

产业创新生态系统的形成与演进： “架构者”变迁及其战略行为演变*

谭劲松 宋 娟 陈晓红

摘要：架构者变迁及其战略行为演变如何促进产业创新生态系统形成和演进？本文以中国轨道交通装备产业为对象，采用纵向案例方法探究这个问题。研究结果表明：在产业创新生态系统演进的不同阶段，“架构者”动态变迁，不同架构者战略行为及其作用机制不同；同一架构者不同时期战略行为和作用机制也不同。新生期，政府作为“架构者”，通过行政干预自上而下构建产业创新生态系统雏形。扩展期和提升期，政府角色跨层次分离：向上成为宏观制度构建者，通过不断减弱的行政管理、增强的产业政策和科技资金资助，作为外部力量推动产业创新生态系统演进；向下作为产业创新生态系统参与主体——关键用户，促进产业创新生态系统演进。成熟期核心企业成为产业创新生态系统架构者，自底向上推动产业创新生态系统演进。本研究从中间产业层次拓展了创新生态系统战略和架构演进研究，深化并丰富了大型复杂产品产业中政府角色和作用机制研究；为政府、企业培育产业创新生态系统提供启示。

关键词：产业创新生态系统形成与演进 架构者变迁 战略行为演变 政府角色 干预组合 中国轨道交通装备产业

DOI:10.19744/j.cnki.11-1235/f.2021.0145

一、引言

近年来，中美贸易摩擦不断升级，贸易保护主义和逆全球化盛行，加上新冠肺炎疫情对全球产业创新生态链造成了巨大冲击，产业创新生态链中断给很多企业、产业以致命打击。在这样复杂多变的全球格局下，如何构建全产业链创新生态链关键环节都强大的支撑体系，能否构建具有绝对竞争力和控制力的产业创新生态系统，是企业和产业未来能否实现从追赶到创新引领的关键，也是中国企业、产业甚至国家层面突破创新发展瓶颈的首要问题。

与通信、工程机械等领域一家独大不同，中国轨道交通装备产业不仅培育了四方股份、株机公司等世界领先的整车企业（吕铁、贺俊，2019），而且形成了从上游研发设计（包括前沿技术研发）与基础材料、中游部件（包括转向架、车体、牵引变压器、牵引变流器、牵引电机、牵引控制、网络控制、制动系统等关键核心零部件），下游总成、运营维修等全产业链创新生态链每一环节都有一个或多个掌握关键核心技术的龙头企业格局。这种完整的产业创新生态系统支撑下，中国轨道交通装备产业实现追赶向创新引领跨越（宋娟等，2019）。

中国轨道交通装备产业创新生态系统如何形成和演进？是谁在其形成与演进中发挥关键作用？作用机制是什么？这些问题的剖析，对于身处逆全球化、技术和贸易封锁盛行、产业创新生态链本土化将成为未来国家战略主线（贺俊，2020）的复杂国际环境下的中国企业、产业创新发展，对于多个正处于从追赶向创新引领跨越的中国企业、产业，具有重要启示。

不同于大规模制成品创新，轨道交通装备等大型复杂产品零部件数万、甚至上百万，从预研、立项、研发、测试、生产组装、商业化/运营等，每个环节都建立在整个产业生态链（包括原材料、元器件、零部件、科研院所、

*本项研究得到国家自然科学基金重点项目“突破性技术创新的形成机理和演化路径”（基金号：71732005）、国家自然科学基金面上项目“高铁产业关键核心技术突破机制：政府职能与产业创新生态系统共演研究”（基金号：72072124）、国家社会科学基金一般项目“创新生态系统视角下高速铁路关键核心技术瓶颈突破研究”（基金号：20BGL040）、湖南省自然科学基金面上项目“中国轨道交通装备产业跨层次协同演进机理研究”（基金号：2019JJ40390）、国家自然科学基金重大项目课题二“数字创新驱动的新企业创业模式研究”（基金号：72091313）的资助。宋娟为本文通讯作者。

整车企业、用户等)成员之间结成紧密合作、共生共演的产业创新生态系统支撑体系基础上。传统的创新管理理论不适用于这类系统性很强的产品(Adner, 2006, 2012)。虽然有学者从微观企业或政府等能力主体、产品开发平台、市场需求、国家创新体系等角度研究高铁等大型复杂产品赶超问题(贺俊等, 2018; 苏敬勤、单国栋, 2016; 吕一博等, 2017; Lee and Yoon, 2015; 江鸿、吕铁, 2019; 吕铁、贺俊, 2019; Gao, 2019; Genin et al., 2021; 路风, 2013, 2019; 黄阳华、吕铁, 2020), 但鲜有研究探讨支撑其赶超的全产业生态链关键环节都强大的产业创新生态系统是如何形成的? 如何才能构建具有绝对竞争力和控制力的产业创新生态系统? 这些问题是逆全球化时代制约大型复杂产品创新发展的首要问题。

在创新生态系统研究方面, 现有研究主要从微观层次, 分析技术、产品、企业能力、企业间相互依赖关系对创新成功商业化的影响(Adner, 2012; Adner and Kapoor, 2010, 2016; Kapoor and Lee, 2013; Kapoor and Agarwal, 2017; Adner and Feiler, 2019; Cennamo and Santalob, 2019), 主要集中于核心企业对其所嵌入的企业创新生态系统的影响, 极少有研究集中于产业层次的变化(Jacobides and Tae, 2015; Jacobides et al., 2016)。认识到中观产业架构、产业创新生态系统层次研究的不足, 有学者在核心企业基础上, 提出“架构者(Architect)”概念(Gulati et al., 2012), 以描述能影响整个产业生态系统构建、演进的核心组织(Jacobides et al., 2018; Gulati et al., 2012)。Jacobides 和 Tae(2015)、Jacobides 等(2016)从核心组织(Kingpins)、占主导地位的原始设备制造商(The Dominance of OEMs)角度, 对影响产业架构变化的组织及其作用机制进行了探索性研究, 但他们的研究建立在自组织理论基础上, 将架构者局限于生态系统内部成员, 没有考虑架构者可能来源于生态系统外部。且产业创新生态系统演进过程中, 架构者如何变迁? 战略行为如何演变? 架构者变迁和战略行为演变对产业创新生态系统形成和演进的作用机制是什么? 这些问题对创新生态系统研究极其重要, 但现有研究还鲜有探讨。

此外, 对于大型复杂产品行业, 市场多为寡头垄断或高度政治化, 除了集成商, 政府作用是复杂产品区别于大规模制成品研究的关键(贺俊等, 2018; 江鸿、吕铁, 2019; 路风, 2019)。政府同时扮演制度供给者(江鸿、吕铁, 2019; Genin et al., 2021)、关键或先进用户(黄阳华、吕铁, 2020)、系统集成者等角色(江鸿、吕铁, 2019; 宋娟等, 2019; 吕铁、贺俊, 2019)。政府角色不同, 影响机制非常不同(Lee and Yoon, 2015; 江鸿、吕铁, 2019)。且随着经济转型和国有企业改制等系列改革, 政府角色发生了显著变化(Tan and Tan, 2005, 2017)。政府角色多面性及其具体作用机制的差异如何? 如何演进? 还有待深入探讨。有学者分析了政府角色在高铁技术赶超的重要影响, 但集中于对该行业技术、企业学习能力、产品开发平台等微观主体影响(贺俊等, 2018; 路风, 2018, 2019; 江鸿、吕铁, 2019; 吕铁、贺俊, 2019; 黄阳华、吕铁, 2020)。且虽然有个别学者指出全产业链技术能力提升是中国高铁区别于其他产业成功赶超的关键(吕铁、贺俊, 2019), 但这些研究都没有从中观产业创新生态系统层次, 分析政府角色多面性在推动产业创新生态系统架构形成、演进中的具体作用机制; 而这一关键中间变量, 才是高铁实现赶超的决定性因素。

基于以上所述的现实需求与理论研究缺口, 本文以中国轨道交通装备产业为对象, 采用纵向案例分析方法, 系统探究架构者变迁及其战略行为演变对产业创新生态系统形成和演进的作用机理, 集中探索以下问题: 全产业关键环节都强大的产业创新生态系统如何形成和演进? 推动其形成与演进的架构者是谁? 架构者变迁和战略行为演变在构建具有绝对竞争力和控制力的产业创新生态系统中的作用机制是什么?

后文结构安排如下: 第二部分对相关理论进行回顾, 为本文奠定理论基础。第三部分介绍研究设计与数据来源; 第四部分对架构者变迁及其战略行为演变对产业创新生态系统演进作用机制进行案例分析; 第五部分总结主要研究结论, 并与理论对话, 给出本研究理论贡献, 实践启示与未来研究展望。

二、理论基础

(一) 创新生态系统研究流派

根据关注重点不同, 创新生态系统研究分成两个流派。一个是结构视角的生态系统研究(Ecosystem-As-

Structure),这一流派主要成果以Ander团队为代表,以相互依赖性活动为中心(Activity-Centric),更集中于微观层次,研究核心成员如何与生态系统成员相互作用实现价值创造和获取(Adner,2006,2017;Adner and Kapoor,2010,2016;Kapoor and Lee,2013;Kapoor and Agarwal,2017;Adner and Feiler,2019;Cennamo and Santalob,2019)。

另一分支以生态系统成员为中心(Actor-Centric),将生态系统看成隶属结构(Ecosystem-As-Affiliation)(Adner,2017),认为生态系统是由多个相互联系、共存共生的成员组成的松散网络(李恒毅、宋娟,2014;宋娟等,2019;Iansiti and Levien,2004;Nambisan and Sawhney,2011;Jacobides and Tae,2015;Davis,2016;Jacobides et al.,2016,2018;Song,2016)。隶属结构研究集中分析创新生态系统总体网络特征(李恒毅、宋娟,2014;Song,2016),研究网络规模、密度、中心度等结构特征,在描述中宏观层次互动方面具有独特优势(Adner,2017)。

本文集中于中观产业层次,以生态系统成员为中心,因此沿袭隶属结构的生态系统方法(Song,2016;Adner,2017),从种群构成,产业创新生态系统整体网络特征和竞合强度、产业整体创新能力4个维度刻画并测度产业创新生态系统演进过程及其涌现特征。

(二)创新生态系统构成与演进

生态系统由成员、位置、联系3个要素组成;新生期生态系统呈现结构不清晰、生态链成员大量缺失的特征(Hannah and Eisenhardt,2018);成熟期3个要素特征明显且稳定,总体结构没有大变化(Adner,2017)。根据在系统中所扮演角色和影响力不同,成员可以分成核心成员和外围成员(Adner and Kapoor,2010;Adner,2017)。核心成员占据网络中心位置(Moore,1993;Adner,2006;欧忠辉等,2017),可能一个或多个,且随时间推移发生变化(Adner,2017;宋娟等,2019)。成员之间合作、冲突、妥协行为交互,使得成员位置不断发生变化,原来的核心成员可能在下一阶段边缘化,原来的外围企业也可能进入核心层。核心成员发挥主导作用与外围成员良性互动,共同促进资源共享与价值共创,促进生态系统演进(欧阳桃花等,2015;欧忠辉等,2017;Jacobides et al.,2016,2018)。

(三)架构者与产业架构、生态系统演进

产业的动态性、相互依赖性日益增强(Adner,2012;Iansiti and Levien,2004),但对产业变化的认识远落后于现实(Jacobides et al.,2016),尤其缺乏对产业架构的理解。正如Ozcan和Santos(2015)、Gurses和Ozcan(2015)所说,产业是企业之间的竞技场,不同企业对产业的理解不同,对产业演进的影响也不同。但现有研究并不清楚最终是谁推动了产业架构的演进,是什么因素促成或阻碍了这种变化(Jacobides et al.,2016)。

生态系统是一种特定类型的产业架构(Jacobides et al.,2018)。产业架构的结构特征,将会影响生态系统价值创造和价值分配模式,这些模式既存在于不同的、潜在竞争的生态系统之间,也存在于单个生态系统内部成员之间(Jacobides et al.,2018)。虽然现有研究探讨了在特定产业架构中,生态系统结构如何影响价值分配(Dedrick et al.,2010);此外,作为产业架构的核心概念“瓶颈(bottlenecks)”(Jacobides and Tae,2015),显然也与生态系统相关(Hannah and Eisenhardt,2018)。但现有研究很少从产业架构角度来探讨生态系统形成、治理等问题(Jacobides et al.,2018),极少有研究直接分析生态系统成员之间的相互作用关系如何对产业架构转变产生影响(Jacobides et al.,2016)。虽然现有研究从微观层次,分析技术、产品、企业能力,以及企业之间的相互依赖性关系对创新成功商业化的影响(Adner,2012;Kapoor and Lee,2013),但这些研究主要集中于核心企业对其所嵌入的企业创新生态系统的影响,极少有研究集中于中观产业层次的变化,缺乏对产业架构变化特征的探索(Jacobides and Tae,2015;Jacobides et al.,2016)。

认识到中观产业架构、产业生态系统层次研究的不足,有学者在核心企业基础上,提出“架构者(Architect)”概念(Gulati et al.,2012),以描述能影响整个产业生态系统构建、演进的核心组织(Jacobides et al.,2018;Gulati et al.,2012)。“架构者”是生态系统基本、显著的特征(Jacobides et al.,2018)，“架构者”设定系统目标,协调成员间相互关系,带领生态系统成员向共同目标协同演进(Adner,2017;Jacobides et al.,2018)。核心企业

不一定是架构者,因为核心企业不一定能影响整个生态系统架构的变化。Jacobides 和 Tae(2015)、Jacobides 等(2016)从核心组织(Kingpins)、占主导地位的原始设备制造商(The Dominance of OEMs)角度,探讨了架构者对产业架构变化的作用机制。研究表明,核心企业的预见性、制度影响力(Jacobides and Tae, 2015),使其能通过占据生态系统瓶颈位置,控制核心资源,重塑产业生态架构(Jacobides et al., 2016; Hannah and Eisenhardt, 2018),促进产业生态架构的重组或演进(Jacobides and Tae, 2015; Jacobides et al., 2016)。但这些研究将架构者看成是生态系统的内生因素,且没有考虑架构者的变迁问题。正如 Jacobides 等(2018)所说,生态系统不是自发涌现的,除了生态系统内部的核心企业可能成为架构者,架构者还可能来源于外部力量。且随着产业创新生态系统演进,架构者角色、战略行为发生变迁,作用机制不同。因此,采用动态演进视角,系统分析架构者角色、战略行为变迁对产业创新生态系统演进的作用机制,是极其重要但有待进一步探索的问题。

(四)创新生态系统战略

生态系统战略构建是创新生态系统能否健康发展的决定性因素(Adner, 2017)。与以提高自身竞争优势为核心的传统战略不同,创新生态系统战略关键在于如何促进生态系统成员的协同与适配(Adner, 2017; Jacobides et al., 2018)。成员在创新生态系统所处位置不同,生态系统战略不同,且随所处位置、生态系统演进而不断变化(Jacobides et al., 2018)。因此,应根据成员所在位置选择与自身角色匹配的生态战略(Adner, 2017),并不断自适应调整。

根据成员在创新生态系统中所处位置,生态系统战略包括:核心成员战略和外围成员战略。核心成员战略指在一个竞争性的生态系统中,核心成员有效协调生态系统成员关系,同时维持自身在生态系统中的主导地位(Adner, 2017)。具体包括:如何促进生态系统成员和连接数量的增加,促进成员之间的协同合作,以提高创新生态系统整体能力(Jacobides and Tae, 2015; Jacobides et al., 2016; Adner, 2017; Jacobides et al., 2018);如何提高核心成员在生态系统中的地位、影响力、讨价还价能力(Adner, 2017);如何促进创新生态系统的形成、引导生态系统转型升级,如何处理好生态系统内外的竞合、价值获取和分配问题(Adner and Kapoor, 2010; Adner, 2017)。在这个过程中,如何平衡好创新生态系统整体绩效和自身绩效的提升,维持其在生态系统中的主导地位(Adner, 2017; Jacobides et al., 2016, 2018)。对于核心成员来说,传统创新战略以构建企业竞争优势为目的,创新生态系统战略则主要集中于通过管理企业合作关系以实现价值共创,一方面提高生态系统的整体竞争力,另一方面维持自身在生态系统中的主导地位(Adner, 2017; Jacobides et al., 2016, 2018),扩大自身市场占有率和利润水平(Cennamo and Santalob, 2019; Leten et al., 2013; Adner, 2017; Jacobides et al., 2016, 2018)。外围成员战略包括如何与核心成员设定的目标保持一致,如何降低被其他成员替代的可能性(Adner and Kapoor, 2010; Kapoor and Agarwal, 2017),需要在“独立性”和“系统性”之间平衡(Nambisan and Baron, 2013)。

(五)大型复杂产品系统

大型复杂产品系统是指研发周期长、技术含量和研发成本高、集成度高的大型产品、系统和设施(江鸿、吕铁, 2019),包括高速列车、航空航天装备等。大型复杂产品系统零部件数万、甚至上百万,其从预研、立项、研发、测试、生产组装、商业化/运营等,每个环节都建立在整个产业生态链(包括原材料企业、元器件企业、零部件企业、科研院所、整车企业、用户等)成员之间结成紧密合作、共生共演的产业创新生态系统支撑体系基础上。传统的创新管理理论不适用于这类系统性很强的产品(Adner, 2006, 2012)。虽然有学者从产品开发平台(路风, 2018)、企业的激励结构和能力发展路径(贺俊等, 2018)、主导逻辑(苏敬勤、单国栋, 2016)、技术学习(吕一博等, 2017; Lee and Yoon, 2015)等微观层次;或者企业与政府等几类能力主体(江鸿、吕铁, 2019; 吕铁、贺俊, 2019; Gao, 2019; Genin et al., 2021)、政策导向(路风, 2013, 2019)、市场需求(黄阳华、吕铁, 2020);甚至企业、区域或国家创新体系(高柏等, 2016)等视角对轨道交通等复杂产品创新发展问题进行了有益探讨,但没有研究从产业创新生态系统视角出发开展研究。割裂所嵌入的产业创新生态系统演进特征从某一局部变量或产业链某一位置成员(如整车等集成企业)角度探讨其创新问题,难以揭示赶超背后的真正原因(Lee and Malerba, 2017),且难以为大型复杂产品创新管理实践提供理论支撑(曾赛星等, 2019)。虽然有个别学者以重

大工程项目(曾赛星等,2019)以及航空航天等大型复杂产品产业中的集成企业为对象,分析所主导的创新生态系统构成要素、创新生态系统演化对创新能力提升的影响(欧阳桃花等,2015;Song,2016;宋娟等,2019),但这些研究属于项目和企业生态系统范畴。除了企业、项目创新生态系统支撑,大型复杂产品产业从落后到世界领先,最主要原因是构建了从基础研究、技术研发、产品应用、市场培育的完整产业创新生态系统,产业链上游研究院所、原材料企业,中游关键部件成员与下游集成企业、配套设备供应商、客户等成员之间交互合作,突破研发和商业化鸿沟,实现技术与市场精准对接、高效迭代。虽然有学者认识到全产业创新生态链关键环节都强大的支撑体系是高铁等大型复杂产品成功赶超的关键(吕铁、贺俊,2019)。但由于产业创新生态系统边界界定难度(Surie,2017)、产业竞合数据的复杂性增加了数据收集的难度等,导致鲜有研究从中观产业创新生态系统角度探究大型复杂产品创新发展问题。

综上所述,现有研究对创新生态系统、产业架构、大型复杂产品创新发展等问题进行了卓有成效的研究,但还存在如下研究缺口。首先,支撑大型复杂产品赶超的全产业生态链关键环节都强大的产业创新生态系统是如何形成的?如何才能构建具有绝对竞争力和控制力的全产业创新生态系统支撑体系?是大型复杂产品研究有待深入探讨的问题。其次,推动产业创新生态系统形成与演进的架构者是谁?如何变迁?架构者战略行为如何演变?其对产业创新生态系统演进的作用机制是什么?这些问题对理解产业创新生态系统演进极其重要,但现有研究还不能给出系统的解释。

三、研究方法 with 数据

(一)纵向案例研究

本文采用纵向案例研究方法,原因如下。首先,关于本文研究主题“架构者变迁及其战略行为演变对产业创新生态系统形成与演进的影响”,现有研究缺乏深入探讨,且属于“如何”问题,案例研究适合新的研究领域或现有研究不充分领域,适用解释性和探索性回答“如何”的问题(Eisenhardt and Graebner,2007)。其次,本研究对象涉及3个层次:架构者角色涉及到微观生态系统成员和宏观制度构建者,产业创新生态系统属于中观层次。旨在探究微观产业创新生态系统成员、宏观制度环境构建者的战略行为对中观产业创新生态系统架构演进的作用机理及其涌现结果。而纵向案例方法适合这种复杂、跨层次、动态演进问题研究(Murmann,2013),可以确认演进过程中关键事件发生的次序,有利于构念间因果关系识别(Eisenhardt and Graebner,2007)。

(二)案例对象

本文选择中国轨道交通装备产业为案例对象,集中于车的研制。Adner(2017)、Hannah和Eisenhardt(2018)、Jacobides等(2018)等将创新生态系统定义为“直接参与产品价值创造的组织(所有企业提供的产品或服务必须整合在一起,才能为客户提供完整解决方案)所结成的相互依赖、共生共演、竞合共存的群体”。根据这种定义,轨道交通装备产业创新生态系统边界界定为“直接参与轨道交通装备(车)研制的所有组织”。因此,全产业创新生态链成员主要包括:原材料与元器件企业、零部件企业、研究院所、高校、整车企业、配套设备供应商、用户、维修企业。

政府在中国轨道交通装备产业发展中发挥重要作用(贺俊等,2018;路风,2018,2019;江鸿、吕铁,2019;吕铁、贺俊,2019;黄阳华、吕铁,2020),先后承担:行业主管部门、产业政策制定者、技术集成者、关键用户与领先用户等角色,呈现多面性、演化特征。2000年前,作为生产方的中国铁路机车车辆工业总公司,作为使用方的铁路局,与部属高校、铁路系统的研究机构,都由原铁道部直接行政管理(黄阳华、吕铁,2020),此时政企合一,政府属于产业创新生态系统成员。2000年,铁道部与机车车辆企业、部属院校脱钩,不再完全行政控制。此后,铁道部对这些成员的行政干预逐渐减弱,且随着经济转型和国企改革,企业与政府关系也发生了变化(Tan and Tan,2005,2017)。2003年至2008年间,机车车辆企业相继完成现代企业改革改制,成为决策主体。2013年,按照政企分开原则,撤销原铁道部,组建国家铁路局和中国铁路总公司(铁总),前者承担铁道部拟定铁路发展规划和政策的行政职责,隶于交通运输部;后者承担铁道部的企业职责,成为关键用户。因此,结合

上述产业创新生态系统边界界定和政府角色特征,2000年以后,政府角色跨层次分离:作为行业主管部门和产业政策制定者(原铁道部)、国家科技资助者(以科技部为主),是产业创新生态系统创新生境的构建者,但没有直接参与产品的价值创造,位于产业创新生态系统外部;作为关键用户的原铁道部(后来的铁总),直接参与产品价值创造,属于产业创新生态系统成员。

根据上述对产业创新生态系统边界、政府角色及其演化、政企关系演变情况,以2000年为分界线,中国轨道交通装备产业创新生态系统构成如图1、图2所示。

(三)案例选择

中国轨道交通装备产业作为案例研究对象,非常适合本文研究主题。

第一,中国轨道交通装备产业创新生态系统经历了新生期大量关键核心成员缺失,扩展期、提升期到成熟期核心企业形成并遍布全产业链所有环节的演进过程,是架构者变迁及其战略行为演变作用的结果,满足案例典型性原则。

第二,中国轨道交通装备产业是一个典型的产业创新生态系统。按所处产业链位置,包括高校、研究院所、原材料与元器件企业、零部件企业、整车企业、配套设备供应商、维修企业、客户(原铁道部、铁总)等物种,产业创新生态链完整。在这个系统中,整车企业需要研究院所、零部件企业提供相应的技术和零部件支持才能完成整车研制,零部件企业和研究院所需要整车企业集成才能使自身的技术或产品最终满足客户需求。各物种之间竞合共存、共生共演,具有典型创新生态系统特征。

第三,中美贸易摩擦不断升级,全球贸易保护主义和逆全球化盛行,加上新冠肺炎疫情对全球产业生态链造成了巨大冲击,产业生态链中断给很多企业、产业以致命打击。在这样复杂多变的全球格局背景下,能否构建全产业链关键环节都强大的支撑体系,是未来企业和产业能否实现从追赶到创新引领的关键。面对欧美等发达国家长期技术封锁,我国轨道交通装备产业构建了完整的产业创新生态系统,支撑成员协同合作,实现跟踪、并跑到领跑跨越。这种完整的产业创新生态系统的形成与构建机制问题的探究,对于身处逆全球化、技术和贸易封锁盛行、产业生态链本土化将成为未来国家战略主线(贺俊,2020)的复杂国际环境下的中国企业、产

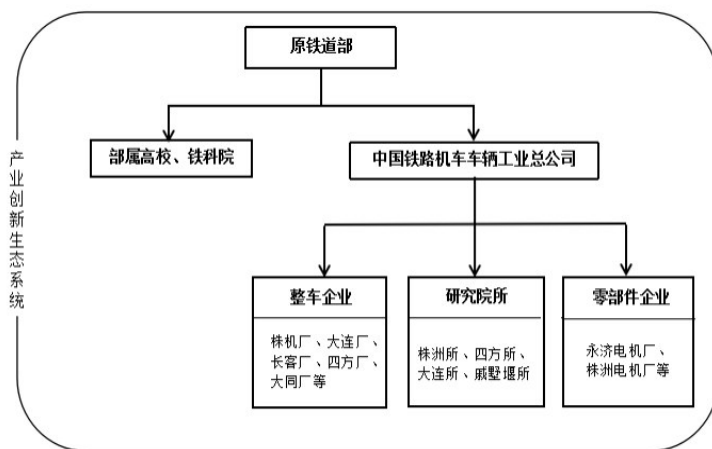


图1 2000年前轨道交通装备产业创新生态系统

注:图1企业所用名为2000年前企业名称,绝大部分企业改革改制后改名,例如株机厂为现在的株机公司。

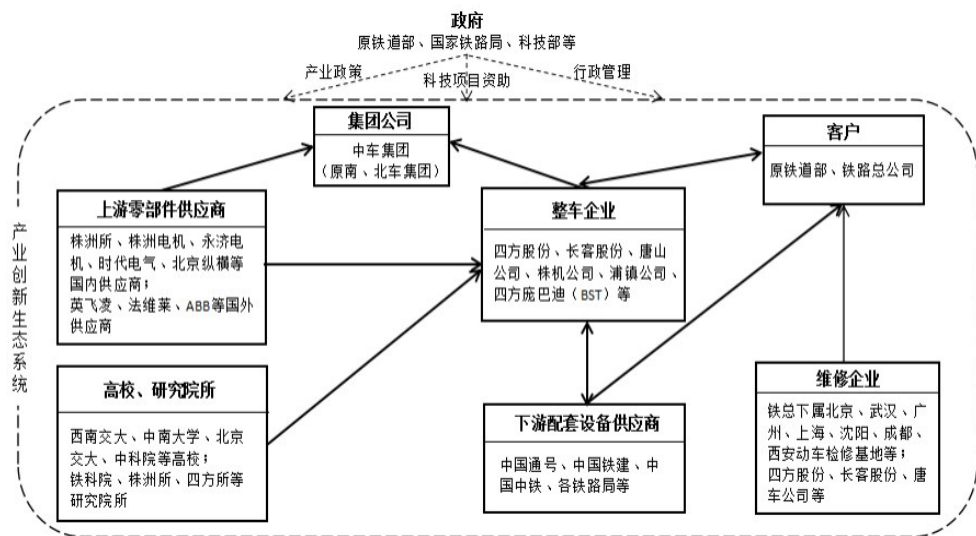


图2 2000年后轨道交通装备产业创新生态系统

业创新发展,对于多个正处于从追赶向创新引领跨越的中国企业、产业,将具有极其重要的启示。

第四,数据可获取性和调研便利性。中车集团、各子公司年鉴、年报、官网详细记录了当年政府在推动产业发展中的所有活动(包括政策、研发资助、政府采购等资料),当年产业、企业重要事件(包括各类合作)等相关数据;集团公司、子公司志书记录了产业、企业发展演变过程。其次,近年来中国轨道交通装备的快速发展吸引了中外媒体、行业智库等广泛关注,政产学研各界从不同角度分析该产业发展变化。另外,作者工作单位作为轨道交通产业特色鲜明的重点研究型大学,从技术支持、人才培养等不同层面,支撑中国轨道交通装备产业发展,学校、本人团队与该产业企业建立了长期密切合作关系。这些资源为数据获取、调研访谈多方取证提供了便捷条件。

(四)数据收集和来源

本研究数据收集主要分3个阶段。

第一阶段:预调研。为了准确界定产业创新生态系统边界,2014年8月~2014年11月,团队成员对南车集团公司、株机公司、株洲所、株洲电机公司、四方股份、中南大学等十余家企业、直属机构、研究院所、高校进行预调研,充分了解轨道交通装备行业发展历程、所包含的企业及其数据收集可能渠道。通过预调研,明确原铁道部、铁总是影响该行业发展的主要政府部门(原国家计委、科技部等也有重要影响),中车集团及下属企业、铁科院几乎涵盖了中国轨道交通装备大部分企业,且其他轨道交通装备企业(包括西门子、阿尔斯通、川崎重工、庞巴迪四大巨头和国际知名零部件供应商等)与中车集团及下属企业(所有整车、研究院、关键零部件企业等)、铁科院有直接或间接联系。因此,初步将产业创新生态系统边界界定为:相关政府部门(主要包括原铁道部、铁总、科技部、原国家计委)、原部属高校、中车集团及其所有一二三四级企业、铁科院,以及与这些企业有直接合作竞争关系的国内外轨道交通装备制造企业。这样就可以较为全面准确地描述中国轨道交通装备制造产业生态情境。

第二阶段:在预调研基础上,为了确保产业创新生态系统架构数据全面和准确,团队历时两年半(2014年12月到2017年6月),收集整个轨道交通装备产业企业合作数据(包括技术合作与交流、专利联合研发、联盟、采购供销等)构建产业创新生态系统网络;与此同时,收集1949~2016年原铁道部、国家计委、科技部等政府促进该产业发展所颁布的政策文件、行政指令、国家科技项目资助、政府采购等定性和定量数据。数据收集和处理流程如下所示。

产业创新生态系统边界确定之后,首先利用年鉴、志书等档案资料和提名法相结合确定历年产业创新生态系统成员构成。然后,收集这些成员企业的属性和关系数据。属性数据包括当年该企业的工程技术人员数、销售收入、申请专利数等。其中,因为专利申请数能更好测度当年创新产出(Schilling, 2015; Genin et al., 2021),且采用同一国家专利能保证专利数据一致性、可靠性(Schilling, 2015)。且本研究团队通过对轨道交通装备全球专利数据分析,发现中国轨道交通装备产业专利申请99%集中在中国本土,因此,本文利用中国知识产权信息平台收集产业(按照IPC分类号b61“轨道车辆”进行检索)历年在大陆、香港、台湾专利申请数据测度产业技术能力。

采用关系数据构建产业创新生态系统网络。因为年鉴和志书详细记录了原铁道部(铁总)、铁科院、集团公司和各子企业该年重要合作信息,从这些资料收集所有成员有记载的合作数据;然后从专利数据库补充专利合作数据,如果某一年两个企业共同申请多个专利,则技术合作数为共同申请专利数;接下来从上述企业官网、信息披露报纸等途径补充遗漏的合作信息;最后采用深入访谈方式,补充遗漏或信息不全的数据。此外,因为合作终止很少被报道,学者们往往采用1~5年窗口期(Schilling, 2015; Genin et al., 2021)。调研中企业和行业专家认为企业平均合作时间3年左右,本文采用3年窗口期测度网络结构数据(Genin et al., 2021; Clement et al., 2018)。

第三阶段:为了避免第二阶段数据收集中公开资料不足,2017年9月~2019年8月,对缺失值、信息不全的数据,采用深入访谈进行补充,同时访谈也能达到验证数据准确性和完备性目的。此外,在前面两个阶段实地调研、数据收集、文献研读基础上,增加研究主题——架构者变迁及其战略行为演变对产业创新生态系统演进

的影响,聚焦于探讨体制转轨、国有企业改制过程中,关键主体对中观产业创新生态系统架构演进的影响。因此,第三阶段调研除了企业竞合方面的问题,还增加了架构者方面的问题,例如“推动产业架构变化的关键主体有哪些,他们采用什么方式影响产业架构变化”、“企业是否对整个产业架构变化产生影响?采取了哪些方式影响产业变化”等问题。调研访谈机构覆盖了相关政府部门、部属高校和全产业链不同位置的龙头企业,包括:国家铁路局、铁总、中南大学、铁科院、中车集团、四方股份、株机公司、株洲所、株洲电机公司、时代电气、时代新材等56家单位;受访对象超过90人,进行了约150人次的半结构化访谈(平均访谈时间为半小时至两小时)。访谈对象主要有六类人:第一类是政府主管部门(原铁道部、国家铁路局等)负责人,他们对产业有全面宏观了解;第二类人对铁总、集团和下属企业有全面了解,包括铁总负责人、集团总经理和各级子公司(一二三级子公司)总经理;第三类人,负责企业的对外合作等商务事宜,以企业副总为代表;第四类人是企业总工、技术主管与研发人员;第五类人是销售人员,他们了解企业供应商和客户情况;第六类人是轨道交通装备行业专家,他们对该产业技术发展路径有深刻理解。数据来源多途径能“三角验证”不同证据(表1、表2、表3),提高研究信度、效度和鲁棒性(Eisenhardt and Graebner, 2007)。

(五)关键变量定义及其测度

产业创新生态系统架构演进特征测度。隶属结构的生态系统以成员为中心,在描述中宏观层次互动方面具有独特优势(Adner, 2017)。本文集中于中观产业层次,因此,沿用隶属结构生态系统方法,对其3个元素——成员属性、位置、联系(Adner, 2017)进行测度。用网络规模、网络合作数、网络密度、网络中心度、竞争合作强度测度联系特征演变;用产业技术能力测度成员属性特征;用产业链核心成员构成测度产业链的成熟度、核心成员更替以及成员属性和位置特征变化。

产业创新生态系统架构者。Gulati等(2012)首次提出“架构者”概念描述在生态系统形成和演进过程中关键组织的作用。“架构者”是生态系统基本、显著特征(Jacobides et al., 2018),“架构者”设定系统目标,协调成员之间相互关系,带领生态系统成员向共同目标协同演进(Jacobides et al., 2016, 2018; Adner, 2017)。本文对Jacobides等(2016, 2018)提出的架构者概念进行深化,将架构者界定为“能对整个产业创新生态系统结构变化产生影响的组织”。

政府角色。对于轨道交通装备等大型复杂产品来说,政府角色是复杂、多面且不断演进的(Genin et al., 2021; 江鸿、吕铁, 2019)。在前面学者对政府角色(Genin et al., 2021; 吕铁、贺俊, 2019)研究基础上,结合调研访谈

表1 数据来源

数据类型	具体来源	资料数量
文档数据	1.年鉴:《中国铁道年鉴》1999~2017年;中国铁路机车车辆工业总公司1994~2001年年鉴;南车集团、北车集团2002~2015年年鉴;中车集团2016~2019年年鉴;铁科院1996~2017年年鉴;株机公司、大连公司、戚墅堰公司1989~2017年年鉴等。 2.志书:中国铁路机车车辆工业志1881~2013年、株洲所志、戚墅堰所志、大同公司志书等。	72(本)
	3.年报:南车集团2006~2015年年报;北车集团2008~2015年年报;中车集团2016~2019年年报;时代电气年报等。 4.产业调查报告。	45份
	5.商业出版物:政府主管官员、企业高管著作(赵小刚等人著作);回忆录(沈志云回忆录等);学术界专家研究著作(以高柏等为代表的学术界相关研究著作)。	16本
	6.企业内部资料(包括印刷资料、PPT、PDF等文件)。	28份
	7.国资委、原铁道部等政府主管部门领导、集团董事长、总经理等企业高层讲话。	336(篇)
	1.官网:包括工业和信息化部、科技部、国家统计局、中国铁路总局、国务院国有资产监督管理委员会、集团公司、各子公司等相关部门官网和《世界轨道交通资讯网》。 2.中国知识产权信息服务网站。 3.中车集团选定的信息披露报纸:中国证券报、上海证券报、证券时报等。 4.媒体对相关人员的访谈、报道、期刊文章。	167兆
	1.实地调研。 2.非结构化访谈(平均每次访谈持续0.5~2小时)。	56家单位 约150人次

表2 访谈企业及对象

访谈单位	
相关政府部门	国家铁路局、科技部
用户	铁总、广州铁路集团、武汉铁路局、济南铁路局
集团公司、整车和维修企业	中车集团公司、四方股份、长客股份、株机公司、浦镇公司等15家
研究院所	中车研究院、铁科院、株洲所、四方所、浦镇所、大连所
相关高校	中南大学、西南交通大学
零部件企业	时代电气、时代新材、株洲电机公司、永济电机公司等一二三级企业28家

表3 访谈对象

访谈对象	次数	访谈时长(约)
行业主管部门负责人	6	半小时~2小时/每位
总经理	12	半小时~2小时/每位
对外合作等商务事宜负责人	26	1~2小时/每位
总工、技术主管与研发人员	43	1~2小时/每位
销售人员	42	1~2小时/每位
行业专家	20	1~2小时/每位

和前期研究,本文认为政府角色有:行政主管部门、产业政策制定者、技术集成者、关键用户等。其次,Adner (2017)、Jacobides 等(2018)等将创新生态系统边界界定为“直接参与产品价值创造的组织”。因此,本文将政府角色分成两个层次:制度建构者(例如产业政策的制定、行业主管部门等),是产业创新生态系统创新生境的构建者,但没有直接参与产品的价值创造,位于产业创新生态系统外部;参与主体(关键用户),直接参与产品价值创造,属于产业创新生态系统内部成员。

架构者的战略行为。与以提高自身竞争优势为核心的传统战略不同,生态系统战略关键在于如何促进生态系统成员的协同与适配(Adner, 2017; Jacobides et al., 2018)。本文在 Adner(2017)和 Jacobides 等(2018)对架构者和生态系统战略内涵分析基础上,将架构者战略行为界定为架构者用来促进产业创新生态系统成员协同与适配、促进产业创新生态系统演进的战略和行为。

四、案例分析与主要发现

(一)产业创新生态系统形成与演进过程中架构者变迁及其战略行为演变

2000年以前,政企合一的政府(原铁道部)是能影响整个产业创新生态系统结构变化的唯一架构者。2000年开始,机车车辆工业与铁道部脱钩重组,机车车辆的卖方主体与铁道部分离,解除了铁道部的行政隶属关系,铁道部对产业的行政干预减弱,但对整个产业的影响仍然很强。2000~2007年,作为制度建构者和参与主体的原铁道部,与集团公司是产业创新生态系统的架构者。2008年以后,铁总、四方股份、株机公司、株洲所、铁科院等产业创新生态系统核心企业,替代制度构建型政府,成为产业创新生态系统架构者。

1.1949~1977年:政企合一的政府是主导产业创新生态系统雏形形成的架构者

这一时期属于计划经济体制下政府全面管理阶段,政府是主导产业创新生态系统雏形构建的架构者。以铁道部为代表的政府行使政企合一职能,对该产业所属工厂、研究院所、部属高校实行统一领导和高度集中的全面行政管理^①。行使政企合一职能的铁道部对机车产业统一规划,是整个产业创新生态系统的架构者,通过产业结构专业化调整、优化空间布局、逆向工程任务分解,构建产业创新生态系统的雏形。

2.1978~2003年:政府(由政企合一向制度建构者和参与主体分离)是主导产业创新生态系统扩展的架构者

此阶段,产业创新生态系统架构者仍然是政府。政府开始放松管制,从全面行政管理逐步向行政直接干预与政策、经济干预并存转化;与此同时,政府角色从全面管理向宏观制度建构者(行业管理与规划、产业政策制定者)和微观产业创新生态系统成员(关键用户:运输组织管理机构、设备采购招标议标企业)两个层次分离。

一方面,政府开始将权力下放,指令性计划比重日益缩小,行政干预比上一阶段有所弱化,但依然占主导地位。1978年开始的改革开放推动机车工业扩权放权,政府逐步下放管理权限:1982年,政府对所有机车车辆工业企业下放财务、物资、干部任免等权限17条;1984年,下放权力增加到36条。1996年,铁道部批准中车公司改组为控股公司,标志政府与企业关系从行政管理变为资产纽带关系。2000年铁道部部属院校脱离其直管,至此,政府对该产业成员不再完全行政控制。

另一方面,政府放松行政干预同时,加大政策干预力度。通过政策内容细化、引导技术发展路径改变等方式加大政策干预力度。首先,政策内容从宏观产业发展规划细化到具体技术选择。例如,政府相继颁布“内电并举以电力为主(1983)”、“产业发展总目标为‘高速’和‘重载’(1988~2003)”政策推动产业升级。与此同时,围绕“高速”和“重载”目标,政府逐步细化技术政策,从聚焦整车仿制扩展到零部件研制,例如1991年“八五”计划明确指出“着力抓好基础零部件”、“提高配套能力”。且与前一阶段仿制不同,1992年国务院明确提出“自力更生为主,国际合作为辅”,将自主创新作为此阶段产业发展路径。

此外,政府引入经济干预促进产业发展。首先,政府改变上一阶段行政直接拨款方式,对科研院所和企业进行研发经费改革。一方面,科研院所开始自负盈亏,建立激发竞争活力的科研有偿合同制。例如,1984年《中共中央关于经济体制改革的决定》颁布,经济体制改革得到厂所的积极响应。同年,院所全部实现科研有偿合同制改革。另一方面,企业研究经费则从行政拨款转为企业自筹和政府拨款并存。1983年开始,“六五”至

“九五”国家科技攻关计划资助各主机厂、高校和科研院所研发,且科研经费逐年增加。除了研发经费改革,1997年,铁道部正式取消路内机车生产指令性计划,机车采购全部采取招议标方式,促使企业开始全面走向市场,企业之间竞争增加。2000年机车车辆工业与铁道部脱钩重组后,机车车辆的卖方主体与铁道部分离,此时,政府角色向上分离为宏观制度构建者;向下分离成为产业创新生态系统中的成员:关键客户(运输组织管理,设备采购招议标企业)。由此,作为制度构建者的政府,是产业创新生态系统的外部力量,通过政策、行政管理,自上而下影响产业创新生态系统演进;作为产业创新生态系统中关键用户的参与型政府,采用需求拉动方式,从微观层次推动产业创新生态系统演进。

3.2004~2007年:作为制度构建者和参与主体的政府,以及集团公司是引导产业创新生态系统提升的架构者

政府通过行政、政策、经济干预,引导产业创新生态系统演进。在行政干预方面,由于轨道交通装备企业和部属高校脱离了铁道部直管,相较上一阶段行政直接干预进一步弱化,但由于铁道部和铁路局是唯一买方,网运合一管理体制使得铁道部对该产业仍然有较强的行政干预能力(高柏等,2016)。具体表现为:2004~2005年间,政府通过制定市场准入政策,控制技术引进企业数量,统一技术引进和考核标准,统一指挥6家企业进行电力机车、内燃机车和动车组技术引进。某行业专家说:“技术引进时期,铁道部的行政干预是企业之间能够结成合作的主要原因”。

此外,政府加强政策、经济干预力度。在政策干预方面,从确定产业发展宏观政策,逐步细化到确定关键技术引进模式、对象、国产化实施方案。例如,2004年国务院确定“引进先进技术、联合设计生产、打造中国品牌”总体方针,标志宏观政策从上一阶段自主创新转变为技术引进。围绕技术引进宏观政策,政府(原铁道部)颁布系列细化政策,包括明确技术引进对象、技术引进内容(和谐号整车、九大关键技术和十项配套技术等)、引进模式和国产化方案,推动宏观政策逐步落地。另一方面,政府采购(原铁道部)、国家研发资金资助(科技部)等经济间接干预迅速增强,成为政府推动产业跨越式发展主要手段。由此,政府通过双重角色——制度构建者和参与主体,分别自上而下和自下而上同时推动产业创新生态系统演进。

集团公司通过对产业架构调整成为除政府之外的另一架构者。2000年,机车车辆工业与铁道部脱钩,分解重组为中国南方机车车辆工业集团公司和中国北方机车车辆工业集团公司,集团公司通过坚持专业化生产、规模化发展、集约化经营、扬长避短、优胜劣汰、加强重点、有进有退、培养各类产品的龙头企业等原则,对产业结构、组织结构、产品结构进行调整。

4.2008年至今:核心企业(包括铁总)是主导产业创新生态系统演进的架构者

核心企业(作为领先用户的参与型政府、整车企业、关键零部件企业)替代制度构建型政府,成为自下而上推动产业创新生态系统演进的架构者;制度构建型政府通过产业政策、科技资金资助引导产业创新生态系统稳定发展。

客户需求牵引下,整车、系统集成等核心企业通过构建合作创新网络、产业创新联盟、以项目为载体联合研发、整合全球技术资源在国外成立研究合作机构等方式,构建以产品为载体的创新生态系统。在这个系统的支撑下,技术与市场精准对接、高效迭代,且从前期注重应用研究向原始创新、关键共性技术、前沿技术扩展。由此,带动整个产业生态链延伸扩展、结构优化和全产业链技术能力提升,支撑产业从技术跟随向创新引领跨越。

2008年后,政府作为制度构建者,通过政策引导、科技资金资助驱动,与作为产业创新生态系统参与主体的铁总,通过采购拉动,共同吸引路外成员加入产业创新生态系统,为自主创新提供制度环境保障,引导产业创新生态系统研发与商业化交互迭代。

(二)架构者变迁及其战略行为演变对产业创新生态系统形成与演进的影响

1.1949~1977年:政企合一的政府全面管理构建产业创新生态系统雏形

1952年前,中国机车全部依靠进口,只具备对引进的蒸汽机、客车、货车修理能力,几乎不具备机车制造和

设计技术^②。针对当时中国轨道交通装备产业一穷二白的现状,1953~1977年间,行使政企合一职能的铁道部是整个产业创新生态系统的架构者,通过对机车产业统一规划,对产业结构专业化调整、优化空间布局、逆向工程任务分解,构建产业创新生态系统雏形。

(1)高度集权的政府构建产业创新生态系统雏形。政府对产业专业分工重置。1953~1958年,铁道部对产业进行专业分工调整:制造厂停止修理;修理厂变机、客、货车全修为只修一种或两种;建立专业配件生产基地。1961~1965年,政府对产业配件、修理、制造比例进一步调整,要求各厂按车种、车型分工定点生产^③。

政府构建并优化产业创新生态系统空间布局,根据产品类型建立起整车、关键部件和研究院所地理集聚的空间架构,并采取自上而下方式构建新物种。例如,1959年,铁道部组建株洲所,作为株机厂配套科研机构;组建戚墅堰所,作为戚墅堰机车厂配套科研机构;组建四方所,促进同处于青岛的四方厂对引进技术消化吸收和仿制;将原大连所改名为大连内燃机车研究所,协助内燃机车大连机车厂仿制。这种根据专业分工进行地理空间临近配套布局,为大连、株洲、常州、青岛4个城市成为轨道交通装备产业四大集群奠定基础,也为这几个企业后面分别成为内燃、电力、城轨、动车等龙头企业奠定基础。

政府通过对产业专业分工调整、构建配套研究机构并优化地理空间布局等方式,建立由配件厂、修理厂、主机厂、高校、研究院所五类种群构成的产业创新生态系统雏形:产业创新生态系统成员数量少,物种单一,产业生态链成员大量缺失,没有明显核心外围结构。整个系统以政府为中心,虽然各类物种陆续建立。但到1980年,主机厂、院所、配件厂、高校等物种不到50家(33个工厂和4个研究所,路外生产铁路机车车辆产品的企业十余家);研究院所、高校、零部件企业极少,且只是作为主机厂寄生物种存在(例如20世纪80年代以前高校处于铁道部管辖下,配合主机厂进行理论研究,研究所则作为主机厂配套的试验、中试机构);此外,虽然系列车型仿制促使转向架、电机等零部件企业相继成立(例如永济厂、株洲电机厂),但大量关键部件如制动系统、牵引系统等研制成员缺失。据记载^④:“在当时历史条件下,这种体制在促进机车车辆工业体系的形成和发展方面,起到了积极推动作用”。

(2)高度集权的政府促使产业创新生态系统成员分工合作积累技术能力。1956年,政府开始规划发展内燃和电力机车,1958年,政府从苏联引进T₃型内燃机车和H60型电力机车。铁道部等相关部门分别制定这两类机车技术任务书,内燃机车仿制任务下派给大连厂等主机厂,电力机车仿制任务下派给株机厂等主机厂,各主机厂所根据分工进行仿制。由此,政府通过政企合一军事化行政管理和经济集权手段,建立起以政府为顶层的金字塔结构,这种组织架构使得在对引进设备仿制过程中,政府可以将引进的大型设备按所属产品类别,分拆给专业厂所逆向工程,专业厂所聚焦于某一部件或技术消化吸收仿制,提高仿制效率,促进人才、技术能力积累。另一方面,在这种军事化行政管理下,产业创新生态系统成员成为被动适应政府干预的寄生物种,被动完成任务式合作,整个系统缺乏竞争和活力^⑤。例如1952年前,所有主机企业只具备机车修理能力,没有制造能力;到1980年,通过技术引进,株机厂等成员虽具备仿制能力,但制造和技术能力都很弱。政府通过行政指令,组织成员合作仿制,生态系统成员被动合作,没有竞争,缺乏创新动力。

2.1978~2003年:政府(制度构建型和参与主体)主导产业创新生态系统扩展

1978年,政府开始扩权放权,企业通过改革改制提高自主权;2000年,机车车辆企业与铁道部脱钩重组,解除了与铁道部的行政隶属关系,铁道部对机车车辆市场的调控手段从主要运用行政手段转向更多运用经济手段^⑥。由此,政府架构者角色和作用机制出现跨层次分离:向上成为宏观制度构建者(铁道部的政府职能:行业管理、规划、安全监管、标准),作为产业创新生态系统外部力量,通过行政扩权放权、产业政策、国家研发资金资助间接影响产业创新生态系统演进;向下成为微观产业创新生态系统成员主体:关键用户(铁道部企业行为:运输组织管理,设备采购招标或议标)^⑦,拉动产业创新生态系统演进。

(1)政府行政放权提高产业创新生态系统成员活力。党的十一届三中全会后,国务院颁发系列扩权、放权、转换企业经营机制文件,铁道部首先对大连、长客、长机、成都、大同、浦镇等工厂进行扩大自主权试点。政府行政放权推动试点成员生产、技术能力提升;试点成员生产、技术能力的提升进一步推动政府加大放权力度

和范围,如此反复,建立政府行政放权与产业创新生态系统自主权增强的协同演进机制。例如,1981年,铁道部对大连厂等几个工厂扩大企业自主权试点。“经济责任制的推行,对调动员工积极性,起到了很好作用^⑧。”试点成员生产效率提升推动政府进一步放权。1984年,政府进一步下放计划、物资等权力给企业。大连厂作为当时第一批试点单位在生产经营、人事等方面进行了一系列改革,开始由单纯生产型向生产经营型转变。1985年底,大连厂成功研制东风4C型内燃机车,主要技术指标在国内同行业中居领先地位^⑨。大连厂等主机厂试点成功证明经济承包责任制适合产业发展需要,由此促成1986年国务院发布《关于铁道部实行经济承包责任制的方案》,经济责任制在全路各企业实施(傅志寰,2002)。此后,产业创新生态系统企业先后进行了经营承包责任制、资产经营责任制、建立现代企业制度的改革改制。1996年,铁道部批准中车公司改组为控股公司,铁道部与中车公司行政管理关系转变为资产纽带关系,铁道部不再直接管理^⑩。2000年铁道部部属院校脱离其直管,至此,政府对该产业成员不再完全行政控制。政府的扩权放权、企业改革改制,大大提升企业技术、生产能力,企业从单纯的产品生产单位,向独立的经营实体转变,整个产业创新生态系统成员的研制能力有所加强,产业创新生态系统成员之间的关系从计划经济时代的无竞争被动合作,向市场交易关系转变,引入竞争,合作增强。

(2)政府作为制度构建者和参与主体,通过经济干预促进产业创新生态系统演进。政府行政体制改革同时伴随经济放权和改革。“随着政企分开,铁道部对机车车辆市场的调控手段已经从主要运用行政手段转向更多运用经济手段^⑪。”政府改变原有行政拨款,通过科研单位事业制改革、招投标制度改革、采购权下放和国家科技资金资助的经济干预组合促进产业创新生态系统演进。

事业制改革促进产业创新生态系统网络结构演变。1984年,国务院颁发《关于开展研究单位由事业费开支改为有偿合同的改革试点意见》,研究所相继推行科技体制改革,以完成部局下达科研任务为前提,积极承担社会各界委托的科研任务,签订有偿合同,自负盈亏。以株洲所为例,有偿合同制改革一方面使株洲所从只为株机厂配套生产逐步转向为多家主机厂、路外企业提供配套产品或技术服务。研究院所针对某些技术或零部件与其他成员结成多个小而紧密的研发合作网络,自我中心网络开始建立并扩大,逐步从外围成员变为核心成员。原来由政府 and 少数主机厂为主导的凝聚型网络架构被打破,产业创新生态系统呈现联系强度增加但网络分散化特征。此外,株洲所等研究院所开始将一些技术含量低的零部件生产外包出去,由此吸引更多外部成员进入生态系统,推动产业生态链向两端扩展。

招投标制度改革提高了生态系统竞合强度,促进产业技术能力提升。1997年,铁道部取消路内机车生产指令性计划,机车采购全部采取招投标方式,标志该产业从计划调控向市场调控转型。招投标制度推行,原有“大锅饭”计划体制被打破,使得各主机厂必须凭借先进产品获得中标机会。为了拿到订单,企业需要更主动与其他成员技术合作以提高自身技术能力,进而提升竞争力。另一方面,招投标制使得该产业内的各成员企业(整车之间、研究院所之间、零部件企业之间)形成市场竞争关系,据记载^⑫:“企业间的竞争已不可避免……一场‘争上产品,争上质量,争抢市场’的大战,不管是明的暗的都在激烈展开。”

政府通过需求拉动、国家研发资金资助,整合产业创新生态系统资源,促进产业创新生态系统演化。一方面,1997年,铁道部将采购权下放至下面的十多个路局,由此,路局作为需求方,拉动整车、零部件企业联合研制十余款动车产品。另一方面,国家研发资金资助,整合产业创新生态系统资源,促进政产学研合作网络演化。科技部以国家科技攻关课题形式确立技术研发目标,铁道部利用网运合一管理体制,“代表用户审查并下达设计任务书。按照专业分工,主机厂负责系统设计,科研单位和高校根据各自擅长的领域不同从事关键技术的专项研究,配件厂提供专项配件(傅志寰,2002)”。1996~2003年间,政府同时作为制度构建者和产业创新生态系统参与主体(关键用户),支撑各铁路局与机车车辆制造厂联合研制出以“中华之星”为代表的几十种不同型号机车车辆,由此促进产业创新生态系统规模、合作强度增加,呈现多核心特征,提升了全产业链不同位置成员的技术能力。但由于这些产品技术杂(涉及到动力集中型和分散型的电动、内燃和柴油动车组),每一种不同产品大多仅生产一列或两列(例如代表当时最高技术水平的“中华之星”仅生产一

列,没有大规模商业化)(宋娟等,2019),呈现“用户散、厂商多、批量小、技术杂”的特征(黄阳华、吕铁,2020)。虽然此时大量成员参与动车组研制,但每一种产品批量小,且不同产品之间的替代性低,研发与商业化没有反复迭代条件,由此也导致此时产业创新生态系统各成员研制能力大大提升,但整车集成能力、整车稳定性和可靠性较低。

(3)政府作为制度构建者,通过政策干预促进产业创新生态系统演进。政府通过政策文件促进产业升级,拉开成员之间差距,引导产业创新生态系统核心成员形成和更替。1983年与1988年,铁道部分别提出“内电并举以电力为主”、“停止补充新的蒸汽机车,全面进入内燃机车和电力机车时代”,促进株机厂等电力机车研制成员、大连机车厂等内燃机车研制成员进入核心层,而以四方厂为代表的蒸汽机车制造、修理成员则有边缘化趋势,生态系统成员之间差距拉大。1996年铁道部提出“重点投入,择优扶强”政策,生态系统成员差距进一步拉大,核心和外围成员开始涌现。

政策间接干预促进产业链上游零部件成员建立和成长,进一步推动核心成员向产业创新生态系统两端扩展。20世纪90年代前,大部分零部件需要进口,1991年国务院通过第八个五年计划,明确指出“着力抓好基础零部件、基础工艺的技术改造”、“提高配套能力”,促进零部件企业相继建立并迅速成长,有个别关键部件企业甚至从外围进入核心层(永济厂、南口厂分别于1992年、1993年进入核心层),由此,核心成员从下游整车企业逐步向上游零部件企业扩展。零部件企业的成长,尤其是零部件核心成员涌现同时也推动政策、研发资金资助从整车仿制向关键零部件和基础研究扩展。1996年“九五”计划明确提出“高速和重载”是突破重点,“加强科研院所、高等院校和企业之间的联合与合作”。这些政策使得产业创新生态系统成员围绕高速列车和重载货车结成多个联合研制网络,产业创新生态系统规模迅速增长,呈现多核心特征。

由此,产业创新生态系统规模增大、合作频率增加,随着市场化竞争机制引入,成员之间开始有竞争但较弱。原来由少数主机厂为主导的凝聚型网络架构被打破,生态系统成员间联系呈现程度加强但分布分散特征(生态系统网络中心度和密度指标逐年下降)。以主机厂为主的核心成员涌现并增多,制造能力提升,促使多个关键零部件企业建立,同时也吸引更多外围成员进入系统,产业生态链进一步扩展和丰富。核心层中,铁道部依然占据主导地位,主机厂是核心成员主体,部分高校、研究院进入核心层,永济厂、南口厂等个别关键部件企业从外围进入核心层。由此,核心成员从下游整车企业逐步向上游零部件企业扩展。扩展期产业技术能力得到较大提升,培养了一批具有自主研发能力的人才队伍,为后面技术引进和自主创新奠定了技术、人才基础。

3.2004~2007年:政府(制度构建者和参与主体)、集团公司引导与产业创新生态系统提升

(1)政府(制度构建者和参与主体)引导产业创新生态系统创新能力从核心向外围提升。政府作为制度构建者和参与主体双重角色,分别通过产业政策、行政干预、国家科技项目资助,与采购相结合,共同促进产业创新生态系统架构从以整车为主要核心企业的产业创新生态系统,向核心企业往上下游两端扩展的多中心扁平化产业创新生态系统架构演进。

2003年,作为行业直管机构的原铁道部,提出“跨越式发展”战略,确定将上一阶段自主创新技术发展路径改变为技术引进。原铁道部通过网运合一行政手段指定6家机车制造企业为技术引进方。原铁道部通过增加采购额为技术引进提供资金支持,并逐步细化政策:明确产业创新生态系统技术发展路径与目标,技术引进对象、标准、模式和实施方案。技术引进促使四方股份、长客股份等六大整机企业,株洲所等关键零部件企业和科研院所与阿尔斯通、西门子、川崎重工等国际巨头结成了紧密的竞合关系。2004~2005年,原来以整车企业为核心的产业创新生态系统架构,向铁科院、六大整车企业、株洲所等少部分关键部件企业为主、个别外企为核心的封闭式网络架构演进。正如某研究院技术部长所说:“原铁道部对很多体制内企业定位、生存影响是巨大的。这个项目让谁参与,不让谁参与,直接关系到企业生存及未来的发展、定位,对整个轨道交通的生态、架构都是直接影响。比如:四方厂因参与动车组的研发、生产,从效益较差的企业发展成为动车组生产的标杆企业,直接带动青岛轨道交通的配套产业发展。”

由于中国市场对外国领先企业的放开,大规模技术引进促进产业创新生态系统竞合强度进一步加强。正如南车集团前总经理赵小刚(2004)^③所说:“这次技术引进,对我国机车车辆企业的科技主导地位、产品生产布局产生巨大冲击,特别是对机、客车的整车和配件制造厂带来前所未有的挑战……铁路实施技术引进方案,使国内机车车辆市场进一步对外开放。一方面,铁路用户将根据运营需要,面向全球市场技贸结合引进机车车辆装备,使有限的机车车辆购置费用向引进产品倾斜;另一方面,国外企业将在近两三年内大力利用技术和资金优势,抢占国内市场,用向合资企业转让技术替代向国有企业转让技术,用本地化生产替代国产化要求,我们将首先在中国本土参与一场激烈残酷的国际竞争。”

为了避免陷入引进落后再引进怪圈,2006年国务院明确“自主创新”工作指导方针,促使轨道交通装备产业重新回到自主创新发展路径;同年,京沪高速确定最高时速350公里、运行时速300公里,这就驱使高速列车研制成员必须在技术引进基础上,自主研发更高时速动车组技术(技术引进车型都没有超过300公里时速)。2006年,铁道部和企业、高校共同签署《动车组引进消化吸收再创新重点项目合作总体协议书》,科技部通过科研资金资助方式(例如CRH3型动车组中的“高速轮轨铁路引进、消化吸收与创新”,科技部就投入8000万人民币研发资金资助),促进整车企业、高校、科研院所、关键零部件企业结成多个合作创新网络,对引进技术消化吸收并在此基础上开发演进车型。此外,在技术引进要求“逐步提高国产化水平”、“自主创新”政策导向、国家研发资助、政府更高时速车型采购四重作用下,倒逼永济电机公司和株洲电机公司等元器件、零部件、子系统等全产业链成员为了提高自身技术能力,与科研院所、主机企业之间,建立起研发、商业化反复迭代桥梁(贺俊等,2018),大大提升了全产业链创新生态链的研制能力。具体表现为这些企业在整个产业创新生态系统中的联系强度、中心度快速上升,上游元器件、零部件核心成员迅速增长。由此,2006~2007年间,产业创新生态系统规模、竞合强度进一步增长,合作也从引进期少数核心成员向整个产业创新生态链扩展,产业创新生态链不同位置核心成员占比差距缩小,产业技术能力、竞合强度呈现从局部向整体提升趋势。

正如某行业专家所说:“技术引进期,政府通过多种手段同时发力,才最终推动整个产业研制能力产生一个质的飞跃。尤其是前面两年先通过技术引进提升少数企业的研制能力,到后面带动全产业链企业研制能力扩展的方式,起到了非常重要的作用”。

(2)集团公司促进产业创新生态系统专业化调整(2000~2007年)。2000年,中车公司重组为南北车两大集团。南北车集团公司在中央企业工委直接管理下,针对主业不大、辅业不强、重复布局、资源分散等问题^④,在上一阶段形成的专业化生产和专业化配套产品布局基础上,以“坚持专业化生产、规模化经营、优胜劣汰、有进有退、打造龙头企业、以强带弱”,“主机产品集约化、重大零部件专业化、一般零部件市场化和后勤辅助社会化”产业调整方针,对整个行业进行自上而下的产业结构、组织结构、产品结构调整^⑤。例如为了促进货车业务结构调整,南车集团对中南、华东地区五厂货车业务进行重组整合为长江公司,使其成为亚洲最大、行业领先的现代化铁路货车研制、修理基地;将株洲所、株机公司、株洲电机厂的电机研发制造优质资源整合进株洲电机公司,并将其升级为南车一级子公司,为其成为电机龙头企业奠定了基础。此外,对客车、机车、重要零部件都实施了系列的重组整合^⑥。产业结构调整、重组举措,进一步促进产业创新生态系统成员按照整车、关键零部件、原材料等专业分工发展(到2007年底,整车产品形成了内燃机车、电力牵引、动车组和客车、城轨车辆、货车研发中心和制造基地;关键部件形成了变流与控制、柴油机、电机电器、制动系统等研发和制造基地;形成了机、客、货车修理和服务基地等^⑦);提高了全产业链关键环节成员的专业研制能力,产业创新生态系统结构进一步优化,龙头企业、强势企业和优势企业群体雏形形成,外企、多个零部件成员进入核心层。

南车集团前董事长赵小刚(2008)^⑧这样描述产业结构调整结果:“产业结构调整取得重要成果,主机产品集约化和重要零部件专业化程度不断提升……突出了主业,优化了资产质量,提高了竞争力……提高了各企业研发、制造资源的集中度,改变资源配置分散现状。我们先后抓了电机产业、电力机车产业、内燃机车产业、货车产业、传动齿轮产业等的整合……这些举措使得产品结构进一步合理化,主业更加突出,规模化生产、专

业化分工越来越清晰。初步形成了以动车组、电力机车、客车、货车、地铁为核心产品的轨道交通装备产业;以变流、电传动、齿轮传动、牵引电机、柴油机、机电产品系统集成、复合材料技术、热工和机械加工工艺技术等八大专有技术的延伸产业。”

另一方面,“扶强促优”结构调整思路,强化了产业创新生态系统优胜劣汰、以强带弱机制,促进产业创新生态系统技术、管理能力从核心成员向外围成员逐步提升格局,整个产业创新生态系统成员的技术能力进一步提升。南车集团前党委书记郑昌泓(2006)^⑨说:“要根据专业化分工协作和规模化经营的要求,立足于做强做优,重点发展资金、技术和产品都突出的龙头企业,使之成为优化行业和企业组织结构,带动产业升级的主导力量”。“扶强促优”下,2008年初期,形成了以铁科院、株洲所为代表的研究院所核心成员;以四方股份、长客股份、株机公司等为龙头的整车企业;以株洲电机公司、永济电机公司等关键零部件企业为龙头的多核心产业创新生态系统架构。

前南车集团某副总这样描述集团公司架构者角色:“2000年铁道部解除行政隶属关系后,集团公司替代原铁道部,对整个产业进行全局规划,成为影响整个产业架构的主要力量”。

4.2008年至今:核心企业主导产业创新生态系统稳定发展

核心企业(包括用户、整车、关键零部件、研究院所等核心成员)逐步替代制度构建型政府,成为主导产业创新生态系统结构演变的架构者。

(1)制度构建型政府引导核心企业成为架构者,促进产业创新生态系统稳定发展。2006年国务院相继颁布系列文件,将自主创新上升为国家重大战略(Sun and Cao, 2018),促使轨道交通装备产业从“技术引进”向“自主创新”转变。同年,原铁道部确定动车组采购车型为350km/h,高于引进车型300km/h。为了实现高速列车技术引领,2008年科技部和铁道部签署了《中国高速列车自主创新联合行动计划》,面向全国整合优势科技与产业资源。与此同时,科技部等部委对联合研发提供资金资助(例如同期科技部启动了“十一五”国家科技支撑计划项目“中国高速列车关键技术研究及装备研制”,该项目国家拨款10亿元,企业自筹经费20亿元),原铁道部加大升级车型机车采购额以支持企业研发(机车采购额从2008年的566.35亿元增长到2011年的1049.49亿元)。这种面向全国开放的国家政策引导、科技资金资助驱动、采购拉动作用下,前期局限于路内的产业创新生态系统边界被打破,路外企业、高校、研究院所加入产业创新生态系统。

2012年,为了助推中国轨道交通装备实现技术引领,尤其是突破网络、牵引、制动系统等关键核心技术“卡脖子”问题,科技部印发“十二五”规划,指出技术发展重点从三大平台的持续优化和重点提升向基础理论与关键技术转变。与此同时,前期引进消化吸收再创新开发的车型种类多,存在车体、关键部件不兼容问题。为了进一步提高自主创新能力和降低成本,2013年,铁总启动中国标准动车组研制计划,该计划得到科技部等有关部门大力支持。例如,2014年,国家发改委将中国标准动车组纳入国家战略新兴产业示范工程项目,专项安排8亿元的国家固定资产投资;国家科技部通过863、973计划、国家重大科技专项、国家科技支撑计划,国家自然科学基金委通过设立重大专项等课题资助方式,支持产业创新生态系统成员围绕中国标准动车组联合研制。鼓励大众创新和创业的“创新驱动发展”战略引导、国家科技项目经费的牵引、铁总采购的持续增长(2012~2019年间,铁总机车采购额维持平均每年900亿元以上)拉动,激励企业成为产业创新生态系统创新主体。企业为了提高技术能力,抢占市场,积极投资新技术和产品研发(企业研发支出是政府科技项目拨款数倍。2012~2019年间,交通运输设备制造业的研发投入比例从2.18%增长到5.4%),产业创新生态系统成员结成的创新网络空前高涨(Sun and Cao, 2018)。随着标准动车组、复兴号的研制和批产,产业创新生态系统不同位置的核心企业围绕基础理论、关键技术、核心子系统构建创新网络联合研制,大量非核心成员甚至外围成员也都成为某一基础理论或关键技术研制的创新网络发起者。核心企业主导下,产业创新生态系统构建研发和商业化连接桥梁,技术与市场交互迭代,正反馈机制的建立进一步支撑产业实现创新引领,核心成员遍布整个产业生态链,产业创新生态系统网络结构稳定,标志产业创新生态系统进入成熟期。

某研究院总工这样描述制度构建型政府与核心成员的关系：“前期政府通过宏观政策、科研项目牵引，与铁总市场订单项目一起，成为带动相关主机企业及配套企业联合研制的强有力推手。企业需要生存，需要可持续发展动力，未来市场可期，都会非常积极主动甚至想尽一切办法参与前期调研、申请、主持并组织科研项目，通过整合其他企业资源联合研发，为未来抢占更多的市场占有先机。比如：300km\250km 复兴号、动力集中动车组等，都是这种情况。”

(2)核心企业(包括用户、整车、关键零部件、研究院所等)成为主导产业创新生态系统演进的架构者。成熟期，核心企业(包括提升期形成的产业链不同位置的龙头企业和作为用户的参与型政府)替代制度构建型政府成为主导产业创新生态系统演进的架构者。产业创新生态系统的关键和领先用户(参与型政府)，作为垄断用户，通过制定技术标准、国产化要求和采购，促进产业创新生态系统上下游企业合作；其他核心企业(包括整车、研究院所、关键零部件企业)以项目为载体进行联合研发，构建合作创新网络、产业创新联盟、在国外成立研究合作机构以整合全球技术资源等方式，助推整个产业创新生态系统向原始创新、关键共性技术、前沿技术扩展的同时，促进技术与市场精准对接、高效迭代。由此，带动整个产业生态链横向和纵向延伸扩展，产业创新生态系统结构进一步优化，全产业链关键环节企业技术能力得到较大提升，成熟完整的产业创新生态系统支撑产业从技术跟随向创新引领转变。

首先，作为垄断用户的铁总，通过采购主导整个产业技术发展和企业投资方向，推动产业创新生态系统架构演进。2000年，原铁道部与机车车辆工业脱钩重组后，原铁道部向上成为宏观制度构建者，向下成为产业创新生态系统的关键和领先用户。这样的双重身份，使得在技术引进时期，原铁道部能同时利用行政管理、产业政策、政府采购3种手段影响产业创新生态系统架构演进。但随着轨道交通装备产业创新生态系统整车、关键零部件龙头企业的成长，从2008年开始，原铁道部(后来的铁总)主要作为垄断用户，通过升级的谱系化高铁装备产品和国产化需求、不断增加的采购额度和科研项目资助，主导整个产业技术发展和企业投资方向，推动产业创新生态系统架构演进。例如为了实现高速列车创新引领，降低不同型号车不兼容所导致的成本过高并提高动车的技术兼容性，铁总主导标准动车组研制。铁总委托铁科院技术牵头，根据铁总对高速列车的技术偏好和性能要求，形成标准动车组的顶层技术指标和关键方案(江鸿、吕铁，2019)，指定四方股份和长客股份作为整车集成企业，带动中国动车组全产业链成员联合研制(参与标准动车组研制的企业500多家，覆盖全国各地区)，实现标准动车组的统型目标。

某研究院总工这样描述铁总的架构者角色：“铁总对整个行业架构的影响巨大，说是架构师是可以的。铁总制订行业发展方向是决定性的，从哪个方向投资，从哪个技术方向发展等，基本上靠铁总这种大佬才能推动。例如标准动车组、重载运输等产品研制，铁总都起了重要作用。另外，对于大的技术问题、方案研讨，往往都是总工亲自带队汇报，对接铁总。这从一个方面反映出企业的重视态度。基本上铁总的副处长、处长就可以调动中车一级子公司总工，跟市场订单项目相关的时候董事长或总经理也会亲自出面汇报，根据具体情况确定。”

其次，用户需求牵引、核心企业主导构建遍布全产业链的产学研用创新生态系统，促进产业创新生态系统建立起研发与商业化迭代正反馈机制。除了作为垄断用户的铁总是架构者，核心企业(包括整车、研究院所、关键零部件企业等核心成员)也是影响产业创新生态系统架构变化的关键主体。铁总作为用户，主要在产业技术标准体系转换、联调联试等极少数活动中，整合不同主体联合研制。但铁总并不介入具体的项目合作工作，尤其不参与较低层级的项目协调工作(江鸿、吕铁，2019)，具体集成、联合研制以集成企业等核心成员为主体。核心企业(包括整车和系统集成)牵头，联合产业生态链不同位置成员(全产业链生态链包括：上游高校、研究院所、原材料和元器件企业，中游零部件供应商，下游集成企业、配套设备供应商、运营商、客户等)，构建起产学研用创新生态系统。由此，产业创新生态系统搭建研发和商业化桥梁，成员之间技术与市场精准对接，加速迭代。

例如CRH380A研制，原铁道部提出运行、基本性能等具体技术需求，并通过科技项目研发资金资助和机

车采购拉动,由四方股份牵头,围绕整车集成、共性基础技术、关键系统及部件研制以及试验验证技术几个方面,与产业创新生态系统成员(包括上下游50余家相关企业、36所大学和科研院所、51家国家级实验室和工程研究中心的近万名研发人员)结成多个合作创新网络。正是客户采购牵引、集成企业主导,构建起研发和商业化对接的创新生态系统支撑体系,促进技术与市场精准对接、加速迭代,进而逐个突破关键共性技术、关键零部件技术、关键材料技术、试验验证技术。后续标准动车组、高速磁悬浮列车、电力机车、城轨等系列具有核心竞争力的产品研制,都采用相似模式。这些系列产品的研制,使得整个产业创新生态系统成员的创新能力大大提升,进一步强化整车、科研院所、零部件企业的龙头地位,形成了以这些龙头企业为中心的局部紧密网络,推动产业创新生态系统网络结构进一步向多核心、网络重叠耦合结构演进。例如,形成了以四方股份、长客股份、唐车公司为核心的动车创新生态系统;以株机公司、同车公司等为核心的电力机车创新生态系统;以株机公司、浦镇公司为核心的城轨创新生态系统;以株洲所、铁科院、永济电机公司、株洲电机公司等为中心的关键零部件创新生态系统等。正是这些遍布全产业链的核心企业为中心的创新生态系统的构建,使得整个产业创新生态系统呈现全产业链生态链关键环节都有龙头或核心企业,且围绕这些龙头和核心企业,多个创新生态系统重叠耦合、竞合共存、共生共演,支撑产业和企业从技术跟随向创新引领转变。

正如某整车企业总经理所说:“2000年后,铁道部的行政干预逐渐减弱,虽然由于制度惯性,技术引进期铁道部的行政干预在促进企业合作方面起到一定作用,但随着企业改革改制的成熟,2008年以后,铁道部和铁总的行政干预很少,主要作为垄断用户提出订单及相应技术需求,但具体落实还是以企业为主。整车、研究所、关键零部件等核心企业是除铁总之外,推动产业架构变化的主力军。”

再者,为了更好地整合全球技术资源,加强前沿技术、基础技术、关键共性技术的研发,多个龙头企业发起,相继成立中德、中英、中美等海外联合研发中心十余个。这些研发中心的成立,提高了产业前沿、基础、关键技术能力,为维持创新引领奠定技术基础。例如四方股份、中车研究院、德累斯顿工业大学共同出资成立“中德轨道交通技术(德累斯顿)联合研发中心”,主要从事轨道交通装备轻量化技术及材料的研发,在碳纤维车体、碳纤维转向架、碳纤维轮对等方面开展合作^⑨。

此外,为了整合全产业链资源,以突破和掌握一批事关产业发展的关键共性技术,龙头企业牵头组建产业科技创新联盟,促进产学研用合作。到2015年底,整个产业创新生态系统中,龙头企业发起或参与组建了20多个产业科技创新联盟,加强了产业生态链上下游成员之间的协同合作,带动整个产业生态链成员技术能力提升。例如由四方股份、唐车公司、长客股份、四方所牵头组建的“高速列车产业技术创新联盟”,联合了15家高校、科研院所和行业企业共同搭建开放性政产学研合作平台。这个联盟为后续中国标准动车组、高速磁悬浮列车等研制奠定了产业链技术、组织基础。与前面所说的项目为载体的产学研用联盟不同,产业创新联盟合作更松散,更侧重于整个产业链的连接。这种形式的联盟在推动产业生态链向两端延伸,平衡产业创新生态系统成员之间的竞合关系方面具有优势。

五、结论与启示

(一)主要结论

本文运用纵向案例方法,探究产业创新生态系统演进过程中,架构者变迁及其战略行为演变对产业创新

表4 产业创新生态系统架构变化

年份	网络规模	联系强度	网络中心度	核心物种	竞合强度	专利申请数
新生期:1952~1980年	20~47	—	—	政府、少部分主机厂	无竞争,弱合作	0~3
扩展期:1981~2003年	363~964 (1993~2003)	896~1962 (1993~2003)	减少	政府、主机厂、高校、研究所、零部件企业	弱竞争,强合作	2~538
提升期:2004~2007年	1060~1336	2386~2560	减少	政府、整车企业、高校、研究所、零部件企业、外企	弱竞争,强合作	506~831
成熟期:2008~2014年	1414~1928	3026~4898	趋平稳	整车企业、研究所、高校、政府、零部件企业、委外企业、外企	强竞争,强合作	1334~3690

注:1993年前,虽然有“中国铁路机车车辆工业1949~1988”等著作,但中国铁路机车车辆年鉴从1994年开始(年鉴记录的是前一年的信息,如1994年年鉴记录的是1993年的信息),因此,网络数据起始年份为1993年。新生期、扩展期的主机厂经过改制成为提升期、成熟期的整车企业。

生态系统演进的作用机制(请见文后附图1),最终得出如下3个主要结论。

第一,产业创新生态系统形成与演进不同阶段,架构者发生变迁。产业创新生态系统4个阶段的架构者分别为:政企合一的政府、由政企合一向制度构建者和参与主体分离的政府、作为制度构建者和参与主体的政府与集团公司及产业创新生态系统核心成员。不同架构者战略行为及其作用机制不同,且同一架构者在不同阶段其战略行为对产业创新生态系统演进的作用机制不同。新生期,如果仅仅通过自组织演进,产业创新生态系统涌现漫长且混沌。此时,行使政企合一职能的政府作为“架构者”,通过行政干预自上而下对整个产业统一规划,通过产业结构专业化调整、优化空间布局、逆向工程任务分解,构建产业创新生态系统雏形。随着经济体制转型、企业改革改制和生态系统成员技术、管理能力提升,政府角色跨层次分离:向上成为宏观制度构建者;向下成为产业创新生态系统参与主体——关键用户。扩展期,作为制度构建者的政府是架构者,通过逐步减弱行政干预,增强政策和经济干预,推动产业创新生态系统架构演进。提升期,作为制度构建者和参与主体的政府、集团公司,是架构者。作为产业创新生态系统外部力量的制度构建型政府,通过产业政策、国家资金资助等间接干预方式,与作为产业创新生态系统核心成员的参与型政府(用户),分别从产业创新生态系统外部和内部,共同促进产业创新生态系统演进。作为提升期另一架构者,集团公司通过对产业、产品、组织结构调整自上而下促进产业创新生态系统演进。成熟期核心企业(包括整车、关键零部件、用户)替代制度构建型政府、集团公司,成为产业创新生态系统架构者。

第二,伴随中国经济体制转型、国有企业改革改制,政府在大型复杂产品产业中的作用是复杂、多面、动态演进的,政府角色多面性通过不同的战略行为对产业发展产生不同影响。在轨道交通装备产业创新生态系统新生期、扩展期、提升期,虽然政府是产业创新生态系统演进的绝对架构者,但其战略行为及其作用机制发生了实质性变化。从新生期通过行政手段自上而下的直接干预,向扩展期的行政干预为主,经济、政策干预为辅;再到提升期这3种干预并重转化。而这多种干预手段的组合,是政府角色跨层次分离的结果:向上作为宏观制度构建者,向下则作为产业创新生态系统参与主体——关键用户。成熟期核心企业(包括关键用户、整车企业、零部件企业)替代制度构建型政府、集团公司,成为产业创新生态系统架构者,通过构建合作创新网络、产业创新联盟、联合研发等方式,自底向上推动产业创新生态系统演进。

第三,架构者应根据产业创新生态系统演进阶段特征变化而变化,有效干预组合是构建具有绝对竞争力和控制力的产业创新生态系统的关键。新生期,产业创新生态链物种少,大量成员缺失,呈现无核心混沌状态,产业创新生态系统整体技术能力低。如果仅仅通过成员自组织演进,产业创新生态系统形成将极其漫长且混沌。政府通过行政直接干预,按照专业分工,对整个产业统一规划,加快产业创新生态系统雏形构建。扩展期,政府从全面行政管理向主导角色转变,政府通过行政放权,引入政策和经济间接干预组合,共同促进产业创新生态系统演进。一方面,政府行政放权推动试点成员技术能力提升,试点成员技术能力提升进一步推动政府加大放权力度和范围,如此反复,政府行政放权与产业创新生态系统自主权增强协同演进机制建立。另一方面,政府放松行政直接干预同时,加强政策、经济间接干预力度。例如招标投标制度改革提高了创新生态系统竞合强度,促进产业技术能力提升;事业制改革促进科研院所等外围成员进入核心层,推动产业创新生态链向两端扩展;国家研发资金资助整合政产学研合作,促进产业创新生态系统规模增加、竞合强度、技术能力增强,向多核心趋势演化;政策间接干预促进上游零部件成员建立和成长,推动核心成员向生态链两端扩展,促进核心和外围成员涌现。提升期,政府通过行政直接干预、政策和经济间接干预组合,共同引导产业创新生态系统按照先整车、关键零部件等少数核心成员技术能力提升,再带动全产业不同位置成员技术能力提升,“先核心提升再向外围扩展”的方式,促进产业创新生态系统构成、结构、竞合强度的变化;集团公司通过对产业、产品结构调整,进一步优化产业创新生态系统结构。成熟期,产业创新生态系统核心成员的技术和组织能力提升,成为优化和完善产业创新生态系统架构的关键主体,这些遍布产业链关键环节的核心成员通过构建创新网络等方式,主导产业创新生态系统研发与商业化有效迭代、稳定发展。此时,制度构建型政府通过政策和经济间接干预组合协调产业创新生态系统稳定发展。

(二)理论贡献

第一,对架构者角色及其战略行为研究的贡献。要理解全产业关键环节都有一个或多个掌握关键核心技术的龙头企业的产业创新生态系统如何构建,就需要对关键行为人——“架构者”及其战略行为有深刻理解。而这是现有研究有待探索的问题。本文采用动态演进方法,将政府作为制度构建者和参与主体的内外部角色进行细致解构,探究架构者变迁及其战略行为演变在产业创新生态系统形成与演进中的作用机理,突破了Jacobides等人将架构者看成内生因素的局限,对于丰富和拓展创新生态系统理论与产业组织理论有重要贡献(Jacobides and Tae, 2015; Jacobides et al., 2016, 2018)。

第二,对创新生态系统演进研究的贡献。不同于以往集中于从技术、产品、企业间的依赖关系等微观层次探讨企业创新生态系统研究,本文借鉴隶属结构生态系统方法(Song, 2016; Adner, 2017),从中观产业层次,探究了产业创新生态系统如何从初期多数关键成员缺失,到产业创新生态系统关键成员逐步涌现、最终形成较为完备成熟的产业创新生态系统(全产业关键环节都有掌握核心技术的龙头企业)的演进过程,其驱动因素及其作用机理,从中观产业层次对当前创新生态系统演进研究进行了补充和拓展,对于丰富创新生态系统前因变量研究具有重要贡献。

第三,对大型复杂产品赶超研究的贡献。近年来,学者们从微观企业或政府等能力主体、产品开发平台、市场需求、国家创新体系等角度研究高速列车等大型复杂产品赶超问题(贺俊等, 2018; 江鸿、吕铁, 2019; 吕铁、贺俊, 2019; 路风, 2018, 2019; 黄阳华、吕铁, 2020; Genin et al., 2021), 且有个别学者认识到全产业关键环节都强大的产业创新生态系统,是支撑高铁等大型复杂产品成功赶超的关键(吕铁、贺俊, 2019)。但至今为止,缺乏对支撑该产业成功赶超的关键中间变量——产业创新生态系统的考察。本文突破现有研究局限,对支撑大型复杂产品成功赶超的产业创新生态系统形成与演进进行了开拓性研究,一方面响应了“应从生态系统视角来解释复杂产品赶超”的号召(欧阳桃花等, 2015; 曾赛星, 2019; 宋娟等, 2019),促进了复杂产品理论与生态系统理论的融合;另一方面,为近年围绕中国高铁成功赶超原因的争论(贺俊等, 2018; 路风, 2019; 吕铁、贺俊, 2019; 江鸿、吕铁, 2019; 黄阳华、吕铁, 2020)提供新的思路和证据,弥补了已有文献缺乏对这一关键中间变量探讨的缺口。

第四,对高速列车技术赶超中政府角色研究的贡献。虽然现有研究从政府的制度供给者、作为市场主体的关键或先进用户、系统集成者等角色,分析了政府在高速列车赶超中的作用。但在转型经济中,通过国有企业改制等系列改革,政府角色和干预组合发生了显著变化(黄阳华、吕铁, 2020; Genin et al., 2021),鲜有研究同时考察政府角色多面性和干预组合变化对高速列车赶超作用机制的异同。另一方面,现有研究集中分析政府对该行业技术、企业能力、产品开发平台等微观主体的影响(贺俊等, 2018; 路风, 2018, 2019; 江鸿、吕铁, 2019; 吕铁、贺俊, 2019; 黄阳华、吕铁, 2020),缺乏对政府角色及干预组合如何影响产业架构的研究。与关注某个或多个特定干预手段研究不同,本研究把政府干预组合作为一个整体,采用动态演进视角与跨层次方法相结合,考察政府角色和干预组合的演进轨迹,通过将政府作为制度构建者和参与主体的内外部角色进行解构,对政府角色的多面性、演进特征及其干预组合对中观产业创新生态系统架构变化具体作用机制进行了更细致的考察。本文研究是对大型复杂产品赶超中政府作用的重要补充。

(三)实践启示

首先,对突破关键核心技术“卡脖子”问题的启示。由于创新生态系统的缺失,“合作悖论”成为困扰中国企业关键核心技术突破的难题。中国轨道交通装备关键核心技术突破方式可以为企业、产业提供启示。首先,对于企业来说,企业应将关注重点从自身核心能力培养扩大到所嵌入的产业创新生态系统的培育与优化(Adner, 2012),通过整合生态系统成员资源,突破关键核心技术研发和商业化瓶颈。例如,CRH380A成功研制,源于四方股份发起,政府支持下,构建了一个研发与商业化互动迭代的产业创新生态系统支撑体系。所有成员协同创新,逐个突破关键共性技术、关键零部件技术、关键材料技术、试验验证技术。其次,关键核心技术能否成功突破,除了需要创新生态系统成员联合研发以突破技术研发瓶颈,更需要政府为关键核心技术商业

化创造良好的产业创新生态支撑体系。政府等产业管理部门,应创造条件,加强上游研究院所、关键部件成员与下游集成企业、配套设备供应商、客户等成员之间合作,实现技术与市场精准对接、高效迭代,进而促进研发的成功商业化(吕铁、贺俊,2019;路风,2019)。例如,1965年,中国就诞生了第一块国产芯片,但我国芯片关键核心技术却一直受制于人。究其原因,在于创新生态系统上游研发和下游商业化脱节,没有形成完整创新生态系统。而CRH380A、复兴号列车在开始研制时,就有鲜明的商业化应用导向(吕铁、贺俊,2019)。政府、整车企业等生态系统成员为上游零部件成员提供技术支持和试验设施;上游零部件成员、研究院所、高校通过联合研发,并在反复试验、用户反馈和运营中逐步完善技术(吕铁、贺俊,2019)。这些案例充分说明,要突破制约我国产业创新发展的关键核心技术“卡脖子”问题,企业、产业、政府应构建从基础研究、技术研发、产品应用、市场培育的完整产业创新生态系统,促进上下游成员协同合作。

其次,对构建全产业链关键环节都强大的产业创新生态系统的启示。如何构建具有绝对竞争力和控制力的全产业链创新生态系统支撑体系,成为身处逆全球化、技术和贸易封锁盛行、产业生态链本土化将成为未来国家战略主线(贺俊,2020)的复杂国际环境下的中国企业、产业甚至国家层面突破创新发展瓶颈的首要问题。中国轨道交通装备产业创新生态系统构建经验,可以为企业、政府提供启示。首先,对于政府来说,为了培育掌握关键核心技术的零部件企业,应尽可能促成专业化的市场结构(吕铁、贺俊,2019)。例如,从新生期初期,政府通过对机车产业统一规划,通过产业结构专业化调整、优化空间布局等方式,使得中国轨道交通装备产业在新生期就形成了机车车辆、机械、电机、专业化机车车辆研究所构成的专业分工体系;且后续发展过程中,政府通过经济、政策等干预手段,促进全产业链关键环节企业掌握核心技术。另外,要促进全产业链创新生态系统技术能力提升,单靠市场采购、研发投资、产业政策单一手段不行,而是需要这几个手段同时发力,以打通研发与商业化桥梁,实现研发与市场迭代,不断提升技术能力。对于集团公司,应加强产业创新生态系统培养和优化意识,通过对产业结构、组织结构、产品结构的调整,促进产业生态链的优化。对于核心企业来说,应将构建和优化产业创新生态系统作为自身战略重点,通过构建合作创新网络、产业创新联盟、以项目为载体进行联合研发、在国外成立研究合作机构以整合全球技术资源等方式,助推整个产业创新生态系统向原始创新、关键共性技术、前沿技术扩展,促进技术与市场精准对接、高效迭代。

最后,本研究为政府职能转换和有效组合干预手段,从而促进产业创新生态系统演进、企业创新能力提升,进而促进产业赶超提供实践指导。新生期,政府可以通过行政直接干预促进产业创新生态系统优化空间布局、从无到有快速积累技术能力,帮助产业克服工业化初期困难(Braguinsky and Hounshell, 2016),进而促进产业创新生态系统雏形快速高效构建;雏形建立之后,政府角色从全面管理向主导转变,放松政治管制同时增加经济间接干预力度,提升成员自主能力、竞合动力,促进产业创新生态系统规模扩大和产业生态链扩展;为了突破系统集成瓶颈,政府可以通过先核心提升再向外围扩展,引导核心企业通过对先进、前沿技术自主研发、引进等方式,帮助产业突破技术发展瓶颈,缩短产业升级时间,快速实现追赶。成熟期,产业和企业进入技术发展前沿时,政府角色应该随之改变,政府应给与产业和企业政策和经济自由,因为此时的技术创新依赖于企业和个体网络的外溢效应,而不是对投资的协调(Mahmood and Rufin, 2005)。政府应从主导者向协调者转换,减弱甚至退出行政直接干预,采用经济、政策间接干预组合,为产业创新生态系统创新提供良好的政策环境。

(四)研究局限和未来研究展望

虽然本研究为架构者变迁及其战略行为演变对产业创新生态系统演进提供了新的洞见,但还存在如下不足之处,有待未来进一步探索。首先,政府在产业发展中的作用备受争议,尤其中美贸易摩擦后,传统的政府在产业发展中的角色需要转变,如何转变政府职能以更好促进产业从赶超向创新引领发展是下一步研究关注重点。其次,国有企业创新能力对产业和国家创新发展具有越来越重要的作用(Zhou et al., 2017; Hu et al., 2019; Genin et al., 2021),中美贸易摩擦、逆全球化背景下,国有企业应如何转变发展思路,优化组织架构,促进创新能力提升,未来需要重点关注。最后,本文聚焦于轨道交通装备产业,属于大型复杂产品产业,这些产

业具有市场需求以政府采购为主、政府政策发挥直接驱动作用等共同特点,本文的研究结论不一定适用于大规模制成品行业。未来可以根据大规模制成品产业特征,分析架构者角色和战略行为演变对产业创新生态系统架构的影响。

(作者单位:谭劲松,约克大学舒力克商学院;宋娟,中南大学商学院;陈晓红,湖南工商大学)

注释

①③④⑤⑧⑩《中国铁路机车车辆工业 50 年:1949-1999》,中国铁道出版社,1999 年。

②《中国机械电子工业年鉴》,机械工业出版社,1984 年。

⑥⑪⑮《株洲电力机车厂年鉴 2001》,中国铁道出版社,2001 年,第 10~16 页。

⑦《中国南车年鉴 2009》,中国铁道出版社,2009 年,第 69 页。

⑨《铁道部大连机车车辆工厂志:1899-1987》,大连出版社,1993 年。

⑫《大连机车车辆厂年鉴》,中国铁道出版社,1996 年。

⑬《中国南方机车车辆工业集团公司年鉴 2005》,中国铁道出版社,2005 年,第 77~84 页。

⑭《中国南车年鉴 2012》,中国铁道出版社,2012 年,第 48~58 页。

⑯《中国南车年鉴 2011》,中国铁道出版社,2011 年,第 71 页。

⑰《中国南方机车车辆工业集团公司年鉴 2007》,中国铁道出版社,2007 年,第 59~68 页。

⑱《中国南车年鉴 2009》,中国铁道出版社,2009 年,第 33~68 页。

⑲《中国南方机车车辆工业集团公司年鉴 2007》,中国铁道出版社,2007 年,第 48~58 页。

⑳《中国中车年鉴 2016》,中国铁道出版社,2016 年,第 129 页。

参考文献

- (1)傅志寰:《中国铁路机车车辆工业发展之路的思考》,《中国铁路》,2002 年第 7 期。
- (2)高柏、李国武、甄志宏:《中国高铁创新体系研究》,社会科学文献出版社,2016 年。
- (3)贺俊、吕铁、黄阳华、江鸿:《技术赶超的激励结构与能力积累:中国高铁经验及其政策启示》,《管理世界》,2018 年第 10 期。
- (4)贺俊:《从效率到安全:疫情冲击下的全球供应链调整及应对》,《学习与探索》,2020 年第 5 期。
- (5)黄阳华、吕铁:《深化体制改革中的产业创新体系演进——以中国高铁技术赶超为例》,《中国社会科学》,2020 年第 5 期。
- (6)江鸿、吕铁:《政企能力共演化与复杂产品系统集成能力提升——中国高速列车产业技术追赶的纵向案例研究》,《管理世界》,2019 年第 5 期。
- (7)李恒毅、宋娟:《新技术创新生态系统资源整合及其演化关系的案例研究》,《中国软科学》,2014 年第 6 期。
- (8)吕一博、韩少杰、苏敬勤:《翻越由技术引进到自主创新的樊篱——基于中车集团大机车的案例研究》,《中国工业经济》,2017 年第 8 期。
- (9)吕铁、贺俊:《政府干预何以有效:对中国高铁技术赶超的调查研究》,《管理世界》,2019 年第 9 期。
- (10)路风:《追踪中国高铁技术核心来源》,《瞭望》,2013 年第 48 期。
- (11)路风:《论产品开发平台》,《管理世界》,2018 年第 8 期。
- (12)路风:《冲破迷雾——揭开中国高铁技术进步之源》,《管理世界》,2019 年第 9 期。
- (13)欧阳桃花、胡京波、李洋、周宁、国辉:《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》,《管理学报》,2015 年第 4 期。
- (14)欧忠辉、朱祖平、夏敏、陈衍泰:《创新生态系统共生演化模型及仿真研究》,《科研管理》,2017 年第 38 期。
- (15)苏敬勤、单国栋:《复杂产品系统企业的主导逻辑——以大连机车为例》,《科研管理》,2016 年第 6 期。
- (16)宋娟、谭劲松、张莹莹:《创新生态系统下核心企业创新“盲点”识别及突破案例分析》,《研究与发展管理》,2019 年第 4 期。
- (17)曾赛星、陈宏权、金治州、苏权科:《重大工程创新生态系统演化及创新力提升》,《管理世界》,2019 年第 4 期。
- (18)赵小刚:《与速度同形——亲历中国铁路工业 40 年》,中信出版社,2014 年。
- (19)Adner, R., 2006, “Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem”, *Harvard Business Review*, vol. 84, pp.98~107.
- (20)Adner, R. and Kapoor, R., 2010, “Value Creation in Innovation Ecosystems: How the Structure of Technological Interdependence Affects Firm Performance in New Technology Generations”, *Strategic Management Journal*, vol. 31, pp.306~333.
- (21)Adner, R., 2012, *The Wide Lens: A New Strategy for Innovation*, Penguin UK.
- (22)Adner, R. and Kapoor, R., 2016, “Innovation Ecosystems and The Pace of Substitution: Re-Examining Technology S-Curves”, *Strategic Management Journal*, vol. 37, pp.625~648.
- (23)Adner, R., 2017, “Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy”, *Journal of Management*, vol. 43, pp.39~58.
- (24)Adner, R. and Feiler, D., 2019, “Interdependence, Perception, and Investment Choices: An Experimental Approach to Decision Making in Innovation Ecosystems”, *Organization Science*, vol. 30, pp.109~125.
- (25)Braguinsky, S. and Hounshell, D. A., 2016, “History and Nano-economics in Strategy and Industry Evolution Research: Lessons From The Meiji-Era Japanese Cotton Spinning Industry”, *Strategic Management Journal*, vol. 37, pp.45~65.
- (26)Cennamo, C. and Santalob, J., 2019, “Generativity Tension and Value Creation in Platform Ecosystems”, *Organization Science*, vol. 30, pp. 617~641.
- (27)Clement, J., Shipilov, A. and Galunic, C., 2018, “Brokerage as a Public Good: The Externalities of Network Hubs for Different Formal Roles in Creative Organizations”, *Administrative Science Quarterly*, vol. 63, pp.251~286.
- (28)Davis, J. P., 2016, “The Group Dynamics of Interorganizational Relationships: Collaborating with Multiple Partners in Innovation Ecosystems”, *Administrative Science Quarterly*, vol. 61, pp.621~661.

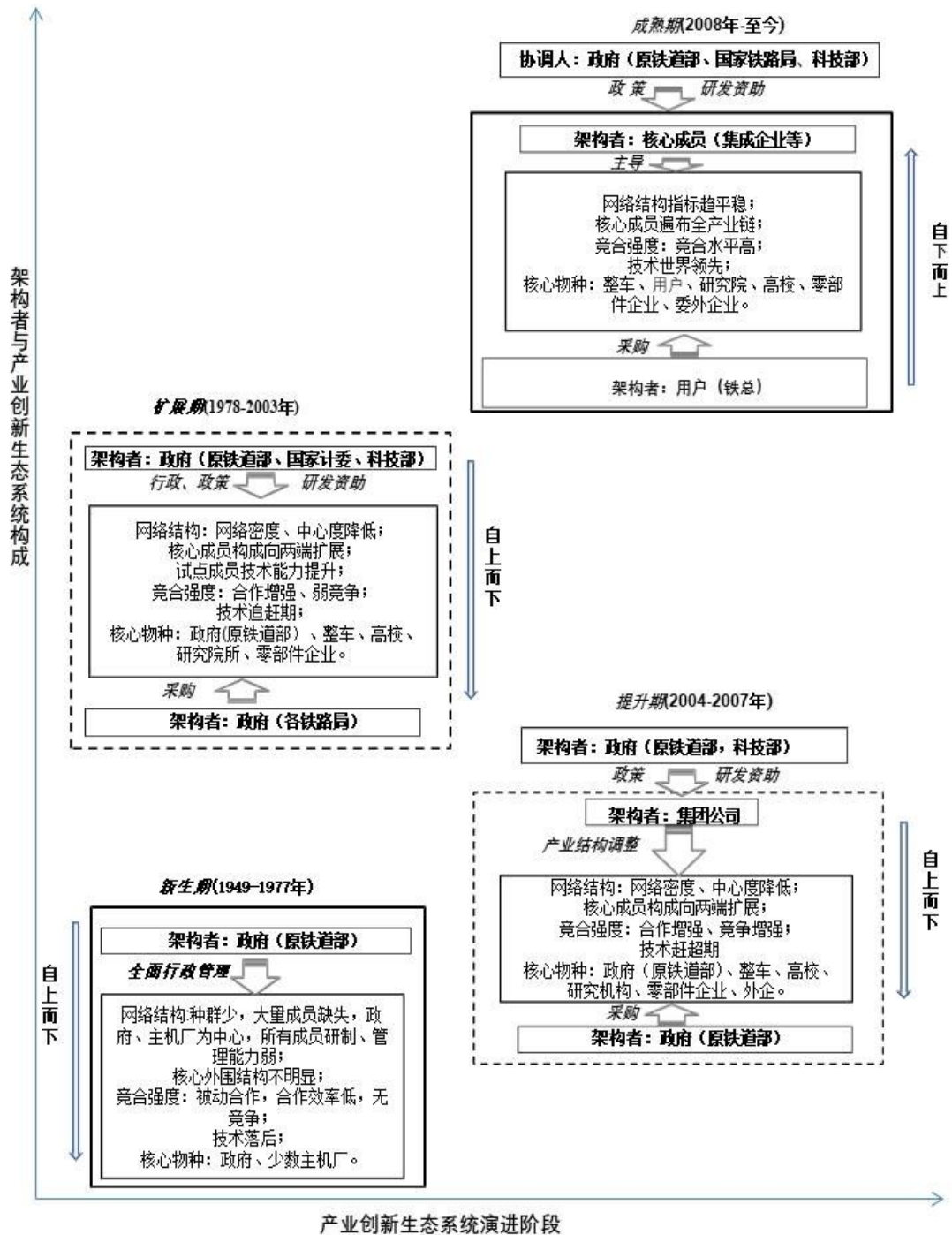
- (29) Dedrick, J., Kraemer, K. and Linden, G., 2010, “Who Profits from Innovation in Global Value Chains? A Study of the iPod and Notebook PCs”, *Industrial and Corporate Change*, vol. 19(1), pp.81~116.
- (30) Eisenhardt, K. M. and Graebner, M. E., 2007, “Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges”, *Academy of Management Journal*, vol. 50, pp.25~32.
- (31) Gao, X., 2019, “Approaching the Technological Innovation Frontier: Evidence from Chinese SOEs”, *Industry and Innovation*, vol. 26, pp.100~120.
- (32) Genin, A. L., Tan, J. and Song, J., 2021, “State Governance and Technological Innovation in Emerging Economies: State-Owned Enterprise Restructuration and Institutional Logic Dissonance in China’s High-Speed Train Sector”, *Journal of International Business Studies*, vol. 52(4), pp.621~645.
- (33) Gulati, R., Puranam, P. and Tushman, M., 2012, “Meta-organization Design: Rethinking Design in Interorganizational and Community Contexts”, *Strategic Management Journal*, vol. 33(6), pp.571~586.
- (34) Gurses, K. and Ozcan, P., 2015, “Entrepreneurship in Regulated Markets: Framing Contests and Collective Action to Introduce Pay TV in the US”, *Academy of Management Journal*, vol. 58(6), pp.1709~1739.
- (35) Hannah, D. P. and Eisenhardt, K. M., 2018, “How Firms Navigate Cooperation and Competition in Nascent Ecosystems”, *Strategic Management Journal*, vol. 39, pp.3163~3192.
- (36) Hu, H. W., Cui, L. and Aulakh, P. S., 2019, “State Capitalism and Performance Persistence of Business Group-Affiliated Firms: A Comparative Study of China and India”, *Journal of International Business Studies*, vol. 50, pp.193~222.
- (37) Iansiti, M. and Levien, R., 2004, “Strategy as Ecology”, *Harvard Business Review*, vol. 82(3), pp.68~78.
- (38) Jacobides, M. G. and Tae, C. J., 2015, “Kingspins, Bottlenecks and Value Dynamics Within a Sector”, *Organization Science*, vol. 26(3), pp.889~907.
- (39) Jacobides, M. G., MacDuffie, J. P. and Tae, C. J., 2016, “Agency, Structure, and the Dominance of OEMs: Change and Stability in the Automotive Sector”, *Strategic Management Journal*, vol. 37(9), pp.1942~1967.
- (40) Jacobides, M. G., Cennamo, C. and Gawer, A., 2018, “Towards a Theory of Ecosystems”, *Strategic Management Journal*, vol. 39, pp.2255~2276.
- (41) Kapoor, R. and Lee, J. M., 2013, “Coordinating and Competing in Ecosystems: How Organizational Forms Shape New Technology Investments”, *Strategic Management Journal*, vol. 34, pp.274~296.
- (42) Kapoor, K. and Agarwal, S., 2017, “Sustaining Superior Performance in Business Ecosystems: Evidence from Application Software Developers in the iOS and Android Smartphone Ecosystems”, *Organization Science*, vol. 28, pp.531~551.
- (43) Lee, J. J. and Yoon, H., 2015, “A Comparative Study of Technological Learning and Organizational Capability Development in Complex Products Systems: Distinctive Paths of Three Latecomers in Military Aircraft Industry”, *Research Policy*, vol. 44, pp.1296~1313.
- (44) Lee, K. and Malerba, F., 2017, “Catch-up Cycles and Changes in Industrial Leadership: Windows of Opportunity and Responses of Firms and Countries in The Evolution of Sectoral Systems”, *Research Policy*, vol. 46, pp.338~351.
- (45) Leten, B., Vanhaverbeke, W., Roijakkers, N., Clerix, A. and Helleputte, J. V., 2013, “IP Models to Orchestrate Innovation Ecosystems”, *California Management Review*, vol. 55(4), pp.51~64.
- (46) Mahmood, I. P. and Rufin, C., 2005, “Government’s Dilemma: The Role of Government in Imitation and Innovation”, *Academy of Management Review*, vol. 30, pp.338~360.
- (47) Moore, J. F., 1993, “Predators and Prey: A New Ecology of Competition”, *Harvard Business Review*, vol. 71, pp.75~86.
- (48) Murmann, J. P., 2013, “The Coevolution of Industries and Important Features of Their Environments”, *Organization Science*, vol. 24, pp.58~78.
- (49) Nambisan, S. and Baron, R. A., 2013, “Entrepreneurship in Innovation Ecosystems: Entrepreneurs’ Self-Regulatory Processes and Their Implications for New Venture Success”, *Entrepreneurship Theory & Practice*, vol. 37(5), pp.1071~1097.
- (50) Nambisan, S. and Sawhney, M., 2011, “Orchestration Processes in Network-Centric Innovation: Evidence from the Field”, *Academy of Management Perspectives*, vol. 25(3), pp.40~57.
- (51) Ozcan, P. and Santos, F. M., 2015, “The Market That Never Was: Turf Wars and Failed Alliances in Mobile Payments”, *Strategic Management Journal*, vol. 36(10), pp.1435~1597.
- (52) Schilling, M. A., 2015, “Technology Shocks, Technological Collaboration, and Innovation Outcomes”, *Organization Science*, vol. 26, pp.668~686.
- (53) Song, J., 2016, “Innovation Ecosystem: Impact of Interactive Patterns, Member Location and Member Heterogeneity on Cooperative Innovation Performance”, *Innovation: Management, Policy & Practice*, vol. 18, pp.13~29.
- (54) Surie, G., 2017, “Creating the Innovation Ecosystem for Renewable Energy Via Social Entrepreneurship: Insights From India”, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 121, pp.184~195.
- (55) Sun, Y. T. and Cao, C., 2018, “The Evolving Relations Between Government Agencies of Innovation Policymaking in Emerging Economies: A Policy Network Approach and Its Application to the Chinese Case”, *Research Policy*, vol. 47, pp.592~605.
- (56) Tan, J. and Tan, D., 2005, “Environment-Strategy Co-Evolution and Co-Alignment: A Staged Model of Chinese SOEs Under Transition”, *Strategic Management Journal*, vol. 7, pp.141~157.
- (57) Tan, D. and Tan, J., 2017, “Far From the Tree? Do Private Entrepreneurs Agglomerate Around Public Sector Incumbents During Economic Transition?”, *Organization Science*, vol. 28, pp.113~132.
- (58) Zhou, K. Z., Gao, G. Y. and Zhao, H., 2017, “State Ownership and Firm Innovation in China: An Integrated View of Institutional and Efficiency Logics”, *Administrative Science Quarterly*, vol. 65, pp.375~404.

附录

附表1 架构者及其战略行为对产业创新生态系统演进影响效果的典型证据

阶段	架构者	典型例证
1949~1977年	铁道部	这一阶段中国机车车辆工业处于高度集中的计划经济体制下,铁道部行使政企合一职能,对所属工厂、研究所、部属高校实行统一领导和全面管理。此时所属工厂、研究所不是独立的经营实体,而是单纯的产品生产单位,中试基地。铁路收入全部上缴国家,支出(包括投资支出)由国家统一拨付,劳动力统包分配,各铁路工厂的人财物、产供销都由上级行政主管部门主管。A,B,D 在当时历史条件下,这种体制在保证铁路运输任务完成、促进机车车辆工业体系的形成和发展方面,起到了积极的推动作用。A,B
1978~2003年	铁道部	这些不同形式的经济责任制的推行,对调动员工积极性,起到了很好作用。B 通过采购样车、建立政府与企业共担风险的激励机制;对于新开发的机车车辆,铁道部及时组织技术鉴定,合格后允许批量生产,使新产品迅速形成规模,有效地保护了工业企业开发新产品的积极性。A,B,C 经济承包责任制将过去单纯用行政手段管理经济的方式变为依靠经济手段来调控经济,促使职工的观念向生产经营型转变。A,B 经济承包责任制的推行,对调动厂所职工生产、科研积极性,促进企业发展起到了很好的推动作用。A,B 科技部以国家科技攻关课题形式确立技术研发目标,铁道部利用网运合一管理体制,代表用户对每一项重大机车车辆新产品开发项目提出设计要求,审查并下达设计任务书。按照专业分工,主机厂负责系统设计,科研单位和高校根据各自擅长的领域不同从事关键技术的专项研究,配件厂提供专项配件,运输企业提供实验支持。A,B,D 1996年铁道部提出“重点投入,择优扶强”政策,这种分工明确有主有附的工业布局充分发挥了各个工厂的优势,保证了规模化生产。A,B 招投标制度改革,企业间的竞争已不可避免。在这生死存亡的关键时刻,每个企业都以前所未有的紧迫感和对职工负责的强烈意识,施展自己的经营战略和策略,千方百计抓开发,上质量,强市场,开拓企业新的发展之路。一场“争上产品,争上质量,争抢市场的大战”,不管是明的暗的都在激烈展开。A,B,D 铁道部在局一级推行“放权让利”改革,将部分采购权下放路局。这一体制改革推动铁路政企分开改革,建立了产业内部市场化的竞争机制,增加了系统成员的自主经营权和创新能力。C 事业制改革大大调动了科研人员的积极性,为了求得生存和发展,株洲所走以市场为导向、以科研为后盾,以成果转化为依托的科研与生产经营相结合的道路,经营生产迅速发展,形成“科研—生产—效率”的良性循环,大大增强企业的技术能力。A,B,C 机车车辆工业与铁道部脱钩重组后,机车车辆的卖方主体与铁道部分离,解除了铁道部的行政隶属关系。随着政企分开,铁道部对机车车辆市场的调控手段已经从主要运用行政手段转向更多运用经济手段。A,B 机车车辆工业与铁道部脱离行政隶属关系后,铁道部对机车车辆工业仍将行使行业管理职能,主要是对产业发展方向和技术开发方向实行宏观指导,在科技和产品开发的立项、科技和管理成果的鉴定评审等方面,仍将由铁道部实行行业管理。A,B
2004~2007年	铁道部	技术引进期,政府通过多种手段同时发力,才最终推动整个产业研制能力产生一个质的飞跃。尤其是前面两年先通过技术引进提升少数企业的研制能力,到后面带动全产业创新生态链企业研制能力扩展的方式,起到了非常重要的作用。A 原铁道部对很多体制内企业定位、生存影响是巨大的。这个项目的让谁参与,不让谁参与,直接关系到企业生存及未来的发展、定位,对整个轨道交通的生态、架构都是直接影响。比如:四方厂从效益较差的企业因参与动车组的研发、生产直接受益,发展成为动车组生产的标杆企业,直接带动青岛轨道交通的配套产业发展。A 铁道部对机车车辆工业仍将行使行业管理职能,主要是对产业发展方向和技术开发方向实行宏观指导,在科技和产品开发的立项、科技和管理成果的鉴定评审等方面,仍将由铁道部实行行业管理。A,B 由于政府机构铁道部和铁路局是唯一买方,网运合一管理体制使得铁道部对该产业企业仍然具有较强的行政干预能力。此阶段行政直接干预主要表现为铁道部运用网运合一管理体制制定市场准入机制、控制技术引进谈判企业数量、统一技术引进标准和考核标准。C 扩权放权改革使得中车公司及下属子公司确实获得了相当部分的权利,但计划经济体制下铁道部对铁路工业企业的全面控制和高度集中的管理体制在改革初期所带来的体制惯性,以及铁道部保留的对中车公司领导层干部的任免权和铁道部仍然是中车公司产品的最重要采购商等因素使得铁道部在此阶段对中车公司及下属企业的管理具有非常浓烈的计划性和指令性色彩。A,C
2000~2007年	集团公司	按现代企业制度组建集团公司,可以自主、有效地进行产业结构、组织结构、产品结构调整;可以更好集中财力,进行重点项目的技术改造;可以更好地组织专业化生产和系统配套;可以更好地协调和组织市场开发及营销;可以以骨干企业为核心,形成多个不同的技术开发中心;可以集中集团公司内部优秀人才,开展技术攻关;可以更好地发挥企业优势,培育集团合力。A,B,D 集团公司稳妥推进结构调整,已建立起从基础材料、核心部件、关键系统到整机产品的制造以及运营维护的完整产业链。A,B,D 集团公司突出主攻方向,打造高端装备制造产业链。在打造高端装备制造产业链的过程中,完善中车现有的产学研用相结合的创新体系,带动信息产业、电子工业、材料工业等相关产业链整体素质的提升。继续坚持落实“四个带动”(以强带弱、以小带大、以造带修、以整带零),完善带动机制建设,加快业务整合和资产重组,优化价值链,拓展产业链,高效配置资源,提高集团整体协同发展水平。A,B,D 2000年铁道部解除行政隶属关系后,集团公司替代原铁道部,站在产业层次对整个产业进行全局规划,成为影响整个产业架构的主要力量。A
2008年至今	核心成员	实现了从自上而下政府行政性推动向自下而上企业自身市场性推动的大步跨越。A,B,D 随着核心企业技术、管理等能力提升,此时核心企业对产业架构变化具有极其重要的影响,越到后面越强,这种影响力大于政府。A 前期政府推动主要靠宏观政策、科研项目牵引、市场订单项目作为强有力推手来带动相关主机企业及配套企业。企业需要生存,需要可持续发展动力,未来市场可期,都会非常积极主动甚至想尽一切办法参入前期调研、申请、主持并组织科研项目申请等阶段,为未来抢占更多的市场占有先机。比如:300km/h250km/h复兴号,动力集中动车组等等,都是这种情况。A 铁总对整个行业架构的影响巨大,说是架构师是可以的。铁总制订行业发展方向是决定性的,从哪个方向投资,从哪个技术方向发展等,基本上靠铁总这种大佬才能推动。例如标准动车组、重载运输等产品研制,铁总都起了重要作用。另外,对于大的技术问题、方案研讨,往往都是总工亲自带队汇报,对接铁总。这从一个方面反映出企业的重视。基本上铁总的副处长、处长就可以调动中车一级子公司总工,跟市场订单项目相关的时候董事长或总经理也会亲自出面汇报,根据具体情况确定。A 2000年后,铁道部的行政干预逐渐减弱,虽然由于制度惯性,技术引进期铁道部的行政干预在促进企业合作方面起到一定作用,但随着企业改革改制的成熟,2008年以后,铁道部和铁总的行政干预很少,主要作为垄断用户提出订单及相应技术需求,但具体落实还是以企业为主。整车、研究所、关键零部件等核心企业是除铁总之外,推动产业架构变化的主力军。A
	政府政策	两部联合行动计划的两个重大意义:扭转铁道部大规模技术引进路线,使中国铁路装备工业重新走上自主开发道路;把铁路装备工业的高铁技术研发置于国家创新系统之中,发挥了“举国体制”优势。C 在科技部和铁道部的大力支持下,在“中国高速列车自主创新联合行动计划”的支撑下,南车四方已和国内21所大专院校、科研院所以及41家配套企业形成了紧密的创新联盟。这种以主机厂为龙头的产业创新联盟,正在形成我国高速列车技术领域从研发、技术转化到产业化的互动平台。在产学研联合创新中,南车四方采取的是“点对链”的模式,即南车四方同时联合国内多家高等院校、科研院所组成创新联盟。“这种‘点对链’的模式,使我们把国内优秀的科研资源发挥出了组合的能量,实现对核心技术的自主掌控。C

注:A、B、C、D分别代表典型证据的数据来源,A代表访谈获得一手资料,B代表年鉴、年报、志书等公开出版的文档材料,C代表企业官网、媒体报道、行业信息披露报纸、行业专家观点、专著等;D代表获取的企业内部资料。



附图1 架构者变迁及战略行为演变对产业创新生态系统演进的影响

注:2000年前,作为生产方的中国铁路机车车辆工业总公司,作为使用方的铁路局,与部属高校、铁路系统的研究机构,都由原铁道部直接行政管理,此时政企合一,政府属于产业创新生态系统成员。因此,新生期(1949-1977),产业创新生态系统包括政府,机车产业各厂所,整个产业创新生态系统边界清晰,用实线框表示整个产业创新生态系统。2000年以后(包括扩展期、提升期、成熟期),政府角色跨层次分离:作为行业主管部门和产业政策制定者(原铁道部)、国家科技资助者(以科技部为主),是产业创新生态系统创新生境的构建者,但没有直接参与产品的价值创造,位于产业创新生态系统外部;作为关键用户的原铁道部(后来的铁总),直接参与产品价值创造,属于产业创新生态系统成员。因此,随着政府角色的跨层次分离,扩展期、提升期、成熟期,产业创新生态系统边界经历了逐渐模糊到逐渐清晰的过程。

The Formation and Evolution of Industrial Innovation Ecosystem: "Architect" Transition and the Evolution of Its Strategic Behavior

Tan Justin^a, Song Juan^b and Chen Xiaohong^c

(a. Schulich School of Business, York University, Canada; b. School of Business, Central South University, China;

c. HuNan University of Technology and Business, China)

Summary: Under the ever-increasing trade friction between China and the US, the prevailing technology blockade, anti-globalization, as well as other complex and changeable global landscape, how to build an industrial innovation ecosystem with competitiveness and control has become a primary problem for Chinese enterprises, industries, and even countries to break through the bottleneck of innovation and development. China's rail transit equipment industry has built a complete, competitive, and controlling industrial innovation ecosystem, which provides us with a suitable experimental environment to explore this problem.

Based on innovation ecosystem theory and complex product system theory, using longitudinal case analysis, this paper systematically explores the change of architect, its strategic behavior evolution, and how it can promote the formation and evolution of industrial innovation ecosystem.

The results show that the "architect" changes dynamically in different stages of industrial innovation ecosystem evolution. Different architects have different strategic behaviors and action mechanisms, and it also applies to the same architect at different periods. In the nascent period, the government as the "architect" uniformly plans the whole industry from top to bottom through administrative intervention. It constructs the embryonic form of the industrial innovation ecosystem. With the economic system transformation, enterprise reform and restructure, and innovation ecosystem members' capacity improvement in the expansion and promotion period, government administrative intervention is gradually weakened. In contrast, the policy and economic intervention are strengthened. The role of the government separates across levels: becoming the macro institution builder upward, which promotes the evolution of the industrial innovation ecosystem as the external force of the industrial innovation ecosystem through the weakening of administrative management, strengthening of industrial policy, science, and technology funding; becoming the main participant of the industrial innovation ecosystem downward, which promotes the evolution of the industrial innovation ecosystem as critical users. During the promotion period, the group is another architect that promotes the evolution of the industrial innovation ecosystem from top to bottom by adjusting the industry, product, and organizational structure. In the mature period, core enterprises replace government and group, becoming the architect of the industrial innovation ecosystem. They promote the evolution of the industrial innovation ecosystem from the bottom to the top by constructing a cooperative innovation network, industrial innovation alliance, joint R&D, etc.

This study expands the research on the evolution mechanism of innovation ecosystem strategy and architecture at the meso-industrial level. It deepens and enriches the research on the role and mechanism of government in developing a large-scale complex system product industry. Moreover, it provides enlightenment for the government and enterprises to cultivate a robust industrial innovation ecosystem with critical links of the whole industrial ecological chain.

Keywords: the formation and evolution of industrial innovation ecosystem; architect transition; the evolution of strategic behavior; the government role; intervention portfolio; chinese rail transit equipment industry

JEL Classification: L62, L92, L98