳	0.408	1.000	0.408	drs
青岛	0.796	0.998	0.798	drs
宁波	0.709	0.737	0.963	drs
均值	0.577	0.721	0.821	—

注:“irs”、“—”和“drs”分别表示规模收益递增、不变和递减。下同。

从表 4 可以看出,各城市数据集中程度较高。从总体上来看,高新技术企业创新综合效率偏低,平均值为 0.577,纯技术效率为 0.721,规模效率为 0.821,均未达到最优。各城市效率值普遍偏低,其中,长春满足 $TE=PTE=SE=1$,DEA 有效,即在投入的基础上所获得的产出达到最优,既是技术有效,也是规模有效,规模收益不变;北京、广州、成都和深圳满足 $PTE=1$,DEA 弱有效,技术有效,即产出相对于投入达到最优, $SE<1$,为非规模有效且规模收益递减;其他城市则是非 DEA 有效且规模收益递减。

2.2 第 2 阶段创新效率分析

将第 2 阶段投入、产出指标输入,得到第 2 阶段技术创新效率,见表 5。

根据表 5 可以看出,各城市总体数据较低,平均综合技术效率仅为 0.430,表现较差,纯技术效率为 0.696,规模效率为 0.625,有较大提升空间。其中,北京为 DEA 有效,达到了最优;长春、武汉满足 $PTE=1$,DEA 弱有效,规模收益递增;其余城市为非 DEA 有效,规模收益均为递增。

2.3 两阶段创新效率对比分析

2.3.1 总体角度

把技术创新分为两个阶段,从总体来看,两阶段综合效率值较低,且第 1 阶段的综合技术效率比第 2 阶段高出 34.19%,第 2 阶段达到最优的城市数量与第 1 阶段相同。说明中国副省级以上城市高

新技术企业在技术创新活动中对人员、资本的配置能力和资源使用效率偏低,成果转化效率低于研发效率,研发阶段对技术创新效率的贡献较大,各城市高新技术企业重视科技研发投入和成果的输出,而忽视经济效益。因此提高高新技术创新效率的关键在于把科技成果转化为经济利益,提升商业化、产品化效率。

表 5 第 2 阶段技术创新效率

城市	TE	PTE	SE	规模收益
北京	1.000	1.000	1.000	—
天津	0.396	0.449	0.882	irs
上海	0.788	0.802	0.982	irs
重庆	0.241	0.393	0.613	irs
广州	0.435	0.464	0.938	irs
长春	0.262	1.000	0.262	irs
武汉	0.821	1.000	0.821	irs
南京	0.305	0.364	0.838	irs
杭州	0.863	0.899	0.961	irs
西安	0.450	0.706	0.637	irs
济南	0.360	0.724	0.498	irs
沈阳	0.276	0.915	0.302	irs
成都	0.862	0.958	0.900	irs
大连	0.129	0.940	0.137	irs
厦门	0.133	0.663	0.201	irs
哈尔滨	0.263	0.920	0.286	irs
深圳	0.312	0.353	0.884	irs
青岛	0.210	0.381	0.551	irs
宁波	0.054	0.283	0.192	irs
均值	0.430	0.696	0.625	—

第1阶段的规模效率高出纯技术效率13.87%，

说明副省级以上城市高新技术企业的管理和技术等因素对创新效率的贡献较小,而企业规模经济效益对创新效率影响较大。同时,除已达到最优的长春之外,其他地区企业处于规模收益递减状态,研发投入和技术产出不匹配,自主创新能力提升甚微。

第 2 阶段的纯技术效率比规模效率高出 11.36%，说明相较于技术无效的因素,规模无效性是造成企业的成果转化效率偏低的主要原因。同时,除北京以外,其他地区企业处于规模收益递增状态,但并未达到最优,创新效益不明显。

2.3.2 空间角度

从综合技术效率角度对 19 个副省级以上城市技术创新效率结果绘制排名象限分布图,结果如图 1 所示。

将 19 个评价对象分为 4 种类型,具体如下:

1)区域Ⅰ为低研发-低转化,包括厦门和大连。这些城市在研发和转化两方面都有很大进步空间,应该努力提升经济水平,优化市场结构,加强区域创新合作,逐步推进建设双高模式。

2)区域Ⅱ为高研发-低转化,包括重庆、长春、南京、沈阳、哈尔滨、青岛和宁波。这些地区有较强的研发能力,但由于市场成熟度、发展水平的限制,技术商业化、产品化效率偏低,从而效益降低,所以这些区域应该在保持研发水平的条件下,提高转化效率,重视产品和技术市场。

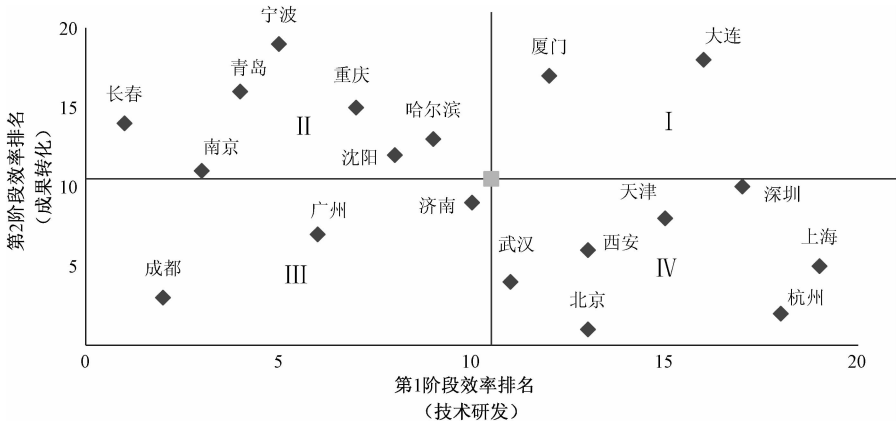


图 1 各城市技术创新效率排名象限分布

3)区域Ⅲ为高研发—高转化,包括成都、广州和济南。①成都作为后起之秀,近年来在区域经济发展、高质量人才引进和科技创新投入方面取得了不错效果,整体创新活力较强;②广州作为国家中心城市,在全国科技中心排名第 4,创新投入力度

大,市场发展成熟;③济南虽然在创新人力、经费投入和经济产出水平偏低,增幅也不显著,由于成果转化存在一定滞后性,因而测度的效率值较高。总之,这些地区在资源配置、资源使用效率以及产业结构等方面相对优于其他城市,因此这些地区要在

维持现有条件的基础上,加大研发投入力度,强化成果转化和吸收,加强区域合作。

4)区域Ⅳ为低研发—高转化,包括北京、天津、上海、武汉、杭州、西安和深圳。北京、上海和深圳经济基础雄厚,创新政策体系完善,在技术创新资本和人力投入方面占据绝对优势,但是资源配置和管理水平不足导致技术研发效率相对较低,商业化水平较高,技术市场发展较为完善,成果转化能力强。这些地区都比较重视技术的输出,但整体技术水平竞争力不足。因此,应该要加大技术引进的力度,着重提升企业管理水平,优化资源配置,重视研发产出和人才引进。

3 结论及建议

3.1 结论

本文以时滞效应为前提,运用动态两阶段 DEA 模型中的 BC^2 模型对中国 19 个副省级及以上城市 2016—2019 高新技术企业技术创新效率进行研究,构建高新技术企业两阶段指标体系,更全面地对各个城市高新技术企业创新效率进行评价,从而进一步分析不同地区技术创新效率的差异性。研究的主要结论为:在第 1 阶段,19 个城市高新技术企业平均综合技术效率为 0.577,总体水平偏低,只有长春达到最优水平,其余城市集中性较高;在第 2 阶段,19 个城市高新技术企业平均综合技术效率较低,纯技术效率和规模效率有较大进步空间,只有北京达到最优水平;总体上,第 1 阶段研发效率企业规模经济效益对创新效率影响较大,第 2 阶段规模无效性是造成企业的成果转化效率偏低的主要原因;空间上,各副省级及以上城市高新技术企业创新效率具有显著差异,尤其是区域Ⅰ和区域Ⅲ高新技术企业差距较大,且差异呈现扩大趋势。

3.2 建议

结合具体情况,对高新技术企业发展提出以下建议:

1)加大科技研发投入力度,提高专利申请数。加大研发投入力度,采取切实措施加大对技术研发和专利申请的支持力度,重视研发成果产出,最大限度地创新投入转化为有效技术成果,推进高新技术企业向创新驱动模式转变。

2)注重技术商业化效率。以需求导向创新为主导,注重市场和客户的实际需求,强化创新技术商业化、产品化效率,提高市场活跃度,推动科技成果发挥作用。

3)提升企业管理水平。鼓励企业提高管理水

平,集中优势资源,合理配置人力、资本等要素,不断完善激励机制和创新管理制度,激发员工的创造力,提高高新技术创新管理决策科学化。

4)加强区域合作创新,提高高新技术企业竞争力。推进区域企业创新交流,学习和借鉴“双高”区域的高新技术企业的特色管理方法和先进商业模式,实现优势互补,扩大技术、知识的溢出效应,积极发展特色产业、技术,逐步提升高新技术企业整体竞争力。

由于研究方法存在一定局限性,只针对输入与输出指标的相对效率进行评价,没有剔除环境噪声带来的影响,结果可能存在偏差。在今后的研究中,可以扩大指标体系范畴,并进行评价方法的创新,进一步分析高新技术企业的技术创新效率。

参考文献

- [1] 陈昌兵. 新时代我国经济高质量发展动力转换研究[J]. 上海经济研究, 2018(5):16-24, 41.
- [2] 杨浩昌, 李廉水, 刘军. 高新技术产业聚集对技术创新的影响及区域比较[J]. 科学学研究, 2016, 34(2):212-219.
- [3] 冯宗宪, 王青, 侯晓辉. 政府投入、市场化程度与中国工业企业的技术创新效率[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, 28(4):3-17, 33.
- [4] 胡义东, 仲伟俊. 高新技术企业技术创新绩效影响因素的实证研究[J]. 中国科技论坛, 2011(4):80-85.
- [5] LIU Z, CHEN X, CHU J, et al. Industrial development environment and innovation efficiency of high-tech industry: Analysis based on the framework of innovation systems [J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2018, 30(4):434-446.
- [6] FAN F, LIAN H, WANG S. Can regional collaborative innovation improve innovation efficiency? An empirical study of Chinese cities[J]. Growth and Change, 2020, 51(1):440-463.
- [7] 肖仁桥, 钱丽, 陈忠卫. 中国高新技术产业创新效率及其影响因素研究[J]. 管理科学, 2012(5):85-98.
- [8] LI T, LIANG L, HAN D. Research on the efficiency of green technology innovation in China's provincial high-end manufacturing industry based on the RAGA-PP-SFA model [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2018:9463707.
- [9] 韩晶. 中国高新技术产业创新效率研究:基于 SFA 方法的实证分析[J]. 科学学研究, 2010, 28(3):467-472.
- [10] HONG J, HONG S, WANG L, et al. Government grants, private R&D funding and innovation efficiency in transition economy[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2015, 27(9):1068-1096.
- [11] 刘伟. 中国高新技术产业研发创新效率测算:基于三阶段 DEA 模型[J]. 数理统计与管理, 2015, 34(1):17-28.

[12] 范德成,谷晓梅.高新技术产业技术创新效率关键影响因素分析:基于 DEA-Malmquist 和 BMA 方法的实证研究[J].科研管理,2022,43(1):70-78.

[13] 冯纛,滕家佳.江苏省高新技术产业技术创新效率评价[J].科学与科学技术管理,2010,31(8):107-112.

[14] 韩兵,苏屹,李彤,等.基于两阶段 DEA 的高新技术企业技术创新绩效研究[J].科研管理,2018,39(3):11-19.

[15] CHARNES A,COOPER W W,RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.

[16] BANKER R D,CHARNES A,COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science,1984,30(9):1078-1092.

[17] 朱鹏颐,刘东华,黄新焕.动态视角下城市科技创新效率评价研究:以福建九地级市为例[J].科研管理,2017,38(6):43-50.

[18] 王黎莹,王佳敏,虞微佳.区域专利密集型产业创新效率评价及提升路径研究:以浙江省为例[J].科研管理,2017,38(3):29-37.

[19] NASIEROWSKI W,ARCELUS F J. On the efficiency of national innovation systems[J]. Socio-Economic Planning Sciences,2003,37(3):215-234.

Research on Technological Innovation Efficiency of High-tech Enterprises Based on Two-stage DEA Model

XU Ziyang, XU Chen

(School of Shipping Economics and Management,Dalian Maritime University,Dalian Liaoning 116026,China)

Abstract: Scientific and technological innovation ability is the supporting force for the implementation of national strategy. As the internal driving force of technological innovation, high-tech enterprises are of great significance to national development. On the premise of time lag effect, the dynamic Two-stage DEA model is applied to divide innovation activities into two stages: technology R & D and achievement transformation, and a two-stage innovation input-output index system is built to measure the technological innovation efficiency of high-tech enterprises in 19 sub provincial and above cities in China from 2016 to 2019. The results shows that there are striking contrasts in the technological innovation efficiency of high-tech enterprises between 19 sub-provincial and above cities, and the overall efficiency is low. Moreover, most cities pay more attention to technological R & D rather than the transformation of technological achievements. The R & D stage mainly depends on economies of scale, the contribution rate of pure technical efficiency in the transformation stage is relatively high, and the innovation efficiency of most enterprises needs to be improved. The results could provide a new perspective for the technological innovation activities of high-tech enterprises in different regions.

Keywords: high-tech enterprise; technological innovation efficiency; two-stage DEA model