数字基础设施建设与城市创新：基于技术分工视角的分析

孙倩倩[1]，鞠　方[2,3]，周建军[2,3]

（1. 南京大学商学院，江苏　南京　210009；2. 湖南大学金融与统计学院，湖南　长沙　410082；
3. 湖南大学新型城镇化与不动产研究中心，湖南　长沙　410082）

摘　要：创新在提升本土竞争优势与重塑全球经济格局中的作用日益凸显，数字经济的迅速兴起为创新发展提供了有力支撑。从技术分工视角出发，利用城市面板数据与微观专利数据，考察数字基础设施建设对城市创新的影响及其作用机理。研究发现：数字基础设施建设对城市创新数量具有显著的促进作用，且此影响表现出边际报酬递增的特性；技术分工是数字基础设施建设影响城市创新水平的重要传导渠道；数字基础设施建设亦会推动城市创新质量的同步提升，并能在长期起到缩小区域间创新发展差距的作用；以“宽带中国”和创新型城市建设为代表的数字中国和国家创新体系建设政策均能与数字基础设施建设产生政策协同效应，共同助力城市创新发展。研究结果拓宽了数字化趋势影响城市发展的机理分析，也为促进城市创新提供了思路。

关键词：数字基础设施；城市创新；技术分工；专业化分工；多样化分工

中图分类号：F293　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005－0566(2023)07－0178－15

Digital infrastructure construction and urban innovation: Analysis based on a division of technology perspective

SUN Qianqian[1], JU Fang[2,3], ZHOU Jianjun[2,3]

(1. *Business School of Nanjing University*, *Nanjing* 210009, *China*;
2. *School of Finance and Statistics*, *Hunan University*, *Changsha* 410082, *China*;
3. *Research Center of New Urbanization and Real Estate*, *Hunan University*, *Changsha* 410082, *China*)

Abstract: Innovation is increasingly important in enhancing local competitive advantage and reshaping the global economic pattern. The rapid rise of the digital economy provides strong support for innovation development. This paper uses panel data of cities and micro-patent data in China, analyzing the impact and mechanism of digital infrastructure construction on urban innovation based on the perspective of the technology division. It is found that the construction of digital infrastructure can significantly promote the quantity of urban innovation and the effect is characterized by an increasing marginal payoff. The technology division of labor is an important transmission channel for digital infrastructure construction to affect urban innovation. The construction of digital infrastructure will also promote the improvement of urban innovation quality and can play a role in narrowing the innovation development gap between regions in the long term. Digital China and national innovation system construction policies, represented by “Broadband China” and

收稿日期：2023-03-20　　**修回日期**：2023-05-31

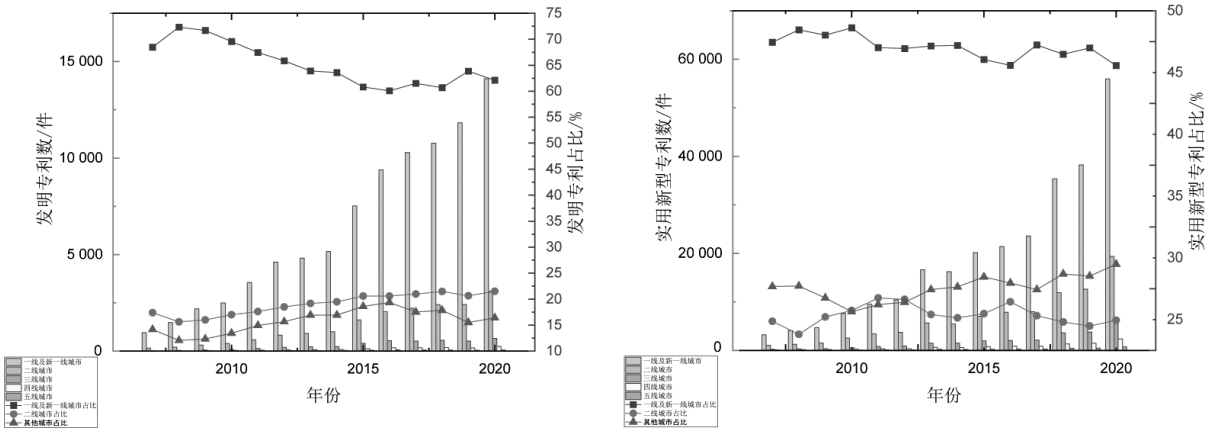
基金项目：国家社会科学基金重点项目(18AJY027)。

作者简介：孙倩倩(1994—)，女，辽宁大连人，南京大学商学院博士研究生，研究方向为产业演化与创新。通信作者：鞠方。

innovative city construction, can create a policy collaboration effect with digital infrastructure construction to help the development of urban innovation jointly. The research in this paper broadens the mechanism analysis of digital trends affecting urban development and provides ideas for promoting urban innovation.

Key words: digital infrastructure; urban innovation; division of technology; specialized division of technology; diversified division of technology

创新在本土竞争能力提升与全球经济格局重塑中的作用日益凸显[1],在中国经济社会发展中也扮演着顶层战略角色,是加快经济发展方式转变,促进现代化经济强国建设的重要驱动力。2006 年,中国颁布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》,正式开始了建设创新型国家战略的新征程,并通过实施创新型城市建设等一系列举措助力创新发展。2021 年,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035 年远景目标纲要》(以下简称《纲要》)进一步指出,要“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位,把科技自立自强作为国家发展的战略支撑”,将创新提升至前所未有的国家战略高度,赋予创新以新时代下的深刻内涵。在举国体制的国家创新体系建设下,中国创新发展取得了长足的进步:根据世界知识产权组织等机构联合发布的《2022 年全球创新指数报告》,中国在全球 132 个主要经济体中排名第 11 位,位列发展中国家首位;制造业创新发展也实现了中高端产业由跟跑向并跑、领跑的关键性转变[2]。但这些整体向好的发展趋势中掩藏着严重的创新数量和创新质量分布不均衡、创新资源利用不充分等结构性问题[3]。本文以第一财经发布的《2021 城市商业魅力排行榜》为依据对城市进行分类,并绘制各类别城市授权发明专利和实用新型专利均值的变化趋势图,见图 1。由图 1 可以看到,现有创新集中于以实用新型专利为代表的策略性创新,表现为实用新型专利规模是同期发明专利规模的 3 倍左右;一线及新一线城市在创新发展中居于绝对的主导地位,表现为 60% 以上的发明专利和 45% 以上的实用新型专利由一线及新一线城市获得。城市创新发展的不平衡可能进一步影响区域协调发展[4]。



a. 发明专利　　b. 实用新型专利

图 1　不同类别城市专利获得数量分布及变化趋势

数据来源:国家知识产权局。

知识是创新的重要构成要素。创新研发需要依托于超过其自身所需的知识,以应对技术快速变革引致的不断增加的知识需求[5],但长期的内部知识积累会造成负面路径依赖或核心刚性[6],需要通过强化对外部知识的搜索为知识组合提供更多机会,进而提升创新数量和价值[7]。相较于交通基础设施,数字基础设施建设能以更加低廉的成本实现信息和知识更迅捷、更广泛的传播,成为培育创新的重要手段[8]。第四次产业革命是围绕数字化与智能化展开的。互联网等信息化技术

的发展利用数字化的知识与信息进行资源的再配置,能打破时空界限,拓宽网络空间,提高经济效率,具有重塑经济发展格局的重要作用[9-10]。数字化是一种长期发展趋势,更是创造“数字红利”,弥合“数字鸿沟”,加速国际经济赶超的重大机遇[11]。2014 年,习近平总书记在首届互联网大会上指出,互联网是创新驱动发展的先导力量,由此拉开了“数字中国”建设的序幕。2021 年,国务院印发《“十四五”数字经济发展规划》,为构建数字中国提供了有力支撑。2022 年,《纲要》重申了数字中国战略,提出“加快数字化发展,建设数字中国”,以数字发展引领经济新优势塑造。其中,数字基础设施是数字化发展的基础与支撑。

以互联网为代表的数字基础设施建设能否为中国城市创新发展赋能?这一作用又通过何种机制产生?如何利用好数字化发展的重要趋势实现科技自立自强的战略目标?针对这些问题,本文立足于数字化的长期发展趋势与科技自立自强的重大现实需求,基于技术分工视角分析数字基础设施建设对城市创新的影响及作用机理,为推进中国创新体系完善与数字中国战略实施,构建新发展优势提供参考。本文的可能贡献在于:第一,在研究内容上,本文突破以往单纯从外部性角度探究数字基础设施建设与创新间联系的分析框架,从技术分工视角出发揭示两者间的关系与作用机理,更能凸显出数字经济下的创新模式转换特征;对异质性作用、创新质量、区域创新差距等内容的探讨,为深刻了解数字化发展下的创新格局演变提供了更鲜明的证据;对创新治理策略效应的分析,为未来城市创新发展优化提供了经验支撑。第二,在指标刻画上,参照产业分工的研究范式,本文将分工拓展到技术领域层面,从专业化分工与多样化分工两个方面刻画技术分工,进而分析了其在数字基础设施建设与城市创新的关系中发挥的作用,研究更加立体。第三,在分析方法上,本文采用工具变量、分位数回归、门槛回归等多种方法进行检验,不仅能够得到更为丰富的研究结论,还可以排除内生性问题的干扰,结果更加可靠。

一、文献回顾

(一)数字基础设施与城市创新

创新主要来自对现有知识的重新组合[12]。数字基础设施的建设与普及使得互联网等数字通用技术迅速兴起,能够打破知识和信息传递的物理边界和技术领域边界,增加了经济主体间的相互关联,加快信息的流动速度和知识转移概率,降低信息传递成本和沟通成本,并拓宽知识来源[13],有助于进行新的思想重组,产生新技术或创造性想法[14]。另外,数字技术的应用还能降低因地理距离遥远导致的高昂合作成本,增加此类合作发生的可能性[15,13],进而产生互补性创新。此外,信息技术的进步拓宽了组织边界,塑造了利用外部知识进行创新的趋势,为开放式创新的开展创造了条件。信息技术促进了知识吸收能力的提升,其与思维开放性的相互作用显著放大了新产品的创新性,与实践开放性的互动加快了产品的上市速度[16],进而推动了制造业升级[17]。Xu 等[18]利用美国数据研究发现,互联网接入会通过降低信息和知识收集的相关成本显著推动持续创新,但提高互联网速度并不一定会增加创新的数量。Kafouros[19]认为互联网等数字通用技术具有“搜索”和“交流”两个重要特征,有助于从外部来源获取信息,并通过有效的沟通和互动增强知识创造能力,从成本、时间和质量 3 个维度提高研发效率。

(二)数字基础设施与技术分工

数字基础设施的普及有助于提升应用者对电子技能(e-skills)的学习,以获取外部的先进知识和信息,以加强现有的生产活动[20]。电子技能的获得会使 ICT 用户融入包含大量用户与相关知识的信息网络[21],以获取更多的知识种类和更多的机会,创造新的技术路径,拓宽现有的技术专业化模式,强化技术多样化发展,但这一作用的效果可能存在地域差异:相较于技术先进的区域,对于距离前沿技术更远的欠发达地区,提升数字基础设施能为开发和采用新技术创造必要条件,可获得更高的边际收益,更易于通过模仿实现多样化技术发展[22]。Cicerone 等[23]以人工智能应用反映区域的数字化转型水平,认为数字化转型会对区

域已有绿色技术专业化水平产生正向推动作用，但会抑制尚未形成技术优势区域的技术专业化能力。数字技术是数字基础设施应用下的重要产物，吴福象等[24]基于中国省级数据，研究发现数字技术深化会促进技术的代际跃迁与质量升级，拓宽技术边界，推动技术专业化水平的提高，并带动生产率的同步提升。

（三）技术分工与城市创新

伴随着产业的专业化和多样化发展，由此导致的技术专业化分工与多样化分工对创新的影响也逐渐被关注。技术专业化与技术比较优势相关，能在一定程度上反映创新能力[25]。在动态的市场经济中，技术是创造和保持比较优势的必要条件。而技术进步具有路径依赖性，一个领域的发展主要推动相关领域的创新。换言之，当某个特定的技术类别有更多的已有上游创新时，此技术类别的创新就会更多[26]。因此，技术分工有助于巩固技术比较优势，提升创新绩效。李长英等[27]将技术进行了区分，认为相关技术多样化对创新数量和创新质量具有“倒 U”型影响，不相关技术多样化对创新数量和创新质量具有正向影响。Huang 等[28]研究发现，技术多样性与创新绩效之间存在倒 U 型关系，在最优水平之前，技术多样性的增加会提高创新绩效，在达到最佳水平后，随着技术多样性的增加，创新绩效会下降。蒋欣娟等[29]基于城市层面的数据，发现技术专业化分工会通过劳动力技能匹配效应和技术互补效应提升城市在深度维度和广度维度上的创新能力。

二、理论分析与研究假设

（一）数字基础设施对城市创新的直接影响机制

数字基础设施主要通过知识溢出、增强包容性创新与强化市场感知等渠道对创新产生直接影响。一是降低知识搜索成本与拓宽知识溢出范围，强化学习效应。创新在很大程度上依赖于对现有知识的重组[12]。数字基础实施建设不仅会通过增加可用信息量，并大大降低搜寻新信息的成本，加速内部知识的传播，还能通过有效的研究交流与合作促进外部知识的吸收，提高沟通效率，从而加快创新速度[30]。不仅如此，数字基础设施建设能增强跨研究领域知识搜索和汲取知识的可能性，增加跨区域的互动频率。随着知识重叠程度的增加，城市更容易吸收新知识，提高了知识交流的有效性，进而提升知识创造能力，强化创新能力。二是拓宽创新主体范围，实现包容性创新。数字基础设施的建设为创新主体参与提供了契机和激励机制，是包容性创新的潜在推动者。一方面，知识的搜寻成本、学习成本降低，降低主体的创新参与门槛，形成了更加开放的创新氛围。同时，数字化平台建设为创新主体提供了服务和技术支撑，提升了个体、高校、科研机构、中小企业参与的可能性，增加创新供给主体。另一方面，数字基础设施建设促进了网络空间的延伸，并进一步拓宽了创意市场和创新产出市场的市场范围，对创新主体产生正向激励，鼓励各类主体参与。三是增进市场主体对市场的了解，提高创新效率。从需求端来看，一方面数字基础设施的应用会提高信息的传播速度，拓宽信息的传播范围，有助于加速新产品在市场上的推广，加快新产品上市的速度[16]，并间接提升了消费者的新产品获取能力，促进消费者快速给予反馈，加速商品与技术迭代；另一方面大数据通过收集多方数据，刻画和演绎消费者行为规律，使得对消费者与生产者需求偏好的“精准预测”成为可能，使创新主体更容易感知市场需求[31]，来自需求的创新知识有助于推动实现更柔性化的创新过程，提升创新绩效。就供给端而言，数字基础设施建设使信息互联互通，有助于帮助企业增强对外界的学习，更加了解竞争对手的市场动向，提高市场竞争程度，强化创新过程，提高创新产出。

不可否认的是，数字基础设施建设同样可能对城市创新产生负面影响。数字基础设施建设会促进信息与知识的广泛传播，强化创新的溢出效应，增加非研发主体的搭便车行为，造成研发主体创新投入与创新收益的不匹配，进而对研发主体的创新决策产生负向激励，抑制创新产出，甚至可能对创新质量产生负向影响[32]。基于分析，本文提出假设 H_1：数字基础设施的建设会对城市创新水平产生直接影响。

（二）数字基础设施建设对城市创新的间接影响机制——基于技术分工视角

1. 数字基础设施建设、技术专业化分工与城市创新

产业分工会强化知识与技术的本地化发展，塑造了城市技术上的比较优势，进而形成区域间在技术领域上的专业化分工。技术专业化分工是指城市凭借其禀赋特征在某个或某几个相对优势突出的技术领域形成相应的技术比较优势，并以此为基础进行深入探索，以实现前沿技术的发掘。

数字基础设施建设降低了知识搜索难度和搜索成本，拓宽了知识溢出的边界。知识随着技术进步与信息传递机制的丰富而积累，存量大大增加，后续创新者在创新过程中面临日益增长的知识需求。持续积累的知识演变成一种“负担”，迫使后续创新者通过延长教育年限以不断提升对领域内专业知识的认识深度，缩小专业知识差距，间接使得创新过程分工不断专业化[33]。随着数字基础设施的进一步完善，信息的互联互通会拓宽技术的溢出范围，降低技术获取门槛和技术领域转换壁垒。技术比较优势是动态的，随着时间的推移，可能会因模仿、产品过时和产品标准化而丧失。城市依托这些技术比较优势建立起的发展优势易于为其他城市通过学习效应或搭便车行为所攫取，对于那些门槛偏低的技术领域而言更甚。面临动态调整的专业化分工格局，各城市需要通过探索新技术领域建立新的比较优势，导致整体的专业化分工格局被打破，技术专业化水平有所下降。因而整体上数字基础设施建设对专业化分工的影响呈现先升后降的变化趋势。

数字基础设施建设带来的技术专业化分工有助于扬长避短，推动城市凭借比较优势建立发展优势，提高研发效率和研发能力，同时能够降低研发成本，增加创新产出，也更容易形成领域内的前沿创新。不仅如此，城市间的技术分工会增加区域内的知识广度和企业间知识交流的机会，从而提高了城市进一步创新的能力，促进行业和地区的再发明过程[34]，对城市创新产出具有正向影响。但技术专业化分工不充分或处于调整阶段时，也可能对创新产生负向作用。一方面，城市创新发展具有路径依赖性，摆脱具有比较优势的技术领域进行创新需要花费更高的成本，这一成本包括研发成本与打破现有合作网络造成效率损失的机会成本。因此，城市更有意愿凭借数字技术等媒介吸收到的相关领域知识，依托于现有产业布局，巩固现有的技术分工，并以此为基础实现技术范式的更迭。但随着创新的深入，领域内的创新研发难度加剧，尤其是进入瓶颈期后，创新周期大大延长，创新产出随之下降[29]。新技术的探索会使专业化分工对创新的作用被抑制。另一方面，数字基础设施带来了知识种类的增加与技术溢出范围的拓宽，由此造成的技术专业化分工格局演化会促使城市通过广泛的技术领域探索建立新的比较优势，这一调整过程依赖于大量的研发投入与要素积累，也需要新的研发周期进行创新开发，难以在短期内实现技术突破，创新产出随之减少。不仅如此，数字化会强化区域间的学习效应，城市间广泛的技术探索会加速技术更迭，造成技术专业化分工格局的重构，进而对已建立先行优势的城市产生负向的创新激励，抑制这些城市的创新投入意愿，间接导致创新产出的进一步降低。基于此，本文提出假设 H_2：数字基础设施建设对技术专业化分工的影响呈先升后降的变化趋势，技术专业化分工对城市创新的影响取决于正负效应的强弱对比。

2. 数字基础设施建设、技术多样化分工与城市创新

与产业分工类似，技术领域的分工也存在多样化分工，且多样化分工与专业化分工并行不悖。技术多样化分工是指每个城市同时在多个技术领域进行研发投资和探索，通过发挥领域间的互补效应实现技术改进。

数字基础设施建设降低了知识与信息的获取成本，信息来源也更加广泛。大量涌入的知识不仅有助于进行重组创新，巩固现有技术优势，还有利于城市通过学习、模仿等手段探索和发展非比较优势技术，并不断拓宽技术领域外延，从而建立

多样化的技术优势,使得数字基础设施对技术多样化分工呈现出促进作用。但随着数字基础设施的进一步普及,由于城市内部与区域间的信息传递机制已经相对完善,能够凭借信息化手段获取的知识和技术越来越少,通过该机制进行多样化技术探索以寻求分工定位的手段也日臻成熟,导致数字化带来的技术分工效应减弱。不仅如此,创新资源的稀缺性会与此效应叠加,促使城市建立起具有长期发展前景的技术比较优势,并逐渐将发展重心转移到相关技术领域,进而造成城市的多样化分工程度进一步降低。整体而言,城市的技术多样化分工水平随技术设施建设水平的提高呈先升后降的变化趋势。

在数字化趋势下,数字基础设施带来的信息和技术扩散效应会与技术多元化分工形成合力,鼓励城市内部研发主体充分发挥各自的优势,增加城市内部的知识池容量,拓宽知识宽度,提升技术存量,降低技术的搜寻与匹配成本,更有利于推动城市内部的企业、科研院所等研发机构共享知识库,促进上下游产业链间的知识溢出[35],实现城市内部的跨领域学习与合作,发挥技术互补效应,更易于实现知识的重组与再创新,从而缩短技术开发与应用周期,增加创新数量。同时,多样化技术分工还有助于更加充分地利用城市内多样化的人力资本,实现人才资源的高效率配置,提升城市的创新活力,增加创新产出[36]。另外,多样化的技术探索还能够起到分散研发风险的作用。但随着城市内技术领域的增加,过多的多样性会增加资源的协调成本、经验整合成本等创新开发成本,很不经济[37],间接降低了城市内主体的创新积极性,还会引致因城市内创新主体过度利用技术和知识检索优势进行重组创新,挤出自主研发投入,致使创新能力下降的弊端,创新产出随之降低。此外,保留过多的优势技术领域还会分散创新资源,造成单个技术领域内创新投入不足,创新产出减少。不仅如此,创新投入不充分与创新能力降低还可能进一步导致创新开发进程原地踏步,进而形成技术的低端锁定。基于上述分析,本文提出假设 H_3:数字基础设施建设对技术多样化分工具有先升后降的影响趋势,技术多样化分工对城市创新的影响呈先升后降的变化特点。

基于上述分析,本文绘制数字基础设施建设影响城市创新的传导机制图如图 2 所示。

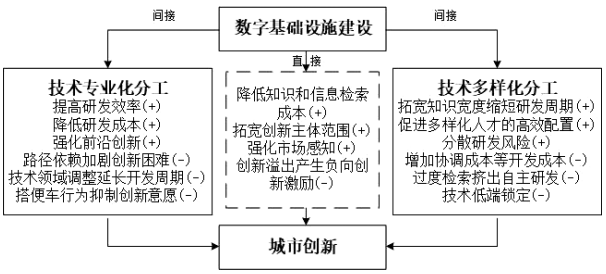


图 2　传导机制

注:(+)表示正向效应,(-)表示负向影响。

三、研究设计

(一)模型设定

为研究数字基础设施建设对城市创新的影响,基于前述理论分析,本文设定如下基准分析模型:

$$\ln patent_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln info_{it} + \alpha_2 X_{it} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中,下标 i 为城市;t 为年份;ln*patent* 为城市创新水平;ln*info* 为数字基础设施情况;X 为一系列控制变量的集合;α_0、α_1 和 α_2 分别为常数项、核心解释变量系数和控制变量系数;λ_i 为城市固定效应;μ_t 为年份固定效应;ε_{it} 为随机误差项。

(二)样本选取与数据来源

本文的研究样本为 2007—2016 年 279 个地级以上城市(剔除了样本期内出现行政变动或存在大量缺失的样本)。样本的选取主要基于两方面的考虑:第一,在研究对象上,城市是中国经济建设与调控政策实施的"微观"行政单位,是有为政府与有效市场结合的着力点,创新的扩散与学习效应的发挥也主要围绕城市层面展开。因此,以城市为单位研究创新发展具有合理性。第二,在研究周期上,国务院于 2006 年 2 月 9 日正式发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》。自此,中国正式实施国家创新战略,为中国专利数量增长提供了新的动力。为避免国家层面政策的干扰,本文将样本初始点确定为政策实施后的 2007 年。2017 年 7 月,国务院发布《国

务院关于强化实施创新驱动发展战略进一步推进大众创业万众创新深入发展的意见》。此政策是全局性的,会混淆数字基础设施建设对创新的作用效果,且难以直接排除该政策的干扰。为确保研究结论的可靠性与准确性,最终将样本的结束年份确定为 2016 年。

本文城市层面的原始数据均来源于《中国城市统计年鉴》和各城市统计年鉴,专利数据来源于 PatSnap 专利数据库,个别缺失数据以插值法补齐,价值型变量均以 2003 年为基期进行平减。

(三)变量选取与计算方法

(1)被解释变量:城市创新。专利是创新的良好表征,参照叶德珠等[38]的研究,使用专利数量度量创新产出,衡量城市创新水平。同时,考虑到专利申请是更为即时的创新结果反映,其中外观设计专利蕴含的创新改进较小,故本文以城市发明专利与实用新型专利申请数量之和取对数作为城市创新的表征,记为 ln*patent*。

(2)核心解释变量:数字基础设施水平。由于城市层面的相关数据可得性低,本文借鉴郑世林等(2014)[39]利用移动电话普及率和固定电话普及率度量电信基础设施发展的基本思路,采用互联网普及度作为城市数字基础设施的度量,以每万人中的互联网用户数的对数计算,记为 ln*info*。

(3)控制变量。参考叶德珠等[38]的研究,从多个方面刻画城市特征。经济发展水平(ln*agdp*),以人均 GDP 对数度量;产业结构(ln*indus*),以第二产业占比对数表示;政府支持(ln*gov*),以地方政府一般预算支出与 GDP 比值的对数计算;金融发展水平(ln*fin*),以金融机构存款与贷款之和同 GDP 的比值对数表示;政府科教支持(ln*sciedu*),以地方政府科技和教育支出占比的对数计算;金融发展水平(ln*fin*),以金融机构存款与贷款之和同 GDP 的比值对数表示;人口情况(ln*pop*),单位行政面积上的常住人口数量对数度量;普通高校数量及质量情况(ln*university* 和 ln*u*211),分别以普通高等学校数对数和 211 工程高校数量占比加 1 取对数衡量。表 1 给出了主要变量的描述性统计情况。

表 1　变量描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
ln*patent*	2 790	6. 664	1. 694	2. 079	11. 920
ln*info*	2 790	8. 187	0. 797	0. 542	10. 950
ln*agdp*	2 790	10. 413	0. 625	7. 971	12. 785
ln*indus*	2 790	-0. 716	0. 263	-2. 329	-0. 095
ln*sciedu*	2 790	-1. 728	0. 294	-4. 535	-0. 642
ln*fin*	2 790	0. 950	0. 438	-1. 546	2. 321
ln*pop*	2 790	-2. 724	0. 933	-6. 639	0. 135
ln*university*	2 790	1. 653	0. 926	0. 000	4. 522
ln*u*211	2 790	0. 009	0. 029	0. 000	0. 285

四、实证结果及分析

(一)基准分析

基于基准模型设定估计后的结果如表 2 所示,均为聚类到城市层面的稳健估计结果。第(1)列为未加入控制变量的估计结果,第(2)列为加入控制变量后的估计结果。由第(2)列可以看到,加入控制变量后,数字基础设施变量前系数在 10% 的置信水平下显著为正,这一结果与前文的理论分析相一致,表明数字基础设施建设会提升城市创新水平,但这一效应在平均意义上相对微弱,可能原因在于两者间的关系在时序上并非线性的,或是城市间存在显著的异质性特征,导致利用线性模型估计后的平均效应不够明显。进一步地,本文在基准估计模型基础上加入数字基础设施的平方项(ln*info*2),以考察数字基础设施建设与城市创新间潜在的非线性关系。加入该变量后,数字基础设施建设变量前系数均不显著,两者间的非线性关系有待进一步检验。

为排除因遗漏变量、反向因果等导致的内生性问题的干扰,参考 Nunn 等[40]的工具变量构造思路,本文采用滞后一期全国互联网用户数与 1998 年省级互联网上网人数的乘积及其对数作为数字基础设施建设的工具变量,利用两阶段最小二乘法进行估计,结果如表 2 后三列所示。在估计结果中,K-P Wald F 统计量拒绝了弱工具变量假设,Hansen J 统计量不能拒绝工具变量有效的原假设,表明工具变量是有效的。与第(1)和第(2)列相比,工具变量回归后的 ln*info* 前系数更大,显著性更强。与第(3)列类似,利用工具变量方法估计包含了数字基础设施平方项的模型,结果依旧不显著,初步排除了两者间存在对称非线性关系的可能。

表 2　基准分析估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	lnpatent	lnpatent	lnpatent	lnpatent	lnpatent	lnpatent
lninfo	0.094***	0.055*	0.263	1.684***	1.993***	1.829
	(2.621)	(1.728)	(1.200)	(35.903)	(17.868)	(0.755)
lninfo2	—	—	-0.014	—	—	0.010
			(-1.070)			(0.068)
控制变量	否	是	是	否	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是
K-P Wald F 值	—	—	—	882.218	164.037	11.875
Hansen J (*p* 值)	—	—	—	0.247	0.946	—
样本数	2 790	2 790	2 790	2 790	2 790	2 790
拟合优度	0.832	0.842	0.842	—	—	—

注：括号中为稳健 *t* 统计量/*z* 统计量；*** $p<0.01$，* $p<0.1$ 表示有统计学意义。

(二)稳健性检验

为保证研究结论的可靠性，本文将从替换变量、更改样本范围、考虑创新时滞与排除高铁开通影响四个方面进行稳健性检验。除特殊说明，后续检验均采用两阶段最小二乘法进行估计。

(1)替换变量的稳健性检验。基准分析中，本文仅考察了数字基础设施建设对专利申请规模的影响，为避免专利泡沫与统计口径的干扰，本文进一步将专利申请规模替换为发明专利与实用新型专利的授权量之和对数(ln*patent_au*)、单位 GDP 专利申请量对数(ln*patent_gdp*)，并分别进行检验，估计结果见表 3 前两列。估计结果中，ln*info* 前系数均显著为正，表明数字基础设施建设能显著提升绝对创新规模与相对创新规模，基准分析结果是可靠的。

(2)改变样本范围的稳健性检验。基准分析中包含了北京市、上海市、天津市和重庆市 4 个直辖市，但这 4 座城市在行政管理与经济体量上同普通地级市存在较大差异。类似地，省会城市在创新资源占有中也可能存在优势。将上述城市与一般地级市混同进行估计可能影响基准分析的可靠性。因此，本文分别剔除直辖市、剔除直辖市和省会城市，重新估计后的结果见表 3 第(3)和第(4)列。删除两类城市后，ln*info* 前系数较基准分析略小，但影响方向与显著性未发生明显变化，表明基准分析较为可靠。

(3)考虑创新时滞的稳健性检验。尽管专利申请是较为即时的创新产出反映，但是创新本身存在周期，导致创新产出可能存在时滞，基准分析中未对此加以考虑。本文进一步将核心解释变量与控制变量分别滞后一期和滞后两期并重新进行检验，估计结果见表 3 第(5)和第(6)列。考虑创新产出的时滞效应后，ln*info* 前的系数变小，但影响方向和显著性未发生变化，数字基础设施建设能促进城市创新发展这一结论仍然成立。

(4)排除高铁开通的影响。由于本文样本期与高铁普及周期存在重叠，且高铁本身是促进知识溢出的重要渠道，可能对估计结果产生干扰。有鉴于此，本文人工整理了城市高铁开通情况，控制该变量后的估计结果见表 3 第(7)列，估计结果未见明显差异。

表 3　稳健性检验估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	lnpatent_au	lnpatent_gdp	lnpatent	lnpatent	lnpatent	lnpatent	lnpatent
lninfo	1.790***	1.629***	1.987***	1.996***	—	—	1.909***
	(17.826)	(20.056)	(17.983)	(18.535)			(17.889)
L. lninfo	—	—	—	—	0.403***	—	—
					(6.118)		
L2. lninfo	—	—	—	—	—	0.335***	—
						(4.563)	
高铁开通	—	—	—	—	—	—	0.159***
							(3.252)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是	是
K-P Wald F 值	164.037	164.037	166.654	178.394	27.661	23.524	166.567
Hansen J(*p* 值)	0.808	0.951	0.809	0.726	0.306	0.213	0.517
样本数	2 790	2 790	2 750	2 500	2 511	2 232	2 790

注：括号中为稳健 *z* 统计量；*** $p<0.01$ 表示有统计学意义。

(三)机制分析

本文进一步对数字基础设施与城市创新间的影响机制进行实证检验。目前,机制检验主要存在两种方法:一是交互项形式,优点在于能清晰刻画出变量间交互作用的方向,适用于分析变量间存在互动关系的研究,但是难以准确辨别机制本身的影响;二是中介检验方法,其优点在于能较为明确的厘清变量间的作用方向与传导路径,但在解释变量间存在互动影响的研究中机制的分解不够明确,且难以反映变量间的因果关系。考虑到核心解释变量 ln*info* 与机制变量生成的交互项与机制变量自身高度相关(相关系数达 90% 以上),容易产生共线性问题,并且本文的机制变量与核心解释变量间不存在明显的交互作用,故本文在机制分析中未采用交互项形式。本文参考中介效应模型,利用工具变量方法,从技术分工视角分析数字基础设施建设对城市创新的间接传导机制。

本文将技术领域的分工区分为专业化分工与多样化分工两个维度。其中,以 Krugman 相对专业化指数方法测度技术的专业化分工程度,计算方法如下:

$$KDI_{it} = \sum_{k=1}^{n} \left| \frac{P_{ikt}}{P_{it}} - \frac{\sum_{j \neq i}^{m} P_{jkt}}{\sum_{k=1}^{n} \sum_{j \neq i}^{m} P_{jkt}} \right| \quad (2)$$

在式(2)中,i 和 j 表示城市 i 和城市 j;t 为年份;k 为技术领域(以专利的主 IPC 分类号前 4 位码确定);P 为 t 年申请的且最终获得授权的专利;m 和 n 分别为城市个数与技术领域个数。*KDI* 水平越高,表明技术专业化分工程度越高。多样化分工方面,参考 Hidalgo 等[41]在贸易中计算比较优势的思路,计算城市的显性技术比较优势(*RCA*)。计算方法如下:

$$RCA_{ikt} = \frac{P_{ikt} / \sum_{k=1}^{n} P_{ikt}}{\sum_{i=1}^{m} P_{ikt} / \sum_{k=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} P_{ikt}} \quad (3)$$

当 $RCA > 1$,表明 t 年城市 i 在技术 k 领域具有显性比较优势。进一步地,本文以城市具有比较优势的技术领域数量表征多样化分工水平,记为 *DIV*。*DIV* 值越大,表明技术多样化分工程度越高。

利用专业化分工和多样化分工进行机制检验的估计结果见表 4。在第(1)列至第(2)列估计结果中,数字基础设施建设对专业化分工的影响呈先升后降的倒 U 型变化趋势,而技术的专业化分工会对城市创新具有负向影响。数字基础设施的普及会降低知识获取成本,信息与知识的迅速扩散有助于本地广泛获取相关领域的专业知识和信息,强化已有的技术比较优势,并不断拓宽其外延,以期在多个领域形成新发展优势或进行创新风险分摊。但随着数字基础设施建设的进一步强化,信息与知识的深度扩散会使各个城市都有获取相关知识以优化本地技术比较优势的动机,进而造成本城市的显性比较优势为其他城市的努力所淡化,导致本地专业化分工水平的相对降低。专业化分工对城市创新的影响是负向的。其原因:一是由于地区创新发展具有路径依赖性,摆脱具有比较优势的技术领域进行创新需要花费更高的成本(如研发成本和创新网络重构导致的机会成本)。因此,城市更有意愿凭借数字技术吸收到的相关领域知识,巩固现有的技术分工,在现有分工基础上推进技术范式的更迭。随着对某一领域的探索逐渐逼近领域极限,创新研发周期延长,产出减少。二是中国当前的技术专业化分工尚存在不足之处,难以在多个领域内通过灵活地进行知识和技术重组实现再创新,因而未能对城市创新发展起到有力的支撑作用。

表 4 第(3)列至第(4)列汇报了多样化分工的机制检验结果。数字基础设施的建设对多样化分工具有倒 U 型的非线性作用,多样化分工与城市创新之间的关系亦表现出倒 U 型变化趋势。随着数字基础设施的建设,知识获取成本的降低为各个城市巩固现有技术优势,并在多个技术领域迅速发展提供助力,特别是对那些创新发展基础良好的城市而言。但随着信息化水平的进一步提升,数字基础设施建设的信息传递机制边际作用减弱,加之创新资源具有稀缺性,导致城市难以在过多领域内持续保持优势,进而致使多样化分工随着数字基础设施建设呈现先升后降的变化趋

势。类似地,多样化分工对城市创新的影响在多样化的初期也表现出明显的正向影响。多样化分工有助于分担研发风险,并且有利于通过领域间的知识重组与技术重构开拓新的创新方向,提升创新效率,促进创新产出的增加。但流入知识的大量增加提升了城市的信息整合成本与协调成本,分散了资源的投资方向,造成不经济,进而制约创新的进步。就本文的数据来看,大部分样本(69.78%)已经位于倒U型曲线的右侧,表明中国创新资源存在效率配置偏低问题,多数城市过度偏重于多样化的技术发展策略,但忽视了领域内的进一步深耕探索。

整体而言,中国城市间的技术分工存在明显的专业化分工不足与多样化分工过剩并存问题。不仅可能导致同一领域的重复创新投入,造成创新资源利用效率偏低,还可能加剧低端技术锁定风险,不利于长期的创新发展。城市依照各自的资源禀赋与发展水平差异,协调多样化分工与专业化分工的发展重心,将有助于城市创新能力的进一步提升。

表4　机制分析估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	KDI	ln*patent*	*DIV*	ln*patent*
ln*info*	1.938***	1.653***	46.986***	1.808***
	(3.607)	(15.706)	(4.217)	(16.746)
ln*info*2	-0.138***	—	-2.786***	—
	(-4.132)		(-3.996)	
KDI	—	-1.154***	—	—
		(-7.003)		
DIV	—	—	—	0.038
				(1.601)
*DIV*2	—	—	—	-0.002**
				(-2.037)
控制变量	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是
K-P Wald F 值	11.875	142.574	11.875	150.682
Hansen J (*p* 值)	—	0.237	—	0.847
utest(*p* 值)	0.000	—	0.000	0.060
样本数	2 790	2 790	2 790	2 790

注:括号中为稳健 *z* 统计量;*** $p<0.01$, ** $p<0.05$ 表示有统计学意义。

(四)异质性分析

本文进一步从创新发展阶段、城市特征和外部环境3个方面着手,探讨数字基础设施建设对城市创新在不同创新发展水平、不同地理区位、不同城市规模,以及不同外部环境下的异质性影响,以获得更丰富的研究结论和启示。

(1)创新阶段异质性。本文基于分位数方法考察不同创新水平下数字基础设施建设的创新效应差异。为综合分析全样本中的整体情况,本文分别选取10%、30%、50%、70%、90% 5个分位点分别进行分析,估计结果如表5所示。由估计结果可以看到,当创新水平相对较低时,数字基础设施建设对城市创新的推动作用更强,但随着创新水平的不断提升,这一作用不断减弱。其可能原因:一是创新产出处于较高水平的城市自身可能居于创新发展的领先地位,信息搜索等手段难以满足其研发需求;二是这些城市内部已经形成了较为完善的创新网络与相对稳定的技术分工格局,对于外部信息传递机制的依赖性降低,导致数字基础设施对创新的促进作用逐渐降低。

(2)区域异质性。中国区域创新发展存在较为明显的区域差异。将样本分为东部和中西部两个子样本,并分别进行分析的估计结果见表6第(1)列和第(2)列。东部子样本中,数字基础设施建设引致的城市创新增强效应强于中西部地区,可能是因为东部地区的创新人才、信息、资本等创新资源占有更为丰富,因而在数字基础设施建设中更易于发挥正外部性和规模效应,使得数字化发展的创新提升效应更强。在中西部地区,数字化建设亦能表现出显著的创新促进效应,表明数字基础设施建设有助于中西部创新水平的提升。综合两个子样本的结果来看,数字基础设施建设有可能会加剧区域间创新水平的进一步分化。

(3)城市规模异质性。人口是创新发展的基础要素,考察不同城市规模的作用效果差异有助于提供更具针对性的创新优化思路。本文以样本期内城市常住人口均值为分组依据,根据国务院发布的《关于调整城市规模划分标准的通知》,将省市分为特大城市(500万人及以上)、大城市(100万至500万人)、中小城市(100万人以下)3个子样本,分别进行估计,结果见表6第(3)列至第(5)列。在3类城市规模下,数字基础设施建设

均能显著提升城市创新水平。其中,大城市中这一效应最强,中小城市次之,特大城市相对较弱。其可能原因是:特大城市中数字基础设施已经较为完善,因此依托于数字化手段带来的创新促进效应较为微弱,但大城市和中小城市还具有较大的发展空间,仍可通过城市的数字化建设达到助力创新发展的目的。对于大城市和中小城市的估计结果差异,通过观察样本发现,在大城市子样本中 ln*info* 的均值为 8.050,而在中小城市中 ln*info* 的均值为 8.300,大城市的数字化转型具有更高的潜力,并且大城市中的创新要素积累更为丰富,创新吸收能力与转化能力也相对更强,因而数字基础设施建设的创新促进效应更明显。

(4)外部环境异质性。城市群建设是促进城市发展的重要举措,是发挥增长极作用、实现区域内分工的手段。由于城市群发展阶段存在差异,不同城市群内部数字基础设施建设对创新的促进作用可能存在异质性。本文选取京津冀城市群、长三角城市群、珠三角城市群、长江中游城市群、中原城市群、成渝城市群、关中平原城市群等 7 个城市群作为成熟城市群子样本,将其他城市归为发展城市群,两个子样本分别进行分析后的估计结果见表 6 后两列。城市群内部的信息与技术溢出、学习与匹配等正外部效应在数字基础设施建设下被进一步放大,拓宽了城市间的创新溢出范围,强化了城市间的技术分工机制,表现为成熟城市群子样本中 ln*info* 前系数明显高于发展城市群样本。这一结果也为城市群建设、促进城市创新发展提供了间接佐证。

表 5　基于创新阶段差异的异质性估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	10%	30%	50%	70%	90%
ln*info*	0.485***	0.458***	0.436***	0.416***	0.392***
	(3.755)	(5.554)	(8.007)	(8.241)	(4.952)
控制变量	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是
样本数	2 790	2 790	2 790	2 790	2 790

注:括号中为稳健 t 统计量;*** $p<0.01$ 表示有统计学意义。

表 6　基于城市特征与外部环境差异的异质性估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	东部	中西部	特大城市	大城市	中小城市	成熟城市群	发展城市群
ln*info*	2.039***	1.469***	0.895***	2.322***	1.633***	2.238***	1.605***
	(13.822)	(12.328)	(4.696)	(7.687)	(9.699)	(10.617)	(8.193)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是	是
K-P Wald F 值	100.501	57.010	13.045	20.984	38.348	31.224	30.577
Hansen J(p 值)	0.538	0.304	0.294	0.859	0.408	0.386	0.286
样本数	1 010	1 780	110	1 210	1 470	1 320	1 470

注:括号中为稳健 z 统计量;*** $p<0.01$ 表示有统计学意义。

(五)进一步分析

在基准分析中,本文着重考察了数字基础设施建设对创新产出规模的线性影响。本节将进一步从非线性影响、创新质量与创新差距等方面探索数字基础设施建设的创新效应,然后从数字中国建设与国家创新体系建设两个维度探究创新治理对策的优化路径。

(1)非线性效应。城市能否利用好互联网带来的创新提升作用还与其获取知识以及利用知识的能力相关,如果吸收能力较弱,则知识溢出效应会大大降低。换言之,利用知识的能力差异会造成城市间新的“数字鸿沟”[20]。因此,数字基础设施建设对城市创新的影响可能具有非线性特征。本文基于面板门槛模型,分别选取数字基础设施水平和技术分工作为门槛变量,利用 bootstrap 方法抽取 500 次,考察数字基础设施建设对创新的非线性作用,估计结果见表 7。由估计结果可以看到,以 ln*info* 和技术分工为门槛变量,均表现出双门槛效应,但结果存在明显差异:当以数字基础设施和多样化分工为门槛变量时,随着数字基础设施的普及与分工程度的深入,数字基础设施建设对城市创新的促进作用增强,呈现边际效应递增的趋势;当以专业化分工为门槛变量时,随着分工程度的升高,数字基础设施发挥出的创新促进作用减弱,与创新发展具有路径依赖、研发周期延长等现实相一致。

表7　基于数字基础设施建设水平差异的非线性效应估计结果

变量	(1)	(2)	(3)
	ln*info*	*KDI*	*DIV*
门槛值1	6.547	1.445	5.000
[置信区间]	[6.384,6.615]	[1.441,1.450]	[4.000,7.000]
门槛值2	7.541	1.770	7.000
[置信区间]	[7.477,7.552]	[1.765,1.773]	[6.000,8.000]
ln*info_cat*0	0.281***	0.388***	0.365***
	(3.055)	(5.171)	(4.269)
ln*info_cat*1	0.339***	0.350***	0.397***
	(3.958)	(4.620)	(4.737)
ln*info_cat*2	0.368***	0.295***	0.418***
	(4.477)	(3.807)	(5.019)
控制变量	是	是	是
年份固定	是	是	是
样本数	2 790	2 790	2 790
拟合优度	0.734	0.755	0.736

注：括号中为稳健 t 统计量；*** $p<0.01$ 表示有统计学意义。

(2)创新质量。考察数字基础设施建设对创新质量的影响具有重要意义。现有研究通常以专利引用数量衡量其质量，但这一指标具有局限性：一方面，被引用过的专利更容易产生“被认可”的标签，更易于为其他专利引用，造成“羊群效应”；另一方面，引用数量难以反映出创新的核心程度。通用性是一种具有高度创新互补性的复杂知识集成的技术特征，是创新核心程度的重要度量。因此，借鉴 Trajtenberg 等[42]的研究，本文以专利自申请之日起5年内的前向引用专利情况测度专利的通用水平，计算方法为：

$$gpt_{it} = 1 - \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{citing_{pk}}{citing_{p}}\right)^2 \qquad (4)$$

式(4)中，*citing* 为前项引用次数。在计算了城市每条专利的通用性水平后，以城市为单位，以其中位数作为城市创新质量的度量[43]。数字基础设施建设影响创新质量的效应估计结果见表8第(1)列。整体上，数字基础设施建设能显著提升创新质量。

进一步地，本文也讨论了技术分工机制在数字基础设施对城市创新质量中发挥的作用，估计结果见表8第(2)列至第(3)列。与数字基础设施建设影响创新数量的效应和机制存在显著不同：数字基础设施建设自身对创新质量具有负向影响，但效应较小；技术专业化分工对创新质量具有显著的正向影响，而多样化分工对创新质量具有显著的负向影响。产生这一结果的原因可能在于：中国大部分城市的创新发展基础相对薄弱，仍处于创新的初级阶段—模仿性创新，数字化浪潮的兴起为创新活动开展提供了新的途径，导致研发主体的创意被搭便车，抑制了创新主体的积极性，创新质量难以有效改进。技术专业化分工有助于城市将创新资源集中到优势领域中，通过不断深耕探索以提升其创新质量，但过度的多样化创新挖掘会分散资源，不利于创新质量的改进。

(3)区域创新差距。前已述及，数字基础设施建设在不同区域中的创新促进效果存在差异，可能对区域间创新格局具有重塑作用。本文就这一效应进行实证检验。以这座城市专利申请对数与当年城市专利申请对数最小值的比值作为城市间创新差距的度量，回归后的估计结果如表8第(4)列所示。数字基础设施对区域间创新差距的影响呈现先升后降的倒U型趋势，即在数字化转型的初期，数字基础设施建设会导致创新差距的增加，但随着数字化的进一步推进，区域间信息和知识共享使得创新差距逐渐缩小。这一结果表明，从长期来看，数字基础设施建设所产生的信息溢出与技术分工等机制有利于促进创新发展基础薄弱的城市补齐短板，增加创新产出，从而推动创新规模的全局收敛，有助于弥合因创新差距造成的区域发展不平衡问题[4]。

(4)“宽带中国”与“创新型城市”的政策协同效应。“宽带中国”政策和“创新型城市”政策试点是为促进数字中国建设和国家创新体系建设推进而作出的重要政策部署，本部分就这两个试点政策进行政策协同效果检验。“宽带中国”战略实施以来，工业和信息化部协同国家发展和改革委员会公布了3轮“宽带中国”示范城市(城市群)名单，考虑到2015年和2016年两轮政策实施时间较短，难以产生作用效果，故本文仅考虑2014年的第一轮试点，并删除2015年和2016年两轮试点的城市样本，估计结果见表8第(5)列。估计结果显示，“宽带中国”战略的实施与数据基础设施建设产生了政策协同效应(表现为“宽带中国_ln*info*”变量前系数显著为正)，会通过与数字基础设施形

成协同机制,强化对城市创新的促进作用。类似地,本文进一步考察了自2008 年起实施的5 轮“创新型城市”试点政策的作用效果,估计结果见表 8 第(6)列。由估计结果可以发现,“创新型城市”试点政策通过鼓励创新投入等渠道发挥效应,亦强化了数字基础设施建设对城市创新的促进作用。

表 8　进一步分析估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	创新质量	创新质量	创新质量	创新差距	ln*patent*	ln*patent*
ln*info*	0.064 ***	−0.033 *	−0.040 **	7.790 ***	1.571 ***	1.647 ***
	(2.848)	(−1.714)	(−2.441)	(4.170)	(15.704)	(18.678)
ln*info*2	—	—	—	−0.541 ***	—	—
				(−4.650)		
KDI	—	0.066 *	—	—	—	—
		(1.658)				
DIV	—	—	−0.005 ***	—	—	—
			(−3.122)			
宽带中国_ln*info*	—	—	—	—	0.199 ***	—
					(6.627)	
创新型城市_ln*info*	—	—	—	—	—	0.209 ***
						(6.866)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是
K−P Wald F 值	185.449	181.672	200.893	11.875	19.369	19.602
Hansen J(*p* 值)	0.134	0.250	0.988	—	—	—
utest(*p* 值)	—	—	—	0.000	—	—
样本数	2 790	2 790	2 790	2 790	2 100	2 790

注:括号中为稳健 *z* 统计量;*** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$ 表示有统计学意义。

五、研究结论与政策启示

(一)结论

第一,数字基础设施建设带来的城市数字化转型有助于提高城市创新水平,这一结论在进行了排除内生性问题干扰、替换变量、调整样本范围等一系列稳健性检验后仍然存在。数字化发展浪潮会为创新发展注入新的活力。

第二,数字基础设施会通过推动知识溢出与信息扩散等直接途径促进城市创新,还会通过作用于技术分工的间接途径进一步促进城市创新水平的提升。其中,数字基础设施建设对技术分工的影响呈现先增强后抑制的变化趋势,专业化分工会对创新规模具有负向影响,多样化分工会对创新规模具有倒 U 型作用且大部分样本已处于负向影响阶段。这一结果暗示了中国城市创新发展中可能存在专业化分工不足与多样化分工过剩并存问题。

第三,数字基础设施建设对创新的影响在不同创新发展阶段、不同区域、不同规模和不同外部环境城市中存在作用效果差异,在创新水平较低、东部城市、大城市和成熟城市群中作用效果更强。

第四,数字基础设施对创新发展的作用随着数字基础设施普及程度和多样化分工水平的提升呈现出边际回报递增特征,但专业化分工与之相反,数字基础设施建设的创新作用随专业化分工的深入呈现边际递减趋势。

第五,城市的数字化建设还会带来创新质量的同步优化,主要通过技术专业化分工的间接路径实现,数字基础设施建设自身和技术多样化分工不利于创新质量的改进。

第六,数字基础设施建设会对区域创新格局产生重塑作用,使区域间创新差距呈现先扩大后缩小的演变趋势。这一长期收敛效应为促进区域协调发展提供了新的思路。另外,以“宽带中国”试点为代表的数字中国建设策略和以“创新型城市”试点为代表的国家创新体系建设策略均能与数字基础设施建设产生政策协同,强化后者对创新的促进作用,为未来城市创新发展优化指明了方向。

(二)启示

第一,数字基础设施建设是提升城市创新产

出的重要手段,并且从长期来看,这还有助于弥合区域间的创新发展差距,达到促进区域协调发展的目的。因此,对于正处于发展期的城市或是以模仿性创新为主的城市而言,如发展城市群和中小城市,数字基础设施的普及有助于帮助此类城市拓宽知识来源范围,增强城市间学习效应的发挥,应着力完善城市数字基础设施建设,强化城市的创新学习。但是也应当注意到,数字基础设施建设带来的学习效应只是提供了一种创新优化的学习途径,创新是块硬骨头,发展不能一味地依靠"拿来主义",铸就坚实的硬本领才是根本。城市自身需要持续加强创新投入,通过营造良好的创新氛围、构建创新环境等手段鼓励高校、科研机构、企业深入参与到创新环节中,不断提升创新能力,以自身能力提升强化对外部知识的吸收能力。

第二,尽管数字基础设施建设整体上会对创新质量具有正向影响,但对这一影响的机制分析也表明数字化发展自身会对创新质量改进产生直接的负向作用,因此要谨慎对待创新溢出中的搭便车行为,以防过度攫取收益给创新主体带来的负向创新激励,进而抑制未来创新发展。创新溢出是促进社会福利改进的重要方式,直接或间接的创新溢出约占 GDP 增长的一半以上[32],因此应强化和完善知识产权保护、专利制度等创新保护制度,构建起完善的创意交易机制和监管机制,保障创新主体的合理化收益,保持创新主体的创新积极性。

第三,技术分工是数字基础设施建设发挥创新促进作用的渠道,但当前我国城市的技术分工过度注重多样化分工,忽视了专业化分工,导致难以发挥出城市的比较优势,降低了全局的资源配置效率,领域内前沿技术的探索也相对不足。在未来的城市创新发展中,应从全局层面布局,充分发挥各个城市的技术比较优势,促进技术多样化分工与专业化分工的均衡协调发展。同时,要鼓励城市内和跨区域的产学研合作与产业协作,提升关键核心技术的研发和产出转化效率。

第四,从城市层面着手的数字中国建设策略和国家创新体系建设策略、城市群建设布局均能产生良好的创新提升效果,表明创新建设应当始终以城市为着力点,进一步完善城市内与城市间的知识溢出与信息传递机制,提升知识交流的有效性,协同推动创新发展。这也从一个侧面体现了从城市层面着手研究创新发展的现实意义。

参考文献:

[1]BENHABIB J, PERLA J, TONETTI C. Catch-up and fall-back through innovation and imitation[J]. Journal of economic growth, 2014, 19(1): 1-35.

[2]安同良,魏婕,舒欣. 中国制造业企业创新测度:基于微观创新调查的跨期比较[J]. 中国社会科学,2020(3):99-122.

[3]俞立平,张宏如. 区域创新升级:如何从创新数量走向创新质量:基于统计学视角的模式识别及跃迁机制研究[J]. 中国软科学,2023(2):35-45.

[4] HUGGINS R, THOMPSON P. Entrepreneurship, innovation and regional growth: a network theory[J]. Small business economics, 2015, 45(1): 103-128.

[5] BRUSONI S, PRENCIPE A, PAVITT K. Knowledge specialization, organizational coupling, and the boundaries of the firm: why do firms know more than they make? [J]. Administrative science quarterly, 2001, 46(4): 597-621.

[6] ROPER S, HEWITT-DUNDAS N. Knowledge stocks, knowledge flows and innovation: evidence from matched patents and innovation panel data[J]. Research policy, 2015, 44(7): 1327-1340.

[7] XIAO T, MAKHIJA M, KARIM S. A knowledge recombination perspective of innovation: review and new research directions[J]. Journal of management, 2022, 48(6): 1724-1777.

[8]OECD. Measuring the digital economy: a new perspective[M]. OECD, 2014.

[9]安同良,杨晨. 互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应[J]. 经济研究,2020,55(2):4-19.

[10]许梦博,潘远超. 互联网发展是否提升了中国地区生产率?:基于动态空间面板模型的计量分析[J]. 科学决策,2022(1):21-31.

[11]KAPLINSKY R, KRAEMER-MBULA E. Innovation and uneven development: the challenge for low-and middle-income economies[J]. Research policy, 2022, 51(2): 104394.

[12]ARTHUR W B. The structure of invention[J]. Research policy, 2007, 36(2): 274-287.

[13]FORMAN C, VAN ZEEBROECK N. Digital technology adoption and knowledge flows within firms: can the Internet overcome geographic and technological distance? [J].

Research policy, 2019, 48(8): 103697.
[14] UZZI B, MUKHERJEE S, STRINGER M, et al. Atypical combinations and scientific impact[J]. Science, 2013, 342(6157): 468-472.
[15]AGRAWAL A, GOLDFARB A. Restructuring research: communication costs and the democratization of university innovation[J]. American economic review, 2008, 98(4): 1578-90.
[16] CUI T, WU Y, TONG Y. Exploring ideation and implementation openness in open innovation projects: IT-enabled absorptive capacity perspective[J]. Information & management, 2018, 55(5): 576-587.
[17]孙倩倩,周建军. 信息化对制造业升级的影响:基于技术创新视角的分析[J]. 科学决策,2021(5):44-64.
[18]XU X, WATTS A, REED M. Does access to internet promote innovation? a look at the US broadband industry[J]. Growth and change, 2019, 50(4): 1423-1440.
[19]KAFOUROS M I. The impact of the Internet on R&D efficiency: theory and evidence[J]. Technovation, 2006, 26(7): 827-835.
[20]BATTISTI G, CANEPA A, STONERMAN P. E-Business usage across and within firms in the UK: profitability, externalities and policy[J]. Research policy, 2009, 38(1): 133-143.
[21] CAMAGNI R, CAPELLO R. ICTs and territorial competitiveness in the era of internet[J]. The annals of regional science, 2005(39): 421-438.
[22]CASTELLACCI F, CONSOLI D, SANTOALHA A. The role of e-skills in technological diversification in European regions[J]. Regional studies, 2020, 54(8): 1123-1135.
[23]CICERONE G, FAGGIAN A, MONTRESOR S, et al. Regional artificial intelligence and the geography of environmental technologies: does local AI knowledge help regional green-tech specialization? [J]. Regional studies, 2022: 1-14.
[24]吴福象,赵明明,徐霞. 数字技术深化与地区经济效率:基于技术质量和技术难度的双重视角[J]. 上海经济研究,2022(11):58-73.
[25]冉征,郑江淮. 创新能力与地区经济高质量发展:基于技术差异视角的分析[J]. 上海经济研究,2021(4): 84-99.
[26]ACEMOGLU D, AKCIGIT U, KERR W R. Innovation network[J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2016, 113(41): 11483-11488.
[27]李长英,赵忠涛. 技术多样化对企业创新数量和创新质量的影响研究[J]. 经济学动态,2020(6):15-29.
[28]HUANG Y F, CHEN C J. The impact of technological diversity and organizational slack on innovation[J]. Technovation, 2010, 30(7/8): 420-428.
[29]蒋欣娟,孙倩倩,吴福象. 技术专业化分工、地区创新能力演化与区域协调发展[J]. 城市问题,2022(1):23-33.
[30] CONLEY T G, UDRY C R. Learning about a new technology: Pineapple in Ghana[J]. American economic review, 2010, 100(1): 35-69.
[31] PAUNOV C, ROLLO V. Has the internet fostered inclusive innovation in the developing world? [J]. World development, 2016(78): 587-609.
[32] BAUMOL W J. The microtheory of innovative entrepreneurship[M]. Princeton university press, 2010.
[33]JONES B F. The burden of knowledge and the "death of the renaissance man": Is innovation getting harder? [J]. The review of economic studies, 2009, 76(1): 283-317.
[34] ST. JOHN C H, POUDER R W. Technology clusters versus industry clusters: resources, networks, and regional advantages[J]. Growth and change, 2006, 37(2): 141-171.
[35]孙瑜康,李国平,席强敏. 知识结构、城市异质性与创新水平提升[J]. 经济管理,2021,43(5):60-74.
[36]张超,陈思,兰宗敏. 地方品质与区域创新:直接影响、溢出效应与空间差异[J]. 中国软科学,2022(7): 82-93.
[37]MIN S, KIM J, SAWNG Y W. The effect of innovation network size and public R&D investment on regional innovation efficiency[J]. Technological forecasting and social change, 2020(155): 119998.
[38]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[J]. 财贸经济,2020,41(2):146-161.
[39]郑世林,周黎安,何维达. 电信基础设施与中国经济增长[J]. 经济研究,2014,49(5):77-90.
[40]NUNN N, QIAN N. US food aid and civil conflict[J]. American economic review, 2014, 104(6): 1630-66.
[41]HIDALGO C A, HAUSMANN R. The building blocks of economic complexity[J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2009, 106(26): 10570-10575.
[42]TRAJTENBERG M. Ivory tower versus corporate lab: An empirical study of basic research and appropriability[J]. NBER working paper, 1992, 4146.
[43]张杰,郑文平. 创新追赶战略抑制了中国专利质量么? [J]. 经济研究,2018,53(5):28-41.

(本文责编:海　洋)