

DOI: 10.19361/j.er.2023.06.09

# 地铁开通、协同合作与企业创新

王岳龙 袁旺平\*

**摘要:** 本文从协同合作的视角,研究地铁开通对企业创新的影响机制。理论研究表明,地铁开通通过降低通行成本,加强企业与金融机构、高校和研究机构、政府等相关创新主体合作,提升企业创新水平。实证结果表明,地铁开通显著提升了企业创新积极性,且能解释同时期企业创新水平变化的 3.8%。地铁开通带来的通行成本降低,促使企业与银行、政府的合作,尤其是与高校、科研机构以及其他企业的产学研合作增加,是解释其提升企业创新的重要途径。异质性分析发现,地铁建设越是完善的城市内企业,以及初始创新禀赋越强的企业,地铁开通对企业创新的正向促进作用越强。本文为政府如何利用地铁网络引导要素合理流动,推动中国经济高质量发展提供了经验证据。

**关键词:** 地铁开通;协同合作;信息不对称;高质量发展

**中图分类号:** F572.88

## 一、引言

“十四五”时期,创新成为国家发展全局的首要任务。实体经济部门自主创新能力能否得到有效培育和提高,是决定高质量发展模式能否形成的微观基础,也是关乎现代化经济体系和创新型国家能否建成的关键。为了积极响应创新驱动发展战略,我国亟需寻求解决制造业部门面临的关键核心技术创新能力不足、自主创新能力体系滞后等重大发展问题。在利用信息化技术促进产业变革的工业 4.0 时代,市场的创新需求越来越高,而技术创新的难度越来越大。单打独斗的创新,或者单层次、小范围的合作创新已难以满足技术创新的需要。为了应对复杂多变的环境,提升创新效率,企业、高校(科研机构)、金融中介和政府等创新主体对互补知识、外部资源的依赖性越来越强,创新主体之间开展广泛交流、深层次合作的需求越来越迫切(刘丹、闫长乐,2013)。构建富有生机的国家创新生态系统,需要依靠“政产学研金”等创新主体的通力协同,搭建知识生产、转移和利用的畅通网络,实现自主创新的战略目标。

\* 王岳龙,江西财经大学规制与竞争研究中心,江西财经大学应用经济学院,邮政编码:330013,电子邮箱:wangyuelong@jxufe.edu.cn;袁旺平,南开大学经济学院,邮政编码:300071,江西财经大学应用经济学院,邮政编码:330013,电子邮箱:2433925622@qq.com。

本文获国家自然科学基金项目“中国青年科研资金配置效率研究:理论、实证与应用”(批准号:72164013)的资助。作者感谢匿名审稿人在本文写作过程中提出的宝贵意见,文责自负。

虽然企业在更远的距离内可以找到更好的合作者,增加研发项目成功的可能性,但远距离合作会涉及通行成本的增加,并且复杂信息的远程沟通可能不太有效(Catalini et al., 2020),当前在涉及机密信息的沟通上大多是采用面对面的交流方式(Dong et al., 2020)。同时,企业、银行、高校和政府的地址一经确定,其在短时间内难以发生变化。且企业、银行、高校和政府往往分布在城市的不同区域,这就导致它们之间面对面沟通的效率取决于城内交通基础设施的运行效率。Hansen(1959)的区位可达性理论认为,交通基础设施建设提高了区域间来往的便利程度。基于本地化的知识溢出模型(LKS),空间距离的缩减能够增加主体之间面对面交流的机会,降低信息成本,提升隐性知识的传播速度。因此,交通基础设施的完善可以减少通行成本,加速区域内信息流通,促进各创新主体的研发合作。

除了Koh等(2022)、刘修岩等(2022)等,当前关于交通基础设施对创新影响的研究文献,主要关注高铁和高速公路(Dong et al., 2020),且集中于区域层面。在微观企业层面,孙文浩和张杰(2020)等更多的是围绕人力资本流动理论来探讨高铁对企业创新的影响,这其中忽略了信息可获取性和融资约束对企业创新的影响。Kong等(2022)研究发现,信息可获取性是影响企业创新的重要决定因素。Benmelech等(2021)研究表明,融资约束和信贷可得性不仅会显著影响公司招聘决策,还会影响社会总体失业情况。

综上,学术界关于地铁对企业创新影响的研究相对较少。地铁相关文献主要集中于房价、城市交通的运行效率(Gu et al., 2021)、城市空气质量(Li et al., 2019)等方面。刘修岩等(2022)基于城市轨道交通站点数据,研究发现快速轨道交通建设能够通过加快区域内知识流扩散、引致创新型企业集聚等渠道促进企业创新。王岳龙和袁旺平(2022)采用2001—2016年中国289个城市面板数据,基于DID的传统双向固定模型(TWFE),从知识溢出的视角出发,发现在宏观城市层面地铁开通可以提升城市创新水平。然而地铁开通对作为创新主体的工业企业影响如何,能否通过加强区域内各创新主体的合作交流,缓解信息不对称,提升企业信息可获取性,以及缓解企业融资约束来提升企业创新积极性?厘清这些问题,学术上有助于丰富交通基础设施对创新影响的相关文献,完善协同创新作用的微观机理;实践上有助于促进各创新主体合理配置创新资源,加强区域内各创新主体之间的协同创新,推动我国自上而下的创新组织形式向自下而上的新型协同创新形式转变,帮助企业实现创新发展,从而加速中国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段。

本文基于协同创新的视角,从缓解信息不对称出发,研究中国城市地铁开通对企业创新的影响机制。理论研究方面借鉴Catalini等(2020)的设定,研究发现地铁开通通过提升城市内交通基础设施的运行效率、降低通行成本,加强企业与金融机构、高校和研究机构、政府等合作,提升企业创新水平。实证方面,本文使用1998—2007年中国工业企业数据库与国家知识产权局专利数据库的匹配数据,运用双重差分模型研究发现:地铁开通显著提升了企业创新积极性,能解释同时期企业创新水平变化的3.8%,且在经过稳健性检验后,结果仍然稳健。机制分析表明,地铁开通带来的通行成本降低,促使企业与银行、政府的合作,尤其是与高校、科研机构以及其他企业的产学研合作增加,是解释其提升企业创新的重要途径。异质性分析发现,地铁建设越完善的城市内企业,以及初始创新禀赋越强的企业,地铁开通对企业创新的激励越大。

相对于现有研究,本文的边际贡献在于:第一,研究视角上,本文基于协同创新这一独特视角,从减少信息成本出发,综合考察了地铁开通带来的企业与区域创新系统内其他创新主体间的协同对企业创新的影响。当前关于交通基础设施对创新的影响研究主要基于知识溢出和人力资本流动两个视角,而本文研究发现,地铁可以串联区域内各创新主体,产生“桥梁效应”,促进企业和高校(科研机构)之间的产学研融合,加强政企和银企联系,从而促进企业创新。本文研究有助于完善协同创新作用的微观机制研究。

第二,研究方法上,由于地铁开通城市并非随机选择,本文借鉴 Li 等(2016)的方法充分控制了城市地铁开通的影响因素,尽可能地排除了遗漏变量和样本自选择对本文估计结果的干扰。当前大多数关于政策试点的研究文献往往会忽视对影响试点城市选择的变量的控制,这样可能会影响结果的可信度。同时由于地铁在各个城市是逐年开通的,因此在交叠 DID 的情形下使用传统 TWFE 估计,会导致严重的估计偏误(Goodman-Bacon, 2021)。本文采用 Cengiz 等(2019)提出的考虑了交叠影响的稳健估计量,修正了交叠 DID 的 TWFE 估计偏误问题。

第三,研究内容上,丰富了交通基础设施对企业创新的影响这一类文献。当前关于交通基础设施对企业创新的影响研究,更多的是围绕人力资本流动理论来探讨高铁对企业创新的影响,鲜有研究地铁对企业创新的影响,且忽略信息可获取性和融资约束对企业创新的影响。地铁开通带来空间距离的缩减能够增加主体之间面对面交流的机会,降低信息成本,提升企业信息可获取性。同时增加企业和银行之间的信息往来,缓解企业融资约束。企业创新发展是推动中国实体经济高质量发展的重要决定力量,本文为政府如何利用地铁合理引导区域内协同创新网络形成,推动实体经济高质量发展提供了针对性的政策建议。

## 二、理论机制分析

### (一) 地铁开通能够加强区域内各创新主体合作沟通

本文借鉴 Catalini 等(2020)的理论模型,考察企业内的发明家在进行发明创造时面临的合作权衡,以及他们应该根据合作的内在潜力为其投入多少努力。由于发明过程中涉及知识、技能、设备和资源等,这里的合作不单单是发明家与发明家之间的知识交流合作,提供项目研发资金的一方也被看作是合作方(Catalini et al., 2020)。

假设区域内的潜在合作者库比企业自身能够提供的合作者库具有更多的种类,所以一般来说,当地理距离的限制不会影响团队的形成时,企业有可能找到更好的匹配。合作者为项目带来的互补的想法、知识、技能、设备和资源可以决定匹配的质量。当然,由于企业人才库的规模、专业化和质量的提高,企业内的发明家对远方合作者的依赖会减少。

假设创新想法产生时具有内在质量  $q$ ,但需要努力程度  $e$  来发展和实现其全部潜力  $v$ 。由于发明家在开始一个项目之前观察到  $q$  的噪音信号,他们会为更高潜力的项目提供更多的努力、时间和资源。但是,项目的成功概率只有  $p_i (i=G, B)$ ,这取决于合作者匹配的质量,其中  $p_G$  表示合作者之间的良好匹配,  $p_B$  表示相对较差的匹配,并且  $p_G > p_B$ 。所以,项目的期望价值可以表示为  $v = p_i q e$ 。

虽然除自身以外的合作者可能提供更好的匹配( $p_G$ ),增加项目成功的可能性,但远距离

合作会增加合作成本,因长距离合作会涉及通行成本的提高,并且复杂信息的远程沟通可能不太有效,面对面的交流才是知识和信息传播的关键驱动力。所以,发明家们面临着在企业内选择较短和较长距离交流导致的通行成本增加之间的权衡。

## 1. 企业单独研发(S)和企业合作研发(C)的对比

企业使用  $e$  的努力单独研发一个项目的预期收益:

$$\Pi_s(e) = p_B q e - C(e) \quad (1)$$

(1)式中: $C(e)$ 指努力成本,假定努力成本是凸函数,且假定为  $C(e) = \frac{\alpha}{2} e^2$ 。

所以由一阶利润最大化条件可得:

$$\frac{d\Pi_s(e)}{de} = p_B q - \alpha e \Rightarrow e_s^* = \frac{p_B q}{\alpha} \Rightarrow \Pi_s^* = \frac{(p_B q)^2}{2\alpha} \quad (2)$$

(2)式中: $e_s^*$  和  $\Pi_s^*$  分别指企业单独研发的最优努力程度以及最优利润。

在更大的范围内,企业找到理想合作者的几率更大,但是长距离的合作会产生额外的差旅费  $T_i \in [0, 1]$ ,假设企业找到最好的合作者的概率为  $Z$ ,同时企业不会找一个比自身单独研发带来的收益更差的合作者。所以长距离合作的期望收益可以表示为:

$$\Pi_c(e, T) = (1-Z) \left( p_B q e_B - \alpha \frac{e_B^2}{1+T_B} - \beta T_B^2 \right) + Z \left( p_C q e_C - \alpha \frac{e_C^2}{1+T_C} - \beta T_C^2 \right) \quad (3)$$

(3)式中: $e_C, e_B, T_C, T_B$  分别表示在好的合作和坏的合作条件下的最优努力和最优差旅费。

$\beta T_i^2$  表示旅行成本,  $\beta$  为距离成本系数。当  $T_i \rightarrow 1$  时,  $\frac{e_i^2}{1+T_i} \rightarrow \frac{e_i^2}{2}$ , 可以将企业单独发明的努力成本看作远距离合作时面临的最小努力成本的一个特例。

为了简单,假定一个项目选择了本地和远方的合作者之后,在不开启一个全新项目的情况下,更换合作者类型的成本太高。同时假设,在为一个项目投入大量精力之前,合作者的匹配质量已经被观测。所以由(3)式的一阶利润最大化条件可得:

$$\Pi_i^* = \frac{(p_i q)^2}{4\alpha} \left( 1 + \frac{(p_i q)^2}{16\alpha\beta} \right) \quad (4)$$

所以长距离合作和企业单独研发的最优收益差距为:

$$\Pi_c^* - \Pi_s^* = (1-Z) \Pi_B^* + Z \Pi_C^* - \frac{(p_B q)^2}{2\alpha} \quad (5)$$

## 2. 通行成本的减少是如何影响企业发明的?

地铁开通带来的通勤时间减少(Gu et al., 2021),导致的通行成本变化,如何影响企业的发明行为? 将  $\theta = \frac{1}{\beta}$  定义为出行便捷度,  $\theta$  的增加可以是由交通基础设施的改善带来的(Catalini et al., 2020),表明创新个体可以以较低的成本和较少的摩擦同远距离的合作者见面。所以相对收益即(5)式对  $\theta$  求导可得:

$$\frac{\partial(\Pi_c^* - \Pi_s^*)}{\partial\theta} = \frac{q^4}{64\alpha^2} [(1-Z)p_B^4 + Zp_C^4] > 0, p_C > p_B \quad (6)$$

因为  $\theta$  对于  $\Pi_s^*$  而言没有影响,企业单独研发不需要出行。但  $\theta$  的改善会导致  $\Pi_c^*$  增加,这符合直觉,交通基础设施的改善会促进研发要素之间的交流。将(6)式对  $q$  求导可得:

$$\frac{\partial(\Pi_c^* - \Pi_s^*)}{\partial\theta\partial q} = \frac{q^3}{16\alpha^2}[(1-Z)p_B^4 + Zp_C^4] > 0 \tag{7}$$

(7)式表明,通行成本的减少将特别有利于高质量的远距离合作(Catalini et al., 2020)。城市地铁开通能够提供更多的出行方式选择,吸引更多的人选择地铁出行,缓解地面交通的使用压力,有效地减少地铁线路附近道路的交通拥堵程度(Gu et al., 2021)。考虑到我国城市道路基本是“中心+环路”蜘蛛网状结构,中心地区的交通状况改善必然会外溢到整个城市,而不会局限于地铁沿线。同时城市地铁开通能有效地释放地面空间,为城市交通基础设施建设提供更多的可能性,提升整个城市的交通基础设施运作效率。所以地铁开通带来的通行成本下降,会促进区域内各创新主体(包括企业、高校、科研机构、政府、金融机构等)的高质量创新合作,从而有效缓解各创新主体之间的信息不对称问题(白俊红、蒋伏心, 2015)。Koh 等(2022)基于北京地铁开通数据,研究发现地铁开通能够显著提升区域内的创新合作水平。

(二)假说提出

上述理论模型表明,地铁开通带来的通行成本下降理论上能够加强区域内各创新主体之间的协同合作,即加强校企联系、银企联系和政企联系等,从而促进企业创新。下文在此基础上提出相应假说。

高校和科研机构是知识创造、技术产生和人才培养的重要载体(白俊红、蒋伏心, 2015),拥有庞大的创新人才队伍和先进的研发设备,掌握着前沿的知识和技术,承担了我国基础研究和应用研究的职能,是促进科技进步的核心推动力。但是,高校和科研机构所做的研究都处在比较早期的阶段,想要最终惠及大众,则需要市场信息的引导和研发资金的支持,而企业凭借自身的优势拥有丰富的市场信息。所以地铁开通带来的通行成本减少能够缩短空间距离,增加企业与高校和科研机构面对面交流的机会,提升企业、高校和科研机构的合作概率,促进产学研融合,有助于实现企业与高校和研发机构之间的优势互补(王岳龙、袁旺平, 2022),帮助企业实现产品创新,促进创新资源优化配置与高效利用。同时企业与企业之间的核心竞争力不同,它们所拥有的资源和市场信息也不同,通过合作可以增强企业控制关键资源的能力,获取先进技术和稀缺资源,促进关键资源的优势互补。而且企业之间的合作,可以将研发费用和经营费用分摊给合作各方,有利于降低企业研发成本和控制创新风险,从而弱化企业对创新成本的重视程度,有效增强企业创新积极性。基于此本文提出:

假说 1:地铁开通可以加强企业与其他企业或者研发机构(高校和研究机构)合作,通过产学研一体化促进企业创新。

企业创新过程具有高投入性、长期性、不确定性等特点,融资约束是企业创新的“拦路虎”(鞠晓生等, 2013;张璇等, 2017)。企业与投资部门之间的信息不对称是企业融资约束产生的一个重要原因,基于此,学者们更多地是从如何降低企业信息不对称的视角来寻求缓解融资约束的途径(张璇等, 2017)。虽然通过信息披露可以降低信息不对称,但研发信息对于

创新者而言尤其重要,为了避免自己的商业机密被竞争对手获取,他们不会选择披露有关研发创新的信息。同时依据企业融资优序理论(Pecking Order),由于债务融资能保证控股权不被转移,企业家更偏好于债务融资而非股权融资。银行凭借其信息优势和专业优势,不仅能更好地评估、筛选和监督企业创新项目,降低企业盲目投资的可能性,而且可以帮助企业优化创新项目的投资组合,分散和降低投资风险,从而提高创新收益等。所以银行信贷的持续供给是缓解企业融资约束的重要渠道,是企业研发重要的外部投入要素(张璇等,2017)

虽然互联网通讯技术发展迅猛,但是在涉及商业机密的信息交流中,银行和企业往往会选择面对面的交流方式,银行对企业创新项目的评估和筛选往往需要进行实地考察,且需要实时监督项目的运作。而企业与银行往往分布在不同的区域,这就使得企业和银行之间信息沟通以及银行监督需要的“鞋底成本”变得极为重要。地铁开通可以缓解交通拥堵,有效释放地面交通基础设施的运行压力(Gu et al., 2021),同时为地面交通基础设施建设提供更多的可能性。这极大地缩减了区域内的通行成本,降低银企之间沟通的“鞋底成本”,加速企业与银行之间的信息往来。理论模型中的(7)式亦表明,地铁开通带来的通行成本下降可以加强企业与银行之间的沟通,缓解企业与银行之间的信息不对称。所以地铁开通能够缓解企业融资约束,促进企业创新。基于此本文提出:

假说2:地铁开通通过加强企业与银行之间的合作,缓解企业融资约束,促进企业创新。

基于新古典经济学的观点,政府的介入可以解决企业创新活动的高风险和外部性导致的“市场失灵”问题,政府可以通过财政补助缓解企业研发投入资金不足的问题,以刺激企业研发积极性。政府补贴可以弥补创新过程中的市场失灵,刺激企业增加创新投入,从而促进企业技术创新活动(Romano, 1989)。创新补助的研发额外性(R&D Additionality)和行为额外性(Behavioural Additionality)是其主要作用机制。创新补助的研发额外性机制认为,政府补助能够直接给企业提供资金缓解企业流动性约束,增加企业研发投入,促进企业研发创新;而创新补助的行为额外性机制认为,创新补助会影响外部投资者的行为决策,从而影响企业研发创新。Lerner(1999)认为企业获得创新补助,可以向外界表明政府机构对企业研发技术能力认定,从而吸引更多的风险投资支持企业研发创新,缓解企业研发创新的外源性融资约束。

政企之间的距离增加了政府的直接监督成本,例如监督者花费在出行上的时间、金钱、精力等。同时政府在决定是否给予企业补贴时也需要进行实地考察。在政府补贴资金使用的监管方面,政府和企业之间的区位差异导致的信息不对称,影响政府对企业补贴使用的监管。在补贴收入配置方面,政企距离导致的信息不对称会影响财政补贴资源的配置。地铁开通带来的通行成本下降极大地缩减了政府和企业之间的空间距离,降低了政府的监督成本,有效地提升了政府的监督效率,加速企业与政府之间的信息往来,缓解企业与政府之间的信息不对称问题,促进政府补贴的合理配置,加强政府对补贴收入的有效监管,从而促进企业创新。基于此本文提出:

假说3:地铁开通可以通过加强企业与政府之间的合作,提高企业获得政府补贴的可能性,促进企业创新产出。

综上,本文的理论机制如图 1 所示:

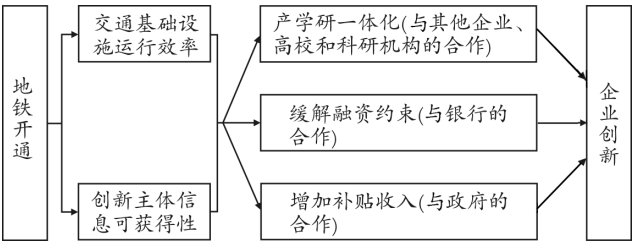


图 1 地铁开通促进企业创新的传导机制

三、变量选取与样本选择

本文使用 1998—2007 年中国工业企业数据库与国家知识产权局专利数据库的匹配数据,之所以没有将数据向后拓展到 2008—2013 年有两个原因:第一,因为中国为应对 2008 年金融危机采取了四万亿投资计划,可能会对随后的企业创新产生一定影响;第二,2008—2013 年中国工业企业数据库存在较大的数据缺失(孙文浩、张杰,2020),比如 2010 年就缺少大量的企业财务数据。陈林(2018)使用“资本结构比对”的方法发现 2010—2011 年的中国工业企业数据库数据存在恶意编造的问题,使得数据真实性存在很大的问题。

被解释变量为企业的发明专利申请数,本文将企业的发明专利申请数加 1 取对数构建被解释变量  $\ln patent$ 。

核心解释变量为地铁开通( $metro$ )。本文借鉴王岳龙和袁旺平(2022)构建城市地铁开通变量,城市当年开通地铁, $metro$  赋值为 1,否则赋值为 0。同时为了方便解释经济学含义,在基准回归中将核心解释变量( $metro$ )替换为城市地铁线路开通长度加 1 取对数的形式( $\ln metroL$ )。

城市层面控制变量( $citycv$ )。为了控制影响城市地铁开通的因素,本文借鉴 Li 等(2016)研究省直管县对经济发展影响的做法,寻找一组合适的控制变量。依据数据可得性和变量的完整性,本文借鉴王岳龙和袁旺平(2022)选择 1999 年城市一般公共预算收入的对数( $\ln brt$ )、1999 年城市生产总值的对数( $\ln GDPt$ )、1999 年城市年末市辖区人口数(单位:万人)的对数( $\ln Popt$ )、是否为省会(直辖市)和副省会城市( $PC1t$ )、1999 年科研综合技术服务业从业人员数(单位:人)的对数( $\ln STEpopt$ )、城市坡度( $\ln St$ )和高程( $\ln Et$ )七个变量。同时将以上七个 1999 年城市层面的变量与时间趋势项交互以此作为城市层面的控制变量。<sup>①</sup>

企业层面控制变量( $companycv$ )。借鉴郭玥(2018)等文献的做法构建企业层面控制变量,企业规模( $\ln Size$ ):企业总资产加 1 取对数;企业年龄( $Age$ ):观测值年份减去企业成立年份;净利润( $\ln Profit$ ):以企业净利润加该变量最小值的绝对值加 1 取自然对数衡量<sup>②</sup>;市场

①由于 1998 年的中国城市面板数据存在较大的缺失,所以本文选用 1999 年的城市指标。同时对这部分结果感兴趣的读者可以向本文作者索取。

②净利润( $\ln Profit$ )的构建借鉴刘诗源等(2020)。由于净利润( $Profit$ )存在负值,直接取对数会丢失部分样本,所以采用  $\ln[1+Profit+abs(\min(Profit))]$  构建。其中  $\min()$  为提取变量的最小值、 $abs()$  是指取绝对值。而之所以加 1 是因为当  $Profit$  取最小值时  $Profit+abs(\min(Profit))$  等于 0。

势力 (*Market*):以主营业务产品销售收入(千元)/主营业务产品销售成本(千元)衡量;总资产利润率(*ROA*):以净利润/资产总额衡量;流动比率(*Liquidity*):以流动资产/流动负债衡量;杠杆率(*Leverage*):以总负债/资产总额衡量。对于企业层面的控制变量,本文为排除极端值干扰,对各变量进行前后 1%的缩尾处理。

表 1 中列出了主要变量的描述性统计。

| 表 1                        |                             | 变量描述性统计   |        |        |        |         |
|----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|--------|--------|---------|
| 变量类型                       | 变量                          | 观测值       | 均值     | 标准差    | 最小值    | 最大值     |
| 被解释变量                      | <i>lnpatent</i>             | 2 108 499 | 0.011  | 0.129  | 0      | 8.658   |
| 核心解释变量                     | <i>metro</i>                | 2 828     | 0.019  | 0.136  | 0      | 1       |
|                            | <i>lnmetroL</i>             | 2 828     | 0.084  | 0.587  | 0      | 5.840   |
| 城市控制变量( <i>citycv</i> )    | <i>lnSt</i>                 | 2 106 812 | 11.680 | 7.061  | 0.640  | 31.943  |
|                            | <i>lnEt</i>                 | 2 106 812 | 27.973 | 15.925 | 2.118  | 79.177  |
|                            | <i>lnbrt</i>                | 1 984 970 | 75.639 | 35.296 | 9.120  | 152.784 |
|                            | <i>PC1t</i>                 | 2 108 499 | 2.127  | 3.396  | 0      | 10      |
|                            | <i>lnPop<sub>t</sub></i>    | 1 984 970 | 30.709 | 15.228 | 2.678  | 70.275  |
|                            | <i>lnGDP<sub>t</sub></i>    | 1 984 970 | 92.163 | 42.115 | 11.777 | 164.904 |
|                            | <i>lnSTE<sub>popt</sub></i> | 1 984 970 | 52.315 | 25.996 | 4.605  | 113.885 |
| 公司控制变量( <i>companycv</i> ) | <i>lnSize</i>               | 2 108 499 | 9.671  | 1.450  | 4.394  | 14.068  |
|                            | <i>lnProfit</i>             | 2 108 499 | 14.831 | 0.657  | 13.879 | 15.758  |
|                            | <i>ROA</i>                  | 2 103 319 | 0.072  | 0.158  | -0.312 | 0.997   |
|                            | <i>Liquidity</i>            | 2 056 100 | 1.862  | 3.051  | 0.114  | 32.011  |
|                            | <i>Leverage</i>             | 2 103 319 | 0.592  | 0.300  | 0      | 1.811   |
|                            | <i>Market</i>               | 2 091 450 | 1.223  | 0.267  | 0.727  | 2.870   |
|                            | <i>Age</i>                  | 2 108 499 | 10.572 | 11.468 | 0      | 51      |

四、实证模型和结果分析

(一) 实证模型

本文所使用的 DID 双固定效应模型如(8)式所示。

$$lnpatent_{jct} = \alpha_0 + \beta_1 metro_{ct} + \lambda citycv_{ct} + \gamma companycv_{jt} + \varphi_c + \mu_t + \delta_{pt} + \varepsilon_{jct} \tag{8}$$

(8)式中：*f*指企业，*c*指城市，*t*指年份，*P*指省份，考虑到核心解释变量是在城市和时间层面变化，所以模型中加入城市( $\varphi_c$ )固定效应(*City\_FE*)和年份( $\mu_t$ )固定效应(*Year\_FE*)。在稳健性估计中又进一步加入企业固定效应(*Cid\_FE*)。同时模型中加入了省份与年份的交互( $\delta_{pt}$ )固定效应(*Province\_Year\_FE*)，以控制省份层面随时间变化的遗漏变量的影响，例如省份层面的 GDP、财政收入、道路建设等同时影响城市地铁开通和企业创新的因素。*citycv<sub>ct</sub>*为城市层面的 7 个控制变量，*companycv<sub>jt</sub>*为企业层面的 7 个控制变量。借鉴 Fu 等(2021)聚类到城市-年层面。预期核心解释变量的系数  $\beta_1$  为正。

(二) 回归结果分析

1. 平行趋势检验

首先进行平行趋势检验。本文使用当前观测年份减去地铁开通年份，定义地铁开通相对时间 *k*，地铁开通当年记为 0，之前为负值，之后为正值，同时设置地铁开通前后各年虚拟

变量,本文将城市地铁开通的前一年定义为基准组。回归模型如(9)式所示,只要事前处理组和控制组不存在显著差异,就可以认为事前平行趋势检验通过。

$$\ln patent_{fct} = \alpha_0 + \phi \sum_{k=-8}^9 treatment_{ck}(k \neq -1) + \lambda citycv_{ct} + \gamma companycv_{ft} + \varphi_c + \mu_t + \delta_{pt} + \varepsilon_{fct}$$

(9)

结果如图 3 双固定 FE 估计所示,处理组和控制组之间的城市创新水平差异在地铁开通前不随时间变化,控制组可以作为处理组的反事实。

2.基准估计结果分析

表 2 列(1)为仅考虑固定效应但不加入任何控制变量的结果,列(2)在列(1)的基础上加入城市层面控制变量。列(3)为基准回归列,该列所对应的核心解释变量系数为 0.007,说明开通地铁城市内企业的创新积极性比未开通地铁城市内企业平均每年多 0.7%。为解释其经济学含义,列(4)将模型(8)的核心解释变量替换为  $\ln metroL_{ct}$ ,用  $c$  城市  $t$  年地铁开通长度加 1 取对数衡量。对于列(4)的结果,该列的估计结果显示  $\ln metroL$  对应的系数为 0.002,且在 1%的统计水平上显著,说明企业创新的地铁开通长度弹性为 0.2。1998—2007 年,样本城市地铁开通线路长度平均增加约 34%,企业发明专利申请数平均增加约 1.8%,这意味着在其他条件不变的情况下,地铁线路长度增长能够解释企业创新水平增幅的 3.8%( $0.002 \times 34 / 1.8$ )左右。在截面上,以 2007 年北京和广州(均开通地铁)为例,2007 年北京市内企业平均发明专利申请数比广州高出 3.4%,线路开通长度比广州高出 4%,这意味着在其他条件不变的情况下,北京和广州城市内企业创新水平差异约 0.2%( $0.002 \times 4 / 3.4$ )都来自两地地铁开通线路长度差异。

表 2 基准回归结果

|                         | (1)                  | (2)                 | (3)                  | (4)                  |
|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                         | $\ln patent$         | $\ln patent$        | $\ln patent$         | $\ln patent$         |
| <i>metro</i>            | 0.013 ***<br>(0.002) | 0.005 **<br>(0.002) | 0.007 ***<br>(0.002) |                      |
| $\ln metroL$            |                      |                     |                      | 0.002 ***<br>(0.000) |
| <i>citycv</i>           | No                   | Yes                 | Yes                  | Yes                  |
| <i>companycv</i>        | No                   | No                  | Yes                  | Yes                  |
| <i>City_FE</i>          | Yes                  | Yes                 | Yes                  | Yes                  |
| <i>Year_FE</i>          | Yes                  | Yes                 | Yes                  | Yes                  |
| <i>Province_Year_FE</i> | Yes                  | Yes                 | Yes                  | Yes                  |
| Obs.                    | 2 110 538            | 1 985 119           | 1 928 586            | 1 928 586            |
| $R^2$                   | 0.000                | 0.000               | 0.032                | 0.032                |

注:表 2 保留小数点后三位小数,括号内为标准误,同时聚类到城市-年层面,\*表示  $p < 0.10$ ,\*\*表示  $p < 0.05$ ,\*\*\*表示  $p < 0.01$ 。下同。

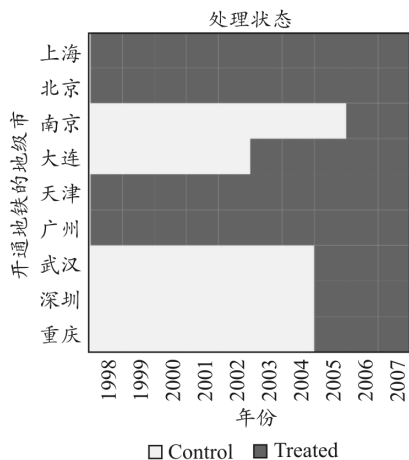
3.稳健性检验

(1)考虑交叠影响的稳健性估计量

Goodman-Bacon(2021)认为在交叠的情形下使用 DID 的双固定效应模型(TWFE)可能会导致估计偏误。本文通过绘制处理效应状态图即图 2(仅绘制了地铁开通城市样本),直

观地说明本文受到负权重干扰的程度。本文的企业样本涉及 287 个地级市,其中有 9 个地级市在 1998—2007 年期间开通地铁,剩下的 278 个地级市在样本期间未开通地铁,即控制组占比较大,在样本期只有北京、上海、广州和天津 4 个城市一直处于处理状态,这极大地缓解了负权重对估计结果的干扰。

本文的 DID 属于政策逐年实施的交叠 DID 范畴,所以双固定效应的基准回归结果可能存在处理效应异质性的干扰,为此我们借鉴 Cengiz 等 (2019) 的模型,使用堆叠 (Stacking) 的方式修正双固定效应的 DID 估计量。图 3 是估计结果展示图,表明城市地铁在交叠开通的情形下,仍然对企业创新有显著的正向影响。正是因为本文考虑交叠情形的估计结果与之前双固定效应结果很类似,后面的异质性和机制分析我们仍然采用双固定效应估计。



注:本文的样本共 287 个地级市,这里仅展示 1998—2007 年之间开通地铁的城市状态。

图 2 处理效应状态图

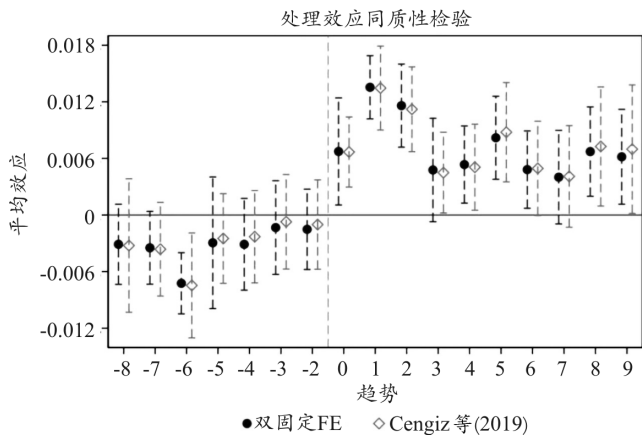


图 3 各种估计量结果对比

(2) 更换数据样式

考虑到样本期间开通地铁的城市有 9 个,且这些城市线路的覆盖面相对有限,并非城市内所有企业都能享受地铁开通带来的直接便利,本文借鉴刘修岩等 (2022) 的做法,以地铁站点和工业企业的经纬度为基础,检验地铁对周围企业的影响效应,以离站点较近的企业为处

理组,较远的企业为控制组,进一步完善本文的结果。具体做法如下:第一,根据经纬度测算同一个城市内的企业和地铁站点的距离,并保留每家企业周围最近站点的数据。第二,以站点十公里以内的企业为样本,并基于(10)式检验地铁站点开通对企业创新的影响是否随距离的增加而减少,结果如表3列(1)所示,此时 $Y_{jct}$ 使用企业所有类型专利申请数加1取对数 $\ln totalpatent_{jct}$ 表示, $metro_{ji}$ 为 $Juli \times post_{ji}$ ( $Juli$ 表示企业和站点之间的距离, $post$ 为虚拟变量,站点开通后取1),该变量所对应的显著性负结果证实了上述观点。第三,在第二步的基础上考察地铁站点开通对企业创新的影响随距离的增加而减少的程度在何时出现拐点,为此本文在表3列(1)的估计基础上加入距离的二次项与 $post$ 的交互项( $Juli2 \times post$ ),根据表3列(2)估计的一次项和二次项的系数可以算出拐点大约在2.5公里左右,这与Gu等(2021)所采用的标准类似。第四,以站点0—2.5公里内的企业为处理组,2.5—4公里内企业为控制组,进行检验,此时 $Y_{jct}$ 使用企业所有类型专利申请数加1取对数 $\ln totalpatent_{jct}$ 表示, $metro_{ji}$ 为 $Juli2\_5 \times post_{ji}$ ( $Juli2\_5$ 表示企业是否在站点2.5公里以内),结果如表3列(3)所示。第五,上述检验在一个更细致的层面判断了地铁开通能够提升企业创新水平,为进一步讨论地铁开通的作用,本文使用城市内的校企合作指标作为(10)式的被解释变量①。

$$Y_{jct} = \alpha_0 + \beta_1 metro_{ji} + \gamma company_{jct} + \varphi_c + \mu_t + \delta_{pt} + \varepsilon_{jct}$$

(10)

根据合作的企业和高校地址信息判断合作专利是否为同城合作专利,然后将同城校企合作专利在企业-年层面加总后加1取对数,以测算城市内的校企合作程度( $\ln tchzzl$ )。同时以站点0—2.5公里内的企业为处理组,2.5—4公里内企业为控制组,此时 $Y_{jct}$ 为 $\ln tchzzl_{ji}$ , $metro_{ji}$ 为 $Juli2\_5 \times post_{ji}$ ,结果如表3列(4)所示。由回归结果可知,地铁开通显著提升了地铁站点附近企业同同一城市内高校的专利合作数。

| 表 3                    | 企业站点距离检验              |                       |                      |                    |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
|                        | (1)                   | (2)                   | (3)                  | (4)                |
|                        | $\ln totalpatent$     | $\ln totalpatent$     | $\ln totalpatent$    | $\ln tchzzl$       |
| $Juli \times post$     | -0.003 ***<br>(0.001) | 0.010 ***<br>(0.004)  |                      |                    |
| $Juli2 \times post$    |                       | -0.002 ***<br>(0.000) |                      |                    |
| $Juli2\_5 \times post$ |                       |                       | 0.021 ***<br>(0.008) | 0.001 *<br>(0.001) |
| $Company_{jct}$        | Yes                   | Yes                   | Yes                  | Yes                |
| $City\_FE$             | Yes                   | Yes                   | Yes                  | Yes                |
| $Year\_FE$             | Yes                   | Yes                   | Yes                  | Yes                |
| $Province\_Year\_FE$   | Yes                   | Yes                   | Yes                  | Yes                |
| Obs.                   | 161 639               | 168 361               | 111 277              | 96 197             |
| $R^2$                  | 0.070                 | 0.070                 | 0.078                | 0.080              |

注:聚类到站点层面。

①由于我们缺乏工商企业注册数据,这使得我们难以拿到除高校以外的其他机构的地址信息。虽然可以根据机构名称利用百度API以及企查查等网站获取坐标和地址信息,但是由于本文涉及的样本为1998—2007年,属于较为早期的样本,现今存在大量的机构改名和注销导致上述办法拿到的数据非常不精确。所以本文仅测度了校企合作专利数。

### (3) 更换变量与模型

替换被解释变量。第一,考虑到本文的被解释变量为专利申请数,所以稳健性估计首先将核心解释变量进行滞后一期处理。结果如表4列(1)所示。第二,考虑到被解释变量存在较多的零值,所以本文使用反双曲正弦函数(IHS)重新衡量被解释变量。估计结果为表4的列(2)。同时借鉴 Andrews(2020),直接使用专利申请数的对数作为被解释变量。当专利申请数为0时,一个虚拟变量(*ZeroPat*)被设置为1,且专利申请数的对数被替换为0,结果如表4列(3)所示,说明本文的估计结果相对稳健。

加入企业固定效应(*Cid\_FE*),以吸收企业层面不随时间变化的因素的干扰,例如企业文化等影响因素。根据表4列(4)所示,本文的基准估计结果稳健。

改变聚类标准误,借鉴 Fu 等(2021),本文将标准误聚类到更高的城市维度。根据表4列(5)所示,聚类到城市层面后标准误变大,结果依然显著,说明本文结果稳健。

### (4) 排除其他可能的影响因素干扰

排除宏观层面冲击的影响,例如2001年中国加入WTO和1998年中国国有企业改革。本文首先加入了企业所在行业和时间交互固定效应(*Industry\_Year\_FE*),用来捕捉行业层面随时间变化因素,结果如表4列(6)所示。其次,本文借鉴 Chen 等(2021)在基准模型中加入了行业年度层面的国有企业份额(*ShareSOEs*)控制变量,解决1998年中国国有企业改革对研究结果的影响,结果如表4列(7)所示。根据列(6)和(7)的结果可知本文的结果稳健。

排除其他因素的干扰。第一,孙文浩和张杰(2020)等研究均表明高铁的建设对企业创新水平存在显著的影响。为了排除高铁开通对结果的干扰,本文在基准模型中加入高铁开通的虚拟变量(*GT*)以控制高铁建设的影响,结果如表5列(1)所示。第二,为了排除城市互联网发展对结果的干扰,本文借鉴黄群慧等(2019)使用1999年城市市辖区年末邮电局数和本地电话用户数量衡量地区互联网发展程度。将上述两个非时变变量分别与时间趋势项进行交互,构建 *Internet1* 和 *Internet2* 变量,然后分别进行控制,结果如表5中的列(2)和列(3)所示。第三,为了排除城市内其他交通基础设施建设对结果的干扰,本文分别使用1999年城市内每万人拥有公共汽车数和1999年地级市的公路里程数衡量,然后与时间趋势项进行交互分别构建 *Transport1* 和 *Transport2*,回归结果如表5中的列(4)和列(5)所示。回归结果表明本文的估计稳健。

### (5) 删除特殊样本

第一,考虑到北京、上海、广州、天津四个城市早在1998年之前就已经开通地铁,所以将这四个城市的样本删除进行稳健性检验。根据表5列(6)可知,本文的估计结果相对稳健。

第二,考虑到企业可能会发生选择偏误,它们可能会为了获得更好的环境而选择地铁开通城市。借鉴 Fu 等(2021),排除样本中发生所在地改变的企业观测值,结果如表5列(7)所示,结果表明本文的估计结果相对稳健。

第三,本文在控制变量选择过程中已经尽可能地控制了影响地铁开通的变量,例如1999年的城市GDP、1999年的财政收入、1999年的城市人口、是否为直辖市以及(副)省会城市

等变量。但是出于稳健性考虑,本文将样本城市限制在直辖市、省会和副省会城市进行考虑,结果如表 5 列(8)所示,结果表明本文的估计结果相对稳健。

| 表 4                     |                                 | 稳健性检验 1                         |                                  |                                |                               |                                 |                                  |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                         | (1)                             | (2)                             | (3)                              | (4)                            | (5)                           | (6)                             | (7)                              |
|                         | <i>FInpatent</i>                | <i>IHS</i>                      | $\ln(y)$                         | <i>Inpatent</i>                | <i>Inpatent</i>               | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                  |
| <i>metro</i>            | 0.010 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.001 <sup>***</sup><br>(0.000) | 0.004 <sup>***</sup><br>(0.001)  | 0.007 <sup>**</sup><br>(0.003) | 0.007 <sup>*</sup><br>(0.004) | 0.006 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.007 <sup>***</sup><br>(0.002)  |
| <i>ShareSOEs</i>        |                                 |                                 |                                  |                                |                               |                                 | -0.021 <sup>***</sup><br>(0.001) |
| <i>ZeroPat</i>          |                                 |                                 | -0.569 <sup>***</sup><br>(0.014) |                                |                               |                                 |                                  |
| <i>citycv</i>           | Yes                             | Yes                             | Yes                              | Yes                            | Yes                           | Yes                             | Yes                              |
| <i>companycv</i>        | Yes                             | Yes                             | Yes                              | Yes                            | Yes                           | Yes                             | Yes                              |
| <i>City_FE</i>          | Yes                             | Yes                             | Yes                              | Yes                            | Yes                           | Yes                             | Yes                              |
| <i>Cid_FE</i>           | No                              | No                              | No                               | Yes                            | No                            | No                              | No                               |
| <i>Year_FE</i>          | Yes                             | Yes                             | Yes                              | Yes                            | Yes                           | Yes                             | Yes                              |
| <i>Province_Year_FE</i> | Yes                             | Yes                             | Yes                              | Yes                            | Yes                           | Yes                             | Yes                              |
| <i>Industry_Year_FE</i> | No                              | No                              | No                               | No                             | No                            | Yes                             | No                               |
| Obs.                    | 1 414 062                       | 1 928 586                       | 1 928 586                        | 1 805 168                      | 1 928 586                     | 1 928 582                       | 1 928 586                        |
| <i>R</i> <sup>2</sup>   | 0.028                           | 0.030                           | 0.303                            | 0.001                          | 0.033                         | 0.028                           | 0.033                            |

注:表 4 列(5)聚类到城市层面。

| 表 5                     |                                 | 稳健性检验 2                        |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                         | (1)                             | (2)                            | (3)                             | (4)                             | (5)                             | (6)                             | (7)                             | (8)                            |
|                         | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                 | <i>Inpatent</i>                |
| <i>metro</i>            | 0.006 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.006 <sup>**</sup><br>(0.002) | 0.007 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.004 <sup>**</sup><br>(0.002)  | 0.006 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.012 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.007 <sup>***</sup><br>(0.002) | 0.004 <sup>**</sup><br>(0.002) |
| <i>GT</i>               | -0.001 <sup>**</sup><br>(0.000) |                                |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                |
| <i>Internet1</i>        |                                 | 0.000 <sup>**</sup><br>(0.000) |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                |
| <i>Internet2</i>        |                                 |                                | 0.000<br>(0.000)                |                                 |                                 |                                 |                                 |                                |
| <i>Transport1</i>       |                                 |                                |                                 | 0.000 <sup>***</sup><br>(0.000) |                                 |                                 |                                 |                                |
| <i>Transport2</i>       |                                 |                                |                                 |                                 | 0.000 <sup>***</sup><br>(0.000) |                                 |                                 |                                |
| <i>citycv</i>           | Yes                             | Yes                            | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                            |
| <i>companycv</i>        | Yes                             | Yes                            | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                            |
| <i>City_FE</i>          | Yes                             | Yes                            | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                            |
| <i>Year_FE</i>          | Yes                             | Yes                            | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                            |
| <i>Province_Year_FE</i> | Yes                             | Yes                            | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                             | Yes                            |
| Obs.                    | 1 805 168                       | 1 928 586                      | 1 928 586                       | 1 928 586                       | 1 928 586                       | 1 668 021                       | 1 924 730                       | 699 283                        |
| <i>R</i> <sup>2</sup>   | 0.002                           | 0.033                          | 0.033                           | 0.033                           | 0.033                           | 0.032                           | 0.033                           | 0.040                          |

## (6) 安慰剂检验

为了排除结果偶然显著性问题,使基准估计结果更可信,本文通过给每个城市随机分配地铁开通时间,进行安慰剂检验。具体来讲,先给每一个城市在样本期内随机分配一个地铁开通年份,将上述过程重复 1 000 次,由此得到 1 000 次估计的 DID 系数值和  $t$  值。本文绘制了随机抽样估计系数值的概率密度图。图 4 显示,估计系数基本服从以 0 为中心的正态分布,基准结果值位于大部分随机分配结果的右边,且远离随机抽样估计结果,因此本文的基准回归结果是可信的。

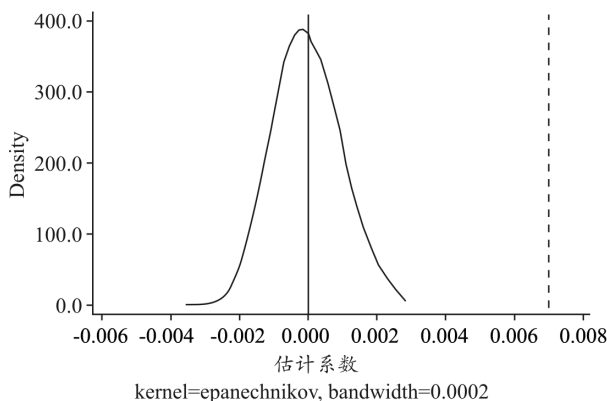


图 4 安慰剂检验结果

## 4. 机制检验

前文的理论模型发现,地铁开通带来的通行成本下降能够促进区域内各创新主体的创新合作。实证研究发现,地铁开通后企业创新水平显著上升。这里进一步检验地铁开通带来的区域内各创新主体的联系增加效应,即校企联系增加带来的产学研融合、银企联系增加带来的企业融资约束缓解和政企联系加强带来的补贴收入增加如何影响企业创新。基于本文的假说,本部分将验证地铁开通是否会提升高校和企业之间的产学研合作、缓解企业的融资约束以及增加补贴收入进而促进企业创新。根据数据可得性,三个机制变量的选取与数据原理如下:

补贴收入 ( $\ln Subsidy$ ), 本文使用中国工业企业数据库中企业对应的补贴收入加 1 后取对数表示,用来反映政府和企业之间的联系。

融资约束 ( $SA$ ), 借鉴鞠晓生等 (2013), 依据企业财务报告使用企业规模和企业年龄两个随时间变化不大,且具有很强外生性的变量构建  $SA$  指数<sup>①</sup>。  $SA$  指数为负,其值越小,说明企业受到的融资约束程度越严重。

产学研合作 ( $\ln Cxyind$ ), 考虑到前期规划的影响,很多城市的高铁站点远离城市中心 (王春杨等,2020),这就导致城市与城市之间的通行往往不只是依靠高铁这类连接城市与城市之间的工具,而更多的是多种交通工具的配合使用。因此,城市内地铁开通所带来的通勤时间减少也有利于缩减城市之间的通行时间,从而地铁开通亦可能加强城市与城市之间的

①  $SA$  指数计算公式为:  $-0.737 \times \ln Size + 0.043 \times (\ln Size)^2 - 0.04 \times Age$ 。

产学研合作。基于这类考虑和数据局限性问题的考虑,本文借鉴叶菁菁等(2021)的测量方式,度量企业和高校以及其他企业的创新合作程度。依据专利申请信息中的专利申请人进行识别,若申请人信息中含有两个及以上的机构名称则将该专利定义为合作专利。然后将合作专利在企业-年层面加总,之后对加总数值加1取对数。

关于地铁开通对企业创新影响的三个层面的内在机制检验结果如表6列(1)—(3)所示,本部分的实证模型设定是在模型(8)的基础上将被解释变量分别替换为机制变量。结果显示城市地铁开通对企业的融资约束、政府补贴收入和产学研合作的影响显著为正。实证结果证实了地铁开通能够通过缓解企业融资约束、增加企业补贴收入和促进产学研融合等途径提升企业创新积极性。

| 表 6              | 机制检验结果    |           |           |           |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                  | (1)       | (2)       | (3)       | (4)       |
|                  | SA        | lnSubsidy | lnCxyind  | lnpatent  |
| metro            | 0.005 *   | 0.083 *   | 0.002 *** | 0.005 *** |
|                  | (0.002)   | (0.044)   | (0.000)   | (0.002)   |
| SA               |           |           |           | 0.111 *** |
|                  |           |           |           | (0.006)   |
| lnSubsidy        |           |           |           | 0.012 *** |
|                  |           |           |           | (0.000)   |
| lnCxyind         |           |           |           | 0.754 *** |
|                  |           |           |           | (0.018)   |
| citycv           | Yes       | Yes       | Yes       | Yes       |
| companycv        | Yes       | Yes       | Yes       | Yes       |
| City_FE          | Yes       | Yes       | Yes       | Yes       |
| Year_FE          | Yes       | Yes       | Yes       | Yes       |
| Province_Year_FE | Yes       | Yes       | Yes       | Yes       |
| Obs.             | 1 928 586 | 1 926 858 | 1 928 586 | 1 926 858 |
| R <sup>2</sup>   | 0.971     | 0.069     | 0.009     | 0.218     |

注:融资约束SA为负。

为了量化每个机制的解释力度,本文借鉴 Song 等(2018)的分解方式,具体操作如下:首先本文将表6第(1)—(3)列每个机制变量的估计系数分别定义为 $\psi_1$ 、 $\psi_2$ 、 $\psi_3$ 。然后,将三个机制变量加入到基准模型即(11)式中进行回归,结果如表6第(4)列所示,将核心解释变量的系数定义为 $\psi_4$ ,三个机制变量的对应系数分别定义为 $\xi_1$ 、 $\xi_2$ 、 $\xi_3$ 。最后,依据(12)式求出总效应,此时 $\psi_j \xi_j / \psi$ (其中 $j=1,2,3$ )表示第 $j$ 个机制的解释力。

$$\ln patent_{fct} = \alpha_0 + \psi_4 metro_{ct} + \xi_1 SA_{fct} + \xi_2 lnSubsidy_{fct} + \xi_3 lnCxyind_{fct} + \lambda citycv_{ct} + \gamma companycv_{fct} + \varphi_c + \mu_t + \delta_{Pt} + \varepsilon_{fct}$$

(11)

$$\psi = \psi_4 + \sum_{j=1}^3 \psi_j \xi_j$$

(12)

基于上述步骤本文分别计算了三个机制变量的解释力度,如表7所示。依据表7,产学研合作机制的解释力度最大,这与我国大力推行产学研融合的举措一致。同时银企合作、政企合作和产学研合作的解释力度之和为38%,还不到50%,其主要原因在于本文探讨的是地

铁开通对企业创新影响的非人力资本机制,以说明地铁开通带来的政企联系、校企联系、银企联系加强,是企业创新不可忽视的作用机制,完善了交通基础设施建设对企业创新影响的微观机理。而人才作为企业创新的关键要素(孙文浩、张杰,2020),地铁开通带来的人才充分流动显然是更具决定性的因素。但除了 2004 年,其他年份的中国工业企业数据库缺少企业人力资本数据,因而由于数据的局限性,本文并未讨论地铁开通的人力资本流动机制。尽管如此,38%的解释力度也足以说明协同创新是地铁开通影响企业创新的一个不可忽视的作用机制。

| 表 7                   | 机制解释力 |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|
|                       | 银企合作  | 政企合作  | 产学研合作 |
| $\psi_j$              | 0.005 | 0.083 | 0.002 |
| $\xi_j$               | 0.110 | 0.003 | 0.754 |
| $\psi$                | 0.008 | 0.008 | 0.008 |
| $\psi_j \xi_j / \psi$ | 6.9%  | 12.4% | 18.7% |

5. 异质性检验

(1) 地铁开通数

本部分首先构建城市地铁开通数变量  $Nkt$ ,接着将  $Nkt$  和  $metro$  的交互项  $metro \times Nkt$  加入(8)式,识别地铁开通数不同所导致的异质性影响。由表 8 列(1)可知,交互项  $metro \times Nkt$  的系数为 0.003,说明城市每多增加一条地铁,企业发明专利申请数平均可以提升约 0.3%。其主要原因在于,地铁主要服务于城市中心城区和城市总体规划确定的重点地区,导致很多城市的地铁线路往往围绕城市中心建设,而高铁站点和飞机场则大多远离城市中心,所以地铁网络的完善可以提升内外交通转换的流利程度(Gu et al.,2021),强化内外交通的互联互通,提升区域内各创新主体的协同创新效率。

(2) 不同研发强度的企业

在微观层面,对于创新禀赋不同的企业,地铁开通对城市内企业创新积极性的促进作用是否会产生不同的影响? 本文借鉴孙文浩和张杰(2020)构建企业创新差距指标,使用企业专利申请数来代表企业创新强度,具体见(13)式。

$$pat\_firm\_gap_{cmft} = \frac{leaderpat_{cmt} - otherpat_{cmft}}{leaderpat_{cmt}} \tag{13}$$

(13)式中: $pat\_firm\_gap_{cmft}$ 是指在年份  $t$  企业  $f$  在  $c$  城市 3 位码产业  $m$  中的创新强度差距值, $leaderpat_{cmt}$ 和  $otherpat_{cmft}$ 分别表示  $c$  城市 3 位码产业  $m$  中在年份  $t$  创新强度最大的企业的创新强度以及在  $c$  城市 3 位码产业  $m$  中年份  $t$  的其他单个企业  $f$  的创新强度。借鉴 Andrews(2020),考虑到计算过程中可能出现一个城市内所有企业均没有专利的情况,本文将这部分样本删除。然后依据  $pat\_firm\_gap_{cmft}$  值(越小说明创新强度越高),以 50 分位数为分界点构建  $innoFl$  虚拟变量,将企业划分为高创新企业和低创新企业。然后将  $innoFl$  和  $metro$  的交互项  $metro \times innoFl$  加入(8)式。由表 8 列(2)可知,创新禀赋越强的企业受地铁开通的正向影响越大。创新能力越强的企业更容易接受外部知识、更能提出新的研究方向,从而倾向于参与协同创新。

表 8 异质性检验结果

|                  | (1)                 | (2)                   |
|------------------|---------------------|-----------------------|
|                  | Inpatient           | Inpatient             |
| metro            | 0.003<br>(0.003)    | 0.555 ***<br>(0.016)  |
| metro×Nkt        | 0.003 **<br>(0.002) |                       |
| metro×innoFl     |                     | -0.564 ***<br>(0.016) |
| citycv           | Yes                 | Yes                   |
| companycv        | Yes                 | Yes                   |
| City_FE          | Yes                 | Yes                   |
| Year_FE          | Yes                 | Yes                   |
| Province_Year_FE | Yes                 | Yes                   |
| Obs.             | 1 928 586           | 869 051               |
| R <sup>2</sup>   | 0.032               | 0.103                 |

六、结论和政策建议

(一) 结论

本文使用 1998—2007 年中国工业企业数据库与国家知识产权局专利数据库的匹配数据,运用双重差分模型研究地铁开通对企业创新的影响机制。研究发现,地铁开通显著提升了企业创新积极性,能解释同时期城市内企业创新水平变化的 3.8%,且在更换变量与模型、删除特殊样本的影响等稳健性检验后,结果依旧稳健。机制分析表明,地铁开通加速了信息要素流动,由此带来的融资约束缓解效应、政府与企业联系效应,尤其是对产学研合作的促进作用,是解释其提高企业创新水平的重要机制。异质性分析发现,地铁建设越完善的城市内企业和初始创新禀赋越强的企业,地铁开通对企业创新的正向作用越强。

(二) 政策建议

第一,促进城市地铁线路网络化,推动我国实体经济高质量发展,为中国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段助力。地铁开通能有效地释放地面空间,为城市建设提供更多的可能性。同时地铁开通对城市企业创新积极性的正外部性影响会随着地铁线路的增多而提升,因此应加快地铁城市的线路网络化进程,提升城市交通基础设施的运行效率,降低全社会流通成本,推动社会经济发展。发挥地铁网络化对信息传播的促进作用,调动各创新主体参与协同创新的积极性,加速企业、高校、金融机构和政府协同创新网络的构建,充分发挥各自优势,同时配合完善协同创新的制度环境,推动“政产学研金”有机结合,拓展产业高质量发展的创新驱动路径。

第二,提升地铁城市的服务质量,降低信息和沟通成本。地铁往往由城市中心向外辐射,而连接不同城市的高铁站点和飞机场则大多远离城市中心,使得内外交通转换存在困难,极大地限制了地铁正向效应的发挥。因此,应加快内外交通的互联互通,加快以轨道交通为引领的多枢纽交通体系构建,促进要素流动,提升要素配置效率,发挥市场需求对

创新资源的合理配置作用,促进创新要素有序流动和合理配置,加速全国统一大市场的形成。

第三,由于地铁建设成本巨大,而本文机制分解部分发现,产学研合作是地铁开通促进企业创新的主要渠道,因此为有效利用财政资源,在城市地铁建设初期可以考虑在合理利用地铁辐射范围的前提下,将更多的企业和高校(研究机构)串联,促进产业园区、高校实现产城、产学的快速联通,加速这类创新主体之间的信息往来,更好地发挥知识溢出作用,推动产学研融合,助力企业研发创新。

### 参考文献:

- 1.白俊红、蒋伏心,2015:《协同创新、空间关联与区域创新绩效》,《经济研究》第7期。
- 2.陈林,2018:《中国工业企业数据库的使用问题再探》,《经济评论》第6期。
- 3.郭玥,2018:《政府创新补助的信号传递机制与企业创新》,《中国工业经济》第9期。
- 4.黄群慧、余泳泽、张松林,2019:《互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验》,《中国工业经济》第8期。
- 5.鞠晓生、卢荻、虞义华,2013:《融资约束、营运资本管理与企业创新可持续性》,《经济研究》第1期。
- 6.刘丹、闫长乐,2013:《协同创新网络结构与机理研究》,《管理世界》第12期。
- 7.刘诗源、林志帆、冷志鹏,2020:《税收激励提高企业创新水平了吗?——基于企业生命周期理论的检验》,《经济研究》第6期。
- 8.刘修岩、王峤、吴嘉贤,2022:《城市快速轨道交通发展与企业创新》,《世界经济》第7期。
- 9.孙文浩、张杰,2020:《高铁网络能否推动制造业高质量创新》,《世界经济》第12期。
- 10.王春杨、兰宗敏、张超、侯新烁,2020:《高铁建设、人力资本迁移与区域创新》,《中国工业经济》第12期。
- 11.王岳龙、袁旺平,2022:《地铁开通、知识溢出与城市创新——来自中国289个地级市层面的证据》,《经济科学》第2期。
- 12.叶菁菁、周骁遥、陈实,2021:《基础研究投入的创新转化——基于国家自然科学基金资助的证据》,《经济学(季刊)》第21卷第6期。
- 13.张璇、刘贝贝、汪婷、李春涛,2017:《信贷寻租、融资约束与企业创新》,《经济研究》第5期。
- 14.Andrews, M. 2020. "How Do Institutions of Higher Education Affect Local Invention? Evidence from the Establishment of U.S. Colleges." SSRN Working Paper, No.3072565.
- 15.Benmelech, E., N. Bergman, and A. Seru. 2021. "Financing Labor." *Review of Finance* 25(5): 1365-1393.
- 16.Catalini, C., C. Fons-Rosen, and P. Gaule. 2020. "How Do Travel Costs Shape Collaboration?" *Management Science* 66(8): 3340-3360.
- 17.Cengiz, D., A. Dube, A. Lindner, and B. Zipperer. 2019. "The Effect of Minimum Wages on Low-wage Jobs." *Quarterly Journal of Economics* 134(3): 1405-1454.
- 18.Chen, S. Y., H. Song, and C. Y. Wu. 2021. "Human Capital Investment and Firms' Industrial Emissions: Evidence and Mechanism." *Journal of Economic Behavior & Organization* 182: 162-184.
- 19.Dong, X., S. Zheng, and M. E. Kahn. 2020. "The Role of Transportation Speed in Facilitating High Skilled Teamwork across Cities." *Journal of Urban Economics* 115, 103212.
- 20.Fu, S., V. B. Viard, and P. Zhang. 2021. "Air Pollution and Manufacturing Firm Productivity: Nationwide Estimates for China." *The Economic Journal* 131(640): 3241-3273.
- 21.Goodman-Bacon, A. 2021. "Difference-in-Differences with Variation in Treatment Timing." *Journal of Econometrics* 225(2): 254-277.
- 22.Gu, Y., C. Jiang, J. Zhang, and B. Zou. 2021. "Subways and Road Congestion." *American Economic Journal*:

*Applied Economics* 13(2): 83–115.

23.Hansen, W. 1959. “How Accessibility Shapes Land Use.” *Journal of the American Institute of Planners* 25(2): 73–76.

24.Koh, Y., L. Jing, and J. Xu. 2022. “Subway, Collaborative Matching, and Innovation.” *Review of Economics and Statistics*, 1–45.

25.Kong, D., C. Lin, L. Wei, and J. Zhang. 2022. “Information Accessibility and Corporate Innovation.” *Management Science* 68(11):7837–7860.

26.Lerner, J. 1999. “The Government as Venture Capitalist: The Long–Run Impact of the SBIR Program.” *Journal of Business* 72(3): 285–318.

27.Li, P., Y. Lu, and J. Wang. 2016. “Does Flattening Government Improve Economic Performance? Evidence from China.” *Journal of Development Economics* 123: 18–37.

28.Li, S., Y. Liu, A. Purevjav, and L. Yang. 2019. “Does Subway Expansion Improve Air Quality?” *Journal of Environmental Economics and Management* 96: 213–235.

29.Romano, R. E. 1989. “Aspects of R&D Subsidization.” *Quarterly Journal of Economics* 104(4): 863–873.

30.Song, H., J. Gong, and Y. Lu. 2018. “The Effect of Teacher Gender on Students’ Academic and Noncognitive Outcomes.” *Journal of Labor Economics* 36(3): 743–778.

Metro Opening, Collaboration and Enterprise Innovation

Wang Yuelong<sup>1,3</sup> and Yuan Wangping<sup>2,3</sup>

(1: Center for Regulation & Competition, Jiangxi University of Finance and Economics;

2: School of Economics, Nankai University;

3: School of Applied Economics, Jiangxi University of Finance and Economics)

**Abstract:** This paper investigates the impact mechanism of metro opening on enterprise innovation from the perspective of collaboration. Theoretical studies show that metro opening enhances enterprise innovation level by reducing the costs of transportation and strengthening cooperation between enterprises and related innovation subjects such as financial institutions, universities and research institutes, and governments. The empirical results show that the opening of metro significantly increases the innovation motivation of enterprises and explains 3.8% of the changes in the innovation level of enterprises in the same period. The reduction of transportation costs brought by the opening of metro prompts the cooperation with banks and governments, especially the cooperation with universities, research institutions and other enterprises in industry–university–research, which is an important way to explain how metro opening enhances enterprise innovation. Heterogeneity analysis finds that the positive effect of metro opening on firm innovation is stronger for firms in cities with better metro construction, and for firms with stronger initial innovation endowments. This paper provides empirical evidence on how the government can use metro networks to guide the rational flow of factors and thus promote high–quality economic development in China.

**Keywords:** Metro Opening, Collaboration, Information Asymmetry, High Quality Development

**JEL Classification:** O18, O31, R41

(责任编辑:彭爽)