

现代集成制造系统(CIMS)系列

现代集成制造系统导论 ——概念、方法、技术和应用

吴 澄 主编

清华大学出版社

施普林格出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

现代集成制造系统(CIMS)是信息时代提高企业竞争力的综合性高技术,是涉及先进制造技术、先进信息技术和现代企业管理技术的多学科综合技术。本书从理论、方法、技术以及应用的角度,对现代集成制造系统所涉及的复杂问题解决框架、企业建模、业务过程重组、过程优化与仿真、系统集成与集成平台、ERP 与供应链管理、敏捷制造、并行工程、虚拟制造和绿色制造等进行了全面的介绍。

本书为从事现代集成制造系统研究和应用人员全面了解现代集成制造系统理论和方法提供了详细的科研资料,是研究人员开展深入研究的基础。本书也可以作为企业实施信息化和先进制造战略的参考资料,还可以作为企业管理、计算机、自动化、机械制造等专业的研究生学习现代集成制造系统理论与方法的教材。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: 现代集成制造系统导论——概念、方法、技术和应用

作 者: 吴 澄 主编

出 版 者: 清华大学出版社 施普林格出版社

北京清华大学学研大厦,邮编 100084

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 37.5 字数: 690 千字

版 次: 2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05169-0 TP · 3030

印 数: 0001 ~ 2500

定 价: 86.00 元

现代集成制造系统(CIMS)系列

丛书编委会

主 任：吴 澄

编 委：	李伯虎	肖田元	熊光楞
	刘 飞	薛劲松	曾庆宏
	孙家广	柳百成	范玉顺

责任编辑：王一玲

序

振兴我国制造业是当今的热点问题。目前,我国制造业面临严峻的形势,总体水平与发达国家相比,有较大的差距,这已成为制约我国 21 世纪经济发展的关键。同时,国际化市场竞争越来越激烈,使我国相当多的制造企业遇到了前所未有的挑战。为了摆脱这一困难,运用现代信息技术改造和提升制造业,将信息化和工业化结合,进一步过渡到现代化,在较短时间内实现跨越式发展,是符合我国制造业国情的一条发展之路。

当今世界已进入信息时代,并迈向知识经济时代。以信息技术为主导的高技术为制造业的发展提供了极大的支持,并推动着制造业的变革与发展,计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems,简称 CIMS)技术的应用及其产业化是其中最重要的组成部分。

CIMS 这一概念由美国的 Joseph Harrington 博士于 1973 年首次提出,而开始得到重视并大规模实施则是在十年之后。其背景是美国 20 世纪 70 年代的产业政策发生偏差,过分夸大了第三产业的作用,而将制造业,特别是传统产业,贬低为“夕阳工业”、“生了锈的皮带”。这导致美国制造业优势的衰退,并在 80 年代初开始的世界性石油危机中暴露无遗。此时,美国才开始重视制造业,并决心用其信息技术的优势夺回制造业的霸主地位,认为“CIMS, no longer a choice !”

863/ CIMS 主题结合国际上先进制造技术的发展,特别是基于该主题中 3 000 多名人员十余年的实践,提出了“现代集成制造系统”(contemporary integrated manufacturing systems,简称 CIMS)的理念,在广度和深度上拓展了传统 CIM 的内涵。

我国“现代集成制造系统”拓展了传统“计算机集成制造系统”的要点,细化了现代市场竞争的内容;提出了 CIMS 的现代化特征是数字化、网络化、虚拟化、集成化和绿色化;强调了系统的观点,扩展了系统集成优化的内容,包括信息集成、过程集成和企业间集成优化,企业活动中三要素(人、经营、技术)和三流(物流、信息流、资金流)的集成优化,以及 CIMS 相关技术和各类人员的集成优化;突出了管理与技术的结合,以及人在系统中的重要作用;指出了 CIMS 技术是基于制造技术、信息技术、管理技术、自动化技术、系统工程技术的一门发展中的综合性技术,其中,特别突出了信息技术的关键作用;扩展了 CIMS 的应用范围,包括离散型制造业、流程及混合型制造业。总之,“现代集成制造系统”的提法更具广义性、开放性和持久性。

现代集成制造系统是信息时代提高企业竞争力的综合性高技术。它应用于企业产品全生命周期(从市场需求分析到最终报废处理)的各个阶段。通过信息集成、过程优化及资源优化,实现物流、信息流、资金流的集成和优化运行,达到人(组织、管理)、经营和技术三要素的集成,以缩短企业新产品(P)开发的时间(T)、提高产品质量(Q)、降低成本(C)、改善服务(S)、有益于环保(E),从而提高企业的市场应变能力和竞争能力。

我国发展 CIMS,是为了提高企业的竞争力。在技术路线上,从国情出发,我们走了一条与美国有较大差别的创新发展之路。20 世纪 80 年代中期,以通用汽车(GM)为代表的美国制造业,把 CIMS 的重点放在车间层设备的信息集成上,以实现制造设备的互联和柔性自动化为目标,提出了耗资几十亿美元的 MAP 计划。而从我国的企业实际情况看,企业经营生产中的瓶颈是产品开发能力,特别是新产品的开发能力弱,管理粗放。因此,我国研究、应用和实施 CIMS 的重点放在加强产品的设计和企业管理上,车间层只能是适度自动化。因此,在此基础上实现信息集成应采用 TCP/IP,通过软件技术实现与 MAP 的集成。实践证明,这些技术决策避免了走大量投资而效果不大的弯路,并取得了很好的效果。

十多年来,我们以提高我国企业的竞争能力和创新能力作为技术发展的宗旨,以“企业真正取得效益、企业说好才是真好”作为技术成败的主要评价标准,走出了一条与我国企业紧密结合的道路。通过与机械、电子、航空、航天、轻工、纺织、石油、化工、冶金等行业的二百多家企业密切合作,取得了显著的经济效益和社会效益。这也为 CIMS 本身的技术创新提供了源泉,两者互相促进不断深化。我国 CIMS 研究的深度和广度、应用效果及其对国家的影响,在国际上是公认的。我国对 CIMS 技术内涵的丰富和发展,也得到国际同行的承认。清华大学、华中理工大学分别于 1994 年和 1999 年获得美国制造工程师学会(Society of Manufacturing Engineers,简称 SME)的 CIMS“大学领先奖”(一般每年在世界范

国内只评选一名),1995年北京第一机床厂获SME的CIMS“工业领先奖”。这使得我国成为除美国以外惟一获得过两个“大学领先奖”和一个“工业领先奖”的国家。我国在这一国际重要技术领域有了一席之地。

进入90年代以来,如何以最短的时间开发出高质量及价格能被用户接受的新产品已成为市场竞争的新焦点。基于企业动态联盟和网络化的敏捷制造(Agile Manufacturing)将成为21世纪的重要发展方向;网络的协同产品商务(CPC)将成为研究应用的一个具体热点;围绕提高新产品开发能力,新的工具软件迅速发展,建立在建模、仿真、虚拟现实技术基础上,以减少或取消制造原型机或原型系统的虚拟制造(Virtual Manufacturing)发展很快;用来加速新产品开发过程的并行工程(Concurrent Engineering)迅速得到推广;提高生产过程控制水平已成为企业投入少、见效快、挖潜增效的重要途径;面向中小企业的、经济实用的低成本综合自动化系统得到重视和发展;更多企业将采用大批量定制(Mass Customization Production)生产模式;合理开发利用资源,保护生态环境,实现经济-社会相互协调的可持续发展越来越受到重视;制造全球化已成为发展的必然趋势,因此,未来制造业信息化的发展趋势将是数字化、集成化、绿色化、智能化、敏捷化与网络化的融合,各种新的管理模式和管理思想不断出现,将导致全球化敏捷生产体系的形成。

在世纪之交,我们回顾过去,展望未来,组织编写现代集成制造系统(CIMS)系列丛书,其目的是,总结我们十多年来在国家高技术研究发展计划(863计划)的支持下,用高技术改造传统产业,并加强新兴产业的丰富成果和认识;同时不断拓展CIMS理念和内涵,使CIMS技术持续发展。该丛书的题材都是作者多年来在现代集成制造技术领域中的最新研究成果,代表了我国在该领域的前沿方向。我们相信该丛书的出版必将在我国CIMS的研究、应用和发展中起到积极的推动作用。

实现我国制造业的信息化、现代化是一个很长的历史过程,需要几代人的努力。但是我们坚信:中国必将以一个制造强国、工业强国的面貌屹立于世界民族之林。



中国工程院院士

国家高技术计划自动化领域首席科学家

2000年5月

前言

从 1986 年起,清华大学自动化系、计算机系、精仪系等许多老师参与了国家高技术研究发展计划(863 计划)的工作,特别是 CIMS(当时称“计算机集成制造系统”)主题的 4 个层次的研究和应用,即应用基础研究、关键技术攻关、目标产品开发以及企业应用示范,积累了多方面的技术和经验。本书是清华大学国家 CIMS 工程技术研究中心的老们集体完成的。大家知道,CIMS 是涉及到许多学科的一门综合性高技术,没有一个人能有这么多精力去亲身深入参与这么多方面的研究和应用。集体合著可能是一个较好的选择。本书是作者们结合自己在这一领域中长期的科研实践写成的,尽管写作风格可能有差异,但衡量得失,我们还是选择了集体合著的方式。

所谓现代集成制造系统,是指“将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合,按系统技术的理论和方法,应用于产品全生命周期(从市场需求分析到最终报废处理)的各个阶段,通过信息集成、过程优化及资源优化,实现物流、信息流、价值流的集成和优化运行,达到人(包括组织、管理)、经营和技术三要素的集成,以加强企业新产品开发的 T(时间)、Q(质量)、C(成本)、S(服务)、E(环保),从而提高企业的市场应变能力和竞争能力”。

要从读这本书后有较多的收获,理解上面这段话是很重要的。

现代集成制造系统,不是各种技术的简单堆砌。它有一条主线,即系统。我们把现代集成制造系统看成是解决企业竞争力这一复杂问题的一种“解”。如果这样去看这本书,你会把书中各部分的内容看成是这个“解”的相关的组成部分,它们之间的联系、关系你也会清楚了。现代集成制造系统包含了大量

的信息技术的最新成果,如支持信息集成的各种技术、支持并行设计、网络化异地设计制造、虚拟制造、电子商务等,也包含了大量先进的管理思想和技术,如企业经营过程重构(BPR)、ERP、敏捷供需链管理、敏捷制造等,还包含了系统科学和系统工程的方法,如企业建模、系统分析、系统优化等,由于上面提到的这一综合性技术是应用于产品全生命周期,所以绿色制造当然应该成为本书中重要的一部分。

我们在书中指出,提高企业的竞争力是一个涉及多方面的复杂问题,其中经营管理理念、方法论、实现技术、优化理论和方法都是重要的,本书有关章节都可以从这四个层面去找到归宿。当然,本书在介绍各种具体的先进管理经营理念和方法这一方面还嫌不足,作者们还没有时间和精力去深入分析和归纳我国已有的一些先进的经营、管理理念,从而进行一些案例分析,并建立信息系统以实现现代化的管理。实际上我们已有这方面的例子了,但还来不及归纳提高。

如果读者能站在系统的角度去读这本书,你便会加深对当前的各种技术和未来各种可能的技术的理解,便会包容和主动应用各种新的理念、理论、技术和方法。

本书对我国当前的企业信息化是有参考价值的。企业信息化,特别是制造业信息化,是指将信息技术应用于企业产品设计、制造、管理和营销的全过程,以提高企业的市场竞争能力。有一种不够全面的理解,似乎企业信息化便是ERP、电子商务。看了本书,便不会有这种片面的认识了。的确,我们的企业管理粗放,资源利用离优化甚远,ERP、电子商务等都是有用的、重要的。但从提高企业竞争力而言,它们都只是一个方面。没有一个企业是不讲产品的,没有产品便没有企业。而今天,新产品开发能力弱,是制约我国企业竞争力的另一重要因素(管理也是一个重要因素),它们是我国多数企业的瓶颈。因此,在企业信息化过程中,CAD/CAM、PDM、并行工程、虚拟制造、信息集成等支持新产品开发的技术,在企业信息化过程中同样是十分重要的。

企业信息化不是某种固定不变的模式。系统方法论,特别是解决复杂系统问题的方法和技术,就是提供方法和技术,从企业诊断、需求分析、约束分析开始,然后可以选择已有的先进管理理念,也可以用从自身企业情况出发的创新的经营管理理念,通过方法论的桥梁作用,建立各种模型,至此,便可以选择各种实现技术,包括支持加强T、Q、C、S、E的有关信息技术和制造技术,考虑支持创新的管理、经营的信息系统与原有信息系统的集成,构成集成的信息支持系统,然后优化系统。这便构成了一个符合不同企业需要的特定的现代集成制造系统。因此“按系统技术的理论和方法”应该成为将各种管理、实现技

术串起来的一条主线。

我们希望本书在促进学科和技术的交叉与渗透,促进我国企业信息化,“以信息化带动工业化”的过程中起到一定的作用。

作 者

2001 年 11 月于清华园

目 录

第 1 章	计算机集成制造系统和现代集成制造系统	1
1.1	概述	1
1.2	计算机集成制造系统内涵的变化	2
1.3	计算机集成制造系统的技术构成	4
1.4	从系统理论看现代集成制造系统	5
1.4.1	系统的复杂性	6
1.4.2	复杂问题求解的基本框架	6
1.5	我国 CIMS 的特点	9
1.5.1	“系统论”方法	9
1.5.2	管理在 CIMS 中的关键性作用	11
1.5.3	信息技术的引入	12
1.6	现代集成制造系统实现技术内涵的发展	12
1.6.1	信息集成	13
1.6.2	过程集成	15
1.6.3	企业集成	17
1.7	现代集成制造系统的组成	19
1.8	CIMS 的未来	20
1.9	CIMS 与社会热点的关系	21
1.9.1	CIMS 与企业信息化	21
1.9.2	知识经济和 CIMS	22

1 9 3	CIMS 与企业技术创新	23
1 9 4	CIMS 与现代化企业管理	25
1 9 5	CIMS 与企业适应多变的市场环境	25
参考文献		26
 第 2 章 企业建模		30
2.1	目的和定义	30
2.2	CIM 系统体系结构——企业模型的全貌	31
2.3	功能模型建模方法	36
2.3.1	IDEF0 方法简介	37
2.3.2	其他功能模型的建模方法	41
2.4	信息模型建模方法	41
2.4.1	IDEF1X 方法简介	41
2.4.2	面向对象建模的 IDEF4 方法	43
2.5	决策模型建模方法	46
2.5.1	GRAI 格	46
2.5.2	GRAI 网	47
2.5.3	结构化进程	49
2.6	其他模型建模方法	51
2.7	企业建模与企业集成的关系	55
参考文献		57
 第 3 章 经营过程重构的概念、方法和技术		58
3.1	什么是经营过程重构	58
3.1.1	由来和定义	60
3.1.2	过程重构的基本原则	61
3.1.3	过程重构和连续改善	63
3.1.4	实施过程重构的框架和方法	64
3.2	建模分析方法	70
3.2.1	过程重构的生命周期方法论	70
3.2.2	IDEF3 过程描述获取方法	79
3.2.3	角色活动图法描述组织活动	87
3.2.4	ARIS 建模方法在经营过程重构中的应用	89
3.3	应用举例	95
3.3.1	国外实例	95

3 3 2 国内实例	98
3 4 小结和建议	112
参考文献.....	112
第 4 章 经营过程建模与仿真优化方法	114
4 1 概述	114
4 2 过程建模的概念与方法	115
4 2 1 过程建模的基本概念.....	115
4 2 2 CPM 与 PERT 方法	117
4 2 3 Petri 网方法	122
4 2 4 事件驱动的过程链模型.....	125
4 3 workflow 建模方法	128
4 3 1 workflow 的基本概念与定义.....	128
4 3 2 workflow 建模方法概述.....	131
4 3 3 基于活动网络的过程模型	
——FlowMark workflow 模型	133
4 3 4 基于语言行为理论的 workflow 模型	
——ActionWorkflow	137
4 3 5 基于 Petri 网的 workflow 模型——WF-net	141
4 4 CIMFlow workflow 建模方法	147
4 4 1 CIMFlow workflow 模型的组成	147
4 4 2 CIMFlow 过程模型定义	149
4 4 3 CIMFlow 的组织模型	158
4 4 4 CIMFlow 的资源模型	161
4 5 企业经营过程的 workflow 建模	162
4 5 1 企业 workflow 模型的组成.....	162
4 5 2 建立 workflow 模型的步骤.....	164
4 5 3 建立企业 workflow 模型的实例.....	170
4 6 企业 workflow 模型的分析 and 优化	173
4 6 1 workflow 模型仿真的应用范围.....	174
4 6 2 workflow 模型仿真的步骤.....	175
4 6 3 workflow 模型仿真分析实例.....	184
4 7 基于 workflow 管理的经营过程重构实施方法	193
参考文献.....	195

第 5 章	ERP 及敏捷供需链管理	197
5.1	ERP 及敏捷供需链在 CIMS 中的地位与作用	197
5.2	企业资源计划(ERP)	201
5.2.1	物料需求计划(MRP)	201
5.2.2	制造资源计划(MRP)	207
5.2.3	ERP 与 MRP 的区别与联系	216
5.2.4	ERP 的功能特点	217
5.3	敏捷供需链管理	218
5.3.1	敏捷供需链	218
5.3.2	供需协作模式	222
5.3.3	敏捷供需链系统的计划、协调、调度与控制方式	226
5.3.4	敏捷供需链管理系统结构与功能	228
	参考文献	231
第 6 章	基于数据库和 PDM 的信息集成	232
6.1	现代集成制造系统对信息集成的需求	233
6.2	数据库技术	235
6.2.1	数据模型	235
6.2.2	数据库系统体系结构	248
6.2.3	数据库设计方法	253
6.3	PDM 技术	258
6.3.1	PDM 的体系结构	259
6.3.2	PDM 的功能	260
6.3.3	CAD, PDM, ERP 的集成系统	264
6.4	数据仓库技术	268
6.4.1	什么是数据仓库	268
6.4.2	OLAP 的多维数据	272
6.4.3	数据仓库的决策支持平台	274
第 7 章	CIMS 应用集成平台技术	281
7.1	CIMS 应用集成平台的基本概念	281
7.1.1	CIMS 应用集成平台的应用需求及存在问题	281
7.1.2	CIMS 应用集成平台的定义和基本功能	283
7.2	集成平台的技术研究及产品情况	284
7.2.1	几种国外集成平台产品介绍	285

7 2 2	国外几种集成平台产品的比较.....	293
7 3	CIMS 应用集成平台的发展趋势	294
7 4	制造业 CIMS 应用集成平台的体系结构与功能	296
7 4 1	CIMS 应用集成平台总体结构	296
7 4 2	通信系统和全局信息系统.....	298
7 4 3	运控代理体系与模型.....	307
7 4 4	MIS 应用集成系统	310
7 4 5	CAx 信息管理与集成系统	313
7 4 6	车间管理和控制集成开发系统.....	315
7 4 7	企业信息集成的 Internet 原型系统.....	319
7 5	开发环境与集成应用软件视图	321
7 6	基于 CIMS 应用集成平台的企业原型系统	322
7 7	基于柔性软件系统概念的应用集成平台体系	325
7 7 1	柔性软件系统.....	326
7 7 2	新一代 CIMS 应用集成平台系统体系结构研究.....	328
	参考文献.....	331
第 8 章	并行工程	333
8 1	前言	333
8 1 1	并行工程产生的背景.....	333
8 1 2	并行工程的定义及特点.....	338
8 1 3	并行工程的研究与应用状况.....	342
8 2	面向并行工程的产品开发过程管理	345
8 2 1	产品开发过程特点分析.....	345
8 2 2	产品开发过程建模.....	346
8 3	并行工程的组织模式——集成产品开发团队	351
8 3 1	IPT 的概念及其在并行工程中的作用	351
8 3 2	传统企业人员组织与管理中存在的问题.....	352
8 3 3	集成产品开发团队的协作要素.....	352
8 3 4	IPT 的组建原则	357
8 3 5	IPT 的管理和决策模式.....	358
8 4	并行工程使能技术及其工具	360
8 4 1	基于特征的计算机辅助设计(CAD)系统	360
8 4 2	面向装配的设计(DFA)系统	365
8 4 3	面向制造的设计(DFM)系统	369

8.4.4	集成化制造工艺设计(CAPP)系统	374
8.4.5	计算机辅助工装设计(CAFD)系统	378
8.5	基于 PDM 系统的并行产品开发实施框架	380
8.5.1	PDM 的概念及其功能特点	380
8.5.2	并行设计支持环境的系统总体方案	381
8.5.3	数据管理模式的设计	383
8.5.4	基于 PDM 的应用集成	386
8.6	并行工程实施方法	389
8.7	并行工程企业实施案例分析	391
8.7.1	波音公司并行工程实施的成功案例	391
8.7.2	并行工程在我国的技术攻关	397
8.8	小结	402
	参考文献	403
第 9 章	虚拟制造	405
9.1	虚拟制造概述	405
9.1.1	虚拟制造概念的产生背景	405
9.1.2	虚拟制造技术研究进展	407
9.2	虚拟制造内涵	410
9.2.1	虚拟制造的定义	410
9.2.2	虚拟制造的特点	412
9.2.3	虚拟制造的优势	413
9.2.4	虚拟制造的分类	414
9.2.5	虚拟制造与其他先进制造概念的关系	415
9.2.6	虚拟制造中的关键技术	417
9.3	虚拟制造建模技术	418
9.3.1	虚拟制造信息模型	418
9.3.2	虚拟制造对模型的要求	420
9.3.3	产品建模	421
9.3.4	过程建模技术	422
9.4	虚拟制造系统	424
9.4.1	虚拟制造系统的功能特点	425
9.4.2	虚拟制造系统的结构特点	428
9.4.3	虚拟制造系统的仿真特点	430
9.5	典型的虚拟制造技术	432

9 5 1	虚拟加工.....	432
9 5 2	虚拟装配.....	445
9 5 3	虚拟车间.....	452
9 6	结束语	462
	参考文献.....	463
第 10 章	敏捷制造与敏捷虚拟企业	465
10 1	概述.....	465
10 1 1	敏捷制造——策略与技术.....	465
10 1 2	敏捷制造的组织形式——敏捷虚拟企业.....	468
10 2	虚拟企业的基本知识.....	469
10 2 1	虚拟企业的定义.....	469
10 2 2	虚拟企业网络与生命周期.....	470
10 2 3	虚拟企业的特征.....	471
10 2 4	虚拟企业的分类.....	472
10 2 5	虚拟企业的重要研究计划.....	473
10 2 6	虚拟企业研究的关键技术.....	477
10 3	虚拟企业的总体体系结构和信息管理系统.....	477
10 3 1	虚拟企业总体体系结构.....	477
10 3 2	虚拟企业信息管理系统.....	477
10 4	虚拟企业的建模问题.....	484
10 4 1	企业能力模型.....	484
10 4 2	经营过程模型.....	487
10 5	虚拟企业的创建与决策.....	493
10 5 1	虚拟企业的创建过程.....	493
10 5 2	虚拟企业伙伴选择系统.....	494
10 6	虚拟企业的运作管理.....	503
10 6 1	虚拟企业的运作图景.....	503
10 6 2	面向经营过程的虚拟企业建模与协同运作.....	506
10 6 3	虚拟企业全能制造控制策略.....	515
	参考文献.....	527
第 11 章	现代制造系统的管理和决策模式	530
11 1	现代制造系统所处的环境.....	530
11 1 1	市场环境.....	530

11 1 2	社会环境.....	532
11 1 3	新产品开发过程中的蝴蝶效应.....	532
11 2	系统的边界与环境:孤立系统、开放系统和封闭系统.....	533
11 2 1	孤立系统.....	533
11 2 2	开放系统.....	534
11 2 3	封闭系统.....	534
11 2 4	四种不同的系统环境及其处理方法.....	535
11 3	现代制造系统的复杂性及其解决方法.....	536
11 3 1	三个层次的世界:宏观、中观与微观.....	536
11 3 2	有限合理性原理指导下的满意解.....	538
11 4	基于规则的混沌管理与决策模式.....	538
11 4 1	现代制造系统的运转模式:与混沌环境同步	538
11 4 2	分形式的层次结构.....	539
11 4 3	自组织式的决策模式.....	539
11 4 4	基于自组织的决策支持系统的体系结构.....	542
	参考文献.....	543
第 12 章	可持续发展的绿色制造	545
12 1	可持续发展简介.....	545
12 2	制造业可持续发展的关键技术——绿色制造.....	546
12 3	绿色制造的基本原理.....	548
12 3 1	绿色制造的概念.....	548
12 3 2	绿色制造的集成特性.....	550
12 3 3	绿色产品及其评价.....	550
12 3 4	相关概念.....	551
12 4	绿色制造的研究现状.....	551
12 4 1	通用理论方法及工具的研究.....	552
12 4 2	具体领域及其应用技术的研究.....	560
12 5	应用实例.....	568
12 6	绿色制造发展趋势.....	571
12 6 1	可能的研究方法.....	571
12 6 2	可能的研究领域.....	572
12 6 3	产业化前景.....	573
12 7	总结.....	574
	参考文献.....	576