

重大工程创新生态系统演化及创新力提升^{*}

□曾赛星 陈宏权 金治州 苏权科

摘要:不同于一般工程创新和企业创新,重大工程技术创新以需求为导向,是基于“目标锁定”的技术创新活动。重大工程创新生态系统的完备构建与有效运转对于重大工程的顺利实施和创新主体的价值共创具有重要意义。本文解构重大工程创新生态系统的创新主体构成,揭示重大工程创新生态系统的动态演化规律(主要表现为多主体共生竞合、多阶段交互演化、跨项目动态迁移),探讨创新场对于创新力提升的影响机理。基于港珠澳大桥工程案例,分析其创新生态系统的要素构成和动态演化,发现对于创新生态位专一和创新生态势较低的创新主体,创新生态网络对于其竞争力提升的效应更加明显。最后讨论了研究贡献和实践启示,以期为重大工程创新力提升提供理论依据。

关键词:重大工程 创新生态系统 生态位 生态势 创新孤岛 创新场

DOI:10.19744/j.cnki.11-1235/f.2019.0046

一、引言

重大基础设施工程(以下简称重大工程)是指投资规模巨大、实施周期长、技术异常复杂、对社会、经济及生态环境等影响深远的大型公共工程,如三峡工程、京沪高铁、南水北调、港珠澳大桥等(Sheng, 2018)。不同于一般工程,重大工程已突破传统建造方式,所涉及行业从建筑建材扩展到装备制造、节能环保及金融等(Larsson et al., 2014)。由于重大工程技术需求具有显著不确定性,这就需要跨组织、跨部门、跨行业、跨地区协同创新(Brockmann et al., 2016)。重大工程技术创新主体也从传统的设计承包方延伸至装备制造商、新材料供应商、信息技术和数据服务商、气象水文机构等(Roumboutsos & Saussier, 2014)。不同于一般企业技术创新,重大工程技术创新主体间相互嵌套,全生命期不同阶段(概念、立项、设计、施工、运营等)创新主体动态更替(Brockmann et al., 2016; Chen et al., 2018)。因此,重大工程创新呈现出技术复杂性、主体交融性和阶段动态性的特点。

重大工程创新生态系统是指在重大工程技术创新过程中,创新主体(包括业主、设计方、施工方、咨询机构、高校及科研机构、政府部门等)为重大工程面临的技术挑战寻求系统有效解决方案所形成的多主体联系紧密、交互演化的生态系统。与一般企业创新生态系统相比,重大工程创新生态系统具有一次性、独特性和动态性特征,因此,该系统是一个具有多主体、非线性、动态性、集成性的复杂系统。

由于重大工程技术创新越来越复杂,需要理论和实际工作者的关注点从传统技术创新体系向创新生态系统转变。创新生态系统是基于工程创新实践活动的具有“生命力”和“进化力”的平台。迄今为止,已有研究大多从企业、区域或国家创新体系的视角加以展开(Gawer & Cusumano, 2014; Oh et al., 2016),鲜有从重大工程创新生态系统视角出发开展研究,难以

^{*}本项研究得到国家自然科学基金重大项目(71390525)、国家自然科学基金重点国际(地区)合作项目(71620107004)和国家自然科学基金应急项目(71841021)的资助。感谢南京大学盛昭瀚教授和李迁副教授、华中科技大学王红卫教授、同济大学乐云教授和李永奎教授、广州大学薛小龙教授提出的宝贵意见。陈宏权为本文通讯作者。

为重大工程创新管理实践提供理论支撑。基于此,本文提出重大工程技术创新生态系统并解构其特征(以下简称“重大工程创新生态系统”),探究重大工程创新主体、创新群落演化规律,提出消融创新孤岛的机制,以推动重大工程的创新能力跃迁。

二、文献综述

关于重大工程技术创新的相关研究,现有文献多从承包商的创新驱动力和阻制加以展开。重大工程技术创新日益复杂(Brockmann et al., 2016),因而其创新应具有集成性、开放性和协同性等特点(Davies et al., 2009, 2014)。重大工程技术创新影响因素也越来越多,包括创新领导者、创新文化和组织能力等(Gil et al., 2012; Sergeeva & Zanello, 2018),同时重大工程技术创新还需要构建一系列的协同机制,包括组织沟通流程、供应链管理、激励措施等(Dodgson et al., 2015; Lehtinen et al., 2019)。迄今为止,现有关于重大工程技术创新的研究聚焦于静态的创新管理体系,解构创新主体如何通过创新策略或者治理实现重大工程技术创新。

近年来,国内外学者不断探索,先后提出了国家创新系统(Nelson, 1993)、区域创新系统(Cooke et al., 1997)、产业创新系统(Malerba, 2002)、企业创新系统(Adner, 2006)等。但创新生态系统的理论研究仍处于不断发展阶段(曾国屏等, 2013; 梅亮等, 2014),从基于CiteSpace的关键词共现网络(如图1所示)可以看出,现有关于创新生态系统的研究与产业、知识、技术、合作、价值创造和系统等关键词相关度较高。相关研究分别从企业网络(Iansiti & Levien, 2004)、技术协同(Adner, 2006; Adner & Kapoor, 2016)、创新平台(Gawer & Cusumano, 2014)等分析企业创新生态系统的特点、功能,强调核心企业与系统内部成员间的关系管理(Alexy et al., 2013; Williamson & De Meyer, 2012)。在企业创新生态系统中,创新主体的交互作用可以实现其创新能力的提升(吕一博等, 2015),例如通过竞合关系实现新产品开发(Moore, 1993; 戴智华、曾赛星, 2015)。由于研究视角不同、关注重点各异,现有文献关于企业创新生态系统结构、运行机制等的相关成果为本文研究奠定了坚实基础。

三、重大工程创新生态系统

(一)重大工程创新生态系统的复杂性

基于“目标锁定”的重大工程技术创新具有前所未有的挑战性(Chen et al., 2018; Brockmann et al., 2016),关注创新要素的静态组合与线性结构、适于一般工程项目的技术创新体系难以满足重大工程创新需求(Cooke et al., 1997; Nelson, 1993)。因而,对于重大工程而言,需要从一般技术创新体系向创新生态系统演化。在重大工程创新生态系统中,创新主体不断涌现并在全生命期不同阶段以自组织、自调节和自适应的方式,通过资源和要素的有机整合,形成不同创新群落并不断耦合、演化以提升创新能力(Adner & Kapoor, 2010)。

1. 重大工程创新生态系统的生态势和生态位

现有组织生态学文献认为,组织生态位是指组织在生态系统中通过自身资源及其生

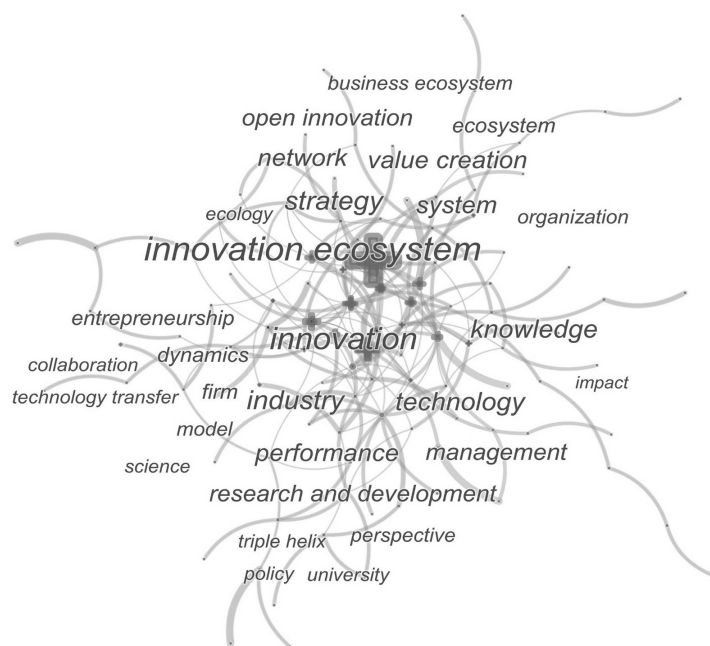


图1 创新生态系统研究关键词共现网络
数据来源: ISI Web of Science 核心合集数据库。

产能力所获得的在生态系统中的空间位置,用于表征其在生态系统中提供产品或市场的范围(Baum & Singh, 1994; Hannan & Freeman, 1977)。基于此,本文认为在重大工程创新生态系统中,创新生态位是指创新主体通过自身努力所获得的与其他创新主体之间在创新生态系统中的位置关系,用于表征其技术创新领域跨度和范围(Podolny et al., 1996; Stuart & Podolny, 1996)。创新生态势是指创新主体在创新生态系统中的创新势能,强调其创新力。重大工程创新主体的生态势越高,其创新能力越强,其在创新生态系统中的重要性越突出。

2. 重大工程创新生态系统的社会经济属性

在重大工程创新生态系统中,除了重大工程创新种群(Hannan & Freeman, 1977)、创新群落(Moore, 1993)和创新生态网络(Carayannis et al., 2018)等基本构成要素以外,环境要素也是生态系统正常运行至关重要的保障,包括合理的创新制度、创新文化和创新政策等。创新主体的多样性是保障创新生态系统基本功能的必要条件,此外,任何创新要素的缺失都会导致生态位空置,容易形成创新孤岛(Chen et al., 2018)。

创新生态系统中的生态网络是知识交换和信息传递的基本通道,是技术创新能力提升的基本路径,也是创新资源有效配置的通路(Zeng et al., 2010)。同时,创新主体的涌现性及协同性是重大工程创新生态系统的重要特征(Iansiti & Levien, 2004)。因此,重大工程创新生态系统需要创新主体多样、创新网络健全、创新要素完备。

(二)重大工程创新生态系统的动态性

重大工程创新生态系统具有多主体共生竞合、多阶段交互演化和跨项目动态迁移的特征。

1. 多主体共生竞合

在重大工程创新生态系统中,创新群落之间表现为共生关系、竞争关系和合作关系3种模式(Baum & Singh, 1994; Hannan & Freeman, 1977; Sergeeva & Zanello, 2018),其逻辑关系如图2所示。共生关系是指重大工程创新主体之间互相依赖,为解决重大工程技术难题或瓶颈共同努力,实现技术突破。竞争关系是指不同创新主体之间相互竞争,通过自身比较优势完成重大工程技术创新。合作关系是指不同创新主体之间通过合作联盟或项目合作等方式,实现技术交换、知识转移和信息共享,完成重大工程技术创新。

随着技术挑战日益显著和新兴技术不断涌现,重大工程对于不同新技术融合的需要大大增加(Rose & Manley, 2012; 盛昭瀚等, 2009),例如ICT技术促进工程智能化建造和运营维护,建筑新材料引领工程设计创新,机器人技术推动重大工程构建工厂化、智能化建造,跨行业跨群落的新技术涌现与融合也是重大工程创新生态系统的特点(Gann & Salter, 2000; Rose & Manley, 2012)。

以港珠澳大桥工程为例,在其人工岛工程的建造防护结构技术难题中,项目团队获得了来自日方企业和中方企业的技术方案(两者均可被认为是创新生态系统中的核心创新主体),前者提出了传统的钢板桩方案,后者提出大规模圆钢筒施工方案,最终港珠澳大桥采用后者提出的圆钢筒方案。两者在港珠澳大桥的创新生态系统中则表现出竞争关系;而在沉管隧道安装过程中,卫星通讯行业企业和中交集团则是合作共生关系,通过彼此间的知识交换和共享,实现沉管隧道安装过程的技术创新,解决安装过程的流沙问题等;中铁山桥集团的技术创新则依赖于港珠澳大桥项目供给,而港珠澳大桥的高标准则依赖于中铁山桥集团在钢箱梁生产方面的技术创新,两者呈现共生关系。

2. 多阶段交互演化

在创新生态系统中,不同创新主体之间通过某种关系形成创新群落,创新群落

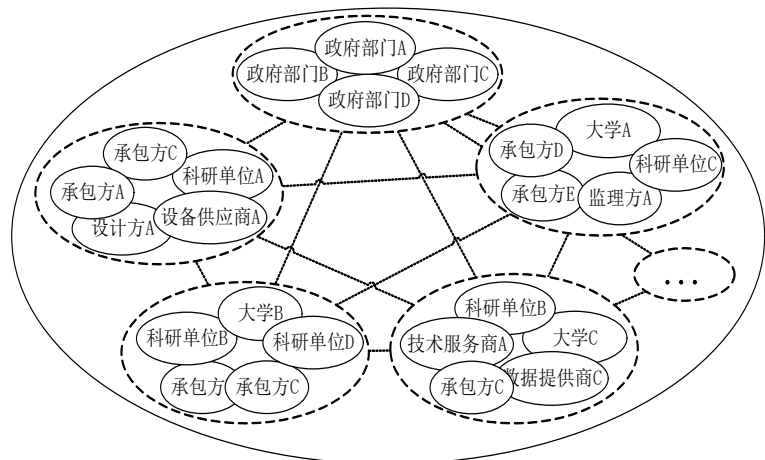


图2 重大工程生态系统跨群落共生竞合关系

之间的紧密联系保证了创新生态系统的交互演化,促进其向系统协同和共生转变。创新生态系统强调各创新主体之间通过自身资源和初始生态位,与其他创新主体之间关联互动,通过自组织和自适应,实现不同创新主体共同进化。

工程可靠性文化和一次性特点往往阻碍重大工程的突破性创新(Barlow & Köberle-Gaiser, 2009)。现有项目管理知识体系导致工期、质量、成本和安全等刚性约束(Keegan & Turner, 2002),此外,重大工程的独特性带来的知识粘滞性,导致建立和维持此类工程创新网络会耗费成本,阻碍新技术、新工法等人在重大工程创新主体间流动与吸收(Dodgson et al., 2007; von Hippel, 1994)。

不同于一般企业,重大工程创新生态系统中,创新主体保持共生合作、交互演化,在全生命期不同阶段通过不同创新范式(如集成创新、协同创新、开放创新等)以满足重大工程创新需求(Chen et al., 2019; Davies et al., 2009)。

3. 跨项目动态迁移

在不同的重大工程项目中,由于项目特性和技术难度的差异,创新主体构成明显不同(Chen et al., 2018; Engwall, 2003)。即使同一创新主体在不同的创新生态系统中,其创新活动和创新职能存在差异,其生态位和生态势亦表现出异质性。

不同于一般企业创新生态系统,重大工程创新生态系统强调不同创新主体在不同工程项目中的创新势能。因此,重大工程的创新生态系统还存在创新势能的溢出效应,即表现为某一技术创新成果可以通过创新生态系统转移到另一重大工程系统中,通过扩散、转化促进该创新生态系统的发育和进化。

(三)重大工程创新生态系统与创新力提升

具有不同生态位和生态势的创新主体通过自组织和自适应过程完成创新生态系统构建,形成有机、有序、动态平衡的“创新场”。创新场是从创新要素集聚到创新力聚变的基本涌现(丁荣余, 2018),也是重大工程创新力跃迁的重要保障。

在重大工程创新生态系统中,具有不同生态位和生态势的创新主体通过资源互补和交叉互动的方式连接成不同结构的创新生态网络(Gomes et al., 2018; Iansiti & Levien, 2004)。不同创新主体根据其创新生态势和生态位形成具有场吸附能力和场扩散能力的创新场,从而在创新场域内能够实现创新资源的叠加共振,并在知识融合和功能协同的作用下,实现创新主体的创新力提升。

重大工程创新场是基于创新主体生态位和生态势的场域映射,重大工程创新场的创新推动力来自于创新主体的有机融合、动态协同和互动演化。具有不同生态位和生态势的创新主体通过“开发”、“共生”、“演化”等自组织行为形成创新场,对外形成创新资源吸附能力,对内形成创新要素整合能力。创新场的吸附能力促进创新主体的有机融合,保证其创新主体的自我更替和不断涌现的有序调控;创新场的扩散能力促进创新主体动态协同,实现创新主体在创新功能和组织学习方面协同;同时,创新场的吸附和扩散能力的交互作用,促进创新主体的自我进化以实现创新能力的跃迁。

因此,具有宽生态位和高生态势的创新主体融入到重大工程创新生态系统中,形成高能的创新场,产生创新场域内叠加共振,引发创新生态系统重构,实现创新资源从线性积累到曲线跃升,提升整体创新生态系统的创新力。

四、案例研究

港珠澳大桥是我国目前建成长度最长,技术难度最大的跨海大桥,横跨香港、珠海和澳门三地,表现出高度复杂技术的创新需求(Zhu et al., 2018)。港珠澳大桥从设计到建造完成,产出了一系列创新成果,包括创新工法、创新软件、创新装备、创新产品及专利等。已有研究表明,专利可以用于刻画创新主体的技术创新绩效,而专利申请单位的网络关系可以刻画在重大工程技术创新主体之间网络关系的逻辑演化(Baum & Singh, 1994; Fischer & Leidinger, 2014)。基于此,本文采用港珠澳大桥相关专利申请和授予数据,通过构建专利申请