

# M 机械制造系统工程学

Mechanical Manufacturing System Engineering

顾新建 祁国宁 著  
谭建荣 陈茂熙

CAPM

CIMS

FMS MRP

S LP IMS HIMS

RE

CAD

CAM

MRP

CAPP

Petri

浙江大学出版社

16-0

0

# 机械制造系统工程学

Mechanical Manufacturing System Engineering

顾新建 祁国宁 著  
谭建荣 陈芟熙

浙江大学出版社

## 内 容 提 要

本书是关于机械制造系统工程学的新学科的专著,主要介绍一些机械制造系统的新概念、新方法和新模式,以及机械制造系统的分析、建模、优化和控制的方法和理论。本书取材新颖,对机械制造系统中的许多问题从一种新的、系统的、集成的观点进行考察,以满足企业计算机应用、企业组织和管理、企业技术创新等对系统工程理论和方法的需求,帮助开阔视野。

本书主要内容是:计算机集成制造系统、并行工程、精益生产系统、智能制造系统、敏捷企业等先进制造系统的介绍;系统科学理论和系统方法及在制造系统工程中的应用;制造系统中的组织理论和组织设计问题的探讨;先进制造系统的生物型组织模型;制造系统的建模方法,如体系结构模型、系统功能和信息模型及分析方法等;产品信息建模方法;产品信息基因模型;制造系统的分解与协调方法及运行控制方法;离散事件动态系统理论和应用;系统优化理论和算法,如遗传算法、模拟退火法、神经网络及学习算法等。

本书可供机械、管理和计算机等专业的研究生、本科生和工程技术及管理人员阅读和参考。

### 机械制造系统工程学

Mechanical Manufacturing System Engineering

顾新建 祁国宁 著

谭建荣 陈苒熙

责任编辑 王宇

\* \* \*

浙江大学出版社出版

浙江大学出版社电脑排版中心排版

浙江省煤田地质局制图印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

\* \* \*

787×1092 16开 10.75印张 262千字

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

印数:0001--1000

ISBN7-308-01798-2/TH·049 定价:14.00元

# 前 言

随着科学技术的发展尤其是计算机的发展,以及人的素质的不断提高,传统的机械制造业正在发生深刻的变化,出现了一些制造系统的新概念、新方法和新模式。

现代机械制造企业有两个显著特征:一是朝多品种小批量生产的方向发展;二是计算机技术的广泛应用。后者是提高多品种小批量生产企业效益和柔性的重要途径。但仅靠计算机技术本身并不能取得较大的效益,需要有系统工程的理论和方法的指导,否则计算机的应用只能是制造更大的混乱;另一方面系统工程的技术本身也能有效地促使多品种小批量生产制造企业的优化和合理化。

机械制造企业是一个复杂的大系统,无论从事什么样的具体工作,如果能从企业系统的角度考虑问题,那么无疑会对整个系统的优化带来更大的好处。尤其是在从事制造企业的计算机应用工作时,更应考虑企业系统的集成和总体优化问题。

机械制造系统工程是一门关于机械制造系统的分析、建模、优化和控制的方法和理论的新学科,可以认为是现代工业工程的一个分支,其研究的对象是由人、技术、物资、设备等生产要素组成的机械制造系统,任务是研究设计、改善和建立有效的机械制造系统整体,方法是综合应用自然科学、人文和社会科学、工程技术和管理学等广泛领域的知识,对系统各组成部分进行分析、研究和评价。该学科在目前正处于发展阶段,并越来越多地受到人们的重视。机械制造系统工程学从物的系统扩展到包括人的系统,从单纯的技术和定性分析发展到定量与定性、技术因素与人文因素相结合,成为研究机械制造系统这一复杂的人机系统(社会—技术系统)的强有力的工具。

当前的机械制造业正处于重大转变时期,先进制造技术和先进制造系统发展迅速,对系统工程的理论和方法要求越来越高。但愿这本书能在机械制造业中系统工程知识的提高和普及方面发挥一些作用。由于本书涉及的范围比较广,所研究的问题比较新也比较复杂,这些实为作者学力所不逮,书中肯定会有不少误谬之处,恳祈读者批评指正。

本书的初稿曾作为两届研究生的学位课教材。

参加本书编写工作的还有钱宇(第九章第一节等)、王剑峰、夏振华等研究生,特此表示衷心感谢。

作者衷心感谢黄逸云教授、程耀东教授、吴昭同教授、陈子辰教授、韩君己高工、韩水生高工、方水良副研究员、唐任仲副教授、潘晓宏副研究员、项占琴副教授、王家平副教授对本书的关心和支持。

本书主要内容的研究得到国家自然科学基金、国家杰出青年科学基金和国家 863/CIMS 计划的资助,在此表示衷心感谢。

作者

1996年5月于求是园

# 目 录

<b>第一章 机械制造系统概况</b> .....	(1)
第一节 机械制造系统的定义及特点.....	(1)
第二节 先进制造系统的新模式.....	(5)
第三节 先进制造系统的背景.....	(14)
第四节 机械制造系统工程学的体系结构.....	(18)
<b>第二章 机械制造系统工程学的理论基础</b> .....	(22)
第一节 系统科学理论及应用.....	(22)
第二节 分形几何理论及应用.....	(29)
第三节 系统方法.....	(32)
第四节 层次分析法.....	(35)
<b>第三章 制造系统工程中的组织理论</b> .....	(40)
第一节 组织理论的发展.....	(40)
第二节 人的激励和培养.....	(44)
第三节 制造系统的组织结构模型.....	(47)
第四节 分布化和集成化的关系.....	(50)
第五节 先进制造系统的生物型组织模型.....	(51)
第六节 制造子系统的空间组织优化和时间组织优化.....	(57)
<b>第四章 制造系统的建模方法</b> .....	(60)
第一节 开发和实施先进制造系统的体系结构模型.....	(60)
第二节 系统功能模型和分析方法.....	(67)
第三节 系统信息模型和分析方法.....	(72)
<b>第五章 产品信息建模方法</b> .....	(79)
第一节 零件特征分析.....	(79)
第二节 零件特征信息描述方法的比较.....	(82)
第三节 产品信息基因模型.....	(85)
第四节 产品编码系统.....	(90)
<b>第六章 制造系统的分解与协调方法</b> .....	(96)
第一节 制造系统的分解与协调问题概述.....	(96)
第二节 零件分类方法.....	(103)
第三节 单元制造系统设计.....	(116)
<b>第七章 机械制造系统运行控制技术</b> .....	(120)
第一节 机械制造系统运行控制的基本策略.....	(120)
第二节 作业排序的基本概念.....	(123)
第三节 零件分派优先规则.....	(127)
第四节 多目标优化的动态排序方法.....	(128)

第五节 不同工艺复杂性的零件作业排序方法.....	(130)
第八章 离散事件动态系统(DEDS)理论和应用 .....	(135)
第一节 DEDS 理论概述 .....	(135)
第二节 Petri 网技术 .....	(138)
第三节 活动循环图法(ACD).....	(145)
第四节 极大代数模型.....	(148)
第九章 系统优化理论和算法.....	(150)
第一节 遗传算法及应用.....	(150)
第二节 模拟退火法.....	(153)
第三节 神经网络模型及学习算法.....	(155)
参考文献.....	(163)

# 第一章 机械制造系统概况

## 第一节 机械制造系统的定义及特点

### 一、制造子系统、制造系统和广义制造系统

机械制造业是国民经济大系统中的一个重要的子系统。机械制造企业是人、财、物、技术的有机的组合体,是一个进行独立经济核算的单位,通过从事经济活动以满足社会的需求。这里定义的制造子系统是企业的核心部分,承担产品及零件的制造任务。这里定义的制造系统即为企业,除了包括制造子系统外,还包括设计、销售、采购、财务等子系统。有时制造系统也称为生产系统。当前,产品制造和销售服务之间的联系越来越密切;同时,社会对环境污染的重视程度也越来越高,制造的概念又进一步拓宽。企业与市场等外部环境构成了一个闭环系统,即广义制造系统,如图 1-1 所示。制造系统是人—机系统或社会—技术系统。制造系统的结构如图 1-2 所示。本书中当不作说明地提到制造系统时,可以是各种不同层次的制造系统,它们具有自相似性。

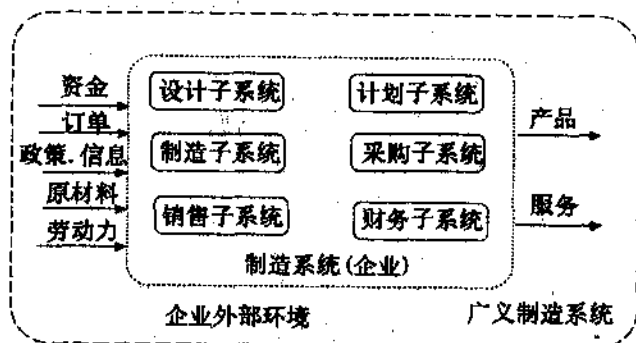


图 1-1 制造子系统、制造系统(企业或生产系统)、广义制造系统的关系

制造系统可以定义为它的分量集合之间的关系。这里分量集可以是输入集  $I$ 、输出集  $O$ 、某些结构和参数集合  $P$  等等。输入和输出反映了系统所表示的因果关系,输入又可进一步分为可加以设计和控制的集合  $U$  和不可控制的扰动集合  $D$ ,从而制造系统可表示为

$$S \in I \times O \times P = U \times D \times O \times P \quad (1-1)$$

系统的动态特性和品质可用某种评价函数

$$G: I \times O \times P \rightarrow V \quad (1-2)$$

来描述,由于  $O$  通常由  $I$  和  $P$  决定,因此评价函数值  $V$  最终由控制  $U$ 、扰动  $D$  和结构参数  $P$  所确定

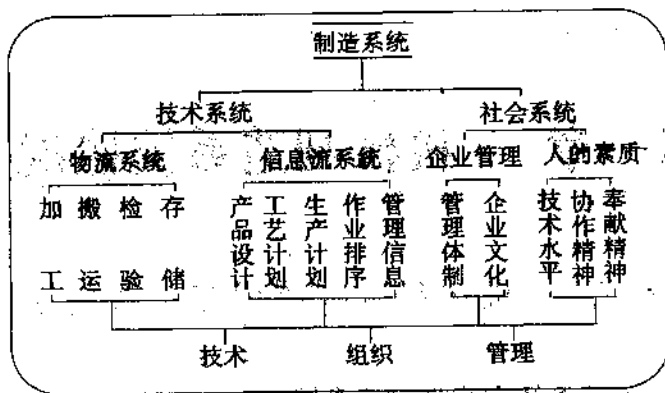


图 1-2 制造系统结构简图

$$V = G(U, D, O, P) = g(U, D, P) \quad (1-3)$$

与制造系统有关的基本问题均可归入下列各类之中：

- (1) 系统建模和分析 弄清  $I$ 、 $O$  和  $P$  的内容和关系。例：离散事件动态系统 (DEDS) 理论中的逻辑模型。
- (2) 系统建模、分析和评价 已知  $I$ 、 $O$  和  $P$ ，求  $G$ 。例：DEDS 理论中的代数模型、CIMS 体系结构模型等。
- (3) 系统结构优化设计 给定  $I$  和  $V$ ，确定一个适当的  $P$ ，这里的  $V$  又为希望的优化目标。例：单元制造系统的优化设计等。制造系统的优化设计又与产品优化设计有关。
- (4) 系统动态控制 给定  $D$ 、 $P$  和  $V$ ，求  $U$ 。例：准时制造的控制方法、作业排序和动态调度等。
- (5) 系统运行 给定  $I$  和  $P$ ，求  $O$  及  $V$ 。例：计算机仿真。

制造系统的最基本问题可归结为制造系统的优化问题。对系统的建模、分析、评价、设计、仿真和控制都是为了获得系统的期望特性和品质。

## 二、制造系统的基本特点

由于国内外市场竞争加剧，科学技术发展迅速，产品更新换代速度加快和人们对商品的多样化的需求增加，使得机械制造业多品种、单件小批量生产方式的比重增加，达到 70 ~ 85% 左右，并在继续上升。多品种、单件小批量生产方式一般是订货生产、项目型生产或非流水线生产。这种类型的制造系统较其它类型的系统更为复杂，更难控制，更强调系统的开放性。因此本书将以此类系统作为主要分析对象。

制造系统一般有如下特点：

- (1) 离散性 零件等待、加工、搬运、检验、装配等事件的发生是离散的，系统的行为不能用通常的微分方程或差分方程来描述，而且离散事件之间存在着复杂的相互作用。
- (2) 随机性 零件毛坯的到达、工装的到达，以及零件图纸和工艺文件的到达有较大的随机性；零件的种类、批量和交货期时常变化；零件加工时间也是不定的；机床的故障、工人的缺勤更是无法预测。
- (3) 复杂性 制造系统中的大量问题是 NP 完全类问题，即问题的复杂性为指数增长。因



为：① 生产品种的多样性；② 零件结构形状的多样性；③ 制造过程的多样性；④ 环境条件的不确定性。例如，零件分类成组问题和作业排序问题一般都是 NP 完全类问题。

(4) 混沌性(Chaos) 系统参量的微小变化常会导致很不相同的演化模式，因为机械制造系统是一高度非线性系统。

(5) 非结构性 即系统的输入、输出、结构和参数常常难以用结构化程序描述清楚，因为制造系统是一人一机系统，人的行为对系统的性能有较大的影响。还因为机械制造过程的影响因素很多，并有许多创造性的活动。

(6) 多目标性 系统的期望特性与品质在不同的生产环境中有所不同。如有的希望短交货期，有的希望高生产率。当然，目标不同，系统的结构、参数和控制也有所不同。

(7) 层次性 制造系统无论是结构上还是功能上都具有层次性，不同层次的系统其特点也不尽相同，如单元间的作业排序方法与单元内的作业排序方法就不同，机械制造系统的加工对象——机械产品的结构和功能上的层次性决定了制造系统的层次性。机械产品的结构层次差别很大，有的有十几层以上。相应的制造系统也具有不同的层次。

### 三、制造系统的发展历史简要介绍

从制造组织模式来看，机械制造业经历了三个发展阶段：① 单件生产的作坊；② 大量生产的制造系统；③ 信息化和自动化的先进制造系统。

从石器时代开始，出现了单件生产的作坊，用简单的工具，往往由一个人完成产品的设计和制造的全部工作。生产效率很低，质量难以保证，成本很高。

到了本世纪初，出现了大量生产的制造系统。用非熟练与半熟练的工人采用昂贵的专用机床生产出大批量的标准产品。由于机械设备的成本非常高，为了保证不间断的生产，大量生产厂家增加了许多缓冲环节和大量的在制品库存。由于产品的改型所需花费更大，因此大量生产厂家总是尽可能延长其标准设计产品生产的时间，其结果是消费者得到了较廉价的产品，但在产品品种变化上却作出牺牲，而且大多数雇员对单调的工作感到厌烦，提不起兴趣。如当时的美国福特汽车公司的装配线就是一个典型的大量生产的例子。

进入本世纪 50 年代以来，以计算机为代表的新技术开始对制造系统产生越来越深刻的影响，各种数控设备和计算机辅助制造技术层出不穷，市场也发生了较大的变化。其特点是：① 由于计算机通信技术和交通的发展，世界变得越来越“小”；② 竞争的全球化，“跨出厂门就是国际市场”；③ 用户需求的多样化和个性化；④ 产品的生命周期越来越短。

为了适应竞争的需要，出现了或提出了一些制造系统的新模式，如计算机集成制造、精益生产、并行工程、智能制造系统、敏捷制造、单元制造系统、独立制造岛等。这些系统都特别强调高效率和高柔性的统一，特别注意发挥人的积极性，特别强调系统的简化和集成化。

从控制模式看，制造系统经历的发展过程是：分散控制 → 集中控制 → 递阶控制，现在又

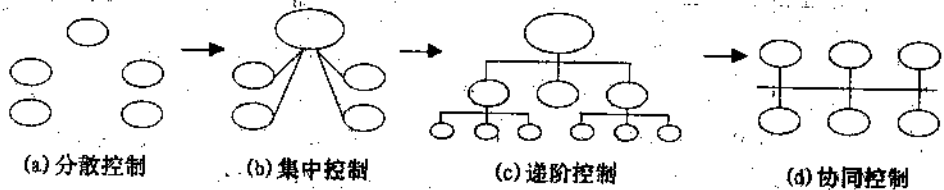


图 1-3 制造系统的控制结构的演变

朝协同控制方向发展(图 1-3)。在最初的分散生产中,由于产品十分简单,每个工匠自己一个人完成产品的全部设计和制造,各个工匠之间很少有相互协作的任务。随着产品复杂程度的提高和生产规模的扩大,需要多人多机的配合才能完成产品的设计和制造。在集中控制结构中,由一个“控制中心”完成总任务的分解、分派和协调。随着制造系统的进一步扩大和分工的进一步细化,由一个“控制中心”实现对所有子系统的控制变得很难,因此将系统按功能进行最大限度的分工,并根据控制幅度原则将系统分解为几层进行递阶控制,形成“金字塔”型的结构。其特点是:高度结构化,管理层次分明,强调理性原则。但由于系统控制结构一经建立就必须不易改变,因而缺乏灵活性;由于纵向管理层次较多,横向传递环节较多,因而信息的反馈和传递速度较慢;由于按功能分解任务,各子系统容易只考虑自己部门的利益,而对系统整体优化考虑较少,使各部门间的协调变得困难。

由于计算机的迅速发展,特别是计算机网络技术的高度发展,并由于市场竞争的国际化和不稳定性以及企业人员素质的提高,而且为了能充分利用全地区、全国乃至全球的资源,降低产品的设计和制造成本;为了能对市场变化作出迅速的反应;为了更好、更便捷地为顾客服务,人们提出了协同控制的思想。协同控制的组织是扁平式的,是一个围绕组织目标而组成的面集合体,强调按业务导向组织管理。协同控制没有主从关系。各子系统有高度的独立自主权,它们通过通信和协商,共同完成任务。

图 1-4 为机械制造系统的发展与机械、电子、计算机和管理技术的进步的关系。

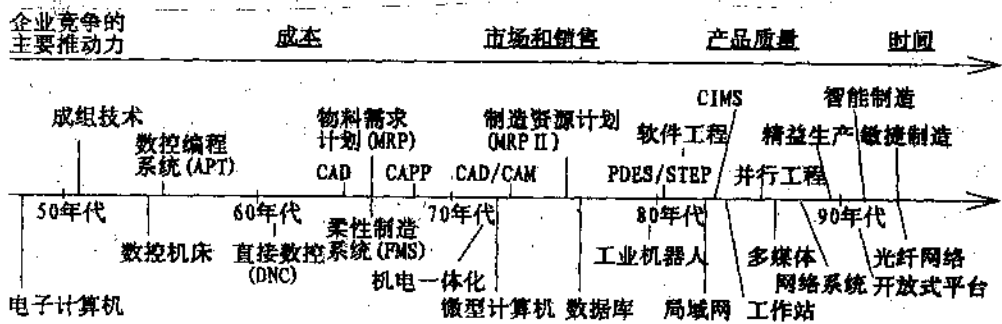


图 1-4 机械制造系统的发展

#### 四、制造系统的优化目标

制造系统工程的基本问题是优化问题,包括优化设计和优化控制。系统的建模、分析、评价、仿真运行也都是围绕这个基本问题,制造系统的优化目标如图 1-5 所示。

由于制造系统所面临的主要是多品种、单件小批量生产任务,图 1-5 的优化目标的实现难度较大。一般采用的技术对策是:① 将计算机技术应用到机械制造业中,采用数控机床、加工中心、柔性制造系统乃至计算机集成制造和智能制造;② 将系统生产技术应用到机械制造业中,采用成组技术、标准化技术、系统工程技术等,从产品、零件设计到整个生产过程进行简化、条理化和优化,在控制结构上表现为分布化和集成化。如果说对策 ① 强调的是硬技术,那么对策 ② 强调的是软技术。对策 ② 又可看作是对制造系统的组织优化。

由于制造系统是一个社会—技术系统,因此制造系统对社会目标的优化越来越重视。社会目标因国家的社会制度不同而有所不同,但人类社会总是在不断进步的,从“必然王国”走

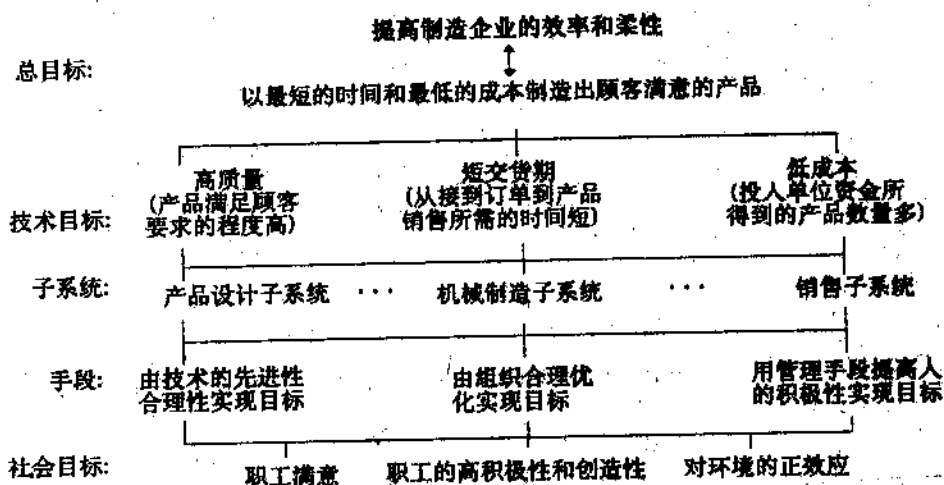


图 1-5 制造系统的优化目标

向“自由王国”。社会目标一般是使工作人员对工作有较大的满意度、积极性和主动性，反过来又能促使达到较高的技术目标。除了用管理手段实现这些社会目标外，还可通过组织优化为这些社会目标的实现创造良好的和必要的条件。当然仅采用先进的生产组织形式，而没有先进的管理方法相配合，其效果是不会很大的。

## 第二节 先进制造系统的新模式

### 一、计算机集成制造系统 (CIMS)

#### 1. 背景

进入 70 年代后，计算机技术在制造业中得到迅速推广应用，出现了一些所谓的自动化孤岛，如 CAD 系统、CAPP 系统、CAM 系统、MRP 系统等，人们发现这些系统间集成的难度很大，因为这些系统是分别设计开发的，没有考虑到集成的要求。1974 年，美国哈林顿 (J. Harrington) 博士提出了“计算机集成制造”(CIM, Computer Integrated Manufacturing) 的概念，其要点是：① 企业生产的各个环节，即从市场分析、产品设计、加工制造、经营管理到售后服务的全部生产活动是一个不可分割的整体，要紧密连接，统一考虑；② 整个生产过程实质上是一个数据的采集、传递和加工处理的过程，最终形成的产品可以看作是数据的物质表现。

在技术、需求等驱动下，进入 80 年代后，各国制造企业都将 CIM 作为提高本企业竞争能力、使本企业在激烈的竞争环境中得以生存和发展的有力工具。CIMS 的相关因素如图 1-6 所示。

#### 2. 基本概念

CIMS 是运用系统工程的整体优化观点，将现代信息技术和生产技术综合应用，从信息技术和组织上将生产全过程的各个工作系统和信息系统连接起来，以便有效地提高企业对市场需求的响应能力和生产率。CIMS 将企业全部生产活动所需的各种分散的自动化系统、生产过

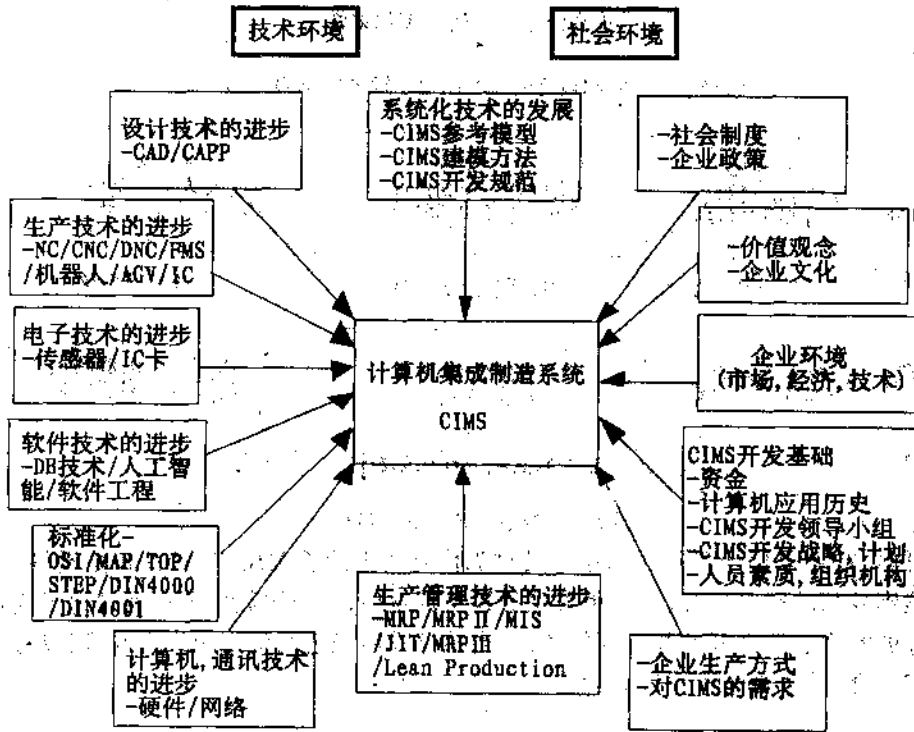


图 1-6 CIMS 的相关因素

程中的各种有关信息以及企业中的人员和组织有机地集成起来,使材料的物理变化和信息的逻辑变换以最短的过程、最快的速度 and 最高的效率完成。

建立 CIMS 的优点有:降低设计成本;节省加工工时;缩短生产周期;节约劳动力;节省装配工时;提高生产率。开发和实施 CIMS 后还有各种不能定量的优点,如:提高企业的市场竞争能力;提高顾客的满意度;均衡生产;加快产品的更新换代;交货期准确;改善企业形象;提高人员素质;改善人员结构;改善工作气氛等。

### 3. CIMS 的发展

人们发现,至少到目前为止,很少有企业能按既定的计划实施其 CIMS。建成后的 CIMS 不是投入了比预算多得多的人力、物力和财力,就是与原定的功能要求有相当的差距。这种现象是普遍的。例如欧洲实施 CIM 计划的企业只有 25% 达到预期目标。自 80 年代以来,实施 CIM 的制造公司逐渐认识到,作为影响集成的障碍,人员和组织机构问题比技术更重要。1986 年 Yankee 公司的报告表明,实施 CIM 中的问题,75% 与人员、机构、计划和管理等有关,而与技术有关的仅为 25%。又如美国高级制造研究公司 (AMRC) 在 1990 年对 150 家制造公司进行大量调查工作表明:70% 的被调查的公司指出人是影响 CIM 的最大障碍,11% 的公司认为成本合理性和投资限制是主要障碍,只有 9% 的公司认为技术是影响 CIM 的最主要的障碍。

随着对 CIMS 的深入研究,人们对 CIMS 的认识也在不断深化,提出了如下一些新型的 CIMS:

(1) 以“人”为核心的集成制造系统(HIMS, Human Integrated Manufacturing System) 因为人作为信息技术和生产技术的组织者、决策者和控制执行者在 CIMS 中起着核心作用, 人才的培养、各级人员素质的提高和知识的更新将决定 CIMS 的成败。

(2) CIM3 (Computer Integrated Man - Machine Manufacturing) 其观点是, 计算机系统不足以处理真实世界的种种不规则性, 企业这样一个复杂组织需要人们的共同协作才能发挥作用。CIM 的三大支柱是硬件(Hardware)、软件(Software) 和人件(Humanware)。

(3) 分布式 CIMS 德国波鸿鲁尔大学近年来提出研究开发面向制造业中占绝大多数的中小企业的、投资少、风险小、周期短、见效快的分布式自适应 CIMS。

(4) 以用户为中心的 CIMS 最早人们提出的 CIMS 总体结构轮图, 其内核是数据库、网络和系统生产技术, 外圈是三个子系统: CAD/CAM、CAPM (计算机辅助生产管理) 和 FMS。1991 年提出的 CIMS 总体结构轮图, 其内核是用户, 其结构如图 1-7 所示。

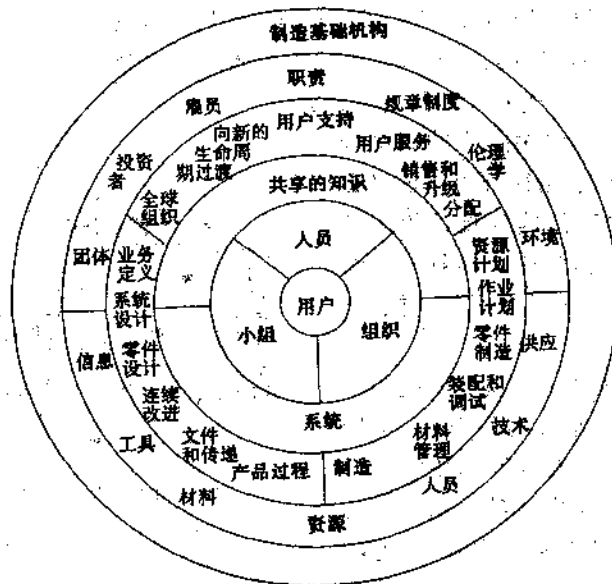


图 1-7 新型制造企业轮图的结构和内容

1986 年我国四位著名科学家上书国家领导, 提出追踪国际高技术发展的意见。国家科委设立了“八六三”计划, 计算机集成制造系统是其中的一个主题项目。经过近十年的发展, 计算机集成制造系统在我国取得较大的进展, 获得了国际上“CIMS”大学领先奖和“工业领先奖”。现在国内正出现一个 CIMS 推广应用的热潮。

我国在实施 CIMS 的进程中, 从最初的强调“技术驱动”转向“效益驱动”和“需求驱动”, 从技术集成转向人、组织和技术的集成, 积极地吸取其它先进制造系统中的新思想和新方法, 从而取得较好的效果。

## 二、并行工程(CE, Concurrent Engineering)

80 年代中期以来, 并行工程(CE) 逐渐成为一种热门的先进制造模式。并行工程是集地、并行地设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程和支持过程) 的系统方法。这种方法要求

产品开发人员在设计一开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废处理的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。

并行工程的目标是:①提高整个制造过程(包括设计、工艺、制造和服务)的质量;②降低产品生命周期费用(包括产品设计、制造、销售、服务、用户使用直到产品报废的全部费用);③缩短产品研究开发周期(包括减少设计反复、减少制造中各环节的时间)。

并行工程作为一种经营哲理和工作模式,其特点是:

(1)分布式的组织结构 并行工程的基本组织结构是产品开发组,开发组由各方面专家,如设计、质量保证、制造、采购、销售、售后服务及计算机辅助设计支持等方面的专家组成。开发组成员有较大的权力和责任,为了便于有效工作,通常将实际产品分解成多个部件,成立相应的产品开发小组。要求所有数据资源由各小组共享,要求各小组之间能够及时进行信息交流。

(2)集成化的产品设计、制造、经销过程 既注重企业内部的集成机构又重视企业与外部供应商、用户、经销商等的集成机构。在进行上游环节工作的同时,尽可能早地考虑下游环节的工作,集成地和并行地进行产品及其有关过程的设计,特别注意产品早期概念阶段的并行协调。并要注意持续地、尽早地交换、协调和完善关于产品的有关制造和支持等各种过程的约定和定义。并行工程采取如图 1-8 所示的工作模式。

有人提出用“并行设计微循环”的概念来描述“并行”的本质和特点。微循环可以说是在宏观上并行,在微观上串行。因为设计和工艺几乎是同时开始和结束的,但是具体到一个微循环中;仍然是顺序作业,先考虑产品功能,然后再考虑工艺要求。

在产品设计的初始阶段,产品开发组应考虑下游制造及支持过程,必须对可靠性、可制造性、可测试性、支持性和成本计算性进行设计。一个好的设计应当是:①清楚表示对产品用户的需求;②基于工程要求及目标;③遵循产品的功能模型;④尽可能减少设计变更的数目;⑤尽量利用成熟技术;⑥把质量设计到产品中。

(3)强调人的作用的管理体制 由设计工程师担任产品开发小组组长,简化各种过程,强调人的作用,注重整体效益。这里,转变原有的管理机制是很重要的。成功实施并行工程的关键因素是人,并行工程实质上是合作、协同的过程。人的相互合作和协同是最重要的。

并行工程中的计算机应用水平可以是多层次的,①产品开发小组不采用计算机技术进行协作;②依靠计算机辅助工程工具,在小组成员中共享产品数据;③全部计算机化、集成化的企业环境,即自动化并行工程环境。

实用计算机图形技术及虚拟现实技术的迅速发展能从根本上改变并行工程的概念。虚拟现实系统通过“虚拟环境”使操作者亲临“现场”测试新设计出的产品,同时还可对产品进行修改。

### 三、精益生产(LP, Lean Production)

1990年美国麻省理工学院(MIT)在其一个调查项目“国际汽车计划(IMVP)项目研究”的

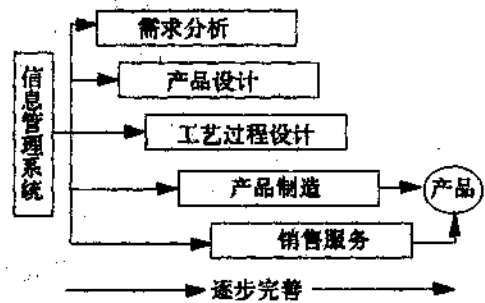


图 1-8 并行工程的工作模式

一份研究报告中系统地分析了造成日本与美国汽车制造业差距的主要原因,归纳出了一种新的生产系统模式——精益生产。他们把它称之为世界级制造技术的核心。这项耗资 500 万美元,历时 5 年,有 15 个国家的研究人员参加的研究项目所得到的成果不仅适用于汽车制造业,而且还能广泛应用于其它制造业。

MIT 的研究小组发现,目前世界汽车制造业的生产水平相差甚为悬殊,造成上述差别的根本原因并不在于企业的自动化水平的高低、生产批量的大小、专业化程度的优劣和企业文化的影响等。其根本原因是生产概念的不同。一种是由美国亨利·福特和通用汽车公司的斯隆开创的大量生产方式,这种生产方式取代了欧洲企业领先了若干世纪的单件生产方式,曾使美国在一段时间内控制了世界经济;另一种是日本丰田汽车公司在第二次世界大战后首创的精益生产方式。当其它的日本汽车公司和制造企业引用了这一卓越的生产方式后,日本制造业很快达到了世界领先的地位。美国人认识到,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。德国也在 1992 年宣布要以精益生产来统一制造技术的方向。当前欧洲国家研究精益生产已不仅仅限于大批量生产和在 CIM 环境下,它已推广到各种生产类型的许多行业。

精益生产方式综合了单件生产与大量生产的优点,既避免了前者的高成本,又避免了后者的僵硬化。精益生产系统的各个层次上都雇用了多面手,并采用了通用性好、自动化程度高的机器来制造品种多样的产品。精益生产方式的特点可归纳为:以“人”为中心,以“简化”为手段,以“尽善尽美”为最终目标。

### 1. 以“人”为中心

这里所说的“人”包括整个精益生产系统所涉及的人,如本企业各层次的工作人员以及协作单位、销售商和用户等。因为在精益生产系统中,销售商和用户都是系统的有机组成部分。

(1) 精益生产厂家中的所有工作人员都是企业的终身雇员,只要他们全面完成任务就可以保住职位(终身雇用制)。

(2) 精益生产厂家的雇员基本上是从最低层干起的。工资与本人在企业的资历有关,跳槽意味着要从头开始(年功序列制)。因此即使企业处于困难时期,雇员也坚持与雇主一起共渡难关。

(3) 企业把雇员看作是比机器更为重要的固定资产,机器陈旧了可以报废,但人力资源不能随意淘汰。因此为了从其有效的 40 年(进厂到退休)服务期内得到最大的产出,需要不断地提高职工的技能,充分发挥他们的积极性和创造性。

(4) 创造工作条件和施加工作压力双管齐下,让雇员承担尽可能多的责任,成为多面手。一方面使雇员不断学习,扩大知识面,并因此而受到重视;另一方面满足人们学习的欲望和实现自身价值的欲望。

(5) 创造工作条件,让雇员及所在小组有很大的独立自主权。例如,丰田汽车公司装配线上的每位工人若发现质量问题,都有权拉动工位上的开关使整个装配线停止工作,并和小组人员一起快速追查问题的原因。决策和解决问题都放在小组进行。因此,在很大程度上不需要中层或高层经理逐级下达命令,减少了信息反馈工作。

(6) 采用准时制造的生产组织形式,下放职责,不掩盖生产中存在的问题,尽可能降低安全库存。丰田汽车公司每个工人身旁只有不到一个小时的储备。如果工人们不能事先预料到可能会出现的问题,而事后又不主动解决问题,那么整个流水线就会陷入停顿。这就要求工人技

术精湛,责任心强,劳动目的性明确,工作节奏紧张。

(7) 雇员的职务晋升途径明确,协作精神好的受到更多的重视。

(8) 企业与协作单位生死与共。相互有对方的不少股份,有人员交流,并有一个用以确定成本、价格和利润的合理框架。这一框架使得双方愿意为互利而合作,而不是相互猜疑、戒备和欺骗。

(9) 精益生产厂家销售网络中的销售商有的完全属于总装厂,有的部分股份属于总装厂。工厂不是把产品强制卖给销售商,而是根据销售商提供的定单生产。销售商成为准时制造的第一个环节。这样不仅可以为用户提供高水准的服务,采用“主动销售”,把定单的顺序安排得使总装厂有可能接受,同时为总装厂反馈高质量的市场信息。

## 2. 以“简化”为手段

“Lean Production”又有简化生产的含义。简化是实现精益生产方式的基本手段。

(1) 在产品开发和工程设计方面,采用项目组形式,把设计、工艺和工业工程人员集中在一起,简化信息传递的环节。采用并行工程的方法,简化开发和设计过程,使产品开发所花时间和投入的力量减少一半。

(2) 在生产现场减少非直接生产工人,使每位工人都真正地对产品进行增值。

(3) 采用准时制造方式,不安排库存,没有缓冲,这样既可减少由于大量库存所引起的资金积压,又可及早发现产品中的质量问题。

(4) 项目组有很大的独立自主性,大量信息的处理在组内完成,系统反应灵活。

(5) 总装厂充分放权,仅通知协作厂要生产部件的性能规格,具体设计和制造由协作厂负责。简化了总装厂的产品设计工作,同时使协作厂有更大的自主性。

(6) 总装厂与协作厂是层次关系,总装厂将整套部件交给第一层次协作厂生产,而第一层次协作厂下面一般有一组第二层次的协作厂承担零件的制造,等等,从而简化了总装厂与协作厂的关系。

## 3. 以“尽善尽美”为最终目标

精益生产厂家所追求的目标是尽善尽美,不断地朝低成本、无废品、零库存、高柔性和产品品种多样化方向努力。日本人将这一过程称为“改善”。当然,恐怕永远不可能有一个精益生产厂家达到这样理想的境地。但是,企业可以在这样无止境地对“尽善尽美”的追求过程中不断获得更好的效益。

## 四、智能制造系统(IMS, Intelligent Manufacturing System)

日本认为,现在各国、各企业都在极力开发和追求高性能的制造技术和装备,但都缺乏在整体制造系统的高度上确立各个开发项目的位置的观念。此外,到目前为止所开发的FMS、CIM和MRP等先进技术也都有各自的局限性,并不能很好地适应现在的市场和产业界的需要。因此,日本在1991年1月发起了智能制造系统(IMS)的国际合作研究开发计划。该项计划旨在组合工业发达国家的先进制造技术,包括日本工厂与车间的专业技术、欧共体的精密工程专业技术和美国的系统专业技术;探索将研究成果转变为生产技术的途径;开发下一代的标准技术。其目标重点是实现当前生产技术的标准化,开发出能使人 and 智能设备都不受生产操作和国界限制、彼此合作的高技术生产系统。目前欧美已有许多国家参加了这一计划。从1992年



秋开始的两年时间内,对IMS的六个试验项目进行研究。有参加国的73个企业和67所大学、科研机构参加。IMS计划通过5年调查和可行性试验,决定于1995年1月启动。

智能制造系统选择了六个试验项目进行研究,它们是:

(1) 过程工业中的清洁制造技术 目标是开发多种技术,防止在制造过程中生成有害物资,而不是在有害物资生成后去处理。

(2) 全面并行工程技术 目标是实现多工厂的各生产活动之间的敏捷协调和保证高生产率的并行工程。

(3) 全球制造业集成技术 目标是达成一个能适应21世纪的产量多变和多品种的全球制造系统,即把产品的开发和制造分散在全球范围内进行。实现的途径是把产品设计开始的过程按制造和生产环境转化为模块。

(4) 自律型分散型(Holonc)控制系统 目标是要开发一个具有分布控制功能的自主模块,它能柔性地克服生产环境中所发生的问题。

(5) 产品快速成形技术 目标是开发在设计 and 快速测量以及产品评估后的快速成形技术。

(6) 知识系统化技术 目标是运用现有设计和生产数据的系统化了的信息开发一个具有自我诊断、调整等功能的下一代生产系统。

IMS的研究将使制造业在接受订货、开发、设计、生产、物流直至经营管理的全过程中,做到使各个装备、各生产线自律化,并实现自律化的装备、生产线在系统整体上的协调和集成,以此来适应制造活动全球化的发展趋势,减少过于庞大的重复投资,并通过先进、灵活的制造过程的实现来解决制造系统中的人因问题。自律化是指能够根据周围环境以及生产作业状况自主地进行判断并采取适当的行动。

这一国际计划的实验项目的技术课题有:① 企业集成;② 全球性制造(并行工程、组织和经济、供货商及分布式管理);③ 系统分技术(自主式系统、设计和仿真、传感器及信息合成);④ 洁净制造(环境安全、无废料生产、能量储备);⑤ 人和组织方面(面向人的生产系统、人一机接口、内外小组工作);⑥ 先进材料的加工(机加工、成形加工、复杂加工过程、建模和仿真)。

智能制造系统可分为三个层次:① 将到目前为止的各国所独自开发的制造技术(主要是产品设计和产品加工装配技术)体系化和完整化;② 将现有技术及未来要开发的技术(主要是物流管理技术和制造信息数据的压缩、传送积存储技术)标准化;③ 面向21世纪的新型、高性能制造系统技术(主要包括系统管理技术与机械加工、设计、装备及制造过程相关技术,以及包括前面两者在内的整个制造系统构筑技术)的研究和开发。

这三个层次的内容在每一层内又分为五个研究内容:① 系统构筑技术;② 生产、控制和加工技术;③ 与生产相关的信息、通讯技术;④ 新材料应用技术;⑤ 制造系统中的人的因素。

## 五、敏捷制造(AM, Agile Manufacturing)

### 1. 背景

敏捷制造或称灵捷制造、虚化制造,是美国为恢复其在世界制造业的领导地位而在1991年提出的一种全新概念的生产方式,是美国在21世纪的制造战略。它已引起工程界的广泛的注意。其背景:① 围绕时间、质量和成本的竞争越来越激烈,竞争的目标是:以最快的速度、最低的成本制造出用户满意的产品。② 企业小型化、专业化已成为制造业发展的大趋势,如何将