

创新集群的“中心—外围结构”：技术互补与经济增长收敛性研究

郑江淮 陈 喆 冉 征*

摘要：创新驱动发展战略推动经济地理格局从产业集群转向创新集群，传统以地理距离为边界的区域发展格局被逐渐打破，中心与外围城市之间技术互补关系逐渐成为主导。本文运用技术复杂度和城市间技术互补指数对创新集群中心城市和外围城市进行重新识别，并对互补性技术体系下创新集群中心—外围的经济增长收敛性进行深入分析。研究发现，创新集群中心—外围经济发展差异呈现不断缩小的特征；中心与外围城市间技术互补促进了创新集群经济增长的绝对 β 收敛和条件 β 收敛趋势，并存在显著的空间效应；创新集群中心—外围技术结构呈现从技术竞争向技术互补的转变，中心与外围城市技术竞争对创新集群经济增长收敛具有抑制作用；外围城市协同式创新水平和倾向的提升有利于提高创新集群中心—外围技术互补程度。这些经验证据的政策含义是转变区域发展思路，实现从以地理半径为导向到以技术半径为导向的逐渐转变，增强城市间、都市圈与城市群内外部城市的技术互补，赋能创新集群中心城市，在更大地理范围内实现城市间技术分工与合作，推动区域高质量协调发展。

关键词：创新集群中心—外围 技术复杂度 城市间技术互补 收敛性

中图分类号：F061.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-3894(2023)01-0066-21

一、引言

创新驱动发展战略深入推进，促使中国区域经济发展格局和空间结构发生了深刻的变化，区域发展目标已从追求区域协调发展向注重区域高质量协调发展转变。中心城市和城市群正在成为承载发展要素的主要空间形式，充分发挥各地区比较优势、促进各类要素合理流动和高效集聚已成为促进区域高质量协调发展的重要手段^①。习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上再次重点指出，要深入实施区域协调发展战略，优化重大生产力布局，构建优势互补、高质量发展的区域经济布局。

* 郑江淮，教授，南京大学长江三角洲经济社会发展研究中心、南京大学经济学院产业经济学系，电子邮箱：zhengjh@nju.edu.cn；陈喆，博士研究生，南京大学经济学院产业经济学系，电子邮箱：dg20020025@smail.nju.edu.cn；冉征（通讯作者），博士研究生，南京大学经济学院产业经济学系，电子邮箱：372164210@qq.com。本文获得国家社会科学基金重大项目“创新链与产业链耦合的关键核心技术实现机理与突破路径研究”（22&ZD093）、教育部重点研究基地重大项目武汉大学经济发展研究中心“基于中国实践的创新发展理论研究”、南京大学长江三角洲经济社会发展研究中心和中国特色社会主义经济建设协同创新中心联合专项重大研究课题“长三角实践创新中国发展经济学：从产业集群到技术集群”的资助。感谢匿名审稿专家的宝贵意见，文责自负。

^① 参见习近平《推动形成优势互补高质量发展的区域经济布局》，《求是》2019年第24期。

自改革开放以来,中国区域经济发展在不同空间尺度下开始表现出产业集群中心—外围发展格局,如沿海城市凭借雄厚的产业基础、良好的市场化水平和营商环境等优势吸引了大量产业地理集聚,快速成长为产业集群中心城市,而内陆城市则成为发展相对落后的外围城市。另外,不同省份内部也呈现以省会城市以及高经济发展水平城市为产业集群中心城市、其他城市为外围城市的省内中心—外围发展格局(赵永亮,2012)。在此过程中,产业集群中心城市利用丰富的土地、劳动力等要素资源实现了快速发展,并在辐射效应下带动了外围城市的发展。

但当城市经济发展达到一定程度时,土地、劳动力等要素资源短缺以及成本上升等问题逐渐突出,产业集群中心城市逐渐出现容量饱和,竞争优势和产出效率不断下降,要素成本压力增大。为避免进入产业集群衰退期,部分产业集群中心城市开始通过不断引入科技人才、加大研发投入以及增强与其他城市间技术分工与合作等形式培育创新型企业,并逐渐重视高校、科研机构、国家创新资源在其中的积极推动作用。与此同时,城市间技术联系也从技术竞争向技术互补转变,表现为各城市申请的专利越来越集中在某些特定技术领域里,各城市有比较优势的产品生产呈现多样化分工,中心与外围城市从传统的受制于地理半径的辐射效应、同行业竞争关系逐渐转向打破地理半径限制的技术互补格局。这意味着,区域发展模式从产业集群向创新集群的转型已成为必然趋势。创新集群的中心与外围之间以技术关联、技术互补为主要纽带,突破了地理邻近性限制,一个外围城市可以与多个创新集群中心城市形成技术互补,多个创新集群中心城市之间也可以形成技术互补,外围城市之间也会形成局部的技术互补,创新地理呈现中心城市与外围城市之间技术网络分布,都市圈和城市群之间的联系在创新驱动中更加开放、灵活和相互补充。

本文认为,面对城市间日益紧密的技术分工与合作,依靠产业集群特征对中心城市和外围城市进行界定已不完全适用于分析城市间经济发展关系。为此,本文尝试从城市技术复杂度和城市间技术互补视角出发,对创新集群中心城市与外围城市进行重新识别,探讨创新集群中心与外围城市间技术互补对其经济增长收敛的具体影响。在此基础上,基于中心—外围技术结构的演变,揭示竞争性技术体系下创新集群中心—外围经济增长是呈现收敛还是发散特征,揭示中心与外围城市间技术互补在推动创新集群经济增长收敛中的积极作用,考察协同式创新能否促进创新集群中心与外围城市间进行技术互补。

本文可能的边际贡献包括:首先,尝试运用技术复杂度指数和城市间技术互补指数对创新集群的中心城市和外围城市进行重新识别,从创新驱动视角对中心城市重新定位,以及从城市间技术关联和互动视角重新看待中心城市和外围城市之间的关系;其次,依据创新集群中心城市与外围城市的划分,利用创新集群中心—外围经济发展差异指标、 β 收敛模型以及空间计量模型深入探讨了创新集群中心—外围技术互补对其经济增长收敛的影响;最后,从中心—外围技术结构演变以及技术互补的推动因素视角展开进一步分析,以深化对创新集群中心—外围技术互补和经济增长收敛性之间内在关系的理解。

二、文献综述

地区发展不平衡及其收敛性问题是经济发展过程中长期存在的关键问题之一。一般来说,地区发展不平衡随着经济增长表现为先上升后下降的变化态势(Kuznets, 1955; Barrios 和 Strobl, 2009)。地区间要素投入差距是导致地区发展不平衡呈现倒“U”形变化的主要原因,由于要素投入具有边际收益下降规律,地区发展不平衡最终将趋于收敛(Lucas, 2000;

Lessmann 和 Seidel, 2017)。但对于不同时期、不同国家以及国家内不同地区而言，地区发展不平衡情况存在明显差异。对中国而言，自改革开放以来，地区发展不平衡呈现先持续快速上升后平稳缓慢下降的变化过程（覃成林等，2011），东部地区内各省份经济差距呈现收敛发展趋势，而中西部地区没有表现出收敛性，甚至呈现一定的发散态势（石风光和李宗植，2010）。区域间差异已成为区域差异的主要来源，而东部与西部地区的区域间差异最大，中部和西部地区的区域间差异最小（陈景华等，2020；王晶晶等，2021）。蔡昉和都阳（2000）指出，户籍制度带来的劳动力流动受阻导致中西部地区劳动力要素市场发展不充分，加大了地区间的经济发展差距。此外，人力资本差异、产业结构差异等一系列因素也在不同程度上扩大了中国地区发展不平衡（白雪梅，2004；Das，2012）。这也意味着，加快推动地区间的劳动力流动，完善交通基础设施建设等促进地区间技术交流和互动的相关因素将有利于缩小和改善地区发展不平衡问题（陈梦根和张帅，2020）。

在地区发展不平衡问题的研究中，以 Krugman（1991）中心—外围模型为代表的新地理经济学理论强调从生产要素流动以及运输成本等因素审视地区发展不平衡问题，指出促进或削弱产业集聚的向心力或离心力将推动制造业由均匀分布逐渐演变成“中心—外围”空间结构。其中，中国东部沿海地区自改革开放后，凭借雄厚的产业基础以及良好的市场化水平等因素，实现了快速的产业集聚与经济发展，而中西部地区则发展相对缓慢，地区间逐渐演化出“中心—外围”空间结构（刘晨晖和陈长石，2017）。在此过程中，产业集聚中心地区与外围地区不断扩大的经济发展差距引致地区发展不平衡（Fujita 等，1999；范剑勇，2013）。但随着“中心—外围”空间结构的不断完善以及空间功能分工深化，地区间经济发展差距也将从扩大趋势向逐渐缩小发展态势转变。兰秀娟等（2021）研究发现，中心—外围城市经济发展差异整体表现为收敛发展态势，中部地区收敛速度最快，而西部地区收敛速度最慢。

一个地区所具有的劳动力等传统要素资源不是无限供给的，同时，国际经济不稳定的周期波动也导致中国沿海地区依靠低成本要素的出口导向型发展模式受到阻碍（赵永亮，2012）。这意味着，地区经济发展从要素驱动转向创新驱动，“中心—外围”空间结构从产业集群模式向创新集群模式转变已成为必然趋势。倪青山等（2021）研究发现创新绩效中心城市已由 4 个扩大为 18 个，平均有 74.8% 的创新绩效中心和次中心城市位于东部地区。但现有研究并没有对创新集群中心—外围发展模式展开深入研究。另外，目前关于中心城市和外围城市的划分主要是基于地理区位特征，将某一省份内的省会城市以及人均 GDP 排名第一位的地级市划分为中心城市，而省份内的其余地级市划分为外围城市（陈长石和刘晨晖，2015），对城市创新能力以及城市间日益紧密的技术关联程度等因素缺乏考虑。

本文在现有研究的基础上，尝试运用技术复杂度指数和城市间技术互补指数对创新集群中心城市和外围城市重新进行划分，并利用分析城市经济收敛性的相关研究方法，深入探讨创新集群中心—外围技术互补对其经济增长收敛性的具体影响。另外，本文结合中心城市与外围城市间技术结构演变特征，对创新集群中心—外围经济增长收敛性的相关变动进行检验，考察了协同式创新在推动中心—外围技术互补中的作用，为加快推动中国区域高质量协调发展提供政策启示。

三、创新集群中心—外围动态演变及其经济增长收敛性分析

（一）创新集群发展格局的兴起

Krugman（1991）的中心—外围模型指出，以外部经济、市场规模效应为主的向心力，

以及运输成本、拥挤效应和污染效应为主的离心力共同决定了经济地理格局，当向心力大于离心力时，两个对称的地区最终将演化为制造业“中心”和农业“外围”，形成产业集聚中心—外围发展格局。并且，将两地区发展情况拓展至多地区和连续空间时，产业集聚中心—外围发展模式仍然存在，并会产生数量更少以及规模更大的集聚。

在工业化发展初期，产业集聚中心主要以少数工业城市的企业集聚为主，各城市凭借自身资源禀赋和产业基础优势，通过规模效应以及外部经济不断从外围城市吸引劳动力资本等要素资源流入，来实现规模快速扩张与经济发展。在此过程中，具有竞争、合作关系的相关联企业、中介服务机构、高校以及研究机构等经济主体在地理上集中，逐渐发展成为产业集群，外围城市获取中心城市带来的辐射效应。而距离较远的外围城市由于与中心城市之间的运输成本较大，仍以自身要素投入和本地需求来推动城市经济发展。考虑到工业化前期各城市创新能力普遍较低，技术主要来源于引进和模仿，导致中心城市和外围城市生产的技术差异较小、技术结构较为相似，城市间主要呈现技术竞争格局。各城市通过技术引进与模仿来不断进行技术研发和产品创新，实现了产业发展规模的快速增长。

当工业化进程逐渐进入较为成熟的阶段时，部分产业集群中心城市的容量开始趋于饱和，劳动力和土地等要素资源成本逐渐增加，企业的盈利能力开始不断下降，难以进一步提升产业集群的生产率和竞争优势。与此同时，外围城市从中心城市获取的辐射效应也逐渐减弱。中心城市如果不能就产业和技术进行重新定位以实现转型升级，将逐步进入产业集群衰退期。此时，为了避免陷入产业集群发展困境，部分城市开始实施创新驱动战略，吸引创新人才、科研机构和其他创新资源向本地集聚，通过发挥各类创新主体的协同作用以充分释放创新活力，加快推进技术创新与产业升级进程。其中，新技术以及新产品所带来的超额利润能够有效弥补逐步上升的工资与研发成本，该类城市有能力继续吸引更多的创新资源来推动创新的深化，本地化创新能力持续集聚，创新集群中心城市在此过程中不断形成^①。创新资源本地化集聚产生了“虹吸效应”，导致其他城市创新资源相对减少，创新越来越多地发生于创新集群中心，创新集群中心的非核心技术生产环节也逐渐向其他城市转移，其他城市逐渐演变成以生产环节为主并围绕相关新技术使用、扩散的外围城市，形成了创新资源集聚的中心—外围格局，共同组成创新集群。

值得指出，在创新驱动增长阶段，城市的创新资源禀赋与创新能力集聚已成为创新集群中心城市形成的重要基础和必要条件，创新集群中心城市成为培育颠覆式创新、创造新技术和新产品的主要集聚地，而外围城市往往在新技术逐渐成熟或成功产业化后开始进行技术引进、吸收与再创新（Kemeny 等，2022）。这意味着，原有产业集群发展阶段中形成的部分产业集群中心城市可能并没有转变为创新集群中心城市，而部分外围城市拥有丰富的创新资源禀赋和创新能力受到产业创新需求拉动，得以迅速发展，成为新的创新集群中心城市。经济发展地理格局呈现从产业集群向创新集群的重大转变。

（二）创新集群中心—外围技术互补的经济增长收敛性分析

在创新集群中心—外围新发展格局的形成过程中，中心和外围城市之间关系逐渐从传统的城市间辐射关系、技术竞争转向城市间技术互补关系。由于技术领域的多样性和复杂性，以及城市集聚创新资源的有限性，一个创新集群中心城市会与多个外围城市之间发生技术互

^① Gruber 等（2022）对美国城市的研究表明，创新集群中增加一名科学家所带来的生产率收益要大于相应的成本上升，科学家数量每增加 10%，成本就会增加 0.11%，而生产力则会提高 0.67%。

补，同时，一个外围城市也可以与多个创新集群中心城市形成技术互补关系，多个创新集群中心城市、多个外围城市也会发生技术互补，城市间的技术分工与合作日益密切。

具体来看，当中心城市的劳动力、土地或创新资源接近或达到充分配置时，出于盈利增长和成本降低的动机，中心城市会将部分产品的非核心技术领域转移到相关资源更丰富以及要素成本更低的外围城市进行研发，为本地核心技术领域研发预留更多的发展空间。而这部分非核心技术领域对于承接转移的外围城市可能是相对更新的技术或者是已经具备的技术，但无论是何种情况，这一过程都增加了对外围城市从事研发的相应技术人才、研发支出以及创新资源的需求。此时，外围城市的创新积极性和研发强度不断增加，更高复杂度、新的技术领域将在原有技术领域的基础上不断产生，进一步推动外围城市在更多的技术领域上与中心城市进行技术互补，加快促进了外围城市知识积累和技术水平的提升。另外，当外围城市在现有技术领域上的进一步创新受到限制时，本地创新资源的有限性将促使外围城市去寻找更具专业化的相关技术。这意味着，外围城市将会与技术需求匹配且具有更新技术的中心城市在自身核心技术领域内开展深度的技术分工与合作，以不断扩大技术领域发展空间、提高产品竞争优势。

在此过程中，创新集群的创新资源配置地理范围显著扩大，中心城市与外围城市间技术互补程度不断提高，城市间日益密切的技术关联与互动打破了传统的地理距离限制。外围城市通过积极承接中心城市非核心技术领域研发，以及在自身核心技术领域上与中心城市深化技术分工的方式实现了快速的知识积累和技术升级，不断缩小了与中心城市之间的经济发展差距。需要强调的是，外围城市之间所具备的创新资源禀赋以及市场环境等因素也存在显著差异，对于本地化创新资源禀赋且市场化水平较高的外围城市，伴随着其在越来越多的技术领域上与中心城市进行技术互补，这类外围城市也会逐渐将自身非核心技术领域转移到其他发展相对落后的外围城市进行研发，并将节约下来的研发资源重新配置到核心技术领域中，加快缩小了其与中心城市之间的经济发展差距。而对于本地化创新资源较薄弱且市场活跃度较低的外围城市，其主要依靠承接中心城市和部分发展迅速外围城市的非核心技术领域转移参与到技术分工之中，经济收敛呈现先不断追赶发展迅速外围城市，再逐渐缩小与中心城市经济差距的发展过程。

总之，创新驱动发展战略推动经济地理格局呈现从产业集群向创新集群的重大转变。在此过程中，中心城市与外围城市间技术互补程度的不断提高加快缩小了两者之间的经济发展差距，推动创新集群经济增长呈现不断收敛特征，区域高质量协调发展进程显著加快。

四、创新集群中心—外围的界定与计量模型

（一）创新集群中心—外围的识别

1. 创新集群中心城市的界定方法：技术复杂度

技术复杂度指标从产品的复杂度和多样化程度两个视角对城市竞争力进行了衡量，即城市技术复杂度越高，城市竞争力也相应越强。具体而言，高技术复杂度城市的技术研发和产品创新能力普遍较强，容易在相关产品（尤其是高技术产品）上形成比较优势，并且有较高的概率在关联性较高的产品上也形成比较优势（Hausmann 等，2007），即相比于其他城市而言，高技术复杂度城市具有更高的产品复杂度和多样化程度，是创新资源重点集聚城市，在创新集群发展中更具有竞争力。因此，相比于传统按照地理区位、经济发展水平确定的产业集群中心城市，本文依据各城市的技术复杂度水平对创新集群中心城市进行重新划分。

本文借鉴 Tacchella 等 (2012) 提出的测算技术复杂度指标的 EFC 方法, EFC 方法是一种基于耦合非线性映射的新统计方法, 该方法的不动点定义了一个新的国家适合性和产品复杂性指标。相比于 Hidalgo 和 Hausmann (2009) 提出的 HH 方法, EFC 方法基于高度非线性关系, 根据产品生产国的适用性来定义产品复杂性。原因在于, 当一项产品是由发达国家进行生产时, 这对该产品本身复杂性只提供了有限的信息, 因为这些国家几乎出口所有产品。但当一个欠发达国家出口一项产品时, 该产品很可能只需要较低的复杂度。这意味着, 运用产品复杂度来衡量一个国家的竞争力和适应性是合理的, 但反过来, 通过国家的平均适应性来表征产品复杂度是不合理的。因此, EFC 方法采用高度非线性方式对国家产品复杂性进行衡量, 即国家竞争力不仅取决于产品复杂度, 还与产品多样化程度 (适应性程度) 密切相关。例如, 中国作为一个具有多元化“出口篮子”的国家, 其通过 HH 方法得到的国家竞争力排名第 29, 而通过 EFC 方法得到的国家竞争力排名第 2。这意味着, 对于 HH 方法而言, 产品多样化对于国家竞争力并不是一个优势, 出口低复杂度产品将是一种障碍。结合来看, EFC 方法的结果更符合一般认知。为此, 本文将研究对象聚焦为中国各城市, 运用 EFC 方法对城市技术复杂度进行测算。

城市技术复杂度指标的基础是显性比较优势指数, 本文采用各城市发明专利申请数据来代替出口贸易额数据, 形成显性专利比较优势指数 (Revealed Patent Comparative Advantage, RPCA):

$$RPCA_{ict} = \frac{Patent_{ict} / \sum_c Patent_{ict}}{\sum_i Patent_{ict} / \sum_{ic} Patent_{ict}}$$

$$x_{ict} = \begin{cases} 0 & RPCA_{ict} < 1 \\ 1 & RPCA_{ict} \geq 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, i 代表城市, c 代表专利四位代码的分组, t 代表年份。 $RPCA_{ict}$ 的含义是将 c 技术领域专利在 i 城市所有专利中所占的份额与该技术领域专利全地区范围样本的平均份额进行比较, 当该指数大于 1 时, 则表明 i 城市在 c 技术领域上具有显性比较优势。本文将历年 x_{ic} 指标构建一个二维矩阵 $M = (M_{ic})$, 其中 M_{ic} 表示 i 城市在 c 技术领域是否拥有显性技术优势, 即“专利空间”。在此基础上, 通过构造适应性和复杂度指数对各城市技术复杂度进行测算:

$$\begin{cases} \tilde{F}_i^{(n)} = \sum_c M_{ic} Q_c^{(n-1)} \\ \tilde{Q}_c^{(n)} = \frac{1}{\sum_i M_{ic} \frac{1}{F_i^{(n-1)}}} \end{cases} \quad \begin{cases} F_i^{(n)} = \frac{\tilde{F}_i^{(n)}}{\langle \tilde{F}_i^{(n)} \rangle_i} \\ Q_c^{(n)} = \frac{\tilde{Q}_c^{(n)}}{\langle \tilde{Q}_c^{(n)} \rangle_c} \end{cases} \quad (2)$$

其中, F 代表城市 i 的产品适应性程度, Q 表示产品 c 的复杂度, 上标 n 和 $n-1$ 表示迭代次数, $\langle \cdot \rangle$ 符号代表向量的算术平均值。在没有迭代的初始状态下, 假定对于任意 c , 有 $\tilde{Q}_c^{(0)} = 1$; 对于任意 i , 有 $\tilde{F}_i^{(0)} = 1$ 。式 (2) 的具体思想是定义一个迭代过程, 该过程将一个城市的产品适应性和复杂度结合起来, 进而获得固定点值。 F 与“技术空间”成正比, 并通过产品复杂度 Q 进行加权。而 Q 与“技术空间”成反比, 并且, 如果一个城市具有较高的产品适应性, 则将减少限制产品复杂度的权重, 反之则增加了限制产品复杂度

的权重。

本文利用中国专利数据库中的发明专利申请数据对 2000 ~ 2015 年各城市的技术复杂度进行了测算。首先，将各城市技术复杂度的均值与所有城市技术复杂度的均值进行比较，筛选出技术复杂度水平高于全国水平的 41 个城市。其次，从 41 个城市中进一步筛选出历年技术复杂度排名位于前 41 名的 20 个城市，将其界定为创新集群中心城市，包括北京、上海、深圳、广州、苏州、成都、杭州、天津、西安、南京、武汉、宁波、无锡、哈尔滨、长沙、沈阳、大连、青岛、佛山和常州。原因在于，这类城市不仅在全国范围内具有较高的产品复杂度和多样性，同时也具备良好稳定的技术发展环境，有利于创新集群的形成以及持续发展。表 1 显示了创新集群中心城市 2000 ~ 2015 年的平均技术复杂度指数，可以发现北京和上海技术复杂度指数显著大于其他创新集群中心城市。另外，大部分创新集群中心城市均位于东部地区，而少数位于中西部和东北地区，这与东部地区具备良好的产业基础、营商环境以及市场化水平等因素存在密切联系，为加快培育创新集群提供了优势条件。

表 1 创新集群中心城市的平均技术复杂度指数及排名变化

中心城市	平均值	中心城市	平均值
北京	81.130	武汉	5.245
上海	44.613	宁波	4.269
深圳	13.387	无锡	4.199
广州	10.155	哈尔滨	3.998
苏州	8.837	长沙	3.275
成都	7.014	沈阳	3.243
杭州	6.728	大连	3.006
天津	6.654	青岛	2.929
西安	5.549	佛山	2.496
南京	5.392	常州	2.201

2. 创新集群外围城市的界定方法：城市间技术互补

本文基于郑江淮等（2022）的研究，对城市间技术互补指数进行测算，以表征各城市依据自身比较优势进行产品内差异化技术领域分工与合作的密切程度，具体指标构建如下：

$$Cra_{ij} = \sum_{g=1}^G \left[\frac{1}{\sqrt{P_i^g P_j^g}} \left(\sum_{m \in S_G} \sum_{n \in S_G, n \neq m} P_i^m P_j^n \right) \right] \tag{3}$$

其中， Cra_{ij} 表示城市*i*和城市*j*之间的技术互补程度。*i*和*j*为城市下标，表示不同城市；*g*为技术大类上标，*G*为技术大类个数； S_G 为技术大类集合，*P*为技术大类的专利占比（与城市总专利数之比）；*m*和*n*为城市*i*和城市*j*的技术小类上标，*p*为技术小类的专利占比（与城市总专利数之比）。另外，本文采用四位码技术类别作为技术大类，而五位码或六位码技术类别作为技术小类。

为更全面地揭示城市间技术互补程度的变化特征，本文利用发明专利申请数据对 1985 ~ 2015 年城市间技术互补指数进行了测算，具体变化趋势如图 1 中的实线所示。可以看出，城市间技术互补程度表现出显著的上升发展态势，这意味着，对于一项产品的生产，各城市依

靠自身比较优势在越来越多的差异化技术领域上进行研发，城市间技术分工与合作日益密切，这与目前城市间技术关联程度逐渐增加的发展现状相一致。

在此基础上，基于本文创新集群中心城市的界定，进一步利用城市间技术互补指数对 20 个创新集群中心城市的外围城市分别进行识别。第一步，本文将与创新集群中心城市之间技术互补指数等于 0 的其他城市进行剔除，以保证中心城市与外围城市之间存在技术关联性。第二步，对于每一个创新集群中心城市，分别计算出其与其他城市之间技术互补指数的平均值，将样本周期 16 年中存在 8 年及以上技术互补指数大于平均值的其他城市筛选出来，界定为本文的外围城市。进行第二步筛选的原因在于，一是剔除与所有中心城市技术互补程度均很低的其他城市，以防止将该类城市界定为外围城市而导致回归结果有偏；二是需要考虑到部分城市从技术互补程度较低的非外围城市转化为技术互补程度较高的外围城市的发展情况，避免采用历年技术互补均大于平均值的筛选方法造成的过度识别问题。在此基础上，本文分别得到了 20 个创新集群中心城市所对应的外围城市，通过将其进行汇总，即可以得到全国层面所涉及的创新集群中心城市和外围城市^①。上述外围城市的识别方法不仅打破了传统产业集群中心和外围城市界定的地理区域限制，还揭示了创新集群中心城市和外围城市之间的多对多关系，即一个中心城市对应多个外围城市的同时，一个外围城市也可以对应多个中心城市。需要注意的是，考虑到 2000 年以前城市相关统计数据存在不完整性的，为了在实证分析中保持数据周期的一致性，本文在识别外围城市时仅使用了 2000 ~ 2015 年的城市间技术互补数据。

基于重新划分的创新集群中心城市和外围城市，本文对创新集群中心—外围技术互补指数进行了筛选测算，具体变化趋势如图 1 的虚线所示。其中，短虚线采用中心城市与外围城市间技术互补指数的城市对数据，长虚线为加权平均法测算的每个中心城市（外围城市）与其对应的所有外围城市（中心城市）之间的技术互补指数，基于各城市专利数据进行赋权。可以看出，与全国城市间技术互补程度发展情况类似，无论是否进行加权处理，创新集群中心—外围技术互补程度均呈现显著的上升趋势。同时，由于对部分不符合条件的外围城市进行了剔除，导致创新集群中心—外围技术互补程度相对更高。

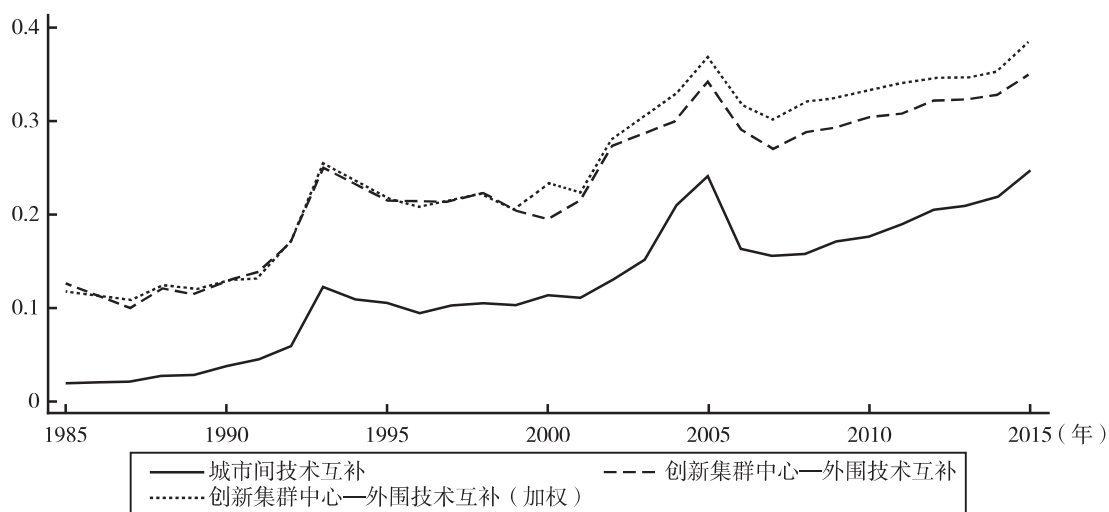


图 1 全国及创新集群中心—外围技术互补的变化趋势

① 全国层面的创新集群中心城市和外围城市数量分别为 20 个和 158 个。

(二) 创新集群中心—外围经济发展差异测度模型

在探讨中心—外围技术互补对创新集群中心—外围经济增长收敛的影响之前，本文首先揭示创新集群中心—外围经济发展差异是否呈现收敛特征。根据中心城市和外围城市的人均 GDP 水平，本文对全国和 20 个创新集群中心—外围经济发展差异进行了测度，若该值随着年份逐渐变小，则表明创新集群中心城市与外围城市之间的经济发展差距也在逐渐缩小，呈现收敛性特征。本文将创新集群中心—外围经济发展差异 Edd_{ij} 表现为：

$$Edd_{ij} = \max \{ (pergdp_i/pergdp_j), (pergdp_j/pergdp_i) \} \quad (4)$$

其中， $i=1, 2, \dots, m$ ，代表中心城市； $j=1, 2, \dots, d$ ，代表外围城市； d 和 m 分别表示外围城市和中心城市的城市数量。 $pergdp_i$ 代表中心城市的人均 GDP 水平。 $pergdp_j$ 代表外围城市的人均 GDP 水平。为此，式 (4) 表示，中心城市与外围城市经济发展差异 Edd_{ij} 按照两种类型城市的人均 GDP 比值取最大值，以保证无论 $pergdp_i \geq pergdp_j$ 还是 $pergdp_i < pergdp_j$ ，均存在 Edd_{ij} 值越大，创新集群中心城市与外围城市之间的经济发展差异越大。

(三) 互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长的 β 收敛模型

根据上述理论分析，创新集群中心—外围技术互补程度的增加对缩小两者经济发展差距具有推动作用。在此基础上，本文基于绝对和条件 β 收敛模型检验互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长收敛特征。 β 收敛表示随着时间的推移，城市之间的经济发展差距在不断缩小，最终达到同一稳态水平。基于 Barro 和 Sala-I-Martin (1997) 对经济增长率与初始产出水平的研究，本文分别构造包含创新集群中心—外围技术互补的绝对 β 收敛和条件 β 收敛模型。其中，相比于绝对 β 收敛，条件 β 收敛是指在考虑外界因素时，互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长的收敛趋势。绝对 β 收敛模型构建如下：

$$\frac{\ln(Pg_{i,t+T}/Pg_{it})}{T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Cra_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Cra_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中， $Pgr_{i,t+T} = (1/T) \ln(Pg_{i,t+T}/Pg_{it})$ 。 Pg_{it} 代表 i 城市的人均 GDP。 $\ln(Pg_{i,t+T}/Pg_{it})$ 表示 T 期内 i 城市人均 GDP 的平均增长率。 Cra_{it} 表示运用专利数据赋权法测算得到的 i 城市与其他城市之间的技术互补程度，如果 i 城市为中心城市，则 Cra_{it} 表示中心城市与其外围城市之间的技术互补程度；如果 i 城市为外围城市，则 Cra_{it} 表示外围城市与其中心城市之间的技术互补程度。考虑到经济波动的影响，以及经济结构因素对地区经济增长的作用存在滞后期，本文以 3 年为一个周期，基于滚动窗口对 Pgr 进行测度。另外， β 代表收敛常数，若 β 小于 0，则表示创新集群中心—外围城市经济增长存在绝对收敛；反之，则呈现发散特征。 μ 为地区固定效应， η 为时间固定效应， ε 为随机误差项。

考虑外界因素影响的条件 β 收敛模型构建为：

$$Pgr_{i,t+T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Cra_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Cra_{it} + \lambda X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中， X_{it} 为影响 Pgr 的一系列控制变量，其余变量含义与式 (5) 相同。

(四) 考虑空间效应的 β 收敛模型

常见的空间计量模型包括空间误差模型 (SEM)、空间滞后模型 (SAR) 和空间杜宾模型 (SDM)。其中，本文条件 β 收敛的 SEM、SAR 和 SDM 模型^①为：

① 绝对 β 收敛的空间效应模型为式 (7) ~ 式 (9) 不加入控制变量形式。

$$Pgr_{i,t+T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Cra_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Cra_{it} + \lambda X_{it} + \mu_i + \eta_t + u_{it} \quad (7)$$

$$u_{it} = \tau \sum_{j=1}^n \omega_{ij} u_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$$Pgr_{i,t+T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Cra_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Cra_{it} + \rho_1 \sum_{j=1}^n \omega_{ij} Pgr_{i,t+T} + \lambda X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$Pgr_{i,t+T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Cra_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Cra_{it} + \rho_1 \sum_{j=1}^n \omega_{ij} Pgr_{i,t+T} + \lambda X_{it} + \gamma \sum_{j=1}^n \omega_{ij} [\ln(Pg_{it}) + Cra_{it} \times \ln(Pg_{it}) + Cra_{it}] + \rho_2 \sum_{j=1}^n \omega_{ij} X_{ij} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

其中, τ 代表空间误差系数, ρ_1 和 ρ_2 分别代表 Pgr 和控制变量的空间滞后系数, γ 代表 $\ln Pg$ 、 $Cra \times \ln Pg$ 和 Cra 的空间滞后系数组合。对于三种空间计量模型的选择, 首先需要运用 LM 统计量检验是否存在空间自相关性, 若存在, 则 SEM 和 SAR 模型中至少有一个成立。其次, 通过 LR 统计量检验和 Wald 统计量检验判断 SDM 模型能否退化为 SEM 和 SAR 模型, 如果不能, 则 SDM 模型为最优选择, 如果能, 则依据检验结果选择 SEM 或 SAR 模型。另外, ω 为空间权重矩阵, 为避免考虑经济因素的空间权重会产生内生性问题, 本文采用地理距离空间权重矩阵, 以揭示空间效应随地理距离增加呈现的空间衰减特征, 具体构建如下:

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij}^2 & (i \neq j) \\ 0 & (i = j) \end{cases} \quad (10)$$

其中, d_{ij} 为利用城市 i 和城市 j 的经纬度数据测算的地理中心距离。

(五) 数据来源与控制变量选取

1. 数据来源

对于城市技术复杂度和城市间技术互补指数, 本文使用 2000 ~ 2015 年中国专利数据库中的发明专利申请数据, 按照年度、地级市以及 IPC 码将专利申请信息进行分类, 得到每个地级市历年所有技术大、小类的发明专利申请数量, 其中, 技术大类为 IPC 四位码技术类别, 技术小类为 IPC 五位码或六位码技术类别^①。基于本文构建的式 (1) ~ 式 (3), 分别得到各城市技术复杂度指数和城市间技术互补指数, 并根据创新集群中心城市和外围城市的界定, 进一步测算得出创新集群中心—外围技术互补指数。另外, 城市人均 GDP 数据以及控制变量数据均来源于 2001 ~ 2016 年《中国城市统计年鉴》。

2. 控制变量

考虑到其他因素可能对创新集群中心城市和外围城市的经济增长带来潜在影响, 本文选取了以下控制变量: 产业结构 (Str), 采用第三产业产值和第二产业产值的比重进行衡量; 政府干预程度 (Gov), 采用地方一般公共预算支出占 GDP 的比重进行衡量; 人口密度 (Pop), 运用年末户籍人口与行政区域土地面积之比进行衡量; 对外开放程度 (Fdi), 以实际使用外资金额的对数值进行表征; 人力资本水平 (Hr), 以每万人普通高等学校人数的对数值进行衡量^②。

① 考虑到发明专利数据申请周期较长, 部分专利从申请到公开将经历五年甚至更长的时间, 为了保证数据的可用性和有效性, 本文最终选取 2000 ~ 2015 年的发明专利数据进行分析。

② 主要变量的描述性统计结果详见《数量经济技术经济研究》网站论文附录。

五、互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长的收敛性检验

(一) 创新集群中心—外围经济发展差异的变化趋势

基于式 (4)，本文对全国及 20 个创新集群的中心—外围经济发展差异进行了测算，并将 20 个创新集群按照技术复杂度排名从大到小划分为 4 组，分别为高创新集群中心—外围、中高创新集群中心—外围、中低创新集群中心—外围和低创新集群中心—外围，通过对各组取平均值来揭示创新集群中心—外围经济发展差异的变化趋势，具体如图 2 所示。从整体来看，全国及不同分组下的创新集群中心—外围经济发展差异均呈现不断下降的态势，表明中心城市与外围城市之间的经济发展差距具有不断缩小的特征，区域协调发展进程不断推进。

从分组情况来看，高创新集群中心—外围在 2000 年的经济发展差异处于最大值，但随着时间的推移，经济发展差异呈现显著的下降态势，并于 2015 年低于低创新集群的中心—外围。中高、中低创新集群中心—外围经济发展差异在初期均低于全国平均水平，且随着时间呈现相对平稳的下降发展趋势，尤其是中高创新集群中心—外围在 2005 年以后一致保持相对较低且稳定的经济发展差异。而低创新集群中心—外围经济发展差异则表现出先下降后上升再下降的波动变化特征，并在 2005 ~ 2012 年明显高于其他创新集群，这意味着，该类创新集群内中心城市和外围城市经济发展差异较大且波动趋势较为明显，这可能与中心—外围技术结构不稳定有关。

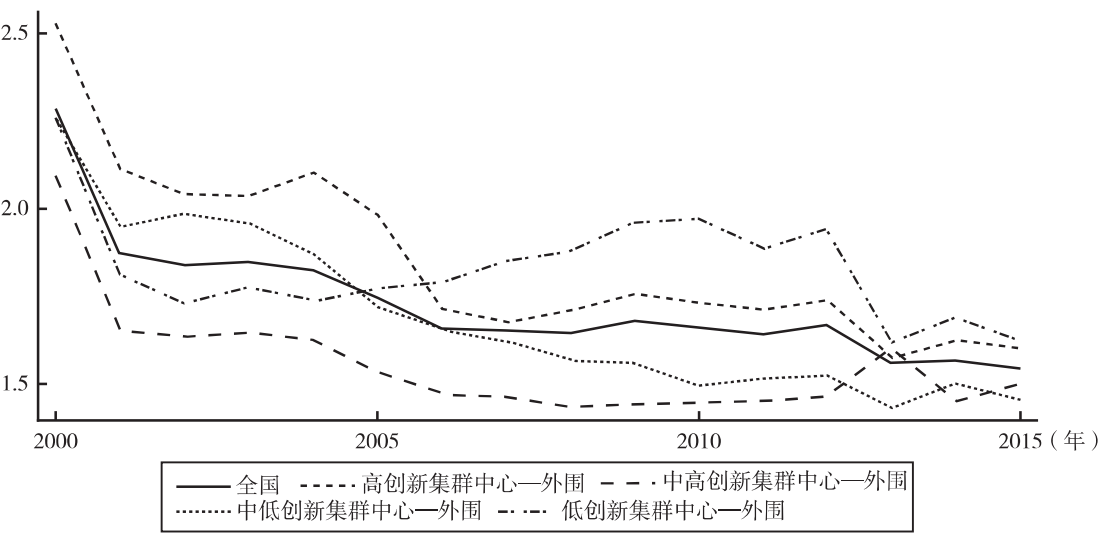


图 2 全国及创新集群分组的中心—外围经济发展差异变化趋势

(二) 互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长的 β 收敛检验

基于式 (5) 和式 (6)，本文对中心—外围技术互补影响创新集群中心—外围经济增长的绝对和条件 β 收敛分别进行检验，具体回归结果如表 2 所示。本文通过 Hausman 检验，确定选择第 (3) 列和第 (6) 列的时间、地区双固定效应模型作为主要的基准回归结果。

从第 (3) 列可以看出，创新集群中心—外围技术互补 (Cra) 与人均 GDP ($\ln Pg$) 的交互项系数在 1% 的显著性水平上为负， $\ln Pg$ 的回归系数也显著为负，表明互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长存在绝对 β 收敛，即中心城市与外围城市间技术互补加快了两者的经济增长的收敛趋势。从第 (6) 列可以看出，在考虑了产业结构、政府干预、人口密度、对外开放程度以及人力资本水平等一系列经济社会因素后， Cra 与 $\ln Pg$ 的交互项系

数以及 $\ln Pg$ 的回归系数仍在 1% 的显著性水平上为负, 即互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长收敛于稳定水平的趋势仍然存在。

表 2 互补性技术体系下的 β 收敛检验结果

变量	绝对 β 收敛			条件 β 收敛		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln Pg$	-0.108*** (0.008)	-0.156*** (0.008)	-0.209*** (0.008)	-0.126*** (0.008)	-0.171*** (0.008)	-0.228*** (0.008)
$Cra \times \ln Pg$	-0.038 (0.026)	-0.021 (0.026)	-0.137*** (0.024)	-0.053** (0.027)	-0.017 (0.026)	-0.098*** (0.024)
Cra	0.456 (0.314)	0.207 (0.310)	1.572*** (0.291)	0.638** (0.317)	0.155 (0.308)	1.104*** (0.288)
控制变量	否	否	否	是	是	是
时间固定	否	是	是	否	是	是
地区固定	否	否	是	否	否	是
样本量	2314	2314	2314	2314	2314	2314
R^2 值	0.520	0.627	0.654	0.552	0.644	0.674

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著, 括号内为标准误。

进一步地, 为了保证回归结果的稳健性, 本文以创新集群中心—外围经济发展差异 Edd 作为被解释变量, 通过检验 Cra 对 Edd 的影响来进一步验证本文的回归结果^①。其中, 由于 Edd 是根据式 (4) 计算的城市对数据, 反映了中心城市 i 与外围城市 j 之间的经济发展差异, 为了保持一致性, 该部分的 Cra 也采用反映中心城市 i 与外围城市 j 之间技术互补程度的城市对数据。回归结果显示, 无论是否加入控制变量, Cra 对 Edd 的影响均在 1% 的显著性水平上为负, 且 Cra 的 $t-1$ 期和 $t-2$ 期回归系数也显著为负, 即中心—外围技术互补程度的增加促进了两者经济发展差距的缩小并具有持续性, 有效保证了本文回归结果的稳健性。

(三) 基于 20 个创新集群的 β 收敛检验

考虑到不同创新集群在产业基础、地理区位、经济发展水平以及市场环境等方面存在显著差异性, 本文进一步对 20 个创新集群进行绝对和条件 β 收敛检验, 具体结果如表 3 和表 4 所示。从表 3 可以看出, 20 个创新集群的 Cra 与 $\ln Pg$ 的交互项系数以及 $\ln Pg$ 的回归系数均显著为负, 表明互补性技术体系下 20 个创新集群中心—外围经济增长均存在绝对 β 收敛, 会收敛到各自的稳态水平, 有效凸显了中心—外围技术互补在促进经济增长收敛上的有效性。

从表 4 可以看出, 在考虑一系列经济社会因素后, 除以沈阳和青岛为中心城市的创新集群外, 其余创新集群的 Cra 与 $\ln Pg$ 的交互项以及 $\ln Pg$ 对经济增长的影响均显著为负, 即沈阳和青岛与其外围城市间技术互补无法促进创新集群经济增长收敛, 这与其绝对 β 收敛结果中 Cra 与 $\ln Pg$ 交互项系数绝对值与显著性均明显低于其他创新集群相对应。可能的原因在于, 青岛和沈阳所具备的外围城市数量位于所有中心城市的前两名, 同时, 从城市间技术

① 稳健性检验结果见《数量经济技术经济研究》网站论文附录。

互补数据来看，青岛和沈阳与其外围城市间技术互补程度波动趋势较为明显，这意味着，该类创新集群的中心城市与其外围城市的技术分工与合作关系较为分散且不稳定、技术关联程度不够深入，导致技术互补程度的增加难以对其经济增长收敛产生促进作用。

表 3 20 个创新集群的绝对 β 收敛检验结果

中心城市	$\ln Pg$	$\ln Pg \times Cra$	样本量	R^2 值	中心城市	$\ln Pg$	$\ln Pg \times Cra$	样本量	R^2 值
北京	-0.208*** (0.012)	-0.153*** (0.031)	1209	0.659	武汉	-0.206*** (0.012)	-0.124*** (0.031)	1378	0.646
上海	-0.228*** (0.009)	-0.090*** (0.027)	1352	0.629	宁波	-0.203*** (0.010)	-0.203*** (0.010)	1220	0.647
深圳	-0.196*** (0.012)	-0.510*** (0.054)	689	0.660	无锡	-0.192*** (0.010)	-0.179*** (0.035)	1183	0.615
广州	-0.212*** (0.012)	-0.106*** (0.028)	1469	0.640	哈尔滨	-0.229*** (0.010)	-0.099*** (0.029)	1313	0.693
苏州	-0.199*** (0.009)	-0.321*** (0.031)	1208	0.664	长沙	-0.188*** (0.010)	-0.180*** (0.028)	1092	0.620
成都	-0.216*** (0.013)	-0.082*** (0.026)	1430	0.654	沈阳	-0.235*** (0.011)	-0.049* (0.027)	1482	0.652
杭州	-0.201*** (0.011)	-0.134*** (0.030)	1235	0.629	大连	-0.216*** (0.010)	-0.123*** (0.030)	1274	0.648
天津	-0.203*** (0.011)	-0.154*** (0.026)	1391	0.649	青岛	-0.233*** (0.011)	-0.055* (0.032)	1547	0.629
西安	-0.182*** (0.012)	-0.175*** (0.031)	1313	0.640	佛山	-0.234*** (0.009)	-0.142*** (0.036)	1183	0.648
南京	-0.197*** (0.012)	-0.121*** (0.028)	1404	0.623	常州	-0.193*** (0.010)	-0.214*** (0.030)	1118	0.634

注：同表 2。

表 4 20 个创新集群的条件 β 收敛检验结果

中心城市	$\ln Pg$	$\ln Pg \times Cra$	样本量	R^2 值	中心城市	$\ln Pg$	$\ln Pg \times Cra$	样本量	R^2 值
北京	-0.222*** (0.012)	-0.131*** (0.031)	1209	0.667	武汉	-0.225*** (0.012)	-0.101*** (0.031)	1378	0.661
上海	-0.243*** (0.009)	-0.078*** (0.027)	1352	0.649	宁波	-0.220*** (0.010)	-0.176*** (0.033)	1220	0.664
深圳	-0.219*** (0.012)	-0.474*** (0.053)	689	0.693	无锡	-0.213*** (0.011)	-0.164*** (0.034)	1183	0.639
广州	-0.234*** (0.012)	-0.082*** (0.028)	1469	0.663	哈尔滨	-0.241*** (0.010)	-0.089*** (0.028)	1313	0.705
苏州	-0.207*** (0.009)	-0.301*** (0.031)	1208	0.677	长沙	-0.200*** (0.011)	-0.161*** (0.028)	1092	0.640

(续)

中心城市	$\ln Pg$	$\ln Pg \times Cra$	样本量	R^2 值	中心城市	$\ln Pg$	$\ln Pg \times Cra$	样本量	R^2 值
成都	-0.233 *** (0.012)	-0.073 *** (0.025)	1430	0.676	沈阳	-0.249 *** (0.011)	-0.040 (0.026)	1482	0.668
杭州	-0.222 *** (0.011)	-0.109 *** (0.030)	1235	0.646	大连	-0.239 *** (0.010)	-0.092 *** (0.030)	1274	0.669
天津	-0.233 *** (0.011)	-0.115 *** (0.026)	1391	0.671	青岛	-0.263 *** (0.011)	-0.012 (0.031)	1547	0.657
西安	-0.196 *** (0.012)	-0.165 *** (0.031)	1313	0.653	佛山	-0.251 *** (0.009)	-0.126 *** (0.035)	1183	0.679
南京	-0.219 *** (0.012)	-0.098 *** (0.028)	1404	0.646	常州	-0.214 *** (0.011)	-0.188 *** (0.030)	1118	0.658

注：同表 2。

(四) 空间效应下全国及 20 个创新集群的 β 收敛检验

面对空间溢出效应在城市经济发展中的影响越发突出，本文进一步利用引入空间效应的 β 收敛模型展开研究。首先，根据空间权重矩阵下的 Moran's I 指数、LM-lag、LM-error、R-LM-lag 以及 R-LM-error 统计量检验发现，互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长存在明显的空间相关性。在此基础上，通过 LR 统计量检验和 Wald 统计量检验确定全国及 20 个创新集群的绝对和条件 β 收敛均采用 SDM 模型^①。

回归结果显示，全国及 20 个创新集群的绝对 β 收敛检验结果与表 2 和表 3 结果相一致，即 Cra 与 $\ln Pg$ 的交互项系数以及 $\ln Pg$ 的回归系数均显著为负，表明空间效应下中心城市与外围城市间技术互补的提升仍能加快促进其创新集群经济增长收敛。而条件 β 收敛检验结果表明，除以青岛为中心城市的创新集群外，其他创新集群中心—外围技术互补均对经济增长收敛产生了积极的促进作用。因此，与没有考虑空间效应的情况相比，空间效应下以沈阳为中心城市的创新集群存在显著的条件 β 收敛，这意味着，空间溢出效应有利于发挥沈阳与其外围城市间技术互补在经济增长收敛性中的促进作用。

六、进一步分析

(一) 竞争性技术体系下创新集群中心—外围经济增长的收敛性检验

1. 创新集群中心—外围技术结构变迁：从技术竞争到技术互补

在创新集群中心—外围技术互补的基础上，本文进一步纳入了城市间技术竞争指数，以揭示创新集群中心—外围技术竞争的变化趋势以及技术结构的动态演变特征，具体指标构建如下：

$$Tc_{ij} = \sum_{g=1}^G \left[\frac{1}{\sqrt{P_i^g P_j^g}} \left(\sum_{m \in S_G} p_i^m p_j^m \right) \right] \quad (11)$$

① 空间相关性检验结果，以及空间效应下全国及 20 个创新集群的绝对和条件 β 收敛检验结果见《数量经济技术经济研究》网站论文附录。

其中, Tc_{ij} 代表城市 i 和城市 j 之间的技术竞争程度, 表征城市间在产品生产上所涉及相同技术领域的程度, 即城市间技术竞争水平越高, 两个城市将会在越来越多的相同技术领域上进行技术竞争, 其余指标含义同式 (3)。在此基础上, 本文根据界定的创新集群中心城市和外围城市, 对创新集群中心—外围技术竞争指数进行了测算。

图 3 揭示了创新集群中心—外围技术结构演变, 包括中心—外围技术互补和技术竞争, 以及运用专利数据赋权法测算得到的中心—外围技术互补和技术竞争程度的变动趋势。可以看出, 无论是否加权, 创新集群中心—外围技术互补均呈现不断上升趋势, 而技术竞争均表现为先上升后下降的发展态势, 即当城市经济发展达到一定程度时, 中心—外围技术结构进入以“技术互补为主、技术竞争为辅”的发展阶段。

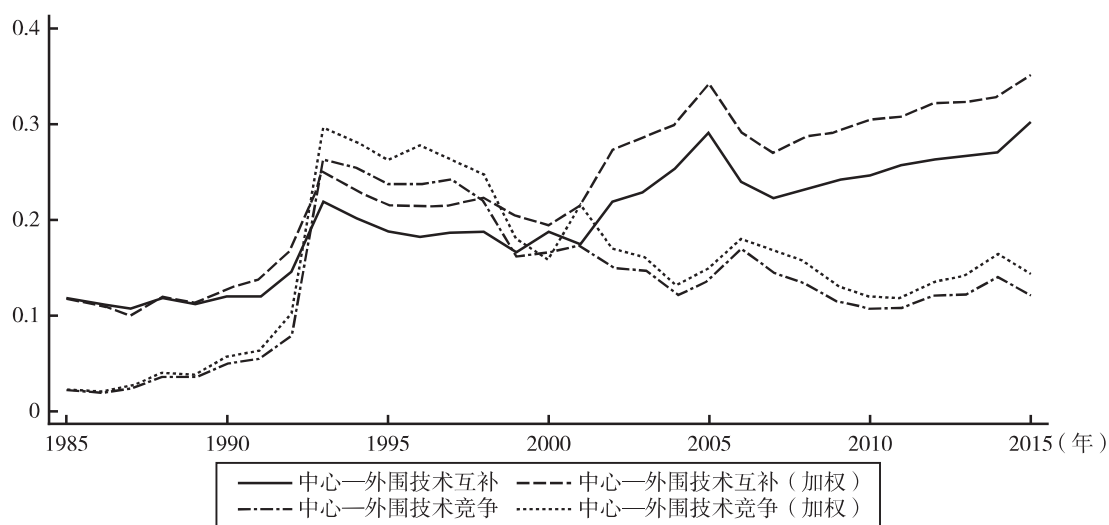


图 3 创新集群中心—外围技术结构的演变趋势

2. 竞争性技术体系下创新集群中心—外围经济增长的 β 收敛检验

基于中心—外围技术结构从技术竞争向技术互补的转变, 以及互补性技术体系下中心—外围经济增长存在的显著收敛特征, 本文进一步检验中心—外围技术竞争对其经济增长收敛的具体影响。在竞争性技术体系下, 中心城市和外围城市为扩大和抢占产品市场份额, 将在相似或相同技术领域上进行研发创新, 通过加大研发投入和不断吸引相关技术人才供给等方式展开同类产品内技术竞争。其中, 由于中心城市相比于外围城市在产业基础、创新资源以及市场环境等方面具有比较优势, 其能凭借较低的交易和生产成本率先推动产品创新以及通过技术领域拓展来实现新产品的创造, 进而获得更多的产品市场份额。这意味着, 技术竞争促使外围城市面临同类产品的市场份额收缩, 甚至有可能退出该产品市场, 导致外围城市与中心城市的经济差距不断拉大。因此, 中心—外围技术竞争将不利于创新集群经济增长的收敛, 从技术竞争向技术互补转变是中心—外围技术结构转变的必然趋势, 也是加快区域高质量协调发展的关键推动力。

基于上述分析, 本文对竞争性体系下创新集群中心—外围经济增长的收敛性进行检验, 条件 β 收敛模型及 SDM 空间效应模型具体构建如下^①:

$$Pgr_{i,t+T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Tc_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Tc_{it} + \lambda X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

① 绝对 β 收敛的空间效应模型为式 (12) 和式 (13) 不加入控制变量形式。

$$Pgr_{i,t+T} = \alpha + \beta_1 \ln(Pg_{it}) + \beta_2 Tc_{it} \times \ln(Pg_{it}) + \beta_3 Tc_{it} + \rho_1 \sum_{j=1}^n \omega_{ij} Pgr_{j,t+T} + \lambda X_{it} \\ + \gamma \sum_{j=1}^n \omega_{ij} [\ln(Pg_{it}) + Tc_{it} \times \ln(Pg_{it}) + Tc_{it}] + \rho_2 \sum_{j=1}^n \omega_{ij} X_{jt} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

其中, Tc 代表创新集群中心—外围技术竞争程度, 其余指标含义同式 (6) 和式 (9)。

表 5 的第 (1) 列和第 (2) 列为绝对和条件 β 收敛检验结果。可以看出, $\ln Pg$ 的回归系数显著为负, 而 $\ln Pg$ 与 Tc 的交互性系数显著为正, 表明中心—外围技术竞争对创新集群经济增长的收敛影响显著为负, 即拉大了外围城市和中心城市之间的经济发展差距。第 (3) 列和第 (4) 列为空间效应下的绝对和条件 β 收敛回归结果, 本文通过空间效应检验确定选择 SDM 模型。从回归结果可以得出, 绝对和条件 β 收敛下的 $\ln Pg$ 与 Tc 的交互性系数仍显著为正, 即空间效应下中心—外围技术竞争仍不利于创新集群经济增长的收敛。

表 5 竞争性技术体系下的 β 收敛性检验

变量	OLS 模型		SDM 模型	
	绝对 β 收敛	条件 β 收敛	绝对 β 收敛	条件 β 收敛
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\ln Pg$	-0.253 *** (0.007)	-0.266 *** (0.007)	-0.285 *** (0.007)	-0.286 *** (0.007)
$\ln Pg \times Tc$	0.079 *** (0.026)	0.088 *** (0.026)	0.053 ** (0.023)	0.054 ** (0.023)
Tc	-0.976 *** (0.309)	-1.094 *** (0.301)	-0.628 ** (0.272)	-0.646 ** (0.270)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
地区固定	是	是	是	是
样本量	2314	2314	2314	2314
R^2 值	0.650	0.672	0.331	0.318

注: 同表 2。

(二) 协同式创新对创新集群中心—外围技术互补的影响

基于上述分析, 本文考虑到企业与高校和科研机构的协同式创新在促进地区知识积累、加快技术领域扩展以及科研成果转化等方面的积极作用。这意味着, 外围城市协同式创新水平的不断提升将提高其与中心城市之间的技术互补程度, 表现为外围城市将有能力承接中心城市更多的非核心技术领域研发, 以及在更多的自身核心技术领域上与中心城市进行技术分工与合作, 进而加快缩小其与中心城市之间的经济发展差距。而对于中心城市, 企业与高校和科研机构的合作增强虽然有利于其研发更高质量、更新的产品, 但也导致中心城市更倾向于提高与其他中心城市之间的技术互补程度, 以进一步深化研发密集型产品的技术分工。因此, 本文尝试从企业与高校和科研机构的合作视角出发, 进一步检验外围城市和中心城市协同式创新对中心—外围技术互补的具体影响。

本文根据中国专利数据库中的专利申请人信息，借鉴金培振等（2019）的专利检索方法，筛选出中国各城市的产学研结合专利数据，通过对其取对数以及其占地区专利数量的比重来表示城市的协同式创新水平以及协同式创新倾向。在此基础上，本文对协同式创新与中心—外围技术互补的关系进行检验，具体模型构建如下：

$$Cra_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Ci_{it} + \lambda X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \tag{14}$$

其中， Ci 表示城市协同式创新，包括协同式创新水平（ Cil ）和协同式创新倾向（ Cit ）。 X 为影响创新集群中心—外围技术互补的一系列控制变量，包括科研经费支出、交通基础设施、政府财政支出和外商直接投资。

具体回归结果如表 6 的第（1）～（4）列所示。可以看出，第（1）列和第（2）列中 Cil 和 Cit 的回归系数均显著为正，表明外围城市的企业与高校和科研机构合作越密切、合作倾向越明显，越有利于促进外围城市与其中心城市进行技术互补。而第（3）列和第（4）列中 Cil 和 Cit 的回归系数均不显著，这意味着，中心城市的协同式创新水平和倾向均无法促进其与外围城市间技术互补程度的提高。因此，需不断提高外围城市的协同式创新水平和倾向，以促进中心—外围技术互补程度的提高。

表 6 协同式创新影响创新集群中心—外围技术互补的检验结果

变量	外围城市		中心城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cil	0.027 *** (0.002)		0.005 (0.009)	
Cit		0.121 *** (0.015)		-0.105 (0.070)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
地区固定	是	是	是	是
样本量	2499	2499	318	318
R ² 值	0.328	0.301	0.371	0.375

注：同表 2。

七、结论与政策建议

本文基于 2000 ~ 2015 年 256 个地级市的专利申请数据，利用技术复杂度指数和城市间技术互补指数对创新集群中心城市与外围城市进行了重新识别，运用 β 收敛模型并结合空间效应考察了中心—外围技术互补对创新集群中心—外围经济增长收敛的具体影响。同时，结合中心—外围技术结构演变特征，检验了竞争性技术体系下创新集群中心—外围经济增长收敛的相关变动。进一步地，基于中心城市与外围城市间技术互补在缩小两者经济发展差距中的积极作用，探讨了协同式创新对创新集群中心—外围技术互补的影响。

研究结果发现，首先，互补性技术体系下创新集群中心—外围经济增长存在绝对 β

收敛和条件 β 收敛特征。创新集群中心—外围经济发展差异表现出不断缩小的变化趋势，具有收敛性发展特征。在此基础上研究得出，随着中心—外围技术互补程度的增加，除以沈阳和青岛为中心城市的创新集群外，全国及其余创新集群中心—外围经济增长均存在显著的绝对和条件 β 收敛。在考虑空间效应后，除以青岛为中心城市的创新集群外，全国及其余创新集群中心—外围技术互补对经济增长收敛均产生了积极的促进作用。其次，基于创新集群中心—外围技术结构演变发现，随着时间的推移，中心—外围技术互补呈现显著的上升发展态势，而技术竞争表现为先上升后下降的变化趋势，即中心—外围技术结构呈现从技术竞争向技术互补的转变过程。无论是否考虑空间效应，中心—外围技术竞争对创新集群经济增长收敛均具有抑制作用。最后，基于协同式创新对创新集群中心—外围技术互补影响的进一步研究发现，外围城市中企业与高校和科研机构的合作越密切，合作倾向越明显，越有利于提高外围城市与中心城市之间的技术互补程度。而中心城市协同式创新水平和倾向的提高均无法促进中心—外围技术互补程度的提高。

基于上述结论，本文得出的政策含义如下：

第一，加快推动经济发展地理格局从产业集群向创新集群的转变。一方面，需依靠城市要素禀赋、创新体系以及市场环境等因素合理定位不同城市在创新集群中的位置，推动创新要素在城市间合理配置，通过充分发挥企业、高校和科研机构等创新主体的协同作用，以及企业作为创新成果产业化的主体作用来加快形成创新集群中心城市与外围城市。另一方面，增强创新集群中心城市的创新资源承载能力，在创新资源供给上的政策和体制创新向创新集群中心城市倾斜。以创新集群中心城市的创新能级提升，引领区域高质量协调发展。

第二，优化创新集群中心—外围技术结构，不断深化中心—外围技术互补以加快缩小区域经济发展差距。首先，创新集群中心城市和外围城市要进一步发挥自身比较优势，通过增强城市间技术互动与人才交流来不断深化互补性技术体系，以充分释放协同发展潜能。其次，要逐渐打破创新资源流动的行政区域壁垒、强化交通基础设施建设、建立多维跨域协同创新合作机制，有效发挥中心—外围技术互补在促进区域发展相对平衡中的积极作用。外围城市应积极承接中心城市技术转移、主动与中心城市开展技术合作，通过融入创新集群中心城市的技术体系来不断实现对中心城市经济追赶。

第三，重视外围城市协同式创新在提高中心—外围技术互补程度中的积极作用。对于外围城市，要进一步打造产业技术联合研究平台、校企创新联合体以及面向高新技术领域的新型研发机构等，以促进企业与高校和科研机构之间创新要素的资源共享，不断提高外围城市创新水平与创新质量，加快实现科技成果转化。另外，政府在此过程中也要充分发挥对外围城市的监管和激励机制，通过设立专项资金支持、创建创新平台等方式来支持企业与高校和科研机构的深度合作，为加强外围城市与中心城市间技术分工与合作创造更多的发展空间。

第四，转变区域发展思路，实现从以地理半径为导向到以技术半径为导向的逐渐转变。创新集群中心—外围技术互补的地理范围已远远大于城市群和都市圈的地理边界，这意味着，传统以城市群和都市圈建设推动区域协调发展的思路需要发生改变。要不断减弱城市群和都市圈发展的地理边界限制，增强城市群和都市圈内部城市与外部城市的技术互动，实现以技术半径为导向的区域发展格局，通过在更大地理范围内进行城市间技术分工与合作来加快推动区域高质量协调发展。

参 考 文 献

- [1] 白雪梅. 教育与收入不平等：中国的经验研究 [J]. 管理世界, 2004, (6): 53 ~ 58.
- [2] 蔡昉, 都阳. 中国地区经济增长的趋同与差异——对西部开发战略的启示 [J]. 经济研究, 2000, (10): 30 ~ 37.
- [3] 陈景华, 陈姚, 陈敏敏. 中国经济高质量发展水平、区域差异及分布动态演进 [J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37 (12): 108 ~ 126.
- [4] 陈梦根, 张帅. 中国地区经济发展不平衡及影响因素研究——基于夜间灯光数据 [J]. 统计研究, 2020, 37 (6): 40 ~ 54.
- [5] 陈长石, 刘晨晖. 基于中心——外围模型的区域发展不平衡测算及其空间分解——兼论中国地区发展不平衡来源及收敛性 (1990 ~ 2012) [J]. 经济管理, 2015, 37 (2): 31 ~ 40.
- [6] 范剑勇. 产业集聚与区域经济协调发展 [M]. 人民出版社, 2013.
- [7] 金培振, 殷德生, 金桩. 城市异质性、制度供给与创新质量 [J]. 世界经济, 2019, 42 (11): 99 ~ 123.
- [8] 兰秀娟, 张卫国, 裴璇. 我国中心—外围城市经济发展差异及收敛性研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38 (6): 45 ~ 65.
- [9] 刘晨晖, 陈长石. 土地出让如何影响城市间发展不平衡——基于财政缺口弥补视角的实证分析 [J]. 财贸经济, 2017, 38 (11): 23 ~ 38.
- [10] 倪青山, 卢彦瑾, 贺筱君, 唐菲悦. 中国城市创新绩效的差异及动态演进 [J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38 (12): 67 ~ 84.
- [11] 覃成林, 张华, 张技辉. 中国区域发展不平衡的新趋势及成因——基于人口加权变异系数的测度及其空间和产业二重分解 [J]. 中国工业经济, 2011, (10): 37 ~ 45.
- [12] 石风光, 李宗植. 中国区域经济差距收敛性的协整检验 [J]. 管理评论, 2010, 22 (4): 34 ~ 38.
- [13] 王晶晶, 焦勇, 江三良. 中国八大综合经济区技术进步方向的区域差异与动态演进: 1978 ~ 2017 [J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38 (4): 3 ~ 21.
- [14] 赵永亮. 市场获得、边界效应与经济集聚——基于“中心—外围”城市经济活动的考察 [J]. 中国工业经济, 2012, (3): 69 ~ 81.
- [15] 郑江淮, 陈喆, 孙志燕, 等. 从竞争到互补：区域技术结构变迁的测度与理论假说 [J]. 经济评论, 2022, (1): 13 ~ 29.
- [16] Barrios S., Strobl E., 2009, *The Dynamics of Regional Inequalities* [J], *Regional Science and Urban Economics*, 39 (5), 575 ~ 591.
- [17] Barro R. J., Sala-i-Martin X., 1997, *Technology Diffusion, Convergence and Growth* [J], *Journal of Economic Growth*, 2 (1), 1 ~ 26.
- [18] Das D. K., 2012, *The Chinese Economy: A Rationalized Account of Its Transition and Growth* [J], *Chinese Economy*, 45 (4), 7 ~ 38.
- [19] Fujita M., Krugman P., Venables A. J., 1999, *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade* [M], Cambridge, MA: MIT Press.
- [20] Gruber J., Johnson S., Moretti E., 2022, *Place-based Productivity and Costs in Science* [R]. Working Paper Series.
- [21] Hansen B. E., 1999, *Threshold Effects in Non-dynamic Panels: Estimation, Testing, and Inference* [J], *Journal of Econometrics*, 93 (2), 345 ~ 368.
- [22] Hausmann R., Hwang J., Rodrik D., 2007, *What You Export Matters* [J], *Journal of Economic Growth*, 12 (1), 1 ~ 25.
- [23] Hidalgo C. A., Hausmann R., 2009, *The Building Blocks of Economic Complexity* [J], *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (26), 10570 ~ 10575.

- [24] Kemeny T. , Petralia S. , Storper M. , 2022, *Disruptive Innovation and Spatial Inequality* [R]. Regional Studies.
- [25] Krugman P. R. , 1991, *Geography and Trade* [M], Cambridge, MA: MIT Press.
- [26] Kuznets S. , 1955, *Economic Growth and Income Inequality* [J], American Economic Review, 45 (1), 1 ~ 28.
- [27] Lessmann C. , Seidel A. , 2017, *Regional Inequality, Convergence, and Its Determinants: A View from Outer Space* [J], European Economic Review, 92, 110 ~ 132.
- [28] Lucas R. E. , 2000, *Some Macroeconomics for the 21st Century* [J], Journal of Economics Perspectives, 14 (1), 159 ~ 168.
- [29] Tacchella A. , Cristelli M. , Caldarelli G. , Gabrielli A. , Pietronero L. , 2012, *A New Metrics for Countries "Fitness and Products" Complexity* [J], Scientific Reports, 2, 723.

Innovation Cluster Central-Periphery Structure: Technology Complementarity and the Convergence of Economic Growth

ZHENG Jianghuai^{1,2} CHEN Zhe² RAN Zheng²

(1. Yangtze River Delta Economic and Social Development Research Center, Nanjing University;
2. School of Economics, Nanjing University)

Summary: In China, an innovation driven development strategy has encouraged the transformation of the existing economic geographical pattern from industrial clusters to innovation clusters. The traditional regional development idea, with geographical distance as the boundary, is gradually being broken. For example, there has been a change in the relationship between central cities and peripheral cities, from a driving role and one based on technological competition, to one of technological complementarity. However, few studies have investigated the central and peripheral cities of innovation clusters. There are also few studies that have explored the evolution of technological structure between the central and peripheral cities of innovation clusters, and the convergence of economic growth.

This paper redefines the central and peripheral cities of innovation clusters, by focusing on technology complexity and the inter-city technology complementarity index. The study applies the innovation cluster center and peripheral city economic development difference index, β convergence model, and spatial panel econometric model to deeply analyze the convergence of economic growth of innovation cluster central and periphery cities under a complementary technology system. The study reveals the following findings. There has been a narrowing of the difference in economic development between the innovation cluster center and the surrounding cities. The level of technological complementarity has increased when comparing the central city and the peripheral cities of innovation clusters, accelerating absolute economic growth of the two cities. This is demonstrated by the absolute β convergence and conditional β convergence trend. The results have a significant spatial effect. Based on the evolution of the technological structure of the innovation cluster center and periphery cities, as time passes, the technological complementarity between the center and periphery cities increases. In contrast, technological competition first rises and then falls. That is, the technological structure of the center periphery cities reflects a transformation from technological

competition to technological complementation. Under the competitive technology system, there is no absolute β convergence and conditional β convergence in the economic growth of the peripheral cities in the innovation cluster center. The technology competition between the center and the peripheral cities inhibits the economic growth convergence of the innovation cluster. Improvements in the level and trend of collaborative innovation in peripheral cities help improve the degree of technology complementarity between the innovation cluster center and peripheral cities. However, improvements in the level and trend of collaborative innovation in the central cities do not promote the increase of technology complementarity between the center and peripheral cities.

Compared with previous studies, this paper first re-identifies the central and peripheral cities of innovation clusters, by using the technology complexity index and inter-city technology complementarity index. The study also repositions the central cities from the perspective of innovation drive, and re-conceives the relationship between the central cities and peripheral cities from the perspective of inter-city technology correlation and interaction. Next, based on the division of innovation clusters with respect to central and peripheral cities, this paper applies the innovation cluster center periphery economic development difference index, β convergence model, and spatial measurement model to discuss the impact of innovation cluster center and periphery technology complementarity on its economic growth convergence. In addition, this paper further analyzes the evolution of technology structure between central and peripheral cities, and the driving factors of technology complementation. This helps deepen our understanding of the internal relationship between the center and periphery technology complement of innovation clusters and the convergence of economic growth.

This study provides empirical evidence and policy insights to continuously deepen the development pattern of innovation clusters, promoting the transformation of the innovation cluster center and periphery technology structure from technology competition to technology complementarity. This can also help build a regional economic layout with complementary advantages and high-quality development.

Keywords: Innovation Cluster Center-Peripheral Cities; Technological Complexity; Inter-city Technology Complementarity; Convergence

JEL Classification: O18; O33; R12

(责任编辑：焦云霞)