

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2022.05.003

重大工程创新生态系统共生逻辑及治理^①

金治州¹, 陈宏权², 曾赛星^{1*}

(1. 上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030; 2. 上海交通大学中美物流研究院, 上海 200030)

摘要: 重大工程建设中多主体协作促成创新已成常态, 但涉及其中交互关系的研究并不深入。基于创新生态系统视角, 选取港珠澳大桥工程开展案例研究, 以深化对重大工程不同类别创新主体间主要关系的理解。研究将重大工程创新生态系统种间关系定位为“共生”, 发现其在创新主体交互过程中呈现出四项典型特征: 关系结构的局部对称, 交互内容的动态多样, 利益影响的双向共存, 活动界限的全面弱化。进而提出了“愿景共启-责任共担-情景共融”的针对性治理策略, 以促进创新生态系统的良性运转和参与主体的协同发展。研究结果揭示了重大工程创新活动过程中主体交互关系方面的关键逻辑细节, 为优化重大工程创新管理实践提供了关系视角的理论参考。

关键词: 重大工程; 创新生态系统; 共生关系; 治理策略; 案例研究

中图分类号: C936; F273; F281 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2022)05-0029-17

0 引言

作为现代社会发展的必要基础, 重大基础设施工程(以下简称重大工程)是一类投资规模大、实施周期长、技术复杂度高、对社会经济及生态环境等影响深远的工程项目^[1-3]。近年来, 重大工程实践中创新的需求和挑战愈加凸显。一方面, 重大工程已呈现由快速粗放发展向高质量、可持续发展转型的态势^[2, 4, 5], 各方利益相关者的多样化诉求^[1, 6]、新兴技术变革与融合应用趋势^[7, 8]也使得创新在重大工程中的必要性日趋上升, 创新已然成为关乎重大工程成败的重要因素。另一方面, 重大工程创新活动面临创新情境独特、目标需求刚性、约束限制多重、技术集成复杂等挑战^[7, 9-11], 涉及诸多不同于一般企业技术创新情境的新型管理问题。这大大增加了重大工程管理的复杂性^[12, 13], 也呼唤着针对性理论研究的深入。

创新管理中主体间的关系尤为值得关注, 这是因为, 创新大都涉及要素的重新组合^[14], 而各种不同的创新要素往往需要从其他主体处获取^[15], 或在与其他主体交互的过程中产生^[16, 17]。越来越多的组织开始注重与伙伴一起开展创新活动, 以促进学习, 实现互补, 分担复杂性和不确定性带来的风险^[18-20]。在此背景下, 创新管理领域的诸多研究热点也都基于“关系”视角, 如创新网络、开放式创新、协同创新等。而关系问题在重大工程创新管理研究中尚未得到足够重视。考虑到重大工程创新活动的特殊性, 加之创新主体的主导逻辑多样性、交互关联紧密性、阶段动态演化性等特点, 有必要专门探究这一复杂情境中的关系问题, 深化对实践活动的科学认识, 给出时代化的理论回应。

创新主体间的关系植根于其所处的情境系统, 对其研究时自然不能脱离这一情境系统。当

① 收稿日期: 2019-11-27; 修订日期: 2020-07-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71620107004; 71942006)。

通讯作者: 曾赛星(1966—), 男, 安徽安庆人, 博士, 教授, 博士生导师。Email: zengsaixing@sjtu.edu.cn

前,有学者提出以重大工程创新生态系统为框架探究重大工程创新活动的基本规律^[21],进而形成重大工程创新管理的理论体系.重大工程创新生态系统是基于技术关联的多创新主体围绕重大工程面临的挑战寻求系统有效解决方案而形成的一种社会生态系统^[21],它将创新起因与活动过程、参与主体与生境要素、资源集聚与力场涌现纳入一个统一的系统框架,具有克服单一、线性、静态、封闭等研究缺陷的发展潜力.这为刻画解析重大工程创新情境提供了一个有益的崭新视角,而其框架之内仍有诸多关键细节尚待探讨,其中之一即是种间关系问题.生态系统之所以能够形成,很重要的一点是系统中的各类主要元素彼此建立关系,形成一个联系紧密、交互演化的整体^[22,23].在自然生态系统中,以食物链/食物网为表现形式的捕食关系在很大程度上促成了这种紧密联系,其承载了系统内主要的能量流动、物质循环及信息传递^[24,25].那么在重大工程创新生态系统中,是一种怎样的种间关系发挥这类作用呢?对该问题的探索将有助揭示这一系统的微观关系基础和整体性根源,增进对其形成机理与运转规律的认识,为提升系统能效、开展科学治理进而保障重大工程顺利实施提供更多理论依据.

结合实践趋势和理论启发,研究问题明确为:如何认识理解重大工程创新生态系统中各类创新主体紧密联结形成的主要关系?具体来讲,研究旨在:1)识别这一关系并给出基本定位;2)发掘这一关系的深层次特征;3)提出与之对应的重大工程创新生态系统治理策略.

1 文献回顾

1.1 重大工程创新

虽然建设创新的相关研究起步较早^[26],但大都侧重于企业层面而忽视项目层面^[27].本世纪初开始陆续有研究涉及重大工程的创新,但早期的研究只是探讨如何学习利用其他项目和行业的经验教训^[28]、如何理解新技术采纳决策过程并开发创新潜力^[29],并未意识到抓住重大工程提供的创新机会来创造新的价值来源^[30].随着重大工程实

践活动中创新需求的扩大,学者们认识到需要系统的努力来管理重大工程创新^[30],并在这一领域开始探索.直接相关的既有研究主要包括三类:一是基本特性考察,如 Brockmann 等人^[9]发掘了重大工程中创新的丰富性、系统性以及部分驱动阻碍因素;二是创新战略研究,如 Dodgson 等人^[31]探讨了创新战略的制定、实施及其相关的系列能力组合,Davies 等人^[30]确定了战略推进过程中的四个机会窗口以便项目管理者制定有针对性的创新干预措施;三是关键要素分析,如 Worsnop 等人^[32]探究了重大工程中开放式和封闭式创新之间的相互作用以及如何平衡,Sergeeva 和 Zanello^[33]剖析了重大工程中创新推手的作用及其作用的方式和途径.

可见,重大工程创新方面的管理研究尚处于起步阶段,一些典型的、新颖的重要特征并未被专门探析.比如,随着重大工程的技术需求愈加复杂多样,其创新参与主体已从传统的设计施工方延伸至装备制造、新材料供应商、信息技术和数据服务商等^[34],其所涉及的跨组织、跨行业、跨地区的创新联系相互嵌套,又在全生命期不同阶段(概念、立项、设计、施工、运营等)动态更替^[9,10].与此同时,创新是基于关系的且通常涉及两个或多个主体间的协作已成为公认的典型事实^[35].因此,不应忽视对重大工程中创新主体关系的分析,特别是不同类型创新主体间的关系.

1.2 创新生态系统

“生态系统”由英国生态学家 A. G. Tansley 提出,是指一定空间内生物群落与非生命环境相互作用而形成的统一整体^[36].这一看似宽松定义的概念以其丰富的寓意和天然的可延展性唤起了人们对社会活动(特别是组织活动)的别样思考^[37].自从 Moore^[38]将其引入管理研究后,基于生态系统视角的研究不断增多,且呈现出愈发繁荣的态势^[39].

创新生态系统正是其中的典型代表,其所涉及的研究对象已然包括企业创新生态系统、产业创新生态系统、区域创新生态系统、国家创新生态系统等^[40].这体现出生态学隐喻的独特价值和创新研究范式的进化需要——一方面,创新的过程

恰恰可看作组织或主体对环境变迁、扰动的应答与适应过程^[41];另一方面,创新研究的范式逐渐由关注系统中要素的构成向关注要素之间、系统与环境间的交互过程转变^[42].创新生态系统的视角强调系统的多样性、适应性和交互性,且体现动态演化性与自主生长性,与重大工程创新的诸多特性颇为契合,重大工程创新生态系统的理念因而提出.

在已有的创新生态系统研究中,内涵与特征^[37,43]、构成与演化^[44,45]、功能与效应^[46,47]是备受关注的重点问题.重大工程创新生态系统理论体系的构建也将涵盖这些基本研究内容,而创新主体的种间关系问题既关乎创新生态系统的构成与演化,又关联创新生态系统的特征及效应,其理论重要性和研究必要性不言而喻.

1.3 重大工程治理

相较于一般工程,重大工程具有多维度、多层次、多阶段的复杂性^[3,48],其管理实践亦面临多方面的复杂性问题^[12].鉴于此,当前针对重大工程的治理研究大多从某一具体方面或某种典型特性入手展开.比如,面向重大工程决策凝练其治理的行动准则、组织程序和联合行动机制^[49],探讨重大工程决策治理现代化与中国化融合统一的核心内涵与衍生问题^[50];面向重大工程社会责任构建基于“企业-政府-社会”的重大工程社会治理框架^[6];面向重大工程组织模式研究“政府-市场”二元作用下的治理机制与演化过程^[51];针对制度复杂性提出数种治理机制以缓解复杂性带来的冲突^[52].这些工作在项目治理^[53]相关研究的基础上紧紧围绕重大工程特定方面的理论逻辑或现实问题展开探索,为重大工程治理体系的集成研究与综合实践奠定了基础.重大工程创新管理研究方才起步,相关的治理研究亦较匮乏.在借助创新生态系统视角探究创新主体种间关系之后进而讨论针对性的治理策略,既具逻辑上的合理性与递进性,又有助于进一步丰富该领域研究.

综上所述,重大工程创新管理领域的研究相对集中在创新战略与个别要素上,尚乏对创新主体间关系的直接关注;而创新生态系统的基本逻辑和已有研究彰显了种间关系问题的重

要地位和研究意义.因此,本研究拟在重大工程创新生态系统框架下,深入探究不同类别创新主体间的主要关系及其深层特征,进而提出针对性的治理策略.

2 研究方法

2.1 方法选择与案例选取

选用案例研究方法来探究重大工程创新生态系统中各类创新主体间的主要关系及其特征,主要是出于以下考虑:1)重大工程创新生态系统的研究相对有限,现有文献尚未形成针对性的完备理论体系,而探索性、归纳式的案例研究策略能够从质性数据中提炼规律,加深对实践活动的理解,适于新兴领域的理论建构^[54];2)核心研究问题具有解释性特征,且侧重对创新主体交互过程的深入分析,而案例研究适合剖析多阶段复杂过程和多主体互动关系,可以发掘繁杂现象背后的理论逻辑,能够获得定量分析难以得出的重要发现^[55];3)已有文献突出了利用质性方法研究重大工程创新的重要性^[30,31,33],通过该类方法能够从数据资料中获得丰富、细致、深入的认识,较好保证所得结果的理论贡献和实践意义.

选取港珠澳大桥主体工程作为案例研究对象,主要是考虑到其在技术需求、参与主体、创新产出等方面都可作为重大工程创新领域的典型代表:1)港珠澳大桥作为集桥、岛、隧为一体的超大型跨海通道,是中国交通建设史上技术最复杂、施工难度最大、建设要求及标准最高的工程之一,体现出复杂多样的创新需求;2)为满足这些需求,不同地域、不同行业、不同组织的各方创新主体参与进来,各类创新资源也被调集进来,共同为该工程的技术挑战寻求系统有效的解决方案;3)结果表明,该工程涉及到的诸多世界级难题最终得以克服,参与主体也产出了一系列创新成果,包括数量众多的创新工法、创新软件、创新装备、创新产品及专利等.从创新生态系统视角来看,该系统内环境要素丰富完备、交织效果显著,创新主体繁多活跃、交互关联紧密,各类主体组织协同、适应环境的过程中创新力场逐步建立,形成了一个建构完善、运转良好的创新生态系统.因此,港珠澳大

桥工程是探究前述研究问题的理想选择。

2.2 数据搜集与分析

研究遵循三角测量法的思路,通过多种来源收集多种形式的资料(汇总信息见表1),以减小信息偏差,保证数据的真实性和准确性。

表1 数据来源
Table 1 Data sources

类别	来源	来源代码	数量
访谈	港珠澳大桥管理局	IBA	6(人次)
	中交联合体港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部	ICC	4(人次)
档案资料	港珠澳大桥杂志	BAM	44期
	中交岛隧工程专用设备建造简报	CCR	11期
	专访报道(新闻媒体)	NPR	29篇
	期刊论文	JPP	30篇

1) 深度访谈^②。在2015年~2019年间,研究团队成员多次到港珠澳大桥进行实地调研,并与各方人员(覆盖业主、设计方、施工方、监理方、供货方等)沟通交流。其中开展的深入访谈主要有:于2017年6月、2019年5月在港珠澳大桥管理局对4人(6人次,包括总工程师、工程总监等)进行的半结构化访谈;于2019年5月在中交联合体港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部对4人(包括总经理兼总工程师、副总经理等)进行的半结构化访谈。每次访谈都旨在了解受访者在港珠澳大桥工程中所参与或经历的创新活动中与其他各方的交互行为及关系定位。指导性的问题有:a) 比较典型的创新活动有哪些? b) 每项活动涉及到哪些参与方? c) 这些参与方扮演的角色是什么? d) 不同参与方建立起了怎样的交互关系? 每次访谈确保有两位以上研究成员参与,访谈结束后研究人员及时对访谈录音和笔记进行整理并交叉核对,同时探讨所收集数据的不足和欠缺之处,以便通过后续资料收集过程加以补充、修正。

2) 档案资料。一方面,从港珠澳大桥管理局和中交联合体港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部获取了其部分刊物资料,以获得更为翔实的创新

活动记录。另一方面,从公开资料中检索出新闻媒体对港珠澳大桥管理者、工程师的专访报道及他们发表的非技术类论文,筛选出其中涉及创新事宜的作为事实采集的补充材料。这些多层次多数据源的资料不仅相互交叉验证,并可对访谈资料的回溯偏差进行一定控制,保证了案例数据的可靠性。

数据分析遵循典型的定性分析策略并以归纳方式进行。借助MAXQDA 18软件将所有上述材料分门别类导入数据库,以便快速进行标记或编码,并查询或可视化这些代码之间的关系。然后按以下两个阶段展开分析。

第一阶段旨在识别不同类别创新主体间的主要关系。首先阅读访谈资料和档案文件,标记出各项创新活动的参与方,概括出参与方间的交互行为;然后对这些交互行为所体现出的关系进行研判,依据管理学和生态学理论给出重大工程创新生态系统中种间关系的合理定位。

第二阶段通过比对上述标记内容,识别其在关系与交互方面的异同,形成初阶编码,进而从多个维度归纳聚合,抽象出具有理论内涵的高阶编码,来揭示不同类别创新主体间关系的深层特征。这一数据分析过程并非线性推进的,而是循环反复、迭代进行的。高阶编码抽象凝练的过程亦是对案例资料深化认识、多维剖析的过程,它包含对初阶编码的合理性检验与针对性调整,同时涉及对理论框架结构体系的扩展与聚合,从而更好保障数据分析的扎实性和理论发现的整体性。

3 港珠澳大桥创新生态系统中的共生关系

3.1 种间关系的定位

不同主体相互配合,共同努力促成一个对各

^② 部分访谈数据也被用于另外两项质性研究,主要用来剖析重大工程创新生态领导者所扮演的角色^[59],以及解释重大工程全景式创新管理^[71]。

方都有利的结果,是现代社会最为常见的活动图景^[56],亦毫不例外地频繁出现在重大工程建设过程与创新活动中.纵览港珠澳大桥工程建设的各个阶段,罕有几项创新活动是由单一创新主体完成的,它们大都有两个或多个不同类别的创新主体共同参与.以港珠澳大桥管理局公示的奖项/工法申报项目为例,其中仅有8%由一家单位独自申报,超过70%的项目由两类或多类参与主体联合申报^③.合作,俨然已成为重大工程创新主体的普遍行为.这是因为,不同类别的创新主体彼此结合起来,发挥各自专长,有助于更快更优地实现创新^[18,57,58];而在时间紧、任务重、预算受限的重大工程创新情境下,合作的必要性更加突出,其优势也更为明显.但要注意到,“合作”可能只是重大工程创新活动的一类表层共性,其未能为创新生态系统的整体性提供有力解释.

细观港珠澳大桥工程诸多创新活动中的主体行为与交互过程,不同类别参与主体间的相互依赖普遍存在.这种依赖体现在多个方面:一是在重大工程技术需求高度复杂的背景下,单一主体所掌握的技术可能无法满足解决现实问题的需要,需要依赖能够提供相应专业化技术服务的其他主体来共同开展创造性活动;二是在工程进展各环节紧密相连的任务链与产业链情境中,单一主体开展创新活动时往往需要依赖任务链中前后环节的协调配合及产业链中上下游的同步创新作为支撑;三是在分工细致、权责明确的重大工程复杂系统中,单一主体的创新活动受到多方的影响和监督,需要依赖各方有效的支持配合、评测审议等方能形成合理有效的创新方案进而落实到工程实践中.这种彼此间的不可缺少性促进了合作,但也意味着“合作”自身所蕴含的内涵不足以充分描述不同类别创新主体间的关系.

受生态系统理论启发,研究视野扩展至描

述不同物种间彼此互利共存关系的“共生”.经过评判,它被认为既充分反映了不同主体在创新活动中的相互依赖性,又包含了不同主体共同努力促成彼此有利局面的内涵,亦为重大工程中各类创新主体何以能连结成为一个紧密整体给出了合理解释,从而部分揭示了重大工程创新生态系统的存在基础,因此可以作为重大工程创新生态系统不同类别主体间主要关系的基本定位.重大工程创新生态系统中的“共生”可理解为两个不同类别参与主体互为对方提供其贡献于重大工程创新解决方案所需条件而形成的种间关系.

3.2 共生关系的特征

“共生”关系在重大工程创新过程中有哪些深层次的表征与内涵呢?考虑到创新生态系统受生态学启发而出现,但其作为一种社会生态系统又具有一些显著的社会属性,从而有别于自然生态系统^[23],因此在分析重大工程创新生态系统中的共生关系时,不仅要考察其与自然“共生”的共性特征,也要兼顾人类丰富实践活动所赋予的社会特性,以促进自然生态的启发和社会规律的发展在其间交织呼应.基于这一理念,研究通过对港珠澳大桥工程这一典型案例进行深入分析(数据结构如图1所示,代表性数据示例见表2),总结形成了相对概化的四点特征.

3.2.1 关系结构:局部对称

在自然生态系统中,有的共生生物需要借助共生关系来维系生命,这属于专性共生(如榕树与榕小蜂);而有的共生关系只是提高了共生生物的生存几率,但并不是必须的,这属于兼性共生(如益螨与植物).特别的是,共生关系有时是不对称的,很可能出现一种生物是专性共生而另一种生物是兼性共生的现象.与之类似,重大工程创新中的共生关系也存在这类特性,从而使得其创新生态系统的关系结构表现为局部对称.

③ 数据来源为港珠澳大桥建设期网站(<http://gcjx.hzmb.org/>).

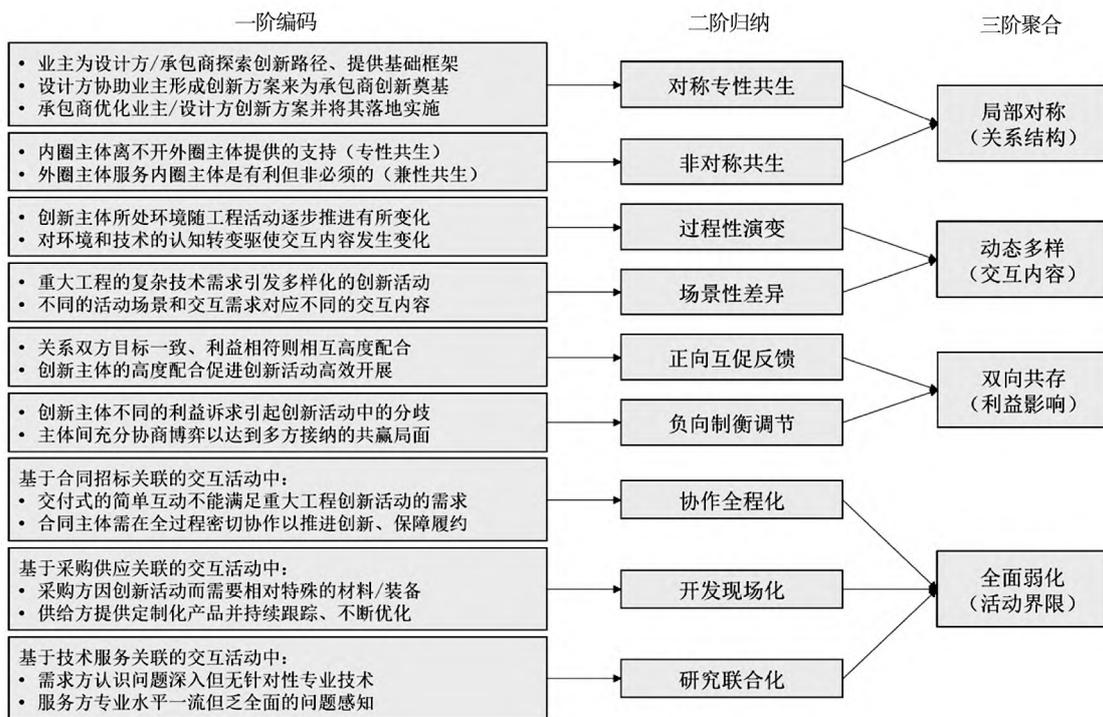


图1 特征分析的数据结构

Fig. 1 Data structure for characteristics analysis

如图2所示,位于内圈的业主、设计方、承包商作为重大工程创新的核心责任主体^[9,59,60]其相互依存度非常之高。业主确立建设目标、开展前期研究、形成招标文件、制定技术标准等各类活动为设计方和承包商的创新指明了方向路径、提供了基础框架;设计方通过开展专题研究、创新设计方案、编制技术文件、提供咨询服务来协助业主细化创新方案并将其提供给承包商作为其创新的基石;承包商在进行技术优化的同时也不断同业主和设计方协商交流,最终形成适于工程实践的创新方案并将其落地。可以判断,他们都无法脱离彼此独立形成一个最终有效的技术创新解决方案,因而呈现出较为对等的专性共生关系。当然,这种关系结构是工程建设流

程与技术合同契约的必然产物。

高校/科研机构、材料/设备供应商、咨询机构、监理机构、政府有关部门、其他组织/个人等外圈创新主体则与内圈主体形成了一种非对称的共生关系。对于内圈主体而言,高校/科研机构提供的专业技术支持,供应商针对创新方案提供的专门装备、材料及新思路,咨询机构提供的技术咨询与专业评审服务,监理机构发挥的评估审查作用,政府部门提供的创新资源、给出的创新指导,以及其他组织/个人的专业知识与创新想法都是必不可少的。离开了这些创新支撑主体,内圈主体几乎不可能完成重大的技术攻关,更不可能形成一整套行之有效的系统创新方案,因此从他们的角度来说这类共生关系是专性的。而对外圈主体而言,参与到重大工程创新活动中,为内圈主体提供创新所需要素,也可以使自己的创新经验得到积累,创新能力得到提升,但对于其自身发展与运作却非十分必须,因此这类共生关系是兼性的。特别地,在港珠澳大桥案例中,有部分外圈主体因为超级工程的吸引力主动参与进来,希望在其中有所贡献有所成长,也有部分是收到内圈主体邀请后参与进来的,这种不同可能使得其形成的共生关系兼性程度也呈现出一定差异。

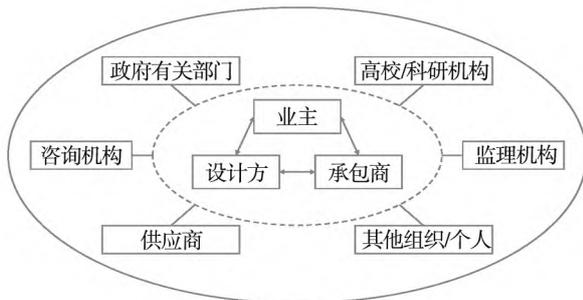


图2 重大工程创新生态系统中的不同类别参与主体

Fig. 2 Various participants in megaproject innovation ecosystems

表 2 典型数据示例
Table 2 Examples of typical data

维度	二阶编码	数据示例		
		相关引文	主体类别	数据来源
关系结构	对称 专性 共生	“港珠澳大桥主体工程的产品形成过程,须遵循港珠澳大桥专用标准体系,该体系涵盖工可、设计、建造等各阶段,对港珠澳大桥全过程形成技术支撑。”	A-D-C	BAM
		“综合工程风险、经济、环保等因素,公规院提出了这一国内史无前例的桥岛隧集群方案,并立即得到各方的肯定。”	D-A-C	NPR
		“基于管理局提出的制造理念,组织技术和管理人员进行充分的调研、探索,结合项目特点,研制了智能化的板单元组装和焊接机器人系统,推行了……”	C-A	BAM
	非对称 共生	“还组织开展了模型试验,努力从原理上验证‘半刚性’结构;邀请了国内外 6 家专业研究机构平行开展分析计算,这三个方面的研究成果都证明了……”	D-R	NPR
“则采取专项聘请国际技术专家,提供技术支持,如聘请日本技术专家花田幸生对岛隧工程沉管安装施工作业细节进行针对性的技术指导。”		C-E	JPP	
交互内容	过程性 演变	“E10 管节安装之后,项目部意识到,海流对安装有意料之外的影响……这一奇特的现象突破了专家们的传统认知……在项目部的坚持下,国家海洋环境预报中心再次成立专项组,涉及几乎所有的业务部门,全力开展工作……”	C-R	BAM
		“管理局委托其牵头开展钢桥面铺装方案预研究,经过两年系统综合的比选论证,课题组提出了两点指导性意见……在又一个两年中,科研团队攻坚克难,先后平行开展了 MA、GMA 及 GA 三种技术方案的研究……”	A-R	BAM
	场景性 差异	“交通运输部副部长冯正霖主持会议……听取了……考察了……要求高度重视科学试验,既要敢闯敢试,探索创新,又要做到心中有数,科学求索。”	G-C	NPR
		“此后短短的时间内,回淤增大且回淤物形态发生了变化……在交通运输部的协调下,国内 25 位对珠江口泥沙、潮汐和气象方面最有研究的专家集结于此,成立了技术攻关国家队,开展基槽回淤专题研究。”	G-C	BAM
利益影响	正向互 促反馈	“各方都是想把港珠澳大桥建好的,没有单位愿意在港珠澳大桥上砸牌子,也没有人愿意成为世界桥梁史上的反面教材,大家的大目标是高度一致的。”	ZZ	BAM
		“有一家认为我们提的新的技术方案是有价值的,照这个方案继续研究,这时候业主也分析认为这个方案优势最大,就帮他找学校,配上科研队伍,终于做成了,开始比另外两家慢,最后完成还比另外两家快,还省了钱。”	A-C	IBA
	负向制 衡调节	“各创新主体之间存在博弈,各方都先达到自己的目标,追求自己的利益最大化,再兼顾整个项目。”	ZZ	IBA
		“工程活动中的摩擦、博弈、协调和权衡……从来就没有所谓的最好的方案,只有最合适的方案,正是在工程实践中懂得坚持和妥协,才提出了……”	ZZ	BAM
活动界限	协作 全程化	“各项准备工作严重滞后,其‘旧习惯’和项目法人的‘新思维’发生了激烈的碰撞,各方矛盾一触即发,管理形势极其严峻。”	C-A	JPP
		“在清楚问题根本症结所在之后,笔者开始靠前策划指挥,有计划、有步骤地组织参建各方……增派钢办副主任和质量管理顾问驻厂督促调试工作,主动提供帮助。”	A-C	JPP
	开发 现场化	“面对这种不利局面,项目部优化施工方案,大胆尝试先进施工工艺……委托制造厂商研制出了目前国内最大的液压锤,解决钢管桩插打地质条件差这一难题……”	C-S	BAM
		“为了做好顶推工作,设备动力部副主管与 VSL 技术人员日夜坚守现场,对顶推作业的每个步骤都进行认真沟通、精心调试、细心操作。”	S-C	BAM
	研究 联合化	“沉管体积庞大,振动的幅度很小,振动又非常缓慢……摆动一次可能要 100 多秒,一共就摆动了 10 厘米,很难精确测量……联系了多家科研机构都说干不了。”	C-R	BAM
		“不过觉得心里没底,十余年的工作经验,都是在做天上的传感测量,从来没有在深水里做过振动测量,更何况这次是水下 40 米。”	R-C	BAM

注:一阶编码请见图 1。本表为节省空间未予列出。“主体类别”一列内字母 A、D、C、S、R、G、E 分别指代业主、设计方、承包商、供应商、高校/科研机构、政府部门、外部专家/咨询机构,ZZ 指同时涉及多类主体。

3.2.2 交互内容: 动态多样

在多数理论模型(如供应链或价值链)中,各类参与主体所发挥的职能大都是比较单一的,通

常不会出现改变或增加,其中的种间关系链路上所呈现的交互内容也几乎不发生变化。但重大工程创新生态系统中共生关系链路上的交互内容往

往不是一成不变的,而是随活动环境或需求发生适应性变化。

1) 过程性演变. 对重大工程而言,由前期研究到设计再到施工这一开展阶段的转变,不仅仅是工程实体从无到有的变化,亦包含了对所处环境和所需技术从浅到深的认知转变. 在这种转变过程中,共生关系链路上的交互内容往往也会随之演变,以确保交互的互利有效、推动创新的形成成熟. 图3以港珠澳大桥钢桥面铺装创新过程中大桥管理局分别与重庆智翔铺道技术工程有限公司和华南理工大学进行交互的内容为例对此进行了简析. 进一步地,各个阶段中也发生着类似的过程性变化. 比如岛隧工程沉管安装施工中,国家海洋环境预报中心先是派出专项组进驻现场,保障了前十节沉管的顺利安装对接;而随着安装水深超过40米,槽底大流速现象凸显,在岛隧工程项目部的请求下,预报中心又投入更多业务资源,增设新的保障团队,以实现更高精度的监测预报,进一步降低安装风险.

2) 场景性差异. 重大工程的复杂性使其技术需求体现出高度多样性,即使在同一时期,创新活动的目标、约束、路径、影响等属性也可能有所不同. 共生关系双方往往参与多个创新活动,涉及到多种交互场景,存在不同的交互需求,关系链路上的交互内容也相应有所差异. 以港珠澳大桥的政府主管部门(交通运输部)和岛隧工程总承包商中交联合体的共生交互为例,在中交联合体的部分创新活动中,交通运输部只是在创新氛围(既鼓励放手大胆搞研究又强调科学理性不冒进)与创新规范(“试验先行”)上做一些原则性的指导和把控;在一些关键性创新活动中,交通运输部牵头组织成立的技术专家组会进行技术评审、方案论证并提供咨询建议;而在另外一些技术难题前,交通运输部则出面协调集结外部创新资源来帮助承包商开展技术攻关(如在E15沉管首次安装因淤泥问题失利返航后,交通运输部协调集结国内25位顶级专家开展基槽回淤专题研究).

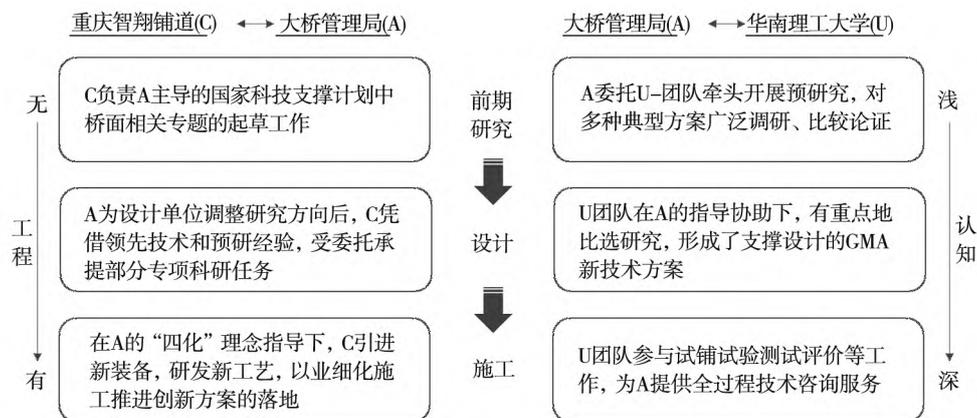


图3 港珠澳大桥钢桥面铺装创新过程中部分主体间交互内容的演变

Fig. 3 Evolution of interaction among several actors in the innovation process of steel bridge deck pavement for Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

3.2.3 利益影响: 双向共存

从结果上看,重大工程创新中的共生关系均属互利共生,这是因为创新生态系统中的主体具有主观能动性,不符合自身利益的共生关系难以形成. 但“互利”绝非意味着各方利益均达最优. 各主体发挥自身优势共同促成创新的过程,大都包含有其基于自身利益相互制衡的环节,因而共生交互中通常同时存在着正向反馈与负向调节.

在一个良性运转的重大工程创新生态系统中,正向反馈可谓是无处不在. 比如在港珠澳大桥

桥梁工程所用埋置式承台的技术攻关中,广东省长大公路工程有限公司选择采用前期研究预设的新方案,业主对此大力支持,帮助其联络高校及科研机构,集结有效的创新资源,最终使其成功创新运用了“分离式胶囊柔性止水工法”,实现了工期缩短和成本节约. 再比如国家海洋环境预报中心为岛隧工程施工提供海洋气象与海流预报的过程中,成功帮助施工方确定了沉管浮运安装的最佳时段,有效保障了深水基槽沉管的顺利安装,同时也大大提升了自身的预报服务和技术攻关能力,

所得成果填补了相关领域的多项空白。正向反馈往往建立在关系双方目标一致、诉求相通、利益相符的基础上,它促进创新活动高效开展、推动创新产出快速形成,是重大工程创新生态系统效应发挥的重要环节。

而重大工程各类参建单位承担着不同职责,在部分具体事项上有着不同的目标和利益诉求,建设过程中因而可能产生一些摩擦或矛盾。重大工程创新活动中同样不乏这种情况。比如承包商提出的创新方案往往最大程度体现了其自身意图和习惯,有利于最大化其自身利益,但业主方从经济成本、技术适用性与可靠性等角度评估其创新方案后若不认同,则会要求承包商对方案进行调整以满足一定条件,而承包商也可能会同业主就方案改进进一步磋商,直到双方找到一个都较满意的解决方案。这类博弈过程中体现的更多是负向调节,它使得最终运用到重大工程建设中的技术创新是一个相对合理可靠、多方基本认可的方案,也使得关系双方在一个都能接受的水平上达到共赢。这种反馈调节通常不会使某一方的根本利益受损,只是引起了创新增益的重新分配。对重大工程创新生态系统而言,负向调节不可或缺,它使得过度创新与不当创新在博弈中现出原形,保证了合理有效的创新运用到实际建设中。

当然,反馈调节的“正向”/“负向”只是依据交互内容接收方利益被影响情况进行的简单划分,它们通常不会单一地存在于某一项创新活动中,而是在共生关系的交互链路上交替出现,但其在不同活动中显现的程度有所差异,使得某些活动看起来以正向反馈为主,而某些活动中负向调节突出。

3.2.4 活动界限:全面弱化

多元多样的创新主体参与到重大工程创新活动中来,形成了跨组织、跨行业、跨地区的创新关联,并最终呈现为重大工程创新生态系统中的共生关系。受到创新活动特性(知识密集、信息密集)的影响,这种共生关系不仅仅体现在结果上,而是渗透到了创新活动的全过程,从而使得基于共生关系的交互更为深入无间,主体间职能上或时空上的界限在这种情境中被进一步弱化了。以

几种典型关联为基础建立的共生关系恰恰体现了这一转变。

1) 合同招标关联为基础的共生关系:合同通常是建设工程责任分工的具体化与载体,核心责任主体通过合同明确职责边界并与其他主体建立起基本联系。这种关联往往是交付式的,一个主体完成其自身任务后将其移交给另一主体,而除监督管理活动外很少涉及过程中的深入交互。但在重大工程创新活动中,主体间的交互几乎是全阶段的,也是多方面的,它们融入了彼此的创新过程。比如在港珠澳大桥钢桥面铺装创新方案的探寻过程中,设计单位联合体在研究初期出现了一定偏颇,大桥管理局适时予以指正,并特设铺装招标领导小组,指派专人负责协调推进研究工作,安排人员进驻试验现场,此外还三次组织设计专题单位人员到国内外进行调研考察,以加强对相关技术的全面了解,整个过程中体现出深入互动、频繁交流、全程协作的态势。

2) 采购供应关联为基础的共生关系:不同于一般工程,重大工程对材料和装备有更高的要求,而诸多创新方案的落地更是需要供应商的配合。传统的“一手交钱一手交货”的简单采购供应流程很难满足重大工程创新的需求,承包商与供应商必须通过多种途径深入沟通、反复协商、协同研究才能明晰实际需求、确定解决方案、形成适用产品。在这种穿越组织界限的交互过程中,承包商还能收获许多创新的灵感和思路,供应商也“被动”革新了自己的技术或产品。比如在港珠澳大桥岛隧工程中发挥重要作用的管节支撑与同步顶推系统就是供应商VSL公司与承包商联合开发的产物。VSL公司技术总监在接收采访时表示,“开发中与中交一起讨论了很长时间……我们也从这个项目中受益良多……”在系统应用过程中,VSL公司项目总设计师、系统软件的首席程序员和专业电气工程师也是驻扎一线,与施工人员认真沟通、精心调试,保证工作顺利推进。

3) 技术服务关联为基础的共生关系:出于技术的专业性与保密性,技术服务方与被服务方通常不会有过多的深入交互,只是在需求提出和成果交付的界面上有所互动。而在重大工程创新

的情境下,技术服务的需求复杂且不具有一般性,被服务方在相应技术问题上已有一定的初步研究,此时服务方与被服务方结成一种“虚拟”的研究联合体,共同针对现实需求量身打造解决方案更为高效可行。比如,面对深海沉管运动状态难以监测的难题,港珠澳大桥岛隧工程总承包商中交联合体在多方求教无果后联系到了中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所。鉴于国内相关技术应用空白,计量所设立了专项研究小组应对这一崭新的深海挑战,他们同岛隧工程项目部抽调出的水工领域专家一起,经过广泛调研、多方比选、细致试验,最终打造出了量身定制的沉管运动姿态实时监测系统,有效保障了深水深槽条件下沉管管节的精确安装与对接。

4 面向共生关系的创新生态系统治理

重大工程创新生态系统的良好运转是重大工程顺利实施及其创新主体协同发展的重要保障^[21],对这一创新生态系统进行适当有效的治理因而具有重要意义。前文所揭示的共生关系及其深层特征增进了对重大工程创新生态系统的认识,也为重大工程创新生态系统治理设计提供了更多科学依据。因此,以下尝试以此为基础,参照既有理论并结合实践经验,提出面向共生关系的创新生态系统治理策略(概括为图4所示),以扩展理论发现的实践价值,也为重大工程创新生态系统治理的系统化研究提供借鉴。

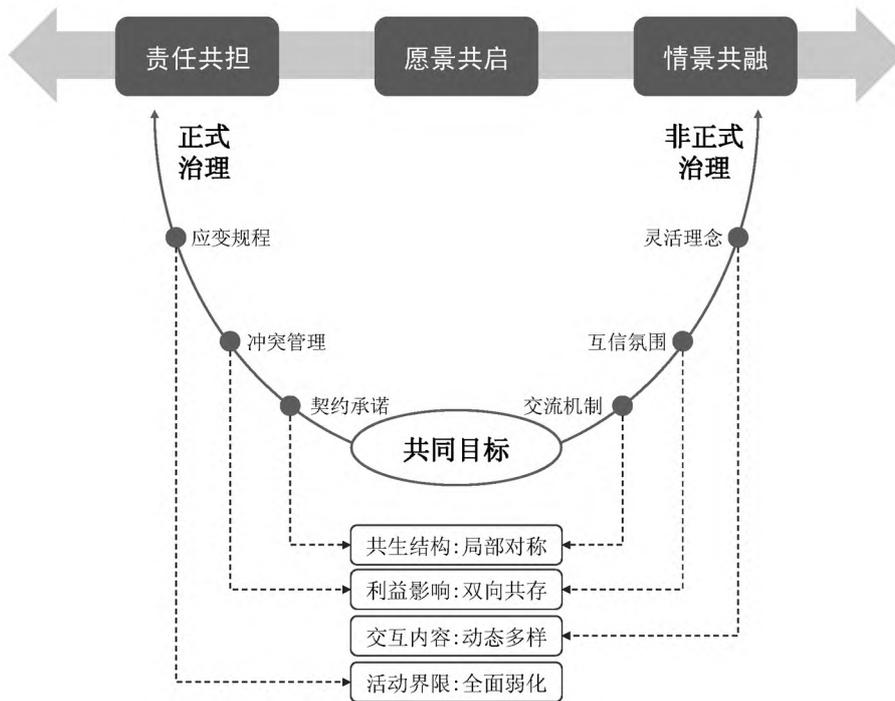


图4 面向共生关系的重大工程创新生态系统治理策略框架

Fig. 4 Framework of governance strategies for the megaproject innovation ecosystem based on symbiosis

4.1 目标确立——指明共生方向,促进愿景共启

重大工程创新生态系统强调各参与主体为重大工程的技术挑战共同寻求系统有效解决方案,这就要求不同参与方就创造性活动的基本方向达成一致,以使各自的努力不仅能够应对眼下自身所面临的问题,而且能获得其他不同角色的接受和认可,从而与工程系统其他部分的创新有机耦合。共生关系进一步强调了这种方向一致的必须

性,但其部分特性恰恰表明这种一致性并不容易自动形成。比如,非对称性暗含了内圈主体与外圈主体在创新动机、追求等方面的固有差异,利益影响的双重性则明显地体现了不一致的普遍存在性,这些因素增加了创新方向偏差或创新程度失当的可能。

对此,可能要在诸多方面(包括制度、组织、流程等)采取措施,但首要的是形成一个指导性

的基本目标。这是因为,基本目标将是各方主体共识形成的核心引导,是差异应对中的协调基准,是后续治理措施的指向前提^[61,62]。这样一个指导性的基本目标应该:a)由重大工程建设的核心主体提出,但在早期阶段经反复优化和广泛推介以确保潜在创新主体对其基本认可(或形成初步认识);b)内容上直接指向重大工程本体,但隐含的过程体现对创新活动的方向性指引和核心性要求;c)形式上类似组织愿景,但是以高度凝练的表达描绘出各方主体共同创新所能达到的图景;d)经过公开宣传为社会公众所知悉,从而形成使各主体趋于共同目标的社会压力,强化其行为方向的一致性。

4.2 正式治理——巩固共生基础,促进责任共担

创新活动本身具有较高的风险和不确定性,创新生态系统中各主体的权利和责任可能模糊不清,再加之共生关系的非对称、边界弱化等特性,创新主体可能会出现不利于关系维持和系统运转的机会主义行为。在此情况下,强调正式机制或规则的契约治理尤为必要。它通过具有法律约束力的书面协议来明确各方角色和职责,分配项目风险,抑制机会主义,在组织间关系的协调中扮演着重要角色^[63,64]。借鉴契约治理的基本要素—变化要素—治理要素的思维框架^[65,66],面向共生关系的正式治理思路包括:

1)在非对称共生交互中,应当明确必要的契约和适当的财务承诺,使得外圈参与主体在创新中有安全感,愿意为重大工程技术创新需求的实现真正投入。

2)确定必要的规则和程序以应对可能出现的变化和例外情况,减小共同创新中不确定性的负面影响,从而控制交互风险,推进交互深入,促进边界弱化后的知识融合。

3)设计适当的谈判机制,确保交互双方有可以用于解决冲突的正式协议,减少双方间无效低效的负向反馈,增强制衡机制的有效性和高效性。

4.3 非正式治理——畅通共生链路,促进情景共融

契约往往只涉及对重大事项的规定或条款,且在起草时也不能预见所有可能的情况^[66],同时

缺乏对关键社会因素的关注^[67],因此单纯的契约治理被认为是不充分的。在重大工程创新生态系统中,共生关系的多变多样性使得这种不充分性更加凸显。对此,允许灵活应对那些没有包含在契约中问题的关系治理不可缺少。作为一种非正式治理形式,关系治理着眼于社会维度,强调情感联系和义务性规则,更多依赖于各方的非正式结构和自我执行^[68,69]。借鉴关系治理(包括信任与关系规范)的主要框架^[67,70],面向共生关系的非正式治理思路包括:

1)充分理解各方的期望、观念和诉求,营造平等互信的交互氛围,促进超越传统组织边界的团队建立与融合,推动双重反馈调节的有效运转和高效循环。

2)建立经常性的主动信息交流机制,确保彼此知会各方面的进展或变化,减少局部对称关系中可能产生的误解;适时形成多边交流机制,实现多组共生关系体的沟通同步化,促成互通共进的良好局面。

3)树立起灵活性的理念,根据实际创新情境不断调整共生关系链路上的交互内容,充分发挥动态多样性的优点,增强交互适应性,以应对创新活动中的不确定性。

总体而言,共同目标设定了共生关系发展的基本方向,有助于共同愿景的建立与内化;正式治理明确了各主体的权责归属和行为规范,有助于意外和冲突的共同应对;非正式治理增进了主体间的互信互补与动态融通,有助于创新活动场景中共同情感的形成与深化。三者各有重点,又彼此促进、共成一体,道出了重大工程创新生态系统运转的焦点、边界与常态,明晰了参与主体由共生到共同繁荣的实现路径和主要举措。

5 结束语

基于对港珠澳大桥工程的案例研究发现,共生关系是对重大工程创新生态系统种间关系的一种合理定位,它同时蕴含了主体间相互依赖性和共同努力促成创新的涵义,而且为重大工程创新生态系统的整体性给出了合理解释。进一步地,研

究归纳出了重大工程创新中共生关系的四点深层次特征:关系结构的局部对称(创新生态系统中对称专性共生与非对称共生兼而有之);交互内容的动态多样(共生链路上的交互内容呈现过程性演变与场景性差异);利益影响的双向共存(以互利为最终结果的交互过程中兼有正向与负向反馈调节);活动界限的全面弱化(典型关联中主体间的活动界限因共生而进一步弱化)。在此基础上,依据项目治理理论和案例实践经验提出了面向共生关系的重大工程创新生态系统治理策略框架。

5.1 讨论

重大工程创新生态系统的环境复杂程度与活动复杂程度非常之高,具有鲜明的复杂整体性特征^[3,12,21]。作为该系统中不同类别主体关联的主要逻辑,“共生”与这一逻辑体系中的多种要素彼此联系、交互作用、有机耦合。其特征既是重大工程创新生态系统部分典型属性的集合反映,又映射于系统内形式多样的创新交互活动。

重大工程创新生态系统的构建和共生关系的形成具有不可分割的内在统一性。重大工程创新生态系统植根于工程实体系统,经由管理主体的顶层设计和参与主体的自组织、自适应而来^[21,59]。这一复杂系统的技术创新功能涌现需要多样的主体、完备的资源与适当的环境,更离不开要素的有机组织与合理匹配,特别是主体要素间的联结交互。不同类别创新主体在面对重大工程的复杂技术需求时形成了相互依赖的动机,进而在创新生态系统的形成过程中完成了对环境的适应性改造和彼此间的嵌入式融合,最终建立起了共生关系并促成创新生态网络的联通。从这种意义上讲,创新生态系统构建的过程亦是为共生交互的开展准备条件的过程,而共生关系的形成又是创新生态系统构建过程中的关键一环,标志着该过程的阶段性完结。

重大工程创新生态系统的构成与特性参与塑造了共生关系的情境特征。比如,对于重大工程面临的许多技术难题而言,囿于特定地域有限主体的既有资源开展创新是不现实或不经济的,因而重大工程创新生态系统往往从全球视角搭建平

台、集聚要素、整合资源、促成创新^[10,71],呈现出显著的多元开放性。参与其中的非本土主体(如港珠澳大桥工程中支撑桥梁钢结构设计创新的日本 Chodai 公司与英国 Halcrow 公司、支撑岛隧工程沉管预制及施工创新的德国 PERI 公司)通常在其专业领域颇具优势,能够为重大工程创新生态系统提供相应方面的优质资源,在部分创新活动中发挥着不可或缺的重要作用。这些主体的特殊性使得其所处的共生关系体更多呈现非对称结构,主体间活动界限弱化的程度也在他们与本土主体融合的过程中表现得更为突出;而关系特征的局部差异又给创新生态系统的针对性治理提出了更高要求。这样一种传导链条亦是重大工程创新生态系统复杂整体性的典型体现。

重大工程创新生态系统的运转与演进过程亦是共生关系实例化的过程。在重大工程创新生态系统运转过程中,创新主体会基于特定的技术创新需求选择不同的创新模式开展不同深度的创新活动,共生关系通过映射于具体的创新交互实现实例化并支撑创新活动的顺利高效开展。由于不同创新活动的目标、约束、路径、影响等属性存在差异,相应参与主体间共生关系链路上的交互内容呈现出动态多样性,共生关系的部分典型特征也在这些实例中表现出程度差异。比如,在开创性创新的实现过程中,关系双方对活动界限弱化的要求往往更为强烈,其间利益影响方面的双向反馈也会更为频繁剧烈。从过程与演化视角来看,共生关系支撑着创新生态系统的有效运转,使其有序高效地配置创新资源、创造有利条件,保障创新活动的顺利开展,甚至孕育出颠覆性或开创性创新,而创新的成功实现又会强化实例化后的共生关系,为新一轮活动中的创新交互奠定良好基础。这种螺旋渐进式的相互作用正是重大工程创新生态系统生命力与健康度的良好体现,也在一定程度上揭示了微观层面共生关系实例与宏观层面创新生态系统的演进同步性与互依性。

5.2 贡献与启示

理论贡献主要体现在以下三个方面。

其一,通过明晰创新主体种间关系及其内涵增进了对重大工程创新活动规律的理论认识。近

年来,重大工程创新实践不断涌现且愈加复杂,迫切呼唤具有针对性和时代性的管理理论^[72],但该领域学术研究方才起步,尚未完成对实践现象的逻辑剖析和活动规律的理论建构,特别是部分典型的、新颖的重要特征未得到专门研究^[33,73]。本研究针对重大工程各方关联的紧密性和创新活动中主体交互的深入性,基于典型案例研判了不同类别创新主体间的主要关系,探究了这一关系在创新交互过程中的深层特征,从而揭示了重大工程创新活动过程中主体关系方面的关键细节。这为科学分析创新主体行为规律、合理设计创新力场诱发机制奠定了逻辑基础,对形成重大工程创新管理理论体系具有重要的积极意义。

其二,通过剖析重大工程情境下的创新活动过程丰富了创新管理领域的主体关系研究。创新主体关系研究的一般情境逻辑为:企业为谋求更多利益而开展创新活动,而要实现高效有效的创新往往需要进行关系管理^[19,74]。而在重大工程情境下,完成工程建设任务是主要参与者的第一目标,复杂多样主体关系是参与者面临的固有处境,服务于第一目标创新活动进行于复杂关系背景下。换言之,前者强调关系管理的必要性,后者侧重复杂关系的先在性。两种情境逻辑出发点的不同引致了理论认识的差异,基于后者发掘的共生关系及其特征是对一般认识的积极补充,可为其他情境的关系认知提供有益借鉴。

其三,通过丰富重大工程创新生态系统的研究内容扩展了创新生态系统视角的研究与应用。比较常见的企业创新生态系统研究常常从单一主体出发,关注焦点企业与其他组织的关系及交互行为^[46,75]。而本研究从整体视角出发,综合生态理论启发和社会活动特性,重点探讨了重大工程创新生态系统中不同类别参与主体间普遍存在的基本关系及其交互过程的共性特征,在一定程度上揭示了该系统的微观关系基础和整体性根源,

为其形成机理与运转规律的系统理论建构迈出了重要一步。这一研究思路是将生态隐喻应用至社会生态系统的新尝试,也扩大了创新生态系统研究的内容范畴。

作为重大工程高质量发展的样板,港珠澳大桥工程在技术需求、参与主体、创新产出等方面皆具代表性和典型性。基于其发掘的学理逻辑与管理策略对涉及到系统性创新需求、跨主体协作交互的各类重大工程都有积极的借鉴意义和参考价值。一方面,重大工程的创新主体可依据共生逻辑清晰辨识自身的关系处境,提前研判关系实例的演变趋势,适时调整创新过程中的交互行为,从而保障互利共赢的高效达成。另一方面,创新生态系统的管理主体可参照“以共同目标促进愿景共启、以正式治理促进责任共担、以非正式治理促进情景共融”的策略要点构建多维联动的治理体系,打造多方协同的治理格局,推动价值共创的工程共同体形成,更好地保障重大工程创新生态系统的良好运作和效应发挥。特别需要指出的是,尽管不同主体在治理过程中作用有异、贡献不同,但每个希望创新生态系统健康运转并使自己从中获利的主体都应积极参与到治理中来,更好依靠共生关系促成协同发展的局面。

5.3 局限与展望

受限于重大工程的复杂性和数据资料的详尽度,以上仅是围绕重大工程创新生态系统种间关系的一项探索性研究,而不足以揭示该系统中复杂关系的全部内涵。未来的研究一方面可从关系研究的广度上扩展,考察创新联合体之间或者种群内部的交互关系,亦可考虑创新主体既属商业生态系统与重大工程创新生态系统交叉时的复合关系;另一方面可在共生逻辑的方向上深化,考虑进一步探究基于共生关系的价值分配问题与交互活动扩展,比如借助共生关系链路进行的知识产权转移或交易行为。

参考文献:

- [1] Flyvbjerg B. What you should know about megaprojects and why: An overview [J]. Project Management Journal, 2014, 45 (2): 6-19.
- [2] Sheng Z. Fundamental Theories of Mega Infrastructure Construction Management [M]. Switzerland: Springer International

- Publishing, 2018.
- [3] 盛昭瀚, 薛小龙, 安实. 构建中国特色重大工程管理理论体系与话语体系[J]. 管理世界, 2019, (4): 2-16.
Sheng Zhaohan, Xue Xiaolong, An Shi. Constructing theoretical system and discourse system of mega infrastructure construction management with Chinese characteristics[J]. Management World, 2019, (4): 2-16. (in Chinese)
- [4] Aarseth W, Ahola T, Aaltonen K, et al. Project sustainability strategies: A systematic literature review[J]. International Journal of Project Management, 2017, 35(6): 1071-1083.
- [5] Lin H, Zeng S, Ma H, et al. An indicator system for evaluating megaproject social responsibility[J]. International Journal of Project Management, 2017, 35(7): 1415-1426.
- [6] Ma H, Zeng S, Lin H, et al. The societal governance of megaproject social responsibility[J]. International Journal of Project Management, 2017, 35(7): 1365-1377.
- [7] Ozorhon B, Oral K. Drivers of innovation in construction projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2017, 143(4): 04016118.
- [8] Woodhead R, Stephenson P, Morrey D. Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem[J]. Automation in Construction, 2018, 93: 35-46.
- [9] Brockmann C, Brezinski H, Erbe A. Innovation in construction megaprojects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2016, 142(11): 04016059.
- [10] Chen H, Su Q, Zeng S, et al. Avoiding the innovation island in infrastructure mega-project[J]. Frontiers of Engineering Management, 2018, 5(1): 109-124.
- [11] He Q, Luo L, Hu Y, et al. Measuring the complexity of mega construction projects in China: A fuzzy analytic network process analysis[J]. International Journal of Project Management, 2015, 33(3): 549-563.
- [12] 盛昭瀚. 管理: 从系统性到复杂性[J]. 管理科学学报, 2019, 22(3): 2-14.
Sheng Zhaohan. Management: From systematism to complexity[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(3): 2-14. (in Chinese)
- [13] 麦强, 盛昭瀚, 安实, 等. 重大工程管理决策复杂性及复杂性降解原理[J]. 管理科学学报, 2019, 22(8): 17-32.
Mai Qiang, Sheng Zhaohan, An Shi, et al. Complexity and its degradation theory of megaproject management decisions[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(8): 17-32. (in Chinese)
- [14] Kaplan S, Vakili K. The double-edged sword of recombination in breakthrough innovation[J]. Strategic Management Journal, 2015, 36(10): 1435-1457.
- [15] Laursen K, Salter A. Open for innovation: The role of openness in explaining innovation performance among U. K. manufacturing firms[J]. Strategic Management Journal, 2006, 27(2): 131-150.
- [16] Hargadon A. How Breakthroughs Happen: The Surprising Truth about How Companies Innovate[M]. Boston: Harvard Business School Press, 2003.
- [17] Vakili K, Zhang L. High on creativity: The impact of social liberalization policies on innovation[J]. Strategic Management Journal, 2018, 39(7): 1860-1886.
- [18] De Faria P, Lima F, Santos R. Cooperation in innovation activities: The importance of partners[J]. Research Policy, 2010, 39(8): 1082-1092.
- [19] Dodgson M. Collaboration and Innovation Management[M]// Dodgson M, Gann D M, Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. Oxford: Oxford University Press, 2014: 462-481.
- [20] 解学梅. 中小企业协同创新网络与创新绩效的实证研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 51-64.
Xie Xuemei. Empirical study on synergic innovative networks and innovation performance of SMEs[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(8): 51-64. (in Chinese)
- [21] 曾赛星, 陈宏权, 金治州, 等. 重大工程创新生态系统演化及创新力提升[J]. 管理世界, 2019, (4): 28-38.
Zeng Saixing, Chen Hongquan, Jin Zhizhou, et al. The evolution of megaproject innovation ecosystem and enhancement of innovative capability[J]. Management World, 2019, (4): 28-38. (in Chinese)
- [22] Adner R. Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy[J]. Journal of Management, 2017, 43(1): 39-58.

- [23] Teece D J. Business Ecosystem[M]// Augier M , Teece D J. The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management. London: Palgrave Macmillan ,2016: 1 -4.
- [24] Molles M. Ecology: Concepts and Applications [M]. New York: McGraw-Hill Education ,2015.
- [25] Ricklefs R E. The Economy of Nature (Fifth Edition) [M]. New York: W. H. Freeman ,2001.
- [26] Tatum C B. Process of innovation in construction firm [J]. Journal of Construction Engineering and Management , 1987 , 113(4) : 648 -663.
- [27] Ozorhon B , Oral K , Demirkesen S. Investigating the components of innovation in construction projects [J]. Journal of Management in Engineering ,2016 ,32(3) : 04015052.
- [28] Davies A , Gann D , Douglas T. Innovation in megaprojects: Systems integration at London Heathrow Terminal 5 [J]. California Management Review ,2009 ,51(2) : 101 -125.
- [29] Gil N , Miozzo M , Massini S. The innovation potential of new infrastructure development: An empirical study of Heathrow airport 's T5 project [J]. Research Policy ,2012 ,41(2) : 452 -466.
- [30] Davies A , Macaulay S , Debarro T , et al. Making innovation happen in a megaproject: London 's Crossrail suburban railway system [J]. Project Management Journal ,2014 ,45(6) : 25 -37.
- [31] Dodgson M , Gann D , Macaulay S , et al. Innovation strategy in new transportation systems: The case of Crossrail [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice ,2015 ,77: 261 -275.
- [32] Worsnop T , Miraglia S , Davies A. Balancing open and closed innovation in megaprojects: Insights from Crossrail [J]. Project Management Journal ,2016 ,47(4) : 79 -94.
- [33] Sergeeva N , Zanello C. Championing and promoting innovation in UK megaprojects [J]. International Journal of Project Management ,2018 ,36(8) : 1068 -1081.
- [34] Rouboutsos A , Saussier S. Public-private partnerships and investments in innovation: The influence of the contractual arrangement [J]. Construction Management and Economics ,2014 ,32(4) : 349 -361.
- [35] Salter A , Alexy O. The Nature of Innovation [M]// Dodgson M , Gann D M , Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. Oxford: Oxford University Press ,2014: 26 -52.
- [36] Chapin III F S , Matson P A , Vitousek P. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer ,2011.
- [37] Autio E , Thomas L. Innovation Ecosystems [M]// Dodgson M , Gann D M , Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. Oxford: Oxford University Press ,2014: 204 -288.
- [38] Moore J F. Predators and prey: A new ecology of competition [J]. Harvard Business Review ,1993 ,71(3) : 75 -86.
- [39] Jacobides M G , Cennamo C , Gawer A. Towards a theory of ecosystems [J]. Strategic Management Journal ,2018 ,39(8) : 2255 -2276.
- [40] Oh D S , Phillips F , Park S , et al. Innovation ecosystems: A critical examination [J]. Technovation ,2016 ,54: 1 -6.
- [41] 李 万 , 常 静 , 王敏杰 , 等. 创新 3.0 与创新生态系统 [J]. 科学学研究 ,2014 ,32(12) : 1761 -1770.
Li Wan , Chang Jing , Wang Minjie , et al. Innovation 3.0 and innovation ecosystem [J]. Studies in Science of Science , 2014 ,32(12) : 1761 -1770. (in Chinese)
- [42] 曾国屏 , 苟尤钊 , 刘 磊. 从“创新系统”到“创新生态系统” [J]. 科学学研究 ,2013 ,31(1) : 4 -12.
Zeng Guoping , Gou Youzhao , Liu Lei. From innovation system to innovation ecosystem [J]. Studies in Science of Science , 2013 ,31(1) : 4 -12. (in Chinese)
- [43] Gobble M M. Charting the innovation ecosystem [J]. Research Technology Management ,2014 ,57(4) : 55 -59.
- [44] Nambisan S , Baron R A. Entrepreneurship in innovation ecosystems: Entrepreneurs ' self-regulatory processes and their implications for new venture success [J]. Entrepreneurship: Theory and Practice ,2013 ,37(5) : 1071 -1097.
- [45] Yin P L , Davis J P , Muzyrya Y. Entrepreneurial innovation: Killer apps in the iPhone ecosystem [J]. American Economic Review ,2014 ,104(5) : 255 -259.
- [46] Adner R , Kapoor R. Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations [J]. Strategic Management Journal ,2010 ,31(3) : 306 -333.
- [47] Mantovani A , Ruiz-Aliseda F. Equilibrium innovation ecosystems: The dark side of collaborating with complementors [J].

- Management Science ,2016 ,62(2) : 534 – 549.
- [48] Van Marrewijk A , Clegg S R , Pitsis T S , et al. Managing public-private megaprojects: Paradoxes , complexity , and project design [J]. International Journal of Project Management , 2008 , 26(6) : 591 – 600.
- [49] 李 迁 , 朱永灵 , 刘慧敏 , 等. 港珠澳大桥决策治理体系: 原理与实务 [J]. 管理世界 , 2019 , (4) : 52 – 60.
Li Qian , Zhu Yongling , Liu Huimin , et al. Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge decision-making governance system: Principles and practice [J]. Management World , 2019 , (4) : 52 – 60. (in Chinese)
- [50] 盛昭瀚 , 程书萍 , 李 迁 , 等. 重大工程决策治理的“中国之治” [J]. 管理世界 , 2020 , (6) : 202 – 212.
Sheng Zhaohan , Cheng Shuping , Li Qian , et al. “Governance of China” in decision-making governance of major projects [J]. Management World , 2020 , (6) : 202 – 212. (in Chinese)
- [51] 乐 云 , 李永奎 , 胡 毅 , 等. “政府 - 市场”二元作用下我国重大工程组织模式及基本演进规律 [J]. 管理世界 , 2019 , (4) : 17 – 27.
Le Yun , Li Yongkui , Hu Yi , et al. The organizational models and evolving patterns for mega projects in China: A perspective from the co-function of “governments and markets” [J]. Management World , 2019 , (4) : 17 – 27. (in Chinese)
- [52] Qiu Y , Chen H , Sheng Z , et al. Governance of institutional complexity in megaproject organizations [J]. International Journal of Project Management , 2019 , 37(3) : 425 – 443.
- [53] Ahola T , Ruuska I , Arto K , et al. What is project governance and what are its origins? [J]. International Journal of Project Management , 2014 , 32(8) : 1321 – 1332.
- [54] Gioia D A , Corley K G , Hamilton A L. Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology [J]. Organizational Research Methods , 2013 , 16(1) : 15 – 31.
- [55] Yin R K. Case Study Research: Design and Methods (Fifth edition) [M]. Los Angeles: SAGE , 2014.
- [56] 黄少安 , 韦 倩. 合作与经济增长 [J]. 经济研究 , 2011 , (8) : 51 – 64.
Huang Shaoan , Wei Qian. Cooperation and economic growth [J]. Economic Research Journal , 2011 , (8) : 51 – 64. (in Chinese)
- [57] Seo H , Chung Y , Yoon H D. R & D cooperation and unintended innovation performance: Role of appropriability regimes and sectoral characteristics [J]. Technovation , 2017 , 66: 28 – 42.
- [58] 寿柯炎 , 魏 江. 后发企业如何构建创新网络——基于知识架构的视角 [J]. 管理科学学报 , 2018 , 21(9) : 23 – 37.
Shou Keyan , Wei Jiang. How to build innovation network for latecomers: From the perspective of knowledge configuration [J]. Journal of Management Sciences in China , 2018 , 21(9) : 23 – 37. (in Chinese)
- [59] Chen H , Jin Z , Su Q , et al. The roles of captains in megaproject innovation ecosystems: The case of the Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge [J]. Engineering , Construction and Architectural Management , 2021 , 28(3) : 662 – 680.
- [60] Ozorhon B. Analysis of construction innovation process at project level [J]. Journal of Management in Engineering , 2013 , 29(4) : 455 – 463.
- [61] Anvuur A M , Kumaraswamy M M. Conceptual model of partnering and alliancing [J]. Journal of Construction Engineering and Management , 2007 , 133(3) : 225 – 234.
- [62] Gulati R , Puranam P , Tushman M. Meta-organization design: Rethinking design in interorganizational and community contexts [J]. Strategic Management Journal , 2012 , 33(6) : 571 – 586.
- [63] Ryall M D , Sampson R C. Formal contracts in the presence of relational enforcement mechanisms: Evidence from technology development projects [J]. Management Science , 2009 , 55(6) : 906 – 925.
- [64] Schepker D J , Oh W Y , Martynov A , et al. The many futures of contracts: Moving beyond structure and safeguarding to coordination and adaptation [J]. Journal of Management , 2014 , 40(1) : 193 – 225.
- [65] Goo J , Kishore R , Rao H R , et al. The role of service level agreements in relational management of information technology outsourcing: An empirical study [J]. MIS Quarterly: Management Information Systems , 2009 , 33(1) : 119 – 146.
- [66] Lu P , Guo S , Qian L , et al. The effectiveness of contractual and relational governances in construction projects in China [J]. International Journal of Project Management , 2015 , 33(1) : 212 – 222.

- [67] Heide J B , John G. Do norms matter in marketing relationships? [J]. *Journal of Marketing* ,1992 ,56(2) : 32 - 44.
- [68] Biesenthal C , Wilden R. Multi-level project governance: Trends and opportunities [J]. *International Journal of Project Management* ,2014 ,32(8) : 1291 - 1308.
- [69] Dyer J H , Singh H. The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage [J]. *Academy of Management Review* ,1998 ,23(4) : 660 - 679.
- [70] Cao Z , Lumineau F. Revisiting the interplay between contractual and relational governance: A qualitative and meta-analytic investigation [J]. *Journal of Operations Management* ,2015 ,33 - 34: 15 - 42.
- [71] 陈宏权,曾赛星,苏权科. 重大工程全景式创新管理——以港珠澳大桥工程为例 [J]. *管理世界* ,2020 ,(12) : 212 - 224.
- Chen Hongquan , Zeng Saixing , Su Quanke. Towards management of panoramic innovation in megaprojects: The case of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge project [J]. *Management World* ,2020 ,(12) : 212 - 224. (in Chinese)
- [72] 盛昭瀚. 管理理论: 品格的时代性与时代化 [J]. *管理科学学报* ,2019 ,22(4) : 1 - 10.
- Sheng Zhaohan. Management theory: Epochal nature and modernization of theoretical character [J]. *Journal of Management Sciences in China* ,2019 ,22(4) : 1 - 10. (in Chinese)
- [73] Brunet M , Forgues D. Investigating collective sensemaking of a major project success [J]. *International Journal of Managing Projects in Business* ,2019 ,12(3) : 644 - 665.
- [74] West J , Salter A , Vanhaverbeke W , et al. Open innovation: The next decade [J]. *Research Policy* ,2014 ,43(5) : 805 - 811.
- [75] Gomes L A D V , Facin A L F , Salerno M S , et al. Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution , gaps and trends [J]. *Technological Forecasting and Social Change* ,2018 ,136: 30 - 48.

Logic of symbiosis in the megaproject innovation ecosystem and relevant governance

*JIN Zhi-zhou*¹ , *CHEN Hong-quan*² , *ZENG Sai-xing*^{1*}

1. Antai College of Economics and Management , Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200030 , China;

2. Sino-US Global Logistics Institute , Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200030 , China

Abstract: The cooperation of multiple actors for innovation has become the norm in megaprojects , but there exists limited research on the interrelationships among them. From the perspective of innovation ecosystems , the paper conducts a case study of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge project to deepen the understanding of the main relationship among various innovators involved in megaprojects. The paper argues that the interspecific relationship of participants in the megaproject innovation ecosystem should be recognized as symbiosis , and finds its four typical characteristics in participants' interaction process: Local symmetry in relation structure , dynamic diversity in interaction content , dual feedback in interest creation , and deep weakening in activity boundaries. In addition , a targeted governance strategy framework of “vision co-building , responsibility allocating , and feeling sharing” is proposed to promote the efficient operation of the innovation ecosystem and the co-prosperity of innovators. These findings reveal some key details in the black box of the innovation process in megaprojects , and provide a theoretical basis for optimizing the innovation practice in terms of interrelationships.

Key words: megaproject; innovation ecosystem; symbiosis; governance strategy; case study