

并行工程的 理论与实践

Theory and Practice of
Concurrent Engineering

熊光楞 主编

Xiong Guangleng



TUP

清华大学出版社



Springer

施普林格出版社

现代集成制造系统(CIMS)系列

并行工程的理论与实践

熊光楞 徐文胜 等著
张和明 范文慧

清华大学出版社

施普林格出版社

(京)新登字 158 号

内 容 摘 要

本书系统阐述了并行工程的基本概念及其产生与发展的过程,并在此基础上论述了并行工程的核心思想与关键要素,介绍了并行工程的使能技术与支持工具,最后分析了国内外实施并行工程的成功实例。

本书总结了国内近年来在并行工程研究与应用中取得的成果,是一本系统介绍并行工程的专著,具有概念准确、论述简洁、系统性与实用性强等特点。

本书可作为高等院校有关专业研究生的教材或参考书,也可作为制造企业技术人员及管理人士的参考读物。本书还可作为制造企业进行并行工程应用实施的培训教材。

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。

图书在版编目(CIP)数据

并行工程的理论与实践/熊光楞主编. —北京:清华大学出版社;海德堡:施普林格出版社,2000

(现代集成制造系统 CIMS 系列:3/吴澄主编)

ISBN 7-302-04169-5

I. 并… II. 熊… III. 计算机集成制造-并行控制系统-系统工程
IV. TH166

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000)第 80146 号

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:北京市清华园胶印厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:372 千字

版 次:2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04169-5/TP·2464

印 数:0001~4000

定 价:29.50 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困难。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—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。它将信息技术、现代管理技术和制造技术结合,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。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。用“集成”和“优化”解决企业竞争力这一综合性问题;以信息技术和现代管理技术作为提高企业竞争力的主要手段。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。二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”(一般每年在世界范围内只评选一名), 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发展研究计划(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

随着世界市场的形成与发展,世界范围内的市场竞争变得越来越激烈。竞争有力地推动了社会进步,但也给企业造成了严酷的生存环境。全球性的竞争要求生产者对市场变化作出迅速准确的反应,以最短的时间开发并生产出高质量、低成本的产品,并提供良好的服务。各国制造企业纷纷采用各种新思想、新方法、新技术来改进自己的产品开发模式,力图使企业及其产品具有较强的竞争力和生命力。在 CAD 技术及 CIMS 技术的基础上,在制造业领域里涌现出一批先进制造的技术与概念。这些技术与概念是针对制造行业中存在的问题而提出的,是对制造业技术上和观念上的一种革新。并行工程 (concurrent engineering, 简称 CE) 就是这些先进制造技术中的一种。它是针对企业中存在的传统串行产品开发方式的一种根本性的改进,是一种新的设计哲理与产品开发技术。

并行工程通过组织以产品为核心的跨部门的集成产品开发团队来进行产品开发,通过产品开发过程的重组与改进来实现产品开发流程的合理化与优化,并采用各种并行工程使能技术与工具支持产品开发过程,实现产品的全生命周期数字化定义和信息集成,同时,采用新的质量哲理满足不断变化的用户需求。它能够保证在产品开发过程中作出正确决策,有效减少设计修改,缩短产品开发周期,降低产品的总成本。

自从 1986 年并行工程的系统化的思想被明确提出以来,并行工程在国际上引起了各国的高度重视,各国政府都在加大力度扶持并行工程技术的研究与开发,把它作为抢占国际市场的重要技术手段。国际上许多重要研究机构、计算机公司均对并行工程进行了大量的理论研究及相关支持技术、工具的开

发。经过十多年的发展,并行工程在理论上已获得了较大的丰富与完善,在实践上也已在一大批国际著名企业获得了成功的应用,并取得了显著的经济效益。并行工程的思想正在被越来越多的企业及产品开发人员接受和采纳,并行工程及其相关技术也因而成了 20 世纪 90 年代的热门课题。

1992 年,当并行工程的完整概念被引入我国时就立即引起了国家科委、863/CIMS 主题、各研究机构以及各领域企业的高度重视。1995 年国家科委和 863/CIMS 主题设立了重大关键技术攻关项目“并行工程”,在并行工程的理论研究和应用实施方面取得了许多重大的突破,积累了一定的经验,为在我国企业全面实施并行工程奠定了技术基础,提供了一种可供参考的模式。

当前,我国企业缺乏强大的新产品开发能力的问题尚没有得到解决,企业迫切需要采用有效的产品开发方式来提高企业的新产品开发能力。并行工程就是在当前环境下企业改进与提高自身产品开发能力的有效途径。通过并行工程在我国的研究与实际应用,越来越多的企业意识到了在 CIMS 信息集成的基础上实施并行工程的重要性和可行性。从 1998 年下半年开始,我国航空、航天、铁路机车和摩托车等行业的 8 家企业在中国科技部、863/CIMS 主题专家组的支持下实施了并行工程项目。2000 年后并行工程将会在更大的范围内推广与应用,企业对并行工程理论与技术的需求将显得越来越迫切。

本书正是在这样的一个背景下撰写的。并行工程的理论与实践已经发展了十多年,在我国的研究与应用实施也已取得了不少的成果,这些都需要我们对并行工程在理论上与实践上作出一个总结,以满足我国众多的企业对并行工程理论与技术的需求。本书主要是向我国企业的管理人员及产品开发人员介绍并行工程的基本原理、关键技术与使能工具以及并行工程的应用实施方法与步骤,为企业推广实施并行工程提供技术支持,并通过国内外几个成功的并行工程实例,全面系统地介绍如何在我国的具体环境下实施并行工程项目。

并行工程既涉及到自动化、信息领域的多种支持技术,同时又涉及到企业管理的范畴,它既是多种技术的集成,同时也是技术与管理的集成。因此,并行工程不仅需要引起企业工程技术人员的高度重视,同时也需要企业管理者的大力支持与积极参与。本书在取材上以并行工程的基本原理为主线,重点介绍并行工程的核心思想与关键技术,而对并行工程所涉及到的众多单项技术仅作简要介绍。这样可以使读者在有限时间内较快掌握并行工程所涉及的总体概念、技术与方法,可以指导企业根据各自不同的需求在不同程度上较快进行并行工程的应用实施工作。

本书共分为 9 章。第 1 章为概述,系统地阐述了并行工程的基本概念、并行工程的产生背景及其发展状况以及我国发展并行工程的策略,这是正确地理解和成功地运用并行工程的思想与方法的基础。第 2 章至第 7 章分别讲述

并行工程的几个关键要素,包括并行工程过程改进与重组、集成产品开发团队、数字化产品建模、产品数据管理、并行工程使能技术以及并行工程协同工作与协调管理。这些都是企业实施并行工程的关键支持技术。第8章介绍了并行工程集成框架,这是企业实施并行工程的一个重要技术平台。第9章对国内外几个并行工程案例进行了分析,可为准备实施并行工程的制造企业提供参考。

由上述安排可知,本书的一个特点是它具有通用性与普遍性。它突出了并行工程的关键要素,重点介绍并行工程的核心思想,而并不局限于某个特定的行业(如机械制造行业),这样就对众多的制造企业有指导意义。本书的另一个特点是它具有较强的实用性。本书不仅从理论上阐述了并行工程的原理与方法,而且给出了实施并行工程的技术平台——集成框架,并介绍了几个具体的并行工程实施实例,对企业实施并行工程具有较强的指导作用。

本书可作为高等院校研究生的参考教材,也可作为制造企业技术人员及管理人士的参考读物。本书还可作为制造企业进行并行工程应用实施的培训教材。

本书是在清华大学自动化系熊光楞教授的指导下集体创作的产物。全书的体系结构、各章提纲与主要内容均由熊光楞教授提出,写作小组(成员均为在熊光楞教授指导下参与并行工程研究与实施多年的博士)对各章内容进行讨论,然后由各成员分别执笔撰写。本书第1,8章由徐文胜执笔,第2章由王计斌执笔,钟佩思修订,第3章由王昕执笔,第4,5章由范文慧执笔,第6,9章由张和明执笔,第7章由常天庆执笔。徐文胜博士对全书在文字及编辑方面做了大量工作。

编 者

2000年5月于清华园

目 录

第 1 章 并行工程的产生及发展状况	1
1.1 并行工程的产生	1
1.1.1 并行工程产生的背景	1
1.1.2 全球化市场竞争对并行工程的总体需求	4
1.1.3 传统的串行产品开发方式的缺陷	7
1.1.4 并行工程的定义及特点	8
1.1.5 并行工程的四个关键要素	10
1.1.6 并行工程五级演进模式	14
1.2 并行工程关键技术概述	18
1.2.1 并行工程过程重构技术	18
1.2.2 并行工程的组织结构	19
1.2.3 DFA/DFM	20
1.2.4 PDM	21
1.2.5 并行工程协调管理	23
1.2.6 协同工作环境	23
1.3 并行工程的研究与应用状况	24
1.4 并行工程与 CIMS、虚拟制造的关系	27
1.5 小结	28
参考文献	29

第2章 产品开发过程改进与重组	30
2.1 基本概念	31
2.1.1 产品开发过程	31
2.1.2 产品开发过程工程	32
2.1.3 过程改进与过程重组	32
2.1.4 其他术语	33
2.2 为什么引入过程工程,为什么进行过程改进和重组	34
2.3 产品开发过程工程基础	36
2.3.1 过程重组需求分析	39
2.3.2 过程体系结构设计	39
2.3.3 过程详细设计	39
2.3.4 过程项目试点	40
2.3.5 组织过程定义	40
2.3.6 过程培训与推广	40
2.3.7 过程的实施与监控	40
2.3.8 过程度量与评估	41
2.4 产品开发过程建模	41
2.4.1 产品开发过程建模目标与需求	42
2.4.2 产品开发过程的集成多视图建模	43
2.4.3 过程的层次与过程建模的关系	44
2.4.4 过程分解方法	46
2.4.5 过程模型内容及描述方法	47
2.5 产品开发过程的规划和管理	56
2.5.1 甘特图	56
2.5.2 PERT 技术和 CPM 方法	56
2.6 小结	58
参考文献	59
 第3章 并行工程的组织模式——集成产品开发团队	60
3.1 产品开发模式的演变	61
3.2 集成产品开发团队的概念	63
3.2.1 团队与群体	63
3.2.2 团队的类型	63
3.2.3 集成产品开发团队	64

3.3 集成产品开发团队的组成	64
3.3.1 团队的规模	64
3.3.2 成员的能力及学科构成	65
3.3.3 团队的角色设计	66
3.4 集成产品开发团队的管理和决策	68
3.4.1 计划和控制	68
3.4.2 领导和激励	70
3.4.3 建立相互信任	72
3.4.4 沟通和协调	73
3.4.5 决策模式和方法	76
3.5 集成产品开发团队的信息技术支持	79
3.5.1 项目管理系统	79
3.5.2 workflow 管理系统	79
3.5.3 群体决策支持系统	80
3.6 小结	81
参考文献	81

第4章 数字化产品建模	82
4.1 数字化产品建模的分类及其特点	82
4.1.1 产品几何建模	83
4.1.2 产品特征建模	87
4.1.3 产品智能建模	89
4.1.4 产品装配建模	90
4.1.5 产品集成建模	95
4.2 支持并行工程的产品信息集成建模	96
4.2.1 基于特征的产品信息集成建模分类	97
4.2.2 支持并行工程的产品信息集成建模框架	101
4.2.3 支持并行工程的产品信息集成模型的设计与实现	103
4.3 面向并行工程的产品装配建模系统	105
4.3.1 装配建模系统软件组织结构	106
4.3.2 装配建模系统的界面环境	107
4.3.3 装配建模系统的模块设计	108
4.4 小结	114
参考文献	114

第 5 章 产品数据管理	116
5.1 PDM 的概念及其技术特点	116
5.1.1 PDM 的基本概念	117
5.1.2 PDM 与企业信息集成	118
5.1.3 PDM 的应用领域	122
5.1.4 PDM 与企业人	122
5.1.5 PDM 与企业数据	122
5.1.6 PDM 的应用层次	123
5.1.7 PDM 的基本功能	123
5.1.8 PDM 软件选型	126
5.1.9 PDM 的实施方法	126
5.2 PDM 软件及其应用情况	129
5.2.1 PDM 产品概述	129
5.2.2 国内外 PDM 产品特点比较	136
5.2.3 PDM 在国内的应用	136
5.2.4 PDM 实施的主要问题	138
5.3 基于 PDM 系统的并行设计支持环境	140
5.3.1 基于 PDM 系统的功能扩展	140
5.3.2 应用工具封装和集成	143
5.3.3 制造资源与工艺信息管理	143
5.3.4 PDM 技术的应用实施	144
5.4 小结	148
参考文献	148
 第 6 章 并行工程使能技术及其工具	 149
6.1 并行工程使能工具概述	149
6.2 基于 STEP 的 CAD/CAPP/CAM 集成技术	151
6.2.1 STEP 与 CAD/CAPP/CAM 系统的集成	151
6.2.2 STEP 方法学	152
6.2.3 基于特征造型的 CAD 工具	155
6.2.4 基于 STEP 的信息集成方法与技术	168
6.3 集成化制造工艺与加工过程设计(CAPP/CAM)	175
6.4 计算机辅助工装设计(CAFD)	182
6.5 数控加工仿真(MPS)	183

6.6	面向成本的设计(DFC)	186
6.7	面向装配的设计(DFA)	190
6.8	面向制造的设计(DFM)	195
6.9	小结	203
	参考文献	203
第7章	并行工程协同工作	205
7.1	并行工程协同工作环境	205
7.1.1	并行工程协同工作环境一般组成和功能	206
7.1.2	并行工程协同工作环境中的关键技术	207
7.2	计算机支持的协同工作	210
7.2.1	CSCW 的概念	210
7.2.2	CSCW 的主要研究内容	210
7.2.3	CSCW 的应用	212
7.3	并行工程产品开发过程的协调管理	213
7.3.1	协调的概念	214
7.3.2	协调的困难	215
7.3.3	协调机制	216
7.3.4	并行工程产品开发过程协调	218
7.3.5	并行工程产品开发过程协调的功能	222
7.3.6	并行工程产品开发过程协调模型	224
7.4	小结	229
	参考文献	229
第8章	并行工程集成框架	231
8.1	并行工程对集成框架技术的应用需求	231
8.1.1	并行工程集成框架的定义	231
8.1.2	并行工程对集成框架的需求	233
8.2	集成框架技术现状与发展趋势	235
8.2.1	集成框架技术现状	235
8.2.2	集成框架的发展趋势	236
8.3	CORBA 技术规范	237
8.3.1	CORBA 规范的产生	237
8.3.2	分布式计算与面向对象技术	238

8.3.3	CORBA 的技术特点	240
8.4	并行工程集成框架实例——CEIF 系统	243
8.4.1	CEIF 系统的体系结构	244
8.4.2	并行工程 PPORF 建模和管理	245
8.4.3	CORBA/ORB 系统——ORBUS	249
8.4.4	应用系统封装集成	250
8.4.5	PDM 封装集成及 CA _x /DF _x 软件封装集成	251
8.4.6	协同工作电子会议系统	251
8.5	小结	252
	参考文献	253
第 9 章	并行工程的实施方法与应用实例	254
9.1	并行工程实施策略	254
9.2	国外成功实施并行工程的案例分析	258
9.2.1	波音 767-X 并行设计工程	258
9.2.2	并行工程在洛克希德新型号导弹开发中的应用	268
9.2.3	国外成功应用并行工程的典型范例	273
9.3	并行工程技术在我国的攻关研究	276
9.3.1	863 重大攻关项目“并行工程”的关键技术及其成果	276
9.3.2	齐齐哈尔车辆厂铁路货车开发并行工程	298
9.3.3	并行工程在我国的应用情况	301
9.4	小结	303
	参考文献	304
附录	国内外相关的网址	306

第 1 章

并行工程的产生及发展状况

并行工程(concurrent engineering)是近年来新出现的一种产品开发模式,它受到了国内外众多研究单位与制造企业的重视。并行工程是一种指导新产品开发的朴素的哲理,同时也是一门综合的自动化制造技术。并行工程的哲理和技术不是简单的发明或创造,而是集成了制造业中许多新的技术、模式、思想,经过系统化的抽象发展而成的。手工生产模式的一体化设计与制造、大规模生产模式中的标准化零部件开发、精良生产模式中的综合产品开发团队、面向制造的设计、CIMS 中的信息集成、CAD/CAE/CAPP/CAM 等都对并行工程的产生具有直接的影响。本章概述并行工程的产生及发展状况,对并行工程的关键方法和技术作简要的介绍。

1.1 并行工程的产生

1.1.1 并行工程产生的背景

20 世纪 80 年代以来,自动化、信息、计算机和制造技术相互渗透,发展迅速,新知识应用于生产实际的速度是惊人的。随着航空技术的进步、信息时代的到来,世界大大变小了,这一切大大加速了世界市场的形成与发展;而世界市场的形成与发展又使得在世界范围内的市场竞争变得越来越激烈。竞争有