

新型举国体制下复杂重大工程创新研究 ——基于创新生态理论的视角

马雪梅¹, 孙国斌², 杨风霞^{1✉}, 伊佳³, 薛毅², 余兵⁴

(1. 中国航天系统科学与工程研究院, 北京 100048;

2. 中国航天科技集团有限公司, 北京 100048;

3. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076;

4. 上海宇航系统工程研究所, 上海 201109)

摘要: 新型举国体制以现代化重大工程为战略抓手, 是重大工程科技创新的重要法宝。重大工程具有参与主体多元、多学科交叉融合、产业链长、建设周期长、技术复杂度高、知识关联性强、安全和质量标准高等特性, 具备生态系统的典型特征, 即复杂性、交融性和动态演化。基于创新生态理论视角研究复杂重大工程创新对重大工程的实施具有重要理论意义和现实价值。对复杂重大工程创新生态系统的内涵及构成进行解析, 侧重探讨创新主体之间的依赖和演变关系, 突出大型央企核心引领者和平台建设者的角色定位, 强调以“共赢”理念为核心, 制定发展战略和提升创新能力策略, 以提升大型央企的资源整合和协同推进能力。在新型举国体制下, 探索提出大型央企需顺应新兴技术发展方向, 协同生态系统中的配套主体共同创新实现生态系统整体跃迁, 优化重大工程平台, 推动复杂重大工程高质量发展。

关键词: 复杂重大工程; 创新生态系统; 新型举国体制; 大型央企

中图分类号: F424

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2020)02-0142-13

1 引言

在知识经济时代下, 市场环境的变化、信息技术的兴起、用户需求的复杂多变、技术更迭加速等系列变化均对组织管理模式提出挑战, “生态系统”理论的兴起与发展为创新管理开辟了一条新路径。英国生态学家 Tansley 于 1935 年提出了“生态系统”的理论范畴, 认为在自然界中任何生物群落都不是孤立存在的, 它们与其生存的环境相互依存、相互作用, 共同形成一个统一整体, 即生态系统(ecosystem)。自 20 世纪 70 年代以来, 学者们开始尝试应用生态系统的理论对经济管理

问题进行研究和分析^[1-4]。

重大工程作为国家战略性工程, 是经济发展程度的重要标志, 代表科技进步水平。改革开放 40 年来, 随着中国经济实力和综合国力的提升, 重大工程建设举世瞩目, 如两弹一星、载人航天、探月工程等^[5]。区别于传统意义上的一般工程, 重大工程拥有创新生态系统的典型特征, 即复杂性和动态演化性等。当前学者们多从重大工程的创新组织模式^[6]和管理理论演化^[7]角度开展研究。重大技术工程创新是多学科技术的交叉、集成、协同成果^[8], 包含了创新主体、创新文化、创新

收稿日期: 2020-01-06; 修回日期: 2020-03-20

作者简介: 马雪梅(1985-), 女, 博士, 高级工程师, 研究方向为宇航科学与工程、创新管理。

孙国斌(1969-), 女, 博士, 研究员, 研究方向为创新管理。

✉ 通讯作者: 杨风霞(1994-)女, 硕士, 工程师, 研究方向为宇航科学与工程、创新管理。E-mail: 1260534270@qq.com

管理机制、创新活动、创新资源等要素^[9]。现有关于重大工程的研究多聚焦于静态单一视角,侧重于研究单个创新主体通过创新管理方式实现重大工程技术创新,缺乏对复杂重大工程创新与发展系统、动态、体系化的研究。

因此,从创新生态系统视角思考如何推进复杂重大工程建设,对提升国家创新能力具有重要现实意义。党的十九届四中全会提出,要“构建社会主义市场经济条件下关键核心技术攻关新型举国体制”。分析已有文献发现,学者们大多从企业、区域或国家创新体系的视角对复杂重大工程开展研究^[10, 11],鲜有基于创新生态理论的视角,研究新型举国体制下的复杂重大工程,难以为新时代重大工程创新管理实践提供理论支撑。基于此,本文从创新生态系统的理论出发,提出重大工程创新生态系统的内涵及构成,围绕复杂重大工程建设的特点,探究复杂重大工程创新主体的重要使命,依托新型举国体制,探索大型央企创新和发展路径,推动复杂重大工程高质量发展的转型升级,为复杂重大工程组织管理实践提供理论支撑。

2 复杂重大工程创新生态系统的内涵和范畴

2.1 创新生态系统

“创新生态系统”是管理者与研究学者在运用创新生态理论管理与研究国家、企业等创新发展过程中逐步形成的。2003年,美国总统科技顾问委员会(PCAST)首次提出“创新生态系统”的概念,2004年发布的《维持国家创新生态系统:保持科技竞争力》报告中明确了“创新生态系统”的定义^[12],为促进美国国力发展,在科技发明家、技术人才和创业者、世界水平的研究型大学、研发中心、风险资本产业等要素间所建立的一种创新协调机制。自此,立足于生态视角进行创新理论、创新管理研究已成为一次范式转变^[13, 14],由

关注系统要素的构成向关注要素之间、系统与环境间的动态过程转变^[15-17]。Ron Adner立足于企业角度,指出创新生态系统是一种协同整合机制^[18],以企业为创新驱动发展的主体,形成的创新整合能力是影响企业市场拓展、产品技术创新发展的关键要素^[19]。创新生态系统的关键核心在于各主体层次的创新网络间相互作用的价值创造^[20, 21],是对系统内各要素“集合”的创新,创新生态系统创造的价值远大于单个企业的价值。创新生态系统的主体一般包括创新者、供应商、消费者等利益相关者,以及提供基础设施或互补性服务的组织,创新主体间的关系呈现多元化、流动性强等特点^[22]。

本研究认为,创新生态系统具体是指在一定时间、空间范围内,产业上下游参与者、政府、高校、科研院所、中介机构等创新主体,以创新发展、实现“共赢”为共同愿景和目标,搭建协同创新平台,整合各类创新资源,营造适合创新的网络环境,衍生出新的知识、技术、文化等,形成一个动态演化的开放复杂系统。创新生态系统侧重探讨创新主体之间的依赖和演变关系,突出强调动态性、自组织性的特征,其与创新系统是“动态”与“静态”创新系统的区别。

2.2 重大工程

重大工程是一类涉及范围广、投资规模大、复杂性高、实施周期长^[23],在发展上具有优先权,是多学科交叉技术^[24]、方法、理论的有机集成与创新的大型公共工程,对政治、经济、社会、科技发展、环境保护、公众健康与国家安全具有重要影响^[25]。重大工程所涉及行业广泛,从基础材料扩展到装备制造、节能环保及电子商务等。各创新主体间交互融合、动态演化^[26],从传统的工程设计、承包、监理延伸至工程装备制造商、新能源新材料开发者、智能化数据服务商等。总体来看,重大工程呈现出创新生态系统的典型特征,即复杂性、交融性和动态演化性等。

2.3 复杂重大工程创新生态系统

本研究立足于创新主体之间联动的微观过程, 基于上述对重大工程内涵与创新生态系统内涵的理解以及中国当前重大工程发展现状, 对重大工程创新生态系统内涵进行界定, 即在“市场—政府”协同作用下, 以需求为牵引, 以改变社会结构为战略目标, 服务于国家竞争力、国家安全战略、社会经济发展需要, 通过创新政策引导和创新管理机制建立, 形成良好的创新环境, 各创新主体(包括所有参与大型复杂工程的设计、建设和运营的企业、供应商、高校、研究院以及其他主体)间紧密联系、交互演化^[27, 28], 有效协同创新资源, 衍生出“基础研究-应用研究-前期技术开发-技术集成-工业化应用-技术升级改造-基础研究”闭环式创新链条, 形成多主体、非线性、动态平衡的复杂网络系统。

复杂重大工程创新生态系统的形成贯穿于技

术产业化的整个过程, 是多学科技术交叉集成形成“特定产品”继而产品集成互补形成“特定产业”的过程。复杂重大工程创新生态的核心层是由核心企业为主体的企业生态群^[29], 包括参与生产建设的产业链上下游的各个企业, 供应商、设计方、建设方、运营方, 负责重大工程技术的集成创新与应用转化; 中间层是围绕在企业生态群周围, 由高校、科研院所以及研发企业所构成的产学研生态群, 负责为重大工程创新提供科学和技术支撑; 最外层是围绕着产学研生态群, 由政府、科技中介、金融机构等所构成的外部生态群, 负责建立完善创新文化、创新政策、创新制度, 为重大工程创造良好创新环境, 形成一个完整的生态系统。各创新主体的不断聚集, 参与复杂重大工程的企业、科研院所、大学等机构的聚集, 逐渐形成一个稳定、持续的竞争优势集合体(图1)。

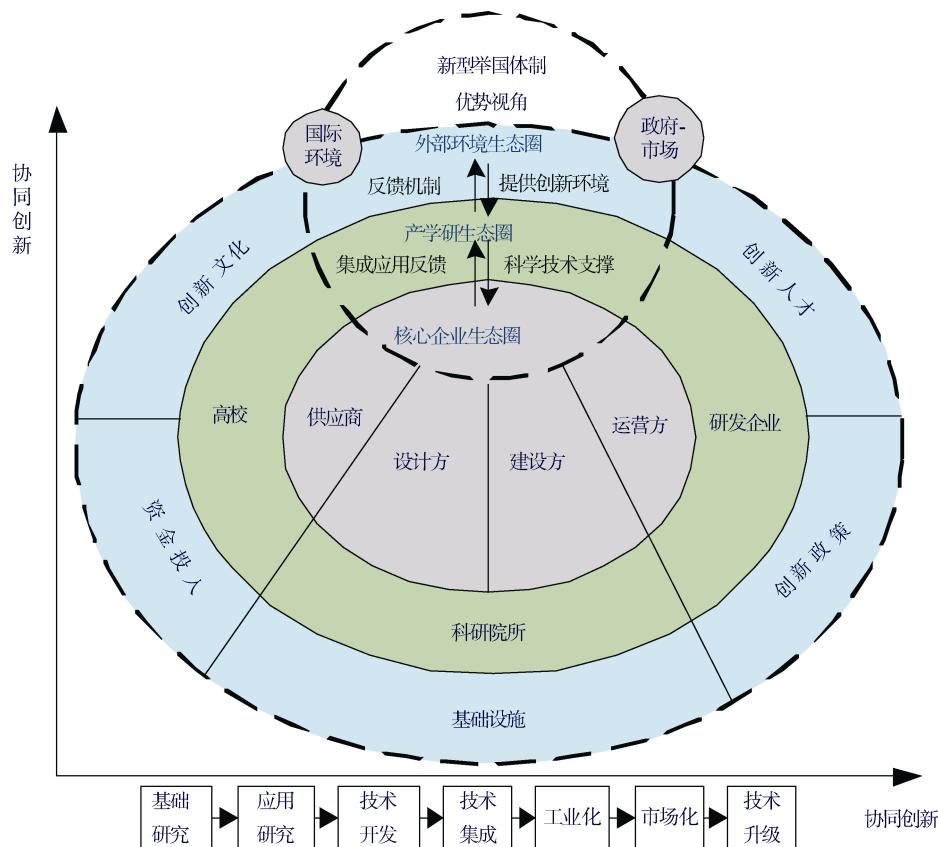


图1 复杂重大工程创新生态系统结构图

3 复杂重大工程创新生态系统的主要特征

区别于传统意义上的一般工程,新型举国体制下的重大工程的战略目标是改变社会结构,一般项目的技术创新体系已难以满足重大工程创新需求,亟需构建符合重大工程发展的创新系统。重大工程本身具有参与主体多元、多学科交叉融合、产业链条长、建造和运营过程周期长、技术复杂度高、知识关联性强、安全和质量标准高、各环节高效协同运作等属性和特点,因此,复杂重大工程创新生态系统的主要特征是技术复杂程度。复杂重大工程是技术综合配套交叉集成的成果,在应用过程中对配套技术基础、硬件设施要求较高,若技术差距较大或硬件设施配套不足,会阻碍技术创新,造成创新壁垒。复杂重大工程创新生态系统侧重探讨创新主体之间的依赖和演变关系,具体表现为复杂性、动态演化性、开放性、协同性、路径依赖性。

3.1 复杂性

重大工程创新生态系统的复杂特性主要表现在创新主体多元化、创新主体在全生命周期不同阶段呈现不同特征两方面。在复杂重大工程建设过程中,创新主体不断涌现,每个创新主体都有自身生态势和生态位,技术创新领域的跨度和范围、创新能力都各不相同,围绕创新链条的不同环节开展重大工程科技创新活动,均发挥着至关重要的作用,各主体间有效协同,实现优势互补和资源合理利用。各创新主体也在全生命期不同阶段以自组织、自调节和自适应的方式^[30],通过合作与相互依赖,进行创新资源和要素的集成整合,提升重大工程科技创新效率,促进重大工程技术创新不断转化升级。同时,重大工程创新主体与创新环境频繁信息交互^[31],形成创新系统并不断耦合、演化,提升创新能力。

3.2 动态演化性

复杂重大工程创新生态系统的各创新主体在

创新活动不同阶段呈现出共生竞合、交互演化、动态迁移的特征。

(1) 随着新兴技术的不断涌现,重大工程创新生态系统核心创新主体呈现出共生、竞争、合作关系^[32]。重大工程技术创新是多学科技术交叉融合的成果,高等院校、科研院所、企业之间相互依赖,共同合作努力,解决重大工程中的技术瓶颈,实现技术突破、技术成果转化交流和信息共享;同时各方也存在着利益竞争关系,都期望通过自身特有技术完成重大工程。

(2) 重大工程创新生态系统是不断演化的,核心主体为适应系统内、外环境的演变,在合作与发展中不断相互适应、相互转化,促进复杂重大工程创新生态系统平衡、稳健、有序发展^[33]。同时,在重大工程生态系统的平衡性被打破时,生态系统也会通过自我调整,再次达到新的平衡状态。

(3) 同一创新主体在不同重大工程创新生态系统的所处的生态群落不同,进行的创新活动与所承担的创新职能、创新技术存在差异,造成其生态位和生态势的不同,技术创新领域的跨度和范围、创新能力表现出异质性,决定了其所处地位随着不同项目动态迁移的特性。

3.3 开放性

在全球化背景下,任何一个创新生态系统都不是孤立封闭的“生态圈”,而是存在广泛联系的。重大工程创新生态系统是由众多参与者共同形成动态有机的共生体^[34]。在以市场环境下,创新生态系统以终端用户为中心的生态特征凸显。通过生态的合作创新为最终用户创造价值。重大工程的核心主体将以“产品独特需求和用户个性化需求”为标准,制定发展战略。

同时,由于复杂的特性,重大工程创新生态系统的任一核心主体均无法单独为用户提供的解决方案。面对重大工程技术创新的复杂过程,核心主体开始寻求外部的机构或企业建立创新网

络, 进行广泛的战略集成与整合, 以加快创新的速度, 提升创新的效率及效益。

3.4 协同性

复杂重大工程创新生态系统的演化, 实质上是系统与外部环境以及系统内部创新主体、创新资源、创新活动与创新管理机制等要素间的协同演化共生^[35]。复杂重大工程在建设、运营和管理的过程中涉及到众多关联性强的参与者和加长的产业链, 供应商、中间商和合作机构之间有极强的相互依赖性。实施全过程控制和结果控制, 需在核心主体内部及之间建立零误差的、无缝隙的对接, 形成协同共生关系, 以更高的效率来完成重大工程建设。除了多主体协同外, 还需要多学科、多领域、多专业和多来源的知识高度融合, 才能研制出满足用户需求的重大工程。

3.5 路径依赖性

复杂重大工程在决策、融资、建设和运营等方面都具有极大的挑战, 一旦失误或出错, 重大工程建设发展将面临重大损失, 并且会对与工程密切相关的社会、经济、自然环境造成巨大危害。创新主体在做出路径选择后, 在未知发展情况下, 将大量的人力、物力、财力投入其中, 会产生两种结果。一种是在重大工程建设论证阶段, 创新主体若发现当前路径的不适宜性, 但由于前期巨大投入成本, 很难决策是否改变当前发展路径, 即沉没成本导致重大工程创新生态系统的路径依赖性特点; 而另一种是重大工程创新生态系统中的创新主体所选发展路径适宜当前环境, 创新主体凭借关键核心技术创新优势, 大力发展一系列的应用与合作研究, 并产生正反馈效应, 促进重大工程创新生态系统沿着既定路径发展演化。

4 新时代复杂重大工程创新生态系统核心主体——大型央企

党的十九届四中全会强调必须坚持社会主义

基本经济制度, 充分发挥市场在资源配置中的决定性作用, 加快建设现代化经济体系。明确建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系, 提升产业基础能力和产业链现代化水平。近年来, 涌现出大批优质核心企业, 通过关键核心技术研发攻关, 突破了重大工程发展的技术瓶颈, 研制建造了世界首颗量子科学实验卫星“墨子号”、中国首颗 X 射线天文卫星“慧眼”、遨游星汉的天宫二号、“中国天眼”500 米口径球面射电望远镜^[36]等。这些重大工程多数分布在关系国家安全和国民经济命脉的重要行业和关键领域, 围绕复杂重大工程的研发、生产和建设聚集了政府、多家企业、科研院所、高等院校等共同参与, 明确建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系, 攻克产业核心技术, 实现整个生态系统产业链上相关企业共同发展, 使重大工程建设取得成功, 是集中力量办大事的独具特色的新型举国体制优势的体现。

从创新生态视角看复杂重大工程, 系统内的创新主体众多, 依附于创新生态系统创造价值^[37], 进行重大工程技术创新, 关键核心技术决定了系统内定然存在核心主体, 主导整个生态系统的发展^[38]。一般情况下, 复杂重大工程创新生态系统以大型央企为创新主体, 是整个生态系统的创新架构引领者和平台领导者, 掌握复杂重大工程的核心架构技术和关键技术, 其他企业均需要依附在大型央企的架构之上来寻找进入的机会^[39]。核心主体——大型央企的战略表现为以用户主导, 从需求出发, 引导创新生态系统的参与者进行共同创新的一种范式。通过以营造创新生态系统为目标战略制定, 整合和协同创新资源、扶持带动部分中小企业共同创新, 实现“双赢”或“多赢”的目标和利益最大化(图 2)。

以载人航天、探月工程等航天重大工程为例, 中国航天重大工程已初步形成了以政府、军队有关部门为主管, 以航天科技和科工两大集团为核

心,各专业配套单位提供技术支撑,高校、科研院所等深度参与,有机构成面向航天复杂重大工程的产学研相结合的军民融合创新生态系统^[40]。其中,航天科技集团是航天复杂重大工程的主要承研者之一,是航天重大工程系统创新的核心主体,目前航天科技集团已建立了面向型号任务及重大工程和军转民的航天技术创新系统。

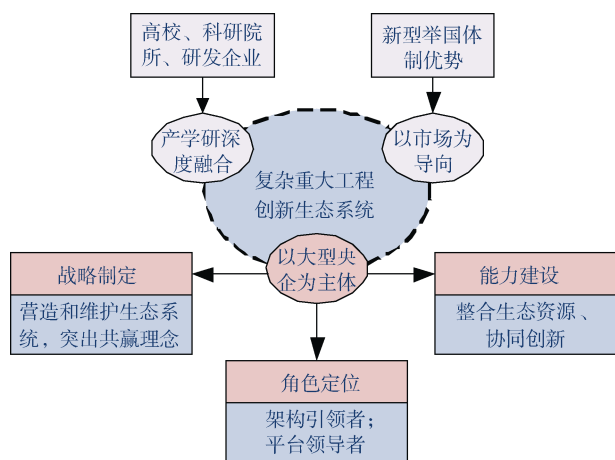


图2 复杂重大工程创新生态系统的核心主体

4.1 大型央企的角色定位

在复杂重大工程中,负责总体设计的大型央企通常是创新生态系统中的核心主导企业,掌握终端产品的核心架构技术,对终端产品的价值具有重大贡献^[41]。然而,重大工程关键技术创新还取决于外部环境的变化,这就要求企业嵌入与其他生态成员共同形成相互依赖的创新生态系统,导致核心主体的角色定位由绝对主导者演变成基于创新生态系统的整体架构引领者和平台领导者。

(1) 核心主体——大型央企在创新生态系统中是以掌握复杂重大工程整体架构技术为前提的架构引领者,其他创新主体均依附于整体架构进入产业。重大工程是一个复杂系统,局部设计的变动会影响全系统性能。在重大工程创新生态系统中,大型央企在掌握重大工程整体架构技术的前提下,逐步形成系统总体设计和管理的能力,

不断创新项目建设管理协同方法,统筹制订涉及复杂工程安全、质量、进度、成本、技术和环境等指标,促使合作伙伴、上下游企业、供应商和分包团队围绕大型复杂工程的共同目标,在资源保障、项目建设等方面实现协同^[42],发挥自身架构技术和系统设计与集成能力的引领作用。作为架构引领者,核心主体的另一重要职责在于统一工程标准,实现对重大工程产业链上下游企业的统一管理。以终端用户的视角,与供应商和合作伙伴共同优化双方的流程并实现流程对接,将质量标准和要求融入到创新生态系统活动流程中^[43]。基于重大工程整体架构技术,核心主体有效整合科研、设计、制造、建设、运行、管理等不同生态参与者的力量,共同构建统一指挥、集约管控的创新生态系统,建立保障创新生态系统实现预定目标、高效协同运转的决策机制,为重大工程技术创新提供保障,带动整个产业链上的相关企业共同发展。

(2) 核心主体——大型央企是复杂重大工程创新生态系统的平台领导者。未来产业发展趋于“平台化”,所有科学技术创新均是基于平台的生态系统创新^[44],是基于用户需求的创新。对于复杂重大工程,建立标准化、信息化和专业化协同的平台是创新生态系统的核心企业的关键角色。大型央企和其他配套企业合作完成重大工程建设开发,形成创新主体互利共赢的创新生态系统。作为平台领导者,大型央企需要具有前瞻性,能够发掘市场与客户的潜在需求,发挥技术主导作用。

4.2 大型央企的战略制定

创新生态系统的概念带来了战略层面的改变,企业在制定战略时关注生态系统的健康状态,是更高层次的战略思想,体现了共赢理念。复杂重大工程创新生态系统的核心企业的战略制定应建立在复杂重大工程的全产业链、全生命周期的“大工程”视野之上,从创新生态的视角来设计和

制定战略^[45], 围绕创新生态的构建和维护来打造生态战略, 打破传统单一强调对企业自身战略的关注, 更加强调创新主体间的互补和合作。

(1) 核心主体——大型央企通过营造和维护生态系统, 获取战略竞争优势。大型央企营造生态系统需要做好顶层设计和统筹谋划, 各参与企业间统一目标、统一计划、统一指挥, 将培养产业链上下游企业的能力作为企业战略一部分, 以技术使用权转让、联合研发、长期协议、战略合作伙伴关系等方式^[46], 促进复杂重大工程创新主体共同发展, 逐步提高和带动整个产业的技术创新能力, 有效打破企业间壁垒。

(2) 各主体间的竞争由企业之间转变成生态系统之间的竞争, 战略制定突出共赢理念。在复杂重大工程创新生态系统中, 生态系统之间的竞争表现在以大型央企为核心的上下游企业、高校和科研院所集聚而成的主体间的竞争。大型央企面向市场需求, 结合自身核心竞争力, 形成互补创新生态网络, 从单一的企业竞争转变成为生态竞争^[47]。核心企业的战略制定, 强调通过合作实现“双赢”或“多赢”目标, 强调共赢的基础上, 实现每个合作成员的利益最大化。创新生态系统是核心企业间通过协作的方式, 结合各自的技术优势, 同利益相关者以及创新生态系统的参与者相互作用以共同促进创新, 形成紧密合作、面向用户的战略方案。

4.3 大型央企的能力建设

重大工程创新生态系统的核心主体与其他主体通过技术互补、资源共享, 共同制定重大工程技术建设方案。从创新生态系统的视角解构核心主体的能力建设, 整合生态资源和协同生态主体共同创新的能力是核心主体在创新生态战略中获得竞争优势的关键。复杂重大工程的创新主体多元, 在市场经济环境下, 整合协同难度增大^[48]。因此, 有效整合和协同创新是核心主体能力建设的重要部分。

(1) 核心主体需要具备整合生态资源的能力。复杂重大工程创新生态系统包含了若干子系统, 核心主体需要协同整合各系统的资源, 形成一体化优势, 保持核心竞争能力。核心主体整合资源的能力和在产业链中参与环节的数量与深度, 是企业竞争力的重要体现。在复杂重大工程创新生态系统中, 核心主体负责运营和维护生态系统, 整合生态资源, 这就要求核心主体进一步加强资源的优化配置、高效利用和开放共享, 实现内外部资源有机结合和优势互补, 提升复杂重大工程的创新水平, 避免创新生态系统中的“孤岛”现象, 持续提升核心业务的产业地位, 形成结构优化、功能完善、附加值高、竞争力强的创新生态系统, 构筑在国内乃至全球的领先优势。

(2) 核心主体需要具备协同创新的能力。协同有助于复杂重大工程的管理, 有助于全产业链的形成。核心主体在创新生态中具有协同管理产业链的能力。市场竞争环境的日益复杂以及企业可用资源的有限性等因素使得核心主体势必要在创新方面开展更加广泛的协同。在此过程中, 创新生态系统的核心主体需要带领相关的高校、研究机构和配套企业实现协同创新。协同创新需要发挥核心企业的协同领导力, 这种能力实质包括: 协同的领导力、知识共享的能力、风险共享的能力、利益共享的能力。

5 依托新型举国体制优势, 探索大型央企创新和发展路径, 推动重大工程高质量发展

全球的知识创造和技术创新的速度明显加快, 以创新技术为基础的产业变革呈加速态势。科技创新与产业变革的深度融合, 改变着经济社会的发展形态, 是全球经济发展最为突出的特征之一。重大工程作为产业技术创新的支撑力量, 越来越多的国际企业渗入到创新生态系统中。因此, 可持续发展和高质量发展对复杂重大工程提出了新要求。大数据、人工智能、区块链等新兴

信息技术和产业变革为复杂重大工程创新生态系统带来了新机遇,技术变革导致技术创新范式的改变,影响创新生态系统的组织结构和发 展路径,以及生态系统主体之间的共生竞合关系和科技创新路径。中国正处在产业结构转型的关键期,发挥“市场—政府”协调作用同社会主义制度优越性有机结合的新型举国体制优势十分关键^[49]。探索建立融合信息技术的复杂重大工程创新生态系统中大型央企突破性创新路径,丰富复杂重大工程的管理方式,推动复杂重大工程高质量发展的转型升级。

5.1 探索建立新型举国体制,推动复杂重大工程创新生态系统协同创新

(1) 新型举国体制符合中国国情,具有比较优势。新中国成立以来的重大科技工程多数发挥了举国体制法宝优势,“两弹一星”、载人航天、探月工程等重大工程是探索建立新型举国体制的实践。发挥市场经济条件下新型举国体制优势,是实施国家重大科技工程的“金钥匙”。新型举国体制是国家治理体制的新变革和新的政治体制安排,表现为制度性的组织方式,充分体现了与时俱进的创新性。新型举国体制依托中国特色社会主义制度,具有政治优势;兼顾市场决定资源配置和更好发挥政府作用,具有竞争优势;提倡政产学研用相结合,具有协同优势;凝神聚力于加强科技创新,具有战略优势^[50]。

(2) 复杂重大工程创新生态系统协同攻关需要发挥新型举国体制优势。重大工程关乎国家发展和国家安全,具有技术复杂、涉及面广、动态演化的复杂特性,是一项系统工程,因此对探索建立市场经济条件下的新型举国体制提出新要求。在复杂重大工程创新生态系统中,充分发挥新型举国体制优势,将“市场—政府”协调作用同社会主义制度优越性有机结合,有效聚集人力、财力、物力,为重大工程科技创新增添强劲动力。

为充分发挥新型举国体制在复杂重大工程创

新生态系统中的助推作用,重点从以下三个方面着手。一是明确目标与实施过程紧密结合。复杂重大工程的战略目标是改变社会结构,重点任务是推动科技创新。因此,要重点突出强调复杂重大工程创新生态系统中科技创新的地位^[51],在实践上抓紧实施已有的重大工程,攻克关键核心技术,催生新的产业,推动社会变革。二是将社会主义制度优越性与市场资源配置主导作用紧密结合。在创新生态系统中,不断完善社会主义市场经济体制,既要发挥社会主义制度优越性,又要发挥市场经济的优势。坚持全面深化改革,进一步扩大对外开放,为市场经济发展开辟新道路。三是推动集中力量、协同创新与重大工程科技创新紧密结合^[52]。新型举国体制以“集中力量、协同创新”为基础和前提,复杂重大工程创新生态系统的创新主体是以央企为主,推进产学研深度融合,从而带动万众创新,实现创新驱动发展。

5.2 新时期复杂重大工程创新生态系统核心主体——大型央企的创新和发展路径

复杂重大工程铸就了中国现代工业的辉煌,成为现代工业体系的重要基础。通过深度调研和梳理大型央企发现,大型央企获得成功的关键原因是在制定和执行企业战略时,都不约而同地将创新生态系统的思想整合到企业的战略框架中,提出“构建围绕复杂重大工程建设的创新生态系统战略”这一顶层规划。同时,中国对产业领域发展的迫切需求,以及复杂重大工程关键核心技术受制于人的局面,驱动重大工程科技创新。在中国创新驱动发展战略下,大型央企需要顺应新兴技术发展方向,通过协同生态系统中的配套主体共同创新打破国外对中国市场的封锁垄断,实现生态系统整体跃迁,利用新兴技术,优化重大工程平台,从而带动重大工程科技的自主创新,促进相关产业的集群和区域经济的发展,解决好中国发展中的不平衡不充分问题。

(1) 复杂重大工程创新生态系统中的大型央企需要适应新兴技术创新发展方向, 将技术变革的方向融入企业自身发展战略。每一次的科技革命都会成为新一轮经济增长和繁荣的重要引擎, 为很多企业创新和发展带来机遇。目前, 中国多数企业属于“后发追赶”范式, “先发企业”已确立并主导着产业技术范式和核心技术演进的规律, 在市场中占领较大份额。只有抓住技术变革机遇, 才能实现产业追赶, 推动国家经济赶超^[53]。然而, 中国制造业中很多产业在技术追赶上的差距缩小时也会因重大技术急剧变革而再次落后从而形成新的后发劣势。因此, 企业在后发追赶过程中, 应密切地关注前沿技术的趋势和方向, 是企业生态战略制定中不可缺少的一个部分。对于中国大型央企, 在引导构建创新生态系统的背景下, 将新技术与创新生态系统综合考虑, 是应对技术变革的最佳路径。通过互联网、大数据、云计算等智能技术, 复杂重大工程创新生态系统的各主体将进一步升级协作, 有效整合创新生态系统中的各创新要素, 使之发生更为深刻紧密的关系。一方面, 企业可以利用技术变革的机会完善技术赶超的竞争策略, 另一方面也可以从构建互补性资产和培育企业生态系统入手, 获得新技术不可或缺的互补性资源, 从而获得竞争优势, 把握技术变革带来的行业变革机会, 进而推动中国产业结构和经济模式的转型。

(2) 新时代强调“复杂重大工程创新生态系统整体跃迁”的实现路径与配套体系建设, 大型央企需要与各创新主体融合、渗透^[54]。单一企业的成功不是整个工程系统的成功, 只有生态系统的可持续发展才能保证所有参与者的可持续, 因此亟需完善整个系统的整体创新和跃迁及配套体系的建设。大型央企与创新主体的相互融合和渗透将成为推动创新的增长点。大型央企既要实现企业内部的设备、信息、物流、资金、技术等在不同阶段各个环节的融合, 同时也要实现与产业

链上下游、高校、科研院所、供应商等合作方在不同阶段的融合^[55], 以应对外部的挑战, 获得长远、可持久的竞争优势。

(3) 复杂重大工程创新生态系统强调平台的概念, 大型央企需要重视并肩负建设重大工程平台的责任。在互联网和信息技术的牵引下, 复杂重大工程需要建立互动平台, 科学有效地整合更多资源要素和生产要素, 使科技研发、生产制造、物流配送、售后服务等全链条过程变得更加智能化、自动化、网络化、系统化, 成为重大工程建设发展的新常态。在此过程中, 大型央企要承担建设、优化复杂重大工程平台的责任, 充分利用新一代信息技术, 实现基于数字化企业平台进行产品的设计和工程生产的集成, 从而达到优化重大工程全链条全过程的目标, 体现数字化和智能化的特征^[56]。

6 结论和启示

在世界新一轮科技革命和产业变革同我国转变发展方式的历史性交汇期, 党中央站在国家事业发展的战略全局, 准确把握科技创新与发展大势, 重点部署了建设世界科技强国的目标。新型举国体制作为建设科技强国的独特优势, 要充分发挥集中力量办大事的能力, 以复杂重大工程为战略抓手, 在关系国计民生、产业命脉、国家安全和基础科学等领域推动一批世界领先的重大工程, 夯实科技强国基础。中央企业在关系国家安全和国民经济命脉的主要行业和关键领域占据支配地位, 是国民经济的重要支柱, 需要不断强化中央企业在国家创新体系中的主体作用, 为全面建成社会主义现代化强国提供强有力的支持和保障。本研究从生态视角对复杂重大工程进行解读, 主要结论与启示包括以下几个方面。

(1) 理论层面, 本研究在新型举国体制视野下, 立足于重大工程的复杂性和动态演化性的典型特征, 从创新主体之间互补依赖的微观联动过

程出发,围绕创新主体在创新生态系统的角色使命对企业战略制定的影响、创新主体在生态中的战略选择对创新能力建设的影响进行研究,基于工程技术关联构建“企业生态圈-产学研生态圈-外部环境生态圈”的理论模型,形成共存共生、共同进化的全要素创新生态系统,为重大工程创新管理提供一定理论支撑,为后续研究提供的参考作用。

(2) 新时代复杂重大工程的建设与发展,要求顺应技术发展的趋势,以市场经济为导向,形成以大型央企为创新主体,产学研高效参与的创新生态系统。在系统中,大型央企要持续关注企业内部和外部的环境变化,充分发挥架构引领者和平台建设者的角色定位与引领作用,通过营造和维护生态系统的创新管理战略来整合生态资源和协同生态主体共同创新,共同制定重大工程建设方案,以达到助力大型央企的战略制定的目标,实现对重大工程产业链上下游企业的管理,突出大型央企在政治、经济、社会发展中的支柱作用。

(3) 在复杂重大工程创新管理实践层面,依托新型举国体制优势,充分发挥新型举国体制的助推作用,深刻认识新一轮技术与产业革命的规律与特性,进一步思考新兴技术对复杂重大工程创新生态系统的影响,推进以创新生态为核心战略的新一轮技术与产业革命的顶层战略规划,力争在全球新的技术与产业革命中占领制高点。面对激烈的竞争,中国复杂重大工程的成功建设离不开大型央企适时地调整和制定相应的战略,以应对未来市场和技术变化的趋势。基于生态系统的战略布局,是大型央企未来发展的方向。因此本研究建议:一是将重大工程的成功建设与应用作为大型央企的重点目标,加强创新生态系统核心企业之间的合作和共享,同时充分地利用新兴技术来实现智能化的生产和制造;二是中国大型央企制定创新战略,将“创新生态系统”理念纳入自身战略制定的框架中,从创新生态系统的视

角思考和应对外部环境的挑战;三是大型央企结合新时代新要求,建立生态系统管理的创新组织结构,核心企业需要进一步发挥引领和带头作用,扶持产业内的中小企业,带动复杂重大工程系统和产业链的整体发展。

本研究基于创新生态系统理论模型,构建了基于新型举国体制下的复杂重大工程创新生态系统,探究系统内创新主体的构成和动态演化特征,以及各要素的作用机理,在新型举国体制下,探索了重大工程的创新生态系统核心主体——大型央企的角色定位、战略制定与能力建设路径。但还存在以下有待深入研究的地方。首先,本研究提出了复杂重大工程创新生态系统的理论模型,但还缺乏实证应用分析,关于创新生态系统对创新能力建设的影响机制研究不足。此外,由于重大工程服务于经济社会发展的独特性和复杂性,未来开展研究过程中,基于更多社会经济属性视角,深入分析其对创新生态系统的影响。

参考文献

- [1] Moore J F. The death of competition: leadership and strategy in the age of business ecosystems[M]. New York: Harper Business, 1996.
- [2] Iansiti M, Levien R. Strategy as ecology[J]. Harvard business review, 2004, 82(3): 68-81.
- [3] Adner R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem[J]. Harvard business review, 2006, 84(4): 98.
- [4] 柳卸林, 孙海鹰, 马雪梅. 基于创新生态观的科技管理模式[J]. 科学学与科学技术管理, 2015, 36(1): 18-27.
- [5] Sheng Z. Fundamental Theories of Mega Infrastructure Construction Management[J]. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018.
- [6] Brockmann C, Brezinski H, Erbe A. Innovation in Construction Megaprojects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2016, 142(11).
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Sergeeva N, Zanello C. Championing and Promoting Innovation in UK Megaprojects, International[J]. Journal of Project Management, 2018, 36(8): 1068-1081.
- [10] Gawer A, Cusumano M A. Industry platforms and ecosystem innovation[J]. Journal of Product Innovation Management, 2014, 31(3): 417-433.
- [11] Dougherty D, Dunne D D. Organizing ecologies of complex innovation[J]. Organization Science, 2011, 22(5): 1214-1223.
- [12] Council on Competitiveness. Innovate America: thriving in a world of challenge and change[R]. Washington, DC: Council on Competitiveness, 2004.
- [13] 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.
- [14] Autio E, Thomas L D W. Innovation ecosystems: Implications for innovation management[M]. The Oxford Handbook of Innovation Management, 2014.
- [15] Bendis R. Science & Innovation Based Trends in the U. S.[R]. 36th Annual AAAS Forum on Science and Technology Policy, 2011.
- [16] 曹祎遐, 高文婧. 企业创新生态系统结构发凡[J]. 改革, 2015(4): 135-141.
- [17] 冯南平, 管玉婷. 技术创新对军民融合创新生态系统共生组织规模的影响研究[C]// 第十三届(2018)中国管理学年会论文集. 2018: 1-12.
- [18] 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.
- [19] 柳卸林, 高雨辰, 丁雪辰. 寻找创新驱动发展的新理论思维——基于新熊彼特增长理论的思考[J]. 管理世界, 2017(12): 8-19.
- [20] Adner R, Kapoor R. Innovation Ecosystems and the Pace of Substitution: Re-examining Technology S-curves[J]. Strategic Management Journal, 2016, 37(4): 625-648.
- [21] Alexy O, George G, Salter A. J. Cui Bono? The Selective Revealing of Knowledge and Its Implications for Innovative Activity[J]. Academy of Management Review, 2013, 38(2): 270-291.
- [22] Williamson P J, De Meyer A. Ecosystem advantage: How to successfully harness the power of partners[J]. California Management Review, 2012, 55(1): 24-46.
- [23] 曾赛星. 重大工程管理[J]. 科学观察, 2018, 13(6): 45-47.
- [24] 李萧薇, 刘铁忠, 罗旭锋, 等. 重大科技工程综合研究体系结构模型化方法[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2019, 11(1): 31-39.
- [25] 薛小龙, 王璐琪. 重大工程管理理论演化与发展路径[J]. 系统管理学报, 2018, 27(1): 192-199.
- [26] Chen H. Q, Su Q. K, Zeng S. X, et al. Avoiding the Innovation Island in Infrastructure Mega-project, Frontiers of Engineering Management[J]. 2018, 5(1): 109-124.
- [27] Siqueira A C O, Monzoni M P, Mariano S R H, et al. Innovation Ecosystems in Brazil: Promoting Social Entrepreneurship and Sustainability[M]// Emerging Research Directions in Social Entrepreneurship. Springer Netherlands, 2014: 127-142.
- [28] Hwang V W, Horowitz G. The Rainforest: The secret to building the next Silicon Valley[M]. Los Altos: Regenwald, 2012.
- [29] 柳卸林, 丁雪辰, 高雨辰. 从创新生态系统看中国如何建成世界科技强国[J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(3): 3-15.
- [30] 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, 35(4): 28-38.
- [31] Rydgren K, Halvorsen R, Töpper J P. et al. Advancing restoration ecology: A new approach to predict time to recovery[J]. Journal of Applied Ecology, 2019, 56(1): 225-234.
- [32] Halmy M W A, Fawzy M, Ahmed D A, et al. Monitoring and predicting the potential distribution of alien plant species in arid ecosystem using remotely-sensed data[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019, 13: 69-84.
- [33] Stock C A, Pegion K, Vecchi G A, et al. Seasonal sea surface temperature anomaly prediction for coastal ecosystems[J]. Progress in Oceanography, 2015, 6: 219-236.
- [34] 胡登峰, 张海朦. 基于知识共享的新型产业创新生态系统研究——以科大讯飞成长为例[J/OL]. 南华大学学报(社会科学版), 2019(5): 35-42. [2019-12-11]. <https://doi.org/10.13967/j.cnki.nhxb.2019.0076>.
- [35] Kang M Y, Kim H S, Lee T H, et al. Highly photostable rylene-encapsulated polymeric nanoparticles for fluorescent labeling in biological system[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2019, 80.
- [36] 邱海峰. 重大工程, 我们为你自豪[J]. 科技传播, 2019, 11(20): 3.

- [37] Moore J F. Predators and prey: a new ecology of competition[J]. Harvard business review, 1993, 71(3): 75-86.
- [38] Clarysse B, Wright M, Bruneel J, et al. Creating value in ecosystems: Crossing the chasm between knowledge and business ecosystems[J]. Research Policy, 2014.
- [39] 李 雪, 叶长友. 创新生态系统下中国企业 4.0 管理模式构建与运作研究[J]. 经营与管理, 2019(12): 6-8.
- [40] 谢书凯, 李 飞, 李海涛, 等. 中国航天军民融合现状及发展建议[J]. 航天工业管理, 2018(11).
- [41] 欧阳桃花, 胡京波, 李 洋, 等. DFH 小卫星复杂产品创新生态系统的动态演化研究: 战略逻辑和组织合作适配性视角[J]. 管理学报, 2015, 12(4).
- [42] 吕玉辉. 企业技术创新生态系统的交错带研究[J]. 技术经济与管理研究, 2016(3): 80-83.
- [43] 曹祎遐, 高文婧. 企业创新生态系统结构发凡[J]. 改革, 2015(4): 135-141.
- [44] 李晓华, 刘 峰. 产业生态系统与战略性新兴产业发展[J]. 中国工业经济, 2013(3): 20-32.
- [45] 卢彬彬, 罗仲伟. 技术变革引致企业战略演进[J]. 战略管理, 2011, 1: 7.
- [46] 伍春来, 赵剑波, 王以华. 产业技术创新生态体系研究评述[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(7): 113-121.
- [47] 靳 洪. 企业战略创新生态系统: 一种新的竞争模式[J]. 统计与决策, 2011 (16): 181-182.
- [48] 陈 傲, 柳卸林, 吕 萍. 创新系统各主体间的分工与协同机制研究[J]. 管理学报, 2010, 7(10): 1455-1462.
- [49] 乐 云, 李永奎, 胡 毅, 等. “政府—市场”二元作用下中国重大工程组织模式及基本演进规律[J]. 管理世界, 2019, 35(4): 17-27.
- [50] 何虎生. 内涵、优势、意义: 论新型举国体制的三个维度[J]. 人民论坛, 2019(32): 56-59.
- [51] 胡希捷, 朱 军, 赵旭峰. 以重大工程夯实现代化强国基础[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2018, 10(4): 343-347.
- [52] 崔保山, 胡 波, 翟红娟, 等. 重大工程建设与生态系统变化交互作用[J]. 科学通报, 2007(S2): 19-28.
- [53] 李永奎, 李 彪, 刘晓雪. 重大工程组织理论研究的关键方向和创新方法——超越传统工程视角的思考[J]. 工程管理学报, 2019, 33(3): 92-97.
- [54] 乐 云, 万静远, 曹玲燕, 等. 重大工程社会系统脆弱性评价与实证[J]. 统计与决策, 2019, 35(9): 52-55.
- [55] 柳卸林, 马雪梅, 高雨辰, 等. 企业创新生态战略与创新绩效关系的研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37(8): 102-115.
- [56] 徐国劲. 重大生态工程规划设计关键问题研究[D]. 西北农林科技大学, 2019.

Research on the Innovation of Complex Major Projects under the New National System: from the Perspective of Innovative Ecological Theory

Ma Xuemei¹, Sun Guobin², Yang Fengxia¹✉, Yi Jia³, Xue Yi², Yu Bing⁴

(1. China Academy of Aerospace System Scientific and Engineering, Beijing 100048, China;

2. China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100048, China;

3. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

4. Shanghai Institute of Aerospace Systems Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: The new national system reflects the strategic understanding of the modernization of major projects, and is an important weapon for major scientific and technological innovation in engineering. Major projects are characterized by multiple participants, interdisciplinary integration, long industrial chain, long construction cycle, high technical complexity, strong knowledge relevance, and high safety and quality standards. They have the typical characteristics of an ecosystem, namely, complexity, blending, and dynamic evolution. Therefore, it is of considerable theoretical significance and practical value to study complex major project innovation from the perspective of innovation ecology theory. The implications and composition of the innovation ecosystem of complex major projects are analyzed, focusing on the dependence and evolution of the relationship between innovation subjects. The role of the core leader and platform builder of large-scale central enterprises is highlighted, with the “win-win” concept as the core. Development and innovation promotion strategies are formulated, and the resource integration capacity and collaborative promotion of large-scale central enterprises are improved. Under the new national system, large-scale central enterprises must adapt to the development direction of emerging technologies, support for subjects in the ecosystem must be collaborative to realize the overall transition of the ecosystem, major engineering innovation platforms should be optimized, and the high-quality development of complex major projects must be promoted.

Key Words: complex major project; innovation ecosystem; new national system; large-scale central enterprises