



我国企业牵头创新团队合作： 总体特征、网络演化及其启示

——基于国家科技进步奖项目的分析

操友根^{1,2} 任声策¹ 杜梅¹

(1. 同济大学 上海国际知识产权学院, 上海 200092;

2. 马克斯·普朗克创新与竞争研究所, 德国 慕尼黑 80539)

摘要:科技自立自强战略背景下,龙头或领军企业牵头创新团队是实现关键核心技术突破与前沿引领技术瞄准的新型使命型科研联合攻关模式,对增强自主创新能力,保障高质量科技供给,构建新发展格局具有重要作用。以2000—2019年中国国家科技进步奖项目为研究样本,采用计量分析、社会网络分析及地理空间分析方法,分析企业牵头创新团队合作的基本特征、网络结构及时空演化规律。结果发现:随时间推移,企业牵头创新团队合作项目逐渐增加;牵头企业以国有企业为主,而民营企业占比逐渐上升;合作类型以“企业—高校”为主,科研院所作用有待提升;技术领域呈现明显阶段性特征,与国民经济发展阶段紧密相关;企业牵头创新团队合作网络逐渐形成基于“业缘型”的核心集群,长期核心创新主体在稳步增长;企业牵头创新团队合作网络时空分布符合等级扩散和接触扩散规律,时空发展向“亲缘型+地缘型+业缘型”模式演化。应分别从政府与企业层面进行持续巩固与加强,以发挥企业牵头创新团队在市场需求、集成创新和组织平台方面的优势。

关键词:科技自立自强;企业牵头创新团队;国家科技进步奖;时空网络演化

中图分类号:F272 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-0241(2023)12-0118-23

0 引言

“十四五”时期构建新发展格局,实现高质量发展,要求创新发挥更大引领支撑作用。党的十九届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》强调:“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位,把科技自立自强作为国家发展的战略支撑。”^①科技自立自强是党中央结合国内外新形势与科技发展规律作出的重大部署,其

提出意义不仅在于从国家层面号召与推进国家科技事业走向自立自强之路,还在于深刻反思国家以往科技发展的逻辑与实践(温军等,2022)。现阶段加快科技自立自强既要“补短板”,逐步实现关键核心科技的自主安全可控,又要“锻长板”,依靠基础科学理论和前沿科技等战略科技领域的进步,布局抢占未来科技和产业竞争的制高点。

然而,随着新一轮科技革命加速演进,创新向纵深发展,技术尤其是关键核心技术日益呈现出

收稿日期:2022-04-22

基金项目:国家自然科学基金项目(72072129);中央高校基本科研业务费专项资金(22120210242)

作者简介:操友根(1992—),男,汉族,安徽安庆人,同济大学上海国际知识产权学院博士研究生、德国马克斯普朗克创新与竞争研究所联合培养博士研究生,研究方向:创新与知识产权管理;任声策(1975—),男,汉族,安徽寿县人,同济大学上海国际知识产权学院教授、博士生导师,管理学博士,研究方向:战略管理、创新创业与知识产权;杜梅(1995—),女,汉族,江苏徐州人,同济大学上海国际知识产权学院博士研究生,研究方向:创新与知识产权管理。

通信作者:任声策,renshengce@tongji.edu.cn

高投入与长周期、知识复杂性和嵌入性、国际核心系统与部件市场的寡头垄断、核心技术突破的商用生态依赖性等特点(余江等, 2019), 科技创新活动面临研究资源投入及使用效率不足(马宁, 2006; 彭绪庶, 2022)、科研成果转化不畅(刘瑞明等, 2021; 郑世林等, 2009)、创新链与产业链缺乏有效融合(陈劲等, 2021b; 彭绪庶, 2022)、基础研究和原创性重大创新成果战略支撑作用较弱(彭绪庶, 2022)、以及单一科研主体难以形成重大突破(余江等, 2020a)等问题, 越来越需要具有跨学科跨领域背景的技术单元力量深度协同以加速国家科技建设从自主创新阶段转向自立自强阶段。

现有科技创新协作模式如研发联盟、研究联合体、产学研合作等都难以适应新发展格局与高质量发展阶段对关键核心技术突破、前沿引领技术部署的需要。企业研发联盟普遍存在“短视”缺陷, 研发目标常锁定为短期的竞争前研发项目, 很少追求长远性研发目标(张义芳等, 2008)。研究联合体局限于大型企业间合作(马宗国, 2019), 其稳定性极易受到机会主义(Pastor et al, 2002)、道德风险和逆向选择(Silipo, 2008)等问题影响。产学研合作通常依托于高校或科研院所, 企业创新积极性不高, 未能成为创新决策、研发投入、科研组织及成果转化的主体(马宁等, 2005; 吕薇等, 2018), 并且因对产业需求关注不够、激励不相容、管理不规范等问题导致产学研合作脱节(熊鸿儒, 2021)。因此, 亟需一种新的创新协作模式, 突破已有合作模式的弊端, 以适应创新发展新格局。

企业牵头创新团队是指以国家重大项目或重大任务为导向, 由代表市场需求的龙头或领军企业牵头组织、联合科研院所、高等院校和/或中小企业等技术创新力量, 其是对现有创新协作模式的发展, 是新发展格局下实现中国关键核心技术与前沿引领技术突破问题的有效途径和组织模式(白京羽等, 2020; 郭菊娥等, 2022)。企业牵头创

新团队以产业重大科技问题为导向, 是将需求侧与供给侧紧密结合的源头性技术创新发源地, 有利于发展高效强大的共性技术供给体系, 推动创新链与产业链深度耦合, 并形成各创新主体相互协同效应(罗小芳等, 2021)。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》明确提出“要强化企业创新主体地位”^②, 支持企业牵头组建创新团队(联合体), 承担国家重大科技项目, 推进产学研深度融合。各省市均在积极鼓励企业牵头组建创新团队(联合体)。如江苏省“新能源光伏”“新能源汽车”“新材料产业”产业创新团队(联合体)、湖北省“智能建造科技创新团队(联合体)”、以及多省跨区域“绿色除草剂创新团队(联合体)”等。因此, 探究企业牵头创新团队合作的发展和演化过程, 具有重要的现实意义。

同时, 从已有文献来看, 不同于企业研发联盟、研究联合体和产学研合作, 学界对企业牵头创新团队合作网络的特征、演化趋势以及内在机理等研究还处于初级阶段(白京羽等, 2020; 郭菊娥等, 2022; 尹西明等, 2022; 张赤东等, 2021; 张仁开, 2022; 朱国军等, 2022), 文献相对较为匮乏, 这不利于创新合作网络理论的丰富和发展, 也不利于提升企业牵头创新团队的创新效能。基于此, 本文利用社会网络分析与地理空间分析方法, 以2000—2019年中国国家科技进步奖项目为研究样本, 研判企业牵头创新团队合作的发展趋势, 分析企业牵头创新团队合作网络的基本特征, 探索企业牵头创新团队合作网络结构与时空演化机理, 总结中国企业牵头创新团队合作的主要规律与相关启示, 为企业牵头创新团队合作网络研究提供参考, 为政府制定科技政策提供建议, 推动企业牵头创新团队(联合体)发展, 发挥企业牵头创新团队在市场需求、集成创新和组织平台方面的优势, 进而加速国家科技自立自强进程, 助力新发展格局构建与经济高质量运行。

1 文献回顾

1.1 科技自立自强与企业牵头创新团队

综观英美德日韩等国创新发展历程发现,科技自立自强是大国崛起的必经之路。面临百年未有之大变局,为探寻新发展格局下国内高质量发展的战略路径,党的十九届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出要“把科技自立自强作为国家发展的战略支撑。”^③现有文献对科技自立自强已进行较多探讨,主要集中在内涵、逻辑及路径等方面。

(1) 关于科技自立自强的内涵,一般是指一个国家在关键核心技术领域能够独立发明创造,并能实现自主可控,能开发重要装备、能建设重大工程,最终能足以支撑本国的经济社会实现高质量发展(张学文等, 2021)。进一步,按照实现过程可将科技自立自强解构为相互依存、互为依归的两部分:科技自立与科技自强。其中,科技自立是核心,强调逐步实现关键核心科技的自主安全可控,而科技自强是关键,要求不断提升在科技论域中的创新力、支撑力、影响力和把控力等(温军等, 2022)。从两者互动关系来看,科技自立是科技自强的基础,科技自强是科技自立的根基(彭绪庶, 2022)。(2) 关于科技自立自强的逻辑,通常立足于理论逻辑与实践逻辑两个维度。在理论逻辑层面,创新理论研究先后经历从技术创新到创新系统、开放创新、再到创新生态的复杂演化过程。尽管创新的内涵与外延有所变化,但它们均强调科技创新必须坚持自立与自强的基本思想(张学文等, 2021)。因而,基于理论演进逻辑,科技自立自强既是对自主创新的一脉相承,又是自主创新的更高阶形态(温军等, 2022),更有利于塑造科技创新和发展新优势。在实践逻辑层面,国际复杂环境的倒逼与国内高质量发展的需要分别从内外部驱动国家科技自立自强的进程(彭绪庶, 2022; 温军等, 2022)。更重要的是,科技自立自强国家战略

提出的现实意义在于强化科技对现代化强国建设的支撑作用,从而保障科技安全、产业安全、国家安全。(3) 关于科技自立自强的路径,要加快构建六大支撑体系,包括聚焦关键共性技术支撑体系、以企业为主体的创新体系、国家战略科技力量与人才支撑体系、科技体制改革保障体系、创新区域布局体系和创新生态体系(陈曦等, 2021; 方维慰, 2022; 彭绪庶, 2022; 温军等, 2022; 张学文等, 2021)。

基于以上文献梳理,面对以大国博弈、科技封锁与逆全球化为主要特征的严峻国际环境,构建新发展格局、实现高质量发展的关键支撑在于科技自立自强,重点突破国家在关键核心技术上的阻碍,确保产业链与创新链循环畅通。然而,国家在推进科技自立自强过程中仍存在突出问题,如研发投入规模不足、结构不合理和执行效益不佳,基础研究和原创性重大创新成果战略支撑作用不足日益突出,以及创新链产业链融合发展缺乏有效路径与机制保障等(彭绪庶, 2022),而以面向国家重大任务,聚焦产业难题,由龙头或领军企业牵头组建的创新团队则能有效避免或解决上述问题,真正做到使科技创新活动面向世界科技前沿、面向国民经济主战场、面向国家重大战略需求,围绕产业链紧密部署创新链,促进产学研高水平协同。

1.2 创新协作与企业牵头创新团队合作

创新合作来源于企业实践,是企业战略合作在研发创新方向的拓展,其目的是在创新过程中有效利用外部知识或技术资源。常见创新合作模式包括企业间研发联盟、研究联合体、产学研合作等。

(1) 创新合作最早最直接模式是企业间研发联盟。企业发起研发联盟有助于降低成本、分散风险、共享知识和获得更大的市场份额(Bai et al, 2008; 李东红, 2002)。但一般合作研发联盟组织比较松散,对联盟企业缺乏约束力,影响合作研发绩效(沈家文, 2021; 司春林等, 2005)。且企业间研发联盟相对“短视”,通常锁定在短期的竞争项目(张义芳等, 2008),忽略对长期基础性研发目标的

追求。(2) 研究联合体作为一种对研发联盟弊端的解决方案最先出现于欧盟、美国和日本等国家(Vonortas, 1997)。研究联合体是一种股权型研发联盟,成员企业在研发阶段共同投资建立研发组织,契约式购买研发成果,在生产和市场开发阶段进行竞争(王怡等, 2011)。但研究联合体主要局限于大型企业间合作,且由于成员间的机会主义行为、沟通不畅、意见分歧,以及契约签订的不完备性(Lee et al, 2021; Nippa et al, 2019; 马宗国, 2019),研究联合体的整体合作创新绩效并不理想(马宗国, 2014, 2019)。(3) 随着创新合作主体不断延伸,产学研合作成为重要的创新组织方式,如双螺旋、三螺旋及四螺旋合作形态(Etzkowitz et al, 2000; 吴菲菲等, 2020)。尽管产学研合作极大地丰富创新单元的知识储备和技术实力,但这种模式主要以高校和科研院所的基础技术研发突破为依托,企业进行产业化并寻找开发市场,因此,依本质而论,产学研合作是依托“官”“学”“研”的技术牵引型研发模式,与以企业主导,基于用户需求的市场导向的技术创新相背(王怡等, 2011)。因而,企业创新积极性不高,未能成为创新决策、研发投入、科研组织及成果转化的主体(马宁等, 2005; 吕薇等, 2018),并且因对产业需求关注不够、激励不相容、管理不规范等问题导致产学研合作脱节(熊鸿儒, 2021)。

因此,由龙头或领军企业牵头组建的创新团队是对现有创新联合攻关模式的进一步发展,可以有效应对既有创新合作模式中存在的难题。企业牵头创新团队合作是在国家科技战略导向下,由

龙头或领军企业牵头,高校、科研院所、其他企业等机构共同参与,促进产学研用深度融合的合作创新攻关模式。与企业研发联盟、研究联合体和产学研合作模式相比,企业牵头创新团队合作具有4个新的优势,如图1所示。首先,更加强调要确立企业在合作中的创新主体地位,坚持市场导向,发挥市场机制作用(陈劲, 2021a; 郭菊娥等, 2022)。其次,着重依靠龙头和领军企业牵头,能够把握关键共性技术、前沿引领技术和颠覆性技术的前沿导向,且龙头企业自身具有明确的科技创新战略及完善的组织体系、较强的研发领导能力与抗风险能力,有助于带动整个创新链技术水平的提升(陈劲, 2021a; 罗小芳等, 2021)。再次,尤其明确创新合作的技术对象,重点聚焦于产业链和创新链中的关键技术,通过打造高效强大的共性技术供给体系,提升产业链整体竞争力,延长产业生命周期,促进产业结构升级(尹西明等, 2022; 张赤东等, 2021)。最后,突显政府大布局 and 先引导功能,助力企业牵头创新团队调动各类优势资源,承担国家或产业重大科技攻关项目(张赤东等, 2021)。表1和表2对企业牵头创新团队与企业研发联盟、研究联合体和产学研合作进行了详细比较。

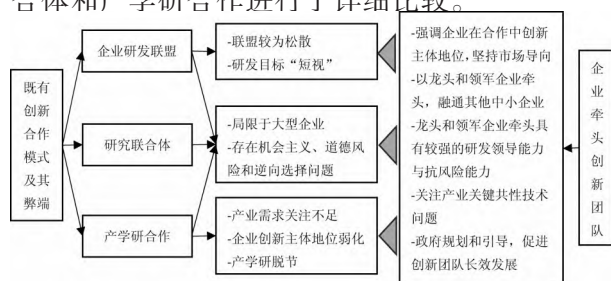


图1 既有创新合作模式弊端与企业牵头创新团队优势

表1 研发联盟、研究联合体与企业牵头创新团队比较

类别	研发联盟	研究联合体	企业牵头创新团队
主体构成	企业	企业、高校、科研院所	大中小企业、高校、科研院所、政府、资本、用户
主体数量	2个及以上	2个及以上	3个及以上
面向客体	少数企业间特定共性技术	少数企业间特定共性技术	产业共性技术
主要任务	完成企业合作项目	完成企业合作项目	承担国家重大科技攻关计划
核心目标	提升企业技术创新能力	提升企业技术创新能力	提升产业链整体竞争力、提升企业技术创新能力、促进产学研深度融合
创新导向	市场主导	市场主导	市场主导与政府引导
治理机制	契约式	股权式	契约式、股权式
组建方式	企业自发组建	企业自发组建	政府支持下龙头或领军企业牵头组建

资料来源:根据相关资料整理

综上所述,科技自立自强是应对复杂外部环境、构建新发展格局、推动高质量发展的核心战略支撑,而加快科技自立自强进程则呼吁发展壮大由龙头或领军企业牵头的创新团队合作模式。鉴于目前学界对企业牵头创新团队的研究较为欠缺,亟需加快加深对其现状、动机、机理及绩效等问题的探索。因此,本文对中国企业牵头创新团队合作的现状进行刻画,剖析创新团队合作的发展趋势、基本特征、演化规律等,提出未来创新团队合作的发展重点与方向,为后续研究提供微观基础,为推动实践发展提供有益参考。

2 研究设计

2.1 研究对象与选择标准

本文以2000—2019年中国国家科学技术进步奖项目作为研究样本,主要原因在于两点:第一,科学技术奖是国家和各省市科技奖励体系的重要组成部分,最能反映出中国和各省市技术创新的研究动态。根据前述文献回顾,科技进步奖项目完全符合企业牵头创新团队的关键特征,如以龙头或领军企业牵头;联合高校或科研院所或其他企业完成;项目主要来源于国家和部委重大科技项目或省市自治区委托课题;致力于解决制约产业发展的重大共性技术难题等。第二,国家科技奖是从各省市科技奖中二次遴选出来,先后经历多次严格评审,确保了企业牵头创新团队合作的先进性和代表性,也避免了“空壳”创新团队的情况。

2.2 数据来源与编码过程

国家科学技术进步奖项目数据来源于中国国

家科学技术奖励办公室网站(<http://www.nosta.gov.cn/web/list.aspx?menuID=162>)。尽管国家科技奖设立时间要更早,考虑到该网站奖励公开信息始于2000年,且2020年信息尚未更新,为保证数据一致性,故本文以2000—2019年作为研究期间。此间共授予3 273项科学技术进步奖,主要包括奖励类别、奖励等级、项目编号、项目名称、主要完成人、主要完成单位和推荐单位等。

本文数据处理过程包括下两个步骤:第一步,按照高校、科研院所、企业和政府对第一完成单位类别进行编码。遵循韩增林等(2018)编码原则,如果完成单位中包含“大学、学院、学校”等标记为高校;包含“研究院、研究所、研究中心、实验室、医院”等标记为科研院所;包含“公司、集团、企业、矿、厂”等标记为企业;包含“政府、部、局、委员会、厅、署、办公室”或具有行政管理职能单位等标记为政府(为叙述方便,将少数协会如中国大洋矿产资源研究开发协会、中国资源综合利用协会等也归为政府范畴)。基于此,本文从中筛选出由企业牵头,至少包括两家以上单位的合作项目,将其作为企业牵头创新团队的初始分析样本,共566项^④。第二步,对筛选出的企业牵头创新团队编码,包括根据国家科技奖学科、专业评审组范围简表对项目编号进行匹配,得出各项目产业领域分布;根据天眼查数据库股权结构穿透,按照国家国有企业、地方国有企业和民营企业对第一完成单位性质进行编码;以及按照省市地(县)三级区划标准对完成单位地区进行编码。

表2 产学研合作与企业牵头创新团队比较

类别	产学研合作	企业牵头创新团队
主体构成	大中小企业、高校、科研院所、政府、资本、用户	大中小企业、高校、科研院所、政府、资本、用户
主体数量	2个及以上	3个及以上
面向客体	特定企业技术	产业共性技术
主要任务	完成企业合作项目、承担国家重大科技攻关计划	承担国家重大科技攻关计划
核心目标	提升企业技术创新能力,促进产学研合作	提升产业链整体竞争力、提升企业技术创新能力、促进产学研用深度融合
创新导向	技术主导	市场主导与政府引导
治理机制	契约式、股权式	契约式、股权式
组建方式	高校或科研院所牵头组建	政府支持下龙头或领军企业牵头组建

2.3 分析方法与研究指标

本文首先运用计量统计方法,对科技进步奖中企业牵头创新团队的时间发展趋势、主体合作类型、专业(技术)领域分布、牵头企业性质进行计量分析;其次,根据企业牵头创新团队完成单位信息构建成 $n \times n$ 阶矩阵,利用社会网络分析软件Ucinet 6.0和Gephi 9.2对上述矩阵进行可视化处理,绘制不同时间段的企业牵头创新团队合作网络演化图,以此分析其结构演化特征;最后,根据企业牵头创新团队完成单位地区信息构建城市关系矩阵,利用空间地理网络分析软件ArcGIS 10.2.2进行可视化处理,绘制出企业牵头创新团队合作网络的时空演化图,以此分析其空间时序特征,具体研究指标如表3所示。

表3 企业牵头创新团队合作网络基本指标及说明

类型	指标	含义
整体网指标	网络规模	衡量网络中节点数量
	关系总数	衡量网络的关系紧密程度
	网络密度	衡量网络的关系紧密程度
	度数中心势	衡量网络节点交易程度
	中介中心势	衡量网络被少数节点控制程度
	接近中心势	衡量网络节点联通程度
	平均距离	衡量两节点间最短路径的长度(小世界特性指标)
个体网指标	聚类系数	衡量网络集聚程度(小世界特性指标)
	度数中心度	衡量节点进行交流活动的的能力
	中介中心度	衡量节点对网络资源的控制程度

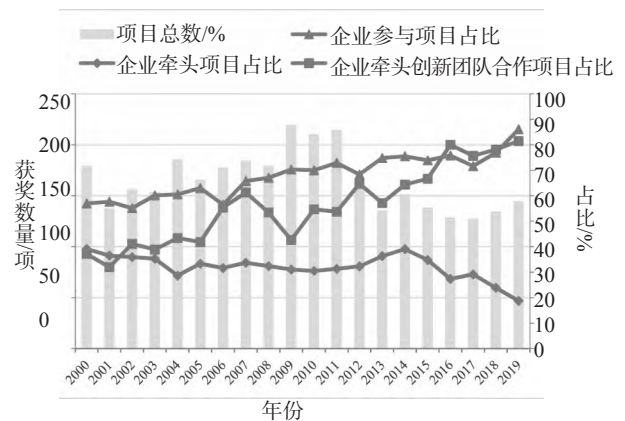
3 我国企业牵头创新团队合作的基本特征

3.1 合作项目数量

根据图2可以看出企业牵头创新团队合作占比具有明显的阶段型特征,主要分为3个阶段。第一阶段是缓慢孕育阶段(2000—2005年),该阶段企业牵头创新团队在企业牵头项目中占比较为稳定,始终在40%上下波动。第二阶段是快速波动增长阶段(2006—2011年)。该阶段企业牵头创新团队占比在2007年达到首个峰值(约61%)。可能原因在于2006年1月,全国科学技术大会召开,中共中央国务院作出《关于实施科技规划纲要增强自主创新能力的决定》,提出要“强化企业在

技术创新中的主体地位,建立以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系”^⑤,这极大激发企业创新主体的活力和动力。而在2008年企业牵头创新团队占比出现大幅下跌可能是受到当年全球金融危机对企业实体经济的影响。第三阶段是持续稳固增长阶段(2012—2019年)。该阶段企业牵头创新团队每年占比从2012年的64%攀升至2019年的81%,可能原因在于2012年和2015年先后发布《关于深化科技体制改革加快国家创新体系建设的意见》^⑥和《关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》^⑦。这促进企业真正成为技术创新决策、研发投入、科研组织和成果转化的主体,鼓励市场导向明确的科技项目由企业牵头,联合高校和科研院所实施,从而为企业加大加强研发投入提供持续的政策支持。

此外,尽管企业参与创新合作项目在逐年增加,但企业牵头创新合作项目在逐年减少,这可能是因为在:其一是2013年国家科技奖进行“重质量、减数量”的二次改革^⑧,相比于高校牵头的创新合作项目,企业牵头创新合作项目质量可能较低,从而导致总量减少。其二是随着新产业新技术加速涌现,新兴领域产业基础比较薄弱,尚未形成具有强大研发领导能力的龙头或领军企业,企业创新主体地位仍有进一步的发展空间。



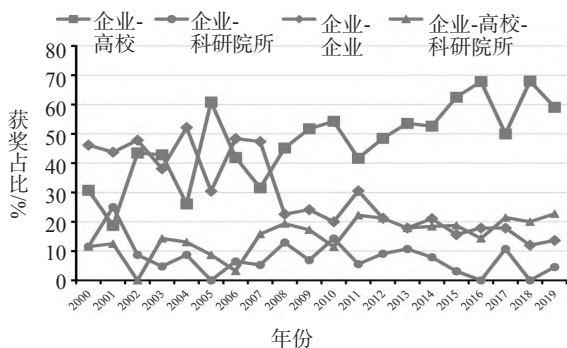
注:企业牵头项目占比与企业参与项目占比是指在总体项目总数中所占比例,企业牵头创新团队占比则是指在企业牵头项目中所占比例

图2 中国2000—2019年科技进步奖企业牵头创新团队发展概况

3.2 合作主体类型

根据图3,企业牵头创新团队合作类型可以分为3个发展阶段。第一阶段是企业—企业的创新团队合作模式(2000—2006年)。该阶段企业间团队占比平均约为50%,同时企业—高校间创新团队占比发展迅速,从2000年的31%一度跃升到2005年的61%,但总体波动较大。第二阶段是由企业—企业转向企业—高校的创新团队合作模式(2007—2011年)。该阶段以企业—高校创新团队为主导,占比超过50%;其次是企业—企业创新团队,但占比不断下降;最后是企业—高校—科研院所创新团队,其占比在波动中不断提高。导致这一时期显著变化的因素可能是随着《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》的组织实施,为企业与高校和科研院所的合作提供更好通道和良好条件。

第三阶段是企业—高校的创新团队合作模式(2012—2019年)。该阶段企业与高校合作占比达到70%。企业—高校—科研院所创新团队合作趋势也在上升,而企业间创新团队占比则在不断下降,2019年该比例仅为13%。这反映出仅有企业间创新合作不能有效解决产业链关键技术问题,需要扩大创新源头,丰富问题解决方案。此外,企业牵头与科研院所组建创新团队的比例总体呈减少趋势,可能是因为自十一五规划开始,中国对科研院所进行分类改革,一批技术开发类科研院所转制成企业,实行企业化管理的缘故(李慧聪等,2015)。



注:由于政府参与数量极少,仅29项,为便于清晰展示,故将其分别整合到图示4种类型,如企业—高校合作类型中某些年份可能包括政府,而没有同时区分出企业—高校—政府两种类型,其他同理

图3 中国2000—2019年科技进步奖企业牵头创新团队合作类型

3.3 牵头企业性质

国有企业和民营企业是中国经济发展的重要支柱,也是促进中国技术创新的关键主体。根据图4发现,在企业牵头创新团队中,国有企业始终处于引领地位,平均占比约为64%,但总体趋势为下降,年占比也从2000年的81%降至2019年的55%。地方国有企业牵头创新团队比例相对比较稳定,大致维持在19%左右。而民营企业牵头创新团队占比增势显著,从2000年约4%上升到2019年27%,翻了将近7倍。尤其是2006年、2012年、2015年系列科技政策颁布后,民营企业牵头创新团队占比快速增加,反映出国家对民营企业技术创新的鼓励和支持力度不断扩大,激发其参与创新的热情和活力。不可忽视的是,国有企业和民营企业牵头创新团队占比年度波动很大(每年占比的方差分别为0.089和0.083),说明国有企业和民营企业参与创新的动机和积极性容易受到外界因素的影响,从而导致科学研究投入的不稳定性。

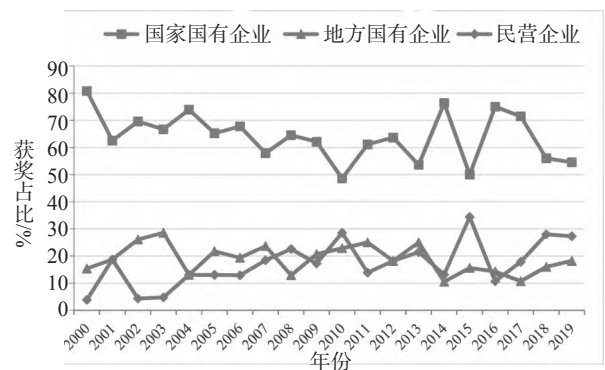


图4 中国2000—2019年科技进步奖企业牵头创新团队牵头企业性质

3.4 合作产业领域

首先,从发展趋势来看,根据表4可以看出,绝大部分产业的企业牵头创新团队的数量总体成上升趋势,尤其是动力、机械、药物、纺织、水利、中医中药、计算机、农业等产业在四阶段数量都是增加的,这反映出随着国家持续不断的政策引导与支持,创新环境不断优化,更多创新资源与要素逐渐向企业聚集,企业创新能力不断增强,创新网络关系不断扩展,能承担更多重大科技攻关项目。

其次,从产业类别来看,根据表4可以将占据重要地位的企业牵头创新团队划分为两类,第一类支柱行业:如能源(115项)、化工(54项)、冶金(70项)、建筑(56项)、交通(49项)、水利水电(15项+57项);第二类新兴技术行业:智能制造(25项)、电子通信(24项)、生物医药(19项)、新材料(16项)等新兴技术产业。通过比较两类企业牵头创新团队的发展过程发现,其与国民经济发展阶段紧密相关。2000年国家十五规划明确提出“加强基础设施建设”“加快传统产业技术改造”“发展高新技术产业”^⑨,由此促使国土资源、动力、交通、水利等基础设施领域,电子通信、医药等新兴产业企业牵头创新团队数量占比不断增加,而金属材料、土木建筑和化工等传统行业企业牵头创新团队数量占比逐年减少。

最后,从产业分布来看,现有产业间企业牵头创新团队数量分布极为不均衡,根据上段分类,第

一类企业牵头创新团队数量占比达到73%,第二类企业牵头创新团队数量占比为15%,而其他如农林畜牧等专业企业牵头创新团队约为12%,这说明国家产业基础不同,创新效率存在很大差异。典型产业如中国药物与生物专业起步晚,尽管各项政策和计划加大支持力度,但在创新效率、创新组织和成果转化上仍无法与国土资源、冶金、动力等发展早、较为成熟的产业相比。

4 我国企业牵头创新团队合作网络结构与时空演化

4.1 企业牵头创新团队合作网络结构演化

4.1.1 网络整体特性分析

本文按照5年间隔将样本分为4个阶段,分别为2000—2004年、2005—2009年、2010—2014年、2015—2019年。首先,以4个阶段内所有参与企业牵头创新团队的主体作为网络节点,以0~1处理的科技合作联系作为网络边,绘制各阶段企业牵头

表4 中国2000—2019年科技进步奖企业牵头创新团队合作产业领域分布

产业领域	2000—2004年		2005—2009年		2010—2014年		2015—2019年		总计
	数量	占比/%	数量	占比/%	数量	占比/%	数量	占比/%	
国土资源与利用	23.00	21.10	31.00	21.71	41.00	24.12	18.00	13.33	115.00
金属材料	15.00	13.76	20.00	13.16	17.00	10.00	18.00	13.33	70.00
动力与电气	11.00	10.09	12.00	7.89	14.00	8.24	20.00	14.81	57.00
土木建筑	14.00	12.84	15.00	9.87	17.00	10.00	10.00	7.41	56.00
化工	15.00	13.76	15.00	9.87	14.00	8.24	10.00	7.41	54.00
交通运输	6.00	5.50	14.00	9.21	17.00	10.00	12.00	8.89	49.00
机械	4.00	3.67	4.00	2.63	9.00	5.29	8.00	5.93	25.00
电子与通信、仪器仪表	2.00	1.83	8.00	5.26	9.00	5.29	5.00	3.70	24.00
药物与生物医学工程	2.00	1.83	4.00	2.63	6.00	3.53	7.00	5.19	19.00
纺织	0.00	0.00	7.00	4.61	5.00	2.94	7.00	5.19	19.00
无机非金属材料	3.00	2.75	3.00	1.97	6.00	3.53	4.00	2.96	16.00
水利	2.00	1.83	4.00	2.63	4.00	2.35	5.00	3.70	15.00
轻工	3.00	2.75	2.00	1.32	5.00	2.94	1.00	0.74	11.00
环境保护	1.00	0.92	5.00	3.29	1.00	0.59	2.00	1.48	9.00
中医中药	0.00	0.00	3.00	1.97	1.00	0.59	3.00	2.22	7.00
计算机与自动控制	1.00	0.92	1.00	0.66	2.00	1.18	2.00	1.48	6.00
农业	1.00	0.92	1.00	0.66	0.00	0.00	2.00	1.48	4.00
养殖业	3.00	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.74	4.00
民用核技术	2.00	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
技术基础	1.00	0.92	0.00	0.00	1.00	0.59	0.00	0.00	2.00
林业	0.00	0.00	1.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
医疗卫生	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.59	0.00	0.00	1.00
总计	109.00	100.00	152.00	100.00	170.00	100.00	135.00	100.00	566.00
占科技进步奖总量比例/%	13.44	/	15.92	/	19.41	/	20.00	/	17.06

资料来源:根据2000—2019年国家科技进步奖数据整理

创新团队合作网络可视化结构图,如图5所示。其次,运用Ucinet 6.0计算各阶段企业牵头创新团队合作网络的整体结构指标,如表5所示。最后,结合图5和表5,比较分析不同阶段指标特征和演化图谱的异同。

(1) 网络规模不断扩大。随着创新合作活动的深入发展,越来越多的创新主体参与到企业牵头创新团队合作网络中,网络创新主体数量从2000—2004年的428个增加到2015—2019年的635个,总体增长率达148.36%。但比较各阶段创新主体增加趋势,发现2004—2005年、2010—2014年、2015—2019年相对于上一阶段,其数量分别增加

1.29、1.19、0.96倍,说明新增创新主体逐渐减少,这种趋势有利于提升合作网络效率与产出质量,即既通过原有主体合作增强关系强度,又通过吸纳新主体保持网络动态发展,及时获取新技术。

(2) 网络关系迅速增多。企业牵头创新团队合作网络中的关系总数增势迅猛,2004—2005年、2010—2014年、2015—2019年相对于上一阶段,合作网络关系总数分别增长1.39、1.89、1.19倍。结合网络规模增加趋势,尤其是比较2010—2014年和2015—2019年,发现创新主体减少24个,关系总数反而增加944个,说明创新主体间合作次数快于创新主体的增加,表明合作网络中创新主体增加导

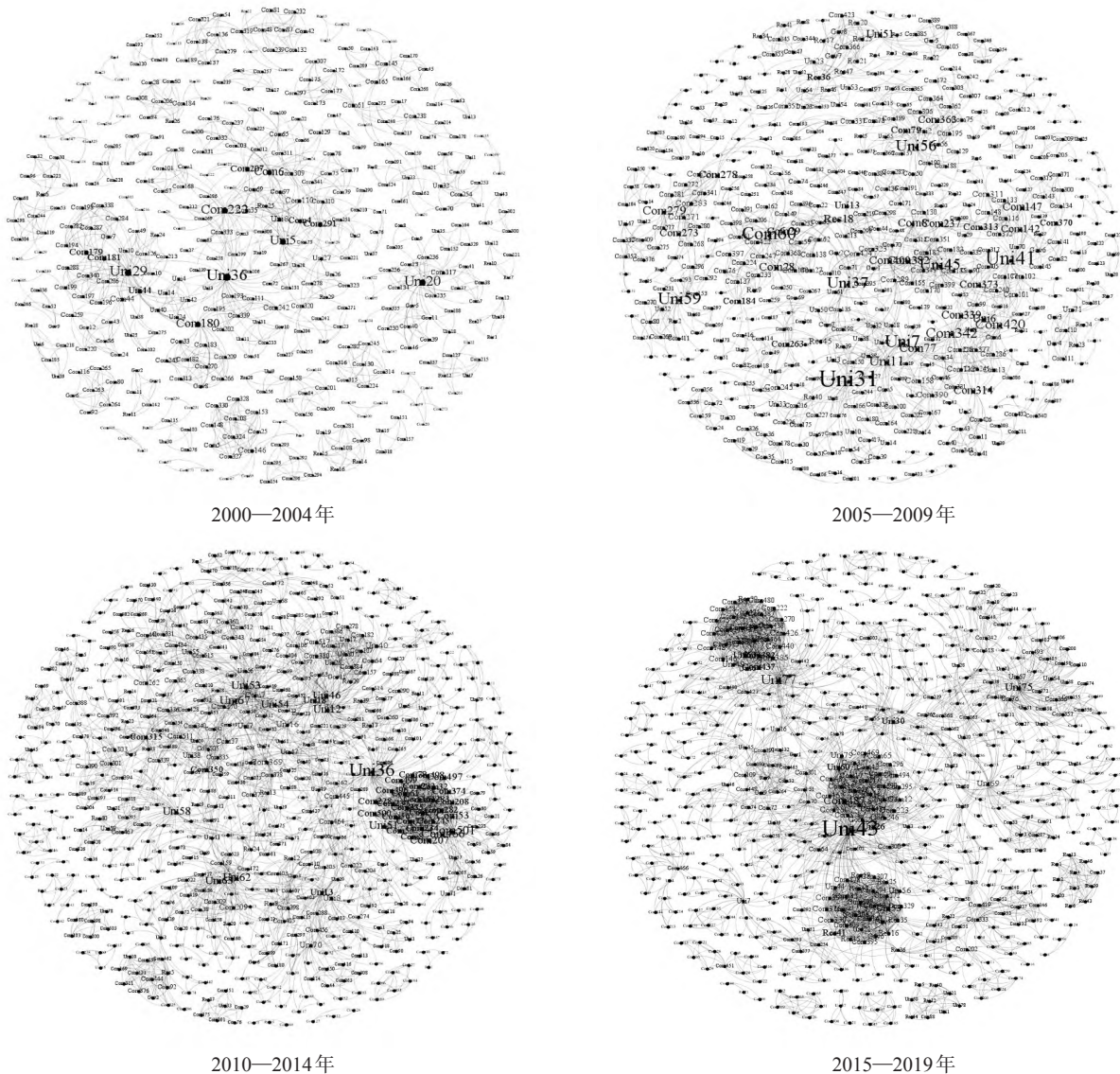


图5 中国2000—2019年科技进步奖企业牵头创新团队合作网络演化图

表5 中国2000—2019年企业牵头创新团队合作网络整体特征

特征项	2000— 2004年	2005— 2009年	2010— 2014年	2015— 2019年
网络规模	428.000 0	554.000 0	659.000 0	635.000 0
关系总数	2 356.000 0	3 268.000 0	5 974.000 0	6 918.000 0
网络密度(均值)	0.013 0	0.011 0	0.014 0	0.017 0
网络密度(标准差)	0.116 0	0.106 0	0.123 0	0.136 0
度数中心势	0.071 8	0.058 3	0.102 0	0.220 1
中介中心势	0.031 8	0.117 9	0.090 3	0.170 2
接近中心势	0.145 2	0.242 3	0.250 4	0.264 6
平均距离	3.055 0	6.184 0	3.833 0	3.769 0
聚类系数(局部密度)	0.987 0	0.961 0	0.994 0	1.002 0
聚类系数(传递性)	0.674 0	0.625 0	0.660 0	0.733 0

致新关系增加,创新主体间交流日益增多。

(3) 网络密度逐渐增加。企业牵头创新团队合作网络密度经历短暂降低到逐步增加的过程。从2000—2004年到2005—2009年,合作网络密度从0.013下降至0.011,这可能受到2006年国家中长期科学和技术发展规划纲要的政策效果影响,大量创新主体被激励参与到企业牵头创新的团队中。而随着创新主体增加率逐年减少,关系总数逐年增加,以及后续政策持续鼓励支持推动创新主体深入融合,使得合作网络密度逐渐增加,2015—2019年合作网络密度达到0.017。但总体而言,企业牵头创新团队合作网络密度较低,平均约为0.013,尽管低网络密度有助于搜索到更新、更广的知识与机会,提高创新绩效(魏江等,2014)。但与Mayhew和Levinger(1976)提出的实践中最大网络密度0.5相比,仍有很大发展空间。同时各阶段网络密度标准差介于0.106-0.136之间,说明网络主体间小群体现象并不存在显著变化。

(4) 网络核心集群凸显。企业牵头创新团队合作网络整体由较低的度数中心势、中介中心势和接近中心势向较高的度数中心势、中介中心势和接近中心势发展。具体而言,度数中心势从2000—2004年0.071 8下降到2005—2009年0.058 3,然后增加到2015—2019年0.220 1,说明随着创新合作次数增加,网络中创新主体自身交易能力逐渐增强,能够与其他创新主体进行直接接触。网

络的中介中心势从2000—2004年0.031 8增加到2015—2019年0.170 2,说明网络逐渐被某些核心创新主体控制的可能性提高,网络逐渐演化出核心区域。网络的接近中心势从2000—2004年0.145 2增加到2015—2019年0.264 6,说明网络中创新主体之间联通比较发达。综合三类中心势趋势变化和图5网络演化过程,发现企业牵头创新团队合作网络日益成熟,创新主体自主开展创新能力不断增强,相互沟通效率逐渐提高,并演化出“多核心群”(如图5中2015—2019年电力、交通、水利三大核心集群网络),部分创新主体对合作网络间技术与知识信息流动仍存在控制作用。

(5) 网络小世界特性强化。小世界网络用来反映网络既不完全规则也不完全随机的统计特性,通常其同时具有较短的平均路径和较高的集聚程度(Watts, 1999)。从2000—2004年到2015—2019年,企业牵头创新团队聚类系数从0.987上升到1.002,属于高聚类网络。高聚类网络为合作提供共性基础,有利于创新主体间的信息和技术知识的快速交流与整合。同时,合作网络平均距离经历先增后减的过程,除2005—2009年外,平均路径徘徊在3.055~3.833之间,说明任意两个创新主体间需要经过3个节点就能取得联系。综合来看,企业牵头创新团队合作网络具有较高的聚类系数和较小的平均距离,小世界特性显现,并逐渐强化。

4.1.2 网络个体特性分析

本文进一步按照4个阶段对企业牵头创新团队的个体结构指标进行分析,运用Ucinet 6.0计算得出合作网络的度数中心度和中介中心度。表6列出度数中心度和中介中心度排名前十名的创新主体。并运用Ucinet 6.0分析4个阶段合作网络的“核心—边缘”结构,比较节点流动情况,梳理核心节点和持续性参与节点,具体如表7所示。

(1) 程度节点力量不均衡。根据表6,从时间维度看,企业牵头创新团队合作网络的度数中心

度不断上升,从2000—2004年到2015—2019年,度数中心度翻了4倍多,这说明创新主体的合作能力显著提升,合作关系越来越紧密。从合作创新主体类型来看,度数中心度前十位中高校和企业占比从2000—2004年的4:6演变为2015—2019年的6:3,高校占比不断增加,而且基本位居各阶段前

位,反映出高校拥有丰富的合作网络,具有直接开展创新合作的基础和优势,因而成为合作网络中最具对外合作能力的主体。而企业创新主体都属于国有,其占比在下降,显示出企业开展创新合作的活力和动力明显不足。同时发现仅有中国水利水电科学研究院一家科研院所出现,说明科研院所

表6 中国2000—2019年企业牵头创新团队合作网络中心度:前10位创新主体

阶段	创新主体	度数中心度	创新主体	中介中心度
2000—2004年	中南大学	36.000	中南大学	6.399
	西南交通大学	32.000	中国钢研科技集团有限公司	3.467
	北京科技大学	31.000	西南交通大学	2.338
	清华大学	29.000	北京矿冶研究总院公司	1.777
	中国钢研科技集团有限公司	28.000	北京科技大学	1.713
	中国铁道科学研究院集团有限公司	24.000	中国铁道科学研究院集团有限公司	1.450
	宝山钢铁股份有限公司	21.000	西安重型机械研究所有限公司	1.418
	北京矿冶研究总院公司	19.000	宝山钢铁股份有限公司	1.264
	中国铁道建筑总公司	18.000	长沙矿山研究院有限公司	0.675
	中国铁路工程总公司	18.000	鞍山钢铁集团有限公司	0.612
2005—2009年	清华大学	38.000	上海交通大学	23.974
	同济大学	32.000	清华大学	18.597
	武汉科技大学	32.000	武汉科技大学	12.967
	哈尔滨锅炉厂有限责任公司	30.000	中海石油研究中心	12.873
	中国矿业大学	27.000	中国石油大学	12.219
	西南交通大学	25.000	中国电力科学研究院有限公司	11.347
	中国石油大学	25.000	山西潞安矿业(集团)有限责任公司	8.911
	中国钢研科技集团有限公司	24.000	保定天威保变电气股份有限公司	8.865
	东北大学	24.000	机械工业北京电工技术经济研究所	7.507
	上海交通大学	24.000	华为技术有限公司	7.067
2010—2014年	清华大学	76.000	清华大学	18.324
	国网电力科学研究院有限公司	56.000	中国石油大学	10.441
	中国电力科学研究院有限公司	56.000	浙江大学	6.925
	中国矿业大学	49.000	重庆大学	6.389
	中国石油大学	48.000	大连理工大学	6.187
	同济大学	46.000	中国矿业大学	5.908
	西南交通大学	45.000	西安理工大学	5.485
	国家电网有限公司	44.000	中国石化工程建设公司	5.357
	西安理工大学	44.000	同济大学	5.253
	大连理工大学	41.000	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院	4.416
2015—2019年	清华大学	150.000	清华大学	34.281
	中南大学	82.000	中南大学	15.724
	中国石油大学	73.000	华中科技大学	13.927
	中国电力科学研究院有限公司	62.000	浙江大学	11.608
	中铁十二局集团有限公司	53.000	天津大学	8.186
	西南交通大学	52.000	北京科技大学	7.909
	中国水利水电科学研究院	49.000	中国石油大学	5.832
	天津大学	48.000	东南大学	4.633
	西安理工大学	48.000	中国电力科学研究院有限公司	4.050
	中国铁道科学研究院集团有限公司	45.000	北京工业大学	3.703

资料来源:根据相关计算整理

表7 中国2000—2019年企业牵头创新团队合作网络中核心主体与主体流动情况

阶段	2000—2004年	2005—2009年	2010—2014年	2015—2019年
创新主体总数	428	554	659	635
相比上阶段新增主体数	/	89	152	92
核心主体数*	44	59	88	112
持续创新主体数	/	89(16.06%**)	42(6.37%**)	32(5.04%**)
持续创新核心主体数	1	4	9	14
持续创新主体	公司:中国钢研科技集团有限公司、鞍山钢铁集团有限公司、宝山钢铁股份有限公司、太原钢铁(集团)有限公司、淮北矿业(集团)公司、中国铁路北京局集团有限公司、中铁大桥局集团有限公司、中国第一重型机械(集团)有限责任公司、中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院、中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院、中海石油(中国)有限公司天津分公司、中国石化工程建设公司、西安热工研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、中国移动通信集团公司 高校:北京科技大学、北京邮电大学、大连理工大学、华东理工大学、清华大学、上海交通大学、四川大学、同济大学、西南交通大学、西南石油大学、中国矿业大学、中国石油大学、中南大学、重庆大学 科研院所:复旦大学附属中山医院、长江水利委员会长江科学院、中国水利水电科学研究院			

注:*表示根据“核心—边缘分析”统计出的核心节点数;**表示持续主体占创新主体比例

所处于合作网络的边缘位置。

(2) 核心节点控制能力增强。根据表6中介中心度发展趋势来看,各阶段企业牵头创新团队合作网络中介中心度都在提升,从2000—2004年的6.399增加到2015—2019年的34.281,这说明创新主体对其他创新主体合作的控制能力不断强化。根据创新主体类型来看,4个阶段中介中心度排名前十位的创新主体中,企业占比约40%,更加说明企业作为问题提出者和知识需求方,需要主动寻求外部创新资源,从而承担起“中间人”角色(韩增林等,2018)。结合度数中心度创新主体排名情况,发现部分创新主体如中南大学、西南交通大学、清华大学、中国钢研科技集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司等既有高的度数中心度,也有高的中介中心度,说明这类创新主体同时具有开展创新合作和控制其他创新主体合作的能力,是合作网络的核心主体。

(3) 持续性参与节点逐渐减少。稳定的创新主体有利于提升创新团队之间的技术与知识整合速率、沟通效率和融合深度。根据表7可以发现,每阶段都存在新增的创新主体和退出的创新主体,持续参与到每阶段的创新主体占比不断下降,从2005—2009年的16.06%降至2015—2019年的

5.04%,说明企业牵头创新团队合作网络具有较大的流动性。进一步对32个持续参与合作创新主体分析,主要包括4类企业牵头创新团队:钢铁创新团队、铁路创新团队、能源与动力创新团队、以及通讯创新团队,均分布在关乎国计民生、国家经济命脉的重点行业和关键领域。而综合核心主体发展趋势,即从2000—2004年的44个增加到2015—2019年的112个,以及核心节点与持续合作节点间的不完全重合,反映出企业牵头创新团队合作网络有待加速核心节点向持续合作的核心节点转化,发展出创新主体间的长效合作关系。

4.2 企业牵头创新团队合作网络时空演化

本文对4个阶段进行年份截取,分成2000年、2005年、2010年、2015年、2019年,以企业牵头创新团队合作单位所在城市为节点,以城市联系为边,运用空间地理分析工具ArcGIS 10.2.2软件绘制出合作网络空间分布图,具体如图6所示。

(1) 从地区分布来看,企业牵头创新团队合作网络主要集中在东部沿海及中部城市,西部城市参与较少。结合表8,在2000—2019年566个企业牵头创新团队合作技术攻关项目中,东部地区城市牵头与参与创新团队占比分别达到59.36%和54.19%,牵头动力更强;其次是中部和西部城市,

占比在17~18%左右,牵头与参与动力相当;最后是东北三省,其中较为明显的是东北地区的参与占比将近是牵头比例的2倍,反映出东北地区企业创新活力明显不足,而其参与较多合作项目很大程度上源于该地区具有丰富的高校及科研院所资源,为其他地区产业技术问题的解决提供创新策源支撑(刘承良等,2019)。与此同时,从图6和表8可以发现海南、宁夏、青海、西藏等城市牵头和参与数量均很少,说明这些城市创新资源有限,产业基础落后,同时也反映出创新合作交流在空间上存在一定的地理距离衰减规律(韩增林等,2018)。

(2)从城市等级来看,企业牵头创新团队合作网络逐渐从“北京、区域中心城市、省会城市”向“北京、区域中心城市、省会城市、地级城市”发展,核心区域城市辐射功能不断增强,地级城市创新能力不断提升,但不同地区地级城市创新发展态势存在显著差异。根据图6可知,首先,2000—

2019年间,北京作为全国科创中心,在企业牵头构建创新团队合作网络中占据绝对领导地位,其合作网络的辐射范围最远、最广。其次,重要区域中心城市在辐射和联动地区创新中的作用日益稳固。如京津冀地区以北京为第一核心,以天津为第二核心;长三角地区以上海为第一核心,2005年后南京逐渐发展成第二核心;中部地区则以长沙和武汉为重要中心城市,而且长沙和武汉在4个阶段合作中始终位居前列。但是从2005年起,兰州作为西部区域中心城市的作用不断减弱。第三,省会城市在对接北京、区域中心城市创新力量中起着枢纽作用,尤其表现在成都、重庆、昆明、贵阳、南宁、泉州等城市。最后,东部和中部地区地级城市创新能力快速增强,而东北和西南地区地级城市的创新能力则在持续降低。尤其是2005年后,浙江、江苏、安徽、湖北、湖南、河南、河北、山东、广东等省份50个地级城市先后加入到企业牵

表8 中国2000—2019年企业牵头创新团队地区合作分布情况

地区	城市名称	牵头次数	参与次数	地区	城市名称	牵头次数	参与次数
东北	黑龙江	7	49	中部	山西	11	36
	吉林	4	31		安徽	20	38
	辽宁	17	103		江西	5	17
	总计	28/4.95%*	183/9.65%*		河南	24	75
东部	北京	172	404	湖北	26	102	
	天津	15	72	湖南	20	77	
	河北	11	59	总计	106/18.73%*	345/18.18%*	
	山东	48	93	西部	内蒙古	3	14
	上海	40	133		新疆	12	26
	江苏	21	137		陕西	23	82
	浙江	5	53		宁夏	3	6
	福建	2	7		甘肃	6	29
	广东	21	67		青海	3	7
	海南	1	4		西藏	0	2
总计	336/59.36%*	1029/54.19%*	四川		21	89	
港澳	澳门	1	1		重庆	8	33
	香港	0	5		贵州	2	10
	总计	1/0.17%*	6/0.32%*	云南	11	19	
				广西	3	19	
总计	566	1 899	总计	95/16.78%*	336/17.69%*		

注:*表示次数占比

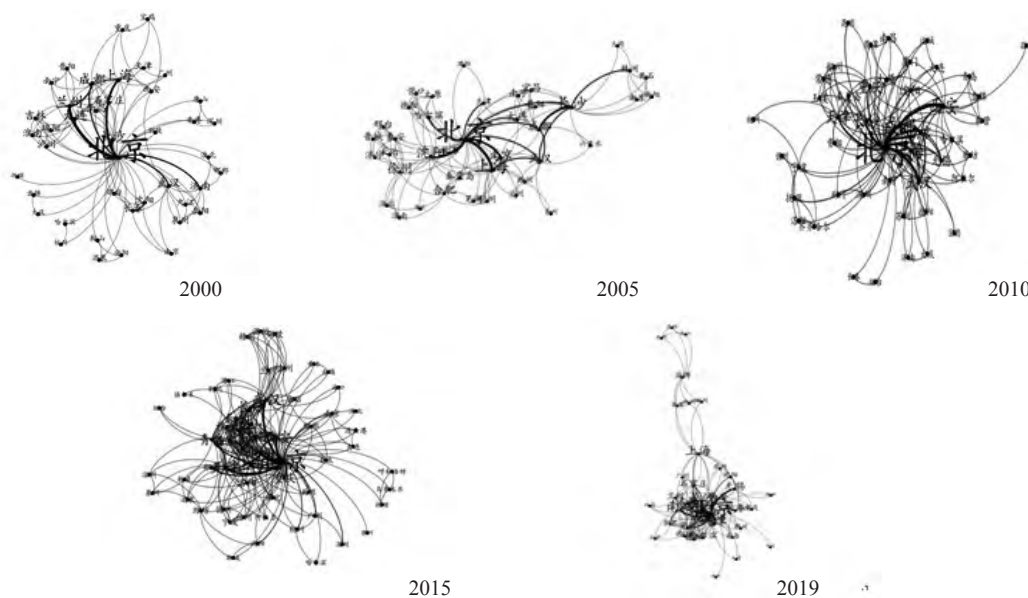


图6 中国2000—2019年企业牵头创新团队合作网络空间分布图

头创新团队合作网络中,而东北地区地级城市数量从2000年的5个(大庆、抚顺、鞍山、盘锦、大连)减少至2019年的1个(大连)。西南地区地级城市也经历类似的创新合作退化过程。

(3) 从合作密度来看,企业牵头创新团队合作网络中城市间联系日趋紧密,表现为两方面,一方面是核心城市间合作密度提升。根据图6显示,2000年合作关系次数超过1的城市由3个中心9个城市构成,具体包括沈阳与长春之间,北京分别与大连、济南、上海、长沙、兰州之间,以及兰州分别与大连、成都之间。而到2015年,合作关系强度超过1的城市则由9个中心14个城市构成,这一演变过程中,不仅联系紧密的核心城市数量增加,例如青岛、广州、郑州、邯郸、太原等,而且原有核心城市之间的交互联系也在增强。另一方面是核心城市、省会城市及地级城市间交互频繁。通过图6可以看出,所有城市间关系数量从2000年的133个激增至2015年的281个,增长2倍多。

(4) 从城市距离来看,企业牵头创新团队合作网络经历逐渐扩大再减小的过程。2000—2005年间,合作网络主要集中在东北、中东部、中西部之间。2005—2015年,合作网络逐渐扩大,西至新疆阿拉尔,南至海南儋州,北至齐齐哈尔。到2019

年,合作网络有所缩小,形成以北京为顶点,以东北、东部、中部、西部为支撑的椎体创新合作网络结构。这一形成过程表明,通常距离越近,创新合作越便捷,创新合作越多。因此,京津冀、长三角城市、中部省份之间的合作更加密切。反之,距离越远,创新合作成本越高、阻碍越大,创新合作可能越少,如新疆、青海、西藏、海南等城市。但是有两个地区的合作表现与此相反。根据图6中2015—2019年合作网络关系可以发现,东北三省省会城市哈尔滨、长春、辽宁之间的合作很少,而与北京、天津、河北、上海、江苏、湖南、湖北、成都、重庆、西安等城市保持较多的合作。另一特例是华南地区,尤其是广州和深圳,其几乎没有省内及邻近省市合作,而是频繁广泛地参与进上海、武汉、北京等城市创新合作网络中。这反映出两地区的实际情况,前者由于新一代产业基础建设落后,不足以支撑创新链发展(高校和科研院所实力强劲),逐渐形成以东北三省核心城市为流源,以中国沿海三大城市群(北京、上海、深圳)为流宿的技术交流网络(刘承良等,2019)。后者则由于深圳等城市群产业基础发达而创新策源不足,必须从京津冀和长三角城市群等科创中心获取知识溢出,增强自身科创能力。

5 我国企业牵头创新团队合作的规律及启示

5.1 我国企业牵头创新团队合作的有关规律

(1) 企业牵头创新团队合作趋势不断上升。随着时间推移,企业牵头创新团队合作趋势不断增加。这说明,一方面,中国创新活动已逐步转向高质量发展阶段,原始创新越来越需要依托多主体、跨学科和大纵深的合作实现突破(余江等,2020b),企业和其他创新主体日益形成对关键核心技术联合攻关价值和路径的充分认识。另一方面,经过20年的国家创新制度建设与企业自身重视,企业创新能力得到较大提升,创新网络关系也实现较大扩展。

(2) 企业牵头创新团队合作中高校主导,科研院所参与不足。企业牵头创新团队中最主要的创新主体合作类型是企业—企业和企业—高校,但随时间推移,企业—高校成为占绝对主导的创新合作类型,说明高校在企业牵头创新团队中发挥重要作用,且与企业间合作相比,与高校开展创新合作有利于避免专利权属引发的(潜在)冲突(王珊珊等,2018)。然而,作为与企业、高校并列为国家创新三大支撑体系之一的科研院所参与不足,135家科研院所仅参与130项企业牵头创新团队合作项目。

(3) 企业牵头创新团队合作主要集中在重大资源、重大基础设施等产业。企业牵头创新团队合作领域表现出明显的国民经济阶段性发展特征,即合作领域随着国家重点产业的变化而变化,产业越重要、发展越早,其企业牵头创新团队合作越成熟和稳定。中国早期重点建设重大基础设施,大力发展重工业,因此在重大资源和重大基础设施两类产业群中形成稳定系统化的企业主导技术创新合作体系。而由于战略新兴产业起步晚,基础相对薄弱,科学创新体系尚不完备,企业创新能力不强,因此,这类产业中企业牵头创新团队发展不足。

(4) 企业牵头创新团队合作以国有企业牵头为主,民营企业牵头占比逐渐提升。创新团队合

作中牵头企业以国有企业为主,源于国有企业通常规模大、资源丰富,与政府关系密切,因而研发领导能力与抗风险能力较强。同时国有企业大多处于国家战略行业领先地位,能准确把握行业关键核心技术的前沿导向,更具有牵头组建创新团队的能力。而民营企业因资源限制与竞争需要而具有强烈的原始创新与正向创新的诉求,随着国家营商环境优化与创新政策支持,民营企业实力和创新能力得以提升,故其牵头组建创新团队的比例也不断增加。

(5) 企业牵头创新团队合作网络中基于业缘型核心集群逐渐形成。企业牵头创新团队合作网络关系、节点与密度逐步增加,已形成多核心集群网络模式。主要核心集群有3个,第一个是由中国电力科学研究院有限公司等牵头共约29个机构组成;第二个是由中国长江三峡集团公司等牵头共约30个机构组成;第三个是由中国铁道科学研究院集团有限公司等牵头共约30个机构组成。这3个核心集群的创新团队合作网络分别分布在电气、水利、交通领域,各核心集群内都整合了高校、科研院所和企业的力量。进一步通过观察高校、科研院所的技术优势和企业核心业务,还可以发现当前3个企业牵头创新团队主要是基于业缘型的合作模式,这有利于提升各主体间信息、知识及技术的交流与整合效率。

(6) 企业牵头创新团队合作网络中长期核心创新主体在稳步增长。由于国家各阶段发展战略与企业技术诉求不同,企业牵头创新团队合作网络经历创新主体增加与合作程度提高的过程。第一,各阶段新增创新主体数都在增加,表明企业为拓展技术来源渠道或获取新的技术会寻求与新的创新主体合作。第二,企业牵头创新团队中核心创新主体的数量在稳步增长,说明更多的创新主体发展成为合作网络中的核心主体,有效推动合作网络主体间的合作程度提升。第三,随着时间推移,长期参与的创新主体数量逐渐减少,同时对

长期创新主体与核心创新主体的交叉比较后发现,两者重叠度逐年增加,说明这些企业在合作过程中,创新能力、创新关系、创新体系都得到极大提升,它们在合作网络中的角色正从早期参与者向网络资源控制者转变。

(7) 企业牵头创新团队合作网络时空分布符合等级扩散和接触扩散规律。企业牵头创新团队合作网络在空间连接上经历从“北京—区域中心城市—省会”向与“北京—区域中心城市—省会城市—地级城市”的合作转变,创新链不断向地级城市扩散。例如,2015年特等奖“京沪高速铁路工程”项目由北京牵头,联合区域中心城市天津、上海、武汉、长沙、西安,省会城市长春、石家庄、济南、太原、合肥、成都,地级城市青岛、唐山、株洲合作完成。同时企业牵头创新团队还呈现出上海—南京、南京—合肥等省际,苏州—无锡、荆门—宜昌等市际空间邻近城市的交互合作。且随着时间推移,得益于通信技术和交通快速发展,地理距离约束逐渐下降,跨越行政边界的中长距离跳跃式创新合作也更加频繁。

(8) 企业牵头创新团队合作网络时空发展向“亲缘型+地缘型+业缘性”模式演化。企业牵头创新团队合作网络时空演化从“亲缘型”向“亲缘型+地缘型+业缘型”发展。早期阶段传统产业如能源、建筑、交通等合作网络中以基于初级发展阶段的亲缘型合作为主,创新主体主要来自国(央)企系统内部数量庞大的各种机构,典型企业如中国石油集团及其各地分公司、子公司、研究院(中心)等。而随着泛城市经济带如京津冀、长三角、粤港澳、成渝等一体化政策地支持与推动,基于地缘关系的合作网络成为各区域创新的主要模式之一,尤其体现于江浙沪皖的创新发展过程中。最后作为高级发展阶段的业缘型模式也成为企业建立合作网络的重要战略考虑。这种模式下,如广东与东三省企业寻求产业基础比较发达或者科技研究处于前沿的地区进行创新合作。

5.2 我国企业牵头创新团队合作的有关启示

5.2.1 对政府启示

(1) 提升不同行业与地区企业牵头创新团队建设力度。现阶段中国各行业(技术领域)企业牵头创新团队建设在产业领域与地区分布方面存在极大的不均衡性。因此,政府应做好不同行业与地区企业牵头创新团队建设的部署,加快企业牵头创新团队建设力度。对于地区分布中创新团队发展不均衡性问题,考虑到企业牵头创新团队主要是解决产业发展中的关键核心技术难题,因此,政府一方面要鼓励并支持地区性高校或“双一流”高校分校的建立,提升地区科技资源储备,另一方面,要推动产业落后地区转型升级或融入泛区域经济带承接产业转移。对于产业区域中创新团队发展不均衡性问题,因其主要受到国民经济发展阶段与产业技术基础影响,政府要组织对各行业和领域进行关键核心技术评估,根据评估形成的关键核心技术问题清单发起科技攻关项目,尤其应重点考虑基础产业、支柱产业、新兴产业、未来先导产业间科技攻关项目的均衡性与持续性。

(2) 增强新兴技术领域企业牵头创新团队能力。现阶段中国企业牵头创新团队主要集中在传统领域,新兴技术领域创新团队建设落后。为进一步促进企业牵头创新团队发展,政府应立足于国民经济发展阶段,发挥好顶层设计与协调组织作用。首先,要增加龙头或领军企业数量和能力,具体措施如持续通过科技型国有企业混改、专精特新计划打造一大批科技龙头或领军企业,发挥国有企业与民营企业各自优势,形成强大的原始创新诉求和动力。其次,当前企业牵头创新团队以企业—高校为主要合作类型,要尽快疏浚企业—科研院所间合作通路,提升创新团队中科研院所的比重,发挥出科研院所在国家战略性领域的科技研发优势。最后,要引导企业牵头创新团队增加基础研究和应用基础研究,并对开展基础研究和应用基础研究卓有成效的创新团队在财政、

金融、税收等方面提供政策支持。这两类研究活动能为实现关键核心技术突破提供源头支撑。

(3) 建立关键企业牵头创新团队与核心创新主体记分卡。当前中国企业牵头创新团队中已形成核心集群,核心创新主体与长期创新主体也不断凸显。为进一步推动创新团队集群与核心主体发展,政府要对其形成及运行做好管理。首先,要对创新团队及创新主体分别建立记分卡,做好初始合作备案。其次,要健全创新团队评估机制,如创新主体合作前评估、合作后评估,及创新团队整体评估。合作前评估包括参与动机、技术能力、技术匹配性等。合作后评估应主要关注参与情况、研发投入、实际贡献等。创新团队整体评估则关注合作效率、产出水平等。通过评估机制筛选出核心企业牵头创新团队与创新主体,这决定了他们后续参与科技项目的可能性与优先性。最后,要实行负面清单制度,组织产业界、科学界和政府组成联合专家组,增加对创新团队各阶段性成果的考核,如对于考核严重不合格的,记入负面清单,暂停其未来5年申报或参与国家科技计划的资格等。

5.2.2 对企业启示

(1) 紧跟国家经济发展需求,发挥企业家精神,开拓关键核心技术领域,提升企业创新能力。产业关键核心技术突破与国家经济发展阶段紧密相关,尤其当国家经济从上一个阶段进入新发展阶段时,会给产业发展带来重大发展机遇。正如进入21世纪伊始,中国大力推动经济结构调整,高新技术产业如电子信息、生物、新材料等迎来快速增长期。由于这些产业或技术领域是新兴而充满挑战的,企业牵头组建创新团队从事该行业既可以获得政府的政策或财税支持,也面临较少的直接竞争者,成功的可能性更高。且一旦研发成功,企业将成为行业领先,独享先发优势和长久市场地位。

(2) 保持合作网络动态性与稳定性的平衡,即既要维持相当数量的长期创新合作主体,也要适时开拓新的创新合作主体。企业在牵头组建创新团队时,应以自身业务和技术重点为依托,在该合作领域内形成相当数量的核心创新主体,并保持创新主体的稳定性,从而保证创新团队合作网络的运行效率。同时由于外界科技革新与企业自身技术演化,可能要开拓新业务和陌生的技术领域,此时则要容纳新主体来保证创新团队合作的产出质量。

(3) 加强与科技和产业发达城市创新主体的合作。产业基础和科技资源是影响跨区域创新团队建设的关键因素之一。在实现关键核心技术突破过程中,既要确保在创新源头上可获得持续的丰富研究资源(如信息、知识与人才),也要确保在创新下游具备支持产品转化与商用的产业生态,促进创新链与产业链深度融合。当前中国正在建设京津冀、长三角、粤港澳、成渝等科创中心,且中国各地已形成特色的产业集群,企业在牵头组建创新团队时,可以根据技术领域,优先从科技与产业更为发达地区筛选合作伙伴。

6 结论

科技自立自强战略背景下,龙头或领军企业牵头组建创新团队是突破关键核心技术阻碍,锚定前沿引领技术赛道,实现高质量科技供给,构建新发展格局的使命型创新联合攻关模式。本文以2000—2019年中国国家科技进步奖获奖项目为样本,分析企业牵头创新团队的合作特征、不同阶段合作主体与合作地区的演化特点,揭示企业牵头创新团队合作的相关规律,并分别为政府和企业提供相关启示,这对于政府制定政策促进企业牵头创新团队发展、企业优化合作机制从事科研攻关活动具有重要参考价值。

注释:

①摘自:中国共产党第十九届中央委员会:《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》,人民出版社2020年版,第8页。

②摘自:中国共产党第十九届中央委员会:《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》,人民出版社2020年版,第10页。

③摘自:中国共产党第十九届中央委员会:《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》,人民出版社2020年版,第8页。

④推进科技自立自强国家战略要求进一步强化企业创新主体地位,支持龙头或领军企业牵头组建创新联合体,促进产学研用高水平协同。企业牵头创新联合体要求突破以往合作模式的局限,面向重大任务,联合多方力量,从事使命型科研攻关。因此,为区别于传统的两企业间研发联盟、单个企业与大学或科研院所间产学研合作模式,系统考察龙头或领军企业牵头创新联合体现状及发展态势,突显多创新主体联合及交互效应,本文将企业牵头合作项目分为两类,一类是企业牵头与另一个创新单位合作,如常见的两企业研发联盟、企业与大学/科研院所合作;另一类是企业牵头与两个以上创新单位合作,定义为企业牵头创新联合体/创新团队合作(如企业、企业/大学/科研院所联合体)。按照这一界定方式,在3273国家科技进步获奖项目中,企业牵头合作项目1051项,其中,包括企业牵头创新联合体/团队合作项目566项。

⑤摘自:新华社,中共中央国务院作出关于实施科技规划纲要增强自主创新能力的决定,2006-01-26。

⑥摘自:新华社,关于深化科技体制改革加快国家创新体系建设的意见,2012-09-23。

⑦摘自:新华社,中共中央国务院关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见,2012-03-23。

⑧摘自:新华社,关于深化科技奖励制度改革的方案,2017-06-09。

⑨摘自:新华社,中共中央关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议,2000-10-11。

参考文献

- 白京羽,刘中全,王颖婕. 2020. 基于博弈论的创新联合体动力机制研究[J]. 科研管理,41(10):105-113.
- (Bai J Y, Liu Z Q, Wang Y J. 2020. A research on the dynamic mechanism of innovation consortium based on the game theory[J]. Science Research Management,41(10):105-113.)
- 陈劲. 2021a. 推动科技领军企业的建设与发展[J]. 清华管理评论,12(5):1.
- (Chen J. 2021. Promote the construction and development of leading enterprises in science and technology[J]. Tsinghua Business Review,12(5):1.)
- 陈劲, 阳镇. 2021b. 融通创新视角下关键核心技术的突破:理论框架与实现路径[J]. 社会科学,43(5):58-69.
- (Chen J, Yang Z. 2021. Breakthrough of key core technologies from the perspective of integrated innovation: Theoretical framework and implementation path[J]. Journal of Social Sciences,43(5):58-69.)
- 陈曦,韩祺. 2021. 新发展格局下的科技自立自强:理论内涵、主要标志与实现路径[J]. 宏观经济研究,43(12):95-104+135.
- (Chen X, Han Q. 2021. Scientific and technological self-reliance under the new development pattern: Theoretical connotation, main symbol and realization path[J]. Macroeconomics,43(12):95-104+135.)
- 方维慰. 2022. 中国高水平科技自立自强的目标内涵与实现路径[J]. 南京社会科学,33(7):41-49+102.
- (Fang W W. 2022. The goals and path of realizing the high-level self-reliance in science and technology in China[J]. Nanjing Journal of Social Sciences,33(7):41-49+102.)
- 郭菊娥,王梦迪,冷奥林. 2022. 企业布局搭建创新联合体重塑创新生态的机理与路径研究[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),42(1):76-84.
- (Guo J E, Wang M D, Leng A L. 2022. Research on the mechanism and path of enterprise reshaping innovation ecology by building innovation consortiums[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences),42(1):76-84.)
- 韩增林,袁莹莹,彭飞. 2018. 东北地区装备制造业官产学研合作网络发展演变[J]. 经济地理,38(1):103-111.
- (Han Z L, Yuan Y Y, Peng F. 2018. Research on the co-innovation network of Government-Industry-University of the equip-

- ment manufacturing industry in northeast China[J]. *Economic Geography*,38(1):103-111.)
- 李东红. 2002. 企业联盟研发: 风险与防范[J]. *中国软科学*,17(10):48-51.
- (Li D H. 2002. R&D through strategic alliance: Risks and control[J]. *China Soft Science*,17(10):48-51.)
- 李慧聪, 霍国庆. 2015. 现代科研院所治理: 内涵、演进路径及量化体系[J]. *科学学与科学技术管理*,36(8):10-17.
- (Li H C, Huo G Q. 2015. Governance of modern research institutes: Connotation, evolution path and the quantitative system[J]. *Science of Science and Management of S.&T.*,36(8):10-17.)
- 刘承良, 牛彩澄. 2019. 东北三省城际技术转移网络的空间演化及影响因素[J]. *地理学报*,74(10):2092-2107.
- (Liu C L, Niu C C. 2019. Spatial evolution and factors of interurban technology transfer network in Northeast China from national to local perspectives[J]. *Acta Geographica Sinica*,74(10):2092-2107.)
- 刘瑞明, 金田林, 葛晶, 等. 2021. 唤醒“沉睡”的科技成果: 中国科技成果转化困境与出路[J]. *西北大学学报(哲学社会科学版)*,51(4):5-17.
- (Liu R L, Jin T L, Ge J, et al. 2021. Awakening the “sleeping” science and technology achievements (STA): The dilemma and outlet of the commercialization of STA in China[J]. *Journal of Northwest University (Philosophy and Social Sciences Edition)*,51(4):5-17.)
- 罗小芳, 李小平. 2021. 为什么要支持企业牵头组建创新联合体[N]. *光明日报*,2021-06-08.
- (Luo X F, Li X P. Why should enterprises be supported to lead the formation of innovation consortium[N]. *Guang Ming Daily*,2021-06-08.)
- 吕薇, 马名杰, 戴建军, 等. 2018. 转型期我国创新发展的现状、问题及政策建议[J]. *中国软科学*,31(3):10-17.
- (Lv W, Ma M J, Dai J J, et al. 2018. Research on present situation, problems and policy suggestions of China's innovation development in the context of transition[J]. *China Soft Science*,31(3):10-17.)
- 马宁, 王立. 2005. 企业主导型产学研合作创新模式分析[J]. *科学学研究*,23(S1):244-248.
- (Ma N, Wang L. 2005. Enterprise dominant production-education-research cooperation innovation mode study[J]. *Studies in Science of Science*,23(S1):244-248.)
- 马宁. 2006. 企业主导型产学研合作中科技资源配置模式研究[J]. *研究与发展管理*,18(5):89-93.
- (Ma N. 2006. The study of S&T resources allocating modes in enterprise dominant production education research cooperation system[J]. *R&D Management*,18(5):89-93.)
- 马宗国. 2014. 研究联合体研发创新绩效评价及发展对策研究[J]. *科学管理研究*,32(1):55-58.
- (Ma Z G. 2014. Study on cooperative performance evaluation and development countermeasures of reserach joint ventures[J]. *Scientific Management Research*,32(1):55-58.)
- 马宗国. 2019. 中小企业研究联合体自主创新能力提升路径研究[J]. *科研管理*,40(3):51-62.
- (Ma Z G. 2019. A study of the promoting paths of self-innovation ability of RJVs in SMEs[J]. *Science Research Management*,40(3):51-62.)
- 彭绪庶. 2022. 高水平科技自立自强的发展逻辑、现实困境和政策路径[J]. *经济纵横*,38(7):50-59+2.
- (Peng X S. 2022. Development logic and policy path of self-reliance and self-improvement of high-level science and technology[J]. *Economic Review Journal*,38(7):50-59+2.)
- 沈家文. 2021. 加快发展我国高技术产业创新联合体[J]. *中国经济评论*,2(2):42-45.
- (Shen J W. 2021. Accelerating the development of China's high-tech industrial innovation consortium[J]. *China Economic Review*,2(2):42-45.)
- 司春林, 段秉乾, 钱桂生. 2005. 供应链上下游企业合作研发模式选择: 宝钢大众激光拼焊项目案例分析[J]. *研究与发展管理*,17(2):77-82+98.
- (Si C L, Duan B Q, Qian G S. 2005. Mode-selection of R&D cooperation among up and down enterprises in supply chain[J]. *R&D Management*,17(2):77-82+98.)

- 王珊珊,邓守萍, Sarah Yvonne Cooper, 等. 2018. 华为公司专利产学研合作:特征、网络演化及其启示[J]. 科学学研究,36(4):701-713+768.
- (Wang S S, Deng S P, Cooper S Y, et al. 2018. Industry-university-research institute patent collaboration of HUAWEI company: Characteristics, network evolution and enlightenment[J]. Studies in Science of Science,36(4):701-713+768.)
- 王怡,武博. 2011. 研究联合体的概念界定与优势分析[J]. 科技进步与对策,28(7):20-25.
- (Wang Y, Wu B. 2011. An analysis about the conceptual definition and characteristic superiority of research joint ventures[J]. Science & Technology Progress and Policy,28(7):20-25.)
- 魏江,应瑛,刘洋. 2014. 研发网络分散化,组织学习顺序与创新绩效:比较案例研究[J]. 管理世界,30(2):137-151+188.
- (Wei J, Ying Y, Liu Y. 2014. The decentralization of the R&D network, the sequence of the organizational learning and the innovation performance: A multi-case study[J]. Journal of Management World,30(2):137-151+188.)
- 温军,张森. 2022. 科技自立自强:逻辑缘起、内涵解构与实现进路[J]. 上海经济研究,41(8):5-14.
- (Wen J, Zhang S. 2022. Self-reliance and self-improvement in science and technology: Logic origin, connotation deconstruction and realization approach[J]. Shanghai Journal of Economics,41(8):5-14.)
- 吴菲菲,童奕铭,黄鲁成. 2020. 组态视角下四螺旋创新驱动要素作用机制研究:基于中国30省高技术产业的模糊集定性比较分析[J]. 科学学与科学技术管理,41(7):62-77.
- (Wu F F, Tong Y M, Huang L C. 2020. Research on the mechanism of quadruple helix innovation driven factors from the perspective of configuration: A fuzzy-set qualitative comparative analysis of China's 30 provinces high-tech industries[J]. Science of Science and Management of S.&T.,41(7):62-77.)
- 熊鸿儒. 2021. 我国产学研深度融合的短板和挑战在哪里?[J]. 学习与探索,43(5):126-133+192.
- (Xiong H R. 2021. Where are the weaknesses and challenges in the deep integration of industry-university-research collaboration in China?[J]. Study&Exploration,43(5):126-133+192.)
- 尹西明,陈泰伦,陈劲,等. 2022. 面向科技自立自强的高能级创新联合体建设[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),51(2):51-60.
- (Yin X M, Chen T L, Chen J, et al. 2022. High-level innovation consortium for S&T self-reliance and self-improvement[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition),51(2):51-60.)
- 余江,陈凤,张越,等. 2019. 铸造强国重器:关键核心技术突破的规律探索与体系构建[J]. 中国科学院院刊,34(3):339-343.
- (Yu J, Chen F, Zhang Y, et al. 2019. Forging pillars of scientific and technological power: Mechanism exploration and system construction for breakthrough of core and key technologies[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences,34(3):339-343.)
- 余江,管开轩,李哲,等. 2020a. 聚焦关键核心技术攻关强化国家科技创新体系化能力[J]. 中国科学院院刊,35(8):1018-1023.
- (Yu J, Guan K X, Li Z, et al. 2020a. Focus on key technology breakthroughs, and strengthen national scientific and technological innovation systematization capability[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences,35(8):1018-1023.)
- 余江,刘佳丽,甘泉,等. 2020b. 以跨学科大纵深研究策源重大原始创新:新一代集成电路光刻系统突破的启示[J]. 中国科学院院刊,35(1):112-117.
- (Yu J, Liu J L, Gan Q, et al. 2020b. Major original innovation based on interdisciplinary research: International insights from breakthrough of new generation of lithography system[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences,35(1):112-117.)
- 张赤东,彭晓艺. 2021. 创新联合体的概念界定与政策内涵[J]. 科技中国,26(6):5-9.
- (Zhang C D, Peng X Y. 2021. Concept definition and policy connotation of innovation consortium[J]. Scitech in China,26(6):5-9.)
- 张义芳,翟立新. 2008. 产学研研发联盟:国际经验及我国对策[J]. 科研管理,29(5):42-48.
- (Zhang Y F, Qu L X. 2008. Industry-university-research institution R&D consortia: International experience and Chinese development strategies[J]. Science Research Management,29(5):42-48.)
- 张仁开. 2022. 上海支持企业牵头组建创新联合体的思路及建议[J]. 科技中国,27(5):12-16.
- (Zhang R K. 2022. Shanghai supports the ideas and suggestions of enterprises leading the formation of innovation consortia[J]. Scitech in China,27(5):12-16.)

- 张学文,陈劲. 2021. 科技自立自强的理论、战略与实践逻辑[J]. 科学学研究,39(5):769-770.
- (Zhang X W, Chen J. 2021. The theory, strategy and practical logic of scientific and technological self-reliance[J]. Studies in Science of Science,39(5):769-770.)
- 郑世林,何维达,曾辉. 2009. 北京新材料科研成果转化状况与政策建议[J]. 中国软科学,24(11):81-92.
- (Zheng S L, He W D, Zeng H. 2009. Status and policy suggestions of new materials research achievements transformation in Beijing[J]. China Soft Science,24(11):81-92.)
- 朱国军,王修齐,张宏远. 2022. 智能制造核心企业如何牵头组建创新联合体: 来自华为智能汽车业务的探索性案例研究[J]. 科技进步与对策,39(19):12-19.
- (Zhu G J, Wang X Q, Zhang H Y. 2022. How to take intelligent manufacturing core enterprises lead the establishment of innovation consortium: Comes from an exploratory case study of the Huawei intelligent car business[J]. Science & Technology Progress and Policy,39(19):12-19.)
- Bai Y P, O' Brien G C. 2008. The strategic motives behind firm's engagement in cooperative research and development: A new explanation from four theoretical perspectives[J]. Journal of Modelling in Management,3(2):162-181.
- Etzkowitz H, Leydesdorff L. 2000. The dynamics of innovation: From national systems and "Mode2" to a triple helix of University-Industry-Government relations[J]. Research Policy,29(2):109-123.
- Lee S H, Muminov T K. 2021. R&D Information sharing in a mixed duopoly and incentive subsidy for research joint venture competition[J]. Bulletin of Economic Research,73(2):154-170.
- Mayhew B H, Levinger R L. 1976. Size and the density of interaction in human aggregates[J]. American Journal of Sociology,82(1):86-110.
- Nippa M, Reuer J J. 2019. On the future of international joint venture research[J]. Journal of International Business Studies, 50(4):555-597.
- Pastor M, Sandonis J. 2002. Research joint ventures vs. cross licensing agreements: An agency approach[J]. International Journal of Industrial Organization,20(2):215-249.
- Silipo D B. 2008. Incentives and forms of cooperation in research and development[J]. Research in Economics,62(2):101-119.
- Vonortas N S. 1997. Research joint ventures in the US[J]. Research Policy,26(4/5):577-595.
- Watts D J. 1999. Networks, dynamics, and the small-world phenomenon[J]. American Journal of Sociology,105(2):493-527.

Enterprise-led Innovation Team Cooperation In China: Characteristics, Network Evolution and Its Implications: Based on the Analysis of the National Science and Technology Progress Award Projects

CAO Yougen^{1,2}, REN Shengce¹, DU Mei¹

(1. Shanghai International College of Intellectual Property, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Max Planck Institute for Innovation and Competition, Munich 80539, Germany)

Abstract: During the 14th Five-Year Plan Period, China will build a new development landscape and achieve high-quality development, which requires innovation to play a greater leading and supporting role. However, with the accelerated evolution of the new round scientific and technological revolution and the in-depth development of innovation, technologies, especially key core technologies, are increasingly showing the following characteristics, such as high investment and long cycles, knowledge complexity and embeddedness, oligopoly in the international market for core systems and components, and commercial ecological dependence of core technological breakthroughs. Thus, it is increasingly necessary for technical units with cross-disciplinary and cross-field to cooperate deeply to accelerate the transformation of national science and technology construction from the stage of independent innovation to the stage of self-reliance and

self-improvement. Existing scientific and technological innovation cooperation models, such as R&D alliances, research consortia, and industry-university-research cooperation, are difficult to adapt to the needs of the new development pattern and high-quality development stage for key core technology breakthroughs and cutting-edge technology deployment. The innovation team led by leading enterprises is a new mission-oriented scientific research joint model that achieves breakthroughs in key core technologies and cutting-edge leading technologies targeting. It plays an important role in enhancing independent innovation capabilities, ensuring high-quality technology supply, and building a new development pattern.

The research uses the 2000-2019 Chinese National Science and Technology Progress Award Projects as the research sample, adopts econometric analysis and social network analysis methods to analyze the basic characteristics and network attributes of cooperation of the enterprise-led innovation team, and uses Ucinet and ArcGIS software to visualize the description and reveal the structure evolution and spatiotemporal evolution characteristics of cooperation network of the enterprise-led innovation team at each stage. The results show that as time goes on, the number of enterprise-led innovation cooperation projects increases gradually; the leading enterprises are mainly state-owned enterprises, while the proportion of private enterprises is gradually rising; the type of cooperation is mainly "enterprise-university", and the role of scientific research institutes needs to be improved; the technical field presents obvious stage characteristics, which is closely related to the development stage of national economy; the cooperative network of enterprise-led innovation team has gradually formed the core cluster based on industry edge, and the long-term core innovation entities are growing steadily; the spatiotemporal distribution of the cooperation network of enterprise-led innovation team conforms to the law of hierarchical diffusion and contact diffusion, and the spatiotemporal development evolves to a model of "kinship type + geographical type + industry type".

The research suggests that it should be consolidated and strengthened from the government and enterprise perspectives respectively, so as to give full play to the advantages of the enterprise-led innovation teams in terms of market demand, integrated innovation and organizational platform. Specifically, for the government, it should enhance the construction of innovation teams led by enterprises in different industries and regions, enhance the ability of enterprises to lead innovation teams in emerging technologies, and establish scorecards for key enterprises to lead innovation teams and core innovation entities. For enterprises, first, it should keep up with the needs of national economic development, promote entrepreneurship, explore key core technology fields, and enhance the innovation capability. Secondly, it should maintain a balance between the dynamic and stability of the cooperation network, that is, not only maintain a significant number of long-term innovation cooperation entities, but also develop new innovation cooperation entities in a timely manner. And thirdly, it should strengthen cooperation with innovation entities in cities with developed science technologies, and industries.

From the theoretical perspective, the research results are conducive to the enrichment and development of the innovation cooperation network theory, and deepen the research on enterprise-led innovation teams. Meanwhile, the research suggestions have important guiding value for the government to formulate policies to promote the development of enterprise-led innovation teams, and for the enterprises to optimize the cooperation mechanism to engage in scientific research activities.

Key words: S&T self-reliance and self-improvement; enterprise-led innovation team; Chinese national science and technology progress awards; spatiotemporal network evolution