

信息基础设施建设、人力资本密度与创新

纪雯雯

内容提要:本文基于知识生产函数,利用“宽带中国”政策实施构建准自然实验,采用双重差分法分析信息基础设施建设、人力资本密度对创新的影响。研究结果表明:(1)信息基础设施作为一种新技术对创新具有外生性促进作用,并且在高收入城市、非资源型城市和东部城市正外部性相对更大;(2)人力资本密度对创新具有显著的促进作用,从而验证了集聚理论;(3)信息基础设施进一步为人才提供一种更低成本的交流新方式,人力资本通过网络交流和移动电话交流对创新的溢出效应大于面对面交流对创新的溢出效应,并且在高收入城市、非资源型城市和西部城市的创新溢出效应相对更大。在当前中国数字经济迈向全面扩展期的背景下,完善国家创新体系既要有序稳妥推进新型基础设施建设升级,也要注重网络信息平台建设和人力资本开源共享。

关键词:信息基础设施建设 人力资本密度 创新 政策效应 溢出效应

中图分类号:F124;F241;F492

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2023)03-0109-22

一、问题提出

中国历来重视创新对发展的引领作用。党的十九届五中全会着重指出,“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”“深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略”。党的二十大报告进一步强调,“必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力”“加快实施创新驱动发展战略”。新型基础设施建设是国家实施创新驱动发展战略的重要支撑之一,信息基础设施作为其中的重要内容,是支撑科学研究、技术开发、产品研制的具有公益属性的基础设施,是推动创新驱动发展战略落地的重要基石,为支撑创新的各种生产要素提供连接基础。中国信息基础设施建设具有起步晚、发展快的特点,随着2013年国务院印发《“宽带中国”战略及实施方案》,信息化网络覆盖范围迅速扩大^①。中国信息基础设施建设采用试点方式实施,因此通过对比“宽带中国”政策实施前后入选

收稿日期:2022-09-07;修回日期:2023-01-16

基金项目:国家社会科学基金一般项目“数字经济发展对就业技能结构的影响研究”(22BJY049);北京市社会科学基金一般项目“数字经济发展中就业结构变化与职工培训”(20JJB008);中国劳动关系学院教师科研项目一般项目“‘宽带中国’政策与职工技能结构变化:基于DID模型研究”(21XYJS003)

作者简介:纪雯雯 中国劳动关系学院劳动教育学院副教授,北京,100048。

^① 数字中国作为新时代国家信息化发展的新战略,包括“宽带中国”、大数据、人工智能等内容,建设的方向包括统筹实施网络强国战略等。2013年《“宽带中国”战略及实施方案》明确指出,“将宽带网络作为国家战略性公共基础设施”,该方案的发展目标是“宽带应用深度融入生产生活,移动互联网全面普及”。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

城市与非入选城市之间的人力资本(以万人专利拥有量表征)的变化趋势,可以初步观测信息基础设施建设对创新的影响。经测算,政策实施前2013年两组城市万人专利拥有量平均差距为12.17件,政策实施后2017年差距扩大为22.03件^①。这反映出第一个事实,即信息基础设施建设有利于提升创新水平。

信息基础设施建设增加了人与人的交流联系,这有助于提升溢出效应,促进创新水平提高。借鉴埃布尔等(Abel et al.,2012)^[1]对人力资本密度的界定,本文采用人口密度与人力资本存量的交互项表示人力资本密度的变化,采用网络普及与人力资本存量的交互项表示人力资本网络密度的变化。由表1可知,在人口密度低的城市,人力资本存量的增加会使万人专利拥有量提高3.038件;在人口密度高的城市,人力资本存量的增加会使万人专利拥有量提高28.428件。这反映出第二个事实,即随着人力资本的增加,人口密度对创新的促进作用逐渐提高。同时,在网络普及率低的城市,人力资本由低到高变化与万人专利拥有量增加3.122件存在相关性;在网络普及率高的城市,人力资本由低到高变化与万人专利拥有量增加26.544件存在相关性。这反映出第三个事实,即随着人力资本存量的增加,信息基础设施普及率对创新的促进作用逐渐提高。

表1 人力资本变化与专利拥有量变化的相关性

类别	人口密度		网络普及	
	低	高	低	高
低人力资本	3.473	8.353	2.557	14.186
高人力资本	6.511	36.781	5.679	40.730
差分	3.038	28.428	3.122	26.544

注:以均值作为临界值分组,其中人口密度均值为433.801,人力资本均值为1.824,网络普及的均值为17.323。

2022年,《国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知》再次明确“优化升级数字基础设施”“加快建设信息网络基础设施”的数字经济发展任务。那么,信息基础设施建设对知识生产的影响是什么?面对面交流是否有利于人力资本密度创新?作为一种交流新方式,信息基础设施对人力资本密度创新的作用是什么?下一步能否利用数字经济发展和新型基础设施建设的契机进一步提升创新,成为关系到中国式现代化建设全局的重大问题。

二、文献综述

关于信息基础设施建设与创新的相关研究主要来自以下三个方面。

第一,关注信息基础设施建设能否有效促进创新。信息基础设施具有通用目的技术(general purpose technology)的特征,可以促进资源配置效率的提升和全要素生产率的提高^[2]。现有的研究方法主要有两种。一种是采用投入产出核算的方法测算信息基础设施对经济增长率和全要素生产率的贡献率,以此判断信息基础设施对创新的影响。这方面研究曾经一度陷入“生产率悖论”的困境,经过测度指标、统计口径、核算方法等方面的改进之后,布鲁姆等(Bloom et al.,2007)对此进行了总结,并认为1995年后的生产率大幅上升主要是由信息基础设施的投资和使用驱动的^[3]。相关研究也经历了从信息经济、互联网经济到数字经济的探索过程^[4]。随着网络基础设施的形式不断升级迭代,数字技术、人工智能与传统产业发展的融合程度日益

① 根据 Incopat 全球专利数据库 2008—2018 年城市专利授权数据测算。限于篇幅,省略相关检验过程和结果,备案。

深化,互联网普及、人工智能应用对经济增长率和全要素生产率的提升作用开始得到越来越多实证研究的证实^[5-12]。随着中国信息基础设施建设的高速发展以及相关数据的不断完善,众多学者构建综合指标体系验证信息基础设施对全要素生产率的影响,研究结果均呈现较为一致的积极作用^[13-18],再次证明信息基础设施建设对创新的积极作用。另一种方法是通过计量回归估计网络普及率的影响弹性,但研究结论并不一致。一些研究认为只有发达国家的信息基础设施建设对经济增长具有显著的正向作用^[19-22]。一些研究则发现在发展中国家和低收入国家,信息基础设施对经济增长也存在正向作用^[23-25]。还有研究发现大多数国家的信息基础设施建设虽然有利于经济增长,但由于收益的回报率问题,只能由公共部门补贴或投资^[26]。

第二,聚焦信息基础设施如何影响创新。相关研究基于理论模型,验证了信息基础设施普及可以加速技术进步速度、共享知识信息、降低交易成本等,进而有利于创新成果的增长。董祺(2013)利用2005—2007年电子信息百强企业的面板数据,发现中国企业信息化投入对创新成果增长存在显著的正向影响^[27]。崔等人(Cui et al.,2015)采用2013年中国技术密集型行业225家企业调查数据,证实了互联网技术对创新量的提升作用^[28]。保诺夫和罗洛(Paunov & Rollo,2016)利用2006—2011年117个发展中国家和新兴经济体15个行业的观察结果,发现行业层面数字信息化可以在知识溢出效应下促进行业内企业生产力和创新绩效的提高^[29]。王莉娜和张国平(2018)利用世界银行在2012年中国企业问卷调查数据,发现信息技术不仅可以促进创新,还可以显著促进创业企业的研发投入,并且创业者的人力资本和企业员工的受教育程度均提高了信息技术的作用^[30]。王可和李连燕(2018)利用同样数据,发现网络普及应用提升了制造业绩效,推动制造业的创新活动,并提高了供应链上下游企业之间的信息分享意愿^[31]。黄群慧等(2019)证明了互联网技术发展通过降低交易成本、减少资源错配以及促进创新提升了制造业生产率,并从城市、行业和企业三个维度检验了互联网发展对中国制造业效率的影响强度^[32]。薛成等(2020)利用“宽带中国”战略进行准自然实验,发现良好的网络基础设施不仅可以促进公司内部技术知识扩散,还可以促进外部开放合作创新^[33]。

第三,研究交流距离对人力资本创新的作用。根据集聚理论,人与人交流密度的提升可以增强知识溢出效应,进而有利于城市创新^[34-37]。如果突破同质性劳动力投入假定,那么人力资本之间的交流产生的知识溢出效应更大,即人力资本密度对创新的促进作用显著高于人口密度对创新的作用^[1,38]。还有研究从交流半径入手,发现地理位置邻近有助于增加面对面的接触与互动,降低知识信息尤其是缄默性知识的交流成本^[39-40]。然而,基础设施建设可以突破空间限制,构成新的连接平台和集聚空间,克服距离带来的交流障碍^[41-43],尤其是电信类基础设施有效提高了居民间交流频率和劳动力流动概率^[44]。帕卡伦和巴塔查里亚(Packalen & Bhattacharya,2015)提出隐性知识(tacit knowledge)的另一种获取方式是网络交流,并将其与面对面交流进行对比,发现随着互联网及其他通信技术普及降低新创意的传播成本,城市规模的优势在20世纪80年代以后逐渐减小,说明信息基础设施建设削弱甚至消减创意人群的地理邻近形成的优势^[45]。杨震宁等(2021)通过对开放式创新网络的研究,认为在数字赋能下,网络平台打开知识和时空边界、拓展知识交流半径,人力资本展现出聚变式创新效应^[46]。费尔南多(Fernando,2021)认为,虽然移动电话的农业推广服务大大降低了同伴作为信息来源的重要性,但并未排挤同伴效应,而是改变了同伴群体构成,反而提升了同伴交流频率^[47]。

上述文献为相关分析奠定了丰富的研究基础,也留下一些研究空白:一是缺乏有效的外生变量识别基础设施的创新效应,导致内生性问题,即究竟是创新驱动型地区有能力进行信息基础设施建设,还是好的信息基础设施促进了当地的创新^[48];二是没有考虑信息基础设施和人力资本是创新生产的重要资源,鲜有研究考察二者对创新的影响。正如杰文斯悖论(Jevons paradox)所描述的情况,技术进步提高了资源

使用效率,资源消耗不减反增,即新的经济模式会导致新消费^[49]。为此,本文尝试通过技术进步变化函数将信息基础设施和人力资本密度变化纳入知识生产函数,利用2013年“宽带中国”政策实施构建准自然实验,采用双重差分(DID)法分析信息基础设施建设对创新的影响,从而克服信息基础设施建设和地区创新水平之间由于因果倒置带来的内生性问题,有效解释信息基础设施建设为何会成为创新生产的关键变量,并有助于理解其如何成为创新驱动的重要支撑。本文可能的边际贡献体现在以下三个方面:一是基于经典的创新生产函数,探讨信息化基础设施建设对创新的作用,并全面评估信息化基础设施建设在促进创新中的作用,以及通过提高人力资本溢出效应进而提升创新的作用;二是借助“宽带中国”政策实施构建准自然实验,采用DID法识别信息基础设施建设对创新的直接影响,克服信息基础设施建设和地区创新水平之间可能产生的内生性问题;三是借助交互项考察人力资本随着人口集聚和信息基础设施建设而增强对创新产出的影响,分析人力资本采用面对面交流和网络交流对创新的溢出效应,并利用人口普查微观数据进行稳健性检验。

三、理论模型与识别策略

(一) 理论模型

沿袭知识生产函数(KPF)的一般形式,本文参考贾菲(Jaffe, 1989)^[50]、格里利谢斯(Griliches, 1990)^[51]的研究,即创新是技术、物质资本、人力资本以及劳动力的函数,构建如下模型:

$$inv_{it} = A_{it} K_{it}^{\alpha} H_{it}^{\beta} L_{it}^{1-\alpha-\beta} \quad (1)$$

其中, inv 表示创新, A 表示通用技术, K 表示物质资本投入, H 表示人力资本投入, L 表示普通劳动力投入, α 、 β 、 $1-\alpha-\beta$ 分别为物质资本、人力资本和劳动力的弹性系数, i 表示城市, t 表示时间。

1. 人力资本密度与创新

按照集聚经济学观点,知识资本取决于人与人信息交流互动频率。因此,假设技术进步(A)是人口密度(D)的函数:

$$A_{it} = \delta_0 D_{it}^{\delta_1} (\delta_1 > 0) \quad (2)$$

其中, δ_1 表示产出相对于密度的弹性,用来衡量密度的净集聚效应,其中包括由人口密度带来的积极的溢出效应(spillover effect)和消极的拥挤效应(crowding effect)。 δ_0 表示独立于密度的其他技术参数,同时取决于两种效应的相对强度。

由于物质资本的流动性,在特定的地理范围上无法获得测量区域内用于创新的物质资本存量的数据,本文采用城市科研支出占一般公共财政支出比重表示城市创新资本投入。用式(2)代替式(1)中的技术,设定创新是技术和人力资本密度的函数,即人口密度高的地区更可能具有先进技术进而成为开展创新活动的最佳地点^[52],构建如下模型:

$$inv_{it} = k_i D_{it}^{\delta_1} \left(\frac{H_{it}}{L_{it}} \right)^{\frac{\beta}{1-\alpha}} \quad (3)$$

其中, k_i 为城市 i 的科研支出占一般公共财政支出比重。对式(3)进行对数变换,得到式(4):

$$\ln inv_{it} = \ln k_i + \frac{\delta_1}{1-\alpha} \ln D_{it} + \frac{\beta}{1-\alpha} \ln \frac{H_{it}}{L_{it}} \quad (4)$$

与大量关于集聚密度与城市创新表现的文献中所估计的回归方程式一致^[34-35,53],式(4)将城市创新产

出与资本投入、人口密度和人力资本存量相关联,但并未考虑人口密度与人力资本存量之间的相互作用,即人口密度提升的过程中存在技能向上替代的情况。在参与思想交流和碰撞的人群中,人力资本越多,知识溢出越多^[54]。鉴于此,本文进一步改进现有模型:

$$\delta_{iu} = \gamma_0 + \gamma_1 \frac{H_{iu}}{L_{iu}} (\gamma_1 > 0) \quad (5)$$

其中, γ_0 代表该参数的其他与人力资本无关的因素; γ_1 代表人力资本密度的溢出效应, $\gamma_1 > 0$ 意味着在产生创新的过程中,人口密度和人力资本存量具有互补关系。当一个地区人力资本存量较高时,人与人交流过程中的知识溢出效应更大,埃布尔等(2012)将这种基于技能的交流密度称为人力资本交流密度^[1]。将式(5)代入式(4)中得到式(6),即区域创新产出是人口密度、人力资本存量以及两者交互项的函数,而交互项可以更好地考察人力资本密度的边际效应。

$$\ln inv_{iu} = \ln k_{iu} + \frac{\gamma_0}{1-\alpha} \ln D_{iu} + \frac{\gamma_1}{1-\alpha} \ln D_{iu} \times \ln \frac{H_{iu}}{L_{iu}} + \frac{\beta}{1-\alpha} \ln \frac{H_{iu}}{L_{iu}} \quad (6)$$

2. 信息基础设施、人力资本密度与创新

网络技术发展会带来显著的外部效应^[55],即随着使用者规模扩大,边际成本下降。信息基础设施为人力资本交流建立了新的联系方式,且使用网络交流的人力资本越多,信息交流的成本越低。随着信息基础设施的建设,网络覆盖率不断提高、信息传输速度持续提升,高覆盖率和快传输速度保证了人力资本的大规模参与和低成本交流。为此,本文进一步假设在数字经济发展中,技术进步(A)是信息基础设施普及(Dig)的函数:

$$A_{iu} = \beta_0 Dig_{iu}^{\delta_2} (\delta_2 > 0) \quad (7)$$

其中, β_0 表示独立于信息基础设施普及的其他技术参数; δ_2 表示创新产出相对于网络普及的弹性,用来衡量信息基础设施普及的净溢出效应。根据信息设备使用的技能偏向性,使用者的人力资本水平越高,溢出效应越大^[56-58]。为此,信息基础设施普及对创新的弹性受到网络交流的人力资本规模的影响,可得:

$$\beta_{iu} = \gamma_0 + \gamma_2 \frac{H_{iu}}{L_{iu}} (\gamma_2 > 0) \quad (8)$$

其中, γ_2 代表人力资本使用信息设备产生的溢出效应,即人力资本网络密度的溢出效应, $\gamma_2 > 0$ 意味着在创新生产过程中,信息基础设施普及和人力资本存量具有互补关系。将式(8)代入式(4)得到式(9),即城市创新生产是人口密度、人力资本存量以及人力资本网络密度的函数,而人力资本网络密度借助人力资本存量与信息基础设施普及的交互项表示。

$$\ln inv_{iu} = \ln k_{iu} + \frac{\gamma_0}{1-\alpha} \ln D_{iu} + \frac{\gamma_1}{1-\alpha} \ln Dig_{iu} \times \ln \frac{H_{iu}}{L_{iu}} + \frac{\beta}{1-\alpha} \ln \frac{H_{iu}}{L_{iu}} \quad (9)$$

(二) 识别策略

根据《2006—2020年国家信息化发展战略》和《国务院关于印发“宽带中国”战略及实施方案的通知》,中国信息基础设施建设采用分批逐步推进网络基础设施的方式进行。工业和信息化部、国家发展和改革委员会于2014年、2015年和2016年分三批共遴选出120个城市(群)作为示范点。入选城市将大力推进宽带网络提速、增加网络覆盖范围,可预期的是其信息基础设施发展水平会有显著提高,这对当地的知识扩散、人才信息交流产生积极的影响,进而影响创新。鉴于此,本文将“宽带中国”政策实施视为信息基础设施

建设的一次准自然实验,采用 DID 方法进行因果识别。本文分别在式(6)和式(9)的基础上引入“宽带中国”政策实施变量,得到 DID 模型的一般表达式:

$$\ln inv_{it} = \theta_0 + \theta_1 TreatPost_{it} + \theta_2 Treat_i + \theta_3 Post_t + \theta_4 \ln D_{it} + \theta_5 \ln D_{it} \ln \frac{H_{it}}{L_{it}} + \theta_6 \ln \frac{H_{it}}{L_{it}} + \theta_n \sum C_{it} + u_{it} \quad (10)$$

$$\ln inv_{it} = \theta_0 + \theta_1 TreatPost_{it} + \theta_2 Treat_i + \theta_3 Post_t + \theta_4 \ln D_{it} + \theta_5 \ln Dig_{it} \ln \frac{H_{it}}{L_{it}} + \theta_6 \ln \frac{H_{it}}{L_{it}} + \theta_n \sum C_{it} + u_{it} \quad (11)$$

其中,式(10)代表创新受到信息基础设施建设和人力资本面对面交流密度的影响,式(11)代表创新受到信息基础设施建设和人力资本网络交流密度的影响。 $Treat_i$ 表示城市*i*是否受“宽带中国”政策影响的实验组, $Post_t$ 表示政策实施年份。 $TreatPost_{it}$ 表示城市*i*是否受政策实施影响的虚拟项,若城市*i*在政策期入选“宽带中国”示范城市(即实验组),且观测时间在政策实施年份之后,则取值为1,否则为0。 θ_1 表示“宽带中国”政策实施对城市创新的净效应,若 θ_1 显著大于0,则表示“宽带中国”政策实施确实促进城市的创新产出水平。 Dig_{it} 表示*i*城市在*t*时期的信息基础设施普及程度,具体从互联网普及率和移动电话普及率两方面考察。 C_{it} 表示一系列控制变量。 θ_0 为常数项, $\theta_4 = \frac{\delta_0}{1-\alpha}$, $\theta_5 = \frac{\delta_1}{1-\alpha}$, $\theta_6 = \frac{\beta}{1-\alpha}$, θ_n 表示一系列控制变量的弹性系数; u_{it} 表示随机误差项。人力资本密度对创新的边际影响为: $\frac{\partial inv}{\partial H} = \theta_4 + \theta_5 \frac{\overline{H_{it}}}{L_{it}}$,人力资本网络密度对创新的影

响为: $\frac{\partial inv}{\partial H} = \theta_6 + \theta_5 \frac{\overline{H_{it}}}{L_{it}}$ 。

四、经验分析

(一) 指标选取与实验前测

1. 指标选取

根据研究主题,知识生产函数产出部分主要是指创新数量,本文采用万人专利拥有量衡量被解释变量创新(*inv*)。主要考虑如下:一是数据的准确性。万人专利拥有量是指每万人口拥有经国内外知识产权部门授权且在有效期内的专利件数,是衡量一个国家或地区科研产出质量和市场应用水平的综合指标,已成为中国实施创新驱动发展战略和国家知识产权战略中体现创新能力的重要指标。二是专利数据更为可靠和及时,与本文研究的问题更为契合。知识产出作为创新和研发活动的产出不易被直接观测到,而代表创新产出的专利数量能更好地体现创新过程中的资源投入和使用效率^[59]。三是目前国内外文献中通常将专利数量作为衡量国际、地区或企业创新程度的重要指标^[51,60-64]。本文的城市专利数据来源于 Incopat 全球专利数据库。该数据库收录了全球 120 个国家超过 13 亿件专利数据,弥补了《中国城市统计年鉴》中部分年份的数据缺失。解释变量和其他控制变量主要来源于 2008—2018 年的《中国城市统计年鉴》。

本文设定解释变量为“宽带中国”政策(*Treat*)和政策实施时间(*Post*),均为 0-1 变量。其中, $Treat = 1$ 为 36%, $Post = 1$ 为 45%。同时,设定人力资本相关变量,分别以人口密度(*D*)、人力资本存量(*h*)和人力资本密度(*Dh*)表示。人口密度采用人口规模与区域面积之比表示一个国家或地区人口分布状况^[65],即 $D_i = \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{G_i}$,其中 *G* 表示城市*i*的地理面积,*N*表示城市*i*的人口数;人力资本存量采用普通高等学校在校生数占市辖区总人口的比例表示;人力资本密度采用人口密度和人力资本存量的交互项表示^[1]。

控制变量包括:(1)信息化基础设施水平,主要以互联网使用普及率(itp)、移动电话使用普及率(mtp)表示,指标选取依据来自政策背景、统计标准以及相关文献。政策方面,工业和信息化部等多个部门联合发布的《关于实施宽带中国 2013 年专项行动意见》中,提出了“加强网络建设与提升网络应用并重”的基本原则和“实现较高的信息基础设施和宽带应用水平”的主要目标。统计方面,《中国经济普查年鉴》中将网络、电脑和电话的使用情况视为信息基础设施发展情况的代表指标。文献方面,大量文献一致将移动电话普及率、互联网普及率作为衡量信息基础设施的重要指标。(2)物质资本投入(K)参考全球创新指数(GII)相关指标选取,以当地科研支出占一般公共财政支出的比例表示。(3)影响创新水平的其他控制变量主要包括经济发展水平(E)和生态环境(Eco),其中经济发展水平用城市生产总值增长率表示,生态环境用每万元二氧化硫排放量表示。

考虑到中国发展过程中地级市的新增和撤销的变化,为了保证面板数据的平衡性,本文剔除新增和撤销的城市样本。另外,考虑到北京、上海等 4 个直辖市的经济超大规模,为了保证样本规模基本一致,本文剔除了 4 个直辖市样本,最终形成 281 个城市 2008—2018 年的城市面板数据。主要变量的描述性统计如表 2 所示。其中,“宽带中国”政策覆盖全国 36%的城市,研究样本跨期政策实施前 6 年至实施后 4 年。统计意义上反映出创新和人力资本存量标准差较大,时间上反映出中国创新水平发展较快和人力资本迅速积累,空间分布上反映出中国城市间发展非均衡的特点。

表 2 主要变量及描述性统计

变量类型	变量名称	变量符号	定义	观测值	均值	标准差
被解释变量	创新	inv	每万人口专利拥有量	3 089	11.818	30.222
解释变量	“宽带中国”政策	$Treat$	入选城市=1,未入选=0	3 091	0.355	0.478
	政策实施时间	$Post$	政策实施前=0,政策实施后=1	3 091	0.454	0.498
控制变量	人口密度	D	每平方千米人口数	3 085	423.801	319.635
	人力资本存量	H	普通高等学校在校生数/总人口数	3 057	0.018	0.023
	互联网普及率	itp	平均每百人拥有的互联网数	3 088	17.323	16.365
	移动电话普及率	mtp	平均每百人拥有的移动电话数	3 088	93.640	78.824
	物质资本投入	K	科研支出/一般公共财政支出	3 089	0.015	0.015
	经济发展水平	E	城市人均生产总值(取对数)	3 037	10.478	4.133
	生态环境	Eco	每万元二氧化硫排放量	3 037	5.276	7.857

2. 实验前测

参照周黎安和陈烨(2005)^[66]实验前测的思路,本文选取 2008—2014 年政策实施前期的 281 个城市样本,以是否入选“宽带中国”城市为被解释变量,采用概率单位(Probit)模型来检验示范城市入选标准的随机性。对于政策实施而言,根据“宽带中国”政策实施相关工作方案,按照“城市申报、各省预审和专家综合评审”的程序进行,政策实施前有近百个城市参与了申报,第一批有 39 个城市入选,反映出入选实验组标准属于基本条件,而非决定性条件。以《“宽带中国”战略及实施方案》中提到的互联网普及率为解释变量,考察其是否影响城市入选。此外,本文还选取相关实施文件中提到的科技创新、经济发展水平和生态环境作为影响入选标准的因素,并控制城市社会经济发展方面的变量。结果表明,在控制了物质资本投入、人口密度和人力资本存量之后,创新、互联网普及率、经济发展水平和生态环境的影响系数非常低,且仅有生态环境

通过显著性检验^①。这说明,“宽带中国”政策实施虽然未满足严格的随机性,但并没有受到城市信息基础设施建设水平的显著影响,满足随机性条件,因此可以采用 DID 法进行回归分析。

(二) 信息基础设施建设对创新的影响

为了更好地识别信息基础设施建设对城市创新的影响,本文以 2014 年为政策实施节点考察被解释变量实验前后的变化,即政策实施后入选城市(实验组)与非入选城市(控制组)的结果差异与政策实施前实验组与控制组的结果差异,设定双重差分模型如下:

$$DID = [E(inv_{treat=1}^1) - E(inv_{treat=0}^1)] - [E(inv_{treat=1}^0) - E(inv_{treat=0}^0)] \quad (12)$$

由表 3 可知,政策实施前实验组和控制组的差异为 7.623,政策实施后的差异为 17.492, DID 估计结果为 9.869,以上结果均通过 1% 的显著性检验,说明信息基础设施建设对城市创新存在显著促进作用。本文进一步采用普通最小二乘(OLS)法进行估计,结果显示,“宽带中国”政策效果依旧显著,即信息基础设施建设对创新的作用与双重差分结果一致^②。

表 3 基准回归结果

类别	组别	inv	实验组-控制组	样本量
政策实施前	控制组	3.706	7.623***	1086
	实验组	11.329	(0.750)	905
政策实施后	控制组	12.296	17.492***	599
	实验组	29.788	(2.794)	499
DID			9.869***	3089
			(2.893)	

注: $R^2=0.06$ 。*、**、*** 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著,括号内为稳健标准误,后表同。

(三) 人力资本密度对创新的影响

进一步考虑人力资本密度对创新的影响。首先,纳入人口密度、人力资本存量和物质资本投入,并控制城市经济发展相关变量后,结果如表 4 列(1)所示。其中,信息基础设施建设政策对创新的正向促进作用依旧显著,但影响程度略有下降,说明未考虑人力资本因素会在一定程度上高估信息基础设施对创新的影响。此外,人口密度、人力资本存量以及物质资本投入均对城市创新产生积极的促进作用,且城市经济发展和生态环境均对创新有积极的影响。这一结果既符合创新理论和城市集聚理论,也与相关领域的经验研究保持一致。

其次,通过人口密度和人力资本存量的交互项将人力资本密度变量纳入模型,并按照式(7)进行估计,结果如表 4 列(2)所示。考虑人力资本密度条件下,信息基础设施建设政策的影响略有增加,人力资本密度对创新有积极作用并通过显著性检验,验证了中国城市层面人力资本密度对创新存在溢出效应,这一结果也与国外已有研究^[1]保持一致。交互项系数解释了人力资本强化了人口密度对城市创新的促进作用,即人口密度对创新的边际溢出效应随着城市人力资本存量的提高而进一步上升。

① 限于篇幅,省略入选标准的 Probit 模型回归结果,备索。

② 限于篇幅,省略相关检验过程和结果,备索。

再次,通过人力资本存量和互联网普及率、移动电话普及率的交互项分别将人力资本网络密度和人力资本移动电话密度纳入模型,并按照式(11)进行估计,表4列(3)和列(4)结果显示,信息基础设施建设政策效应依旧显著为正,但影响程度变化不大。其中,人力资本网络密度对创新的影响系数为0.137,人力资本移动电话密度对创新的影响系数为0.039,这解释了信息基础设施普及强化了人力资本对创新的促进作用,即人力资本对创新的溢出效应随着信息基础设施建设水平提高而上升。以上结果均通过显著性检验并反映三方面的信息:

一是信息基础设施建设显著促进创新水平提升。通过计算样本平均水平的政策效应,可以更直观地反映“宽带中国”政策实施对城市创新提升的程度。由表4可知,从人力资本密度、人力资本网络密度和人力资本移动电话密度三种控制条件下的影响程度来看,信息基础设施建设政策可以使城市创新提高30%左右。如此高的提升比例可能受样本结构的影响,因为只有36%的城市受该政策覆盖,那么可能只有处于样本均值附近的城市创新受政策实施的影响较大。进一步选取接受政策实施的人选城市为样本计算实验组均值,结果表明,全样本结果中因包含大量的控制组样本而使总体均值降低,从而高估了“宽带中国”政策实施对城市创新的影响。如果要得到实验组和控制组的创新产出在平均水平上发生的变化,同时又要避免因包含大量的控制组样本而拉低总体均值的情况,一个可行的办法是以2016年当年的样本计算创新产出的均值。因为2016年是政策实施的最后一年,政策覆盖城市最多,可以尽可能反映出相对于平均水平“宽带中国”政策对创新产出提高的百分比,也可以较好地避免因包含太多的控制组而使样本均值被过分拉低的情况。结果显示,平均政策效应为9.71%~14.21%,表明“宽带中国”政策可以有效提升城市万人专利拥有量10%左右。

二是人力资本密度对创新同样具有显著的促进作用。随着人力资本存量的提高,人口密度对创新的溢出效应进一步提升,说明中国当前信息基础设施建设和人力资本集聚有利于创新的经验表现,这与知识溢出理论基本一致。当城市人口密度增加而人力资本存量为0时,人口集聚对创新体现为拥挤效应;当城市人口密度增加而人力资本存量也增加时,人口集聚对创新体现为溢出效应。这反映出人口密度与创新之间并非简单的线性关系。为了进一步得到人力资本增加后密度的边际效应,本文参考已有文献^[67]的方法,采用科学研究和综合技术服务业等五个行业组成的社会基础设施资本产出弹性值(0.10~0.12),选取0.12作为知识资本投入产出弹性值。根据弹性系数计算公式 $\theta_H = \frac{\delta_H}{1-\alpha}$ 和密度计算创新边际影响效应,结果显示人力资本密度对创新的边际影响为0.23%,人力资本网络密度对创新的边际影响为15.56%,人力资本移动电话密度对创新的边际影响为4.43%。

三是信息基础设施搭建新的联系进一步提升了人力资本密度对创新的溢出效应。数字经济时代,人与人的交流不仅限于面对面的方式,信息基础设施为网络交流搭建了新联系。对比而言,人力资本网络密度对创新的边际影响最大,这意味着人力资本网络交流信息交换产生的知识溢出效应大于面对面交流产生的知识溢出效应。本文认为这一结果既符合网络的正向外外部性,也符合信息技术的技能偏向性,即人力资本越高,使用信息设备的外溢性越大。然而,这与一些国际研究^[45,68]结论并不一致。本文认为导致这种差异可能有两方面的原因。一方面,中国地理面积较大,分散在各地的人力资本面对面交流相对慢于网络交流和移动电话交流。另一方面,信息技术具有边际收益递增的特征。在信息基础设施建设早期,信息设备普及率低,网络信息交流的成本加大,较低的人力资本参与率限制了溢

出效应;而在信息基础设施建设发展升级时期,信息设备普及率较高,较高的人力资本参与率提升了网络信息交流的溢出效应。

表4 考虑人力资本密度的知识函数回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DID</i>	5.800*** (2.019)	5.980*** (2.005)	4.089** (1.963)	5.668*** (1.774)
<i>Treat</i>	-1.048 (1.029)	-0.996 (1.029)	0.551 (1.093)	-1.033 (0.869)
<i>Post</i>	5.337*** (0.861)	5.337*** (0.861)	2.574** (1.003)	3.021*** (0.816)
人口密度	0.018*** (0.004)	0.014*** (0.004)	0.015*** (0.003)	0.014*** (0.003)
人力资本存量	0.629*** (0.184)	-0.898* (0.444)	-3.974*** (0.893)	-6.115*** (0.735)
人力资本密度		0.002** (0.001)		
人力资本网络密度			0.137*** (0.028)	
人力资本移动电话密度				0.039*** (0.005)
物质资本投入	10.849*** (1.637)	10.717*** (1.654)	9.349*** (1.561)	9.227*** (1.494)
经济发展水平	0.074 (1.199)	0.345 (1.241)	0.939 (1.145)	1.506 (1.104)
生态环境	0.107** (0.039)	0.09** (0.041)	0.049 (0.039)	0.058 (0.036)
常数项	-17.532 (10.675)	-17.760* (10.690)	-19.779** (9.871)	-24.308** (9.682)
样本量	2 999	2 999	2 999	2 999
R^2	0.465	0.469	0.533	0.578
全样本提升比例	31.82%	32.80%	22.43%	31.09%
实验组提升比例	17.27%	17.8%	12.18%	16.88%
实验组 2016 年提升比例	13.78%	14.21%	9.71%	13.47%

注:列(1)—列(4)分别为逐步纳入人力资本存量、人力资本密度、人力资本网络密度和人力资本移动电话密度的回归结果。提升比例=估计系数/指标均值×100%,全样本、实验组和实验组 2016 年的均值分别为 18.23、33.58 和 42.09。

(四) 内生性问题

虽然本文在确定经验分析之前已经进行实验前测,一定程度上排除入选标准的内生性问题,但“宽带中国”政策作为一项社会制度如果影响其他因素进而影响创新产出,则会导致政策内生性问题,造成估计结果偏差。已有相关研究采用地形自然起伏度作为“宽带中国”政策实施的工具变量^[16],理由是海拔较高的地区建设信号塔的成本较高,因此地形自然起伏度影响信号塔建设,进而影响政策选择。然而,就中国实际情况而言,信号塔建设的市场经济逻辑较弱。主要原因在于,在落实网络强国战略、深化国有企业改革、促进电信基础设施资源共享的背景下,2014年国家控股建立的中国铁塔公司主要从事通信铁塔等基站配套设施的建设、维护和运营,这说明经济成本不会影响信号塔建设。因此,地形起伏度并不是一个好的工具变量。

借鉴经典文献,阿西莫格鲁等(Acemoglu et al.,2001)认为在高死亡率地区更有可能建立掠夺性制度,而在低死亡率地区则更有可能建立有利于社会经济发展的制度^[69]。把这一思路放到更大的学术脉络中来看,意味着人口自然增长率也会成为一个地区的制度信号。本文选取城市人口自然增长率作为“宽带中国”政策实施的工具变量,进行政策内生性问题检验。采用工具变量(IV)法需要满足外生性和相关性两个条件。首先,从经济意义和已有文献而言,人口自然增长率是反映人口自然增长趋势和速度的指标,取决于人口出生率和人口死亡率两者之间的变动情况,与城市发展政策之间满足相关性要求。其次,除了对制度和政策选择有影响外,人口自然增长率不再对当前的专利拥有量有任何直接影响,故满足外生性要求。

工具变量的两阶段回归结果如表5所示。其中,政策效应与基准回归保持一致,并且数值有大幅度增加,通过了10%的显著性检验。这说明减弱内生性影响后,政策效应进一步提高。一阶段回归结果显示,人口自然增长率对政策实施有显著的正向作用,验证了相关性条件,且 F 值远大于10,排除了弱工具变量的可能。斯托克-约戈(Stock-Yogo)检验10%的临界值16.38大于10,说明不存在弱工具变量^[70]。为了保证结果的稳健性,本文分别使用对弱工具变量更不敏感的有限信息最大似然(LIML)法和对存在异方差或自相关的广义矩估计(GMM)法进行估计,结果均与IV法保持一致。

表5 工具变量两阶段回归结果

回归方法	变量	IV	GMM	LIML
工具变量回归	<i>DDD</i>	10.745*	10.365*	10.745*
		(1.590)	(1.570)	(1.720)
一阶段回归	人口自然增长率	0.001*	0.001*	0.001*
		(1.850)	(1.890)	(1.840)
	F	1399.74	1050.29	1399.74
	R^2	0.580	0.580	0.580
	Stock-Yogo 检验	16.38	16.38	16.38
	样本量	3045	3045	3045

注:工具变量回归括号内为 z 值。一阶段回归括号内为 t 值。

五、稳健性检验

(一) 安慰剂检验

考虑到样本包含多年观测值,借助格兰杰(Granger, 1969)^[71]的方法,观察原因发生在结果之前而不是之后,将政策发生时间前置进行安慰剂检验。假定政策变量是在不同城市、不同时间点发生的变化,则需要对内生性问题做出检验:在给定的城市和年份,如果创新水平提升是由于信息基础设施建设政策实施引起的,而非城市创新水平较高,那么未来政策变化的虚拟变量不应该起作用。参照贝克等(Beck et al., 2010)^[72]的事件分析法,构建以下动态方程:

$$inv_{it} = \theta_0 + \sum_{\pi=-1}^{-6} \theta_{\pi} pre_{\pi} \theta_1 Treated + \sum_{\rho=1}^4 \theta_{\rho} post_{\rho} + \theta_n \sum C_{it} + u_{it} \quad (13)$$

其中, pre 表示一组反事实的虚拟变量,根据本文研究样本,假设“宽带中国”政策实施年份之前6年分别为 pre_6 、 pre_5 、 pre_4 、 pre_3 、 pre_2 、 pre_1 , 实施当年 $pre = 0$ 。政策实施之后4年,分别为 $post_1$ 、 $post_2$ 、 $post_3$ 、 $post_4$ 。政策实施当年 $Treated = 1$, 其他年份 $Treated = 0$ 。滞后效应表现出的特征是本文关注的重点,结果显示,政策实施前2008—2011年系数估计值小于0,2012—2014年系数估计值和置信区间均在0附近;政策实施后2014—2018年系数估计值和置信区间显著为正,并且随时间呈现上升趋势,排除在实际政策实施前的提前效应,通过了安慰剂检验^①。

(二) 微观数据检验

利用人口普查微观数据再次构建人力资本密度指标,以验证研究结果的稳健性。本文利用2010年第六次全国人口普查数据和2015年1%人口抽样调查数据,采用城市大专以上受教育劳动人口占当地劳动人口的比重表示人力资本存量,并将微观数据和宏观面板数据进行匹配,其中2010年数据匹配政策实施前城市面板数据,2015年数据匹配政策实施后面板数据。稳健性结果如表6所示,其中列(1)为仅考虑信息基础设施建设政策实施的情况, DID 估计系数为8.085,接近基准回归的结果。列(2)—列(4)分别表示进一步考虑人力资本密度、人力资本网络密度和人力资本移动电话密度的情况,结果均与基准回归结果保持一致,并且至少通过1%的显著性检验,其他控制变量的影响也与基准回归结果保持一致。微观数据检验结果再次证明本文研究结论较为稳健。

表6 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
DID	8.085** (4.033)	6.229** (2.784)	5.462** (2.396)	3.816** (1.765)
$Treat$	7.102*** (2.852)	-2.761 (2.045)	-2.236 (1.760)	-2.256* (1.295)
$Post$	6.747*** (2.398)	3.735** (1.816)	2.651* (1.565)	4.003*** (1.151)

①限于篇幅,省略相关检验结果,备索。

表6(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
人口密度		-0.019*** (0.004)	0.005** (0.002)	0.003** (0.002)
人力资本存量		-1.262*** (0.235)	-0.917*** (0.151)	-1.803*** (0.118)
人力资本密度		0.003*** (0.000)		
人力资本网络密度			0.034*** (0.002)	
人力资本移动电话密度				0.012*** (0.000)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	2.567 (1.696)	-54.902** (17.454)	-30.020** (14.958)	-8.073 (11.045)
样本量	560	559	559	559
R ²	0.097	0.577	0.686	0.830

注:列(1)为仅考虑信息基础设施建设政策实施的结果,列(2)—列(4)分别表示进一步考虑人力资本密度、人力资本网络密度和人力资本移动电话密度的结果。部分数据因四舍五入的原因,存在取值为0的情况,后表同。

六、进一步拓展分析

由于中国经济社会发展的非均衡特征,本文接下来从收入水平、资源禀赋和地区三个方面进行异质性分析,以此考察信息基础设施建设、人力资本密度与创新的中国特色表现。

(一) 收入水平异质性

以全国城市收入水平的中位数作为标准对样本进行分类,并进行高收入城市和低收入城市子样本回归。由表7可知,在信息基础设施建设方面,“宽带中国”政策实施在高收入城市对创新的影响系数显著高于低收入城市。考虑样本均值计算政策实施效应的结果显示,高收入城市的政策效应大于低收入城市,且在考虑2016年实验组样本均值条件下,高收入城市创新提高10%以上,低收入城市创新提高5.41%~6.57%。因此,不同收入水平城市的政策效应差异反映出高收入城市从信息基础设施建设的政策中获益更大。

人力资本密度方面^①,高收入地区人力资本密度对创新的影响不显著;随着人力资本网络密度上升1%,创新产出提高13.41%;随着人力资本移动电话密度增加1%,创新产出提高4.09%。低收入地区人力资本密度对创新的影响几乎为0;随着人力资本网络密度上升1%,创新产出提高3.07%;随着人力资本移动电话密度增加1%,创新产出提高1.14%。对比而言,网络交流的人力资本密度对创新的溢出效应大于面对面交流的人力资本密度对创新的溢出效应,且高收入城市网络交流的人力资本密度对创新的溢出效应大于低收

^① 限于篇幅,省略相关检验结果,备索。

入城市,说明信息化设施的正外部性和技能偏向特性在高收入城市更明显。

对于以上结果,本文认为信息基础设施建设和人力资本密度之所以对高收入城市的创新促进作用更大,是因为高收入城市的技能水平相对更高,从而可以从信息设施应用和网络交流中获得更大的溢出效应。

表 7 不同收入水平异质性

变量	高收入城市			低收入城市		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Did</i>	7.293** (2.874)	5.744** (2.726)	6.959*** (2.568)	0.897** (0.347)	0.739** (0.345)	0.879** (0.345)
<i>Treat</i>	-2.224 (2.023)	-0.037 (1.924)	-1.667 (1.808)	-0.068 (0.235)	-0.004 (0.233)	-0.104 (0.234)
<i>Post</i>	9.23*** (2.043)	6.095*** (1.950)	7.002*** (1.829)	2.366*** (0.200)	2.149*** (0.203)	2.163*** (0.205)
人口密度	0.040*** (0.004)	0.032*** (0.003)	0.030*** (0.003)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)
人力资本存量	0.141 (0.563)	-4.557*** (0.414)	-6.831*** (0.416)	0.736*** (0.120)	0.282** (0.126)	-0.152 (0.232)
人力资本密度	-0.001 (0.001)			0.000 (0.000)		
人力资本网络密度		0.118*** (0.009)			0.027*** (0.006)	
人力资本移动电话密度			0.036*** (0.002)			0.010*** (0.003)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-17.766 (15.061)	-8.348 (14.268)	-20.095 (13.443)	-11.754*** (1.336)	-11.446*** (1.322)	-11.119*** (1.332)
样本量	1 501	1 499	1 499	1 498	1 498	1 498
R^2	0.519	0.569	0.616	0.427	0.437	0.433
全样本提升比例	23.32%	18.36%	22.25%	19.63%	16.17%	19.23%
实验组提升比例	15.54%	12.24%	14.83%	14.39%	11.86%	14.11%
实验组 2016 年提升比例	12.80%	10.08%	12.22%	6.57%	5.41%	6.44%

注:高收入城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 31.28、46.93 和 56.97,低收入城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 4.57、6.23 和 13.66。

(二) 资源禀赋异质性

以2013年11月《国务院关于印发全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)的通知》(国发〔2013〕45号)为划分依据,分别考察资源型城市和非资源型城市样本。由表8可知,信息基础设施建设方面,“宽带中国”政策效应与基准回归方向保持一致,且非资源型城市的政策效应大于资源型城市,但是仅在非资源型城市通过1%显著性检验。通过计算全样本、实验组样本和实验组2016年样本的政策效应,结果显示,资源型城市“宽带中国”政策对创新的提升小于10%,而非资源型城市“宽带中国”政策对创新的提升大于10%。进一步对比不同资源禀赋城市的创新产出均值可以发现,2016年非资源型城市实验组创新产出均值比全样本均值高2.14倍,资源型城市实验组创新产出均值比全样本均值高2.33倍。信息基础设施建设和人力资本密度对非资源型城市的创新促进作用更大,主要原因在于高收入城市的技能水平相对更高,从而可以从信息设施应用和网络交流中获得更大的溢出效应。

人力资本密度方面^①,资源型城市人力资本密度对创新的影响系数为0.001,但未通过显著性检验。经过测算,人力资本密度可以提升资源型城市创新水平0.11%,人力资本网络密度可以提升资源型城市创新水平10.91%,人力资本移动电话密度可以提升资源型城市创新水平3.98%。非资源型城市人力资本密度对创新的影响系数均为正,并通过显著性检验,其中人力资本密度可以提升非资源型城市创新水平0.11%,人力资本网络密度可以提升非资源型城市创新水平13.52%,人力资本移动电话密度可以提升非资源型城市创新水平4.09%。对比而言,非资源型城市人力资本密度对创新的溢出效应更大,且网络交流和移动电话交流的人力资本密度对创新的溢出效应大于面对面交流的人力资本密度对创新的溢出效应。

表8 城市资源禀赋异质性

变量	资源型			非资源型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>DID</i>	1.419 (0.881)	0.127 (0.870)	0.521 (0.866)	7.308*** (2.502)	5.688** (2.375)	7.205*** (2.247)
<i>Treat</i>	-0.239 (0.607)	-0.065 (0.591)	-0.281 (0.592)	-1.679 (1.761)	0.259 (1.675)	-1.886 (1.582)
<i>Post</i>	3.164*** (0.533)	2.335*** (0.528)	2.882*** (0.521)	7.919*** (1.676)	4.714*** (1.605)	4.992*** (1.513)
人口密度	0.000 (0.001)	0.003*** (0.001)	0.004*** (0.001)	0.021*** (0.002)	0.019*** (0.002)	0.018*** (0.002)
人力资本存量	0.669* (0.341)	-0.691** (0.305)	-2.289*** (0.476)	-0.856* (0.488)	-4.079*** (0.369)	-6.267*** (0.376)
人力资本密度	0.001 (0.001)			0.001** (0.001)		

① 限于篇幅,省略相关检验结果,备索。

表8(续)

变量	资源型			非资源型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
人力资本网络密度		0.096*** (0.012)			0.119*** (0.008)	
人力资本移动电话密度			0.035*** (0.004)			0.036*** (0.002)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-22.837*** (3.442)	-20.203*** (3.358)	-16.853*** (3.441)	2.076 (10.867)	-2.931 (10.308)	-10.591 (9.781)
样本量	1 218	1 218	1 128	1 781	1 779	1 779
R ²	0.304	0.341	0.338	0.526	0.574	0.618
全样本提升比例	24.30%	2.17%	8.92%	27.40%	21.33%	27.02%
实验组提升比例	16.65%	1.49%	6.12%	15.65%	12.18%	15.43%
实验组 2016 年提升比例	10.39%	0.93%	3.81%	12.83%	9.98%	12.65%

注:资源型城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 5.84、8.52 和 13.66,非资源型城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 26.67、46.70 和 56.97。

(三) 地区异质性

将城市按东部、中部、西部地区进行划分后,本文进一步考察了不同地区的异质性,结果如表 9 所示。信息基础设施建设方面,“宽带中国”政策实施的影响与基准回归方向一致,且仅有西部城市在控制人力资本网络密度条件下未通过显著性检验。这说明在东部、中部、西部城市进行信息基础设施建设均有利于创新。本文分别计算全样本、实验组和实验组 2016 年的政策效应,结果显示,相对于全国情况,东部城市“宽带中国”政策对创新的提升比例高于 40%,中部城市“宽带中国”政策对创新的提升比例为 20.82%~32.67%,西部城市“宽带中国”政策对创新的提升比例为 13.39%~29.53%。随着政策的滞后效应显现,实验组样本增加而使总体均值上升,2016 年政策实施完成后,东部城市“宽带政策”实施对创新提高程度超过 18%,中部城市为 7.31%~11.47%,西部城市为 6.54%~14.42%。对比而言,“宽带中国”政策对创新的促进作用体现出东西并举、西部崛起的特征,东部城市在信息基础设施建设中一如既往地维持了政策红利,西部城市政策效应大于中部城市,与东部城市差距较小。本文认为这一结果具有合理性,根据“宽带中国”战略的重点任务,第一项就是推进区域宽带网络协调发展,对中西部地区给予政策倾斜,并对西部地区符合条件的国家级开发区宽带建设项目贷款予以税收优惠和产业政策扶持。而《关于实施宽带中国 2013 专项行动的意见》基本原则之一是“提高网络能力与扩大普及覆盖同步”,并表现为东部提速、西部扩面,所以信息基础设施以及人力资本密度对创新的影响在东部城市最高、西部城市次之、中部城市最低。

表 9 不同地区异质性

变量	东部		中部		西部	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>DID</i>	15.954*** (3.993)	15.293*** (3.851)	2.917*** (0.663)	1.859*** (0.646)	2.132*** (0.688)	0.967 (0.741)

表9(续)

变量	东部		中部		西部	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Treat</i>	-4.967*	-3.807	-0.852*	-0.369	0.085	0.758
	(2.962)	(2.862)	(0.457)	(0.442)	(0.474)	(0.514)
<i>Post</i>	10.830***	7.301***	3.345***	2.545***	4.047***	3.187***
	(2.536)	(2.475)	(0.438)	(0.432)	(0.437)	(0.472)
人口密度	0.026***	0.025***	-0.002**	0.001	-0.003***	0.009***
	(0.004)	(0.003)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)
人力资本存量	-1.561	-4.487***	0.431**	-0.089	0.091	0.229
	(1.199)	(0.699)	(0.186)	(0.159)	(0.121)	(0.142)
人力资本密度	0.002*		0.001***		0.005***	
	(0.001)		(0.000)		(0.000)	
人力资本网络密度		0.114***		0.049***		0.049***
		(0.013)		(0.005)		(0.004)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	7.572	1.740	2.238	-6.112*	-8.405***	-13.919***
	(19.551)	(18.814)	(3.302)	(3.212)	(2.472)	(2.616)
样本量	1 019	1 017	1 079	1 079	785	785
R^2	0.586	0.615	0.720	0.740	0.695	0.652
全样本提升比例	42.30%	40.54%	32.67%	20.82%	29.53%	13.39%
实验组提升比例	21.81%	20.91%	18.23%	11.62%	23.87%	10.83%
实验组 2016 年提升比例	18.95%	18.16%	11.47%	7.31%	14.42%	6.54%

注:东部地区城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 37.72、73.15 和 84.19,中部地区城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 8.93、16.00 和 25.44,西部地区城市全样本、实验组和实验组 2016 年均值分别为 7.22、8.93 和 14.78。

人力资本密度方面^①,东部、中部、西部地区城市均显著为正,并通过显著性检验。经测算,东部城市随着人力资本密度增加 1%,创新水平上升 0.23%;随着人力资本网络密度增加 1%,创新水平上升 12.95%;中部城市随着人力资本密度增加 1%,创新水平上升 0.11%;随着人力资本网络密度增加 1%,创新水平上升 0.57%;西部城市随着人力资本密度增加 1%,创新水平上升 0.57%;随着人力资本网络密度增加 1%,创新水平上升 5.57%。对比而言,西部城市人力资本密度对创新的促进作用最大,东部城市次之,中部城市最小;无论是在东部城市,还是中部、西部城市,网络交流的人力资本密度对创新的溢出效应均大于面对面交流的人力资本密度对创新的溢出效应。

① 限于篇幅,省略相关检验结果,备索。

七、结论与启示

党的二十大报告提出建设数字中国,“加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合,打造具有国际竞争力的数字产业集群”。面向未来,人与人的通信将延伸到物与物、人与物的智能互联,数以千亿的设备将接入网络,达到百万/平方千米连接数密度,实现真正的万物互联,促进以技术为驱动的创新不断涌现,中国的经验具有十分重要的意义。本文基于知识生产函数,借助2013年的“宽带中国”政策实施构造准自然实验,采用双重差分法分析信息基础设施建设和人力资本密度对创新的影响。研究表明,信息基础设施建设作为一种新技术对创新具有外生性影响,也改变了知识生产方式。信息网络发展非但没有替代面对面交流,反而为人才提供一种更低成本的交流新方式,有助于人力资本密度创新。具体而言,首先,信息基础设施建设的政策可以提高示范城市10%左右的万人专利拥有量,并且政策效应随时间进一步增强。信息基础设施建设对创新的影响在高收入城市、非资源型城市和东部城市相对更大。其次,人口密度对城市创新依旧保持正向作用,并且人口密度对城市创新的边际效应随着人力资本存量的增加而上升,即人力资本密度对城市创新具有显著的促进作用。再次,信息基础设施为人力资本交流搭建新连接平台,人力资本通过网络交流和移动电话交流对创新的溢出效应大于面对面交流对创新的溢出效应。人力资本网络密度在高收入城市、非资源型城市和西部城市的创新溢出效应相对更大。本文的研究结论通过了一系列稳健性检验,可为促进创新国家建设的长期发展战略实施提供如下启示:

第一,有序推进新型基础设施建设实施范围,扩大信息技术支持创新的范围。新型基础设施建设对国家创新发展具有重要作用,无论哪个国家,数字经济发展中必将不断拓展、升级信息基础设施。《“十四五”数字经济发展规划》已经提出“加快建设信息网络基础设施,有序推进骨干网扩容”等实施计划和“实施试点示范”的保障措施。未来促进创新发展,不仅要利用好政策工具,有序推进新型基础设施建设实施范围,提高数字化服务供给质量,还要扩大信息技术支持创新的范围,促进新产业、新业态和新模式持续涌现,释放数字红利。

第二,充分发挥数字技术匹配功能和共享优势,促进开放式创新的增加。良好信息基础设施搭建新连接平台,增加人才交流频率,促进人力资本网络密度的创新溢出效应显著提升。利用新型基础设施建设发展的历史机遇,建设人力资本集聚和知识共享的新模式、新平台,搭建更多人力资本知识溢出的连接载体,以平台发展优化人力资本配置和加速人力资本共享,破解非资源地区、西部地区人才不足的困局。信息基础设施为人才交流提供新连接基础,数字平台通过众包、兼职等参与模式,以任务为导向将城市集聚的各行各业人才利用算法优势迅速匹配。同时,搭建更多人力资本知识溢出的连接载体。一方面,加快发挥技能偏向优势,促进人力资本持续创新。另一方面,利用算法优势,降低人力资本匹配成本、摩擦性障碍和拥塞效应。

第三,利用人力资本网络交流方式,探索新型基础设施建设促进创新发展的多维路径。建立国家层面的大数据系统,网络互联实现跨区人力资本共享。利用大数据和算法匹配精准对接中西部城市和欠发达城

市的人才需求,以平台发展优化人力资本配置,弥补区域人力资本密度鸿沟,平衡区域创新均衡发展。在信息基础设施的创新回报更明显的高收入城市、非资源型城市和东部城市最大化试点实施效果,加大财政投资力度和市场效率,以信息基础设施建设和升级为抓手推进创新平台建设,提升城市创新能力。在人力资本密度创新溢出效应明显的非资源型城市和西部城市,充分发挥网络连接和集聚资源的优势,突破当地创新人才不足的局限,拓宽全国乃至全球范围的人力资本交流半径,利用人力资本网络密度完善创新均衡发展的条件,普惠共享数字经济发展的红利。

参考文献:

- [1] ABEL J R, DEY I, GABE T M. Productivity and the density of human capital[J]. *Journal of Regional Science*, 2012, 52(4): 562-586.
- [2] 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): 65-76.
- [3] BLOOM N, SADUN R, VAN REENEN J. Americans do I. T. better: US multinationals and the productivity miracle[Z]. NBER Working Paper No. 13085, 2007.
- [4] 许宪春,张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J]. *中国工业经济*, 2020(5): 23-41.
- [5] VENTURINI F. The long-run impact of ICT[J]. *Empirical Economics*, 2009, 37(3): 497-515.
- [6] ACHARYA R. ICT and total factor productivity growth: intangible capital or productive externalities? [Z]. *Economic Research and Policy Analysis Branch Working Paper No. 2010-01*, 2010.
- [7] TAMBE P, HITT L M. The productivity of information technology investments: new evidence from IT labor data[J]. *Information Systems Research*, 2012, 23(3): 599-617.
- [8] CORRADO C, HASKEL J, JONA-LASINIO C. Intangibles, ICT and industry productivity growth: evidence from the EU[M]//JORGENSEN D, FUKAO K, TIMMER M. *The world economy: growth or stagnation?*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016: 319-346.
- [9] BYRNED, CORRADO C. ICT services and their prices: what do they tell us about productivity and technology? [Z]. *Finance and Economics Discussion Series No. 2017-015*, 2017.
- [10] BRYNJOLFSSON E, COLLIS A, DIEWERT W E, et al. GDP-B: accounting for the value of new and free goods in the digital economy[Z]. NBER Working Paper No. 25695, 2019.
- [11] GORDON R J, SAYED H. Transatlantic technologies: the role of ICT in the evolution of U. S. and European productivity growth[Z]. NBER Working Paper No. 27425, 2020.
- [12] BYRNE D, CORRADO C. Accounting for innovation in consumer digital services: IT still matters[Z]. NBER Working Paper No. 26010, 2019.
- [13] 蔡跃洲,张钧南. 信息通信技术对中国经济增长的替代效应与渗透效应[J]. *经济研究*, 2015, 50(12): 100-114.
- [14] 郭家堂,骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗? [J]. *管理世界*, 2016(10): 34-49.
- [15] 韩先锋,宋文飞,李勃昕. 互联网能成为中国区域创新效率提升的新动能吗[J]. *中国工业经济*, 2019(7): 119-136.
- [16] 刘传明,马青山. 网络基础设施建设对全要素生产率增长的影响研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. *中国人口科学*, 2020(3): 75-88, 127-128.
- [17] 邱子迅,周亚虹. 数字经济发展与地区全要素生产率——基于国家级大数据综合试验区的分析[J]. *财经研究*, 2021, 47(7): 4-17.
- [18] 张腾,蒋伏心,韦朕韬. 数字经济能否成为促进我国经济高质量发展的新动能? [J]. *经济问题探索*, 2021(1): 25-39.
- [19] MADDEN G, SAVAGE S J. CEE telecommunications investment and economic growth[J]. *Information Economics and Policy*, 1998, 10(2): 173-195.
- [20] RÖLLER L H, WAVERMAN L. Telecommunications infrastructure and economic development: a simultaneous approach[J]. *The American*

- Economic Review, 2001, 91(4): 909-923.
- [21] DEWAN S, KRAEMER K L. Information technology and productivity: evidence from country-level data[J]. *Management Science*, 2000, 46(4): 548-562.
- [22] CZERNICH N, FALCK O, KRETSCHMER T, et al. Broadband infrastructure and economic growth[J]. *The Economic Journal*, 2011, 121(552): 505-532.
- [23] THOMPSON H G, Jr., GARBACZ C. Mobile, fixed line and internet service effects on global productive efficiency[J]. *Information Economics and Policy*, 2007, 19(2): 189-214.
- [24] 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.
- [25] KIM J, PARK J C, KOMAREK T. The impact of mobile ICT on national productivity in developed and developing countries[J]. *Information & Management*, 2021, 58(3): 103442.
- [26] GRUBER H, HÄTÖNEN J, KOUTROUMPIS P. Broadband access in the EU: an assessment of future economic benefits[J]. *Telecommunication Policy*, 2014, 38(11): 1046-1058.
- [27] 董祺. 中国企业信息化创新之路有多远? ——基于电子信息企业面板数据的实证研究[J]. *管理世界*, 2013(7): 123-129, 171.
- [28] CUI T R, YE H, TEO H H, et al. Information technology and open innovation: a strategic alignment perspective[J]. *Information & Management*, 2015, 52(3): 348-358.
- [29] PAUNOV C, ROLLO V. Has the internet fostered inclusive innovation in the developing world? [J]. *World Development*, 2016, 78: 587-609.
- [30] 王莉娜,张国平. 信息技术、人力资本和创业企业技术创新——基于中国微观企业的实证研究[J]. *科学与科学技术管理*, 2018, 39(4): 111-122.
- [31] 王可,李连燕. “互联网+”对中国制造业发展影响的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(6): 3-20.
- [32] 黄群慧,余泳泽,张松林. 互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验[J]. *中国工业经济*, 2019(8): 5-23.
- [33] 薛成,孟庆玺,何贤杰. 网络基础设施建设与企业技术知识扩散——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J]. *财经研究*, 2020, 46(4): 48-62.
- [34] CICCONE A, HALL R E. Productivity and the density of economic activity[J]. *The American Economic Review*, 1996, 86(1): 54-70.
- [35] CICCONE A. Agglomeration effects in Europe[J]. *European Economic Review*, 2002, 46(2): 213-227.
- [36] DURANTON G, PUGA D. Micro-foundations of urban agglomeration economies[J]. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 2004, 4: 2063-2117.
- [37] FU Y M, GABRIEL S A. Labor migration, human capital agglomeration and regional development in China[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2012, 42(3): 473-484.
- [38] STORPER M, VENABLES A J. Buzz: face-to-face contact and the urban economy[J]. *Journal of Economic Geography*, 2004, 4(4): 351-370.
- [39] AUDRETSCH D B, FELDMAN M P. R&D spillovers and the geography of innovation and production[J]. *The American Economic Review*, 1996, 86(3): 630-640.
- [40] WHITTINGTON K B, OWEN-SMITH J, POWELL W W. Networks, propinquity, and innovation in knowledge-intensive industries [J]. *Administrative Science Quarterly*, 2009, 54(1): 90-122.
- [41] JOVANOVIĆ B, ROUSSEAU P L. General purpose technologies[J]. *Handbook of Economic Growth*, 2005, 1(B): 1181-1224.
- [42] CARDONA M, KRETSCHMER T, STROBEL T. ICT and productivity: conclusions from the empirical literature[J]. *Information Economics and Policy*, 2013, 25(3): 109-125.
- [43] 张勋,王旭,万广华,等. 交通基础设施促进经济增长的一个综合框架[J]. *经济研究*, 2018, 53(1): 50-64.
- [44] MUTO M, YAMANO T. The impact of mobile phone coverage expansion on market participation: panel data evidence from Uganda[J]. *World Development*, 2009, 37(12): 1887-1896.
- [45] PACKALEN M, BHATTACHARYA J. Cities and ideas[Z]. NBER Working Paper No. 20921, 2015.

- [46]杨震宁,侯一凡,李德辉,等. 中国企业“双循环”中开放式创新网络的平衡效应——基于数字赋能与组织柔性的考察[J]. 管理世界,2021, 37(11):184-205,12.
- [47]FERNANDO A N. Seeking the treated; the impact of mobile extension on farmer information exchange in India[J]. *Journal of Development Economics*, 2021, 153: 102713.
- [48]AKER J C, MBITI I M. Mobile phone and economic development in Africa[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2010, 24(3): 207-232.
- [49]JEVONS W S. The coal question: an inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines[M]. 2nd ed. London: Macmillan and Co., 1866.
- [50]JAFFEA B. Real effects of academic research[J]. *The American Economic Review*, 1989, 79(5): 957-970.
- [51]GRILICHES Z. Patent statistics as economic indicators; a survey[J]. *Journal of Economic Literature*, 1990, 28(4): 1661-1707.
- [52]SACHS J. A new map of the world[J]. *The Economist*, 2000, 24: 81-83.
- [53]CARLINO G A, CHATTERJEE S, HUNTR M. Urban density and the rate of invention[J]. *Journal of Urban Economics*, 2007, 61(3): 389-419.
- [54]MORETTI E. Workers' education, spillovers, and productivity: evidence from plant-level production functions[J]. *The American Economic Review*, 2004, 94(3): 656-690.
- [55]BRYNJOLFSSON E, SAUNDERS A. *Wired for innovation: how information technology is reshaping the economy*[J]. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.
- [56]KRUEGER A B. How computers have changed the wage structure: evidence from Microdata, 1984-1989[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1993, 108(1): 33-60.
- [57]陈玉宇,吴玉立. 信息化对劳动力市场的影响:个人电脑使用回报率的估计[J]. *经济学(季刊)*,2008(4):1149-1166.
- [58]邢春冰,李春顶. 技术进步、计算机使用与劳动收入占比——来自中国工业企业数据的证据[J]. *金融研究*,2013(12):114-126.
- [59]周焯,程立茹,王皓. 技术创新水平越高企业财务绩效越好吗? ——基于16年中国制药上市公司专利申请数据的实证研究[J]. *金融研究*,2012(8):166-179.
- [60]CRÉPON B, DUGUET E, MAIRESSE J. Research, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level[J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 1998, 7(2): 115-158.
- [61]DOSI G, MARENGO L, PASQUALI C. How much should society fuel the greed of innovators?: On the relations between appropriability, opportunities and rates of innovation[J]. *Research Policy*, 2006, 35(8): 1110-1121.
- [62]HALL B H, HARHOFF D. Recent research on the economics of patents[Z]. NBER Working Paper No. 17773, 2012.
- [63]袁建国,后青松,程晨. 企业政治资源的诅咒效应——基于政治关联与企业技术创新的考察[J]. *管理世界*,2015(1):139-155.
- [64]张学勇,张叶青. 风险投资、创新能力与公司IPO的市场表现[J]. *经济研究*,2016,51(10):112-125.
- [65]吴忠观. *人口科学辞典*[M]. 成都:西南财经大学出版社,1997.
- [66]周黎安,陈焯. 中国农村税费改革的政策效果:基于双重差分模型的估计[J]. *经济研究*,2005(8):44-53.
- [67]金戈. 中国基础设施与非基础设施资本存量及其产出弹性估算[J]. *经济研究*,2016,51(5):41-56.
- [68]SPULBERD F. *Global competitive strategy*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [69]ACEMOGLU D, JOHNSON S, ROBINSON J A. The colonial origins comparative development: an empirical investigation[J]. *The American Economic Review*, 2001, 91(5): 1369-1401.
- [70]STAIGER D, STOCK J H. Instrumental variables regression with weak instruments[J]. *Econometrica*, 1997, 65(3): 557-586.
- [71]GRANGER C W J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods[J]. *Econometrica*, 1969, 37(3): 424-438.
- [72]BECK T, LEVINE T, LEVKOV A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the United States[J]. *The Journal of Finance*, 2010, 65(5): 1637-1667.

Information Infrastructure Construction, Human Capital Density and Innovation

Ji Wenwen

(China University of Labor Relations, Beijing 100048)

Abstract: The “Broadband China” policy, as one of the important institutional designs with Chinese characteristics for developing the digital economy, not only has an exogenous impact on innovation, but also changes the way of human capital communication. Based on the knowledge production function, this paper applies the difference-in-differences (DID) method to causally identify the impact of the information infrastructure construction and human capital density on innovation, using the “Broadband China” policy in 2013 as a quasi-natural experiment.

The results show that information infrastructure construction has an exogenous impact on innovation and changes the way of knowledge production. Instead of replacing face-to-face communication, the development of information networks provides a new way for human capital to communicate at a lower cost, contributing to the innovation of human capital density. First, information infrastructure construction has a significant positive externality, and the policy effect further increases as the policy time lengthens. The impact of information infrastructure construction on innovation is relatively greater in high-income, non-resource-based, and eastern cities. Second, population density still maintains a positive effect on urban innovation, and the impact increases with the improvement of human capital stock, that is, human capital density has a significant promoting effect on innovation. This conclusion verifies the applicability of agglomeration theory in China. Third, the information infrastructure provides a new platform for human capital communication, and the spillover impact of human capital on innovation through network communication and mobile communication is greater than face-to-face communication, especially in high-income, non-resource-based, and western cities. The findings pass robustness tests, including the placebo test and the effect of urban agglomeration policies, which may provide a new policy vision and framework for promoting China’s innovation and development.

Possible marginal contributions are in the following aspects. First, this paper discusses the role of information infrastructure construction on innovation under the classic innovation production function, with a comprehensive evaluation of its role and the spillover effect of human capital in promoting innovation. Second, it constructs a quasi-natural experiment with implementing the “Broadband China” policy, adopts the DID method to identify the direct impact of information infrastructure construction on innovation, and overcomes the endogenous problem between information infrastructure and regional innovation level due to the causal inversion. Third, it uses the interaction effect to consider the impact of increasing human capital with population agglomeration and information infrastructure construction on innovation output, to analyze the spillover effect of face-to-face communication and network communication of human capital on innovation.

Keywords: information infrastructure construction; human capital density; innovation; policy effect; spillover effect

责任编辑:蒋 琰