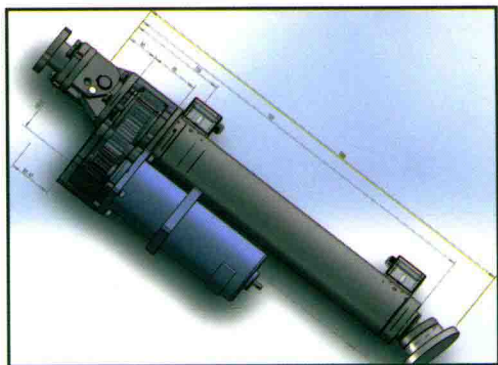


先进制造模式扩散的 建模与分析

曹海旺 等著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

国家自然科学基金（71371173，70901066，70971119）资助

先进制造模式扩散的 建模与分析

曹海旺 等著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造模式扩散的建模与分析 / 曹海旺等著. —北京:
国防工业出版社, 2015.6

ISBN 978-7-118-09969-0

I. ①先… II. ①曹… III. ①制造业—工业企业管理—
研究 IV. ①F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 082673 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 8½ 字数 240 千字

2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 79.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

制造企业在全球竞争环境中要提高自己的竞争优势，需要能准确感知并迅速满足社会与市场多样化的需求。为实现这一目的，各种先进制造模式不断涌现，并且先进制造模式取代传统制造模式已经成为制造业发展的必然趋势。然而先进制造模式的实施需要投入大量的人力和物力资源，是否实施、实施哪种先进制造模式，对先进制造模式的实施过程如何干预、干预到何种程度，正是企业和政府在实际工作中亟待解决的难题。因此，有必要对先进制造模式被接受、采纳并具体应用的过程进行深入研究。

先进制造模式是指通过有效地组织制造要素从而达到良好制造效果的先进生产方法，它可以依据不同的环境条件，实现不同的制造目标。先进制造系统的实施，实际上是先进制造模式被接受、采纳并具体应用的过程，即先进制造模式在制造业中的扩散过程。因此，本书作者认为，可以从扩散理论的视角来研究制造业实施先进制造模式的客观规律，分析先进制造模式扩散过程的动力学机制，建立数学模型来描述扩散过程中的数量关系，通过模型研究干预先进制造模式扩散过程的方法与策略，从而推动先进制造模式的合理利用，健康发展。

全书共分为 10 章，各章的主要内容如下：

第 1 章，先进制造模式概述。本章首先从先进制造的概念及发展入手，探讨了先进制造的概念与发展，接着引入了制造模式的概念，界定了先进制造模式的概念、内涵及其发展、特征及特性等，并从不同的视角对先进制造模式进行分类，随之，给出了常见的先进制造模式，包括精益生产、敏捷制造、计算机集成制造以及并行工程等，最后，说明先进制造模式的应用。

第 2 章，扩散理论及其发展。从扩散的视角来观察，先进制造模

式的应用实施也是一种扩散。为了对先进制造模式的扩散进行研究,本章首先对扩散理论进行概述,说明了扩散理论的研究现状,然后给出了几个典型的扩散模型,为先进制造模式扩散模型奠定了理论基础,最后,说明了扩散模型的应用,并介绍了相关的研究和应用现状。

第3章,微分方程及其应用。从模型的视角看,扩散模型也是一种微分方程。为此,本章从微分方程的定义入手,概述了动态系统及非线性系统的描述,探讨了微分方程的分析方法,随后说明了微分方程的建模过程及建模方法,最后,通过具体的例子说明了微分方程在不同方面的应用。

第4章,先进制造模式扩散的影响因素分析。本章在分析先进制造模式实施应用现状的基础上,研究了先进制造模式扩散的影响因素。首先,从先进制造模式实施的应用与发展出发,探讨了先进制造模式发展中的影响因素,通过GQM方法,获得先进制造模式扩散的影响因素;然后,根据分析得到的影响因素以及根据先进制造模式的特点,从宏观与微观两个方面来构造先进制造模式扩散过程的系统动力学模型,并通过模型对先进制造模式的扩散因素进行定量的分析和讨论,奠定了先进制造模式扩散建模的基础。

第5章,先进制造模式扩散建模的分析。本章综述了系统建模中的基本理论,从中提取用于先进制造模式扩散建模的方法,随后,界定了先进制造模式扩散建模的范畴及需要获得的基本内容,再次,结合先进制造模式扩散的特点,获得先进制造模式扩散建模的视角,最后,结合第4章关于先进制造模式扩散影响因素的分析,明确了建立先进制造模式扩散模型的先行条件,奠定了扩散模型建立的基础。

第6章,单模式扩散的模型及分析。本章针对单模式扩散问题建立了单模式扩散模型,并对模型进行分析和应用。首先对单模式的扩散特点进行分析,然后结合扩散过程中的影响因素建立扩散模型,并对单模式扩散模型进行了分析,最后,通过计算机集成制造模式的扩散过程,说明单模式扩散模型的应用。

第7章,多模式扩散的模型及分析。本章建立先进制造模式的多模式扩散模型,并对其进行分析。首先对多模式的扩散特点进行分析,然后结合扩散过程中的影响因素建立扩散模型,并对多模式扩散模型

进行了分析,最后,通过实际应用中多种制造模式的扩散过程,说明多模式扩散模型的应用。

第8章,多阶段扩散的模型及分析。本章建立先进制造模式的多阶段扩散模型,并对其进行分析。首先讨论先进制造模式扩散过程中的影响因素,分析扩散的特点和扩散机制,然后对企业的应用能力进行区分,并且考虑外部影响,建立先进制造模式的多阶段扩散模型,随后对该模型的稳定性及灵敏度进行分析,最后以CIMS的扩散为例建立多阶段扩散模型,并对模型进行仿真及分析,验证模型的正确性。

第9章,扩散模型的参数辨识。先进制造模式的扩散模型中,模型参数的取值对于扩散过程有很大的影响,为了使扩散模型更契合先进制造模式实际的扩散过程,本章讨论先进制造模式扩散模型的参数辨识问题。首先,给出参数辨识问题的基本理论;其次,针对先进制造模式的扩散模型,利用优化思想,建立参数辨识的模型;再次,结合先进制造模式的多模式扩散模型建立扩散模型的参数辨识模型,并对模型进行了求解,得到模型的最优参数;最后,说明扩散模型参数辨识的应用。

第10章,先进制造模式扩散的调控策略。本章首先从扩散理论的视角来研究制造业实施先进制造模式的客观规律,根据先进制造模式扩散过程的系统动力学分析,分析不同视角下先进制造模式扩散的因素,以及对先进制造模式扩散的调控策略,并分别讨论了政府、企业及社会资源对先进制造模式扩散的调控措施。

本书是在国家自然科学基金项目研究成果基础之上形成的,本书的出版得到了国家自然科学基金项目“先进制造模式扩散的外部干预模型与机制研究”(编号:71371173)、“先进制造模式扩散过程的动力学机制分析”(编号:70901066)、“基于对象知识网的企业信息系统适应性优化研究”(编号:70971119)的资助。另外,还得到了郑州航空工业管理学院以及郑州大学管理工程学院的大力支持,本书由薛朝改教授撰写了第2章及第3章,陈良骥副教授撰写了第1章,其余章节由曹海旺副教授撰写。另外,研究生王国会在本书第1章,盛雨在本书第2章、第3章及第10章的整理工作中做了大量细致的工作,在此表示感谢!

本书在先进制造模式扩散的理论及应用研究方面做了初步的探讨，希望能为该领域的研究人员提供参考。值得说明的是，先进制造模式扩散的建模与分析方法不仅可以应用于讨论先进制造模式的扩散，也可以应用于其他相关领域。

写作本书是对研究成果的总结和整理，也是一种尝试，不足之处敬请读者不吝赐教。

著 者

2015 年 1 月

目 录

第 1 章 先进制造模式概述	1
1.1 先进制造概述	1
1.1.1 先进制造的基本概念	1
1.1.2 先进制造的发展	4
1.1.3 先进制造的趋势	5
1.2 先进制造模式的基本概念	7
1.2.1 先进制造模式的定义	7
1.2.2 先进制造模式产生的时代背景	9
1.2.3 先进制造模式的进展	12
1.3 先进制造模式的特征及分类	14
1.3.1 先进制造模式的特征	14
1.3.2 先进制造模式的分类	15
1.3.3 先进制造模式的趋同性	20
1.4 常见的先进制造模式	21
1.4.1 LP	21
1.4.2 AM	26
1.4.3 CIMS	32
1.4.4 CE	40
1.5 先进制造模式的应用	44
1.6 本章小结	45
参考文献	45
第 2 章 扩散理论及其发展	48
2.1 扩散理论概述	48

2.1.1	扩散的基本概念	49
2.1.2	产品扩散和技术扩散	50
2.2	扩散的基本模型	60
2.2.1	Bass 模型	60
2.2.2	多个体占有模型	61
2.2.3	Norton-Bass 模型	63
2.3	扩散理论的研究与应用	63
2.4	本章小结	67
	参考文献	68
第 3 章	微分方程及其应用	72
3.1	微分方程概述	72
3.1.1	解的存在性及唯一性	72
3.1.2	解的拓延	73
3.1.3	动态系统的一般概念	73
3.2	非线性模型	74
3.3	稳定性分析	75
3.4	微分方程的建模	77
3.4.1	建立微分方程模型的原则	78
3.4.2	建模步骤	79
3.4.3	建模的方法	79
3.4.4	微分方程模型的求解	84
3.5	微分方程的应用	85
3.6	本章小结	86
	参考文献	86
第 4 章	先进制造模式扩散的影响因素分析	87
4.1	先进制造模式发展的影响因素	87
4.2	基于 GQM 的先进制造模式扩散因素分析及评价	90
4.2.1	GQM 方法概述	90
4.2.2	基于 GQM 的先进制造模式扩散的影响因素	92

4.2.3	影响因素的评价研究	101
4.3	系统动力学概述	105
4.3.1	系统动力学的基本概念	106
4.3.2	系统动力学的建模	107
4.3.3	系统动力学的应用	112
4.4	基于系统动力学的扩散影响因素建模	113
4.4.1	宏观视角下的影响因素	113
4.4.2	微观视角下的影响因素	114
4.4.3	扩散影响因素的宏观模型	114
4.4.4	扩散影响因素的微观模型	116
4.5	基于 SD 的扩散模型的影响因素分析	119
4.5.1	宏观模型的分析	119
4.5.2	微观模型的分析	121
4.6	本章小结	124
	参考文献	124

第 5 章 先进制造模式扩散建模的分析 127

5.1	系统建模的基本理论	127
5.1.1	模型概述	127
5.1.2	模型的视角及分类	129
5.1.3	建模原理	132
5.1.4	建模的步骤	133
5.1.5	常用的系统建模方法	135
5.2	先进制造模式扩散的概念	136
5.3	先进制造模式扩散建模的视角	137
5.3.1	先进制造模式的自身特点	138
5.3.2	先进制造模式扩散的阶段性的	138
5.4	先进制造模式扩散模型的影响因素分析	139
5.4.1	影响因素的动力学分析	140
5.4.2	影响因素的综合分析	142
5.5	本章小结	143

参考文献 143

第 6 章 单模式扩散的模型及分析 145

6.1 单模式扩散的特点 145

6.2 单模式扩散的机制 146

6.3 单模式扩散的模型及分析 146

6.3.1 单模式扩散模型 146

6.3.2 扩散模型的稳定性分析 148

6.4 单模式扩散模型的仿真及分析 152

6.4.1 扩散模型的仿真 153

6.4.2 参数分析 154

6.4.3 灵敏度分析 158

6.5 单模式扩散模型的应用 161

6.5.1 案例背景 161

6.5.2 扩散模型及分析 162

6.6 本章小结 166

参考文献 166

第 7 章 多模式扩散的模型及分析 168

7.1 多模式扩散的特点 168

7.2 多模式扩散的机制 169

7.3 多模式扩散的模型及分析 169

7.3.1 多模式扩散模型 169

7.3.2 扩散模型的稳定性分析 171

7.4 多模式扩散模型的仿真及分析 174

7.4.1 扩散模型的仿真 174

7.4.2 参数分析 175

7.4.3 灵敏度分析 180

7.5 多模式扩散模型的应用 183

7.5.1 案例背景 183

7.5.2 扩散模型及分析 184

7.6 本章小结	191
参考文献	192
第 8 章 多阶段扩散的模型及分析	193
8.1 多阶段扩散的特点	193
8.2 多阶段扩散的机制	195
8.3 多阶段扩散的模型及分析	195
8.3.1 多阶段扩散模型	195
8.3.2 扩散模型的稳定性分析	196
8.4 多阶段扩散模型的仿真及分析	197
8.4.1 扩散模型的仿真	197
8.4.2 参数分析	199
8.4.3 灵敏度分析	204
8.5 多阶段扩散模型的应用	206
8.5.1 案例背景	206
8.5.2 扩散模型及分析	207
8.6 本章小结	211
参考文献	212
第 9 章 扩散模型的参数辨识	213
9.1 参数辨识概述	213
9.1.1 参数的概念	214
9.1.2 参数估计值及其评价	214
9.1.3 参数辨识的方法	217
9.2 扩散模型的参数辨识模型	221
9.2.1 参数辨识模型	221
9.2.2 模型的求解	222
9.3 参数辨识的应用	229
9.3.1 案例背景	230
9.3.2 参数辨识模型及求解	230
9.4 本章小结	233

参考文献 234

第 10 章 先进制造模式扩散的调控策略 236

10.1 先进制造模式扩散调控的概述 236

10.2 单模式扩散的调控策略 238

10.3 多模式扩散的调控策略 239

10.4 多阶段扩散的调控策略 241

10.5 先进制造模式扩散的调控模式 243

10.5.1 政府对先进制造模式扩散的调控策略 244

10.5.2 企业在先进制造模式扩散中的主体作用 247

10.5.3 社会资源对先进制造模式扩散的支持作用 253

10.6 本章小结 256

参考文献 257

第 1 章 先进制造模式概述

制造业是将可用的资源和能源通过制造过程转化为人们可以使用或者利用的工业品或消费品的行业,它涉及国民经济的大部分行业,例如电子、轻工、机械、化工、食品、航空航天、军工等行业。由于制造业不仅产生物质财富和新的知识,而且为国民经济各部门和科学技术的进步与发展提供先进的装备和手段,因此,制造业不但是一个国家国民经济的支柱,而且是综合国力的重要体现。当前,随着科技创新速度的不断加快和市场的全球化,制造业面临的环境发生了巨大的变化,即市场的需求日益个性化、多样化和快速化,这使得传统的制造模式面临困境。为了应对这些市场变化,制造业中也不断出现应用现代科技的先进制造模式,以赢得新形势下的市场竞争。本章对这些先进制造、先进制造模式的概念、发展及应用进行概括介绍。

1.1 先进制造概述

1.1.1 先进制造的基本概念

1. 制造的概念

制造(Manufacture)的概念,有狭义和广义之分。狭义上来讲,制造就是加工,即把原材料加工成可以使用的产品。伴随着科技的进步和人类社会的发展,制造的主要方式发生了变化,因此人们对于制造的狭义上的理解已经不能确切描述当今的制造活动,从而引入了对制造的广义理解。如今对制造的广义理解,包含了整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动,即产品设计、工艺设计、加工装配、质量控制、销售、维修和废品处理等。从对制造的广义理解出发,又形成了多种定义。国际生产工程学会(CIRP)在 1983 年主要从生产

过程角度把制造定义为：包括制造企业的产品设计、材料选择、规划、生产、质量保证、管理和营销的一系列有内在联系的活动与运作/作业。美国国家研究委员会（NRC）在 1998 年把制造定义为：创造、开发、支持和提供产品与服务所要求的过程与组织实体。美国生产与库存控制学会（APICS）在 2002 年从物流的角度把制造定义为：设计、物料选择、规划、生产、质量保证、管理和对顾客与耐用货物营销的一系列相互关联的活动和运作/作业。如今被大家广泛认同的制造的概念是：制造是一种有特定目标的技术经济活动，是人们从市场需求出发，运用主观掌握的科学知识、实践经验和技能，在遵循自然规律的基础上，综合技术、经济、环境和人的因素，借助于可利用的物质工具或手工，采用有效的技能、手段和方法，耗费一定的能源、资源和时间，将原材料转化为最终物质产品并投放市场以适应和满足社会需要的复杂过程。

2. 先进制造的概念

20 世纪 90 年代以来，发达国家为了提高其竞争力，提出了先进制造技术的概念，随着对制造领域研究的不断深入，形成了先进制造系统理论。对于制造业来说，先进制造也就是先进制造系统，即不仅有先进制造技术还有先进制造模式的综合体。

先进制造相对于传统制造而言，指制造过程中不断吸收电子信息、计算机、机械、材料以及现代管理技术等方面的高新技术成果，并将这些先进制造技术综合应用于制造业产品的研发设计、生产制造、在线检测、营销服务和管理的全过程，实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产，即实现信息化、自动化、智能化、柔性化、生态化生产，来取得更好的经济、社会和市场效果。

先进制造中的“先进”两字，可以从产业、技术、管理三个方面认识：

（1）产业方面。产业先进性是指该产业处于世界生产体系的高端，具备较高的附加值和技术含量。通常这些产业含有较高的技术或新兴起的产业。

（2）技术方面。从“只有夕阳技术，没有夕阳产业”这句话，我们可以明白先进制造业基地并不只属于高新技术产业。如果传统产业

运用高新技术或先进适用技术进行改造，并且在制造技术和研发方面保持先进水平，同样可以成为先进制造业。

(3) 管理方面。制造业不仅要在产业和技术方面取得先进性，更重要的是还要在管理水平方面必须是先进的，落后的管理是不能够发展先进产业和先进技术的。

与传统制造系统相比，先进制造系统可以实现全球性的、灵活敏捷的组织形态与控制机制，从而快速响应市场需求的变化。这是由于先进制造系统广泛应用先进制造技术，信息技术与各种先进制造技术相融合，驾驭生产过程中的物质流、能量流和信息流，实现制造过程的系统化、集成化和信息化。同时，先进制造系统采用先进制造模式，制造模式是制造业为提高产品质量、市场竞争力、生产规模和速度，以完成特定生产任务而采取的一种有效的生产方式和生产组织形式。其目标是实现设计数字化、制造自动化、管理信息化、经营网络化。

先进制造在不同行业的先进性，具体表现在：

(1) 高新技术产业方面。微电子、计算机、信息、生物、新材料、航空航天、环保等高新技术产业广泛应用先进制造工艺，包括先进常规工艺与装备、精密与超精密加工技术、纳米加工技术、特种加工技术、成形工艺和材料改性等先进制造技术和工艺。

(2) 传统产业方面。机械装备工业、汽车工业、造船工业、化工、轻纺等传统产业广泛采用先进制造技术，特别是用信息技术进行改造，给传统制造业带来了重大变革，生产技术不断更新，设计方法、加工工艺、加工装备、测量监控、质量保证和企业经营管理等生产全过程都渗透着高新技术，CAD、NC 和柔性制造技术在制造业中已得到了广泛的应用，使其发生质的飞跃，产生了一批新的制造技术和制造生产模式。

(3) 装备工业方面。在高新技术的带动与冲击下，装备工业走向机电一体化、人机一体化、一机多能、检测集成一体化，出现机器人化机床、虚拟轴车床、高速模块化机床等新型加工机床，数控机床走向智能化加工单元。

(4) 制造技术方面。制造技术不断向高加工化和高技术化方向发展，给制造业带来深刻的变革，未来的制造业将进入融柔性化、智能

化、敏捷化、精益化、全球化和人性化于一体的崭新时代。

1.1.2 先进制造的发展

以典型技术为基础研究先进制造的发展，可以划分为以下五个阶段。

1. 刚性自动化

刚性自动化包括刚性自动线和自动单机，在 20 世纪 40~50 年代，刚性自动化已经很成熟。制造业应用传统的机械设计与制造工艺方法，采用专用机床和组合机床，自动单机或自动化生产线进行大批量生产。它的特征是高生产率和刚性结构，然而却很难实现产品的改变。

刚性自动化设计的主要技术有：继电器程序控制、组合机床。

2. 数控加工

在 20 世纪 50~70 年代数控技术迅速发展并已成熟。数控加工包括数控（NC）和计算机数控（CNC）。随着计算机技术的迅速发展，到了 70~80 年代，数控技术迅速被计算机数控取代。数控加工设备包括数控机床、加工中心等。数控加工的特点是柔性好、加工质量高、适应于多品种、中小批量（包括单件产品）的生产。

其涉及的主要技术有：数控技术、计算机编程技术等。

3. 柔性制造

柔性制造包括计算机直接数控（DNC）、柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）、柔性加工线（FML）等。其主要特点是强调制造过程的柔性和高效率，适用于多品种、中小批量的生产。

其涉及的主要技术有：成组技术（GT）、DNC、FMC、FMS、FML、离散系统理论、方法与仿真技术、车间计划与控制、制造过程监控技术、计算机控制与通信网络等。

4. 计算机集成制造系统（CIMS）

在 20 世纪 80 年代以后，CIMS 得到迅速的发展。其特征是强调制造过程的系统性和集成性，以解决现代企业生存和竞争的 TQCS 问题，即时间（Time）、质量（Quality）、成本（Cost）和服务（Service）。

其涉及的主要技术有：现代制造技术、管理技术、计算机技术、