

专著 西北工业大学
出版基金 ZIZHU XIAOANGU

ZHUANZHU

并行工程的理论与方法

秦现生 等著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

F273.2/244

2008

西北工业大学专著出版基金资助项目

并行工程的理论与方法

秦现生 同淑荣 著
王润孝 顾学民

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是关于并行工程理论与方法的一本专著,主要汇集了作者近年来围绕并行工程的研究成果,同时也介绍了国内外相关热点研究领域的基本原理和主要方法。本书详细介绍了并行工程的产生与发展及其基本概念、核心思想与运行机理;从体系结构、渐开线模型及微观串行宏观并行原理等方面重点论述了并行工程的并行化理论与方法;分析了过程建模方法,并详细阐述了一种基本活动及其实现过程(ProA)的并行工程建模技术;结合应用论述了质量功能展开、集成开发团队、产品数据管理和协同设计,并简要介绍了并行工程使能工具和自动化环境。

本书可作为高等院校有关专业研究生的教材或参考书,也可作为从事并行工程和产品开发管理的研究人员提供参考,同时可作为制造企业工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

并行工程的理论与方法/秦现生等著. —西安:西北工业大学出版社,2008.5

ISBN 978-7-5612-2381-9

I. 并… II. 秦… III. 产品—技术开发—企业管理—研究
IV. F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 070559 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029) 88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西丰源印务有限公司

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:11.375 插页 1

字 数:297 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

定 价:25.00 元

前 言

制造业是一个国家经济的原动力和经济发展的支柱,左右着一个国家经济发展的命脉和人民的生活水平。回溯人类社会及制造业的发展历史不难发现,制造业不仅创造了人类,而且造就并推动了人类文明的蓬勃发展。可以说没有制造业的发展,就没有今天人类的现代物质文明。

制造业的发展遵循着一定的规律。首先,制造业的发展离不开科技进步的支持;其次,制造业的发展必须紧紧围绕人类文明发展的步伐,适应人类社会整体发展的需求,为国民经济建设服务;第三,制造业的发展,离不开制造企业自身的创新与发展。基于这一规律,制造业经过了漫长的历史演变:从远古时期手工作坊式制造模式,经过蒸汽机时代的机械化大生产,再到电气化和自动化,于 20 世纪中末叶伴随信息技术和知识经济的兴起与发展,步入以信息化和知识型制造为重要特征的现代制造业时代,制造业从此走向全球化。面对全球化制造带来的持续多变和日趋激烈的市场竞争,以知识为基础的新产品竞争成为制造业竞争的核心。为了提高市场竞争能力,各国制造企业纷纷采用新思想、新方法和新技术来改进、创新自己的产品开发模式,力图快速响应市场变化,以最短的时间、最优的质量、最低的成本、最佳的服务和最清洁的环境开发出市场所需的新产品并及时投放市场,以便赢得市场和竞争。

并行工程作为一种新的产品开发模式及产品开发组织与管理哲理,它摆脱了传统的基于“泰勒制”串行工作模式——按专业部门划分来组织产品开发工作——的陈旧观念,强调在产品的早期

开发阶段,产品及其相关过程(包括制造过程和支持过程)要进行并行、一体化设计,并通过并行、一体化综合优化设计和过程集成,提升产品的 TQCSE 水平及产品创新设计能力。并行工程的提出,反映了全球化市场经济对制造业产品创新以及对提升新产品 TQCSE 的迫切需求,与人类社会工业生产、经济文化和国防科技高速发展的大趋势相适应,是近代制造业持续发展的必然结果,也是制造业历年来在产品开发领域研究工作的自然结晶。

并行工程概念和思想提出之后,很快引起国际学术组织、研究机构、企业和产品开发人员的高度重视。各国政府都加大力度扶持并行工程技术的开发与研究,并把它作为抢占国际市场的重要技术手段。我国通过 863/CIMS 主题,也开展了并行工程关键技术的攻关,旨在为企业实施并行工程奠定技术基础并提供参考模式。作者及所领导的团队也是自此在 863/CIMS 主题和国家自然科学基金等项目的支持下开始对并行工程的理论与方法开展研究,先后得到“CIMS 双重并行工程环境综合信息集成框架/平台的研究及面向对象实现(9506-005)”“面向产品生命周期的过程集成建模技术(9841-008)”和“面向 CIMS 智能制造质量管理统计过程控制理论(9510-001)”等 863/CIMS 主题项目和多项 863/CIMS 典型应用工厂和推广应用工厂项目的支持,同时还得到国家自然科学基金“支持并行设计的制造质量信息研究(70472066)”和“基于基因工程的设计过程重用(70771091)”等项目的资助。本书的主要内容多源于作者近年来结合这些项目围绕并行工程所进行的研究和应用成果。

全书共分 12 章。第 1 章结合制造业发展的推动力及发展历程,剖析了并行工程的产生背景、发展趋势和应用前景。第 2 章首先讨论了产品、产品形成和产品创新等概念,在此基础上剖析了产品开发过程,并对产品开发管理和产品开发过程模式进行了论述。第 3 章介绍并行工程的基本内涵,结合并行工程的概念,重点论述

了并行工程的核心思想与运行机理,包括并行工程的三域互动推拉体系、并行工程的四个关键要素、五级演进模式、六项基本原则和七项关键技术,并剖析了产品开发过程并行化的核心实现途径。第4章至第6章,从并行工程的体系结构、渐开线模型及微观串行宏观并行原理三个方面重点阐述了并行工程的并行化理论与方法。第7章对过程建模进行了概述,介绍了可用于产品开发管理的一些建模方法,提出了活动及其实现过程(ProA)的概念,并详尽阐述了其基本特性和基于这一概念的并行工程建模方法及技术。第8章至第11章分别讲述了并行工程几项关键技术,包括质量功能展开、集成产品开发团队、产品数据管理、协同设计及并行工程使能工具。第12章对并行工程的自动化环境进行了简要介绍。

本书紧紧围绕并行工程研究主题,力图从基本概念、原理与方法等方面,重点阐述并行工程的核心思想、运行机理和关键要素,在此基础上进一步结合应用深入讨论并行工程的关键技术。本书结构组织上强调内容的先进性和体系结构的系统性;既突出作者围绕并行工程理论和方法所进行的研究和应用成果,也注重并行工程作为一门专业技术其结构体系与内容的全面性;在重点讲述作者研究成果的同时,也谈及国内外同行专家的学术观点。

本书是关于并行工程理论与方法的一本专著,主要汇集了秦现生教授及其所领导的团队近年来围绕并行工程取得的研究成果。本书由秦现生负责编写的组织工作,同淑荣、王润孝、顾学民等参与编写。同淑荣审阅了全书并做了大量重要的修正工作。本书第1章、第3章、第4章、第7章、第9章和第12章由秦现生执笔;第2章、第5章、第6章、第8章由同淑荣执笔;第10章和第11章由顾学民执笔。王润孝、王东勃参与了第9章的编写,李盘靖参与了第12章的编写。武子昉在本书初稿编著时做了大量工作。书中部分内容源于杨小兰、徐亚斌和李民博士及武子昉、于广伟研

士所做的研究。

本书文字叙述力求深入浅出,内容编排循序渐进,可作为高等院校有关专业研究生的教材或参考书,也可作为制造企业工程技术人员培训教材,还可为高等院校、研究机构中从事并行工程和产品开发管理研究的技术人员提供参考。

由于著者水平有限,经验不足,书中难免存在不足甚至错误之处,恳请读者批评指正。

著 者

2008年1月

目 录

第 1 章 并行工程的产生与发展	1
1.1 制造业发展的推动力	1
1.2 制造业的发展历程	10
1.3 并行工程的产生与发展	22
1.4 并行工程的研究与应用	30
第 2 章 现代产品开发过程	34
2.1 产品及产品的开发	34
2.2 产品开发过程	40
2.3 产品开发过程的管理	50
2.4 产品开发过程模式	52
第 3 章 并行工程的基本内涵	55
3.1 并行工程的定义及特点	55
3.2 并行工程的运行机理	58
3.3 并行工程的关键技术	68
3.4 并行工程的并行化途径	72
第 4 章 并行工程的体系结构	77
4.1 并行工程的三域划分	77
4.2 基于三域划分的并行工程体系结构	95

第 5 章 并行工程的渐开线模型	106
5.1 串行化的二维渐开线模型	106
5.2 并行化的二维渐开线模型	109
5.3 改进的二维渐开线模型	116
5.4 多维渐开线模型	123
第 6 章 微观串行宏观并行原理	132
6.1 产品开发活动的串并模式	132
6.2 产品开发活动间的串并特性	133
6.3 微观串行宏观并行原理	138
第 7 章 产品开发过程建模	151
7.1 过程建模概述	151
7.2 过程建模方法	155
7.3 活动及其实现过程(ProA)	189
7.4 基于 ProA 的建模方法——ProAM	205
第 8 章 质量功能展开	226
8.1 QFD 的产生及发展	226
8.2 QFD 的概念与模式	228
8.3 质量屋	238
8.4 QFD 瀑布式分解过程及分解模型	245
8.5 QFD 中用户需求的获取与整理	248
8.6 QFD 在机载天线研制过程中的应用示例	251
第 9 章 集成产品开发团队	272
9.1 企业并行工程文化	272

9.2	产品开发组织及模式	277
9.3	集成团队组织结构	283
9.4	集成团队约束管理	292
第 10 章	产品数据管理	299
10.1	产品数据交换	299
10.2	产品数字化定义	302
10.3	产品数据管理	310
10.4	基于 PDM 的产品开发过程信息集成	313
10.5	产品生命周期知识共享与重用	315
第 11 章	协同设计及设计使能工具	319
11.1	协同设计理论与方法	319
11.2	并行工程使能工具	327
第 12 章	并行工程自动化环境	335
12.1	并行工程自动化环境基本组成	335
12.2	基于 ORB 软总线的并行工程集成框架	341
参考文献	344

第 1 章 并行工程的产生与发展

1.1 制造业发展的推动力

面对制造业的全球化 and 市场竞争日趋激烈,每个制造企业,想要持续地获得理想利润,必须不断实施创新与发展战略,以提高企业的竞争力。

制造业经过漫长的历史演变,从手工作坊到机械化大生产,再到电气化和自动化,目前正步入现代制造业的时代。并行工程(Concurrent Engineering,简称 CE)作为现代制造业先进制造模式与思想的典型代表,标志着制造业继计算机集成制造之后又一新的里程碑。

制造业的不断发展源自以下几方面的推动力。

一、对利润的追求

依照经济学的观点,利润极大化是企业的基本目标,对利润的不懈追求是企业的永恒主题。自古至今,国内外有许多企业因为不能获得足够的利润而破产,甚至有一些行业衰败和消亡;也有许多企业由于能够获得可观的利润而得到发展壮大,并带动一些新兴行业迅速崛起。

影响企业利润的因素包括企业的制造模式、设计制造技术、制造手段、工艺装备、生产经营管理水平以及市场环境等多方面。企业要想获得最大利润,必须综合考虑所有这些因素,整体规划并通过发展,提高企业在这些方面的实力与水平。发展需要人力、物力

和财力的投入,但通过发展,企业综合制造能力和市场竞争力得到增强,制造成本得以下降。企业在制定发展规划时应站在战略的高度,既考虑到企业中长期的发展,又注重现实利益,抓住问题的关键,围绕影响利润的关键环节,规划企业的发展。

企业为获得更大的利润,在规划其发展战略时,应充分重视以下几个方面:

第一,用户对于制造企业的重要意义。用户至上、重视用户呼声是并行工程的重要特点^[1-2],也是现代质量管理的基本原则^[3]。用户是制造企业利润的来源,制造企业要力求满足用户的所有需求。用户需求是在不断地发展变化的,用户需求不仅包括对最终产品质量的要求,而且渗透到对整个产品形成过程的关注。企业要以用户满意为目标,重视用户参与产品形成过程的要求,积极优化和改进企业的制造模式。

第二,产品及其竞争力。产品是利润的载体,利润是企业通过向市场及用户提供产品得以实现的。由产品到利润,需要产品被市场认可。企业及其产品的竞争力,对于产品能否在市场上得到广泛认可具有极其重要的作用。企业必须以产品为对象,围绕如何提高企业及其产品的竞争力,规划企业的发展战略,组织企业的生产经营和管理活动。

第三,过程和过程能力。产品是过程的结果,制造企业存在着大量的过程,产品的形成过程是制造企业的核心过程,其他过程都是为产品形成过程服务的。企业应积极关注产品形成过程,以产品形成过程为对象,实施过程的集成和优化,以提高过程能力,及时地设计并制造出用户需要的产品。

第四,业绩持续改进。衡量企业运作业绩的指标很多,生产率和成本是其中对利润有重要影响的两个指标。提高生产率意味着增加收入,降低成本会使支出减少。无论是提高生产率还是降低成本都会使利润增加,对业绩的改进是持续、无止境的。

二、竞争压力的推动

竞争是市场经济的基本特征,在激烈的市场竞争中,只有具有竞争力的企业才能生存下来并有可能获得进一步的发展。

竞争力具有内在性、综合性、市场性和取向性等基本特征。内在性是指企业的内在实力,是反映企业竞争力的主体,内在实力涉及企业制造模式、管理体系、产品设计技术和制造能力、科技创新能力、财务和基础设施以及所处的外在环境等。综合性强调竞争力是企业内在实力的综合体现,而不是指某单一的内在实力。如何利用市场环境来取得最佳的竞争优势是竞争力市场特性的核心内容。竞争是市场环境下的基于产品的竞争,企业通过质量、价格、交货期、服务等产品特性,将其内在实力在市场上表现出来。企业参与竞争,必须熟悉市场环境和市场规律,充分利用市场将内在实力通过产品展现给用户。取向性是指在制造业不同的历史时期,市场对产品有着不同的价值取向。20世纪60年代强调价廉物美;70年代注重售后服务;80年代强调质量和知识产权;90年代重视国际化标准。当前,可持续发展、绿色制造(Green Manufacturing,简称GM)和产品的创新性等日益受到重视。

竞争在给企业带来挑战的同时,也给企业创造了发展的机遇。获得竞争意味着获得市场和用户,获得利润和发展。企业在规划竞争力发展战略时,要注意以下三个方面。

1. 综合实力的竞争

雄厚的综合实力是企业竞争力和抗风险能力的基本保障。此外,发展潜力是综合实力的关键组成,企业有了发展潜力,就有了可持续发展的保证。资产增值率、设备新度、环保设施投入、资产价值、对外开放的程度等指标都是反映企业发展潜力的重要指标。

2. 科技创新的竞争

科技创新包括产品创新、技术创新、管理创新和工具创新等。

创新的成效最终体现为产品的科技含量。当前,增加产品的科技含量已成为提高企业竞争力的有力武器。在国际贸易中,初级产品由于技术含量低,在国际市场上的销售价格不断走低,竞争力越来越弱^[4]。

成功的创新能够给企业带来丰厚的回报,但创新往往伴随着高的新产品失败率风险,给企业带来巨大的经济损失。据一些学者对某些地区和行业的统计分析,1963年到1981年间,新产品开发的失败率在33%~35%之间;大约20%~25%的产业用品和30%~35%的消费品的开发都是失败的;46%的产品推向市场后失败了^[5]。因此,企业在科技创新时,必须谨慎,实施有效的管理。

创新必须同科技发展相结合,充分吸收相关领域的最新研究成果,以获得最佳创新机遇与效果。制造业的发展历史上,蒸汽机的发明推动了制造模式由手工作坊模式转向机械化大生产方式的创新;电子技术和计算机导致了制造模式转向自动化的创新。当今,信息化技术被认为是推动全球制造业持续发展的强大发动机,将会对制造业科技创新产生重要影响。把制造业与信息技术集成已成为当前提升制造业竞争力的必由之路。

3. 产品和面向用户的竞争

市场竞争是产品的竞争。良好市场特性的产品具有较强的市场竞争力。产品的市场特性是指产品在市场竞争中受到关注的特性,如质量、价格和交货期等。

通过推出新产品来提高市场竞争力是非常重要的。据对一些企业的调查^[5],企业增长的28%来自于新产品;企业收入的35%来自于10年前市场上不存在的产品;企业销售额的25%来自于最近3年推向市场的新产品。因此,企业想要在未来的市场竞争中有所建树,必须重视新产品的开发。

市场竞争也是面向用户的竞争。企业满足用户需求的程度越

高,其竞争力也就越强。许多新产品,尤其是高科技的新产品,其创意的产生一般都出自用户。例如在气相色谱和光谱分析的科学仪器领域,正在进行的重大创新中有 80% 是用户要求的结果^[5]。企业在新产品开发时,要充分重视用户需求及用户对产品开发过程的参与。

三、TQCSE

产品是利润的载体,是竞争的工具,是连接企业与用户的纽带。产品有各种各样的特性,TQCSE 是指产品的开发周期(Time to Market)、质量(Quality)、成本(Cost)、服务(Service)和环境(Environment),是企业最重要的面向用户和市场的特性。

为了提高市场竞争力,企业必须快速响应市场变化,力求以最短的时间、最优的质量、最低的成本、最佳的服务和最清洁的环境,即最理想的 TQCSE,开发出市场所需的产品,以赢得用户和市场,最终赢得竞争和利润。TQCSE 是企业能否在激烈的市场竞争中求得生存并得以发展的关键。企业在实施新产品开发战略时,必须对 TQCSE 予以充分的重视。

1. 缩短产品开发周期

如果产品开发周期比竞争对手短,就可以利用时间上领先的优势占领市场。相反,如果竞争对手抢先将产品投入市场,市场就会被竞争对手占领,再想把用户吸引回来就十分困难。按照市场规律,没有竞争或竞争比较弱时,产品的利润是很可观的。随着竞争的加剧,产品利润会大幅度下降。据分析^[6],产品开发周期每增加 10%,其年收入将损失 25% ~ 30%。有关统计资料表明^[6],若一项新产品从形成创意到商品化的过程是 5 年,如延误半年,年价格的下滑比率达 30% ~ 50%,甚至高达 70%,从而导致产品整体利润减少 50%。由此可见,缩短产品开发周期,不仅意味着赢得用户和市场,而且意味着赢得丰厚利润。美国在 20 世纪 90 年代总结 70 年

代至 80 年代制造业衰退引起国家经济滑坡的教训时明确指出^[7]：“美国是不乏新思想和革新的大国，但经常被对手首先把高质量的新产品推上市场而击败”。

缩短产品开发周期，需要企业捕获更多的市场商机，企业若能够应市场所需，抢在竞争对手前面将市场急需的产品推向市场，意味着企业对市场所给予良好商机的捕获。

随着产品个性化和多样化的潮流^[8]，多品种、小批量（或单件）生产将取代传统的大批量生产模式。伴随着这种变化，产品更新频率大幅提高，产品的市场寿命不断减少，致使产品开发周期大于其市场寿命^[9-10]。例如，IBM 公司 1980 年平均产品开发周期为 1～2 年，当时的产品平均寿命为 7 年多；1996 年平均产品开发周期上升为 4～5 年，而产品平均寿命下降为 2 年^[1]。据统计，我国机械制造业“八五”期间开发成功的新产品，平均开发周期为 18 个月；而美国 1990 年已实现了产品试制周期 3 个月、设计周期 3 周。产品开发周期长、交货慢已成为我国机械产品在国内外市场竞争中屡屡失利的首要原因^[11]。面对这种形势，提高企业的产品开发能力、加快新产品开发步伐、缩短产品开发周期、实施快速反应制造（Rapid Response Manufacturing，简称 RRM）和快速供应（Quick Response，简称 QR）尤为重要。

缩短产品开发周期，还有利于提高新产品开发的市场成功率。如果一个产品的开发周期过长，很难保证产品开发出来之后仍是市场急需的产品，可能其他竞争对手已抢先开发出同类或更先进的产品，或者由于技术的飞速发展使得该产品在技术上过时而被淘汰。此外，产品开发周期过长，将给市场预测带来困难，导致预测不准确，降低新产品开发市场成功率。

缩短产品开发周期是一项涉及管理理念、制造模式、产品设计制造技术以及科技创新等的系统工程。将传统的串行化的产品开发过程并行化、采用先进的产品制造技术、采用先进的设计制造方

法与装备、消除产品开发过程中的冗余、通过用户早期介入防止重新设计、知识再利用、建立集成产品开发团队等,都是缩短产品开发周期的有效措施。

2. 提高产品质量

随着全球市场的多元化,质量的竞争已成为市场竞争的重要因素之一。不断改进产品质量已经成为一个受到普遍关注的突出问题。不论是发达国家还是发展中国家,都深刻地感受到提高质量的紧迫感。企业都在努力寻找提高质量的有效途径和方法,力图使自己的产品达到世界一流的质量。

随着科学技术的迅速发展,对产品质量的要求越来越高。近一二十年来,电子产品的不合格率已由过去的百分之一(10^{-2})、千分之一(10^{-3}),降低到百万分率(parts per million, ppm, 10^{-6}),乃至十亿分率(parts per billion, ppb, 10^{-9})的水平。过去实行 3σ 原则,在稳态下的不合格率为 2.7×10^{-3} ,现在则提出 6σ 原则,在稳态下的不合格率为 2×10^{-9} ,即不合格率要降为过去的 135 万分之一($2 \times 10^{-9} / (2.7 \times 10^{-3}) = 1 / (1.35 \times 10^6)$)。为了满足如此严格的超高质量要求,质量管理面临前所未有的挑战。

产品质量起源于市场(用户需求),由设计决定,通过制造实现,在使用中体现出来^[12]。设计质量在产品整体质量形成中具有重要的地位。有关资料表明:产品设计阶段实际投入的费用虽然只占产品总成本的 5% ~ 10%,但却决定了产品质量的 70% ~ 80%^[13];产品中 50% ~ 70% 的质量问题来自设计过程。若设计出的产品存在“先天不足”,则结果必然是制造及使用过程的“后患无穷”。由此可见设计对质量的重要意义。

3. 降低开发成本

产品开发成本是整个产品开发过程所耗费资金的总和。在设计阶段,实际投入的费用虽然只占产品总成本的 5% ~ 10%,却决定了 70% 以上的产品成本。波音公司统计表明,产品开发的早期