



“十三五”普通高等教育本科规划教材

机电一体化系统设计

王裕清 张业明 主 编
陈国强 陈水生 张明军 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

机电一体化系统设计

主 编 王裕清 张业明
副主编 陈国强 陈水生 张明军
编 写 王 耿 康件丽 范小彬
主 审 李长有



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。本书注重理论与实践的结合，主要介绍了与机电一体化技术相关的基本概念、基本组成、基础理论和典型应用技术，对控制系统与接口设计技术也进行了较为详细的介绍。全书共五章，主要内容包括概述、机电一体化的基础部件设计与选用、机电一体化控制系统设计、机电一体化系统分析与设计、机电一体化技术的典型应用。为了配合课堂教学与读者学习，各章都配备了习题，针对应用性较强的章节均配备图片与实例。

本书可作为高等院校机械类各专业以及仪器科学与技术、能源与动力工程等专业的本科生教材，亦可作为从事机电一体化产品开发工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化系统设计/王裕清, 张业明主编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 9

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-8244-2

I. ①机… II. ①王… ②张… III. ①机电一体化—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 229598 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 9 月第一版 2015 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 505 千字

定价 42.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

机电一体化系统设计是机械类各专业的一门专业核心课程，是集机械技术、电子技术及信息技术等多种技术于一体的综合性课程，涉及机械、电子、检测、控制等诸多课程的内容，对学生综合素质的提高、创新能力的培养起着重要作用。

机电一体化系统设计的教材很多，各具特色，在内容设计、体系结构、侧重点上都有所不同。本课程涉及的知识点多、知识面广，系统性显得尤为重要。加之本课程具有很强的理论性与实践性，因此，结合编者多年机电一体化技术方面教学和科研的经验与体会，在本书编写的过程中，进行了如下尝试。

首先，慎重处理本书与相关其他课程的教材在内容上的分工及在学生能力培养方面的作用。本课程与机电传动控制、机械工程测试技术、微机原理与接口技术、机械设计等课程在内容上有些重叠，但是考虑到个别课程类型（限选、任选等）的不同及本书的完整性与系统性，在编写的过程中，只将一些课程的内容在宏观上进行讲述，但是更加注重不同课程内容之间的联系与融合。

其次，在不削弱理论知识的同时，加强实用性内容，培养学生理论与实践相结合的意识及运用理论知识的能力。考虑到当前机械类专业学生知识结构特点及机电一体化控制系统实际应用的要求，在控制系统部分中只保留具有代表性的、目前机电一体化产品中广泛应用的 MCS-51 单片机及 PLC 的内容。

最后，在典型应用实例方面，典型性、广泛性、新颖性并重。精选的应用实例与技术涉及日常生活、航空航天、工业应用等方面，使学生充分认识到机电一体化技术在提高产品性能方面的巨大作用，提高学习兴趣。

本书共分五章，具体内容安排如下：第一章为概述，内容包括机电一体化概念、共性关键技术、组成、分类、接口、监控软件、技术评价以及机电一体化的设计方法；第二章为机电一体化的基础部件设计与选用，内容包括机电一体化的构成、机械部件、执行部件、传感检测部件和控制部件；第三章为机电一体化控制系统设计，内容包括单片机控制、总线技术、接口技术、抗干扰技术、PLC 技术、计算机控制；第四章为机电一体化系统分析与设计，内容包括元部件动态特性、稳态与动态设计、安全性设计、传统加工设备的机电一体化改造；第五章为机电一体化技术的典型应用，内容包括机器人、数控机床、汽车机电一体化、特殊设备的机电一体化、生活领域的机电一体化、机电一体化系统的故障诊断与自修复技术。

本书由河南理工大学王裕清、张业明任主编，陈国强、陈水生和张明军任副主编。河南理工大学的李长有教授担任主审。张业明编写第一章和第五章的第一节、第四节和第五节，陈水生编写第二章的第一节、第二节、第三节和第五节，王耿编写第二章的第四节和第四章，陈国强编写第三章的第一节和第五章的第三节，康件丽编写第三章的第二节、第三节和

第四节，张明军编写第三章的第五节和第六节，王裕清编写第五章的第二节，范小彬编写第五章的第六节。

本书在编写过程中得到了河南理工大学的领导和教务处以及机械与动力工程学院的大力支持，河南理工大学陈西平在本书的编写过程中，也给予了大量帮助，在此表示衷心的感谢。

此外，本书参考引用了大量的优秀教材、著作与资料，主要参考文献均一一列在末尾，在此谨向这些教材与著作的作者们表示衷心的感谢！

由于编者水平和经验所限，书中难免有错误与疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2015年5月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 机电一体化概念	1
第二节 机电一体化的共性关键技术	3
第三节 机电一体化系统的组成和分类	5
第四节 机电一体化系统的接口、监控软件和技术评价	7
第五节 机电一体化系统的设计方法	9
习题与思考题	11
第二章 机电一体化基础部件设计与选用	12
第一节 机电一体化的构成	12
第二节 机械部件	14
第三节 执行部件	28
第四节 传感检测部件	39
第五节 控制部件	59
习题与思考题	79
第三章 机电一体化控制系统设计	81
第一节 单片机控制	81
第二节 总线技术	113
第三节 接口技术	129
第四节 抗干扰设计	144
第五节 PLC 技术	150
第六节 计算机控制	174
习题与思考题	186
第四章 机电一体化系统分析与设计	188
第一节 元部件动态特性	188
第二节 稳态与动态设计	198
第三节 安全性设计	212
第四节 传统加工设备的机电一体化改造	214
习题与思考题	217

第五章 机电一体化技术的典型应用.....	218
第一节 机器人.....	218
第二节 数控机床.....	233
第三节 汽车机电一体化.....	242
第四节 特种设备的机电一体化.....	256
第五节 生活领域的机电一体化.....	289
第六节 机电一体化系统的故障诊断与自修复技术.....	303
习题与思考题.....	314
参考文献.....	316

第一章 概 述

机电一体化 (mechatronics) 最早 (1971 年) 起源于日本。它由英语 mechanism (机械) 的前半部和 electronics (电子) 的后半部拼合而成, 字面上表示机械学与电子学两个学科的综合, 在我国通常称为机电一体化或机械电子学。但是机电一体化并不是机械技术和电子技术的简单叠加, 而是一种有着自身体系的新型学科。

机电一体化系统设计是多学科的交叉和综合, 涉及的学科和技术非常广泛, 应用领域众多, 且不断有新的技术产品涌现, 要全面精通它是很不容易的。这就要求对新概念、新技术具有浓厚的兴趣, 以便在开发产品或系统设计中及时采用。因此, 这门课程的学习, 不但需要强化训练学科融合的思维能力, 还要加强相应的实践环节, 让学生在实践中不断提高学习兴趣和动手能力, 将来才能成为机电一体化复合型人才。

本课程的目的研究怎样利用系统设计原理和综合集成技巧, 将控制电动机、传感器、机械系统、微机控制系统、单片机、可编程序控制器、接口及控制软件等机电一体化要素组成各种性能优良的、可靠的机电一体化产品或系统。为了突出重点, 本教材以机械为基础, 以机电结合为重点, 以机械系统设计、检测传感器、执行机构、控制系统设计、机电一体化系统设计实例作为该书的主要内容。学习本课程之前, 应具有机械、电子、控制和微机方面的基本知识。

本课程的具体要求是:

- (1) 掌握机电一体化的基本概念、基本原理和基本知识。
- (2) 掌握常用机电一体化元部件原理、结构、性能和作用。
- (3) 根据系统动力学的概念, 对系统中的机电元部件的主要输入输出参数的匹配, 进行协调设计计算, 以适应控制系统和监控软件的需求。
- (4) 初步掌握机电一体化设计原理和综合集成的技巧, 进行总体方案的分析、设计和评价。

第一节 机电一体化概念

一、什么是机电一体化

目前, 机电一体化这一术语尚无统一的定义, 其基本概念和涵义可概述为: 机电一体化是以微型计算机为代表的微电子技术、信息技术迅速发展, 并向机械工业领域迅猛渗透, 机械电子技术深度结合的现代工业的基础上, 综合应用机械技术、微电子技术、信息技术、自动控制技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术和软件编程技术等群体技术, 从系统的观点出发, 根据系统功能目标和优化组织结构目标, 以智能、动力、结构、运动和感知组成要素为基础, 对各组成要素及其之间的信息处理、接口耦合、运动传递、物质运动、能量变换机理进行研究使得整个系统有机结合与综合集成, 并在系统程序和微电子电路的有序信息流控制下, 形成物质和能量的有规则运动, 在高功能、高质量、高精度、高可靠性、低功

耗意义上实现最佳功能价值的系统工程技术。

顾名思义,机电一体化技术的目标就是机械技术和电子技术相结合,充分发挥各自的长处,弥补各项技术的不足。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。

机械的强度较高,输出功率大,可以承受较大的载荷,但实现微小运动和复杂运动比较困难。而电子领域,利用传感器和计算机可以实现复杂的检测和控制,但只利用电子技术无法实现重载运动。将机械技术与电子技术相结合,可以在重载条件下实现微小运动和复杂运动。

机电一体化产品中一定有运动机械,并且采用了电子技术使运动机械实现柔性化和智能化。机器人、微机控制型缝纫机、自动对焦防抖照相机、全自动洗衣机等都是机电一体化产品的例子。装有微型计算机的电视机和电饭煲等因为其工作原理在本质上不属于运动的机械,所以不属于机电一体化产品。

二、机电一体化技术的发展概述

机电一体化的产生与迅速发展的根本原因在于社会的发展和科学技术的进步。系统工程、控制论和信息论是机电一体化的理论基础,也是机电一体化技术的方法论。微电子技术的发展,半导体大规模集成电路制造技术的进步,则为机电一体化技术奠定了物质基础。机电一体化技术的发展有一个从自发状态向自为方向发展的过程。

20世纪70年代以来,以大规模集成电路和微型电子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的机械装置和仪器仪表。随着科学技术的发展,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, AMT)的建立和发展提供了硬件基础,大幅度提高了产品质量和劳动生产率,适应市场对产品多样化的需求,使传统机械工业的面貌焕然一新。机电一体化技术(mechatronics technology, MT)的出现,推动了机械工业、电子工业和信息技术(information technology, IT)的紧密结合,并发展为综合性的热门学科。

20世纪70年代发达国家为推动本国工业发展兴起了机电一体化热潮,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, FMS),出现了将设计、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, CIMS)。

20世纪90年代以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,难度高,风险大,见效慢,人员素质要求高。进入20世纪90年代,生产自动化发展趋势是面向绝大多数的中小企业,人们对生产自动化的认识也发生了很大变化,其主要表现如下。

(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”的思想已趋消失。

(2) 以经济、实用、节能为出发点的面向中小企业的综合自动化系统得到迅速发展。如德国政府在1988年制定的CIMS规划中,拟参加该计划的中小企业(小于500人)约占80%。美国与日本也着手研制适用于中小企业的基于微机的CIM/CAD/CAM/CAPP(com-

puter integration manufacturing/computer-aided design/computer-aided manufacturing/computer-aided process planning) 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”，多次将其列入机械、汽车工业的科技规划发展纲要。面向中小企业的综合自动化开发项目其投资强度降低，企业承担的风险减少，企业见到效益的进程较快。因此，这些项目对广大中小企业具有很大的吸引力。

三、机电一体化技术的主要特征

机电一体化技术的主要特征表现在以下三个方面。

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。为了达到变速的目的，采用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，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、硬件和软件四个方面考虑去实现同一种功能。一个优秀的机械设计师，可以在这个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。

2. 系统控制智能化

系统控制智能化，这是机电一体化技术与传统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。这些繁重乏味的工作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和功能关系。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, 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。在危险、有害、高速等单靠人的操作难以完成的工作条件或有高精度控制要求时，应用机电一体化技术不仅是有利的，而且是必要的。

3. 操作性能柔性化

计算机软件技术的引入，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，一步一步由电子系统来协调。生产对象更改时只需改变传动机构的动作规律而无需改变其硬件机构，只要调整一系列指令组成的软件，就可以达到预期的目的。这种软件由软件工程人员根据要求动作的规律及操作事先编写，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。

目前，机电系统的冗余控制、远程控制都是研究的热点，其具体技术包括硬件冗余、软件冗余、复合冗余、无线传感物联、大数据、云计算等新技术。

第二节 机电一体化的共性关键技术

机电一体化是多学科技术领域综合交叉的技术密集型系统工程，它的产生和发展具有广

泛的技术基础。其主要的共性关键技术可以归纳为六个方面：机械技术、传感检测技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术和系统总体技术。

一、机械技术

机械技术是机电一体化的基础。机电一体化的机械产品与传统的机械产品相比，机械结构更简单，机械功能更强，性能更优越。现代机械不但要求结构新、体积小、质量轻，还要求精度高、刚度大、动态性能好。因此，机械技术的出发点在于如何与机电一体化技术相适应，利用其他高新技术来更新传统机械概念，实现结构上、材料上、性能上以及功能上的更新。在设计和制造机械系统时除了考虑静态、动态刚度以及热变形等问题外，还应考虑采用新型复合材料和新型结构以及新型的制造工艺和工艺装置。

二、传感检测技术

传感检测装置是机电一体化系统的感觉器官，即从待测对象那里获取能反映待测对象特征与状态的信息。它是实现自动控制、自动调节的关键环节，其功能越强，系统的自动化程度就越高。传感检测技术的研究内容包括两方面：一是研究如何将各种被测量（包括物理量、化学量和生物量等）转换为与之成比例的电量；二是研究如何将转换的电信号加工处理，变为标准电信号，如放大、补偿、标定变换等。

机电一体化要求传感检测装置能快速、精确、可靠地获取信息并经受各种严酷环境的考验。与计算机技术相比，传感检测技术发展显得缓慢，难以满足控制系统的要求，使得不少机电一体化产品不能达到满意的效果或无法实现设计要求。因此，大力开展传感检测技术的研究对发展机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

三、信息处理技术

信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等，实现信息处理的主要工具是计算机，因此信息处理技术与计算机技术是密不可分的。

计算机技术包括计算机硬件技术、软件技术、数据技术、网络与通信技术。机电一体化系统中主要采用工业控制机（如可编程序控制器，单、多回路调节器，PID控制器，单片机控制器，总线式工业控制机，分布式计算机测控系统等）进行数据采集信息的处理。计算机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重要因素，信息处理的发展方向是如何提高信息处理的速度、可靠性和智能化程度。人工智能、专家系统、神经网络、图像识别与处理、蚁群算法、模拟退火算法等都属于计算机信息处理技术的范畴。

四、自动控制技术

自动控制技术的目的在于实现机电一体化系统的目标最佳化。自动控制所依据的理论是自动控制原理（包括经典控制理论和现代控制理论），自动控制技术就是依据这些理论的指导对具体控制装置或控制系统进行设计，然后进行系统仿真、现场调试，最后使研制的系统可靠地投入运行。由于被控对象种类繁多，所以自动控制技术的内容极其丰富，机电一体化系统中的自动控制技术包括位置控制、速度控制、最优控制、自适应控制、模糊控制、神经网络控制等。

自动控制技术的难点在于自动控制理论的工程化与实用化，这是由于现实世界中的被控对象往往与理论上的控制模型之间存在较大差距，使得从控制设计到控制实施往往要经过多次反复调试与修改，才能获得比较满意的结果。随着计算机技术的高速发展，自动控制技术与计算机技术的结合越来越密切，成为机电一体化中十分重要的关键技术。

五、伺服驱动技术

伺服驱动技术是在控制指令的指挥下,控制驱动元件,使机械的运动部件按照指令要求运动,并具有良好的动态性能。伺服驱动包括电动、气动、液压等各种类型的传动装置。这些传动装置通过接口与计算机连接,在计算机控制下,带动工作机械做回转、直线以及其他各种复杂运动。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和部件,对机电一体化系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的作用。常见的伺服驱动系统主要有电气伺服(如步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等)、液压伺服(如液压伺服马达、脉冲液压缸、液压伺服阀控制系统、变量泵伺服控制等)和气动伺服(如气动伺服马达、气动伺服阀控制系统等)。

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。

六、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,将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元,并以功能单元为子系统继续分解,直至找到可实现的技术方案,然后再把功能和技术方案组合进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术所包含的内容很多,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的自动化技术等。机电一体化系统是一个技术综合体,它利用系统总体技术将各有关技术协调配合、综合运用而达到整体系统的最优化。

接口技术是系统总体技术的重要内容,是实现系统各部分有机连接的保证。机电一体化产品的各功能单元通过接口连接成一个有机的整体。

第三节 机电一体化系统的组成和分类

一、机电一体化系统的组成

机电一体化系统的基本组成部分有机械本体、动力与驱动部分、传感检测部分、执行机构、控制及信息处理部分。

1. 机械本体

机电一体化系统的机械本体包括机身、框架、连接等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高,机械本体在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸等方面都要适应产品高效率、多功能、高可靠性、节能环保、小型美观等要求。

2. 动力与驱动部分

动力部分是按系统控制要求,为系统提供能量和动力,保证系统的能源和动力,保证系统正常运行。机电一体化产品的显著特征是用尽可能小的能源获得尽可能大的功能输出。驱动部分是在控制信息作用下提供动力,驱动各执行机构完成各种动作和功能。机电一体化系统要求驱动具有高效率 and 快速响应性特性,同时要求具有对水、油、温度、尘埃等外部环境的适应性和可靠性。在电力电子技术的高速发展下,高性能的步进驱动、直流伺服、交流伺服和流体伺服等驱动方式大量应用于机电一体化系统。

3. 传感检测部分

传感检测部分的功能是对系统运行过程中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进

行检测，并转换成可识别信号，传输到控制信息处理单元，经过分析、处理产生相应的控制信息。传感检测部分通常由传感器和仪器仪表组成。

4. 执行机构

执行机构的功能是根据控制信息和指令完成所要求的机械动作。执行机构一般采用机械、电磁、电液、气动等方式将输入的各种形式的能量转换为机械能。根据机电一体化系统的匹配性要求，需要考虑改善执行机构的工作性能，如提高刚性、减轻质量、实现组件化、标准化和系列化，以提高机电系统整体的可靠性和易维修性。

5. 控制及信息处理部分

控制及信息处理部分是机电一体化系统的中央处理单元。它的主要功能是将各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、存储、分析、加工，根据信息处理结果，按照一定的程序发出相应的控制信号，通过输出接口送往执行机构，控制整个系统的正确运行，达到预期的目的。控制及信息处理部分一般由计算机、单片机、可编程控制器（programmable logic controller, PLC）、数控装置以及可编程逻辑器件等组成。

二、机电一体化系统的分类

到目前为止，机电一体化产品还在不断发展，很难进行正确地分类。按照其用途和功能的粗略分类，就可以得出机电一体化产品的大致概貌。

(1) 按照机电一体化产品的用途分类，可以分为产业机械、信息机械、民生机械等。

1) 产业机械：用于生产过程的电子控制机械。如数控机床、数控锻压设备、微机控制自动焊接设备、工业机器人、自动食品包装机械、注塑成型机械、皮革机械、纺织机械以及自动导引车系统（automatic guide vehicle system, AGVS）等。

2) 信息机械：用于信息处理、存储等的电子机械产品。如传真机、打印机、自动绘图仪、磁盘存储器以及其他办公自动化设备等。

3) 民生机械：用于人民生活领域的机械电子产品。如磁带录放机、电冰箱、数码相机、影碟机、录音笔、全自动洗衣机、手机、电子手表、汽车自动导航仪、行车记录仪和医疗器械（数字血糖仪、数字血压计等）等。

(2) 按照机电一体化产品的功能分类，可以分以下几种类型。

1) 在原有机机械本体上采用微电子控制装置，以实现产品的高性能和多功能，如产业机械的电子化产品、工业机器人、三坐标测量机、发动机控制系统等。

2) 用电子装置局部取代机械控制装置，如电子缝纫机、校园自动售货机、无刷电动机、电子控制的针织机等。

3) 用电子装置取代原来执行信息处理能力的机构，如石英电子表、电子计算器、电子秤、数字程控交换机等。

4) 用电子装置取代机械的主功能，如电加工机床、激光加工机床、超声加工设备等。

5) 电子装置、检测装置和机械机构有机结合的机械电子设备：自动探伤机、机器视觉设备、CT扫描成像诊断仪以及汽车上的防滑刹车系统（anti-skid brake system, ABS）等。

在以上产品中，应根据机电一体化的定义，判断产品中是否有本质的机械运动来区分是否为机电一体化产品。随着人类生产生活需求的不断变化发展，机电一体化的产品也在不断变化发展，不断有新品创造出来，以至于机电一体化的产品种类繁多、包罗万象。

第四节 机电一体化系统的接口、监控软件和技术评价

机电一体化系统由机械本体、动力驱动部分、传感检测部分、执行机构和控制及信息处理部分组成，各子系统又分别由若干要素构成。各子系统、各要素之间需要进行物质、能量和信息的传递与交换。为此，各子系统和各要素的相连接处必须具备一定的联系条件，这个联系条件，通常被称为接口，简单地说就是各子系统之间以及子系统内各模块之间相互连接的硬件及相关协议软件。

一、机电一体化系统接口的分类和特点

机电一体化系统的接口有多种分类方法。根据接口的变换和调整功能，可将接口分为零接口、无源接口、有源接口和智能接口；根据接口的输入/输出对象，可将接口分为机械接口、物理接口、信息接口与环境接口等；根据接口的输入/输出类型，可将接口分为数字接口、开关接口、模拟接口和脉冲接口。图 1-1 所示为机电一体化系统各构成要素之间的相互联系。

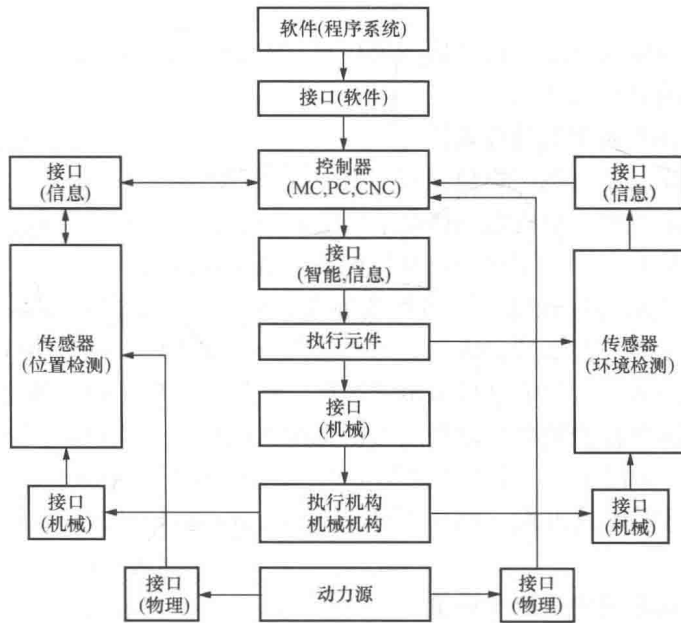


图 1-1 机电一体化系统各构成要素之间的相互联系

根据接口的变换和调整功能，可将接口分为以下四种：

- (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或调整。如齿轮减速器、进给丝杠、变压器、可变电阻器以及光学透镜等。
- (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 (analog to digital)、D/A (digital to analog) 转换器、RS-232—RS-485 转换器以及 RS-485—RS-232 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。自动调速装置、自适应光源、通用输出/输入芯片(如 8255 芯片)、RS-232 串行接口、USB 串行接口、蓝牙接口、WIFI (wireless fidelity) 接口、通用接口总线 (general purpose interface bus, GPIB) 等。

根据接口的输入/输出功能, 可将接口分为以下四种:

(1) 机械接口。根据输入/输出部位的形状尺寸、精度配合规格等进行机械连接的接口, 如联轴节、管接头、法兰盘、万能插头、接线柱、接插头与接插座等。

(2) 物理接口。受通过接口部位的物质能量与信息的具体形态和物理条件约束的接口, 称为物理接口。如受电压、电流、频率、电容、传递扭矩的大小、气(液)体成分(压力或流量)约束的接口。

(3) 信息接口。受规格、标准法律、语言符号等逻辑、软件约束的接口, 称为信息接口, 如 GB、ISO、ASCII 码、RS-232C、FORTRAN、C、C++ 等。

(4) 环境接口。对周围环境条件(温度、湿度、磁场、火、振动、放射能、水、气、灰尘)有保护作用和隔绝作用的接口, 称为环境接口。如防尘过滤器、防水连接器、防爆开关等。

在机电一体化系统设计中, 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、高可靠性的必要条件。

二、机电一体化系统中的监控软件

在机电一体化系统中, 除了机械装置、电子设备和计算机系统软件(如操作系统)外, 通常还需要一个控制软件, 即机电一体化系统的监控软件, 具有操纵系统启、停和监控系统正常运行的功能, 如水泵、压缩机、热泵等设备的自动监控系统。

机电一体化系统的监控软件一般由操作界面(启动按钮、停止按钮、可调仪表盘等)、状态显示界面(指示灯、显示器、语音提示、报警器、文本框、实时曲线、历史曲线、静态仪表盘等)和系统参数设置界面(可编辑文本框、选择列表框、确定按钮等)组成。

机电一体化系统的监控软件可以利用可视化编程软件(如 Visual Basic、Visual C++、Visual C# 等)进行编程开发, 也可以利用 LabView 或 LabWindows 进行监控系统的开发, 还有一些监控软件支持组态开发, 例如 MCGS (monitor and control generated system)、组态王等。

三、机电一体化系统中的技术评价

机电一体化系统的价值, 通常根据系统内部功能的有关参数来进行评价。表 1-1 列出了系统内部功能的主要参数和系统价值之间的关系。

表 1-1 系统内部功能的主要参数和系统价值之间的关系

内部功能	主要参数	系统价值 (由大到小)
主功能	系统误差	小—大
	抗外干扰能力	强—弱
	废弃输出	少—多
	变换效率	高—低

续表

内部功能	主要参数	系统价值 (由大到小)
动力功能	输入动力	小—大
	动力源	内部—外部
信息与控制功能	控制输入输出数	多—少
	手动操作	少—多
机械结构功能	尺寸、重量	小—大
	强度刚度、抗震性	高—低

机电一体化系统是一种高质量、多功能、高效率、节能环保的高附加值产品,随着机电一体化技术的不断创新发展,这种高质量、高性能的最终目标将导致智能机电产品或具有人工智能机电一体化系统的不断涌现。

第五节 机电一体化系统的设计方法

机电一体化系统或产品是机械技术、电子技术和信息技术的有机结合。在设计机电一体化系统或产品时,需考虑哪些功能由机械技术实现,哪些功能由电子技术实现,进一步还需要考虑产品的控制策略由硬件和软件如何协作实现。所以,在机电系统设计中会遇到机电有机结合实现机、电、液、气如何匹配,机电一体化系统如何整个优化等一些不同于一般传统机械产品的问题。因此,机电一体化系统的设计方法作为现代设计方法的重要组成部分,必然有一些特有的设计方法,使得它能够综合运用机械技术和电子技术的特长,实现产品机械特性与电子特性的有机结合。机电一体化的主要设计方法有:模块化设计方法、柔性化设计方法、机电互补设计方法、交叉融合设计方法、整体优化设计方法。

一、模块化设计方法

机电一体化系统或产品可以分解为若干子系统或功能部件,这些子系统或功能部件经过标准化、通用化和系列化,就成为功能模块。每一个功能模块可视为一个独立体,在设计时只需了解其性能规格,按其功能来选用,而不必了解其结构细节。作为机电一体化系统要素的电动机、传感器、工控机等都是功能模块的实例。

在新产品设计时,可以把各种功能模块组合起来,形成所需的产品。采用这种方法可以缩短设计与研制周期,节约工装设备费用,从而降低生产成本,也便于生产管理、使用和维修。

二、柔性化设计方法

将机电一体化系统或产品中完成某一功能的传感检测元件、执行元件和控制器作为机电一体化功能模块,如果控制器具有可编程的特点,则该模块就成为柔性模块。如利用凸轮连杆机构可以实现位置控制,但这种控制是刚性的,一旦运动改变时难以调节。若采用伺服电动机驱动,则可以使机械装置简化,且利用电子控制装置可以实现复杂的运动控制以满足不同的运动和定位要求,采用计算机编程还可以进一步提高该驱动模块的柔性。

三、机电互补设计方法

机电互补设计方法的主要特点是利用通用或专用电子器件取代传统机械产品中的复杂机

械部件,以便简化结构,获得更好的功能和特性。机电互补设计的常见情况有:

(1) 用电力电子器件或部件与电子计算机及其软件相结合取代机械式变速机构。如用变频调速器或直流调速装置代替机械减速器、变速箱。

(2) 用 PLC 取代传统的继电器控制柜,大大减小了控制模块的质量和体积,并被柔性化。PLC 便于嵌入机械结构内部实现设备自动控制。

(3) 用数字式、集成式、智能式传感器取代传统机械式传感器,以提高检测精度和可靠性。智能传感器是把敏感元件、信号处理电路与微处理器集成在一起的传感器。

(4) 用单片机及其控制程序取代凸轮机构、拨码盘、时间继电器等,以弥补机械技术的不足。

机电互补法不仅适用于旧产品的改造,还适用于新产品的开发。

四、交叉融合设计方法

交叉融合设计方法是把机电一体化产品的某些功能部件或子系统设计成该产品所专用的。用这种方法可以使该产品各要素和参数之间的匹配问题考虑得更充分、更合理、更经济、更能体现机电一体化的优势。交叉融合法可以简化接口,使彼此融为一体。例如,在金属切削中,把电动机轴与主轴部件作成一体,缩短传动链。在激光打印机中把激光扫描镜的转轴与电动机轴制作成一体,使结构更加简单、紧凑。国外还有把电动机(含驱动器)和控制器做成一体的产品出售,以方便使用。

交叉融合法主要用于机电一体化新产品的设计与开发。

五、整体优化设计方法

1. 机械技术和电子技术的综合与优化

在机电一体化系统或产品中,对于同样的功能有时既可以通过机械技术来实现,也可以通过电子技术和软件来实现。这就要求设计者要掌握机械技术、电子技术和计算机技术,站在机电有机结合的高度,对机电一体化系统或产品予以全盘考虑,加以整体优化设计,以便决定哪些功能由机械技术实现,哪些功能由电子技术实现,并对机电系统的各类参数(机、电、液、光、气)加以优化,使系统或产品工作在最优状态,即质量最轻、体积最小、功能最强、成本最低、功耗最省。最常用的全局优化设计方法有数学规划法、最优控制理论和方法、遗传算法、蚁群算法、粒子群算法、模拟退火算法、神经网络等。

2. 硬件与软件的交叉与优化

机电一体化系统的一些功能既可以通过硬件来实现,也可以通过软件来实现,究竟采用哪一种方法实现,这也是对机电一体化系统或产品进行整体优化的重要问题之一。这里的硬件是广义的硬件概念,它包含两部分:机械结构和电子电路。例如,PID 控制功能可以通过模拟电路 PID 控制器来实现,也可以通过计算机软件 PID 控制程序来实现。计算机测控软件在现代工业中应用已经非常广泛。计算机软件在易操作性、控制灵活性、控制精度、性能价格比等方面都比模拟控制器有明显的优势。通过软件设置或修改,可以方便地改变控制规律,尤其当采用计算机控制多个生产工艺过程时,上述优点更为明显。

对于机械结构,也有很多功能可以通过软件实现。首先,在利用通用或专用电子部件取代传统机械部件或系统中的复杂机械部件时,一般都需要配合相应的计算机软件。另外,由于微机受字长与速度的限制,采用软件的速度往往没有采用硬件的速度快。例如,要实现数控机床的轮廓轨迹控制,就要靠插补功能来实现。插补功能的实现有硬件插补、软件插补和