

【技术经济】

城市创新要素耦合协调度的时空演变、 区域差异及收敛性

陈秋玲 刘 伟

摘 要：分析城市创新要素耦合协调度对推动创新驱动发展具有重要意义。以中国246个城市为样本，采用耦合协调度模型、Dagum基尼系数、Kernel密度估计和收敛模型，研究了2009—2021年全国及四大区域城市创新要素耦合协调度的时空演变特征、区域差异情况及收敛效应。结果表明：第一，全国及四大区域的城市创新要素耦合协调度呈上升趋势，空间分布上呈现东高西低的特点；第二，全国及四大区域的组间差异和组内差异均呈缩小趋势，区域间差异是导致区域空间发展失衡的主要原因，全国及四大区域中创新要素耦合协调度较低的城市占比较大，不均衡性特征显著，且绝对差异呈逐渐扩大趋势；第三，全国、东部、中部、西部地区的城市创新要素耦合协调度存在 σ 收敛，全国及四大区域均存在 β 收敛，不同区域呈现出不同的空间效应与收敛周期，且经济发展水平、产业结构、金融发展水平、对外开放水平、政府支持、教育投入等因素对城市创新要素耦合协调度变化率的影响具有显著的异质性。本研究可为促进全国及四大区域创新发展协调推进、精准施策以优化创新要素布局，以及推动国家创新驱动战略实施提供有力支撑。

关键词：创新要素；耦合协调度；区域差异；动态演进；空间收敛

作者简介：陈秋玲，上海大学经济学院教授、博士生导师（上海 200444）；刘伟，上海大学经济学院博士研究生（上海 200444）

基金项目：国家社科基金项目“新质生产力视角下创新链产业链人才链耦合机制研究”（24BJY021）

DOI 编码：10.19941/j.cnki.CN31-1957/F.2025.03.006

在全球创新版图不断重构的背景下，逆全球化浪潮与技术封锁叠加共振，导致国际贸易与投资持续萎缩，经济增长乏力，迫使各国加强本土创新体系重构，深化创新要素耦合与协作，将科技创新发展作为突破增长瓶颈的战略支点。2022年10月，党的二十大报告提出，“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位”^①，进一步强化了创新的地位。

然而，创新要素作为创新活动的支撑条件，本身具有“稀缺性”和“趋利性”特征^②，

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》，《人民日报》2022年10月26日，第1版。

② 白俊红、蒋伏心：《协同创新、空间关联与区域创新绩效》，《经济研究》2015年第7期，第174—187页。

更倾向于流向创新环境优越、边际收益更高的区域。因此,我国城市间创新要素配置呈现出显著的非均衡特征,存在明显的空间异质性和要素黏性,人才、资金、技术、数据等创新要素过度集中于东部城市,形成了强路径依赖的集聚态势,而中西部地区则面临要素流动壁垒与协同效率不高的问题。同时,各创新要素间存在着相互作用、相互依赖又相互制约的复杂关系,因此,必须更加重视不同创新要素之间的协同互动,促进要素的合理流动,推动科技发展螺旋式上升,而单一或非适配的要素流动可能会导致路径锁定或路径僵化等“空间近视”现象^①。因此,探讨城市创新要素的耦合协调水平及其存在的短板,对于增强城市的可持续创新能力、形成合力推进区域创新体系建设至关重要。这不仅有助于提升区域创新的整体效能,还能为制定差异化的区域创新政策提供理论依据。

一、文献综述

现有文献关于创新要素的研究主要聚焦于三条主线。一是关于创新要素的构成,最基本且直接的创新要素为研发(R&D)人员和R&D经费^②。由于创新要素的内涵具有动态性、演进性特点,随着学者们对创新规律认识的深入,创新要素的构成维度也不断拓展,如宏观政策、基础设施和社会环境等间接维度^③,以及创新主体和创新环境^④、技术^⑤等直接维度。二是关于创新要素的配置,学者们从过程视角^⑥和结果视角^⑦出发,探讨了创新要素配置的内涵,重点关注了效率水平^⑧、流动状态^⑨、集聚现象^⑩以及错配情况^⑪等。三是关于创新要素配置的影响因素,主要围绕着市场和制度两个方面,其中市场方面包

- ① 肖凡、陈家麟、夏丽丽等:《伴随资金流的技术溢出——股东技术水平对高新技术企业创新的影响》,《地理科学》2020年第9期,第1460—1467页。
- ② 许庆瑞、蒋健、郑刚:《各创新要素全面协同程度与企业特质的关系实证研究》,《研究与发展管理》2005年第3期,第16—21页。
- ③ 朱苑秋、谢富纪:《长三角大都市圈创新要素整合》,《科学学与科学技术管理》2007年第1期,第97—100页。
- ④ 凌峰、戚湧、石志岩:《区域科技资源市场化配置机理与江苏创新驱动发展建议》,《科技管理研究》2016年第18期,第68—74页。
- ⑤ 张伟、张东辉:《中国创新要素配置的统计测度研究》,《经济体制改革》2021年第6期,第26—33页。
- ⑥ 王蓓、陆大道:《科技资源空间配置研究进展》,《经济地理》2011年第5期,第712—718页;陶长琪、徐莱:《经济高质量发展视阈下中国创新要素配置水平的测度》,《数量经济技术经济研究》2021年第3期,第3—22页。
- ⑦ 张杰:《中国制造业要素配置效率的测算、变化机制与政府干预效应》,《统计研究》2016年第3期,第72—79页。
- ⑧ 余泳泽、刘大勇:《我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究》,《管理世界》2013年第7期,第6—20+70+187页。
- ⑨ 王欣亮、汪晓燕、刘飞:《税收竞争有利于提升区域创新绩效吗?——基于创新要素流动的空间机制分析》,《财贸研究》2021年第6期,第98—110页。
- ⑩ 赵建吉、曾刚:《创新的空间测度:数据与指标》,《经济地理》2009年第8期,第1250—1255页。
- ⑪ Aoki S, “A Simple Accounting Framework for the Effect of Resource Misallocation on Aggregate Productivity”, in *Journal of the Japanese and International Economies*, 2012, Vol.26, No.4, pp.473—494; 董直庆、胡晟明、王林辉:《创新要素错配:空间溢出视角的对比检验》,《浙江学刊》2020年第2期,第136—145页。

括新型城镇化^①、市场分割^②、数字化转型^③等，制度方面则包括高铁开通^④、政府研发支持^⑤、税收竞争^⑥等。

首先，从已有研究文献来看，国内外关于创新要素的研究已取得显著成果，多采用熵值法、DEA 模型、SFA 模型、GIS 空间分析、引力模型、Henderson 指数等方法来测度创新要素的配置水平、流动量、集聚水平以及错配系数。然而，鲜有研究从创新要素相互影响的角度出发研究创新要素之间的耦合协调关系。其次，现有研究的尺度多集中在全国层面或区域、省级层面，城市层面的研究相对较少，亟待加强。最后，现有研究内容尚不够全面，特别是从区域差异、动态演进趋势等角度对创新要素耦合协调度的系统分析较为少见。基于此，本研究以 2009—2021 年中国 246 个地级及以上城市为研究对象，首先探讨创新要素的构成与耦合关系，并采用耦合协调度模型进行测算。在此基础上，利用 Dagum 基尼系数分解四大区域创新要素耦合协调度的相对差异，并使用非参数核密度函数估计刻画不同区域创新要素耦合协调度绝对差异的动态演进趋势。最后，运用变异系数和空间面板模型进行 σ 收敛和 β 收敛分析。

二、研究设计

Schumpeter 将创新定义为建立一种新的生产函数，创新要素作为生产要素的高级形式，不仅是创新活动的客观基础，还具备动态性与演进性，内涵也随之不断拓展深化^⑦。因此，本研究所界定的创新要素，是指那些参与创新过程、对创新绩效产生影响并能体现创新成果的关键生产要素，它们展现出边际报酬递增的特性，共同构成了创新要素的综合体系。

党的二十大报告指出，“强化国家战略科技力量，优化配置创新资源”^⑧，强调了创

-
- ① 吴福象、沈浩平：《新型城镇化、创新要素空间集聚与城市群产业发展》，《中南财经政法大学学报》2013 年第 4 期，第 36—42+159 页。
- ② 邓峰、杨婷玉：《市场分割对省域创新效率的空间相关性研究——基于创新要素流动视角》，《科技管理研究》2019 年第 17 期，第 19—29 页。
- ③ 王宏鸣、陈永昌、杨晨：《数字化能否改善创新要素错配？——基于创新要素区际流动视角》，《证券市场导报》2022 年第 1 期，第 42—51 页。
- ④ 卞元超、吴利华、白俊红：《高铁开通是否促进了区域创新？》，《金融研究》2019 年第 6 期，第 132—149 页。
- ⑤ 陈子韬、孟凡蓉、王煥：《政府支持对高技术产业创新效率影响研究》，《科学学研究》2020 年第 10 期，第 1782—1790 页。
- ⑥ 朱德云、王鸿梓：《税收竞争与财政支出竞争对区域科技创新效率的影响——基于产业结构升级的门槛效应检验》，《现代财经（天津财经大学学报）》2023 年第 1 期，第 86—102 页。
- ⑦ Schumpeter J A, *The Theory of Economic Development*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1934.
- ⑧ 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》，《人民日报》2022 年 10 月 26 日，第 1 版。

新要素配置模式在科技创新领域中的重要性。本研究借鉴陶长琪和徐茱的研究^①，将创新要素细分为人才、资本、技术、数据和制度五个部分。这些创新要素之间存在着紧密的内在联系。创新人才是创新活动的主体^②，作为最活跃、最具能动性的生产要素，能够通过数据创新要素拓展知识共享、创造与应用的边界，并有效提升人才储备与技术知识积累。政府通过优化创新制度政策，促进人才在城市集聚，加快资本流入与技术引进。资本要素是指投入价值链高端环节的资金，是区域企业开展创新活动的关键资源。资本市场的蓬勃发展为科技创新人才带来了诸如股权激励等多样化的激励工具^③，进一步吸引高端科技人才汇聚^④，而风险资本机构则为企业创新提供有价值的研发策略或技术资源^⑤。技术要素涵盖技术创新过程中积累的经验、技能、知识等资源，其在空间上的转移与转化，将带动资本、数据、科研人员等要素的流动^⑥。数据要素是指创新生产活动中所需要的一切具有共享性、时效性、动态性、外部性的资源，主要以信息资源的形式存在，其边际成本极低^⑦，能够拓宽信息与资源获取途径^⑧，减少人力与资本创新要素流动的障碍^⑨，影响投资者的决策^⑩，有效缓解中小企业技术匮乏和政府支持不足的问题^⑪，通过数据赋能增强企业的动态能力，进而推动技术进步^⑫。制度要素是指由政府主导，旨在为创新活

-
- ① 陶长琪、徐茱：《经济高质量发展视阈下中国创新要素配置水平的测度》，《数量经济技术经济研究》2021 年第 3 期，第 3—22 页。
- ② 吴福象、沈浩平：《新型城镇化、创新要素空间集聚与城市群产业发展》，《中南财经政法大学学报》2013 年第 4 期，第 36—42+159 页。
- ③ 徐玉德、李昌振：《我国资本市场支持科技创新的成效、困境及政策建议》，《财政科学》2022 年第 5 期，第 15—30 页。
- ④ 张尧、张玥、郭晓旭：《公司创业投资助推产业链创新链耦合发展：理论依据与经验事实》，《当代财经》2024 年第 6 期，第 71—83 页。
- ⑤ 王雷、亓亚荣：《CVC 竞争强度与被投资企业技术创新绩效——基于卷入强度的中介效应分析》，《上海财经大学学报》2019 年第 2 期，第 46—64 页。
- ⑥ 董直庆、赵星：《要素流动方向、空间集聚与经济增长异地效应检验》，《东南大学学报（哲学社会科学版）》2018 年第 6 期，第 57—67+147 页。
- ⑦ 杨德明、刘泳文：《“互联网+”为什么加出了业绩》，《中国工业经济》2018 年第 5 期，第 80—98 页。
- ⑧ 曹春方、贾凡胜：《异地商会与企业跨地区发展》，《经济研究》2020 年第 4 期，第 150—166 页。
- ⑨ Boudreau K J, Lacetera N, Lakhani K R, “Incentives and Problem Uncertainty in Innovation Contests: An Empirical Analysis”, in *Management Science*, 2011, Vol.57, No.5, pp.843—863.
- ⑩ Hvide H K, Meling T G, Mogstad M, et al., “Broadband Internet and the Stock Market Investments of Individual Investors”, in *The Journal of Finance*, 2024, Vol.79, No.3, pp.2163—2194.
- ⑪ Andrade-Rojas M G, Saldanha T J V, Kathuria A, et al., “How Information Technology Overcomes Deficiencies for Innovation in Small and Medium-Sized Enterprises: Closed Innovation vs. Open Innovation”, in *Information Systems Research*, 2024, Vol.35, No.4, pp.1981—2012.
- ⑫ 罗仲伟、李先军、宋翔等：《从“赋权”到“赋能”的企业组织结构演进——基于韩都衣舍案例的研究》，《中国工业经济》2017 年第 9 期，第 174—192 页。

动提供支撑、激发创新要素潜能的政策制度与市场环境，政府通过实施减税^①、人才引进^②、财税优惠^③、转移支付^④等措施，可以降低制度性交易成本^⑤，吸引创新人才、资金与技术汇聚^⑥。因此，人才、资本、技术、数据和制度这五大创新要素相互耦合协作，能够产生“1+1 > 2”的协同效应。

三、研究方法 with 数据来源

（一）研究方法

1. 耦合协调度模型

耦合度模型能够评价系统相互作用关系。在此基础上，引入耦合协调度模型来评价城市整体的协调发展程度，可以更直观地看出城市是否实现了协调发展。因此，本研究引入五个系统（或要素）的耦合度模型，如下所示：

$$C = 5 \left[\frac{U_1 \times U_2 \times U_3 \times U_4 \times U_5}{(U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5)^5} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

式中： C 为创新要素的耦合度； U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 与 U_5 分别为人才、资本、技术、数据与制度等创新要素。

耦合度模型仅能反映各系统间的耦合强弱程度，无法体现五要素共同协调发展的水平高低。因此，为避免创新要素在同时取值较小时出现伪评价结果，本研究引入耦合协调度模型，如下所示：

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (2)$$

$$T = aU_1 + bU_2 + cU_3 + dU_4 + eU_5 \quad (3)$$

式中： D 为创新要素的耦合协调度，取值范围为0~1； T 为创新要素组合形成的综合协调指数； a 、 b 、 c 、 d 与 e 为待定系数，本研究认为人才、资本、技术、数据与制度创新五个要素同等重要，故设定 $a=b=c=d=e=0.2$ 。

-
- ① Bloom N, Griffith R, Van R J, “Do R&D Tax Credits Work? Evidence from a Panel of Countries 1979—1997”, in *Journal of Public Economics*, 2002, Vol.85, No.1, pp.1—31.
- ② Shi Q, Wang Q, Guo Z, “Knowledge Sharing in the Construction Supply Chain: Collaborative Innovation Activities and BIM Application on Innovation Performance”, in *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2022, Vol.29, No.9, pp.3439—3459.
- ③ 胡慧芳、欧忠辉、唐彤彤：《财税政策对企业研发的影响实效——以战略性新兴产业为经验证据》，《东南学术》2022年第5期，第141—152页。
- ④ 毛军、李子豪、石信秋：《财政转移支付对区域技术转移的影响研究》，《科研管理》2021年第1期，第88—99页。
- ⑤ 鲁桐、党印：《公司治理与技术创新：分行业比较》，《经济研究》2014年第6期，第115—128页。
- ⑥ Ciftci M, Cready W M, “Scale Effects of R&D as Reflected in Earnings and Returns”, in *Journal of Accounting and Economics*, 2011, Vol.52, No.1, pp.62—80.

基于耦合协调度测算结果和相关文献的双重考量^①，本研究将耦合协调度 D 划分成 4 个等级。随着耦合协调度 D 的提升，耦合协调等级逐渐由失调过渡至协调，具体等级划分见表 1。

表 1 耦合协调关系的等级划分

耦合协调等级	失调	低度协调	中度协调	高度协调
耦合协调度	(0, 0.3]	(0.3, 0.5]	(0.5, 0.8]	(0.8, 1]

2. Dagum 基尼系数

与传统基尼系数和泰尔指数等方法相比，Dagum 基尼系数分解法能够有效解决子样本间的交叉重叠问题，并将空间差异分解为区域内差异、区域间差异和超变密度，从而得到更为严谨精确的测算结果^②。因此，本研究采用 Dagum 基尼系数分解法研究空间差异及其来源。设 G 表示总体基尼系数， G 越大，说明两系统耦合协调度总体差距越大，其表达式如下所示：

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{l=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_l} |y_{j,i} - y_{l,r}|}{2n^2 \bar{y}} \quad (4)$$

式中： n 表示城市个数； k 表示总的区域数； n_j 、 n_l 分别表示 j 、 l 区域内的城市个数； $y_{j,i}$ 、 $y_{l,r}$ 分别表示 j 、 l 区域内任一城市的创新要素耦合协调度； $\bar{y}$ 是两系统耦合协调度均值。

依据此方法将基尼系数分解成区域内差异贡献 G_w 、区域间差异贡献 G_{nb} 和超变密度贡献 G_t 。其中， G_w 是 j 区域或 l 区域内耦合协调度的分布差距； G_{nb} 是 j 区域与 l 区域之间耦合协调度的分布差距； G_t 是在划分子群时，因区域间耦合协调度交叉项的存在而对总体差异产生的影响，若交叉项不存在，超变密度贡献则为 0。三者之间存在 $G=G_w+G_{nb}+G_t$ 的关系。

3. 核密度估计

传统核（Kernel）密度估计的计算公式如下所示：

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - x}{h}\right) \quad (5)$$

式中： x_i 为第 i 个样本的观测值； x 为均值； N 为观测值个数； h 为带宽； $k(\bullet)$ 是 Gaussian 核函数，本研究选取此函数估计耦合协调的动态演进过程，其表达形式如下所示：

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (6)$$

为全面掌握创新要素耦合协调度分布形态的演进特征，空间核密度估计在传统核密

① 肖黎明、张仙鹏：《强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征》，《自然资源学报》2019 年第 2 期，第 312—324 页。

② 高和荣、周宇：《中国基本型民生发展水平区域差距及影响因素》，《中国人口科学》2022 年第 3 期，第 59—71+127 页。

度估计的基础上纳入时空因素，对随机变量的概率密度进行估计，如下所示：

$$g(y|x) = \frac{f(x, y)}{f(x)} \quad (7)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{Nh_x h_y} \sum_{i=1}^N K_x\left(\frac{X_i - x}{h_x}\right) K_y\left(\frac{Y_i - y}{h_y}\right) \quad (8)$$

式中： $g(y|x)$ 表示空间条件下的核密度； $f(x)$ 表示 x 的边际核密度函数； $f(x, y)$ 表示 x 和 y 的联合核密度函数。

4. 收敛模型

常见的收敛模型有 σ 收敛和 β 收敛。 σ 收敛是指各城市创新要素耦合协调度的离差随时间推进而不断降低的趋势，本研究采用变异系数来度量 σ 收敛的情况，计算公式如下：

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_j} (D_{ij} - \overline{D_{ij}})^2 / N_j}}{\overline{D_{ij}}} \quad (9)$$

式中： D_{ij} 表示区域 j 内 i 城市的创新要素耦合协调度； $\overline{D_{ij}}$ 表示区域 j 内城市创新要素耦合协调度的均值； N_j 表示区域 j 内城市的个数。

β 收敛是指随着时间的推进，创新要素耦合协调度较低的城市具有更高的升幅以赶上创新要素耦合协调度较高的城市，二者之间的差距逐步缩小，最终达到同一稳态水平。 β 收敛又可以分为绝对 β 收敛和条件 β 收敛。绝对 β 收敛是指不考虑对创新要素耦合协调度具有重要影响的一系列因素，城市间的创新要素耦合协调度具有收敛的趋势。绝对 β 收敛模型如下：

$$\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

式中： $D_{i,t+1}$ 表示第 i 个城市在 $t+1$ 时期的创新要素耦合协调度； $D_{i,t}$ 表示第 i 个城市在 t 时期的创新要素耦合协调度； $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}}$ 表示第 i 个城市创新要素耦合协调度在 $t+1$ 时期的增长率； β 为收敛系数， $\beta < 0$ 说明城市创新要素耦合协调度具有收敛趋势，反之则存在发散趋势，收敛速度 $v = -\ln(1 - |\beta|)/T$ (T 表示时间周期)； μ_i 、 η_t 和 $\varepsilon_{i,t}$ 分别表示地区效应、时间效应和随机扰动项。

考虑到城市创新要素耦合协调度具有明显的空间相关特征，本研究引入空间面板模型开展研究。常见的空间计量模型包括空间滞后模型 (SAR)、空间误差模型 (SEM)、空间杜宾模型 (SDM) 等，其中 SDM 模型可以看作是 SAR 模型和 SEM 模型的一般形式。三种模型的空间绝对 β 收敛模型如下：

$$\text{SAR 模型, } \ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln \frac{D_{j,t+1}}{D_{j,t}} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

SEM 模型, $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \lambda \sum_{j=1}^n w_{ij} \mu_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$ (12)

SDM 模型, $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} + \gamma \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln D_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t}$ (13)

式中： ρ 为空间滞后系数，表示邻近城市创新要素耦合协调度增长率对本城市创新要素耦合协调度的影响； λ 为空间误差系数，表示随机扰动项中存在的空间效应； γ 为自变量空间滞后系数，表示邻近城市创新要素耦合协调度的影响； w 设定为以地理距离平方的倒数为元素构成的空间权重矩阵。

条件 β 收敛模型在绝对 β 收敛模型基础上添加了一系列控制变量，旨在探讨在考虑一系列对城市创新要素耦合协调度具有重要影响的因素的条件下，各区域城市创新要素耦合协调度是否具有收敛趋势。条件 β 收敛模型如下：

普通面板模型, $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \delta X_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t}$ (14)

SAR 模型, $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \delta X_{i,t} + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t}$ (15)

SEM 模型, $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \delta X_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \gamma \sum_{j=1}^n w_{ij} \mu_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$ (16)

SDM 模型, $\ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} = \alpha + \beta \ln D_{i,t} + \delta X_{i,t} + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln \frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}} + \gamma \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln D_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t}$ (17)

式中： $X_{i,t}$ 表示影响城市创新要素耦合协调度的诸多控制变量； δ 为参数向量。

(二) 数据选取

本研究将创新要素划分为人力、资本、技术、数据和制度五个维度，具体指标见表 2。其中，本研究选取互联网宽带接入用户数作为数字经济的代理变量，主要基于数字经济的三个关键属性——数据要素、载体平台和技术创新。宽带作为数据要素和新技术的主要传播媒介，能有效反映数字经济的网络效应^①。

表 2 创新要素的相关指标

创新要素	具体指标	单位
人才	R&D 人员	人
资本	R&D 经费投入	万元
技术	技术市场成交额	万元

① 黄林秀、郝坚：《数字经济、创新差距和中心-外围城市经济差距——基于新经济地理的视角》，《改革》2024 年第 3 期，第 113—126 页。

(续表 2)

创新要素	具体指标	单位
数据	互联网宽带接入用户数	万户
制度	地方财政科技支出	万元

资本、技术与制度等变量需经过价格调整和存量调整。其中，价格调整对消费价格指数和固定资产投资价格指数分别赋予 0.55 和 0.45 的权重，构造加权价格指数^①，实际统计指标数据由名义统计指标数据与加权价格指数的比值得到，并以 2009 年作为不变价基期进行处理。存量调整采用 BEA 方法^②，用式（18）计算初始资本存量，用式（19）计算第 t 年的资本存量：

$$K_0 = [E_1(1 - \delta/2)] / (g_k + \delta) \quad (18)$$

$$K_t = (1 - \delta) K_{t-1} + (1 - \delta/2) E_t \quad (19)$$

式中： E_1 为基年数值； E_t 为第 t 年数值； g_k 为几何平均增长率； δ 为折旧率， $\delta=0.2057$ 。

本研究参考叶德珠等的研究^③，从多个方面刻画城市特征：经济发展水平（ $\ln PGDP$ ），以地级市人均 GDP 表示；产业结构（ $\ln Indus$ ），以地级市第二产业产出与 GDP 的比值表示；政府支持（ $\ln Gov$ ），以地级市财政支出与 GDP 的比值表示；金融发展水平（ $\ln Fin$ ），以地级市金融机构存款与贷款之和与 GDP 的比值表示；对外开放水平（ $\ln FDI$ ），以实际利用外资余额与 GDP 的比值表示；教育投入（ $\ln Educa$ ），以地级市财政教育投入与 GDP 的比值表示；所有指标均取对数表示。

（三）数据来源

本研究以 2009—2021 年中国 246 个城市为样本，创新要素数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》、EPS 数据库、各城市统计年鉴及各城市国民经济统计年报等，部分缺失数据使用插值法填补。由于目前统计资料中尚未系统性汇报地级市层面的 R&D 人员与 R&D 经费等数据，本研究相关数据通过从官网手动搜索以及咨询各个城市统计局工作人员获取。鉴于技术市场成交额在地级市层面的数据缺失较多，参考刘秉镰和孙鹏博的做法^④，本研究将省级技术市场成交额数据按人口比例分配到地级市层面。主要变量的描述性统计结果见表 3。

① 朱平芳、徐伟民：《政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响——上海市的实证研究》，《经济研究》2003 年第 6 期，第 45—53+94 页。

② 王文静、高敏雪：《中国产学研合作模式下的知识存量研究》，《数量经济技术经济研究》2019 年第 4 期，第 139—154 页。

③ 叶德珠、潘爽、武文杰等：《距离、可达性与创新——高铁开通影响城市创新的最优作用半径研究》，《财贸经济》2020 年第 2 期，第 146—161 页。

④ 刘秉镰、孙鹏博：《国家级金融改革试验区如何影响碳生产率》，《经济学动态》2022 年第 9 期，第 71—90 页。

表 3 主要变量的描述性统计结果

指标	变量	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
创新要素耦合协调度	$\ln D$	3 198	0.101 2	0.090 1	0.005 6	0.935 2
经济发展水平	$\ln PGDP$	3 198	10.617 9	0.605 0	8.409 8	12.235 3
产业结构	$\ln Indus$	3 198	-0.092 2	0.486 2	-2.218 7	1.669 6
政府支持	$\ln Gov$	3 198	-3.464 8	0.454 2	-5.670 7	-1.842 1
金融发展水平	$\ln Fin$	3 198	0.814 9	0.412 8	-0.531 2	2.172 2
对外开放水平	$\ln FDI$	3 198	-5.214 5	2.609 0	-16.118 1	-1.042 1
教育投入	$\ln Educa$	3 198	-1.719 1	0.237 9	-3.132 1	-1.176 1

四、时空演变特征分析

(一) 时序特征

基于耦合协调度模型的测算结果，得到了全国和四大区域城市创新要素耦合协调度均值，如图 1 所示。分析发现，2009—2021 年，全国城市创新要素耦合协调度均值不断提升，但均小于 0.25，仍处于失调等级。四大区域的城市创新要素耦合协调度均值长期演变态势与全国整体层面基本一致，总体均有所提升。这一趋势主要得益于我国政府颁布的一系列科技创新战略的支撑和推进，如 2006 年发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》、2012 年党的十八大提出的“实施创新驱动发展战略”，以及 2016 年发布的《国家创新驱动发展战略纲要》等。这些战略顺应了国家经济社会的发展需要和世界科技发展的趋势。从区域分布格局来看，东部地区的城市创新要素耦合协调度均值明显高于西部、中部和东北地区，与这三大区域的均值差距较大，但整体上仍处

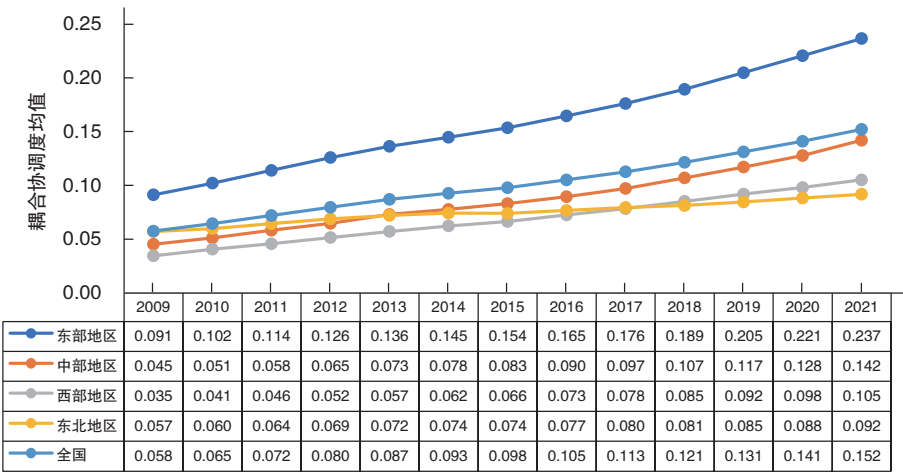


图 1 全国及四大区域城市创新要素耦合协调度均值

于失调等级。除了东部地区，2009—2012年，东北地区的城市创新要素耦合协调度均值高于中部与西部地区，然而，2013—2021年，中部与西部地区的城市创新要素耦合协调度均值逐渐超过东北地区。主要原因在于东北地区产业结构调整不及时，高技术领域和创新型企业的数量相对较少，研发经费减少，研发人才增长速度也低于其他区域。据国家统计局数据统计与分析，2013年东北地区研发人才增长速度为3.31%，远低于中部地区的11.79%和西部地区的9.77%。

（二）空间差异及其分解

本部分利用 Dagum 基尼系数法，将总体基尼系数分解为区域内差异、区域间差异以及超变密度贡献三部分，并进行具体测算，然后根据测算结果对区域内差异、区域间差异以及差异分解进行分析。

1. 区域内的差异分析

由图2可见，2009—2021年，全国层面与四大区域城市创新要素耦合协调度的区域内基尼系数呈缓慢下降趋势，表明这13年间创新要素配置水平在各城市间的差距逐渐缩小，整体协同性逐渐增强。具体而言，东部地区创新要素耦合协调度区域内基尼系数均值为0.3314，呈逐年稳步下降趋势，表明东部城市的创新要素耦合协调度不断向好发展。中部地区创新要素耦合协调度区域内基尼系数均值为0.2414，总体上呈现下降趋势，具体表现为2009—2012年缓慢下降、2012—2013年快速下降、2014—2021年平缓下降。西部地区区域内差异的不稳定性相对较为明显，创新要素耦合协调度区域内基尼系数在0.2~0.35变动，均值为0.2850，主要经历了2009—2012年的平缓下降后次年快速反弹、2014—2021年又平缓下降的变化过程。东北地区创新要素耦合协调度区域内基尼系数均值为0.3366，整体下降幅度和速度相对平缓。

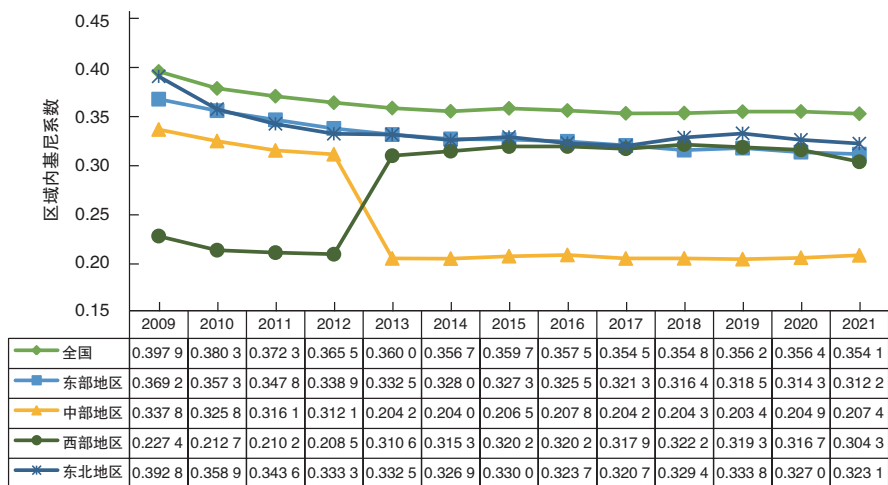


图2 城市创新要素耦合协调度区域内基尼系数

2. 区域间的差异分析

由图 3 可见，东部-东北地区创新要素耦合协调度的区域间差异最大，其区域间基尼系数均值为 0.477 7；中部-西部地区区域间差异最小，其区域间基尼系数均值为 0.285 4。这与东部地区与东北地区的经济发展水平与产业结构差异大，而中部地区与西部地区经济发展水平较为接近有着密切的关系。总体来看，2009—2021 年中部-东北地区、西部-东北地区的区域间基尼系数整体呈下降态势，但在 2013 年表现相反，2013 年西部-东北地区区域间基尼系数变大，超过中部-东北地区的区域间差异。东部-东北地区、中部-西部地区的区域间基尼系数整体呈现出更相似的时变态势，呈现“下降-上升”的交替变动态势。东部-中部地区、东部-西部地区的区域间基尼系数整体呈相反的升降态势，2009—2012 年东部-中部地区的区域间差异呈现缓慢上升态势，2013—2021 年则呈现逐渐下降态势。

由图 3 还可见，2013 年成为区域间差异态势转换的分界点。这是由于 2013 年 1 月，国家发布了《“十二五”国家自主创新能力建设规划》，提出“强化区域创新发展能力”，为各区域自主创新能力建设指明了方向，明确了重点和任务。其中，东部地区重点提升长江三角洲、珠江三角洲、京津冀等区域的自主创新能力；中部地区强化与东西部地区在人才、技术和设备等创新要素方面的对接；东北地区等老工业基地要发挥产业和科技基础较强的优势；西部地区则加快产业技术研发与产业化能力建设。

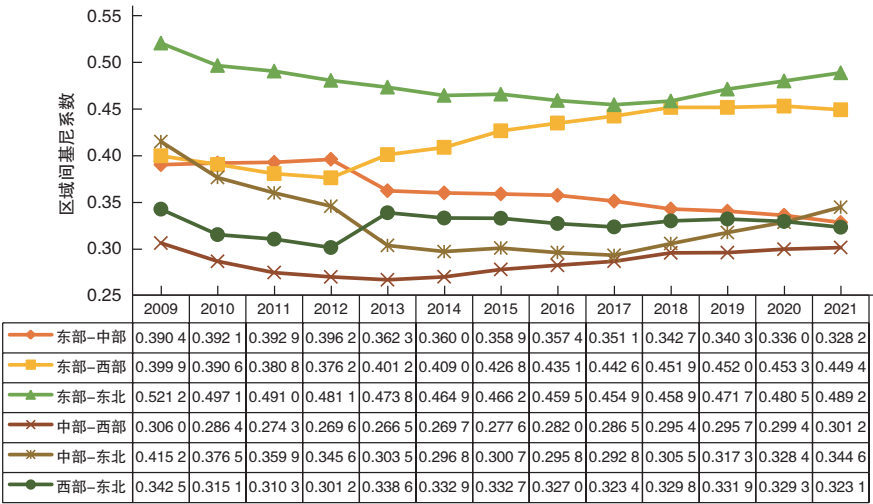


图 3 城市创新要素耦合协调度区域间基尼系数

3. 基尼系数的分解

本研究还需进一步对基尼系数进行分解，以探究空间差异的主要来源及其贡献度。从图 4 (a) 可以看出，2009—2021 年我国创新要素耦合协调度的区域内贡献值总体上呈现下降趋势，从样本初期的 0.093 4 下降到 2021 年的 0.080 0，其对于总体差异的贡献率则从样本初期的 23.48% 波动下降到了样本末期的 22.6%，整个样本期间的平均贡献率为 23.17%。区域间贡献值在样本初期为 0.215 3，随后逐渐下降至 2017 年的 0.188 0，在剩余

样本期间始终呈现上升态势，直到样本末期的 0.201 0，其对于总体差异的贡献率表现出明显的“U”形曲线特征，即从样本早期的 54.12% 持续下降至 2016 年的 52.80%，随后又缓慢回升至 56.77%，整个样本期间的平均贡献率为 54.06%。因此，缩小区域间差异，尤其是东部-西部地区、东部-东北地区的区域间差异，应是我国创新驱动发展的重要工作方向。

从图 4 还可以看出，区域超变密度的贡献值和相对贡献率在样本期间均呈现明显的波动下降趋势。区域超变密度贡献值在样本初期为 0.089 1，后逐渐下降至 2012 年的 0.081 9，之后又上升至 2016 年的 0.085 6，最后降至样本末期的 0.073 0。区域超变密度贡献率则表现出明显的倒“U”形曲线特征，即从样本早期的 22.40% 持续上升至 2014 年的 23.82%，随后又缓慢下降至样本末期的 20.63%，整个样本期间的平均贡献率为 22.77%。区域超变密度反映的是各分样本之间的交叉重叠部分对总体差异的贡献，且其在本研究结果中所占的份额较低，这表明不同区域间的交叉重叠问题对该耦合协调度空间差异的影响程度相对较小。综上所述，解决创新要素空间不平衡问题的关键是缩小区域间差异。

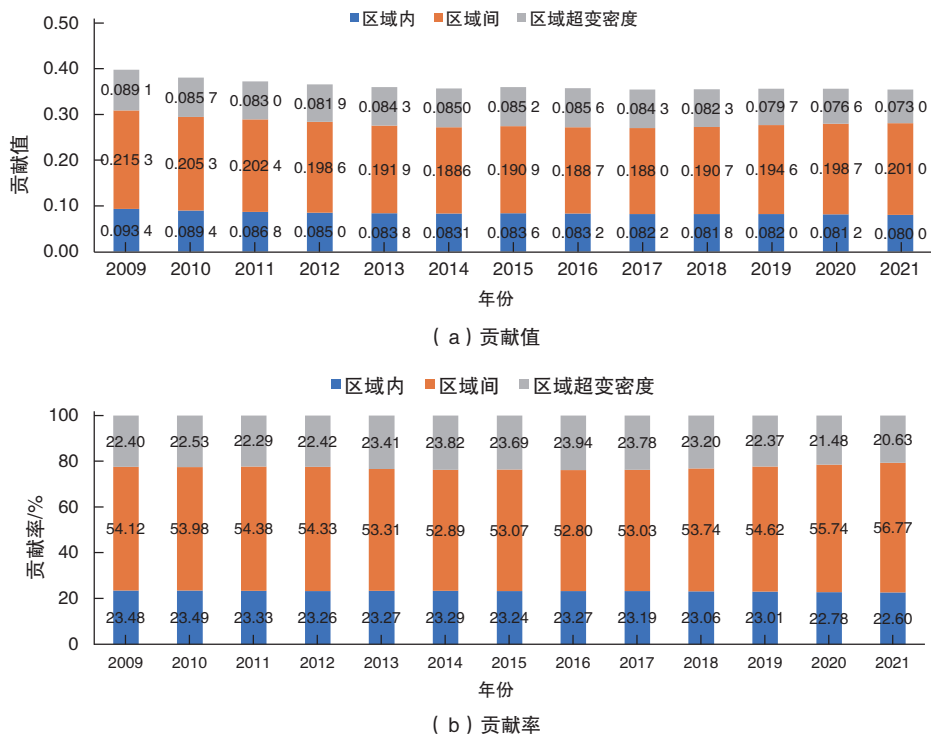


图 4 中国城市创新要素耦合协调度的空间差异及其来源

(三) 分布动态演进

Dagum 基尼系数的测算结果能够识别出总体差异的具体来源，并揭示区域之间相对

差异的变化轨迹，但无法描述各区域城市创新要素耦合协调度绝对差异变化的时变演进过程。因此，本研究使用核密度估计方法刻画我国不同区域、不同时段创新要素耦合的分布特征，重点关注密度曲线的分布位置、主峰分布形态、分布延展性以及波峰数目等关键属性。空间核密度估计结果见表 4 和图 5。

1. 分布位置

从分布位置来看，全国整体层面创新要素耦合协调度的核密度曲线中心位置偏左，意味着全国城市创新要素耦合协调度缓慢增大，大多集中分布于失调等级。四大区域核密度曲线主峰中心分布也存在着偏左和略向右移动趋势，说明各区域大部分城市创新要素耦合协调度处于失调等级，且提升缓慢。

2. 主峰分布形态

全国层面主峰高度逐年下降且宽度增大，表明全国创新要素耦合协调度的离散程度呈现上升趋势，具体表现为不均衡性特征凸显和绝对差异逐渐扩大。不同区域的产业基础与创新环境大不相同，创新路径选择与难易程度存在较大差异，导致各区域的创新表现大相径庭。东部、中部、东北地区的核密度曲线主峰出现宽度变大的趋势，反映出区域内城市创新要素耦合协调的绝对差距逐渐拉大。与此相反，西部地区的核密度曲线主峰宽度变小，说明区域内各城市创新要素耦合协调度的绝对差距正在逐渐缩小。

3. 分布延展性

全国以及东部、中部、西部、东北地区的核密度曲线均存在显著的右拖尾现象，这意味着在这些区域内部分城市的创新要素耦合协调度显著高于同区域内其他城市，同时也反映出该区域内创新要素耦合协调度较低的城市占比较大。全国及各区域均呈现出分布延展收敛性，这表明随着城市创新要素耦合协调度的持续提升，城市间的差距逐步拉大，出现极端值的可能性越来越高。

4. 波峰数目

全国及各区域在样本期间均存在单峰或双峰现象，表明区域内城市创新要素耦合协调度存在极化现象，城市间的创新发展差距在日益扩大，出现“创新鸿沟”，城市间“马太效应”愈发显著。其中，东北地区的主峰和侧峰之间的距离较大，说明东北地区城市创新要素耦合协调度两极化趋势愈发明显，但侧峰高度上升、宽度变大，表明东北地区城市创新要素耦合协调度存在区域差异且绝对差异有扩大的趋势。

表 4 全国及四大区域城市创新要素耦合协调度的动态演进特征

区域	分布位置	主峰分布形态	分布延展性	波峰数目
全国层面	偏左	高度下降, 宽度变大	右拖尾, 延展收敛	单峰
东部地区	偏左	高度下降, 宽度变大	右拖尾, 延展收敛	单峰
中部地区	偏左	高度下降, 宽度变大	右拖尾, 延展收敛	单峰或双峰
西部地区	偏左	高度下降, 宽度变小	右拖尾, 延展收敛	双峰
东北地区	偏左	高度上升, 宽度变大	右拖尾, 延展收敛	单峰或双峰

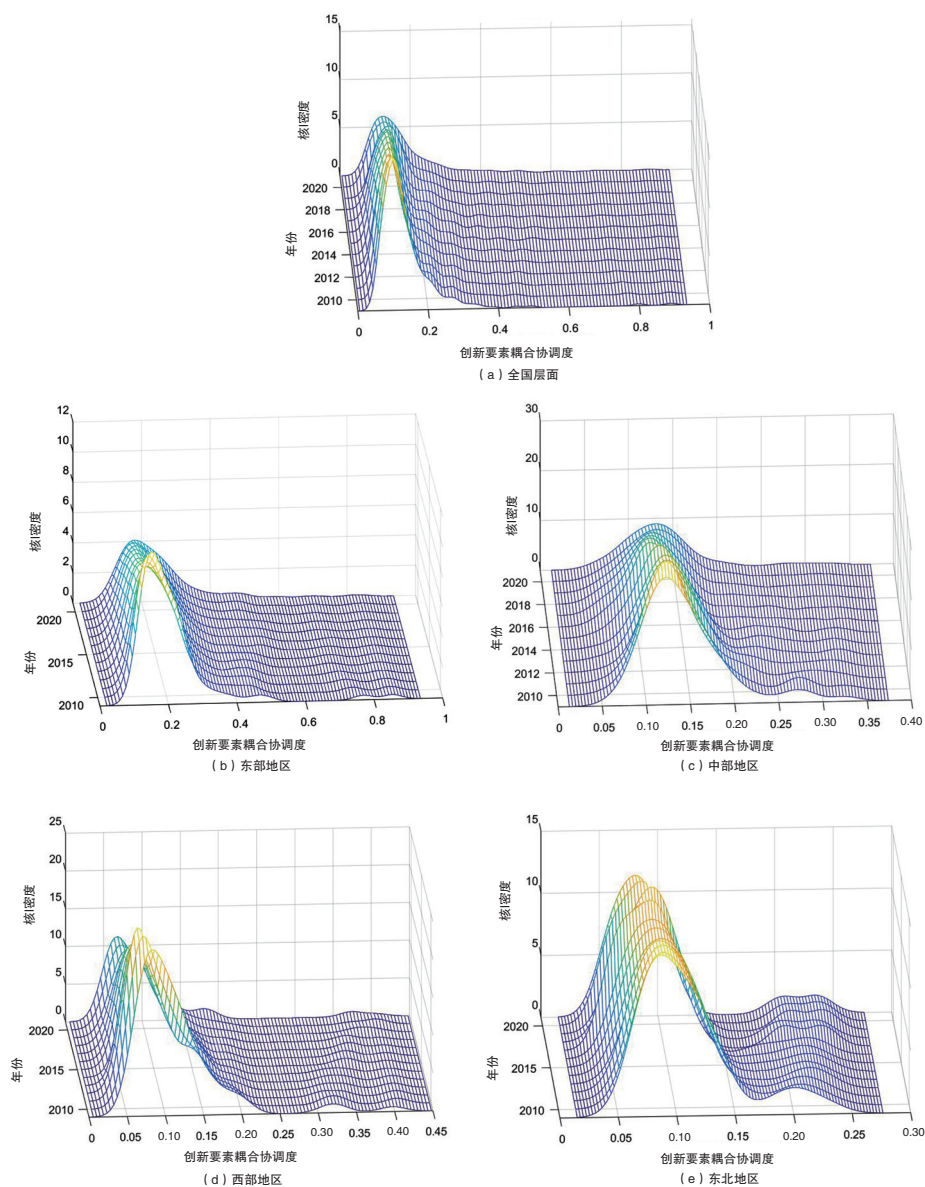


图 5 全国及四大区域城市创新要素耦合协调度的核密度曲线

五、收敛性分析

在对城市创新要素耦合协调度的区域差异及其来源进行探讨的基础上，为了更加精准地考察各城市创新要素耦合协调度的时空演变趋势，本研究进一步引入收敛理论，分别从 σ 收敛和 β 收敛角度进行检验。

(一) σ 收敛分析

表 5 给出了全国 246 个城市以及四大区域创新要素耦合协调度的 σ 收敛检验结果。从全国层面和东部地区来看,其创新要素耦合协调度变异系数均呈下降趋势,表明存在 σ 收敛特征。中部与西部地区的创新要素耦合协调度变异系数则先下降,后骤然上升,再缓慢下降,且期末值小于期初值,均体现出 σ 收敛特征。东北地区的创新要素耦合协调度变异系数总体上呈上升趋势,不存在 σ 收敛特征。

表 5 全国及四大区域城市创新要素耦合协调度 σ 收敛检验结果

年份	全国层面	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
2009	0.966 1	0.891 6	0.443 0	0.866 3	0.658 4
2010	0.921 4	0.848 3	0.425 4	0.801 7	0.645 2
2011	0.888 1	0.808 5	0.420 5	0.780 3	0.634 8
2012	0.865 1	0.781 1	0.418 3	0.755 6	0.633 4
2013	0.837 5	0.753 9	0.411 1	0.757 1	0.631 7
2014	0.828 5	0.743 7	0.410 6	0.752 3	0.644 4
2015	0.829 1	0.733 7	0.418 2	0.770 1	0.663 0
2016	0.817 5	0.718 5	0.422 2	0.762 9	0.665 9
2017	0.804 5	0.703 1	0.414 4	0.757 8	0.665 0
2018	0.796 1	0.688 9	0.410 6	0.765 1	0.692 9
2019	0.796 5	0.688 6	0.409 9	0.756 9	0.703 7
2020	0.787 4	0.672 2	0.410 9	0.751 8	0.705 0
2021	0.773 0	0.659 7	0.418 8	0.719 9	0.706 8

(二) β 收敛分析

1. 绝对 β 收敛

表 6 给出了全国 246 个城市及四大区域创新要素耦合协调度的绝对 β 收敛检验结果。考虑到不同区域创新要素耦合协调度可能呈现不同模式的空间效应,本研究首先采用 LM 检验确定全国 246 个城市及四大区域创新要素耦合协调度绝对 β 收敛是否存在空间自相关效应,然后采用 Wald 检验和 LR 检验选择最优的空间模型形式。结果分析如下。第一,全国及四大区域创新要素耦合协调度均存在绝对 β 收敛。其中,全国及四大区域创新要素耦合协调度收敛系数 β 在 1% 的水平下显著为负,这表明在不考虑一系列经济社会因素对创新要素耦合协调度的影响时,长期来看全国及四大区域创新要素耦合协调度会收敛至各自的稳态水平,结合图 1 中创新要素耦合协调度逐年上升的事实,即使短期内各个研究对象的变异系数有所变大,但创新要素耦合协调度总体上升及长期收敛的趋势已然显现。第二,全国及四大区域创新要素耦合协调度的收敛速度存在差异。全国收敛速度为 0.030 7,仅西部地区的收敛速度高于全国平均水平,东部、中部和东北地区均低于全国平均水平。第三,全国及四大区域创新要素耦合协调度呈现出不同的空间效应。全国和西部地区同时存在解释变量和被解释变量的空间滞后,且各个模型的 ρ 在 1% 的水

表 6 全国及四大区域城市创新要素耦合协调度绝对 β 收敛检验结果

区域	全国	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
模型类型	SDM	SEM	SEM	SDM	SEM
β	-0.308 3*** (0.010 5)	-0.097 9*** (0.011 7)	-0.139 3*** (0.015 6)	-0.385 7*** (0.019 1)	-0.299 8*** (0.031 9)
ρ 或 λ	0.591 7*** (0.037 0)	0.609 0*** (0.052 7)	0.458 2*** (0.061 8)	0.412 4*** (0.059 3)	0.545 3*** (0.074 1)
γ	0.314 6*** (0.019 4)	—	—	0.235 7*** (0.057 2)	—
ν	0.030 7	0.008 6	0.012 5	0.040 6	0.029 7
对数似然函数值	4 590.452 2	1 765.613 9	1 428.565	1 153.484 2	617.348 0
N	2 952	888	744	912	408
R^2	0.149 4	0.225 6	0.112 2	0.311 4	0.145 8
空间固定效应	42.82***	125.54***	61.56***	24.31***	18.63**
时间固定效应	1 086.68***	268.34***	242.22***	382.90***	104.09***
Hausman 检验	63.90***	47.18***	41.82***	32.37***	37.16***
LR-SAR	577.48***	61.44***	33.93***	70.98***	39.67***
LR-SEM	100.96***	103.65***	65.63***	224.28***	5.92
R-LM-SLM	6.722***	85.645***	2.464	6.439**	0.451
R-LM-SEM	113.064***	15.640***	82.261***	22.732***	11.695***
Wald 检验	72.88***	2.57	24.92***	48.82***	5.59**

注：*、** 和 *** 分别表示系数在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。

平下显著为正，这表明在区域内本城市创新要素耦合协调度的变化率同时受到其他城市创新要素耦合协调度和其他城市创新要素耦合协调度变化率的正向空间溢出影响。东部、中部和东北地区存在空间误差滞后。

2. 条件 β 收敛

表 7 给出了全国 246 个城市及四大区域创新要素耦合协调度的条件 β 收敛检验结果。空间计量模型的选择过程同绝对 β 收敛分析，不再赘述。结果分析如下。第一，全国及四大区域均存在条件 β 收敛，并在 1% 的水平下显著为负，这表明在考虑了经济发展水平、产业结构、金融发展水平、对外开放水平、政府支持、教育投入等社会经济因素后，全国及四大区域创新要素耦合协调度在长期内仍具有收敛至各自稳态水平的趋势。第二，相较于绝对 β 收敛，所有区域的条件 β 收敛速度均有所加快，表明了控制变量选取的科学性和合理性。第三，全国及四大区域的空间效应表现各异，但与绝对 β 收敛分析相比，个别区域的空间效应类型发生了变化。全国、中部和东北地区的空间效应类型没有发生改变， ρ 或 λ 在 1% 的水平下显著为正。东部地区的空间相关形式由 SEM 转变为 SDM，且 ρ 在 1% 的水平下显著为正。西部地区的空间相关形式由 SDM 转变为 SEM，且 λ 在 1% 的水平下显著为正。

表 7 全国及四大区域城市创新要素耦合协调度条件 β 收敛检验结果

区域	全国	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
模型类型	SDM	SDM	SEM	SEM	SEM
β	-0.330 4*** (0.010 6)	-0.224 0*** (0.017 4)	-0.164 0*** (0.016 6)	-0.407 2*** (0.019 1)	-0.301 1*** (0.032 4)
ρ 或 λ	0.567 7*** (0.039 0)	0.191 4*** (0.065 3)	0.399 2*** (0.068 8)	0.431 1*** (0.059 9)	0.534 3*** (0.077 0)
γ	0.285 6*** (0.030 3)	0.001 9*** (0.060 6)	—	—	—
ν	0.033 4	0.021 1	0.014 9	0.043 6	0.029 9
$\ln PGDP$	0.070 1*** (0.011 8)	0.021 4 (0.015 3)	0.082 1*** (0.017 6)	0.093 9*** (0.027 4)	0.020 0 (0.025 7)
$\ln Indus$	-0.00 9 (0.060 1)	0.004 8 (0.009 0)	0.015 5* (0.008 7)	0.003 1 (0.012 9)	-0.030 8** (0.014 8)
$\ln Gov$	0.008 6 (0.012 4)	0.002 1 (0.015 8)	0.036 5* (0.021 3)	-0.045 8 (0.031 1)	0.051 9** (0.027 5)
$\ln Fin$	0.017 6 (0.010 7)	-0.004 9 (0.015 2)	0.034 5*** (0.012 5)	0.028 7 (0.029 2)	-0.024 3 (0.025 5)
$\ln FDI$	0.004 3*** (0.000 6)	0.001 2 (0.002 2)	-0.002 5 (0.002 8)	0.004 2*** (0.000 9)	0.001 2 (0.002 1)
$\ln Educa$	-0.003 8 (0.012 0)	-0.020 2 (0.016 2)	-0.039 6* (0.021 2)	0.055 6** (0.025 9)	-0.045 5** (0.026 3)
对数似然函数值	4 645.322 1	1 842.406 4	1 443.129 5	1 176.296 0	622.792 2
N	2 952	888	744	912	408
R^2	0.149 4	0.222 6	0.174 1	0.303 4	0.147 7
空间固定效应	46.33***	62.40***	38.25***	50.84***	17.19*
时间固定效应	1 100.59***	267.77***	236.28***	390.33***	104.01***
Hausman 检验	63.90***	80.28***	110.79***	24.69***	134.51***
LR-SAR	90.89***	61.44***	22.20***	61.08***	29.22***
LR-SEM	281.79***	103.65***	31.73***	98.91***	30.36***
R-LM-SLM	60.095***	8.272***	2.246	1.175	0.972
R-LM-SEM	32.785***	29.045***	73.054***	19.941***	12.47***
Wald 检验	60.14***	42.10***	20.32***	44.14***	25.55***

注：*、** 和 *** 分别表示系数在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。

六、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

基于 2009—2021 年中国 246 个城市的数据，本研究利用耦合协调度模型测算了城市创新要素的耦合协调度，并采用 Dagum 基尼系数、核密度估计和空间收敛模型等方法，对全国及四大区域城市创新要素耦合协调度的区域差异、动态演进及收敛性进行了研究，

主要得出以下结论。

第一，从区域差异来看，全国及四大区域城市创新要素耦合协调度均呈现增长趋势，总体上呈由东向西递减的空间演化特征。区域间差异始终是城市创新要素耦合协调度总体差异的主要来源，其中，东部与东北地区之间的差异相对较大，东部与西部地区之间的差异呈现上升趋势。东部地区和东北地区城市创新要素耦合协调度区域内差异相对较大，而中部地区和西部地区各城市的区域内差异相对较小。

第二，从动态演进来看，全国及四大区域城市创新要素耦合协调度的中心分布均偏左，且分布位置有小幅右移趋势，表明各区域城市创新要素耦合协调度提升较为缓慢。全国及四大区域城市创新要素耦合协调度的核密度曲线均存在显著的右拖尾现象和分布延展收敛性，意味着区域内创新要素耦合协调度较低的城市占比较大。东部、中部、东北地区与全国层面的主峰宽度增大，表明全国城市创新要素耦合协调度的离散程度呈现上升趋势，具体表现为不均衡性特征显著和绝对差异呈逐渐扩大趋势。

第三，从收敛特征来看，全国 246 个城市及东部、中部、西部地区城市创新要素耦合协调度均存在 σ 收敛，全国及四大区域均存在绝对 β 收敛和条件 β 收敛。在绝对 β 收敛中，西部地区收敛速度较快，随后是东北、中部、东部地区。在加入控制变量的条件 β 收敛中，全国及四大区域收敛速度均有不同程度的上升。将空间效应引入收敛模型之后，不同区域表现出来不同的空间效应，全国和西部地区存在空间杜宾效应和空间滞后效应，东部、中部、东北地区存在空间误差效应。在加入控制变量后，东部地区空间效应由空间滞后转变为空间杜宾效应，西部地区空间效应由空间滞后转变为空间误差效应。此外，对不同区域而言，经济发展水平、产业结构、金融发展水平、对外开放水平、政府支持、教育投入等因素对创新要素耦合协调度变化率的影响具有显著的异质性。

（二）政策建议

针对以上结论，本研究提出如下建议。

第一，要更加关注四大区域内部城市创新要素布局的平衡性。东部地区城市创新要素耦合协调度的区域内差异较大，这与区域内部城市创新发展的基础、产业与环境等高度不平衡相关。因此需要进一步发挥北京、上海等中心城市对周边城市的协同带动作用，扶持区域内创新薄弱的城市，尤其是发挥省会城市创新要素的扩散效应，形成地区内部多点增长、由点到面的创新发展格局，加强城市间创新要素的交流，补齐弱势城市创新发展短板，弱化极化关系。

第二，要促进区域间创新协调发展。东部-东北地区城市创新要素耦合协调度的区域间差异最大，东部-西部地区的区域间差异具有进一步拉大趋势，中部-西部地区的区域间差异最小。因此，在保持东部地区城市创新要素耦合协调度上升的同时，需要以更大的力度促进西部、东北地区的城市创新要素耦合协调度的上升。首先，应加大对这些地区的财政支持力度，通过拨款、补贴、税收优惠等形式，鼓励企业在技术创新、人才引进、设备更新等方面加大投入。其次，应在西部、东北地区加大对科研基础设施的投入，建设重点实验室、工程技术研究中心等。再次，应在西部、东北地区布局大数据中心、

数据存储和处理设施，鼓励企业和政府部门开放数据资源。最后，西部、东北地区应加强与东部发达地区的技术合作与交流，引进外部先进技术，同时鼓励本地企业吸收和消化外部技术，实现技术的本地化创新和升级。

第三，要根据四大区域的特点，精准施策提升城市创新要素。Dagum 基尼系数及其分解结果表明，区域超变密度对创新要素耦合协调度总体差异的贡献较小，既证明了我我国四大区域划分的合理性，又表明各大区域发展方式具有显著差异；绝对 β 收敛检验结果进一步表明各区域城市创新要素耦合协调度变化率的影响因素差异较大。因此，需要针对每个区域的特点，开辟具有地方特色的创新路径。例如，在经济相对发达的东部地区，加大科研投入和优化产业结构，有利于加快城市创新要素耦合协调度向高值收敛；在经济相对欠发达的中部地区，可利用城市成本与资源优势吸引东部城市高技术企业转移，加大对外开放水平；在西部地区，可依托当地资源优势，重点发展新能源、特色农业、生态旅游等产业；在东北地区，可结合老工业基地的基础，推动传统制造业向高端装备制造、智能制造等领域转型。同时，各区域可增设与新兴产业、当地优势产业或特色资源相关的专业和课程，建设与之相关的专业科研设施。

The Spatiotemporal Evolution, Regional Differences and Convergence of the Coupling Coordination Degree of Urban Innovation Elements

CHEN Qiuling, LIU Wei

Abstract: Analysing the degree of coupled coordination of urban Innovation elements is of great significance for innovation-driven development. The development level, spatial and temporal evolution and convergence effect of the degree of coupling and coordination of innovation elements in the country and the four regions from 2009 to 2021 are investigated by using the coupling coordination degree model, Dagum's Gini coefficient, kernel density estimation and convergence model. The results show that, firstly, the degree of coupling and coordination of urban innovation elements in the whole country and the four regions shows an upward trend, with a spatial pattern of high in the east and low in the west. Secondly, the differences between and within groups in the country and the four regions show a decreasing trend, and the net difference between regions is the main reason for the spatial imbalance. The proportion of cities with low coupling and coordination of urban innovation elements is large across the country and in the four regions, and the characteristics of imbalance are highlighted and absolute differences are widening. Thirdly, there is σ -convergence and β -convergence in the coupling and coordination degree of urban innovation elements in the whole country, the Eastern, Central and Western China, with different spatial effects and convergence cycles in different regions, and there is significant heterogeneity in the influence of economic level, industrial structure, financial development, opening up, government support and education investment on the rate of change of the coupling and coordination degree of urban innovation

elements. This study provide support for promoting the coordinated advancement of innovation development in the whole country and the four regions, taking precise measures to promote the rational layout of innovation elements, and advancing the national innovation-driven strategy.

Keywords: innovation element; coupling coordination degree; regional difference; dynamic evolution; spatial convergence

(责任编辑：李 玲)