

高等学校机械工程及自动化

机械设计制造及其自动化



专业系列教材

# 机电一体化 系统设计

侯力 樊庆文 黄成祥 向国齐 编著



高等教育出版社

高等学校机械工程及自动化  
(机械设计制造及其自动化)专业系列教材

# 机电一体化系统设计

侯力 樊庆文 黄成祥 向国齐 编著

殷国富 主审

高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书详细地介绍了机电一体化系统的功能、构成、原理和机电一体化的共性关键技术,并系统地介绍了机电一体化系统中机械系统、伺服驱动系统、检测系统、控制系统的设计方法。

全书共分5章,第1章绪论;第2章机电一体化典型零部件设计;第3章伺服驱动技术;第4章传感检测系统设计;第5章计算机控制技术。全书内容清晰、结构紧凑、实用性强。

为了方便学生学习和教师课堂教学,各章都给出了一定量的习题与思考题。

本书可作为普通高等学校机械类各专业的教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业的教材,亦可供相关的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/侯力等编著. —北京:高等教育出版社,2004.6

ISBN 7-04-014518-9

I. 机... II. 侯... III. 机电一体化-系统设计-高等学校-教材 IV. TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第031030号

策划编辑 卢 广 责任编辑 卢 广 封面设计 李卫青 责任绘图 尹文军  
版式设计 王艳红 责任校对 杨凤玲 责任印刷 杨 明

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总 机 010-82028999

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 中国农业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 12.75  
字 数 300 000

版 次 2004年6月第1版  
印 次 2004年6月第1次印刷  
定 价 16.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 前 言

机电一体化是在微电子技术、计算机技术、信息技术向机械工业渗透过程中逐渐形成并发展起来的一门新兴的综合性技术学科。目前,机电一体化技术已受到普遍重视,并广泛应用于机械制造、仪器仪表、电气信息、医疗设备、交通运输、航空航天等行业,已成为现代技术和经济发展中不可缺少的一种高新技术;机电一体化技术应用生产的机电一体化产品已遍及人们日常生活和国民经济的各个领域。为了在当今国际范围内激烈的技术、经济竞争中占据优势,世界各国纷纷将机电一体化的研究和发展作为一项重要内容而列入本国的发展计划。21世纪我国将成为世界制造业的重要基地,因此机电一体化系统设计成为机械、自动控制等专业较重要的一门专业课程。

机电一体化是一门实践性非常强的综合性技术学科,所涉及的知识领域非常广泛,现代各种先进技术构成了机电一体化的技术基础。但机电一体化并非是这些技术的简单叠加,它的灵魂是突出强调这些技术的相互渗透和有机结合,从而形成某一单项技术所无法达到的优势,并将这种优势通过性能优异的机电一体化产品而体现出来,转化成强大的生产力。因而,高等工程教育不应仅仅限于向学生分门别类地介绍机械技术、微电子技术、计算机技术等机电一体化共性关键技术,还应在此基础上更进一步地通过专业课教学及相应实践教学环节,使学生真正了解和掌握机电一体化的重要实质及机电一体化设计的理论和方法,从而能够灵活地综合运用这些技术进行机电一体化产品的分析、结构设计与新产品开发,达到系统地掌握机电一体化系统设计和运用的目的。

因此,我们总结几年来教学和科研的经验,在广泛收集资料和在原有课程讲义的基础上编写了此书,希望它能够成为一本适用的专业课教材。

本书由四川大学制造科学与工程学院侯力(第1章,第2章,第5章5.1、5.3)、樊庆文(第3章、3.1、3.3、3.4)、黄成祥(第4章4.1、4.2、4.3)、向国齐(第5章5.2、5.4)编写,蒲茜(第3章3.2)、李耀东(第4章4.4)编写,周自波参加了全书英文的校对工作。

本书由四川大学制造科学与工程学院殷国富教授主审,作者在此表示感谢。

限于编者的水平,书中错误疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者  
2003.6 于四川大学

# 目 录

第1章 绪论 .....	1	2.3.4 滚珠螺旋传动 .....	48
1.1 机电一体化概念 .....	1	2.4 支承部件 .....	56
1.1.1 我国对机电一体化的理解 .....	2	2.4.1 轴系 .....	56
1.1.2 机电一体化技术的主要特征 .....	2	2.4.2 密珠轴系 .....	60
1.1.3 机电一体化技术与其它技术的区别 .....	3	2.4.3 滚动导轨 .....	62
1.2 机电一体化系统的共性关键技术 .....	3	习题与思考题 .....	66
1.3 机电一体化系统的功能构成原理及构成要素 .....	5	第3章 伺服驱动技术 .....	67
1.3.1 机电一体化系统的功能构成原理 .....	5	3.1 伺服系统的结构组成及分类 .....	67
1.3.2 机电一体化的功能构成要素 .....	7	3.2 步进电动机控制系统 .....	70
1.4 机电一体化系统设计、广义接口和控制软件的作用 .....	8	3.2.1 步进电动机 .....	70
1.4.1 机电一体化系统设计 .....	8	3.2.2 环形分配器 .....	72
1.4.2 广义接口和控制软件的作用 .....	10	3.2.3 功率驱动器 .....	75
1.4.3 机电一体化系统的技术评价 .....	12	3.2.4 步进电动机的单片机控制 .....	79
1.5 机电一体化产品的分类 .....	13	3.2.5 提高系统精度的措施 .....	82
1.6 机电一体化的特点及发展趋势 .....	14	3.3 直流伺服系统 .....	82
1.7 本课程的目的和要求 .....	15	3.3.1 直流伺服系统原理 .....	83
习题与思考题 .....	15	3.3.2 直流伺服系统的稳态误差分析 .....	92
第2章 机电一体化典型机械零部件设计 .....	17	3.3.3 直流伺服系统的动态校正 .....	94
2.1 机电一体化系统中主要机械特性与参数 .....	17	3.4 交流伺服系统 .....	98
2.1.1 机械系统建模中基本物理量的描述和等效转化 .....	17	3.4.1 异步交流伺服电动机的变频调速的基本原理及特性 .....	98
2.1.2 机械结构因素对伺服系统的影响 .....	23	3.4.2 异步电动机变频调速系统 .....	99
2.2 机械系统的精度设计基础 .....	27	习题与思考题 .....	102
2.2.1 精度设计中的主要原理与原则 .....	27	第4章 传感检测系统设计 .....	103
2.2.2 精度设计中的基本概念 .....	32	4.1 传感检测系统概念 .....	103
2.3 机械传动部件 .....	37	4.2 模拟式传感器信号的检测 .....	104
2.3.1 机电一体化对机械传动的要求 .....	37	4.2.1 模拟信号检测系统的组成 .....	104
2.3.2 齿轮传动 .....	38	4.2.2 基本转换电路 .....	104
2.3.3 谐波齿轮传动 .....	44	4.2.3 信号放大电路 .....	106
		4.2.4 信号调制和解调电路 .....	113
		4.2.5 滤波器 .....	121
		4.2.6 运算电路 .....	129
		4.3 数字式传感器信号的检测 .....	133

4.3.1 数字信号检测系统的组成 .....	133	5.2.3 模/数转换接口 .....	168
4.3.2 检测信号的采集和预处理 .....	141	<b>5.3 工业控制计算机简介 .....</b>	<b>172</b>
<b>4.4 集成传感器及智能传感器 .....</b>	<b>154</b>	5.3.1 工业控制计算机系统硬件组成的一般形式 .....	172
<b>习题与思考题 .....</b>	<b>156</b>	5.3.2 工业控制机分类 .....	173
<b>第 5 章 计算机控制技术 .....</b>	<b>158</b>	5.3.3 STD 总线工业控制计算机 .....	177
<b>5.1 计算机控制系统的组成及特点 .....</b>	<b>158</b>	<b>5.4 计算机控制算法 .....</b>	<b>180</b>
5.1.1 计算机控制系统的类型 .....	160	5.4.1 模拟装置的数字化方法 .....	181
5.1.2 计算机控制技术的发展方向 .....	161	5.4.2 数字 PID 调节器的设计 .....	187
<b>5.2 计算机控制系统的接口技术 .....</b>	<b>161</b>	<b>习题与思考题 .....</b>	<b>193</b>
5.2.1 并行输入/输出接口 .....	162	<b>参考文献 .....</b>	<b>194</b>
5.2.2 数/模转换接口 .....	166		

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 机电一体化概念 (Concept of Mechatronics System)

20 世纪 70 年代以来,以大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术迅速地应用于机械工业中,出现了种类繁多的计算机控制机械和仪器。随着科学技术的发展,由数控机床发展到加工中心,继而出现了具有柔性功能的自动化生产线、车间、工厂,为先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology,简称 AMT)的建立和发展提供了硬件基础,大幅度地提高产品质量和劳动生产率,适应了市场对产品多样化的要求,使传统机械工业的面貌焕然一新。机电一体化(Mechatronics System)的出现,推动了机械工业和电子工业及信息技术(Information Technology,简称 IT)的紧密结合,并发展为综合性的热门学科。

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。20 世纪 70 年代,在发达国家兴起了机电一体化热,应用范围从一般数控机床、加工中心发展到智能机器人、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,简称 FMS),以及将设计、制造、销售、管理集成为一体的计算机集成制造系统(Computer Integration Manufacturing System,简称 CIMS)[CIMS 目前国内又定义为现代集成制造系统(Current Integration Manufacturing System)]。

20 世纪 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。20 世纪 70 年代提出的工厂“全盘自动化”的思想已逐渐消失。

(2) 以经济、实用为出发点的面向中小企业综合的自动化系统得到迅速发展。如联邦德国政府在 1988 年制订的计算机集成制造系统规划中,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、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。我国政府也大力发展“面向制造业中小企业的综合自动化技术”,将其列入机械工业“九五”科技规划发展纲要。机电一体化已成为先进制造系统的重要支撑技术。

由此可见,20 世纪 90 年代之前开发应用机电一体化系统工程是以人力、物力、财力雄厚的大企业为主要对象。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,生产自动化发展的趋势是面向绝大多数的中小企业,其特点是强调人的参与集成,这就使其投资强度降低,开发周期缩短,投资收益快,减少了企业承担的风险。因此,对广大中小企业具有很大的吸引力。

### 1.1.1 我国对机电一体化理解(Comprehension about Mechatronics System in China)

我国一般认为机电一体化是机电一体化技术及其产品的统称,还将柔性制造系统和计算机集成制造系统等自动化生产线和自动化制造工程包含在内,这是对机电一体化的准确定义。

有人认为机电一体化产品是“在机械产品的基础上应用微电子技术和计算机技术产生出来的新一代的机电产品”,这是机械电子化的概念。区分机电一体化和非机电一体化的产品,其核心是计算机控制的伺服系统,其它都是与此匹配的部分。蒸汽机和电动机的出现为机械产品提供了动力,而机电一体化技术为机械产品提供了智力支持。实践证明,现有机械产品的电子化,需要采用系统科学的观点和综合集成的技巧,使机械装置、电子技术和软件工程之间相互适应和匹配,发挥各自的优势,使系统尽可能地达到最优,这是我们应该研究的课题。

当前,国际上以柔性自动化(单机或系统工程)为主要特征的机电一体化事业发展迅速,其水平越来越高,任何一个国家、地区如不能拥有这方面的人才、技术和生产手段,就不具备国内外市场竞争所必需的基础,因此,机电一体化已成为当今世界机械工业发展的必然趋势,也是我国振兴机械工业的必由之路。

### 1.1.2 机电一体化技术的主要特征(Main Features of Mechatronics Technology)

机电一体化技术的主要特征表现在以下几个方面:

#### 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,往往靠增加机械结构的办法来实现。例如,为了达到变速的目的,采取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。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部分替代;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、计算机硬件和软件四个方面去实现同一种功能。一个优秀的设计师,可以在这个更加广阔的空间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”不一定是尖端技术,而是指满足用户要求的最优组合。它可以是以高效、节能、安全、可靠、精确、灵活、价廉等许多指标中用户最关心的一个或几个指标为主进行综合衡量的结果。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工业的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依靠操作人员按照规定的工艺顺序或节拍而进行的频繁、紧张、单调、重复的工作状况。可以依靠电子控制系统,按照一定的程序一步一步地协调各相关的动作及功能关系。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[即专家系统(Expert System)简称ES]。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,实现自动保护等功能。在某些情况下单靠人的操纵是难以完成的,例如在危险、有害、高速的工作条件中,或有高精度要求时,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。在生产对象更改时,只需改变传动机构的动作规律而无须改变其硬件机构,只要调整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的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,进而对系统的机构动作实施控制和协调。

## 1.1.3 机电一体化技术与其它技术的区别 (Differences Mechatronics Technologies from Others)

机电一体化一词经常被人误解或与其它技术混淆,为了正确理解和恰当运用机电一体化技术,这里作简单说明。

### 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多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、计算机、控制和电子等技术在设计、制造、使用等各阶段有机结合在一起,十分注重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、分析方法和自动控制系统的构造等。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,将自动控制部件作为重要控制部件。它应用自动控制原理和方法,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。计算机应用技术只是机电一体化技术的重要支撑技术。

## 1.2 机电一体化系统的共性关键技术 (Intercommunity Key Technology for Mechatronics System)

机电一体化系统(或产品)和人体相似。人体通过感官得到的各种信息,通过神经传递给大

脑,经大脑思维处理,调节并指挥各部分动作。机电一体化系统则由各种检测传感元件或检测子系统,收集各种信息(如位置、速度、加速度、温度、力、力矩、环境等),然后传给信息处理中心(如 CPU),经过处理和调整,由自动控制系统控制传动系统进行工作,各个子系统通过接口连接,形成完整的系统。整个系统按软件给定的范围进行调整,使各子系统协调动作,完成系统的工作。因此机电一体化系统所面临的共性关键技术是:

### 1. 检测传感技术

传感与检测装置是系统的感受元件,它与信息系统的输入端相连,并将检测到的信号输送到信息处理中心。传感与检测是实现自动控制、主动调节的环节,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信号的一种装置。机电一体化技术要求传感器能快速、精确地获得信息,并能应用于相应的应用环境中,且具有较高的可靠性。

### 2. 信息处理技术

信息处理技术包括信息的输入、变换、换算、存储和输出技术。信息处理的硬件主要由计算机硬件、可编程控制器和数控装置等构成硬件支撑平台。软件技术实现信息的数字处理。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,计算机与信息处理中心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:经典控制理论和现代控制理论。在此两类理论指导下对具体控制装置或控制系统进行设计,设计后对系统进行仿真及现场调试,使系统可靠地投入运行等。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的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。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、减小体积、减小变形(特别是热变形)、改善动态性能,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和刚度,采用新材料、新工艺和新结构,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,用系统论的观点和方法,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组,再把功能与技术方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术还包括很多内容,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-机接口、软件接口。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-机接口提供了人与系统间的交互界面,软件接口提供软件代码共享与重复利用。

### 1.3 机电一体化系统的功能构成原理及构成要素 (Function Principle and Elements of Mechatronics System)

机电一体化系统是一种比较复杂的工程系统,它是由相互关联的若干种类(如机械、流体、微电子、电磁、光、热、声等)元素组成的、具有特定目标的有机整体,并具有整体性(集合性)、关联性、目的性和相对性等四个基本属性,缺一就不可能构成一个有目标的工程系统。

#### 1.3.1 机电一体化系统的功能构成原理 (Function Principle of Mechatronics System)

从现代设计方法学的观点来看,世界是由物质、能量和信息三大要素组成的。因此,机电一体化系统的目的是对输入的物质、能量和信息(单独的或组合的)进行预定的变换(含加工、处理)、传递(含移动、输送)和保存(含保持、存储、记录)。所以,系统的目的均可用这三种主功能及其复合来表示。因此,机电一体化系统要实现其目的,必须具备如图 1-1 所示的四种内部功能。其中主功能是实现系统目的所必需的,它表明了该系统的主要特征和功能;任何系统都需要能量(动力功能);为使系统正常的运作,信息处理和控制在(信息与控制功能)是必不可少的;最后,还要将系统各要素组合起来,进行空间配置,形成一个统一的整体(结构功能或支撑功能)。

关于系统的输入和输出,除了主功能的输入与输出之外,还要有能量输入和控制信息输入,如果有其它系统的外部控制输入,则必须有从外面了解控制状态的控制输出。同样,也需要有了解能量输入状态的监视系统。

此外,任何系统都会遭到外部环境的干扰(外扰),这种外扰通常是有害的。整个系统除了有目的的输出(有用输出)之外,还会有无用的输出(废弃输出),废弃输出有时对环境影响很大,这在系统设计中需要特别注意。

对于结构功能,除了面向主功能的输入和输出之外,还要承担外扰、废弃输出、能量和控制

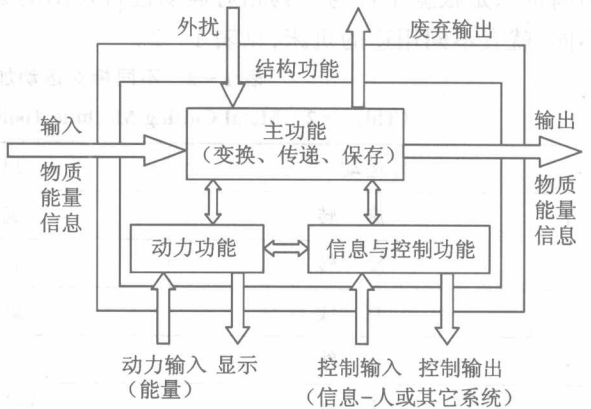


图 1-1 机电一体化系统的功能构成

(Fig.1-1 Function Frame of Mechatronics System)

输入/输出的连接任务。

上述四种内部功能,既可有与其相应的各自独立的子系统,也可有由一个子系统来承担多种功能的情况,以便使整个系统更为紧凑。

上述这种抽象的功能构成原理图,既有利于设计或分析各种机电一体化系统或产品,又有利于开拓思路,便于创造发明。例如,根据三种不同的主功能及其不同的输入输出,组合起来可形成 9 大类型的系统或产品,但不一定都是机电一体化的产品,见表 1-1。

表 1-1 不同主功能及输入输出的组合

(Tbl.1-1 Combination With Main Functions, Input and Output)

主功能		输入/输出	组合实例
1	变 换	物 质	材料加工或处理机
2	传 递	物 质	交通运输机
3	保 存	物 质	自动化仓库、包装机
4	变 换	能 量	动力机械
5	传 递	能 量	机械或流体传动
6	保 存	能 量	机械或流体储能器
7	变 换	信 息	计算机、仪器
8	传 递	信 息	通信系统、传真机
9	保 存	信 息	存储器、录像机

此外,对于主功能的加工机构,根据其运动方式不同,也可构成不同用途的机械,例如,金属切削机床是根据工件与刀具相对运动进行切削的原理来进行加工的,但工件与刀具的运动方式不同,就有不同用途的机床,见表 1-2。

表 1-2 不同相对运动加工的金属切削机床

(Tbl.1-2 Metal Cutting Machine Tools with Various Relative Movement)

工件运动		刀具运动	切削加工机床实例
1	旋 转	旋 转	内、外圆磨床,滚齿机
2	旋 转	直 线	车床
3	直 线	旋 转	铣床、镗床、平磨床
4	直 线	直 线	刨床
5	不 动	旋转及直线	钻床
6	不 动	直 线	拉床、插床

对于现有的机电一体化系统,可以利用功能原理图来进行研究分析。图 1-2 所示是由数字控制(Number Control NC)机床的功能原理构成的实例。由于未指明主功能的加工机构,它代表具有相同主功能及控制功能的一大类型机电一体化系统,如金属切削数控机床、电加工数控机床、激光加工数控机床以及冲压加工数控机床等。显然,由于主功能的具体加工机构不同,其

它功能的具体装置也会有差别,但其本质是数控加工机床。

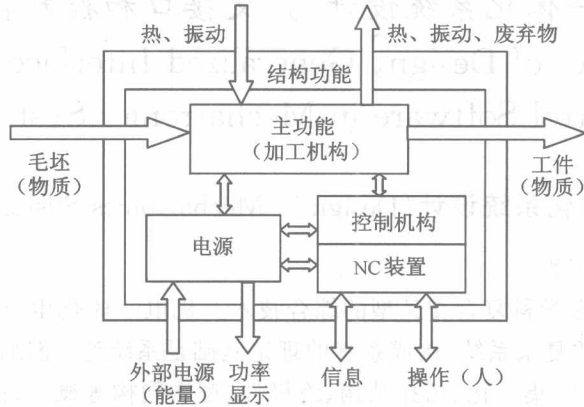


图 1-2 数控机床的功能构成  
(Fig.1-2 Function Frame of Numerical Control Machine Tool)

### 1.3.2 机电一体化功能构成要素(Function Elements of Mechatronics System)

一般的机器是由本质上不同的部分——发动机、传动机构和执行机构构成。但是,现代的机器是机电一体化的、由计算机控制的自动化机器,它们除了上述三个构成要素之外,还有计算机和传感器,从而组成一个功能完善的柔性自动化的机电一体化系统;即有五个本质上不同的基本要素:动力、传动机构、执行器、计算机和传感器。如图 1-3 所示,从仿生学观点来看,类似人的构造和功能,但不一定是拟人形,如工业机器人和数控机械。

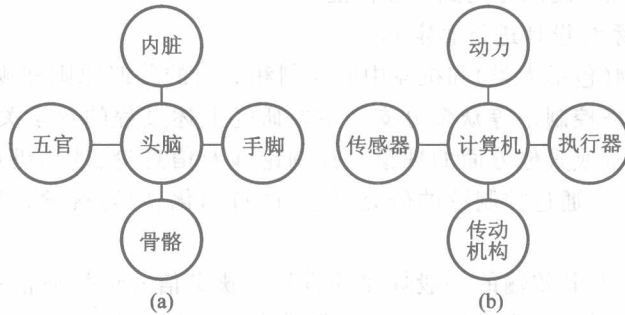


图 1-3 人和机电一体化系统的五大要素  
(Fig.1-3 Five Elements of Man and Mechatronics System)

从人的五大要素来说,内脏提供了用能量来维持人的生命和活动的条件(动力);五官接收外界的信息(传感器);手、脚作用于外界(执行器);头脑集中处理和协调全部信息,并对其它要素和它们之间的连接进行有机的统一控制(计算机);骨骼和肌肉用来把人体连成一体,并规定其运动(机构)。显然,无论是人还是机电一体化系统,其五大要素本身的性能及其融合、协调得越好,则整个系统最优,其最终目标是具有人工智能的灵巧机器。

## 1.4 机电一体化系统设计、广义接口和控制软件的作用 (Roles of Design, Generalized Interface and Control Software in Mechatronics System)

### 1.4.1 机电一体化系统设计(Design in Mechatronics System)

#### 1. 机电一体化系统工程

机电一体化技术是多学科复合交叉型的综合技术。机电一体化生产是含有能量流、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、拓扑结构、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。一般系统应该包括三个方面:

- (1) 适用于一切(或一定的)种类的系统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规律,对机电一体化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。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科学,有工程控制论、生物控制论和经济控制论等众多分支。主要研究上述过程的数学关系,而不涉及过程内的物理、化学、生物、经济或其他方面的现象。控制论涉及信息论、计算机理论、自动控制理论、现代数学理论各门学科。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。狭义信息论指通信系统中存在的信息传递和处理的共同规律的科学。广义信息论指应用数学融合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生产并形成信息科学。信息科学是研究生物(包括人类)和计算机信息的生产、获取、传输、存储、显示、识别、传递、控制和利用的理论,是设计、制造各种智能信息处理机器和设备,并实现操作自动化的基础理论。

机电一体化系统工程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、低能耗的系统工程。机电一体化系统工程以机为主,机、电、光、气、液相结合。它不仅包括机电工程产业中的各种系统工程,而且包括非机电工程产业的各种系统工程,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。

机电一体化系统工程的设计以系统中的物质流、能量流、信息流描述为基本线索展开,进行系统分析和功能原理设计。

功能原理设计的宗旨是根据系统的目的和要求,寻求各种(现有的或新的)物理原理来实现主功能或其它功能的最佳技术方案或技术路线,而不是具体的设计,因而更具有灵活性和创造性。

## 2. 机电一体化系统设计的基本步骤

图 1-4 所示为系统功能原理设计的基本步骤。各步骤及其注意要点简述如下:

(1) 图中第 1、2 步是在系统设计中作出重大决策的阶段,不能只用技术观点看问题,还要考虑到企业的经营战略、市场动向和社会利益等所引起的重大作用。近年来,由于技术变革使人眼花缭乱,产品的商业寿命在缩短,新产品开发有停留于表面的危险,值得设计者警惕。如果无论什么情况都要使用微型计算机,并标榜是机电一体化产品,这是不正确的。

(2) 第 3、4 步是顺次进行系统的功能设计。首先要构成如图 1-2 所示的四大功能,然后由若干功能子系统组成各种功能,反复进行这两步以便淘汰功能较差的方案。其中要记述各功能的必要性能,暂不考虑具体的硬件,以便尽可能多地试作各种功能组合方案,而不作可能、不可能或性能优劣的评价。

(3) 第 5 步是把在第 4 步所得功能子系统或功能要素分类,多次检测所要完成各个功能的硬件和软件,从中选定最优方案。此时,要将现有要素或系统中能满足条件的与需要新开发的部分区分开来,然后使后者尽可能地减少,并返回第 4 步。显然,要尽量采用现有的较好的子系统,并注意构成功能模块。

(4) 第 6 步是对整体系统进行评价,找出需要改善的地方,重点进行研究。必要时重复进行上述步骤,核查审定。

## 3. 建立四大功能技术矩阵,寻求可能的技术方案

建立功能技术矩阵是提供可行技术方案的一种方法,现以数控铣床为例说明四大功能技术矩阵的构造和具体内容,其目的是说明从抽象的功能原理设计怎样逐步走向具体化。

由表 1-3 可知,通过组合在理论上有 486 个可行的技术方案。根据系统的目的和要求,通过分析比较可舍去大部分的方案,如不采用直接驱动、齿轮齿条、气动马达等。如果选择 A1 + B2 + C1 + D2 + E1 + F1 方案,进行详细的分析研究,然后进行调整、取舍就可决定哪种方案较好。

采用功能原理设计寻求技术方案时,不但是上述现有技术的综合集成,而且是一个创新的

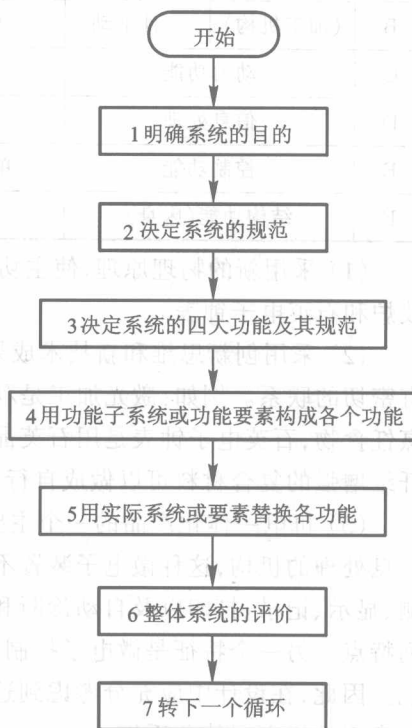


图 1-4 系统设计的基本步骤  
(Fig.1-4 Main Procedures of System Design)

过程,一般具有以下的特征:

表 1-3 数控铣床功能原理设计的技术矩阵

(Tbl.1-3 Technique Matrix for Numerical Control Mill Function Elements Design)

技术途径 四大功能		1	2	3	
		A	主功能	刀具旋转	带-齿轮传动
B	(加工机构)	工件平动	梯形丝杠螺母	滚珠丝杠螺母	齿轮齿条
C	动力功能		伺服电动机	液压马达	气动马达
D	信息处理		有检测传感器	无检测传感器	
E	控制功能		单片机 NC 装置	微机 NC 装置	多微机 NC 装置
F	结构功能(床身)		铸造结构	焊接结构	人造花岗岩结构

(1) 采用新的物理原理,使主功能发生根本性的变化,开发新产品。例如:激光加工机床、微波炉和石英电子钟表。

(2) 采用创新思维和新技术成果。新思路、新构思通常与新技术、新能源、新材料、新工艺等有密切的联系。例如:激光加工是利用产生激光束的特殊材料;微波炉是用磁控管产生微波来烹饪食物;石英电子钟表是用石英晶体振荡器控制的电磁摆来代替机械游丝摆制成的;采用碳纤维增强的复合材料可以做成自行车的车架或工业机器人的手臂等。

(3) 机电一体化产品的一个主要特征是采用微电子装置来取代机械控制装置及其原来执行信息处理的机构,这种微电子装置不但具有自动地进行信息处理、调节和控制功能,还有自动检测、显示、记录、打印以及自动诊断和保护等各种功能,而且具有速度快、可靠性和精度高等一系列特点。另一个特征是微电子控制装置通常是在软件的支持下工作的,从而具有柔性自动化功能。因此,在设计中应充分考虑到这种微电子硬件和软件结合装置的优越功能,构成一个完善的真正的机电一体化系统。

综上所述,机电一体化系统的功能原理设计,不仅是现有技术的综合集成过程,也是一个创新构思的过程,这取决于设计者的知识、经验、才能、灵感以及坚定的创新开拓精神,并通过实际工作的磨练才能成功。

### 1.4.2 广义接口和控制软件的作用 (Roles of Generalized Interface and Control Software in Mechatronics System)

#### 1. 广义接口

机电一体化系统中,最重要的是系统和各要素之间的“广义接口”。仅含有机电或者电气元件的系统,接口技术并不太突出,但在不同技术的复合过程中,接口技术是重点。

在系统各要素或子系统之间,必须平稳地进行物质、能量和信息的输入/输出。因此,在相互连接要素的交界面上必须具备相应的某些条件,才能连接,该交界面就称为接口。接口可分为直接接口和接口系统两种基本形式,如图 1-5 所示。直接接口就是利用子系统或要素本身具有接口性能的那一部分进行连接;接口系统是借助中间系统的接口部分与相应子系统进行连



接。复杂系统中采用接口系统的可能性居多。与系统一样,接口是由物质、能量和信息的输入/输出功能和参数变换与调整功能两部分功能组成的。

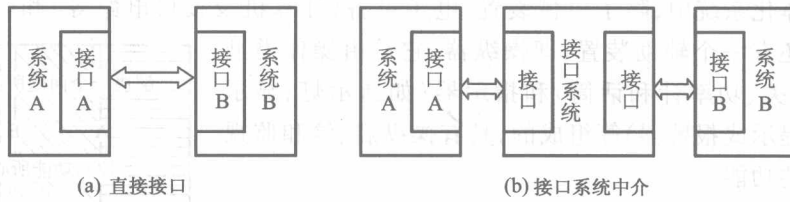


图 1-5 接口形式  
(Fig.1-5 Interface Types)

(1) 接口按其变换与调整功能的特征分类

1) 零接口 不进行参数的变换和调整,即输入/输出的直接接口。如联轴器、输送管、插头、插座、导线、电缆等。

2) 被动接口 仅对被动要素的参数进行变换和调整。如齿轮减速器、进给丝杠、变压器、可变电阻及光学透镜等。

3) 主动接口 含有主动要素,并能与被动要素进行匹配的接口。如电磁离合器、放大器、光电耦合器、A/D 和 D/A 转换器等。

4) 智能接口 含有微处理器,可进行程序编制或适应条件而变化的接口。如自动调速装置、通用输出/输入芯片(如 8255 芯片)、RS232 串行接口、USB 串行接口、STD 总线、通用接口总线(GPIB)等。

(2) 根据接口输入/输出的性质分类

1) 信息接口(软件接口) 逻辑上要满足软件的约束条件,如程序设计的语言、格式、标准、符号等各项规定。如 GB、ISO 标准,ASC II 码,IGES、STEP 等数据转换标准。网络协议 TCP/IP 等。

2) 机械接口 机械的输入/输出部分在几何上、位置上(形状、尺寸、配合、精度等)要相互匹配。

3) 电气接口 电气的物理参数要相互匹配,如频率、电压、电流、阻抗等。

4) 环境接口 对周围的环境条件(温度、湿度、电磁场、放射能、振动、水分、粉尘等)要有具体的要求,如屏蔽、减振、隔热、防爆、防潮、防射线等各种防护措施。

在机电一体化系统中,认真处理接口设计是很重要的,它是保证产品具有高性能、高质量的必要条件。这是由于机电一体化系统的复杂性决定的。在如图 1-6 所示的机电一体化系统的

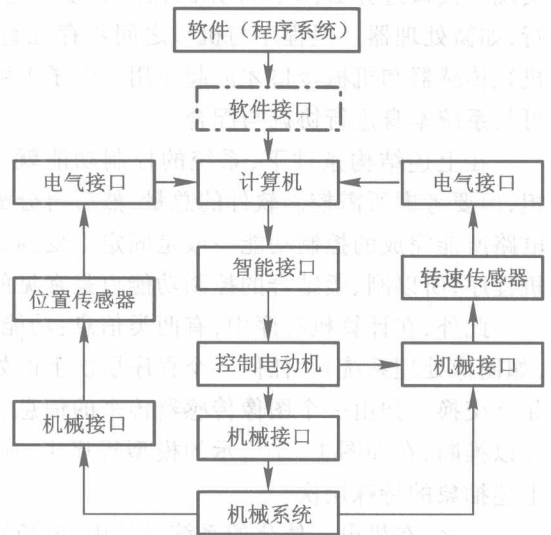


图 1-6 机电一体化系统原理  
(Fig.1-6 Theory of Mechatronics System)