

计算机辅助工艺设计

—— CAPP

李治钧 陈国定 赵武 编著



成都科技大学出版社

计算机辅助工艺设计

—— **CAPP**

李治钧 ~~陈国定~~ 赵武 编

成都科技大学出版社

(川) 新登字 015 号

责任编辑: 李耀莉

封面设计: 何洪滨 兰健

JS/83/05
内 容 简 介

本书从面向21世纪的现代制造技术的角度出发,阐述了计算机辅助工艺设计(CAPP)的理论意义和广泛迫切的实用需求,并系统地讲述了CAPP的原理、内容及程序设计方法,全书共两篇十章,第一篇介绍了CAPP的理论基础,第二篇介绍了CAPP的程序设计步骤和方法。

本书可作为高校机械制造、机械设计、机电一体化等专业的专科、本科、研究生的教材,也可作为工厂企业技术人员从事CAPP系统开发工作的参考书。

计算机辅助工艺设计

李治钧 陈国定 赵武 编著

成都科技大学出版社出版发行

成都市银河印刷厂印制

开本: 787×1092 1/16 印张: 15

1996年10月 第1版

1997年10月第2次印刷

字数 350 千字 印数: 1501 - 6500

ISBN7 - 5616 - 3347 - 5/TP. 162

定价: 18.00 元

前 言

在现代机械制造业中,计算机辅助工艺规程设计(CAPP - ComputerAided ProcessPlanning)具有重要的理论意义和广泛、迫切的实际需求。因为CAPP系统的使用,不仅可以大大提高工艺规程设计速度和质量,而且保证了艺设计的一致性、规范化和标准化。

进入八十年代以来,计算机集成制造(CIM - Computer Integrated Manufacturing)的思想已得到广泛的认可,CAPP与CAD、CAM等一起成为支撑CIMS系统的主要单元技术,以CIMS环境下,CAPP作为信息集成的中枢,其意义和作用更加重大。

近几年来,人们对“并行工程”的深入研究,并逐渐认识到,信息集成的基础上从全局优化的观点出发,在CIMS各功能环节之间应实现双向信息交换,以达到相互协调和优化。为此,CAPP具有更重要的作用,它是并行环境下各功能子系统间的协调环节和纽带。

综上所述,计算机辅助工艺设计(CAPP)是实现机械制造过程自动化的重要环节,然而,在国内CAPP的研究和开发遇到很多问题和困难。总的来说,CAPP的发展远远跟不上CAD、CAM的步伐。所以我们认为,当前国内CAP技术应在工厂企业大力普及推广应用,在应用的基础上实现CAD/CAPP/CAM的集成。为此,我们在总结多年来开发研制CAPP经验的基础上,编写这本教材,其目的是为了普及推广应用CAPP技术,促进技术进步和人才培养。

本书共两篇十章,第一、三、四、七章由李治钧编写,第二、六章由陈国定编写,其余五、八、九、十章由赵武编写。全书由李治钧教授统稿,由龙伟教授主审。

研究生李勇、杨电、兰健在本书的编排方面作了大量工作,特表示深深的谢意。

由于作者水平有限,时间仓促,错误难免,敬请读者批评指正。

编者

1996年9月

目 录

前 言	1
-----------	---

第一篇 理论基础

第一章 CAPP 与机械制造系统自动化

1.1 机械产品的生产过程	2
1.2 机械制造系统	3
1.3 先进制造技术发展概况	3
1.4 现代制造系统模式的探索	7
1.5 CAPP 开发的理论意义和实用价值	11

第二章 工艺设计标准化与成组技术

2.1 工艺设计标准化的基本概念和工具	16
2.2 成组技术的基本原理和内容	17
2.2.1 相似原理	17
2.2.2 零件分类编码法则和编码系统简介	17
2.2.3 零件分类成组方法	20
2.2.4 传统工艺设计特点和问题	24
2.2.5 典型工艺和成组工艺	24

第三章 CAPP 的基本原理和方法

3.1 概论	28
3.2 CAPP 的基本原理	30
3.3 CAPP 的设计方法	30
3.3.1 派生式方法	30
3.3.2 创成式方法	33
3.3.3 专家系统方法	34
3.4 CAPP 的系统开发模式	35
3.5 CAPP 的发展趋势	39

第四章	CAPP 开发的理论体系	40
4.1	概述	40
4.2	CAPP 系统的数据建模方法	42
4.3	零件定义模型	47
4.4	工艺模型的建立	57
4.5	非线性工艺规程的设计方法	62
第五章	数据的组织与管理	72
5.1	数据结构的基本知识	72
5.2	数据管理技术	85
5.3	CAPP 系统中的数据管理	87

第二篇 CAPP 系统程序设计

第六章	程序设计总论	91
6.1	概述	91
6.2	程序开发前的准备工作	91
6.3	软件开发流程	100
第七章	零件信息的描述与输入	107
7.1	概述	107
7.2	零件表头信息和总体信息的描述和输入方法	108
7.3	零件几何特征信息的描述和输入方法	109
7.3.1	回转体零件信息描述和输入方法	109
7.3.2	非回转体另件信息描述方法	132
7.3.3	钣金零件几何信息的描述方法	145
第八章	工艺自动生成方法	153
8.1	总论	153
8.2	派生式 CAPP 系统的设计	154
8.2.1	派生式 CAPP 系统原理、特点及关键技术	154
8.2.2	准备阶段的工作	156
8.2.3	系统的程序设计	157
8.3	创成式 CAPP 系统的设计	164
8.3.1	创成式 CAPP 系统的原理、特点及关键技术	164

8.3.2	系统总体设计中要解决的问题	165
8.3.3	程序设计	173
第九章	CAPP 中的图形技术	193
9.1	输入系统中的图形技术	193
9.2	回转体零件工序图的生成	196
9.3	非回转体零件工序图的生成	214
9.4	钣金零件综合工艺图的生成	220
第十章	CAPP 系统的打印输出	226
10.1	概述	226
10.1.1	输出系统的要求	226
10.1.2	常用的打印控制方式	226
10.2	输出系统的程序设计	227
10.2.1	几个基本问题	227
10.2.2	程序设计	228

第一篇

CAPP 系统 理论基础

- ▣ CAPP 与机械制造系统自动化
- ▣ 工艺设计标准化与成组技术
- ▣ CAPP 的基本原理和方法
- ▣ CAPP 开发的理论体系
- ▣ 数据的组织与管理



第一章 CAPP 与机械制造系统自动化

本章主要内容:

- 机械产品的生产过程
- 机械制造系统
- 先进制造技术发展概况
- 现代制造系统模式的探索
- CAPP 开发的理论意义和实用价值

1.1 机械产品的生产过程

机械产品的生产过程如图1-1所示。一个生产企业的决策机构根据市场信息和工厂生产条件(包括外协)制订企业产品开发和生产计划,并组织制造和销售。这一产品的生产过程在不断循环,并通过循环使产品质量和水平也不断得到提高。在产品生产循环中,对一个企业来说,决策和计划部门是企业的核心;产品开发和销售部门是企业的支柱;制造部门是企业的基础,而用户和市场信息及企业数据库中的各种数据是决策最重要的依据。

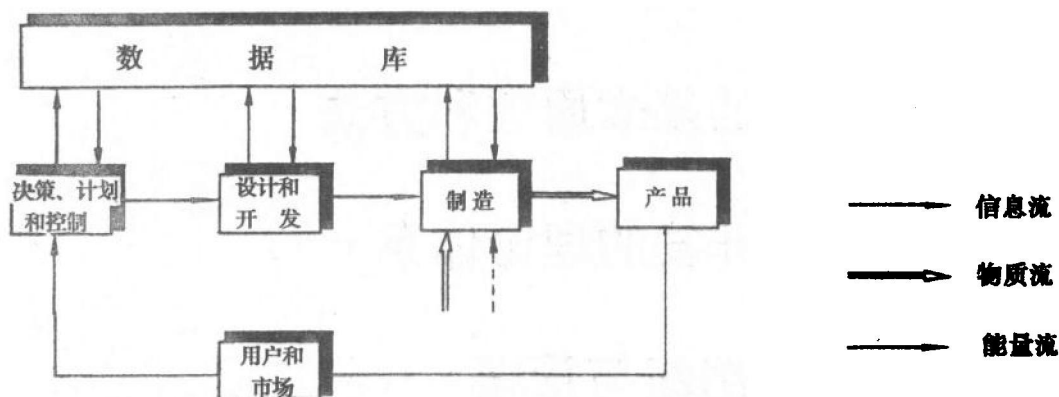


图 1-1 机械产品生产过程

1.2 机械制造系统

系统是由几个相互作用和相互依赖的部分组成,并且是具有特定功能的有机整体。对于机械制造企业来说,系统可大可小。图1-1中的制造部门可用图1-2来表示为一个制造系统,它可以是具体企业中的分厂或车间,也可以是一条生产线或一个柔性制造系统。图1-2形象地描绘出机械制造系统各组成部分之间的相互联系。图中,原材料输入系统后,经过存储、运输、加工、检验等环节,最后作为系统的成品输出。由于这个流程属于物质的流动,故称之为物质流。由加工任务、加工要求以及据此确定车间计划、调度、管理等,则属于信息范畴,故其流程称为信息流。此外,制造系统中能量的消耗及其流程—能量流亦是不可忽视的。因此,如何综合使用整个系统的物质流、信息流和能量流,以实现系统最佳的问题,是提高系统效益的重要课题。

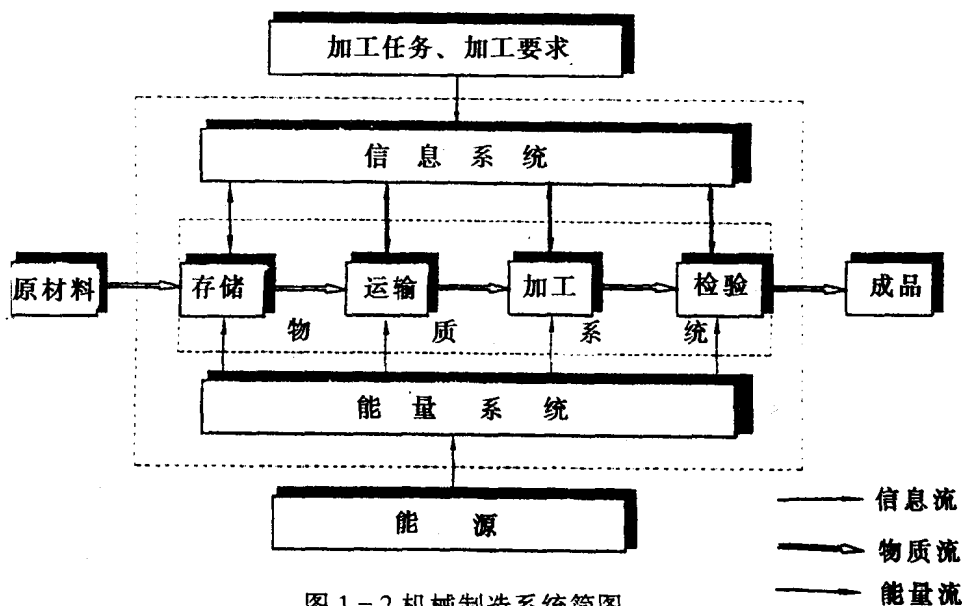


图 1-2 机械制造系统简图

从图1-2中看出:原材料变成产品的整个过程都是与制造技术密切相关的。制造技术总是一个企业保持经济活力的根本动力和基础。

1.3 先进制造技术发展概况

制造业是国民经济的基础。随着以计算机技术为主导的现代科学技术的迅速发展,以“时间驱动”为重要特征的市场竞争的加剧,产品更新换代的速度

加快、人们对商品需求的多样化,以及人的素质的提高,传统的制造业正在发生极其深刻和重大的转变。多品种小批量生产方式的比重越来越大,对产品的交货期、质量和成本要求越来越高。各种新的制造系统模式和哲理不断出现。工业发达国家对这场制造业的革命给予了极大的重视。

80年代初一些工业发达国家积极制订并实施计算机集成制造(CIM)发展战略,如美国国防部的“计算机辅助后勤支援(CALS)计划”、美国空军及美国陆军器材局的CIM计划、美国国家标准局的自动化制造研究实验基地(AMRF)计划、欧洲共同体欧洲信息技术研究发展战略计划(ESPRIT)中计算机集成制造工程(CINE)计划等。

1990年美国在对全世界汽车制造业进行研究后提出了精益生产的概念,认为当前世界制造业严重短缺的是具有竞争力的精益生产方式的生产能力,而大量过剩的则是无竞争力的大量生产方式的生产能力;1991年日本提出智能制造系统的国际合作研究开发计划,欧美有许多国家参加了这一计划;1991年美国为恢复其在世界制造业中的领导地位,提出了面向二十一世纪的敏捷制造的战略;1993年美国国家最高科技政策办公室接受国家科学、工程与技术协会的建议,并经总统批准,将先进制造技术作为1994年预算重点扶持的唯一领域,投入14亿美元。

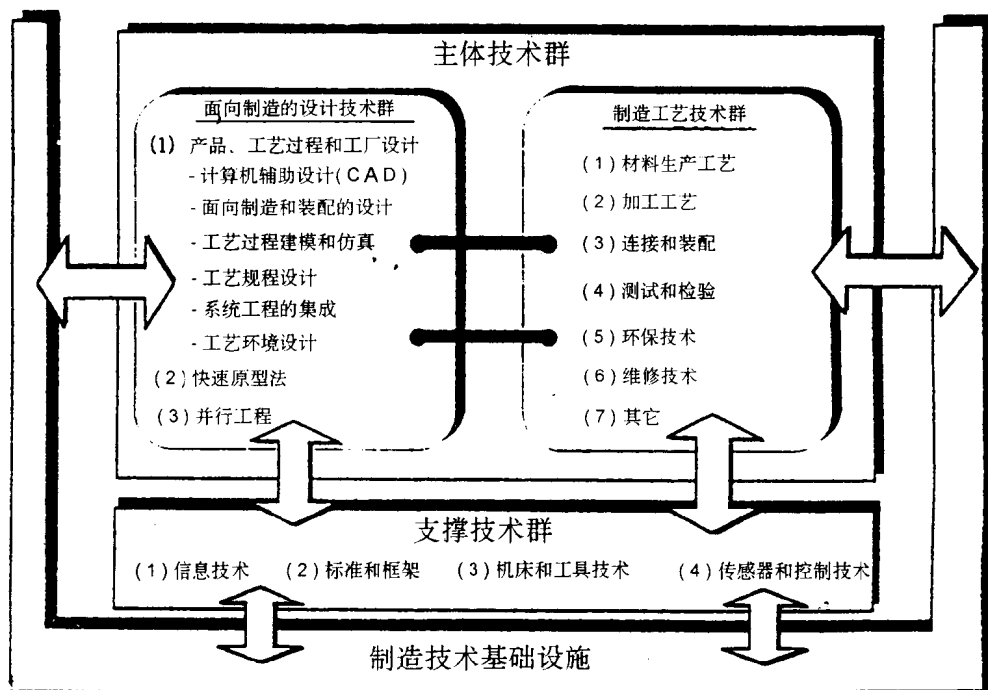


图 1-3 先进制造技术体系结构

此后,欧洲发达国家、日本、中国、韩国等相继作出反应。1994年初美国联邦科学技术协调委员会(FCCSET)下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组提出了有关先进制造技术的分类目录,主要包括以下技术群(图1-3)。

我国近期也很重视先进制造技术的开创工作,许多专家分析了我国制造业面临的形势、机遇和挑战。机遇是:国际上对先进制造技术重要性的认识与日俱增,制造技术的革命正在进行,国内也出现了重新认识制造技术的热潮;可以借鉴国外发展先进制造技术的经验和教训,充分利用人类创造的现有科技成果;中国国内对制造技术装备和人民生活需用消费品有广阔的市场。挑战是:工业发达国家都在瞄准中国这个大市场,而中国的制造技术与工业发达国家又存在着阶段性的差距,在竞争中处于不利的地位。我们要抓住机遇、迎接挑战,发展先进制造技术要有危机感和紧迫感,要作纵深布置安排。如果我们失去了这次机会,中国制造业和制造技术与工业发达国家的差距就会进一步扩大。国家有关部门制定了先进制造技术专项计划指南。一些专家建议“九五”期间着重发展四方面的技术:

先进制造技术是传统制造技术不断吸收机械、电子、信息、材料、能源及现代管理技术等技术成果,将其综合应用于制造全过程,实现优质、高效、低耗清洁、灵活生产,取得理想技术经济效益的制造技术的总称。

先进制造技术具有下列特征:

(1)计算机技术、传感技术、自动化技术、新材料技术、管理技术等引入及与传统制造技术的相结合,使制造技术成为一个能驾驭生产过程的物质流、能量流和信息流的系统工程。

(2)传统制造技术一般单指加工过程的工艺方法,而先进制造技术则贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维修等全过程,成为“市场-产品设计-制造-市场”的大系统。

(3)传统制造技术的学科、专业单一,界限分明,而先进制造技术的各专业、学科间不断交叉融合其界限逐渐淡化甚至消失。

(4)生产规模的扩大及最佳经济效益的追求,使先进制造技术比传统技术更加重视技术与管理的结合,重视制造过程组织和管理体制的简化及合理化,生产一系列技术与管理相结合的新的生产方式。

(5)发展先进制造技术的目的在于能够实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,并取得理想的技术经济成果。

1.3.1 现代设计技术

主要研究的内容

1、现代设计方法:如产品动态分析和设计、磨擦学设计、可靠性设计、优化设计和智能设计等。

2、设计自动化技术 (CAD)

3、工业技术设计:如机械产品色彩设计和造型设计等。

1.3.2 现代制造技术

主要研究内容

1、精密、超精密加工技术

2、精密成型技术

3、特种加工技术,如激光加工、电子加工、离子加工技术等

4、表面改性、制模和涂层技术

1.3.3 综合自动化技术

主要研究内容

1、计算机集成制造系统 (CIMS)

2、CAD/CAPP/CAM, 信息集成

3、单元自动化技术

4、车间柔性自动化系统等

1.3.4 现代管理技术

主要研究内容

1、先进的生产组织管理及控制方法,如:精益生产(LP)、敏捷制造(AM)、协同控制(HC)、准时制造(JIT)和最优生产(OPT)等

2、企业组织结构优化与综合改善技术

3、人因工程技术

4、并行工程技术(CE)

5、计算机辅助管理与决策技术,如:计算机管理信息系统(MIS)、计算机决策支持系统(DSS)等

从上面的介绍可以看出,先进制造技术具有下列特征:

1、计算机技术、传感技术、自动化技术、新材料技术、管理技术等引入与传统制造技术的相结合,使制造技术成为一个能驾驭生产过程的物质流、能量流和信息流的系统工程。

2、传统制造技术一般单指加工制造过程的工艺方法,而先进制造技术则贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维修等全过程,成为“市场-产品设计-制造-市场”的大系统。

3、传统制造技术的学科、专业单一,界限分明,而先进制造技术的各专业、学科间不断交叉、融合,其界限逐渐淡化甚至消失。

4、生产规模的扩大及最佳技术经济效果的追求,使先进制造技术比传统制造技术更加重视技术与管理的结合,重视制造过程组织和管理体制的简化及合理化,产生一系列技术与管理相结合的新的生产方式。

5、发展先进制造技术的目的在于能够实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产并取得理想的技术经济效果。

1.4 现代制造系统模式的探索

由于现代社会的需要,科学技术的发展,尤其是计算机的发展,以及人的素质的提高,传统的机械制造系统正在发生深刻的变化。人们从各种不同角度提出了一些现代制造系统的新模式,如计算机集成制造系统、精节生产系统、敏捷制造系统、独立制造岛等。通过对这些现代制造系统模式的分析,我们可以看到,尽管各种现代制造系统所强调的侧重点不同,系统的规模不一,但都是由一些现代制造技术的不同的组合。下面扼要简介几种现代制造系统的概念。

1.4.1 计算机集成制造 (CIM - Computer Integrated Manufacturing)

在激烈的国际竞争中,世界各国的制造业都在努力寻找企业更新改造的途径,以提高生产和经营的灵活性,实现生产合理化,使企业获得最大限度的经济效益,在竞争中立于不败之地。八十年代以来随着计算机技术以及各项自动化制造技术的发展,各工业化国家都在积极开发计算机集成制造技术(CIM),而且不断受到人们重视。

我国为了追踪国外的先进技术而实施的863计划中,CIM也作为制造业的重点追踪项目之一,在我国进行了开发应用的试点和推广工作,它对我国制造业的现代化有着极为重要的意义。

计算机集成制造已被认为是未来机械制造工业的生产模式之一。

● 什么是CIM?CIM是企业生产活动全过程中,各功能子系统的完美集成,即从市场预测、经营决策、计划控制、工程设计、生产制造、质量控制到产品销售等支持功能部门,合理地通过计算机网络联结成一个整体,以保证企业内部信息的一致性、共享性、可靠性、精确性和及时性,实现生产的自动化和柔性化,达到高效率、高质量、低成本和灵活生产的目的。虽然目前世界上还没有真正完善的计算机集成制造系统(CIMS),但普遍认为它是机械工业自动化发展方向。CIM技术也是当前世界各国高科技研究的一个重要课题。特别是美国、西欧各国、日本等发达的经济大国都投巨资进行研究。在这些发达国家中、计算机、CNC设备和FMS的普遍应用,为逐步实施CIMS创造了极为有利

的环境。我国的高科技研究计划中, CIM技术也是一个很重要的研究主题, 目前还布署了实施CIM的试点工厂, 建立了一个试验基地, 预期到21世纪将会对我国机械制造业的技术改造和技术进步产生巨大影响。

● CIMS 的组成

从我国推广应用CIMS的情况来看, 大体由四个功能分系统和两个支持系统组成。

1、工程信息系统 (CAD/CAPP/CAM)

其中包括计算机辅助设计(CAD)子系统, 计算机辅助工艺设计(CAPP)子系统和计算机辅助制造(CAM)子系统以及三个子系统的信息集成(CAD/CAPP/CAM)。

2、管理信息系统 (MIS)

该系统包括物料需求计划MRPI, 制造资源计划MRPII, 生产计划得控制(PPS)等生产管理和经营管理的信息系统。

3、制造自动化系统 (MAS)

其中包括FMS、FMC、FML、数控机床、加工中心、工业机器人、无人小车、立体仓库、自动流水线等的物流系统及底层制造设备。对我国来说也应包括加工中心以及普通机床组合的柔性制造线和制造单元。

4、计算机辅助质量保证系统 (CAQ)

它包括从产品设计到生产准备、技术准备、产品零件的制造和装配以及售后质量跟踪的生产全过程的计算机辅助质量决策、质量检测、数据采集、质量评价、统计、报表以及质量事故的分析及预报系统。它还包括对设备状态及完好率, 量具的计量检定的计算机辅助控制和管理系统。

5、数据库和网络系统 (DB/NT)

数据库是支持各分系统, 覆盖企业全部信息的系统, 它在逻辑上是统一的, 在物理上可以是分部的全局数据库管理系统, 以实现企业数据的共享和信息集成。网络系统是支持各分系统的开放性系统, 它由主网、局域网和客户服务器组成全厂的网络系统。采用国际标准规定的网络协议, 可以实现异种机互联、导构局域网及多种网络支持服务的不同需求。

其组成示意图如图 1-4 所示。

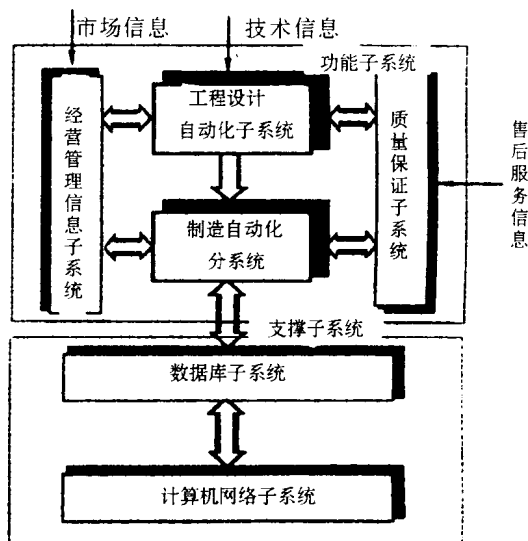


图 1-4 CIMS 的组成

1.4.2 并行工程 (CE)

从80年代中期开始,并行工程(Concurrent Engineering)逐渐成为制造业中的热门课题。

并行工程的思想来源于面向制造的设计(DFM, Design for Manufacturing)、面向装配的设计(DFA, Design for Assembly)等DFX技术,它要求在产品的设计阶段就要充分考虑随后的制造、装配等过程可能发生的问题,让这些问题在设计阶段就得到解决。随着对并行工程的深入研究,人们认识到不仅是在设计阶段,而且对于企业活动的其它阶段,都应充分考虑整个产品生命周期内各个组成部分的相互影响,以期达到总体优化。从并行这一概念的本质来看,它要求制造系统的各子系统:

- 与其他相关的子系统实现双向的信息交换;
- 在进行子系统的内部优化时要并行地考虑产品生命周期中随后的阶段的各种因素,把可能发生的问题尽早地给予解决。

实施CE目的是要改变传统的串行(顺序)工作方式的根本缺点,生产的各个环节之间相互不协调,各自为政。因而,所有的反复和修改过程都是滞后的。而CE是使产品设计及有关的技术准备和生产准备工作在并行工作方式下达到一次成功,从而缩短技术和生产准备周期,使产品能按用户的要求以最快的速度供应市场。

并行工程实际上是一种生产经营和管理模式,它的核心是突出人在有效组织领导下的协同工作(Team Work)。它要求有一个一体化的行政指挥机构,建立多学科、多功能的协同工作小组,组内包含企业中设计、工艺、制造、质量、物资供应、销售和服务、甚至用户代表在内的各类专业人员,他们按用户定货要求进行充分磋商和协调一致地工作。当然,进入小组的成员都应该经验丰富,具有较高的业务能力,这是协同工作组能取得成功的基础。但是,这样的人员在企业中毕竟不是很多的,他们工作的地理位置和时间上也不可能长期集中在一起,必须依靠企业内部计算机通信网络系统的支持,也就是说,只有在CIMS环境的支持下才能更为有效地工作。问题是现有的CIMS系统的信息管理模式还没有足够的能力来支持CE工作。必须着重指出的是,CE不能省略传统串行方式中的任何一个工作环节,也不是使设计工作与生产过程重迭或同时进行。在实施CE时,决不能再走我国60年代那种“边设计、边施工、边投产”攻关小组的老路,否则,其结果必然达不到实行CE的目的,不但不能使产品加快上市,甚至会造成许多不必要的返工浪费,延误交货日期。这种教训是记忆犹新的。

1.4.3 精节生产 (LP)

精节生产(LP - Lean Production)是二战后在日本汽车工业中发展起来的,

为此作出重要贡献的却是一位在日本工作的美国人W. Edwards Deming。战后日本的经济遭到了巨大的破坏,拿不出巨额资金来发展规模庞大的汽车工业。但他们根据自身条件,以精简而有效的方式发展了日本模式的汽车工业,并且以极大的优势占据了以前由美国独霸的汽车市场,使美国人惊呼“必须夺回生产的优势”。因此,美国政府组织专人花了近三年的时间进行调查,并在1990年由麻省理工学院发表专著“改变世界的机器(The Machine that Changed the World)”中提出了精节生产这个概念。什么是精节生产?人们对精节生产本身的含义、理论、特别是其支持技术,在认识上还有相当大的差别。我们的理解是:通过理顺和改造企业生产经营活动的各个环节,使之尽可能完美,以最少的投入,取得最大的产出,最终以优质价廉的产品满足用户要求。LP的核心应该说是技术和生产全面的科学管理,把技术和管理结合起来。它取得成功的秘诀是充分发挥人的积极因素和能力,消除一切无用的和不起增值作用的环节,从而达到不断降低成本、无废次品、不设缓冲库和产品多样化,以最少的投入获得大的产出,以尽善尽美的产品供应用户。

LP的主要技术基础是并行工程,以及作为三大支撑技术的成组技术(GT)、准时生产(JIT)和全面质量管理(TQC),并在所有这些工作中都充分重视人的作用,而不是单纯依靠生产自动化。因此,要对企业全体人员经常培训,提高他们的技艺和敬业精神。

现在,欧美各工业国都非常重视在制造业中开展LP工作。为了引进LP工作方式,美国甚至不惜建立日美合资企业,在日本人的主持下学习LP。德国则提出以LP来统一制造业的技术发展,可见LP对国际制造业的影响程序。

1.4.4 敏捷制造 (AM - Agile Manufacturing)

为了迎接21世纪的到来,世界各国都在积极制订发展战略,由于工业国家大约有70-80%的物质财富均来自制造业,因此都将制造业作为重中之重来对待,特别是美国,为了制止她在国际国内市场上竞争力的迅速衰退,避免人民未来生活水平的下降,于1991年组织了100多家公司参加的联合研究组,征集了许多专家、学者的意见,并在1994年发表了名为《21世纪制造企业的战略》的报告,明确提出要在2006年前以敏捷制造(AM - Agile Manufacturing)来夺回美国制造业在全世界的依靠地位。这种新的概念很快在世界范围内引起广泛注意。

敏捷制造技术的关键技术是:

1、信息交换标准化:包括工程图纸零件标准化,产品定义数据模型标准化,以及商务报告标准化等。

2、坚实的通讯基础结构:能使信息交换和通讯联系方面能将正确的信息在准确的时间送给正确的人的准时通讯系统,作为敏捷制造的管理基础。