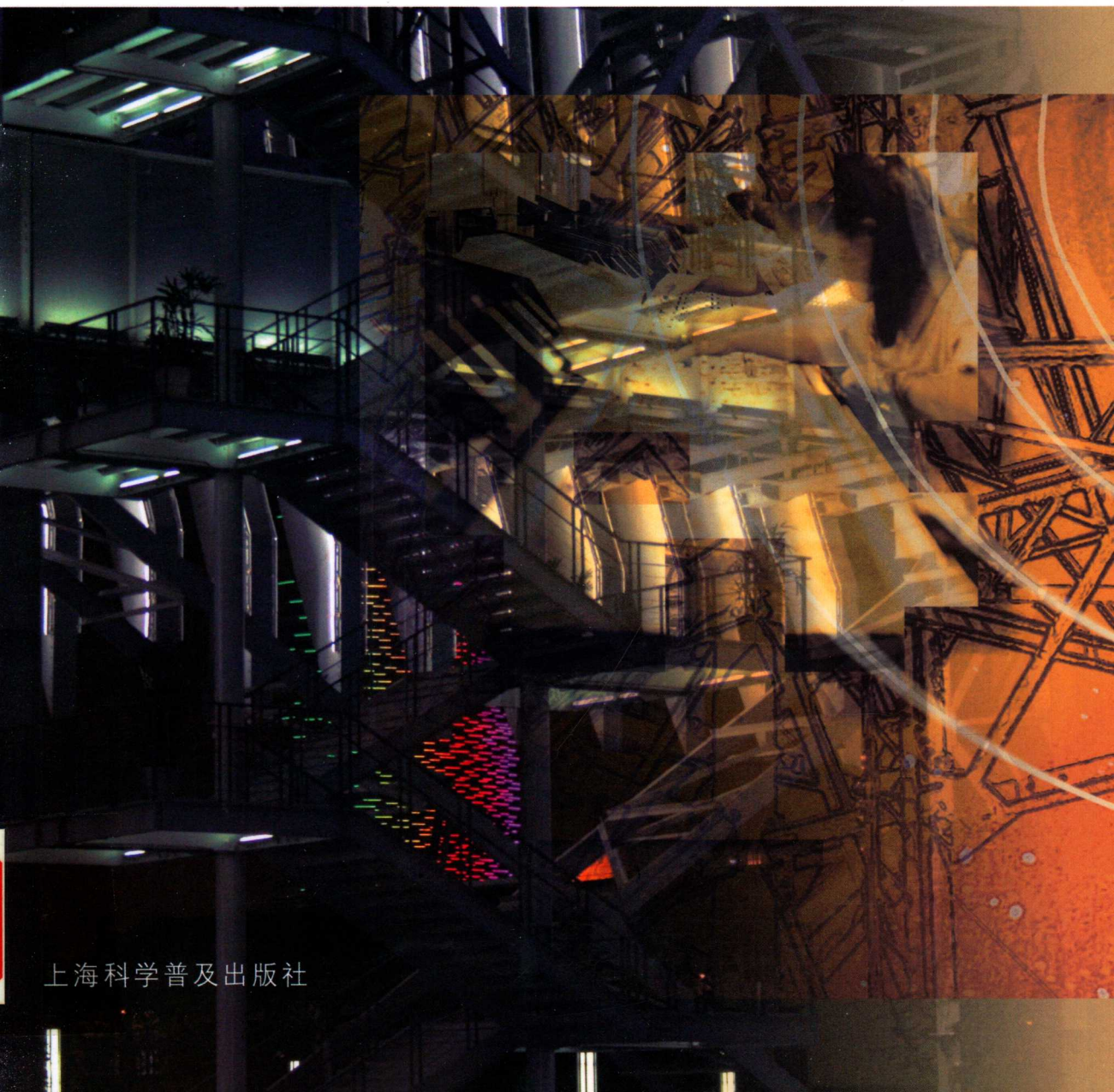




连志刚 著

# 制造业信息化 管控设计与优化



上海科学普及出版社

# 制造业信息化 管控设计与优化



上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

制造业信息化管控设计与优化/连志刚著.--上海:  
上海科学普及出版社,2016.12

ISBN 978-7-5427-6613-7

I. ①制… II. ①连… III. ①制造业—工业企业  
管理—信息化—研究 IV. ①F407.406-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 245199 号

责任编辑 张帆

制造业信息化管控设计与优化

连志刚 著

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

---

各地新华书店经销 上海叶大印务发展有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 294 000

2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5427-6613-7 定价: 48.00 元

## 出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪,科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”,资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

# 序 一

国务院于2015年5月8日公布了《中国制造2025》，提出了中国制造强国建设三个十年的“三步走”战略，其中《中国制造2025》是第一个十年的行动纲领。《中国制造2025》强调了信息技术和制造技术的深度融合是新一轮产业竞争的制高点，而智能制造则是抢占这一制高点的主攻方向，也是实现我国制造业由大变强的根本路径。实施智能制造工程，要紧密围绕重点制造领域的关键环节，开展新一代信息技术与制造装备融合的集成创新和工程应用。管控一体化是以生产过程控制系统为基础，通过对企业生产管理、过程控制等信息的处理、分析、优化、整合、存储、发布，运用现代化企业生产管理模式建立覆盖企业生产管理与基础自动化的综合系统，是智能制造领域的重要一环。

管控一体化所有业务都构建在同一个技术架构平台上，通过全厂数据集成，提供一个全厂范围内从底层控制数据采集，到分析优化、管理决策的综合应用平台，将生产控制、资源控制、市场需求、财务核算等各个方面集成起来，是企业优化企业管理、提高经济效率、降低成本的有力工具。

连志刚博士从事离散制造最优化管控研究十余年，有深厚的理论功底，并在企业做过两站博士后研究，具有丰富的实践经验。在其辛勤耕作下，这本基于理论研究和实践经验的离散制造信息化管控设计与优化的著作，对于企业信息化实施具有很好的借鉴意义。

本书从离散制造业生产组织模式优化、产能负荷平衡优化、制造业生产计划控制体系构建、制造业生产排程与优化技术、制造业生产运作体系构建与优化、数字化制造架构设计、制造业生产制造执行系统实施等方面进行较为全面的阐述，技术实施与操作性强，对离散制造业管控智能化的实施有所助益。

本书既有基础理论与算法，又有实际案例分析；既有仿真研究，也有管理信

息系统架构,是一本关于制造业信息化管控设计与优化的专著,适合研究人员、企业管理人员和 IT 开发技术人员应用。



华东理工大学教授、博士生导师

2016 年 1 月于上海

# 序 二

“工业 4.0”、“中国制造 2025”都聚焦智能制造领域。所谓智能制造,就是面向产品全生命周期,实现泛在感知条件下的信息化制造。通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术,实现设计过程、制造过程和制造装备智能化,是信息技术、智能技术与装备制造技术的深度融合与集成的体现,促成并顺应了信息化与工业化深度融合的大趋势。

本书对装备制造业生产组织模式优化、装备制造业产能负荷平衡模型、装备制造业生产计划控制体系构建、生产计划制定模型设计和集成网络信息化实施方案、装备制造业生产排程技术、装备制造业生产运作体系构建与优化、数字化制造架构设计、装备制造业生产制造执行系统实施及装备制造业 MES 总体构建及其详细模块功能设计等进行了分析、研究和系统设计。作为制造执行系统, MES 在实现生产过程的自动化、智能化、网络化等方面发挥着巨大作用,处于企业级的资源计划系统 MRPII/ERP 和工厂底层的控制系统 SFC 之间,是提高企业制造能力和生产管理能力的重要手段。本书在上述研究工作中取得了相应的成果,展现了作者在装备制造业信息化管控设计与优化方面长期探索、耕耘的收获。

本书对于计算机、自动化、管理、机械等相关学科的教师、大学本科生和研究生、企业管理人员、IT 开发技术人员和有志于装备制造业信息化的人们来说是一部开卷有益的参考书。全书文字流畅、理论清晰、图式规范、逻辑严谨、面向发展、致力应用,是装备制造信息化管控领域并不多见的一部著作。

对于本书作者在智能计算、生产调度系统建模与优化、离散制造业信息化实施等方面执着与热忱的研究工作以及他在该领域理论和实践积累方面的努

力,我想适用一幅楹联:“大厂博士装备信息 强国学问制造流程”,横批“力著问世”。

刘锦高

华东师范大学计算机科学与软件工程学院教授、博士生导师

上海建桥学院电子信息学院教授、院长

2016年1月于上海

# 前 言

从现代制造的角度说,企业生产运作分三层,即计划层、执行层和控制层。其中计划层应用的是 MRPII/ERP 等,而控制层包括可编程控制器、数控机床等加工设备,介于两者之间的就是执行层的制造执行系统(MES)。MRPII/ERP 软件的主要作用是针对资源做出计划,但对于生产现场的管理无法直接进行控制,造成上层计划和底层控制之间出现脱节现象,因此企业应通过 MES 来连接上层计划管理与底层工业控制,对车间层的生产信息进行管理与控制。大型制造业生产过程中加工的工件常常成千上万,机器调配、物料配备、物流中转,多品种工件协同穿插加工,工序多、工艺复杂,企业资源产能有限,且调度本身属于复杂的 NP 难问题,加之不断变化生产环境因素的影响,从而导致生产计划与调度优化非常复杂。制造业生产过程的调度优化是复杂的组合优化问题,搜寻其最优解非常困难,研究各种智能算法来解决组合优化问题是近年来理论界和工程界的热点与难点。对调度优化问题的研究已经成为数学、计算机、自动化、管理工程等众多领域科学家关心的重要课题。然而,到目前为止,单纯围绕着调度优化问题的研究较多,而将产能负荷平衡、生产计划与调度优化、优化工具三者关联结合进行系统研究较少。生产管控中的产能负荷平衡、计划制定、优化排程等问题解决的关键技术就是算法,算法也是排程等生产管理技术的技术瓶颈与核心价值。关于算法的研究,如分支定界法、协同算法、粒子群算法等研究成果较多,然而在实际应用上遇到的最大问题是面对实际生产的复杂性,各种方法都有其适用范围的局限性。

目前国内多数装备制造企业还没实施功能全面、满足精益生产需求的生产管控集成系统,未实现作业人员、场地、设备及物料等计划管理和生产资源的动态平衡,信息汇总分类和迅速反馈,实现资源优化配置的控制;生产计划主要靠开调度会、现场会解决,整个生产管控都基本在经验及大概的推算基础上,未实

现精准管理的问题。信息化管控全面实施是我国制造业提升的一次机遇,而国内外关于制造业信息化管控实施、生产组织系统建模与优化技术三者结合研究的书籍较少。本书基于制造业生产组织的离散型、多品种小批量、生产调度巨复杂性等特点,将产能负荷平衡,基于有限生产资源的生产计划与调度优化、优化算法、制造业信息化管控实施进行结合研究。本书内容主要来自于课题组的科研成果,是作者基于中国博士后科学基金面上资助项目、上海市博士后科研资助计划项目、上海市科委创新项目、上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金项目、江南造船(集团)有限责任公司的项目、广东“十一五”规划项目“科达数字化企业建设”等项目的研究,融合了近5年在 *Applied Mathematics and Computation*, *Computational Optimization and Applications*, *Chaos, Solitons and Fractals*, *Applied Mathematical Modeling*, 《控制理论与应用》等国内外重要学术刊物上发表的并受同行高等评价与多次引用的几十篇论文完成的,提出基于有限生产资源的生产日程计划,并与设计、物流、经营、人力资源等系统模块功能实现集成的数字化管控系统架构;以中间产品为导向,按区域组织生产,实现装备制造企业设计、生产、管理一体化,促进大型制造业生产精益化运作的改善,使其资源最优综合利用,提升效率,降级生产运作成本,增强效益。

本书由7章构成,各章节内容具体安排如下:第1章介绍国外制造业信息化发展状况,对比说明我国装备制造企业信息化发展程度,分析我国制造业信息化实施存在的问题,给出制造信息化实施的一般步骤,及实施成功指标模型。第2章提出制造业生产组织模式优化方案,分析当前装备制造企业下达生产任务(下单)模式存在的问题,并给出了改进型的下单模式,也分析了生产组织模式存在的问题,并给出了改进型的生产组织模式及流程。同时提出了自动分配生产订单在各车间停留时间的计算模型。提出了新型学习算法(LA)的概念,给出  $cIcGbG \sim LA$ ,  $cGcLbL \sim LA$  和  $cIcGbIbGcLbL \sim LA$  等不同类型算法的递推方程,采用0—1编码将LA应用于优化产能负荷平衡的生产任务自制与外协自动分流,并通过生产实例分析LA用于优化制造业生产计划制定的可行性与可靠性。第3章建立制造业生产计划控制体系。根据生产资源和公司运营总计划自动绘制总组集成计划网络,给出最早网络、最晚网络、自由时差、总时差、关键路

径。可基于场地时间限制、劳动力、设备产能等约束限制制定总组计划网络,同时可根据人工网络、场地安排推算出所需人工设备数量及班次安排。提出正向和反向两种总组集成方式并定义两种计算模型,分别为时间模型和工期模型,以便适应以某时间点起始的正向计算,也能以某时间点为结束的反向计算。第4章建立制造业生产调度优化技术,总结了生产调度的特点、分类、一般的优化目标、生产调度问题的发展现状,概括了主要的调度方法及解决调度问题的优化算法及启发式规则。提出了泛 PSO 算法的概念,给出  $cIcGbG \sim PSO$ 、 $cIcGbI \sim PSO$  和  $cIcGbIbGcLbL \sim PSO$  等不同类型算法的递推方程,将泛 PSO 算法应用于制造业生产排程优化,通过仿真实验测试,验证了泛 PSO 算法和新型学习算法作为优化工具解决生产排程问题的可行性和可靠性。第5章研究制造业生产运作体系构建与优化,提出制造业在信息化实施前的机构重组与职能明确,流程优化与再造技术,数据完备性与一致性的准备,WBS 制定依据标准。给出制造业 WP/WO 分解策略,xBOM 制定要求和标准化的编码体系建立技术,构建了先进的制造过程体系,包括制定合理的建造计划、均衡产能负荷、托盘的管理、绩效管理的指标等。第6章设计制造业数字化制造的总体架构。给出数字化制造集成系统架构图,数字化设计与 PDM 集成设计方案,并详细设计了船舶制造企业 ERP 的主要功能模块,如全面质量管理、财务管理、HR 管理、营销管理、采购管理、物资物流管理、工程项目管理、综合保障管理、基础数据与标准化管理、系统安全维护管理以及 BI 应用,并详细勾勒了各模块之间数据传输与共享的模式、优化了作业流程和岗位职能。第7章设计制造业 MES 实施方案。介绍了 MES 的概念、模型、功能及国内外的研究发展趋势。结合 MES 基本理论和制造业生产运营实际情况,从功能角度出发搭建了符合制造业实际的 MES 架构,并设计了详细模块功能,包括车间小日程计划管理、排产规则/算法管理、设备/工装夹具管理、起运支持、辅材物料管理、劳动力管理、人工可干预的自动派工、数据采集/实绩管理、生产成本管理、生产绩效管理和生产数据管理。给出新型 LA 算法嵌入 MES 优化任务排程技术等。

本书一方面为解决制造业生产计划科学制定、产能负荷平衡、生产调度优化等问题探索一条新的有效途径;另一方面,提出制造业信息化实施方案,促进其

生产精益化运作的改善,提高制造资源优化配置能力,提升效率,降级生产运作成本,增强效益,增强制造业企业的竞争力。本书可作为计算机、自动化、管理、机械等相关学科的教师、大学本科生和研究生、企业管理人员和 IT 开发技术人员的参考书。由于作者水平有限,本书许多内容还有待完善和进一步深入研究,对于不足之处,诚望读者不吝赐教。

感谢华东理工大学自动化系顾幸生教授,华中科技大学邵新宇教授、管在林教授,广东科达机电股份有限公司朱钊副总,上海交通大学江志斌教授,江南造船(集团)有限责任公司胡可一总工、郑冬标副总工,华东师范大学刘锦高教授,广西大学王中兴教授、韦增欣教授等相关研究给予的热心指导和帮助。感谢上海电机学院焦斌教授、徐余法教授、计春雷教授、刘文红教授、陈国初教授、高贵革教授、林蔚天教授、陈献忠副教授、王淮亭副教授、孙强副教授、沈学东副教授、陈群贤副教授,华东理工大学王学武副教授、徐震浩副教授、张凌波副教授、黎冰副教授,同济大学宋永利博导,东华大学彭亚红教授,广东机电职业技术学院翟小兵教授,浙江理工大学张建明教授,江门职业技术学院李益教授,上海海洋大学魏永锋教授,上海泰龙生物医药科技有限公司李军辉博士,华东师范大学褚为强博士的支持和帮助。最后感谢上海市科学技术协会、上海科学普及出版社的大力支持和辛勤工作。

连志刚

2016年1月

# 目 录

序一 .....	1
序二 .....	1
前言 .....	1
<b>第 1 章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 引言 .....	1
1.2 现代制造管理理论与技术 .....	3
1.3 制造业主要特征 .....	6
1.4 制造业信息化技术的应用发展 .....	7
1.4.1 制造业信息化的发展历程 .....	7
1.4.2 制造业信息化的发展趋势 .....	8
1.5 我国制造业面临的挑战与机遇 .....	9
1.6 制造业信息化技术发展的特点与趋势 .....	11
1.6.1 制造业信息化技术发展的特点 .....	11
1.6.2 国外制造业信息化发展状况 .....	11
1.6.3 我国制造业信息化发展程度 .....	12
1.7 我国制造业信息化实施存在的问题 .....	13
1.8 我国制造业信息化实施成功的关键因素 .....	15
1.8.1 制造业信息化实施步骤 .....	15
1.8.2 我国制造业信息化实施成功指标模型 .....	17
<b>第 2 章 制造业生产组织模式优化</b> .....	<b>19</b>
2.1 引言 .....	19
2.2 制造业产品事业部装配调度分析 .....	19
2.2.1 产品事业部下单模式及存在问题 .....	19
2.2.2 产品事业部改进的下单模式 .....	21
2.3 制造业当前生产组织模式问题分析 .....	22
2.4 制造业生产组织模式优化 .....	24
2.5 制造业产能负荷平衡模型 .....	27

2.6	新型学习算法优化制造业产能负荷平衡	29
2.6.1	传统学习算法	29
2.6.2	新型学习算法递推方程	30
2.6.3	cIcGbG~LA	31
2.6.4	cIcGbI~LA	33
2.6.5	cIcGbIbG~LA	34
2.6.6	cIcGcLbL~LA	35
2.6.7	cIcGbIbGcLbL~LA	36
2.6.8	cIcG~LA	37
2.6.9	其他型 LA	38
2.6.10	新型 LA 的 0—1 编码	38
2.6.11	新型 LA 学习策略	38
2.6.12	新型 LA 伪代码	40
2.6.13	cIcG~LA 在制造业中产能负荷平衡的应用测试	41
2.7	加工订单在各生产执行部门停留时间分解模型	42
<b>第 3 章</b>	<b>制造业的生产计划控制</b>	<b>44</b>
3.1	引言	44
3.2	制造业生产计划控制过程	44
3.3	制造业生产计划制定模型	44
3.3.1	生产计划制定分析	44
3.3.2	总组集成计划网络自动化制定原理分析	47
3.4	最大化加工工件数目具有交货期约束的计划安排	50
3.4.1	最大化加工工件数目具有不同交货期约束的 FSSP(MJNRDDFSSP)	50
3.4.2	最大化加工工件数目具有不同交货期约束的 JSSP(MJNRDDJSSP)	57
3.5	生产计划制定信息化实施分析	62
3.6	装备制造总组集成网络信息化实现设计	63
3.6.1	总组集成计划网络制定	63
3.6.2	质量管理	64
3.6.3	搜索查询	64
3.6.4	报表管理	64
3.7	基于产能负荷平衡优化的生产计划制定	65
3.8	小结	66
<b>第 4 章</b>	<b>制造业的生产调度优化</b>	<b>67</b>
4.1	引言	67

4.2	制造业生产调度概述 .....	67
4.2.1	生产调度问题的描述 .....	67
4.2.2	制造业企业车间调度管理的意义 .....	68
4.2.3	典型调度问题 FSSP 和 JSSP 的描述及其数学模型 .....	68
4.2.4	生产调度问题的特点 .....	70
4.2.5	制造业生产调度问题的分类 .....	73
4.2.6	生产调度问题优化的主要目标 .....	74
4.2.7	生产调度问题的发展历史与现状 .....	74
4.2.8	优化生产调度问题的技术方法 .....	75
4.3	泛学粒子群算法 .....	78
4.3.1	传统 PSO 算法模型 .....	78
4.3.2	泛学 PSO 算法描述 .....	78
4.3.3	cIcGbG~PSO 算法 .....	79
4.3.4	cIcGbI~PSO 算法 .....	81
4.3.5	cIcGbIbG 型 PSO 算法 .....	83
4.3.6	cIcGcL~PSO 算法及其扩展 .....	86
4.3.7	cIcGbIbGcLbL 型 PSO 算法 .....	87
4.3.8	其他学习型 PSO 算法 .....	93
4.3.9	泛学 PSO 算法编码 .....	93
4.3.10	cIcL-cG 型 PSO 算法伪代码 .....	95
4.4	泛学粒子群算法优化装备制造的生产计划与调度问题 .....	96
4.4.1	cIcL-cG 型 PSO 算法优化 FSSP 仿真 .....	96
4.4.2	cIcL-cG 型 PSO 算法优化 JSSP 仿真 .....	99
4.5	新型学习算法优化离散生产调度问题 .....	103
4.5.1	新型学习算法自然数编码 .....	103
4.5.2	新型学习算法优化 FSSP 的学习策略 .....	103
4.5.3	新型学习算法优化 JSSP 的学习方式 .....	106
4.5.4	新型学习算法优化生产计划与调度仿真 .....	109
4.6	小结 .....	113
<b>第 5 章</b>	<b>装备制造企业生产运作体系构建与优化 .....</b>	<b>114</b>
5.1	引言 .....	114
5.2	信息化制造基础搭建 .....	114
5.2.1	机构重组与职能明确 .....	114
5.2.2	流程优化与再造 .....	115
5.2.3	数据的完备性与一致性 .....	116
5.2.4	制造业的产品 WBS 制定 .....	117
5.2.5	制造业 WP/WO 分解 .....	118

5.2.6	制造业 xBOM 的制定 .....	123
5.2.7	标准化的编码体系建立 .....	124
5.2.8	最优制造工法工艺设计 .....	127
5.3	先进制造管理体系构建 .....	128
5.3.1	制定合理的建造计划 .....	128
5.3.2	均衡制造能力负荷 .....	128
5.3.3	托盘管理 .....	130
5.3.4	流通过程的全面实时监控 .....	131
5.3.5	全面成本管理 .....	131
5.3.6	绩效管理科学细化与量化 .....	132
5.3.7	数字化环境下的精益精度制造 .....	135
5.4	小结 .....	136
<b>第 6 章</b>	<b>数字化制造架构设计 .....</b>	<b>137</b>
6.1	引言 .....	137
6.2	装备制造企业信息化建模 .....	137
6.3	装备制造企业 OA 平台 .....	139
6.4	数字化制造管控系统模块功能设计 .....	140
6.4.1	数字设计与管理 .....	140
6.4.2	生产管理 .....	146
6.4.3	TQC 管理 .....	149
6.4.4	财务管理 .....	150
6.4.5	人资管理 .....	151
6.4.6	营销管理 .....	152
6.4.7	采购管理 .....	154
6.4.8	物资物流管理 .....	154
6.4.9	工程/项目管理 .....	155
6.4.10	综保管理 .....	156
6.4.11	基础数据与标准化管理 .....	156
6.4.12	商务智能 .....	157
6.4.13	系统安全维护管理 .....	158
6.5	小结 .....	158
<b>第 7 章</b>	<b>制造业生产制造执行系统(MES)实施研究 .....</b>	<b>159</b>
7.1	引言 .....	159
7.2	制造执行系统发展概述 .....	159
7.2.1	MES 的发展历程 .....	159
7.2.2	MES 发展趋势 .....	161

---

7.3 我国制造业 MES 的应用状况分析 .....	162
7.4 学习算法嵌入 MES 优化任务排产 .....	163
7.4.1 “cIcG 型”学习算法分析 .....	163
7.4.2 学习算法嵌入 MES 优化排程 .....	163
7.5 制造业 MES 的总体构建 .....	165
7.5.1 制造业 MES 总体架构设计 .....	165
7.5.2 制造业生产执行主要流程分析 .....	166
7.5.3 机加工中心工作任务领取 .....	168
7.6 制造业 MES 的功能模块设计 .....	168
7.6.1 车间小日程计划管理 .....	168
7.6.2 排产规则/算法管理 .....	169
7.6.3 设备/工装夹具管理 .....	170
7.6.4 起运支持 .....	172
7.6.5 辅材物料管理 .....	172
7.6.6 劳动力管理 .....	173
7.6.7 人工可干预的自动派工 .....	174
7.6.8 数据采集/实绩管理 .....	174
7.6.9 生产成本管理 .....	175
7.6.10 生产绩效管理 .....	176
7.6.11 生产数据管理 .....	177
7.7 小结 .....	177
参考文献 .....	178