

【区域创新发展】

# 城市群数字技术创新能力的动态变化及 障碍因子分析\*

陈欣 高则越 和诗

**摘要:**利用2014—2023年的面板数据,基于投影寻踪模型和遗传算法对粤港澳大湾区及京津冀、长三角三大国家级城市群的数字技术创新能力进行综合测度,采用空间核密度估计法从增长率和发展均衡度两个视角探究各城市群数字技术创新能力的动态变化差异,对制约创新过程的障碍因素进行诊断,并对三大城市群进行比较分析,深度剖析三大城市群在国家数字技术创新版图中的优势与短板。研究发现:(1)粤港澳大湾区的数字技术创新能力表现最为突出,城市群内高低水平城市间的得分差距不断扩大;(2)空间核密度分析显示,京津冀城市群的数字技术创新能力发展不均衡且中心城市辐射效应不足,粤港澳大湾区虽存在两极分化现象,但数字技术创新能力较强城市的空间溢出效应显著,长三角城市群发展更平衡;(3)障碍度分析表明,在内容层,与其他两大城市群相比,科技研发投入是制约粤港澳大湾区数字技术创新能力的主要因素,在指标层三大城市群均出现数字基础设施建设不足的情况。

**关键词:**城市群;数字技术创新能力;障碍因子

**中图分类号:**F061.5 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2026)02-0084-14 **收稿日期:**2025-11-10

\***基金项目:**广东省哲学社会科学规划2025年度常规项目“广东未来产业创新策源能力测度与提升路径研究”(GD25CYJ62)。

**作者简介:**陈欣,女,华南理工大学电子商务系副教授,硕士生导师(广州 510000)。

高则越,女,华南理工大学电子商务系硕士生(广州 510000);南京理工大学博士生(南京 210000)。

和诗,女,郑州大学管理学院硕士生,通信作者(郑州 450000)。

## 一、引言

随着新一轮科技和产业革命带来的颠覆性转变,以大数据、云计算、人工智能为代表的新一代数字技术创新成果正在深刻改变全球经济格局(Kuprevich, 2017)。鉴于数字技术产业集聚因素具有明显的经济板块异质性(叶堂林等, 2023),作为国家新型工业化和新型城镇化发展到较高阶段的必然产物,城市群聚合了空间上相邻、规模层级不

同且功能互补的多个城市,能够在更大的区域范围内整合创新资源,借助数据要素流动在空间上逐步凝聚创新网络(马海涛等, 2023),孕育出更具韧性与活力的数字产业生态系统。尤其在数字技术呈现出高度网络化、平台化和协同性特征的大背景之下(Zhang et al., 2024),城市群凭借其经济动力足、开放程度高、能够促进各类创新要素突破行政边界限制实现跨区域位移的独特优势,成为国家数字技术创新体系中的关键节点。

我国城市群的发展始终与国家重大战略布局

紧密相连,京津冀协同发展、长三角一体化发展和粤港澳大湾区建设相继于2015年、2018年和2019年上升为国家战略,标志着我国区域发展和创新布局进入以城市群为核心单元的区域增长极形成(陈曦等,2024)。十四五规划进一步指出,要以京津冀、长三角、粤港澳大湾区为重点,提升创新策源与全球资源配置能力,打造高质量发展的第一梯队。在顶层发展目标引领下,三大城市群不仅是经济增长的重要引擎,也是数字经济发展和技术创新活动最为集中的区域,以粤港澳大湾区为例,自《粤港澳大湾区发展规划纲要》实施以来,广东数字经济规模已突破7万亿元,占GDP比重达51%,连续九年居全国首位,其数字创新发展形成全域合力(陈林等,2023)。同时,围绕数字经济、科技强国和创新驱动发展战略,国家持续强化对三大城市群创新策源功能的制度供给与政策支持,推动其在新一代数字技术研发、应用和扩散中发挥示范引领作用。可以说,三大城市群已成为我国参与全球数字技术竞争、塑造新发展优势的重要空间载体。

鉴于三大城市群在国家战略中的重要地位,系统测度并比较京津冀、长三角、粤港澳大湾区三大城市群的数字技术创新能力,对于把握国家数字经济发展整体态势、推动区域协同创新具有重要意义。一方面,数字技术创新并非线性推进,创新要素在核心城市高度集聚并加速流动的同时,也可能带来城市群内部的能力分化与分布失调。另一方面,不同城市群在资源禀赋、产业基础、制度环境及协同机制等方面存在结构性差异,不仅影响着城市群数字技术创新能力的总体水平,也深刻塑造其创新能力的动态演化轨迹和空间分布格局。

基于此,本文立足我国数字经济快速发展的时代背景之下,聚焦以下问题:这三个重点城市群数字技术创新能力如何?是否存在差距?动态演化趋势如何?不同城市群的数字技术创新能力发展现状有何差异?创新能力提升过程中有何阻碍因素?为回答上述问题,本文试图以粤港澳大湾区、京津冀及长三角三大城市群的数字技术创新能力进行定量测算,分析比较三大城市群数字技术创新能力的动态变化与发展态势,识别和克服其在数字技术创新过程中面临的瓶颈和短板。一方面,有助于明确不同城市群在国家数字技术创新版图中的定位,识别其优势和特色,为制定区域发展战略提

供理论指导和经验参考;另一方面,有助于推动三大城市群加快高技术突破,在全国范围内发挥创新引领效应,进而促进中国城市群数字产业与经济的深度融合,实现区域协调发展。

## 二、文献综述

数字技术创新一直是学术界持续研究的热点。随着创新实践的日益丰富(Chesbrough, 2021),数字技术通过连接和共享信息向各个领域扩散,对全球产业链和创新链发展的推动作用日益凸显(江小涓等,2021),越来越多的学者也不再仅仅关注概念本身,逐渐将研究扩展至数字技术创新能力的分析,围绕创新能力的评价、影响因素的识别以及时空格局等方面展开了理论和实证研究。

数字技术创新能力评价是一个复杂的系统性问题,需要考察创新过程中的各种因素及其相互关系(Vial, 2021),同时关注创新活动在各领域产生的滞后影响,目前主要有两种研究类型,一是关注数字技术创新成果的量化,根据不同的指标构建评价体系。常见的指标包括专利申请数量、技术转化效率等(Calderon-Monge et al., 2024; 杨名彦等,2024),这些指标的评估能够直观地反映创新质量和创新活动引发的长尾效应,帮助研究者识别数字技术创新过程中的研发优势与短板。然而,单纯依赖成果量化的能力评价往往会忽略创新过程中诸多动态性因素的作用。二是数字技术创新能力的整体评估视角,既有文献不仅包含创新成果的量化,更强调对能力体系的全方位考察,以及创新过程中涉及的内部资源、外部环境及其互动关系的评估(Nambisan et al., 2019)。众多学者能根据不同的角度构建体系,划分不同的层次,例如丁仕潮等(2023)采用多指标综合评价方法,围绕创新投入、创新产出、创新环境等维度开展研究,建立了数字技术创新能力评价的通用性指标体系,这种评价方法立足于创新系统理论(单晓红等,2024),也为进一步测度数字技术创新能力提供了逻辑支撑。

由于地理位置、地缘条件和资源禀赋不同,不同时间段内各区域的数字技术创新效率和创新能力也不同。基于此,部分研究引入时间、空间因素,试图揭示数字技术创新能力在不同地理区域的空间分布特征及其演化规律。此类文献的研

研究对象主要关注国家或特定区域的案例分析 (Samara et al., 2023; 张雄等, 2023), 以中观或微观区域视角切入探析数字技术创新能力空间演变的研究尚属罕见, 不利于精准把握区域创新能力的动态演化特征。

数字技术创新能力影响因素的识别方面, 相关学者着重关注驱动数字技术创新能力提升的关键因素。通过分析外部因素(如经济环境、政策支持、市场需求)(Chesbrough, 2021)、个体能力(如吸收能力、管理模式)(Matarazzo et al., 2021)等因变量如何影响创新的效率和效果, 识别影响数字技术创新能力提升的单一或双重驱动因素(Nadkarni et al., 2021), 由于可选变量较为多样化, 已然形成基于影响因素分析驱动能力提升的机理构建。随着时间推移, 还有学者以此为逻辑起点引入了中介效应和调节机制的检验, 精确识别每一因素的作用方式, 理解不同因素是如何通过特定路径影响创新能力, 分析不同条件下驱动因素对创新能力的影响如何发生变化(Ben Ghrbeia et al., 2024), 使得这类研究更加全面和深入。尽管影响因素的识别研究已非常丰富, 但从逆向思维角度——即探讨数字技术创新能力在发展过程中遇到障碍的研究仍显不足。

综上所述, 已有文献为数字技术创新的研究提供了一定的理论与实证基础, 但仍存在不足: 第一, 研究对象上, 现有文献已从国家层面和省际层面对数字技术创新能力展开了较为完善、严谨的分析, 但相对而言, 围绕经济带、城市群等中观尺度空间载体的研究仍有待深入。尤其是作为现代经济发展的重要空间组织形式, 城市群已成为支撑经济增长与区域协调发展的主体形态, 刻画城市群及其内部差异与协同的研究可以更敏锐地捕捉数字技术创新在空间上的逐步扩散和梯度变化, 以及对整体经济的推动作用。第二, 研究方法上, 数字技术创新是一个持续的过程, 其能力的提升或下降具有显著的时序特征, 因此对其进行动态测度显得尤为重要, 现有研究多以截面或阶段性比较为主, 对长期序列下创新能力动态演化规律的刻画仍有待加强。第三, 研究内容上, 现有文献主要聚焦“如何促进数字技术创新”的正向驱动因素考察, 较少分析数字技术创新能力提升过程中面临的障碍因素。

鉴于此, 在借鉴相关研究的基础上, 本文以粤

港澳大湾区、京津冀以及长三角城市群为研究对象, 从创新投入、创新产出和创新环境三个维度构建城市群数字技术创新能力评价体系, 利用投影追踪模型和遗传算法计算综合得分, 揭示三大城市群创新能力分布的时空格局, 并采用空间核密度估计法从增长率和发展均衡程度两个视角解读各城市群数字技术创新能力的动态变化特征并进行对比, 以期把握各城市群创新能力的发展现状。然后运用障碍度模型对发展过程中的障碍因子进行诊断分析, 探究影响各城市群数字技术创新能力提升的关键因素, 并提出提高我国城市群数字技术创新能力的针对性策略。

### 三、指标体系、数据来源与研究方法

#### (一) 指标体系

参考过往研究, 本文遵循创新投入、创新产出、创新环境三个子系统组成的评价维度逻辑, 在数字技术与经济社会各领域融合的广度和深度不断拓展的背景下(赵涛等, 2020), 综合考虑市级层面数据的可得性、代表性以及可操作性, 从基础与驱动的角度设计了城市群数字技术创新能力评价指标体系(见表1)。

数字技术创新投入是区域数字创新发展的动力基础, 其规模和质量直接影响到未来创新成果的数量和质量, 对评估城市群技术创新能力至关重要。其中, 科学投入强调基础研究和应用研究经费、人力投入, 为技术创新提供了必要的资金支持和科研基础。

人力资本是经济学家对人的经济价值的量化, 包括从业人员的数量。政府在城市群数字技术创新中扮演着重要角色, 本文认为政府可以通过制定数字产业相关政策、提供知识产权保护来促进创新资源的有效配置, 激励创新主体的研发行为, 从而提高地区的数字技术创新能力。这三个内容层指标相互关联, 共同构成了数字技术创新投入的支撑体系。

数字技术创新产出强调技术进步和产业链优化成果的评估, 是区域内企业或研究机构技术创新能力的直接体现, 也是技术进步的具体表现, 主要内容包括科技成果产出与经济产出。科技成果产出中, 数字技术授权专利数量反映了在数字经济领

域内创新活动的活跃程度和技术成果的丰富性。本文参考陶锋(2023)的方法,借助国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》和《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》,获取属于数字技术领域的IPC号,得到已授权的数字技术发明专利数量。平均IPC(国际专利分类)数量则用来体现专利的技术深度和广度

(Nambisan et al., 2019),以及特定城市群在数字技术领域的技术布局和多样性。

良好的数字技术创新环境能够促进城市群内部的知识流动和技术扩散,加速技术成果从实验室到市场的转化过程,强化城市间的协同发展。因此,对城市群进行数字技术创新能力评价时,需要综合考察外部市场、基础设施、创新生态等多种环

表1 城市群数字技术创新能力评价指标体系

基本层	维度层	内容层	指标层	单位
数字技术创新能力	数字技术创新环境	数字基础设施建设 ( $X_1$ )	每百人互联网用户数( $A_1$ ) 移动电话普及率( $A_2$ ) 长途光缆电线密度( $A_3$ )	百人/个 % -
		企业主体培育 ( $X_2$ )	数字经济领域(互联网工业企业) 存活企业数( $B_1$ ) 机器人安装密度( $B_2$ ) 数字技术企业数量( $B_3$ )	个 - 个
		市场经济活力 ( $X_3$ )	人均生产总值( $C_1$ ) 外贸进出口总额( $C_2$ )	% %
	数字技术创新投入	数字领域人力资本 ( $X_4$ )	数字经济领域(计算机服务和软件) 从业人员占比( $D_1$ )	%
		数字技术研发投入 ( $X_5$ )	技术研发(全社会R&D经费)支出( $E_1$ ) 技术研发(R&D)人员( $E_2$ )	万元 人
		数字技术创新政策支持力度 ( $X_6$ )	数字经济政策强度( $F_1$ ) 数字技术知识产权保护指数( $F_2$ )	% -
	数字技术创新产出	数字科技成果产出 ( $X_7$ )	数字技术授权专利数量( $G_1$ ) 数字技术专利平均IPC数量( $G_2$ )	个 个
		数字经济产出 ( $X_8$ )	人均电信业务总量( $H_1$ ) 规模以上企业数字产品销售收入( $H_2$ )	元/人 万元

资料来源:作者整理。

境因素:数字技术的创新和应用需要强大的基础设施作为支撑,包括通信设施、网络普及等在内的物理基础设施的先进性和覆盖范围直接影响数字技术的研发效率和创新活力。数字技术在各领域的渗透效应带来了以数据要素为核心的新型生产资料的普及(张新春,2021),企业作为创新主体不仅是变革的实施者,也是渗透效应的推广者和受益者。因此,高技术企业生存状况以及数字技术与其生产业务、运营管理的融合程度能够反映出—个地区是否拥有良好的数字技术创新环境。活跃的市场经济环境则可以为数字技术提供更多的应用场景和商业机会,通过综合考察这些指标,可以全面评估城市群的数字技术创新环境。

## (二)研究方法

### 1.投影寻踪模型

投影寻踪模型是一种处理多因素复杂问题的统计方法,其基本思路是将高维数据向低维空间进行投影,通过低维投影数据的散布结构来研究高维数据特征,能够处理多种类型的数据,适应性强,其步骤如下。

样本数据归—化预处理。其目的是消除不同指标因量纲不同而产生的影响,常用的方法是极差标准化。设 $x_{ij}$ 是第 $n$ 个城市群的第 $m$ 个指标,对指标的标准化使用公式:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x \cdot j)}{\max(x \cdot j) - \min(x \cdot j)} \quad (1)$$

构造投影指标函数。构造合理的目标函数是投影寻踪的核心和关键,设  $a$  为  $m$  维单位投影向量,  $a=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ , 将  $m$  维的数据  $x_{ij}$  与  $a$  相乘, 得到投影特征值  $z_i$ :

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_j x'_{ij} \quad (2)$$

其中,  $z_i$  为第  $i$  个样本的投影值,  $x'_{ij}$  是经过归一化后的第  $i$  个城市群的第  $j$  个指标值。投影指标函数  $Q(a)$  通常用来衡量投影值  $z_i$  的特性, 以便找到最佳的投影方向  $a$ :

$$Q(a) = \frac{std(z)}{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{z_i - \bar{z}}{h}\right) \right]} \quad (3)$$

式(3)中,  $std(z)$  是投影值的标准差,  $h$  为局部密度的窗口半径。  $K(\cdot)$  为核函数, 一般选择为越阶函数:

$$K(U) = \begin{cases} 0 & , |u| > 1 \\ 1 & , |u| \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

优化投影指标函数。为了找到最优的投影方向  $a$ , 需要对投影指标函数进行优化, 即最大化  $Q(a)$ , 该优化问题本文选择遗传算法这一全局优化方法来解决, 确保找到能最有效揭示数据特征的投影方向。

计算投影值并分析。将求得的最佳投影方向  $a^*$  代入公式, 计算每个样本点的投影值:

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_j^* x'_{ij} \quad (5)$$

随后根据得到的投影值对样本进行分类或排序, 投影值越大表明样本在特定评价体系中的综合表现越好。

### 2. 空间核密度估计法

核密度估计法是用来估计概率密度函数的一种非参数检验方法, 该方法的优点在于无需对参数模型做任何假设, 也能从样本数据本身去探究数据的分布特征, 其本质为用连续的密度函数曲线来刻画随机变量的分布形态与时间演化趋势。传统的核密度估计公式为:

$$f_x = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K(x_i - x_h) \quad (6)$$

其中:  $n$  为样本数量;  $h$  为带宽,  $K(\cdot)$  为核密度测算带宽的平滑系数;  $x$  为样本属性值,  $x - x_i$  为估计地区到样本地区处的距离。根据核密度曲线的重心

位置、波峰数量、拖尾长度等性质分析可以刻画出样本地区不同属性值的大小、差异、多极化等方面的空间演化特征。空间核密度估计则是在传统核密度估计的基础上同时考虑了空间和时间两个维度。这种方法不仅可以捕捉数据在空间上的分布特征, 还能反映时间上的变化趋势, 公式如下:

$$\hat{f}_{x,t} = \frac{1}{nh_x h_t} \sum_{i=1}^n K_x(x_i - x_h) \sum_{i=1}^n K_t(t_i - t_h) \quad (7)$$

其中,  $\hat{f}_{x,t}$  是地区  $x$  在时间点  $t$  处的估计密度,  $K_x(\cdot)$  和  $K_t(\cdot)$  是分别用于空间和时间的核函数。

### 3. 障碍度模型

本研究采用障碍度模型测算中国城市群数字技术创新能力评价中各个评价指标的障碍度, 厘清限制数字数字技术创新能力进步的阻力和壁垒, 公式如下:

$$I_{ij} = w_j z_j \quad (8)$$

$$U_{ij} = \frac{I_{ij} F_{ij}}{\sum_{j=1}^n I_{ij} F_{ij}} \quad (9)$$

$$O_{ij} = \sum U_{ij} \quad (10)$$

式中,  $w_j$  为各指标权重,  $z_j$  为各内容层权重,  $F_{ij}$  为因子贡献度,  $U_{ij}$  为  $j$  指标对  $i$  地区数字技术创新能力的影响程度,  $O_{ij}$  为内容层的影响程度。

### (三) 研究区域及数据来源

为了更好地以城市群视角展开差异对比分析, 本文综合考虑市级层面数据的可得性、可靠性和可比性, 选取粤港澳大湾区、京津冀、长三角城市群共计 52 个城市作为研究样本, 考察时间为 2014—2023 年。其中, 由于香港与澳门地区统计指标存在较大差异、浙江舟山部分城市数据缺失较多, 故未列入研究样本。研究涉及大量的数据, 其中科技成果产出数据来源于 Incopat 数据库, 互联网接入端口数、百人使用计算机数和长途光缆电线密度来自《中国互联网数据统计报告》。对于政府支持力度的表征, 本文通过整理各地市政府门户网站的政府工作报告, 得到数字经济相关词频与报告总词频的比值反映数字经济政策强度水平; 参考沈国兵等的研究(沈国兵等, 2019)使用知识产权审判结案数来度量城市层面知识产权保护强度。同时, 借鉴已有文献的研究方法(许健等, 2022), 利用各地级市不同行业的就业人数与 IFR 数据测算了各地级市的机器人密度, 结合在天眼查选择保留存续企业的方式搜索得到的数字经济领域企业存货数量(包含互联

网和工业企业),最终得到三个指标数据并以此表征企业主体培育。市场经济活力、人力资本及科学投入数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国区域经济年鉴》等统计资料,部分缺失数据采用趋势外推法、插值法、相邻年份均值法等补全。

#### 四、三大城市群数字技术创新能力的动态变化

##### (一)三大城市群数字技术创新能力评价

将各个城市群 2014—2023 年的数字技术创新能力测度结果进行汇总(见表 2),从城市群整体的时序演化格局来看,随着十四五新型城镇化实施方案的布局落实,三大城市群的数字技术创新能力不断提升,研究期末的评价得分远超期初值。相较其他两个城市群,粤港澳大湾区的数字技术创新能力处于领跑地位,原因在于广东的珠三角地区最早布局制造业数字化转型战略,制造业数字化转型基础良好。同时,粤港澳大湾区建设已于 2019 年上升为国家战略,政策赋能使得大湾区数字技术创新能力提升。三个城市群中,京津冀城市群的数字技术创新能力得分相对落后,虽然北京的得分均值超过了深圳,在所有城市中排名最高,但城市群内低值城市较多,得分最高值与最低值的差值远大于其他城市群,致使京津冀城市群与粤港澳大湾区的整体得分拉开了较大差距。

具体到城市来看,深圳、广州、北京和上海的数字技术创新能力领先于平均值,深圳、广州在大湾区内部排名最高,与现实情况相匹配,这些城市聚力建设现代化经济体系,具有丰富的数字化基础设施和政策资源倾斜优势,更能集聚产业、企业和人才。但值得注意的是,在大湾区内部,创新能力较强的城市和排位落后的城市之间得分差距不断扩大,广州、深圳的行政等级较高,已处于较高的经济社会发展阶段,城市内部交通网络发达,新型数字基础设施建设起步早,布局完善,与临近城市的趋同发展速度较快,例如东莞承接了深圳部分的技术和产业扩散,因此创新能力出现阶段式提升;相反,和中心城市技术距离较远边缘城市经济社会发展普遍滞后,肇庆受地缘条件和资源禀赋制约等影响较大,尤其是传统基础设施和新型数字基础设施建

设的缺乏,使得边缘城市的数字技术创新能力增长速度尤显乏力。

对比之下,三个城市群皆出现了数字技术创新能力发展不协调、不均衡的情况,还需加强各城市群内的协同联动进程,帮助弱势城市抓住发展机遇,从而提升城市群整体的数字技术创新能力。

##### (二)三大城市群数字技术创新能力的时空格局特征分析

为了更加直观地呈现各城市群数字技术创新能力演化时空格局的差异,本文借助 ArcGIS 软件,根据三大城市群的数字技术创新能力测度结果,运用自然间断点分级法将城市单元数字技术创新能力划分为创新能力弱(I级)、创新能力较弱(II级)、创新能力较强(III级)、创新能力强(IV级)四个等级梯度,选择 2014 年及 2023 年两个时间节点的城市群数字技术创新能力相对格局与分布情况进行可视化处理(见图 1)。

整体来看,三大城市群数字技术创新能力格局的空间分布特点明显,呈现出“沿海领先,内陆滞后”的空间格局,城市社会经济发展规模及城市行政等级与创新能力具有显著的正相关性。首先,I级城市数量最多,形成连片集聚区,随着数字技术创新等级的提升,所需的研发投入、技术突破难度和成本也会增加,因此大部分城市处在最基础等级的现象较为合理。作为起到承接作用的II级城市,数量则出现断崖式下跌。截至 2023 年,仅有珠海一个城市,表明数字化创新资源和能力在少数城市集中,三大城市群在推动更深层次的技术革新和产业升级方面仍存在薄弱之处。III级及以上的区域重点分布在社会经济发展整体靠前、经济体量庞大的核心城市,例如深圳、广州、上海等几个直辖市和个别省份的主要发达城市。

对各城市群对比分析,长三角城市群内各城市单元的能力等级未产生变动,保持稳定的发展态势。三大城市群中,粤港澳大湾区是唯一出现高等级城市数量提升的地区,足以证明其浓厚的数字产业生态和对数字技术创新的重视。值得注意的是,在大湾区不断推进“广州—深圳—香港—澳门”科技创新走廊建设的背景下,珠海取得了数字技术创新能力等级的跃迁,凸显城市间协同创新、产业间集群发展的重要性。

表2 2014—2023年各城市群数字技术创新能力测度

城市	城市群	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
北京	京津冀	3.968	3.991	4.361	4.712	5.073	5.915	6.372	7.065	6.898	7.267
天津	京津冀	2.043	2.102	2.461	2.613	2.230	2.341	2.398	2.539	2.753	2.829
石家庄	京津冀	1.775	1.906	1.819	2.131	2.159	2.362	2.418	2.572	2.691	2.794
唐山	京津冀	0.979	0.921	0.973	1.038	1.195	1.365	1.436	1.685	1.731	1.749
秦皇岛	京津冀	0.785	0.792	0.863	1.058	1.124	1.137	1.143	1.420	1.617	1.411
保定	京津冀	0.756	0.954	0.918	1.008	1.052	1.149	1.315	1.327	1.783	1.662
张家口	京津冀	0.334	0.579	0.854	0.944	0.833	0.903	1.028	1.064	1.464	1.149
承德	京津冀	0.545	0.522	0.920	0.980	0.848	1.200	1.382	1.418	1.390	1.312
沧州	京津冀	0.786	0.696	0.832	0.965	1.106	1.289	1.132	1.214	1.614	1.431
廊坊	京津冀	0.917	0.963	0.890	0.995	1.213	1.092	1.236	1.339	1.478	1.555
衡水	京津冀	0.793	0.846	0.900	0.870	0.915	1.054	1.085	1.189	1.434	1.365
邯郸	京津冀	0.655	0.713	0.750	0.639	1.015	1.079	1.237	1.431	1.389	1.507
邢台	京津冀	0.753	0.755	0.863	1.058	1.111	1.293	1.313	1.239	1.314	1.489
上海	长三角	3.752	3.791	4.246	4.360	4.770	5.054	5.390	5.912	6.156	7.135
南京	长三角	1.973	2.037	2.193	2.205	2.478	2.599	2.713	2.875	3.324	3.713
无锡	长三角	1.345	1.557	1.508	1.613	1.887	2.026	2.116	2.255	2.401	2.618
徐州	长三角	0.821	0.992	1.008	1.113	1.242	1.578	1.421	1.704	1.702	1.769
常州	长三角	1.124	1.243	1.311	1.325	1.541	1.562	1.711	2.020	1.962	2.195
苏州	长三角	1.991	2.250	2.006	2.158	2.326	2.525	2.747	3.146	2.979	3.668
南通	长三角	0.982	1.005	1.139	1.350	1.442	1.548	1.849	1.972	2.047	2.155
盐城	长三角	0.872	0.714	0.945	1.010	1.085	1.311	1.418	1.518	1.575	1.778
扬州	长三角	1.006	1.150	1.108	1.079	1.296	1.352	1.703	1.655	1.705	1.755
镇江	长三角	1.059	1.113	1.109	1.067	1.363	1.363	1.682	1.614	1.870	1.894
泰州	长三角	0.945	0.886	0.821	1.118	1.284	1.468	1.463	1.510	1.735	1.894
芜湖	长三角	0.686	0.800	0.804	0.656	1.271	1.025	1.172	1.407	1.479	1.753
杭州	长三角	1.818	1.893	2.225	2.267	2.403	2.642	2.749	3.215	3.483	3.876
宁波	长三角	1.133	1.312	1.395	1.532	2.044	1.917	2.194	2.559	2.644	2.923
台州	长三角	0.781	0.767	0.988	1.104	1.220	1.417	1.638	1.778	2.016	2.143
嘉兴	长三角	0.983	1.019	1.150	1.247	1.417	1.642	1.849	1.938	1.971	2.278
湖州	长三角	0.808	0.901	1.021	1.024	1.233	1.181	1.532	1.652	1.860	1.980
绍兴	长三角	0.938	0.981	1.134	1.174	1.243	1.491	1.697	1.708	1.982	2.000
金华	长三角	0.845	0.824	1.072	1.021	1.224	1.383	1.360	1.726	1.566	1.783
合肥	长三角	1.071	1.175	1.237	1.442	1.656	1.681	1.833	2.053	2.234	2.478
马鞍山	长三角	0.734	0.742	0.852	0.791	1.102	1.020	1.107	1.437	1.385	1.582
铜陵	长三角	0.777	0.776	1.102	0.628	0.769	0.912	0.866	1.293	1.400	1.135
安庆	长三角	0.573	0.489	0.561	0.421	0.574	0.593	0.737	0.883	0.923	1.111
滁州	长三角	0.794	0.831	0.634	0.767	0.822	0.777	0.864	1.144	1.149	1.012
池州	长三角	0.715	0.688	0.450	0.476	0.647	0.693	0.661	0.837	0.976	0.998
宣城	长三角	0.430	0.411	0.533	0.534	0.742	0.757	0.891	1.024	1.064	1.358
广州	大湾区	3.145	3.476	3.351	3.585	4.159	4.243	4.291	4.689	5.025	5.238
深圳	大湾区	3.712	4.094	3.841	4.038	4.891	4.565	5.327	5.241	4.975	6.695
珠海	大湾区	1.042	1.204	1.260	1.456	1.603	1.813	2.084	2.171	1.966	3.007
佛山	大湾区	1.258	1.443	1.458	1.488	1.864	1.736	1.828	2.060	1.824	2.359
江门	大湾区	0.796	0.765	0.862	0.942	1.128	1.231	1.231	1.540	1.603	1.667
肇庆	大湾区	0.832	0.810	0.864	0.923	1.207	1.301	1.285	1.384	1.477	1.602
惠州	大湾区	0.908	0.997	1.174	1.153	1.305	1.273	1.540	1.569	1.665	1.780
东莞	大湾区	1.293	1.960	1.477	1.750	1.896	1.723	1.817	1.880	1.864	2.321
中山	大湾区	1.081	1.149	1.151	1.469	1.570	1.529	1.681	1.499	1.567	2.027
均值	京津冀	1.161	1.211	1.339	1.462	1.529	1.706	1.807	1.962	2.120	2.117
	长三角	1.114	1.167	1.252	1.288	1.503	1.597	1.745	1.955	2.061	2.269
	大湾区	1.563	1.766	1.715	1.867	2.180	2.157	2.343	2.448	2.441	2.966

资料来源:作者整理。

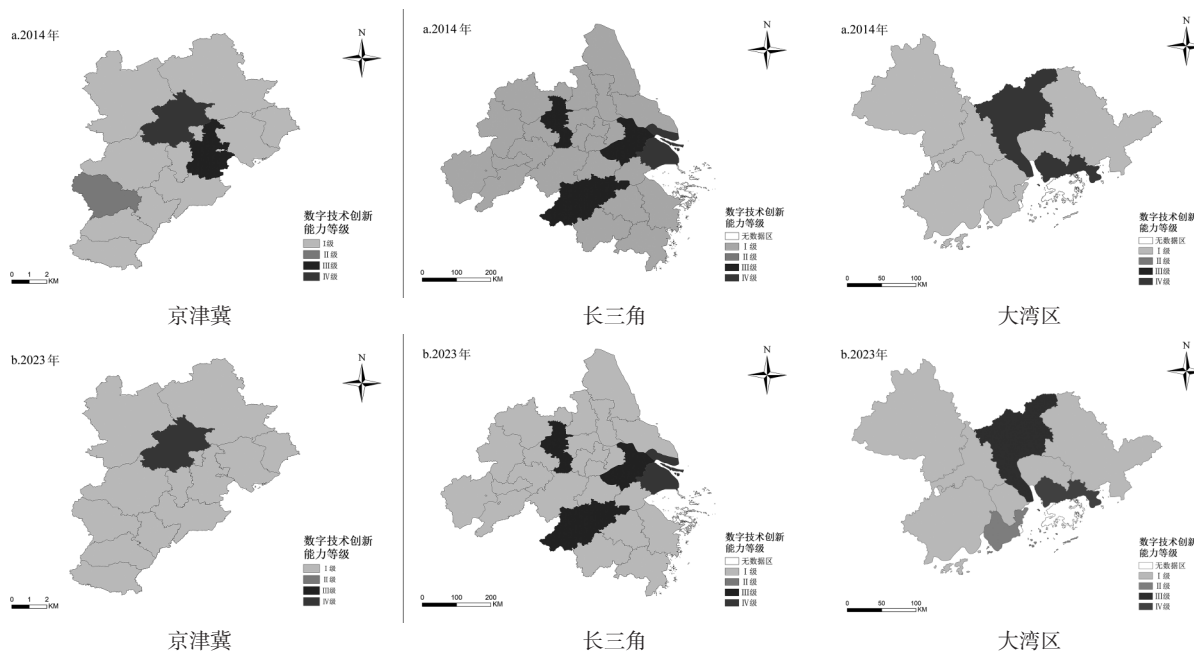


图1 2014—2023年三大城市群数字技术创新能力等级空间分布

资料来源:作者自绘。

研究期内,长三角地区联合出台众多科技创新与产业发展政策,《长三角科技创新共同体建设发展规划》等政策规划的落地为科技创新活动创设良好的环境,政策的连续性和稳定性为城市单元的技术创新能力提供了持续的支持。同时,长三角城市群致力于打造紧密的科技创新合作网络(王守文等,2023),逐渐提升互联互通强度,核心区域的稳定发展带动了整个网络创新绩效的增长,维持了城市单元技术创新能力的稳定。

与之相反的是,京津冀城市群内Ⅱ级以上单元数量的下降。该城市群的创新空间格局由2014年以北京为核心,天津、石家庄双轮驱动演变到北京“一枝独秀”,侧面反映了京津冀地区数字技术创新产业发展的不均衡,也暴露出河北省内各城市综合实力偏弱、经济联系度偏低,在这种发展模式下创新资源往往集中在中心城市,人才、资金、技术和信息等创新要素在流动的过程中往往存在一定的磁场效应(黄庆华等,2022),优质资源可能会被虹吸至数字技术创新能力较强的地区,形成“数字鸿沟”,因而加剧北京的极化效应,削弱天津、石家庄、唐山等其他潜力城市的辐射与带动能力。这也启示管理者,粤港澳大湾区需要加强城市间的协同合作,缩小地区间发展水平、弥合数字鸿沟,避免产生经济虹吸和政策资源过度倾向的孤立发展局面。

### (三)三大城市群数字技术创新能力动态演化规律

在充分掌握三大城市群数字技术创新能力发展状态和空间格局的基础上,本文运用空间核密度方法,从无条件、空间静态、空间动态三个维度对城市群数字技术创新能力的动态变化过程及其空间分布特征进行动态模拟与分析,揭示城市群数字技术创新能力是否具备动态效应和空间效应。

#### 1.无条件核密度估计

图2(a)(b)(c)展示了三大城市群数字技术创新能力分布的无条件核密度和核密度等高线图。从分布位置来看,三大城市群无条件核密度图的主峰位置均有向右移动的趋势,无条件核密度估计概率主要沿着45°对角线分布,处于45°对角线的上方,说明 $t$ 年份至 $t+3$ 年份所选城市群整体的数字技术创新能力有所提升。原因在于各个城市群通过政策引导、资金投入、人才引进等多方面的努力,有效推动了技术创新能力的提升,促进了数字产业与经济的深度融合。这种良好的发展态势不仅能为数字化背景下各城市群经济动能的转换奠定好坚实基础,也为国家创新驱动发展战略的实施提供了有力支撑。然而,三维核密度图拖尾处的波峰摆动以及无条件核密度等高线在左下角密集分布,显示出三大城市群在数字技术创新能力分布存在显著的区域差异,大部分城市的创新能力相对较弱,只

有少部分城市拥有突出的技术创新能力,还需通过各类措施提高核心城市群的创新扩散效应,构建区域间高效协调的发展格局。

### 2.空间动态核密度估计

为进一步揭示三大城市群数字技术创新能力是否具有空间动态效应,本文在空间条件的基础上

加入时间跨度,考察在空间滞后的条件下,第 $t$ 年所选城市是否会对第 $t+3$ 年相同城市群内的不同城市的数字技术创新能力分布动态产生影响(见图3)。观察波峰形态和等高线分布态势后,本文以增长率、发展均衡度为切入点对各城市群的发展情况进行解析。

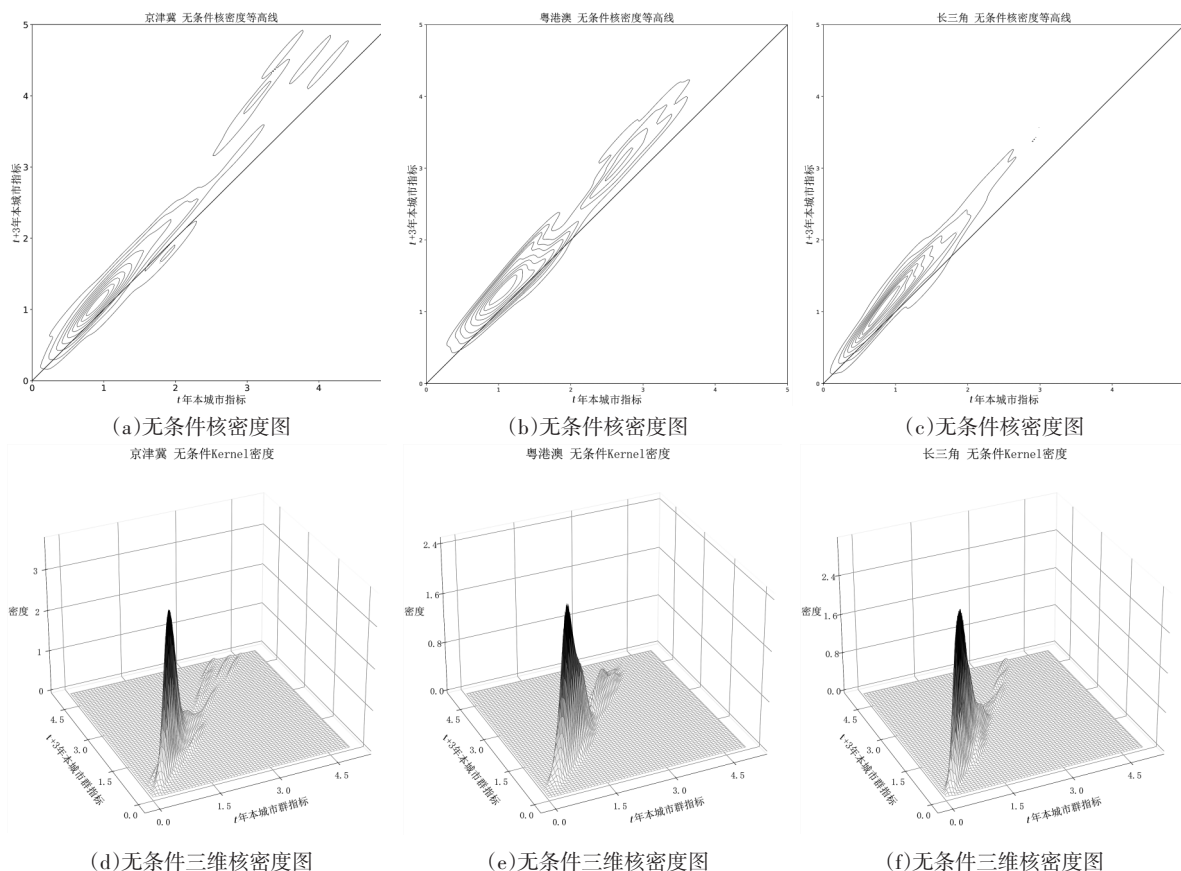


图2 2014—2023年三大城市群创新能力无条件Kernel密度图及核密度等高线

资料来源:作者自绘。

粤港澳大湾区核密度等高线的核心位于正 $45^\circ$ 对角线上方,如图3(b)所示,说明相较于其他两个城市群,研究期内大湾区数字技术创新能力的增长率最高。如果等高线呈拉长的椭圆形且与对角线接近平行,说明不同城市间具有正相关的关联关系,但图3(b)的等高线平行于 $y$ 轴,呈现垂直形态,表明大湾区内部的城市单元协同性较弱或未出现协同效应。同时,三维核密度图的波峰形态中出现了明显的双峰分布,表明城市群内部出现明显的分层现象,两极分化严重,部分核心城市(广州、深圳)的数字技术创新能力远远超过边缘城市。但是,大湾区的核密度等高线在远离原点的区域密集,反映该城市群内部数字技术创新能力较强和较弱的城

市群之间存在显著的空间集聚现象,能够有效地发挥交互影响作用,结合三维核密度图可以得出随着城市群内其他邻近城市数字技术创新能力的增强,本市的数字技术创新能力也会有所提升,尤其是在密度峰值较高的区域,等高线逐渐向 $45^\circ$ 对角线上方偏移,空间溢出效应更加显著。因此,大湾区城市间的协同联动可以为非核心或低行政等级的城市提供合作与共创的机会,从而促进知识、技术的传播,提高城市群整体的产业创新能力和技术竞争力。这也说明政府在制定区域发展政策时,应注重核心城市与周边城市的协同发展,通过政策倾斜和经济联动提升整体数字技术创新能力。

京津冀城市群核密度等高线的核心处于正 $45^\circ$

对角线上方,体现出数字技术创新能力水平具有正向的增长率。与大湾区相似,京津冀城市群的核密度等高线平行于 $y$ 轴分布,表明城市群内部数字技术创新发展的不均衡性。但是不同于大湾区城市群,其等高线更偏重在左下角分布密集,意味着该城市群内部数字技术创新能力较弱的城市之间存在强势的空间连结,存在低—低聚集的空间相关性,高水平城市的正向空间动态溢出效应微弱,未能较好地发挥辐射带动效应,需要更加注意“弱—弱”传导的现象。此外,京津冀城市群三维核密度图的主波峰较窄,说明高值数据点仅集中在较小范围内,一定程度上彰显了数字技术创新资源和活动在核心区域内的集中性,需要更加关注区域内创新资源的流动分配。

长三角城市群的核密度等高线平均地分布在 $45^\circ$ 对角线处分布,从图3(c)中可以看到,说明该城市群在样本研究期内维持了一定的创新系统稳定性,面临外部冲击时具有较强的抵抗力,各城市间能够形成互助互补的平衡体系。等高线密度核心处于对角线上方,体现出其创新能力在 $t+3$ 时间段

内具有正向的较高增长率。观察图3(e)的三维核密度图,出现多个波峰聚集的情况,表明长三角地区的数字技术创新能力呈现出多中心的分布格局,而不是两极中心。长三角城市群拥有上海、南京和杭州等经济社会发展起点较高的核心城市,总体呈现出多区域多中心的空间格局。虽然存在一些创新能力水平较低的城市,但是波峰整体较宽,且各个分波峰间融合度较高,表明长三角地区的数字技术创新具有空间溢出效应,核心城市间的包围联动促进了技术创新的良性循环与扩散,共同推动了城市群内各区域间数字技术创新能力的均衡发展。因此与粤港澳大湾区相比,长三角城市群发展更为均衡。

### 五、三大城市群数字技术创新能力障碍因子分析

为提升中国城市群数字技术创新能力,本文运用障碍度模型分析三大城市数字技术创新能力的障碍因子及其障碍度。障碍度越大,表明该指标对

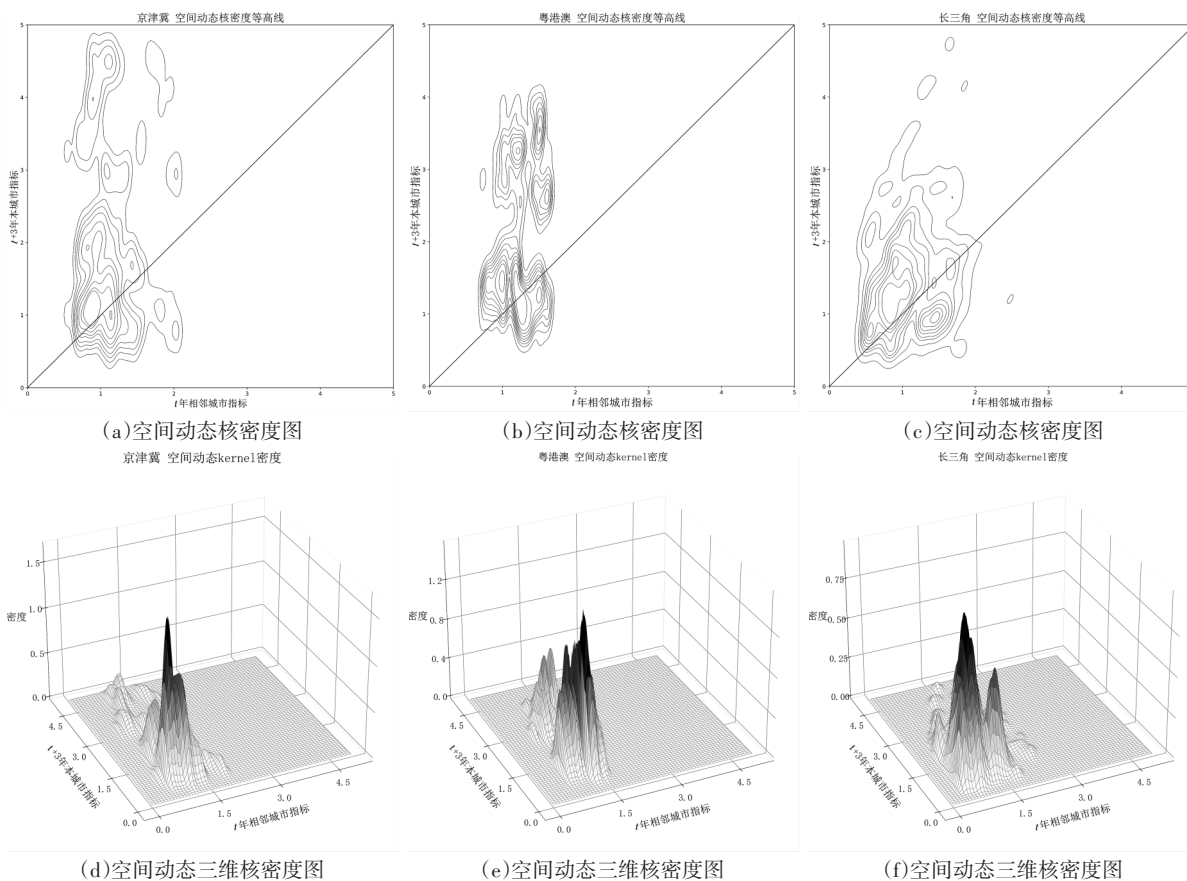


图3 2014—2023年三大城市群创新能力空间动态核密度等高线

资料来源:作者自绘。

各城市群数字技术创新能力提升的负面影响越显(见表3)。

表3 2014—2023年三大城市群数字技术创新能力的内容层障碍因素统计

城市群	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
京津冀	0.303	0.015	0.169	0.083	0.245	0.010	0.097	0.088
长三角	0.312	0.044	0.018	0.139	0.203	0.069	0.090	0.131
大湾区	0.211	0.041	0.146	0.039	0.345	0.045	0.137	0.046
均值	0.275	0.033	0.111	0.087	0.264	0.042	0.108	0.088

资料来源:作者计算。

### (一)内容层障碍因素分析

从均值大小来看,数字基础设置建设(X<sub>1</sub>)是制约三大城市群数字技术创新能力提升的关键障碍因子,障碍度为0.275,反映三大城市群虽然已经具备激发数字技术创新活力的社会资源与创新环境,但基础设施的完善程度可能还没有达到支持更高层次技术创新的需求,在数字技术基础设施建设方面仍有不足。京津冀、长三角城市群在此维度的障碍度得分较高,应继续加大数字基础设施投入,平衡好核心城市与非核心地区的数字基础设施投入。与其他两个城市群相比,大湾区的科技研发投入(X<sub>3</sub>)的障碍度为0.345,为得分最高的障碍因素。但实际情况来看,广东在科技研发上的资金投入已高达4802.6亿元,研发投入强度为3.54%,研发人员数量达135万(马晓澄等,2024),显示大湾区对各类技术创新的重视。出现此项障碍的原因更可能是所投入的研发资源配置不均衡,不同地区、不同行业或不同创新主体之间的分配差异、资源利用率不高等问题进一步导致研发成果的转化率低,负向影响大湾区整体的数字技术创新能力。

### (二)指标层障碍因子分析

考虑到指标数量较多,借鉴相关研究,把障碍度前三的障碍因子确定为主要障碍因子。表4中障

碍因子的出现的频数可以发现,样本研究期内长途光缆电线密度(A<sub>3</sub>)是出现频次最高且障碍度最大的指标因素,其次是技术研发(R&D)人员(E<sub>2</sub>)、外贸进出口总额(C<sub>2</sub>),这些指标是制约三大城市群城市数字技术创新能力发展最关键的障碍因子。其中,长途光缆电线密度(A<sub>3</sub>)属于内容层数字基础设施建设,再次印证了数字技术基础设施的不足是阻碍城市群数字技术创新能力提升的主要因素之一。技术研发人员的数量和质量是推动数字技术创新的关键。E<sub>2</sub>指标出现的频次较多,意味着各城市群还需要重视人才的引进和培养。外贸进出口总额(C<sub>2</sub>)衡量一个经济体的对外开放程度和参与国际贸易的活跃性,作为障碍因素出现时可能代表着全球市场需求变化影响了部分城市群数字技术产品的研发力度。

进一步对比各城市群的情况,粤港澳大湾区以龙头城市深圳、广州为核心向周围辐射形成多层次都市联合体,各城市之间的数字技术创新能力参差不齐,因此指标A<sub>3</sub>在研究初期与研究末期障碍度最大。与总体不同,人均生产总值(C<sub>1</sub>)是制约大湾区城市群2017—2020年数字技术创新能力进步的最重要的障碍因子,也是第一次出现在排序中,具有一定的特殊性。在此阶段,我国经济增速从高速转向中高速,发展方式从规模速度型转向质量效率型(王思薇等,2023),新旧动能的转换交接使得传统模式下的研发资源配置和数字产业结构调整滞后,数字创新未能迅速适应新需求,导致短期内数字技术创新能力的增长速度放缓,出现了人均生产总值提高抑制创新能力增长的情况,特别是对数字产业集群集中分布的珠三角地区,影响更为显著。同时,数字技术授权专利数量(G<sub>1</sub>)作为阻碍因素出现的频率也较高,表明粤港澳大湾区需要更多的资源倾斜及为企业高端技术和前瞻性技术的研发提供

表4 2014—2023年三大城市群数字技术创新能力指标层前三位障碍因子

城市群	2014			2017			2020			2023		
	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>
京津冀	18.24%	18.08%	16.23%	37.44%	16.28%	9.44%	31.14%	19.90%	7.91%	31.48%	17.94%	11.11%
长三角	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	G <sub>2</sub>
	20.52%	13.08%	11.11%	20.77%	17.82%	12.77%	26.00%	22.21%	12.79%	25.64%	23.52%	12.05%
大湾区	A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	G <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>
	24.82%	21.48%	21.42%	29.58%	19.84%	17.78%	44.40%	21.61%	6.58%	31.48%	17.61%	12.05%

资料来源:作者整理。

外部支持(丁永健等,2023)。17个指标中,数字经济领域(互联网工业企业)存活企业数( $B_1$ )、机器人安装密度( $B_2$ )、数字技术企业数量( $B_3$ ),计算机服务和软件从业人员占比( $D_1$ ),每百人互联网用户数( $A_1$ ),移动电话普及率( $A_2$ ),数字经济政策强度( $F_1$ )出现频数最为0,表明相关数字企业在大湾区的分布较广,并且现阶段从业人力资本存量已经达到了区域内部数字技术创新的需求标准,政府为城市群数字技术创新发展提供了充足的政策与移动互联网服务支持。

对京津冀城市群而言,长途光缆电线密度( $A_3$ )是出现频次最高且障碍度最大的指标因素。与大湾区相似,作为京津冀城市群的中心城市,北京的创新资源投入远超前于其它城市,在本地区占据绝对优势(李俊杰等,2023),因此现阶段高行政等级城市与低行政等级城市的数字基础设施建设仍存有较大差距,进而形成了城市群内部创新能力的差异。

相比之下,长三角城市群略显不同,在不同时间段面临着不同的阻碍因素。2014—2017年,长三角地区正处于数字技术创新能力发展的初级阶段,对技术研发人才的需求非常迫切。随着时间的推移,数字基础设施建设的逐步完善,技术研发人员的重要性又凸显出来。在研究末期,随着数字技术的迭代升级和数字工具对实体产业的高度渗透,整个城市群对数字基础设施的需求也在不断增长。此时,如果数字基础设施的建设速度跟不上数字技术创新的步伐,就会面临和大湾区城市群相似的处境——创新能力增长被抑制,因此出现了研究末期 $A_3$ 成为主要障碍因子的情况。

## 六、结论与政策建议

本文利用2014—2023年的面板数据,基于寻踪投影模型从创新投入、创新产出、创新环境三个维度对粤港澳大湾区及京津冀、长三角三大国家级城市群的数字技术创新能力进行综合测度对比,并将创新能力分布的差异格局可视化处理。采用空间核密度分析刻画不同城市群创新能力的分布动态变化特征,利用障碍度模型分别测算各内容层与指标层对数字技术创新能力发展的阻碍程度。

首先,数字技术创新能力的测算结果表明,三

大城市群的数字技术创新能力在2014—2023年不断提升,粤港澳大湾区的表现最为突出,京津冀城市群稍显逊色,大湾区内部深圳、广州的得分最高,排位在前和排位落后的城市之间得分差距不断扩大。将各城市的数字技术创新能力进行等级划分,粤港澳大湾区是唯一出现高等级城市数量提升的地区;长三角城市群内各城市单元虽然存在数字技术创新能力水平差异,但能力等级保持稳定;京津冀地区的极化效应较为明显。

其次,空间核密度图和核密度等高线图显示,不同城市群的数字技术创新能力发展态势存在显著差异。粤港澳大湾区创新能力总体增长最快,存在明显两极分化的现象,但数字技术创新能力较强的城市空间溢出效应显著;京津冀城市群的数字技术创新能力具有正向的增长率,城市群内存在低—低聚集的空间相关性,未能较好地发挥中心城市的辐射带动效应,发展均衡度低于大湾区;长三角城市群增长率较高,相对于其他两大城市群发展更为均衡。

最后,从阻碍城市群数字技术创新能力的因素来看,在内容层,数字基础设施建设( $X_1$ )是制约三大城市群数字技术创新能力提升的关键障碍因子,反映出三大城市群数字基础设施的完善程度暂时未能支持更高层次技术创新的需求。在指标层,研究初期与研究末期长途光缆电线密度障碍度最大,研究中期人均生产总值成为主要障碍因素,经济从高速增长转向高质量增长导致此阶段大湾区数字技术创新能力增长放缓。与大湾区相似,京津冀城市群的主要障碍因子为长途光缆电线密度,表明城市群内部在通信基础设施建设上存在较大差距,需优化布局;长三角城市群则在不同阶段面临着不同的阻碍因素。

基于上述结论,本文针对不同城市群提出以下政策建议。

第一,强化粤港澳大湾区数字技术创新发展的领先优势,发挥广深“双核联动、双轮驱动”的创新带动作用。综上所述,粤港澳大湾区的数字技术创新能力表现最为突出,进一步整合大湾区内外的创新资源,利用数字技术的共享性和非竞争性特征(盛斌等,2022)推动国际化合作和跨境创新协作,三位一体形成鲜明的特色和国际技术竞争优势。同时,参考长三角城市群,把握好一体化发展的体

制机制,实现数字技术创新能力全区域发展的前置案例,深化创新要素自由流动、开放共享,依托广州南沙(粤港澳)数据要素合作试验区、珠海横琴粤澳深度合作区建设(何雨谦等,2024),推进成果信息、技术需求、服务机构等信息资源互联互通,为大湾区的融合发展创造了更多可能。此外,虽然大湾区内部存在明显的两极分化现象,但数字技术创新能力较强城市的空间溢出效应显著。所以,要发挥广州、深圳的引擎作用,通过创新合作网络带动整体城市群数字技术创新的同步发展。

第二,巩固长三角城市群多中心协同优势,推动数字技术创新由均衡扩展转向质量跃升。相较于其他城市群,长三角的整体数字技术创新能力呈现出较高的稳定性和均衡分布特征,但在数字基础设施建设和高端技术人才培养方面仍存在阶段性约束。未来,应在保持多中心协同格局的基础上,进一步提升区域创新体系的整体能级。一方面,以上海、南京、杭州为核心,深化其分工协作与功能互补,避免同质化竞争,通过采取“一地一策”“一项目一策”等方式差异化布局基础研究、应用研发和产业化环节,在空间尺度、城市区县优势单元等维度实现数字产业的高效创新转换。对城市群内的联动并跑区,即受到中心城市技术辐射带动的非核心城市,细化其数字技术创新能力的提升政策,继续深挖其创新潜力,努力突破核心技术的发展瓶颈,扩大数字技术创新发展的“涓滴效应”(张建民等,2024)。另一方面,针对部分地级市在新型数字基础设施建设和高端技术人员供给方面的瓶颈,应通过统一规划算力网络、数据平台和技术标准,鼓励企业通过技术改造、业务云化等加快研发、生产管理等关键环节的数字化,降低中小城市参与高水平数字技术创新的门槛。

第三,提升京津冀城市群数字技术创新的整体协同水平,强化核心创新策源地对周边城市的辐射引领。研究发现,京津冀城市群数字技术创新能力呈现正向增长趋势,但创新资源分布高度极化,低—低集聚特征明显,中心城市的辐射带动效应不足。一是要以北京为创新策源地,围绕人工智能、工业互联网和数字安全等领域,推动科研平台、重大科技基础设施和高端研发机构向天津、石家庄等节点城市合理布局,构建跨城市、跨层级的创新联合体;二是要以发展数字经济为契机,加快补齐河

北省内落后城市的数字基础设施短板,重点提升通信网络、算力设施和工业互联网平台的覆盖水平,缩小区域间的数字鸿沟,为承接技术转移和产业外溢创造必要条件。

## 参考文献

- [1] KUPREVICH T S. The impact of artificial intelligence on the world economy[J]. *Belarusian economic journal*, 2017(4): 54-62.
- [2] 叶堂林,刘哲伟,张京亮.数字产业空间集聚影响因素探析[J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(15).
- [3] ZHANG C, ZHU Y Y, ZHANG L M. Effect of digital inclusive finance on common prosperity and the underlying mechanisms[J]. *International review of financial analysis*, 2024, Vol.91, 102940.
- [4] 马海涛,徐植飏,江凯乐.中国城市群技术知识多中心性演化特征及创新效应[J]. *地理学报*, 2023, 78(2).
- [5] 陈曦,吴英巨,朱建华.新质生产力视角下地方人才引进与全要素生产率[J]. *经济管理*, 2024, 46(12).
- [6] 陈林,张玺文.制造业数字化转型的机理研究[J]. *暨南学报(哲学社会科学版)*, 2023, 45(3).
- [7] 张玲,杨建君.数字创新:内涵、理论框架与未来研究[J/OL]. *科技进步与对策*, 1-8 [2024-12-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.G3.20241204.1350.005.html>.
- [8] 江小涓,孟丽君.内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环:国际经验与中国实践[J]. *管理世界*, 2021, 37(1).
- [9] VIAL G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda [J]. *Managing digital transformation*, 2021: 13-66.
- [10] CALDERON-MONGE E, RIBEIRO-SORIANO D. The role of digitalization in business and management: a systematic literature review [J]. *Review of managerial science*, 2024, 18(2): 449-491.
- [11] 杨名彦,浦正宁.我国省际数字技术创新水平测算及区域差异研究[J]. *统计研究*, 2024, 41(2).
- [12] NAMBISAN S, WRIGHT M, FELDMAN M. The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes [J]. *Research policy*, 2019, 48(8): 103773.
- [13] 丁仕潮,张飞扬.数字技术创新与实体经济高质量发展的耦合协调评价与动态演进[J]. *统计与决策*, 2023, 39(14).
- [14] 单晓红,郝秀艳,刘晓燕.面向技术多维特征的关键共性技术跨界溢出机理研究[J]. *中国科技论坛*, 2024(9).
- [15] SAMARA E, ANDRONIKIDIS A, KOMNINOS N, et al. The role of digital technologies for regional development: A system dynamics analysis[J]. *Journal of the knowledge*

- economy, 2023, 14(3): 2215–2237.
- [16]张雄,高志刚,克魁.中国城市数字创新水平的地区差距及动态演进[J].统计与决策,2023,39(12).
- [17]CHESBROUGH H. Open Innovation Results: Going Beyond the Hype and Getting Down to Business [M]. Oxford: Oxford University Press, 2021.
- [18]MATARAZZO, M., PENCO, L., PROFUMO, G., & QUAGLIA, R. Digital Transformation and Customer Value Creation in Made in Italy SMEs: A Dynamic Capabilities Perspective[J]. Journal of business research, 2021, 123:642–656.
- [19]NADKARNI S, PRÜGL R. Digital transformation: a review, synthesis and opportunities for future research[J]. Management review quarterly, 2021, 71: 233–341.
- [20]赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展:来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020,36(10).
- [21]陶锋,朱盼,邱楚芝等.数字技术创新对企业市场价值的影响研究[J].数量经济技术经济研究,2023,40(5).
- [22]张新春.数字技术下社会再生产分层探究[J].财经科学,2021,(12).
- [23]沈国兵,黄钰珺.城市层面知识产权保护对中国企业引进外资的影响[J].财贸经济,2019,40(12).
- [24]许健,季康先,刘晓亭,等.工业机器人应用、性别工资差距与共同富裕[J].数量经济技术经济研究,2022,39(9).
- [25]王守文,赵敏,章杰嘉,等.长三角城市群科技创新合作的空间关联网络特征及影响因素分析[J].统计与决策,2023,39(9).
- [26]黄庆华,潘婷.长江经济带科技创新水平测度及其协同力提升政策建议[J].创新科技,2022,22(3).

## Dynamic Changes and Obstacle Factor Analysis of Digital Technology Innovation Capability of Urban Agglomerations

Chen Xin Gao Zeyue He Shi

**Abstract:** Using panel data from 2014 to 2023, this study comprehensively measures the digital technology innovation capability of three national-level urban agglomerations, namely the Guangdong–Hong Kong–Macao greater bay area, the Beijing–Tianjin–Hebei urban agglomeration, and the Yangtze river delta urban agglomeration, based on the projection pursuit model and genetic algorithm. The spatial kernel density estimation method is employed to explore differences in the dynamic evolution of digital technology innovation capability from the perspectives of growth rate and development balance, while obstacle factors constraining the innovation process are diagnosed and comparatively analyzed across the three urban agglomerations. The results show that: (1) The digital technology innovation capability of the Guangdong–Hong Kong–Macao greater bay area is the most prominent, with the score Gap between high-level and low-level cities within the urban agglomeration continuously expanding; (2) Spatial kernel density analysis indicates that although the Guangdong–Hong Kong–Macao greater bay area exhibits rapid growth, it also shows evident polarization, and cities with stronger digital technology innovation capability demonstrate significant spatial spillover Effects, whereas the Beijing–Tianjin–Hebei urban agglomeration suffers from unbalanced development and insufficient radiation Effects of central cities, while the Yangtze river delta urban agglomeration shows a more balanced development pattern; (3) Obstacle degree analysis reveals that, at the content Level, scientific and technological research and development investment is the primary constraint on digital technology innovation capability in the Guangdong–Hong Kong–Macao greater bay area, and at the indicator level, insufficient digital infrastructure construction is a common constraint faced by all three urban agglomerations.

**Key Words:** Urban Agglomerations; Digital Technology Innovation Capacity; Obstacle Factors

(责任编辑:平 萍)