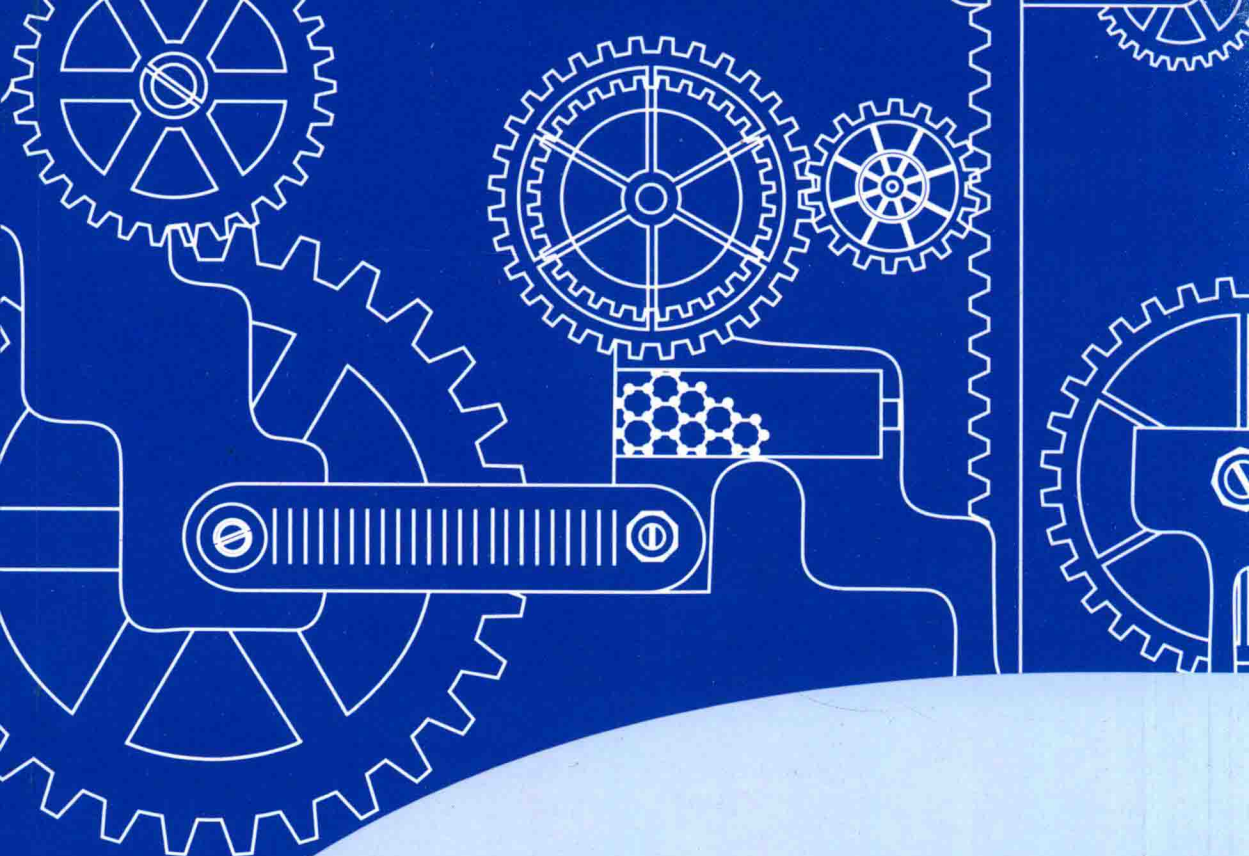




制造业不连续创新： 模块化结构驱动机理及应用

王海龙 ◎ 著

Modularity-driven Discontinuous
Innovation in the Manufacturing Industry:
Mechanism of Structural
Transitions and Applications



科学出版社

制造业不连续创新： 模块化结构驱动机理及应用

Modularity-driven Discontinuous Innovation in the
Manufacturing Industry: Mechanism of Structural Transitions
and Applications

王海龙 著

国家自然科学基金项目（70903009，71673036）

中国工程院重点咨询项目（2016-XZ-03）

辽宁省教育厅人文社科重点基地项目（ZJ2013013）

资助出版

中央高校基本科研业务费专项项目（DUT14RW127）

大连理工大学人文与社会科学学部公共管理学科建设经费

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书分析了模块化结构演化对制造业不连续创新的重要驱动机制。在比较国内外产业创新前沿理论与制造强国战略实践的基础上,构建了产业不连续创新与模块化的适配关系矩阵,剖析了模块化与产业创新的协同演化机制,揭示了模块化结构演化对产业不连续创新的作用机理,提出了基于模块化平台的产业不连续创新路径,并以信息通信、电动汽车、半导体和智能手机等典型制造业为例进行实证分析,初步探索了制造业不连续创新过程中知识、技术、组织及产业模块化结构的演化规律,并就制造业转型与创新的战略路径提出了政策建议。

本书适合从事企业技术管理、产业创新管理、科技政策管理的研究人员、高校师生以及政府科技管理者阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

制造业不连续创新:模块化结构驱动机理及应用/王海龙著. —北京:科学出版社, 2017.1

ISBN 978-7-03-050382-4

I. ①制… II. ①王… III. ①制造工业—企业创新—研究—中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 253095 号

责任编辑:方小丽 李 莉 / 责任校对:钟 洋

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017 年 1 月第一次印刷 印张:17

字数:340 000

定价:96.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

王海龙博士邀请我为他的新作《制造业不连续创新：模块化结构驱动机理及应用》作序，本人除深感荣幸之外，也十分惶恐，因为该书涵盖范围非常宽广，在国家政策面、产业竞争面、企业经营面均有阐述，具有学术性及实用性的双重功能，实非一般研究可以比拟。目前，国家正大力推动“十三五规划”与《中国制造 2025》等政策，加速迈向工业大国，该书更显现其重要性，为国家制造业从“制造主导型”向“创新导向型”转型提供了重要参考。

该书从模块化的视角出发，综合模块化、产业创新系统等理论，运用以实证为主的研究方法对产业不连续创新的模块化结构驱动机理进行了严谨的探讨。在比较国内外产业创新前沿理论与制造强国战略实践的基础上，构建了产业不连续创新与模块化的适配关系矩阵，剖析了模块化与产业创新的协同演化机制，揭示了模块化结构演化对产业不连续创新的作用机理，提出了基于模块化平台的产业不连续创新路径，并以信息通信、电动汽车、半导体、智能手机等典型制造业为例进行实证分析，初步探索了制造业不连续创新过程中知识、技术、组织及产业模块化结构的演化规律，并就制造业转型与创新的战略路径提出了政策建议，同时也为制造业不连续创新提供有效的理论指导和管理工具，为产业技术创新平台建设提供理论依据和智力支持。

该书的主要特色如下：

(1) 技术层面上，从模块化结构演化的视角来探索制造业不连续创新的驱动机理，采用社会网络分析方法的部分指标测度产业技术知识网络模块化结构的变化，识别某些技术领域成为产业颠覆性技术的潜力，判别产业生命周期的发展阶段，甚至可以进行产业不连续创新的预测，突破了现有文献的研究思路，为产业创新提供了新的理论分析范式和现实操作途径。

(2) 组织层面上，利用专利数据进行实证分析，讨论了典型制造业产业组织模块化与不连续创新两者之间的长期稳定均衡关系。把握产业生命周期中组织层面的产业模块化和技术层面的不连续创新之间的互动机制，有助于不断推进制造

业的产业升级和转型，提升制造业的技术和组织能力。

（3）政策层面上，从技术模块化平台、产品模块化平台、组织模块化平台、产业模块化平台四个方面讨论了产业不连续创新的实现路径及其适用条件，识别了产业不连续创新中模块化过程的关键影响因素，丰富和深化了产业创新系统的相关理论，探明了产业创新决策的政策工具作用点。

另外，该书查阅了完整的文献资料，涵盖近 20 年来中外在科技政策、产业创新的精华，提供一份丰富的数据库，包含中国、日本、德国、美国等现代经济强国的政策解析，为学者储备了后续研究的基础。本书适合从事企业技术管理、产业创新管理、科技政策管理的研究人员、高校师生及政府科技管理者阅读和参考。

徐作圣

2016 年 10 月于台湾交通大学科技管理研究所

前 言

“中国制造 2025”战略指出，工业制造是国民经济的重要支柱，是实现发展升级的“国之重器”。制造业是实体经济的主体，是国民经济的脊梁，是国家安全和人民幸福安康的物质基础，是我国经济实现创新驱动、转型升级的主战场。世界银行统计数据显示，2010 年以来，我国制造业增加值连续五年超过美国，成为制造大国，一些优势领域已达到或接近世界先进水平。然而，与发达国家相比，我国制造业创新能力、整体素质和竞争力仍有明显差距，大而不强。因此，实现从制造大国向制造强国的转变，是新时期我国制造业应着力实现的重大战略目标。

不连续创新为我国制造业从“制造主导型”向“创新导向型”转型提供了重要途径，但是实施产业不连续创新面临着高不确定性的挑战，而模块化理论为应对不确定性提出了解决方案。因此，把不连续创新和产业模块化理论结合起来，研究我国制造业的不连续创新及其模块化驱动机理与实现路径，对增强我国制造业自主创新能力、推进创新驱动发展战略实施具有重要的理论价值和现实意义。

本书从模块化的视角出发，综合模块化、产业创新系统等理论，运用以实证为主的研究方法对产业不连续创新的模块化结构驱动机理进行了探讨。首先，对产业不连续创新的内涵进行界定，依据“模块—架构”理论提出了基于模块化的产业创新分类模型，构建了产业不连续创新的环境与模块化的适配关系矩阵，为产业不连续创新的实现路径提供了分析框架，丰富了不连续创新的相关研究；其次，探索了模块化与产业创新的协同演化机制，并以我国信息通信制造业数据进行实证，表明模块化与产业创新二者之间存在互动机制；再次，揭示了模块化对产业不连续创新的作用机理，以汽车产业数据的实证分析论证了模块化对产业不连续创新存在显著正向影响；随后，通过探索性多案例研究识别了产业不连续创新中模块化过程的关键影响因素，揭示了技术自主性、规则开放性及互补性资产等因素对模块化的重要影响；然后，在案例研究的基础上提出了基于模块化的产业不连续创新的路径；最后，根据上述实证研究结果提出了相应的政策建议。本

书可为制造业不连续创新提供有效的理论指导和管理工具，为产业技术创新平台建设提供理论依据和智力支持。

在本书的撰写过程中，得到了作者所指导的研究生们（黄明、肖剑杰、和法清、王敏昱、李红、王宁、张赫伦、连晓宇等）的大力支持，书中的部分观点是大家共同讨论的结果。

在研究和成书过程中得到了国家自然科学基金项目（项目批准号：70903009，71673036）、中国工程院重点咨询项目（项目批准号：2016-XZ-03）、辽宁省教育厅人文社科重点基地项目（项目批准号：ZJ2013013）、中央高校基本科研业务费专项项目（项目批准号：DUT14RW127）、大连理工大学人文与社会科学学部公共管理学科建设经费的资助。

技术管理领域的国际著名专家、台湾交通大学科技管理研究所教授兼科技产业策略研究中心主任徐作圣先生在百忙之中通读本书并欣然作序，在此谨致谢忱！

衷心感谢科学出版社经管分社马跃、李莉等编辑为本书出版付出的宝贵时间和辛勤努力！感谢李彤女士在封面设计方面提供的帮助！

本书力图对模块化结构演化与产业不连续创新之间的作用机制加以解析，由于水平和精力所限，书中难免存在不足之处，恳请学术界同行和广大读者批评指正。

王海龙

2016年9月于大连

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与研究意义	1
1.2 相关研究进展评述	3
1.3 本书的内容、方法与特色	16
第 2 章 制造业创新战略与实践的国际比较研究	27
2.1 美国制造业创新战略	27
2.2 德国工业 4.0 战略	38
2.3 日本制造业振兴战略	44
2.4 中国制造 2025 战略	49
2.5 本章小结	56
第 3 章 制造业不连续创新机制的理论基础	61
3.1 产业创新生态系统理论	61
3.2 模块化理论	68
3.3 产业基础技术理论	76
3.4 不连续创新与模块化的适配性	81
3.5 本章小结	86
第 4 章 产业模块化与产业创新的协同演化：以信息通信制造业为例	96
4.1 引言	96
4.2 产业模块化的演化	98
4.3 产业创新的演化	101
4.4 产业模块化与产业创新的协同演化	103
4.5 本章小结	116

第 5 章	产业模块化对产业不连续创新的影响机理：以汽车制造业为例	118
5.1	引言	118
5.2	研究方法与数据来源	120
5.3	产业模块化与产业不连续创新的定量测度	122
5.4	产业模块化对产业不连续创新的影响实证分析	126
5.5	本章小结	133
第 6 章	知识网络模块化与产业基础技术：以半导体技术领域为例	138
6.1	引言	138
6.2	基于专利引用网络的产业基础技术识别方法	140
6.3	半导体产业基础技术的识别实证分析	148
6.4	半导体产业知识网络模块化与基础技术	156
6.5	本章小结	173
第 7 章	跨产业创新中的知识流动效率：以电动汽车领域为例	178
7.1	引言	178
7.2	研究思路与方法	180
7.3	电动汽车领域技术知识网络特征分析	183
7.4	电动汽车领域知识流动效率评价及影响因素研究	203
7.5	本章小结	215
第 8 章	产业不连续创新中模块化的影响因素案例研究	223
8.1	引言	223
8.2	研究方法与样本选择	225
8.3	产业不连续创新中的模块化典型案例	226
8.4	结果与讨论	231
8.5	本章小结	235
第 9 章	基于模块化平台的产业不连续创新路径案例应用	238
9.1	引言	238
9.2	产业不连续创新的模块化平台模式	240
9.3	产业不连续创新的模块化路径案例	242
9.4	案例讨论	252
9.5	本章小结	253

第 10 章 结论与展望	256
10.1 研究结论	256
10.2 政策建议	258
10.3 未来展望	259

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与研究意义

1.1.1 问题的提出

当前,不连续创新已成为产业技术创新的重要现象,甚至成为一个国家、一个产业非常规、跨越式发展的重要途径^[1]。近年来,半导体照明产业、数控系统产业、电动汽车产业等制造业企业通过模块化在不同产业内部甚至跨产业实现了不连续创新,在实践上提供了一种独特的创新模式,亟待人们展开深入研究。为此,把不连续创新和产业模块化理论结合起来,研究我国制造业的不连续创新及其模块化路径与方式,对于增强我国产业自主创新能力、推进创新驱动发展战略实施具有重要的理论价值和现实意义。

不连续创新经常会给现有企业带来巨大难题,迫使企业不断利用新的技术成果和业务模式探求解决问题的新途径,并有可能导致整个产业链重组和价值链重构。自 20 世纪 80 年代以来,我国相关政府部门就把增强自主创新能力作为调整产业结构、转变增长方式的中心环节。然而,我国产业创新能力总体不强,不连续创新极少,其中一个重要原因就在于缺乏与不连续技术变化环境相匹配的、可操作的产业创新实现路径。此外,目前产品设计规则或产业标准大多掌握在发达国家手中,很多产业的自主创新均面临着“设计规则”约束和巨大的技术不确定性及复杂性问题,成为制约中国制造业在全球竞争中获胜的瓶颈,这些都对研究产业不连续创新的实现机理提出了迫切的现实需求。

与此同时,模块化概念的提出在全球范围内引起产业界、学术界和政府对于模块化方法的高度关注。模块化理论的应用从产品设计延伸到对企业生产全过程的控制,使产业创新呈现出新的特点,不仅使技术创新速度得到了飞跃性提高^[2],

大幅度降低了创新成本,而且促进了产业间的融合和衍生,催生了大批新兴产业,如汽车电子、生物芯片、数字电视等,逐渐成为推动区域和国家发展的新经济增长点。产业创新研究的最新进展表明,技术、产品、组织的模块化是提高产业创新绩效、促进产业交叉创新与融合的有效方式。那么,模块化与产业不连续创新之间存在哪些影响路径,其作用机理是什么?如何通过模块化实现制造业不连续创新?制造业不连续创新中的模块化过程受到哪些关键因素的影响?政府和企业应采用哪些有效的对策推进产业层面的模块化创新过程?这些都是产业界、理论界和政策制定者迫切需要解决的问题。

本书从模块化的视角研究制造业不连续创新的驱动机理问题,以模块化和不连续创新理论为基础,以典型产业案例研究为切入点,分析制造业不连续创新的基本特征和共性规律,讨论模块化与制造业不连续创新的环境适配性,进而解析模块化对产业不连续创新的作用机理,探明基于模块化的产业不连续创新实现过程,识别模块化创新过程中的关键影响因素,为制造业不连续创新提供有效的理论指导和管理工具。

1.1.2 研究意义

当前,创新驱动发展战略和“中国制造 2025”战略的实践亟须对产业不连续创新的驱动机制进行研究。为此,本书从知识网络模块化、技术模块化、组织模块化及其对产业创新的影响入手,并综合专利计量和多案例研究等方法,探讨制造业不连续创新的模块化结构驱动机理,为制造业强国战略提供理论依据和政策支持,具有重要的理论意义与现实意义。

1) 以模块化为切入点揭示制造业不连续创新的结构转化本质规律

以知识和技术模块化为切入点来把握和揭示产业创新的结构转化本质特征,有助于阐释技术系统在产业创新系统中的重要地位,深化认识基础技术(infra-technologies)对于产业创新的支撑功能,揭示技术模块化、组织模块化及其互动关系对产业不连续创新的作用机制,丰富和拓展产业动态的一般理论,拓展产业技术管理的研究对象与视野,对于认识在“基于科学的创新”和“产业驱动的创新”中技术模块化的本质规律具有重要的学术价值与理论意义。

2) 探索产业知识基础的形成规律,为制造业产学研协同创新提供政策依据

制造业是未来国家经济竞争的制高点,通过对产业知识基础关键形成路径的分析,探明产业知识基础在制造业不连续创新中的作用机理,对于科学判断产业技术发展趋势、推进官产学研合作研发基础技术,具有重要的实践价值和政策意义。制造业回归与复兴正在成为驱动未来经济社会发展的重要力量,世界主要国

家纷纷调整发展战略，大力支持制造业创新，抢占未来经济竞争的制高点。本书运用专利引文分析、社会网络分析和多案例研究相结合的方法，分析信息通信制造业、半导体制造业、新能源汽车、智能制造装备等制造业若干领域的技术知识网络发展态势及知识流动效率，有助于对“中国制造 2025”规划实施提供决策借鉴和管理支持，对于提高自主创新能力、推进创新驱动发展具有深远的战略意义。

1.2 相关研究进展评述

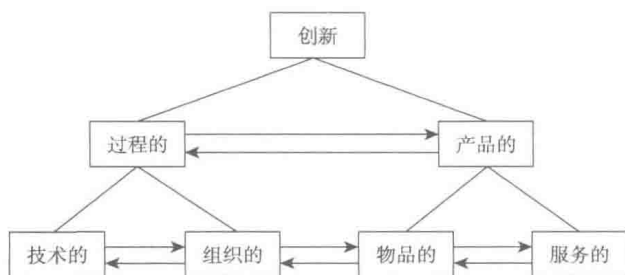
1.2.1 不连续创新与颠覆性变革

1. 创新的分类及测度研究

从理论研究角度进行的创新分类主要是由 OECD（Organization for Economic Cooperation and Development，经济合作与发展组织）^[3]提出的，把创新分为两个层次：第一层次分为两类，即过程创新和产品创新；第二层次把过程创新又分为技术创新（含工艺）和组织创新两类，产品创新又分为货物产品创新和服务产品创新。每一类又反映了创新过程中的相应环节：过程创新是指创新是怎样产生的，产品创新是指创新产生了什么。技术过程的创新和商品的创新是以商品形式产生的物质成果，而组织的创新和服务产品的创新是无形的。

从创新计量测度角度进行的分类主要是 2005 年 OECD 公布的《奥斯陆手册》第三版^[4]提出的创新评测指南，把创新分成四类，即产品创新、工艺创新、组织创新和营销创新。产品创新包括商品或服务性能的变化，其中既包括全新的产品或服务的出现，也包括对现有产品的显著改进；工艺创新是指生产和交付方式的显著变革；组织创新是指实施新的组织形式，其中包括商业实践、工作场所组织或者企业外部关系的变化；营销创新是指采取新的营销策略，其中包括产品设计和包装、产品促销和定位以及产品和服务定价方法的变化。

比较上述两种分类标准可知，二者本质上大同小异，只是因理论研究或实证分析的目的不同而各有所侧重。例如，理论研究角度提出的组织创新，其中的“组织”是个广义的概念，它既包括生产、营销、管理等组织形式，也包含体现这些组织模式的机构、体制和制度等。各类创新之间存在复杂的交互关系，常常相互补充、相互协同、互为因果（图 1.1）。

图 1.1 创新的分类^[3]

2. 不连续创新的概念与特征

不连续技术变革环境中的创新是近年来创新领域的研究热点，目前这一领域的研究主要集中于微观企业层面。Pilkington 和 Teichert^[5]对《技术创新》（*Technovation*）杂志 1996~2004 年共被引文献数据的因子分析表明，技术不连续性是七个焦点领域之一。一般认为，沿着技术 S 曲线的渐进性改进达到某种极限后，若某种具有更高技术潜力的新兴技术出现并取代现有技术，就表现为技术不连续。Meyers 和 Tucker^[6]认为，不连续创新的产品具有全新的功能，提升了用户在消费时的使用效用。Lynn 等^[7]认为，不连续创新在技术、市场和时间方面具有较高的不确定性。Veryzer^[8]认为不连续创新意味着技术和（或）市场的不连续，Garcia 和 Calantone^[9]同样从市场和技术两个方面定义不连续创新。Rice 等^[10]指出不连续创新项目具有以下特点，即产品具有全新的性能特征、性能显著提高、成本显著降低。按照 Henderson 和 Clark 的“架构—部件”的变化维度^[11]，除连续性（continuous）创新之外的模块（modular）创新、架构（architectural）创新、突破性（radical）创新均可归结为不连续创新。不连续创新的研究是围绕在位企业为何难以应对不连续技术变化这一主线展开的，学者们分别运用“能力增强—破坏型创新”^[12]、“模块—架构创新”^[11]等理论加以解释。Teece^[13]用主导设计范式、互补性资产和专有权制度解释了创新者为何难以赢利，但他后来表示这一框架未考虑业务模式的作用^[14]。Christensen^[15]对磁盘驱动器行业的分析表明，在位企业难以应变的原因在于高层管理人员忽视了低端或边缘市场的新客户，Henderson^[16]则认为组织能力问题才是在位企业应变失败的主要原因。美国 RPI（Rensselaer Polytechnic Institute，伦斯勒理工学院）的不连续创新研究小组通过对 500 强企业创新项目的跟踪研究，发现不连续创新的不确定性主要来自技术、市场、组织和资源^[10]。

通过对 Bessant 等^[17]、Phillips 等^[18、19]所提出的关于不连续创新的成因进行总结，可以将不连续创新的成因大致归结为 10 类，即文化观念的转变、管理体制和国家政治体制改革、技术经济范式转变、商业模式创新、意外事件、产业结构的

调整、新市场和新技术的出现、市场气氛的重大变化等。面对这些诱因,企业应采取不同层面的应对措施,包括战略层面的应对行为和组织层面的应对行为。

Hang 等^[20]根据技术性能和市场细分对破坏性创新(或颠覆性创新)和突破性创新进行了区分,其中,破坏性创新类型Ⅰ是服务于现有低端市场、低性能且低价格的创新;破坏性创新类型Ⅱ是服务于低端新市场、低性能且低价格的创新;突破性创新类型Ⅰ是在现有业务的技术/市场域内的创新,突破性创新类型Ⅱ是在企业现有业务“空白区”内的创新;突破性创新类型Ⅲ是在企业当前战略背景以外的创新(图1.2)。

市场		不连续创新的概念	
		破坏性创新文献	突破性创新文献
新市场	高端		类型Ⅱ、类型Ⅲ 突破性创新
现有市场	高端	持续性创新	类型Ⅰ
	主流		渐进性创新
	低端		类型Ⅰ
新市场	低端	破坏性创新 类型Ⅱ	

图 1.2 不连续创新的概念^[20]

国内一些学者也对不连续创新进行了理论介绍和实证研究,柳卸林^[21]、陈劲等^[22]及徐河军等^[23]对不连续创新或突破性创新进行了特征描述和概念分析,王海龙等^[24]对不连续创新导向与企业成长绩效之间的关系进行了实证研究。柳卸林^[21]认为不连续创新产品属于性能显著增强的全新产品,它通过开发新市场和创造新知识才能实现,不连续创新不仅能影响服务和产品,还能影响供应链和基础设施。魏江和冯军政^[25]认为不连续创新能够给企业带来两方面的重大变化:一是企业的竞争基础,二是企业的技术基础。

但是从总体来看,不连续创新的研究进展尚处于从“描述性”阶段向“规范性”阶段的转化时期^[15],研究内容主要集中在不连续技术创新的特征描述及内涵界定方面,而对其深层次的实现机理等问题关注较少。由于分析维度和分类标准不同,对不连续创新的属性特征尚缺少广泛接受的统一框架,研究内容比较分散。例如,对于不连续创新的构面,目前还缺乏关于其构成与测度的实证研究。从理论上来看,作为创新的关键属性特征,创新的不连续性的基本构面与度量是创新研究的基本问题,而相关实证文献的缺乏将直接制约对不连续创新的战略、行动

的前因变量与后果变量的理解和对创新者困境等一系列问题研究的深入展开。

1.2.2 技术的模块化结构及其演化

1. 技术的本质与颠覆性变革

布莱恩·阿瑟^[26]指出,技术总是由一些基本的功能模块组合而成的,并提出了关于技术本质的三条原理:①一切技术都是某种组合,即任何具体技术都是由现有的部件、集成件或系统组件建构或组合而成;②技术的每个组件本身也是缩微的技术,即技术具有递归的结构;③所有技术都利用现象达到某个目的。根据上述原理,布莱恩·阿瑟解释了技术结构演化导致的颠覆性创新。新技术是已有技术的组合,“域”是一个技术集群或技术体,是某种具有共性的外在形式,或者是可以使共同工作成为可能而共同固有的能力,即一个域可能是任意一个由不同要素构成的、从中可以产生设备和方法的集群,以及产生这些设备和方法所必须的实践、知识、组合规则及思维方式等的集合。域内发生的某些变化是技术进步的主要方式。重新域定(redomained)是指以一套不同的内容来表达既定的目的,重新域定不仅提供了一套新的、更有效的实现目的的方法,还提供了新的可能性,这意味着技术的颠覆性改变。对于颠覆性改变来说,只有基础技术的改变是不够的。知识构成了新技术呈现过程中至关重要的基础部分。技术有两种发展机制,即内部替换(用更好的部件或子技术更换某一形成阻碍的部件)和结构深化(寻找更好的部件、材料或者加入新组件)。经济的重新域定,是指已有产业去适应新的技术体,从中提取、选择它们所需要的内容,并将其中部分零部件和新领域中的部分零部件组合起来,有时还会创造衍生产业。域和经济共变(mutual change)和共创(mutual creation)的过程称为颠覆性改变。没有科学技术长期的传承和积累,很难在新颖性上有所建树。

2. 技术系统结构及其演化研究现状分析

近年来,许多学者都认为应当把技术理解为一个复杂的技术系统,即技术发展实质上是技术系统的进化。技术系统结构及其演化的研究大体可分为技术系统的知识本质、技术系统的模块化结构和产业技术系统的集成三方面内容。关于技术系统的概念与结构,Carlsson 和 Stankiewicz^[27]将技术系统界定为建立于制度基础设施之上,由在某一特定技术领域进行技术的产生、扩散和应用活动的各种主体互动形成的动态网络,并认为技术系统中主要是知识流或能力流。类似地, Jacobsson 和 Bergek^[28]提出了技术系统演化的一个分析框架,认为技术系统包括主体、网络和制度三要素。洪勇和苏敬勤^[29]从产业与技术协同的视角将技术理解为

由关键制造技术、核心元件技术和产品架构技术构成的技术链。刘康^[30]认为,技术按照相互联系的紧密程度可以分为单项技术、技术系统和技术种群。

模块化的思想最初是基于技术层面提出的,技术的模块化使产业技术系统的发展也呈现出模块化的特征。Baldwin 和 Clark^[31]认为,如果沟通成本相对较低,那么任何程度的模块化设计都会导致理性的创新者选择开放协作创新而不是独立创新。Henderson 和 Clark^[11]指出,架构创新是技术系统非线性演化的关键点:对于架构创新引起的非线性演化,在位企业往往不能应对而丧失优势。顾良丰和许庆瑞^[32]将技术知识分为架构知识、模块知识和元素知识。毛荐其^[33]指出,产业升级的实质是技术升级,技术升级有链内升级、链间升级和链间跨越三种形式。彭双等^[34]认为技术创新链是围绕核心技术、基于技术配套的技术创新体系。

关于产业集成,国内外一些学者做了相关的论述。迈克尔·波特^[35]提出,决定一国国际竞争力的关键因素在于一国的产业集成状况、各个产业的吸引力和公司的发展水平。技术产出与产生和运用集成性及系统性知识有关,因此产品反映组织的过程特性,即最终产品的集成水平反映了研究与开发组织所采用的集成机制。许多学者都注意到这一现象,相继提出建构知识、建构能力、系统知识和集成能力等重要概念^[11]。张贵和周立群^[36]指出产业集成发挥了市场最重要的功能,改变了传统产业分工模式和产业国际化发展路径。综合一些学者关于产业集成的研究,知识经济时代的国际产业竞争日益呈现出系统集成特点,很难有单一的传统产业或高技术产业能够独立产生竞争优势,而是产业间互相渗透,进行能力整合,从而形成综合的产业竞争力。

综合看来,技术知识是产业技术演化的根本要素,产业技术系统具有模块化结构特征。当前已有的关于技术演化的研究大多侧重于对技术创新的发展路径在时间维度上进行描述和分析,而很少对技术在时间维度上的这种演化规律特性的形成以及技术轨道间的转换机理进行深入研究^[37],尤其缺乏对产业技术知识网络自身演化规律的深入研究,对技术追赶和产业升级缺乏指导性。

1.2.3 知识网络模块化与知识流动

随着知识经济的到来,知识作为一种生产要素的地位愈发重要,如何积累知识并在知识流动中提升竞争力,成为企业乃至国家制定战略政策的着力点。

1. 知识在产业发展中的作用研究现状分析

关注知识在创新和产业动态中的作用等一系列问题已成为当前产业动态理论的主流研究领域之一。现有研究试图从两个方面来解释这些问题:一是分析知识