

科学 - 技术 - 经济的联结与创新绩效的国际比较研究^①

官建成¹, 何颖²

(1 复旦大学管理学院, 上海 200433; 2 北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 提出了创新过程三阶段概念模型, 用于描述国家层次的科学、技术与经济之间的联结关系. 运用数据包络分析 (DEA) 及其改进方法对 21 个国家的创新活动效率进行评价, 目的是比较中国和 20 个 OECD 主要国家在创新各阶段的效率差距. 通过效率值比较发现, 在研发效率上中国正在赶超 OECD 国家; 但近年来中国在研发阶段的投入产出已经达到平衡. 研究发现, 中国的技术向经济转化的效率远远低于 OECD 国家的平均效率; 影响中国技术向经济转化效率的关键因素是本国人在世界知识产权局申请的专利数与高技术产业增加值, 而我国最具有提高潜力的创新产出指标为高技术产业增加值占 GDP 的比例. 与国际上主要创新型国家相比较, 当前我国创新活动中存在的主要问题是创新效率相对较低. 因此, 目前对中国而言, 建设创新型国家的关键是要提高我国创新系统资源配置的效率.

关键词: 创新绩效; 国际比较; 数据包络分析

中图分类号: F062.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2009)05-0061-17

0 引言

创新是知识经济时代社会发展和进步的重要推动力^[1]. 科学研究与技术开发是创新活动的关键内容, 目的是推动经济增长和社会进步. 人们对创新活动与经济之间联系的研究, 也经历了不同的阶段. 在很长一段时间内, 创新与经济之间被认为存在着这样一个连续的线性过程: 基础科学研究 - 应用科学和技术开发 - 经济的增长 - 国家的繁荣昌盛^[2]. 而后, 这个观点逐渐被网络模型所取代, 认为科学和技术相互联系并一起进步, 且随同环境因素共同影响着国家的发展^[3~5]. 再后来学者们提出了国家/区域创新系统的概念^[6,7], 并进一步提出了创新的三螺旋模型^[8,9], 从而更加明确了各个创新要素之间的联系以及它们对国家经济发展和竞争力提升的作用.

对国家创新能力的评价和创新效率的测度一直是研究者热衷的问题. 正如 Niwa 和

Tomizawa^[10]所说, 科学技术活动存在着复杂性与多样性, 从整体上用指标定量的评价科技活动就成为一项非常困难的工作. 于是, 很多研究都致力于将复杂的评价指标简化为一个综合指标. 如 Porter 等人^[11]、Roessner 等人^[12] 以及 Pfetsch^[13] 通过主观的配置权重将所有指标集成为一个指标. 著名的世界经济论坛 (WEF) 出版的《全球竞争力报告》和瑞士洛桑国际管理与发展学院 (IMD) 的《世界竞争力年鉴》发布的国际竞争力中重要的一项就是各国的科技竞争力排名, 该排名从整体上反映了世界主要国家的科技创新能力并被很多研究所引用^[14].

国内有关创新绩效评价的典型研究有: 文献 [15] 在分析区域技术创新能力的内涵及系统结构的基础上, 建立了区域技术创新能力形成的条件及形成机理模型, 并寻找具体的指标反映其相应的系统结构要素, 通过模糊数学方法进行了实

① 收稿日期: 2007-10-09; 修订日期: 2009-06-30.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70573009, 70641024); 上海市重点学科建设资助项目 (B210).

作者简介: 官建成 (1955-), 男, 江西余江人, 硕士, 教授, 博士生导师. Email: guanjianch@fudan.edu.cn

证分析;文献[16]在实证调查研究的基础上,分析了我国高新技术企业规模与企业创新能力之间的关系.文献[17]从国家创新系统的角度出发,讨论了在国家创新系统内优化配置科技资源的问题.文献[18]在 OECD 的国家创新系统结构模型的基础上,分析了影响国家创新能力的关键因素,根据这些因素选定了评价国家创新能力绩效的评价指标和单阶段 DEA 评价模型,并对包括我国在内的一些国家的创新活动的相对有效性进行评价和国际比较.无疑,上述研究对于深化创新测度研究、指导我国创新管理实践起到了推动作用.但是,在这些研究中,并没有从创新过程的角度定量测度科学技术与创新的经济绩效的联系.

本研究使用数据包络分析 (data envelopment analysis DEA) 技术来解决科技活动的多指标的评价困难. DEA 方法特别适用于多个输入和多个产出的系统效率的评价,如对多产品的生产系统的评价^[19]以及资源分配效率的评价^[20]和对企业知识管理绩效的评价^[21]; DEA 方法还可用于评价团队的研究效率,进而对知识生产力进行评估^[22]; Rousseau 等人通过使用数据包络分析模型对 18 个国家的科学投入产出的效率进行了研究^[23,24].在已有研究的基础上,本文将对国家创新绩效进行更为具体深入的分析与评价.

为了能够具体的比较国家在创新过程中各个环节的相对效率,将创新过程分为两个子过程,即研发投入产出过程和科技向经济转化过程,并分别对每个创新子过程进行分析.本文比较了中国和 20 个 OECD 国家的相对创新效率,包括:澳大利亚、比利时、加拿大、中国、丹麦、芬兰、法国、德国、意大利、日本、荷兰、波兰、葡萄牙、爱尔兰、韩国、西班牙、瑞典、瑞士、英国、美国.其中,大部分国家为创新型国家,通过对这些国家的科学-技术-创新效率的比较,可找出我国在创新活动的各个环节上与创新型国家的差距,并提出针对性的政策建议.

1 概念模型及指标解释

创新系统要素和要素之间存在着复杂的联系,例如专利指标既可以被看作是研发活动的产出指标,又可以作为科技向经济转化的投入指标,

因此,根据创新活动的特点从经济角度将创新系统分成两个阶段^[25].第一阶段的科学技术生产系统中包括研发投入的经费和人力资源,以及研发产出的科学论文、引文、专利以及非专利隐形技术成果,这些研发活动的产出要素在第二阶段又对经济增长有直接的贡献,如高技术产业的工业增加值和高技术产品出口额.从第一阶段的 R&D 投入到第二阶段的经济产出构成了创新活动的综合系统,将其定义为第三阶段,也就是综合阶段.图 1 详细的描述了评价国家创新系统的概念模型,并在表 1 中给出所有指标的具体含义.

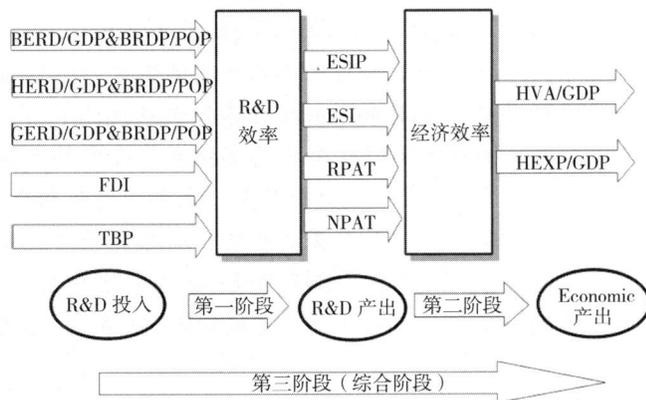


图 1 国家创新绩效评价的概念模型

Fig. 1 A proposed conceptual model for evaluating innovation performance of countries

在图 1 中,第一阶段针对国家的研发效率进行评价,并且,为了进一步分析企业、高校和政府这三类机构的科研活动在国家的创新系统中所起的作用,在对国家创新绩效评价和分析时,将企业、政府与高校的研发经费及研发人员分开作为单独的投入指标.因此,第一阶段的投入指标包括:企业、高校和政府投入的研发经费占 GDP 的比例 ($BERD/GDP$, $HERD/GDP$, $GERD/GDP$) 和企业、高校和政府的研发人员占国家人口的比例 ($BRDP/POP$, $HRDP/POP$, $GRDP/POP$), 以及外商直接投资 (FDI) 和国家购买技术所投入的经费 (TBP), 其中,研发经费和人员的投入是公认的衡量创新活动的投入指标^[26,27], 本文将研发经费和研发人员分别根据国家的 GDP 和人口数进行标准化,这样可以消除国家规模对研发效率及创新效率的影响^[28,29]; 外商直接投资不仅为企业的发展提供了资金,而且为某些技术的国家转移提供了重要的渠道^[30-32], 因此也成为衡量国家创新活

动的一项投入指标; 另外, 国家通过技术引进可以弥补或增强自身的技术弱项, 因此, 购买技术的经费也被认为是一项创新投入. 第一阶段的产出指标包括被 SCI 和 SSC I 收录的文章数量 (*ESIP*) 及引文数量 (*ESIC*), 及本国人和非本国人在世界知识产权局申请的专利数 (*RPAT*, *NPAT*) (由于数

据的可获得性困难, 本文没有将非专利技术列为研发产出指标). 其中, 论文的数量及引用次数是测量国家科学绩效的重要产出指标, 而专利的数量则是衡量技术活动产出的重要工具^[33], 本文同时使用文章和专利两类指标来完整的表示国家的科技产出.

表 1 国家创新绩效评价模型的指标说明

Table 1 Indices descriptions of the conceptual model for evaluating innovation performance of countries

| 指标 | 解释 | |
|-------------------|-------------------------|------------|
| <i>BERD /GDP:</i> | 企业投入的研发经费占国家 GDP 的比例 | 企业的 R&D 投入 |
| <i>BRDP /POP:</i> | 企业的研发人员 (全时当量) 占全国人口的比例 | |
| <i>HERD /GDP:</i> | 高校投入的研发经费占国家 GDP 的比例 | 高校的 R&D 投入 |
| <i>HRDP /POP:</i> | 高校研发人员 (全时当量) 占全国人口的比例 | |
| <i>GERD /GDP:</i> | 政府投入的研发经费占国家 GDP 的比例 | 政府的 R&D 投入 |
| <i>GRDP /POP:</i> | 政府研发人员 (全时当量) 占全国人口的比例 | |
| <i>FDE:</i> | 外商直接投资 | |
| <i>TBP:</i> | 购买技术的费用 | |
| <i>ESIP:</i> | 被 SCI 及 SSC I 检索的文章数量 | |
| <i>ESIC:</i> | SCI 及 SSC I 文章的被引次数 | |
| <i>RPAT:</i> | 本国人在世界知识产权局申请的专利数 | |
| <i>NPAT:</i> | 非本国人在世界知识产权局申请的专利数 | |
| <i>HVA /GDP:</i> | 高技术产业增加值占 GDP 的比例 | |
| <i>HEXP /GDP:</i> | 高技术产品出口额占 GDP 的比例 | |

模型的第二阶段评价了科学技术转化为经济产出的效率, 投入指标为第一阶段的产出指标, 即 *ESIP*、*ESIC*、*RPAT* 和 *NPAT*; 产出指标则选择能够突出科技成分的经济指标^[25], 包括高技术产业增加值占 GDP 的比例 (*HVA /GDP*) 和高技术产品的出口额占 GDP 的比例 (*HEXP /GDP*), 用 GDP 对这两个指标进行标准化目的也是为了消除国家经济规模对评价效率的影响. 第三阶段为综合阶段, 投入指标是第一阶段的投入指标, 产出指标是第二阶段的产出指标, 在这个阶段, 可评价整个国家创新系统的总效率.

2 数据的收集和处理

本文基于上述的三阶段创新模型对 21 个国家的创新绩效进行评价. 由于所用的指标范围较宽, 因此, 数据的来源比较复杂. 其中, 指标 *BERD /GDP*, *BRDP /POP*, *HERD /GDP*, *HRDP /POP*, *GERD /GDP*, *GRDP /POP*, *TBP*, *RPAT*

NPAT 的数据来源于世界经济合作组织 (OECD) 出版的《主要科学技术指标》(*Main Science and Technology Indicators*) (1998—2005); *FDI* 数据直接取自联合国出版的《世界投资报告》(*World Investment Report*) (1993—2001); *ESIP*, *ESIC* 的数据则是直接从 Thomson 公司的 *ESI* (Essential Science Index) 网络数据库 (网址: <http://www.isiknowledge.com>) 中下载获得的, 该数据库提供 1996 年 1 月 1 日—2006 年 4 月 30 日的 SCI 和 SSC I 收录的论文及引文数据; *HVA* 和 *HEXP* 指标的数据通过计算得到, 所用数据分别来源于 OECD 出版的《主要科学技术指标》(*Main Science and Technology Indicators*) (1998—2005)、WTO 出版的《国际贸易统计》(*International Trade Statistics*) (1998—2004) 和 OECD 公布的 *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2003 2005* (网址: <http://sourceoecd.org>); 国家的 *GDP* 数据则来自于统计网站: www.econstats.com.

根据已有的研究^[34], 研发投入与产出之间存

在着 2 年的时间延迟. 在本文中, 为了统一计算, 将第一阶段及第二阶段的投入与产出之间的时间延迟都取为 2 年. 在 ESI 网络数据库中, 各个国家的论文数量及引文数量都是以 5 年的总量的形式提供的, 在此, 为了方便计算, 将其它指标的数据

也统一转化为 5 年之和的形式 (比例形式的指标则分别取分子指标和分母指标的 5 年数据之和再算出其比值). 以 5 年作为一个时期, 将分两个时期研究国家的创新效率, 并且将两个时期内各个阶段的投入产出数据的时间范围在表 2 列出.

表 2 各个阶段的时间范围
Table 2 Time scopes at various stages

| | | 第一阶段 | 第二阶段 | 第三阶段 |
|------|----|-----------|-----------|-----------|
| 第一时期 | 投入 | 1992—1996 | 1994—1998 | 1992—1996 |
| | 产出 | 1994—1998 | 1996—2000 | 1996—2000 |
| 第二时期 | 投入 | 1996—2000 | 1998—2002 | 1996—2000 |
| | 产出 | 1998—2002 | 2000—2004 | 2000—2004 |

表 3 比较了中国与 20 个 OECD 国家在两个时期内各个指标的平均值. 其中, “A”列为中国的相关数据 (第 2 列、第 5 列和第 8 列), 第 2 列和第 5 列中的数据表示中国在某个时期内平均每一年的某项指标值; “B”列则为 OECD 国家的相关数据 (第 3 列、第 6 列和第 9 列), 第 3 列和第 6 列数据表示平均每个 OECD 国家在某个时期内每一年某项指标的平均值. 由表 3 中的最后两列数据可知, 无论是中国还是 OECD 国家, 第二时期大部分

指标的数据都高于第一时期相应的数值, 说明中国以及 OECD 国家对科技的投入正在逐渐加强, 相应的, 其产出也在不断提高. 对于中国, 增加程度最大的指标是 NPAT, 第二时期平均每年的 NPAT 值是第一时期的 2.34 倍; 而 HRDP/POP 和 GRDP/POP 在第二时期的数据小于第一时期, 分别为第一时期的 0.97 和 0.95 倍, 说明相对于企业研发人员的增加, 中国高校和政府的研发人员正在慢慢减少. 对于 OECD 国家, 平均增加程度最

表 3 中国与 OECD 国家各个指标平均值的比较

Table 3 Comparison of average values of indices between China and OECD countries

| 指标 (单位) | 第一时期 | | | 第二时期 | | | 第二时期 / 第一时期 | |
|---------------------------|-----------|------------|------|-----------|------------|------|-------------|------|
| | A | B | A/B | A | B | A/B | A | B |
| BERD/GDP (%) | 0.31 | 1.13 | 0.27 | 0.40 | 1.22 | 0.33 | 1.30 | 1.08 |
| BRDP/POP (FTE/1000person) | 0.27 | 2.37 | 0.11 | 0.28 | 2.71 | 0.10 | 1.04 | 1.14 |
| HERD/GDP (%) | 0.55 | 0.39 | 1.41 | 0.75 | 0.40 | 1.88 | 1.36 | 1.02 |
| HRDP/POP (FTE/1000person) | 0.14 | 1.25 | 0.11 | 0.13 | 1.40 | 0.09 | 0.97 | 1.11 |
| GERD/GDP (%) | 0.30 | 0.25 | 1.19 | 0.31 | 0.23 | 1.31 | 1.02 | 0.92 |
| GRDP/POP (FTE/1000person) | 0.21 | 0.61 | 0.34 | 0.20 | 0.60 | 0.33 | 0.95 | 0.98 |
| FDI (million US \$, PPPs) | 29 697.40 | 8 245.23 | 3.60 | 42 182.60 | 27 427.50 | 1.54 | 1.42 | 3.33 |
| TBP (million US \$, PPPs) | 2 288.00 | 2 578.40 | 0.89 | 4 141.76 | 3 813.54 | 1.09 | 1.81 | 1.48 |
| ESIP | 15 481.60 | 36 445.57 | 0.42 | 29 141.20 | 36 915.80 | 0.79 | 1.88 | 1.01 |
| ESIC | 21 766.40 | 155 104.52 | 0.14 | 47 600.00 | 181 774.87 | 0.26 | 2.19 | 1.17 |
| RPAT | 11 959.00 | 31 792.35 | 0.38 | 25 201.60 | 40 190.41 | 0.63 | 2.11 | 1.26 |
| NPAT | 42 620.80 | 70 181.90 | 0.61 | 99 635.80 | 146 636.72 | 0.68 | 2.34 | 2.09 |
| HVA/GDP (%) | 0.43 | 23.36 | 0.02 | 0.44 | 23.31 | 0.02 | 1.03 | 1.00 |
| HEXP/GDP (%) | 5.42 | 59.89 | 0.09 | 9.79 | 56.48 | 0.17 | 1.81 | 0.94 |

数据来源:《主要科学技术指标》OECD, 1998—2005; <http://www.isknowledge.com>;《世界投资报告》, UN, 1993—2001; www.ecoirstats.com;《国际贸易统计》, WTO, 1998—2004; <http://sourceoecd.org>

大的指标是 *FDI*(外商直接投资), 第二时期该指标值是第一时期的 3.33 倍, 而 *GERD/GDP* 和 *GRDP/POP* 两个指标第二时期的平均值小于第一时期, 说明政府的研发投入水平在 OECD 国家的创新活动中在慢慢减弱. 将中国与 OECD 国家在各个指标的平均水平进行比较发现, 在两个时期内出现相似的规律, 即在第一阶段, 中国的政府和高校的 R&D 投资强度以及外商直接投资高于 OECD 国家的平均水平, 而中国在第一阶段的各项科技产出都低于 OECD 国家的平均水平, 其中论文的被引次数还不到 OECD 国家的 30%; 在第二阶段中, 中国的两个与技术相关的经济指标 *HVA/GDP* 和 *HEXP/GDP* 都大大低于 OECD 国家的平均值. 说明虽然中国政府和高校的科研投入较大, 但科研和创新的产出却很低, 特别是由科技活动成果引发的经济效益令人失望. 本文将通过进一步比较中国和 OECD 国家在科学、技术与创新方面的相对效率来分析中国与这些国家的差距, 并且为我国在创新型国家建设方面提供有用的建议.

3 分析技术及结果

3.1 比较国家在各阶段活动的相对效率 (CRS vs VRS)

DEA 技术是非参数前沿面分析方法, 它无需估计生产函数, 通过所观测的大量实际生产数据点、基于一定的生产有效性标准, 构建生产前沿面以及位于该前沿包络面上的相对有效点. 在运用 DEA 方法评价时, 评价对象是决策单元 (decision making unit *DMU*), 评价的结果是所有决策单元的相对有效性, 也就是以所有的 *DMU* 组成的集合中, 根据各个单元的输入和输出, 通过利用一定的模型得出决策单元的输入输出是否相对于其它单元是最优的, 如果是最优, 则该决策单元就是有效的, 否则, 决策单元无效.

首先, 使用面向输入的 CCR 模型^[35]来评价 21 个国家的 CRS (constant return to scale) 效率, 结果可得到每个国家在每个阶段的 CRS 效率值, CCR 模型是 DEA 方法中最普通的模型, 在该模型中, 最优前沿面上的国家皆为技术有效且规模效益不变. 为了能够比较同一个国家在两个时期内

效率值的变化, 将 21 个国家在两个时期内的投入产出数据放在同一个模型中运算. 公式 (1) 为 CCR 模型的数学表达, 对于某个选定的 *DMU₀* (下标设为 0), 判断其 CRS 有效性的 CCR 模型可表示为

$$(CCR) \begin{cases} m \ln \theta_0 - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m \bar{s}_i + \sum_{i=1}^m \bar{s}_i^+ \right) = v_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + \bar{s}_i = \sigma_0 x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - \bar{s}_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \theta_0, \lambda_j, \bar{s}_i, \bar{s}_r^+ \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $n (= 42)$ 是决策单元 (*DMU*) 的个数, m 和 s 分别表示输入变量和输出变量的个数. 第一阶段测量国家 R&D 活动的相对效率, $m = 8, s = 4$ 在第二阶段, 评价的是国家技术向经济转化的相对效率, $m = 4, s = 2$ 在第三阶段 (综合阶段) 中, 输入变量就是第一阶段的输入变量, 所以, $m = 8$ 而输出变量是第二阶段的输出变量, 所以, $s = 2$ 根据 Cooper 等人的研究^[36], 在应用数据包络分析技术时, 决策单元的数量需满足如下条件: $n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\}$, 其中, n 表示决策单元 (*DMU*) 的个数, m 和 s 分别表示输入变量和输出变量的个数. 在本研究中, 各阶段的决策单元数量和指标数量都满足该条件.

通过在 CCR 模型中加入约束条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 可以得到 BCC 模型. 在该模型中, 最优前沿面上的国家仅为技术有效, 并不考虑其规模报酬的变化. 对于某个选定的 *DMU₀*, 可由公式 (2) 来判断其 VRS 有效性.

$$(BCC) \begin{cases} m \ln \sigma_0 - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m \bar{s}_i + \sum_{i=1}^m \bar{s}_i^+ \right) = v_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + \bar{s}_i = \sigma_0 x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - \bar{s}_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \theta_0, \lambda_j, \bar{s}_i, \bar{s}_r^+ \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

对于决策单元 (在本文中为国家在某个时

期)的 CRS效率值,若 $\theta = 1$ 则 DMU_0 为 CRS有效,即 DMU_0 处在最优前沿面上并且 DMU_0 的规模报酬不变;若 $\theta < 1$ 称 DMU_0 为非 CRS有效,即在 n 个决策单元组成的系统中可通过组合将投入降至原投入 X_0 的 θ 比例而保持原产出 Y_0 不减.对于决策单元的 VRS效率值,若 $\sigma = 1$ 则 DMU_0 为

VRS有效,即 DMU_0 处在最优前沿面上而不论其规模报酬如何;若 $\sigma \neq 1$, 称 DMU_0 为非 VRS有效.

通过使用 Zhu^[37] 编写的 Excel 嵌入程序 DEA Excel Solver 得到每个国家各阶段的效率值,在表 4 中列出各阶段 CRS和 VRS效率值为 1 的国家以及平均效率值.

表 4 各国在各阶段的有效性

Table 4 Efficiencies of the concerned countries at various stages

| | 第一时期 | | | | | | 第二时期 | | | | | |
|------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | 第一阶段 | | 第二阶段 | | 综合阶段 | | 第一阶段 | | 第二阶段 | | 综合阶段 | |
| | CRS | VRS |
| 澳大利亚 | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| 比利时 | | ✓ | | | | ✓ | | | | | | |
| 加拿大 | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | |
| 中国 | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ |
| 丹麦 | | | | | | | | | | | | |
| 芬兰 | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | | | | |
| 法国 | | | | | | | | | | | | |
| 德国 | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | |
| 希腊 | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ |
| 意大利 | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ |
| 日本 | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | |
| 荷兰 | | | | | | | | | | | | |
| 波兰 | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | |
| 葡萄牙 | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | |
| 爱尔兰 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 韩国 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | ✓ |
| 西班牙 | | | | | | | ✓ | ✓ | | | | |
| 瑞典 | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| 瑞士 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| 英国 | | ✓ | | | | | | ✓ | | | | |
| 美国 | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ |
| 中国 | 0.682 | | 0.031 | | 0.112 | | 1.000 | | 0.024 | | 0.195 | |
| OECD 国家的均值 | 0.818 | | 0.460 | | 0.670 | | 0.868 | | 0.280 | | 0.593 | |

数据来源: DEA Excel Solver 计算结果. 说明: 标 ✓ 的表示该国家的效率值为 1

从表 4 可以看出,在第一时期内,第一阶段(以产出时间计算: 1994年—1998年)有 8 个国家为 CRS有效,包括: 加拿大、芬兰、德国、意大利、日本、瑞典、瑞士和美国,在第二阶段(1996年—2000年),爱尔兰、韩国和瑞士 3 个国家的 CRS

效率值为 1, 6 个国家在第三阶段(1996年—2000年)的 CRS效率值为 1, 包括芬兰、意大利、爱尔兰、韩国、瑞典和瑞士;在第二时期内,澳大利亚、中国、希腊、日本、葡萄牙、爱尔兰、西班牙、瑞典、瑞士和美国这 10 个国家在第一阶段(1998年

—2002年)为 CRS有效, 仅爱尔兰一个国家在第二阶段(2000年—2004年)有效, 澳大利亚、爱尔兰、瑞典和瑞士这 4 个国家在第三阶段内(2000年—2004年)为 CRS有效. 第一时期内在三个阶段都为 CRS有效的国家只有瑞士, 第二时期内在三个阶段都为 CRS有效的国家只有爱尔兰. 由于 VRS效率值仅反映了决策单元的技术有效性, 并不考虑其规模报酬情况, 因此, 决策单元的 VRS效率值一般高于 CRS效率值. 其中, 在第一时期内, 分别有 16 7, 12 个国家为在三个阶段内为 VRS有效, 在第二时期内, 有 13, 1, 9 个国家在各个阶段的 VRS效率值为 1. 并且, 根据 25 个国家的平均效率值, 除了第一阶段的 CRS效率值, 第二时期各个阶段内的平均效率都低于第一时期的平均效率, 说明在平均水平下, 国家的科研活动效率提高了, 而科技成果经济化的效率降低了. 从各阶段的 CRS和 VRS效率的平均值可以看出, 第二阶段的平均效率值低于第一阶段的平均效率值, 说明这些国家的平均研发效率高于技术向经济转化的平均效率.

进一步, 将中国在创新各个阶段活动的 CRS效率与 OECD 国家的平均效率进行比较发现(表 4), 根据中国在第一阶段的 CRS效率值可知, 中国的效率值在第一时期(1994年—1998年)低于 OECD 国家的平均效率, 而在第二时期(1998年—2002年)则高于 OECD 国家的平均效率, 说明在研发效率上中国正在赶超这些创新型国家. 在第二阶段, 无论是第一时期还是第二时期, 中国的效率都远远低于 OECD 国家的平均值, 说明虽然中国的研发投入产出效率较高, 而其技术向经济的转化效率很低. 在综合阶段, 虽然中国的效率值有所增长, OECD 国家的平均效率略有下降, 但中国的创新效率仍是低于 OECD 国家的平均效率, 其效率值仅达到 OECD 国家平均效率的 1/6 到 1/3

图 2(a)和图 2(b)给出了第一时期和第二时期内的各个阶段的 CRS效率值分布情况, 可见, 在两个时期内, 第一阶段的大部分国家都处于较高的 CRS效率值区域, 而第二阶段的大部分国家都处于较低的 CRS效率值区域. 按照 CRS效率

值, 将 25 个国家分为三类, $CRS = 1$ 的为有效国家, $0.5 \leq CRS < 1$ 的为高效率国家, $0 < CRS < 0.5$ 的为低效率国家(见表 5). 由表 5 可知, 在第一时期内, R&D效率为高效率的国家有 12 个, 仅有荷兰 1 个国家的 R&D活动为低效率, 根据第二阶段的技术向技术转化效率分, 4 个国家为高效率国家, 14 个国家为 CRS 低效率国家, 在创新活动的综合阶段, 21 个国家在各阶段的有效性分布比较均匀, 6 个国家为 CRS 有效, 7 个国家为高效率, 8 个国家为低效率. 在第二时期内, 仍然是荷兰的 R&D活动效率为最低, 其它的 20 个国家在第一阶段的效率值均高于 0.5 在第二阶段, 除了爱尔兰为 CRS 有效, 仅葡萄牙的技术向经济转化效率为高效率, 其它 19 个国家均为低效率, 对于综合阶段, 6 个国家为高效率国家, 10 个国家为低效率国家. 由此可知, 对于所研究的 21 个国家, 第一阶段和第二阶段创新活动有效性分布很不均匀, 第一阶段高效率的国家多, 而第二阶段低效率的国家多.

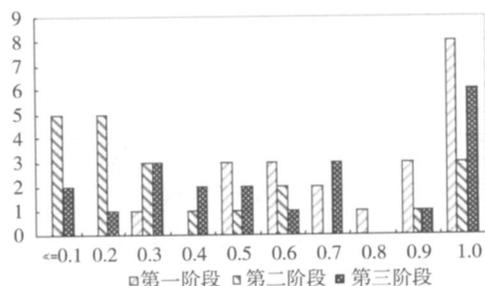


图 2 (a) 第一时期各个阶段的 CRS 效率值分布

Fig. 2 (a) CRS efficiency distributions at various stages during the first time span

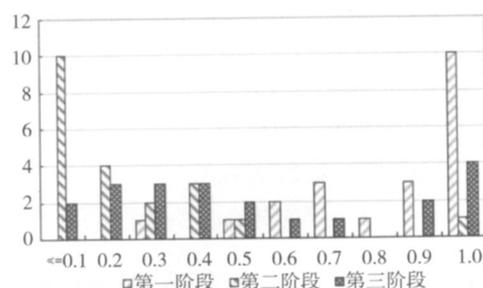


图 2 (b) 第二时期各个阶段的 CRS 效率值分布

Fig. 2 (b) CRS efficiency distributions at various stages during the second time span

表 5 各个国家在各阶段按效率值分布

Table 5 Efficiency distributions of the concerned countries at various stages

| | 第一时期 | | | 第二时期 | | |
|------------------------|---|--|---------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|
| | 第一阶段 | 第二阶段 | 综合阶段 | 第一阶段 | 第二阶段 | 综合阶段 |
| 有效 (CRS = 1) | 加拿大、芬兰、德国、意大利、日本、瑞典、瑞士、美国 | 爱尔兰、韩国、瑞士 | 芬兰、意大利、爱尔兰、韩国、瑞典、瑞士 | 澳大利亚、中国、希腊、日本、葡萄牙、爱尔兰、西班牙、瑞典、瑞士、美国 | 爱尔兰 | 澳大利亚、爱尔兰、瑞典、瑞士 |
| 高效率 (0.5 ≤ CRS < 1) | 澳大利亚、比利时、中国、丹麦、法国、希腊、波兰、葡萄牙、爱尔兰、韩国、西班牙、英国 | 澳大利亚、芬兰、意大利、葡萄牙 | 澳大利亚、加拿大、法国、希腊、日本、波兰、葡萄牙 | 比利时、加拿大、丹麦、芬兰、法国、德国、意大利、波兰、韩国、英国 | 葡萄牙 | 芬兰、法国、意大利、波兰、葡萄牙、韩国 |
| 低效率 (0 < CRS < 0.5) | 荷兰 | 比利时、加拿大、中国、丹麦、法国、德国、希腊、日本、荷兰、波兰、西班牙、瑞典、英国、美国 | 比利时、中国、丹麦、德国、荷兰、西班牙、英国、美国 | 荷兰 | 澳大利亚、比利时、加拿大、中国、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、意大利、日本、荷兰、波兰、韩国、西班牙、瑞典、瑞士、英国、美国 | 比利时、加拿大、中国、丹麦、德国、希腊、日本、荷兰、西班牙、英国、美国 |

数据来源: DEA Excel Solver 计算结果.

3.2 国家在各阶段创新活动的规模报酬分析

国家创新系统在各阶段活动的规模报酬反映了国家的创新投入和产出变化之间的关系. 若某个国家在某阶段创新活动中规模报酬不变, 则表示该创新系统的投入增加或减少时, 产出也将同等倍数的增加或减少; 若规模报酬递增, 则表示系统的投入增加或减少时, 产出将以多于该投入增减的倍数增加或减少; 相反的, 若规模报酬递减, 则表示投入增加或减少时, 产出将以少于该投入增减的倍数增加或减少. 根据 Zhu 和 Shen 的研究结果^[38], 本文采用 CRS 效率值与 VRS 效率值的比值 (θ_0^* / σ_0^*) 来表示决策单元的规模报酬. 如果 $\theta_0^* / \sigma_0^* = 1$ 则表示 DMU_0 为规模报酬不变, 即规模有效; 若 $\theta_0^* / \sigma_0^* < 1$, 则表示 DMU_0 为规模报酬有变化, 即规模非有效. 进一步判断规模非有效的决策单元, 若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* < 1$, 则 DMU_0 为规模报酬递增; 若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* > 1$ 则 DMU_0 为规模报酬递减. 表 6 列出了 21 个国家在两个时期内的各个阶段中的规模效益, 并且, 各个阶段规模不变、规模递增和规

模递减的国家数量分布的情况也在图 3 中表示出来.

从表 6 可以看出, 对于第一时期, 只有瑞士在三个阶段内的规模报酬均为不变, 而澳大利亚、比利时、中国、丹麦、法国、希腊、荷兰、波兰、葡萄牙、西班牙和英国这 11 个国家在三个阶段内均为规模报酬递增. 而所有的国家在第一时期内任何阶段均没有出现过规模报酬递减. 到第二时期, 仅爱尔兰在三个阶段内均为规模报酬不变, 比利时、加拿大、法国、意大利、荷兰、波兰和韩国这 7 个国家在第二时期的三个阶段内皆为规模报酬递增. 第二时期内的丹麦、芬兰、德国和英国在第一阶段的规模报酬递减, 瑞士在第二阶段的规模报酬为递减, 而第三阶段没有规模报酬递减的国家. 由图 3 也可以看出, 第一时期内平均有 73% 的国家在创新活动的各个阶段的规模报酬递增, 没有国家在第一时期内出现规模报酬递减的情况, 到第二时期, 出现了 4 个国家在研发活动的规模报酬递减, 以及瑞士在技术向经济转化的过程中呈现规模递减的特征. 特别指出, 中国在第一时期内三个阶段的活动均均为规模报酬递增, 说明提高各阶段的创新投入则可获得更多的科技或经济产出.

在第二时期内除了研发活动的规模报酬不变, 技术向经济转化的过程以及创新活动的整个过程中, 中国的规模报酬仍然为递增, 说明中国在研发

阶段的投入产出已经达到平衡, 但是在技术向经济转化的过程中还可以通过增加投入来获得更多的产出.

表 6 两个时期内国家创新活动的规模报酬

Table 6 Returns to scale of national innovative activities during two time spans

| | 第一时期 | | | 第二时期 | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| | 第一阶段 | 第二阶段 | 第三阶段 | 第一阶段 | 第二阶段 | 第三阶段 |
| 澳大利亚 | 递增 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 不变 |
| 比利时 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 加拿大 | 不变 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 中国 | 递增 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 |
| 丹麦 | 递增 | 递增 | 递增 | 递减 | 递增 | 递增 |
| 芬兰 | 不变 | 递增 | 不变 | 递减 | 递增 | 递增 |
| 法国 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 德国 | 不变 | 递增 | 递增 | 递减 | 递增 | 递增 |
| 希腊 | 递增 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 |
| 意大利 | 不变 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 日本 | 不变 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 |
| 荷兰 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 波兰 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 葡萄牙 | 递增 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 |
| 爱尔兰 | 递增 | 不变 | 不变 | 不变 | 不变 | 不变 |
| 韩国 | 递增 | 不变 | 不变 | 递增 | 递增 | 递增 |
| 西班牙 | 递增 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 |
| 瑞典 | 不变 | 递增 | 不变 | 不变 | 递增 | 不变 |
| 瑞士 | 不变 | 不变 | 不变 | 不变 | 递减 | 不变 |
| 英国 | 递增 | 递增 | 递增 | 递减 | 递增 | 递增 |
| 美国 | 不变 | 递增 | 递增 | 不变 | 递增 | 递增 |

数据来源: DEA Excel Solver 计算结果.

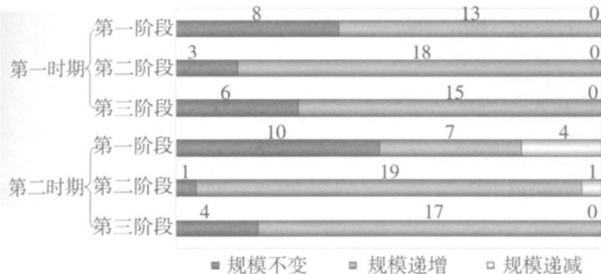


图 3 规模报酬分布情况

Fig 3 Distributions of returns to scale

3.3 国家创新活动中关键因素的确定

对于任何生产系统, 不仅要关注其生产效率, 同时还要确定非有效决策单元的关键因素^[39]. 根据 Zhu^[40] 的定义, 对于非有效的决策单元, 某个投入变量的单因素测量是在保持其他的投入指标和产出指标水平不变的情况下, 确定该投入变量可能降低的最大的程度; 相应的, 某个产出变量的单因素测量是在保持其他的投入指标和产出指标水平不变的情况下, 确定该产出变量可能提高的最大的程度. 目前, 在公式 (1) 和 (2) 中, 由于所有

的指标都是按照相同的比例进行缩放的, 无法根据这样的模型确定非有效决策单元中最具增减潜力的指标. 因此, 使用公式 (3) 和公式 (4) 中改进的 DEA 模型来确定某个投入指标潜在的可降低的最大程度以及某个产出指标潜在的可提高的最大程度^[40].

对于非 VRS 有效的决策单元 DMU_d , 第 k 个投入变量和第 q 个输出变量的单因素分析模型可由公式 (3) 和公式 (4) 的线性规划模型表示.

对于第 k 个投入变量

$$\begin{cases}
 \min \theta_k^d = \theta_k^*, d \in N \\
 \text{s.t.} \sum_{j \in E} \lambda_j^d x_{kj} = \theta_k^d x_{kd}, k = \{1, \dots, m\} \\
 \sum_{j \in E} \lambda_j^d x_{ij} \leq x_{id}, i \neq k \\
 \sum_{j \in E} \lambda_j^d y_{rj} \geq y_{rd}, r = 1, \dots, s \\
 \sum_{j \in E} \lambda_j^d = 1 \\
 \lambda_j^d \geq 0, j \in E
 \end{cases} \quad (3)$$

对于第 q 个输出变量

$$\begin{cases}
 \max \Phi_d^j = \Phi_d^0, d \in N \\
 \text{s.t.} \sum_{j \in E} \lambda_j^d y_{qj} = \Phi_d^j y_{ql}, q \in \{1, \dots, s\} \\
 \sum_{j \in E} \lambda_j^d y_{ij} \leq y_{ids}, i \neq q \\
 \sum_{j \in E} \lambda_j^d x_{ij} \geq y_{ibs}, i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j \in E} \lambda_j^d = 1 \\
 \lambda_j^d \geq 0, j \in E
 \end{cases} \quad (4)$$

其中, E 和 N 分别代表由公式 (2) 中 BCC 模型计算得到的有效 DMU 和非有效 DMU 的下标集. 本研究分别运用模型 (3) 和模型 (4) 对非 VRS 有效的国家在创新过程的第一子过程和第二子过程中的单个因素进行分析, 在运算过程中, 目标指标作为可控变量, 而其它的指标则成为不可控变量^[41]. 结果如表 7 和表 8 所示.

表 7 分别列出了 21 个国家各个因素的潜在增减幅度的平均值, 并将中国和 OECD 国家的均值进行比较. 在第一阶段中, 由于中国在 1994 年—1998 年以及 1998 年—2002 年两个时期内均为 VRS 有效, 因此, 本研究关注所有国家的单因素变化的均值和 OECD 国家的单因素变化的均值. 对于第一阶段两个时期内, 最具有降低潜力的投入指标是企业的 R&D 人员与国家人口的比值

(BRDP/POP), 无论是对于 21 个国家还是 OECD 国家, 该指标的潜在降低幅度是最大的; 而第一阶段最具提升潜力的输出变量是本国申请的专利数量 (RPAT), 在两个时期内, 在 21 个国家以及 OECD 国家的 4 个产出指标的单因素变化中, 该指标的增长比例的平均值是最大的.

在第二阶段内, SCI 和 SSC I 论文的引文数 (ESIC) 是全部 21 个国家在第一时期内 (1996 年—2000 年) 可降低程度最大的投入变量, 平均可降低至原来的 0.42 倍, RPAT 是第二时期内 (2000 年—2004 年) 21 个国家在第二阶段可降低程度最大的指标, 而在第二阶段的两个时期内, 最具提高潜力的产出指标为高技术产品的出口额占 GDP 的比例 (HEXP/GDP). 在该阶段, OECD 国家的单因素分析结果的均值与所有国家的均值结果相同, 即 ESIC 和 RPAT 分别是两个时期内的可降低最多的投入指标, 而 HEXP/GDP 则是可提高最多的产出指标. 中国在第二阶段的单因素分析结果与 OECD 国家的平均值不同, 在两个时期内, 最具降低潜力投入指标为 RPAT, 而最具提高潜力的产出指标为高技术产业增加值占 GDP 的比例 (HVA/GDP). 说明在第二阶段技术向经济转化过程中, 中国的专利数量可以大幅度的降低, 而其高技术产业增加值在 GDP 中的比重还有很大的提高空间.

表 7 第一阶段和第二阶段各指标效率的比较

Table 7 Comparison of indices' efficiencies between stage-1 and stage-2

| 第一阶段 | | 投入指标 | | | | | | 产出指标 | | | | | |
|---------|----|------------|-------------|-------------|------------|---------------|--------------|------|------|------|------|-------------|------|
| | | BERD / GDP | BRDP / POP | HERD / GDP | HRDP / POP | GERD / GDP | GRDP / POP | FDI | TBP | ESIP | ESIC | RPAT | NPAT |
| 均值 | P1 | 0.86 | 0.85 | 0.93 | 0.91 | 0.91 | 0.90 | 0.93 | 0.92 | 1.13 | 1.13 | 6.53 | 1.06 |
| | P2 | 0.79 | 0.77 | 0.89 | 0.86 | 0.88 | 0.87 | 0.83 | 0.85 | 1.25 | 1.20 | 4.29 | 1.00 |
| 中国 | P1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | P2 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| OECD 国家 | P1 | 0.86 | 0.84 | 0.93 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.93 | 0.91 | 1.14 | 1.14 | 6.80 | 1.06 |
| | P2 | 0.78 | 0.75 | 0.89 | 0.85 | 0.87 | 0.86 | 0.82 | 0.85 | 1.26 | 1.21 | 4.46 | 1.00 |
| 第二阶段 | | 投入指标 | | | | 产出指标 | | | | | | | |
| | | ESIP | ESC | RPAT | NPAT | HVA/GDP | HEXP/GDP | | | | | | |
| 均值 | P1 | 0.46 | 0.42 | 0.43 | 0.85 | 6.11 | 6.38 | | | | | | |
| | P2 | 0.29 | 0.22 | 0.19 | 0.50 | 10.02 | 12.18 | | | | | | |
| 中国 | P1 | 0.40 | 0.62 | 0.14 | 1.00 | 75.03 | 19.14 | | | | | | |
| | P2 | 0.07 | 0.12 | 0.01 | 0.74 | 149.32 | 15.03 | | | | | | |
| OECD 国家 | P1 | 0.47 | 0.41 | 0.44 | 0.84 | 2.66 | 5.74 | | | | | | |
| | P2 | 0.30 | 0.22 | 0.20 | 0.49 | 3.05 | 12.04 | | | | | | |

数据来源: DEA Solver 计算结果. 说明: P1 和 P2 分别代表“第一时期”和“第二时期”

表 8 中列出了每个阶段各个非 VRS 有效国家的关键投入和产出因素. 对于某个非有效国家, 关键投入因素是指所有投入变量中降低程度最大的那个变量, 同样的, 关键产出因素是指所有产出变量中可增加程度最大的那个变量. 在第一阶段的第一时期内 (1994 年 - 1998 年), 有 5 个国家为 VRS 非有效, 其中丹麦、法国、荷兰和西班牙的关键投入因素为企业的 R&D 人员与国家人口的比值 (BRDP / POP), 澳大利亚的关键投入因素为政府的 R&D 人员与国家人口的比值 (GRDP / POP); 而这 5 个国家的关键产出因素均为本国申请的专利数量 (RPAT). 在第一阶段的第二时期 (1998

年 - 2002 年), 有 8 个国家为非 VRS 有效, 其中 5 个国家的关键投入因素为企业的 R&D 人员与国家人口的比值 (BRDP / POP), 比利时的关键投入为外商直接投资 (FDI), 德国和意大利的关键投入指标为购买技术的费用 (TBP), 在第二时期除了德国的关键产出因素为 SCI 和 SSC 论文的引文数 (ESIC), 其它 7 个国家的关键产出因素为本国人申请的专利数量 (RPAT). 因此, 对于国家的研发系统, 大部分国家可以降低企业的 R&D 人员而维持现有的生产水平, 或在现在的投入水平上可以最大程度的提高本国专利的申请量.

第二阶段中 VRS 非有效的国家大大多于第

表 8 非 VRS 有效国家的关键因素

Table 8 Key factors of inefficient countries in VRS

| | | 投入指标 | | | | | 产出指标 | | | | | | |
|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|----------|-------|-----------|------|
| 第一阶段 | | BERD /GDP | BRDP /POP | HERD /GDP | HRDP /POP | GERD /GDP | GRDP /POP | FDI | TBP | ESIP | ESIC | RPAT | NPAT |
| 第一时期 | 澳大利亚 | | | | | | 0.73 | | | | | 2.07 | |
| | 丹麦 | | 0.09 | | | | | | | | | 46.64 | |
| | 法国 | | 0.26 | | | | | | | | | 11.86 | |
| | 荷兰 | | 0.17 | | | | | | | | | 52.59 | |
| | 西班牙 | | 0.55 | | | | | | | | | 7.93 | |
| 第二时期 | 比利时 | | | | | | | 0.34 | | | | 21.57 | |
| | 加拿大 | | 0.19 | | | | | | | | | 13.02 | |
| | 丹麦 | | 0.08 | | | | | | | | | 2.37 | |
| | 芬兰 | | 0.15 | | | | | | | | | 1.72 | |
| | 法国 | | 0.26 | | | | | | | | | 7.74 | |
| | 德国 | | | | | | | | 0.35 | | 1.31 | | |
| | 意大利 | | | | | | | | 0.49 | | | 5.87 | |
| 荷兰 | | 0.15 | | | | | | | | | 23.84 | | |
| 第二阶段 | | ESIP | | ESC | | RPAT | | NPAT | | HVA /GDP | | HEXP /GDP | |
| 第一时期 | 比利时 | | | 0.15 | | | | | | | | 5.04 | |
| | 加拿大 | | | 0.09 | | | | | | 3.14 | | | |
| | 中国 | | | | | 0.14 | | | | 75.03 | | | |
| | 丹麦 | | | | | 0.17 | | | | | | 6.18 | |
| | 芬兰 | | | 0.28 | | | | | | | | 3.77 | |
| | 法国 | | | 0.06 | | | | | | 4.32 | | | |
| | 德国 | | | | | 0.05 | | | | | | 7.25 | |
| | 意大利 | | | 0.06 | | | | | | | | 19.96 | |
| | 日本 | | | | | 0.04 | | | | | | 7.02 | |
| | 荷兰 | | | 0.07 | | | | | | 6.53 | | | |
| | 西班牙 | | | | | 0.05 | | | | | | 31.64 | |
| | 瑞典 | | | | | 0.06 | | | | | | 4.14 | |
| 英国 | | | 0.05 | | | | | | | | 5.22 | | |
| 美国 | | | 0.01 | | | | | | | | 12.70 | | |

续表 8

表 8 非 VRS有效国家的关键因素

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|--------|
| 第二时期 | 澳大利亚 | 0.16 | | | 13.45 |
| | 比利时 | 0.12 | | | 4.57 |
| | 加拿大 | 0.04 | | | 6.21 |
| | 中国 | | 0.00 | | 149.32 |
| | 丹麦 | | 0.08 | | 5.29 |
| | 芬兰 | 0.19 | | | 3.90 |
| | 法国 | 0.06 | | | 3.36 |
| | 德国 | | 0.03 | | 5.95 |
| | 希腊 | 0.41 | | | 8.78 |
| | 意大利 | 0.05 | | | 19.83 |
| | 日本 | | 0.01 | | 8.88 |
| | 荷兰 | | 0.06 | | 6.90 |
| | 波兰 | | 0.27 | | 94.05 |
| | 葡萄牙 | | | 0.37 | 2.57 |
| | 韩国 | | 0.01 | | 4.39 |
| | 西班牙 | | 0.04 | | 32.24 |
| | 瑞典 | | 0.04 | | 5.18 |
| | 瑞士 | | | 0.39 | 1.02 |
| | 英国 | 0.04 | | | 5.88 |
| | 美国 | 0.01 | | | 14.85 |

数据来源: DEA Excel Solver计算结果.

一阶段, 分别有 14个国家和 20个国家在第二阶段的第一时期和第二时期内为 VRS非有效. 第二阶段的关键投入因素集中在 *ESIC* 和 *RPAT*, 包括第一时期的 8个国家和第二时期的 9个国家的关键投入为 *ESIC*, 第一时期的 6个国家和第二时期的 9个国家的关键投入为 *RPAT*. 第二阶段只有两个产出变量, 其中, 更多的非有效国家的关键产出为高技术产品占 GDP的比重 (*HEXP/GDP*). 因此, 在第二阶段技术向经济转化的过程中, 很多的国家可以通过降低 *ESIC* 和 *RPAT* 的投入水平而维持现有的产出不变, 或在保持投入水平不变的情况下, 可以更多的提高高技术产品占 GDP的比重.

3.4 指标的选取对国家效率的影响

用 DEA 方法对决策单元作有效性评价的结果与所选的指标体系是密切相关的. 对一组决策单元, 选择不同的指标集, 同一决策单元的有效性也会不同, 因此, 为了探明指标的变化对 DEA 有效性变化的影响, 有研究者提出了复合 DEA 的方法(盛昭瀚等, 1996). 该方法可以对决策单元进行“诊断”, 并找出导致决策单元非有效的原因. 在运用复合 DEA 方法时, 用 D 表示决策单元的指标体系, 即 $D = \{x_1, x_2, \dots, x_m; y_1, y_2, \dots, y_s\}$.

并用 D_i 表示在原指标集中去掉第 i 类指标后的指标体系. 通过运用 BBC模型对决策单元的有效性进行评价之后, 得到原指标集 D 下所有决策单元的有效性(原效率)为 $\sigma(D) = \{\sigma_1(D), \sigma_2(D), \dots, \sigma_n(D)\}$, 而在新指标集 D^i 下所有决策单元的新的有效性为 $\sigma(D^i) = \{\sigma_1(D^i), \sigma_2(D^i), \dots, \sigma_n(D^i)\}$, 其中, n 表示决策单元的个数. 由于 $\sigma(D) \geq \sigma(D^i)$, 因此可以构造变量 $S_j(i) = \frac{\sigma_j(D) - \sigma_j(D^i)}{\sigma_j(D^i)}$ 来表示第 i 类指标变量对非有效的决策单元 j 的影响程度, DMU_j 为非有效单元, $j = 1, 2, \dots, k$ 可见, $S_j(i)$ 值越大, 表示第 i 类指标变量对第 j 个决策单元的影响越大. 取非有效单元 j_0 满足条件: $S_{j_0} = \max_{j \in k} S_j(i)$, 表示第 i 类指标对决策单元 j_0 的影响最大, 也可以说决策单元 j_0 在第 i 类指标所代表的资源的使用方面较其它决策单元更有优势.

本研究使用复合 DEA 技术分别分析各类 R&D 资源投入对第一阶段的研发活动效率和第三阶段的综合创新效率的作用. 将 8个 R&D投入变量分为 5类: 企业 R&D投入、高校 R&D投入、政

府 R&D 投入、外商直接投资 (FDI) 和购买技术的费用 (TBP), 然后运用复合 DEA 技术分别计算各个国家去掉各组投入变量之后的效率值, 并与原效率值进行比较, 最后确定 $S_j(i)$ 和 S_{j_0} 的值, 结果见表 9

由表 9 中 21 国的 S 平均值可以看出, 在第一阶段的研发活动中, 去掉 FDI 之后的国家在第一时期内 (1994 年 - 1998 年) 的平均研发效率与

效率的差距最大 ($S(FDI) = 1.671$), 去掉 TBP 之后国家在第二时期内 (1998 年 - 2002 年) 的平均研发效率与原效率差距最大 ($S(TBP) = 1.176$), 因此, FDI 和 TBP 分别是第一阶段的两个时期内对 21 个国家平均研发效率影响最大的指标; 在第三阶段的综合创新活动中, 企业的 R&D 投入指标所对应的 S 值在两个时期内均大于其它指标的 S

表 9 各类指标对国家创新效率的影响

Table 9 Impact of various indices on national innovation efficiency

| | | 原效率 | 去掉企业 R&D 数据 | 去掉高校 R&D 数据 | 去掉政府 R&D 数据 | 去掉 FDI 数据 | 去掉 TBP 数据 |
|------|--------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 第一阶段 | | | | | | | |
| 第一时期 | 均值 | 0.812 | 0.801 | 0.788 | 0.792 | 0.626 | 0.681 |
| | S 值 | | 0.166 | 0.582 | 1.167 | 1.671 | 1.275 |
| | 中国 | 0.682 | 0.682 | 0.674 | 0.682 | 0.682 | 0.607 |
| | S 值 | | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.000 | 0.124 |
| | OECD | 0.818 | 0.807 | 0.794 | 0.797 | 0.623 | 0.685 |
| | S 值 | | 0.020 | 0.045 | 0.068 | 0.411 | 0.276 |
| | 最大 S 值 | | 0.166 (希腊) | 0.582 (韩国) | 1.167 (比利时) | 1.671 (德国) | 1.275 (芬兰) |
| 第二时期 | 均值 | 0.875 | 0.870 | 0.828 | 0.816 | 0.845 | 0.794 |
| | S 值 | | 0.063 | 0.346 | 0.675 | 0.398 | 1.176 |
| | 中国 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | S 值 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | OECD | 0.868 | 0.864 | 0.819 | 0.807 | 0.838 | 0.784 |
| | S 值 | | 0.006 | 0.076 | 0.103 | 0.041 | 0.169 |
| | 最大 S 值 | | 0.063 (加拿大) | 0.346 (德国) | 0.675 (比利时) | 0.398 (意大利) | 1.176 (澳大利亚) |
| 第三阶段 | | | | | | | |
| 第一时期 | 均值 | 0.644 | 0.555 | 0.634 | 0.639 | 0.625 | 0.517 |
| | S 值 | | 4.929 | 0.388 | 0.154 | 1.511 | 3.130 |
| | 中国 | 0.112 | 0.099 | 0.112 | 0.112 | 0.112 | 0.112 |
| | S 值 | | 0.139 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | OECD | 0.670 | 0.578 | 0.660 | 0.665 | 0.651 | 0.537 |
| | S 值 | | 0.475 | 0.040 | 0.016 | 0.078 | 0.437 |
| | 最大 S 值 | | 4.929 (希腊) | 0.388 (英国) | 0.154 (比利时) | 1.511 (日本) | 3.130 (瑞典) |
| 第二时期 | 均值 | 0.574 | 0.491 | 0.557 | 0.562 | 0.574 | 0.440 |
| | S 值 | | 2.359 | 0.466 | 0.274 | 0.008 | 0.807 |
| | 中国 | 0.195 | 0.183 | 0.195 | 0.195 | 0.195 | 0.195 |
| | S 值 | | 0.063 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | OECD | 0.593 | 0.506 | 0.575 | 0.581 | 0.593 | 0.452 |
| | S 值 | | 0.346 | 0.060 | 0.030 | 0.000 | 0.206 |
| | 最大 S 值 | | 2.359 (希腊) | 0.466 (美国) | 0.274 (美国) | 0.008 (希腊) | 0.807 (瑞典) |

数据来源: DEA Excel Solver 计算结果。

值,说明该指标是对国家平均创新效率影响最大的指标.通过比较中国和 OECD 国家的均值发现,在第一阶段, TBP 是第一时期内(1994年—1998年)对中国研发效率影响最大的投入($S(TBP) = 0.124$),也就是说中国在对出资购买的技术资源的利用方面较其它资源的利用有着相对的优势.在第二时期(1998年—2002年)中国的研发效率为 1,而复合 DEA 方法主要是针对非有效国家指标变化对其效率的影响,因此中国在第一阶段第二时期内的 S 值均为 0.根据 OECD 国家的 S 平均值可知,其各阶段的最大 S 平均值所对应的指标与所有国家的结果相同,即 FDI 和 TBP 分别为第一阶段两个时期内对 OECD 国家平均研发效率影响最大的两个因素.在第三阶段评价国家创新系统的总效率时,企业的 R&D 投入是两个时期内(1996年—2000年以及 2000年—2004年)同时对中国和 OECD 国家的创新平均效率影响最大的指标.因此, FDI 和 TBP 是第一阶段中对所有国家及 OECD 国家的平均研发效率影响最大的指标,而企业的 R&D 投入是第三阶段中对所有国家的平均创新总效率影响最大的指标.

进一步确定对每一类投入资源利用最具优势的国家,即确定 S_{j_0} 出现在哪个国家.根据表 9 中“最大 S 值”一行的数据,在第一阶段的第一时期内(1994年—1998年),希腊是对企业 R&D 资源利用有优势的国家,韩国对高校 R&D 投入利用的最好,比利时是对政府 R&D 资源利用有优势的国家,对外商直接投资利用最好的国家是德国,以及芬兰是对购买技术的费用利用的最好的国家.在第二时期内(1998年—2002年),加拿大、德国、比利时、意大利和澳大利亚分别是在企业、高校、政府 R&D 资源、外商直接投资以及购买技术的费用支出方面有优势的国家.在第三阶段的第一时期内(1996年—2000年),希腊、英国、比利时、日本和瑞典相对于其他国家分别对五类投入资源利用的最好;而希腊、美国、美国、希腊和瑞典是第二时期内(2000年—2004年)在五类 R&D 资源利用方面拥有优势的国家.

4 结束语

本文基于创新活动的三阶段概念模型,通过

运用 DEA 及其改进方法对 21 个国家在两个时期内的创新活动效率进行评价,目的是根据相对效率的评价结果测量中国和其它 20 个 OECD 国家在创新效率各方面的差距.主要结论包括:

(1) 通过对国家在三个阶段创新活动的相对效率的评价结果表明第一阶段和第二阶段的有效性分布很不均匀,第一阶段高效率的国家多,而第二阶段低效率的国家多.对比中国和 OECD 国家在各个阶段的平均效率值发现,在研发效率上中国正在赶超 OECD 国家;而中国的技术向经济转化的效率都远远低于 OECD 国家的平均效率.

(2) 第一时期内没有国家为规模报酬递减,平均有 73% 的国家在创新活动的各个阶段的规模报酬递增,第二时期内除了 5 个国家在研发活动及技术向经济转化的过程中为规模报酬递减,其它国家在各阶段均为规模有效或递增.中国在第一时期内三个阶段的活动均均为规模报酬递增,说明提高各阶段的创新投入则可获得更多的科技或经济产出;在第二时期内除了研发活动的规模报酬不变,其它阶段中均为规模报酬递增,说明中国在研发阶段的投入产出已经达到平衡,但是在技术向经济转化的过程中还可以通过增加投入来获得更多的产出.

(3) 通过单因素分析的 DEA 模型,得到所有非 VRS 有效国家的最具潜力的指标.在第一阶段中,中国两个时期内均为 VRS 有效.对于 OECD 国家,最具有降低潜力的投入指标是 $BRDP/POP$,最具提升潜力的输出变量是 $RPAT$.在第二阶段, $ESIC$ 和 $RPAT$ 分别是 OECD 国家在先后两个时期内的可降低最多的投入指标,而 $HEXP/GDP$ 则是两时期内可提高最多的产出指标.中国在两个时期内最具降低潜力投入指标为 $RPAT$,而最具提高潜力的产出指标为 HVA/GDP .

(4) 最后,由复合 DEA 方法可确定对决策单元效率影响最大的因素(指标).在第一阶段的 R&D 活动中, TBP 是第一时期内对中国研发效率影响最大的投入,在第二时期中国的研发效率为 1,因此 S 值为 0.根据 OECD 国家的 S 平均值可知, FDI 和 TBP 分别为第一阶段两个时期内对 OECD 国家平均研发效率影响最大的两个因素.在第三阶段评价国家创新系统的总效率时,企业的 R&D 投入是两个时期内同时对中国和 OECD

国家的创新平均效率影响最大的指标。

与国际上主要创新型国家相比较, 当前我国创新活动中存在的主要问题是创新效率相对较低。因此, 目前对中国而言, 建设创新型国家的关键是要提高我国创新系统资源配置的效率。为了提高科研效率和我国科学研究与技术开发的国际地位, 政府有关科研管理部门和科技界都应该转变思想和转变评价模式, 树立“质重于量”的基本观念。在强调继续增加 R&D 投入的同时, 更应注重提高 R&D/技术创新的效率; 在对科研项目、科研人员考核时, 不去攀比项目的大小, 不以“化钱

多”论英雄, 不去单纯地数发表了多少篇文章、获得了多少项专利, 更不能对科研产出的质量放任自流。对基础性的科学研究, 应以其产生的国际科学影响为主要考核指标。对技术开发成果, 应以其在国际、国内市场所产生的技术创新效果为主要考核指标。与国际创新型国家相比较, 我国对可能产生原始创新的基础研究投入比例还应加大。在国内科技资源(特别是政府科技经费)的配置上, 要适度向科技不发达地区和中低技术产业领域倾斜。如此, 在提升科研与创新绩效方面, 有可能收到事半功倍的效果。

参考文献:

- [1] Stenberg R, Arndt O. The firm or the region: What determines the innovation behavior of European firms? [J]. *Economic Geography*, 2001, 77(4): 364-380.
- [2] Narin F, Olivastro D. Status report: Linkage between technology and science [J]. *Research Policy*, 1992, 21: 237-330.
- [3] Pavitt K. Do patents reflect the useful research output of universities? [R]. SPRU Electronic Working Papers Series 6, November 1997.
- [4] Steinmueller R. Basic research and industrial innovation [A]. In DODGSON, M., ROTHWELL, R. (Eds), *The Handbook of Industrial Innovation* [M]. Aldershot: Edward Elgar, 1994, 54-66.
- [5] David P A, Foray D, Steinmueller W E. The research network and the new economics of science: From metaphors to organizational behavior [A]. In GAMBARDELLA, A., MALERBA, F. (Eds), *The Organization of Innovative Activities in Europe* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [6] Nelson R. National innovation systems [A]. A Comparative Analysis [M]. New York/Oxford: Oxford University Press, 1993.
- [7] OECD. National Innovation Systems [M]. Paris: OECD Publications, 1997.
- [8] Etzkowitz H, Leydesdorff L. The endless transition: A 'triple helix' of university-industry-government relations [J]. *Minerva*, 1998, 36: 203-208.
- [9] Leydesdorff L, Etzkowitz H. Emergence of a triple helix of university-industry-government relations [J]. *Science and Public Policy*, 1996, 23: 279-286.
- [10] Niva F, Tomizawa H. A trial of general indicator of science and technology: Methodological study of overall estimation of national S&T activity [J]. 1996. *Scientometrics*, 37(2): 245-265.
- [11] Porter A L, Roessner J D, Jin X Y, et al. Measuring national emerging technology capabilities [J]. *Science and Public Policy*, 2002, 29(3): 189-200.
- [12] Roessner J D, Porter A L, Newman N, et al. Anticipating the future high-tech competitiveness of nations: Indicators for twenty-eight countries [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2001, 51: 133-149.
- [13] Pfetsch F R. The measurement of a country's science and technological potential [J]. *Scientometrics*, 1990, 19(5-6): 495-504.
- [14] Zank S H, Fernandez B. Competitiveness of nations: A knowledge discovery examination [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 166: 185-211.
- [15] 邵云飞, 谭劲松. 区域技术创新能力形成机理探析 [J]. *管理科学学报*, 2006, 9(4): 1-11.
Shao Yunfei, Tan Justin. Research on mechanism and for capacity of regional technological innovation [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2004, (1): 88-96. (in Chinese)
- [16] 马宁, 官建成, 高柏杨. 我国高新技术企业规模与创新分布 [J]. *管理科学学报*, 2001, 4(1): 75-80.

- Ma Ning Guan Jian-cheng Gao Bai-yang The size distribution of high tech innovation firms in China [J]. *Journal of Management Sciences in China* 2001, 4(1): 75—80 (in Chinese)
- [17] 周寄中, 胡志坚, 周勇. 在国家创新系统内优化配置科技资源 [J]. *管理科学学报*, 2002, 5(3): 40—49
Zhou Ji-zhong Hu Zhi-jian Zhou Yong Allocating S&T resources in national systems of innovation [J]. *Journal of Management Sciences in China* 2002, 5(3): 40—49 (in Chinese)
- [18] 官建成, 余进. 基于 DEA 的国家创新能力分析 [J]. *研究与发展管理*, 2005, 17(3): 8—15
Guan Jian-cheng Yu Jin National innovation capacity measurement based on DEA [J]. *Journal of R&D Management* 2005, 17(3): 8—15 (in Chinese)
- [19] Resti A. Efficiency measurement for multi-product industries: A comparison of classic and recent techniques based on simulated data [J]. *European Journal of Operational Research* 2000, 121: 559—578
- [20] Yan H, Wei Q L, Hao G. DEA models for resource reallocation and production input/output estimation [J]. *European Journal of Operational Research* 2002, 136: 19—31
- [21] 王军霞, 官建成. 复合 DEA 方法在测度企业知识管理绩效中的应用 [J]. *科学学研究*, 2002, 20(1): 84—88
Wang Jun-xia Guan Jian-cheng The application of composite DEA method in measuring the performance of knowledge management of enterprises [J]. *Studies in Science of Science* 2002, 20(1): 84—88 (in Chinese)
- [22] Guan J Wang J Evaluation and interpretation of knowledge production efficiency [J]. *Scientometrics* 2004, 59: 131—155
- [23] Rousseau S, Rousseau R. Data Envelopment Analysis as a tool for constructing scientometrics indicators [J]. *Scientometrics* 1997, 40(1): 45—56
- [24] Rousseau S, Rousseau R. The scientific wealth of European nations: Taking effectiveness into account [J]. *Scientometrics* 1998, 42(1): 75—87
- [25] Moon H S, Lee J D. A fuzzy set theory approach to national composite S&T indices [J]. *Scientometrics* 2005, 64(1): 67—83
- [26] Griliches Z. *R&D and Productivity* [M]. Chicago and London: University of Chicago Press, 1998
- [27] Griliches Z. *R&D, Patents and Productivity* [M]. Chicago and London: University of Chicago Press, 1984
- [28] Nasierowski W, Arceles F J. Interrelationships among the elements of national innovation systems: A statistical evaluation [J]. *European Journal of Operational Research* 1999, 119: 235—253
- [29] Nasierowski W, Arceles F J. On the efficiency of national innovation systems [J]. *Socio-Economic Planning Sciences* 2003, 37: 215—234
- [30] Damijan J P, Knell M, Majcen B, Rojec M. The role of FDI, R&D accumulation and trade in transferring technology to transition countries: Evidence from firm panel data for eight transition countries [J]. *Economic Systems* 2003, 27: 189—204
- [31] Harrison A. The role of multinationals in economic development: The benefit of FDI [J]. *Columbia Journal of World Business* 1994, 29(4): 6—11
- [32] Ostry S, Gestri M. Foreign direct investment, technology transfer and the innovation-network model [J]. *Transnational Corporations* 1993, 2(3): 7—30
- [33] Van Looy B, Debackere K, Callaert J *et al*. Scientific capabilities and technological performance of national innovation systems: An exploration of emerging industrial relevant [J]. *Scientometrics* 2006, 66(2): 295—310
- [34] Guan J Li S. Comparing regional innovative capacities of PR China based on data analysis of the national patents [J]. *International Journal of Technology Management* 2005, 32(3/4): 225—245
- [35] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. *European Journal of Operational Research* 1978, 2: 429—444
- [36] Cooper W W, Li S, Seiford L M, *et al*. Sensitivity and stability analysis in DEA: Some recent developments [J]. *Journal of Productivity Analysis* 2001, 15: 217—246
- [37] Zhu J. *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: DEA with Spreadsheets and DEA Excel Solver* [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002
- [38] Zhu J, Shen Z H. A discussion of testing DMU's returns to scale [J]. *European Journal of Operational Research* 1995

81: 590—596

- [39] Chen Y, Zhu J. DEA models for identifying critical performance measures[J]. *Annals of Operations Research*, 2003, 124: 225—244.
- [40] Zhu J. Multifactor performance measure model with an application to fortune 500 countries[J]. *European Journal of Operation Research*, 2000, 123: 105—124.
- [41] Banker R D, Morey R C. Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs[J]. *Operations Research*, 1986, 34: 513—521.

Linkage amongst science, technology and economy and international comparison of innovation performance

GUAN Jian-cheng¹, HE Ying²

1. School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China

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

Abstract The paper proposes a three-stage conceptual model of innovation process to explore the linkage amongst science, technology and economy. We compare the performance of science, technology and innovation between China and twenty major Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) countries, based on Data Envelop Analysis (DEA) technique and its improved model in order to find the gaps between China and the major OECD countries during the various periods of innovation process. The results show that research and development efficiency of China is overtaking those of OECD countries. The inputs and outputs in China during the research and development period, however, have reached an equilibrium state during the recent years. Strikingly, the findings indicate that efficiency of China in the stage of technology transforming into economy is far lower than those of the OECD countries. The key factors, which have significant impacts on the efficiency of China in technology transforming into economy, are domestic patent applications examined in World Intellectual Property Organization and Value added in High Technology. Research results further indicate that the maximum potential increase among all outputs during the period of technology transforming into economy is Value added in High Technology. Compared with major innovative countries in the world, the relative lower efficiency of innovation is the major problem for China's innovative activity. The policy implication of the findings lies in that China should significantly enhance efficiency of resource allocation of national innovation system in order to build up innovative country, rather than emphasize on heavy investment in research and development.

Key words innovation performance, international comparison, data envelop analysis