



数量经济技术经济研究

Journal of Quantitative & Technological Economics

ISSN 1000-3894, CN 11-1087/F

《数量经济技术经济研究》网络首发论文

题目： 高校基础研究创新提升路径研究：基于本地交流成本的视角
作者： 冷萱，李涵，何佳鑫
DOI： 10.13653/j.cnki.jqte.20240914.001
网络首发日期： 2024-09-14
引用格式： 冷萱，李涵，何佳鑫. 高校基础研究创新提升路径研究：基于本地交流成本的视角[J/OL]. 数量经济技术经济研究.
<https://doi.org/10.13653/j.cnki.jqte.20240914.001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

高校基础研究创新提升路径研究：基于本地交流成本的视角

冷萱 李涵 何佳鑫^①

摘要: 基础研究创新关乎国家经济增长内生动力，如何推动基础研究创新是中国式现代化进程中迫切需要回答的问题。本文以地铁开通为准自然实验，使用双重差分模型研究本地交流成本降低对高校基础研究创新的影响及作用机制。本文收集了 2006~2020 年中国高校分学科的基础研究产出指标，实证研究发现地铁开通使得该城市对应高校学科层面的基础研究产出显著提升了约 4%，动态效应表明这一效果随着时间的推移在逐步强化。机制分析表明，城市地铁通过降低本地交流成本促进学术交流和科学合作，最终提升了基础研究产出。在进行一系列稳健性检验后，本文的结果依然稳健。本文的研究为推动高校基础研究创新提供了参考，也为理解交通强国产生的创新效应提供了独特的视角。

关键词: 面对面交流 本地交流成本 科学合作 高校创新

中图分类号: F062.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3894 (2024) 10-0111-20

一、引言

党的二十大报告再次提出要深入实施创新驱动发展战略^①。党的二十届三中全会还指出要改进科技计划管理，强化基础研究等领域前瞻性、引领性布局。基础研究作为整个科学体系的源头^②，对于提升一个国家整体的创新水平和解决关键技术问题有着决定性的作用。推动基础研究创新及成果转化关乎国家经济增长内生动力，对任何一个国家的发展和都显得尤为重要（张杰和白铠瑞，2022；胡凯和王炜哲，2023）。基础研究的水平和实力决定着一个国家的发展和转型升级。因此，如何推动基础研究创新是中国式现代化进程中迫切需要回答的问题，也是进一步深化改革的内容之一。在基础研究和应用研究的创新过程中，重要的是研究人员之间的互动，尤其是面对面交流（Catalini 等，2020；Rosenthal 和 Strange，2020）。尽管随着数字技术的发展，互联网使得研究人员在线交流的效率提升，但在线交流无法很好地传播隐性知识，甚至可能对创新质量产生负面影响（Brucks 和 Levav，2022）。因此，降低面对面交流成本对创新具有重要的推动作用（Dong 等，2020；Moretti，2021；冷萱和李涵，2022）。

降低交流成本并不容易，存在制度、环境和地理距离等各方面因素的阻碍。消除这些阻碍因素，不仅有助于知识传播、科学合作和创新增长（Boudreau 等，2017；Dong 等，2020），而且对整个国家创新及经济发展都有重要意义（Agrawal 等，2017）。中国大规模的基础设施建设不仅能推动中国逐步成为交通强国，也为降低人与人之间的交流成本贡献了巨大力量。中国高铁的建设显著降低了城市之间的交流和旅行成本，城市地铁的建设则显著降低了人与人之间的本地交流成本。相对于城市之间的交流，研究人员在城市内部的交流互动更加便捷且成本更低；相对于应用研究创新，基础研究创新成果更加开放，传播更加便捷，因此能够从面对面交流中产生更多的知

^① 冷萱，助理教授，深圳大学中国经济特区研究中心，电子邮箱：xuan@szu.edu.cn；李涵（通讯作者），教授，西南财经大学国际商学院，电子邮箱：hli@swufe.edu.cn；何佳鑫，博士研究生，中国人民大学应用经济学院，电子邮箱：hejiaxin@ruc.edu.cn。本文获得国家自然科学青年科学基金项目“地理临近性、知识溢出与校企创新体系构建”（72403167）和教育部人文社会科学重点研究基地重大项目（22JJD790054）的资助。本文曾在第一届中国科技创新论坛汇报，感谢参会老师提供的宝贵意见。同时也感谢匿名审稿专家的宝贵意见，文责自负。

^② 详见中国政府网《习近平：高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm。

^③ 详见国家自然科学基金委《2022 年国家自然科学基金项目指南》<https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab1097/>

识溢出。本文以城市地铁建设作为准自然实验，使用双重差分的方法因果识别本地交流成本降低对学术交流、科学合作和基础研究产出的影响。

本文使用 2006~2020 年《中国高校科研成果统计分析数据库》构造基础研究创新的产出指标，整理了中国城市地铁开通时间作为本地交流成本降低的外生冲击。结合以上数据，本文构造出城市—高校—学科—年份层面的基础研究创新产出指标和城市—年份层面地铁开通的信息，使用双重差分的方法识别地铁开通对基础研究创新的影响。此外，本文在城市层面匹配了 Kusumegi 和 Sano（2022）提供的英文科技论文致谢数据，分析本地交流成本降低对学术交流的影响。结果发现本地交流成本降低显著促进了学术交流，具体表现为城市开通地铁后，城市内每篇论文致谢人数显著增加了约 1.5 人。本文还从 Web of Science（WOS）整理了中国学者发表的 2294767 条 SSCI 和 SCI 论文信息，分析本地交流成本降低对科学合作的影响。基准结果表明，地铁开通对基础研究创新有显著的促进作用。异质性分析表明，本地交流成本降低主要推动高质量的基础研究创新产出；同时，本地交流成本降低主要推动非“双一流”高校的基础研究产出。这是因为本地交流成本降低主要促进非“双一流”高校研究人员向“双一流”高校研究人员寻求交流与合作。本文机制分析表明，本地交流成本降低促进了学术交流，最终推动城市内研究人员之间的科学合作。基于 WOS 数据实证结果，本地交流成本降低使得本地科学合作的概率在原有的基础上增加了 16.7%，合作者数量在原有的基础上显著增加 8%。

与本文研究相关的文献主要有三类。一是讨论信息成本降低对创新的影响。无论是对于从事企业生产的劳动者，还是从事创新的研究人员来说，人员之间面对面的交流都至关重要（Brucks 和 Levav, 2022; de Leon 和 McQuillin, 2020）。信息成本的降低会推动知识溢出，进而提高应用研究创新效率（Wang 等, 2022; 刘修岩等, 2022）和基础研究创新效率（冷萱和李涵, 2022）。二是交通基础设施建设对创新的影响。高铁建设使得城市之间的旅行成本降低，信息成本也随之降低，这对于投资、创新和资源配置等都会产生重要的影响（文雁兵等, 2022）。比如，高铁的开通有助于城市之间研究人员的交流与互动，进而促进创新合作（Dong 等, 2020）。三是有关创新影响因素的研究。近年来，国内学者逐渐关注到产学研合作（亢延锟等, 2022; 胡凯和王炜哲, 2023）、专利转让（刘灿雷等, 2024）、数据驱动（蔡跃洲, 2021）、创新激励（林雨昕和刘怡, 2023）和制造业发展战略等（郑世林和张果果, 2022）对创新发展的影响。也有学者利用更加微观的数据，考察地铁开通等信息成本降低对应用研究创新发展的影响（Wang 等, 2022; 王岳龙和袁旺平 2022, 2023; Koh 等, 2022）。

相较于已有的研究，本文研究存在三点贡献：第一，本文验证了城市内部交通基础设施建设推动的交流成本降低对高校基础研究创新的影响。现有文献主要讨论了信息成本降低对应用研究创新的影响，较少关注到创新的源头——基础研究。基础研究是创新链条上的重要环节，也是整个科学体系的源头。讨论信息成本降低，尤其是面对面交流成本降低对基础研究创新的影响，有助于打开知识生产的黑箱子，理解应用研究创新的内生动力。第二，本文在更小空间地理单元讨论了交通基础设施建设对创新群体产生的正向外部效应。本文基于更加微观和细致的数据，讨论了更小地理范围内（城市内）的交流成本降低对基础研究创新的影响。本文的研究以城市内部高校为研究对象，发现溢出效应不仅存在于发达地区和欠发达地区之间，也存在于城市内综合实力强的高校和综合实力弱的高校之间。第三，本文使用基础研究创新成果的致谢信息作为本地交流的替代指标，较好地刻画了本地交流成本降低推动的科学交流。相比于使用创新成果被引作为知识流动和知识溢出，致谢信息可以更加直观的反映研究人员之间真实的学术交流。此外，本文的研究也具有重要的现实意义。如何推动高校基础研究创新，进而实现关键核心技术突破，是未来实施创新驱动发展战略的着力点。而本文的研究对该重大问题进行了回应，即城市地铁建设通过降低研究人员交流成本，促进研究人员之间科学合作并取得高质量的基础研究创新成果。

二、背景与理论分析

(一) 背景介绍

中国地铁建设。21 世纪以来，中国进行了大规模的交通基础设施投资。截止 2021 年底，中国高铁运营里程突破 4 万公里，稳居世界第一；中国铁路运营总里程突破 15 万公里，稳居世界第二。与此同时，中国越来越多的城市在城市内部开通轨道交通，以缓解拥堵、降低市民通勤时间。截止 2021 年底，中国 31 个省（区、市）和新疆生产建设兵团中有 51 个城市开通运营城市轨道交通线路 269 条，运营里程达 8708 公里^①。图 1 展示了 2000 年以来中国轨道交通（地铁）建设的状况。从图 1 可以看出，近 20 年来，中国地铁建设运营里程和客运量均有显著提升。

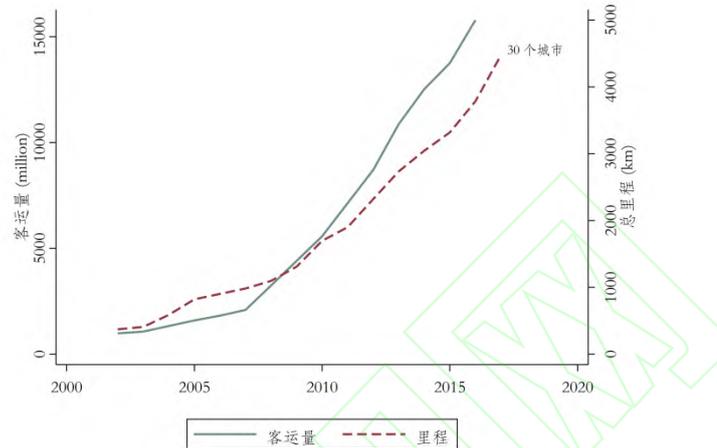


图 1 中国地铁建设里程与客运量（2002~2017 年）

数据来源：Gu 等（2021）。

地铁的建设将会产生一系列的经济影响，最直接的影响是改变居民出行方式。地铁的开通将会减少居民在城市内开车和选择出租车的频率（Liu 和 Li, 2020），并提升城市吸引力（Bono 等, 2020）。地铁开通减少了地面交通工具的使用，这将有效避免拥堵（Gu 等, 2021）。地铁的开通将直接影响市民出行成本：一方面，乘坐地铁可以降低居民出行的时间成本，有效避免交通拥堵，节省通勤时间；另一方面，地铁的开通可以降低居民出行的经济成本，相对于选择出租车或网约车，地铁的出行方式价格更便宜。由于出行成本的降低，地铁的开通增加了城市内部可达性，会降低城市内研究人员本地交流成本。

图 2 呈现了 2000~2020 年开通地铁城市与未开通地铁城市中国基础研究创新产出的趋势。其中，阴影的柱状图表示开通地铁的城市年均 SSCI&SCI 论文发表量，空白柱状图表示未开通地铁的城市年均 SSCI&SCI 论文发表量，虚线表示组间差异。从图 2 可以看到中国基础研究创新的几个特征：（1）2000~2020 年中国各城市基础研究创新水平（以 SSCI&SCI 论文数量测度）在不断提升，这与中国的创新水平不断提升是一致的；（2）本地交流成本较低的城市（开通地铁）基础研究创新水平一直高于本地交流成本较高的城市（未开通地铁）^②；（3）中国地铁客运量显著增加之前（大约 2007 年），开通地铁城市的基础研究创新水平与未开通地铁城市基础研究创新水平之间的差距不足 3000 篇 SSCI&SCI 论文，在 2007 年之后，两组的差距逐年增加，在 2020 年差异超过 7000 篇。以上几个基本特征，不仅为理解中国基础研究创新提供了数据支撑，也为本文研究本地交流成本与基础研究创新之间的关系提供了描述性的证据。即基础研究创新产出的增加与本地交流成本的降低存在相关关系，本文将在后文通过更加严谨的方法论证两者之间的因果关系。在提供实证证据之前，本文先进行理论分析并提出研究假说。

^① 详见中国政府网信息《城市轨道交通运营里程达 8708 公里》：http://www.gov.cn/xinwen/2022-01/07/content_5666905.htm

^② 诚然，这一结果仅仅能说明地铁开通与基础研究创新之间存在相关关系。本文在后面通过更细致的识别来讨论两者之间的因果关系。

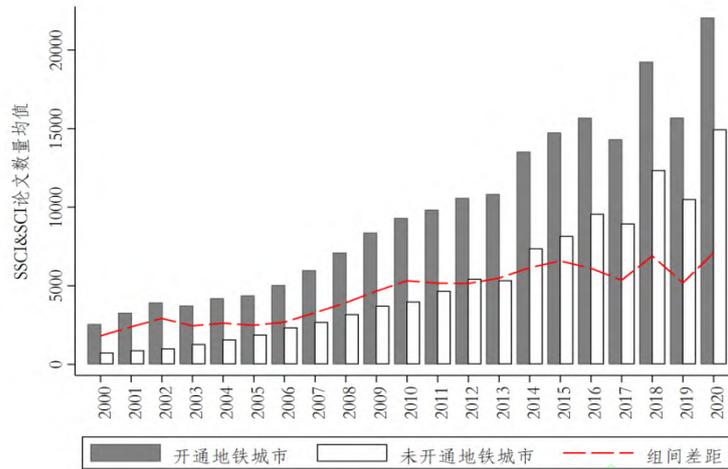


图2 2000-2020年中国城市SSCI&SCI论文发表趋势

(二) 理论分析与研究假说

随着科学研究的内容越来越复杂，科学合作在科学研究中的重要性日益凸显（Jones, 2021; Wu 等, 2019; Wuchty 等, 2007），国际空间站和人类基因组计划的完成就是科学领域合作取得巨大成就的例证。而交流成本是影响科学合作最重要的因素，研究人员之间距离越远，合作的概率也就越低（van der Wouden 和 Youn, 2023）。由于更低的搜寻成本，同一地理单元的研究人员更倾向于科学合作（Catalini 等, 2020），即使是被随机分配到同一实验室进行短暂的交流互动，交流互动后的研究人员也更倾向开展科学合作（Boudreau 等, 2017）。

研究人员在寻找合作者时，通常面临着更高的交流成本和更合适的合作者之间的权衡（Catalini 等, 2020）。一方面，研究人员可以以较低的搜寻成本在本校寻找合作者；另一方面，研究人员可以以较高的搜寻成本在更大的地理空间范围内（如本城市其他研究机构）寻找合作者。然而，研究人员在本校寻找合作者面临的最大约束是可匹配的合作者数量较少，难以匹配合适的合作者进行科学合作；研究人员在更大的地理空间范围内寻找合作者面临的最大约束是旅行和交流成本较高，同样难以建立合作关系和网络。因此，研究人员在寻找合作者时会在更匹配的合作者和更高的交流成本之间进行权衡。

当城市内部交通基础设施建设降低城市内旅行和交流成本时，研究人员则可以在更大的地理空间范围内进行学术交流并寻找更加合适的合作者。已有文献研究表明，城市地铁的开通会减少拥堵，提高城市通行速度（Gu 等, 2021）。因此，地铁是一种更为便捷的交通工具，搭乘地铁会直接减少行程时间，降低旅行成本，同时地铁的开通也会通过减少地面拥堵的方式间接影响旅行成本。无论是通过直接方式，还是间接方式，地铁的开通都将有助于降低本地交流成本。有研究指出，美国廉价航班的推出有助于增加科学家合作论文的数量（Catalini 等, 2020），中国高铁的开通有利于两个城市之间学者的交流与互动（Dong 等, 2020）。廉价航班的推出和高铁的开通都直接降低了研究人员在城市之间的交流成本。类似地，随着城市内本地交流成本的降低，研究人员可以基于更低的信息成本，在更大的地理范围内进行学术交流并开展科学合作。具体而言，随着本地交流成本的降低，研究人员可以在更大空间范围内与本地研究人员进行面对面交流，进而推动科学合作和基础研究创新产出。基于上述理论分析，我们提出本文的基础假说：

假说 1：本地交流成本降低将促进学术交流和科学合作，进而提升基础研究创新产出。

本地交流成本的降低促进了创新思维的碰撞。当来自不同背景、领域的人聚集在一起交流时，他们的不同观点和思维方式可能会相互激发，从而产生新的灵感和想法。这种跨界的创新能够为高质量基础研究注入新的动力和方向，提高科研效率，例如，学科互补的高校合并对创新研发会产生更大的促进作用（许宏伟和钟粤俊, 2022）。团队合作也有助于产生更具创新价值的科学研

究 (Uzzi 等, 2013)。跨学科的团队或作者合作可以更好地发挥高校科装置的科学效益 (张玲玲等, 2019)。对于质量更高或是潜力更大的科研项目, 他们的创新性更强, 相关领域的学者数量更少, 往往需要在更大的地理范围寻找合作者。地铁开通带来的交流成本减少, 有助于学者在更远的距离寻找合作者, 会对高质量科研项目产生更大影响。基于以上分析, 我们提出研究假说 2:

假说 2: 本地交流成本降低对高质量基础研究成果产出有更大的提升效应。

正如上文分析, 本地交流成本的降低有助于研究人员与其他机构研究人员合作。由于不同高校或研究机构在基础研究创新方面呈现不同的实力, 本地交流成本推动的基础研究创新产出也将呈现出显著的异质性。具体而言, 对于基础研究创新水平较高的机构和高校的研究人员而言, 由于自身科研水平较高, 他们难以在本城市寻找更加匹配的合作者, 则可能需要在更大空间范围内 (如全国或者全球) 寻找更加匹配的合作者。因此, 城市内交流成本的降低对于综合实力更强的高校不会有显著影响。与之对应的, 综合实力较弱的高校研究人员将更多受益于城市内部交流成本的降低。基于上述分析, 我们提出本文的研究假说 3:

假说 3: 本地交流成本降低的创新效应具有较强的包容性。

三、数据介绍

(一) 数据来源

本文使用城市、高校和论文三个层面的数据。城市层面数据涵盖中国地铁建设和中国城市经济特征的相关信息, 高校层面数据涵盖中国高校特征、中国高校基础研究投入和产出等信息, 论文层面数据包括论文合作信息和论文致谢信息。使用这三个层面的数据以讨论本地交流成本降低对学术交流、科学合作和基础研究创新产出的影响。

1. 城市层面数据信息

本文使用城市开通地铁作为本地交流成本降低的外生冲击, 地铁线路的开通日期来自百度百科、维基百科和各种新闻来源。同时本文将收集的地铁路线开通时间与 Gu 等 (2021) 收集的地铁路线开通时间进行对比验证。最终得到 2006~2020 年共 31 个城市地铁开通信息^①。本文还添加了城市层面的其他特征作为控制变量, 分别是: (1) 城市财政一般预算收入; (2) 城市 GDP; (3) 城区人口规模; (4) 城市科学技术支出; (5) 城市教育支出。上述数据来源于《城市统计年鉴》。选择上述这些城市经济特征是因为 2003 年《国务院办公厅关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知》中强调各城市坚持量力而行、有序发展的方针, 确保城市轨道交通建设与城市经济发展水平相适应, 并对城市申请修建地铁提出了以上方面的要求^②。另外, 考虑到城市科学技术支出和城市教育支出可能会影响到高校基础研究创新, 本文也对此进行了控制。

2. 高校层面数据信息

高校层面信息来自《中国高校科研成果统计分析数据库》(后简称数据库)。数据库结合教育部印发的《学位授予和人才培养学科目录》及高校专业划分情况, 将论文所属学科划分为 13 个学科门类和 103 个一级学科, 对全国 993 所高等院校 2006 年至今的科研产出及学术影响力进行了统计。为了较好地反映基础研究产出, 本文主要使用数据库统计的发表在具有世界影响力的中英文 (World Academic Journal Clout Index, WAJCI) 期刊论文数量进行测度 (下简称 WAJCI 期刊)。本文整理了 2006~2020 年城市—高校—学科三维层面的论文发表 (被引) 数据, 以构建城市—高校—学科层面的基础研究产出指标。由于第 11 个学科门类为军事学, 开设相关学科的院校非普通高等院校, 本文未将其纳入分析。同时, 本文仅保留了公办本科院校的学科作为分析对象。最终

^① 2006~2020 年共 23 个城市开通地铁, 在 2006 年之前, 共有 8 个城市已经开通地铁。

^② 2003 年《国务院办公厅关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知》强调各城市坚持量力而行、有序发展的方针, 确保城市轨道交通建设与城市经济发展水平相适应。这一通知对于各城市申请修建地铁的条件做了严格的限制: (1) 要求城市财政一般预算收入达到 100 亿元以上; (2) 要求城市 GDP 达到 1000 亿元以上; (3) 要求城区人口规模较大, 达到 300 万人以上; (4) 要求规划线路的客流规模达到单向高峰小时 3 万人以上。详见国务院办公厅关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知: http://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62476.htm

整理为城市—高校—学科—年份维度数据，得到样本观测数共计 467402 条。

3. 论文层面信息

本文使用的论文层面信息主要包括中国学者发表的 SCI 和 SSCI 论文基本信息和论文致谢信息。（1）中国学者发表的 SCI 和 SSCI 信息。该数据来源于 Web of Science (WOS) 数据库，本文收集的数据逐条记录了中国学者在 SCI 和 SSCI 期刊上发表的论文（后简称国际期刊论文）基本信息，包括论文题目、论文摘要、论文关键词、论文作者、论文作者单位、发表期刊、发表时间等基本信息。为了与本文的基准回归数据相对应，本文整理了 2294767 条中国学者发表的国际期刊论文，根据论文作者的单位信息进行地理编码，以确定该论文作者所属城市，进一步分析信息成本降低对科学合作的影响。（2）英文科技论文致谢信息。该数据源于 Web of Science (WOS) 数据库致谢信息，该信息包括论文致谢的基金和致谢的学者。Kusumegi 和 Sano (2022) 对这一数据进行了处理，整理了论文作者信息，致谢学者信息，并包括论文的唯一识别码^①。本文根据论文唯一识别码，将 Kusumegi 和 Sano (2022) 整理的数据库数据与 Web of Science (WOS) 数据库数据进行匹配，得到论文的基本信息与致谢作者数量，用于测度学术交流的强度。

(二) 变量设定

1. 结果变量

本文关注的结果变量主要是基础研究创新产出，在不同的模型设定中略有差异。本文主要使用论文发表数量作为基础研究创新产出的测度指标。在基准回归中，本文使用高校—学科—年份层面的论文发表数量作为基础研究创新产出的测度指标。同时，在机制分析中，本文将论文致谢人数、论文被下载次数、论文是否有本地合作者和本地合作者数量作为本文的结果变量，以分析本地交流成本降低对学术交流和科学合作的影响。

2. 主要解释变量

本文的主要解释变量为本地交流成本。由于数据的可得性，难以直接测度一个城市内高校研究人员的本地交流成本。正如背景部分所介绍，城市内交通基础设施的建设，提升了城市内部的交通可达性。尤其是地铁等公共交通基础设施的建设，将显著降低城市内的本地交流成本。本文以城市内地铁建设为准自然实验，构造本地交流成本降低的虚拟变量。将城市（已经）开通地铁定义为 1，其他为 0。在本文的样本期间，共有 31 个城市（已经）开通地铁。

3. 控制变量

本文的控制变量主要是城市层面的特征和高校层面的特征。城市层面本文主要控制：（1）城市财政一般预算收入；（2）城市 GDP；（3）城区人口规模；（4）城市科学技术支出；（5）城市教育支出。以上城市特征既会直接影响城市地铁建设，也会影响城市经济发展，包括应用研究创新和基础研究创新。但是直接控制以上特征会存在一个主要问题：以上特征与城市开通地铁之间互为因果，直接作为控制变量会成为坏的控制变量 (Cinelli 等, 2022)。为了避免反向因果的问题，本文控制了结果变量之前年份的城市特征变量。虽然学校层面的特征一定会影响学校的基础研究创新产出，但是一般很难影响到一个城市是否开通地铁。因此，在本文的研究背景下不控制学校层面的特征不会影响本文所关注的核心变量估计系数。考虑到学校的经费等对学校基础研究创新有重要影响，会影响本地交流成本对基础研究创新产出的估计精度，本文对学校层面最主要的特征进行控制，本文控制了高校—学科—年份层面自然科学基金资助数量和社会科学基金资助数量。

四、实证策略与实证结果

^① 考虑到版权问题，Kusumegi 和 Sano (2022) 仅测算了部分开源期刊的相关信息，因此无法与 Web of Science (WOS) 全库进行匹配。最终我们得到 2090 篇论文致谢信息与数据库进行匹配。

(一) 地铁开通与高校基础研究创新产出

1. 模型设定

本文关注的核心解释变量为本地交流成本。本文使用各城市在不同年份开通地铁作为本地交流成本降低的外生冲击，进而检验本地交流成本下降对高校基础研究创新产出的影响。各城市在不同年份开通地铁，为本文应用双重差分法识别本地交流成本是否降低提供了合适的机会。本文使用双重差分法设置如下基准回归模型：

$$\ln(\text{paper})_{s,i,c,t} = \alpha + \beta \text{subway}_{c,t} + \theta \text{control}_{s,i,c,t} + \rho \text{city}_{c,t} + \delta_{s,i} + \gamma_{p,t} + \varphi_{s,t} + \varepsilon_{s,i,c,t} \quad (1)$$

上述式(1)中，被解释变量 $\ln(\text{paper})_{s,i,c,t}$ 为*i*高校*s*学科在第*t*年论文发表数量的对数，在实证研究中，我们也呈现了论文发表数量水平值的结果。关键的解释变量为城市在第*t*年是否首次开通地铁，如果*c*城市在第*t*年首次开通地铁，则第*t*年及以后均取值为1。 $\text{control}_{s,i,c,t}$ 是高校学科层面的控制变量， $\text{city}_{c,t}$ 是城市层面控制变量。 $\delta_{s,i}$ 是高校—学科层面的固定效应，用于控制高校—学科层面不随时间变化的特征，比如高校—学科在发文量和发文周期等方面的固有特征。最后，省份层面随时间变化的特征，比如省份对某些领域的支持政策，可能会增加该省高校在某领域的基础研究产出。为了控制省份层面随时间变化的政策对结果产生影响，本文控制了省份和时间的交互固定效应 $\gamma_{p,t}$ 。同时，为了控制不同学科随年份发生变化，本文还控制了学科与年份的交互固定效应， $\varphi_{s,t}$ 。为缓解高校学科层面空间自相关问题导致的标准误有偏，本文将标准误聚类到高校学科层面。

2. 识别假设检验

双重差分模型的有效性依赖于“平行趋势”假设，即如果政策不发生，实验组和对照组的因变量应有相同的趋势（黄炜等，2022；张子尧和黄炜，2023）。如果这一假设不满足，则本文估计的政策效果很有可能是由某些遗漏变量导致的，而不是城市开通地铁产生的影响。为了验证“平行趋势”假设，本文模型设定如下：

$$\ln(\text{paper})_{s,i,c,t} = \alpha + \beta_k \sum_{k=-5, k \neq -1}^{k=4} \text{subway}_{c,t+k} + \theta \text{control}_{s,i,c,t} + \rho \text{city}_{c,t} + \delta_{s,i} + \gamma_{p,t} + \varphi_{s,t} + \varepsilon_{s,i,c,t} \quad (2)$$

方程(2)的被解释变量依然为*i*高校*s*学科在第*t*年论文发表数量的对数。 β_k 反映了政策实施前后的效果，如果在政策实施之前，即 $k=0$ 之前， β_k 系数为0，则表明满足平行趋势假设。本文的平行趋势结果如下图3所示，在城市开通地铁之前，处理组和对照组的基础研究产出没有显著差异，这表明本文的研究内容满足双重差分的识别假设，即通过了平行趋势检验。图3不仅呈现了平行趋势假设的检验结果，也可以直观地看到地铁开通对基础研究产出影响的动态效应。结果显示地铁开通对基础研究产出有持续的影响，且随着时间的推移在不断加强。表明本地交流成本降低，研究人员之间的合作以及知识溢出效果在不断加强。

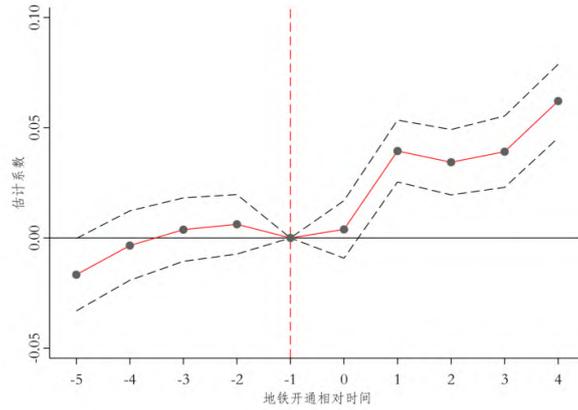


图 3 平行趋势结果

注：本文选择开通地铁的前一年作为基准对照组，置信区间为 95%。

3. 基准回归结果

根据模型（1）的设定，本文识别了地铁开通对高校基础研究创新产出的影响。估计结果如下表 1 所示。表 1 被解释变量为高校—学科—年份层面论文数量。在表 1 第（1）~（4）列中，本文逐步添加了高校层面的控制变量、城市层面的控制变量和学科与年份之间的交互固定效应。本文以添加了完整控制变量和固定效应的第（4）列作为基准回归结果进行分析。表 1 中 Panel A 第（4）列结果表明，一个城市开通地铁，使得该城市每年高校—学科—年份层面论文数量平均显著增加 4.4%。结果表明，城市内部公共交通基础设施的建设有助于提升城市内基础研究创新的产出效率。将被解释变量替换为论文数量的水平值，地铁开通使得论文数量显著增加了 2.167 篇。表 1 也验证了本文的基本假说 1，即本地交流成本降低有助于提升基础研究创新的产出。

表 1 地铁开通与高校基础研究创新产出

| | (1) | (2) | (3) | (4) |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Panel A: 被解释变量为 $\ln papers$ | | | | |
| 地铁开通 | 0.045*** (0.008) | 0.043*** (0.008) | 0.037*** (0.008) | 0.044*** (0.015) |
| 调整 R ² 值 | 0.834 | 0.836 | 0.836 | 0.873 |
| F | 31.167 | 661.077 | 334.461 | 66.335 |
| Panel B: 被解释变量为 $Papers$ | | | | |
| 地铁开通 | 1.842*** (0.339) | 1.795*** (0.339) | 1.603*** (0.351) | 2.167*** (0.299) |
| 调整 R ² 值 | 0.815 | 0.816 | 0.816 | 0.854 |
| F | 29.433 | 211.976 | 108.135 | 62.183 |
| 高校—学科固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 省份×年份固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 高校特征 | 否 | 是 | 是 | 是 |
| 城市特征 | 否 | 否 | 是 | 是 |
| 学科×年份固定效应 | 否 | 否 | 否 | 是 |
| 样本量 | 462623 | 462623 | 462623 | 462619 |

注：表 1 被解释变量为高校—学科—年份层面的论文发表数量，其中 Panel A 是论文发表数量的对数值，Panel B 是论文发表数量的水平值。高校层面控制变量为所在学科门类受到自然科学基金委资助的数量和受到哲学社会科学资助的数量，城市层面的控制变量为城市财政一般预算收入、城市 GDP、城区人口规模、城市科学技术支出和城市教育支出。本文添加了高校学科层面的固定效应（比高校更加严格的固定效应）、省份与年份的交互固定效应和学科与年份交互固定效应。* $P < 0.10$, ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$ 。下同。

(二) 异质性分析

1. 基础研究创新质量异质性

理论分析表明本地交流成本降低对基础研究创新产出的影响存在异质性，对高质量论文的影响效果更强。表 1 基准回归从数量的角度讨论了本地交流成本降低对高校学科层面基础研究产出总体的影响，但是并未区分基础研究创新的质量。如果本地交流成本降低所推动的基础研究创新产出增加仅创造了大量的低质量科研成果，那么对整个国家技术进步和科技创新的作用都将微乎其微。本文获取的数据还提供了已发表论文中国际和国内期刊论文的等级，数据库按照期刊影响力划分为 4 个等级，Q1 区、Q2 区、Q3 区和 Q4 区。其中，Q1 区是指影响力在同学科中排名前 25% 的期刊，Q2 区是指影响力在同学科中排名 26%~50% 的期刊，Q3 和 Q4 以此类推。那么一定程度上，Q1 区代表较高水平的论文，Q4 区代表较低水平的论文。本文将被解释变量依次替换为高校学科层面 Q1 区论文数量的对数，Q2 区论文数量的对数，Q3 区论文数量的对数和 Q4 区论文数量的对数。以进一步分析本地交流成本降低的异质性处理效应。

地铁开通对基础研究产出影响的质量异质性结果如下图 4 所示。图 4 展现出地铁开通对高质量科研产出影响最大，对低质量科研产出几乎没有影响。具体而言，地铁开通使得高校学科层面 Q1 区论文数量显著增加了 8%，Q2 区论文数量显著增加了 4%，Q3 区论文数量增加了 2%，而对于质量较低的 Q4 区论文无显著影响。其结果表明，城市公共交通的建设不仅创造了更多数量的知识，且对高质量的知识增加影响最大。

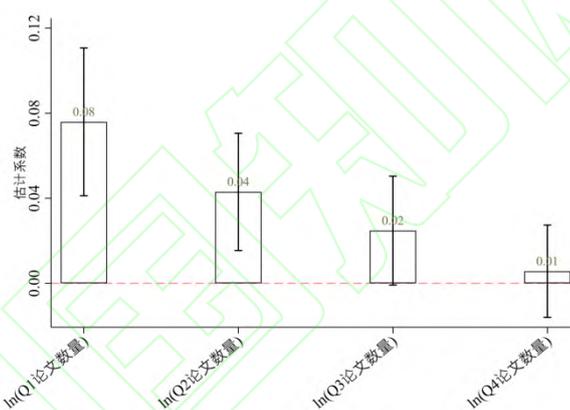


图 4 地铁开通对基础研究产出影响的质量异质性

注：图 4 的结果是基于基准回归模型，得到地铁开通对基础研究创新影响的系数。被解释变量分别为高校一学科一年份层面不同质量的论文数量。图 4 的置信区间均为 95%。

2. 高校质量异质性

理论分析表明，本地交流成本降低对高水平的高校无影响，对水平更低的高校影响更大。科研实力较强高校（一流学科或一流高校，简称双一流）的研究者可能通过高铁等交通工具在更广的地理范围内寻找合作对象（Dong 等，2020）。那么地铁开通对科研水平较强高校的研究者可能没有显著影响。与之对应的是，处在科研实力较弱高校（非一流学科或一流高校）的研究者可能通过地铁等便捷的交通工具在城市范围内寻求学术交流和科学合作，最终促进基础研究创新产出。通过以上理论分析可以得出，地铁开通对双一流高校基础研究创新产出可能并无显著影响，对于非双一流高校有显著的影响。

实证结果如图 5 所示，图 5 结果显示地铁开通对于一流高校和一流学科的高校基础研究创新产出均无显著影响，而地铁开通对非双一流高校的基础研究产出有显著的提升作用，使得非一流高校和非一流学科的高校基础研究产出显著提升了 4%。

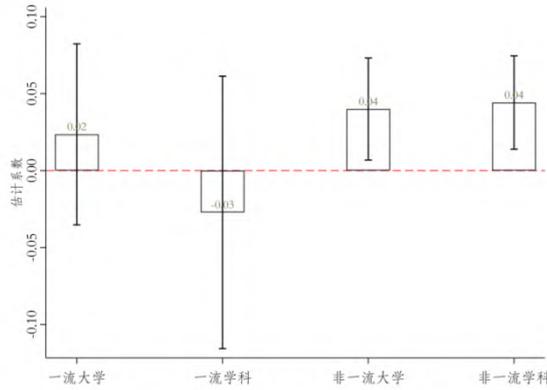


图 5 地铁开通对基础研究创新影响的高校异质性

注: 图 5 的结果是基于基准回归模型, 得到地铁开通对不同高校基础研究创新影响的系数。在进行实证检验中, 本文分别保留一流高校、一流学科高校、非一流高校和非一流学科高校进行分析。图 5 的置信区间均为 95%。

五、机制分析

(一) 信息成本降低对交流学习的影响

科学合作和研究人员之间相互学习相辅相成。地铁的开通最直接的影响是降低学者之间面对面交流的成本。面对面交流互动会增加研究人员之间的合作, 最终产生知识溢出, 并增加论文发表的数量。已有研究发现政治学年会这样的面对面交流活动不仅增加了学者之间的合作 (Campos 等, 2018), 也增加了论文的被引用量 (de Leon 和 McQuillin, 2020)。一方面, 面对面交流使得研究人员之间交流更加频繁, 研究人员可以从同行那里获取更多的意见和建议。作为对同行专家的感谢, 一般会在正式发表的论文中对提供过帮助的研究人员致谢。为了直接检验本地交流成本降低对交流学习的影响, 本文使用论文的致谢人数测度沟通交流的强度。我们根据 Web of Science (WOS) 数据库中论文唯一识别码 (doi) 与 Kusumegi 和 Sano (2022) 提供的论文致谢数据中的 doi 进行匹配, 得到每篇论文的致谢人数。最后实证检验地铁开通对城市内论文致谢人数的影响。实证结果如表 2 的 Panel A 所示, 我们发现, 地铁开通后, 每篇论文的致谢人数显著增加了 1.479 人。其结果表明, 本地交流成本降低推动了学术交流和知识传播。

另一方面, 研究人员为了进一步学习, 也会下载其相关研究成果。因此, 面对面交流会影响到已有研究成果的下载量。本文使用论文的下载量作为交流学习的替代指标, 以分析地铁开通是否会通过交流学习影响基础研究创新的产出^①。表 2 实证检验了地铁开通对知识流动和交流学习的影响。表 2 的 Panel B 被解释变量为高校—学科—年份层面每篇论文下载次数的均值, 然后取对数, 地铁的开通使其增加了 2.5%。表 2 的 Panel C 被解释变量为高校—学科—年份层面每篇论文下载次数的水平值, 地铁的开通使得平均每篇论文的下载次数增加了 2.614 次。表 2 的结果表明, 信息成本的降低的确促进了知识的流动, 一定程度上为科学合作提供了基础。

表 2 地铁开通与交流学习

| | (1) | (2) | (3) | (4) |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Panel A 被解释变量: 论文致谢人数 | | | | |
| 地铁开通 | 1.005** | 1.038** | 0.991** | 1.479** |
| | (0.423) | (0.447) | (0.445) | (0.612) |
| 调整后 R ² 值 | 0.013 | 0.012 | 0.012 | 0.010 |
| F | 5.656 | 2.924 | 2.404 | 2.446 |
| 样本量 | 2115 | 2115 | 2115 | 2090 |
| Panel B 被解释变量: 论文平均被下载次数对数 | | | | |

^① 虽然论文的被下载次数无法直接反应本地的知识流动增加, 但本地的知识流动会促进论文下载量增加。本地交流成本更加直接的影响, 本文将在下一节分析对本地科学合作的影响。

| | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| 地铁开通 | 0.028*** (0.010) | 0.027*** (0.010) | 0.026** (0.010) | 0.025*** (0.010) |
| 调整后 R ² 值 | 0.586 | 0.586 | 0.586 | 0.599 |
| F | 7.857 | 20.512 | 10.374 | 5.550 |
| 样本量 | 462623 | 462623 | 462623 | 462619 |
| Panel C 被解释变量: 论文平均被下载次数水平值 | | | | |
| 地铁开通 | 2.225* (1.349) | 2.148 (1.349) | 2.785** (1.386) | 2.614** (1.249) |
| 调整后 R ² 值 | 0.465 | 0.465 | 0.466 | 0.493 |
| F | 2.720 | 84.179 | 43.247 | 15.861 |
| 样本量 | 462623 | 462623 | 462623 | 462619 |
| 高校—学科固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 省份×年份固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 高校特征 | 否 | 是 | 是 | 是 |
| 城市特征 | 否 | 否 | 是 | 是 |
| 学科×年份固定效应 | 否 | 否 | 否 | 是 |

注: 表 2 的 Panel A 被解释变量是论文的致谢人数, 用以测度本地交流, 表 2 的 Panel B 被解释变量为高校—学科—年份层面均篇论文被下载次数对数的对数, 表 2 的 Panel C 被解释变量为高校—学科—年份层面均篇论文被下载次数水平值。表 2 第 (1)~(4) 列逐步添加了高校层面控制变量、城市控制变量和学科与年份的交互固定效应。Panel B 的第 (1)~(2) 列和 (3)~(4) 列在控制不同特征后, 系数有细微变化。

(二) 交流成本与科学合作

进一步厘清本地交流成本降低通过怎样的方式影响基础研究创新产出, 有助于本文打开基础研究创新过程的“黑箱子”, 也有助于本文提出更有针对性的政策建议。地铁开通所推动的本地交流成本降低有助于促进研究人员之间的知识溢出, 这在一定程度上能解释本地交流成本降低如何影响基础研究创新产出。但是研究人员之间面对面交流的增加, 除推动知识溢出外, 更重要的是科学合作。由于本文基准回归中的高校—学科层面的数据没有研究人员合作信息, 本文使用 WOS 数据库中的论文作者信息分析本地交流成本降低对科学合作的影响。

本文整理了中国学者发表的 SSCI 和 SCI 论文信息, 主要包括发表时间, 作者及论文所有作者单位等详细信息。本文根据单位信息和邮政编码, 通过百度 API 等方式确定了每一篇论文所有作者的地理信息。本文以第一作者的地理信息为参考, 计算了每一篇论文作者的数量、同一城市作者数量、同一城市非本单位作者数量。本文计算了每一篇论文是否存在与同一城市非本单位作者的合作, 以及同一城市非本单位合作者的数量作为科学合作的代理变量。实证结果如表 3 所示。表 3 第 (1) 列被解释变量为本地科学合作的虚拟变量, 即论文第一作者是否存在与同一城市其他单位研究人员合作; 第 (2) 列被解释变量为本地科学合作的连续变量, 即同一城市其他单位合作者的数量。

表 3 地铁开通与本地科学合作

| 变量 | (1) | (2) | (3) | (4) |
|---------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | 是否本地合作 | 本地合作者数量 | 同校合作 | 同校合作者数量 |
| 地铁开通 | 0.011*** (0.004) | 0.027*** (0.010) | 0.000 (0.001) | 0.000 (0.001) |
| 高校—学科 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 省份×年份 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 高校特征 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 城市特征 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 学科×年份 | 是 | 是 | 是 | 是 |

| | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| 固定效应 | | | | |
| 调整 R ² 值 | 0.229 | 0.339 | 0.343 | 0.349 |
| F | 7.848 | 8.836 | 0.608 | 0.380 |
| 样本量 | 2294767 | 2294767 | 2294767 | 2294767 |

注：表 3 第 (1) ~ (2) 列被解释变量分别为一篇文章中是否有本地科学合作以及本地科学合作的合作者数量，第 (3) ~ (4) 列被解释变量为是否与本校研究人员合作以及本校科学合作的合作者数量。* $P < 0.10$, ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$ 。

表 3 结果表明，地铁开通所推动的本地交流成本降低显著提升了高校内各学科的跨单位合作。具体而言，地铁开通所推动的本地交流成本降低使得本地科学合作的概率显著提升了 1.1%。本文使用的样本中，与同一城市其他单位研究人员合作概率均值仅为 6.6%，表明本地交流成本降低对于本地科学合作有极大的推动作用，使得本地科学合作的概率在原有的基础上增加了 16.7%。同时，地铁开通所推动的本地交流成本降低使得本地（不包括第一作者单位）合作者的数量显著增加 0.027，这一变量的样本均值为 0.355，表明本地交流成本降低使得本地科学合作者数量在原有的基础上提升 8%。这一部分的实证结果进一步验证了前文提出的假说 1，即地铁开通推动的本地交流成本降低可以促进本地科学合作。

我们在机制分析部分界定的科学合作是指研究人员与城市内其他高校研究人员的合作。如果这种科学合作的提升不是地铁开通所推动的，那么我们可以观察到其他类别的科学合作也可能增加，比如学校内部的科学合作等。基于这个视角，我们对科学合作这一关键的机制进行了安慰剂检验。我们将被解释变量替换为是否与本校研究人员合作，以及本校研究人员作者数量。安慰剂检验结果如表 3 第 (3) ~ (4) 列所示，实证结果显示地铁开通对本校内部的科学合作没有任何影响。

(三) 科学合作与创新产出

当今科技领域最普遍的趋势之一是大型团队在所有领域的增长 (Wuchty 等, 2007)。随着科学知识的积累，个人似乎被限制在越来越窄的专业领域。这种日益专业化有助于解释团队相对优势的上升 (Wuchty 等, 2007)。团队的崛起，正在成为科学研究中的一个显著特征。以经济学为例，1960 年有两名或两名以上作者的论文仅占经济学期刊论文的 19%，但这一比例在 2000 年上升到 44%，在 2018 年上升到 74% (Jones, 2021)。合作网络或者团队的扩大，将从知识整合、创造性组合等多方面影响创新产出。例如，心理学方面的大量文献强调了团队在整合不同信息以解决问题方面的价值。当个人带来不同的信息集并在整个团队中分享他们的信息时，团队绩效会显著提高。同时，团队也更加有助于产生更具创新价值的科学研究 (Uzzi 等, 2013)。因此，科学合作已经成为推动创新产出和创新发展的主要驱动力。

六、稳健性检验

(一) 交叠 DID 异质性处理效应分析

本文基准回归使用多期 DID 因果识别本地交流成本降低对基础研究产出的影响。然而，近年来不断涌现的前沿理论表明，因为存在异质性处理效应，传统的双向固定效应模型估计结果可能存在偏误 (de Chaisemartin 和 D'Haultfoeuille, 2020; Goodman-Bacon, 2021; 刘冲等, 2022)。为此，理论计量学家也提出了部分解决方案，这些方法在实证中也得到逐步的应用。

(1) 负权重问题诊断。提供样本中个体接受处理时间的分布图，如果样本接受政策处理的时间集中在样本初期，则可能存在较为严重的负权重问题，如果政策处理时间集中在样本中后期，则负权重问题较小，估计结果偏误也就较小 (Liu 等, 2022)。本文发现样本城市地铁开通相对时间，结果显示样本接受政策处理时间并没有集中在样本初期，而是集中在样本的中后期。可以初

步判断本文的负权重问题可能并不严重，使用传统的双重差分法可以得到无偏估计^①。

(2) 基于 Sun 和 Abraham (2021) 提出的估计量估计。在交错双重差分的模型设定下，处理效应异质性是传统双重差分可能产生偏误的主要原因。Sun 和 Abraham (2021) 提出一个解决办法缓解这一问题，其思想是计算组别-时期的平均处理效应，将存在偏误的组别不纳入回归中，为此提出了 IW 估计量 (Interaction-Weighted Estimator)。这一估计量满足无偏性、有效性和一致性，但需要样本中存在从未接受处理的个体，即在样本期间存在未开通地铁的城市。本文借鉴这一估计量进行了稳健性检验，与基准回归的动态效应基本一致。表明本文的异质性处理效应问题并不严重，上文估计结果也相对可靠。

(3) 删除基期已经接受处理的样本。异质性处理效应中另一个偏误来源可能是在样本基期存在较多已经接受政策处理的样本，而这些样本将成为后面接受处理样本的对照组。异质性处理效应偏误的主要来源在于已经接受政策干预的样本作为后接受政策干预样本的控制组。尽管负权重诊断结果表明问题可能并不严重，且使用 Sun 和 Abraham (2021) 提出的方法估计结果也较为稳健。删除基期已经接受处理的样本同样可以验证异质性处理效应的大小。如果删除基期已经接受处理的样本，结果与基准回归保持一致，则进一步证明了本文的异质性处理效应不会对结果造成影响^②。

(二) 地铁开通对下两年和上两年基础研究影响

地铁的开通不仅会影响当期的科研产出，也会影响到后续的科研产出。本文实证检验了地铁开通对之后 1 年和 2 年高校基础研究创新产出的影响。结果显示，地铁开通后 1 年，高校一学科层面的基础研究产出显著提升约 4%，在地铁开通后的第 2 年里，高校一学科层面的基础研究产出显著提升 4%，以上结果均在 1% 的水平上显著。表明本文基准回归结果相对稳健。此外，本文还研究了地铁开通对高校一学科层面前 1 年和前 2 年基础研究产出的影响，以进行安慰剂检验，回归结果证明了前文基准回归分析结果的稳健性。

(三) 地铁密度与基础研究产出效率

上文分析了地铁开通这一事件对高校一学科层面基础研究创新产出的影响，而地铁的运营里程和地铁站点数量在本文研究情境下，也是城市内部交通基础设施建设的重要指标。在稳健性检验部分，本文使用城市地铁运营里程和地铁站点数量作为公共交通基础设施建设的指标，分析地铁密度对基础研究创新产出的影响。结果表明，地铁运营里程和地铁站点的增加可以显著增加论文数量。

(四) 排除竞争性解释

上文重点分析了地铁开通推动面对面交流成本降低对基础研究的影响。然而，一系列其他的干扰政策可能影响到本文研究结论的可靠性。高校基础研究创新产出不仅受到本地交流成本的影响，可能也会受到互联网发展和跨城市旅行成本的影响 (Dong 等, 2020; 郑维伟等, 2023)。同时，地区的产学研合作和人才集聚都可能对高校基础研究创新产生影响 (亢延锟等, 2022)。为了排除这些竞争性解释，本文在基准回归基础上添加“宽带中国”这一政策变量，以控制互联网的发展。同时，本文也进一步控制了城市是否开通高铁、地区产学研合作和地区人才集聚。具体而言，本文分别添加了 (a) “宽带中国”这一政策变量；(b) 城市当年是否开通高铁这一变量；

^① Goodman-Bacon (2021) 也提出了更加直观的方法检验异质性处理效应，其检验的核心思想是将传统双重差分估计量拆分为多个 2×2 -DID 组合，然后绘制出每组 2×2 -DID 组合的处理效应和权重。如果以“较早接受处理组”为控制组的权重较大，可能会使得估计存在偏误。不过这一方法目前只能对平衡面板数据进行检验，本文数据不是平衡面板数据，无法直接检验。本文应用“异质性-稳健”估计量作为稳健性检验。

^② 本文研究的基期为 2006 年，在 2006 年之前（包括 2006 年）开通地铁的城市有北京市、天津市、上海市、广州市、长春市、大连市、武汉市、深圳市和重庆市。这些城市对应 129680 个观测样本，占总样本近 30%。由于这部分观测样本占总样本比例较大，且异质性处理效应未造成较大偏误，本文未在基准回归中删除这部分样本。

(c)为了排除地区产学研合作这一竞争性假说,分别控制了国家级开发区(亢延锟等,2022)和高校科研成果转让办公室(胡凯和王炜哲,2023);(d)为排除地区人才集聚的影响,鉴于数据的可得性,使用张吉鹏和卢冲(2019)提供的城市人才引进指数作为控制变量进行稳健性检验。回归结果显示,在排除相关竞争性假说后,本文关注的地铁开通系数略有下降,但结果仍显示地铁开通推动的本地交流成本降低对基础研究创新产出有显著的正向促进作用。

(五) 工具变量法

为了缓解可能存在的内生性问题,本文使用工具变量进行稳健性检验。尽管地铁的开通主要受城市经济发展、人口规模和预算收入等经济状况的影响,但城市的地理特征在一定程度上也会影响到城市地铁的修建,比如城市的坡度等。如果城市地理坡度较大,那么地铁修建的成本也就越高。基于此,本文使用城市坡度作为地铁开通的工具变量。由于城市坡度是地理特征,不会直接影响到城市的基础研究创新产出,仅通过地铁开通影响本文关注的结果变量。工具变量实证结果依然稳健。

七、结论与政策含义

(一) 主要结论

推动基础研究创新是提升国家创新体系整体效能的核心。如何加强基础研究和提升科技投入效能是新时代政策制定者和学者共同关心的话题。在建设交通强国的同时,如何推动基础研究创新产出?对这一问题的回答不仅有助于进一步推进和建设交通强国,也有助于理解如何提升基础研究产出。本文以城市地铁开通为准自然实验,使用双重差分方法,从本地交流成本的视角讨论了地铁开通对科学合作和基础研究产出的影响。本文研究发现,城市地铁的开通使得该城市高校学科层面的论文发表数量显著增加约4%。异质性分析表明,城市地铁开通所推动的本地交流成本降低,对于高质量的基础研究产出影响最大。这是因为本地交流成本降低有助于研究人员在城市内寻找更加合适的合作者,共同开展和创造更高质量的基础研究成果。本文还发现本地交流成本降低仅对那些综合实力较弱的高校基础研究产出有显著影响,这是因为本地交流成本降低有助于推动综合实力较弱的高校在更大范围内寻找更合适的合作者,对于那些综合实力较强的高校研究人员,他们寻找其他(综合实力更弱)高校合作者的动机更小。

本文的机制分析表明本地交流成本降低有助于学术交流和科学合作。本地交流成本降低推动知识溢出最终表现为研究人员对同行更加熟悉,这将促进城市内研究人员之间的合作。因此,本地交流成本将通过学术交流和知识溢出推动科学合作,进而提升基础研究产出。党的二十大报告再一次提到实施科教兴国战略,其中指出要加强基础研究、突出原创和鼓励自由探索。本文的研究在加强基础研究,提升基础研究质量和效率方面有重要的政策含义。

(二) 政策建议

本文的研究具有以下政策启示:第一,在建设公共交通基础设施时考虑高校地理位置,增加不同科研机构之间的连通性。本文的研究结果表明本地交流成本的降低,有助于提升基础研究的产出。那么在进一步推进交通强国的同时,应适当地将基础研究创新主体——高校和科研院所纳入考虑范围。比如在规划建设城市地铁网络时,将高校所在地理位置作为考虑因素之一。城市规划者应与高等教育机构合作,确保新的交通项目能够覆盖高校区域,或至少提供方便的接驳服务。这种协同发展不仅可以减少研究人员的通勤时间,还可以通过增加不同学术背景人员之间的互动,促进跨学科的合作。对于在市郊建立新校区的高校来说,他们应当加强各个校区之间的联系,增加校车班次和容量,便于不同校区之间的通勤。此外,也可以在高校较多的城市开设高校专线,连接各个高校,针对研究人员的特殊需求,公共交通服务应提供更加灵活和多样化的选项。这有助于降低研究人员城市内部的交流成本,促进知识传播和知识溢出,有助于推动基础研究创新产出。

第二,科研管理部门应该鼓励研究人员之间开展科学合作。科学合作是研究人员共同解决科

学难题,通过团队的方式提高基础研究的效率和质量。本文发现本地交流成本降低通过促进科学合作推动了高校的基础研究创新产出,表明科学合作在推动基础研究创新方面发挥着重要的作用。而目前,管理部门为防止研究人员搭便车,在一些情况下仅认为论文的第一作者和(或)通讯作者对论文有贡献,这在很大程度上抑制了学者之间的科学合作,不利于推动基础研究创新产出。现有的制度还需要进一步完善,建设合理的考评认定机制,确保所有参与研究的人员都能得到公正的认可。本文发现本地交流成本降低仅对那些综合实力较弱的高校基础研究产出有显著影响。综合实力较弱的高校应该更加开放,建立在线合作平台,为研究人员提供寻找合作伙伴、共享资源、讨论问题的空间,鼓励师生与外校进行交流。同时,提供必要的物质资源支持,如实验室共享、设备共用等。设计创新激励机制,如合作研究基金、联合培养项目等,以实质性的支持鼓励研究人员开展合作。

第三,高校部门应该尽可能降低研究人员之间的交流的成本。本文发现地铁开通可以有效降低本地交流成本,促进研究人员之间的知识溢出和科学合作,最终推动基础研究产出。除了通过建设交通基础设施降低交流成本以外,还可以考虑以其他方式降低研究人员之间的交流成本,创造更好的研究人员知识传播的环境和氛围。如 Andrews (2021) 发现,美国星巴克的扩张为研究人员提供了较好的非正式交流环境,有助于降低交流成本,促进知识溢出和区域创新。因此,高校部门也可以通过创造正式的或者非正式的工作环境,以降低研究人员之间的交流成本,促进基础研究创新产出。例如,在高校内部或跨校建立学术交流中心,提供会议室、研讨室等交流空间,促进非正式交流,降低研究人员组织学术活动的门槛。定期举办学术沙龙、研讨会等活动,使其成为研究人员交流的常态机制,从而降低每次组织学术交流所需的成本和精力。

参考文献

- [1] 蔡跃洲.中国共产党领导的科技创新治理及其数字化转型——数据驱动的新型举国体制构建完善视角[J].管理世界,2021,37(8):30-46.
- [2] 胡凯,王炜哲.如何打通高校科技成果转化的“最后一公里”?——基于技术转移办公室体制的考察[J].数量经济技术经济研究,2023,40(4):5-27.
- [3] 黄炜,张子尧,刘安然.从双重差分法到事件研究法[J].产业经济评论,2022,(2):17-36.
- [4] 亢延锟,黄海,张柳钦等.产学研合作与中国高校创新[J].数量经济技术经济研究,2022,(10):129-149.
- [5] 冷萱,李涵.学科集聚、知识溢出与基础研究产出[J].数量经济技术经济研究,2022,(9), 94-113.
- [6] 刘灿雷,姜丽,张静.企业间技术转让的知识溢出效应——来自专利转让的证据[J].数量经济技术经济研究:1-22.
- [7] 刘冲,沙学康,张妍.交错双重差分:处理效应异质性与估计方法选择[J].数量经济技术经济研究,2022,(9):177-204.
- [8] 林雨昕,刘怡.基础研究资助逆向激励的考察[J].数量经济技术经济研究,2023,(11):94-116.
- [9] 刘修岩,王峤,吴嘉贤.城市快速轨道交通发展与企业创新[J].世界经济,2022,(7):126-152.
- [10] 王岳龙,袁旺平.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[J].经济科学,2022,(2):82-95.
- [11] 王岳龙,袁旺平.地铁开通、协同合作与企业创新[J].经济评论,2023,(6):140-158.
- [12] 文雁兵,张梦婷,俞峰.中国交通基础设施的资源再配置效应[J].经济研究,2022,(1):155-171.
- [13] 许宏伟,钟粤俊.教育资源再配置与创新研发——基于高校合并的视角[J].经济学(季刊),2022,(3):1039-1060.

- [14] 张果果,郑世林.国家产业投资基金与企业创新[J].财经研究,2021,(6):76~91.
- [15] 张吉鹏,卢冲.户籍制度改革与城市落户门槛的量化分析[J].经济学(季刊), 2019,(4):1509~1530.
- [16] 张杰,白铠瑞.中国高校基础研究与企业创新[J].经济研究,2022,(12):124~142.
- [17] 张玲玲,王蝶,张利斌.跨学科性与团队合作对大科学装置科学效益的影响研究[J].管理世界,2019, (12):199~212.
- [18] 张子尧,黄炜.事件研究法的实现、问题和拓展[J].数量经济技术经济研究, 2023, (9): 71-92.
- [19] 郑维伟,瞿茜,刘耀彬,安玲林.互联网时代“线下交流”不再重要了吗?——基于“知识空间溢出”悖论与区域创新的检验[J].财经研究,2023,(3):155~169.
- [20] Agrawal A., Galasso A., Oettl A.,2017, *Roads and Innovation*[J], Review of Economics and Statistics, 99(3), 417-434.
- [21] Andrews, 2021, *Cup of Joe and Knowledge Flow: Coffee Shops and Invention*[R], Working Paper.
- [22] Bono P.-H., David Q., Desbordes R., Py L.,2022, *Metro Infrastructure and Metropolitan Attractiveness*[J], Regional Science and Urban Economics, 93(103757).
- [23] Boudreau K.J., Brady T., Ganguli I., Gaule P., Guinan E., Hollenberg A., Lakhani K.R.,2017, *A Field Experiment on Search Costs and the Formation of Scientific Collaborations*[J], Review of Economics and Statistics, 99(4), 565-576.
- [24] Brucks M.S., Levav J.,2022, *Virtual Communication Curbs Creative Idea Generation*[J], Nature, 605(7908), 108-112.
- [25] Campos R., Leon F., Mcquillin B.,2018, *Lost in the Storm: The Academic Collaborations That Went Missing in Hurricane Issac*[J], The Economic Journal, 128(610), 995-1018.
- [26] Catalini C., Fons-Rosen C., Gaulé P.,2020, *How Do Travel Costs Shape Collaboration?*[J], Management Science, 66(8), 3340-3360.
- [27] Cinelli C., Forney A., Pearl J.,2022, *A Crash Course in Good and Bad Controls*[J], Sociological Methods & Research, 00491241221099552.
- [28] de Chaisemartin C., D’haultfoeuille X.,2020, *Two-Way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects*[J], American Economic Review, 110(9), 2964-2996.
- [29] de Leon F.L.L., Mcquillin B.,2020, *The Role of Conferences on the Pathway to Academic Impact: Evidence from a Natural Experiment*[J], Journal of Human Resources, 55(1), 164-193.
- [30] Dong X., Zheng S., Kahn M.E.,2020, *The Role of Transportation Speed in Facilitating High Skilled Teamwork across Cities*[J], Journal of Urban Economics, 115,103212.
- [31] Foerderer J.,2020, *Interfirm Exchange and Innovation in Platform Ecosystems: Evidence from Apple’s Worldwide Developers Conference*[J], Management Science, 66(10), 4772-4787.
- [32] Goodman-Bacon A.,2021, *Difference-in-Differences with Variation in Treatment Timing*[J], Journal of Econometrics, 225(2), 254-277.
- [33] Gu Y., Jiang C., Zhang J., Zou B.,2021, *Subways and Road Congestion*[J], American Economic Journal: Applied Economics, 13(2), 83-115.
- [34] Jones B.F.,2021, *The Rise of Research Teams: Benefits and Costs in Economics*[J], Journal of Economic Perspectives, 35(2), 191-216.
- [35] Koh Y., Li J., Xu J.,2022, *Subway, Collaborative Matching, and Innovation*[J], Review of Economics and Statistics, 1-45.
- [36] Kusumegi K., Sano Y.,2022, *Dataset of Identified Scholars Mentioned in Acknowledgement Statements*[J], Scientific Data, 9(1), 461.
- [37] Liu C., Li L.,2020, *How Do Subways Affect Urban Passenger Transport Modes?—Evidence from China*[J], Economics of Transportation, 23,100181.
- [38] Liu L., Wang Y., Xu Y.,2022, *A Practical Guide to Counterfactual Estimators for Causal Inference with Time - Series Cross - Sectional Data*[J], American Journal of Political Science, 64(1), 160-176.
- [39] Moretti E.,2021, *The Effect of High-Tech Clusters on the Productivity of Top Inventors*[J], American Economic Review, 111(10), 3328-3375.
- [40] Rosenthal S.S., Strange W.C.,2020, *How Close Is Close? The Spatial Reach of Agglomeration*

Economies[J], Journal of Economic Perspectives, 34(3), 27-49.

[41] Sun L., Abraham S.,2021, *Estimating Dynamic Treatment Effects in Event Studies with Heterogeneous Treatment Effects*[J], Journal of Econometrics, 225(2), 175-199.

[42] Uzzi B., Mukherjee S., Stringer M., Jones B.,2013, *Atypical Combinations and Scientific Impact*[J], Science, 342(6157), 468-472.

[43] Van Der Wouden F., Youn H.,2023, *The Impact of Geographical Distance on Learning through Collaboration*[J], Research Policy, 52(2), 104698.

[44] Wang Q., Liu X., Zhang F., Hu T.,2022, *Subways and the Diffusion of Knowledge: Evidence from China*[J], China & World Economy, 30(4), 60-99.

[45] Wu L., Wang D., Evans J.A.,2019, *Large Teams Develop and Small Teams Disrupt Science and Technology*[J], Nature, 566(7744), 378-382.

[46] Wuchty S., Jones B.F., Uzzi B.,2007, *The Increasing Dominance of Teams in Production of Knowledge*[J], Science, 316(5827), 1036-1039.

The Path of University Basic Research Innovation Improvement: Based on the Perspective of Local Communication Cost

LENG Xuan¹ LI Han² HE Jiabin³

(1. China Center for Special Economic Zone Research, Shenzhen University;

2. School of International Business, Southwest University of Finance and Economics;

3. School of Applied Economics, Renmin University of China)

Summary: As the source of science, basic research plays a decisive role in improving a country's overall innovation level and solving key technological problems. Promoting innovation in basic research is crucial for the endogenous driving force of a country's economic growth and is particularly important for the development and security of a country. Therefore, how to promote innovation, especially basic research, in the process of China's modernization is a vital question that needs to be answered. In the innovation process of basic and applied research, it is important to have interaction between researchers, especially face-to-face communications. Reducing communication costs plays an important driving role in both applied and basic research innovation. This study investigates how lower local communication costs promote basic research in China using data from published studies.

The extensive infrastructure development of China has not only propelled the country toward becoming a powerhouse in transportation but also significantly contributed to reducing the cost of interactions. With an increasing number of cities launching rail transit to alleviate congestion and reduce commuting times, as of the end of 2021, 51 cities across 31 provinces (including autonomous regions, that is, municipalities directly under the Central Government) and the Xinjiang Production and Construction Corps had 269 urban rail transit lines in operation, covering a total length of 8,708 kilometers. Over the past two decades, there has been a notable increase in both the operational mileage and passenger volume of China's subways. Compared with applied research, the outcomes of basic research innovation are more open and easily disseminated, thus generating more knowledge spillovers from face-to-face interactions. We consider the construction of urban subways as a quasi-natural experiment and employ a difference-in-differences approach to identify the causal effect of reduced local communication costs on academic exchanges, scientific collaboration, and basic research output.

We constructed an indicator of basic research innovation output based on the paper publication data at the discipline level of Chinese universities from 2006 to 2020 in the China University Science and Technology Achievement Statistics Analysis Database, and compiled the opening time of subway in

Chinese cities as an exogenous shock that reduces local communication costs. Based on these data, we construct an indicator of basic research innovation output at the year-city-university-discipline level and information on the opening of subway at the city-year level. Using the exogenous variation of the opening of subway in different cities and years, we identify the impact of subway on basic research using the difference-in-differences method. Additionally, we also analyze the impact of reduced local communication costs on scientific collaboration using information on 2294767 SSCI and SCI papers published by Chinese scholars from 2006 to 2020 obtained from Web of Science (WOS).

Empirical results show that the opening of subway systems has a significant promoting effect on basic research innovation. The reduction of local communication costs leads to a significant increase about 4% at the year-university-discipline level. Heterogeneity analysis indicates that the reduction of local communication costs mainly drives high-quality basic research output. At the same time, there exists heterogeneity in the impact of the reduction of local communication costs on basic research among universities, mainly promoting basic research output in non-Double First-Class universities. Mechanism analysis in this paper shows that the reduction of local communication costs not only promotes knowledge flow, as evidenced by a significant increase in the number of paper downloads, but also promotes the sharing of local experimental facilities, ultimately driving scientific cooperation among researchers in the city. Empirical evidence based on WOS data shows that the reduction of local communication costs increases the probability of local scientific cooperation by 16.7% and significantly increases the number of collaborators by 8% on the original basis.

Keywords: Face-to-face interaction; Local communication costs; Scientific collaboration; University innovation;

JEL classification: O360; R410; O180