

我国 54 个城市的创新效率比较研究： 基于包含非期望产出的 SBM-NDEA 模型

常晓然, 周 全, 吴晓波
(浙江大学管理学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 本文结合非期望产出模型和非导向的 SBM-NDEA 模型(非径向模型)对我国 54 个城市的创新效率进行客观、系统的评价。实证结果表明: (1) 我国城市创新无论是其整体, 还是其上下游两阶段, 效率值都偏低, 均有很大的提升空间; 特别地, 除了北京、上海、天津、海口等 13 个城市属于高效集约型技术创新外, 大部分城市表现为两阶段效率双差或一强一差; (2) 技术商业化阶段对创新总效率的影响较大, 而上下游两阶段之间并不匹配、不协调, 表明这些城市在技术开发和技术商业化之间的沟通和协调上处理得不好; 因此, 在城市创新系统的运作过程中, 做好两阶段间的合作、沟通、过渡、协调工作能够有效地提升系统的整体效率; (3) 从非期望产出的改进空间来看, 城市间差异较大。针对以上研究发现, 本文为政策制定者和管理者提供了可参考的政策建议。

关键词: 网络数据包络分析(NDEA); 技术开发; 技术商业化; 创新效率

中图分类号: F273.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6062(2016)01-0009-10

DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2016.01.002

0 引言

在经济全球化和新科技革命两大力量的驱动下, 以创新驱动为特征的创新型城市建设已日益成为城市可持续发展的重要模式^[1], 也是实现我国创新型国家战略的核心举措。城市创新能力的提升、创新型城市建设的实现得益于政府的高度重视、企业创新意识的不断增强, 创新资源投入持续攀升^[2]。然而, 在提升城市创新能力和建设创新型城市的进程中, 除了加大创新投入力度外, 城市创新的效率问题亦不能忽视。特别是, 在我国创新资源相对有限的情况下, 尽可能地利用较少的创新投入获得较多的创新产出, 提高创新资源的利用效率, 对进一步提升创新能力具有重要意义。另外, 环境对城市的发展与繁荣具有决定性的作用, 所以在建设创新型城市的同时还要兼顾资源节约型和环境友好型城市的建设, 这对城市创新效率的评价提出了新的要求。然而, 目前城市创新效率的研究存在以下不足。

以往国内外学者运用 DEA 方法对城市或区域创新效率进行研究时, 一些学者将创新过程看作一个投入——产出的“黑箱”, 而忽略系统内部过程和阶段特征^[3-5]。这种方法, 一方面, 没有考虑由投入到产出的中间环节和过程, 丢失了大量信息, 从而大大降低了对创新效率评价的有效性和准确性^[6]; 另一方面, 无法得知内部过程的相对效率及各阶段对整体效率的影响, 大大降低了对创新效率分析的现实指导意义。虽然一些学者打开了创新过程的“黑箱”, 将创新过程分两个相互连续的子过程^[7-8], 弥补了以上不足。但是, 以上相关研究普遍存在以下问题: 一是, 在指标选择上都忽略了创新过程中产生的环境污染等非期望产出(坏产出)对创新效率的影

响, 其分析结果不能准确、全面地反映创新效率^[9]; 二是, 在模型选择上普遍采用径向的、有导向的 DEA 模型, 这违背了实际的创新过程, 从而失去了其结论的现实指导意义。

所以, 为了弥补现有研究的不足, 本文将创新过程划分为技术开发阶段和技术商业化阶段, 采用包含非期望产出(单位 GDP 能耗, 单位 GDP 工业废水排放量, 单位 GDP 工业二氧化硫排放量和单位 GDP 工业烟(粉)尘排放量)的非导向非径向考虑松弛信息的 SBM-NDEA 模型, 并选取国内 54 个城市为研究对象, 对其创新活动的两阶段效率及整体效率进行科学、客观、全面的评价和比较分析, 找出各城市创新效率低下无效的原因, 并针对非期望产出的改进空间(或节能减排空间)进行城市间差异分析。希望本文能为政策制定者和管理者提供重要的参考信息和借鉴意义。

1 文献回顾

技术创新是包括新产品、新过程、新系统和新设备等形式在内的技术向商业化实现的首次转化, 是技术、工艺的发明和商业化的全过程^[10], 它带来的是新产品的市场实现、新技术工艺与装备的商业化应用^[11]。也就是说, 创新只有经过商业化阶段才算完成^[11]。同样, 熊彼特经济学指出, 创新是一个经济概念, 并不是单纯的技术上的发明, 创新的完成需要实现商业化^[12]。创新效率测量的是创新投入——产出“效率”的水平, 侧重的是对过程绩效的评估。国内外运用 DEA 方法对城市或区域创新效率的研究已有很多, 由于对创新本质的理解和指标选取的不同, 相关研究大致可分为以下两种评价机制: 单一过程评价机制和两子过程评价机制。

收稿日期: 2015-06-14 **修回日期:** 2015-10-30

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(71232047); 国家自然科学基金面上资助项目(71372055)

作者简介: 常晓然(1988—), 女, 河南濮阳人, 浙江大学管理学院博士研究生, 研究方向: 技术创新和国际商务。

在单一过程评价机制的研究中,学者将创新过程看作投入资金和人员后,产出专利、论文、技术市场成交额^[13-14]或经济效益(如,新产品产值或销售收入、高(新)技术产业增加值)^[3],或者同时产出专利和经济效益^[5]的“黑箱”。以上学者在获得相关指标的数据基础上,运用 DEA 方法中的投入导向或产出导向的 CCR 和 BCC 等基本模型,分析这一“黑箱”的效率。可见,这种机制下的创新效率评价,并不符合 Freeman 等^[10-11]和熊彼特等提出的创新的本质——技术的开发和商业化。因为,这些研究要么只关注技术的开发阶段,要么忽略技术开发阶段或将该阶段看作完全有效,要么混淆这两个阶段。因此,该机制下对创新效率的评价并不准确和全面。

学者们在认识到以上问题之后,逐渐打开创新过程的“黑箱”,采用两子过程评价机制来评价创新效率。但是在该评价机制下,由于采用的分析模型和指导思想不同,有三类不同的研究。其一,运用传统的投入导向或产出导向的 CCR、BCC 模型,单独分析技术开发阶段的效率和成果或经济转化阶段的效率^[14-16]。该类研究忽略了创新过程的整体性,及子过程对整体效率的影响。其二,运用 Fare 和 Grosskopf^[17]首次提出的评价决策单元内部有效性的网络 DEA 模型及后来学者开发的拓展模型^[18-20],评价两子过程的效率及整体效率,并在此基础上评价子过程的关联性^[17]及各子过程效率对整体效率的影响^[18]。其三,前两类研究将创新过程看作创新要素的完全线性流动,即第一子过程的产出为第二子过程的投入,该假设过于苛刻^[21]。所以,第三类研究则考虑创新要素非线性流动的网络化特征,即初始投入的两子过程共享机制^[22-23]。

以上大多数研究采用传统的投入或产出导向的 CCR 和 BCC 模型,那么方法论上存在以下问题:1) CCR 和 BCC 模型是径向(Radial)模型,即在投影分析中,对于无效 DMU 来说,通过投入(或产出)按比例缩减(或放大)以达到有效。所以,该模型忽略了松弛变量的信息,即在效率值的测量中并未反映松弛改进的部分。另一方面,由于创新活动的复杂性,其投入或产出的变化比例并不相同^[24]。以上海市为例,2012 年,其 R&D 经费内部支出、R&D 人员全时当量、专利授权数、新产品产值等指标较 2011 年的增长率分别为 13.68%、3.30%、7.40%、-20.85%^①。可见,径向模型不仅不能准确测量效率值,还不具有现实的指导意义。2) 投入或产出导向^②模型的正确选择要结合具体的研究领域。例如,在创新资源投入不足的背景下,选择投入导向的模型会使分析结果不易解释或易产生误解,因为根据投入导向的投影分析的结果,无效率的单元要达到改进目标的措施是减少投入,这看似与其投入不足的背景相矛盾。同样,在新产品市场需求不足的背景下(需求是决定产出数量的首要因素),选择产出导向模型会使投影分析所确定的产出目标(增

加产出)客观上难以实现,从而失去实际指导意义^[25]。除此之外,在考虑坏产出或非期望产出时,两种导向的模型都不能真实反映创新效率改进途径。

事实上,考虑松弛变量的 SBM 模型已被广泛运用到城市转型效率、电炉冶炼作业能源效率、银行效率评价及环境效率评价等领域的研究中,并考虑了非期望产出^[9, 26-31]。也有学者将 SBM-NDEA (Slacks-Based Measure Network DEA) 模型运用到高技术产业技术创新效率研究的,但并未考虑非期望产出^[32](尹伟华, 2012)。本文主要将在以下方面进行拓展:第一,非期望产出纳入创新效率评价模型,从而更加全面、客观地评价中国城市的创新效率;第二,从实际的创新过程出发,将其划分为更具现实意义的技术开发阶段和技术商业化阶段,真实的反应创新路径,使研究结论更具指导意义;第三,从研究方法上看,本文采用 Tone 和 Tsutsui^[20]提出的考虑松弛信息的网络 DEA 模型,即 SBM-NDEA (Slacks-Based Measure Network DEA) 并将其与非期望产出模型结合,对创新效率进行测度,能够较好的还原创新过程两阶段特征。

2 研究设计

2.1 指标选取和数据收集

借鉴前人的研究,本文同样将创新过程划分为技术开发阶段和技术商业化阶段^[33-35]。技术开发阶段是大学和科研院所及企业的科技研发过程,即由初始的创新资源(资金和人员)投入转化为以专利和非专利等知识技术形式的科技成果。该阶段体现了创新的技术开发效率,即研发创新资源投入与研发创新科技成果之间的转换效率。技术商业化阶段是技术开发阶段的延续,是以企业为主体的相关组织将前一过程的科技成果转化为市场经济、社会效率的过程,即前一阶段的科技成果为该阶段的投入。该阶段是联接创新科技成果和市场的关键环节,其最终目的是把技术转化为现实生产力。该阶段体现的是研发创新科技与技术成果的市场经济、社会效益转化水平。

在以上两阶段划分基础上,本文按照以下原则对指标进行选择:1) 有效性,即所选取的指标必须能反映创新活动;2) 对应性,即所选的指标必须满足创新过程要素之间的投入产出关系;3) 数据的可获性,即所选取的指标必须能通过一定的途径获得权威、真实的数据。基于以上原则,参照已有研究,结合本文的研究目的,构建了城市创新效率评价的指标体系(见表 1 所示)。评价指标体系中,为了体现中间技术创新产出,本文除了采用常用的专利、发明专利的授权数和规模以上工业企业研发项目数等知识创新指标外,还用技术市场成交合同额作为补充性指标,主要是弥补专利衡量技术创新产出方面的不足^[12, 36],使包含的创新范围更加广泛^[22, 37]。最终的社会经济产出是个复杂的变量,为了引导创新型城市的低碳式发展,实现我国的可持续发展战略,本文不但考虑了预期产出——经济效益,还考虑了非预期产出一—环境成本。

在确定表 1 评价指标的基础上,本文以中国北京、上海、重

① 该文采用的是 BCC 网络模型。

② 该文采用的是 CCR 网络模型。

③ 数据来源于《上海统计年鉴 2014》。

④ 投入导向是指在产出既定的条件下,以减少投入作为对无效单元提高效率的主要途径;反之,产出导向则是指在投入既定的条件下,以增加产出作为提高效率的主要途径。

庆、天津等 4 个直辖市，石家庄、济南、南京、杭州等 26 个省座城市（由于拉萨的指标数据缺失较多，不纳入研究范畴），大连、青岛等 5 个计划单列市，以及苏州、徐州、烟台、宁波、等 19 个地级市，共 54 个城市为研究对象。各城市指标的数据主要来源于《中国城市统计年鉴 2013》、《中国科技统计年鉴 2013》、各省及各城市的《统计年鉴 2013》，无法从以上年鉴中获得的数据进一步从各城市的《2012 年国民经济和社会发展统计公报》及科技信息网搜索补充。**表 1 本文构建的城市创新效率评价指标体系**

文构建的城市创新效率评价指标体系		
初始创新投入 (X)	经费投入	全社会 R & D 经费: 亿元 (X_1^1)
	人员投入	地方财政科技支出: 亿元 (X_2^1)
	知识投入	R&D 折合全时人员: 万人年 (X_3^1)
	技术创新	授权专利数: 件(Y_1^1) 或 (X_4^1)
中间科技产出 (MY)	知识创新	授权发明专利数: 件(Y_2^1) 或 (X_2^2)
	技术创新	规模以上工业企业研发项目数: 个(Y_3^1) 或 (X_3^2)
	商业化	技术市场成交额: 亿元(Y_4^1) 或 (X_4^2)
	经济效益	规模以上工业企业科技活动新产品产值: 亿元 (Y_5^2)
社会经济产出 (Y)	经济效益	第三产业总产值: 亿元 (Y_2^2)
	环境成本	高技术产品出口额: 亿美元 (Y_3^2)
	环境成本	单位 GDP 综合能耗: 吨标准煤/万元 (Y_4^2)
	环境成本	单位 GDP 工业废水排放量: 万吨/亿元 (Y_5^2)

注: 表中 X_1^1, Y_1^1 表示指标是技术开发阶段 (节点 1) 的投入、产出指标; 同样 X_2^2, Y_2^2 表示指标是技术商业化阶段 (节点 2) 的投入、产出指标。由于中间科技产出相关指标即使技术开发阶段的产出, 又是技术商业化阶段的投入, 所以有两种标示。

2.2 分析模型

2.2.1 SBM 网络 DEA 模型

1978 年, Charnes、Cooper 和 Rhodes 提出了一个数据包络分析(Data Envelope Analysis, DEA) 模型^[38], 用于测度多投入、多产出的系统效率。网络 DEA 主要是在 Fare 和 Grosskopf^[17]的研究基础上发展起来的适应于子系统之间链接关系的系统效率测度模型。该模型指出链式网络系统包括两个基本特征: 一是包含两个或两个以上的子系统; 二是子系统间由中间变量进行链接。此后, Lewis 和 Sexton^[18], Kao 和 Hwang^[19], Tone 和 Tsutsui^[20] 分别在该模型的基础上进行了拓展。其中, Tone 和 Tsutsui^[20] 提出的考虑松弛信息的网络 DEA 模型, 即 SBM-NDEA (Slacks-Based Measure Network DEA) 模型, 保证了科学性。本文拟采用该 SBM-NDEA 模型, 其表达如下:

给定 n 个决策单元 $DMU_j (j = 1, 2, \dots, n)$, 本文研究对象为 54 个城市 (见 2.1 部分), 所以 $n=54$, 每个决策单元由 K 个节点组成, m_k 和 r_k 分别对应节点 $k (k = 1, 2, \dots, K)$, 本文中两个节点, 即技术开发节点和技术商业化节点, 所以 $K=2$ 的投入指标数和产出指标数 (本文中节点 1 的投入指标有 4 个, 产出指标有 4 个; 节点 2 的投入指标有 4 个, 产出指标有 7 个, 所以 $m_1=4, m_2=4; r_1=4, r_2=7$ 。相关指标见表 1), $X_j^k = (X_{1j}^k, X_{2j}^k, \dots, X_{m_k j}^k)^T$ 表示第 j 个决策单元在节点 k 的投入向量, $Y_j^k = (Y_{1j}^k, Y_{2j}^k, \dots, Y_{r_k j}^k)^T$ 表示第 j 个决策单元在节点 k 的产出向量, w^k 为节点 k 的权重 (本

文中 $w^1=w^2=0.5$)。L 代表中间指标的集合, (k, h) 表示从节点 k 到节点 h , $t(k, h)$ 代表 (k, h) 的中间指标数 (本文中 $t(k, h)=4$), $Z_j^{(k,h)} = (Z_{1j}^{(k,h)}, Z_{2j}^{(k,h)}, \dots, Z_{t(k,h)j}^{(k,h)})^T (j = 1, \dots, n)$ 表示第 j 个决策单元从节点 k 到节点 h 的中间向量, CRS 下生产可能集 $\{ (X^k, Y^k, Z^{(k,h)}) \}$ 表示为

$$\begin{aligned} X^k &\geq \sum_{j=1}^n x_j^k \lambda_j^k, & Y^k &\leq \sum_{j=1}^n y_j^k \lambda_j^k \\ (\text{作为 } k \text{ 的产出}) & Z^{(k,h)} = \sum_{j=1}^n z_j^{(k,h)} \lambda_j^k \\ (\text{作为 } h \text{ 的投入}) & Z^{(k,h)} = \sum_{j=1}^n z_j^{(k,h)} \lambda_j^k \end{aligned}$$

对于 VRS 情形, 只要加入约束条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^k = 1 \quad (\lambda_j^k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K)$ 即可。

决策单元 $DMU_{j_0} (j_0 = 1, 2, \dots, n)$ 对应 (X_0, Y_0) , $s_0^k = (s_{10}^k, s_{20}^k, \dots, s_{m_k 0}^k)^T$ 表示决策单元 DMU_{j_0} 在节点 k 的投入松弛向量, $s_0^{k+} = (s_{10}^{k+}, s_{20}^{k+}, \dots, s_{r_k 0}^{k+})^T$ 表示节点 k 的产出松弛向量。相应的投入产出满足:

$$\begin{aligned} x_0^k &= \sum_{j=1}^n x_j^k \lambda_j^k + s_0^{k-} \\ y_0^k &= \sum_{j=1}^n y_j^k \lambda_j^k - s_0^{k+} \\ s_0^{k-} &\geq 0, & s_0^{k+} &\geq 0, & k &= 1, 2, 3, \dots, K \end{aligned}$$

关于自由中间指标, 由

$Z_j^{f(k,h)} = (z_{1j}^{f(k,h)}, z_{2j}^{f(k,h)}, \dots, z_{t(k,h)j}^{f(k,h)})^T (j = 1, \dots, n)$ 来表示, $t(k, h)$ 为自由中间指标数 (本文中 $t(k, h)=4$)。那么, 松弛网络 DEA 模型下的中间指标满足以下等式:

$$z_0^{f(k,h)} = \sum_{j=1}^n z_j^{f(k,h)} \lambda_j^k + s_0^{f(k,h)}$$

$\sum_{j=1}^n z_j^{f(k,h)} \lambda_j^k = \sum_{j=1}^n z_j^{f(k,h)} \lambda_j^h$ 表示中间变量满足前一节点的产出等于下一节点的投入。

$s_{i0}^{f(k,h)}$: 无约束。

其中, $s_0^{f(k,h)} = (s_{10}^{f(k,h)}, s_{20}^{f(k,h)}, \dots, s_{t(k,h)0}^{f(k,h)})^T$ 表示 (k, h) 的自由中间指标的松弛向量。

定义 1 称 ρ^* 为决策单元 DMU_{j_0} 的整体效率。当 $\rho^* = 1$ 时, 称 DMU_{j_0} 整体有效; $\rho^* < 1$ 时, DMU_{j_0} 整体无效。

DMU_{j_0} 不同导向下的整体效率分别为:

$$\text{投入导向下 } \rho^* = \min \sum_{k=1}^K w^k (1 - \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{i0}^{k-}}{x_{i0}^k})$$

$$\text{产出导向下 } \rho^* = \min \frac{1}{\sum_{k=1}^K w^k (1 + \frac{1}{r_k} \sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r0}^{k+}}{y_{r0}^k})}$$

$$\text{非导向下 } \rho^* = \min \frac{\sum_{k=1}^K w^k (1 - \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{i0}^{k-}}{x_{i0}^k})}{\sum_{k=1}^K w^k (1 + \frac{1}{r_k} \sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r0}^{k+}}{y_{r0}^k})}$$

$1 - \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{i0}^{k-}}{x_{i0}^k}$ 表示决策单元在节点 K 投入的平均减少率; $1 + \frac{1}{r_k} \sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r0}^{k+}}{y_{r0}^k}$ 表示节点 K 产出的平均增加率。

定义 2 设 s_{i0}^{k-}, s_{r0}^{k+} 分别为各自导向下决策单元 DMU_{j_0} 取最优效率值时投入和产出松弛量, 称 ρ^k 为节点 k 的效率。

不同导向下, DMU_{j_0} 在节点 K 的效率为:

$$\text{投入导向下 } \rho^k = 1 - \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{i0}^{k-}}{x_{i0}^k}.$$

$$\text{产出导向下 } \rho^k = \frac{1}{1 + \frac{1}{r_k} \sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r0}^{k+}}{y_{r0}^k}}$$
$$\text{非导向下 } \rho^k = \frac{1 - \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{i0}^{k-}}{x_{i0}^k}}{1 + \frac{1}{r_k} \sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r0}^{k+}}{y_{r0}^k}}$$

当 $\rho^k = 1$ 时，称 DMU_{j₀} 在节点 k 有效； $\rho^k < 1$ 时，DMU_{j₀} 在节点 k 无效。

由定义 1 和定义 2 可知，决策单元 DMU_{j₀} 整体有效的充要条件为所有节点均有效。

2.2.2. 非期望产出模型（Undesirable Outputs Model）

在非期望产出模型中，期望产出（或好产出）的改进方向是增加，而非期望产出（或坏产出）的改进方向是减少。非期望产出模型可以和其他距离模型结合。对于决策单元 DMU_j (j=1, 2, ..., n)，每个 DMU 有 m 种投入，记为 x_i (i=1, 2, ..., m 本文中 m=4)；有 r 种产出，包括 q_1 种好产出，记为 y_r (r=1, 2, ..., q₁，本文中 q₁=3)，和 q_2 种坏产出，记为 b_r (r=1, 2, ..., q₂，本文中 q₂=4)，则非导向的考虑非期望产出 SBM 模型为（Cooper et al., 2007），

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{q_1 + q_2} (\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^-}{b_{rk}})}$$
$$\text{s.t.} \quad x_k - X\lambda - s^- = 0$$
$$Y\lambda - y_k - s^+ = 0$$
$$B\lambda - b_k + s^- = 0$$
$$\lambda, s^-, s^+ \geq 0$$

本模型中，Y 代表期望产出，B 代表非期望产出。本文中，指标 Y_4^2 、 Y_5^2 、 Y_6^2 、 Y_7^2 为坏产出。

3 评价结果分析

本文采用基于规模收益可变（VRS）的包含非期望产出的非导向 SBM-NDEA 模型，运用软件 MaxDEA 6.4 对我国 54 个城市的创新效率进行分析，具体结果如表 2。基于分析结果，本文将从城市创新效率的整体特征、两阶段的城市创新效率、子阶段效率对总效率的影响和非期望产出改进空间（或节能减排空间）的城市间差异 4 个方面展开分析。

表 2 城市创新效率：整体效率、子阶段效率

地区	整体效率	子过程效率		地区	整体效率	子过程效率		地区	整体效率	子过程效率	
		技术开发	技术商业化			技术开发	技术商业化			技术开发	技术商业化
北京	1.000	1.000	1.000	广州	1.000	1.000	1.000	无锡	0.153	0.195	0.788
上海	1.000	1.000	1.000	南宁	0.200	0.689	0.290	佛山	0.168	0.202	0.829
天津	1.000	1.000	1.000	海口	1.000	1.000	1.000	唐山	0.112	0.456	0.245
重庆	0.291	0.423	0.689	成都	1.000	1.000	1.000	烟台	0.190	0.225	0.843
石家庄	0.085	0.633	0.135	贵阳	0.026	0.734	0.036	东莞	0.321	0.468	0.686
太原	0.126	0.187	0.671	昆明	0.086	0.640	0.134	泉州	0.333	0.480	0.694
呼和浩特	1.000	1.000	1.000	西安	0.157	0.901	0.174	南通	0.129	0.232	0.554
沈阳	0.071	0.337	0.210	兰州	0.029	0.797	0.036	徐州	0.212	0.331	0.641
长春	0.111	0.650	0.170	西宁	1.000	1.000	1.000	潍坊	0.138	0.259	0.532
哈尔滨	0.012	0.844	0.014	银川	1.000	1.000	1.000	常州	0.103	0.144	0.717
南京	0.140	0.223	0.628	乌鲁木齐	1.000	1.000	1.000	大庆	0.045	0.632	0.072
杭州	0.148	0.287	0.515	福州	0.226	0.399	0.567	温州	1.000	1.000	1.000
合肥	0.038	0.172	0.223	大连	0.176	0.379	0.464	绍兴	0.199	0.604	0.329
南昌	0.193	0.357	0.542	青岛	0.164	0.640	0.256	鄂尔多斯	1.000	1.000	1.000
济南	0.071	0.427	0.165	宁波	0.154	0.212	0.727	台州	0.179	0.337	0.531
郑州	0.352	0.352	1.000	厦门	0.193	0.963	0.200	嘉兴	0.207	0.317	0.651
武汉	0.193	0.363	0.532	深圳	1.000	1.000	1.000	淄博	0.143	0.283	0.504
长沙	0.224	0.329	0.681	苏州	0.341	0.504	0.676	包头	0.011	0.876	0.013
				均值					0.360	0.583	0.581
				标准差					0.372	0.308	0.335

化效率不足 0.3, 表明这些城市的科技创新活动未能有效的为当地经济做出相应的贡献或者这些城市的技术商业化活动带来的环境成本过高。

比较总效率、子阶段效率, 发现只有当两子阶段均有效时, 创新总效率才有效, 创新总效率是两子阶段效率的乘积, 这符合非径向网络 DEA 的规律; 另一方面, 除 DEA 有效的 10 个城市, 其他城市的两阶段效率存在明显差异, 如郑州的技术开发效率只有 0.352, 但其技术商业化效率却是 DEA 有效的; 厦门的技术开发效率达 0.963, 而其技术商业化效率仅为 0.200。两阶段效率间的差异将在后面部分详细分析。

3.2 基于两阶段的城市创新效率分析

针对不同城市在创新不同阶段的表现, 以各阶段的效率均值为界线, 可将 54 个城市划分为四类, 如图 1 所示。其中, 技术开发效率属于 (0.583, 1] 的城市为高有效, 效率值属于 (0, 0.583] 的城市为低有效; 技术商业化效率属于 (0.581, 1] 的城市为高有效, 效率值属于 (0, 0.581] 的城市为低有效。

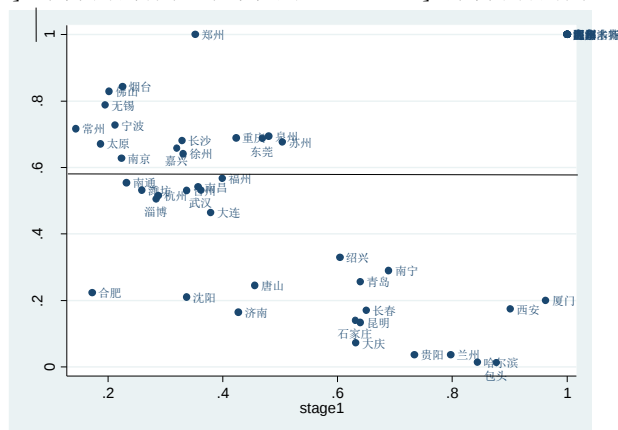


图1 城市创新两阶段效率矩阵图

注: 右上角为两阶段均 DEA 有效城市的集合: 北京、上海、天津、呼和浩特、广州、海口、成都、西宁、银川、乌鲁木齐、深圳、温州、鄂尔多斯等 13 个城市。图中的两条直线代表阶段 1 (stage1) 和阶段 2 (stage2) 效率的平均值 0.583 和 0.581。

位于第一象限的城市有北京、上海、天津、呼和浩特、广州、海口、成都、西宁、银川、乌鲁木齐、深圳、温州、鄂尔多斯等 13 个城市。这些城市在技术开发阶段和技术商业化阶段都达到了 DEA 有效, 说明这些城市的创新机制尤其是创新资源配置机制运行良好, 属于高效集约型创新城市。这些城市不仅包括长三角、珠三角城市, 他们凭借日益成熟的科技市场化运用能力、高度发达的市场经济, 及其产业和地理优势, 实现了高效创新。一些经济欠发达城市也实现了 DEA 有效的创新, 原因在于虽然这些城市资金和人才相对匮乏, 技术创新的投入规模小, 但是创新产出增长势头强劲, 这些城市的创新对资金和人才的利用较充分, 即这些匮乏的资源对创新的贡献大, 所以创新效率较高^[40]。需要注意的是, 虽然这些城市的创新实现了 DEA 有效, 但从总量上来看距实现创新型城市的目标还很远^①。

①仅从创新投入——R&D 经费占 GDP 比重来看, 达到国际公认标准 2.5% 的仅有北京 (6.48%)、上海 (3.44%)、天津 (2.92%)、深圳 (3.77%) 4 个城市, 其他城市仍有较大距离, 特别是西宁、呼和浩特、乌鲁木齐尚不足 1%。

位于第二象限的城市有郑州、烟台、佛山、无锡、宁波、常州、太原、南京、嘉兴、徐州、长沙、东莞、重庆、泉州和苏州等 15 个城市。这类城市在技术商业化阶段的效率较高, 特别是郑州 (达到了 DEA 有效), 但其技术开发效率较低。出现此现象的原因在于这类城市的经济运行机制较为完善, 或城市的资源对科技成果具有较强的吸引力。

位于第三象限的城市有南通、潍坊、杭州、淄博、武汉、大连、南昌、福州、合肥、沈阳、济南和唐山等 13 个城市。这类城市的技术开发和技术商业化效率均没有达到全国平均水平, 表现为在技术开发阶段资源投入规模大但不注重效率, 同时在技术商业化阶段不以市场为导向盲目投资, 忽略了科技成果的市场价值实现, 属于粗放型创新城市。

位于第四象限的城市有绍兴、青岛、南宁、长春、昆明、石家庄、大庆、贵阳、兰州、哈尔滨、包头、西安和厦门等 13 个城市。这类城市在技术开发阶段的效率较高, 特别是西安和厦门 (效率值在 0.9 以上), 但技术商业化阶段的效率普遍偏低 (效率值都不足 0.4), 尤其是包头、哈尔滨、贵阳、大庆等城市 (效率值低于 0.2)。说明这些城市在技术创新中出现了技术和经济脱节的“两张皮”现象, 导致技术创新未能充分发挥对经济发展所应有的促进作用。

3.3 子阶段效率对总效率的贡献分析

根据 DEA 的效率评价原理, 总效率与两子阶段效率相互影响和制约。所以, 为了判别相互关系及两子阶段对总效率的影响情况, 本文通过建立基于各城市创新的总效率与技术开发效率和技术商业化效率的二维有序坐标散点图, 通过图内散点的位置判断两阶段效率与总效率之间的关系。判断标准为: 散点图中的散点越接近于 45 度对角线, 子阶段效率对总效率的影响和制约强度越强; 反之, 越远离 45 度对角线, 对总效率的影响和制约强度越弱^[41]。图 2 中, 横坐标为城市创新的总效率, 纵坐标分别为对应城市的技术开发效率和技术商业化效率。

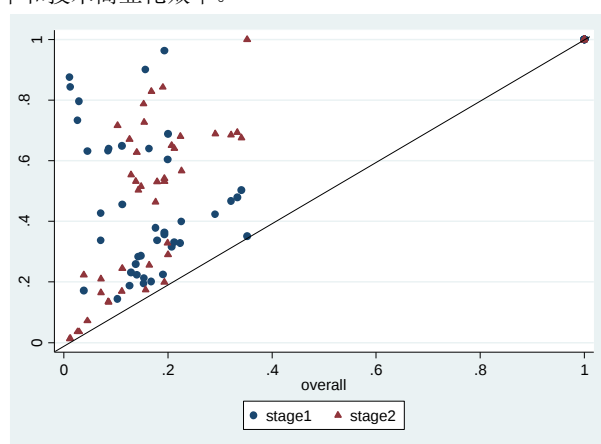


图2 阶段效率对创新总效率的贡献分析

注: 图中 stage1 指技术开发阶段。Stage2 指技术商业化阶段。

从图 2 可知, 两阶段的散点都不同程度的偏离 45 度对角线, 这说明该时期城市创新活动的两阶段效率均不能很好的对创新总效率进行解释。但比较而言, 第二阶段的散点整体上更接近于 45 度对角线。这表明, 2012 年我国主要城市的创新总效率受技术商业化效率的制约和影响较强。也就是

说, 创新总效率一定程度上更加取决于技术商业化的效率。为了验证这种经验判断所得研究结论的稳健性和可靠性, 本文还利用 stata11 的偏相关分析功能, 对总效率与两阶段效率之间的相关强度进行测量^[41], 结果表明: 该时期城市创新总效率与两阶段效率之间均具有显著的正相关关系。比较发现, 总效率与技术商业化阶段的效率的相关程度 (0.9590) 略高于其与技术开发阶段效率的相关程度 (0.9454), 表明技术商业化阶段对城市创新绩效的影响较为强^[8]。

除此之外, 本文还进一步分析了两阶段效率间的相关关系, 发现, 虽然两者在物理上是两个相继的阶段, 但是两阶段效率之间却呈不显著的正相关关系 (0.2125), 这表明我国大多数城市的技术开发活动和技术商业化活动之间的不匹配、不协调。这一问题由中间产出的可调整量 (即松弛量) (见附录 1) 即可发现 (相关指标有增也有减), 原因在于中间产出指标既是技术开发阶段的产出, 也是技术商业化阶段的投入, 其双重身份赋予了其调整量的特殊含义。导致以上问题的原因可能是, 各城市的技术开发是以高等学校、科研机构等公共研究机构为中心的, 而技术商业化是以企业为中心的, 两者间缺乏沟通和协调^[8]。

3.4 非期望产出改进空间的城市间差异

为了比较非期望产出改进空间在不同城市间的差异, 本部分借助要素效率指数 (FEI)^{①[29]} 比较分析 41 个非 DEA 有

效城市的节能潜力和减排空间。要素效率指数 (FEI) 的绝对值结果见表 3。

从节能潜力 (相对于最优的资源使用量需节约的百分比, 即资源消耗效率指数的绝对值) 的城市间差异来看, 节能潜力最大的 8 个城市为太原、唐山、淄博、台州、石家庄、大庆、哈尔滨、贵阳等工业城市, 节能潜力均在 50% 以上, 说明这几个城市的资源综合利用效率亟需提高。节能压力相对较小的城市有佛山、南昌、宁波、徐州、无锡、福州、杭州、长沙、南通等, 需要节能不到 10%, 而相对无节能压力的城市有长春、郑州、厦门和泉州。

从减排空间 (相对于最优的污染物排放量需减排的百分比, 即污染物排放效率指数的绝对值) 的城市间差异来看, 苏州、淄博、潍坊、石家庄、嘉兴等城市在单位 GDP 工业废水、工业二氧化硫和工业烟 (粉) 尘排放量 3 指标的减排上都有很大的空间, 特别是苏州。分指标来看, 将近一半的城市在单位 GDP 工业烟 (粉) 尘排放量上达到最优, 且除苏州、太原、淄博、唐山、石家庄、南宁等个别城市的减排空间在 50% 以外, 其他城市在该指标上的减排空间都较小; 而一半以上的城市在单位 GDP 工业废水排放量上的减排空间在 50% 以上, 将近 1/3 的城市减排空间在 70% 以上; 城市在单位 GDP 工业二氧化硫排放量指标上的减排空间相对比较平稳, 1/3 以上的城市减排空间在 50% 以上。

表 3 41 个非有效城市非期望产出的要素效率指数 (FEI) 的绝对值

单位 GDP 能耗				单位 GDP 工业废水排放量				单位 GDP 工业二氧化硫排放量				单位 GDP 工业烟 (粉) 尘排放量			
太原	75.00	绍兴	21.52	绍兴	85.07	西安	53.28	苏州	91.03	福州	36.50	苏州	91.48	长沙	1.64
唐山	67.90	常州	19.44	嘉兴	84.77	武汉	46.64	淄博	85.16	南京	35.05	太原	72.35	南京	0.00
淄博	64.85	嘉兴	17.56	苏州	83.32	台州	46.18	潍坊	69.21	烟台	34.82	淄博	70.99	杭州	0.00
台州	62.42	合肥	15.32	石家庄	82.93	重庆	44.80	嘉兴	68.90	青岛	34.30	唐山	70.03	南昌	0.00
石家庄	58.21	东莞	12.76	潍坊	82.64	昆明	39.79	重庆	68.78	南宁	32.54	石家庄	62.72	郑州	0.00
大庆	55.82	兰州	10.65	东莞	79.30	兰州	37.42	太原	67.35	哈尔滨	29.75	南宁	53.63	武汉	0.00
哈尔滨	53.25	西安	10.26	南宁	77.18	烟台	34.03	徐州	66.74	兰州	28.01	重庆	48.86	贵阳	0.00
贵阳	50.59	佛山	8.99	杭州	76.01	青岛	31.16	石家庄	65.30	南通	27.32	嘉兴	47.75	昆明	0.00
沈阳	47.39	南昌	8.86	淄博	73.76	哈尔滨	20.50	贵阳	61.92	杭州	24.60	常州	44.34	西安	0.00
潍坊	46.60	宁波	6.94	泉州	71.42	合肥	19.32	西安	60.45	大连	19.79	潍坊	42.86	兰州	0.00
济南	45.48	徐州	6.62	大连	71.10	济南	16.12	宁波	57.84	沈阳	14.08	徐州	40.16	大连	0.00
大连	44.84	无锡	5.94	徐州	70.11	太原	14.08	唐山	55.66	佛山	11.79	泉州	40.04	青岛	0.00
昆明	42.86	福州	3.43	南通	69.93	包头	8.96	南昌	53.04	泉州	11.73	合肥	36.63	宁波	0.00
重庆	42.04	杭州	2.51	南昌	69.40	福州	8.61	武汉	52.51	长春	11.51	哈尔滨	36.55	厦门	0.00
南京	34.45	长沙	1.82	唐山	68.85	沈阳	2.47	绍兴	52.20	长沙	0.96	济南	26.94	佛山	0.00
武汉	28.87	南通	0.40	常州	67.89	长春	2.13	东莞	48.03	合肥	0.00	福州	25.61	烟台	0.00
青岛	27.50	长春	0.00	佛山	60.80	郑州	0.00	台州	47.36	郑州	0.00	南通	19.83	东莞	0.00
南宁	24.61	郑州	0.00	南京	58.71	长沙	0.00	包头	43.51	无锡	0.00	大庆	13.69	绍兴	0.00
烟台	23.66	厦门	0.00	宁波	58.70	贵阳	0.00	昆明	42.06	常州	0.00	长春	12.24	台州	0.00
苏州	23.21	泉州	0.00	厦门	56.37	大庆	0.00	济南	37.69	大庆	0.00	沈阳	8.58	包头	0.00
包头	22.80	均值	26.72	无锡	55.78	均值	47.06	厦门	37.23	均值	38.65	无锡	2.56	均值	21.21

①要素效率指数 (FEI) = (目标 (投影) 值/实际值-1) * 100%, 其衡量的是需要减少的非期望产出的百分比。若为 0 说明已达到目标最优值。

4 结论

在建设创新型、资源节约型、环境友好型城市的背景下,综合考虑非期望产出,并采用非导向非径向的网络 DEA 模型——SBM-NDEA 模型,全面、系统、准确的评价了我国 54 个城市的创新效率,并详细分析了总效率的整体特征、子过程效率间的特征及子过程效率对总效率的影响,并进一步着重分析了非期望产出的改进空间及其城市间差异。本文在理论上的贡献主要由两个方面:第一,在创新效率评价中引入创新过程,并将其划分为技术开发阶段和技术商业化阶段,使其更具现实意义;第二,在可持续发展的背景下,将创新效率评价研究中普遍忽略的非期望产出(如环境污染)作为重要的评价指标。从研究方法上看,本文结合非期望产出模型和非径向、非导向的 SBM-NDEA 模型评价中国 54 个城市的创新效率,不仅提高了效率评价的准确性和可信度,而且为不同城市提高创新效率、做好节能减排工作制定差异化政策提供了数据支持,为中国建设创新型、资源节约型和环境友好型城市的提供了指导意义。

实证结果表明:(1)我国城市创新无论是其整体,还是其上下游两阶段,效率值都偏低,均有很大的提升空间;(2)从技术创新的两阶段效率来看,除了北京、上海、天津、海口等 13 个城市属于高效集约型创新城市外,大部分城市表现为两阶段效率双差或一强一差;(3)技术商业化阶段对创新总效率的影响较大,而上下游两阶段之间并不匹配、不协调,表明这些城市在技术开发和技术商业化之间的沟通和协调上存在阻碍;(4)区域创新系统技术创新的整体效率是两阶段效率的乘积,所以在城市创新系统的运作过程中,做好两阶段间的合作、沟通、过渡、协调工作能够有效地提升系统的整体效率;(5)从非期望产出的改进空间(或节能减排空间)来看,城市间差异较大。基于以上发现,本文为我国城市创新效率的提升提出以下政策建议:

首先,一方面,各级政府应权衡、协调各种创新资源的投入,而不是盲目扩大科技投资;另一方面,在技术商业化阶段,政府应加大对能源浪费和环境污染严重企业的治理力度,扶持企业提高三废处理和综合利用能力;其次,为了做好技术开发和技术商业化之间的沟通、协调工作,一方面,不仅要建立高效的以企业为核心的政产学研的合作创新和协同创新体系,还要大力支持政府资助或民间出资的科技中介服务组织的发展,为技术扩散和成果转化提供重要力量和服务平台,努力实现技术和经济的协同发展;另一方面,各级政府在配置创新资源时,应考虑市场需求,加快实现创新从学科导向和计划导向市场导向的转变;然后,已实现 DEA 有效的经济发达城市应充分利用高水平的创新资源配置优势和市场运作能力,提高创新质量,创造引领世界的高技术;而已实现 DEA 有效的经济欠发达城市应充分利用和发挥其在创新效率上的优势,加大创新资源投入,以产生更多、高质量的成果和效应;再次,对于非 DEA 有效的城市而言,一方面,应该对投入和产出有相应的调整(见附录 1);另一方面,不仅做好两阶段的沟通、合作,还要针对自身情况有针对、有重点的制定政策以克服创新过程中的“短板效应”;最后,在降低非期望产出的过程中,政府的作用不可或缺,应加大节能减排的政策力度,加大政府科教支持。

虽然,本文在理论上具有突破,实践上有明确的指导意义,但是还存在以下不足:(1)创新资源的投入到科技成果的产出在时间上有滞后,同样由于技术的不成熟或相关市场尚未呈现,技术商业化的过程也需要较长时间,但是本文在指标设计和数据收集上未考虑时间延迟。(2)本文将创新过程视为投入-产出的简单链式活动,一方面,在技术商业化阶段的分析中忽略了其他指标的投入;另一方面,未考虑初始投入在两个子阶段间的共享结构。所以,未来的研究应充分考虑创新实践的特征,更全面、客观、真实的评价城市创新效率。

参考文献

- [1] 屠启宇,邓智团.创新驱动视角下的城市功能再设计与空间在组织[J].科学学研究,2011,29(9):1425-1434.
- [2] 白俊红,蒋伏心.,考虑环境因素的区域创新效率问题研究-基于三阶段 DEA 方法.财贸经济,2011,(10):104-112.
- [3] 池仁勇,虞晓芬,李正卫.我国东西部地区技术创新效率差异及其动因分析[J].中国软科学,2004,8:45-52.
- [4] 石峰.基于省际面板数据及 DEA 的区域创新效率研究[J].技术经济,2010,29(5):42-47.
- [5] 王奇珍,朱英明,杨连盛.基于 DEA 的区域技术创新效率研究——以东部十省市为例[J].南京理工大学学报(社会科学版),2014,27(2):19-26.
- [6] 魏权龄.评价相对有效性的数据包络分析模型——DEA 和网络 DEA [M]. 北京:中国人民大学出版社,2012.
- [7] 陈伟,冯志军,姜贺敏,康鑫.中国区域创新系统创新效率的评价研究——基于链式关联网络 DEA 模型的新视角[J].情报杂志,2010,(12):24-29.
- [8] Chen KH, Guan JC. Measuring the Efficiency of China's Regional Innovation Systems: Application of Network Data Envelopment Analysis (DEA) [J]. Regional Studies.2012, 46(3):355-377.
- [9] 张浩,吴君民,葛世伦.考虑非期望产出的电炉冶炼作业能源效率分析与评价[J].系统工程,2011,29(9):85-91.
- [10] Freeman C, Soete L. The Economics of Industrial Innovation. MIT Press, Boston, MA. 1997.
- [11] Freeman C. Technology Policy and Economics Performance: Lesson From Japan [M], London: Frances Pinter.1987.
- [12] 寇明婷,陈凯华,高霞,杨利锋.创新型城市技术创新投资效率的测度方法研究:基于创新过程的视角[J].科研管理,2014,35(6):56-67.
- [13] 李婧,白俊红,谭清美.中国区域创新效率的实证分析——基于省际面板数据及 DEA 方法[J].系统工程,2008,26(12):1-7.
- [14] 官建成,何颖.基于 DEA 方法的区域创新系统的评价[J].科学学研究,2005(2):265-272
- [15] 任胜钢,彭建华.基于 DEA 模型的中部区域创新绩效评价与比较研究[J].求索,2006(10):15-18.
- [16] 曾铨,郭兵.基于两阶段效率视角的城市创新能力测算——来自 20 个典型城市的实证研究[J].科技进步与对策,2014,31(17):32-39.
- [17] Fare L, Crosskopf S. Network DEA [J]. Socio - Economic Planning Sciences, 2000, (1): 35 - 49.
- [18] Lewis H, Sexton T. Network DEA: Efficiency Analysis of Organizations with Complex Internal Structure [J]. Computers and Operations Research, 2004(9): 1365-1410.
- [19] Kao C, Hwang ST. Efficiency Decomposition in Two - Stage Data

- Envelopment Analysis: An Application to Non- Life Insurance Companies in Taiwan [J]. European Journal of Operational Research, 2008(1) : 418 - 429.
- [20] Tone K, Tsutsui MF. Network DEA: A slacks-based measure approach [J]. European Journal of Operational Research, 197 (2009): 243-252.
- [21] 庞瑞芝,李鹏.中国工业创新:过程、效率与模式——基于 2001-2008 年大中型工业企业的数据[J].产业经济研究,2011,10 (2) :1-7.
- [22] 冯志军,陈伟.中国高技术产业研发创新效率研究——基于资源约束型两阶段 DEA 模型的新视角[J].系统工程理论与实践,2014,34 (5) :1202-1212.
- [23] 杜娟,霍佳震.基于数据包络分析的中国城市创新能力评价[J].中国管理科学, 2014,22 (6) :85-93.
- [24] 杨国梁,刘文斌.基于 DEA 方法的科研机构方向规模收益研究[J].管理工程学报, 2014, 28 (4) :48-59.
- [25] 成刚,钱振华.卫生体系效率评价的概念框架与测量方法——兼论应用数据包络分析的方法学问题[J].中国卫生政策研究,2012 (5) :52-60.
- [26] Ji JY, Yu FY, Jiang XK, Luan SS. Main Factors on Energy Efficiency in East China during 1995-2010: An Analysis Based on the SBM-Tobit Model[J]. China Economist, 2013, 8(2):70-78.
- [27] Chang YT, Park HS, Jeong JB, Lee JW. Evaluating Economic and Environmental Efficiency of Global Airlines: A SBM-DEA Approach [J].Transportation Research: Part D, 2014, 27: 46-50.
- [28] Chiu YH, Lin JC, Hsu CC, Lee JW. Carbon Emission Allowances of Efficiency Analysis: Application of Super SBM ZSG-DEA Model [J]. Polish Journal of Environmental Studies. 2013, 22 (3):653-666.
- [29] 白雪洁,汪海凤,闫文凯.资源衰退、科技支持与城市转型——基于坏产出动态 SBM 模型的资源型城市转型效率研究[J]. 中国工业经济,2014,11:30-43.
- [30] 涂正革,刘磊珂.考虑能源、环境因素的中国工业效率评价——基于 SBM 模型的省级数据分析[J].经济评论,2011, (2) :55-65.
- [31] 冯博,王雪青.中国建筑业能源经济效率与能源环境效率研究——基于 SBM 模型和面板 Tobit 模型的两阶段分析[J].北京理工大学学报(社会科学版),2015,17 (1) :1-22.
- [32] 尹伟华.基于网络 SBM 模型的区域高技术产业技术创新效率评价研究[J].情报杂志, 2012,31 (5) :94-98.
- [33] Pakes A, Griliches Z. Patents and R&D at the firm level: a first report [J]. Economics Letters, 1980, (5):377-381.
- [34] Furman JL, Porter ME, Stern S. The determinants of national innovative capacity [J]. Research Policy, 2002, 31: 899-933.
- [35] Moon HS, Lee JD. A Fuzzy set Theory Approach to National Composite S&T Indices [J]. Scientometrics, 2005, 64: 67-83.
- [36] Griliches Z. Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey [J].Journal of Economic Literature, 1990, 28 (4):1661-1707.
- [37] 冯根福,刘军虎,徐志霖.中国工业部门研发效率及其影响因素实证分析[J].中国工业经济,2006.24 (11) :46-51.
- [38] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units [J].European Journal of Operational Research, 1978(2):429-444.
- [39] Cooper WW, Seiford LM, Tone K. Data Envelopment Analysis: Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software (2nd ed.). New York: Springer Science & Business Media. 2007.
- [40] 刘顺忠, 官建成.区域创新系统创新绩效评价[J].中国管理科学, 2002, 10(1):75 -78.
- [41] 马晓龙,保继刚.基于数据包络分析的中国主要城市旅游效率评价[J].资源科学,2010,32 (1) :88-97.

附表 1 41 个非有效决策单元的投入——产出的可调整量

城市	初始投入指标				中间产出				经济、环境产出						
	市全社会 R&D 经费: 亿元	地方财政科技支出: 亿元	R&D 折合全时人员: 万人/年	规模以上工业企业 R&D 人员: 人	申请授权专利: 件	申请授权发明专利: 件	技术市场成交额: 亿元	规模以上工业企业研发项目数: 个	高技术产品出口额: 亿美元	规上新产品产值: 亿元	第三产业产值: 亿元	单位 GDP 能耗: 万吨标准煤/亿元	单位 GDP 工业废水排放量: 万吨/亿元	单位 GDP 工业二氧化硫排放量: 吨/亿元	单位 GDP 工业烟(粉)尘排放量: 吨/亿元
重庆	-108	-5	-3.43	-25465	-3008	1234	213	-1158	74	1568	0	-0.37	-1.20	-30.73	-7.11
石家庄	-22	0	-0.80	-12382	5265	1090	197	-477	154	2388	625	-0.66	-5.72	-26.11	-13.71
太原	-54	-7	-1.32	-12947	-1505	-648	59	-185	0	640	0	-1.92	-0.19	-29.66	-13.17
沈阳	-84	-17	-2.46	-34820	5939	1971	75	1060	268	3258	0	-0.43	-0.03	-2.06	-0.69
长春	-14	0	-3.03	-3766	4259	1120	-20	988	137	127	482	0	-0.03	-1.78	-1.12
哈尔滨	-10	-2	-0.44	0	3314	1671	134	1244	290	3931	548	-0.54	-0.29	-5.28	-4.20
南京	-175	-26	-6.83	-39895	-4128	-775	144	-2186	125	1802	0	-0.28	-1.97	-5.80	0
杭州	-154	-24	-6.38	-39299	-23296	-995	239	-1765	263	0	0	-0.01	-4.16	-2.72	0
合肥	-90	-15	-3.92	-26093	-4113	356	104	-985	67	2636	142	-0.09	-0.28	0.00	-3.62
南昌	-36	-1	-0.79	-9674	-239	-828	63	-272	17	1025	0	-0.05	-2.53	-7.68	0
济南	-51	-4	-3.17	-17585	-4125	784	194	-156	199	3056	0	-0.40	-0.22	-8.10	-2.89
郑州	-51	-8	-2.42	-16112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
武汉	-146	-11	-2.89	-26927	1966	698	79	-205	193	144	0	-0.23	-1.21	-6.57	0

附表 1 (续) 41 个非有效决策单元的投入——产出的可调整量

城市	初始投入指标				中间产出				经济、环境产出						
	全社会 R&D 经费: 亿元	地方财政科技支出: 亿元	R&D 折合全时人员: 万人/年	规模以上工业企业 R&D 人员: 人	申请授权专利: 件	申请授权发明专利: 件	技术市场成交额: 亿元	规模以上工业企业研发项目数: 个	高技术产品出口额: 亿美元	规模以上新产品产值: 亿元	第三产业产值: 亿元	单位 GDP 能耗: 万吨标准煤/亿元	单位 GDP 工业废水排放量: 万吨/亿元	单位 GDP 工业二氧化硫排放量: 吨/亿元	单位 GDP 工业烟(粉)尘排放量: 吨/亿元
长沙	-211	-8	-3.83	-24400	2687	1124	135	479	28	155	326	-0.01	0	-0.03	-0.03
南宁	-9	-2	-0.32	0	2131	811	101	-313	44	1655	149	-0.17	-3.85	-3.98	-5.36
贵阳	0	-3	-0.28	0	425	594	58	400	54	1016	314	-0.68	455	0	-23.778
昆明	-24	0	-1.31	-1398	1773	648	122	394	81	2479	422	-0.43	-0.69	-15.82	5
西安	-8	0	0	-2301	-2615	-673	-102	-700	142	2046	0	-0.06	-1.25	-11.50	0
兰州	-2	0	-0.95897	0	1050	912	80	459	71	1694	598	-0.13	-1.15	-12.56	0
福州	-43	-1	-3.32	-19902	94	495	144	-324	56	2256	0	-0.02	-0.11	-6.60	-2.28
大连	-66	-33	-0.84	-8736	3074	1257	102	-419	113	2849	0	-0.40	-3.13	-3.24	0
青岛	-103	-2	-1.83	-13704	7606	4168	134	-187	491	1597	0	-0.19	-0.48	-3.41	0
宁波	-90	-17	-3.59	-58601	-49425	551	212	-8469	67	81	0	-0.04	-1.79	-12.68	0
厦门	0	0	-0.47	-368	13779	4371	13	2771	515	1549	1976	0	-5.39	-2.45	0
苏州	-190	-10	-5.96	-72832	-62939	5038	-39	-2701	0	1370	27	-0.15	-4.91	7	-13.899
无锡	-164	-18	-5.83	-62905	-39231	633	221	-4668	0	1839	0	-0.03	-1.69	0	-4.14
佛山	-111	-13	-4.56	-39867	6294	1033	122	-4268	0	1201	0	-0.05	-1.88	-1.51	-0.16
唐山	-26	-3	-0.87	-9225	4617	1640	134	525	99	2676	281	-1.21	-2.28	-29.73	0
烟台	-116	-5	-2.36	-28859	28	1010	137	-3217	0	752	0	-0.16	-0.60	-5.71	-48.97
东莞	-25	-10	-3.24	-24684	-7979	2198	85	-90	0	1554	0	-0.08	-4.26	-5.32	0
泉州	-21	0	-1.27	-18609	-5968	681	94	-666	0	1106	0	0	-3.10	-2.50	-4.43
南通	-92	-3	-3.80	-45500	-30515	958	118	-3205	64	1728	0	0	-2.79	-4.18	-1.58
徐州	-42	-4	-1.80	-17964	-3770	1344	134	-711	0	2039	277	-0.04	-2.80	-23.71	-4.59
潍坊	-66	-2	-2.32	-28947	-3341	759	97	-1816	39	786	0	-0.45	-5.81	-21.89	-3.93
常州	-86	-14	-4.00	-47360	-10564	199	99	-3642	12	1150	0	-0.13	-2.50	0	-4.00
大庆	-43	0	-0.97	-7737	2291	588	-7	-478	83	33	762	-0.65	0	0	-1.08
绍兴	-31	0	-1.30	-17802	-5648	1264	89	-867	125	0	232	-0.14	-7.08	-8.47	0
台州	-25	-1	-1.99	-22738	-8606	306	95	-3295	35	955	35	-0.88	-0.98	-7.19	0
嘉兴	-47	-1	-2.04	-25975	-8403	539	96	-2471	24	0	188	-0.11	-6.82	-18.25	-4.16
淄博	-54	-2	-1.94	-11909	-899	457	82	-1447	30	729	0	-0.97	-3.45	-52.50	-11.77
包头	-2	0	-0.26	0	4750	1515	117	885	101	2123	168	-0.34	-0.19	-26.77	0

A Comparison of Innovation Efficiencies of 54 Cities in China: A SBM-NDEA Model Based Approach Including Undesirable Output

CHANG Xiao-ran, Zhou Quan, Wu Xiao-bo

(School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Driven by economic globalization and new technology revolution, innovative city management has become an important mode for sustainable development, as well as the key measure for realizing China's innovation-driven national strategy. However, constrained by limited innovation resources and environment pressure, the challenge lies on how to generate more innovation output by utilizing less innovation resources, and how to build an innovative city which is also resource saving and environmental friendly. Following deficiencies exist in current research on city innovation efficiency: (1) early research consider innovation process as a 'black box', which neglects internal process and stage characteristics within the system; (2) current research open up the 'black box', but the model selection are flawed, and the indicator selection neglects the influence of the undesirable outputs (bad outputs) (e.g. environmental pollution) generated during innovation process. Above mentioned deficiencies negatively influence the effectiveness and accuracy of innovation efficiency evaluation.

Based on literature review, this research separates innovation process into technology development stage and technology commercialization stage, and

constructs the input-output indicator system of the two stages. In the technology commercialization stage, undesirable outputs indicators in innovation outputs are included: energy consumption per unit GDP, industrial waste water per unit GDP, industrial SO₂ emission per unit GDP, and industrial smoke (dust) emission per unit GDP. The data sources are 'China City Statistics 2013', 'China Science and Technology Statistics 2013', provincial and city statistics 2013, from which innovation related data of 54 Chinese cities are collected. The non-directional SBM-NDEA model (a non-radial model) is used to evaluate and analysis the two-stage efficiencies and overall efficiencies of city innovativeness of 54 cities in China in the year 2012. The software MaxDEA 6.4 is used for the analysis.

The result is analyzed from four aspects: overall analysis of city innovation efficiencies, two-stage analysis of city innovation efficiencies, the contribution of sub-stage to the overall performance, and the diversity analysis based on undesirable outputs improvement potential. Overall speaking, only 13 cities(including Beijing, Shanghai, Tianjin, Huhehaote, Guangzhou) innovation efficiencies have reached DEA effective. More than half of the cities (28,51.85%) are above average; in the two-stage efficiency analysis, the efficiency of stage one and stage two are used as axis-x and axis-y in the scatter diagram. 54 cities are categorized into four types: high in efficiency and low in resources intensiveness (13 DEA effective cities), extensive innovation city (efficiencies below average in both stages, 13 cities including Nantong, Weifang, Wuhan), technology development innovation cities (15 cities including Zhengzhou, Yantai, Foshan, Wuxi, Ningbo), and technology commercialization innovation cities (13 cities including Shaoxing, Qingdao, Nanning, Changchun, Kunming); For the contribution of sub-stage to the overall efficiency, we find technology commercialization stage is more influential to innovation efficiency, whilst two-stages are not matched and coordinated; this research exams the undesirable outputs improvement potential through energy-saving potential and pollution reducing potential. The result indicates that eight industrial cities, including Taiyuan, Tangshan, Zibo, Taizhou, Shijiazhuang have the biggest energy-saving potential; Suzhou, Zibo, Weifang, Shijiazhuang, and Jiaying have the biggest pollution reducing potential.

The theoretical contribution of this research lie on:(1) introduce innovation process to innovation efficiency evaluation, and separate it into technology development stage and technology commercialization stage, which makes it more realistic; (2) under the background of sustainable development, this research uses undesirable outputs (i.e. environmental pollution), which is commonly neglected in innovation efficiency research, as important evaluation indicators. The research method combines non-directional SBM-NDEA model (a non-radial model) with the undesirable outputs model to evaluate the innovation efficiency of 54 Chinese cities. This method not only improves the accuracy and reliability of efficiency evaluation, but also provides data support for improving city innovation efficiency and targeted policy making for energy-saving and pollution reducing. This will provide directional guidance for build a innovative, energy-saving and environmental friend city. The limitations are: (1) Time lag is not considered during indicator design and data collection;(2) The input-output innovation process is considered as a simple linear structure, which neglects the resource sharing in two sub-stages between firm inputs in the technology commercialization stage and initial inputs.

Key words: network data envelopment analysis (NDEA); technology development; technology commercialization; innovation efficiencies

中文编辑：杜 健；英文编辑：Charlie C. Chen