

# 国家间技术互补变迁及其对发明人才 跨国流动的影响

——一个国际技术发现假说与检验

郑江淮, 陈喆, 康乐乐

**[摘要]** 本文揭示了全球化中国家间技术互补和发明人才同步跨国流入流出的趋势, 试图从产品内分工和创新实践中, 提出一个国际技术发现假说, 探讨国家间技术互补呈现先上升后稳中下降的发生机理, 揭示了各国本地化创新资源禀赋和创新体系与发明人才流动之间的超模条件和正向群分匹配效应, 由此从国家间技术互补变迁视角解释了发明人才双向跨国流动先升后降的发生机制, 进一步分析了各国在国家间技术互补中形成整体比较优势、在本地化创新集聚中形成分散化创新极点等典型事实。实证检验发现, 国家间技术互补显著促进了发明人才双向跨国流动; 随着国家间文化以及制度距离的增加, 国家间技术互补对发明人才双向跨国流动的促进作用将减弱; 相比于低技术和中低技术行业, 高技术和中高技术行业的国家间技术互补能显著地促进发明人才双向跨国流动; 行业比较优势是国家间技术互补促进发明人才双向跨国流动的重要传导机制。本文的研究结论为加快推进新一轮科技革命中国家间技术互补进一步深化、形成以自主可控技术为基础的跨国技术集群、加快“发明人才双循环”、制定发明人才多点集聚的发展战略和政策提供了启示。

**[关键词]** 国家间技术互补; 发明人才双向跨国流动; 国际技术发现; 行业比较优势

**[中图分类号]** F124 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2022)04-0023-19

## 一、引言

自20世纪90年代以来, 全球产业分工、创新活动的地理范围在信息技术发展以及不断下降的贸易成本作用下呈现显著扩大趋势, 发达国家之间、发达国家与新兴经济体国家之间通过对外投资、外包与逆向外包以及建立跨国研发中心等方式形成了广泛的全球生产网络和创新网络。在此过程中, 大量的发明人才(本文特指拥有发明专利的个人)也逐渐参与到劳动力跨国流动之中。发

**[收稿日期]** 2021-10-25

**[基金项目]** 国家社会科学基金重大项目“新旧动能转换机制设计路径选择”(批准号18ZDA077); 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”(批准号CYD2022006)。

**[作者简介]** 郑江淮, 南京大学长江三角洲经济社会发展研究中心、南京大学经济学院教授, 博士生导师, 经济学博士; 陈喆, 南京大学经济学院博士研究生; 康乐乐, 南京大学信息管理学院副教授, 管理学博士。通讯作者: 陈喆, 电子邮箱: dg20020025@smail.nju.edu.cn。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见。

明人才作为知识的重要载体,通过跨国流动将自身拥有的、无法通过其他渠道进行编码的知识有效传播到了目的地国,补充了该国在招聘学习机制中无法获得的新技能(Song et al., 2003),加快推动了现有技术领域向更复杂、更加多样化的模式转变(Lee and Malerba, 2017)。伴随着以大数据、人工智能等前沿技术为主的第四次科技革命深入发展,发明人才呈现出双向跨国流动的态势<sup>①</sup>,所带来的知识流动和创新集聚效应愈发重要。中国目前正处于新旧动能转换、国内国际双循环相互促进的构建新发展格局阶段,如何在更高水平和更深层次上参与国际分工,进一步与发达国家在高新技术产业创新上建立多样化的技术联系、分工和互补,加快推动“发明人才双循环”,构建“人才统一大市场”,形成与世界其他国家互补的跨国技术集群,已成为发挥超大规模市场优势,建立自主可控的本地化创新集群的重要战略和政策导向。

但从本文挖掘的数据看,全球发明人才流动数量在1985—2010年迅速上升,达到历史峰值,然后开始进入大幅度下降阶段。这是否意味着一轮周期结束,新一轮周期即将开启?为此,需要构建理论解释发明人才流动为何表现出先上升后下降的变化特征,本文以全球化创新、产品内分工为研究背景,尝试从国家间技术互补的形成与变化,来解释发明人才流动趋势变化。

从产品内分工和创新实践看,一项产品生产所涉及的技术领域,尤其是高技术产业的技术领域不只是由单一地区或国家的企业进行研发创新,而是越来越表现为不同地区或国家之间的企业共同研发、分工与合作。产品的技术领域包括很多子技术类别,并且各国都有可能在特定的技术类别里积累、布局或形成比较优势,由此在该技术领域上形成特定的国家间技术互补结构。为此,本文首先构建了国家间技术互补指标,用来刻画多国家多企业的技术协同、各国可能的创新地理集中和分散情况,进而揭示全球化产品内分工所涉及技术领域在国家间分布的变化趋势和典型事实。

本文基于全球化分工典型事实,试图提出一个技术互补条件下的国际技术发展假说,即各国企业为应对市场竞争压力,通过产品生产和技术分工,与其他国家进行技术互补来不断增强本地化创新资源禀赋所蕴含的创新优势和产品比较优势,引发各国发明人才跨国流动。具体而言,在产品内分工初期,占据主导地位的发达国家跨国公司基于其他国家的低成本要素优势,在全球范围内配置生产环节,引致越来越多的国家进入相应产品所涉及的技术领域中,越来越多的子技术领域专业化于不同的国家。在此过程中,与其匹配的各国本地化创新资源禀赋和创新体系的激励能力不断增加,相应技术领域的发明人才溢价显著提升,进而吸引其他国家发明人才流入,形成发明人才与本地化创新资源禀赋和创新体系的超模条件(Supermodularity Condition)和正向群分匹配效应(Positive Assortative Matching)<sup>②</sup>。但当国家间技术互补达到一定程度后,各国本地化创新不断集聚形成多个创新极点,在各子技术领域上有比较优势的国家多样性相对稳定、产品内国际分工趋于均衡,都将导致国家间技术互补趋于减缓,各国逐渐实现不同优势技术领域上的合理分工。与此同时,发明人才流动也开始放缓,全球创新地理逐渐呈现分散化—多极点的技术集聚格局。

基于上述理论假说,本文利用1985—2018年国家层面的面板数据,检验了国家间技术互补对发明人才流动的影响。同时,探讨了制度和距离在国家间技术互补影响发明人才流动中的作

① 后文中的“发明人才双向跨国流动”简称为“发明人才流动”。

② 超模条件(Supermodularity Condition):本文借鉴Milgrom and Roberts(1990),将其界定为增加一个或多个变量会提高增加其他变量带来的收益,在本文中特指本地化创新资源禀赋和创新体系的增强,会提高发明人才流入带来的预期收益水平。正向群分匹配效应(Positive Assortative Matching):本文借鉴Schetter and Tejada(2020),将其界定为一个变量的某种属性与另一个变量的某种属性呈正相关关系,在本文中特指发明人才所涉及的技术领域与国家技术创新活动的匹配效应。

用。进一步地,本文考察了不同技术类型行业的国家间技术互补对发明人才流动的影响差异,以及行业比较优势在此过程中的机制作用。

本文可能的边际贡献包括:①运用全球专利统计数据库(PATSTAT)中的发明专利数据测度了国家间技术互补指数,识别了发明人才流动数据,从多维度层面揭示了国家间技术互补的演变以及发明人才双向跨国流动的变迁特征。②提出一个国际技术发现假说,来解释国家间技术互补先上升后下降的动态演化机制,及其对发明人才流动的影响机制,揭示了发明人才流动与各国本地化创新资源禀赋和创新体系之间存在的超模条件和正向群分匹配效应,对现有研究进行了理论补充,为在新一轮工业技术革命浪潮中实施国家间技术互补、充分利用发明人才流动的发展战略和政策制定提供指导性建议。

本文余下部分内容安排如下:第二部分为概念界定和简要的文献综述;第三部分从不同维度对国家间技术互补演变、发明人才流动变迁等典型事实进行描述性统计分析;第四部分对国家间技术互补及其发明人才流动效应做出理论解释,提出了一个国际技术发现假说;第五部分为研究设计与实证检验;第六部分为进一步分析;第七部分为研究结论与政策建议。

## 二、概念界定与简要的文献综述

### 1. 概念提出与界定

(1)国家间技术互补。国家间发生技术联系需要创新主体在某些领域具有共同的知识基础,即存在一定的技术邻近性(Grant and Baden-Fuller, 1995)。一般来说,技术邻近性越高的国家之间,越容易克服技术专用性以及缄默性带来的黏性,降低混淆和误解的风险(Broekel and Boschma, 2012)。当创新主体间的集体知识库越大时,它们之间的共同理解程度就越高,技术重组的可能性也就越大(Cohen and Levinthal, 1990)。尤其是在全球化创新的背景下,资源互补已成为创新主体进行合作的主要互惠激励。各国能通过产能投资、研发外包等方式从技术邻近国家获取互补的技术知识,并利用它们基于本土的技术优势来扩大市场渗透(Dunning and Narula, 1995)。

但是,当技术邻近度较高时,国家间会由于技术的同质性和认知过载,而无法有效地获得合作创新的机会(Petruzzelli, 2011)。创新重组需要找到创新主体不同知识元素之间尚未探索的相互依存关系,而较高的技术邻近性将限制创新主体的想象能力,增加新技术组合的难度(Keupp and Gassmann, 2013)。这意味着,当创新主体间的知识基础过于相似时,来自这些国家的发明者容易形成搜寻障碍,限制重组创新的范围(Fleming, 2001)。同时,也会进一步加深合作主体对现有技术路径的依赖,阻碍技术领域的扩展。因此,适当的技术邻近程度是国家间进行分工合作的重要保障,国家间不仅需要具备可识别的共同知识要素,以充分吸收合作提供的知识信息,还需要具有各自独特的专门技术,以实现新的技术重组和创新。

基于技术邻近性的理论含义,本文界定了国家间技术互补和技术竞争两个概念。具体而言,对于某一项产品的研发和生产,如果国家之间所涉及该产品技术领域的结构是高度相似的,即技术存在同质性和认知过载,则称之为国家间技术竞争;但如果国家之间分别涉及产品不同的子技术领域,各自具备差异化的优势技术及其支撑的产品比较优势,则称之为国家间技术互补。当国家间技术互补程度越强时,表明国家间在产品生产上所涉及技术领域的多样化程度越高,产品比较优势也就越明显。

(2)从“企业家产品发现”到“技术发现”。一个国家或地区的经济增长遵循一个学习如何生产和出口更加复杂、更具竞争力产品的过程(Hidalgo and Hausmann, 2009)。当一个企业家最先发现

一项具有比较优势的产品时,其他企业家就可以用较低的成本来迅速学习和模仿这个发现,并有较大的概率在相关联产品上也形成比较优势,因为生产这些产品所需的能力也是相关的(Hidalgo et al., 2007)。此时,企业家就进入了不断的“产品发现”阶段。而产品实际上是其所需能力的函数,一个国家或地区的要素禀赋、制度环境等一系列因素都可以归为生产产品的能力(Hausmann and Klinger, 2006)。从企业层面看,能力一般被界定为组成企业劳动力的个人持有的专有技术和隐性知识(Hidalgo and Hausmann, 2009)。这意味着,产品可以视为企业所处技术领域的专业知识集合,而新产品所涉及的技术领域往往是先前已有技术的重新组合和拓展,依赖于专业知识的研发、技术研发人员以及高校和科研机构等对产品所涉及技术领域的不断创新。那么,当企业家发现的这些产品不断进入到数以万计产品的现代部门且进入技术前沿时,该国家或地区就开启了以专业知识创新为基础“技术发现”过程。

可以说,从“企业家产品发现”到“技术发现”已成为地区创新驱动经济发展的必然趋势。本文从国际技术前沿与分工视角,提出一个国际技术发现假说,强调各国在市场竞争压力下,通过与其他国家在产品生产上进行技术互补来不断增强本地化创新资源禀赋的技术创新,形成自身特有的产品比较优势和技能溢价,以引致相应技术领域发明人才不断向该国流入并逐渐形成多国发明人才集聚格局,与发明人才共同实施技术发现来不断提高该国的创新优势和创新绩效。

## 2. 发明人才流动的动因研究

发明人才作为知识与技术创新的专门人才,他们的位置和流动性是知识积累和传播的关键(Herrera et al., 2010),是企业创新效率、生产率差异的重要来源(Maré et al., 2014)。面对全球化趋势下愈发显著的发明人才流动趋势,大量学者对发明人才流动的动因展开了相关研究。关于人才流动的核心理论框架至少可以追溯到 Hicks(1932),他指出“净经济优势的差异,尤其是工资的差异,是发明家移民的主要原因”。对于个人绩效水平较高的发明人才,企业会通过合同和管理手段来增加留住高绩效发明人才的机会(Francesco and Paul, 2017)。

除了更高的工资和员工激励,优质的研究设施、与“明星科学家”和知名科研机构合作(以及进入相关的社交网络)的机会、更大的自主权等都是促进发明人才流动的关键因素(Ackers, 2005)。高技能职业一般表现出集聚效应,这意味着,发明人才的大量集聚会增加相同或类似行业的其他发明人才向同一地点进行迁移(Kerr et al., 2016)。部分发明人才为了接触最新的技术、实现对自己研究的原创性、相关性和质量的反馈等,将选择进入到所在领域中环境质量更好的其他企业,以实现有效的技术获取和技术分享(Nerdrum and Sarpebakken, 2006)。另外,在技术升级速度加快、技术系统复杂性不断增加的全球化创新背景下,国家间技术邻近性在加快发明人才流动中发挥着愈来愈重要的作用。相比于文化、距离等方面的邻近性,国家间在技术结构上的相似性对推动发明人才流动更为重要,对于来自最具创新精神国家的发明家来说尤为明显。这意味着发明人才容易被吸引到最需要他们能力的技术领域,形成专业化的强化机制。同时,发明人才有望从从事相同或相关技术工作的其他发明人才那里获得更多收益(Bode, 2004)。

从发明人才流入和流出地看,目的地的收入对南北(发达国家与发展中国家之间)发明人才移民的影响远大于对整体发明人才移民的影响,换句话说,技能溢价的差异似乎是发明人才南北迁移的主要解释,研究发现南北迁移几乎完全是单向的。相比之下,技能溢价的差异对于北北(发达国家与发达国家)发明人才迁移似乎不太重要,研究发现发明者迁移通常是双向的。一种解释可能是发明者专门研究某些技能,而不同的地方从事的研究活动需要这些技能,可能还有其他解释,未来需要更多的研究来完善和加深对发明人才双向迁移现象的理解(Fink et al., 2013)。

上述关于发明人才流动动因的研究为本文提供了有益启发,尤其是从国家间技术邻近性角度进行的分析,但对于发明人才流动为何表现出先上升后下降的研究仍然缺乏。本文在现有文献的基础上,构建国家间技术互补指标,从国家间技术互补演变视角对发明人才流动从不断增加到逐渐进入低谷期给出一个较为合理的解释,以弥补现有文献对发明人才流动的研究不足。

### 三、国家间技术互补与发明人才流动:描述性统计分析

#### 1. 国家间技术互补的动态演变

(1) 国家间技术互补指标构建。本文基于郑江淮等(2022)提出的区域技术互补指标,采用各国IPC 四位码技术类别表征技术大类,IPC 五位码或六位码技术类别表征技术小类,构建了国家间技术互补和技术竞争指标,以揭示产品生产上所涉及的技术领域在国家间分布的同质化或多样化程度。

$$Cra_{ij} = \sum_{g=1}^G \left[ \frac{1}{\sqrt{P_i^g P_j^g}} \left( \sum_{m \in S_c} \sum_{n \in S_c, n \neq m} p_i^m p_j^n \right) \right]; Era_{ij} = \sum_{g=1}^G \left[ \frac{1}{\sqrt{P_i^g P_j^g}} \left( \sum_{m \in S_c} p_i^m p_j^m \right) \right] \quad (1)$$

其中, $Cra$ 表示国家*i*和国家*j*之间的技术互补程度, $Era$ 表示国家*i*和国家*j*之间的技术竞争程度。*i*和*j*为国家下标,表示不同国家;*g*为技术大类上标, $G$ 为技术大类个数; $S_c$ 为技术大类集合, $P$ 为技术大类的专利占比;*m*和*n*为国家*i*和国家*j*的技术小类上标, $p$ 为技术小类的专利占比(与国家总专利数之比)。

(2) 全球层面的演化特征。根据各国1985—2018年专利数据,本文对全球层面的国家间技术结构形态进行刻画,具体如图1(a)所示。从总体变化趋势看,国家间的技术互补指数和技术竞争指数在1995—2010年期间均呈现上升态势,前者的变化幅度显著高于后者,这意味着国家间在产品生产上所涉及技术领域的多样化程度在不断增加。从2010年前后开始,国家间的技术互补指数和竞争指数开始呈现一定程度的下降,但整体下降幅度并不大。表明随着全球化生产和创新的发展,各国形成的有比较优势的技术领域相对稳定下来,国家间技术结构进入一个相对稳定状态<sup>①</sup>。

(3) 中国与主要发达国家的对比分析。进一步地,本文以中国为主要研究对象,选取具有代表性的四个发达国家——美国、德国、日本、韩国,分析国家间技术互补程度上的差异,具体如图1(b)所示。考虑到本文数据为双边数据,为了考察一个国家与其他国家的技术互补程度,本文选择加权平均法对其进行测算,采用国家间的经济距离进行赋权<sup>②</sup>。

可以看出,中国、美国、德国以及日本与其他国家间的技术互补程度整体均表现为先上升后小幅下降的变化趋势,而韩国与其他国家间的技术互补程度仍然呈现上升趋势。其中,中国与其他国家的技术互补程度虽然低于美国和德国,但已逐渐赶超韩国和日本,并在2005年前后显著高于日韩,凸显了中国在众多行业或产品技术领域上比较优势的快速上升,逐渐成为全球产业创新的重要参与者。随后,中国与其他国家的技术互补程度开始表现出一定幅度的下降趋势,与其他国家共同呈现出创新本地化集聚的稳定格局。

(4) 分技术层级行业的演化特征。结合国家在经济发展程度上的差异性以及行业的技术类型,

① 本文进一步考察了各大洲、不同收入类型以及行业层面的国家间技术互补演变特征,相关变化趋势图参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

② 本文构建如下经济距离权重: $W = W_d \text{diag}(\bar{Y}_1/\bar{Y}, \bar{Y}_2/\bar{Y}, \dots, \bar{Y}_n/\bar{Y})$ ,其中, $W_d$ 为国家之间的反距离矩阵, $\bar{Y}_i = 1/(t_1 - t_0 + 1) \sum_{t=t_0}^{t_1} Y_{it}$ , $\bar{Y} = 1/n(t_1 - t_0 + 1) \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^{t_1} Y_{it}$ , $\bar{Y}_i$ 为国家*i*历年GDP的平均值, $\bar{Y}$ 为全样本GDP均值。

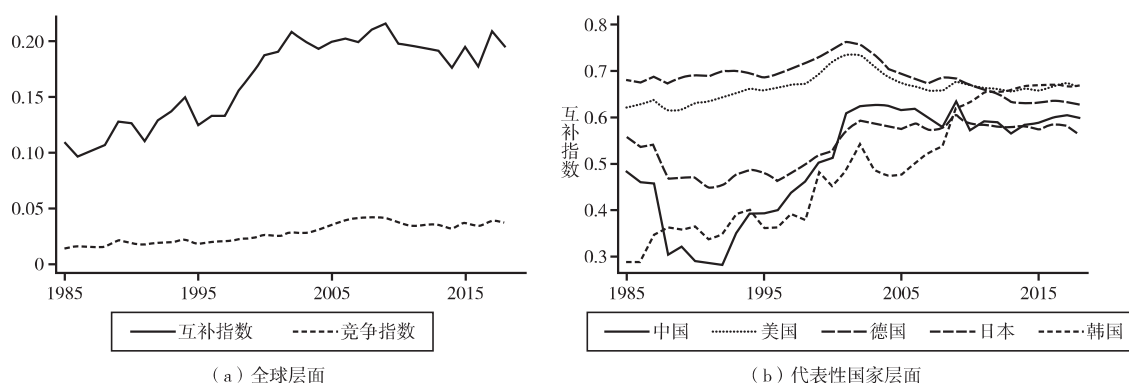


图1 不同区域维度的国家间技术互补变化趋势

本文对全球、高收入和低收入国家分技术层级行业的国家间技术互补程度进行分析,具体如图2所示。高技术行业的国家间技术互补程度普遍处于最高水平,其次为中低技术行业 and 低技术行业,这与国家间在高技术产业上日益密切的技术分工,以及大量国家通过中低端生产环节参与全球价值链的局面相一致。而中高技术行业的国家间技术互补程度最低。从高收入和低收入国家对比看,高收入国家各技术类型行业上的技术互补程度均显著高于低收入国家,并且,相比于低收入国家,高收入国家在中低技术行业上的技术互补程度要显著高于低技术行业,有效揭示了高收入国家在制造业发展上具备更强的技术集群特征。

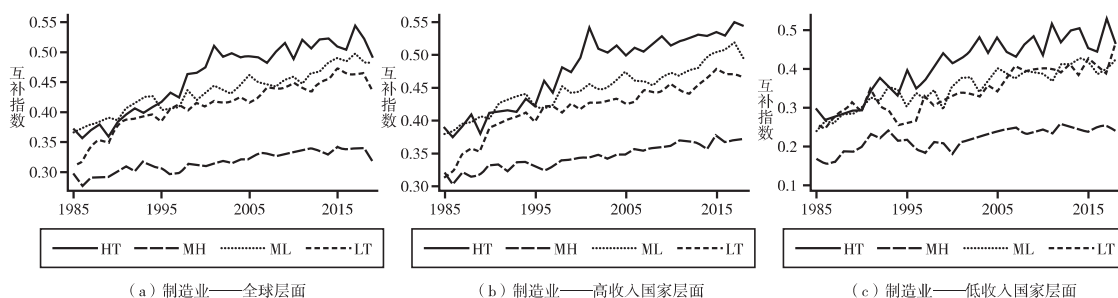


图2 各技术类型行业的国家间技术互补变化趋势

注:HT为高技术行业,MH为中高技术行业,ML为中低技术行业,LT为低技术行业。

## 2. 发明人才流动的变迁<sup>①</sup>

随着全球化创新的逐步推进,发明人才流动人数、流动路径以及涉及国家均大幅度增加,流动路径从以美国和德国形成的小规模集聚到欧洲与美洲,再扩散至亚洲,最终逐渐形成发明人才流动的全球化。其中,基于全球发明人才流动人数最多的20条路径发现,双向流动路径基本是同时出现的,且流动人数也非常相似,这意味着一国向另一国大量流出发明人才的同时必定伴随着相当程度的流入<sup>②</sup>。

<sup>①</sup> 发明人才流动数据来源于欧洲专利局统计的全球专利统计数据库(PATSTAT)。本文根据专利发明人连续申请专利所属组织的变化对发明人才流动进行追踪,即当专利发明人申请的发明专利信息中含有的企业、国家信息与其他年份申请的发明专利不同时,就识别为发明人才流动。

<sup>②</sup> 发明人才流动路径的相关图表参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajccass.org>)附件。

为了更直观和细致地揭示发明人才流动在时间和国家上的变动,本文进一步对1985—2018年排名前六位国家的发明人才流动规模进行分析,如图3所示。从发明人才流动规模的时间趋势看,各国的发明人才流入和流出数均表现为先上升后下降的发展态势,且变化趋势相似。从流动规模的国家间差异看,美国的发明人才流入和流出数均遥遥领先于其他国家,其次为德国。中国在2005年前的发明人才流入和流出数明显低于其他国家,但在2005年后,中国的发明人才流动逐渐突破其他国家,并于2008年左右成为仅次于德国的世界第三大发明人才流动国,甚至在2015年后,逐渐超越德国,有效凸显了中国在全球化创新活动中参与度和竞争优势的上升。

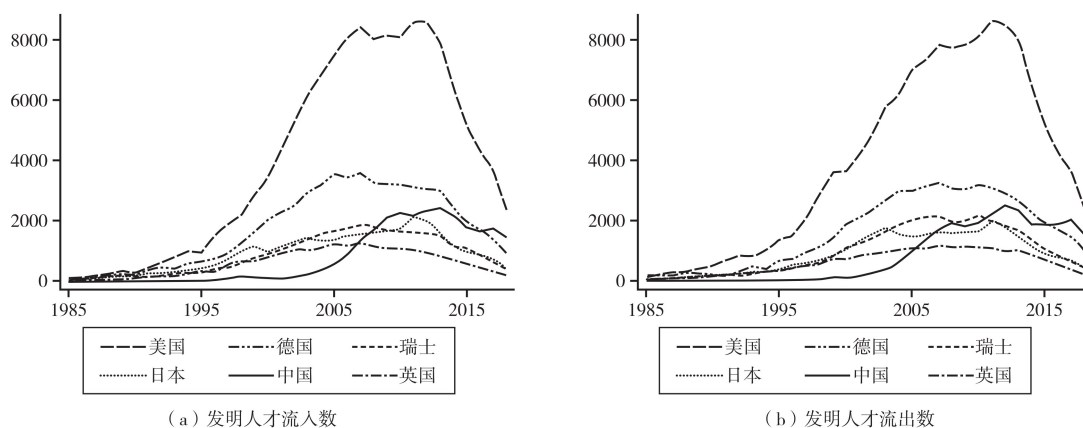


图3 1985—2018年代表性国家发明人才流动规模

### 3. 国家间技术互补与发明人才流动的相关性

上述特征事实表明,国家间技术互补与发明人才流动整体均表现为先上升后下降的变化趋势。进一步地,考虑到全球化创新背景下的国际分工将引发大量的发明人才在国家间进行流动,有效加快了技术传播以及目的地国的技术研发和产品创新进程,实现了全球知识存量的增加。为此,本文进一步对国家间技术互补与发明人才流动之间的关联性进行了考察,发现国家间技术互补与发明人才流动呈现显著的正相关关系,这意味着,随着国家间在产品生产上所涉及技术领域的多样性程度逐渐增加,越来越多的发明人才将参与到跨国流动之中。

## 四、国家间技术互补与发明人才流动:一个国际技术发现假说

### 1. 国家间技术互补的发生与演变

工业革命的到来重塑了世界经济格局版图,加快推动了经济发展进程。20世纪80年代,第三次工业革命的兴起推动信息技术、生命科学和运输技术等领域实现重大突破,国家贸易自由程度以及国际资本流动大幅增加,创新活动开始呈现全球化与高度本地化,国际贸易形式逐渐从产业内贸易向产品内贸易(全球价值链贸易)演进。

(1)国家间技术互补上升阶段。在第三次工业革命爆发初期,技术发展路径呈现分化发展态势。其中,发达国家凭借雄厚的产业基础、丰富的高校和科研院所等创新资源有效降低了本地企业创新的搜寻成本,率先在新技术领域开展产品创新和研发活动,以新产品、更高质量的产品迅速拓展市场份额。而发展中国家的产业基础相对薄弱、技术水平和创新能力普遍较低,导致地区产业发

展多集中在劳动密集型行业,新产品、新技术主要是引进和模仿发达国家较成熟的标准化技术,在一定时期,呈现出技术“无限供给”的态势(张宗庆和郑江淮,2013)。此时,国际技术发现以发达国家为主,呈现出发达国家不断向发展中国家技术转移的国际产品生命周期。专利数据显示,1970—2000年的大部分时间里,美国、日本和德国贡献了全球所有专利活动的2/3,如果将经济水平较高的西欧经济体包括在内,这一比例将高达90%左右。这意味着,发达国家具有较高的研发强度与技术人员密集度,在国际分工中处于领导者的地位,是全球创新活动的主要集中地。

随着信息技术创新和应用的逐渐深入与全球贸易自由化,各国开始根据自身资源禀赋和技术优势对同一产品生产过程中的不同工序、区段或任务进行分工合作。一方面,发达国家的跨国公司侧重于研发密集型环节,将中低技术环节外包到加工成本较低的其他国家,并将在中低技术环节上节约下来的研发资源重新再配置到新技术领域。另一方面,当发达国家企业在现有技术领域的进一步创新受到限制,即现有技术所制造的产品是完整的但不是最好时(Los et al., 2015),由于本地创新资源有限性与技术空间不饱和性,发达国家企业会从更大的地理范围寻找更具专业化的技术来源,进一步深化研发密集型环节产品的国际分工,以互补性更强、模块化程度更高的技术集成和跨国技术集群来提高产品复杂度与比较优势。总之,产品内分工深化推动了国家间技术分工与合作,各国不断扩大创新资源配置的地理范围,国家间技术互补格局得以形成并不断强化。

在此过程中,新兴经济体相比于发达国家的情况更为复杂。对于新兴经济大国,凭借低成本、大规模的劳动力优势参与全球价值链分工和竞争,从发达国家引进技术、消化、吸收和再创新的同时,也会利用国内丰富的创新资源和国内市场规模优势,促进国内中间产品分工和相应的产品、工艺创新(郑江淮和郑玉,2020)。这些创新无论是“对国外先进技术的国内修补”,还是对其他国家产品或技术的替代,都增加了对国内从事研发的科技人才、研发支出和相关专业知识、技术创新资源(高校、科研机构等)的需求,随着研发的投入和科技人才供给的增加,新的、更复杂的技术将在原有技术的基础上通过组合创新而不断产生,相关产品种类和质量显著提升。结果是新兴经济大国将逐步逼近发达国家所处的技术领域,进而在相同的技术领域中进行创新,与发达国家形成技术互补的技术领域越来越多,所处的全球价值链分工地位逐渐从低端向中高端攀升。与此同时,新兴经济大国也开始将越来越多的低技能生产环节转移到其他新兴经济小国(Kaplinsky et al., 2011),增强与新兴经济小国之间的技术互补程度,为本国核心技术领域的研发创新预留更多空间,进而不断缩小与发达国家之间的技术差距,成为全球创新的主要参与者。而对于新兴经济小国,由于国内创新能力不足、劳动力规模有限以及产业种类较为单一等,在凭借低成本劳动力优势积极参与到产品内分工后,一般难以摆脱现有技术的路径依赖而开拓新技术领域,只能在已有技术的基础上进行改造升级,导致这类国家长期以专业化的技术和生产环节融入全球价值链。

(2)国家间技术互补稳中有降。当国家间技术互补达到一定程度后,各国逐渐在特定的行业技术领域上形成技术比较优势和产品生产、出口比较优势。创新资源本地化集聚逐渐增强,本地化的产业集聚越来越表现出多种特定领域的技术集聚特征。

从Pavitt(1984)区分的行业间技术创新差异看,以科学为基础的行业和专业化供应商行业(这两类行业简称行业I)的创新密集度较高<sup>①</sup>,不仅自身的技术创新空间大,而且为其他行业提供新技术、新产品的空间也很大。相应地,其他行业的创新主要是面向行业自身的产品或工艺创新(简称行业II),其中,很多新材料、新零部件、新技术均来源于行业I。因此,不难判断,行业I技术迭代、

<sup>①</sup> 以科学为基础的行业通常是高技术产业,专业化供应商行业通常是专用设备、仪器仪表等行业。



产品创新频繁,导致这些行业在国家间呈现出的技术互补程度较高。但考虑到各国在行业 I 上的企业规模和生产率分布存在显著异质性,拥有更多大企业、较高生产率企业的国家在长期竞争中将获得相对较大的市场份额和市场势力,导致这类国家在行业 I 所涉及的技术领域上的比较优势和创新资源本地化集聚规模不断增强,进而削弱了其他国家在相同技术领域上的竞争优势,国家间技术互补增长势头开始减弱。类似地,行业 II 的产品和工艺创新不仅取决于自身的创新能力,而且依赖于所在国家的行业 I 的创新能力,或者从其他国家吸收行业 I 创新成果(包括与行业 I 创新能力较强国家形成产品内分工)的能力。这意味着,国家间在行业 II 上的技术互补程度也会随着各国在该行业比较优势和创新资源本地化集聚程度的分化而逐渐弱化。因此,国家间技术互补开始进入稳定阶段,在特定行业技术领域上具有比较优势和高创新资源集聚程度的国家将继续在其优势领域上进行研发创新,推进该技术领域的世界技术前沿。

就行业内部而言,某行业产品的技术构成决定了每类产品有多少部分需要在国家间进行分工合作,如果超过这一合理范围,产品内分工所带来的贸易收益水平将不断下降(江小涓和孟丽君,2021)。这意味着,国际分工已没有必要再继续细化,国家间在这类产品上的技术互补进程开始放缓。另外,在该阶段,现有产品所涉及的技术领域均在不同程度上达到了一个较高的技术水平,部分国家将通过增加产品的意会知识(或行业秘密、手艺性认知)含量和科学知识来抢占国际市场份额,国家间在研发创新上的对抗和封锁日益加大。此时,部分国家开始在特定的地理组合中延伸产业链,形成行业技术领域的区域性比较优势,导致全球化产品内分工体系一部分转化为区域性分工体系,本地化创新集聚进一步增加,国家间技术互补程度趋于稳定。

从国家间技术互补发生和演变过程中不难得出,早期的国际产品生命周期特征发生了巨大的变化,即发达国家不再是技术发现者,某个产品技术领域的技术发现也不全发生于某个发达国家,发展中国家也参与到技术发现中,技术发现在各国呈现出国家间技术互补的方式。

## 2. 国家间技术互补促进发明人才流动的机制分析

为简化起见,本文假设各国拥有一定的本地化的创新资源禀赋和区域创新体系,例如,大学、科研机构和企业内部的研发机构以及激励创新的相关部门等,但各国创新资源禀赋的数量及其所分布的知识和技术领域存在显著差异或异质性。各国的技术领域创新来源于该国的企业、科研机构 and 大学在相关专业领域研发的发明人才。考虑到本文根据发明专利信息来识别发明人才是否发生跨国流动,可以假定发明人才流动本身就意味着从来源国带着特定技术领域的专利流入目的国,直接增加目的国相应技术领域的专利,不仅快速地实现了所在领域的技术扩散,也会有利于目的国相应的产业创新与发展。

首先考虑发达国家间进行技术互补的情况。发达国家通常在以科学为基础的行业(或高技术产业)上具有全球较高的集中度,该类型行业产品含有的技术构成不仅创新性强、复杂度高,而且多样性丰富、集成度高。这意味着,一旦发达国家在与其他国家技术互补过程中逐渐形成某些具有比较优势的技术领域,该国家本地化创新资源禀赋及其创新体系就会产生较强的创新激励和资源配置效率,进而在相应的产品或服务投入(包括软件等)上具备较高的市场势力。此时,相应技术领域的发明人才工资溢价将高于其他国家,不断吸引其他国家在该技术领域上的发明人才流入,特定的本地化创新资源禀赋和创新体系与特定技术专业的发明人才流入形成了超模条件和正向群分匹配效应。并且,随着发明人才的不断流入,本地化技术集聚效应愈发显著,地区经济发展表现出越来越多的多国发明人才共同实施的技术发现,进一步增强了该国所在技术领域的创新优势和创新绩效。可以说,当这些具有比较优势的技术领域在该国本地化程度越来越高时,该国就成为这些技术

领域的创新极。相比之下,如果该国其他技术领域的发明人才不能与这些技术领域相融合,那么就难以获得较高的工资溢价,进而有动力向有较高工资溢价的其他发达国家流动,该国与其他国家技术互补增强。随着发达国家在不同技术领域上的互补程度逐渐增加,将会有越来越多的发明人才在国家间进行正向群分匹配,共同实施技术发现,各国整体上的技术优势和产品比较优势不断提升。各个国家越来越成为分散化的创新极点,有的国家甚至从原来的创新枢纽退化为创新极点。而当创新极点本地化达到一定程度时,短期内可跨国流动的发明人才数量将不断减少。

若发达国家和新兴经济体国家之间发生技术互补,对发明人才流动的影响将取决于两种类型国家在产品内分工中行业技术领域的分布特征。一般来说,发达国家在大多数行业的全球价值链上处于高端,从事研发密集型生产环节,新兴经济体国家从事中低端加工制造环节。前者附加值较高,在研发密集型产品上更具备比较优势,为从事研发的发明人才提供了较高工资溢价,吸引了新兴经济体国家相关专业的发明人才流入。另外,发达国家企业逐渐将相关产品的中低端生产环节转移到新兴经济体国家获取低成本优势,为保证产品质量不降低,发达国家通过 FDI、区域研发中心等形式,向新兴经济体国家派出研发人员,在本地申请发明专利。而新兴经济体国家为了维持其在全球价值链分工环节的竞争优势,对相应的技术领域创新和技术人才产生了需求,进一步拉动了与本地高校、科研机构进行产学研合作创新和人才培养的需求,本地化的区域创新体系开始形成和演化。由此,本地的技术吸收能力得以增强,进一步增加了对来自发达国家发明人才的吸引、互动和技术溢出。而当本地化创新能力提高到一定水平时,本地研发人才可以满足产品质量和本地化创新的需求,发达国家流入到新兴经济体的发明人才数量将会逐渐降低。

进一步而言,对于新兴经济体小国来说,不同国家会在多个行业技术领域加入发达国家主导的全球价值链分工,每个国家可能进入全球价值链的行业种类和技术领域范围比较有限。部分原因是新兴经济体小国的创新资源禀赋和本地化创新体系也是有限的,如果扩大参与全球价值链分工的行业范围,可能会遇到来自其他新兴经济体国家的竞争压力。为此,新兴经济体小国的本地化创新能力提升往往集中在少数具有比较优势的特定技术领域,而本地化创新能力较弱的技术领域发明人才将会向发达国家流入。总体上看,新兴经济体小国的发明人才集中度会相对较高。

但是对新兴经济体大国来说,情况会变得更复杂。中国加入全球价值链的行业和技术领域分布,主要集中在中低端制造环节,但呈现出逐步扩大的趋势。这意味着,新兴经济体大国的本地化创新资源禀赋相对较丰富,本地高校、科研机构不仅能为参与全球价值链分工的企业创新提供外部支持,而且还能为暂时没有参与全球价值链分工的国内产业部门创新提供内部支持。在与发达国家形成技术互补的兴起阶段,一方面,新兴经济体大国凭借在中低端技术领域上的比较优势,吸引发达国家的研发人员和研发中心配置,以巩固与发达国家的全球价值链分工;另一方面,新兴经济体大国通过国内中间产品创新能力不断提升,也会吸引一些发达国家相关发明人才的流入或回流,当这些产品的质量和创新水平到达其他新兴经济体国家的水平或发达国家外包的边际水平时,就会进入到新的行业和技术领域与发达国家进行产品内分工。总体上,新兴经济体大国在某个行业或技术领域上发明人才相对集中度可能要小于新兴经济体小国,但是会在多个行业或技术领域出现发明人才流入流出,形成集中。在与其他国家技术互补兴起和增长阶段,新兴经济体大国将会在中低端技术领域中实现与其他国家技术互补程度的快速上升,呈现快速的发明人才大进大出,并伴随着越来越多的国际技术发现,逐渐成长为多个行业技术领域的创新极。当与其他国家技术互补的行业技术领域进入到价值链高端时,相应的本地化创新资源禀赋扩张缓慢、本地化区域创新体系效率低下等情况出现,导致与发达国家技术互补增长缓慢,那么发明人才流动趋势将会减缓。

综上所述,国家间技术互补能有效推动发明人才流动。为此,不难得出一个国际技术发现假说:国家间技术互补实质上是各国为应对全球价值链分工引发的产品和技术竞争压力,不断增强本地化创新资源禀赋特定的创新优势,以较高的工资溢价,在全球范围内引发发明人才流入流出,不断优化发明人才地理配置,与各国发明人才共同实施技术发现的过程。其内在作用机制主要是,在国家间技术互补过程中,当一国在某些特定技术领域上形成比较优势时,该技术领域的本地化创新资源禀赋和创新体系的激励能力将逐渐增强,进而不断吸引其他国家发明人才的流入,形成超模条件,引发来源于其他国家相关技术领域的发明人才与该国家技术创新形成正向群分匹配效应。当本地化创新能力和技术集聚达到一定程度时,国家间技术互补减缓,相应地,发明人才流动减弱,全球范围内创新地理呈现出分散化—多极点的技术集聚格局。

不难进一步推断,国家间技术互补如果要在更加富有颠覆性创新的行业技术领域进一步深化,将对各国大学、科研机构的科技创新及其产业化提出更高需求。考虑到这些颠覆性技术创新还将依赖于已有技术领域的技术积累和发明人才集聚,因此,本地化创新机构和创新体系的创新和激励能力成为新一轮国际技术发现的重要支持条件。率先融入颠覆性技术互补的创新地理网络,率先成为颠覆性技术创新极,是上述国际技术发现假说的发展战略和政策含义。

## 五、研究设计与实证检验

### 1. 模型设定

为检验国家间技术互补对发明人才流动的具体影响,本文基本模型设定如下:

$$Flow\_tal_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 Cra_{ijt} + \sum \beta X_{ijt} + \gamma_t + \mu_i + \lambda_j + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

其中, $i$ 、 $j$ 和 $t$ 分别代表国家 $i$ 、国家 $j$ 和年份。 $Flow\_tal$ 表示国家 $i$ 和国家 $j$ 之间的发明人才流动, $Cra$ 表示国家 $i$ 和国家 $j$ 之间的技术互补程度。 $X$ 是一组最可能影响国家间发明人才流动的控制变量,包括国家间GDP差值( $Diff\_gdp$ )、国家间距离差值( $Diff\_dis$ )、国家间教育水平差值( $Diff\_edu$ )、外交关系( $Dr$ )、殖民地关系( $Cr$ )、语言相似性( $Ls$ )。 $\gamma$ 为时间固定效应, $\mu$ 为国家 $i$ 的固定效应, $\lambda$ 为国家 $j$ 的固定效应, $\varepsilon$ 为随机误差项。

### 2. 研究变量与数据来源

(1)核心解释变量。使用1985—2018年全球专利数据库中的发明专利申请数据,按照年度、国家以及IPC码将专利申请信息进行分类,得到每个国家历年所有技术大类和技术小类的发明专利申请数量,通过代入本文构建的测算公式,得出国家间技术互补指标。在基准回归中,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。

(2)被解释变量。基于数据的相对完整性以及国家间技术互补指标的无方向性,采用1985—2018年全球专利数据库中的发明人才流入数与流出数之和对数值衡量发明人才流动。

(3)控制变量。考虑到其他因素可能对发明人才流动带来潜在影响,本文选取了以下控制变量。①国家间GDP差值( $Diff\_gdp$ ):采用国家之间GDP差值的绝对值进行衡量,并进行对数处理。②国家间距离差值( $Diff\_dis$ ):采用国家之间首都距离差值的绝对值进行衡量,并进行对数处理。③国家教育水平差值( $Diff\_edu$ ):采用国家之间高等院校入学率差值的绝对值进行衡量。④外交关系( $Dr$ ):按照3类投票数据(1=“是”或问题批准、2=弃权、3=“否”或问题不批准;弃权被视为半票赞成或反对),采用国家之间在联合大会上对同一决议的投票密切程度来衡量,该指标越大,表明国家间的投票相似性越高,外交关系越密切。⑤殖民地关系( $Cr$ ):采用代表国家之间是否曾经为殖

民关系的虚拟变量,如果国家之间曾经是殖民关系,则为1,否则为0。⑥语言相似性( $L_s$ ):运用代表国家间语言相似性的虚拟变量,如果两个国家之间至少有9%的人口使用一种语言,则为1,否则为0。

(4)数据来源。本文发明人才流动和国家间技术互补数据均来自欧洲专利局的全球专利统计数据库(PATSTAT),该数据库收录了全球超过100个国家(或组织)的专利信息,内容包括专利申请时间、公开时间、授权时间,专利所属的IPC类别、技术领域,以及专利申请人、发明人信息等,时间跨度为1893—2018年。

考虑到研究的范围以及数据的相对完整性,本文采用1985—2018年238个国家的相关数据进行实证检验,同时,设置发明人才工作公司数量、年份区间等约束条件对异常值进行删除。另外,国家间GDP差值、国家间教育水平差值数据来源于世界银行数据库,国家间距离差值、语言相似性和殖民地关系数据来自CEPII数据库,国家间外交关系数据来源于联合国大会投票数据库<sup>①</sup>。

### 3. 基准回归结果分析

依据基准模型,本部分检验国家间技术互补对发明人才流动的影响,具体回归结果如表1所示。其中,第(1)列和第(3)列为随机效应模型,第(2)列和第(4)列为流入国、流出国和时间的多固定效应模型,第(5)列和第(6)列剔除无发明人才流动样本的多固定效应模型。从第(2)列和第(4)列的回归结果可以看出,无论是否加入控制变量,国家间技术互补对发明人才流动的回归系数均在1%的显著性水平下为正,表明国家间技术互补程度的增加能有效促进越来越多的发明人才参与到跨国流动之中。并且,剔除无发明人才流动样本后,国家间技术互补对发明人才流动的影响仍显著为正,且回归系数明显增大。

表1 国家间技术互补影响发明人才流动的回归结果

	全样本				剔除无人才流动样本	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Cra</i>	0.4085*** (0.0016)	0.2446*** (0.0027)	0.5715*** (0.0043)	0.1826*** (0.0051)	1.9248*** (0.0715)	1.3318*** (0.0981)
控制变量	未控制	未控制	控制	控制	未控制	控制
固定效应	未控制	控制	未控制	控制	控制	控制
Observations	1166932	1166932	293706	293706	17717	9403
Adj R-squared	0.0548	0.1776	0.0863	0.3163	0.5812	0.6562

注:括号内为国家层面的稳健标准误;\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,以下各表同。固定效应包括时间固定、流入国固定、流出国固定,表2同。

### 4. 内生性解决

为处理国家间技术互补与随机扰动项的相关性以及国家间技术互补与发明人才流动之间的逆向因果关系可能导致的内生性,本文采用对解释变量取滞后项以及工具变量法来解决这一问题。一方面,分别对解释变量取滞后一期和滞后二期,结果如表2第(1)列和第(2)列所示,可以看出,国家间技术互补的 $t-1$ 期和 $t-2$ 期对发明人才流动的影响均显著为正,与基准回归结果一致,且具有持续性。另一方面,本文尝试构建一个外生变量作为国家间技术互补的工具变量,保证该工具变量与国家间技术互补高度相关,但与随机扰动项不相关,并运用2SLS法进行回归分析。

① 主要变量的描述性统计参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

本文借鉴孙浦阳等(2015),采用相似国家经济变量作为工具变量这一思路。具体而言,对于国家*i*和国家*j*之间的技术互补指标,本文选择与国家*i*技术结构相似的邻国与国家*j*之间的技术互补指标作为工具变量。在相关性方面,国家*i*与技术邻近度较高的邻国往往在经济发展以及政策制定上具有相似性,使得这两类国家在产业、技术研发等方面的竞争性较强。这意味着,国家*i*和国家*j*之间的技术互补水平会受到技术邻近度较高的邻国与国家*j*之间技术互补水平的显著影响,即工具变量与核心解释变量之间存在相关性。在外生性方面,国家*i*和国家*j*之间的发明人才流动并不会受到其他国家与国家*j*之间技术互补水平的影响。因此,本文认为采用与国家*i*技术结构相似的邻国与国家*j*之间的技术互补指标作为工具变量是合理的。对于邻国的选择,本文首先对不同国家之间的技术邻近度进行了测算,在此基础上,选择与国家*i*技术邻近度水平最高的国家作为邻国。另外,为了能进一步确保工具变量的外生性,本文同时考虑第*t*期和第*t*-1期的工具变量,具体回归结果如表2的第(3)列至第(6)列所示。

第一阶段显示,无论是第*t*期还是第*t*-1期,工具变量对国家间技术互补的影响均在1%的显著性水平下为正。第二阶段显示,国家间技术互补对发明人才流动的影响显著为正,与基准回归结果一致。在工具变量识别不足的检验中,Kleibergen-Paap rk LM在1%的水平下通过显著性检验,说明该工具变量不存在识别不足;在弱工具变量的检验中,Kleibergen-Paap rk Wald F统计量明显大于Stock and Yogo(2002)提出的10%显著性水平的F统计量的临界值,说明不存在弱工具变量的问题。因此,上述结果表明,国家间技术互补对发明人才流动的促进作用并不受内生性问题的影响。

表2 内生性解决

	解释变量滞后项		工具变量		滞后一期的工具变量	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	滞后一期	滞后两期	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
<i>Cra</i>	0.2044*** (0.0056)	0.2272*** (0.0058)		0.0766*** (0.0084)		0.2288*** (0.0213)
<i>Cra_iv</i>			0.5993*** (0.0021)		0.2566*** (0.0025)	
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Observations	265558	258268	244940	244940	225520	225520
Kleibergen-Paap rk Wald F			85000 [16.38]		11000 [16.38]	
Kleibergen-Paap rk LM			40000		9638.166	

注:方括号中的数字是在10%显著性水平的F检验临界值。

### 5. 稳健性检验

为检验回归结果的可靠性,本文使用替换被解释变量、解释变量以及改变时间序列的方式进行稳健性检验<sup>①</sup>。

(1) 替换被解释变量。采用国家间发明人才流动占比作为替换变量,指标构建如式(3)所示:

$$GTCI_{ijt} = \frac{TCI_{ijt}}{\sum_j TCI_{ijt}} = \frac{TCM_{ijt} + TCX_{ijt}}{\sum_j TCM_{ijt} + \sum_j TCX_{ijt}} \quad (3)$$

① 稳健性检验的回归结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

其中,  $TCM$  表示  $t$  期国家  $i$  从国家  $j$  流入的发明人才数,  $TCX$  表示  $t$  期国家  $i$  向国家  $j$  流出的发明人才数, 分母是国家  $i$  在  $t$  期从所有其他国家吸引的发明人才流入数和向所有其他国家流出的发明人才数。两个国家间的发明人才流动数在所有国家间的发明人才流动数中占比越大, 表明这两个国家间的发明人才流动越频繁。

(2) 替换解释变量。通过改变 IPC 技术类别对国家间技术互补指标进行重新测算。考虑到基准回归中的技术大小类识别方法可能存在过度识别技术间差异的问题, 本文进一步采用 IPC 二位码作为技术大类和 IPC 四位码作为技术小类对国家间技术互补指标进行重新测算。

(3) 改变时间序列。考虑到专利成果的形成需要一定的时间, 本文通过改变时间序列, 进一步考察  $t+1$  期的国家间技术互补对发明人才流动和发明人才流动占比的影响。

以上稳健性检验的回归结果显示, 国家间技术互补的回归系数均显著为正, 其余控制变量的系数符号与显著性未发生明显改变, 与基准回归结果一致, 有效保证了本文回归结果的稳健性。

## 六、进一步分析

### 1. 文化和制度距离因素的调节作用检验

不同国家在文化和制度方面存在显著差异, 较大的文化和制度距离将提高国家间的知识搜寻和重组成本, 增加双方贸易交流的障碍与误解, 导致国家间技术互补所带来的发明人才流动并不总是顺畅和高效的。为此, 本文进一步考察这些因素对国家间技术互补影响发明人才流动的调节作用, 模型构建如下:

$$Flow\_tal_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 Cra_{ijt} + \alpha_2 M_{ijt} \times Cra_{ijt} + \alpha_3 M_{ijt} + \sum \beta X_{ijt} + \gamma_i + \mu_i + \lambda_j + \varepsilon_{ijt} \quad (4)$$

其中,  $M$  代表文化距离 ( $Cul$ ) 和制度距离 ( $Ins$ ) 调节变量。对于文化距离, 本文使用 Hofstede 国家文化维度数据来测算国家之间的文化距离, 具体包括权力距离、不确定性规避、个人/集体主义、男/女性化、长/短期导向、放纵与约束六个方面<sup>①</sup>。对于每两个国家, 本文参考 Guan and Yan (2016) 的研究方法, 构建了一个衡量文化距离的尺度, 即两个国家在六个维度得分之间的欧氏空间距离, 具体计算公式如下:

$$Cul_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^6 [(I_{ik} - I_{jk})^2 / V_k]} \quad (5)$$

其中,  $k$  代表文化维度 ( $k = 1, \dots, 6$ ),  $I_{ik}$  和  $I_{jk}$  是国家  $i$  和国家  $j$  在维度  $k$  上的文化分数,  $V_k$  为所有国家在维度  $k$  上文化分数的方差,  $Cul$  值越大, 表明国家间的文化距离越大。

对于制度距离, 采用全球治理指标 (WGI) 进行衡量, 具体包括表达与问责、政治稳定与无暴力程度、政府效能、监管质量、法治水平和腐败控制六个维度 (Kaufmann et al., 2011), 各个指标的赋值区间为  $-2.5$ — $2.5$ <sup>②</sup>。本文利用两个国家制度指标得分的差值的绝对值表示国家间的制度距离, 该值越大, 表明国家间的制度距离越大。

<sup>①</sup> Hofstede 公布的 2015 年版文化数据, 一共包含 112 个国家。但考虑到部分国家在不同文化维度上存在一定的数据缺失, 为了保证文化距离指标的完整性和可靠性, 本文剔除在 6 个文化维度上存在数据缺失的国家, 并将数据进行匹配, 最终选取 60 个国家的数据样本进行回归检验。

<sup>②</sup> 世界银行全球治理指标 (WGI) 一共包括 215 个国家的数据, 时间从 1996 年开始。考虑到数据的完整性和可靠性, 与文化距离处理方式一致, 通过剔除缺失数据和匹配现有数据, 最终选取 203 个国家 1996—2018 年的数据样本进行回归检验。

文化和制度距离调节作用检验的回归结果显示,国家间技术互补与文化和制度距离的交互项均显著为负,这意味着,随着文化和制度距离的增加,国家间技术互补对发明人才流动的促进作用将减弱。另外,为保证结果的稳健性和可靠性,本文将被解释变量替换为发明人才流动占比进行实证检验,结果发现,文化和制度距离的调节作用系数仍显著为负<sup>①</sup>。

2. 行业层面拓展

(1)分技术层级视角的检验。考虑到不同行业技术创新方式的差异性,及其全球生产分工发展表现出的明显异质性,本文进一步对分技术类型行业层面的国家间技术互补对发明人才流动的影响进行分析<sup>②</sup>。其中,考虑到行业层面的加入,将存在国家*i*的发明人才从某一个行业流向国家*j*的另外一个行业的情况,而本文行业层面的国家间技术互补是指国家间在某一行业上的技术互补程度,对于国家间在不同行业上的技术互补程度难以衡量。因此,为了合理简化这一过程,本文仅对某一行业内国家间技术互补对发明人才流动的影响进行实证分析。具体模型构建如下:

$$Flow\_tal_{ijdt} = \alpha_0 + \alpha_1 Cra_{ijdt} + \alpha_2 Cra_{ijdt} \times D + \gamma_t + \mu_i + \lambda_j + \eta_d + \varepsilon_{ijdt} \quad (6)$$

其中,*Flow\_tal*表示*t*期*d*行业上国家*i*和国家*j*的发明人才流动数,*Cra*表示*t*期*d*行业上国家*i*与国家*j*之间的技术互补指数,*D*代表高技术行业*HT*、中高技术行业*MH*、中低技术行业*ML*和低技术行业*LT*的虚拟变量, $\eta$ 为行业固定效应,其余变量含义与基准模型一致。那么,交互项*Cra* × *D*则揭示了不同技术层级行业上国家间技术互补影响发明人才流动的差异性。表3显示了回

表3 分技术类型行业的回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Cra</i> × <i>HT</i>	0.0296 *** (0.0008)			
<i>Cra</i> × <i>MH</i>		0.0096 *** (0.0007)		
<i>Cra</i> × <i>ML</i>			-0.0170 *** (0.0005)	
<i>Cra</i> × <i>LT</i>				-0.0230 *** (0.0005)
<i>Cra</i>	0.0055 *** (0.0002)	0.0088 *** (0.0002)	0.0164 *** (0.0002)	0.0166 *** (0.0002)
固定效应	控制	控制	控制	控制
Observations	6103601	6103601	6103601	6103601
Adj R-squared	0.0534	0.0528	0.0530	0.0531

注:固定效应包括时间固定、行业固定、流入国固定、流出国固定。

① 文化与制度距离的调节作用检验结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。  
 ② 本文依据全球专利统计数据库(PATSTAT)中TLS902\_IPC\_NACE2一表与全库中77085种不同IPC分类号进行匹配,得出每个IPC分类号对应的NACE行业。该版本中有部分IPC分类号无NACE行业分类与之对应,这部分分类号占据全量IPC分类号的1.42%(1094种IPC),空缺的IPC通过临近IPC(例如,H04B10/30参照H04B10/299)补全。在此基础上,依据每个IPC分类号对应的NACE行业,通过筛选和匹配得到需要的IPC四位码、五位码或六位码对应的NACE行业中的二位码制造业,并运用本文构建的国家间技术互补指标,计算得到各二位码制造业行业对应的国家间技术互补指数。另外,高技术、中高技术、中低技术和低技术行业划分参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

归结果。从第(1)列至第(4)列可以看出,国家间在高技术和中高技术行业上的技术互补对发明人才流动的影响均显著为正,而在中低技术和低技术行业上则相反。这意味着,高技术和中高技术行业层面上的国家间技术互补对发明人才流动具有显著的促进作用,而中低技术和低技术行业层面上的国家间技术互补并不能带来发明人才流动,有效凸显了国家间在高技术产业创新上建立多样化的技术分工与合作的重要性。

(2)行业比较优势的机制检验。基于本文的理论分析得出,国家间在某一类行业或产品上的技术互补程度越高时,该行业或产品的比较优势就越明显,所涉及技术领域的本地化创新资源禀赋和创新体系的激励能力就越强,进而带动了相关技术领域上的发明人才流动。因此,行业比较优势是国家间技术互补影响发明人才流动的关键机制。本文将通过考察国家间技术互补对行业比较优势的影响进行上述的机制检验。考虑到行业比较优势指数表征各国在不同行业上的比较优势水平,本文首先采用国家间的经济距离权重对行业层面的技术互补指数进行了加权处理,得到各国与其他国家在行业层面上的技术互补程度。另外,发明人才流动也特指各国与其他国家在行业层面上的人才流动数。行业比较优势指数的具体测算方法如下:

$$Rta_{idt} = \frac{Patent_{idt} / \sum_i Patent_{idt}}{\sum_d Patent_{idt} / \sum_{d,i} Patent_{idt}} \quad SRta_{idt} = \frac{Rta_{idt} - 1}{Rta_{idt} + 1} \quad (7)$$

其中, $Rta$ 表示*i*国家在*t*期*d*行业上的比较优势指数。该指数的含义是将*d*行业在*i*国家产品生产中所占的份额与该产品全球范围样本的平均份额进行比较,当该指数大于1时,表明*i*国家在*d*行业上具有比较优势。另外,考虑到*Rta*具有偏斜性与非对称性特征,不利于在动态分析中进行状态空间划分,本文基于Laursen(2015)的研究,进一步测算了对称性行业比较优势指数*SRta*,取值范围为[-1,1],该值越大,表明*i*国家在*d*行业上的比较优势越明显。

本文首先对处理后的行业层面国家间技术互补与发明人才流动的关系进行检验,具体如表4的第(1)列所示,可以看出,国家间技术互补的回归系数显著为正,与本文结论相一致。在此基础上,本文检验了国家间技术互补对行业比较优势的影响,结果如表4的第(2)列和第(3)列所示。可以看出,无论是采用行业比较优势指数*Rta*还是对称性行业比较优势指数*SRta*,国家间技术互补的回归系数均显著为正。这意味着,当国家间在某一行业上的技术互补程度越高时,该行业的比较优势也就越明显,进而越有利于为发明人才流动提供激励。

表 4 行业比较优势的回归结果

	(1)	(2)	(3)
	<i>Flow_tal</i>	<i>Rta</i>	<i>SRta</i>
<i>Cra</i>	0.6138 *** (0.0200)	12.6421 *** (1.0654)	0.6102 *** (0.0122)
固定效应	控制	控制	控制
Observations	62749	62749	62749
Adj R-squared	0.5425	0.1181	0.2500

注:固定效应包括时间固定、行业固定和国家固定。

## 七、结论与政策含义

本文以全球化分工为研究背景,通过构建国家间技术互补指标,尝试从国家间技术互补对发明



人才流动周期性变化提供合理的解释。利用1985—2018年全球专利统计数据库中的发明专利申请数据,实证检验了国家间技术互补对发明人才流动的影响及具体作用机制。主要结论为:①不同区域维度下的国家间技术互补均表现为先上升后稳中有降的发展态势。相比于其他技术类型行业,国家间在高技术行业上的技术互补程度明显更高。②发明人才跨国流动呈先上升后下降的变化趋势,且一国流出发明人才的同时伴随着相当程度的发明人才流入。③国家间技术互补能够有效促进发明人才流动,但随着国家间文化以及制度距离的增加,国家间技术互补对发明人才流动的促进作用将减弱。④高技术和中高技术行业的国家间技术互补能有效促进发明人才流动,而中低技术和低技术行业的国家间技术互补并不能带来发明人才流动。⑤国家间在某一行业上的技术互补程度增加能显著提高该行业的比较优势水平,为加快促进发明人才流动提供有效激励。

基于上述结论,本文的政策含义如下:①积极引进发明人才,以发明人才流动打破已有的产业和技术分工均衡。目前国家间技术互补已经下降到谷底阶段,发明人才引进难度日益变大。中国要实现自主创新和科技赶超,更需要注重发明人才引进与本地化激励。一方面,强化企业和高校、科研机构的基础性研究投入,扩大对发明人才的吸引力,积极鼓励企业与高校、科研院所共同合作进行技术发现;另一方面,建立合理的人才评价机制,为发明人才发展提供健康的科研与成长环境。②加速新一轮科技革命的深化应用,推动国际间技术互补与人才流动。要融入更大范围的国家间技术互补,尤其是以科学为基础的产业和战略性新兴产业,带动新发明人才的跨国流动,与技术前沿国家共同推动技术领域的突破与发展,互利共赢。要进一步加强基础科学研究人才培养,缩小与发达国家研发人员密度的差距,以丰富的、高水平的创新人才资源和软硬件条件来深化国家间发明人才交流合作,共同推进国际科技共同体建设。③以自主可控的技术互补融入跨国技术集群。面对工业4.0技术革命浪潮,加快促进高技术产业发展以及低技术和中低技术产业转型升级,将有效扩大发明人才流入。要积极推进新一代信息技术以及智能技术融入各技术类型行业的研发、设计以及制造等多个环节,推动智能化以及个性化生产和服务,以创新引领产业结构优化升级。

#### 〔参考文献〕

- [1]江小涓,孟丽君.内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环——国际经验与中国实践[J].管理世界,2021,(1):1-18.
- [2]孙浦阳,蒋为,陈惟.外资自由化、技术距离与中国企业出口——基于上下游产业关联视角[J].管理世界,2015,(11):53-69.
- [3]张宗庆,郑江淮.技术无限供给条件下企业创新行为[J].管理世界,2013,(1):115-130.
- [4]郑江淮,陈喆,孙志燕,冉征.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.
- [5]郑江淮,郑玉.新兴经济大国中间产品创新驱动全球价值链攀升——基于中国经验的解释[J].中国工业经济,2020,(5):61-79.
- [6]Ackers, L. Moving People and Knowledge: Scientific Mobility in the European Union[J]. International Migration, 2005, 43(5): 99-131.
- [7]Bode, E. The Spatial Pattern of Localized R&D Spillovers: An Empirical Investigation for Germany[J]. Journal of Economic Geography, 2004, 4(1): 43-64.
- [8]Broekel, T., and R. Boschma. Knowledge Networks in the Dutch Aviation Industry: The Proximity Paradox[J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(2): 409-433.
- [9]Cohen, W. M., and D. A. Levinthal. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation[J]. Administrative Science Quarterly, 1990, 35(1): 128-152.

- [10] Dunning, J. H., and R. Narula. The R&D Activities of Foreign Firms in the United States[J]. *International Studies of Management & Organization*, 1995, 25(1/2): 39–74.
- [11] Fink, C., E. Miguélez, and J. Raffo. The Global Race for Inventors' Brains[R]. WIPO Economic Research Working Paper, 2013.
- [12] Fleming, L. Recombinant Uncertainty in Technological Search[J]. *Management Science*, 2001, 47(1): 117–132.
- [13] Francesco, D. L., and A. Paul. The Role of Relative Performance in Inter-Firm Mobility of Inventors[J]. *Research Policy*, 2017, 46:1162–1174.
- [14] Grant, R. M., and C. Baden-Fuller. A Knowledge-based Theory of Inter-Firm Collaboration [J]. *Academy of Management Annual Meeting Proceedings*, 1995, (1):17–21.
- [15] Guan, J. C., and Y. Yan. Technological Proximity and Recombinative Innovation in the Alternative Energy Field[J]. *Research Policy*, 2016, 45(7):1460–1473.
- [16] Hausmann, R., and B. Klinger. The Evolution of Comparative Advantage: The Impact of the Structure of the Product Space[R]. CID Working Paper, 2006.
- [17] Herrera, L., M. F. Muñoz-Doyague, and M. Nieto. Mobility of Public Researchers, Scientific Knowledge Transfer, and the Firm's Innovation Process[J]. *Journal of Business Research*, 2010, 63: 510–518.
- [18] Hicks, J. R. The Theory of Wages[M]. London: Macmillan, 1932.
- [19] Hidalgo, C. A., and R. Hausmann. The Building Blocks of Economic Complexity[J]. *PNAS*, 2009, 106(26): 10570–10575.
- [20] Hidalgo, C. A., B. Klinger, A. L. Barabási, and R. Hausmann. The Product Space Conditions the Development of Nations[J]. *Science*, 2007, 317(5837):482–487.
- [21] Kaplinsky, R., A. Terheggen., and J. Tijaja. China as a Final Market: The Gabon Timber and Thai Cassava Value Chains[J]. *World Development*, 2011, 39(3): 1177–1190.
- [22] Kaufmann, D., A. Kraay, and M. Mastruzzi. The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues[J]. *Hague Journal on the Rule of Law*, 2011, 3(2):220–246.
- [23] Kerr, S. P., R. K. William, Ö. Çağlar, and P. Christopher. Global Talent Flows [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2016, 30(4):83–106.
- [24] Keupp, M. M., and O. Gassmann. Resource Constraints as Triggers of Radical Innovation: Longitudinal Evidence from the Manufacturing Sector[J]. *Research Policy*, 2013, 42(8):1457–1468.
- [25] Laursen, K. Revealed Comparative Advantage and the Alternatives as Measures of International Specialization[J]. *Eurasian Business Review*, 2015, 5(1):99–115.
- [26] Lee, K., and F. Malerba. Catch-up Cycles and Changes in Industrial Leadership: Windows of Opportunity and Responses of Firm and Countries in the Evolution of Sectoral Systems[J]. *Research Policy*, 2017, 46(2), 338–351.
- [27] Los, B., M. Timmer, and G. de Vries. How Global Are Global Value Chains? A New Approach to Measure International Fragmentation[J]. *Journal of Regional Science*, 2015, 55(1): 66–92.
- [28] Maré, D. C., R. Fabling, and S. Stillman. Innovation and the Local Workforce[J]. *Papers in Regional Science*, 2014, 93(1): 183–201.
- [29] Milgrom, P., and J. Roberts. The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization[J]. *The American Economic Review*, 1990, 80(3): 511–528.
- [30] Nerdrum, L., and B. Sarpebakken. Mobility of Foreign Researchers in Norway[J]. *Science and Public Policy*, 2006, 33(3): 217–229.
- [31] Pavitt, K. Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory[J]. *Research Policy*, 1984, 13: 343–373
- [32] Petruzzelli, A. M. The Impact of Technological Relatedness, Priorities, and Geographical Distance on University-

- Industry Collaborations: A Joint-Patent Analysis[J]. *Technovation*, 2011, 31(7) : 309-319.
- [33] Schetter, U., and O. Tejada. On Globalization and the Concentration of Talent [ R ]. Center for International Development at Harvard University, Working Paper, 2020.
- [34] Song, J., P. Almeida, and G. Wu. Learning by Hiring: When is Mobility More Likely to Facilitate Interfirm Knowledge Transfer[J]. *Management Science*, 2003, 49: 351-365.
- [35] Stock, J. H., and Yogo, M. Testing for Weak Instruments in Linear IV Regression[ R ]. NBER Working Paper, 2002.

## The Impact of Technology Complementarity between Countries on the Two-way Cross-border Flow of Inventors: An International Technology Discovery Hypothesis and Test

ZHENG Jiang-huai<sup>1, 2</sup>, CHEN Zhe<sup>2</sup>, KANG Le-le<sup>3</sup>

- (1. Yangtze River Delta Economic and Social Development Research Center, Nanjing University, Nanjing 210093, China;  
2. School of Economics, Nanjing University, Nanjing 210093, China;  
3. School of Information Management, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** This paper reveals the trend of technology complementarity between countries and the simultaneous inflow and outflow of inventors in globalization. It attempts to propose an international technology discovery hypothesis from the division of labor within products and innovation practices, and explores the trend of technology complementarity between countries rising first and then steadily declining. This paper reveals the supermodularity condition and positive assortative matching effect between the localized innovation resource endowment and innovation system and the flow of inventors of various countries, explains the occurrence mechanism of the two-way cross-border flow of inventors first rising and then falling from the perspective of technological complementarity changes between countries, and further explains the typical facts such as the overall comparative advantage formed by various countries in technological complementarity and the decentralized innovation pole formed in localized innovation agglomeration. The empirical test finds that technological complementarity between countries significantly promotes the two-way cross-border flow of inventors; with the increase of cultural and institutional distances between countries, the promoting effect of technological complementarity between countries on the two-way cross-border flow of inventors will be weakened; compared with low-tech and medium-low-tech industries, technology complementarity between countries in high-tech and medium-high-tech industries is effective in promoting the two-way cross-border flow of inventors; industry comparative advantage is an important transmission mechanism for technology complementarity between countries to promote two-way cross-border flow of inventors. The research conclusions of this paper provide inspiration for accelerating the further deepening of technology complementarity between countries in the new round of scientific and technological revolution, forming transnational technology clusters based on independent and controllable technologies, and formulating development strategies and policies for multi-point concentration of inventors.

**Keywords:** technology complementarity between countries; the two-way cross-border flow of inventors; international technological discovery; industry comparative advantage

**JEL Classification:** F22 F16 O19

[责任编辑:王燕梅]