

高教前沿

DOI:10.15998/j.cnki.issn1673-8012.2023.04.008

美国第三代工程研究中心：发展历程、
运行模式与经验启示
——以 CBiRC、RMB 项目为例



沈锦璐¹, 魏丽娜^{2,3}

(1. 浙江大学 公共管理学院, 杭州 310058; 2. 北京大学 教育学院, 北京 100871;
3. 北京大学 医学教育研究所/全国医学教育发展中心, 北京 100191)

摘要:为提升美国工程创新力,保持美国在全球科技竞争中的领先地位,美国国家科学基金会(NSF)自2008年起制定和延展了一系列创新生态系统建设计划,其中最典型的是第三代美国工程研究中心计划。CBiRC、RMB项目作为第三代美国工程研究中心的“领头雁”,在其受NSF资助的发展周期内,以创新管理架构、基础研究转化、工程教育创新、产学研合作、创新价值链平台等关键要素支撑创新生态系统的建设,发挥了构建转型工程系统、输出工程科技人才、服务国家经济发展的重要作用,并成功实现了可持续运营。我国未来工程研究中心的建立与发展应借鉴美国工程研究中心经验,形成集研究、教育、创新于一体的创新生态系统,依托研发组织发展系统工程教育,并形成真正面向产业需求的专门科技成果转化中介平台。

关键词:第三代工程研究中心;发展历程;运行模式;创新生态系统

[中图分类号]G644 [文献标志码]A [文章编号]16738012(2023)04009615

“创新”概念经历了从线性创新到创新系统再到创新生态系统的范式转变^[1]。创新生态系统作为一种异质的组织网络,参与者通过对创新的协同努力形成复杂关系,在价值创造过程中共同发展能力,强调创新政策、组织机构、物力资源和人力资本等要素相互依赖、相互作用的动态过程^[2],其内涵与我国“十四五”规划中“坚持创新驱动发展,全面塑造发展新优势”这一创新引领发展的要求十分契合。

修回日期:20230418

基金项目:国家自然科学基金面上项目“基于设计的工程学习作用机理及其学习有效性研究”(72074191);国家自然科学基金面上项目“重大创新需求牵引学科创新生态系统:演化与治理研究”(72274172);浙江省高校重大人文社会科学攻关计划项目“产学研协同创新视域下浙江高校科技成果转化机制研究”(2021QN056)

作者简介:沈锦璐,女,浙江绍兴人,浙江大学公共管理学院、中国科教战略研究院博士研究生,主要从事学科建设研究;魏丽娜,女,云南昭通人,北京大学教育学院、全国医学教育发展中心博士后,主要从事工程教育研究。

引用格式:沈锦璐,魏丽娜.美国第三代工程研究中心:发展历程、运行模式与经验启示——以 CBiRC、RMB 项目为例[J].重庆高教研究,2023,11(4):96104.

Citation format: SHEN Jinlu, WEI Lina. The third generation engineering research center in the united states: development history, operation model and experience inspiration——taking CBiRC and RMB projects as examples[J]. Chongqing higher education research, 2023, 11(4): 96104.

合^[3]。2004 年,美国总统科技顾问委员会(PCAST)先后发布的两份报告《维护国家创新生态系统:信息技术制造业与竞争力》《维护国家创新生态系统:保持科学与工程能力的实力》第一次明确提出将创新生态系统作为核心概念,指出美国能够在国际中持续保持创新与技术领导地位的决定因素是美国创新生态系统的活力和动态演化属性^[4-5]。2012 年和 2013 年,美国科学院(NRC)先后发布的两份报告《国家和区域创新行动的最佳实践:21 世纪的竞争》《迎接挑战:美国应对全球经济的创新政策》指出,大学与产业的合作、对早期风险资本的公共供应和支持、对知识产权的强有力保护以及资金充足的研究园区等是美国创新生态系统能够取得成功的关键要素^[6-7]。美国第三代工程研究中心(Engineering Research Center,ERC)通过创新生态系统的构建,推动转型工程系统的形成和工科人才的培养,已成功发展为跨学科、多机构、国际化的研发创新和产学研合作平台。

在我国,国家工程研究中心是国家科技创新基地体系的重要组成部分,2021 年国家发展改革委分两批开展了国家工程研究中心优化整合工作,并要求纳入新序列管理的国家工程研究中心要坚持以国家和行业战略需求为出发点,聚焦解决经济社会发展中的“卡脖子”技术问题,打造成为提升产业创新效率、推动创新链产业链深度融合的国家战略科技力量。第一、二批纳入新序列管理的 191 家工程中心名单中,高校牵头建设的国家工程研究中心共 53 家,占总数的 28%。2022 年 10 月,教育部下发《教育部关于 2022 年度教育部工程研究中心建设项目立项的通知》,在获批项目中有 21 个项目由高校牵头建设。在此背景下,研究美国第三代工程研究中心成功运行的关键要素,这对我国未来以高校为主导的工程研究中心的建立与发展具有借鉴意义和参考价值。

一、美国工程研究中心发展历程

美国国家科学基金会(National Science Foundation,NSF)主管的美国工程研究中心是 20 世纪 80 年代美国政府的主要创新布局之一,旨在提升美国工业竞争力,是鼓励工业界与大学进行科研合作的典范。这一项目计划体现了美国从以院系为基础、以研究人员为主的大学科学模式向以研究中心为基础的新模式的转变,并被认为是当时美国科技政策中最重要的制度变革^[8]。第一代 ERC 在 1985—1986 年建立,最初一批共 6 个中心,并在 1990 年新增 12 个中心;第二代 ERC 于 1994 年开始运行,鼓励多所大学之间进行合作,同时更加重视工程教育本身,注重工程专业学生的培养与发展,1994—2006 年共建立 24 个工程研究中心。前两代工程研究中心着力于创新系统的构建,在产学研合作与工程教育上已有一定经验,但其侧重于国内项目合作,很大程度上忽视了全球伙伴关系的潜力。进入 21 世纪后,全球竞争加剧,美国各界逐渐认识到仅仅依赖产品性能和质量的优化已不足以支撑美国的全球市场竞争力,只有创新才能支撑未来发展。与此同时,学生对科学和工程的兴趣有所下降,这成为美国工程教育的一大挑战。美国亟须建立实验室、企业、研究人员、学生之间的协同创新机制,培养具有全球领导力的工程科技人才。在这种形势下,NSF 开始支持第三代 ERC 计划,并于 2008 年建立首批 5 个第三代 ERC。这一代 ERC 强调加速建立和实现从科学发现到技术创新的转型工程系统(transformational-engineered systems),建设集研究、教育和创新于一体的创新生态系统,并要求与外国大学建立合作伙伴关系,从而为 ERC 学生提供国际合作研究与教育的机会。

(一)第一代 ERC:大学主导的产学研合作

20 世纪 80 年代,日本、韩国、印尼等新兴工业化国家开始建设技术基础设施,成为美国在世界工业市场上的强大竞争对手;美国制造业企业研发和利用新技术的效率开始被日本等国企业赶超^[9],这在美国引发了明显的竞争力危机。这种危机使得美国国家创新系统中的科技创新政策重点从对大学研发的投入向促进产学研合作与技术转移倾斜。1980 年颁布的《拜杜法案》改变了知识产权归属问题,大大激励了政产学研三方的合作以及科技成果的产业化。其后颁布的《1980 年史蒂文森-怀德勒技

术创新法》《1986 年联邦技术转移(资本化)法案》等,授权 NSF 在研究型大学创建“产业技术中心”,并将“产业技术中心”的内涵扩展至“合作研究中心”。

1985 年 NSF 向国会提交的年度财政预算提案中包括了 1 000 万美元的 ERC 建立预算,美国工程研究中心由此应运而生。第一代 ERC 由单一大学领导开展跨学科工程研究,其主要目标是通过工程系统中跨学科团队的研究来创造新技术,以此鼓励产学研间的科研合作,从而提升美国工业竞争力^[10]。与此同时,ERC 之所以在同期各类产学研合作计划中脱颖而出,是因为将工程教育作为计划中的一个重要组成部分,通过推动本科生参加与 ERC 研究工作相关的课程,以培养行业预备人才^[11]。1985—1990 年,第一代 ERC 在生物技术、制造业、微电子通信、能源环境等 5 个领域共布局 18 个研究中心,名单如表 1 所示。

表 1 第一代 ERC 名单

布局领域	ERC 名称	受资助年份	领导机构
生物工程	生物工艺工程研究中心	1985—1994 年	麻省理工学院
	海洋生物制品工程中心	1986—1997 年	夏威夷大学马诺亚分校
	新兴心血管技术工程研究中心	1987—1998 年	杜克大学和其他北卡罗来纳学院机构
	生物膜工程中心	1990—2001 年	蒙大拿州立大学
设计与制造	智能制造系统中心	1985—1994 年	普渡大学
	工程设计研究中心	1986—1997 年	卡内基梅隆大学
	系统研究中心	1986—1997 年	卡内基梅隆大学
	重型制造工程研究中心	1986—1997 年	俄亥俄州立大学
	界面工程中心	1988—1999 年	明尼苏达大学
能源、环境、基础设施	先进燃烧工程研究中心	1986—1997 年	杨百翰大学/犹他大学
	大型结构系统先进技术中心	1986—1997 年	利哈伊大学
	海上技术研究中心	1988—1999 年	得克萨斯 A&M 大学/得克萨斯大学
光电、微电子	电讯研究中心	1985—1996 年	哥伦比亚大学
通信和信息技术	复合半导体微电子中心	1986—1997 年	伊利诺伊大学厄巴纳分校
	光电计算系统中心	1987—1998 年	科罗拉多大学/科罗拉多州立大学
	先进电子材料加工中心	1988—1999 年	北卡罗来纳州立大学和北卡罗来纳州的其他机构
	计算场模拟中心	1990—2001 年	密西西比州立大学
	数据存储系统中心	1990—2001 年	卡内基梅隆大学

注:表格中所列出的为在 NSF 资助周期内顺利完成资助项目任务的工程研究中心,下同。

第一代 ERC 的 3 个关键特征是产学合作、跨学科及工程教育。一是高校与产业界定期互动。第一代 ERC 注重促进大学中的工程师、科学家(包括学生)与产业界同行的定期互动,以确保在 ERC 中进行的研究与工程从业者的需求保持密切关系,同时能够促进学术部门和产业部门之间的知识流动和技术转移。二是跨学科性。强调工程知识的综合性,即 ERC 在其研究中注重学科交叉,将工程从业者所需要的知识、方法和工具集合在一起,以解决工业部门或行业中产生的重要问题。三是将 ERC 作为美国工程教育中的关键因素,以帮助未来的美国工程师适应行业需要,特别是在实践工程研究和教育方面发挥作用^[12]。

(二)第二代 ERC:多主体参与的产学协同

进入 90 年代,全球科技创新进入大发展时期,美国计算机和电子产品制造业快速发展,军用工业

继续加速向民用工业发展,对外贸易进一步扩大。较为成熟的科技成果转化机制和风险投资体系对美国产业发展和就业起到重要推动作用。1993 年发布的《国家合作研究与生产法》允许企业在生产活动中进行合作和展开进一步的技术创新活动。同年发布的《美国技术创新政策》提出 3 个关于美国技术创新政策的核心目标:实现创造工作岗位与保护环境并行的长期经济增长;建立更具生产性并且对公民更负责任的政府;力争在基础科学、数学与工程学领域处于世界领导地位。

在此背景下,第二代 ERC 于 1994 年启动,共建立 25 个中心,延续了在生物工程、制造业、电子通信等领域的布局,同时特别增加了 3 个地震工程领域的 ERC,名单如表 2 所示。第二代 ERC 是学术工程项目和整个工程环境变革的推动者,力求对有潜力催生新行业或改造现有行业且能提供服务或推动基础设施建设的新兴工程系统进行长远的、策略性的展望。这代 ERC 侧重支持改变工业流程和生产线的变革,支持转型升级的工程系统,力求成为多学科的联合组织,同时更加重视工程教育本身,注重工程专业学生的培养与发展。

表 2 第二代 ERC 名单

布局领域	ERC 名称	受资助年份	领导机构
生物工程	生物技术过程工程中心	1994—2005 年	麻省理工学院
	工程生物材料工程研究中心	1996—2007 年	华盛顿大学
	生物组织工程中心	1998—2008 年	乔治亚理工学院
	计算机集成外科系统和技术工程研究中心	1998—2008 年	约翰·霍普金斯大学
	生物工程教育技术工程研究中心	1999—2007 年	范德比尔特大学
	仿生微电子系统工程研究中心	2003—2013 年	南加州大学
设计、制造与 产品开发系统	粒子科学与技术工程研究中心	1995—2005 年	佛罗里达大学
	环境友好型半导体制造工程研究中心	1996—2006 年	亚利桑那大学
	可重构加工系统工程研究中心	1996—2007 年	密歇根大学
	先进工程纤维和薄膜中心	1998—2008 年	克莱姆森大学
	结构化有机微粒系统研究中心	2006—2017 年	罗格斯大学
	精密高效流体动力工程研究中心	2006—2017 年	明尼苏达大学
地震工程	合成生物工程研究中心	2006—2016 年	加州大学伯克利分校
	地震工程研究多学科中心	1997—2007 年	纽约州立大学布法罗分校
	太平洋地震工程研究中心	1997—2007 年	加州大学伯克利分校
	美国中部地震研究中心	1997—2008 年	伊利诺伊大学厄巴纳分校
微电子系统与 通信技术	神经形态系统工程中心	1995—2005 年	加州理工学院
	包装研究中心	1995—2005 年	乔治亚理工学院
	综合媒体系统中心	1996—2007 年	南加州大学
	电力电子系统中心	1998—2008 年	弗吉尼亚理工学院暨州立大学
	无线集成微系统中心	2000—2010 年	密歇根大学
	地下探测和成像系统中心	2000—2010 年	东北大学
	极端紫外线科技工程研究中心	2003—2013 年	科罗拉多州立大学
	大气协作自适应感知工程研究中心	2003—2013 年	马萨诸州州立大学
	健康及环境中红外技术工程研究中心	2006—2016 年	普林斯顿大学

注:依据 ERC 官网、各中心网站资料整理而成。

系统导向性研究、多样化人员参与和扩展型工程教育是第二代 ERC 的关键特征。第二代 ERC 延续跨学科的工程研究,并加强了“科学发现驱动”和“工程创新驱动”两种文化的联结,更加关注科学、工程和产业实践之间的协同作用;在各类中心吸纳成员时不限制种族、民族或性别,从而增加科学研究和工程人员的多样性;扩展了工程教育的对象,将本科生和研究生纳入研究和教育团队中,并将中心开展的研究和教育活动嵌入大学预科后的各层次课程体系中,进而实现更广泛的教育创新。

(三)第三代 ERC:创新生态系统模式

进入 21 世纪后,美国国家创新系统向国家创新生态系统发展,《构建国家创新生态系统:信息技术制造业和竞争力》《维持国家创新生态系统:保持科技竞争力》《崛起的挑战:美国应对全球经济的创新政策》等报告先后发布,要求打造充满活力的美国国家创新生态系统。产业发展重点方面,美国密集出台《制造业促进法案》《五年出口倍增计划》《内保就业促进倡议》等政策,强力推动美国“再工业化”及“制造业回归”。美国于 2009 年、2011 年、2015 年三度发布《国家创新战略》,2015 年新版《国家创新战略》从公共基础、私营部门、创新群众和创新环境等 4 个要素出发构建和维护国家创新生态系统,强调先进制造、精密医疗、大脑计划、先进汽车、智慧城市、清洁能源和节能技术、教育技术、太空探索及计算机新领域等九大战略领域。

第三代 ERC 启动于“制造业回归”和构建国家创新生态系统的背景之下,要求通过转型工程系统的研究和教育,建立一个利用行业资源和既有研究能力提升劳动力质量的创新生态系统,以加快对 ERC 的知识、技术等转移;建设对创新生态系统产生关键影响的行业相关专业及课程实践内容,以帮助工科毕业生成为工业实践的领导者 and 全球经济中的创造先驱。2008 年至今,第三代 ERC 共布局了 19 个中心,主要布局领域依旧集中在制造业、生物技术、能源、电子信息等领域,但从细分行业领域来看,新兴产业布局比例较高,如依托《国家纳米技术计划》布局的纳米系统工程研究中心(NERC)、对可再生能源和清洁能源的中心布局等。第三代 ERC 名单如表 3 所示。

表 3 第三代 ERC 名单

布局领域	ERC 名称	受资助年份	领导机构
先进制造业	生物可再生化学品工程研究中心	2008—2018 年	艾奥瓦州立大学
	用于移动计算和能源技术的纳米制造系统工程研究中心	2012 年至今	得克萨斯大学奥斯汀分校
	金属生物材料变革工程研究中心	2008—2018 年	北卡罗来纳农业技术州立大学
生物技术和健康护理	脑科学工程研究中心	2011 年至今	华盛顿大学、麻省理工学院、圣地亚哥大学
	集成传感器和技术先进自供电系统的纳米系统工程研究中心	2012 年至今	北卡罗来纳州立大学
	用于细胞超材料的纳米系统工程研究中心	2017 年至今	波士顿大学
	细胞超材料中心	2017 年至今	乔治亚理工学院
	精密先进技术和卫生系统工程研究中心	2017 年至今	得克萨斯 A&M 大学
能源、可持续性和基础设施	未来可再生能源输送和管理工程研究中心	2008—2018 年	北卡罗来纳州立大学
	量子能源和可持续太阳能技术工程研究中心	2011 年至今	亚利桑那州立大学
	美国城市水利基础设施改造工程研究中心	2011 年至今	斯坦福大学
	用于超广域弹性电能传输网络工程研究中心	2011 年至今	田纳西大学
	生物介导和生物激发岩土技术工程研究中心	2015 年至今	亚利桑那州立大学
	水处理系统纳米技术的纳米系统工程研究中心	2015 年至今	莱斯大学
	烷烃资源创新战略转化中心	2017 年至今	普渡大学

续表

布局领域	ERC 名称	受资助年份	领导机构
微电子、传感 和信息技术	集成接入网络工程研究中心	2008—2018 年	亚利桑那大学
	照明系统及应用工程研究中心	2008—2018 年	伦斯勒理工学院
	纳米多铁系统的转化应用工程研究中心	2012 年至今	加州大学
	电热系统功率优化工程研究中心	2015 年至今	伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校、霍 华德大学、斯坦福大学、阿肯色大学

注:依据 ERC 官网、各中心网站资料整理而成。

第三代 ERC 延续了前两代 ERC 的以下特征:(1)限期资助模式。NSF 对 ERC 以 10~11 年的固定期限进行资助,要求 ERC 每年提交年度报告,同时每隔 3 年对 ERC 进行再资助评估,以决定是否延长资助期限;(2)企业“会员费”制度。“会员费”制度是 NSF 资助周期结束后 ERC 自我维持运营的重要资金来源的制度。ERC 一般采用分等级和分经费额度的会费缴纳制,不同等级序列的会员身份对应不同的资助经费额度以及在 ERC 的权限范围,不同资助经费额度对应的权限范围不同。一项早期的调查研究显示,分别约有 84%、63% 的成员通过这一“会员费”制度获得新的创意或知识、直接的技术帮助,而约有 40% 参与 ERC 的行业企业利用“会员”身份雇佣 ERC 的毕业生,并认为这是其参与“会员制”的最大价值^[13]。

区别于前两代 ERC,第三代 ERC 在发展过程中也涌现出新的特征:(1)加强与小企业合作。作为 ERC 创新生态系统中重要的创新合作主体,ERC 合作的企业范围由前两代的仅为大中型企业扩展至小企业、初创企业。依托同样受 NSF 管理的“小企业创新研究计划”“小企业技术转移项目”等,ERC 设立了资助周期为一到两年的、以一个 ERC 与一个小企业为分包商合作形式的短期资助项目 (Small-business Collaborative Opportunities,SBCO),以帮助 ERC 的研究成果更快商业化,并让学生更直接参与到创新过程中。(2)开展国际合作。创新生态系统的边界更加宽广,其开放性要求生态环境中国际资源互动流通。第三代 ERC 要求主要合作机构中必须加入至少一个国外机构作为核心合作伙伴,国外合作者需为 ERC 学生提供在国外实验室工作实习的机会,以获得与 ERC 研究相关的国际研究经验。

二、第三代工程研究中心运行模式:以 CBiRC、RMB 为例

组织的运行模式关注系统内部要素间的互动关系^[14]、组织的管理决策过程及其变化等^[15]。其中,运行的功能模块位于运行模式中的核心位置,能够保障组织的平稳运行、促进运行模式的不断改进^[16]。组织管理则可被视作组织运行的“血液系统”,反映基本组织结构、资源配置结构等^[17]。由此,研究从功能模块和组织管理两个维度进行运行模式分析。为了规避单案例研究容易陷入的“故事描述”困局^[18],本研究采用双案例比较研究方法,选取生物可再生化学品工程研究中心 (Center for Biorenewable Chemicals,CBiRC) 和金属生物材料变革工程研究中心 (Engineering Research Center for Revolutionizing Metallic Biomaterials,RMB) 为分析对象,深入挖掘第三代 ERC 的运行模式(见表 4)。案例选取的主要缘由在于:(1)CBiRC 和 RMB 均在第三代 ERC 最早建立的首批 5 个中心项目名单中,目前已发展成熟并维持自我运转,形成了较为完善的运行机制,是第三代 ERC 中的典型代表,具有良好的研究价值;(2)CBiRC 和 RMB 分属于先进制造和生物技术两个领域,位属于艾奥瓦州和北卡罗来纳州两个不同州府,创新环境、创新支持政策等均存在一定的差异性,形成了各具特色的创新生态系统模式,能够较为明晰地对其特征进行探索分析,有助于开展完整的案例研究工作。

表 4 CBiRC 和 RMB 基本信息

	CBiRC	RMB
愿景使命	通过两种催化剂类型的优化偶联实现化学工业的转化	革新金属生物材料和智能涂层,使其具有内置的响应性生物传感能力,从而创建新的生物功能工程系统
牵头机构	艾奥瓦州立大学	北卡罗来纳农业技术州立大学
国内合作机构	宾夕法尼亚州立大学;莱斯大学;加州大学欧文分校;新墨西哥大学;弗吉尼亚大学;威斯康星大学	辛辛那提大学;匹兹堡大学
国外合作机构	埃博学术大学(芬兰);埃因霍芬理工大学(荷兰);弗里茨·哈伯研究所(德国);丹麦科技大学(丹麦)	汉诺威医学院(德国)
其他相关机构	布兰迪斯大学;索尔克研究所;密歇根大学;明尼苏达大学	加州州立大学;埃德蒙德社区学院;吉尔福德技术社区学院

注:依据官网相关内容整理得出。

(一)第三代工程研究中心的功能模块

1. 转化研究:创新网络的知识生产

转化研究(transforming research)又称基础研究转化,是将一个创意从基本发现阶段推向概念验证阶段的研究形式,通常采用面向技术平台的工程系统形式,并需要多学科集成、多行业协作开发。ERC 以工程系统的长远愿景为指导,来推动基础研究和转化研究的发展。第三代 ERC 建立了整合性更强的工程研究系统以进行跨学科的复杂研究,并在合作大学的教师、学生以及行业研究人员间培养跨学科文化,通过工程研究系统满足行业需求,帮助培养未来工程研究和创新的领导者,并支持在工程系统试验台上进行设想验证(proofofconcept)。CBiRC 形成了基于多学科的、致力于提升微生物产量的研究计划(如图 1)。其利用工程系统的测试床进行评估,来验证一系列提升多功能化学品生产潜力的设想,以促进形成充满活力的生物可再生化学品工业体系。



图 1 CBiRC 的跨学科研究计划

注:依据 <https://www.cbirc.iastate.edu/overview/multidisciplinary-research/> 相关内容绘制而成。

基于工程系统的远景研究战略计划是第三代 ERC 的必备要求,且需与劳动力发展、创新生态系统的战略计划保持一致性。图 2 展示了 RMB 的研究战略计划。可以看到,研究战略计划具有多样性和跨学科性,来自不同学科的教师、学生和工作人员为研究战略计划的设置提供了研究、教育、技术创新和管理等丰富的视角,从而使研究计划能够处于行业最前沿。值得注意的是,如果一个研究人员或教员的个人研究兴趣与中心的研究战略计划不一致或相竞争,其将无法得到 ERC 的支持。

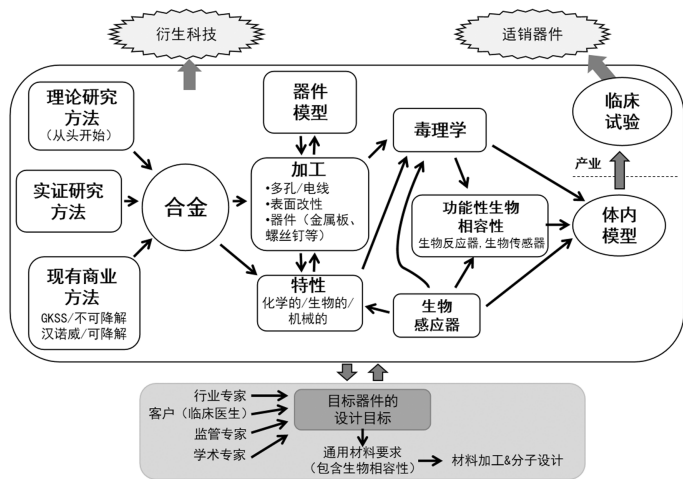


图2 RMB 的研究战略计划

注:依据 <http://erc.ncat.edu/?q=research> 相关内容绘制而成。

2. 产学研合作:创新网络的知识应用

将创新成果从实验室转移到使用者手中是研究的最终目标,但一个产品在开发初始阶段往往并不稳定,需要创新生态系统中正式角色(选拔、绩效、奖励系统的一部分)之外的要素来帮助打通从新想法产生到实际产品落地的创新链条^[19]。而在第三代 ERC 创新生态系统中,产学研合作主要表现为与大型企业的合作和对初创企业的支持。CBiRC 通过开放系统推动科学技术尽早商业化,帮助有效的信息流从 ERC 流向行业成员公司,并吸引创新合作伙伴资助生物可再生化学品领域的初创公司。RMB 以技术咨询、协作研发和企业培训等形式积极寻求与区域及全球商业实体建立合作伙伴关系,以其专业领域优势为企业提供基础科学和工程方面的支持,并为初创企业降低可能面临的较高技术风险。

第三代 ERC 继续实行企业“会员费”制度,企业规模往往成为 ERC 划分企业会员等级的主要依据(见表5)。在 CBiRC 会员制度中,全级(full)会员拥有优先获得新发明归属和优先选择商业许可协议的权利,战略级(strategic)会员则不拥有优先选择权。CBiRC 的行业会员通过行业咨询委员会(IAB)参与 ERC 的研发、教育与技术转移工作,并且为 CBiRC 学生提供实习实训机会。在 RMB 会员制度中,中心与大型生物医药企业的合作内容包括就市场需求和商业化机会向 ERC 提供指导、开发和评估关键的使能技术、开发和测试原型医疗设备以及为学生提供培训机会和指导等;对于小型初创企业,中心基于 SBIR、STTR 等计划帮助新创公司获得资金支持,推动新医疗技术进入市场。

表5 CBiRC 和 RMB 会员制度

类别	企业规模	会员年度费/美元	
		战略级	全级
CBiRC	大型企业(至少 500 名员工)	25 000	50 000
	中型企业(61~499 名员工)	12 500	25 000
	小型企业(11~60 名员工)	2 500	5 000
	初创型企业(没有完成 IPO 并少于 11 名员工)	500	1 000
RMB	大中型企业(至少 50 名员工)	5 000 或免除	
	小型 & 初创企业(少于 50 员工)	2 000 或免除	

注:在 RMB 会员制中,企业向 ERC 提供超过 50 000 美元年度支持或当年对学生提供全额奖学金则免收当年年度费。

3. 教育推广: 创新网络的知识扩散

创新活动并非孤立进行,而是需要不同参与者交互学习,创新生态系统的网络化结构为知识的扩散与传播提供了良好环境。第三代 ERC 成功将 CBiRC、RMB 等系列教育计划推广覆盖到从 K-12 阶段到博士后的工程教育各个阶段,形成了 K-12 预科教育项目、大学生实习实训和科研提升计划、博士后及教师发展计划相互衔接的教育培养体系,以共同促进美国下一代工程师的培养(如图 3 和图 4)。K-12 预科教育项目主要包括针对学生的“青年科学家”项目和针对教师的“教师科研经历”项目(RET)。针对学生的项目偏向于非正式教学,如 CBiRC 的小型研究、夏令营活动,RMB 的青年科学家学术讨论会、大学校友参观、大学家长日等活动。RET 项目均为每年暑期展开,CBiRC 帮助 K-12 教师在艾奥瓦州研究人员的指导下以小组形式展开为期 6 周的前沿研究,并将前沿思想带入未来课堂活动中;RMB 则为每所入选学校的三名 STEM 教师提供为期三周的课程开发研讨会,并向高中教师提供适用于高中生的实验室实验材料及课堂项目材料。

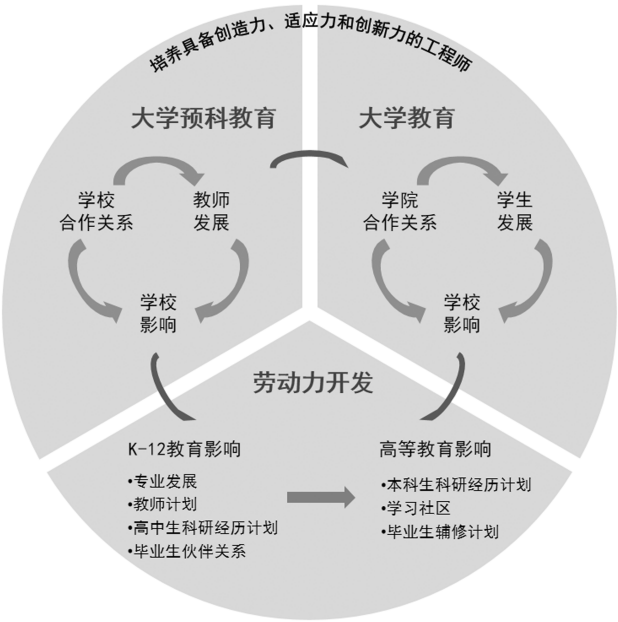


图 3 CBiRC 的教育 & 外展计划

注:参照 <https://www.cbirc.iastate.edu/education/> 相关内容绘制而成。

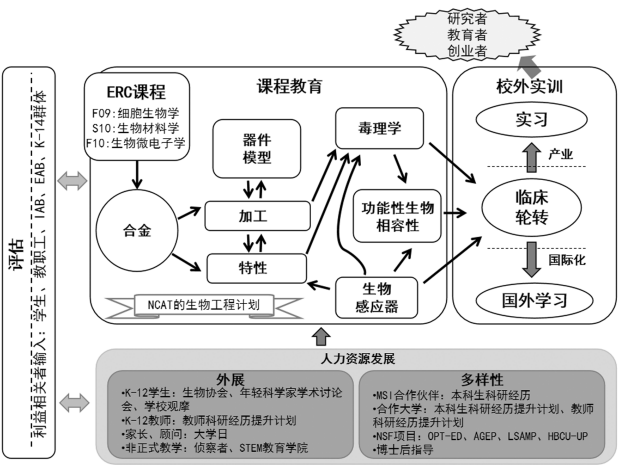


图 4 RMB 的教育 & 外展计划

注:参照 <http://erc.ncat.edu/?q=educationplan> 相关内容绘制而成。

第三代 ERC 以创新文化培养工程专业学生,使其成为具有全球意识、创业精神的创新领导者,将创新思维方式带到学术界或工业界。ERC 课程体系鼓励学生组建创业公司或领导成熟公司的创新团队,同时鼓励学生在校期间开发创新的商业产品或获得专利。CBiRC 的创业课程分为技术主导创业课程和创业指导计划两个阶段。第一阶段帮助学生进行商业模式创建和提案开发,第二阶段则侧重通过指导,使基于技术的产品符合客户的需求,以提高初创公司成功开发产品的概率。RMB 结合传统工科与新兴工科,提出与医学相关的社会经济现实问题,通过课程材料的持续更新培养工程学生具有全球竞争力的创业技能,以在欧洲、印度等地形成医疗植入创新的工作团队。CBiRC 将其教育项目从艾奥瓦州扩展到休斯敦州,RMB 则允许非中心成员学校学生参与本科生科研提升计划(REU),两者均形成了不断外展(outreach)的学习社区。

(二)第三代工程研究中心的组织管理

1. 自组织管理:创新组织的内部演化

创新管理的“网络化”与“自组织性”是创新生态系统在实践中对于创新系统的重要变革^[20]。第三代 ERC 形成了包括财务管理、数据报告、项目选择和评估在内的网络化管理体系,中心主任来自牵头大学并向牵头大学的工程学院院长负责,副主任分别来自国内主要合作机构大学。在 CBiRC 和 RMB 的管理架构中,ERC 的重点工作围绕转化研究、行业合作、工程教育三方面展开,来自多个学科的教师、员工和学生跨越机构边界组成研究和教育项目团队,一人可以扮演多重角色,体现了自组织的重要特征。第三代 ERC 进行项目制垂直管理,CBiRC 中 2/3 的研究项目团队领导来自合作机构大学,教育项目团队的领导者基本来自艾奥瓦州立大学(如图 5);RMB 的每个研究项目团队都有一个主要领导者和多个子项目领导者(如图 6)。

院长委员会、科学咨询委员会、行业咨询委员会、教育咨询委员会以及学生领导委员会等外部机构参与监督评估是第三代 ERC 组织管理架构相较于前两代的明显突破,其增加了组织的开放性,体现了自组织的分布式、多层次权威。其中,行业咨询委员会是第三代 ERC 在创新生态系统构建中的必备要素之一,它要求委员会会员必须向中心提供资金和实物支持,并尽可能地提供产品设计验证等相关知识、技能指导以及担任 ERC 学生导师、为 ERC 学生提供实习机会。由 ERC 领导小组选出的科学咨询委员会外部专家,与 ERC 每年至少会面一次,并且每年和 NSF 的监管团队(Site Visit Team, SVT)一同进行至少一次对中心的年度考察。院长委员会由牵头大学的工程学院院长领导,由牵头大学和合作机构为 ERC 提供研发、教育和创新上的行政支持。学生领导委员会由合作大学机构的本科生和研究生组成,作用是帮助协调学生在 ERC 中的各项活动,并向 SVT 提交年度 SWOT 分析。这种外向性的互动交流既是自组织产生的动机,也成为生态系统得以可持续发展的先决条件^[21]。

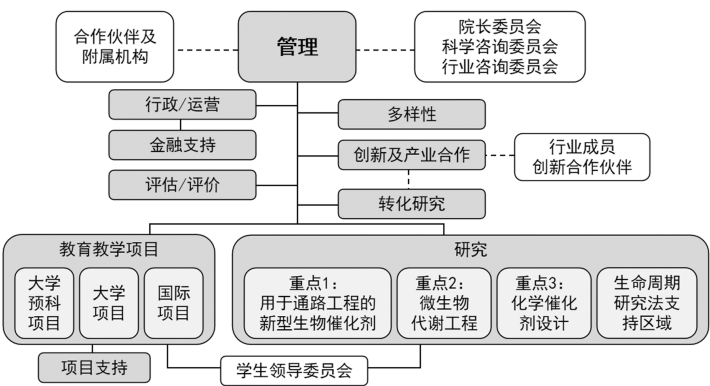


图 5 CBiRC 管理架构

注:参照 <https://www.cbirc.iastate.edu/industry/industry-value-chain/> 相关内容绘制而成。

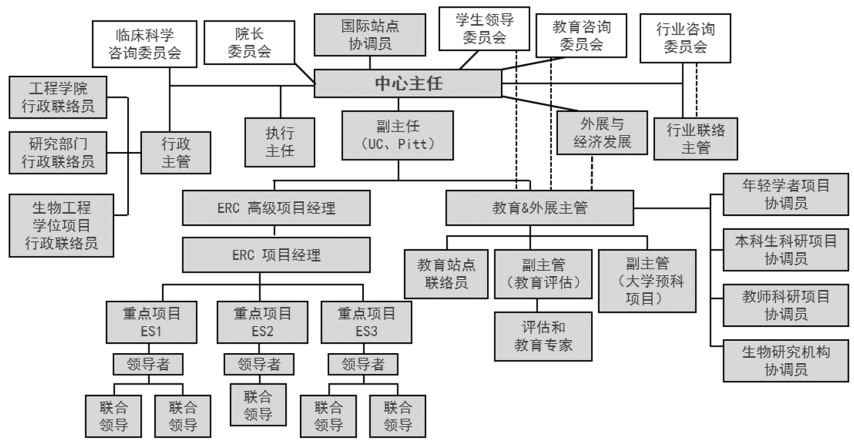


图6 RMB 管理架构

注:依据 <http://erc.ncat.edu/?q=leadership> 相关内容绘制而成;图中灰色框表示 RMB 团队结构,白色框表示相关组织机构。

2. 价值链平台:创新组织的开放拓展

创新价值链融合了技术创新理论与价值链理论^[22],创新价值链的起点首先依赖于原始创新研发实现“从0到1”的突破,紧接着通过产学研合作进入技术创新应用阶段,进而依托产业链运作步入“从1到∞”的过程,并由科技服务机构服务于企业的创新发展^[23]。第三代 ERC 中开始出现“创新价值链平台”这一组织形式。基于创新生态系统中的技术、信息、人员的流动和交换,创新价值链平台链接了从研发环节、生产到市场化的创新价值实现的整个过程。区别于传统价值链中简单的供应商、装配商及用户3个角色,创新生态系统强调了“补充者”的作用,即扩大供应商和装配商的核心产品以产生更长链条、更广范围的整体价值。第三代 ERC 更多地承担了价值链平台的功能,即寻求与原材料供应商、产品加工企业、零售方、用户企业等产业链条上下游企业的合作,为企业 提供技术支持与服务。

由于 ERC 不以企业创立为主要目标,其一般不直接参与市场竞争,这成为 ERC 与行业内企业进行高度合作的 优势。为了实现新生物化学品行业持续发展的目标,CBiRC 与其不断扩大的行业会员集团建立宝贵的长期合作关系,形成了一个吸纳从原料加工企业到终端客户的完整创新价值链平台(如图7)。RMB 时刻关注第三方支付方、监管机构、患者、临床医生、医疗设备公司 和创新者公司等多方需求并予以区分,通过创新价值链平台建立了一个虚拟的“企业联盟”,来提供企业无法独立开发的专业知识,从而为企业提供支持(如图8)。

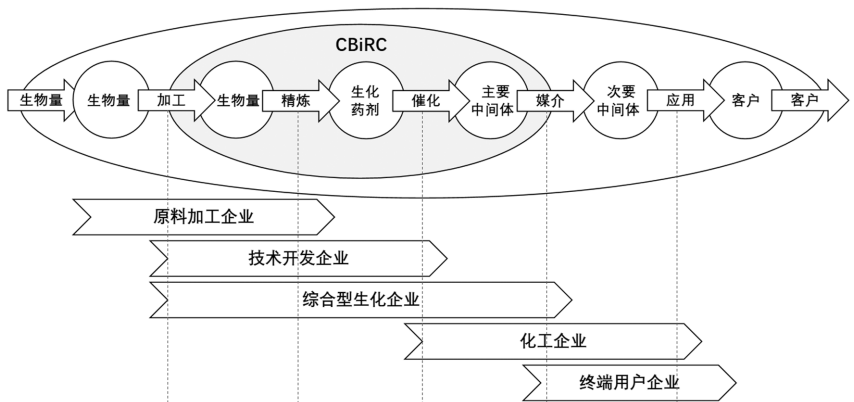


图7 CBiRC 创新价值链平台

注:参照 <https://www.cbirc.iastate.edu/industry/industry-value-chain/> 相关内容绘制而成。

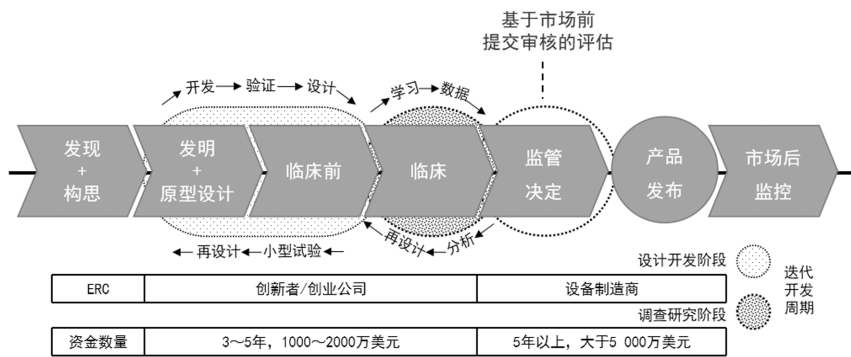


图8 RMB 创新价值链平台

注:参照 <http://erc-assoc.org/content/timeline-biomedical-technology-development-and-commercialization> 相关内容绘制而成。

美国第三代 ERC 通过构建创新生态系统模式,使各类信息、技术和人员等资源得以在系统内充分流动。其中,中心研究人员及博士生等通过研究活动推动新发现、新技术、新想法的产生,并借由中心平台将这些信息流向行业从业者、创新和转化研究伙伴,以进行进一步的技术验证、转化和应用。在此过程中,ERC 的行业合作规模得以不断扩大,行业伙伴逐渐扩展至整个价值链,实现创新链条前后端、产业环节上下游的贯通,企业在 ERC 的协调下得以化竞争为合作。与此同时,行业伙伴向 ERC 提供行业视角的输出和反馈,在研究、教育和商业化等各个方面给予战略指导,并在产学研合作中实施各类科研提升计划、创业导向计划,以此充分发挥 ERC 的教育作用,实现“科—教—产”活动的深度融合。

由此,第三代 ERC 完整地运行了转化研究、教育创新及产学研合作三大功能,并形成了独特的创新管理架构和创新价值链平台。通过 CBiRC 和 RMB 的案例分析,本研究总结出美国第三代 ERC 运行的关键要素:(1)以创新组织架构形成健全的管理体系,通过院长委员会、科学咨询委员会、学生领导委员会等外部机构进行监督评估;(2)基于工程系统形成研究战略计划,并开展多学科集成、多行业协作开发的转化研究;(3)形成从 K-12 阶段到博士后等各个阶段相互衔接的教育培养体系,为美国产业界输送工程科技人才;(4)通过校企研究人员、项目合作、人才培养等形成紧密产学研合作关系,并以企业“会员费”制度吸纳不同规模企业参与 ERC 的产学研合作;(5)形成从研发到实现商业化的完整创新价值链平台,使行业中各类型企业参与其中。

三、经验借鉴:对我国工程研究中心建设的启示

美国第三代 ERC 基于构建创新生态系统模式,完整地运行了知识生产、知识应用及知识扩散等创新生态系统三大基本功能,并通过创新生态系统的组织演化,形成了独特的创新管理架构和创新价值链平台,这对我国建立与发展未来以高校为主导的工程研究中心有如下启示:

(一)构建集研究、教育、创新于一体的创新生态系统模式

创新生态系统的建设,是科技创新实现产业上下链条贯通、人才要素有效发挥效能的环境构建以及科技突破和知识流动所需的基础设施条件建设的“一盘棋”。第三代 ERC 以创新生态系统模式运行,突破了传统公共研发机构的“学科依赖”模式,达到了产学研协同的动态平衡,使得各个创新要素在系统中有效流动起来。相较而言,我国高校工程研究中心建设存在运行管理的系统化、标准化不足,学科之间的知识无法有效整合^[24],创新上下游连接脱节等问题^[25]。在建立高校主导的工程研究中心时,应当主动营造创新生态系统,推动国家及区域各级主管部门、行业企业等形成多层次自主创新体系,强化公共研发机构的绩效标准,将高校作为创新生态系统中的中心节点和关键行动者,在资

助周期内实现科技成果产业化,逐步形成“投入—收益—再投入—更大收益”的良性循环,建立多方利益相关主体在技术、信息、人才上的相互流动,构建集研究、创新、教育于一体的创新生态系统。

(二)协同多元主体参与工程研究中心运行管理

美国 ERC 计划实施四十余年并运行至今,形成了多元主体共治的运行管理经验。一方面,项目垂直管理的组织架构,避免了在人才引进、招生培养、成果转移转化等方面多头管理、权力重叠的管理弊端;另一方面,NSF、审计署(GAO)、工业研究院(IRI)发挥监管作用,在 ERC 运行的各阶段对其展开绩效调查分析,并由行业咨询委员会、教育咨询委员会等各类外部机构参与监督评估工作,从而建立了多部门、多层次、开放式的监管系统。我国 2020 年施行的《国家工程研究中心管理办法》要求“工程中心实行优胜劣汰、动态调整的运行评价制度”,后续发布的“国家工程研究中心评价指标体系”则从服务国家战略、推动产业发展、强化自身建设 3 个维度对工程研究中心开展量化考核、规范评价工作。然而,组织管理上对“自我造血”涉及较少,例如如何划定最长资助年限,如何形成产学研合作联盟,进而逐步形成脱离政府资助的“自然毕业机制”,这在部署上尚不明确。未来需形成多部门、分阶段的绩效评价体系与再资助等级,并引入咨询委员会等外部机构参与监管评估工作,结合自然成熟与中途淘汰两种退出机制,多方合力监督工程研究中心的运行发展。

(三)通过多层次跨学科教育计划培养后备工程人才

传统公共研发机构往往重研究而轻教育,第三代 ERC 则展现了高校作为主要领导机构的优势,创造性地将教育计划推广至从 K-12 阶段到博士后的工程教育各个阶段,同时将引入国外学校作为必要条件,进而形成创新生态系统中的两大基本机制——集聚与扩散,即不断从系统外部吸入新的知识和向外输出知识、技术。纵观我国国家工程研究中心的建设思路,“培养、吸引相关学科高水平的工程技术人才”始终是其主要任务之一^[26]。然而,如何立足工程应用导向和依托高校特色学科与教育资源优势,形成工程研究中心的体系化人才培养模式,无论是文献研究还是实践经验都明显不足。在构建高校主导的工程研究中心时,应当制定多层次集成式教育计划,强化科研育人模式,依托大学重点实验室、工程中心,开放共享科研资源,设计跨学科课程^[27],采取整合性学习方法,通过夏令营、参与实验室项目等形式选拔优秀高中生作为预科生培养。探索项目驱动的预科生、本科生、研究生等多层次贯通教育计划,为培养跨学科创新型工程师提供人才储备。

(四)以市场化机制完善创新价值链中介平台建设

第三代 ERC 通过“创新价值链平台”这一组织形式,将产业链条中的原料制造方、加工方、代理方、零售方等企业均纳入平台中,在成为行业“沟通桥梁”、有效提高行业经济效益的同时,以“企业会员费制”确保自我可持续发展,突出展现了创新生态系统的共生演化特征。我国工程研究中心正在与行业企业开展密切合作,但当前工程研究中心仅能较好地处理与单一企业间的成果归属及利益分配问题,如何协调可能存在竞争的多个企业之间的利益分配关系是亟须解决的难题^[28]。我国工程研究中心建设发展可以借鉴创新价值链平台组织形式,形成面向产业前瞻与共性关键技术的科技成果转化中介平台,在某一产业领域以“企业会员制”形式广泛吸纳行业领先企业、中小型企业和初创企业,设立会员等级,使不同等级序列的会员享有优先获取技术资料、参与定期研讨会和培训等不同权限。

四、结 语

国家工程研究中心是国家创新体系的重要组成部分,如何高效发挥其作用是全社会关注的热点。立足于自身国情,未来我国在建立与发展工程研究中心时,可以借鉴美国第三代 ERC 的创新生态系统模式,以健全的科技创新法律体系为根基,以国家相关主管部门、地方政府、行业企业等形成的多层次资助体系为支撑,发展集研究、教育、创新于一体的创新生态系统模式,着力打造能够将科研成果转化为

适合规模生产的中介平台,构建“科—教—产”融合人才培养机制,真正发挥工程研究中心的创新效能。

参考文献:

- [1] 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):17641770.
- [2] 赵程程,秦佳文. 美国创新生态系统发展特征及启示[J]. 世界地理研究,2017,26(2):3343.
- [3] 张妮,赵晓冬. 区域创新生态系统可持续运行建设路径研究[J]. 科技进步与对策,2022,39(6):5461.
- [4] President's Council of Advisors on Science and Technology. Sustaining the nation's innovation ecosystems: report on information technology manufacturing and competitiveness[R]. Washington, DC: PCAST's Sub Committee on Information Technology Manufacturing and Competitiveness, 2004: 610.
- [5] President's Council of Advisors on Science and Technology. Sustaining the nation's innovation ecosystems: report on maintaining the strength of our science & engineering capabilities[R]. Washington, DC: the PCAST Workforce/Education Subcommittee, 2004: 23.
- [6] National Research Council(US). Rising to the challenge: U. S. innovation policy for the global economy[R]. Washington, DC: National Academies Press, 2012: 123125.
- [7] National Research Council. Best practices in state and regional innovation initiatives: competing in the 21st century[R]. Washington, DC: National Academies Press, 2013: 17.
- [8] BOZEMAN B, BOARDMAN C. The NSF engineering research centers and the university-industry research revolution: a brief history featuring an interview with Erich Bloch[J]. The journal of technology transfer, 2004, 29(3/4): 365-375.
- [9] NELSON R R. National innovation systems: a comparative analysis[M]. New York: Oxford University Press on Demand, 1993: 163174.
- [10] General Programmatic Terms and Conditions for NSF[EB/OL]. (2020-12-30) [2022-04-20] <https://www.nsf.gov/pubs/policydocs/nsf98146.pdf>.
- [11] FELLER I, AILES C P, ROESSNER J D. Impacts of research universities on technological innovation in industry: evidence from engineering research centers[J]. Research policy, 2002, 31(3): 457474.
- [12] The Engineering Research Centers(ERC) Program: An Assessment Of Benefits And Outcomes[EB/OL]. (2020-12-30) [2022-04-20] <https://www.nsf.gov/pubs/1998/nsf9840/nsf9840.htm>.
- [13] ROESSNER D, AILES C P, FELLER I, et al. How industry benefits from NSF's engineering research centers[J]. Research-technology management, 1998, 41(5): 4044.
- [14] 魏江, 申军. 传统产业创新系统的结构和运行模式: 以温州低压电器产业集群为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2003(1): 1417.
- [15] PETERSEN B, WELCH L S. Foreign operation mode combinations and internationalization[J]. Journal of business research, 2002, 55(2): 157162.
- [16] 李书全, 钱利军. 航空安全文化运行模式研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(9): 6470, 179.
- [17] 刘亚荣, 李文长. 高校组织运行模式的分析: 基于高校预算管理案例[J]. 国家教育行政学院学报, 2013(1): 2328.
- [18] National Science Foundation. [EB/OL]. (2015-08-13) [2022-04-20] <https://www.nsf.gov/pubs/2015/nsf15589/nsf15589.pdf>.
- [19] MARKHAM S K, WARD S J, AIDMAN-SMITH L, et al. The valley of death as context for role theory in product innovation[J]. Journal of product innovation management, 2010, 27(3): 402417.
- [20] 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): 315.
- [21] 韩进, 李平, 周海波. 企业管理情境下生态系统理论框架与未来研究方向[J]. 管理学报, 2022, 19(1): 139149.
- [22] HANSEN M T, BIRKINSHAW J. The innovation value chain[J]. Harvard business review, 2007, 85(6): 121.
- [23] 陈邑早, 黄诗华, 王圣媛. 我国区域创新生态系统运行效率: 基于创新价值链视角[J]. 科研管理, 2022, 43(7): 1419.
- [24] 郑世良. 高校工程研究中心实施管理流程再造的思考[J]. 科技管理研究, 2009, 29(11): 210211.
- [25] 赵兰香, 李文东, 李昌群. 我国工程研究中心的建设目标与现状的差距是如何形成的[J]. 科学学与科学技术管理, 2006(11): 8792.

[26] 汪樟发,汪涛,王毅. 国家工程研究中心政策的历史演进及协调状况研究[J]. 科学学研究,2010,28(5):697703.

[27] 秦静怡,李华,陈秀. 西部高校新工科与创新创业教育融合的策略研究[J]. 重庆文理学院学报(社会科学版), 2020,39(2):119132.

[28] 李怀龙,张亚非,马霖. 教育部工程研究中心建设刍议[J]. 西南交通大学学报(社会科学版),2013,14(1):110114.

(编辑:王茂建 校对:刘大川)

The Third Generation Engineering Research Center in the United States:
Development History, Operation Model and Experience Inspiration
——Taking CBiRC and RMB Projects as Examples

SHEN Jinlu¹, WEI Lina^{2, 3}

(1. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. School of Education, Peking University, Beijing 100871, China;
3. Institute of Medical Education/National Center for Health Professions Education Development, Peking University, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to enhance the engineering innovation ability of the United States and maintain the leading position of the United States in the global technological competition, NSF has developed and extended a series of innovation ecosystem construction programs since 2008, among which the most typical one is the third generation American Engineering Research Center program. As the representative of the third generation of American Engineering Research Centers, CBiRC and RMB project have supported the construction of innovation ecosystem with key elements such as innovation management structure, basic research transformation, engineering education innovation, industry-university-research cooperation, and innovation value chain platform during the development cycle funded by NSF. It has played an important role in building a transformation engineering system, exporting engineering science and technology talents, and serving national economic development, and successfully realized sustainable operation. The establishment and development of the future National Engineering Research Centers in China should learn from the American Engineering Research Centers, and form an innovative ecosystem that integrates research, education and innovation, relying on the research and development organization to develop system engineering education, and form a special intermediary platform for the transformation of special scientific and technological achievements oriented to the industry needs.

Key words: third generation Engineering Research Centers; development course; operation mode; innovation ecosystem