副省级城市科技创新能力测算与比较

孙 寒[1]，郝华丽[2]，孙秋霞[1]

（1. 山东科技大学数学与系统科学学院，青岛 266590；2. 山东省济宁市嘉祥县大数据中心，济宁 272200）

摘要：作为区域创新生态系统的核心载体，副省级城市的科技创新能力是优化城市内部资源要素配置效率的关键变量。以2014—2022年中国15个副省级城市为研究对象，采用熵值法定量测算，结合雷达图分析法揭示结构差异特征，并通过实证检验其科技创新各维度之间的影响关系。研究发现：在空间维度上，副省级城市科技创新空间分布呈现显著的“南高北低”特征，南北差距持续扩大，且计划单列市与省会水平分异明显；在时间维度上，副省级城市科技创新能力可划分为积累提升、均衡发展和分化发展3个阶段。雷达图分析结果进一步显示，创新引领型城市整体发展相对均衡，而特色突破型城市则在部分核心维度存在明显短板，整体发展协调性欠佳。实证结果表明，副省级城市的科技投入支持力度与科技创新对经济发展的贡献均可显著提升其创新能力与技术转化程度。

关键词：副省级城市；科技创新能力；熵值法；雷达图

中图分类号：F124.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)05－0051－10

在全球化与信息化深入发展的时代背景下，科技创新已成为推动高质量发展的核心动力。城市是国家经济发展的重要载体，科技创新在城市创新中的不同系统层面均发挥着举足轻重的作用[1]。一方面，作为驱动城市生态效率增加的重要因素，科技创新可作用于城市的绿色经济发展，缓解资源对城市发展的约束[2]；另一方面，科技创新也可通过加快产业结构升级[3]、增强城市韧性[4-5]等多种路径发挥中介作用，带动城市高质量发展。其中，副省级城市凭借行政级别和经济规模的发展优势，不仅在空间上形成了多中心的区域格局，还拥有较其他城市更强的资源集聚能力和政策执行力。

中国共有15个副省级城市，除深圳、大连、青岛、宁波、厦门5个城市为计划单列市，其他城市均为省会城市。从空间分布来看，大部分副省级城市分布在东部沿海地区；中西部地区聚焦于武汉、成都、西安3大国家级中心城市，构成区域创新发展的战略支点；东北地区则以沈阳、长春、哈尔滨3个省会城市为骨干，协同计划单列市大连形成“3＋1”空间组织模式。鉴于中国城市群的创新能力很大程度上依赖政府投入[6-7]，且科技创新可通过区域效应带动周边城市发展[8]，多中心空间结构产生的溢出效应更有利于缩小科技创新的差距[9]。因此，对副省级城市科技创新能力进行客观评估，对于优化城市内部资源要素配置效率、促进区域协调发展具有积极影响。

受地理位置和经济情况的影响，城市科技创新能力存在显著地域差异[10]。由于创新资源禀赋的先天性差异，城市科技创新能力的提升为其高质量发展创造了跃迁窗口。然而，副省级城市作为区域创新极核的特殊定位，其创新演进轨迹是否与城市群发展遵循一致的时空规律，其科技创新发展的优势所在和提升路径等问题尚待进一步探究。因此，以副省级城市为研究对象，旨在分析科技创新能力的发展态势和提升路径，为相关理论和实践提供支持与依据。

1 文献综述

为清晰展现城市科技创新能力的研究热点，以“城市”“科技创新”为篇关摘检索条件，并去除“企业”层面的相关期刊，在中国知网（CNKI）数据库获取相关文献数据，通过相关度排序选取3 000篇论文（2016—2024年），依托CiteSpace和Vosviewer可视化软件探索城市科技创新能力研究的热点关键词、聚类主题及演化轨迹。

收稿日期：2025-06-28

基金项目：青岛市科技创新战略研究计划（24-1-7-zlyj-17-zhc）；山东科技大学2024年教育教学研究“群星计划”面上项目（QX2024M22）

作者简介：孙寒（2000—），女，山东烟台人，硕士研究生，研究方向为金融统计；郝华丽（1984—），女，山东济宁人，高级工程师，研究方向为数据测算；通信作者孙秋霞（1976—），女，山东济宁人，博士，教授，研究方向为系统评价与区域创新。

1.1　关键词分析

关键词共现图如图 1 所示。城市科技创新能力研究涵盖 451 个研究热点，其中“科技创新”要素以 1.16 的中心度值居于网络核心位置。该要素通过空间溢出效应驱动区域创新系统演化，具体表现为城市与城市群的发展[11]、加速产业转型以及创新生态系统优化[12]3 重传导机制，以此为城市发展提供强大的生产力[13]。由图 1 可以发现，现有研究多聚焦于粤港澳大湾区、长江经济带等成熟创新区域[14-19]，研究内容主要建立在强集聚效应与高经济密度的城市群基础上，在制度能级相同、空间异质性显著的城市组群比较研究领域仍有待进一步深入探讨。

聚类分析(图 2)揭示了特定议题的研究范围和核心要素，每个聚类代表了不同的研究主题。#1 科技创新包含 60 个研究热点，主要包括科技创新、文化地标、钻石模型、发展动力、双循环新格局，其 $S=0.795$，该聚类结果分组的可信度较高。基于钻石模型的分析表明，中国市场经济体制对创新活动、培育创新能力以及完善政策评价体系的认识均不够深入[20]。而科技创新作为社会经济发展的核心动力，在构建新发展格局中发挥着至关重要的作用[17]。其不仅能够推动国内大循环，提高经济韧性，

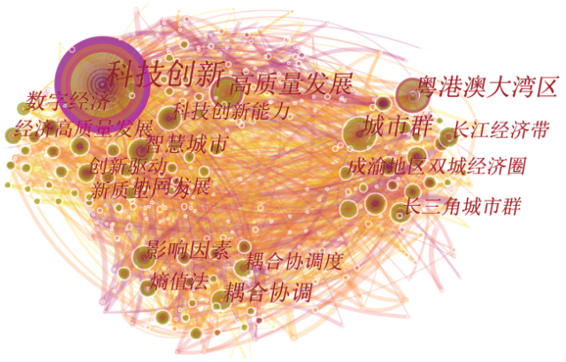


图 1　关键词共现图

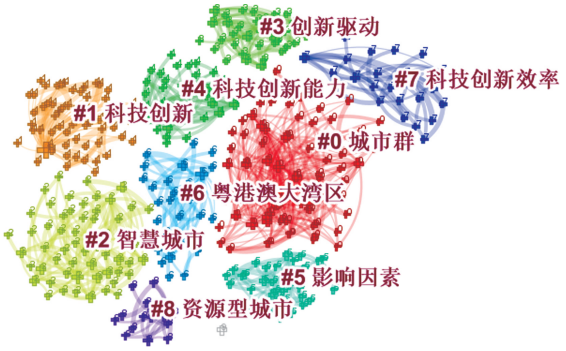


图 2　关键词聚类分析图

还能通过整合全球创新资源，提升中国在国际大形势下的主动地位[18]。此外，#2 智慧城市包含研究热点 58 个，其 $S=0.784$，也有较高的可信度。在智慧城市的框架下，创新政策通过激励技术进步，为城市的转型发展提供方向和动力[19]。

1.2　研究热点时序演化分析

时序演化分析(图 3)是一种用于揭示特定研究领域或主题随时间变化的趋势和模式的方法。鉴于 2016 年之前相关发文量较为分散，因此，选取 2016 年之后发表的期刊论文作为数据来源。结合各年度研究热点关键词的出现时间和分布情况，将研究期大致分为 2016—2017 年、2018—2020 年、2021—2024 年。

第 1 阶段(2016—2017 年)研究以国家中心城市和资源型城市为代表，主要挖掘科技创新对该类城市发展的作用机理。研究表明，科技创新不仅对智慧城市、城市系统的建设起推动作用[21-22]，还能以点极发展模式促进资源型城市的转型升级和可持续发展[23]。总的来说，该阶段研究的重心主要集中在探究影响因素、确立方法和建立评价体系等初步研究[23-25]，为理解城市发展提供了量化工具。

第 2 阶段(2018—2020 年)研究对象由典型城市转为粤港澳大湾区[14,16]、长江经济带[15]、京津冀等经济高质量发展片区，在相同地理条件下研究科创能力有利于揭示区域经济一体化的内在机制。但总体而言，区域间、城际间科技创新能力还存在明显差异，区域经济仍维持非均衡协调发展的态势[26]。

第 3 阶段(2021—2024 年)研究趋势呈现跨领域发散，研究重心已从深度探讨转变为覆盖城市更新、绿色全要素生产率、城市韧性以及新质生产力等多个维度[27-30]。该阶段研究表明，科技创新不仅针对经济发展、政治民主等问题给出了科学的解决方案，也为中国式现代化的持续稳定发展提供了坚实的基础[27]。

1.3　副省级城市科技创新研究现状梳理与评述

根据图 1～图 3 分析结果，现有研究主要聚焦粤港澳大湾区、长江经济带等高集聚度和经济密度区域，深入解析了科技创新驱动城市发展的机理，揭示了科技创新通过空间溢出效应在城市群协同发展、产业转型及创新生态优化中发挥核心驱动作用。除此之外，现有文献也对副省级城市的科技创新能力进行了研究阐述。赵希男等[28]研究表明，副省级城市的科技创新能力在早期呈现“齐头并进”

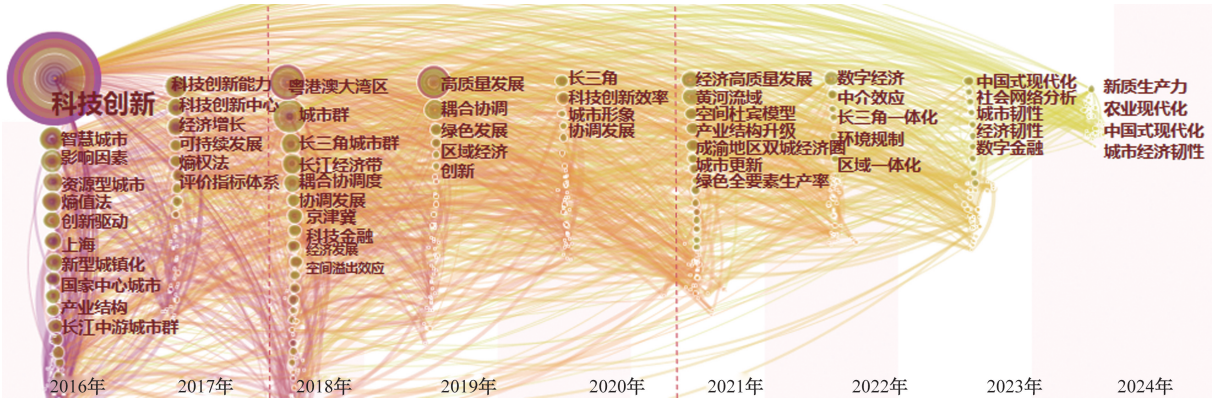


图 3　研究热点时序演化分析

的局面,但也存在着对社会经济发展促进不足等问题。于成学[29]基于 DEA 模型评估副省级城市的科技创新效率,从经费等方面分析各城市发展的冗余与不足之处。刘亚迪等[30]则借助集对分析法分析指出,中国副省级城市科技创新能力差距显著,深圳、广州、杭州表现较好,而哈尔滨、大连等相对滞后。此外,李燕[31]研究表明,高校科技创新水平对于城市发展具有显著的促进作用,其中高校对人才的培养是重要的影响因素。

然而,副省级城市科技创新能力阶段性发展呈现何种特征?其空间分布存在何种规律?科技创新各维度发展是否均衡?以上问题仍需要进一步系统梳理与深入探讨。在此背景下,针对中国 15 个副省级城市构建多维评价矩阵并开展创新能力测算与跨区域比较研究,有助于拓展创新驱动发展理论的适用范围,为制定差异化的城市创新发展政策提供精准决策依据。

2　指标体系的构建与测度

2.1　评价指标体系构建

从科技人才资源水平、科技投入支持力度、科技创新对经济发展的贡献、创新技术转化程度和科技创新配套能力 5 个维度构建指标体系,见表 1。其中,参考赵希男等[28]的研究,将移动电话用户数量作为衡量社会生活信息化的关键指标之一。高等教育对城市科技创新具有关键的推动作用,深圳、广州、成都等副省级城市的实证研究也表明其高等教育水平与科技创新、经济发展存在显著的耦合关系[32-33]。因此,选取高等教育机构数作为该能力的重要表征。此外,参考杨剑和夏慧良[34]的研究,将高新区企业数纳入科技创新的指标体系。高新区作为城市技术密集型产业聚集地,其企业间形成的产业协同能有效促进技术扩散与创新能力的提升[35],加速产业创新与科技创新的内在耦合,该指标能较好体现城市的科技创新能力。

表 1　副省级城市科技创新能力评价指标体系

一级指标	二级指标	指标属性
科技人才资源水平	每万人普通高等学校在校学生人数	正向
	科技人员总数	正向
	职业院校在校学生	正向
	人均教育支出	正向
	高新区企业年末从业人员	正向
	国家高新区企业 R&D 科技活动人员	正向
科技投入支持力度	研发经费占 GDP 比重	正向
	公共预算支出中科学技术支出	正向
	国家高新区企业 R&D 经费内部支出	正向
科技创新对经济发展的贡献	高等教育机构数	正向
	高新技术企业入统企业数	正向
	信息传输、软件和信息技术服务业法人单位数	正向
	高新区工商注册企业数	正向
	高新技术企业出口总额/GDP	正向
	高新技术企业工业总产值/GDP	正向
创新技术转化程度	发明专利授权数	正向
	高新区企业技术收入	正向
	国家级高新区企业实缴税费	正向
	技术市场成交合同金额占 GDP 的比重	正向
科技创新配套能力	数字金融覆盖广度	正向
	数字金融使用深度	正向
	普惠金融数字化程度	正向
	移动电话年末用户数	正向
	国际互联网用户数	正向
	电信业务总量	正向
	互联网普及率	正向

考虑到数据的全面性和可获得性,以 2014—2022 年全国 15 个副省级城市的面板数据为研究样本,测算科技创新能力。指标数据来源于各城市统计年鉴、《中国城市统计年鉴》《中国火炬统计年鉴》,数字普惠金融相关指标来自《北京大学数字普惠金融指数》,部分缺失数据采用线性拟合估计法补充。

2.2　副省级城市科技创新能力测度

运用熵值法计算出全国15个副省级城市的科技创新能力，以研究期内各省科技创新能力得分综合分析，得到各市的综合排名（表2）。再根据副省级南、北方城市与计划单列市、省会城市各年得分的平均值，代表其该年科技创新能力的综合得分。

从空间层面来看，副省级城市的科技创新能力在地理分布上呈现出显著的南高北低态势，且南北差距呈逐步扩大趋势。表2显示，2014年北方副省级城市综合得分为南方城市的49.04%，2022年降为36.6%。南方城市普遍展现出较强的科技创新实力。以深圳市为例，深圳2014—2022年始终稳居副省级城市科技创新能力评价第1位，其得分由0.161 8提升至0.190 7。深圳市通过建立粤港澳大湾区（广东）量子科学中心、河套深港科技创新合作区等多个科技创新平台，为科技企业和研发机构提供了一流的研究环境和基础设施。截至2024年，深圳市拥有超过2.4万家国家级高新技术企业，体现出较强的持续创新能力与政策协同效应。

相比之下，东北地区的副省级城市科技创新能力呈现出系统性衰退趋势。根据表2结果，2014—2020年，大连、沈阳、哈尔滨和长春的科技创新能力得分均持续下降。根据第七次人口普查数据，2010—2020年，东北三省累计净流出人口超过1 100万人，极大地削弱了当地的人才供给与市场需求，制约了城市创新生态建设的内生动力。

表2　4个年份副省级城市科技创新能力

城市	2014年	2017年	2020年	2022年	综合排名
深圳	0.161 8	0.182 3	0.203 5	0.190 7	1
广州	0.115 3	0.130 0	0.128 5	0.123 9	2
武汉	0.099 5	0.106 6	0.090 2	0.086 0	3
杭州	0.083 8	0.096 6	0.094 4	0.098 6	4
成都	0.084 2	0.079 1	0.076 6	0.083 9	5
南京	0.063 1	0.071 7	0.089 7	0.089 1	6
宁波	0.051 4	0.052 4	0.055 1	0.059 3	8
厦门	0.047 2	0.044 3	0.049 2	0.035 6	9
西安	0.073 9	0.068 7	0.064 0	0.066 0	7
济南	0.053 7	0.044 7	0.043 1	0.044 3	9
青岛	0.055 3	0.041 0	0.041 4	0.041 4	11
大连	0.043 1	0.029 1	0.026 7	0.027 2	12
沈阳	0.034 3	0.028 5	0.022 1	0.025 3	13
哈尔滨	0.025 5	0.020 0	0.012 7	0.016 8	14
长春	0.017 5	0.015 8	0.014 3	0.024 7	15
南方城市	0.088 3	0.095 4	0.098 4	0.095 9	—
北方城市	0.043 3	0.035 4	0.032 0	0.035 1	—
计划单列市	0.071 8	0.069 8	0.075 2	0.070 8	—
省会城市	0.065 1	0.066 2	0.063 6	0.065 9	—

从城市类型维度进行比较可以发现，计划单列市和省会城市在科技创新能力上也存在差异。表2数据显示，2022年计划单列市科技创新能力平均得分较副省级城市中的省会城市高出7.44%，较2014年仅下降了2.85%，差距呈微弱收敛趋势，整体保持相对稳定。计划单列市凭借政策支持和经济自主性优势，为科技创新能力的飞跃奠定了坚实基础。例如，宁波市根据本地产业特点和发展需求，制定《宁波市加快打造“361”万千亿级产业集群行动方案（2023—2027年）》等差异化的科技创新政策，促进智能制造、新材料等高新技术领域的快速发展；青岛市也通过政策支持和资源调配，推动海洋科技和化工产业的升级。2024年青岛市海洋生产总值增长7.5%，为其科技创新的发展注入了新动力。

副省级城市中的省会城市则借助区域协同优势，有效提升了自身的科技创新能力。以济南市为例，2022年济南市科技创新能力得分为0.044 3，居第9位。济南市借助省会经济圈建设，推动省内外创新资源有效联动。作为沿黄重要城市之一，济南市通过设立黄河流域省会城市技术成果交易分中心、黄河流域算网联盟等，有效促进了创新要素自由流动与优化配置。

3　副省级城市科技创新能力综合分析

3.1　副省级城市科技创新能力时间演变

根据副省级城市科技创新能力综合得分的纵向对比可以发现，2014—2016年各城市整体差距较小且稳步提升，可视为“积累提升阶段”。随着《“十三五”国家科技创新规划》政策效应的显现，2017—2019年各城市开始显著发力，科技创新能力呈现相对协同的“均衡发展阶段”。而2020—2022年，科技创新发展的不均衡性凸显，因此将其定义为“分化发展阶段”。因此，分别探讨副省级城市在3个时间阶段的科技创新能力，深入剖析其时间维度上的演变特征。

3.1.1　科技创新能力积累提升阶段分析

15个副省级城市科技创新能力积累提升阶段（2014—2016年）的各年综合得分见表3。

根据表3结果，科技创新能力积累提升阶段各副省级城市表现出强劲的发展态势，其中南京尤为突出。南京通过设立“科技创新基金”“人工智能发展专项资金”等多项扶持政策，成功吸引了众多高技术企业和人才。2016年南京软件和信息服务业收入达4 737亿元，其中软件业务收入占到全国的7.1%、全省的41.8%。相较之下，西安产业结构仍集中在航空航天、机械制造和大数据领域，在集成电

表 3　2014—2016 年副省级城市科技创新能力积累提升阶段各年综合得分

城市	2014 年	2015 年	2016 年
深圳	0.161 8	0.170 2	0.192 4
广州	0.115 3	0.109 7	0.116 2
武汉	0.099 5	0.096 7	0.101 9
成都	0.084 2	0.094 6	0.083 9
杭州	0.083 8	0.084 2	0.089 5
西安	0.073 9	0.067 8	0.068 5
南京	0.063 1	0.064 5	0.068 0
青岛	0.055 3	0.043 3	0.041 6
济南	0.053 7	0.054 7	0.043 1
宁波	0.051 4	0.051 6	0.051 0
厦门	0.047 2	0.055 9	0.045 2
大连	0.043 1	0.037 7	0.034 9
沈阳	0.034 3	0.035 6	0.032 6
哈尔滨	0.025 5	0.026 6	0.022 4
长春	0.017 5	0.017 4	0.018 8

路、人工智能等新兴产业的投入相对较少。

除南京外,宁波也表现卓越,呈现出蓬勃发展的良好态势。科技创新能力积累提升阶段期间,宁波在产业结构方面持续推动高新技术产业的快速发展。2016 年,宁波规上智能制造产业总产值突破 500 亿元,智能制造和新材料等新兴行业成为当地经济的重要支柱。同时,宁波还大幅增加研发投入,2016 年研发支出占 GDP 的比重达到 2.42%。与其他城市相比,宁波产业转型成效显著,高新技术企业数量稳步增长,2016 年实现了 30%以上的年增长率,展现出强劲的创新能力。政府政策的积极支持与产业结构的快速调整,使宁波在该阶段的科技创新能力大幅提升。

3.1.2　科技创新能力均衡发展阶段分析

15 个副省级城市科技创新能力均衡发展阶段(2017—2019 年)的各年综合得分见表 4。

表 4　2017—2019 年副省级城市科技创新能力均衡发展阶段各年综合得分

城市	2017 年	2018 年	2019 年
深圳	0.182 3	0.210 5	0.205 7
广州	0.130 0	0.139 0	0.137 6
武汉	0.106 6	0.100 3	0.103 1
成都	0.079 1	0.072 7	0.074 6
杭州	0.096 6	0.092 0	0.090 0
西安	0.068 7	0.067 0	0.066 7
南京	0.071 7	0.071 4	0.071 0
青岛	0.041 0	0.040 7	0.041 7
济南	0.044 7	0.043 0	0.043 1
宁波	0.052 4	0.050 7	0.051 3
厦门	0.044 3	0.044 8	0.052 0
大连	0.029 1	0.027 8	0.025 8
沈阳	0.028 5	0.025 1	0.023 4
哈尔滨	0.020 0	0.014 3	0.013 2
长春	0.015 8	0.011 1	0.012 1

根据表 4 结果,各副省级城市在均衡发展阶段排名相对稳定,副省级城市科技创新能力呈现稳步发展态势。深圳与广州持续占据领先地位,而哈尔滨等东北城市则长期处于排名末端。

科技创新能力均衡发展阶段,深圳市与广州市的科技创新能力持续领跑。深圳市以“硬科技”为突破口,依托《“十三五”科技创新规划》等政策红利,构建起“基础研究+技术攻关+成果产业化”的全链条创新体系。2019 年深圳研发投入强度攀升至 4.9%,仅落后于北京位居全国第 2。与此同时,广州聚焦“软硬结合”的产业升级路径,通过设立 10 亿规模的“创新基金”,有效激活企业创新动能。值得关注的是,深圳侧重原始创新与全球竞争力培育,广州则着力于应用创新与产业转型升级。这种错位发展既避免了同质化竞争,又通过广深港澳科技创新走廊实现创新要素的高效流动,为区域创新能力均衡提升提供示范样本。

然而,哈尔滨、长春等东北城市面临发展困境,高端技术人才大量流向南方经济发达城市,科技创新能力明显滞后。以哈尔滨为例,尽管其出台了《哈尔滨市加快科技创新推动经济转型发展实施意见》等相关科技创新政策,但在执行层面存在滞后,资金投入与高新技术产业支持不足。2018 年,哈尔滨高新技术企业数量仅维持在 300 家,较同期广州、深圳等超千家的创新主体规模形成明显断层。

3.1.3　科技创新能力分化发展阶段分析

15 个副省级城市科技创新能力分化发展阶段(2020—2022 年)的各年综合得分见表 5。

表 5　2020—2022 年副省级城市科技创新能力分化发展阶段各年综合得分

城市	2020 年	2021 年	2022 年
深圳	0.203 5	0.200 5	0.190 7
广州	0.128 5	0.123 4	0.123 9
武汉	0.090 2	0.088 9	0.086 0
成都	0.076 6	0.078 4	0.083 9
杭州	0.094 4	0.093 2	0.098 6
西安	0.064 0	0.069 4	0.066 0
南京	0.089 7	0.085 7	0.089 1
青岛	0.041 4	0.044 5	0.041 4
济南	0.043 1	0.042 1	0.044 3
宁波	0.055 1	0.055 6	0.059 3
厦门	0.049 2	0.037 7	0.035 6
大连	0.026 7	0.026 4	0.027 2
沈阳	0.022 1	0.024 7	0.025 3
哈尔滨	0.012 7	0.014 7	0.016 8
长春	0.014 3	0.027 2	0.024 7

在科技创新能力分化发展阶段，杭州的科技创新实力稳步攀升，数字经济与新兴产业领域表现卓越，科技创新发展水平稳居副省级城市第 3。该阶段，杭州积极推行《杭州市建设国家新一代人工智能创新发展试验区行动方案》《杭州市“雏鹰计划”企业培育工程实施意见》等多项创新驱动发展战略，有力促进了数字经济与创新产业的蓬勃发展。2021 年，杭州阿里巴巴的研发投入高达 572.36 亿元，海康威视、群核科技等技术型企业研发强度均超 10%。杭州依托浙江大学、西湖大学等高校构建基础研究网络，通过“城市大脑”等场景开放加速技术商业化，2022 年技术合同成交额突破 1 000 亿元，数字安防、云计算等 6 大产业链跻身“千亿俱乐部”。

与此同时，青岛在该阶段也实现了迅猛崛起。2020 年，青岛颁布了《关于加快发展战略性新兴产业的实施意见》，明确提出将智能制造与海洋经济作为重点发展方向。由此，青岛依托国家深海基地、海洋科学与技术试点国家实验室等“国之重器”，构建起覆盖海洋装备、生物医药、新能源的“深蓝创新体系”。在智能制造领域，海尔卡奥斯工业互联网平台连接企业 80 万家，赋能青岛打造出智能家居、轨道交通装备等 4 个国家级产业集群。2022 年，青岛工业战略性新兴产业增加值增长 10.6%，高于规上工业 2.1 个百分点，海洋生产总值占全市 GDP 比重突破 33%。

3.2　副省级城市科技创新能力空间分异

副省级城市科技创新能力不仅在时间维度呈现显著演变趋势，在空间维度上也表现出明显分异特征。借鉴各年度《中国城市科技创新发展报告》并结合前文利用熵值法测算得到的副省级城市科技创新能力得分，将排行榜前 5 名的副省级城市划分为创新引领型城市，排名 6～10 名的划分为稳健发展型城市，排名 11～15 名划分为特色突破型城市。随后，运用 Origin 软件绘制科技创新水平雷达图，分别比较创新引领型、稳健发展型与特色突破型城市的发展态势。借助雷达图对比分析可以更清晰地识别不同副省级城市在科技创新能力上的优势和短板，从而为制定相应的提升策略提供依据。

3.2.1　创新引领型城市科技创新能力分析

创新引领型城市科技创新能力对比雷达图如图 4 所示。深圳在 15 个副省级城市的科技创新能力比较中排名第 1，综合得分较第 2 名广州高出 66.48%。研究期内，深圳各维度数据均远高于平均水平，科技创新五维度均衡发展。在科技创新与产业发展能力方面，深圳不断强化企业科技创新的主体地位，增大其生产总值和出口总额，截至 2024 年深圳拥有超过 2.4 万家国家级高新技术企业，连续 4 年蝉联国家创新型城市排行榜榜首。

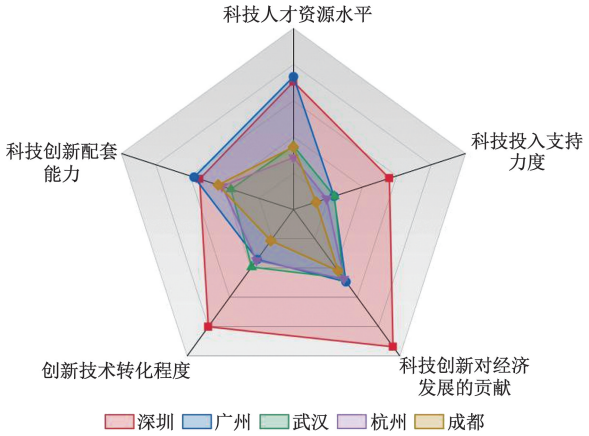


图 4　创新引领型城市科技创新能力对比

在科技创新配套能力方面，深圳与广州呈现出趋同现象。这既源于珠三角城市群的地理邻近性带来的溢出效应，又与双城要素禀赋结构及制度环境的趋近性密切相关。空间-制度双重维度的高度耦合，不仅降低了创新要素配置的交易成本，更通过技术标准互认与产业链垂直整合，推动区域创新配套体系形成了自我强化的正反馈循环。

此外，武汉、杭州、成都 3 市也呈现出显著的基础设施同构性。作为新一线城市，3 市在交通枢纽功能、数字金融普及率及互联网普及度等配套指标上均达到国内领先水平。据《2022 城市商业魅力排行榜》显示，3 市在商业品牌渗透指数、电子商务活跃度等维度呈现协同发展态势。但深入产业生态层面观察，区域发展路径呈现显著差异。杭州依托数字经济龙头企业构建起强大的数据交互需求生态，其 2022 年电信业务总量较武汉高出 71.97 亿元；成都则凭借电子信息产业集群优势，在产业数字化转型领域形成独特竞争力。相较之下，武汉虽具备千万级人口规模的市场基础，但受限于消费能级相对滞后与用户需求单一化，其增长动能尚未充分释放。

3.2.2　稳健发展型城市科技创新能力分析

稳健发展型城市科技创新能力对比雷达图如图 5 所示。由图 5 可以看出，稳健发展型城市的科技人才资源水平发展差异明显，其中南京表现最为突出。近年来，南京先后制定了《南京市推动高水平工业和信息化产业人才队伍建设工作方案》与“人才强市 25 条”“优享八条”等人才服务机制，显著

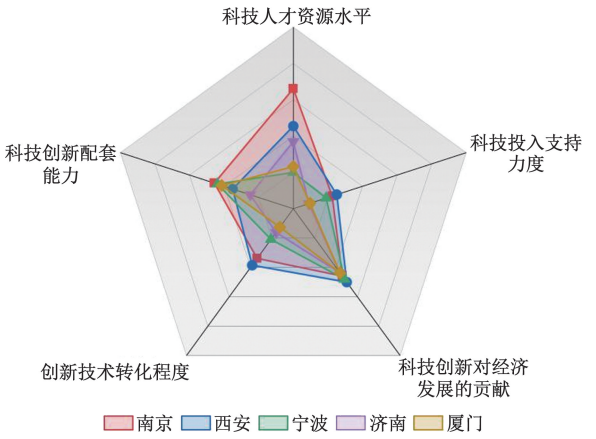


图 5　稳健发展型城市科技创新能力对比

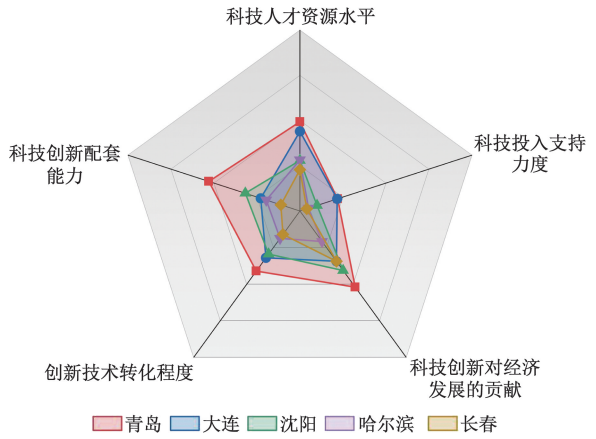


图 6　特色突破型城市科技创新能力对比

加大了财政投入力度,对人才培养产生了积极影响。相比之下,宁波的高等教育资源相对较少,对人才的凝聚力较差。同时,宁波的产业基础主要集中在制造业和港航物流领域,在新兴产业和高科技领域的产业基础相对薄弱,对科技人才的吸引力较弱。

在科技投入支持力度方面,西安不断深化科技成果转化改革,着力畅通科技成果转化通道,科技投入支持力度在稳健发展型城市中处于领先态势。2023 年,西安研发经费投入 667.94 亿元,其中各类企业研发经费年增长 8.2%,政府属研究机构经费年增长 9.1%,社会各界对科技创新高度重视。而济南在科技投入支持力度方面表现落后,2023 年济南研发经费占 GDP 比重仅为 2.88%,仍有较大上升空间。

稳健发展型城市在科技创新对经济发展的贡献方面表现较为均衡。以 2022 年为例,南京与西安的创新产出水平较为接近。但南京作为全国第二批企业创新积分制试点园区,率先构建创新型企业发展矩阵,凭借 26.2 万家高新区企业的集群优势,在创新主体密度上与西安拉开显著差距。相比之下,受地域面积的限制,厦门高新技术企业数相对较少,但其进出口总额占城市 GDP 比重远高于其他 4 市,科技创新对经济发展具有突出贡献。2024 年 1—11 月,厦门战略性新兴产业增加值占规模以上工业增加值比重提高到 46.6%,规模以上高技术服务业增长 29.2%,科技创新已成为推动厦门产业转型的重要引擎。

3.2.3　特色突破型城市科技创新能力分析

特色突破型城市科技创新能力对比雷达图如图 6 所示。青岛市位列 11,科技创新能力仍受多重制约。除人才资源与配套能力外,其余维度发展均显不足,科技创新能力仍有较大的提升空间。这种多维度的系统性滞后可能与山东省域创新治理模式的路径依赖密切相关。相较于深圳等改革前沿城市实施的“揭榜挂帅制”,山东仍延续着科层制管理架构下的“建档立卡”项目组织模式。前者通过建立市场导向的竞争性资源配置机制,有效激活了多元创新主体的参与动能;而后者在确保项目执行规范性的同时,却因行政主导的立项机制弱化了市场信号传导,导致创新资源错配与主体活力抑制的双重困境。

在特色突破型城市中,大连与沈阳、哈尔滨、长春 3 市的科技创新发展存在明显差异,呈现出“一极三弱”的鲜明格局。2024 年,大连以 3.21% 的研发投入强度领跑东北三省,研发经费占全省总量的 41.5%。相较之下,沈阳、长春、哈尔滨 3 市受困于体制惯性,科技创新发展相对薄弱。尤其在农村地区,3 市传统产业占比超 60%,数字化设备渗透率不足 15%,科技创新发展受阻。因此,针对沈阳、长春等数字化基础薄弱的城市,应立足工业底蕴,由政府协同高校等对产业链关键企业提供精准补贴,推动其生产线关键环节的数字化升级。大连则应着力开放与协同,推动与周边城市的互认机制,并搭建由龙头企业真实技术需求驱动的产学研对接平台,从而逐步提升其科技创新能力。

3.3　副省级城市科技创新能力内部影响

3.3.1　基准回归模型

为进一步探究副省级城市科技创新各维度的影响关系,以城市创新能力与技术转化程度为因变量,以城市科技创新能力评价指标体系的其余 4 个维度为自变量,进行回归分析。参考邢明强等[37]的研究。回归分析中控制变量的设定如下:政府干预

程度(Gov)采用政府财政一般支出与 GDP 的比值表示;金融发展程度(Fin)采用年末金融机构存贷款余额与 GDP 的比值表示;经济发展水平(Econ)采用人均 GDP 表示。回归结果见表 6。

由表 6 结果可以看出,科技投入支持力度对创新能力与技术转化程度的影响系数为 0.916 7,即副省级城市投入力度增加一个单位,其创新与技术转化程度随之上升 0.916 7 个单位。这表明,副省级城市在研发资金投入、人才扶持等方面的强化,能够有效提升整体的创新与技术转化程度,投入与创新落地之间形成正向联动。相比之下,科技创新对经济发展的贡献的作用系数为 0.282 5,其影响力度明显低于科技投入支持力度的推动作用。这可能是副省级城市普遍依托科研院所、高等院校及创新型企业的集聚效应,使资金、政策与人才资源能够快速转化,从而显著增强整体的创新与技术能力。而科技创新对经济发展的贡献则涉及市场对接、资本支持等多个环节,更多依靠的是长期基础和产业结构水平,因而对转化程度的影响相对减弱。

3.3.2　稳健性检验

为进一步检验前文结论的稳健性,分别对数据进行上下 1%的缩尾、以及被解释变量滞后 1 阶处理,所得结果见表 7 第(1)列、第(2)列。由表 7 结果可得,科技投入支持力度、科技创新与产业发展能力的系数仍显著为正,这说明副省级城市在资源投入与科技产业发展层面的强化,确实能够稳定地促进创新与技术转化能力的提升,而并非由模型设定所导致的偶然结果。

表 6　创新能力与技术转化程度的回归分析结果

变量	创新能力与技术转化程度
科技人才资源水平	0.024 7 (0.357 6)
科技投入支持力度	0.916 7*** (9.244 4)
科技创新对经济发展的贡献	0.282 5*** (3.961 6)
科技创新配套能力	0.021 6 (0.295 9)
Gov	−0.000 2 (−0.399 6)
Fin	0.000 3 (0.744 9)
Econ	0.000 2 (0.314 6)
常数项	−0.000 0 (−0.012 4)
样本数	135
adj. R^2	0.890 2

注:*、**、***分别表示 $P<0.01$、$P<0.05$、$P<0.01$;括号内为 t 值。

表 7　创新能力与技术转化程度影响的稳健性检验结果

变量	(1) L. 创新能力与技术转化程度	(2) 创新能力与技术转化程度
科技人才资源水平	0.007 3 (0.098 2)	0.024 7 (0.357 6)
科技投入支持力度	1.016 9*** (9.129 7)	0.916 7*** (9.244 4)
科技创新对经济发展的贡献	0.183 1** (2.101 0)	0.282 5*** (3.961 6)
科技创新配套能力	0.011 3 (0.136 9)	0.021 6 (0.295 9)
Gov	−0.000 2 (−0.479 7)	−0.000 2 (−0.399 6)
Fin	0.000 8* (1.978 1)	0.000 3 (0.744 9)
Econ	−0.000 0 (−0.037 2)	0.000 2 (0.314 6)
常数项	0.001 1 (1.057 3)	−0.000 0 (−0.012 4)
样本数	120	135
adj. R^2	0.892 0	0.890 2

注:*、**、***分别表示 $P<0.1$、$P<0.05$、$P<0.01$;括号内为 t 值。

4　结论

选取全国 15 个副省级城市作为研究对象,利用熵值法计算各城市 2014—2022 年的科技创新能力综合得分,并分析其各阶段的发展特色。通过雷达图对副省级城市的科技创新能力进行了分维度分析。最后,进行基准回归考察副省级城市科技创新能力的内部影响关系,得到如下结论。

(1)副省级城市科技创新能力存在明显的空间差异,南方城市普遍展现出较强的科技创新实力,北方城市则相对滞后,且该差异呈现出逐渐增大的态势。计划单列市在科技创新能力上也普遍高于副省级城市中的省会城市。

(2)从时间层面来看,副省级城市科技创新能力的演变呈现出显著的阶段性特征。副省级城市科技创新能力从积累提升到均衡发展,再到分化发展,城市间的竞争格局不断演化。

(3)通过雷达图分析可知,创新引领型城市在 5 个维度上的发展较为均衡,展现出全面的科技创新能力,但大部分副省级城市的科技创新能力发展仍欠佳,尤其是在特色突破型城市中表现尤为明显。

(4)副省级城市的科技投入支持力度、科技创新对经济发展的贡献均可以显著提升其创新能力与技术转化程度。其中,科技投入支持对创新能力与技术转化的影响最为突出。

参考文献

[1] NGUYEN N U P, MOEHRLE M G. Technological drivers of urban innovation: a t-DNA analysis based on us patent data[J]. Sustainability, 2019, 11(24): 6966.

[2] HAN J, CHEN X, SUN Y W. Technology or institutions: which is the source of green economic growth in chinese cities? [J]. Sustainability, 2021, 13(19): 10934.

[3] TANG D C, YAN J, SHENG X, et al. Research on green finance, technological innovation, and industrial structure upgrading in the yangtze river economic belt [J]. Sustainability, 2023, 15(18): 13831.

[4] SHI Y F, ZHANG T L, JIANG Y F. Digital economy, technological innovation and urban resilience[J]. Sustainability, 2023, 15(12): 9250.

[5] BOKHARI S A A, SEUNGHWAN M. How do institutional and technological innovations influence the smart city governance? focused on stakeholder satisfaction and crime rate[J]. Sustainability, 2024, 16(10): 4246.

[6] CAO J X, LI S N, YANG Q Y. Polarization or diffusion? spatio-temporal evolution of urban technological innovation capacity in china's five urban agglomerations[J]. Chinese Geographical Science, 2022, 32(6): 946-962.

[7] DONG X, FU W S, YANG Y L, er al. Study on the evaluation of green technology innovation efficiency and its influencing factors in the central plains city cluster of china[J]. Sustainability, 2022, 14(17): 11012.

[8] GAO K, YUAN Y J. Government intervention, spillover effect and urban innovation performance: empirical evidence from national innovative city pilot policy in china [J]. Technology in Society, 2022, 70: 102035.

[9] YE Z, ZOU C, HUANG Y C. Impact of heterogeneous spatial structure on regional innovation-from the perspectives of efficiency and gap[J]. Sustainability, 2022, 14(19): 12095.

[10] YANG Y Y, HUANG Y X, LIU Y C, et al. Grey clustering analysis of provincial scientific and technological innovation capability mainland[J]. Journal of Grey System, 2023, 35(2): 130-149.

[11] 锁箭, 汤瑞丰. 粤港澳大湾区高质量创新协同发展研究[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(24): 46-53.

[12] 李彦臻, 任晓刚. 科技驱动视角下数字经济创新的动力机制、运行路径与发展对策[J]. 贵州社会科学, 2020(12): 113-120.

[13] 张建刚. 新时代新阶段重视探索我国经济高质量发展之路[J]. 毛泽东邓小平理论研究, 2023(6): 11-21, 107.

[14] 郭文伟, 王文启. 粤港澳大湾区金融集聚对科技创新的空间溢出效应及行业异质性[J]. 广东财经大学学报, 2018, 33(2): 12-21.

[15] 邓淑芬, 朱佳翔, 钟昌宝. 长三角城市群科技创新投入的空间关联格局分析[J]. 统计与决策, 2019, 35(15): 105-108.

[16] 覃艳华, 曹细玉. 粤港澳大湾区城市群科技协同创新研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019, 53(2): 255-262.

[17] 李思蕾. 科技创新对社会经济高质量发展的影响研究[J]. 环渤海经济瞭望, 2023(10): 4-7.

[18] 冯文静. "双循环"新发展格局下科技创新的发展路径探析[J]. 商展经济, 2024(6): 142-145.

[19] 薛飞, 刘家旗, 付雅梅. 全面创新改革试验区政策对城市创新能力的影响研究[J]. 城市问题, 2024(6): 74-82.

[20] 刘会武, 王胜光. 创新政策系统分析: 钻石模型的提出及应用[J]. 科学管理研究, 2009, 27(4): 6-9.

[21] 湛泳, 李珊. 金融发展、科技创新与智慧城市建设: 基于信息化发展视角的分析[J]. 财经研究, 2016, 42(0): 4-15.

[22] 毕娟. 科技创新驱动城市发展的案例研究[J]. 经济纵横, 2017(8): 81-88.

[23] 赵丽, 赵峰. 基于正态云的资源型城市科技创新平台点极发展模式评价[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(22): 126-132.

[24] 武保赟, 张克荣, 周罗, 等. 基于熵值法的安徽省县域经济科技创新能力评价[J]. 巢湖学院学报, 2017, 19(5): 67-74.

[25] 赵传松, 任建兰. 中国科技创新与可持续发展的关联分析: 基于熵值法和灰色关联模型的实证研究[J]. 生态经济, 2017, 33(11): 58-61, 72.

[26] 张育齐, 袁连升. 科技创新对区域经济发展支撑作用研究: 以江苏省为例[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(4): 222-228.

[27] 郭清. 中国式现代化进程中的科技创新: 实践探索与路径选择[J]. 技术经济与管理研究, 2023(6): 1-6.

[28] 赵希男, 褚德海, 贾建锋. 我国副省级城市科技创新能力的竞优分析[J]. 中国软科学, 2010(11): 88-97.

[29] 于成学. 中国副省级城市科技创新效率评价与实证[J]. 科技管理研究, 2010, 30(1): 61-63.

[30] 刘亚迪, 刘晓慧, 董艳蕊. 基于集对分析的副省级城市科技创新评价模型及实证[J]. 科研管理, 2018, 39(S1): 100-110.

[31] 李燕. 高校科技创新与城市经济高质量发展: 基于19个副省级及以上城市的实证检验[J]. 科技管理研究, 2020, 40(13): 1-7.

[32] 景慧, 张林, 孙永权. 高等教育、科技创新与经济发展的耦合关联研究[J]. 中国高校科技, 2023(8): 52-60.

[33] 蔡文伯, 赵志强, 禹雪. 成渝地区双城经济圈高等教育-科技创新-经济发展动态耦合协同研究[J]. 西南大学学报(社会科学版), 2022, 48(1): 130-143.

[34] 杨剑，夏慧良. 中部与长三角地区国家级高新区科技创新效率评价：基于三阶段数据包络分析[J]. 科技管理研究，2022，42(16)：70-77.
[35] 孙琴，刘戒骄. 国家高新区与高新技术产业的耦合机理与实证分析[J]. 中国科技论坛，2024(5)：97-108.
[36] 石义寿，周振江，苏瑞波，等. 科技创新与产业创新耦合协调发展评价：以广东省国家高新区为例[J]. 科技管理研究，2024，44(24)：84-91.
[37] 邢明强，申博，周密. 产教融合与科技创新：来自“产教融合”政策的准自然实验[J/OL]. 工程管理科技前沿，1-12 [2025-04-30]. https://link.cnki.net/urlid/34.1336.N.20250829.1421.005.

Measurement and Comparison of Technological Innovation Capacity of Sub-provincial Cities

SUN Han[1], HAO Huali[2], SUN Qiuxia[1]
(1. College of Mathematics and Systems Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. Jiaxiang County Big Data Center, Jining 272200, China)

Abstract: As principal vehicles within regional innovation ecosystems, sub-provincial cities' science-and-technology (S&T) innovation capacity is a key variable for improving the efficiency of intra-urban resource and factor allocation. Using a panel of 15 Chinese sub-provincial cities from 2014 to 2022, quantifies innovation capacity via the entropy-weight method, complemented by radar-chart analysis to reveal structural heterogeneity, and empirically examined the influence relationship among various dimensions of scientific and technological innovation. The findings are as follows: spatially, the distribution of S&T innovation capacity exhibits a pronounced south-north gradient "higher in the south, lower in the north", with the gap widening over time. Moreover, there is clear differentiation between cities specifically designated in the state plan (municipalities with independent planning status) and provincial capitals. Temporally, the evolution of innovation capacity can be divided into three stages, including accumulative enhancement, balanced development, and divergent development. Radar-chart results further indicate that innovation-leading cities display relatively balanced overall development, specialized-breakthrough-oriented cities show salient weaknesses in several core dimensions, reflecting suboptimal overall coordination. The empirical results show that the support for technological investment in prefecture-level cities, as well as the contribution of technological innovation to economic development, can significantly enhance their innovation capabilities and the degree of technology transfer.

Keywords: sub-provincial cities; S&T innovation capacity; entropy value method; radar charts