

曾鹏, 黄晶秋, 魏旭. 中国城市群科技创新资源配置效率的时空演变及发展曲线模拟 [J]. 地理科学, 2022, 42(12): 2189-2197. [Zeng Peng, Huang Jingqiu, Wei Xu. Spatial-temporal evolution and development curve simulation of science and technology innovation resource allocation efficiency in China's urban agglomerations. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(12): 2189-2197.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2022.12.015

中国城市群科技创新资源配置效率的 时空演变及发展曲线模拟

曾鹏¹, 黄晶秋², 魏旭¹

(1. 广西民族大学民族学与社会学学院, 广西 南宁 530006; 2. 广西民族大学经济学院, 广西 南宁 530006)

摘要: 将 19 个城市群 203 个地级市作为研究对象, 根据城市发展的集聚扩散效应和拥挤效应, 运用三阶段 DEA 模型、城市群科技创新资源配置效率攀升数理模型等, 定量分析 2010—2019 年城市群科技创新资源配置效率的时空演变, 并对其进行模拟验证。结果表明: ① 中国城市群科技创新资源配置效率呈波浪式攀升的增长态势, 中心城市在城市群发育过程中对科技创新资源存在集聚扩散效应的演化趋势。② 中国城市群的科技创新资源配置效率在空间上具有不平衡性, 效率值的高低受到城市的经济发展水平、科技创新环境等因素的影响。③ 城市群内所辖城市的科技创新资源集聚强度不断增大, 但存在着整合门槛值的限制。该研究通过模型验证了中国城市群科技创新资源配置效率的时空演化格局和发展趋势, 为推动中国城市群提升科技创新资源配置效率水平提供了量化的决策支持依据, 为城市群优化科技创新资源提供了理论指导和算法。

关键词: 城市群; 三阶段 DEA 模型; 科技创新资源配置效率; 定量模拟验证

中图分类号: F291 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2022)12-2189-09

党的二十大报告提出要加快实施创新驱动发展战略, 完善科技创新体系, 实现高水平科技自立自强, 进入创新型国家前列的总体目标^[1]。创新驱动发展战略的实施为中国科技创新发展带来了微观层面策略性创新和宏观层面“数量长足、质量跛脚”的困境^[2]。这一困境的突出表现为投入的大规模增长, 却并没有带来效率的显著提高和经济增长质量的提升^[3]。

国外学者对于科技资源配置的相关研究主要集中于宏观角度, 包含科技政策、科技计划的实施等国家层面, 对科技资源配置进行相关研究^[4]。国内学者在科技投入产出效率的测评方面, 对中国重大科技基础设施综合效益和科技效益进行了评估, 发现中国科技创新资源配置存在效率低下的问题^[5], 针对这一问题, 学者们通过建立综合评价指标体系对区域间科技资源配置效率进行比较分析, 反映出地区科技战略政策和制度效应的区域差异^[6], 并基

于测评结果提出科技创新发展的建议^[7]。例如在进行科技效率评估时, 考虑东、中、西部地区企业技术的异质性, 对创新效率进行测算分析并深入探究其影响因素^[8]。此外, 以区域作为研究范围的效率研究近年也不断增加, 例如对黄河流域生态绿色发展的质量和效率进行时空分析^[9], 以及从长江中游城市群的空间演变结构探究其发展规律^[10]。综上所述, 目前对于科技创新资源配置效率的研究较为成熟, 但以中国城市群为研究视域探究科技创新资源配置效率发展规律和演化过程的相关研究较少。

本文拟通过以下 3 个方面为相关研究奠定理论与现实基础: ① 运用几何推导结合数值模拟的方法, 探究城市群科技创新资源配置效率的演化规律和时空演化格局; ② 基于三阶段 DEA 模型对城市群科技创新资源配置效率进行综合评价研究; ③ 从城市群发育的角度, 构建城市群科技创新资源集聚强度模型和整合门槛值计算公式, 量化分析中心城

收稿日期: 2021-05-27; **修订日期:** 2021-10-12

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(20&ZD157)资助。[Foundation: Major Projects of National Social Science Foundation of China (20&ZD157).]

作者简介: 曾鹏(1981-), 男, 广西桂林人, 教授, 博导, 主要研究方向为城市群与区域可持续发展。E-mail: zengpengfast@163.com

市不断联合周边城市的演化过程。

1 基本理论

科技创新资源配置效率是指对人力、物力、财力等科技投入要素与资源投入城市发展后所获得产出的比率,是一个相对概念。本文基于动态集聚经济理论和演化经济地理理论,深入剖析城市群科技创新资源配置效率的攀升规律。首先,动态集聚经济理论从集聚和增长 2 个角度解释了区域发展过程中城市群内部各城市科技创新和空间扩张之间的影响关系^[11]。城市群科技创新资源配置效率在集聚效应的作用下不断攀升,但是当科技创新资源的集聚规模随着城市规模扩张到一定程度时就会出现拥挤效应^[12],在集聚效应和拥挤效应的共同作用下,科技创新资源配置效率存在波动。其次,在新城市并入中心城市发展阶段时存在拮抗的过渡阶段,呈现出“波浪式攀升”的波动性和阶段性,故在客观上存在着一个资源整合门槛值来判断中心城市是否可以联合新的城市整合其科技创新资源。鉴于中国城市群的发展阶段和地区差异,部分城市群的科技创新资源配置效率发展趋势可能存在偏差,并存在一定的时空差异性,这也是本研究深入探讨的方向。

本文借鉴方创琳提出的城市群可持续发展爬升机理和初始公式^[13],进而提出城市群科技创新资源配置效率攀升规律,并创建城市群科技创新资源配置效率波浪式攀升曲线。与之不同的是,本文所探讨的攀升规律是针对于科技创新资源配置在城市群的发展特征,即城市群在发展过程中,内部科技创新资源配置不断重组整合,但是在拮抗期,科技创新资源配置效率难以得到实质性提升甚至出现内部效率值倒退,因此整体上呈波浪式攀升的发展形态,类似一个个不断攀升的波浪,这就是城市群发育形成过程中科技创新资源配置效率所遵循的攀升规律。通过探索这一发展规律可以更好地服务于城市群在科技发展上的布局谋划,共同实现中国科技兴国和高质量发展的战略目标。

通过进一步考虑城市群核心城市在发展初期的效率,将攀升函数曲线模拟公式^[13]进行优化,具体表达式如下:

$$P_t = P_0 + k(t - t_0) + \{e^{[\alpha \sin[\beta(t - t_0)]]} - 1\} \quad (1)$$

式中, P_t 表示初始时间下城市群科技创新资源配置效率潜力; P_0 表示效率初始值; k 是线性函数斜率,

即攀升率,表示攀升曲线的变化率; t 表示研究时期; t_0 表示核心城市科技创新资源配置效率的初始时间; α 是三角函数的振幅,表示阻滞系数; β 表示周期系数。

在攀升曲线中,攀升率表示城市群科技创新资源配置的整合速度。通过对上述曲线公式进行求导得到攀升曲线的攀升率,具体表达式如下:

$$P'_t = \begin{cases} k + \alpha\beta\cos[\beta(t - t_0)]e^{\alpha\sin[\beta(t - t_0)]}, & t \in \left[\frac{2k\pi + \beta t_0}{\beta}, \frac{\pi + 2k\pi + \beta t_0}{\beta}\right] \\ k - \alpha\beta\cos[\beta(t - t_0)]e^{-\alpha\sin[\beta(t - t_0)]}, & t \in \left[\frac{\pi + 2k\pi + \beta t_0}{\beta}, \frac{2\pi + 2k\pi + \beta t_0}{\beta}\right] \end{cases} \quad (2)$$

式中, P'_t 表示攀升率,由式(1)中 P_t 求导后所得,其大小表示城市群科技创新资源配置整合速度; k 、 α 、 β 、 t_0 、 t 的含义与式(1)相同。

2 研究设计

2.1 研究方法

首先,考虑到城市群的科技创新资源配置效率受外部环境因素与内部管理因素影响较大,本文采取三阶段 DEA 模型对城市群的科技创新资源配置效率进行测算^[14]。鉴于投入变量是科技创新资源配置效率评价的基本变量,相比于产出变量更易控制,故本文选取投入导向型 DEA-BCC 模型^[15]。

其次,根据上文提出的城市群攀升规律和基础函数模型,构建城市群科技创新资源配置的集聚强度计算公式。科技创新资源配置的集聚强度是指科技创新资源在城市之间相互吸引和整合的强度,其中集聚强度与其效率呈正相关,与城市之间的距离呈负相关。

最后,借鉴方创琳^[13]门槛值的设置方法,结合本文研究对象的特点和资源整合的规律,通过城市引力模型计算出城市群内各城市之间的科技创新资源空间集聚强度,其中,科技创新资源的整合门槛是指城市之间科技创新资源开始实现相互吸引和整合的临界值。

2.2 指标选取

城市群是城市发展成熟的最高空间组织形式,是经济发展和产业集聚的客观反映,同样也是国家新型城镇化的空间主体单元^[16,17]。本文依据国务院、国家发展和改革委员会以及各省(直辖市、区)级政府批复印发的城市群发展规划文件(<https://www.>

ndrc.gov.cn/), 选取中国 19 个城市群作为研究样本, 其中包含重点建设五大国家级城市群(长江三角洲、珠江三角洲、京津冀、长江中游、成渝), 稳步建设八大区域级城市群(山东半岛、粤闽浙沿海^①、中原、关东平原、辽中南、哈长、北部湾、天山北坡), 引导培育六大地区级城市群(滇中、黔中、晋中、兰西、呼包鄂榆、宁夏沿黄)。

本文从投入和产出 2 个角度对城市群科技创新资源配置效率进行衡量, 科技创新资源的投入要素包含劳动力要素和资本要素两个主要方面^[18]。选取年末城镇科学研究、技术服务和地质勘查业从业人员(万人)、财政支出中科学技术支出(万元)、国际互联网用户数(户)作为科技创新资源的投入变量; 选取专利授权总量(件)、科技产业当年新签项目或合同(个)作为科技创新资源的产出变量; 并选取地区生产总值(万元)、财政总支出(万元)、总就业人数(万人)作为外部环境变量。

2.3 数据来源

本文数据来源包含以下 2 个部分: ① 社会经济数据。本文用于研究科技创新资源配置效率评价的空间面板数据介于 2010—2019 年, 研究所用的变量指标数据主要来源于 2011—2020 年《中国城市统计年鉴》^[19] 和各地区 2010—2019 年的国民经济和社会发展统计公报(<http://www.gov.cn/shuju/index.htm>), 部分科技产业相关数据来自于 2011—2020 年各省统计年鉴(<https://data.cnki.net/Yearbook/>), 极个别数据缺失通过平滑处理进行补充。② 检索数据。科技创新资源的产出变量主要通过检索《中国专利全文数据库(知网版)》(<https://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbprefix=SCPD>)获取, 本文所用的专利授权总量(件)则是 3 大专利申请数的总和。由于数据缺失, 本文的研究对象不包含港澳台地区。

3 实证分析

3.1 三阶段 DEA 模型

三阶段 DEA 模型的构建主要包括以下 3 个阶段:

第一阶段, 构建传统 DEA 模型。研究运用 DEAP2.1 软件, 逐年测度了中国城市群 203 个城市 2010—2019 年的综合技术效率、纯技术效率、规

模效率以及投入要素松弛变量, 并计算得出中国城市群理念的总体效率均值。

第二阶段, 调整投入指标变量。由于第一阶段的 DEA 模型缺乏对外部环境因素和随机干扰项的考虑, 因此进一步通过 SFA 模型剔除外部环境因素和随机干扰项的影响。研究通过建立 SFA 回归模型并运用 Frontier 4.1 软件进行计算得到检验结果(表 1)。

表 1 第二阶段 SFA 回归结果
Table 1 SFA regression results (Phase II)

变量	科学技术行业 从业人员 投入松弛变量	科学技术支出 投入松弛 变量	互联网用户 投入松弛 变量
常数项	-0.261*** (0.044)	-3.360*** (0.343)	-2.981*** (0.507)
地区生产总值	0.159*** (0.034)	-0.225 (0.369)	1.231* (0.539)
财政总支出	-0.240*** (0.036)	-1.259** (0.332)	1.117* (0.480)
总就业人数	0.147*** (0.020)	2.907*** (0.228)	-0.573* (0.325)
σ^2	0.456*** (0.036)	33.6165*** (1.586)	87.405*** (5.801)
γ	0.635*** (0.030)	0.243*** (0.033)	0.493*** (0.035)
Log-likelihood-function	-1 245.498 6	-6 241.237	-6 871.848
LR test of one-sided error	662.865***	97.998***	371.447***

注: **、* 和 * 分别表示 1%、5% 和 10% 的显著水平; 括号内为标准差; 未含港澳台数据。

由表 1 可知, 第一阶段 DEA 测算的 3 项投入松弛变量的单边误差似然比检验均通过了 1% 的显著性检验, 拒绝原假设, 表明 SFA 回归模型合理。且投入松弛变量的 γ 值比较趋近于 1, 实证估计结果的 σ^2 、 γ 同样通过 1% 的显著性检验, 表明混合误差项中的管理无效率对投入松弛变量影响较大, 而随机误差的影响较小, 其中的 σ^2 表示无效率项及随机误差项的协方差, γ 表示管理无效率项占混合误差项的比重。

第三阶段, 构建调整后的 DEA 模型。通过对 2010—2019 年各项投入变量进行调整后, 再次运用投入导向型 DEA-BBC 模型和 DEAP 2.1 软件将其与原始产出变量合并, 得到剔除外部环境和随机误

① “十四五”规划纲要中, “海峡西岸城市群”的表述被“粤闽浙沿海城市群”所代替。

差因素的科技创新资源配置综合技术效率、纯技术效率和规模效率。并将所辖城市效率值的均值作为各城市群的效率值,得到 2010—2019 年中国城市群科技创新资源配置综合技术效率值(表 2)。

从表 2 可以发现,2010—2019 年中国城市群科技创新资源配置综合技术效率值整体呈波浪式上升趋势,其中珠三角城市群的综合技术效率基本保持在前列,代表了中国科技创新资源配置效率的最高水平。整体来看,城市群科技创新资源配置平均效率值为 0.718,其中高于平均效率水平城市群有 5 个,低于平均效率水平城市群有 14 个,表明中国城市群间科技创新资源配置效率差距较为悬殊。

进一步将城市群划分为国家级、区域级、地区级 3 大类进行对比,得到综合技术效率值在第一阶段和第三阶段的对比图(图 1)。

从图 1 可以看出,第一阶段和第三阶段的综合技术效率变化趋势均呈现波浪式上升,但是第三阶

段的综合技术效率值却在部分年份比第一阶段低,这是因为外部环境变量在拮抗期是有助于推动效率提升的,而在上升期则可能存在管理无效率的情况,因此针对不同发展阶段的城市群需要采取不同的应对措施以提高其科技创新资源配置效率。

3.2 城市群科技创新资源集聚强度与整合门槛计算结果分析

在城市群科技创新资源配置效率提升过程中,当新城市并入中心城市发展阶段时存在拮抗的过渡阶段,呈现出“波浪式攀升”的波动性和阶段性,故城市群的发展过程中存在某个整合门槛值,以判断城市群波浪式攀升曲线是否进入下一个波段,即中心城市联合新的城市整合其科技创新资源所产生效率值波动的变化节点。

首先,根据城市群科技创新资源配置的集聚强度计算公式,得到中国城市群所辖城市的科技创新资源集聚强度值,计算公式如下:

表 2 2010—2019 年中国城市群科技创新资源配置综合技术效率(第三阶段)

Table 2 Comprehensive technical efficiency of science and technology innovation resource allocation in urban agglomeration of China in 2010-2019 (Phase III)

城市群	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	均值
辽中南	0.512	0.605	0.695	0.935	0.944	0.811	0.856	0.633	0.443	0.638	0.707
京津冀	0.517	0.621	0.631	0.869	0.874	0.792	0.822	0.629	0.494	0.631	0.688
山东半岛	0.494	0.595	0.657	0.878	0.896	0.815	0.829	0.635	0.490	0.665	0.695
长三角	0.558	0.666	0.766	0.920	0.944	0.900	0.944	0.752	0.637	0.775	0.786
粤闽浙沿海	0.479	0.590	0.613	0.889	0.901	0.856	0.883	0.701	0.591	0.760	0.726
珠三角	0.639	0.708	0.689	0.948	0.929	0.927	0.936	0.899	0.869	0.936	0.848
哈长	0.471	0.609	0.663	0.891	0.915	0.800	0.865	0.632	0.430	0.604	0.688
晋中	0.464	0.611	0.677	0.911	0.917	0.806	0.864	0.656	0.434	0.604	0.694
中原	0.469	0.597	0.673	0.906	0.920	0.804	0.866	0.641	0.476	0.644	0.700
长江中游	0.483	0.617	0.690	0.925	0.941	0.831	0.897	0.663	0.467	0.639	0.715
呼包鄂榆	0.469	0.572	0.732	0.958	0.970	0.850	0.960	0.701	0.408	0.570	0.719
成渝	0.476	0.616	0.676	0.916	0.928	0.830	0.880	0.659	0.500	0.680	0.716
黔中	0.456	0.595	0.707	0.895	0.906	0.871	0.875	0.650	0.459	0.623	0.704
滇中	0.457	0.607	0.670	0.902	0.933	0.822	0.850	0.645	0.442	0.572	0.690
关中平原	0.480	0.611	0.686	0.924	0.924	0.808	0.906	0.653	0.450	0.638	0.708
北部湾	0.467	0.589	0.669	0.926	0.936	0.804	0.886	0.635	0.446	0.631	0.699
宁夏沿黄	0.462	0.606	0.728	0.983	0.983	0.851	0.971	0.709	0.456	0.666	0.741
兰西	0.473	0.579	0.726	0.956	0.964	0.836	0.925	0.666	0.429	0.595	0.715
天山北坡	0.460	0.605	0.703	0.931	0.950	0.833	0.899	0.671	0.413	0.556	0.702
国家级城市群	0.535	0.646	0.690	0.916	0.923	0.856	0.896	0.720	0.593	0.732	0.751
区域级城市群	0.479	0.600	0.670	0.910	0.923	0.816	0.874	0.650	0.467	0.642	0.703
地区级城市群	0.463	0.595	0.707	0.934	0.945	0.839	0.907	0.671	0.438	0.605	0.710
城市群平均效率水平	0.489	0.610	0.687	0.919	0.930	0.834	0.890	0.675	0.491	0.654	0.718

注:未含港澳台数据。

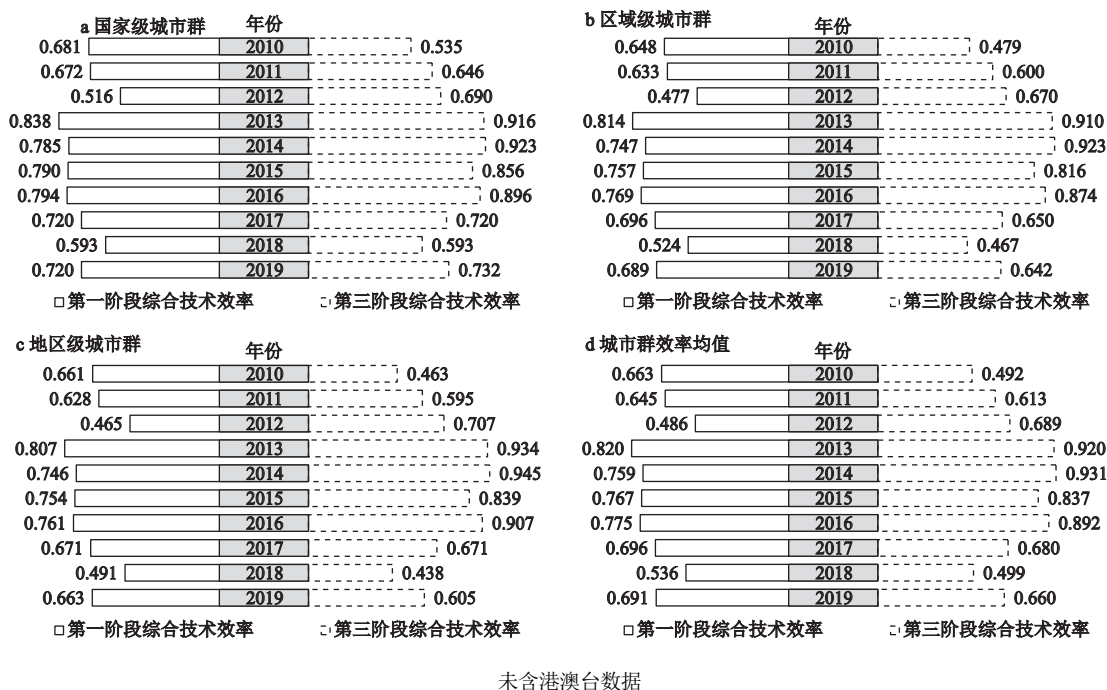


图1 2010—2019年中国城市群科技创新资源配置综合技术效率第一阶段和第三阶段对比

Fig.1 Comparative map of the first and third stages of comprehensive technical efficiency of scientific and technological innovation resource allocation in urban agglomerations of China from 2010 to 2019

$$F_{ij} = \frac{\sqrt{x_{1i} \times x_{1j}} \times \sqrt{x_{2i} \times x_{2j}}}{X_{ij}^2} \times \frac{1}{100} \quad (3)$$

式中, F_{ij} 表示城市*i*、城市*j*的科技创新资源空间集聚强度, x_{1i} 、 x_{1j} 表示城市*i*、城市*j*的科技创新资源配置效率值, x_{2i} 、 x_{2j} 表示城市*i*、城市*j*的地区生产总值, X_{ij}^2 表示城市*i*和城市*j*之间的距离。为了防止在绘图中出现数值过大的情况,对科技创新资源集聚强度值缩小100倍以更加直观地进行比较。

其次,根据科技创新资源的整合门槛计算公式,得到国家级、区域级和地区级3大类城市群的科技创新资源整合门槛值,计算公式如下:

$$\lambda_{pq} = \frac{\sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^n F_{ij}}{p \times q} \quad (4)$$

式中, λ_{pq} 表示城市群内各城市之间的科技创新资源配置效率的资源整合门槛值; p 表示评价年份数量, q 表示评价城市数量。

最后,根据计算所得的城市群科技创新资源配置集聚强度值和门槛值分别绘制国家级、区域级和地区级城市群演化图(图2)。

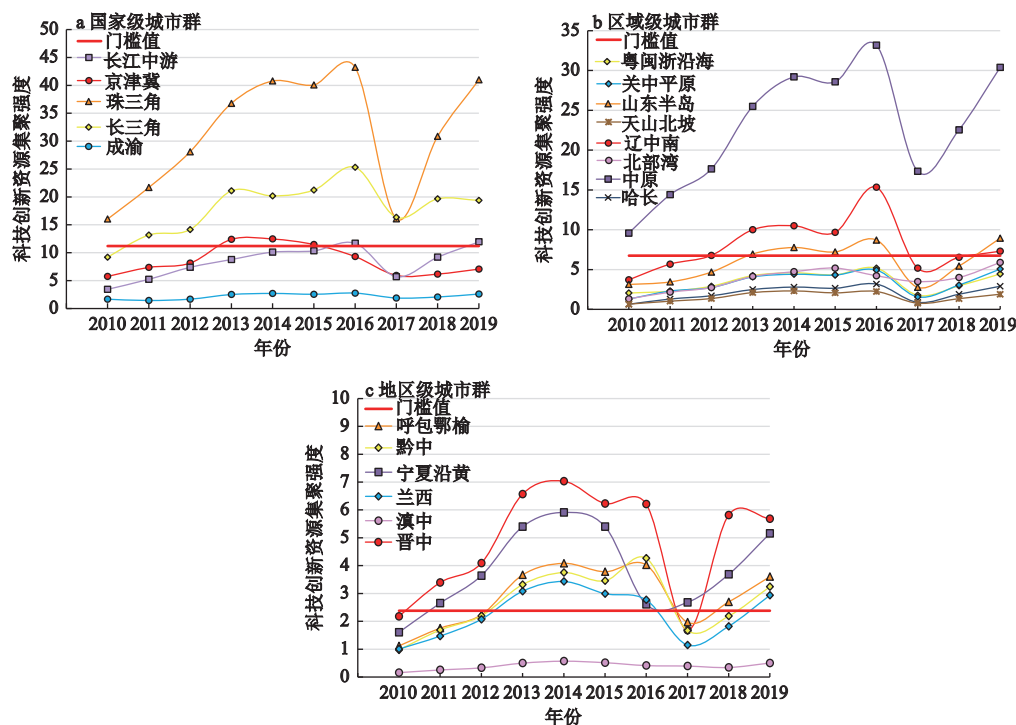
从图2可以发现,国家级城市群、区域级城市群和地区级城市群的科技创新资源的整合门槛值分别为11.198, 6.753, 2.379。其中,国家级城市群中

超过科技创新资源整合门槛值的城市有31个,而且整体水平和门槛值都处于最高水平;区域级城市群中超过门槛值的城市虽然也有31个,但是整体水平和门槛值都与国家级城市群存在一定的差距;地区级城市群中超过门槛值的城市只有14个,而且整体水平和门槛值都存在比较大的提高空间。从时间序列来看,3种类型城市群的科技创新资源配置集聚强度变化都呈现出波浪式上升的趋势,除了2017年各城市群经历重大战略调整导致集聚强度值出现非正常变动之外,其他年份的基本都遵循这一演化趋势。

4 模拟验证

根据2010—2019年中国城市群科技创新资源配置第三阶段的综合技术效率值,对式(1)运用Matlab软件得到其最优函数表达式(表3)。

最优函数表达式是将科技创新资源集聚强度值代入式(1)所得的城市群攀升曲线函数表达式,并通过卡方拟合优度检验。运用Matlab软件进行拟合可以得到中国城市群波浪式攀升曲线的最优表达式,所成图像是判断城市群科技创新资源配置效率是否呈波浪式攀升发展态势最直观的判断依据。根据最优函数表达式拟合的中国城市群科技创新资



未含港澳台数据

图2 2010—2019年中国城市群科技创新资源集聚强度演化

Fig.2 Agglomeration intensity of scientific and technological innovation resources in China's urban agglomeration from 2010 to 2019

表3 中国城市群科技创新资源配置综合技术效率攀升曲线最优函数表达式

Table 3 Optimal function expression of comprehensive technical efficiency rise curve of science and technology innovation resource allocation in urban agglomeration of China

分类	城市群	最优函数表达式
国家级城市群	长江三角洲	$y_t = -7.602 + 0.005(t - 369.2) + \{e^{[0.2123 \sin(0.2835(t-369.2))]} - 1\}$
	珠江三角洲	$y_t = -71.99 + 0.03(t + 409.9) + \{e^{[0.1849 \sin(0.4063(t+409.9))]} - 1\}$
	京津冀	$y_t = 1.154 - 0.0003304(t - 326.6) + \{e^{[0.1452 \sin(0.8655(t-326.6))]} - 1\}$
	长江中游	$y_t = 7.511 - 0.003846(t - 225.2) + \{e^{[0.1331 \sin(1.16(t-225.2))]} - 1\}$
	成渝	$y_t = -7.745 + 0.004485(t - 155.4) + \{e^{[0.1934 \sin(0.845(t-155.4))]} - 1\}$
区域级城市群	辽中南	$y_t = 8.528 - 0.003866(t + 42.77) + \{e^{[0.2058 \sin(0.8659(t+42.77))]} - 1\}$
	山东半岛	$y_t = -15.2 + 0.006092(t + 559.7) + \{e^{[0.3423 \sin(0.4083(t+559.7))]} - 1\}$
	粤闽浙沿海	$y_t = 0.1606 + 0.0003529(t - 994.4) + \{e^{[0.2324 \sin(0.2076(t-994.4))]} - 1\}$
	哈长	$y_t = 5.203 - 0.002565(t - 200.6) + \{e^{[0.2132 \sin(0.8349(t-200.6))]} - 1\}$
	中原	$y_t = 620.7 - 0.008855(t - 620.7) + \{e^{[0.2542 \sin(-0.1858(t-620.7))]} - 1\}$
	关中平原	$y_t = -4.033 + 0.003043(t - 467.4) + \{e^{[0.03791 \sin(0.2001(t-467.4))]} - 1\}$
	北部湾	$y_t = -9.134 + 0.004163(t + 287.5) + \{e^{[0.3941 \sin(0.402(t+287.5))]} - 1\}$
地区级城市群	天山北坡	$y_t = 3.826 - 0.001792(t - 118.2) + \{e^{[0.4226 \sin(0.3886(t-118.2))]} - 1\}$
	晋中	$y_t = 5.512 - 0.002299(t + 147) + \{e^{[0.2306 \sin(0.8242(t+147))]} - 1\}$
	呼包鄂榆	$y_t = -1.622 + 0.001616(t - 714.3) + \{e^{[0.3194 \sin(0.3057(t-714.3))]} - 1\}$
	滇中	$y_t = -0.2065 + 0.0003083(t + 74.02) + \{e^{[0.3951 \sin(0.3904(t+74.02))]} - 1\}$
	黔中	$y_t = 23.84 - 0.01786(t - 708.2) + \{e^{[0.3451 \sin(-0.1343(t-708.2))]} - 1\}$
	兰西	$y_t = -4.826 + 0.003358(t - 432.9) + \{e^{[0.2736 \sin(0.2513(t-432.9))]} - 1\}$
	宁夏沿黄	$y_t = -5.416 + 0.002916(t + 31.08) + \{e^{[0.2877 \sin(0.8294(t+31.08))]} - 1\}$

注: y_t 表示城市群科技创新资源配置效率值; t 表示研究时期; e 为自然对数; 未含港澳台数据。

源配置效率演化曲线的拟合效果较好,与基本原理图在整体趋势上具有较大的相似性,反映出了城市群科技创新资源配置效率呈波浪式攀升的发展态势。通过拟合,中国城市群科技创新资源配置效率演化规律得到了模拟验证,在城市群发展中具有普遍适用性,故可用中国城市群科技创新资源配置效率演化规律模型分析预测城市群科技创新资源配置效率的演化趋势。

5 结论与讨论

5.1 结论

基于三阶段 DEA 模型探究中国城市群科技创新资源配置效率的演化规律,使用模拟验证的方法,对中国城市群科技创新资源配置效率的演化规律进行深入探究,得出以下结论:①中国城市群科技创新资源配置效率整体上呈波浪式攀升的增长态势,虽然外部环境因素对于科技创新资源配置效率的影响效果不一,但整体上仍然呈现出波浪式攀升的演变趋势。②中国城市群的科技创新资源配置效率在空间上具有不均衡性,中国城市群间科技创新资源配置效率差距较为悬殊。③城市群内所辖城市的科技创新资源集聚强度不断增大,但存在着整合门槛值的限制。通过对中国城市群科技创新资源配置效率攀升函数曲线的构建和拟合验证,发现拟合程度较高,并且与城市群的科技创新资源集聚强度发展趋势相近。

5.2 讨论

城市群在发展过程中,中心城市所发挥的集聚效应将周边城市的科技创新资源联合起来并通过整合优化再配置以促进城市群整体效率的提升,但是资源在重新配置与整合过程中,拥挤效应使得城市群无法继续依赖现有城市进行效率提升,这一时期称为拮抗期,要打破这一困境只能通过联合周边城市,这就是城市群科技创新资源配置效率的基本演化规律。

首先,中国城市群科技创新资源配置效率整体上呈波浪式攀升的增长态势,空间演化格局呈现出中部地区和东南沿海地区效率值高,中间夹层区域效率值低的“U”型分布特点。城市群科技创新资源配置效率的演化过程伴随着城市群的形成发育过程,并伴随着城市群内部科技创新资源的整合优化和再配置。通过对这一规律进行几何推理,并进一步测算城市群历年科技创新资源配置效率增长值、攀升

速度、平均攀升速度、集聚强度值和整合门槛值,以此确定城市群发育过程中科技创新资源集聚-扩散效应的演化趋势。

其次,中国城市群的科技创新资源配置效率在空间上具有不均衡性,中国城市群间科技创新资源配置效率差距较为悬殊。从整体上看,东部地区城市群科技创新资源配置效率明显优于西部地区城市群。无论是第一阶段还是第三阶段计算所得的效率值,国家级城市群的科技创新资源配置效率都相对较高,高效率区域由国家级城市群逐步向区域级城市群和地区级城市群技术外溢,出现这种现象主要是因为城市群不同的区位条件、经济发展水平对科技创新资源配置的分配水平不一,国家战略高度的城市群规划政策比地方政府批示的城市群规划政策对城市群发展的扶植力度大等因素的影响。但是,部分经济欠发达地区城市群的科技创新资源配置效率却超过经济发达地区的城市群,一是因为西部欠发达地区虽然经济落后,但是城市群包含城市的数量较少,城市群科技创新资源在各城市之间整合配置的科技产出更容易满足其发展需求,因此相较于城市较多的东部地区,科技创新资源配置效率反而较高,二是因为本文研究的这一时间段内经济发达地区的城市群刚好处于资源集聚的拮抗期,科技创新资源配置效率处于回落状态。

最后,城市群内所辖城市的科技创新资源集聚强度不断增大,但存在着整合门槛值的限制。通过对中国城市群科技创新资源配置效率攀升函数曲线的构建和拟合验证,发现拟合程度较高,并且与城市群的科技创新资源集聚强度发展趋势相近,说明中国城市群科技创新资源配置效率攀升规律与科技创新资源配置效率攀升函数模型基本一致,在城市群发展中具有普遍适用性。

综上所述,中国城市群科技创新资源配置效率随着时间变动和城市间联合发展而产生波动,可采用科技创新资源配置效率攀升规律的函数模型来分析预测中国城市群科技创新资源配置效率的未来演化态势,以提升中国城市群科技创新资源配置效率水平,提高城市群科技创新能力,优化城市群经济发展质量。

参考文献(References):

- [1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表

- 大会上的报告[M].北京:人民出版社,2022.[Xi Jinping. Hold high the great banner of socialism with Chinese characteristics and strive in unity to build a modern socialist country in all respects——Report at the 20th national congress of the communist party of China. Beijing: People's Publishing House, 2022.]
- [2] 陈强远, 林思彤, 张醒. 中国技术创新激励政策: 激励了数量还是质量[J]. 中国工业经济, 2020(4): 79-96. [Chen Qiangyuan, Lin Sitong, Zhang Xing. The effect of China's incentive policies for technological innovation: Incentivizing quantity or quality. China Industrial Economics, 2020(4): 79-96.]
 - [3] 叶祥松, 刘敬. 政府支持与市场化程度对制造业科技进步的影响[J]. 经济研究, 2020, 55(5): 83-98. [Ye Xiangsong, Liu Jing. The impact of government support and market-oriented reforms on manufacturing technology progress. Economic Research Journal, 2020, 55(5): 83-98.]
 - [4] Alic J A. Postindustrial technology policy[J]. *Research Policy*, 2001, 30(6): 873-889.
 - [5] 王婷, 陈凯华, 卢涛, 等. 重大科技基础设施综合效益评估体系构建研究——兼论在FAST评估中的应用[J]. 管理世界, 2020, 36(6): 213-236+255. [Wang Ting, Chen Kaihua, Lu Tao et al. The research on the evaluation system of large research infrastructures' comprehensive benefits with an application in the evaluation of FAST. Management World, 2020, 36(6): 213-236+255.]
 - [6] 苗玉宁, 杨冬英. 基于综合评价方法的中部地区科技创新资源配置效率分析[J]. 中国软科学, 2020(3): 134-149. [Miao Yunying, Yang Dongying. Analysis on the efficiency of allocation of scientific and technological resources in Central China based on the comprehensive evaluation method. China Soft Science, 2020(3): 134-149.]
 - [7] 刘兰剑, 滕颖. 提高科技创新水平依靠技术效率还是规模效应?——来自中国与OECD国家的测度研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(7): 50-61. [Liu Lanjian, Teng Ying. Does the level of technological innovation depend on technical efficiency or scale effect? ——Measurement research from China and OECD Countries. Science of Science and Management of S. Science of Science and Management of S & T, 2020, 41(7): 50-61.]
 - [8] 肖仁桥, 陈忠卫, 钱丽. 异质性技术视角下中国高技术制造业创新效率研究[J]. 管理科学, 2018, 31(1): 48-68. [Xiao Renqiao, Chen Zhongwei, Qian Li. China's high-tech manufacturing industries' innovation efficiency: Technology heterogeneity perspective. Journal of Management Science, 2018, 31(1): 48-68.]
 - [9] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 726-739. [Guo Fuyou, Tong Lianjun, Qiu Fangdao et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3): 726-739.]
 - [10] 朱政, 朱翔, 李霜霜. 长江中游城市群空间结构演变历程与特征[J]. 地理学报, 2021, 76(4): 799-817. [Zhu Zheng, Zhu Xiang, Li Shuangshuang. Evolution process and characteristics of spatial structure of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(4): 799-817.]
 - [11] 李洪涛, 王丽丽. 中心城市科技创新对城市群产业结构的影响[J]. 科学学研究, 2019, 40(3): 1-12. [Li Hongtao, Wang Lili. The impact of technological innovation in central cities on the industrial structure of urban agglomerations. Studies in Science of Science, 2019, 40(3): 1-12.]
 - [12] 曾鹏, 黄晶秋. 创新型城市建设与发展的机制与路径[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 54(4): 52-61. [Zeng Peng, Huang Jingqiu. Mechanism and paths of innovative urban construction and development. Journal of Yunnan Normal University (Humanities and Social Sciences Edition), 2022, 54(4): 52-61.]
 - [13] 方创琳, 梁龙武, 王振波. 京津冀城市群可持续爬升规律的定量模拟及验证[J]. 中国科学:地球科学, 2020, 50(1): 104-121. [Fang Chuanglin, Liang Longwu, Wang Zhenbo. Quantitative simulation and verification of upgrade law of sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. Science China Earth Sciences, 2020, 50(1): 104-121.]
 - [14] Russell J F, Jason O S. A dynamic network measure of technological change[J]. *Management Science*, 2016, 63(3): 791-817.
 - [15] Qin Y H, Chuan T, Ke G. Analysis on the environmental governance efficiency of local governments in China and its influencing factors[J]. *International Journal of Economics, Finance And Management Sciences*, 2020, 8(1): 9-19.
 - [16] 方创琳, 张国友, 薛德升. 中国城市群高质量发展与科技协同创新共同体建设[J]. 地理学报, 2021, 76(12): 2898-2908. [Fang Chuanglin, Zhang Guoyou, Xue Desheng. High-quality development of urban agglomerations in China and construction of science and technology collaborative innovation community. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(12): 2898-2908.]
 - [17] 曾鹏, 刘一丝, 魏旭. 中国城市群循环经济与对外贸易耦合协调发展的时空演变研究[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(2): 23-40. [Zeng Peng, Liu Yisi, Wei Xu. Research on the spatiotemporal evolution of the coupling and coordinated development of circular economy and foreign trade in China's urban agglomeration. Journal of Statistics and Information, 2022, 37(2): 23-40.]
 - [18] 王晓辰, 韩增林, 彭飞, 等. 中国海洋科技创新效率发展格局演变与类型划分[J]. 地理科学, 2020, 40(6): 890-899. [Wang Xiaochen, Han Zenglin, Peng Fei et al. Development pattern and typical zone of marine scientific and technological innovation efficiency in China. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(6): 890-899.]
 - [19] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 2011—2020.北京: 中国统计出版社, 2011—2020. [National Bureau of Statistics. China city statistical yearbook. 2011-2020. Beijing: China Statistics Press, 2011-2020.]

Spatial-temporal Evolution and Development Curve Simulation of Science and Technology Innovation Resource Allocation Efficiency in China's Urban Agglomerations

Zeng Peng¹, Huang Jingqiu², Wei Xu¹

(1. College of Ethnology and Sociology, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, Guangxi, China; 2. School of Economics, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, Guangxi, China)

Abstract: This paper evaluates and researches the evolution trend in scientific and technological innovation resource allocation efficiency in urban agglomerations using the three-stage DEA model. Then, using the method of geometric derivation combined with numerical simulation, it is possible to analyze the temporal and spatial evolution pattern of scientific and technological innovation resource allocation efficiency in Chinese urban agglomerations. There is a theoretical and practical foundation laid in this paper for the research into the efficiency of allocating scientific and technological innovation resources in urban agglomerations in the new era of economic development and urbanization. According to the agglomeration diffusion effect and crowding effect of urban development, the three-stage DEA model is used to calculate the allocation efficiency of scientific and technological innovation resources in cities under the jurisdiction of urban agglomerations in different periods with the relevant data of 19 urban agglomerations from 2010 to 2019. Then, Arcgis10.8 is used to analyze the spatial and temporal evolution of the allocation efficiency of scientific and technological innovation resources in urban agglomerations. The results are as follows: 1) There is an increase in the efficiency of resource allocation for scientific and technological innovation in China's urban agglomerations. In urban agglomeration development, the diffusion effect of central cities on the development of scientific and technological innovation resources is examined in detail. 2) A spatial imbalance exists in allocating scientific and technological innovation resources in China's urban agglomerations. The level of efficiency value is directly or indirectly affected by factors such as the city's economic development level, the environment for scientific and technological innovation, and the strength of support for scientific and technological innovation. 3) It has been observed that the intensity of scientific and technological innovation resources in urban agglomerations continues to increase, but the integration threshold value has been restricted. In summary, the study analyzes the temporal and spatial evolution of the allocation efficiency of scientific and technological innovation resources in urban agglomerations between 2010 and 2019 and further explores the developments of these resources in urban agglomerations in China. The study verifies the temporal and spatial evolution pattern and development trend of the allocation efficiency of scientific and technological innovation resources in China's urban agglomeration through the model. They provided quantitative decision support for promoting efficiency and high-quality scientific and technological innovation development in China's urban agglomeration. Theoretical guidance and algorithm for optimizing scientific and technological innovation resources in urban agglomeration are provided. This study provides a quantitative decision support basis for promoting China's urban agglomerations to increase scientific and technological innovation resource allocation efficiency and high-quality development and optimize technology for urban agglomerations. Innovation resources provide theoretical guidance and algorithms for improving innovation resource allocation efficiency.

Key words: urban agglomeration; three-stage DEA; resource allocation efficiency of science and technology innovation; quantitative simulation verification