

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2019.01.014

# 创新效率评价及空间差异分析——以湖南省为例

青佩明

(湖南科技大学 商学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 基于2006—2015年湖南省13个地级市的相关数据,运用DEA-BCC模型以及Malmquist指数模型,对其创新效率进行了实证研究。研究结果显示:2006—2015年,湖南省创新效率存在两个峰点(2008—2009)(2010—2011)和两个谷点(2009—2010)(2012—2013),整体呈增长态势,其平均增长率为3.8%,主要来源于技术进步(2.0%)及规模效率(1.4%)的增长。根据各城市创新情况,从综合效率看,各城市综合效率均值为0.738,但各城市创新效率差异明显,只有长沙、株洲、常德属于DEA有效城市,其他则属于DEA无效城市。湖南省历年创新效率评价和各地级市创新效率评价结果均表明,其创新效率水平有待提高,且主要依托于技术进步和规模效率。

**关键词:** DEA-BCC模型; 区域创新效率; Malmquist指数; 规模效率

**中图分类号:** F224.0

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2019)01-0087-06

**引文格式:** 青佩明. 创新效益评价及空间差异分析: 以湖南省为例[J]. 湖南工业大学学报, 2019, 33(1): 87-92.

## Innovation Efficiency Evaluation and Spatial Difference Analysis ——A Case Study of Hunan Province

QING Peiming

(School of Business, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

**Abstract:** Based on the relevant data of 13 prefecture-level cities in Hunan Province from 2006 to 2015, by using the DEA-BCC model and the Malmquist index model, an empirical study has been made on their innovation efficiency. The research results show that, from 2006 to 2015, there are two peaks in Hunan Province's innovation efficiency: (2008—2009) and (2010—2011) and two valley points: (2009—2010) and (2012—2013), characterized with an overall growth trend, with its average growth rate being 3.8%, mainly due to technological progress (2.0%) and scale efficiency (1.4%) growth. According to the innovation features of every individual city, the average comprehensive efficiency among them reaches 0.738, with a great diversity in their specific innovation efficiency. Changsha, Zhuzhou and Changde are ranked among DEA valid cities, while other cities in Hunan province belong to DEA invalid cities. The evaluation of innovation efficiency in Hunan Province and the evaluation results of innovation efficiency in various cities indicate that the level of innovation efficiency needs to be improved, with its major reliance on technological progress and scale effect.

**Keywords:** DEA-BCC model; regional innovation efficiency; Malmquist index; scale efficiency

收稿日期: 2018-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71473078), 湖南省教育厅科研基金资助重点项目(15A071)

作者简介: 青佩明(1993-), 女, 湖南长沙人, 湖南科技大学硕士生, 主要研究方向为应用经济学,

E-mail: 1023416556@qq.com

## 1 研究背景

创新是新常态经济下发展的源动力。为建设国家创新型城市, 需要提高国家整体的创新能力, 而国家创新能力的提高依赖于各区域创新水平的提升。区域创新能力的提高对区域综合竞争力至关重要, 而创新效率又是衡量创新水平的重要指标, 因此, 如何提升区域创新效率成为学术界研究的重点问题。科学、合理地评价创新效率对制定创新发展战略, 推动经济可持续发展具有重要的现实意义。

基于已有研究, 笔者发现国内外学者对区域创新效率的研究主要有以下三大模块:

1) 从能源创新角度研究区域创新效率。该方向的研究一般是在创新投入中加入能源指标, 并结合空间模型或者面板数据等进行实证研究。大多数学者从空间差异化特征出发, 对长江经济带的工业能源创新效率进行了研究, 发现研发投入水平、产业结构、环境因素等对能源投入冗余有着显著影响<sup>[1]</sup>。如屈小娥<sup>[2]</sup>通过数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 模型, 发现工业能源效率存在显著的效率梯度差异。而孟晓等<sup>[3]</sup>认为经济发展水平越高, 工业能源效率水平越领先, 尤其是在北上广深地区, 其效果更加显著。

2) 从产业创新视角研究区域创新效率。该方向的研究主要涉及了高新技术产业、制造业等, 并结合 DEA 研究其创新效率水平。学者 Lu Y. H. 等<sup>[4]</sup>通过研究微观企业的创新效率, 得出了高新技术企业、制造企业创新效率无效的原因, 然后针对性地提出了改进建议。高晓光<sup>[5]</sup>应用多产出随机前沿方法研究了在创新资源的有限条件下, 通过整理近几十年来的数据, 发现了高技术产业创新效率的动态演变规律。司桂霞等<sup>[6]</sup>对长三角地区高技术产业的投入产出效率静态水平进行了评价, 并研究了动态创新效率的变化情况。

3) 从绿色创新效率角度研究区域创新效率。该方向的研究即在创新投入或产出中加入绿色指标, 研究绿色创新效率水平并对其进行分析和评价。如王晓云等<sup>[7]</sup>按照全国八大经济区域的划分方法, 对城市绿色经济效率进行了分区计算和区域比较分析。此外, 李金滢等<sup>[8]</sup>运用 SBM-DEA (slack-based measure-data envelopment analysis, SBM-DEA) 模型, 对环境污染、绿色发展下的创新效率水平进行了比较研究。

从以上研究可以发现, 单独对各地级市创新效率及其空间差异分析的研究较为少见。而湖南省是长江

中游城市群的组成部分, 也是中部地区重要的经济增长引擎, 研究其创新效率水平及其空间差异情况, 对于湖南省可持续性创新发展具有重要的战略意义。因此, 本研究拟选取湖南省 2005—2015 年的投入产出数据, 在时间维度上, 对历年的创新效率进行纵向比较, 以全面了解其创新效率的变化趋势; 在空间维度上, 探索各城市创新效率的空间分布特征, 进一步对其动态变化进行分析, 以期为提高湖南省区域创新效率提供一定的参考。

## 2 研究模型

### 2.1 DEA-BCC 模型

在已有的文献中, 研究创新效率的主流方法有 DEA 和随机前沿方法 (stochastic frontier approach, SFA)。SFA 只能评价多投入、单一产出的创新活动问题, 而实际上创新活动产出绝非只有一种, 因此 SFA 模型不能充分反映创新的实际产出水平。而 DEA 方法适应于多投入、多产出的创新效率评价, 因此, 本研究选用 DEA 模型测度湖南省的区域创新效率。基于要素规模报酬不变原理, Charnes (1978) 等提出了 DEA-CCR 模型, 随后 Banker (1984) 等引入了规模报酬可变假设, 提出了 BCC 模型, 将创新效率分解为纯技术效率和规模报酬效率<sup>[9]</sup>。其中, 纯技术效率用于判断决策单元所输入的资源配置是否有效, 而规模效率用于判断在区域经济发展中的非技术因素的有效性程度。因此, 本研究在用传统的 DEA 模型进行静态分析之后, 再结合 Malmquist 指数法对其进行了动态评价。

现假设有  $n$  个决策单元 (decision making units, DMU), 第  $j$  个决策单元的投入  $X_j$  和产出的  $Y_j$  变量可以表示如下:

$$\begin{cases} X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})^T, \\ Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{nj})^T, \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

评价技术有效性和规模有效性的 BCC 模型为

$$\begin{cases} \max (\mu^T y_0 + \mu_0) = V_p, \\ \text{s.t. } \omega^T x_j - \mu^T y_j - \mu_0 = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\ \omega^T x_0 = 1, \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $V_p$  为效率评价指数;

$\mu$ 、 $\omega$  为权系数;

$\mu_0$  为判断规模报酬状况的指标。

### 2.2 DEA-ML 指数

与 DEA-BCC 模型不同, Malmquist 指数法主要

用于研究创新效率的动态变化过程<sup>[10]</sup>，其能反映空间动态变化趋势。通过查找已有研究文献，发现大多数学者都是借鉴 Fare 等人构建的 DEA-Malmquist 指数模型进行研究<sup>[11]</sup>。

创新产出的 Malmquist 指数可以通过以下公式进行计算：

$$M_0(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \left[ \frac{D_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^t(x_t, y_t)} \times \frac{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中： $M_0(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t)$  为  $t \sim t+1$  时期的创新效率变化情况；

$D_0(x_{t+1}, y_{t+1})$ 、 $D_0(x_t, y_t)$  分别为距离函数。

当处在  $t$  期技术水平时，根据式 (3) 可得

$$M_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = D_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}) / D_0^t(x_t, y_t) \quad (4)$$

式中  $M_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t)$  表示在  $t$  期的技术水平下， $t \sim t+1$  时期的创新效率变化情况。

$$M_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) / D_0^{t+1}(x_t, y_t) \quad (5)$$

同理， $M_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t)$  代表在  $t+1$  期的技术水平下  $t \sim t+1$  时期的创新效率变化情况。

$$M_0(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \frac{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^t(x_t, y_t)} \left[ \frac{D_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{D_0^t(x_t, y_t)}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

上式将创新效率分解为两部分，前一部分反映技术效率的变动，后一部分代表技术进步的变动。当技术效率大于 1 时，表明效率水平提升；当技术进步大于 1 时，则表明技术水平得到了改进。

$$\begin{cases} [D_0^t(x_t, y_t)]^{-1} = \max_{\varphi, \lambda} \varphi, \\ \text{s.t. } -\varphi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0, \\ x_{it} + X_t \lambda \geq 0, \\ \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

式 (7) 为测算生产距离的函数公式，其中  $\varphi$ 、 $\lambda$  分别为决策单元的有效值和系数。

### 3 指标选取与数据来源

#### 3.1 指标选取

DEA 模型能反映投入 - 产出的过程，是测算创新效率的主要工具<sup>[12]</sup>。而创新效率的测算主要从创新投入和产出两个方面进行指标构建。

从创新投入的角度上来说，投入主要由两部分构成，即人力资源投入和财力资源投入。毋庸置疑，人才是区域创新的源泉和动力，是创新活动的基础。

本文研究的时间跨度为 2006—2015 年，基于数据的可得性，选择 R&D 人员全时当量更能体现创新活动的人力资源投入强度。根据湖南省统计局给出的相关数据，可以得到如图 1 所示的湖南省 R&D 人员全时当量及增长率。

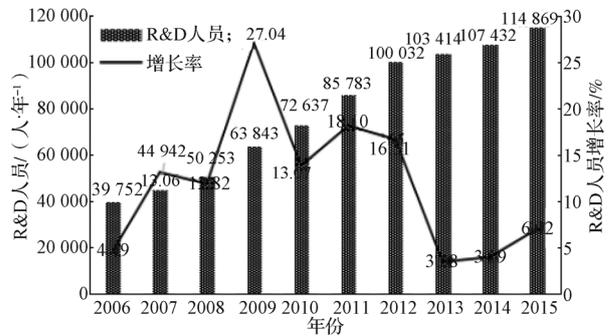


图 1 湖南省 2006—2015 年 R&D 人员全时当量及增长率  
Fig. 1 Full-time equivalent amount and growth rate of R&D staff in Hunan Province from 2006 to 2015

由图 1 可以得知，湖南省 2006—2015 年间的 R&D 人员情况，整体来说每年均呈增长趋势。2006 年，湖南省 R&D 人员的全时当量为 39 752 人 / 年，到 2015 年时为 114 869 人 / 年，约为 2006 年的 3 倍。而 R&D 人员增长率最高的年份为 2009 年，其增长率达到了 27.04%。

而对于资金投入主要选择 R&D 经费支出这一指标，但是笔者认为科学技术支出与 GDP 比值更能贴切地反映投入研发资本的过程，因为科学技术支出主要用于研发科技创新产品，直接体现在创新产出成果上，从而体现区域对创新投入的强度。湖南省统计局给出的统计年间历年的科技、教育等支出情况如图 2 所示。

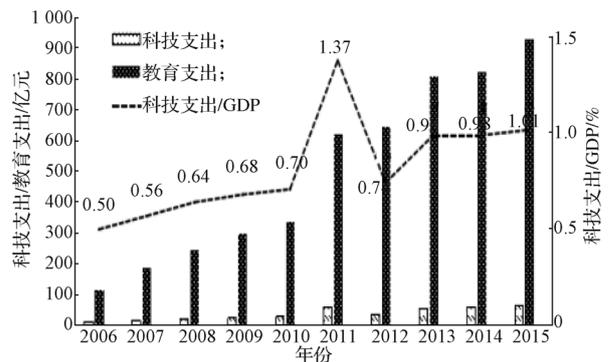


图 2 湖南省 2006—2015 年科技、教育支出及科技支出/GDP

Fig. 2 Expenditures/GDP on science, technology and education in Hunan Province from 2006 to 2015

从图 2 可以看出，湖南省的教育支出总体呈现增长态势，且支出数额较大，而科技支出金额远远小于教育支出金额。2006—2010 年科技支出占 GDP 比率增长缓慢，而在 2011 年科技支出占 GDP 比率最高，

达 1.37%。虽然其在 2012 年有所下降，但是之后仍在不断地增长。

从创新产出的角度来说，产出主要包括两大方面：知识产出和科技产出。知识产出一般包括申请专利量和专利授权。因为专利申请量不足以真实反应一个地区的科技创新能力，因此本文选用专利申请授权量的大小来衡量一个地区知识创新能力的高低。科技产出指标有选用技术市场成交额、高技术产业增加值等，基于数据的可得性，同时笔者认为高技术产业增加值能反映每年技术创新能力是否有提高，以及科学技术投入与产出之间是否配比，因此本文选用高技术产业增加值这一指标来反映一个地区的科技创新能力。

### 3.2 数据来源

基于研究对象及数据的可得性，本文选取湖南省 2006—2015 年 13 个地级市的相关数据（由于得到的数据中湘西州大部分数据缺失，因此舍弃）作为投入产出数据。考虑到投入可能具有时滞性的特点，因此投入数据采用 2005—2014 年的数据，而产出数据采用 2006—2015 年的数据。投入产出数据主要从 2006—2016 年《中国城市统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和湖南省统计局网站获取，部分缺失的数据采用邻近两年数据的平均值代替。其中，高技术产业增加值以 2006 年为基期，通过居民消费价格指数（consumer price index, CPI）对其进行平减，以排除价格因素的影响。运用 DEA 方法的前提是 DMU 至少为投入产出变量和的 3 倍，本文正好满足此前提，整理后构建的区域创新效率评价指标如表 1 所示。

表 1 区域创新效率评价指标

Table 1 Regional innovation efficiency evaluation index

| 指标层次 | 具体指标            | 含义       |
|------|-----------------|----------|
| 创新投入 | R&D 人员全时当量 $L$  | 创新人力资源投入 |
|      | 科学技术支出 /GDP $K$ | 创新经费投入   |
| 创新产出 | 专利申请授权量 $Y_1$   | 知识产出     |
|      | 高技术产业增加值 $Y_2$  | 经济产出     |

## 4 实证检验

### 4.1 湖南省历年创新效率评估

根据以上 DEA 模型，通过使用 Deap 2.1 对湖南省 13 个地级市统计年内的指标数据进行运算分析，得到如图 3 所示的分析结果。由图 3 可以看出，ML 指数有较大波动，最高达 1.447，最低为 0.655。而且可以直观地看出，ML 指数增长主要源于技术进步指数，技术进步指数高时，ML 指数也升高，这再一次证明了科学技术是第一生产力。

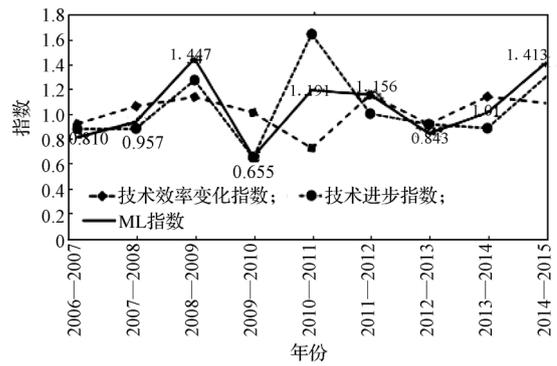


图 3 湖南省历年创新 Malmquist 指数变化情况

Fig. 3 Innovation malmquist index over the years in Hunan Province

观察图 3 还可以得知，统计年间湖南省的 ML 指数主要有两个峰点（2008—2009）（2010—2011）和两个谷点（2009—2010）（2012—2013）。而在 2006—2008 年，ML 指数处于上升状态，至 2008 年达到最高值，增长率约为 50%，这表明改革开放以来，经济发展的态势基本呈上升趋势。2009—2010 年处于下降阶段，可能是因为受到金融危机的影响，2009 年跌到最低谷。然后，2010—2011 年又慢慢复苏，这是因为 2008 年金融危机之后，国家面临着经济全球发展模型、供需关系、治理结构等变化，因而主动寻求积极发展战略，加快了走出去的步伐。2011—2012 年又有下降的趋势，可能是因处于中国经济转型升级过程中的适应阶段。从 2012 年以后，ML 指数就处于飞速增长的状态，增长趋势比较明显。这是因为，在经济新常态下，国家提倡创新驱动发展战略，这几年我国经济都以中高速增长，省域的经济增长也是如此。

### 4.2 各地级市创新效率评估

本研究选取湖南省 13 个地级市（湘西州除外），分析各区域的创新效率，因为考虑到城市规模的不同对其创新能力也会产生不同的影响，故对比分析不同规模城市的创新效率水平。根据《中国中小城市绿皮书 2015》中相关要求，将湖南省 13 个地级市按人口规模划分为超大城市和特大城市。其中超大城市是指总人口数在 200 万以上的城市，包括长沙、株洲、衡阳、邵阳、岳阳、常德、郴州和永州；特大城市则指总人口数在 100 万~200 万之间的城市，包括湘潭、益阳、怀化、娄底和张家界。因此，不仅可以从各地级市层面来分析湖南省创新效率空间差异的变化情况，也可以将其分为不同规模的城市群来进行研究，这样的分析更加具体和切合实际。通过整理 DEAP，得到湖南省各地级市创新 Malmquist 指数与分解结果，如表 2 所示。

表2 各地级市创新 Malmquist 指数与综合效率

Table 2 Innovation malmquist index and comprehensive efficiency in every individual city

| 城市     | 技术效率变化指数 | 技术进步指数 | 纯技术效率变化指数 | 规模效率指数 | ML 指数 | 综合效率  |
|--------|----------|--------|-----------|--------|-------|-------|
| 长沙     | 0.927    | 0.792  | 0.955     | 0.971  | 0.734 | 1.000 |
| 株洲     | 1.007    | 0.821  | 1.004     | 1.003  | 0.827 | 1.000 |
| 湘潭     | 1.038    | 0.905  | 1.013     | 1.025  | 0.940 | 0.714 |
| 衡阳     | 0.934    | 0.967  | 1.007     | 0.927  | 0.903 | 0.866 |
| 岳阳     | 1.033    | 1.025  | 1.058     | 0.977  | 1.059 | 0.543 |
| 常德     | 0.957    | 1.097  | 0.992     | 0.965  | 1.101 | 1.000 |
| 益阳     | 1.018    | 1.188  | 1.000     | 1.018  | 1.210 | 0.848 |
| 娄底     | 1.006    | 0.911  | 1.000     | 1.006  | 0.916 | 0.949 |
| 邵阳     | 0.989    | 1.021  | 0.995     | 0.994  | 1.011 | 0.898 |
| 张家界    | 0.943    | 1.146  | 0.943     | 1.000  | 1.080 | 0.540 |
| 郴州     | 1.012    | 1.076  | 0.947     | 1.069  | 1.089 | 0.545 |
| 永州     | 1.156    | 1.133  | 1.026     | 1.127  | 1.310 | 0.271 |
| 怀化     | 1.101    | 1.182  | 1.000     | 1.101  | 1.301 | 0.420 |
| 均值     | 1.009    | 1.020  | 0.995     | 1.014  | 1.038 | 0.738 |
| 长株潭城市群 | 0.998    | 0.956  | 0.999     | 0.998  | 0.954 | 0.996 |
| 超大城市   | 0.989    | 0.960  | 1.004     | 0.985  | 0.950 | 0.849 |
| 特大城市   | 0.987    | 1.101  | 0.984     | 1.003  | 1.087 | 0.879 |

分析表2中数据可知:

1) 各地级市中, ML 指数大于1的地级市有8个, 约占总体的62%。说明从整体上来看, 湖南省各地级市全要素生产率大多处于增长状态; 从平均来看, ML 指数为1.038, 即每年各地级市创新效率约增长3.8%, 促进创新效率的提高, 主要依赖技术进步效应(2.0%)和规模效应(1.4%)。虽然增长幅度比较小, 但至少表明投入增加带来了产出增长。但是从表2中可发现长沙市的 ML 指数低于平均水平, 而实际上长沙市的人力投入占全省的36%, 财力投入占全省的13%, 因此, 长沙市应该充分发挥省会的创新人才优势和资源优势。此外, 还需要加大研发投入, 从而可以最大化提高其产出水平。对于株洲、湘潭、衡阳、娄底, 其 ML 指数小于1, 且娄底的 ML 指数小于综合效率, 故应该加大创新投入强度; 湘潭、衡阳的 ML 指数大于综合效率值, 故应该在已有的规模下, 充分利用资源, 提高技术进步水平。总之, 各城市应该各取所长, 充分利用各自的地理优势, 发展各地的特色产业, 从而提高各自的产出水平, 提高城市的竞争力。

2) 运用 BBC 模型进行静态分析, 可知各地级市综合效率整体处于中等水平, 13 市的平均综合效率为0.738。达到 DEA 有效的城市有3个, 优秀水平(即效率值大于0.9)的1个, 中等水平(效率值为0.8~0.9)的3个, 良好水平(效率值为0.7~<0.8)的2个。长株潭城市群的综合效率为0.996, 与整体综合效率相比增长了25.8%。长株潭作为湖南省经济发展水平的代表性城市群, 无论是从物力投入还是人才投入, 都

是比较丰富的, 但其 ML 指数还下降了5%, 因此, 长株潭城市群要更好、更快地加快经济增长。提高创新效率, 应该从创新管理、制度变革中找准出路, 充分利用创新资源。相比超大城市和特大城市, 无论是从 ML 指数还是综合效率都可看出, 特大城市总体的全要素增长率水平要大于超大城市的的增长。

## 5 结论与建议

本文利用湖南省2006—2015年间各地级市面板数据, 基于 Malmquist 指数法对该期间创新效率进行了测算、分解及分析, 并指出创新效率的增长主要依靠技术进步, 在此基础上加入长株潭城市群、超大城市、特大城市等进行比较分析, 主要结论如下:

1) 样本统计期间, 湖南省的创新效率存在两个峰点(2008—2009)(2010—2011)和两个谷点(2009—2010)(2012—2013), 但整体呈现增长态势, 其动力主要来源于技术进步。

2) 从整体来看, 2006—2015年湖南省创新效率的平均增长率为3.8%, 这主要是来源于技术进步(2.0%)以及规模效率(1.4%)的增长。

3) 根据各城市的创新情况, 从综合效率来看, 长沙、株洲、常德等属于 DEA 有效城市。统计年间, 邵阳、益阳的 ML 指数都大于1, 有表现为创新效率增长的趋势, 而永州的综合效率水平最低, 不仅要加强规模效应, 更要注重技术进步水平的提升, 依托科技进步带动创新效率水平的提高。

4) 不管是对湖南省创新效率进行评价, 还是对其各地级市创新效率进行评价, 都得出一个统一的结

论,即技术进步和规模效应都要加强。

此外,科学技术支出投入不够,R&D人员也还需要增加,从而导致整体创新效率还有待提高。笔者认为可以通过以下渠道进行改善:

1)有效调整科技要素的比例。在加强各项创新投入的过程中,不仅要保证数量强度,更要保证投入的质量。投入资源可根据每个地区本身的发展水平和优势产业等的不同而更改其分配比例。这样才能充分发挥各自优势,对资源的利用也能达最大化。

2)强化创新过程的全过程管理,提升研发效率。对那些技术无效且规模有效的城市,应加强管理创新和制度变革,以便更好地提升创新水平。

3)重视引进创新型人才的同时,培养本地人才。政府应创造有利环境,将教育、科技作为创新活动的基础,重视人才的发掘和培养,学习长株潭城市群的发展模式,学习一带一路战略中的积极走出去战略,将自身优势发挥到极致的同时,补充自身短板,互相学习和借鉴优秀经验,从而提高整体创新水平。

#### 参考文献:

- [1] 任毅,丁黄艳,任雪.长江经济带工业能源效率空间差异化特征与发展趋势:基于三阶段DEA模型的实证研究[J].经济问题探索,2016(3):93-100.  
REN Yi, DING Huangyan, REN Xue. Spatial Heterogeneity and Development Trend of Industrial Energy Efficiency in the Yangtze River Economic Belt: An Empirical Study Based on a Three-Phase DEA Model [J]. Inquiry into Economic Issues, 2016(3): 93-100.
- [2] 屈小娥.中国省际工业能源效率与节能潜力:基于DEA的实证和模拟[J].经济管理,2011(7):16-24.  
Qu Xiao'e. Chinese Provincial Industrial Energy Efficiency and Energy Saving Potential: Empirical and Simulation-Based DEA[J]. Economic Management, 2011(7): 16-24.
- [3] 孟晓,孔群喜,汪丽娟.新型工业化视角下“双三角”都市圈的工业能源效率差异:基于超效率DEA方法的实证研究[J].资源科学,2013,35(6):1202-1210.  
MENG Xiao, KONG Qunxi, WANG Lijuan. Regional Disparity Analysis of Industrial Energy Efficiency in Double Triangle Deltas[J]. Resources Science, 2013, 35(6): 1202-1210.
- [4] LU Y H, SHEN C C, TING C T, et al. Research and Development in Productivity Measurement: An Empirical Investigation of the High Technology Industry[J]. African Journal of Business Management, 2010, 4(13): 2871-2884.
- [5] 高晓光.我国高技术产业创新效率的时间演变与地区分布特征[J].产经评论,2015,6(5):30-41.  
GAO Xiaoguang. Temporal Process and Regional Distribution Characteristics of China's High-Tech Industry Innovation Efficiency[J]. Sankei Review, 2015, 6(5): 30-41.
- [6] 司桂霞,徐长乐.基于DEA模型的长三角高技术产业投入产出绩效分析[J].科技管理研究,2015(1):77-80.  
SI Guixia, XU Changle. The Input and Output Performance Analysis of High-Tech Industry in the Yangtze River Delta Based on DEA Model[J]. Science and Technology Management Research, 2015(1): 77-80.
- [7] 王晓云,魏琦,胡贤辉.我国城市绿色经济效率综合测度及时空分异:基于DEA-BBC和Malmquist模型[J].生态经济,2016,32(3):40-45.  
WANG Xiaoyun, WEI Qi, HU Xianhui. Comprehensive Evaluation of Cities' Green Economy Efficiency and Spatial and Temporal Differentiation in China: Based on the DEA-BCC and Malmquist Model[J]. Ecological Economy, 2016, 32(3): 40-45.
- [8] 李金滢,李泽宇,李超.城市绿色创新效率实证研究:来自长江中游城市群的证据[J].江西财经大学学报,2016(6):3-16.  
LI Jinyan, LI Zeyu, LI Chao. An Empirical Study on Urban Green Innovation Efficiency: Evidence from Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2016(6): 3-16.
- [9] 吴传清,黄磊,文传浩.长江经济带技术创新效率及其影响因素研究[J].中国软科学,2017(5):160-170.  
WU Chuanqing, HUANG Lei, WEN Chuanhao. Research on the Technical Innovation Efficiency and Its Influence Factors of the Yangtze Economic Belt[J]. China Soft Science, 2017(5): 160-170.
- [10] MALMQUIST S. Index Numbers and Indifference Curves [J]. Trabajos de Estadística, 1953(2): 209-242.
- [11] FÄRE R, GROSSKOPF S, NORRIS M. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Changes in Industrialized Countries: Reply[J]. The American Economic Review, 1997, 87(5): 1040-1044.
- [12] 厉伟,蒋飞.一带一路沿线省市区域创新效率的比较研究[J].中国资源科技导刊,2016(5):1-2.  
LI Wei, JIANG Fei. A Comparative Study on Regional Innovation Efficiency of Provinces and Cities Along the Belt and Road Initiative[J]. China Science and Technology Resources Review, 2016(5): 1-2.

(责任编辑:廖友媛)