



智能

产品服务系统

模块化设计方法

李 浩◎著



清华大学出版社





智能

产品服务系统

模块化设计方法

李 浩◎著

贵州师范学院内部使用

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是智能制造领域中关于智能产品服务系统的一本著作,主题是智能产品服务系统模块化设计方法。本书针对广义产品模块化设计原理与融合方法、理论与技术体系展开研究,并加入了面向大规模个性化的 PSS 模块化设计方法、数字孪生技术在复杂广义产品设计中的应用等内容。

本书是作者近十年关于面向服务的产品设计方法学的系统总结,并融合了最新的大规模个性化、数字孪生等方面的探索,供相关学者参考使用,以期为智能制造战略尽绵薄之力。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

智能产品服务系统模块化设计方法/李浩著. —北京:清华大学出版社,2019.11
ISBN 978-7-302-54100-4

I. ①智… II. ①李… III. ①产品设计—智能设计—模块化 IV. ①TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 239487 号

责任编辑:汪 操

封面设计:何凤霞

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm 印 张:14.25 字 数:263千字

版 次:2019年11月第1版 印 次:2019年11月第1次印刷

定 价:69.00元

产品编号:076482-01

前 言

近年来,全球化市场竞争日渐激烈,客户需求愈加个性化与多样化,产品制造日益呈现出个性化和小批量等特征,大规模个性化时代已经到来。在客户的大规模个性化需求的驱动下,提供快速、低成本的大规模个性化定制设计与制造也成为未来制造企业发展的必然模式。基于此,世界主要工业强国均在激烈争夺技术的制高点,德国提出了“工业 4.0”计划,美国大力推进“工业互联网”,中国制定了《中国制造 2025》发展战略。

世界一流制造企业均在致力于剥离外包非核心业务并专精于核心业务,从传统的以单纯销售物理产品向客户提供“产品服务系统”(product-service systems, PSS)的整体解决方案转变。PSS 是一种向消费者提供面向生命周期的个性化“物理产品/产品服务”整体解决方案,其目的是通过向用户提供个性化的产品和增值服务来实现产品的价值增值、服务增效与可持续发展,形成“互联网+产品+服务”的生态系统。

本书针对广义产品模块化设计原理与融合方法体系展开研究与探讨,包括了广义产品模块化设计平台、广义产品模块划分与融合原理、广义产品模块划分与融合技术体系等内容。然后针对理论与技术体系开展方法学研究 with 前沿探索,分别探讨广义产品模块划分方法、广义产品双层模块规划方法、广义产品模块化结构建模方法、广义产品模块优化配置设计决策方法、面向大规模个性化的产品服务系统模块化设计、数字孪生技术在复杂广义产品设计中的应用等。

本书在最新研究成果的基础上,加入了面向大规模个性化的 PSS 模块化设计方法的内容。针对此部分内容,分析大规模个性化与大规模定制模式的不同,归纳总结面向大规模个性化的 PSS 模块化设计基本特征与实现模式,提出面向大规模个性化的 PSS 模块化过程与方法。

第四次工业革命在制造业的典型体现之一是实现信息与物理深度融合,复杂产品设计和制造信息物理融合是其中最重要的环节,也是实现客户个性化需求的关键环节。智能设计是智能制造的第一个阶段,设计和制造的信息物理融合能够为后续智能加工、装配、运维等环节提供重要支持。但是,当前复杂产品

设计与制造之间存在脱节,造成设计信息可重用性低,制造数据不能有效支撑产品的优化设计,导致无法实现产品设计与制造的虚实映射、循环迭代和一体化开发。为此,本书第8章介绍数字孪生技术在复杂广义产品设计中的应用。数字孪生(digital twin,DT)是实现智能制造目标的一个重要抓手,为复杂产品设计与制造一体化开发提供了一条有效途径。本书提出基于数字孪生的复杂产品环形设计框架,从需求分析、概念设计、个性化配置设计、虚拟样机、多学科融合设计、产品数据管理等角度,探索了基于数字孪生的复杂产品设计制造一体化开发中的关键技术。

本书是在国家自然科学基金面上项目“广义产品的模块化平台理论、方法与应用研究”(No. 50975255)、国家自然科学基金面上项目“面向大规模个性化的模块化产品服务系统建模、设计与优化决策”(No. 51775517)、国家自然科学基金青年项目“复杂集成服务型机械产品模块化结构建模研究”(No. 51205372)和河南省科技创新杰出青年基金“复杂产品制造服务生命周期集成建模技术研究与应用”(No. 184100510007)的资助下完成的,在此对这些基金项目的支持表示衷心感谢!同时,本书的主要工作是在浙江大学恩师**祁国宁**教授、顾新建教授和纪杨建教授的指导下完成的,在此向他们致敬!

本书是作者近十年关于面向服务的产品设计方法学的系统总结,并融合了最新的大规模个性化、数字孪生等方面的探索,以期为智能制造战略尽绵薄之力。限于作者水平,书中难免会有疏漏甚至错误,敬请读者们批评指正。

作 者

郑州轻工业大学

2019年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外制造业发展情况	1
1.1.1 国外制造业发展趋势	1
1.1.2 中国制造业发展需求	2
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 制造服务的研究发展现状	4
1.2.2 产品服务系统的兴起与广义产品的提出	7
1.2.3 广义产品模块化设计的研究现状	10
1.3 本书研究思路、目标与意义	14
1.3.1 研究思路	14
1.3.2 拟解决的关键问题	16
1.3.3 研究意义	17
第 2 章 广义产品模块划分、融合的原理与技术体系	18
2.1 广义产品	19
2.1.1 广义产品的形成过程	19
2.1.2 广义产品的分类	19
2.1.3 广义产品中的物理产品与服务关系分析	23
2.2 广义产品模块化设计平台	24
2.2.1 广义模块	24
2.2.2 广义模块化设计描述	26
2.2.3 广义产品模块化平台架构设计	26
2.3 广义产品模块划分与融合原理	29
2.3.1 广义产品模块化设计的基础原理	29
2.3.2 广义产品模块化设计原则——基于服务配置的设计原则	31

2.3.3	广义产品模块化设计过程模型	32
2.3.4	广义产品模块融合过程与原理	36
2.4	广义产品模块划分与融合技术体系	42
第3章	广义产品模块划分方法	44
3.1	广义产品的模块划分准则	45
3.1.1	服务模块划分准则	45
3.1.2	物理模块划分准则	46
3.2	一个三阶段的广义产品模块划分过程与方法	47
3.2.1	广义产品总体划分过程与方法	47
3.2.2	基于“Top-Down”和“Bottom-Up”的服务模块划分过程	49
3.2.3	基于“Top-Down”的物理模块划分步骤	56
3.3	基于质量屋的广义产品模块划分一致性检验评价方法	61
3.3.1	广义产品的模块一致性检验要求	62
3.3.2	广义产品模块划分一致性检验过程	62
3.4	一个广义变压器产品模块划分案例	64
3.4.1	广义变压器的功能需求	64
3.4.2	广义变压器功能需求细分	66
3.4.3	广义变压器模块划分	66
3.4.4	广义变压器模块划分一致性检验	76
3.4.5	广义变压器模块化实例结构的建立	78
3.5	讨论与结论	80
第4章	广义产品双层模块规划方法	81
4.1	广义产品服务方案层与零部件层模块规划方法学	82
4.1.1	广义产品服务需求收集	83
4.1.2	确定广义产品模块类别	84
4.1.3	模块实例的确定	85
4.1.4	广义产品的模块层次规划	85
4.1.5	广义产品的双层次模块主结构的建立	88
4.2	案例验证	91
4.2.1	广义变压器服务需求收集	91
4.2.2	广义变压器模块类别确定	94
4.2.3	模块类的实例寻找	96

4.2.4	广义变压器的模块规划	98
4.2.5	建立广义变压器的粗结构及主结构	109
4.2.6	结果讨论	110
第 5 章	广义产品模块化结构建模方法	112
5.1	广义产品模块化主结构建模	113
5.1.1	广义模块的描述与分类	113
5.1.2	广义产品模块化主结构架构	115
5.1.3	广义 Parts 的属性描述	118
5.1.4	广义 Parts 间的联系对象	121
5.2	广义产品模块化实例结构建模	124
5.2.1	广义产品模块实例结构的形成过程分析	124
5.2.2	广义产品模块实例结构的不同视图模型	126
5.2.3	广义产品模块实例结构	126
5.3	实例分析	128
5.3.1	Parts 对象的属性描述	128
5.3.2	联系对象的建立	129
5.3.3	广义变压器产品的模块化实例结构	131
第 6 章	广义产品模块优化配置设计决策方法	134
6.1	广义产品模块化配置设计与双层规划方法	135
6.2	基于双层规划的广义产品模块优化配置设计决策过程	137
6.2.1	双层系统的决策原理描述	137
6.2.2	广义产品模块优化配置设计过程分析	138
6.2.3	基于双层系统规划的广义产品优化配置设计过程模型	139
6.3	不同类型广义产品的优化决策层次与需求目标	142
6.4	服务方案层优化决策方法	144
6.4.1	模块效用值	145
6.4.2	决策优化函数	145
6.5	零部件层优化决策方法	146
6.5.1	价格计算	146
6.5.2	决策优化函数	147
6.6	基于双层规划的广义产品模块配置设计总体决策模型	148
6.6.1	总体决策模型	148

6.6.2	基于 GA 的双层优化配置设计的求解	149
6.7	案例研究	151
6.7.1	变压设备广义产品模块的构成	151
6.7.2	变压设备广义产品的配置决策层次	153
6.7.3	广义产品价格、制造成本与效用值等的计算	155
6.7.4	变压设备广义产品的优化配置设计结果	165
6.8	结果与讨论	170
第 7 章	面向大规模个性化的产品服务系统模块化设计	171
7.1	大规模个性化模式与大规模定制模式	172
7.2	面向大规模个性化的 PSS 模块化设计研究与应用现状	174
7.2.1	PSS 模块化设计研究进展	174
7.2.2	大规模个性化的研究进展	175
7.3	面向大规模个性化的 PSS 模块化设计基本特征与实现方式	176
7.3.1	面向大规模个性化的 PSS 模块化设计基本特征	176
7.3.2	PSS 大规模个性化的实现方式	177
7.4	面向大规模个性化的 PSS 模块化过程与方法	178
7.4.1	面向大规模个性化的 PSS 模块化过程建模方法	178
7.4.2	面向大规模个性化的 PSS 模块化系统方案设计	180
7.4.3	面向大规模个性化 PSS 的模块配置优化决策	183
7.4.4	模块化服务链供应配置方法	186
7.5	总结与展望	187
第 8 章	数字孪生技术在复杂广义产品设计中的应用	189
8.1	基于数字孪生的产品设计方法研究进展	191
8.1.1	基于数字孪生的产品设计方法	191
8.1.2	复杂产品多学科优化	192
8.1.3	虚拟样机技术	193
8.2	基于数字孪生的复杂产品设计制造一体化开发内涵	194
8.3	基于数字孪生的复杂产品设计制造开发框架	196
8.3.1	基于数字孪生的复杂产品环形设计框架	196
8.3.2	基于数字孪生的复杂产品设计与制造协同开发框架	198
8.4	基于数字孪生的复杂产品设计制造一体化开发关键技术	200
8.4.1	基于数字孪生的需求获取与个性化体验方法	200

8.4.2	基于数字孪生的概念设计方法·····	200
8.4.3	基于数字孪生的个性化配置设计技术·····	200
8.4.4	基于数字孪生的虚拟样机技术·····	201
8.4.5	基于数字孪生的多学科融合设计技术·····	201
8.4.6	数字孪生体的数据建模与管理技术·····	201
	参考文献·····	203

第 1 章 绪论

1.1 国内外制造业发展情况

1.1.1 国外制造业发展趋势

在全球化压力、环境/资源压力、高技术压力和客户个性化需求等的驱动下^[1]，一些制造企业逐渐剥离并外包一些非核心业务以降低生产成本，并通过将产品服务附加到物理产品上销售给用户以提升产品附加值，制造业呈现服务化趋势；同时，一些服务企业越来越向工业界渗透，为产品设计制造过程、产品流通和使用过程提供专业化与个性化服务，提升产品制造和产品服务过程的专业化。制造业和服务业这两大产业体系逐渐呈现交叉化的融合趋势，企业现代制造服务应运而生^[2-4]。

现代制造服务是面向制造业的产品全生命周期服务，强调客户的个性化需求、交互与体验，它包括产品全生命周期全过程中面向生产者、生产过程和流通过程的服务，以及面向消费者及消费过程的服务。前者称之为面向制造业的生产性服务，后者称之为面向制造业的产品服务，两种服务之集合构成了现代制造服务^[5,6]。以产品附加价值为增值目的的现代制造服务的出现并不是偶然的，它是随着国际产业发展趋势形成的。国外一些龙头企业的业务发展现状验证了企业服务增值战略的判断。2007年，学者对德国200家机床制造企业的利润分布情况进行了调研(图1-1)。调研结果发现：200家机床制造企业的总销售额大约为434亿欧元，其中在新产品设计、制造和销售环节的销售额大约占55%，但获得的利润却只占总利润的2.3%，其余97.7%的利润均来自产品服务环节^[1]。这种利润收入主要来自于产品服务环节的情况也存在于电梯、汽车、飞机、船舶、火车、工程机械等类型的大部分机械制造企业。因此，机械制造企业要获得更多的可持续利润，就不能以单纯销售物理产品为目的，而应以销售带有更多增值服务的产品，以此满足客户的个性化服务需求，提高产品的盈利额度和周

期,使得企业获取新的利润点。同时,制造商将目光投向买方价值提升上,可以摆脱价格战的陷阱,开创可持续的品牌。通过价值创新,企业可以避免常规“差异化”战略下的高成本、高投入与高定价,从而实现客户与企业的双赢^[7]。这就是企业大力推行服务增值(制造服务)战略的主要出发点和意义。

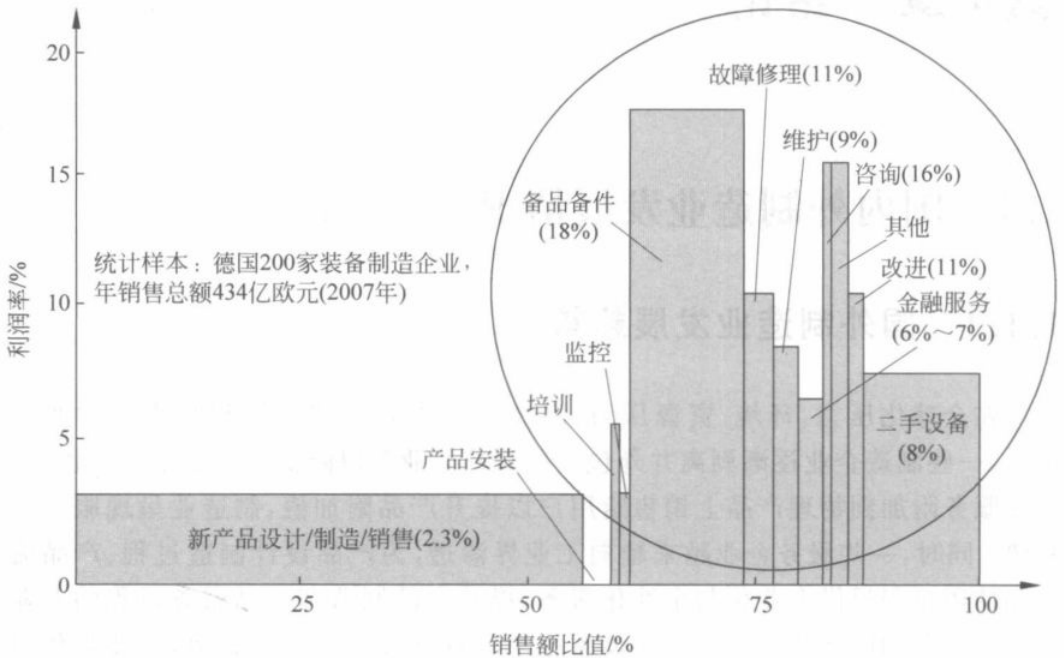


图 1-1 德国 200 家机床制造企业的利润分布情况^[1]

对于传统制造企业,单纯销售物理产品越来越难以满足客户需求,如何在满足客户物理产品需求的情况下获得更多利润已成为制造企业非常迫切的需求。为了能更好地描述制造服务在产品提供阶段的服务增值,本人在文献[8,9]中提出了“广义产品”和“集成服务型产品”的概念,指出:“在产品销售阶段,为满足客户的多层次个性化需求,需要向客户提‘物理产品/产品服务’的整体解决方案,这种多层次、个性化的解决方案即为广义产品^[8]。集成服务型产品是物理产品与服务的一个有机结合体,提供给用户的是‘物理产品/产品服务’的服务解决方案包,其中物理产品是产品服务的载体,产品服务则可以实现物理产品的价值增值^[9]。”

1.1.2 中国制造业发展需求

中国的制造业是以丰富的资源和低廉的劳动力为代价的粗放型发展模式,

在国际分工体系中从事代加工和装配等低附加值环节。同时,在当前的全球化压力、环境/资源压力、高技术压力和客户个性化需求等的驱动下,制造业正面临着严峻考验^[1,10]。一方面,由于市场竞争的加剧,企业从产品制造过程中获得的利润已经越来越少;另一方面,资源环境的持续恶化,使得中国传统的资源消耗型发展模式面临巨大挑战,企业转变发展方式开始提上日程。自2008年全球金融危机以来,中国的制造企业利润变得更加微薄,企业转型升级的需求愈加迫切和强烈。因此,寻找新的利润增长点和可持续发展方式已成为中国制造企业发展的迫切需求。

为了加快企业的战略转型升级,提高企业的利润率和国际竞争力,基于国外制造业的服务战略发展趋势,中国政府也提出了企业服务增效战略,提出大力发展企业的“制造服务”^[5,10]。近年来,中国政府先后发布了《2006—2020年国家信息化发展战略》《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》《国务院关于加快发展服务业的若干意见》《装备制造业调整和振兴规划》《“十三五”国家制造业信息化科技工程规划》《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要(2016—2020年)》《中国制造2025》等规划和意见,其中均明确提出中国将大力发展现代制造服务业,促进现代制造业与服务业的有机融合与互动发展,以“高端装备制造”为主线,以“绿色制造、服务增效”为支撑,突破前沿技术和关键核心技术,促进传统制造业的优化升级,推动制造业从“生产型制造”向“服务型制造”的转型。推进现代制造服务成为国家“十三五”制造业信息化科技工程的主题,成为推动中国工业化和信息化融合发展的重要举措,这些规划和战略有力地推进了服务增值战略在中国制造企业的推广和应用。

在全球制造业发展趋势的拉动下,在中国政府加速企业转型升级政策的推动下,国内已有较多企业认识到促进现代制造业与服务业的有机融合与互动发展的重要性和迫切性。许多企业和地方政府迅速行动起来,联合推动企业的转型升级与服务增值。例如,上海、浙江、江苏、北京、青岛等多个地区正在推动建立具有区域优势的生产性服务集聚区,培育了一系列公共实体服务平台和公共信息服务平台,推动了生产性服务在该地区的快速发展^[6,11]。以陕鼓、三一重工、华为等为典型代表的制造企业纷纷确立“服务发展战略”,通过服务增值来实现企业的跨越式发展。

总之,在制造产业的国际发展趋势以及中国当前企业迫切需求的推动下,以“制造服务战略”和企业提供“物理产品/产品服务”为核心的转型升级模式已成为当前产业发展与演化的主旋律。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 制造服务的研究发展现状

中国学者和政府提出的推进与发展制造服务业,其概念是从生产性服务和产品服务系统两类服务演化而来的,是面向制造业的生产性服务和产品服务的集合体^[6]。制造服务的起源要追溯到 20 世纪 60 年代。1962 年,Fritz 提出了生产性服务业的概念,他认为生产性服务业是知识产出的行业^[12]。Greenfield 于 1966 年提出生产性服务是可用于商品和服务的进一步生产的、非最终的消费服务^[13]。随后一些学者如 Browning 等^[14]、Grubel 等^[15]、Coffey^[16] 开始对生产性服务进行研究。Park 等^[17]、Shops^[18] 通过研究,将生产性服务业与制造业的关系表述为协同发展、互为基础和推进动力的关系。Lundvall^[19] 认为服务业与制造业的相互依赖关系正在逐步加深,并且这种趋势使得制造业和服务业之间的边界逐渐模糊起来,并出现一种逐渐融合为一的趋势。实践证明了学者的研究成果,美国、日本、德国等发达国家的制造业目前处于国际一流水平,生产性服务在服务业中的比重占 70% 以上。生产性服务业的发展是从产业学的角度来分析的,是面向生产过程和流通过程的生产辅助服务。然而,单纯卖物理产品的利润率越来越低,只有提高产品的附加值,通过向用户提供更多的消费型服务,企业才能取得更多利润^[5,20]。因此,部分学者开始研究向用户提供的产品增值服务,即产品服务系统(product-service system, PSS)的研究^[21]。PSS 是一种面向消费者的“物理产品/产品服务”的解决方案系统,实施 PSS 的目的是通过向用户提供产品增值服务来实现产品价值增值、节能与环境保护等^[22]。生产性服务和产品服务系统的演化,使得企业必须通过产品全生命周期的增值服务来实现价值增值和战略转型升级,这就是企业实施制造服务的本质。

中国学者最先提出了“制造服务”的概念。张旭梅认为现代制造服务的内涵包含两方面:“服务企业面向制造企业的服务”和“制造企业面向客户的服务”。前者主要是指制造企业为打造核心竞争力,将其不擅长的业务外包,因而需要围绕制造业生产制造过程的各种服务,如技术服务、信息服务、物流服务、管理咨询与商务服务、金融保险服务、人力资源与人才培养等,即需要围绕制造业的生产性服务;后者主要是指制造企业对产品售前、售中及售后的安装调试以及维修维护、回收、再制造、客户关系等活动^[23]。本书的观点和张旭梅的定义较为相似,认为现代制造服务是从生产性服务和产品服务两类服务演化而来,是面向制

制造业的生产性服务和产品服务的集合体^[8,10]。本人提出：“现代制造服务强调客户的个性化需求、交互与体验,企业采用现代计算机通信技术、信息技术、多媒体技术等新一代 IT 技术,对产品全生命周期的生产活动提供辅助性服务,以提高产品质量,降低产品成本,提高产品附加价值,满足客户的个性化服务需求,从而提高产品和企业的核心竞争力^[8]。”现代制造服务是面向制造业的产品生命周期服务,包括产品全生命周期全过程中面向生产者及生产过程的服务和面向消费者及消费过程的服务。前者称之为面向制造业的生产性服务,后者称之为面向制造业的产品服务,两种服务之集合构成了现代制造服务^[8,23]。产品全生命周期的制造服务归纳如图 1-2 所示。孙林岩提出了与制造服务相似的“服务型制造”的概念,他认为服务型制造是为了面向顾客效用的价值链中各利益相关者的价值增值,通过产品和服务的融合、客户全程参与、制造企业相互提供工艺流程级的制造流程服务、服务企业为制造企业提供业务流程级的生产性服务,实现分散化的制造与服务资源的整合、不同类型企业核心竞争力的高度协同,共同为顾客提供产品服务系统^[3,7]。服务型制造与制造服务的共同点就是:企业通过增值服务来提升产品附加价值和利润。目前,制造服务在我国还处于研究与推广的发展期。

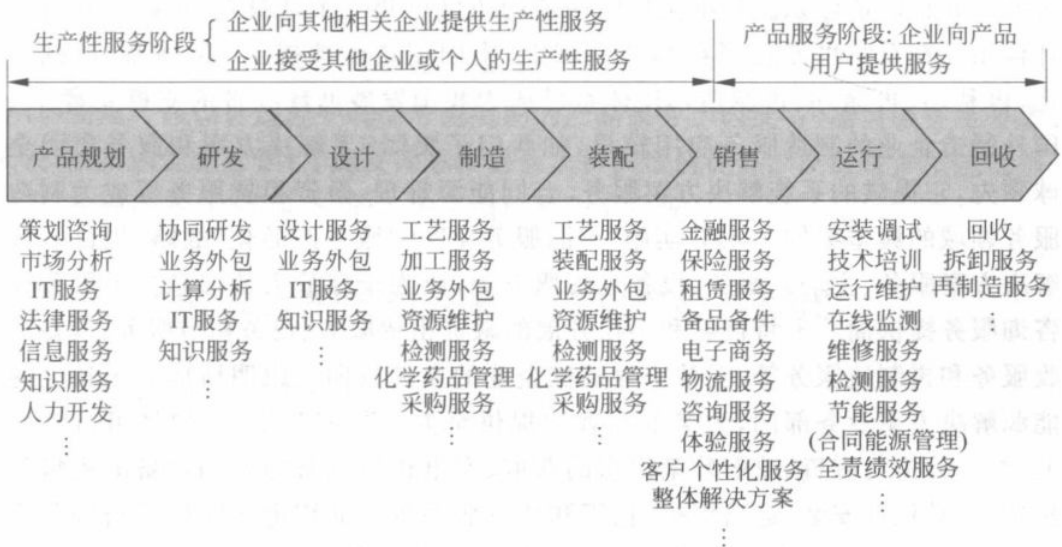


图 1-2 产品全生命周期的制造服务归纳

在制造服务的研究方面,孙林岩、李刚等提出了服务型制造的概念,研究了服务型制造的价值创造机理、产品模式、组织模式和运营模式等^[7,24]。张旭梅等分析了现代制造服务的内涵和运营模式,提出了“官产学研”联合推进我国现代制造服务业发展建议^[23]。谢鹏寿提出了发展新型的网络服务模式、搭建社会化技术服务平台等五种推进现代制造服务业的基本对策^[25]。顾新建从产品全生

命周期的角度分析了制造业服务化和信息化融合技术,分为产品全生命周期各阶段中的信息化制造服务技术与面向产品全生命周期的信息化制造服务技术两大类^[26]。李伯虎、张霖、陶飞等提出了“制造即服务”的云制造服务概念与模式、制造云构建的关键技术、云服务组合关键技术等,已经构建了较为完整的理论与技术体系^[27-29]。张卫提出了基于 XaaS(一切即服务)的制造服务链的技术体系,采用 Petri 网技术建立基本制造服务链的模型,制造服务链组装原理、调度优化方法等^[30]。李浩等总结了现代制造服务的基本模式和系统结构,将面向制造业的生产性服务模式分为区域集群模式、生产服务提供商模式、分散型中小企业动态联盟服务模式和大型龙头企业服务模式;将面向制造业的产品服务发展模式分为制造商延伸服务模式、用户自我服务模式、产品服务提供商模式和集成运营服务模式。李浩等还提出了中国制造服务业的发展策略^[6]。同时, Li 等提出了现代制造服务成熟度模型,该模型由四个阶段和两个水平组成,并提出了一种评价企业成熟度的方法,该模型有助于企业推进制造服务的实施^[20]。这些理论、技术和实施方法的研究为制造服务应用、发展与成熟奠定了重要基础。

在制造服务的应用方面,20 世纪 90 年代,美国从产业角度建立了再利用、再循环和再制造体系。日本从环境保护的角度也建立了减量化、再利用和再循环体系。在总结世界各国经验的基础上,中国创造性地提出 4R 体系,即减量化、再利用、再循环、再制造,4R 体系已成为我国发展循环经济的支撑要素^[31]。国外制造企业的制造服务应用较早,如西门子集团 IT 解决方案和服务集团全球领先,它提供的系统解决方案服务、合同能源管理、融资租赁服务等成为制造服务领域的典型案例。IBM 实施“产品服务化”和“服务产品化”战略,提供系统解决方案服务、主动式服务、设备远程服务等,成为全球最大的信息技术服务和咨询服务提供商。卡特彼勒和小松开展的融资租赁服务、设备租赁服务、设备回收服务和再制造服务等,引领工程机械企业的发展方向。康明斯成立了独立的能源解决方案业务部门,为柴油机客户提供全方位的服务支持,包括可行性研究、投资分析与融资、政府政策优惠的获取、发电机组设备与外围设备的销售和租赁、产品设计安装、运营维护、托管和代管服务等。通用电气实施了新服务战略,“技术+管理+服务”所创造的产值占公司总产值的比重已经达到 70%,所属的资本服务公司拥有全球最大的设备出租公司,还拥有美国第三大保险公司。罗尔斯-罗伊斯公司并不直接向用户出售发动机,而以“租用服务时间”的形式出售,并在规定的租用时段内,承担一切保养、维修和服务。波音公司、三菱重工、惠普、耐克、沃尔沃卡车等众多行业巨头,都是本领域制造服务的标杆企业^[6]。总之,目前国内的制造服务应用以跟踪和学习国外领先企业为主。针对装备再制造服务,1999 年由徐滨士院士率先在国内提出并倡导开展再制造工程技术研

究,提出了相关设计制造技术。总体来看,外国企业在汽车零部件、工程机械和机械装备领域的再制造发展较为成熟。目前,我国政府已提出多项专题规划和政策来支持装备和汽车等的再制造产业发展^[32,33]。制造领域的许多领先企业认识了服务增值的必要性和发展趋势,并大力推进服务在产品生命周期中的价值增值,如海尔集团的制造业务外包,提供主动式服务,提出由“卖产品”到提供“信息化整体解决方案”;青岛捷汽提供旋转机械远程在线监测及故障诊断服务;三一重工提供工程机械在线实时监控服务;陕西鼓风机集团提出并应用的项目总承包服务;柳工集团研发了智能型工程机械故障诊断和远程服务系统;杭氧集团提出从卖制氧机到供气服务商战略;徐工集团提出“从工程机械产品提供商向工程机械方案提供商转型”;华为公司提出“产品化服务”战略,协助客户保障设备正常运行,满足客户的个性化和增值服务的需求;东方汽轮机提出基于产品生命周期的制造服务价值链^[6]。

以“服务增值”为目的的企业制造服务已经上升到国家推进企业转型升级重要抓手的战略高度。然而,对于制造业转型升级来分析,单纯的推动制造服务固然有效,但制造业的产品服务与物理产品是相互融合与相辅相成的,物理产品是产品服务实现价值增值的载体。推进制造服务,必然要考虑到配套的物理产品设计与提供模式,在产品提供阶段的服务实施必然要影响到前期物理产品的设计,即物理产品设计过程中就要考虑后期的产品服务。因此,产品与服务需要集成设计、集成优化配置,才能发挥总体的最大价值增值优势。产品服务系统就是考虑“物理产品/产品服务”的一种新型价值创造系统^[21]。

1.2.2 产品服务系统的兴起与广义产品的提出

1. 产品服务系统的兴起

产品服务系统的概念出现在20世纪90年代,Goedkoop等^[21]、Mont^[34]、Manzini等^[35]、Brandstotter等^[36]、Wong^[37]、Yang等^[38]、Tukker和Tischner^[39]、Aurich等^[40]分别给出了PSS的定义,这些定义的共同点是PSS是一种面向消费者的“物理产品/产品服务”的价值提供系统。根据Tischner和Tukker的分类,PSS分为面向产品的PSS、面向使用的PSS和面向结果的PSS^[39]。

当前,针对PSS系统的研究方向主要包括PSS设计与开发(含PSS配置组合优化、模块化设计等)、生命周期仿真建模、知识管理、实施方法与工具、系统评价等。在PSS的系统开发方面,Meier提出了工业产品服务系统(industrial product-service system, IPS2)是一个知识密集型的“社会-技术系统”,需要集成