

西南大学学术文库

# 走向可持续制造

## 生态创新驱动制造业转型研究

何岚 著



西南大学学术文库

# 走向可持续制造

## 生态创新驱动制造业转型研究

何岚 著



## 图书在版编目 (CIP) 数据

走向可持续制造: 生态创新驱动制造业转型研究/何岚著. —北京: 知识产权出版社, 2018. 12

ISBN 978 - 7 - 5130 - 5954 - 1

I. ①走… II. ①何… III. ①制造业—转型经济—研究—中国 IV. ①F426. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 261431 号

## 内容提要

可持续制造是可持续发展研究的理论成果与制造范式转型的现实需求相融合的产物。本书在对可持续制造的基本理论问题进行探讨的基础上, 把生态创新作为制造业从传统范式向可持续范式转型的重要手段, 以重庆为例, 从工艺生态创新、产品生态创新、组织生态创新、商业模式生态创新四个方面, 研究制造业转型的整体状况、采取的主要措施及面临的核心问题。

责任编辑: 石红华

责任印制: 孙婷婷

装帧设计: 臧磊

## 走向可持续制造

### ——生态创新驱动制造业转型研究

何岚 著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

社址: 北京市海淀区气象路 50 号院

责任编辑: 010 - 82000860 转 8130

发行电话: 010 - 82000860 转 8101/8102

印刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开本: 787mm × 1092mm 1/16

版次: 2018 年 12 月第 1 版

字数: 248 千字

ISBN 978 - 7 - 5130 - 5954 - 1

网 址: <http://www.ipph.cn>

邮 编: 100081

责编邮箱: shihonghua@sina.com

发行传真: 010 - 82000893/82005970/82000270

经 销: 各大网上书店、图书馆、发行所及各大专业书店

印 张: 14.75

印 次: 2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元



出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

# 序 言

可持续制造是可持续发展研究的理论成果与制造范式转型的现实需求相融合的产物。传统制造范式无法通过渐进改良而消除的弊端和全球制造业在 21 世纪面临的严峻挑战，使可持续制造成为世界各国制造业转型的共同取向。本书在对可持续制造的基本理论问题进行探讨的基础上，构建出评价制造业可持续性的指标体系，以重庆制造业为例对可持续性进行评价；把生态创新作为制造业从传统范式向可持续范式转型的重要手段，从工艺生态创新、产品生态创新、组织生态创新、商业模式生态创新四个方面研究重庆制造业转型的整体状况、采取的主要措施及面临的核心问题。力图在丰富可持续发展理论的基础上，为制造业转型提供总体行动框架，并为政府制定转型的政策支撑体系提供需求侧实证依据。

可持续制造是一种能使制造业在减少产品整个生命周期对生态系统的负面影响的基础上，提高企业经济绩效，带动区域经济健康发展，同时改善雇员、消费者、社区居民等利益相关者的健康水平和生活质量，最终促进社会和谐进步的新制造范式。制造业可持续性的提高是在不减少生态、经济、社会任何一方资本存量的同时实现三种资本总和增加的帕累托改进。

本书按照“基于主题的框架”，建立起涵盖生态、经济、社会三个维度，包括自然资源使用、废物排放、企业经济绩效、行业竞争力、促进社会发展和内部公正 6 个主题的地方制造业可持续性评价指标体系，选择具体指标评价自 2004 年实施新型工业化战略后重庆制造业的可持续性变化情况。发现：重庆制造业自 2004 年实施战略调整后，虽然总体上实现了经济可持续性、生态可持续性、社会可持续性的提升，但未来的发展仍存在众多隐忧。按照生态创新的层级模式，重庆制造业已普遍进入以效果为导向的工艺生态创新阶段；产品

生态创新尚未成为企业的普遍取向；虽然大部分企业已经在实际运营活动中实施了一些零散的组织生态创新行为，但企业环境管理体系大都不健全，企业间围绕产品价值链的合作率较低，工业共生网络生长缓慢；商业模式生态创新开展较少，主要的倾向是实施产业链纵向延伸策略。

研究发现：企业规模和所有权性质这两个组织特征与生态创新的开展有一定相关关系。企业规模大小在很大程度上决定了它的社会影响力和资源拥有量，所有权性质则对组织文化特征和管理模式有较大影响。除此之外，生态创新还受其他因素的影响。与工艺生态创新相比，产品生态创新更强调市场导向，更重视内外协同，更需要先进企业文化的催化及温和竞争环境的涵养。在众多影响商业模式生态创新的因素中，新技术的诞生和企业家的战略眼光发挥着至关重要的作用。

生态创新与一般创新相比更需要公共政策的驱动。但针对不同类型的生态创新，政策发挥作用的着力点有所不同。推动工艺生态创新的政策主要作用于激发创新动机、再分配创新资源、扩散创新成果、保护创新收益；推动产品生态创新的政策应主要作用于市场及营销、内外协同、企业文化、竞争环境四个影响因素，促使企业将环保认知转化为产品生态创新行为；推动组织生态创新的政策重点应放在促进工业共生网络，尤其是生态产业链的构建上，围绕“产业链规划”“企业的选择和匹配”“建立共生机制”“环境评估和监控”这四个核心要素开展；推动商业模式生态创新的政策主要是促进环境价值观的植入、搭建工业互联网、促进生产性服务业的发展，并在价值网络中发挥“元治理”的作用。

本书是在我的博士学位论文的基础上修改和补充而成，我要衷心感谢所有对本书的写作给予了帮助的人们。感谢我的导师钟书华教授，从论文选题、文献综述、开题报告，到论文每一章的撰写，老师都倾注了无数的精力和心血。我常常庆幸自己遇到了一位真正能为学生传道、授业、解惑的好老师，也暗暗要求自己以钟老师为榜样在教师岗位上默默耕耘。感谢美国亚利桑那州立大学的邬建国教授为我提供了赴美访学一年的机会，邬老师的敬业精神和爱国热忱深深感染着实验室的每一位访问学者。邬老师的严格要求使我不负光阴，在一年的时间里不仅学习了两门可持续性科学的专业课程，而且完成了博士论文初稿。感谢重庆两江新区党工委的朋友，以及梁海卫、曾鸿斌、张育英、余福

康、冯水和、钟兴、李勋华等同学和校友在我开展调研期间提供的大力支持。没有他们的帮助我不可能完成数百份问卷，也不可能顺利地走访数十家企业。感谢知识产权出版社的石红华女士，在她的帮助下本书才得以顺利面世。最后，要感谢我的家人，求学和科研中遇到挫折时，爱人的安慰、鼓励和支持是我屡败屡战的坚实后盾；给孩子树立一个积极进取、坚强乐观的榜样是我坚持学习的不竭动力；年迈的父母多年来毫无怨言地帮我照顾孩子是我安心学业的重要保障。谢谢所有在我事业上和生活中曾给予帮助的人们！你们让我感受到从事科研既是一件有价值的事，也是一件快乐的事。

何 岚

2018 年 7 月

# 目 录

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| <b>1 绪论</b>               | (1)   |
| 1.1 研究背景及意义               | (1)   |
| 1.2 国内外可持续制造研究述评          | (5)   |
| 1.3 研究思路、方法与内容            | (16)  |
| <b>2 理论基础与分析框架</b>        | (19)  |
| 2.1 可持续制造的几个基本理论问题        | (19)  |
| 2.2 生态创新理论及其与可持续制造的关联     | (39)  |
| 2.3 向可持续制造转型的总体行动框架       | (45)  |
| <b>3 重庆制造业发展概况及可持续性评价</b> | (49)  |
| 3.1 重庆制造业发展概况             | (49)  |
| 3.2 重庆制造业可持续性评价           | (56)  |
| 3.3 重庆制造业生态创新研究数据的获取      | (69)  |
| <b>4 制造业工艺生态创新分析</b>      | (73)  |
| 4.1 重庆制造业工艺生态创新概况         | (73)  |
| 4.2 组织特征对工艺生态创新的影响        | (77)  |
| 4.3 组织特征影响工艺生态创新的作用机理     | (96)  |
| 4.4 政策启示                  | (101) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| <b>5 制造业产品生态创新分析</b>   | (104) |
| 5.1 重庆制造业产品生态创新概况      | (105) |
| 5.2 组织特征对产品生态创新的影响     | (108) |
| 5.3 产品生态创新的特异性影响因素     | (119) |
| 5.4 政策启示               | (127) |
| <b>6 制造业组织生态创新分析</b>   | (131) |
| 6.1 重庆制造业组织生态创新概况      | (131) |
| 6.2 组织特征与组织生态创新的关联     | (140) |
| 6.3 工业共生案例分析           | (170) |
| 6.4 政策启示               | (175) |
| <b>7 制造业商业模式生态创新分析</b> | (177) |
| 7.1 商业模式生态创新的内涵        | (177) |
| 7.2 重庆制造业商业模式生态创新现状    | (182) |
| 7.3 商业模式生态创新的机理        | (185) |
| 7.4 商业模式生态创新的影响因素和未来趋势 | (188) |
| 7.5 政策启示               | (194) |
| <b>8 结论与展望</b>         | (197) |
| 8.1 主要研究结论             | (198) |
| 8.2 研究的不足之处            | (202) |
| 8.3 未来研究展望             | (202) |
| <b>参考文献</b>            | (204) |
| <b>附录 制造业生态创新调查问卷</b>  | (224) |

# 1 绪 论

制造业是工业社会的脊梁，是现代人类文明生活方式的重要支柱，它为人们的生产、生活提供物质基础，但同时也造成了世界上绝大部分的资源消耗和废物产生。“可持续制造”是可持续发展研究的理论成果与制造范式转型的现实需求相融合的产物。

## 1.1 研究背景及意义

### 1.1.1 研究背景

“可持续发展”一词最早于 1962 年出现在美国海洋生物学家莱切尔·卡逊（Rachel Carson）的著作《寂静的春天》中。1987 年联合国世界环境与发展委员会在《布伦特兰报告》中正式对可持续发展进行了界定。可持续发展理念最初主要是环境导向的，关注各种经济活动的生态合理性。随着研究的深入，其内涵逐渐扩展到经济、社会等维度。

“可持续制造”是可持续发展对制造业的必然要求。首先，可持续发展要求制造企业承担更多的环境和社会责任，“企业公民意识”“企业社会责任”“延伸产品责任”等概念的实质都在于此；其次，可持续发展要求制造部门的生产方式是可持续的，“生态工业园区”的构想、“生态经济效益”的理念，以及“清洁生产”“绿色制造”“逆向制造”等生产模式的提出都是试图通过改进物质转化过程或替代输入材料来减缓每单位产品输出的环境影响；最后，可持续发展要求制造业的商业发展具有可持续性，这包括保持和扩大经济增

长、股东利益、企业信誉、顾客关系、产品及服务的质量等,<sup>①</sup>同时要求制造业的发展既能满足市场和社会当前的需要,也能满足其未来的需要。

国外一些学者在研究制造范式的历史演变的基础上,提出可持续制造是继大规模生产、清洁制造、规模定制、可重构制造等范式之后的一种新制造范式。如 Bi 认为可持续制造诞生于 2005 年,它是在社会对环境友好产品的需求、自然资源减少及能效市场的要求、回收和能源恢复技术的支撑等背景下产生的一种新制造范式。<sup>②</sup>而 Despeisse 等认为可持续制造范式出现于 2010 年左右,是将可持续性作为衡量制造业竞争力的重要标准,并以纳米和生物材料为特征的。<sup>③</sup>

从宏观角度看,孕育可持续制造范式的实践土壤主要是传统制造范式无法通过渐进改良而消除的弊端和全球制造业在 21 世纪面临的严峻挑战;从中观角度看,制造业转型升级是我国调整经济结构、转变发展方式的重要内容;从微观角度看,走向可持续制造是把重庆建设成国家重要的现代制造业基地的必然路径。

传统制造范式下,生产的低效率导致系统的损失、落后的原料利用方式与工艺造成环境恶化和健康危害、生产成本没有合理反映出资源环境价值,造成大量浪费和破坏。人们逐渐认识到:传统西方工业文明的发展道路,是一条以摧毁人类的基本生存条件为代价获得经济增长的道路,是不可持续的。进入 21 世纪后,全球制造业在经济、生态、社会环境方面都面临一些日趋严峻的挑战。(i) 全球人口持续增加。联合国人口司 2009 年发布的预测就显示,世界人口在 2050 年会突破 90 亿。人口增加意味着要消耗更多资源来满足人们的需求。(ii) 自然资源短缺。石油、天然气和煤炭已经在世界范围内出现了不同程度的短缺,其他自然资源也大多面临类似问题。自然资源短缺会引发世界范围内资源竞争的加剧及材料供应问题。(iii) 生态环境恶化趋势加剧。

---

① Szekely F & Knirsch M. Responsible leadership and corporate social responsibility: metrics for sustainable performance [J]. European management journal, 2005, 23 (6): 628 - 647

② Bi Z. Revisiting system paradigms from the viewpoint of manufacturing sustainability [J]. Sustainability, 2011, 3 (9): 1323 - 1340.

③ Despeisse M, Mbaye F, Ball P D, et al. The emergence of sustainable manufacturing practices [J]. Production Planning & Control, 2012, 23 (5): 354 - 376.

《地球生命力报告 2006》显示,自 1987 年开始人类就在生态赤字下运行,到 2003 年生态赤字已达 25.28%。如果不改变目前的生产和生活模式,很快地球资源就无法满足人类的需求。(iv) 制造业竞争更加激烈。2008 年金融危机后,包括新经济体和发达国家在内,世界各国都从战略高度重视制造业的发展,提出了一系列促进制造业发展的政策和计划。(v) 公众绿色意识不断提高。越来越多的消费者在选购产品时不再只关注价格和质量,产品的绿色度成为一种新的消费偏好。越来越多的公众加入对企业环境绩效的监督行动之中。公众态度和行为的变化直接对企业的生产和服务起到激励和制约作用,使越来越多的企业通过生态标签来获得竞争优势和投资。这些新趋势使衡量制造业的竞争力,除了传统的质量、交付、弹性、创新、成本等标准外,还应包括可持续性标准。

改革开放后,我国制造业迅猛发展,至 2010 年已成为世界第一制造大国。但也存在一系列问题,如产品实物量大,但价值量较低,技术含量与劳动含量都较低;产品结构总体上处于低端,关键核心技术主要靠引入,且吸收消化不理想;高耗能高污染的资源加工型产业发展过快,造成对能源、资源的依存度过大;低效率的生产造成严重的环境污染,既影响人民身体健康,在国际上也遭受很大压力。<sup>①</sup> 中国制造业以便宜的劳动力、廉价的能源和几乎不计入产品价格的环境成本向全球提供低端产品,这种粗放型的低水平发展模式到今天已经触及到本国资源环境承载力的天花板。《中国制造 2025》明确提出要构建绿色制造体系,“把可持续发展作为建设制造强国的重要着力点”<sup>②</sup>。

重庆是中国六大老工业基地之一,是国务院定位的“国家重要的现代制造业基地”,也是中国西部制造中心,以汽车摩托车产业、装备制造业、天然气石油煤化工产业、电子信息产业等为支柱产业。但重庆制造业普遍存在自主创新能力弱、利润低、竞争力不强等问题。面对竞争日益激烈的国内、国际市场,一些企业通过持续的科技创新夯实技术实力;通过转变经营理念以顾客为导向稳固市场;通过海外并购拓宽国际合作之路;通过延伸产品链实现一体化

---

① 中国工程院“中国制造业可持续发展战略研究”咨询研究项目组. 中国制造业可持续发展战略研究 [M]. 北京:机械工业出版社,2010.

② 国务院. 中国制造 2025 [Z]. 2015.

发展；通过拓展产业结构涉足新的领域……，坚实地踏上了转型之路。而更多的企业还在转型的十字路口挣扎、徘徊，寻觅方向。

### 1.1.2 研究意义

可持续制造是从可持续性的角度构建的新制造系统范式，<sup>①</sup> 可持续制造研究的理论意义在于可从两个方面充实可持续发展理论。

(1) 可持续发展理论现实化。虽然可持续发展思想在全世界不同经济水平和不同文化背景的国家都得到了普遍认同，但总体而言，它主要的意义还是提供了一种我们需要为之努力的美好愿景，缺少思想实际应用的指导。本研究将可持续发展的抽象理论实际应用于制造领域，可将这种愿景引入实践并变为现实。虽然可持续发展是一种规范性理论，但在何为可持续发展、如何度量可持续性和如何实现商业的可持续发展等基础性问题的认知上，学术界一直存在争议。可持续制造研究可为回答上述问题提供有益的探索。

(2) 可持续发展理论与生态创新理论的融合。生态创新是一种新的、能够带来环境改善的产品/服务、生产过程、市场方法、组织结构和制度安排。<sup>②</sup> 向“可持续制造”转型，需要制造业在生产过程、产品、商业模式等方面进行突破性创新，还需要切实生态化重组现有的生产体系和消费体系，并且从社会和制度上进行突破性创新。<sup>③</sup> 本研究把生态创新作为制造业从传统范式向可持续范式转型的重要手段，从系统性生态创新的视角探索制造业向可持续范式转型的总体行动框架，从而将这两种理论融合在一起。

重庆地处西南，在生态、经济、社会等方面均有不同于东部发达地区的特征，研究重庆制造业转型的整体状况、主要路径及面临的问题，主要有三个方面的实践意义。

(1) 从工艺、产品、组织、商业模式等层次提出实施生态创新的步骤及

---

① Bi Z. Revisiting system paradigms from the viewpoint of manufacturing sustainability [J]. Sustainability, 2011, 3 (9): 1323 - 1340.

② OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth [J]. 2009.

③ 董颖，石磊. 生态创新的内涵、分类体系与研究进展 [J]. 生态学报，2010，30 (9): 2465 - 2474.

内容,可为企业提供转型的“行动路线图”。转型不可能一蹴而就,需要企业结合行业特征和自身实际状况找准突破口,还需要多层面生态创新具体举措齐头并进。

(2) 根据国际上采用的最新生态创新分析框架,为政府制定向可持续制造转型的激励和调控政策提供“制度设计图”。科学的政策支撑体系应使制造业的收益合理化、成本内部化,为企业提供正确的预期;应提供合理的约束和激励机制,引导企业从以追求利润为唯一目的,转向既要追求利润也要承担社会责任的多重目标。而这都需要以科学评价制造业对区域经济、社会和生态的影响为依据。

(3) 分析制造业转型采取的代表性措施及面临的主要问题,结合国内外相关研究成果和实践经验,可为各企业创造性解决自身问题提供参考和借鉴,提高重庆制造业在国内、国际市场的竞争力。

总之,可持续制造是一种新的商业和价值创造途径。<sup>①</sup>向可持续制造范式转型是在制造系统对科学发展观的具体实践,是提高工业文明和生态文明水平的现实路径。

## 1.2 国内外可持续制造研究述评

在国际上,可持续制造已成为一个跨学科研究的热点领域。全球可持续制造会议自 2003 年开始已连续举办了 13 期,美国电气和电子工程师协会(IEEE)多次举办与可持续制造有关的学术会议,《国际生产研究》《国际生产经济学》《生产计划与控制:操作管理》等经济、管理类期刊都曾发行可持续制造特刊。

### 1.2.1 国外研究述评

在 Web of Science 数据库中,以“sustainable manufacturing”为标题的文献最早出现于 2000 年,2005 年后文献数量逐渐增多,到 2012 年达到高峰。在

---

<sup>①</sup> OECD. Towards green growth [R/OL]. <http://www.oecd.org/dataoecd/37/34/48224539.pdf>; 35-72.

Academic research library、EBSCO、Elsevier、Emerald 等数据库中检索 2000 年之后以“sustainable manufacturing”为题名的论文，均可获得数十至百余篇文献。对这些文献按相关性筛选整理后进行浏览概括，可把国外可持续制造研究分为概念界定、实现路径、评价研究 3 个方面。

### 1.2.1.1 可持续制造的界定

可持续制造的界定有狭义和广义之分。狭义的界定主要关注产品生产阶段的环境友好性。如 Madu 把可持续制造看作一种新的生产方式，它通过新技术或新工艺，在把材料转化成产品的同时减少能源消耗、温室气体排放、废物产生、不可再生或有毒物质的使用”<sup>①</sup>。广义地界定关注产品的整个生命周期，把可持续制造当作一个系统地减少制造业环境影响，并提供经济绩效的综合策略<sup>②</sup>。如 Marco Garetti et al. 提出：可持续制造是一套为了应对世界性的资源短缺、减轻环境的超载而在制造领域实施的新技术和组织方案。<sup>③</sup>

要明确可持续制造的内涵，还须将其与“可持续生产”“绿色制造”等相近概念进行区分。关于可持续制造与可持续生产的关系主要有 4 种不同的看法。第一种把可持续生产看作可持续制造的前身<sup>④</sup>，因为可持续生产概念的出现早于可持续制造；第二种把可持续生产当作可持续制造的一个阶段，声称除了生产过程外，制造还包括所有的工业活动、所有与制造链关联的服务<sup>⑤</sup>；第三种认为可持续制造是制造部门的可持续生产<sup>⑥</sup>；第四种认为两者同义，可互换使用。本研究倾向于第二种看法，因为可持续生产研究主要着眼于提高产品

① Madu C. Handbook of environmentally conscious manufacturing [M]. Kluwer Academic Pub, 2001.

② Chris Yuan, Qiang Zhai, David Dornfeld. A three dimensional system approach for environmentally sustainable manufacturing [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2012, 61 (1): 39-42

③ Marco Garetti, Giovanni Mummolo & Marco Taisch. Special issue on sustainable manufacturing [J]. Production Planning & Control: The Management of Operations, 2012, 23 (2-3): 79-82.

④ Jovane F, Yoshikawa H, Altling L, et al. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2008, 57 (2): 641-659.

⑤ Marco Garetti & Marco Taisch. Sustainable manufacturing: trends and research challenges [J]. Production Planning & Control: The Management of Operations, 2012, 23 (2-3): 83-104.

⑥ OECD (2009). Sustainable manufacturing and eco-innovation: towards a green economy [EB/OL]. <http://www.oecd.org/sti/42944011.pdf>

生产加工阶段的可持续性,而可持续制造研究关注产品生命周期的各个阶段。至于可持续制造与绿色制造的关系则有两种看法。一种认为绿色制造是可持续制造的一个组成部分;<sup>①</sup>第二种认为可持续制造是高于绿色制造的制造范式。<sup>②</sup>本研究认为:可持续制造同等关注制造活动的生态、经济和社会可持续性,而绿色制造主要强调制造活动的生态可持续性,故前者比后者内涵更广。

作为一个区别于可持续生产等相近概念的全新概念,可持续制造的内涵主要包括:(i)采用新的生产方式,最大化产品生命周期中资源和能源的生产率;(ii)构建新的管理模式,最小化制造系统对生态和社会造成的负面影响;(iii)培育新的社会环境,形成推动可持续制造的外部氛围。围绕这三个层面形成了三条可持续制造的实现路径,即工厂路径、系统路径和外部路径。

### 1.2.1.2 可持续制造的实现路径

可持续制造的工厂路径主要包括可持续的产品设计和可持续的生产工艺,主要通过工厂内部的技术创新实现在增加企业利润的同时,减少或消除产品本身及其加工流程可能对环境和社会产生的负面影响。设计阶段的干预是减少环境影响、增加产品价值和效用的最有效办法。学者们先后提出了面向装配的设计、面向再制造的设计、面向包装的设计、面向回收或再利用的设计、面向流程的设计等。<sup>③</sup>可持续的生产工艺要求不断减少生产过程中的废物和副产品;节约能源和材料;最小化生产过程对人体健康的危害。<sup>④</sup>当前研究主要围绕能源和材料这两个关键成分,通过建立流程模型对制造流程方案的环境和经济影响进行定量评估,同时找出流程优化的关键因子和环节。

可持续制造的系统路径主要包括生命周期管理、可持续供应链管理、商业

<sup>①</sup> Pineda-Henson R, Culaba A B. A diagnostic model for green productivity assessment of manufacturing processes [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2004, 9 (6): 379-386.

<sup>②</sup> Jayal A D, Badurdeen F, Dillon Jr O W, et al. Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels [J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2010, 2 (3): 144-152.

<sup>③</sup> Gunasekaran A, Spalanzani A. Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 140: 35-47.

<sup>④</sup> Jovane F, Yoshikawa H, Altling L, et al. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2008, 57 (2): 641-659.

模式转型等。生命周期管理是通过生命周期工程、生命周期评价、产品数据管理、技术支持和生命周期成本核算等手段,保护资源和最大化资源使用效率。<sup>①</sup> 可持续制造要求将废弃材料重新用作原材料或能源,从而构成一个“从摇篮到摇篮”的途径。<sup>②</sup> Kaebernick et al. 认为回收再利用的前提是产品的残余价值高于回收再利用的成本。<sup>③</sup> 而要减少回收再利用的成本,就要开发有效的回收流程和末期产品处置及再利用工具。可持续的供应链是一个由上游的原料供应链、下游的产品配送链、逆向的废品回流链组成的闭环结构。可持续的物流运作应包括减少空间、能源、人力、库存的使用,更容易的物流追踪、更好的存货周转、最小化的运输成本等。<sup>④</sup> 可持续制造的最终实现还需要进行商业模式转型。Erastos Filos 认为需要实现从“以最小资本获得最大收益”到“以最少资源创造最大增加值”的转变。<sup>⑤</sup> Frank van der Zwan & Tracy Bhamra 主张以非物质的服务代替产品,通过提供服务提升制造系统的生态效率。<sup>⑥</sup> 基于“产品—服务系统”的商业模式关注产品的使用绩效,而“可持续的规模定制”则关注回应每位顾客的需求。按订单制造可以大量减少产品的积压,而且这种商业模式可以在设计阶段就将可持续发展理念整合其中,更接近完全的可持续制造。<sup>⑦</sup>

向可持续制造转型离不开外部力量的激励和约束,外部路径主要关注打造

① Westkämper E, Alting L, Arndt G. Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing [C]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2001, 215 (5): 599-626.

② Nagel M H, Tomiyama T. Intelligent sustainable manufacturing systems, management of the linkage between sustainability and intelligence-an overview [C] //Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on. IEEE, 2004, 5: 4183-4188.

③ Kaebernick H, Kara S, Sun M. Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2003, 19 (6): 461-468.

④ Gunasekaran A, Spalanzani A. Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 140: 35-47.

⑤ Filos E. ICT for Sustainable Manufacturing: A European Perspective [M] //Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 28-35.

⑥ Frank van der Zwan, Tracy Bhamra. Services marketing: taking up the sustainable development challenge [J]. Journal of Services Marketing, 2003, 17 (4): 341-356.

⑦ Jovane F, Yoshikawa H, Alting L, et al. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2008, 57 (2): 641-659.

适宜的消费环境、政策环境 and 教育环境。消费者行为不只是对价格信号的理性反映,还会受社会的、心理的等诸多因素的影响。Hans-Ulrich Zabel 提出,推进可持续行为还需重视制度对个人行为的塑造作用,在制度和个人间构建可持续导向的互动网络。<sup>①</sup>以经济合作与发展组织(OECD)为代表的国际机构在可持续制造的政策研究上已经取得了较多成果。2011年OECD推出了绿色增长的政策框架,包括政策设计、市场工具、法规和监管、改变消费者行为、创新、基础设施投资、制度和治理7个部分。<sup>②</sup>政府的法规常需要以产业标准为基础,近20年来,各国、各组织制定的相关标准有国际标准组织的ISO14000系列标准、废电子与机电设备指令WEEE、有害物质限制指令RoHS等。可持续性教育既包括针对工程师、设计师的可持续发展观念和能力的培训,也包括对消费者进行产品使用方式和生活方式的引导。但当前的可持续性教育研究大多围绕前者展开,如Cerinsek & Dolinsek列出了7种工程师应对各种可持续制造问题必须具备的能力,利用这个能力框架,教育机构可以进行课程设置和教育方案的调整<sup>③</sup>。

### 1.2.1.3 可持续制造评价

包括评价指标体系的设置和评价工具的使用两个方面。

Feng et al.<sup>④</sup>, Labuschagne et al.<sup>⑤</sup>等学者对已有的评价指标体系,如道琼斯可持续性指数、OECD的核心环境指标、全球报告倡议(GRI)、联合国可持续发展委员会指标等的评价侧重点和使用情况进行了调查后发现:大多数指标体系关注的是国家、地区、社区等整体层面的可持续性,对操作层面的可持

① Hans-Ulrich Zabel. A model of human behaviour for sustainability [J]. International Journal of Social Economics, 2005, 32 (8): 717-734.

② OECD. Towards green growth [EB/OL]. <http://www.oecd.org/dataoecd/37/34/48224539.pdf> 2011: 35-72

③ Cerinsek G, Dolinsek S. In a search for competent engineers-Competence framework in the field of sustainable manufacturing [C] //Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE. IEEE, 2011: 865-870.

④ Feng S C, Joung C, Li G. Development overview of sustainable manufacturing metrics [C] //Proceedings of the 17th CIRP international conference on life cycle engineering. 2010: 6-12.

⑤ Labuschagne C, Brent A C, Van Erck R PG. Assessing the sustainability performances of industries [J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13 (4): 373-385.