

# 中国东部沿海四大城市群协同创新效率 综合测度及影响因素研究

孙振清 李欢欢 刘保留<sup>1</sup>

(天津科技大学 经济与管理学院, 天津 300222)

**【摘要】:** 中国东部沿海城市群作为国家经济增长的核心战略区和新型城镇化的重要组成部分, 促进其协同创新效率提升对实现经济高质量发展具有重要现实意义。基于 2005—2018 年地级市数据, 以京津冀、山东半岛、长三角和珠三角城市群为研究对象, 采用三阶段 DEA 方法测算四大城市群协同创新效率并分析其时空特征, 利用 Tobit 回归模型分析不同城市群协同创新效率的主要影响因素, 结果表明: (1) 剔除外部环境及随机因素的影响, 除山东半岛城市群外, 其它三大城市群的平均综合效率值均较第一阶段下降; (2) 外部环境因素对协同创新效率具有显著影响, 区域经济水平和政府财政支持力度与协同创新效率负相关, 研发支持力度、产业结构和对外开放水平与协同创新效率正相关; (3) 协同创新效率总体呈上升趋势, 但内部城市等级存在空间不平衡性; (4) 不同城市群协同创新效率的主要影响因素也存在差异。基于上述结果, 提出促进不同城市群协同创新发展的相关建议。

**【关键词】:** 东部沿海城市群 协同创新效率 区域经济 三阶段 DEA

**【中图分类号】:** F290 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-7348 (2021) 02-0047-09

## 0 引言

城市群作为国家实现新型城镇化和工业化发展中较高形式的产物, 逐渐取代中国传统省域经济发展格局, 成为未来地区经济发展的重要趋势<sup>[1]</sup>。在政策指引和现实需求的双重推动下, 城市群经济发展呈现经济增速快、覆盖面广和区域联动性强等特征<sup>[2]</sup>, 发展不均衡问题仍然存在。其中, 东部沿海城市群因资源禀赋、创新能力和区位优势, 成为中国对外开放程度和经济发展水平较高的典型城市群, 经济发展也呈现区域化特征。单个主体或者城市的技术创新能力可能无法有效应对瞬息万变的竞争环境, 城市群间的协同创新则是实现区域一体化的关键, 有助于资源在城市间各生产环节协同整合<sup>[3]</sup>, 促进各城市优势互补。因此, 提升东部沿海城市群协同创新能力, 促进区域间技术和知识流动, 实现创新资源整合, 强化协同创新多维溢出效应, 对于提升技术创新水平和经济发展潜力有着至关重要的作用。另外, 在中国创新资源紧缺的情况下, 如何有效解决效率问题, 优化创新要素配置, 对于推动国民经济发展具有重要现实意义。为此, 本文立足于协同发展角度, 对东部沿海城市群(京津冀、山东半岛、长三角和珠三角)区域协同创新效率进行测度, 并分析其内在机理和影响因素, 既符合国家发展的战略需求, 也为其它城市群实现区域经济和资源协同发展提供借鉴。

<sup>1</sup>**作者简介:** 孙振清(1966-), 男, 河北雄县人, 博士, 天津科技大学经济与管理学院教授、博士生导师, 研究方向为能源与应对气候变化战略及政策、低碳经济;

李欢欢(1995-), 女, 河北保定人, 天津科技大学经济与管理学院硕士研究生, 研究方向为区域协同创新发展;

刘保留(1993-), 男, 河南南阳人, 天津科技大学经济与管理学院硕士研究生, 研究方向为能源环境与可持续发展。

**基金项目:** 国家社会科学基金重点项目(16AGL002); 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目(16JZD014); 天津市高等学校创新团队培养计划项目(TD13-5012/5045)

# 1 文献综述

查阅相关文献发现,针对协同创新的研究主要集中在协同创新效率测度以及影响因素识别、作用等方面,具体来说,主要对协同创新内涵、动因、模式以及作用机制进行探讨。协同创新内涵方面,吴钊阳等<sup>[4]</sup>认为,协同创新是企业、政府和知识研究机构等为实现重大科技创新而开展的大跨度创新组织模式。动因方面,学者们从外部资源获取、企业绩效提高和风险共担等角度进行探讨,发现企业采用协同创新模式可以进行信息流和知识传递、分享等多维互动,加速企业技术创新能力和绩效提升<sup>[5]</sup>。模式方面,学者们主要从研发协同、专利转让以及技术创新等层面展开分析,如何郁冰<sup>[6]</sup>提出“战略—知识—组织”三重互动的产学研协同模式,为实现产学研协同创新奠定了理论基础;Bjerregaard<sup>[7]</sup>认为,研发协同有利于外部知识和技术整合利用,降低成本和风险,促进科研合作和信息共享,从而实现企业协同创新发展。作用机制方面,杨晓昕等<sup>[8]</sup>通过探讨一些地区推进的“创新驿站”发现,新型区域协同创新机制需要构建集研究型大学、中介机构和企业以及政府“四位一体”的区域协同创新体系。协同创新效率测度以及影响因素方面,主要从相同创新主体和不同创新主体两个角度加以分析:相同创新主体角度侧重于高校、企业和科研院所等机构,如尹洁等<sup>[9]</sup>采用问卷调查方式,分析高校科研创新团队知识共享机制下创新团队内部知识共享绩效影响因素;Kim 等<sup>[10]</sup>以韩国中小型企业为案例研究对象,采用多元回归方法证实,中小型企业开放式创新活动对其创新产出的影响存在差异性;温珂等<sup>[11]</sup>以中国 101 家公立研究院所为样本,发现协同创新能力与绩效之间存在正向促进关系。不同创新主体角度侧重于模型建立和度量,如段云龙等<sup>[12]</sup>运用超效率 DEA 模型和网络 DEA 模型测算各省市产学研之间的协同创新效率,发现区域共生系统下各主体创新效率呈现不均衡状态;蔡翔等<sup>[13]</sup>通过构建三螺旋强度模型,实证分析大学—企业—政府协同创新效率及影响因素。此外,Fuentes 等<sup>[14]</sup>、Li 等<sup>[15]</sup>、叶斌等<sup>[16]</sup>从不同角度对区域协同创新进行了研究。

随着空间经济学的兴起和发展,学者们开始关注区域协同创新外溢问题。如赵增耀<sup>[17]</sup>、白俊红<sup>[18]</sup>、刘军<sup>[19]</sup>和孙大明等<sup>[20]</sup>从空间维度厘清区域协同创新空间外溢效应和机制,重点考察其对区域创新绩效、产业集聚和升级的影响,但基于城市群视角的研究较少。以往学者往往以省际(区域)尺度为研究对象,忽略了不同地区发展内质的不均匀性。本文以城市群为研究对象,更能突出不同城市间的内在关联性。与以往研究相比,本文可能的创新贡献在于:

(1)在研究内容方面,将京津冀、山东半岛、长三角和珠三角地区统一纳入分析框架,重点考察不同地区协同创新效率变化趋势,弥补了传统研究未考虑城市群发展对区域协同创新效率影响的不足。

(2)在变量测度方面,采用三阶段 DEA 模型测算 2005—2018 年中国四大城市群协同创新效率,对处于生产前沿的决策单元进行分析。

(3)在影响因素方面,本文采用面板 Tobit 回归模型实证分析不同城市群协同创新效率的主要影响因素,以期各地区因地制宜采取相关政策,实现协同发展提供依据和思路。

## 2 研究方法与数据说明

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 三阶段 DEA 模型

传统 DEA 模型未考虑环境因素和随机噪声对决策单元效率评价的影响,导致测算结果有所偏差,而三阶段 DEA 在测算过程中能够消除自身不可控因素对效率的影响。

第一阶段:传统 DEA 模型。Charnes 等<sup>[21]</sup>最早提出被称为数据包络分析的方法,用于评价相同部门间的相对有效性,因而被称为 DEA 有效,该模型即 CCR 模型。从生产函数角度看,这一模型是用来研究具有多个投入,特别是具有多个产出“生产部门”的理

想且卓有成效的方法。DEA 模型分为投入导向和产出导向;Banker 等<sup>[22]</sup>提出 BCC 模型,测度规模报酬及可变条件下决策单元有效性问题,将综合技术效率(crste)分解为规模效率(scal)和纯技术效率(vrste),具体关系为 crste=scal×vrste。本文选择 BCC 模型对研究区域内 X 个城市的初始投入与产出进行测算。

$$\begin{aligned}
 \min_{\theta, \lambda} &= [\theta - (e^t s^- + e^t s^+)] \\
 \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{rk} - s^+ &= y_0 k \\
 \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} + s^- &= \theta x_0 k \\
 \sum_{k=1}^n \lambda_k &= 1 \\
 \lambda_k \geq 0; s^+ \geq 0; s^- \geq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中,  $i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, s. k=1, 2, \dots, n$  为决策单元数,  $m, s$  分别代表投入指标和产出指标个数,  $x_{ik} (i=1, 2, \dots, m)$  为第  $k$  个决策单元第  $i$  个投入要素,  $y_{rk} (r=1, 2, \dots, s)$  为第  $k$  个测算单元第  $r$  个产出要素,  $\theta$  为决策单元有效值。若  $\theta = 1$  且  $s^+ = s^- = 0$ , 则决策单元 DEA 有效;若  $\theta = 1$  且  $s^+ \neq 0$  或  $s^- \neq 0$ , 则决策单元弱 DEA 有效;若  $\theta < 1$ , 则决策单元非 DEA 有效。

第二阶段:利用相似 SFA 回归剔除环境因素和统计噪声。第一阶段的 DEA 模型无法消除不可控因素对效率值的影响,因此,第二阶段通过引进 SFA 模型,将第一阶段的松弛变量分解成包含环境因子、随机因素和管理无效率的 3 个自变量函数。以投入导向为基础构建类似 SFA 回归函数。

$$S_{ni} = f(Z_i; \beta_n) + v_{ni} + \mu_{ni}; i = 1, 2, \dots, N; n = 1, 2, \dots, N \tag{2}$$

其中,  $S_{ni}$  是第  $i$  个决策单元第  $n$  项投入的松弛值;  $Z_i$  是环境变量,  $\beta_n$  是环境变量的系数;  $v_{ni} + \mu_{ni}$  是混合误差项,  $v_{ni}$  表示随机干扰项,  $\mu_{ni}$  表示管理无效率项。其中  $v \sim N(0, \sigma^2 v)$  是随机误差项,表示随机干扰因素对投入松弛变量的影响;  $\mu$  是管理无效率,表示管理因素对投入松弛变量的影响,假设其服从零点截断的正态分布,即  $\mu \sim N(0, \sigma^2 \mu)$ 。  $\gamma = \sigma^2 \mu / (\sigma^2 \mu + \sigma^2 v)$  表示技术无效率方差占总方差的比重,当  $\gamma$  趋近于 1 时,管理因素的影响占主要地位,当  $\gamma$  趋近于 0 时,随机误差的影响较大。

为剔除环境因素和随机因素对效率测度的影响,将所有决策单元调置于相同的外部环境下,基于最有效预测单元,以投入量为基础对上述公式进行如下调整:

$$X_{ni}^A = X_{ni} + [\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)] + [\max(v_{ni}) - v_{ni}] \quad i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \tag{3}$$

其中,  $X_{ni}^A$  是调整后的投入,  $X_{ni}$  是调整前的投入,  $[\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)] + [\max(v_{ni}) - v_{ni}]$  表示外部环境因素调整,  $[\max(v_{ni}) - v_{ni}]$  将所有决策单元置于相同外部环境下。

第三阶段:调整后的 DEA 模型。将调整后的投入产出变量再次带入第一阶段的传统 DEA 模型,测算各决策单元第三阶段的协同创新效率。此时,效率已经剔除环境因素和随机因素的影响,得到的效率值是相对真实准确的。

### 2.1.2Tobit 回归模型

Tobit 回归模型是基于极大似然估计法建立的,可以较好地规避参数不一致、有偏性等问题。因此,采用因变量受限的截断 Tobit 回归模型对不同城市群协同创新效率影响因素进行分析,具体模型形式设定如下:

$$\begin{aligned} \rho_i^* &= \theta_0 + \sum_{j=1}^l \theta_j x_{ij} + \varepsilon_i \\ \rho_i &= \rho_i^*, 0 \leq \rho_i^* \leq 1 \\ \rho_i &= 0, \rho_i^* < 0 \\ \rho_i &= 1, \rho_i^* > 1 \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $\rho_i^*$  表示潜变量,  $\rho_i$  表示实际被解释变量;  $x_{ij}$  表示解释变量,  $\theta_0$  表示常数项,  $\theta_j$  表示相关系数向量,  $\varepsilon_i$  服从  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 。

### 2.2 指标选取与说明

从经济学角度而言,从事某项生产活动的基本要素是劳动和资本,协同创新活动亦是如此。基于协同创新效率的基本概念以及现有研究成果,考虑协同创新主体之间的关系,本文从投入和产出两个层面出发,选择投入产出指标如下:

投入指标方面,考虑到区域协同创新主体构成主要是高校、科研机构、企业和政府,从资本和人力劳动两个方面进行考量,在人力劳动方面参考廖名岩等<sup>[23]</sup>的做法,采用地区总 R&D 人员减去企业独立 R&D 人员、高校应用研究 R&D 人员和科研机构应用研究 R&D 人员的值衡量。对于资本投入,参考谢子远等<sup>[24]</sup>的研究,选取高校科技活动中来自企业的经费与科研机构科技活动中来自企业的经费之和作为协同创新效率投入要素指标。对于项目要素投入,由于企业是协同创新主体,在协同创新活动中占据主导地位<sup>[25]</sup>。因此,协同创新项目要素投入指标为企业 R&D 项目总数减去企业 R&D 独立项目数。

产出指标方面,协同创新活动的目的是为获得知识产出或者具有市场前景的新产品或者创新技术。因此,本文主要从经济收益和创新成果两个方面对产出指标进行考量。经济收益方面,选取科技创新研发的新产品销售收入;创新成果方面选取科技创新活动的成果展示专利数,由于所申请的专利并不一定全部通过审查,选择专利授权数量更能反映出一个地区的创新水平。因此,选取新产品销售收入和专利授权数作为区域协同创新产出指标。

第二阶段主要计算对沿海四大城市群协同创新效率产生显著影响、但样本无法主观控制和改变的要素,即外部环境变量,主要包括研发支持力度、产业结构、区域经济发展水平、对外开放程度及政府财政支持力度。具体来说,研发支持力度对区域创新水平有极大的支持作用,以研究和试验发展为主的资金支持是重要方式,因而选择研究和试验发展(R&D)经费投资强度衡量;区域第三产业占比往往更能体现一个区域的产业升级水平,本文以第三产业与第二产业占比即产业结构高级化测度;区域经济环境采取人均 GDP 衡量,反映区域经济发展水平;对外开放可以引进国外先进知识与创新技术,提升科技创新水平、促进要素流动,进而有利于协同创新发展水平提升,本文采取城市进出口额占城市 GDP 的比重衡量;政府作为区域协同创新主体之一,其制定的相关政策以及提供的创新资金会对区域协同创新效率产生影响,因而选取财政科技支出占财政总支出的比重衡量政府财政支持力度。具体指标见表 1。

### 2.3 研究区域与数据来源

本文借鉴中国城市群现有研究成果<sup>[2]</sup>,选取京津冀城市群、山东半岛城市群、长江三角洲城市群和珠江三角洲城市群 4 个沿海城市群为研究对象,包含 8 个省份 30 个城市,如表 2 所示。

鉴于数据可得性与准确性,样本时间跨度为 2005—2018 年,数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及相关地市国民经济和社会发展公告。针对缺失数据,根据实际情况采取外延法和均值法计算得出。

## 3 结果分析

### 3.1 第一阶段传统 DEA 测算结果

第一阶段运用 BCC 模型,采用 DEAP2.1 软件包对 2005—2018 年我国东部沿海城市群 30 个城市协同创新效率进行测度,分别得到综合效率、纯技术效率和规模效率,表 3 为各项效率的平均值。

表 1 区域协同创新效率测算相关指标

指标	指标类别	单位	指标名称	指标表示
投入指标	劳动投入	万人	地区总 R&D 人员—企业独立研究人员— 高校应用研究人员—科研机构应用研究人员	$X_1$
	资本投入	万元	高校科研经费中企业投资额+科研机构科研经费中企业投资额	$X_2$
	项目投入	个	企业 R&D 项目总数-企业 R&D 独立项目数	$X_3$
产出指标	经济收益	万元	新产品销售收入	$Y_1$
	创新成果	件	专利授权数量	$Y_2$
环境变量	研发支持力度	%	R&D 经费投资强度	RD
	产业结构	%	产业结构高级化	SU
	区域经济发展水平	万元	人均 GDP	PGDP
	对外开放程度	%	进出口额占 GDP 的比重	FL
	政府财政支持力度	%	财政科技支出占财政总支出的比重	GI

表 2 东部沿海城市群范围及选取依据

城市群	包含城市名称	选择依据
京津冀	北京、天津、廊坊、保定、	《京津冀协同发展规划纲要》

	沧州、唐山、秦皇岛	
山东半岛	青岛、烟台、威海、 滨州、东营、潍坊	《山东半岛蓝色经济区域发展规划》
长三角	南京、苏州、无锡、南通、常州、 扬州、杭州、镇江、上海	《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》
珠三角	广州、珠海、佛山、惠州、 东莞、中山、江门、肇庆	《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》 (2008—2020年)

表 3 第一阶段 2005—2018 年四大城市群协同创新效率平均值

地区	城市	综合	纯	规模	地区	城市	综合	纯	规模
京津冀	北京	1.000	1.000	1.000	长三角	南京	0.715	0.840	0.852
	天津	0.827	0.905	0.913		苏州	1.000	1.000	1.000
	廊坊	0.750	0.862	0.870		无锡	0.848	0.914	0.929
	保定	0.806	0.895	0.902		南通	0.826	0.902	0.917
	沧州	1.000	1.000	1.000		常州	0.839	0.912	0.920
	唐山	0.788	0.884	0.891		扬州	0.821	0.902	0.910
	秦皇岛	0.753	0.865	0.871		杭州	0.686	0.823	0.835
山东半岛	青岛	0.806	0.895	0.901		镇江	0.688	0.823	0.836
	烟台	1.000	1.000	1.000		上海	1.000	1.000	1.000
	威海	0.743	0.859	0.865	珠三角	广州	1.000	1.000	1.000
	滨州	0.712	0.841	0.847		珠海	0.686	0.822	0.835
	东营	0.760	0.869	0.875		佛山	0.864	0.923	0.937
	潍坊	0.773	0.876	0.882		惠州	0.791	0.883	0.896
京津冀	均值	0.846	0.916	0.921		东莞	0.876	0.928	0.944
山东半岛	均值	0.799	0.890	0.895		中山	1.000	1.000	1.000
长三角	均值	0.825	0.902	0.911		江门	0.844	0.911	0.927
珠三角	均值	0.861	0.921	0.932		肇庆	0.825	0.903	0.914
总体	均值	0.833	0.907	0.915					

在不考虑外部环境与随机误差影响的条件下,东部沿海四大城市群 30 个城市中有 7 个城市在 14 年中处于随机前沿面,分别为北京、沧州、烟台、苏州、上海、广州和中山,其它城市的综合效率与最优值之间仍存在差距。总体来看,珠三角地区协同创新的综合效率值最高,京津冀和长三角地区次之,山东半岛的综合效率值最低,说明珠三角和京津冀地区将资源投入转化为协同效益的能力较强。纯技术效率呈现出与综合效率相同的变化趋势,表明珠三角和京津冀地区的投入要素配置合理且利用效率高。如表 4 所示,从时间变化上看,四大城市群的综合效率和纯技术效率呈现波动上升趋势,且在研究区间内有显著变化差异。其中,长三角和珠三角地区的综合效率呈现先下降后上升的“V”型演变格局,在 2008 年分别达到最低值 0.787 和 0.820 后稳步上升。截至 2018 年,两个地区的上升幅度分别为 7.8%和 8.4%,说明二者资源配置逐渐趋于合理。四大城市群的规模效率一直比较平稳,说明东部沿海四大城市群协同创新发展集聚水平较高。

表 4 第一阶段四大城市群协同创新效率时序变化

地区	协同创新效率	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
京津冀	综合效率	0.785	0.790	0.837	0.817	0.821	0.821	0.848	0.862	0.839	0.911	0.893	0.878	0.877	0.872
	纯技术效率	0.866	0.859	0.934	0.898	0.908	0.893	0.904	0.900	0.876	0.983	0.930	0.926	0.967	0.959
	规模效率	0.900	0.914	0.893	0.905	0.900	0.914	0.935	0.955	0.955	0.926	0.959	0.946	0.905	0.908
山东半岛	综合效率	0.728	0.734	0.787	0.764	0.770	0.769	0.800	0.816	0.789	0.870	0.850	0.834	0.832	0.844
	纯技术效率	0.832	0.824	0.909	0.868	0.880	0.863	0.875	0.871	0.843	0.965	0.905	0.901	0.948	0.955
	规模效率	0.870	0.886	0.862	0.877	0.871	0.887	0.911	0.934	0.933	0.901	0.938	0.924	0.877	0.882
长三角	综合效率	0.816	0.822	0.808	0.787	0.792	0.791	0.820	0.835	0.810	0.844	0.868	0.853	0.851	0.849
	纯技术效率	0.883	0.875	0.919	0.880	0.891	0.898	0.887	0.883	0.857	0.922	0.915	0.911	0.955	0.949
	规模效率	0.921	0.936	0.875	0.888	0.883	0.876	0.921	0.942	0.942	0.911	0.946	0.933	0.888	0.892
珠三角	综合效率	0.878	0.884	0.841	0.820	0.825	0.824	0.854	0.869	0.844	0.858	0.902	0.886	0.883	0.883
	纯技术效率	0.917	0.909	0.938	0.899	0.910	0.917	0.906	0.902	0.876	0.920	0.933	0.930	0.971	0.971
	规模效率	0.955	0.971	0.894	0.907	0.902	0.895	0.939	0.961	0.960	0.930	0.964	0.951	0.907	0.908

### 3.2 第二阶段:相似 SFA 分析

第一阶段利用 Deap2.1 软件测算效率值可以得到各城市投入要素的松弛变量,投入松弛变量会受外部环境因素、随机干扰项和内部管理无效率等方面影响。本阶段以投入松弛变量为被解释变量,以 5 个环境变量为解释变量,采用相似 SFA 回归模型,运用

Frontier4.1 分别估算 2005—2018 年环境变量对理想投入与实际投入差额的影响。受篇幅受限,选取 2018 年的回归结果进行分析,如表 5 所示。

表 5 第二阶段 SFA 回归结果

项目	劳动投入	资本投入	项目投入
RD	-7.261***(-19.45)	-14.568***(-22.89)	-4.897**(-2.59)
SU	-5.233***(-11.58)	-20.485*(-1.75)	-18.425**(-2.53)
PGDP	9.261(0.85)	12.486*** (15.79)	8.532** (2.75)
FL	-2.892***(-6.28)	-9.728*(-1.89)	-5.588*** (4.21)
GI	3.023*** (2.97)	3.598*** (3.15)	9.488*** (5.12)
sigma-squared	20.155	35.418	38.156
gamma	0.894	0.926	0.957
Con_	42.754*** (18.42)	46.782*** (14.52)	50.123*** (18.01)

表 5 回归分析中,环境变量的 SFA 回归系数大多通过了 1%的显著性水平检验且  $\gamma$  值趋近于 1,说明在混合误差项中,管理无效率项对投入松弛变量的影响比随机因素的影响更大,进一步表明模型设定具有一定的可靠性,外部环境因素对城市群协同创新投入效率存在影响。因此,对原始投入值作出调整是合理且必要的,具体结果分析如下:

研发支持力度对劳动、资本、项目投入松弛变量的影响为负且通过 1%的显著性水平检验,说明随着研发支持力度加强,各城市在科技人员、研究经费及项目上的投入可以有效转化为专利和财政收入。目前,国家不断加大新产品研发和科技创新支持力度,致力于推动龙头企业技术进步,扩大科研专项资金规模,使得城市创新水平不断提升。随着区域协同发展政策深入推进,创新要素在城市间充分流动所产生的协同效应使相同的要素投入获取更多的创新产出,因此研发力度增大可以减少劳动力与资金投入冗余。

产业结构对资本、项目投入松弛变量的影响回归系数为负,说明产业结构高级化水平越高,劳动力、资本及项目投入冗余越少,越有利于提高城市协同创新效率。我国正处于产业结构转型的关键期,以科学技术创新为主的新型第三产业正在崛起。第三产业比重增加会减少劳动力、资本及项目投入冗余量,避免浪费现象发生。同一相关关系下,产业结构与资本、项目投入松弛变量的回归系数大于前者与劳动力投入松弛变量的回归系数,充分说明资本和项目利用效率受第三产业比重影响更大,与我国发展阶段相符,第三产业增加会带来协同创新效率提升。

区域经济水平与劳动、资本和项目投入松弛变量正相关,表明城市人均 GDP 对劳动力投入松弛变量的影响不显著,而人均 GDP 提高会导致资本和项目投入冗余增加,从而降低城市协同创新效率。究其原因在于人均 GDP 增加对资本利用效率的作用存在门槛效应<sup>[26]</sup>,只有达到门槛值时,人均 GDP 增加才会促进资本利用效率提升,进而提升城市协同创新效率。

对外开放程度与劳动、资本和项目投入松弛变量的回归系数为负且均通过显著性检验,表明对外开放程度提升会吸引外国创新资源流入,加速创新领域发展,避免国内传统工艺造成的资源浪费,使得劳动力、资本和项目投入冗余减少,有利于节约劳动力和资本。



冀>山东半岛>长三角的发展格局,即珠江三角城市群协同创新效率最高,这与珠三角率先通过改革开放获得的有利环境与机遇密切相关。珠三角凭借国家政策支持以及自身高新技术产业优势,在区域协同创新发展中取得重要突破,京津冀城市群在“京津冀协同一体化”发展政策的推动下,城市发展处于较高水平。不同于以往研究<sup>[23]</sup>,长三角城市群协同创新效率在四大城市群处于较落后,可能是由于较高水平的技术创新尚未得到有效转化。协同创新属于科技创新活动范畴<sup>[28]</sup>,易受区域经济发展水平、国家政策等外在因素影响<sup>[29]</sup>。最早提出协同发展政策的京津冀城市群前期协同创新效率呈现上升趋势,其它3个区域同时期协同创新效率则呈现平缓甚至下降趋势。之后,随着区域协同发展、国家创新驱动发展等一系列战略实施,推动传统发展方式向依靠技术进步、知识积累以及高素质劳动力转变,四大城市群协同创新效率开始稳步上升。从图2可以看出,综合效率值与纯技术效率的波动整体上趋于一致,规模效率值趋于平稳。由此可以认为,四大城市群协同创新发展规模为城市群协同创新发展提供了有利条件。

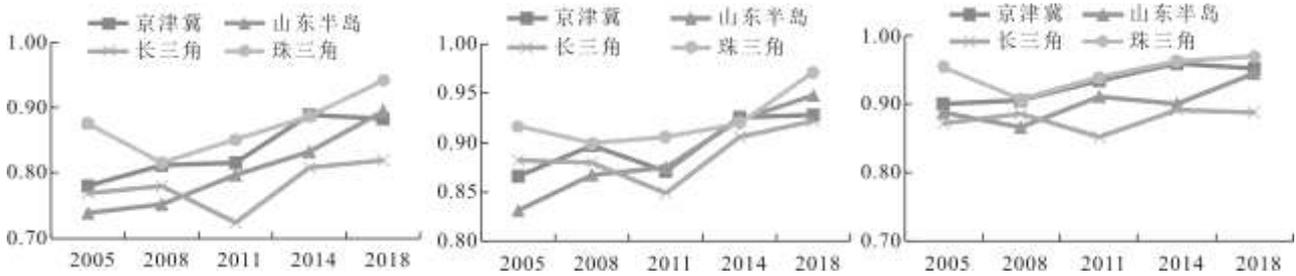


图2 城市群协同创新综合效率、纯技术效率与规模效率演变趋势

为了更直观地分析沿海四大城市群内城市协同创新效率时空演变特征,采用 ArcGIS10.2 中的自然断点法将协同创新效率分为3类,得到2005年、2011年、2018年城市综合效率值分级分类情况。

京津冀城市群协同创新效率空间分布呈现以北京、天津为中心,并向周边辐射的递进式演变格局,秦皇岛市由2005年的III级上升为2011年的II级,且其与大部分城市均位于I-II级;山东半岛城市群主要表现为沿海城市协同创新效率高于内陆城市的空间分布格局,高值区位于东部沿海一带,青岛市和潍坊市呈现等级上升趋势,威海市则呈现先上升后下降的演变格局;长三角城市群内部协同创新效率下降的城市较多,呈现高值区由沿海向内陆减少的总局势,展现出沿海城市可以有效吸引国外先进技术与管理模式的优点;珠三角城市群协同创新效率整体水平较高,截至2018年,I级城市数量上升至5个,但惠州市由II级下降至III级,协同创新发展水平较不稳定。

3.5Tobit 回归的结果分析

运用 Stata14.0 软件,采用面板 Tobit 模型对我国沿海四大城市群协同创新效率影响因素进行分析,回归结果见表6。

表6 Tobit 面板回归结果

解释变量	京津冀	山东半岛	长三角	珠三角
RD	0.2348** (2.15)	0.4822* (1.68)	0.0248** (2.35)	0.0529*** (3.62)
SU	-0.6289*** (-2.62)	-0.5489** (-2.13)	-0.4589* (-1.85)	-0.6578* (-1.89)
PGDP	0.9581* (1.92)	0.5856* (1.83)	0.3012** (2.01)	0.3124*** (3.56)
FL	-0.1840** (-2.10)	-1.5003* (-1.85)	0.0873** (2.09)	0.3106*** (2.89)

GI	-0.1158**(-2.02)	-0.2452*(-1.89)	0.0824*(1.78)	0.0719**(1.99)
----	------------------	-----------------	---------------	----------------

表 6 是采用 Tobit 模型的面板回归结果,可以看出,就研发投入支持力度而言,珠三角地区研发投入水平更高,说珠三角地区创新实力明显强于其它 3 个城市群,山东半岛研发实力和创新水平仍有待提升;产业结构对四大城市群均具有负向影响,表明地区产业结构调整和优化仍面临较大压力,不同城市群的产业结构仍处于不平衡状态;对于人均 GDP 的影响,长三角和珠三角地区由于地区经济发展水平较高,对区域协同创新效率的积极作用更加显著;对外开放程度和地方财政支出对区域协同创新效率的影响存在明显差异,京津冀和山东半岛城市群由于对外开放程度、财政支出水平较低,并不能有效提高协同创新效率水平,长三角和珠三角地区凭借地理优势和经济实力对协同创新效率具有显著促进作用。

## 4 结语

### 4.1 研究结论

本文研究时间跨度为 2005-2018 年,选取中国东部沿海四大城市群 30 个城市相关数据,运用三阶段 DEA 模型测度其协同创新效率并进行比较分析,得到以下结论:

(1)在剔除外部环境及随机因素的影响后,四大城市群协同创新效率均发生了较为明显的变动,证明采用三阶段 DEA 测度协同创新效率可得到较为客观的结果。调整后,除山东半岛城市群外,其它三大城市群的平均综合效率值均较第一阶段下降,且纯技术效率的变动趋势与综合效率相同,区域协同创新效率提升的关键在于创新技术利用率提升。

(2)外部环境因素和随机因素对协同创新效率具有显著影响,区域经济水平和政府财政支持力度提升会为城市技术创新提供一定资金支持,但是发展动力不足或技术转化率低会对城市协同创新发展产生不利影响;研发支持力度、产业结构和对外开放水平可以有效提升劳动力与资本利用效率,加上国家推动技术创新协同发展的相关政策支持,会对城市群协同创新发展具有正向影响。

(3)我国四大城市群协同创新效率均呈上升趋势,但内部城市等级存在空间不平衡性。受不同时期国家政策以及自身发展水平影响,四大城市群协同创新效率呈现出珠三角>京津冀>山东半岛>长三角的发展格局。城市群内协同创新效率呈现出核心城市以及沿海周边城市较优,内陆城市较低的时空分布特征,除处于前沿面的 5 个城市外,其它城市协同创新效率均有较大提升空间。

(4)研发支持力度和区域经济发展水平提高有助于四大城市群协同创新效率提升。其中,珠三角系数最高说明其创新实力最强;对外开放度对京津冀和山东半岛协同创新效率具有抑制作用,进一步说明引进先进国外技术对本区域创新发展具有重要作用。

### 4.2 政策建议

(1)依据四大城市群协同创新效率测度结果,建议采取如下差别化措施:对于珠三角、京津冀城市群,应更加注重技术创新与制度创新,不断强化城市群内部与城市群之间创新主体协同合作;对于山东半岛城市群,在加大投入的同时,应建立科学化协同模式与合理有效的监督管理制度,通过加大协同创新投入增加创新产出;长三角则应该在保证投入不变的情况下提高要素利用率,切实提高城市协同创新效率。

(2)适度增加科研政策及资金支持力度,提高自身研发能力。通过竞争择优吸引高素质人才,注重技术积累以及对共享知识的消化与吸收。

---

(3)提升产业结构高级化水平,积极推动以技术创新为主的新兴产业发展,逐步实现产业结构调整,借助创新驱动发展战略,提升城市群整体协同创新效率。

(4)提高城市开放程度,增强外资吸引能力,一方面,政府应合理减少外资准入限制,增加外资投资领域与机会;另一方面,要制定相关财政支持政策,优化投资运营环境,为外资投入提供支持与保障。

#### 参考文献:

- [1]方创琳,毛其智,倪鹏飞.中国城市群科学选择与分级发展的争鸣及探索[J].地理学报,2015,70(4):515-527.
- [2]刘阳,秦曼.中国东部沿海四大城市群绿色效率的综合测度与比较[J].中国人口·资源与环境,2019,29(3):11-20.
- [3]王志宝,孙铁山,李国平.区域协同创新研究进展与展望[J].软科学,2013,27(1):1-4,9.
- [4]吴钊阳,邵云飞,冯路.资源基础理论视角下的协同创新网络演化机制与模型研究[J].电子科技大学学报,2020,49(4):530-536.
- [5]FIAZ M. An empirical study of university-industry R&D collaboration in China: implications for technology in society[J]. Technology in Society, 2013, 35(3):191-202.
- [6]何郁冰.产学研协同创新的理论模式[J].科学学研究,2012,30(2):165-174.
- [7]BJERREGAARD T. Industry and academia in convergence: micro-institutional dimensions of R&D collaboration[J]. Technovation, 2010, 30(2):100-108.
- [8]杨晓昕,陈波,张涵.军民融合协同创新、空间关联与国防创新绩效[J].科技进步与对策,2020,37(9):145-152.
- [9]尹洁,施琴芬,李锋,等.高校科研创新团队知识共享绩效影响因素实证研究——以江苏省高校协同创新中心为例[J].中国科技论坛,2016,32(9):115-121.
- [10]KIM H, PARK Y. The effects of open innovation activity on performance of SMEs: the case of Korea[J]. International Journal of Technology Management, 2010, 52(3-4):236.
- [11]温珂,苏宏宇,周华东.科研机构协同创新能力研究——基于中国101家公立研究院所的实证分析[J].科学学研究,2014,32(7):1081-1089.
- [12]段云龙,乐念,王墨林.产学研区域共生系统协同创新效率研究[J].中国科技论坛,2019,35(7):34-43.
- [13]蔡翔,赵娟.大学—企业—政府协同创新效率及其影响因素研究[J].软科学,2019,33(2):55-60.
- [14]FUENTES C D, GABRIELA DUTRE NIT. Best channels of academia-industry interaction for long-term benefit[J]. Research Policy, 2012, 41(9):1666-1682.

- 
- [15] LI Y, CUI Q. Carbon neutral growth from 2020 strategy and airline environmental inefficiency: a network range adjusted environmental data envelopment analysis[J]. *Applied energy*, 2017, 199:13-24.
- [16] 叶斌, 陈丽玉. 基于网络 DEA 的区域创新网络共生效率评价[J]. *中国软科学*, 2016, 31(7):100-108.
- [17] 赵增耀, 章小波, 沈能. 区域协同创新效率的多维溢出效应[J]. *中国工业经济*, 2015, 32(1):32-44.
- [18] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. *经济研究*, 2015, 50(7):174-187.
- [19] 刘军, 王佳玮, 程中华. 产业聚集对协同创新效率影响的实证分析[J]. *中国软科学*, 2017, 32(6):89-98.
- [20] 孙大明, 原毅军. 空间外溢视角下的协同创新与区域产业升级[J]. *统计研究*, 2019, 36(10):100-114.
- [21] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operation Research*, 1978, 2(6):429-444.
- [22] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data development analysis[J]. *Management science*, 1984, 30(9):1078-1092.
- [23] 廖名岩, 曹兴. 中国省域协同创新效率的实证研究[J]. *系统工程*, 2017, 35(9):45-54.
- [24] 谢子远, 王佳. 开放式创新对企业研发效率的影响——基于高技术产业面板数据的实证研究[J]. *科研管理*, 2020, 41(9):22-32.
- [25] SONG Y, ZHANG J, SONG Y, et al. Can industry-university-research collaborative innovation efficiency reduce carbon emissions[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 157:120094.
- [26] 龚朴一, 杨家文. 基于微博大数据的中国城市群空间结构研究[J]. *城市发展研究*, 2020, 27(6):1-8, 61, 181.
- [27] 郭四代, 全梦, 郭杰, 等. 基于三阶段 DEA 模型的省际真实环境效率测度与影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(3):106-116.
- [28] 丁珮琪, 夏维力. 基于 D~5NLDS 模型的技术创新政策绩效评价研究[J]. *统计与信息论坛*, 2020, 35(2):111-120.
- [29] SANTOTO M D, CHAKRABARTI A K. Firm size and technology centrality in industry-university interactions[J]. *Research policy*, 2002, 31(7):1163-1180.