



普通高等教育“九五”国家级重点教材

3

普通高等教育机电类规划教材

机电一体化 生产系统设计

谢存禧 邵 明 主编

机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育机电类规划教材

机电一体化生产系统设计

主编 谢存禧 邵 明
参编 杨汝清 李 佳 顾熙棠
俞岳平 姚国兴
主审 孙洪道 杨叔子 熊有伦



机械工业出版社

本书概述了机电一体化生产系统基本概念、系统开发工程路线与系统评价方法,介绍了机电一体化生产系统总体设计方法,重点针对物流系统设计、能量流系统设计、信息流系统设计及系统的建模与仿真进行了系统深入的分析与介绍。本书还就机电一体化生产系统的实例,例如汽车车身冲压生产线、柔性装配系统等进行了详尽介绍,有助于读者通过这些实例进一步掌握系统设计开发方法。

本书可作为机械设计制造及自动化专业与相关专业的本科学生教材,也可供夜大、函大及职大等作为教学用书使用,还可供研究生及从事机电一体化生产系统设计、制造与研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化生产系统设计/谢存禧,邵明主编. —北京:机械工业出版社, 1999. 10

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-07091-7

I. 机… II. ①谢… ②邵… III. 机电一体化-系统设计-高等学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 41532 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:钱飒飒 版式设计:张世琴 责任校对:肖新民

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13 印张·312·千字

0 001—5 000 册

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

序

近 20 年来,现代制造技术取得了突飞猛进的发展,机电一体化生产系统的出现、发展和广泛应用,就是其中的一个重要方面。机电一体化生产系统是含有物流、能量流、信息流的多参数、多输入/输出的生产系统,是各种产品生产过程实现柔性自动化的重要技术装备,在现代制造业中占有重要地位。设计开发机电一体化生产系统必须具有将一台或数台机电一体化设备与相关的周边设备组成一个高质量、高生产率、安全可靠的系统的能力。也就是说不仅应具备机、电、光、气、液等相互结合的知识,还必须具备综合应用生产过程工艺规划、机电设备布局、系统建模与仿真、系统控制与检测、系统评价与优化等系统总体开发知识和能力。通过本课程的学习,掌握机电一体化生产系统开发的基础知识,对拓宽学生的知识面是很有意义的。

本书编审人员根据自身多年教学科研工作的经验,结合机械科学的发展趋势,提出以物流系统设计、能量流系统设计、信息流系统设计与系统建模与仿真的框架介绍机电一体化生产系统的设计方法。这一框架统一了种类繁多、性能各异的各种生产系统设计方法,使在有限的篇幅内将系统设计的关键技术介绍清楚成为可能。本书强调学生综合能力和工程能力的训练和培养,用许多工程实例介绍系统设计的基础知识和工程方法,并充分考虑了结合国情的工程实践的重要性。

本书是一本内容精炼、体系新颖的生产系统设计基础理论教材,在培养学生的综合能力与工程实践能力方面作出了有益的尝试。相信通过全国各地有关学校、专业的不断教学实践和共同努力,本书的体系和内容将会得到进一步的完善,成为一本培养 21 世纪机电一体化科技人才的优秀教材。

杨叔子

1999 年 9 月

前 言

本书是在机械工程类专业教学指导委员会机械电子工程教学指导小组指导下编写的“九五”国家级重点教材。

本书在介绍机电一体化生产系统的基本概念、系统开发工程路线与系统评价方法的基础上,结合机电一体化生产总体设计方法,重点针对物流系统、信息流系统、能量流系统设计及系统的建模与仿真进行了系统、详尽、深入浅出的分析与介绍。

在学生掌握了一定的机械、电子知识之后,如何将各种机电一体化设备组成机电一体化生产系统以满足工程应用的要求,这是本书要解决的最重要的问题。它既不同于机电一体化产品开发,也不是将机械、电子等要素简单堆砌所能解决的问题。本书以系统论、控制论、信息论为理论基础,充分考虑工程实践的重要性,通过工程实例介绍机电一体化生产系统设计方法,以求在培养机械电子工程专业方向本科生的创新能力、综合实践能力与工程能力方面作出有益的尝试。

讲授本课程参考学时为 50 学时。

本书由华南理工大学谢存禧、邵明主编,上海交通大学杨汝清、天津大学李佳、宁波大学顾熙棠、俞岳平、华南理工大学姚国兴参加编写,华中理工大学孙洪道、杨叔子、熊有伦主审。编写分工如下:谢存禧、邵明(第一、六章)、杨汝清(第四章、第七章第一节)、李佳(第二章、第五章)、顾熙棠、俞岳平(第三章、第七章第二节、第四节)、姚国兴(第七章第三节)。另有华南理工大学张征参加了部分章节的修改工作。

在本书的编写过程中,得到机械电子工程教学指导小组和上海交通大学王成焘教授、黄文振教授的帮助,在此仅向他们表示衷心的感谢。此外,向本书所参考和引用的有关资料的作者致以衷心的感谢。

限于编者的水平,加之本课程是一门新开设的课程,很多问题都有待进一步探讨,本书的缺点和不足,甚至谬误之处在所难免,殷切希望广大读者批评指正,编者将不胜感激。

编者

1999 年 7 月

目 录

序 前言

第一章 总论	1
第一节 概述	1
第二节 机电一体化生产系统设计方法	8
第三节 机电一体化生产系统开发工程路线	19
第二章 物流系统设计	20
第一节 送料系统设计	20
第二节 输送系统设计	28
第三节 物料搬运及存储设备的选择与设计	46
第三章 能量流系统设计	58
第一节 概述	58
第二节 能量流分析	63
第三节 机械能流支持系统设计	67
第四章 信息流系统设计	89
第一节 信息流系统结构	89
第二节 控制系统	94
第三节 自动检测与监控系统	99
第四节 人一机接口与网络通信	106
第五节 数据库系统	109

第五章 机电一体化生产系统建模与仿真	112
第一节 系统与仿真模型	112
第二节 离散事件系统建模方法	114
第三节 离散事件系统仿真的基本步骤	126
第四节 机电一体化生产系统的仿真	138
第六章 机电一体化生产系统总体设计	141
第一节 机电一体化生产系统总体设计的工作流程	141
第二节 机电一体化生产系统设备选择、布局与生产线节拍平衡	153
第三节 机电一体化生产系统优化	161
第七章 机电一体化生产系统设计实例介绍	166
第一节 汽车车身冲压生产线	166
第二节 柔性制造系统(FMS)	175
第三节 柔性装配系统(FAS)	182
第四节 自动化立体仓库	191
参考文献	198

第一章 总 论

第一节 概 述

一、机电一体化生产系统的概念

(一) 现代生产过程

生产过程是指以人、物、设备、资金以及传递的信息为资源，生产出具有实用价值的产品，提高产品附加价值的变换过程。生产过程不仅包括加工、装配等物理变换和反应、合成等化学变化的制造过程，而且包括供销、运输等时间变换、地点变换的服务过程。生产过程的观念如图 1-1 所示。

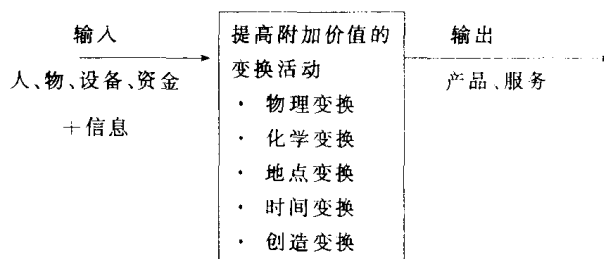


图 1-1 生产过程的概念

图 1-1 中所表示的地点变换，是将材料、零部件、产品等根据需求运送到指定地点，也就是通常所说的物流活动。仅有物理变换、化学变换而没有物流活动是不能形成生产活动的。时间变换要求制造及物流活动按计划执行，产品制造周期太长则造成产量不足，供货不及时，从而影响企业的声誉；产品流通周期太长则造成在库积压，降低了产品的价值。在产品种类和数量激烈变化的现代生产中，时间变换的重要性是不言而喻的。面对现代社会的需求，只将视线对准狭义生产范畴的制造过程，只在制造领域采取措施提高生产率就显得不够全面。只有面对市场变化及时作出正确的地点变换、时间变换，将开发、制造、销售有效地集成起来，并在此基础上充分利用信息技术，形成生产，才能全面满足现代社会的需求。

传统制造业可以区分为离散型制造业和连续型制造业。前者利用离散型资源或材料以人为中心加工、装配产品，后者使用连续型资源或材料以设备为中心通过反应、合成、分离等连续工艺制造产品。在现代生产过程中，上述区别变得不很明显。这主要表现在两个方面：一方面，一种产品的制造过程同时包含了两种不同类型的制造业，例如半导体制造，光掩模生成、腐蚀等前期生产工艺是连续型，而配线等后期生产工艺是离散型。另一方面，装配业等传统的离散型制造业随着自动化程度的提高而演变成连续型，而传统的连续型产业随着产品的多品种化，演变成品种频繁变换的小批量生产，几乎具备了离散型产业的所有特征。

现代生产的另一个重要特征是随着产品生命周期的缩短，在产品的设计开发阶段就必须全面考虑制造、销售、使用直至废弃、回收的问题。生产实践证明，如在产品设计中存在种种问题，则在制造过程中无论如何努力补救都收效甚微。设计阶段没有解决好的质量、工艺问

题，如在整个生产过程中发现问题越迟，则解决问题的费用以指数函数增加，付出的代价也就越大。因此，只有在生产过程的源头，即在产品开发时就全面考虑整个生产过程的所有问题，才能实现信息共享，采用并行工程的方法进行开发。由此可见，在现代生产过程中，基于新思想、新概念的创造性变换也是一项不可忽视的任务。

综上所述，现代生产活动的范围如图 1-2 所示。它包括两个系统：一是根据市场信息制定生产计划，进行调度、制造、配送、销售等所组成的制造销售系统；另一个是从新产品的策划、开发、设计、试制，直到为投产进行准备等所组成的新产品开发系统。在现代生产中，参与竞争的已不限于单一企业，而是从新产品开发到制造、销售所有相关企业共同参与，也就是通常所说的企业集团之间的竞争。

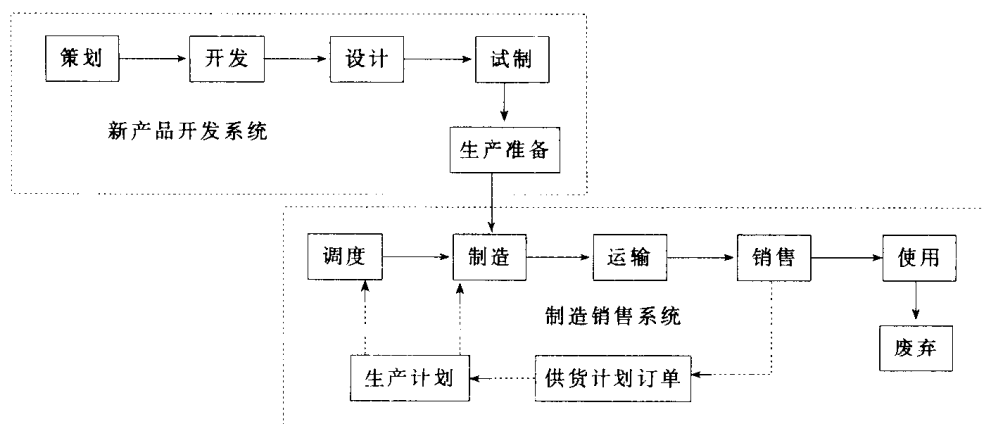


图 1-2 现代生产活动的范围

（二）机电一体化技术

机电一体化技术是上世纪 50 年代以来，在传统技术基础上，随着电子技术、计算机技术，特别是微电子技术和信息技术的发展而发展起来的新技术。机电一体化技术是机械技术同微电子技术和信息技术有机结合而成的一种高级综合性技术。

由于机电一体化技术对工业发展具有巨大推动力，因此世界各国均将其作为工业技术发展的一项重要战略。70 年代起在发达国家兴起了一股机电一体化热，应用范围从一般数控机床、加工中心发展到智能机器人和柔性制造系统（FMS），将设计、制造、销售、管理集成为一体的计算机集成制造系统（CIMS）。并渗透到自动生产线、激光切割、印刷机械等领域。

1. 机电一体化技术的主要特征

机电一体化技术的主要特征是：

（1）整体结构最优化 在传统机械产品中，为了增加一种功能，或实现某一种控制规律，往往靠增加机械机构的办法来实现。例如，为了达到变速的目的，出现了有一系列齿轮组成的变速箱；为了控制机床的走刀轨迹而出现了各种形状的靠模；为了控制柴油发动机的喷油规律出现了凸轮机构等等。随着电子技术的发展，人们逐渐发现，过去笨重的齿轮变速箱可以用轻便的电子调速装置来代替；精确的运动规律可以通过计算机的软件来调节。由此看来，在设计机电一体化系统时，可以从机械、电子、硬件、软件四个方面去实现同一种功能。一个高明的设计师，可以在这个更加广阔的天空里充分发挥自己的聪明才智，设计出整体结构最优的系统。

这里所说的“最优”不一定是什么尖端技术，而是指满足用户的要求。它可以是以高效、

节能、节材、安全、可靠、精确、灵活、价廉等等许多指标中用户最关心的一个或几个指标为主进行衡量的结果。机电一体化技术的实质是从系统的观点出发,应用机械技术和电子技术进行有机的组合、渗透和综合,以实现系统最优化。

(2) 系统控制智能化 这是机电一体化技术与传统的工业自动化最主要的区别之一。电子技术的引入显著地改变了传统机械那种单纯靠操作人员,按照规定的工艺顺序或节拍,频繁、紧张、单调、重复的工作状况。可以依靠电子控制系统,按照预定的程序一步一步地协调各相关机构的动作及功能关系。有些高级的机电一体化系统,还可以通过被控制对象的数学模型,根据任何时刻外界各种参数的变化情况,随机自寻最佳工作程序,以实现最优化工作和最佳操作。大多数机电一体化系统都具有自动控制、自动检测、自动信息处理、自动修正、自动诊断、自动记录、自动显示等功能。在正常情况下,整个系统按照人的意图(通过给定指令)进行自动控制,一旦出现故障,就自动采取应急措施,实现自动保护。在某些情况下,单靠人的操纵是难以应付的,特别是在危险、有害、高速、精确的使用条件下,应用机电一体化技术不但是有利的,而且是必要的。

(3) 操作性能柔性化 计算机软件技术的引入,能使机电一体化系统的各个传动机构的动作通过预先给定的程序,一步一步地由电子系统来协调。在生产对象变更需要改变传动机构的动作规律时,无须改变其硬件机构,只要调整由一系列指令组成的软件,就可以达到预期的目的。这种软件可以由软件工程人员根据要求动作规律及操作事先编好,使用磁盘或数据通信方式,装入机电一体化系统里的存储器中,进而对系统机构动作实施控制和协调。

2. 机电一体化的共性关键技术

机电一体化的共性关键技术是:

(1) 检测传感技术 传感与检测装置是系统的感受器官,它与信息系统的输入端相联并将检测到的信号输送到信息处理部分。传感与检测是实现自动控制、自动调节的关键环节,它的功能越强,系统的自动化程度就越高。

传感与检测的关键元件是传感器。传感器是将被测量(包括各种物理量、化学量和生物量等)转换成系统可以识别的,与被测量有确定对应关系的有用电讯号的一种装置。机电一体化技术要求传感器能快速、精确地获得信息,并能在相应的应用环境中,具有高的可靠性。

(2) 信息处理技术 信息处理技术包括信息的输入、变换、运算、存储和输出技术。信息处理的硬件包括有输入/输出设备、显示器、磁盘、计算机、可编程序控制器和数控装置等。实现信息处理的工具是计算机,因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。

在机电一体化系统中,计算机与信息处理部分指挥及实时控制整个系统工作的质量和效率,因此计算机应用及信息处理技术已成为促进机电一体化技术发展和变革的最活跃的因素。

(3) 自动控制技术 自动控制技术范围很广,主要包括:基本控制理论;在此理论指导下,对具体控制装置或控制系统的设计;设计后的系统仿真,现场调试,系统可靠的投入运行等。由于控制对象种类繁多,所以控制技术的内容极其丰富,例如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、再现、检索等。

由于计算机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机控制技术联系在一起,成为机电一体化中十分重要的关键技术。

(4) 伺服驱动技术 伺服驱动技术主要是执行系统和机构中的一些技术问题。伺服驱动的动力类型包括电动、气动、液动等。由微型计算机通过接口输出信息至伺服驱动系统,再

由伺服驱动器控制它们的运动，带动工作机械作回转、直线以及其它各种复杂的运动。伺服驱动技术是直接执行操作的技术，伺服系统是实现电信号到机械动作的转换装置与部件。它对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动装置有电液马达、脉冲液压缸、步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。近年来由于变频技术的进步，交流伺服驱动技术取得突破性进展，为机电一体化系统提供高质量的伺服驱动单元，促进了机电一体化技术的发展。

(5) 精密机械技术 机电一体化技术要求精密机械减轻重量、减少体积、提高精度、提高刚度、改善性能，而且还应延长机械部分的使用寿命，提高关键零部件的精度，使零部件模块化、标准化、规格化，从而提高维修效率，减少停工时间。

(6) 系统总体技术 系统总体技术是一种从整体目标出发，用系统的观点和方法，将总体分解成若干功能单元，找出能完成各个功能的技术方案，再把功能与技术方案组成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术包括的内容很多，例如接口转换、软件开发、微机应用技术、控制系统的成套性和成套设备自动化技术等。即使各个部分的性能、可靠性都很好，如果整个系统不能很好协调，系统也很难保证正常运行。

接口技术是系统技术中的一个重要方面，它是实现系统各部分有机连接的保证。接口包括电气接口、机械接口、人一机接口。电气接口实现系统间信号连接，机械接口则完成机械与机械部分、机械与电气装置部分的连接，人一机接口提供了人与系统间的交互界面。

3. 机电一体化技术与其它技术的区别

机电一体化一词经常被人误解或与其它技术混淆，为求正确理解和恰当运用机电一体化技术，这里简单加以说明。

(1) 机电一体化技术与传统机电技术的区别 传统机电技术的操作控制大都以基于电磁学原理的各种电器（如继电器、接触器等）来实现，在设计过程中不考虑或很少考虑彼此之间的内在联系。机械本体和电气驱动界限分明，整个装置是刚性的，不涉及软件。机电一体化技术以计算机为控制中心，在设计过程中强调机械部件和电子器件的相互作用和影响，整个装置包括软件在内，具有很好的灵活性。

(2) 机电一体化技术与并行工程的区别 机电一体化技术将机械、微电子、计算机、控制和电子技术在设计和制造阶段有机地结合在一起，十分注意机械和其它部件之间的相互作用。而并行工程是将上述各种技术尽量在各自范围内齐头并进，在不同技术的内部进行设计制造，最后完成整体装置。

(3) 机电一体化技术与自动控制技术的区别 自动控制技术的侧重点是讨论控制原理、控制规律、分析方法和自控系统的构造等。机电一体化技术是将自动控制原理及方法作为重要支撑技术，将自控部件作为重要控制部件。它应用自控原理和方法，对机电一体化装置进行系统分析和性能估测，但机电一体化技术往往强调的是机电一体化系统本身。

(4) 机电一体化技术与计算机应用技术的区别 机电一体化技术只是将计算机作为核心部件应用，目的在于提高和改善系统性能。机电一体化技术研究的是机电一体化系统，而不是计算机应用本身。

(三) 机电一体化生产系统

机电一体化生产系统是运用机电一体化技术，把各种机电一体化设备按目标产品的要求组成的一个高生产率、高柔性、高质量、高可靠性、低能耗的生产系统。机电一体化生产系

统以机为主，机、电、光、气、液相互结合。它不仅包括机电工程产业中的各种生产系统，而且包括非机电工程产业的各种生产系统，覆盖面更广；生产对象以固体物料为主，兼顾液体、气体等其它物料。

制造系统是最常见的机电一体化生产系统，根据国际生产工程学会（CIRP）于1990年公布的制造系统的定义是：制造系统是制造业中形成制造生产（简称生产）的有机整体，在机电工程产业中，制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体化功能。据此定义，并考虑到大量制造系统广泛采用机电一体化技术，本文将制造系统作为机电产业的机电一体化生产系统来介绍。由于生产实践中大量的制造系统被开发应用，本书所例举的机电一体化生产系统实例中也有许多是制造系统的典型实例。

机电一体化生产系统的设计以系统中的物流系统、能量流系统、信息流系统描述为基本结构展开，并着重讨论多变量、多输入/输出机电一体化生产系统的规划、布局、评估、仿真等系统设计方法。

进入90年代以来，人们对生产自动化的认识发生了很大变化，其主要表现是：

1) 在自动化系统中强调人的作用。以计算机集成制造系统为例，在强调技术管理集成的同时，也强调人的集成，突出人在自动化系统中的作用。70年代提出的工厂“全盘自动化”的思想已趋消失。

2) 以经济、实用为出发点的面向中小企业综合自动化系统得到迅速发展。如德国政府在1988年制定的计算机集成制造（CIM）规划中，拟参加该计划的中小企业（小于500人）约占80%。美国也认识到占制造业企业总数76%的中小企业实现综合自动化的重要性，美国与日本已着手研制适用于中小企业的基于微机的Micro-CIM、Micro-CAD/CAM等。我国政府也将“面向制造业中小企业的综合自动化技术”列入机械、汽车工业“九五”科技规划发展纲要。

由此可见，90年代之前开发应用机电一体化生产系统是以人力物力财力雄厚的大企业为主要对象。因为其开发周期长，投资大，难度大，风险大，见效慢，人员素质要求高。进入90年代，生产自动化发展的明显趋势是面向占绝大多数的中小企业，其特点是强调人的参与与集成，这就使其投资强度降低，开发周期缩短，减少了企业承担的风险，加快见到效益的进程。因此，对广大中小企业具有吸引力。

根据上述机电一体化生产系统所具有的意义，考虑到90年代以来生产自动化的发展趋势，本书在讨论机电一体化生产系统设计时不仅介绍了大型的、先进的自动化生产系统的设计方法，而且也适当介绍了适合我国广大中小企业适用的小型、具有一定先进性的生产系统和生产线的设计方法。

二、机电一体化生产系统的组成

计算机集成制造系统（CIMS）是典型的机电一体化生产系统，以下通过这个实例来介绍机电一体化生产系统的组成。

计算机集成制造系统一般由4个功能分系统和2个支撑分系统构成。图1-3表示6个系统的框图以及与外部信息的联系。4个功能分系统分别是管理信息系统、产品设计与制造工程设计自动化系统、制造自动化（柔性制造）系统、质量保证系统；2个支撑分系统为计算机通信网络系统及数据库系统。

（1）管理信息系统 管理信息系统是以制造资源计划MRP-Ⅱ（Manufacturing Resource

Planning) 为核心, 包括预测、经营决策、各级生产计划、生产技术准备、销售、供应、财务、成本、设备、工具、人力资源等管理信息功能, 通过信息集成, 以达到缩短产品生产周期、降低流动资金占用, 提高企业应变能力的目的。因此, 必须认真分析生产经营中物质流、信息流和决策流的运动规律, 研究它们与企业各项经营、生产效益目标的关系, 对企业生产经营活动中产生的各种信息进行筛选、分析、比较、加工、判断, 从而实现信息集成与信息优化处理, 保障企业能够有节奏、高效益地运行。

(2) 产品设计与制造工程设计自动化系统
它是用计算机辅助产品设计、制造准备以及产品性能测试等阶段的工作。通常称为 CAD/CAPP/CAM 系统。它可以使产品开发工作高效、优质地进行。

CAD 系统 (Computer Aided Design) 包括产品结构的设计, 定型产品的变型设计及模块化结构的产品设计。

CAPP 系统 (Computer Aided Process Planning) 则完成用计算机按设计要求将原材料加工成产品所需要的详细工作指令的准备工作。

CAM 系统 (Computer Aided Manufacturing) 通常进行刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成。

产品设计和制造工程设计自动化系统在接到管理信息系统下达的产品设计指令后, 进行产品设计、工艺过程设计和产品数控加工编程, 并将设计文档、工艺规程、设备信息、工时定额送给管理信息系统, 将 NC 加工等工艺指令送给制造自动化系统。

(3) 制造自动化 (柔性制造) 系统 它是在计算机的控制与调度下, 按照 NC 代码将毛坯加工成合格的零件并装配成部件或产品。制造自动化系统的主要组成部分有: 加工中心、数控机床、运输小车、立体仓库及计算机控制管理系统等。

(4) 质量保证系统 通过采集、存储、评价与处理存在于设计、制造过程中与质量有关的大量数据, 从而提高产品的质量。

(5) 两个支撑系统

1) 网络系统: 它是 CIMS 各个系统的开放型网络通讯系统, 采用国际标准和工业标准规定的网络协议 (如 MAP, TCP/IP) 等, 可实现异种机互联, 异构局域网及多种网络的互联, 满足各应用分系统对网络支持服务的不同需求, 支持资源共享、分布处理、分布数据库、分层递阶和实时控制。

2) 数据库系统: 它支持 CIMS 各分系统, 覆盖企业全部信息, 以实现企业的数据共享和信息集成。数据库系统通常采用集中与分布相结合的 3 层递阶控制体系结构——主数据管理系统、分布数据管理系统、数据控制系统, 以保证数据的安全性、一致性、易维护性等。

一般机电一体化生产系统可看作是由物流系统、能量流系统、信息流系统等子系统组成的。下述将以一个机电一体化生产系统的典型实例——柔性制造系统 (FMS), 对机电一体化生产系统的组成作进一步说明。

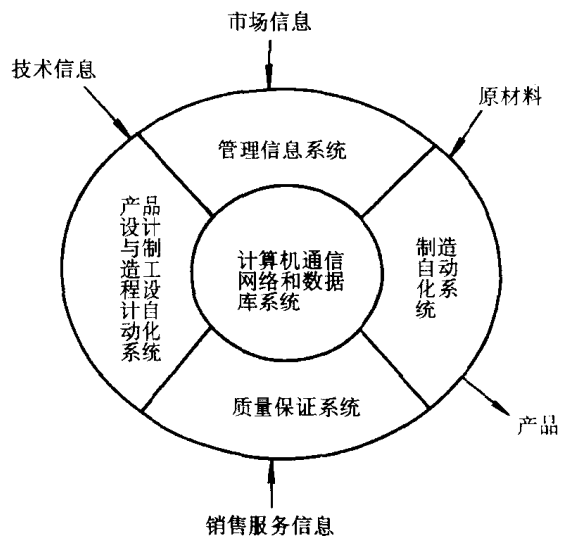


图 1-3 CIMS 组成框图

图 1-4 是一个柔性制造系统的实例，它由数控车床、车削中心、立式加工中心、卧式加工中心和 1 台清洗机，一个刀具管理中心、一个自动化仓库、两台搬运小车、上下工件机器人及控制台等设备组成。工件刀具由无人搬运小车（系统备有 2 台）搬运，工件的保管和准备在自动化仓库内进行。加工中心及清洗机的上、下工件由机器人执行（图 1-4 中未画出）。系统使用的刀具由刀具管理装置管理。表 1-1 列出了该系统加工的部分工件，表中两行数字上面一行表示设备加工顺序，下面一行表示加工（或处理）的时间，单位是 s。由此可以看出，加工顺序不同，加工时间不同的多种工件可以在系统内自动加工，充分显示了系统的柔性特征。

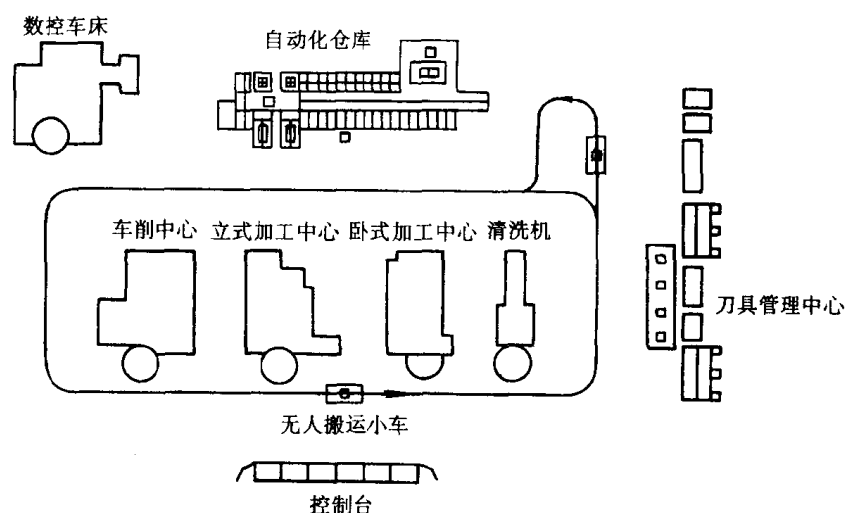


图 1-4 柔性制造系统实例

表 1-1 工件的加工顺序与加工时间

工件序号	数控车床	车削中心	立式加工中心	卧式加工中心	清洗机
1	1 116.4	2 306	3 604.7	5 793.8	4.6 180 (×2)
2		1 255.6	2 510		3 180
3	1 386.4				
4	1 291.6				
5		1 666.6			
6		1 605.4			
7			1 791.4	3 853.2	2.4 180 (×2)
8			1 796.2		2 180
9				1 864	2 180

1. 物流系统

在柔性制造系统中工件流工具流概称为物流系统，一般由三个部分组成：

- 1) 输送系统：使加工设备之间建立自动运行的联系；
- 2) 储存系统：具有自动存取机能，用以调节加工节拍的差异；
- 3) 操作系统：建立加工设备与输送系统、储存系统间的自动化联系。

物流系统包括无人搬运小车、机器人、自动化仓库、工具管理装置等。柔性制造系统的物流可以是无固定节拍、无一定顺序的运送流，加工过程中繁多工件及工具混杂在一起，因此物流系统相当复杂。

2. 能量流系统

能量流系统可以分成两个分支：刀具系统和设备系统。刀具系统中讨论如何向材料提供能量以及中介质的应用问题，设备系统中讨论由设备提供的能量所具有的特征以及用于产生这些特征的能量类型。对于机电一体化生产系统，人们常常根据设备系统的特征给能量流系统命名，如柔性制造系统的设备系统主要由数控机床和加工中心组成，通常就称其为加工系统，这并没有改变系统的能量供应、能量转换的实质。为了统一种类繁多、性能各异的机电一体化生产系统的传动系统、执行系统和操作系统，以简明扼要的方式介绍其设计方法，本书采用工艺过程的形态学模式中的能量流概念将其统一为能量流系统。

3. 信息流系统

信息流系统的硬件包括计算机控制系统及信息通信网络，软件包括运行控制系统、质量保证系统、数据管理和通信网络系统。它们的主要任务是组织和指挥制造流程，对制造流程进行控制和监视；向能量流系统、物流系统提供全部控制信息并进行过程监控，反馈各种在线检测的数据，以便修正控制信息保证安全运行。

第二节 机电一体化生产系统设计方法

一、机电一体化生产系统设计的理论基础

机电一体化技术是多学科复合交叉型综合技术。机电一体化生产系统是含有物流、能量流、信息流等多参量、多输入/输出的复杂系统，构成系统的理论基础是系统论、控制论和信息论。

系统论是运用完整性、集中化、等级结构、终极性、逻辑同构等概念，探求适用于一切系统的模式、原则与规律的理论与方法。它把整体性原则作为系统方法的基本出发点，是从系统观发展而成的一门科学。一般系统论应该包括三个方面：①适用于一切（或一定的）种类的系统的理论和数学系统理论；②系统技术，或称系统工程；③系统哲学。

自觉地运用系统工程的观念和方法，把握好系统的组成和作用的规律，对机电一体化生产系统设计的成败有关键意义。广义地说，系统工程包括对系统的构成要素、组织结构、信息交换、自动控制和最优管理的目标所采用的各种组织管理技术。狭义地说，系统工程包括对系统的分析、综合、模拟、最优化等技术。系统工程是一门工程学方法论，其基础是系统思考。常用方法和步骤为：①建立模型（描述系统每部分及其性能的指标测定准则和决定系统重要特征的数量关系）；②最优化（把系统可调部分调到最佳性能）；③系统评价（对系统设计进行鉴定）。

控制论是研究生物（包括人类）和机器中的控制和通信的普遍原则和规律的学科，有工程控制论、生物控制论和经济控制论等不少分支。主要研究上述过程的数学关系，而不涉及过程内在的物理、化学、生物、经济或其它方面的现象。控制论涉及信息论、电子计算机理论、自动控制理论、现代数学理论等各门学科。通过控制论的研究，使生产自动化、国防科学、经济管理、仿生学进入到一个新的阶段。

信息论是研究信息及其传输的一般规律的科学。狭义指通信系统中存在的信息传递和处理的共同规律的科学。广义指应用数学和其它有关科学的方法，研究一切现实系统中存在的信息传递和处理以及信息识别和利用的共同规律的科学。信息学描述的规律具有高度的普遍性、被迅速应用于不同领域，产生并形成信息科学。信息科学是研究生物、人类和计算机信息的产生、获取、传输、存储、显示、识别、传递、控制和利用的理论。研究的重要课题之一，是设计、制造各种智能信息处理机器和设备，并实现操作自动化。

基础理论的发展促进技术进步，而技术进步也推动基础理论的不断发展与完善。“机电一体化”强调机电结合中运用共性技术与理论的重要性，只有充分掌握并自觉运用共性理论与技术的成果，才能设计与开发出机电深度结合的、真正机电一体化的生产系统。

二、机电一体化生产系统设计的特点

机电一体化生产系统设计有如下特点：

(1) 多目标 生产系统的设计除了要满足用户要求外，还要满足成本低、运行可靠、易维护，以及投资回收期短，效益—费用比高等技术经济要求。

(2) 相关性 系统的整体性和目的性决定了生产系统设计的相关性。

(3) 不确定性 不仅系统的未来发展难以确定，就是在系统内部各元素之间的关系有时也难以定量确定。

(4) 多假定 为了便于求解，系统的理论模型必然包含许多假定。

(5) 多参数 由于系统的复杂性，描述系统的参数多，而且有的数量关系只能依据已有的经验和实际情况选定。

由于上述特点，系统设计要使用多种工具：定量分析和定性分析相结合，规划和仿真相结合，数学推导和专家意见相结合。

机电一体化生产系统面对用户、社会和市场环境，受到世界经济竞争形势和技术发展速度及产品更新换代速度的冲击。国际上工业高速发展和贸易竞争加剧，迫切要求大幅度地提高机电一体化生产系统设计工作的质量和速度。在机电一体化生产系统设计中推广运用现代设计方法，提高设计水平，是机电一体化生产系统设计方法发展的必然趋势。

三、系统设计技术

（一）系统设计的目的

机电一体化生产系统设计的目的是综合运用机械技术和电子技术各自的特长，迅速建成一个能够经济、有效、方便、可靠地满足用户需要的生产系统。

（二）系统设计的原则

系统设计是一种创造性活动，必须依靠思考和推理，综合运用多种学科的专门知识和丰富的实践经验，才能获得正确、合理的设计。在系统设计时，需要考虑的因素很多，有技术的、经济的、社会的因素，但对于机电一体化生产系统设计，有如下一些共同的基本原则需要遵守，它们是：

(1) 机电互补原则 既然是机电一体化系统,就要打破传统设计的思维方式,综合考虑机械技术和电子技术各自的特点,达到优势互补。例如在经常需要调整转速的场合,用电子调速装置代替齿轮变速装置,不仅可以提高调速精度,而且灵活方便;采用可编程控制器(PLC)代替电磁式继电器,不但可以大大提高系统的可靠性,而且可以减小系统的体积和重量,给系统设计提供更大的灵活性。这就要求系统设计工作者从机械技术、电子技术、硬件技术和软件技术四个方面权衡经济和技术上的利弊得失,采取正确的选择方法。

(2) 功能优化原则 这里主要指在系统设计时,要抓住用户最关心的技术指标,特别是系统的可靠性、实用性、经济性等。对各种相关技术进行优化组合,而不是片面追求高指标、全功能。

(3) 自动化、省力化原则 高精度、高效率、高可靠性是机电一体化生产系统的重要指标,因此要求系统在运行过程中能实现自动控制、自动检测、自动调节、自动记录及自动显示;在出现故障时能进行自动诊断,自动采取应急措施,实现自动保护等;在工作对象变化时,能够灵活改变其工作状态,实现最大限度的柔性化;最大限度地减少人的干预,降低人的体力和智力劳动强度,尽可能排除人为的不利因素影响。

(4) 效益最大原则 要在满足用户的目标功能和适当的使用寿命的前提下,最大限度地降低成本。要合理选用材质和零件,正确进行结构设计,简化制造工艺,降低生产成本。积极采用先进适用的成熟技术,提高系统的技术附加价值,增强系统的竞争力。要使系统运行可靠,维修方便,减少消耗,合理利用自然资源,降低用户的使用成本。要实现系统的合理排放,减少对环境的污染,以提高其社会效益。

(5) 开放性原则 所谓开放性,是指以一组标准、规范或约定的原则来统一这个系统的接口、通信和与外部的连接,使系统能容纳不同厂家制造的设备及软件产品,同时又能适应未来新技术的发展。要使系统具有开放性,在系统设计时必须选择并贯彻一系列的标准、规范和约定,这样,才能在此基础上比较容易地实现软件的可移植性和可操作性。

(三) 系统设计的类型

机电一体化生产系统设计的分类如下:

(1) 开发性设计 它是在既没有参考样板又没有具体设计方案的情形下,仅根据抽象的设计原理和对新系统的性能要求进行设计,具有很强的突破性和创新性。

(2) 适应性设计 它是指在总的方案原理基本保持不变的情况下,对现有系统进行局部更改,例如用电子装置代替原有的机械结构,或者为了实现电子化控制,对机械结构进行的局部适应性变动。

(3) 变异性设计 是指在设计方案和功能结构不变的情况下,仅改变现有系统的规格尺寸,使之适应某种量值变化的要求。

(四) 系统设计方法

设计机电一体化生产系统有两种做法,称为分层法和分块法。以下以柔性制造系统设计为例对这两种方法进行介绍。

1. 分层法

分层法是将柔性制造系统的物理单元、功能单元、布局方法和零件的分析划分成三个层次进行设计。第一层称为战略层,由高级管理部门完成其设计过程,可概括为技术性设计和经济性设计两部分。由图 1-5 可知,这一层以选择零件族开始,最后选择最优系统,即确定柔

性制造系统的物理结构。第二层为战术层,如图 1-6 所示,这一层根据原材料和零部件的需要日期以及完工产品的交货日期制订生产计划,这一层还包含了生产的组织、工艺规划的制订等内容。第三层为工作层,这一层是关于柔性制造系统运行时所要求的详细决策,可分为投料问题和调度问题。

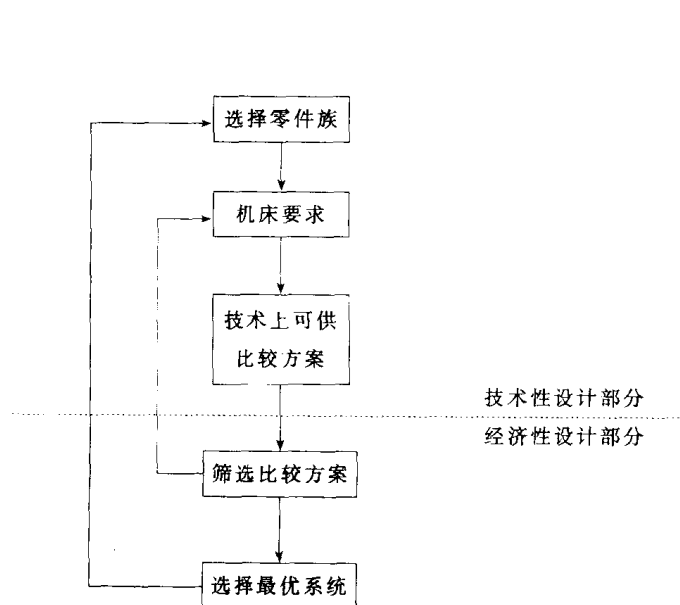


图 1-5 分层法战略层设计过程

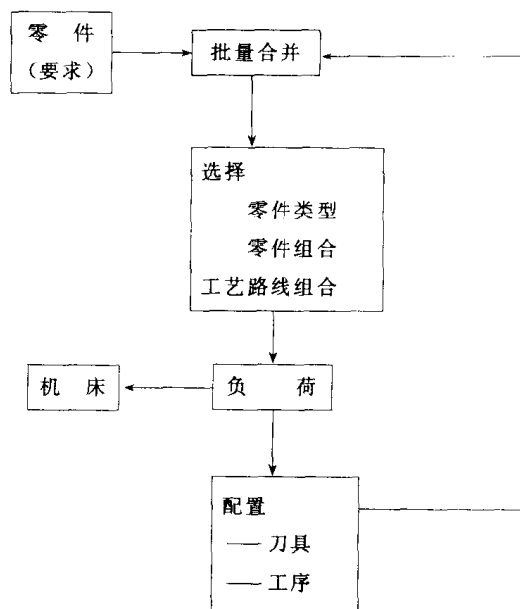


图 1-6 分层法战术层设计过程

2. 分块法

分块法是将柔性制造系统设计分成零件选择、物理结构设计、功能设计、布局设计和调度策略设计等模块。各自设计并列组合而成。这种设计法直观、易理解、操作性较好。各模块的主要内容如下:

(1) 零件选择 根据企业发展方向和产品的远期规划,选择既满足市场当前需求又具有发展潜力的产品的零件族作为系统加工对象。要对零件的品种规格、产量、批量和精度要求、工艺要求、几何形状、材料要求等作出详细说明。

(2) 物理结构设计 系统的物理结构设计包括:加工(或装配)单元的选择;物流运贮系统的选择;控制系统的硬件设计。

(3) 功能设计 除物流控制以外,还要考虑系统的以下功能:监控功能,如监视工艺系统的工作状态;质量控制功能,如检测工件的质量,自身抽检样品;辅助功能,如冷却、排屑、清洗等;人机对话功能和自我诊断功能等等。

(4) 布局设计 即根据工艺流程和设备之间的运输量确定各设备的最佳位置。

(5) 调度策略的设计 设计工件输入、小车调度的规划,确定投料和调度的具体方案。

柔性制造系统的运行过程具有多品种多规格的零件在多台机床上并行加工且与运输过程并行工作的特点,这也是机电一体化生产系统的最大特点。在机电一体化生产系统设计时,往往建立确定性的数学模型比较困难,因而常采用仿真方法将硬件设计和软件设计一起进行,通过构造初始设计—仿真—修改—仿真的多循环方式,制定出最后的方案。

四、系统评价方法