

中国地级以上城市科技资源配置效率的时空格局

范 斐, 杜德斌, 李 恒, 游小垚

(华东师范大学科技创新与发展战略研究中心, 上海 200241)

摘要: 根据科技资源的内涵与结构, 利用全国286个地级以上城市2001-2010年科技资源的相关数据, 应用改进的数据包络分析方法(DEA)计算出各城市在不同时期的科技资源配置效率, 在此基础上, 借助探索性空间数据分析方法(ESDA)对研究期内各城市科技资源配置效率的空间分布格局及演变态势进行分析和探讨。结果表明: ① 全国地级以上城市的科技资源平均配置效率一直处于较低水平, 且在高低交错中呈现逐年递减趋势, 东部地区与中西部地区的科技资源平均配置效率差距逐渐扩大。② 在空间分布上, 科技资源平均配置效率与城市群存在较好拟合。从空间的演变格局来看, 科技资源配置效率空间自相关显著, 呈现出相似值(高高或低低)之间的空间集聚, 空间分布的集聚现象逐步增强, 在地理空间上总体差异具有变小的趋势。③ 科技资源配置相对效率的差异是区域发展的普遍现象, 它的存在与演变是地理位置、科技资源禀赋、科技环境等诸多方面直接或间接的影响和反映。

关键词: 地级以上城市; 改进的数据包络分析; 探索性空间数据分析; 科技资源配置效率

DOI: 10.11821/dlxb201310003

1 引言

新古典经济学家保罗·罗默的内生经济增长模型提出, 技术进步是经济增长的核心。伴随着知识经济发展和科技全球化的到来, 国家创新能力对实现社会经济发展目标将起到关键性的作用, 创新已经成为衡量一个国家核心竞争力的关键因素。作为创新活动物质基础的科技资源通常被称为“第一资源”, 其是指为了实现科学技术的不断进步而进行的人力、财力、物力、信息等科技要素投入的总和。研究表明, 科技资源投入的数量与质量是构成国家创新能力的重要基础, 从根本上决定着这个国家的创新水平和创新绩效^[1]。科技资源的优化配置对于合理分配科技资源, 盘活科技资源存量, 实现国民经济的创新驱动和转型发展具有重要意义, 已越来越成为当前经济地理学中的热点议题。一直以来, 国外关于科技资源配置的研究在宏观方面主要是从国家层面展开的, 通过科技政策、科技计划的实施来实现国家科技资源配置^[2-3]。科技资源因为具有某种公共物品性和正的外部性^[4], 因而存在市场配置失灵的地方, 政府公共政策的供给就成为弥补市场失灵的有效途径^[5]。宏观科技资源的配置研究始于Nelson的创新体系理论, Nelson最早对各国的科技资源配置方式、科技政策内涵、科技经费来源、研发支出等进行比较^[6]。Leoncini通过对德国和意大利科技体系的分析, 指出科技资源配置路径选择的关键影响因素是科技政策与制度对技术演化的作用^[7]。Ekboir认为随着科技资源配置复杂性的增加, 科技政策应相应越来越具有针对性与时效性, 科技政策应根据科技环境的变化及时调整^[8]。在微观层面的科技资源

收稿日期: 2012-07-31; 修订日期: 2013-02-21

基金项目: 国家软科学研究计划重大公开招标项目(2012GXS1D002) [Foundation: National Key Public Bidding Project for Soft Science Research Plan, No.2012GXS1D002]

作者简介: 范斐(1984-), 男, 河南南阳人, 博士研究生, 主要从事城市与区域创新研究。E-mail: fanfei0716@sina.com

通讯作者: 杜德斌(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 中国地理学会理事(S110000210M), 主要从事世界地理和科技创新问题研究。E-mail: dbdu@re.ecnu.edu.cn

配置研究主要是从企业层面展开的关于研发资源配置的研究。Scholefield (1994) 提出企业战略中应融入商业杠杆与技术杠杆原则进行研发资源配置^[9]。Segerstrom 和 Zolnierrek (1999) 指出政府的研发补贴与税收优惠等科技措施使热衷于研发投资的企业更具有成本优势^[10]。Peyrefitte 和 Brice (2004) 指出研发活动的效率决定了边际研发资源配置^[11]。Liu 和 Shieh (2005) 发现国家研发补贴与企业自有资本金之间存在正相关关系^[12]。在研究方法上, 国外学者主要采用德尔菲法^[13-14]、系统动力学方法^[15]、马尔可夫过程^[16]、层次分析法^[17-18]等方法, 建立相应的决策模型以实现研发资源优化配置的模拟^[19]。

在发达国家的市场经济中, 企业基本代表了研发活动的主体与整个社会的创新能力, 因此国外科技资源配置研究的重点在于企业研发资源配置。而在我国, 虽然企业作为研发活动主体的地位已经确立, 但企业与高校、科研单位的联系并不紧密, 在资源配置过程中仍存在科技成果转化、科技与经济互促性等问题。因此, 我们必须从整体区域单元上考虑全社会科技资源配置问题, 而不应仅仅限于对研发活动和企业层面的研究。目前国内对科技资源配置的研究主要集中在定性分析区域科技资源体系内涵、配置机制与能力, 以及其制度影响因素等方面^[20-22]。定量研究也主要是强调区域整体的投入与产出, 从不同角度构建科技资源配置指标体系, 运用不同方法评价省级层面^[23-26]或是某一特殊区域^[27-28]的科技资源配置效率。基于省级层面的研究, 可以较好的展现区域科技资源配置效率发展大格局, 但是却忽略了省内区域科技资源配置效率的非均质性; 基于特殊区域的研究, 又难以从全国层面展现不同省域科技资源配置效率的差异。就区域科技政策而论, 同样的区域科技政策在同一省份的不同区位上也会产生不同的政策响应, 因此往往存在省级层面分析单元过大, 特殊区域研究又不具有普遍性的弊端^[29]。在知识经济大潮下, 城市的全球化与智慧化正成为所有城市共同经历的过程, 城市作为国家创新系统的主体地位也日益突出^[30-31], 有鉴于此, 本文尝试利用改进的数据包络方法 (DEA) 对我国地级以上城市 (除拉萨) 科技资源配置效率进行评价, 从时空维度揭示其科技资源配置效率的分布差异与变化规律, 在此基础上, 应用揭示空间依赖性与异质性的探索性空间数据分析方法 (ESDA) 来探讨科技资源配置效率的时空关联和演变趋势, 以期为行政区经济体制下的中国科技资源可持续利用提供合理化建议。

2 研究方法与数据来源

2.1 改进的 DEA 模型

科技资源配置效率反映了各评价对象科技资源配置状况的相对效果, 表明各地区科技资源配置能力的强弱, 而并非真正的科技资源配置效率值, 这种相对性可以直观地刻画出各地区科技资源配置效率的差异。科技资源配置效率研究是一种投入产出的生产率分析, 适合应用融合了线性规划、多目标规划等数学规划的数据包络分析法 (DEA) 进行评价。而由于传统的 DEA 模型对有效决策单元无法作进一步的精确划分, 因此本文采用改进的 DEA 模型^[32-33]来测算 2001-2010 年中国地级以上城市科技资源配置效率。

设有 n 个决策单元 DMU_k ($k = 1, 2, \dots, n$), 每一个决策单元有 m 个输入指标, s 个输出指标, 输入向量为 $X_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk})^T$, 输出向量为 $Y_k = (y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{sk})^T$ 。其中, x_{ik} 与 y_{rk} 分别表示 DMU_k 的第 i 个输入指标值和第 r 个输出指标值, v_i 、 u_r 分别为相应指标的权重系数; C_m 、 B_s 是根据输入指标、输出指标重要性大小构造的判断矩阵; λ_m 、 λ_s 分别是判断矩阵 C_m 、 B_s 的最大特征值。

在已有 DMU 的基础上, 引入两个虚拟 DMU , 即最优 DMU 与最劣 DMU , 分别记为 DMU_{n+1} 、 DMU_{n+2} 。最优虚拟决策单元 DMU_{n+1} 的输入指标值取 n 个实际 DMU 相应指标值的最小值, 输出指标值取 n 个实际 DMU 相应指标值的最大值; 类似地, 最劣虚拟决策单元

DMU_{n+2} 的输入指标值取 n 个实际 DMU 相应指标值的最大值，输出指标值取 n 个实际 DMU 相应指标值的最小值。改进的 DEA 模型的具体形式见式 (1)。

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \sum_{r=1}^s u_r y_{r,n+2} \\ s.t. \sum_{i=1}^m v_i x_{i,n+2} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{r,n+1} - \sum_{i=1}^m v_i x_{i,n+1} = 0 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j \neq n+1 \\ (C_m - \lambda_m E_m) v \geq 0 \\ (B_s - \lambda_s E_s) u \geq 0 \\ u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{array} \right. \quad (1)$$

由上述模型求得公共权重 u_r^* ， v_i^* ，利用公式：

$$\theta_k^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}} \quad (2)$$

求出各 DMU 的相对效率值，值越大，系统运行效率越高。

2.2 探索性空间数据分析 (ESDA)

探索性空间数据分析 (Exploratory Spatial Data Analysis，简称 ESDA) 是一系列空间数据分析技术和方法的集合，用来描述数据的空间分布规律并用可视化的方法表达，探讨数据的空间结构，以及揭示现象之间的空间相互作用机制^[34]。全局 *Moran's I* 指数主要探索科技资源相对配置效率值在整个区域的空间分布特征；局部 *Moran's I* 主要探索科技资源相对配置效率在子区域上的空间异质性；结合 *Moran* 散点图和局部 *Moran's I* 指数做出的 LISA 集聚地图可以直观地显示不同要素的集聚类型和显著性水平。

2.2.1 空间权重矩阵 一般定义空间权重矩阵是基于一个二元对称的邻接矩阵进行行标准化处理得到的，这种空间权重矩阵的局限性是把所有邻居的影响作用都假设相同，而不相邻的空间相关性被忽略不计。因此本文的空间权重矩阵是基于距离函数关系，该矩阵中的元素定义如下：

$$W_{ij} = \begin{cases} 0 & (i = j) \\ 1/d_{ij} & (i \neq j) \end{cases} \quad (3)$$

式中： d_{ij} 是城市 i 和城市 j 重心点之间的距离。这样能比较客观表达各个城市间的科技资源配置效率关联。本文以下使用的空间权重矩阵 W 是把上面基于距离定义的空间权重矩阵行标准化处理，即每一行的元素和为 1。

2.2.2 全局空间自相关系数 *Moran's I* 全局 *Moran's I* 定义是：

$$Moran's\ I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} z_i z_j}{\sigma^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}} \quad (4)$$

式中： n 是观察值的数目； x_i 是在位置 i 的观察值； z_i 是 x_i 的标准化变换， $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ ， $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ， $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 。通过行标准化的权重矩阵计算的全局 *Moran's I* 指数值介于 -1 到 1 之间，[-1, 0)，0 和 (0, 1] 分别为空间负相关，空间不相关和空间正相关。原假设是没有空间自相关，根据下面标准化统计量参考正态分布表可以进行假设检验：当

$|Z| \geq 2.58$, $p \leq 0.01$ 时非常显著; 当 $|Z| \geq 1.96$, $p \leq 0.05$ 时显著; 当 $|Z| < 1.96$, $p > 0.05$ 时不显著。

2.2.3 局域空间自相关系数 Local Moran's I 区域 i 的 Local Moran's $I^{[35]}$ 指数定义是:

$$I_i(d) = z_i \sum_{j \neq i}^n W_{ij} z_j \quad (5)$$

该系数正值表示同样类型属性值的要素相邻近, 负值表示不同类型属性值相邻近, 该指数值的绝对值越大邻近程度越大。 z_i 和 z_j 是区域 i 和 j 上观测值的标准化, W_{ij} 是空间权重行标准化形式。

2.3 指标选取

本文主要从输入与输出的角度出发来考虑科技资源配置效率。在科技资源输入方面, 一些学者认为科技人力资源和科技财力资源是科技生产的基本要素和科技生产得以进行的首要条件^[24-25, 28], 因此仅把这两种科技资源要素作为研究对象。这样虽抓住了重点, 但却不够全面。由于区域科技资源配置能力主要是体现在其对科技人力资源、科技财力资源、科技物力资源、科技信息资源等要素的配置上, 因此本文把这些都作为科技资源配置研究的对象。其中科技人力资源是科技资源中最具能动性的资源要素; 科学研究、技术服务从业人员数则反映了区域对人才的吸引能力, 是区域能够进行持续创新的本质所在; 科技财力资源是区域开展科技活动的基础; 财政科学支出强度是表征区域对科技活动的支持程度与衡量区域科技能力的重要标准; 科技物力资源是科技人员开展科技活动的物质基础, 区域为开展科技活动而进行的固定资产投资在一定程度上体现了区域科技物力资源要素的充裕程度。此外, 良好的科技信息资源是科技活动得以按照预定目标顺利展开的基本保障与有力支撑, 而国际互联网用户数可以较好地反映出区域科技信息资源的发展程度。在科技资源输出方面, 科技论文数与发明专利数代表了知识形态存在的科研成果, 其中专利授权数由于受到专利授权机构等人为因素的影响, 具有较大的不确定性, 因此专利申请受理数比专利授权数更能够反映科技资源产出的真实水平。

综上, 本研究所选用的输入指标为科学研究、技术服务从业人员数(万人)、财政科学支出(万元)、全社会固定资产投资(亿元)、国际互联网用户数(户); 输出指标为检索科技论文数(篇)与检索三大专利申请数(件)。

2.4 数据来源

本文结合我国各地级以上城市的科技资源配置相关数据进行分析, 数据纵向覆盖10年(2001-2010年), 横向覆盖中国286个地级以上城市, 共2860个决策单元。科学研究、技术服务从业人员数(万人)、财政科学支出(万元)、全社会固定资产投资(亿元)^①、国际互联网用户数(户)等科技输入指标数据主要来源于《中国城市统计年鉴》(2002-2011年), 对于部分缺失的数据进行调整和处理^②。而科技产出中的检索科技论文数(篇)分为中文与英文文献检索, 其中中文文献来源于中国期刊全文数据库, 本文采用在CNKI中按照“作者单位”选项检索某一预设城市, “发表时间”以年为单位对286个地级以上城市在2001-2010年10年期间的论文数量进行检索。英文文献检索数量来源于Web of Science (WoS) 数据库, 在WoS的检索界面选择高级检索, 将时间段分别限定在研究期间的每一年, 输入“CI=城市名称”(CI即是城市“City”的简写), 即可获得每个城市历年发表的英

① 由于无法完整的获得每个地级以上城市历年固定资产价格指数, 仅以各地级以上城市所在的省、市、区的固定资产价格指数对其全社会固定资产投资总额(亿元)进行价格指数的调整, 然后使用永续盘存法对固定资产进行核算。

② 本文主要运用拟合法来对缺失数据进行处理。缺失数据主要分布在输入指标上, 总计缺失139个原始数据, 占整个研究样本数据的0.81%, 因此对于缺失数据的处理并不影响对最终结果整体真实性的评价。

文论文数量。检索三大专利申请数 (件) 通过检索《中国专利全文数据库 (知网版)》获得, 检索步骤如下: 首先选择“初级检索”, 其次选中“检索发明专利”、“实用新型专利”、“外观设计专利”三个子库, 然后在“检索项”中选择地址, 在“检索词”中输入需要检索的城市名称, 最后以年为单位选择“申请日”, 分别获得 286 个地级以上城市在 2001-2010 年 10 年期间的 3 大专利申请数。

3 科技资源配置效率的测算

3.1 时间分异特征

利用改进的 DEA 模型分别计算出 2001-2010 年中国 286 个地级以上城市的科技资源配置效率。从计算结果可以发现, 全国科技资源平均配置效率一直处于较低水平, 且在高低交错中呈现逐年递减趋势 (图 1), 由 2001 年的 0.3447 下降到 2010 年的 0.2622。东部地区与中西部地区的科技资源平均配置效率差距逐渐扩大^③, 东部地区的科技资源平均配置效率相对比较稳定, 研究期内变化不大, 一直在 0.3572 左右徘徊, 而中西部地区的科技资源平均配置效率却下降较快, 分别由 2001 年的 0.3299 与 0.3631 下降到 2010 年的 0.2143 与 0.1921。

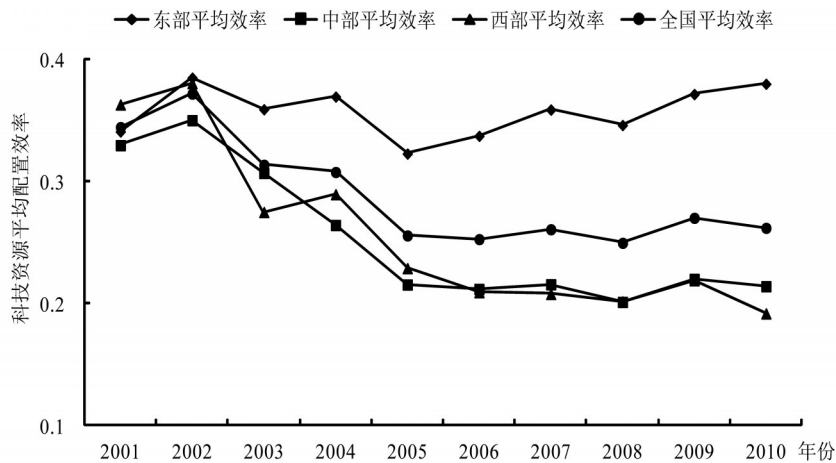


图 1 区域科技资源平均配置效率变化趋势图
Fig. 1 Changes of the average allocation efficiency of regional technological resources

为了进一步辨析研究期内各地级以上城市科技资源配置效率的相对变化趋势, 揭示其在全国科技资源配置效率变动的影响, 本文采用有序聚类法来对科技资源配置效率的发展阶段进行划分^④。总共分为 6 个阶段, 从高到低依次为: 科技资源配置效率高级阶段、科技资源配置效率较高级阶段、科技资源配置效率中级阶段、科技资源配置效率较低级阶段、科技资源配置效率低级阶段与科技资源配置效率初级阶段, 各阶段科技资源配置效率情况如表 1 所示。从表 1 可以看出, 研究期内处于科技资源配置效率高级、较高级、中

③ 各地级市所在的区域由其所在省、市、区所属的区域决定。东部地区包括辽宁、河北、北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东与海南, 共计 101 个地级市; 中部地区包括黑龙江、吉林、山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西, 共计 101 个地级市; 西部包括内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、四川、云南、贵州、西藏、重庆、广西, 共计 84 个地级市。

④ 由于目前科技资源配置效率的评价指标体系不一致, 科技资源配置效率评价也并没有相应统一的划分标准, 因此本文采用有序聚类对 286 个地级市科技资源配置效率进行划分。

表1 科技资源配置效率分级、分区域统计

Tab. 1 The regional distribution statistics of the technological resources efficiency at different stages

年份	高级阶段		较高级阶段		中级阶段		较低级阶段		低级阶段		初级阶段	
	地带分布	合计	地带分布	合计	地带分布	合计	地带分布	合计	地带分布	合计	地带分布	合计
2001	23/22/20	65	8/10/13	31	15/10/9	34	21/21/12	54	25/27/12	64	9/11/18	38
2002	28/25/22	75	11/13/9	33	13/7/16	36	23/21/8	52	20/26/18	64	6/9/11	26
2003	25/18/12	55	10/6/10	26	13/15/9	37	20/21/18	59	25/26/11	62	8/15/24	47
2004	24/14/16	54	12/7/6	25	13/10/10	33	23/20/14	57	19/26/15	60	10/24/23	57
2005	17/10/10	37	10/3/6	19	12/7/5	24	22/23/12	57	28/29/20	77	12/29/31	72
2006	20/5/9	34	12/10/4	26	13/7/7	27	17/14/7	38	25/31/25	81	14/34/32	80
2007	25/7/10	42	11/5/3	19	15/8/3	26	17/18/16	51	22/34/19	75	11/29/33	73
2008	20/8/9	37	14/3/2	19	15/10/6	31	14/11/13	38	23/35/22	80	15/34/32	81
2009	26/9/8	43	14/5/3	22	11/12/8	31	12/14/16	42	23/34/22	79	15/27/27	69
2010	24/6/6	36	13/7/1	21	10/10/7	27	17/16/16	49	25/36/24	85	12/26/30	68

注：表1中数字分别为东部、中部、西部与全国在科技资源配置效率不同发展阶段所包含的城市数目。

级、较低级阶段的城市数目都不同程度的在波动中有所减少。其中在高级阶段：东部地区城市数目变化不大，基本保持在23个左右，而中西部地区变化较大，分别由2001年的22与20个同时下降到2010年的6个。在较高级阶段：中部与西部地区的城市数目分别由2001年的10个与13个下降到7个与1个，而东部地区的城市数目却由8个上升到13个。在中级阶段与较低级阶段：3个地区的城市数目虽然都有所升降，但变化幅度相对不大，一般不超过5个。与此同时，处于科技资源配置效率低级与初级阶段的城市数目却有了大幅增长，尤以中西部地区增长较多。在低级阶段：中西部地区的城市数目分别由27与12个增加到36与24个；在初级阶段，中西部地区的城市数目分别由11个与18个增加到26个与30个。

这一变化过程表明：东部地区发达的经济基础与雄厚的物质条件为科技创新与知识溢出提供了良好的科技进步环境，因此多年来科技产出与科技投入始终能够保持同步快速增长。中西部大多数地级以上城市在研究基期属于典型的科技低投入、低产出地区，有限的投入并不需要很高的产出就能产生相对较高的科技资源配置效率，但随着国家西部大开发战略与中部崛起战略的投放，中西部地区的科技资源投入有所增多。科技产出却并没有成比例的增加，科技产出的增长速度滞后于科技投入的增长速度，科技资源配置效率不增反降。由于中西部地区的地级以上城市数量在全国占有较大比例，因此整体上拉低了全国的科技资源平均配置效率，并使之呈现出逐年下降趋势。

3.2 空间分异特征

根据各地级以上城市历年科技资源配置效率情况，绘制2001-2010年各地级以上城市科技资源平均配置效率的发展阶段分布图(图2，图中空白区域为拉萨市及其他地级以上城市以外的区域，如自治州等)。从图上可以看出，各地级以上城市的科技资源配置效率分布并不均匀，基本呈现东、中、西依次递减的分布格局，处于科技资源配置效率高级与较高级阶段的城市呈现群状分布，与中国正在形成的23个城市群呈现出较好的拟合状态^⑤。具有较高级以上科技资源配置效率且集中分布的地区涵盖了除天山北坡以外的所有达标城市群，而未达标城市群中包含有南北钦防、晋中、兰白西、黔中与滇中。在这些城市群中，处于高级阶段科技资源配置效率的城市有：长江三角洲的上海、南京、苏州、常州、杭州、镇江、宁波，珠江三角洲的东莞、汕头、深圳、中山、佛山、广州、珠海、阳

⑤ 中国科学院地理科学与资源研究所在《2010中国城市群发展报告》指出：中国正在形成的23个城市群呈现为“15+8”的空间结构格局，其中15个达标城市群包括长江三角洲、珠江三角洲、京津冀、山东半岛、辽东半岛、海峡西岸、长株潭、武汉、成渝、环鄱阳湖、中原、哈大长、江淮、关中、天山北坡；8个未达标城市群包括南北钦防、晋中、银川平原、呼包鄂、酒嘉玉、兰白西、黔中和滇中。

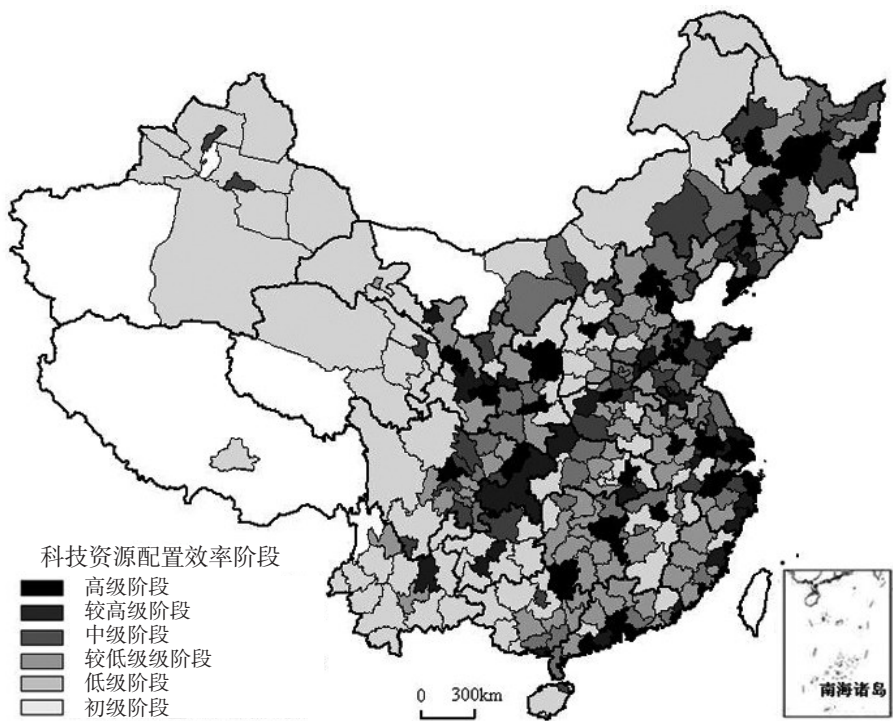


图2 2001-2010年区域科技资源平均配置效率发展阶段分布

Fig. 2 The geographical distribution of the average allocation efficiency of regional technological resources at different stages during 2001-2010

江，京津冀的北京、天津，山东半岛的莱芜、淄博、东营、济南、威海，辽东半岛的沈阳、大连，长株潭的长沙、湘潭、株洲，成渝的成都与达州，哈大长的哈尔滨、大庆、长春、鸡西，关中的西安与延安，兰白西的兰州与天水。其他城市群中单独分布具有高级科技资源配置效率的城市还有：海峡西岸的厦门，武汉都市圈中的武汉，环鄱阳湖的南昌，中原的郑州，江淮的合肥，南北钦防的桂林以及晋中的太原。

中国地级以上城市科技资源配置效率及其变化，呈现出集聚连片分布的空间格局，表明临近城市可能存在空间关联，因此可利用空间自相关分析方法探索中国地级以上城市科技资源配置效率的空间分布模式。

4 科技资源配置效率分布模式的时空演化

4.1 科技资源配置效率的全局空间自相关分析

表2给出2001-2010年不同时期^⑥地级以上城市科技资源配置效率的全局自相关Moran's I 指数的值。通过Z统计量检验，Moran's I 指数在1%的显著水平上除在2003-2005年表现为显著以外，在其余3个时期都表现为非常显著。地级以上城市的科技资源配置效率在各个时期都表现为正的相关性，这就说明相邻城市的科技资源配置效率在空间分布上呈现出集聚现象，科技资源配置效率较高的城市邻近，科技资源配置效率较低的城市也互

⑥ 不同时期的划分以国家实行“十五”与“十一五”计划的时间段为依据，而2002年底党的“十六大”与2008年的金融危机又分别成为“十五”与“十一五”计划实施阶段的关键时间节点，据此本文将研究周期划分为2001-2002年、2003-2005年、2006-2008年、2009-2010年四个时期。

相邻近；同时，从横向来看，*Moran's I* 的值随着时间的推移呈现出上升的趋势，从 0.1101 上升到 0.2814，这就说明随着中国社会经济的快速发展与综合国力的稳步提高，各个城市之间联系日益紧密，科技资源配置效率的空间相关性也日益加大，空间分布的集聚现象在逐步增强。

4.2 科技资源配置效率的局域空间自相关分析

科技资源配置效率总体差异不断缩小仅仅是其空间分异的反映，不能揭示科技资源配置效率的空间相互作用，也不能表明具体地区的空间集聚特征强度。为研究各地级以上城市是否存在局部集聚现象，以期更直观地反映各地区科技资源配置效率的空间关联模式，则需结合 *Moran's I* 散点图和局部 *Moran's I* 指数。在 *Moran's I* 散点图中，中国各地级以上城市的科技资源配置效率为横坐标，科技资源配置效率的空间滞后值为纵坐标，以散点的横纵坐标的平均值为中心坐标，将平面图分为四个象限，四个象限分别对应着不同城市的局部空间关联：第一象限是高高集聚区 (H-H)，该象限内的城市有较高的科技资源配置效率，并且其周围城市的科技资源配置效率也较高；第二象限是高低集聚区 (H-L)，该象限内的城市有较高的科技资源配置效率，但是其周围城市的科技资源配置效率较低；第三象限是低低集聚区 (L-L)，该象限内的城市有较低的科技资源配置效率，并且其周围城市的科技资源配置效率也较低；第四象限是低高集聚区 (L-H)，该象限内的城市有较低的科技资源配置效率，但是其周围城市的科技资源配置效率较高。结合 *Moran's I* 散点图和局部 *Moran's I* 指数，分别做出 2001-2010 年各地级以上城市在不同时期科技资源配置效率的 LISA 集聚地图 (图 3)。随着时间的推移，四种类型的空间位置与空间集聚范围均有不同程度的变化，科技资源配置效率在地理空间上的连续性逐渐增强。

(1) 高高集聚区 (H-H)。主要集中在长江三角洲、珠江三角洲、京津冀、山东半岛、海峡西岸、长株潭、哈大长与白兰西这 8 个城市群，到 2009-2010 年该类型共有 65 个城市。该类地区科技资源配置效率远远高于周边城市，很明显，它们是区域科技资源配置效率的增长极。2001-2002 年该类型地区主要分布在哈大长、辽东半岛、京津冀、山东半岛、中原、成渝、黔中城市群这一从东北的鹤岗到西南的贵阳近似斜线上，其余地区只是零散分布在长江三角洲、珠江三角洲、长株潭、白兰西与天山北坡 5 个城市群。2003-2005 年从鹤岗到贵阳的近似斜线开始弱化，突出表现在这条斜线的两端即东北与西南地区高高集聚区迅速减少，到 2006-2008 年，西南地区仅贵阳与安顺仍属于高高集聚区，这也从空间演化的角度侧面揭示了全国地级以上城市科技资源平均配置效率日趋减少的原因。而与此同时，东部地区的京津冀、山东半岛、长江三角洲、海峡西岸、珠江三角洲高高集聚地区都有了不同程度的扩展，特别是长江三角洲扩展最为迅速。这些地区经济都比较发达，城市间经济联系密切，要素流动、报酬转移以及技术扩散等溢出效应作用明显，从而带动周边城市科技资源配置效率的逐步提高。

(2) 高低集聚区 (H-L)。该区域主要分布在哈大长、白兰西、成渝、中原、长株潭以及东部沿海城市群高高集聚区的外围，该类地区研究期内在空间变化上相对比较稳定，空间变化主要表现在长江三角洲、山东半岛、辽东半岛、成渝、哈大长、呼包鄂等城市群的缩减，到 2009-2010 年该类型共有 40 个城市。虽然该类地区的科技资源配置效率处于较高水平，但与科技资源配置效率增长极区相比仍有一定差异，科技资源配置效率增长空间较大，目前仍处于为自己集聚能量的阶段。另一方面，受其周边城市吸引能力较弱的制约，该区域科技资源配置效率的较快增长并没有相应带动周围地区的效率增长，而是呈现出一

表 2 科技资源配置效率变化的全局自相关 *Moran's I* 指数
Tab. 2 Global autocorrelation *Moran's I* index of technological resources allocation efficiency

年份	2001-2002	2003-2005	2006-2008	2009-2010
<i>Moran's I</i>	0.1101	0.0982	0.1760	0.2814
Z 值	2.8033	2.5096	4.4275	7.0286
P 值	0.0025	0.0060	0.0000	0.0000

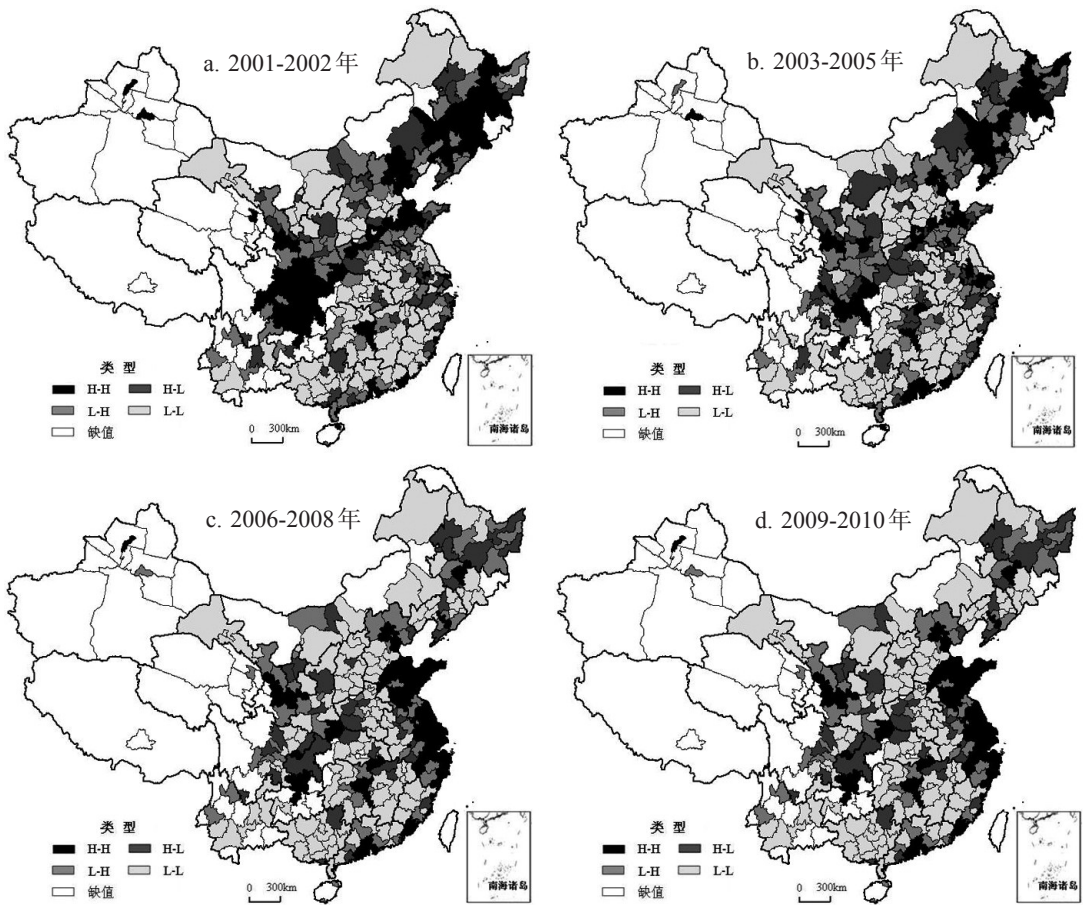


图3 不同时期地级以上城市科技资源配置效率的LISA集聚地分布

Fig. 3 The LISA cluster map of technological resources allocation efficiency in prefecture-level cities in different periods

定的极化效应，这也在一定程度上对该地区整体科技资源配置效率的提高起到了抑制作用。

(3) 低高集聚区 (L-H)。该类地区本身科技资源配置效率较低、增长较慢，受到科技资源配置效率增长较快地区影响较小，是由科技资源配置效率较快地区向增长较慢地区的过渡区，分布在科技资源配置效率增长较快的高高或高低集聚区周围。该类型地区主要分布在哈大长、辽东半岛、京津冀、长江三角洲、珠江三角洲、中原、江淮、成渝、关中、长株潭、白兰西这11个城市群，其分布相对比较稳定，研究期内其主要的变化是哈大长、成渝、白兰西城市群低高集聚区的扩大与长江三角洲、辽东半岛、山东半岛、关中城市群低高集聚区的缩小，到2009-2010年该类型共有54个城市。

(4) 低低集聚区 (L-L)。该类区域在空间分布上主要集中于东部的辽宁、河北、福建，中部的吉林、山西、河南、湖北、安徽、江西、湖南，西部的内蒙古、陕西、四川、贵州、云南、广西、甘肃等大部分地区，到2009-2010年该类型共有127个城市，占全国地级以上城市比重的44.41%。该类区域是科技资源配置效率非常低、增长速度慢的集聚区，其中心地区与周边地区的空间差异程度较小，和前几类集聚区内的地区相比，科技资源配置效率差距显著，提升空间很大。

4.3 科技资源配置效率与经济发展的空间匹配特征

为了更清晰展现地级以上城市科技资源配置效率与经济发展协调性的空间特征规律，

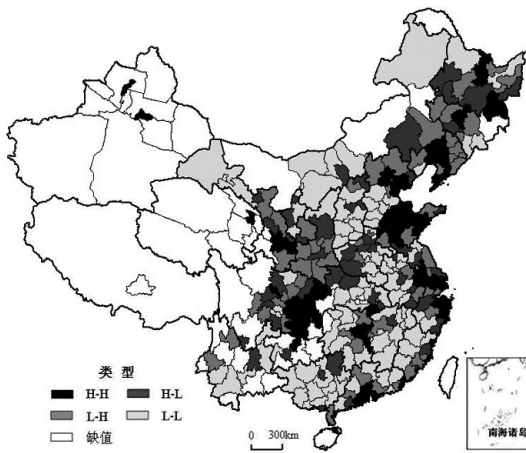


图4 2001-2010年科技资源配置效率LISA集聚
Fig. 4 The LISA cluster Map of technological resources allocation efficiency during 2001-2010

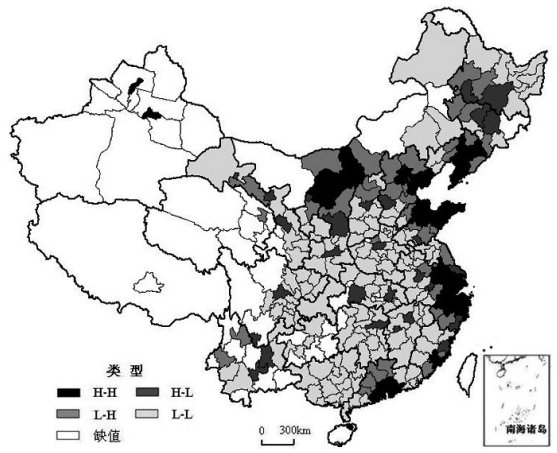


图5 2001-2010年人均GDP发展水平LISA集聚
Fig. 5 The LISA cluster map of development level of average during 2001-2010

分别对2001-2010年各地级以上城市科技资源配置效率与人均GDP发展水平进行空间自相关分析, *Moran's I* 指数分别为0.1492与0.3726, 在Z检验 (1%) 的基础上分别绘制出LISA集聚图4与图5。对比图4和图5可以发现, 两者LISA集聚图的特征具有很多相似之处。经济发展水平高属于高高集聚区 (H-H) 的地区, 其科技资源配置效率也比较高, 主要集中于东部沿海地区, 例如辽东半岛、京津冀、山东半岛、长江三角洲、海峡西岸、珠江三角洲等几个城市群; 经济发展水平低属于低低集聚区 (L-L) 的地区, 其科技资源配置效率也比较低, 例如山西、湖北、江西、广西、云南等广大中西部地区。

这说明经济发展与科技资源配置效率呈现出一定的正相关关系。然而, 科技资源配置效率的提高却并不仅仅依赖于经济发展。例如呼包鄂城市群的人均GDP发展水平在LISA集聚图中属于高高集聚区 (H-H), 但其在科技资源配置效率LISA集聚图却并不属于此种类型, 主要是该城市群内城市属于矿产资源型城市, 地广人稀。随着近年来资源价格的持续走高, 人均GDP有了快速增长, 但是由于该地区科技基础薄弱、科技人才匮乏, 导致该区域科技资源配置效率始终增长较慢。与此同时, 哈大长、白兰西、长株潭、成渝这些城市群的人均GDP发展水平虽然在LISA集聚图中不属于高高集聚区 (H-H), 但其在科技资源配置效率LISA集聚图中都存在高高集聚区 (H-H) 的现象。不难发现, 虽然这些地区人均GDP发展水平不高, 但是其经济实力相对比较雄厚, 具有一定的科技基础, 都是高校与科研单位集中的区域, 科技创新意识和科技进步环境较好, 使科技资源产出相对较高。

5 结论与讨论

(1) 从利用改进的DEA模型计算结果来看, 由于广大中西部地区的科技资源平均配置效率日益降低, 导致2001-2010年全国地级以上城市的科技资源平均配置效率一直呈现出下降趋势, 并致使东部地区与中西部地区的科技资源平均配置效率差距逐渐扩大。然而, 由于广大中西部地区处于科技资源配置效率的低水平发展阶段, 科技资源配置效率具有较大的边际效应, 因此应该逐步加大其科技资源的投入力度, 改进区域经济、产业结构与科技资源利用方式, 大力优化科技创新环境, 通过提升科技资源配置效率以真正实现地方经济的创新驱动与可持续发展。可以预期的是, 未来随着广大中西部地区向科技资源配置的高投入、高产出方向转变, 其科技资源配置效率将得到稳步提高, 全国地级以上城市的科

技资源平均配置效率也将有实质性的提升。

(2) 从空间上来看, 各地级以上城市的科技资源配置效率分布并不均匀, 基本呈现东、中、西依次递减的分布格局, 处于科技资源配置效率高级与较高级阶段的城市呈现群状分布, 与中国正在形成的23个城市群呈现出较好的拟合状态。地级以上城市科技资源配置效率的空间自相关分析结果表明: 科技资源配置效率空间自相关显著, 在各个时期都表现为正的相关性, 表现出相似值(高高或低低)之间的空间集聚, 且这种空间相关性日益加大, 空间分布的集聚现象逐步增强, 在地理空间上总体差异具有变小的趋势。

(3) 对2001-2010年科技资源配置效率进行空间自相关分析, 分四个时期通过LISA集聚图将286个地级以上城市划分为高高集聚区(H-H)、高低集聚区(H-L)、低高集聚区(L-H)和低低集聚区(L-L)4种类型, 反映科技资源配置效率的空间关联模式。研究发现, 不同集聚区在不同的空间范围上都表现出一定的扩展与收缩, 且与之相关的各城市群的扩散强度和方向也存在着差别。同时, 通过对比2001-2010年各地级以上城市科技资源配置效率与人均GDP发展水平的LISA集聚图, 发现经济发展与科技资源配置效率呈现出一定的正相关关系, 然而却不是影响科技资源配置效率提高的唯一要素, 研究区具体的地理位置、人口规模、科技资源禀赋以及科技环境等因素也对科技资源配置效率有一定的影响。

(4) 本研究探讨发现, 改进的DEA模型增强了DMU之间的可比性, 提高了DMU之间的区分性, 在充分尊重客观性的前提下, 适当地考虑到决策者偏好的影响, 将其引入到科技资源相对配置效率的评价是可行的。利用基于距离函数关系的空间自相关分析能够比较客观地表达各个地级以上城市之间的科技资源配置效率空间关联, 有效地解决传统空间自相关方法不相邻的空间关联性被忽略的弊端。

参考文献 (References)

- [1] Zhou Jizhong. Science and Technology Resources Theory. Xi'an: Shaanxi People's Education Press, 1999. [周寄中. 科技资源论. 西安: 陕西人民教育出版社, 1999.]
- [2] Cantner U, Pyka A. Classifying technology policy from an evolutionary perspective. Research Policy, 2001, 30(5): 759-775.
- [3] Alic J A. Postindustrial technology policy. Research Policy, 2001, 30(6): 873-889.
- [4] Dietzenbacher E, Los B. Externalities of R&D expenditures. Economic Systems Research, 2002, 14(4): 407-425.
- [5] Pownall I. Collaborative development of hot fusion technology policies: Strategic issues. Technology Analysis Strategic Management, 1997, 9(2): 193-212.
- [6] Shi Ping. Science and technology the allocation of resources and institutional arrangements of the relations [D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2001. [师萍. 科技资源配置与制度安排的关系研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2001.]
- [7] Leoncini R. The Nature of long-run technological change: Innovation, evolution and technological systems. Research Policy, 1998, 27(1): 75-93.
- [8] Ekboir J M. Research and technology policies in innovation systems: Zero tillage in Brazil. Research Policy, 2003, 32(4): 573-586.
- [9] Scholefield J H. The allocation of R&D resource. R&D Management, 1994, 24(1): 91-97.
- [10] Segerstrom P S, Zolnerek J M. The R&D incentives of industry leaders. International Economic Review, 1999, 40(3): 745-766.
- [11] Peyrefitte J, Brice J Jr. Product diversification and R&D investment: An empirical analysis of competing hypotheses. Organizational Analysis, 2004, 12(4): 379-394.
- [12] Liu D Y, Shieh L F. The effects of government subsidy measures on corporate R&D expenditure: A case study of the leading product development programme. International Journal of Product Development, 2005, 2(3): 265-281.
- [13] Khorramshahgol R, Gousty Y. Delphic Goal Programming (DGP): A multi-objective cost/benefit approach to R&D portfolio analysis. IEEE Transactions on Engineering Management, 1986, 33(3): 172-175.
- [14] Iyigun M G. A decision support system for R&D project selection and resource allocation under uncertainty: The 1993 student paper award winner. Project Management Journal, 1993, 24(4): 5-13.
- [15] Hansen K F, Weiss M A, Kwak S. Allocating R&D resources: A quantitative aid to management insight sangman

- kwak. Research Technology Management, 1999, 42(4): 44-50.
- [16] Schmidt R L. A stochastic optimization model to improve production planning and R&D resource allocation in biopharmaceutical production processes. Management Science, 1996, 42(4): 603-617.
- [17] Liberatore M. An extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation. IEEE Transactions on Engineering Management, 1987, 34(1): 12-18.
- [18] Brenner M S. Practical R&D project prioritization. Research Management, 1994, 37(5): 38-42.
- [19] Liu Lingli. Research on allocation theory and allocation efficiency of science and technology resources [D]. Changchun: Jilin University, 2007. [刘玲利. 科技资源配置理论与配置效率研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.]
- [20] Song Yu. Science and technology resources, difficult in the process of and inefficient phenomenon discussed. Quantity Economic and Technological Economic Research, 1999, 16(10): 29-31. [宋宇. 科技资源配置过程中的难点和无效率现象探讨. 数量经济技术经济研究, 1999, 16(10): 29-31.]
- [21] Shi Ping, Li Yuan. Connotation of science resources system and institution factor. China Soft Science, 2000, 15(11): 55-57. [师萍, 李垣. 科技资源体系内涵与制度因素. 中国软科学, 2000, 15(11): 55-57.]
- [22] Chen Jian, He Guoxiang. Research of the regional innovation resources allocation ability. Studies in Dialectics of Nature, 2005, 21(3): 78-82. [陈健, 何国祥. 区域创新资源配置能力研究. 自然辩证法研究, 2005, 21(3): 78-82.]
- [23] Niu Shuhai, Jin Fengjun, Liu Yi. Regional differentiation of science & technology resource allocation in China. Resources Science, 2004, 26(1): 61-68. [牛树海, 金凤君, 刘毅. 科技资源配置的区域差异. 资源科学, 2004, 26(1): 61-68.]
- [24] Wei Shouhua, Wu Guisheng. Research on the efficiency of regional science and technology (S&T) resource allocation. Studies in Science of Science, 2005, 23(4): 467-473. [魏守华, 吴贵生. 区域科技资源配置效率研究. 科学学研究, 2005, 23(4): 467-473.]
- [25] Wang Bei, Liu Weidong, Lu Dadao. Allocation efficiency of science and technology resources in Jing-Jin-Ji, Yangtze River Delta and Pearl River Delta regions. Progress in Geography, 2011, 30(10): 1233-1239. [王蓓, 刘卫东, 陆大道. 中国大都市区科技资源配置效率研究: 以京津冀、长三角和珠三角地区为例. 地理科学进展, 2011, 30(10): 1233-1239.]
- [26] Fan Fei, Du Debin, Li Heng. Regional science and technology resource allocation efficiency and comparative advantage analysis. Studies in Science of Science, 2012, 30(8): 1198-1205. [范斐, 杜德斌, 李恒. 区域科技资源配置效率及比较优势分析. 科学学研究, 2012, 30(8): 1198-1205.]
- [27] Guan Yan, Wu Hecheng, Huang Shun. The efficiency of science and technology resource allocation in Jiangsu Province based on an improved DEA model. Science Research Management, 2011, 32(2): 145-150. [管燕, 吴和成, 黄舜. 基于改进DEA的江苏省科技资源配置效率研究. 科研管理, 2011, 32(2): 145-150.]
- [28] Chen Xiuying, Chen Ying. The regional differences of science and technology resources and the allocation efficiency evaluation in Zhejiang Province. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(4): 418-425. [陈修颖, 陈颖. 浙江省科技资源配置效率的区域差异及其空间配置效率研究. 地理科学, 2012, 32(4): 418-425.]
- [29] Li Xiaojian, Qiao Jiajun. County level economic disparities of China in the 1990s. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(2): 136-145. [李小建, 乔家君. 20世纪90年代中国县际经济差异的空间分析. 地理学报, 2001, 56(2): 136-145.]
- [30] Lu Lachang, Li Yong. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(2): 177-190. [吕拉昌, 李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系. 地理学报, 2010, 65(2): 177-190.]
- [31] Xue Desheng, Huang Gengzhi, Weng Xiaoli. Urban globalization process of China's cities since the early 1980s. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1155-1162. [薛德升, 黄耿志, 翁晓丽. 改革开放以来中国城市全球化的发展过程. 地理学报, 2010, 65(10): 1155-1162.]
- [32] Srdjevic B, Medeiros Y D, Porto R L. Data envelopment analysis of reservoir system performance. Computers & Operations Research, 2005, 32: 3209-3226.
- [33] Liu Yingping, Lin Zhigui, Shen Zuyi. Effective data envelopment analysis method for ranking decision making units. Systems Engineering: Theory & Practice, 2006, 26(3): 112-116. [刘英平, 林志贵, 沈祖诒. 有效区分决策单元的数据包络分析方法. 系统工程理论与实践, 2006, 26(3): 112-116.]
- [34] Messner S F, Anselin L, Baller R D. The spatial patterning of county homicide rates: An application of exploratory spatial data analysis. Journal of Quantitative Criminology, 1999, 15(4): 423-450.
- [35] Amelin L. Local indicators of spatial association: LISA. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93-115.

Spatial-temporal characteristics of scientific and technological resources allocation efficiency in prefecture-level cities of China

FAN Fei, DU Debin, LI Heng, YOU Xiaojun

(Center for Innovation Strategic Studies, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The scientific and technological (S&T) resources allocation efficiency of China's 286 cities at prefecture-level during 2001-2010 is measured from both input and output perspectives in this paper. From an input perspective, employees in scientific research and technical services (ten thousand persons), financial expenditure on science (ten thousand yuan), total social investment in fixed assets (a hundred million yuan) and the number of Internet users (household) represent scientific human resources, scientific financial resources, scientific material resources and scientific information resources respectively, while the number of scientific thesis and the numbers of three types of patents which can be retrieved represent the output of technological resources allocation efficiency. The S&T resources allocation efficiency of each city is calculated by the improved data envelopment analysis (DEA) in different periods, while differences of distribution and change rule of it are revealed from spatial and temporal dimensions. Based on this, the spatial-temporal distribution pattern and evolution trend of S&T resources allocation efficiency in prefecture-level cities during the research period are analyzed and discussed with the method of exploratory spatial data analysis (ESDA). The results show that: (1) the average allocation efficiency of S&T resources in prefecture-level cities has been at low level, decreasing annually in a process of high-low crisscross, and the gap between the eastern and central-western China gradually expands. (2) In the aspect of spatial distribution, S&T resources allocation efficiency in prefecture-level cities remains unevenly distributed, and basically presents downtrend from East China, Central China to West China. The cities whose S&T resources allocation efficiency is at high level and higher level present a cluster distribution, which fits well with the 23 forming urban agglomerations in China. (3) In terms of spatial evolution trend, S&T resources allocation efficiency of prefecture-level cities illustrates significant spatial autocorrelation and has positive correlation in every stage. The S&T resources allocation efficiency of adjoining cities with similar values (high-high or low-low) is featured by spatial agglomeration. The phenomenon of spatial distribution agglomeration is gradually increasing, while the general geographic difference changes in the trend of diminishing. (4) By observing the LISA map of S&T resources allocation efficiency at different stages, we can find that the spatial location and spatial agglomeration range of four agglomeration types of S&T resources allocation efficiency have changed in different degrees with the elapse of time. The geographical space continuity of S&T resources allocation efficiency progressively enhances. (5) Economic development has been found to be positively correlated with S&T resources allocation efficiency to some extent. However, the improvement of S&T resources allocation efficiency does not depend only on economic development. The differences of S&T resources allocation relative efficiency appears universally. Geographic location, S&T resource endowment, innovation environment and other aspects are directly and indirectly influencing and reflecting the existence and evolution of those differences.

Key words: prefecture-level cities; improved data envelopment analysis; exploratory spatial data analysis; scientific and technological resources efficiency