

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

机电一体化控制技术与系统

机电一体化系列

机电一体化 控制技术与系统

JIDIAN YITIHUA KONGZHI JISHU YU XITONG

周祖德 唐泳洪 主编

华中理工大学出版社

TH-43

出版社

内容简介

本书比较系统而简要地对机电一体化技术与系统进行了介绍,内容包括:机电一体化技术的产生与发展;机电一体化控制系统中的检测与传感技术、驱动技术;可编程控制器;工业机器人及其应用;柔性制造系统 FMS 与计算机集成制造系统 CIMS;机电一体化系统的监控与故障诊断。

本书可作为大专院校机电一体化专业、机械制造自动化以及其他相近专业的教材或教学参考书,亦可供有关教师与科技人员参考。

2018/27 19

机电一体化 控制技术与系统

周祖德·唐泳洪 主编

责任编辑 刘继宁

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 8.5 字数: 196 000

1993年2月第1版 1996年5月第3次印刷

印数: 6 001—9 000

ISBN 7-5609-0759-8/TH·66

定价: 7.50 元

(鄂) 新登字第 10 号

(本书若有印装质量问题, 请向承印厂调换)

代 序

机械工业是重要的基础工业,是国民经济发展的先导部门。历史的实践已一再证明:先进的技术装备与先进的制造技术在国民经济发展中,起着何等重要的作用;而先进的装备与先进的制造技术则正是由先进的机械工业来提供的。马克思讲得何等的深刻:“大工业必须掌握它特有的生产资料,即机器的本身,必须用机器生产机器,这样,大工业才建立起与自己适应的技术基础,才得以自立。”过去是这样,现在还是这样,将来也还是这样。

当然,由于现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,机械工业已发生了而且还在继续发生极为深刻的变化:机械技术与微电子技术的紧密结合,特别是与微计算机技术的紧密结合,现代机械技术所拥有的技术较以往远为高,远为新,远为广,远为复杂而先进;机电一体化技术与产品是十分突出的表现之一。这一深刻的变化是一股强大的潮流与一个严重的挑战,而且这一股潮流与这一个挑战是不应抗拒的,也是不可抗拒的。“顺之者昌,逆之者亡”,这是无法改变的现实。

这一深刻的变化反映在:机械工程、机械工业的面貌与内容发生了根本性的变化。过去,理论上主要以力学作为基础,实践上主要以经验作为基础,现在,作为基础的理论远不限于力学,还有系统论、控制论、信息论、传感理论、信号处理理论、电子学、计算机学等等,作为实践的基础远不限于经验,而且还涉及各有关的学科,同时,本身也在形成自己的学科体系——制造理论、工艺理论。机械产品的性质也在发生重大的变化,新的机械产品在不同程度上都同微电子技术、微计算机技术相结合,取代、延伸、加强与扩大人脑的部分作用。机械产品的种类与品种正日新月异,老的正在脱胎换骨,新的不断问世,几乎“无所不包”、“无孔不入”,大有令人瞠目结舌之势。与此相适应,机械制造技术正在彻底改造,广泛采用各种高新技术,特别是微电子技术与电子计算机技术,从数控化走向柔性化、集成化、智能化,成为现代科技前沿热点之一。与此相适应,企业的管理也在发生根本性的变化,从以产品为主的管理发展到以面向市场的信息为主的管理。

在这一深刻变化与严重挑战面前,谁胜谁负,谁兴谁衰,人才是关键。中共中央负责同志今年4月24日同部分学部委员座谈时就强调指出:要振兴经济,首先要振兴科技;要振兴科技,首先是人才。要发展机电一体化技术与产品,要实现机械工业的根本改造,没有高层次的科技人才是不行的。为了培养机械技术与电子技术紧密结合的高层次科技人才,有关各国都在探索其最优道路。我国采取果断措施,在大量减少专业种类的情况下,设立了“机电控制与自动化专业”,为进一步提高质量地快速地培养这方面的人才创造更好的条件。事实上,我国不少高等院校

已在这一工作上作了多年的探索,试办了诸如机电一体化试点班,试点专业之类,华中理工大学也是其中的一员。创办这一方面的专业,也是一项改革,也是一项艰难的事业。鲁迅先生讲得好:“愈艰难,就愈要做。改革,是向从来没有一帆风顺的。”正因为如此,我们必须继续迎着艰难去探索。

众所周知,教材,是人才培养中的重要一环,教材建设是一个学校最基本的建设之一。为此,华中理工大学有关教师在以往试点工作的基础上,总结了自己的经验,学习了兄弟学校的经验,有组织有计划地编写了这一方面的成套教材。这样,可以一方面适应目前形势发展的急需,一方面也是进一步的继续探索。

《诗经》讲得好:“嘒其鸣矣,求其友声。”由于编者业务水平的有限,探索经验的不足,编写时间的紧迫,这套教材中的错误、不妥与缺陷在所难免,敬希专家与读者拨冗指教,我们将不胜感谢。

教授、中国科学院学部委员

杨叔子

1992. 4. 30

前 言

本书是为适应机电一体化专业、机械制造自动化专业以及其他相近专业的教学要求,满足从事机械加工自动化的设计、制造与生产管理等技术人员知识更新的迫切需要而编写的。在内容安排上既注意本领域内基础理论及基本技术的阐述,也考虑了本领域内相关技术的扼要介绍;既讲解基本原理,同时也给出了如何应用基本原理处理工程实际问题的范例或工程应用实例;既着眼于先进技术及其未来的发展,同时也注重我国当前的国情。在行文叙述方面力求由浅入深,循序渐进。

全书共分七章,内容包括:机电一体化的基础技术(如检测与传感、驱动等技术);机电一体化的典型设备与系统(如可编程控制器、工业机器人、柔性制造系统 FMS、计算机集成制造系统 CIMS 等);保证机电一体化系统可靠运行技术(如监控、故障诊断与容错技术)。

本书由周祖德编写第一、六、七章,由朱国力编写第二章,由王朝阳、雷冬冬编写第三章,由冯清秀编写第四章,由徐沁泉、唐泳洪编写第五章,并由唐泳洪承担全书的修改与统稿工作。

本书获得了国家教委优秀青年教师基金和国家自然科学基金资助。

在编写过程中,张福润以及有关领导给予了热情的帮助与支持,提出了许多宝贵的建议和意见,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中定有不少疏漏和错误之处,恳切希望诸位读者给予批评和指正。

编 者

1992 年 1 月

目 录

第一章 绪论	(1)	§ 3.4 位置随动系统	(2)
§ 1.1 机电一体化技术的产生与发展	(1)	3.4.1 位置随动系统的构成和基本类型	(42)
§ 1.2 机电一体化相关技术	(2)	3.4.2 脉冲-相位调制式随动系统结构图	(44)
§ 1.3 机电一体化发展前景	(5)	第四章 可编程控制技术与系统	(47)
§ 1.4 机电一体化的典型技术及系统	(6)	§ 4.1 可编程控制技术概述	(47)
第二章 机电一体化系统中的传感器技术	(8)	4.1.1 可编程控制技术的发展	(47)
§ 2.1 位移传感器	(8)	4.1.2 可编程控制器的特点	(47)
2.1.1 电感传感器	(8)	§ 4.2 可编程控制器的硬件结构	(48)
2.1.2 差动变压器传感器	(10)	4.2.1 可编程控制器的整体结构和工作方式	(48)
2.1.3 电容传感器	(11)	4.2.2 可编程控制器的中央控制单元	(49)
2.1.4 感应同步器	(12)	4.2.3 可编程控制器的输入/输出部件	(50)
2.1.5 旋转变压器	(14)	4.2.4 可编程控制器的电源组件	(51)
2.1.6 回转编码器	(14)	§ 4.3 可编程控制器的软件技术	(52)
§ 2.2 速度检测传感器	(15)	4.3.1 可编程控制器程序的表达方式	(52)
2.2.1 测速发电机	(16)	4.3.2 可编程控制器的基本指令	(53)
2.2.2 回转编码器的使用	(17)	4.3.3 编程技巧	(59)
§ 2.3 位置传感器	(18)	§ 4.4 可编程控制器应用系统设计	(60)
2.3.1 接触式位置传感器	(18)	4.4.1 可编程控制器的选用原则	(61)
2.3.2 接近式位置传感器	(18)	4.4.2 可编程控制器结构图	(62)
§ 2.4 压力传感器	(20)	4.4.3 程序编制	(64)
2.4.1 压阻式压力传感器	(20)	§ 4.5 可编程控制器的应用实例	(65)
2.4.2 应变式压力传感器	(20)	4.5.1 机床概述	(66)
2.4.3 压电式压力传感器	(21)	4.5.2 电气控制系统结构	(66)
第三章 电动机驱动及其控制	(24)	4.5.3 系统控制程序	(67)
§ 3.1 步进电动机驱动及其控制	(24)	第五章 工业机器人及其应用	(68)
3.1.1 步进电动机	(24)	§ 5.1 机器人一词的来源与机器人定义	(69)
3.1.2 驱动电源	(27)	§ 5.2 机器人的发展史	(69)
§ 3.2 直流电动机驱动及其控制	(31)	§ 5.3 机器人的分类及分代	(70)
3.2.1 直流电动机的驱动电源	(31)	§ 5.4 工业机器人的控制系统	(72)
3.2.2 直流电动机的调速控制	(33)		
§ 3.3 交流电动机驱动与调速	(37)		
3.3.1 鼠笼型感应电动机概述	(37)		
3.3.2 晶闸管调压调速	(37)		
3.3.3 脉宽调制(PWM)型晶闸管变频调速系统	(39)		

5.4.1 示教再现控制系统	(72)	6.3.4 机电一体化控制系统故障诊断技术的新 发展——人工智能及诊断专家系统	(104)
5.4.2 示教再现式点位控制系统	(73)		
5.4.3 示教再现式轮廓控制系统	(75)		
5.4.4 微型计算机控制系统	(76)	§ 6.4 机电一体化控制系统的干扰抑制与处理	(105)
§ 5.5 工业机器人的应用	(83)		
5.5.1 工业机器人用于电弧焊接	(83)	6.4.1 现场干扰的抑制与隔离	(105)
5.5.2 工业机器人在装配自动化方面的应用	(83)	6.4.2 从可靠性设计入手提高机电一体化控制 系统的抗干扰能力	(107)
5.5.3 具有视觉的工业机器人(电子 HC TM- 01)的应用	(85)	6.4.3 从安装和工艺等方面采取措施以消除干 扰	(108)
5.5.4 工件识别系统	(86)	第七章 柔性制造系统(FMS)与计算机集成 制造系统(CIMS)	(111)
5.5.5 工业机器人在 FMS 中的应用	(89)		
第六章 机电一体化控制系统的可靠性与诊 断技术	(91)	§ 7.1 FMS 的特点与组成	(111)
§ 6.1 机电一体化控制系统的可靠性描述	(91)	7.1.1 典型 FMS 的构成	(111)
6.1.1 有关可靠性的术语	(91)	7.1.2 柔性制造系统的基本类型	(112)
6.1.2 可靠性的度量	(92)	7.1.3 FMS 的计算机控制及网络系统	(113)
6.1.3 可靠性的预测	(94)	7.1.4 FMS 的控制与管理软件	(114)
§ 6.2 机电一体化控制系统的故障类型	(94)	7.1.5 柔性制造系统的发展趋势	(115)
6.2.1 硬件逻辑系统故障	(95)	§ 7.2 计算机集成制造系统(CIMS)	(117)
6.2.2 常见软件故障	(96)	7.2.1 CIMS 的定义与结构	(117)
6.2.3 常见干扰故障	(97)	7.2.2 CIMS 的主要技术关键	(118)
§ 6.3 机电一体化控制系统的故障诊断与容错技 术	(99)	7.2.3 未来的工厂	(119)
6.3.1 提高可靠性的基本方法	(99)	§ 7.3 典型的 FMS 和 CIMS	(120)
6.3.2 机电一体化控制系统的自诊断	(100)	7.3.1 日本丰田公司的 FMS(TIPROS-4)	(121)
6.3.3 容错技术与系统	(102)	7.3.2 美国 AMRF 的 CIMS 工程	(122)
		7.3.3 我国的 CAC CIMS	(125)
复习思考题	(127)		
主要参考文献	(128)		

第一章 绪 论

§ 1.1 机电一体化技术的产生与发展

机电一体化是机械、电子、计算机和自动控制等技术有机结合的一门复合技术,其产生与发展与自动化技术的发展密切相关。

在工程技术和科学的发展过程中,自动化与自动控制技术起着极其重要的作用。它除了在宇宙飞船、导弹制导和飞机驾驶系统等领域中获得广泛应用外,在冶金、电力、化工、炼油、轧钢等生产部门,也起着重要的作用。目前它已成为现代机器制造业和电子化机械产品中十分重要而不可缺少的组成部分。

自动化技术是逐渐发展起来的。18世纪锅炉供水的水位调节装置,19世纪的转速调节器,都是行之有效的自动控制装置。到20世纪30年代,自动化技术已普遍应用于各类生产过程中,当时所实现的只是单机或单个温度、压力、流量等工艺参数的控制。到20世纪40至50年代,随着生产规模的进一步扩大,生产水平的逐渐提高,自动化水平亦在不断提高。气动仪表、电动单元组合仪表及巡回检测装置等自动化仪表的采用,使得一些比较复杂的生产过程和一个工段或一个车间的集中控制得以实现。

60年代以来,由于生产向综合自动化方向发展,对控制设备和控制方式提出了崭新的要求。电子计算机的发展,特别是微型计算机的广泛应用,标志着工业生产自动化的一次重大技术革命。从60年代到80年代,自动化技术的发展经历了三个时期。60年代是自动化定向的时期。以高速成长、大量生产为背景,在过程控制和机械加工两个领域内相继实现自动化。这一时期,以单机自动化和专用设备自动化为主。70年代是系统自动化的时代。这一时期注意从总体考虑,从个别装置设备的自动化进入到追求整条生产线的自动化以及工段、车间的综合自动化。80年代则是综合自动化的时期。这一时期出现了便于产品更新换代,提高市场竞争能力,适合中、小批量生产的柔性制造系统(FMS)与机电一体化产品。

由此可见,机电一体化技术实际上是自动化技术发展的一个阶段和必然产物。它是自动化领域中机械技术与电子技术有机地结合而产生的新技术。是在信息论、控制论和系统论基础上建立起来的一门应用技术。机电一体化一词(メカトロニクス(Mechatronics))最早起源于日本,这个词的前半部分,“mecha”表示mechanic(机械学),后半部分“tronics”表示electronics(电子设备或电子学),因此,从字面上讲,应该是机械电子学。我国习惯地称之为机电一体化。

机电一体化得以发展的根本原因,在于生产的发展和科学技术的进步,其中特别是自动化技术与计算机科学起了重要作用。第二次世界大战以后,几乎是同时诞生的系统工程、控制论和信息论这三门科学既是自动化与机电一体化的理论基础,也是机电一体化技术的方法论。而微电子技术的发展,半导体大规模集成电路制造技术的进步,则为机电一体化与自动化技术奠定了物质基础。反过来,机械制造技术也对微电子学和自动化技术作出了重大贡献。

如大规模集成电路芯片的制造就是以超精密机械加工为基础的。而这种加工设备本身又是一种计算机控制的自动化系统，即机电一体化的系统。由此可见，机电一体化技术的产生既是微电子技术自动化技术发展的结果，又是信息论、控制论和系统工程付诸生产实践的结果。

十余年来，日本对机电一体化进行了大量的报导，60年代，日本通产省就讨论过这个问题，并通过发展数控机床进行了种种实验，但由于电子技术的发展尚未达到一定水平而一时未能得到推广，这个时期称为酝酿准备时期。到了70年代，创办了《机电一体化》月刊，并逐步在日本各地发行，为日本各界人士所欢迎。1971年到1978年日本政府颁布并执行了“机电法——特定电子工业及特定机械工业临时振兴措施法”，并于1978年开始执行了“机信法——特定机械信息产业振兴临时措施法”。这些均进一步推动了机电一体化的深入发展，这个时期被称为萌芽发展时期。进入80年代，机电一体化技术和产品如雨后春笋不断涌现。现代化的机械将电子技术、自动化技术、计算机技术融为一体，从而使机电一体化进入了所谓大发展时期。

综上所述，机电一体化技术的产生，并不是孤立的，而是各种技术互相渗透的结果。它代表了正在形成中的新一代生产技术，其产生的时间虽然不长，但已显示出并将越来越显示出强大的威力。在世界范围内，各国掀起的机电一体化热潮正在蓬勃兴起，并已渗透到国民经济、社会生活的各个领域。可以说，从军事到经济，从生产到生活，从简单的消费品生产到复杂的社会生产和管理系统，机电一体化几乎达到“无孔不入”的地步。它促使产业结构、产品结构、生产方式和管理体系发生了深刻的变化，促进了新兴产业的发展，同时也引起了各国为发展机电一体化技术的激烈竞争，从而又反过来在全世界范围内更进一步推动机电一体化技术，特别是机电一体化控制技术与系统向前迅速发展。

§ 1.2 机电一体化相关技术

当代科学技术的发展出现了纵向分化、横向综合的重要趋势。机电一体化就是机械技术和电子技术相互交叉、渗透和综合发展的产物。就其组成而言，则涉及到机械技术、电子技术、控制技术、信息技术等。从某种意义上讲，机电一体化已经成为交叉学科和综合技术的代名词，但由于机电一体化的概念和内容随着科学技术的进步而不断地演化和修正，因此，至今尚没有一个机电一体化技术体系的准确定义，一般是从机电一体化基本技术、功能及构成要素来对其加以说明的。

日本三菱综合研究所牧野升副所长对机电一体化提出了三个基本支撑技术，即（1）微型计算机（包括大规模集成电路LSI），通过计算与控制实现智能功能，相当于人的头脑；（2）传感器，通过信息流通实现感知功能，相当于人的感觉器官；（3）软件，实现信息功能，相当于人的神经系统。也就是说，机电一体化产品或系统，如人体一样，从各种感觉器官得到各种信息，通过神经传递给神经中枢，经过思维处理，再经过大脑指挥各部分动作，其结构图如图1.1所示。

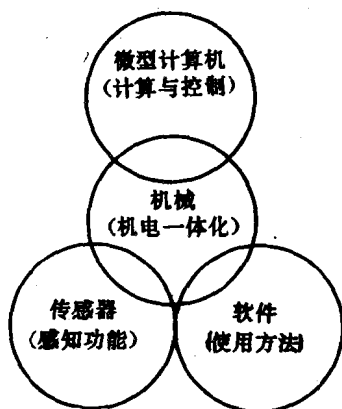


图 1.1

我国有关学者根据机电一体化的定义，就机电一体化基本体系提出了如图 1.2 所示的框图。

这两者从不同的角度给出了机电一体化技术体系的基本定义。为了全面理解机电一体化的技术体系，还必须对机电一体化的共性相关技术进行深入了解。

机电一体化的共性相关技术可以归纳为六个方面：检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、精密机械技术、伺服传动技术、系统总体技术。各种技术之间的关系如图 1.3 所示。

1. 检测传感技术

能检测各种物理量，将测得的各种参量转换为电信号，并输送到信息处理部分的功能器件统称为检测传感元器件或装置。

传感器是检测部分的核心，它相当于人的感觉器官。例如数控机床在加工过程中，利用力传感器或声发射传感器等，将刀具磨损情况检测出来，与给定值进行比较，当刀具磨损到引起负荷转矩增大并超过规定的最大允许值时，机械手自动地进行更换，这是安全运行与提高加工质量的有力保障。

机电一体化产品中使用的传感器种类很多，用量较大的有位置、温度、湿度、压力、流量、音响、光度等传感器。国际上正在发展集成传感器，如集成温度传感器，集成光电传感器、集成压力传感器等。另外，在传感单元中集成信息处理元件的所谓智能传感器也开始应用和发展。该项技术有很多课题需要解决，在应用上有着广阔的前景。

2. 信息处理技术

信息处理技术包括信息的输入、交换、运算、存储和输出等技术。它可以通过微机、单片机、单板机、可编程控制器或其他 I/O 等电子装置来实现。信息处理部分相当于人的大脑，指挥整个系统的运行。

提高信息处理的速度，如采用超级微机或超大规模集成技术；提高系统的可靠性，如采用自诊断、自恢复和容错技术；加强智能化，如采用人工智能技术和专家系统等，是信息处理技术今后发展的方向。

3. 自动控制技术

自动控制技术包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等技术。在机电一体化技术中，自动控制主要是解决如何提高产品的精度、提高加工效率、提高设备的有效利用率等几个主要方面的问题。其主要技术关键，在于现代控制理论在机电一体化技术中的工程化与实用化、优化控制模型的建立及边界条件的确定等。

4. 伺服传动技术

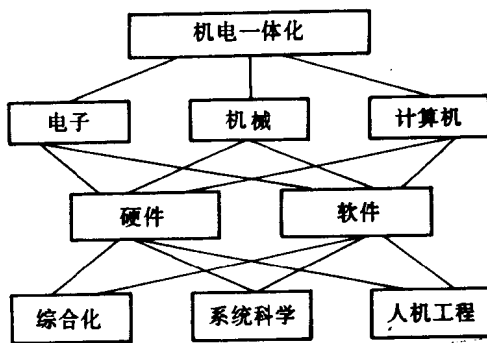


图 1.2

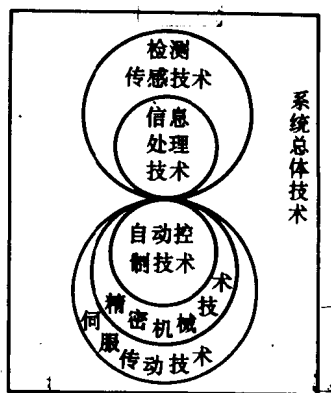


图 1.3

伺服传动技术是指执行系统和机构中的一些技术问题。伺服传动包括电动、气动、液压等各种类型的传动装置,这部分相当于人的手足,它直接执行各种有关的操作。对产品质量产生直接影响。

伺服传动技术的电气传动与伺服,80年代后有了新的发展。主要表现在:AC(交流)伺服技术日趋完善,并进入实用阶段;DC(直流)技术在机器人诸领域得到成功的应用;步进电机技术有了新的进展;超声波电机等一系列新型伺服电动机因其特有的高性能而为人们所注意,并致力研究。此外,气动伺服技术、电液比例技术等都在当今机械工业自动化技术中发挥着特殊作用。

5. 精密机械技术

机电一体化系统中的机械部分,较一般的同类型机械,精度要求更高,要有更好的可靠性及维护性,同时要有更新颖的结构。零部件要求模块化、标准化、规格化等。也就是说,在机电一体化产品中,对机械本体和机械技术本身都提出了新的要求。这种要求的核心就是精密机械技术。

为使精密机械技术与机电一体化技术相适应,必须研究许多新的课题,如对结构进行优化设计,采用新型复合材料以使机械本体既减轻重量、缩小体积又不降低机械的静、动刚度;研究高精度导轨、精密滚珠丝杆、高精度主轴轴承和高精度齿轮等,以提高关键零部件的精度和可靠性;开发新型复合材料以提高刀具、磨具的质量;通过零部件的模块化和标准化设计,提高其互换性和维护性等。

6. 系统总体技术

机电一体化技术不是几种技术的简单叠加,而是通过系统总体设计使它们形成一个有机整体。为了解决多种技术的融合问题,有许多新课题需要进行探讨和研究。

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,再将各个功能与技术方案组合成方案组进行分析、评价、优选的综合应用技术。它通过所用技术的协调一致来保证在给定环境条件下经济、可靠、高效益地实现目标,并使操作维修方便。

总体技术的内容涉及许多方面:如接插件、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技术等。显然,即使各个部分技术都已掌握,性能、可靠性都很好,如果整个系统不能很好地协调,则它仍然不可能正常、可靠地运行。由此可见系统总体技术的重要性。

以上概述了机电一体化的基本技术体系及相关技术,据此不难得到这样一个简单结论:机电一体化技术是一种复合技术,它需要很多部门、产业的配合与支持,才能取得满意的结果。因此,对于从事机电一体化技术和产品研究的科技工作者来说,既要机电一体化的各项相关技术进行全面深入地了解,又要能从系统工程的概念入手,通过系统总体设计来使各个相关技术形成有机的结合,并注意研究和解决技术融合过程中所产生的新问题。

在总体设计阶段,由于控制系统是机电一体化技术和产品的大脑,因此,控制技术的确和控制策略的制订往往是至关重要的。前者反映了控制系统和机电一体化产品的先进性,后者则涉及系统的规模与产品的优化结构。因此,学习和掌握机电一体化的控制技术与系统,不仅是当前机电一体化技术本身发展的迫切需要,而且也是今后发展社会生产的长期要求。

§ 1.3 机电一体化的发展前景

随着社会生产和科学技术的发展与进步,机电一体化技术正在不断地深入到各个领域并迅猛地向前推进。特别是近几年来在机械工业部门引起了许多深刻的变革。因此,了解其发展前景与发展趋势,对于掌握新技术产生与经济发展的关系与规律,对于跟踪世界科学技术发展的步伐都是十分重要的。

应该说,世界各先进工业国家发展机电一体化各有特点,其发展的重点和具体做法也不尽相同,但总的趋势则是趋于一致的。归纳起来,大概有如下三个方面:性能上,向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展。功能上,向小型化、轻型化、多功能方向发展。层次上,则向系统化、复合集成化的方向发展。

1. 从性能上看

高精度、高效率、高性能、智能化是性能发展的主要特点,如以数控机床(机电一体化的重点发展产品之一)为例,其控制精度能实现 $0.1\mu\text{m}$ 的高精度,其进给速度可达 $24\text{m}/\text{min} \sim 100\text{m}/\text{min}$ 甚至更高,其联动和控制的轴数能实现 $9 \sim 15$ 轴,同时增加了人一机对话功能,设置了智能 I/O 通道和智能工艺数据库,给使用、操作和维护带来了极大的方便。今后,随着专用集成电路特别是超大规模集成电路的发展,机电一体化产品将越来越向高性能方向发展。

2. 从功能上看

小型化、轻型化、多功能是功能发展的特点。所谓小型化、轻型化,乃是精细加工技术发展的必然,也是提高效率的需要。通过结构优化设计和精细加工,可使机械的重量减轻到与人体重量相称的程度。所谓多功能,也是自动化发展的要求和必然结果。一般机电一体化产品,为了适应自动化控制规模的不断扩大和高技术的发展,不仅要求它们具有数据采集、检测、记忆、监控、执行、反馈、自适应、自学习等多种功能,甚至还要具有神经系统的功能,以便能实现整个生产系统的最佳化和智能化。机械制造工业,决不只是要求单机自动化,而是要求能实现一条生产线、一个车间、一个工厂甚至更大规模的全盘自动化。因此,以数控机床为例,就不仅要求数控机床应具备计算机通信和联网的功能,还应有很强的图形功能、刀具轨迹描述、CAD/CAM 一体化等多种功能。

3. 从层次上看

复合集成、系统化是层次发展的特征。复合集成,既包含各种分技术的相互渗透、相互融合和各种产品不同结构的优化与复合,又包含在生产过程中同时处理加工、装配、检测、管理等多种工序。为了实现多品种、小批量生产的自动化与高效率,应使系统具有更广泛的柔性。首先可将系统先分解为若干个层次,使系统功能分散,并使各部分协调而又安全地运转,然后,再通过硬、软件将各个层次有机地联接起来,使其性能最优、功能最强。柔性制造系统就是这种层次结构的典型。

系统化、集成化,也是一种非常高层次的指导方针。其一是指不同领域的专家、学者联合起来,并扩大到不同公司、不同行业之间、政府各部门之间、党政之间进行的种种协调、以及为处理国际贸易及国际合作之间一些事务的国际合作等。日本研究机电一体化技术的先驱者渡边茂先生将此称之为“全际化”。其二是指计算机集成制造系统(CIMS),这是当今世界机电一体化发展的最新趋势。有关其详细内容将在本书的第七章详细叙述。

§ 1.4 机电一体化典型技术及系统

图 1.4 中, 机电一体化系统靠控制系统完成信息处理功能。在某种意义上, 机电一体化系统的优劣在很大程度上决定于控制系统的好坏。控制系统不仅与微电子技术及系统本身的结构有关, 更与所采用的控制技术密切相关。控制技术的内容是十分丰富的, 首先, 也是至关重要的, 就是从系统工程的研究入手, 不拘泥于只研究机械技术或电子技术等各个独立的个体, 而是要探讨那些能够使各功能要素构成最佳组合的柔性技术或一体化技术。有机地灵活运用现有的机械、电子及信息技术, 采用系统工程的方法, 使整个系统达到预期的最优目标,

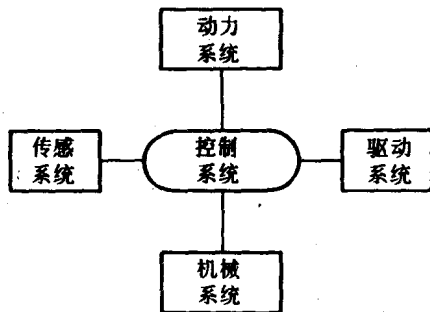


图 1.4

使系统能按照设计最优化、加工最优化、管理最优化的最佳方式运行, 这就是控制技术的系统观点。其次, 从控制论、信息论的观点出发, 机电一体化控制技术还必须全面考虑各个子系统的设计技巧与可靠运行, 以及各个相关技术的最佳组合与信号耦合。一般来说, 这些控制技术主要包括接口技术、传感检测技术、伺服驱动技术及监控与诊断技术等。

接口技术是研究机电一体化控制系统与外部设备之间如何交换信息的技术。在机电一体化系统中, 外界的各种信息通过输入设备送到主控装置, 而主控装置则将计算结果或控制信号传送给输出装置或执行机构, 以便显示、打印或实现各种操作。系统在运行过程中, 信息的交换是频繁发生的, 因此, 提高输入输出信息的效率, 使控制装置适应外部设备的要求, 使整个机电一体化系统工作灵便、效率高, 这些都是设计接口电路和接口技术所必须考虑的问题。

传感检测技术是机电一体化的关键技术。如何从待测对象那里获取能反映待测对象特征与状态的信号取决于传感器技术, 而能否有效地利用这些信号所携带的丰富信息则取决于检测技术。在实际的机电一体化系统中, 前者比后者更为重要。以前, 传感器技术是作为测量工程学的一个组成部分而加以研究的。随着机电一体化技术的发展, 传感器技术成为使机电一体化设备或产品向柔性化、功能化和智能化方向发展的重要基础技术。就传感器的研究来说, 为了满足信息检测和动态测试的要求, 不仅要求传感器具有良好的静特性, 而且还希望具有优异的动特性。为此, 在机电一体化系统中, 必须充分了解被测对象的状态、测试工艺及装配方法, 并要考虑后续电路的原理和方案, 以便解决目前机电一体化系统中的所谓“头脑发达, 五官迟钝”的被动局面。

伺服传动技术是机电一体化的一个重要组成部分。它的作用是接受控制系统的指令, 经过一定的转换和放大后, 经伺服驱动装置(直流伺服电机、功率步进电机、交流伺服电机、电液伺服阀等)和机械传动机构, 实现机电一体化装置或系统的运动。它在很大程度上决定了机电一体化系统的加工性能。

监控与诊断技术对于保证机电一体化设备的可靠运行, 充分发挥其效能具有重大意义。机电一体化系统规模的扩大和自动化程度的日益提高, 促进了设备状态监测和诊断技术的发展。

监测应包括测量加工过程的物理状态、工艺状态及工艺效果等方面的内容。诊断则可通过故障机理研究,根据设备故障模型,把设备诊断分为状态型诊断、性能型诊断和功能型诊断。通过诊断,可预测系统的功能及可靠性,识别故障原因、部位及程度,决定维修方案及方法。随着诊断技术的发展,为了使一个庞大的机电一体化系统能实现不停机维护,容错技术的广泛应用,使系统在元、部件有故障的情况下,其功能不受影响。而人工智能、专家系统的引入,使诊断技术进入了一个崭新的阶段。

上述技术的综合,产生了诸如可编程控制器、工业机器人、柔性制造系统及计算机集成制造系统等机电一体化典型设备与系统,它们代表了机电一体化控制技术与系统的发展方向。

可编程控制器(简称PC)是以微处理器为基础,综合了计算机技术与自动控制技术而开发的一种工业控制器,它对各种生产机械实现机电一体化有重要作用。

工业机器人在改善劳动条件、保证生产安全、提高产品质量、提高劳动生产率、有节奏地组织高效率柔性化生产以及开拓新兴技术领域等方面有明显的技术和经济效益,从而成为机电一体化产业中生产技术发展的重要标志之一。

柔性制造系统(FMS)是将计算机中央管理系统和输送系统连接起来的一组加工设备,它不仅能进行自动化生产,而且还能在一定范围内完成不同工种的加工任务。它圆满地解决了长期以来难以解决的机械加工高度自动化与高度柔性之间的矛盾,是机电一体化的高技术典型产品。计算机集成系统则是系统工程、管理科学、计算机技术和机械制造技术的综合,是制造工厂的未来。

本书从介绍上述机电一体化的基本控制技术入手,对机电一体化常见和典型的一些控制系统进行深入的讨论和介绍。由于机电一体化本身涉及的范围十分广泛,如家用电器、办公自动化等。本书的重点在于机械加工领域的机电一体化控制技术与系统,阐述这些技术与系统的基本原理、具体线路、典型装置及其在机电一体化中的设计原则和实际应用。

第二章 机电一体化系统中的传感器技术

由于机电一体化系统中有各种不同的物理量(如位移、压力、速度等)需要控制和监测,而计算机系统又只能识别电量,因此能把各种不同的非电量转换成电量的传感器便成为机电一体化系统中不可缺少的组成部分。目前市场上出售的传感器类型虽然很多,但在机电一体化系统中常用的主要是以下几种:位移传感器、位置传感器、压力传感器、速度传感器、红外传感器和声音传感器等。

§ 2.1 位移传感器

位移传感器是一种非常重要的传感器,它直接影响着数控系统的控制精度。位移分角位移和直线位移两种,因此位移传感器也有与其对应的两种形式。

直线位移传感器主要有:电感传感器、差动变压器传感器、电容传感器、感应同步器和光栅传感器等。

角位移传感器主要有:电容传感器、旋转变压器和光电编码盘等。

电感传感器和电容传感器主要用于小量程和高精度的测量系统。

2.1.1 电感传感器

电感传感器是一种把微小位移变化量转变成电感变化量的位移传感器。它具有结构简单、精度高、性能稳定和工作可靠等优点,在主动量仪和其他自动检测系统中它都得到了广泛的应用。

对于一个 N 匝并带有磁芯的线圈(如图 2.1 所示),其电感量 L 可由下式表示:

$$L = \frac{N^2 A}{\delta} \mu_0$$

其中, δ 为两个导磁磁芯之间的气隙厚度; A 为磁芯截面积。
 μ_0 为空气导磁率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (H/m)。

因此,可以用改变 δ 来反映位移的变化,并根据这一点而构成气隙型传感器;也可根据截面积变化引起电感 L 变化的原理构成截面型和磁芯型传感器。

磁芯型电感传感器的原理图如图 2.2 所示。线圈 1 和 2 对称放置,连成差动形式。这样做主要是为了提高灵敏度和线性度,增强抗干扰能力。

由图 2.2 可以看出,当磁芯 3 由测杆 4 带动在由线圈 1、2 组成的管中上下移动时,必然使线圈 1 和 2 的电感量

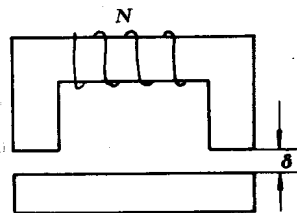


图 2.1

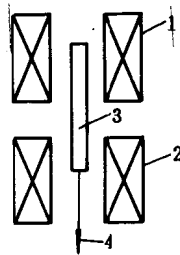


图 2.2

发生变化，并且当线圈 1 中的电感量增加时，则线圈 2 中的电感量就减少，反之亦然。为了能把这种变化量用电量反映出来，一般都使用如图 2.3 所示的桥式电路。

电桥的四个臂由传感器的两个线圈（阻抗为 Z_1 和 Z_2 ）以及变压器的两个线圈（将次级线圈一分为二）所构成。电桥的输入信号为 U_0 （其频率一般由几千赫兹到几万赫兹）。假定次级输出电压为 $2U$ ，则在忽略变压器输出阻抗的情况下，桥路电流为

$$I = \frac{2U}{Z_1 + Z_2}$$

输出电压 U_{sc} 为

$$U_{sc} = I - IZ_1 = I - \frac{2U Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} U$$

从上式中可以看出，当磁芯处于中间位置时，即 $Z_1 = Z_2$ 时，则 $U_{sc} = 0$ ，这说明桥路平衡，无输出。当磁芯向下移动时，下面线圈的阻抗增高，则 $Z_2 = Z + \Delta Z$ ；上面线圈的阻抗减少，即 $Z_1 = Z - \Delta Z$ ，代入前面的式子后便可得到

$$U_{sc} = \frac{\Delta Z}{Z} U$$

反之，当铁芯向上移动同样距离时，则 $Z_1 = Z + \Delta Z$ ， $Z_2 = Z - \Delta Z$ ，代入前面的式子后得：

$$U_{sc} = -\frac{\Delta Z}{Z} U$$

比较以上两个结果可以看出：输出电压幅值相等，方向相反。由于 U_{sc} 是一个幅值变化的交流信号，因此需要解调。

如果用无相位鉴别的整流器进行解调，则输出电压与位移的关系曲线如图 2.4 所示。

图中残余电压是由两线圈中损耗电阻 R_s 的不平衡而引起的。因为 R_s 与激励信号的频率有关，所以当激励电压中包含有高次谐波时，往往输出端的残余电压便会增大。

由于用这种方法对于正负位移所得到的的是一个同极性的输出电压，因此不能辨别方向。为了克服上述缺点，一般都需要使用能反映极性的相敏整流法，它的输出特性曲线如图 2.5 所示。

综上所述，可以绘出电感传感器的原理及应用框图如图 2.6 所示。

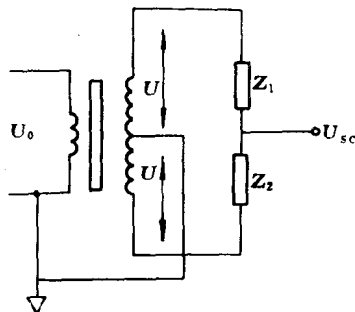


图 2.3

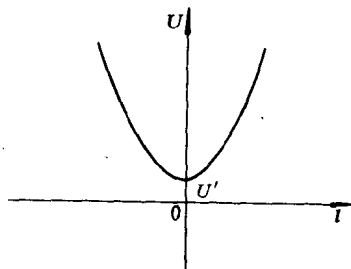


图 2.4

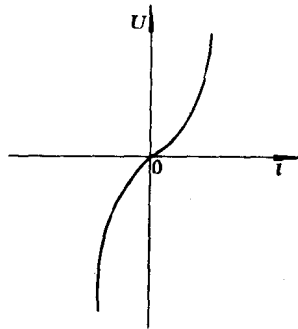


图 2.5

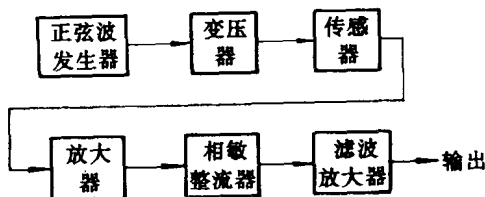


图 2.6

2.1.2 差动变压器传感器

电感传感器是把位移量的变化变为线圈电感量的变化，而差动变压器传感器则是把位移量的变化变为两个线圈之间的互感变化。

图 2.7 表示一个三段型的差动变压器的传感器原理图。线圈分为初级线圈 1 和次级线圈 2 及 3，线圈中心插入圆柱形铁芯。当初级线圈中加入交流电压 U 时，线圈中有交流电流 i_1 流过，便产生磁通 Φ_{11} ，其中有一部分磁通 Φ_{12} 通过线圈 2，在线圈 2 中产生感应电势 E_2 ；另一部分磁通 Φ_{13} 则通过线圈 3，并在其中产生感应电势 E_3 ，它们可由下式决定：

$$E_2 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} ; \quad E_3 = -\frac{d\Phi_{13}}{dt}$$

假定 M_{12} 和 M_{13} 分别为初级线圈 1 对线圈 2 和 3 的互感系数，则根据定义有

$$M_{12} = \frac{\Phi_{12}}{i_1} ; \quad M_{13} = \frac{\Phi_{13}}{i_1}$$

代入电势 E 的表达式后得

$$E_2 = -M_{12} \frac{di_1}{dt} ; \quad E_3 = -M_{13} \frac{di_1}{dt}$$

通常，传感器的两个次级线圈都是串联，如图 2.8 中的虚线框所示。

整个电路为桥式，其输出电压 U_{sc} 为

$$\begin{aligned} U_{sc} &= E_1 - \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_w + R_2} (R_1 + R_{w1}) \\ &= \frac{(R_2 + R_{w2}) E_1 - (R_1 + R_{w1}) E_2}{R_1 + R_w + R_2} \end{aligned}$$

当 $R_2 + R_{w2} = R_1 + R_{w1}$ 时，则：

$$U_{sc} = \frac{1}{2} (E_1 - E_2) = \frac{1}{2} (M_{13} - M_{12}) \frac{di_1}{dt}$$

很显然，当铁芯在中间位置时，则 $M_{12} = M_{13}$ ，于是 $U_{sc} = 0$ ；当铁芯向上移动时，则 $M_{12} > M_{13}$ ，于是 $E_1 > E_2$ ， $U_{sc} \neq 0$ ；反之，则 $E_1 < E_2$ ， $U_{sc} \neq 0$ 。 U_{sc} 随铁芯偏离中点的距离增大而增大，同样也是一个调幅正弦信号，可以用与电感传感器相同的方法来处理。

虽然在中心点附近同样也存在死区问题，但是由于差动变压器残余电压和基波激励电压相差 90° ，因此用相敏检波可以消除其影响，所以可以不考虑死区问题。在要求较高的场合可以考虑加一个零点补偿装置。

综上所述，可以绘出差动变压器传感器的测量原理框图如图 2.9 所示。

需要注意的是，在主动量仪的动态测量应用中，应保证激励信号的频率比被测位移变化频率高出十倍以上，这样可以减小动态误差。

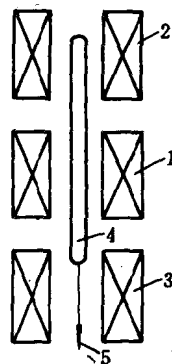


图 2.7

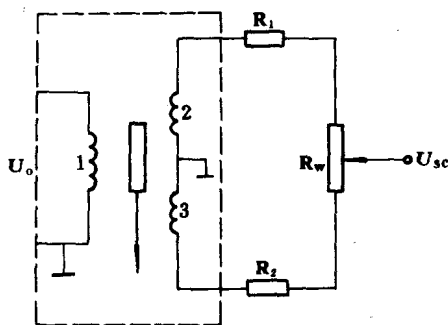


图 2.8