



军队“2110”工程三期建设教材

机电检测与控制

JIDIAN JIANCE YU KONGZHI

高钦和 程洪杰 张宝生 管文良 © 编著

JIDIAN JIANCE
YU KONGZHI



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



军队“2110”工程三期建设教材

机电检测与控制

高钦和 程洪杰 张宝生 管文良 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 提 要

随着机电一体化技术在机械工程领域中的应用和发展,机电设备的自动化程度不断提高,信息检测与自动控制技术越来越受到人们的重视。本书针对机电一体化系统中的检测与控制问题展开论述,内容包括机电一体化概论、传感器与检测技术、电动机及其控制特性、继电器控制技术、PLC 控制技术和计算机控制技术等。

本书可作为高等院校机械电子工程、机械设计与自动化等专业机电检测与控制课程的教材,也可供从事机电一体化和自动控制相关工作的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电检测与控制 / 高钦和等编著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.2

ISBN 978-7-5124-1712-0

I. ①机… II. ①高… III. ①机电一体化—检测—高等学校—教材②机电一体化—控制系统—高等学校—教材
IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 029460 号

版权所有,侵权必究。

机电检测与控制

高钦和 程洪杰 张宝生 管文良 编著

责任编辑 张军香

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:19.75 字数:506 千字

2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-1712-0 定价:39.00 元

前 言

机电一体化技术在机械工程领域中的应用,促进了机电设备自动化、智能化程度的不断提高,信息检测与自动控制技术越来越受到人们的重视。本书针对机电一体化系统中的检测与控制技术,从基本原理、实现方法、技术应用等层面展开论述,以满足读者的知识需求。主要内容包括机电一体化概论、机电系统中典型传感器与检测技术、执行机构中电动机及其控制特性,以及经典继电器控制技术、工业控制中应用广泛的 PLC 控制技术、现代计算机控制技术等。本书在内容的编写上注重系统性与实用性的统一,在内容的组织上注意将基本原理、方法与应用实例相结合,有较强的实用性和参考价值。

全书共 6 章,第一章绪论,介绍机电一体化的基本概念、关键技术、典型产品与发展趋势;第二章传感器与检测技术,介绍传感与检测技术的基本概念,论述应变与应力、压力、位移、流量、温度等典型物理量的检测技术;第三章电动机及其控制特性,介绍电机拖动系统运动分析方法,论述直流电动机、三相异步交流电动机、控制电机等的结构原理及其控制特性;第四章继电器控制技术,介绍常用控制电器与继电器控制电路的设计、分析方法,论述交、直流电动机的继电器控制电路原理;第五章 PLC 控制技术,介绍顺序控制的概念与描述方法、PLC 的原理结构及其特点,分析 PLC 的输入/输出模块原理,结合实例论述 PLC 应用程序设计及应用系统开发方法;第六章计算机控制技术,介绍现代计算机控制系统的原理、组成与分类,分析计算机输入/输出接口原理、典型计算机控制算法及 PID 控制实例,介绍计算机控制网络的概念与方法,论述现场总线技术原理与 CAN 总线应用技术。

本书第一、五章由高钦和编写,第二章由张宝生编写,第三、四章由程洪杰编写,第六章由管文良编写,全书由高钦和统稿,侯洪庆、牛海龙、谢政、刘志浩等参加了实验系统构建、资料整理等方面的工作。

本书的编写得到了编者所在单位和同事的大力支持与帮助,参阅了国内同行发表的大量相关技术文献,在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 机电一体化的基本概念	1
第二节 机电一体化技术与产品	8
第三节 机电一体化的发展历史与趋势	14
思考题	16
参考文献	16
第二章 传感器与检测技术	17
第一节 传感与检测技术概述	17
第二节 应变与应力的检测	37
第三节 压力的直接检测	48
第四节 位移量的检测	54
第五节 流量的检测	68
第六节 温度的检测	76
思考题	89
参考文献	90
第三章 电动机及其控制特性	91
第一节 电机拖动机构的运动分析	91
第二节 直流电动机及其特性	98
第三节 交流电动机及其特性	111
第四节 伺服电机及其控制	133
思考题	151
参考文献	151
第四章 继电器控制技术	152
第一节 常用控制电器	152
第二节 继电接触器控制常用基本线路	158
第三节 电动机的继电器控制	166
思考题	175
参考文献	175

第五章 PLC 控制技术	176
第一节 顺序控制概述	176
第二节 PLC 基础	182
第三节 PLC 的输入/输出模块	188
第四节 PLC 控制应用程序设计	197
第五节 PLC 控制应用实例分析	208
思考题	226
参考文献	226
第六章 计算机控制技术	227
第一节 计算机控制系统概述	227
第二节 计算机输入/输出接口	235
第三节 计算机控制算法	250
第四节 计算机控制网络	263
第五节 现场总线技术	277
思考题	306
参考文献	307

第一章 绪 论

现代科学技术的飞速发展,极大地推动了不同学科的相互交叉与渗透,纵向分化、横向交叉与综合已成为现代科技发展的重要特点,从而引发了工程领域的一场技术革命。在机械工程领域,由于微电子技术和计算机技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化,使机械工业的技术结构、产品结构、功能与构成等都发生了巨大变化,工业生产由“机械化”进入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。

机电一体化是以机械技术和电子技术为主体,多门技术学科相互渗透、相互结合的产物,是正在发展和逐渐完善的一门新兴的边缘学科。机电检测与控制是机电一体化技术的重要组成部分,本章重点介绍机电一体化的基本概念、关键技术和发展趋势,为本书内容的学习奠定基础。

第一节 机电一体化的基本概念

一、机电一体化的定义

“机电一体化”一词出现于 20 世纪 70 年代,英文名词是“Mechatronics”,是取 Mechanics(机械学)的前半部分和 Electronics(电子学)的后半部分拼合而成的。但是,“机电一体化”并非是机械技术与电子技术的简单相加,而是机械技术与电子技术、信息技术、自动控制技术相互“融合”的产物。

目前,对“机电一体化”一词还没有统一的定义。如“日本机械振兴协会”经济研究所对机电一体化概念的解释是:机电一体化是在机械主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术,并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成的系统的总称。20 世纪 90 年代国际机器与机构理论联合会(The International Federation for the Theory of Machines and Mechanism, IFTMM)成立的机电一体化技术委员会给出的定义是:机电一体化是精密机械工程、电子控制和系统在产品设计和制造过程中的协同结合。由于各自的理解不同,出发点和着眼点不同,所做的解释也不相同。

虽然国内外对机电一体化这一概念还没有明确、统一的定论,但对机械与电子技术有机结合的认识是一致的。机电一体化的基本概念应包含两个方面的含义:

(1) 机电一体化是机械技术和电子技术有机结合而形成的一种新技术

这里强调机械技术和电子技术的有机结合,不是简单地用电子设备代替机械结构,或孤立地发挥两种技术各自的长处,而是两种技术有机结合产生的新的思维方法和技术手段。

(2) 信息处理技术是机电一体化技术中必不可少的部分

一个机械系统要实现计算机控制,其须具有信息自动处理功能,才能对生产过程出现的各种情况,按照预先规定的控制规律,自动、实时地进行分析处理,发出相应的控制指令,达到预定的目标,实现工作过程的自动化。

以图 1-1 所示的机床进给系统为例,要解决如何提高机床进给系统的定位精度问题。

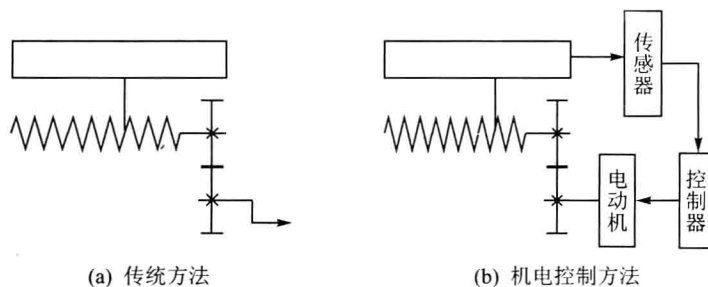


图 1-1 机床进给系统的定位

机床工作台的移动是通过齿轮、丝杠螺母来驱动的,由于齿轮、丝杠螺母之间存在间隙,要提高系统的定位精度,传统的方法是提高齿轮、丝杠螺母的加工精度和安装精度,难度很大。采用机电控制的方法,用位移传感器实时检测工作台的实际位置,将位移信息反馈给控制器(计算机),控制器对工作台的定位误差进行修正或补偿,进而发出控制指令,控制电动机驱动工作台的移动,实现进给系统的精确定位。这样,在齿轮、丝杠螺母的加工精度不变的情况下,可以大大提高系统的定位精度。

随着科技的发展,“机电一体化”还将不断被赋予新的内涵。但其基本内涵可概括为:机电一体化是从系统的观点出发,将机械技术、微电子技术、信息技术、控制技术、计算机技术、传感器技术、接口技术等系统工程的基础上有机地加以综合,从而实现整个系统最优化。

目前,机电一体化已由原来以机械为主的领域拓展到目前的汽车、电站、仪表、通信等领域,而且机电一体化产品的概念不再局限于某一具体产品的范围,而是已扩大到控制系统和被控系统相结合的产品制造和过程控制的大系统,如计算机集成制造系统(CIMS)、柔性制造系统(FMS)及各种工业控制系统。

可见,机电一体化是一门新兴的边缘学科,正处于发展阶段,代表着机械工业技术革命的前沿。由于机电一体化技术对现代工业和技术的发展具有巨大的推动力,因此世界各国均将其作为工业技术发展的重要战略之一。

二、机电一体化系统构成要素

一个典型的机电一体化系统应包含以下基本构成要素:机械本体、动力与驱动部分、执行机构、传感与检测部分、信息处理与控制单元等,其组成如图 1-2 所示。

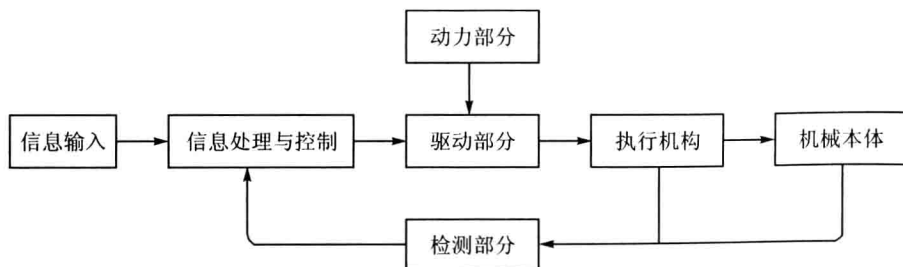


图 1-2 机电一体化系统组成

1. 机械本体

机械本体包括机身、框架、连接等,用于支撑和连接其他要素,并把这些要素合理地结合起来,形成有机的整体。由于机电一体化产品的技术性能、水平和功能的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性及几何尺寸等方面适应产品高效率、多功能、高可靠性和节能、小型、轻量、美观等要求。

2. 动力部分

动力部分的功能是按照系统的控制要求,为机电一体化系统其他部分的工作提供能量和动力,使系统正常运行。用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功能输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

3. 执行机构与驱动部分

执行机构的功能是根据控制信息和指令,完成要求的动作。执行机构是运动部件,一般采用机械、电磁、电液等机构。根据机电一体化系统的匹配性要求,执行机构需要考虑改善系统的动、静态性能,如提高刚性、减小质量和保持适当的阻尼,应尽量考虑组件化、标准化和系列化,以提高系统的整体可靠性等。

驱动部分的功能是在控制信息作用下,驱动各执行机构完成各种动作和功能。机电一体化系统对驱动部分的要求,一方面是高效率 and 快速响应特性,另一方面是对外部环境的适应性和高可靠性。

4. 传感与检测部分

传感与检测部分的功能是对系统运行中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进行检测,生成相应的可识别信号,传输到信息处理单元,作为发送控制信息的依据。这一功能一般由专门的传感器及检测电路完成,要求其具有体积小,便于安装与连接,检测精度高,抗干扰等特点。

5. 信息处理与控制单元

信息处理与控制单元的功能是将来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、储存、分析、加工,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。该单元一般由计算机、可编程逻辑控制器(PLC)、数控装置及逻辑电路、A/D与D/A转换、I/O(输入/输出)接口等组成。机电一体化系统对控制和信息处理单元的基本要求是提高信息处理速度和可靠性,增强抗干扰能力,以及完善系统自诊断功能,实现信息处理和控制的智能化。

以上五部分通常被称为机电一体化的五大构成要素,各部分在工作时相互协同,共同完成规定的目的功能。在结构上,各组成部分通过各种接口及相应软件有机结合在一起,构成一个内部匹配合理、外部效能最佳的完整系统。

从机电一体化系统的组成和功能来看,人体是机电一体化系统理想的参照物。如图 1-3(a)所示,构成人体的五大要素分别是躯干、内脏、四肢、感官和头脑,相应的功能如图 1-3(b)所示。内脏提供人体所需要的能量,维持人体活动;四肢执行动作;感官获取外界信息;头脑处理各种信息并对其他要素实施控制;躯干的功能是把人体各要素有机地联系为一体。

通过类比就可以发现,机电一体化系统的构成要素和功能与人体一致,表 1-1 所列为其对应关系。与人体相对应,机电一体化系统的 5 大构成要素及其对应的 5 大功能如图 1-4 所示。不管哪类机电一体化系统,其系统内部具备的几种内部功能是一致的。其中主功能(操作

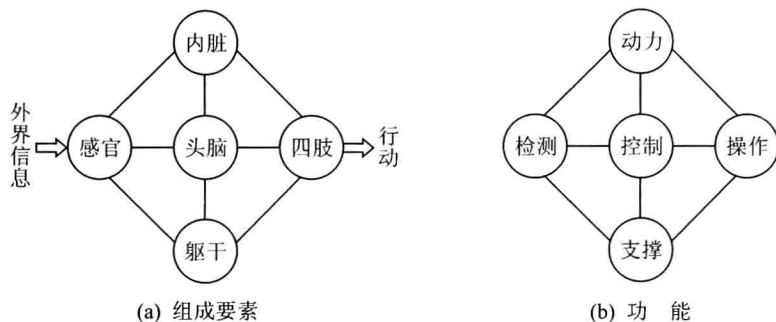


图 1-3 人体组成要素及功能

功能)是实现系统目的功能的直接功能,如将毛坯加工为工件。动力功能是向系统提供动力,让系统得以运转的功能。检测功能和控制功能的作用是根据系统内部信息和外部信息对整个系统进行控制,使系统正常运转,实施目的功能。而构造功能则是使构成系统的子系统及元、部件维持所定制的时间和空间上的相互关系所必需的功能。从系统的输入/输出来看,除有主功能的输入/输出之外,还需要有动力输入/输出。此外,还有因外部环境引起的干扰输入及非目的性输出(如废弃物等)。

表 1-1 机电一体化系统构成要素与人体组成要素的对应关系

机电一体化系统要素	功 能	人体要素
机械本体	支撑与连接	躯干
动力部件	提供动力(能量)	内脏
执行部件	驱动(操作)	四肢
传感器	检测(信息收集与变换)	感官
控制器	控制(信息存储、处理、传送)	头脑

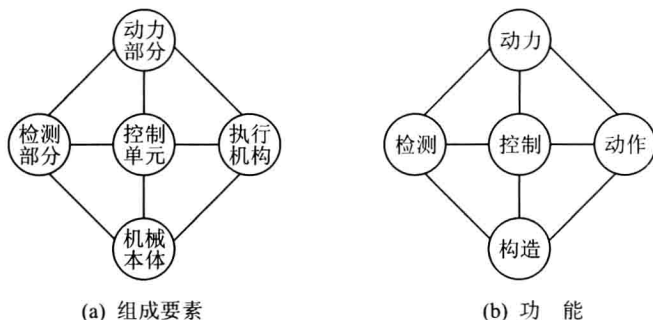


图 1-4 机电一体化系统的构成要素及功能

需要指出的是,构成机电一体化系统的几大要素并不是并列的,应该注意以下几点:

① 机械部分是基础和主体。这不仅是由于机械本体是系统重要的组成部分,而且系统的主要功能必须由机械装置来完成,否则就不能称其为机电一体化系统。如电子计算机、非指针式电子表等,其主要功能已由电子器件和电路完成,机械已退居次要地位,这类产品应归属于电子产品,而不是机电一体化产品。

② 机电一体化的核心是电子技术,特别是微电子技术。机电一体化需要新技术的有机结合,但首要的是微电子技术,不与微电子技术结合的机电系统也不能称其为机电一体化系统。例如非数控机床,一般均有电动机驱动,但不是机电一体化产品。机电一体化中的微电子装置除可取代某些机械部件的原有功能外,还能赋予产品许多功能,如自动检测、自动处理信息、自动显示记录、自动调节与控制、自动诊断与保护等。即具有“智能化”的特征是机电一体化与传统机械和电气、电子的结合系统的本质区别。除了微电子技术以外,在机电一体化系统中,其他技术则根据需要进行组合,可以是一种,也可以是多种。

③ 机电一体化产品的特点是产品功能的实现是所有功能单元共同作用的结果,这与传统机电设备中机械与电子系统相对独立,可以分别工作具有本质的区别。机电一体化系统各组成部分之间的连接匹配部分,称为接口。接口分为两种,机械与机械部分之间的连接称为机械接口,电气与电气部分之间的连接称为接口电路。接口起连接和匹配作用,如果两个组成部分之间相匹配,则接口只起连接作用。如果不匹配,则接口除了起连接作用外,还要起某种转换作用,如连接机床主轴和电机的减速箱,连接传感器输出信号和模/数转换器的放大电路,这些接口既起连接作用,又起匹配作用。

三、机电一体化系统分类

目前,机电一体化产品已经渗透到国民经济、日常工作及生活的各个领域,如集成电路自动生产线、激光切割设备、自动化物料搬运车、印刷设备、家用电器、雷达、医学设备等,有许多典型的机电一体化产品。机电一体化系统处于不断发展和技术进步中,例如机电一体化技术在制造业的应用,从一般的数控机床、加工中心和机械手发展到智能机器人、柔性制造系统(FMS)、无人生产车间和将设计、制造、销售、管理集于一体的计算机集成制造系统(CIMS)。

机电一体化产品的种类繁多,目前还在不断扩展,可以按照多种分类标准进行分类。

1. 按系统的功能划分

(1) 数控机械类

数控机械类主要产品为数控机床、工业机器人、发动机控制系统和自动洗衣机等。其特点为执行机构是机械装置。

(2) 电子设备类

电子设备类主要产品为电火花加工机床、线切割加工机床、超声波缝纫机和激光测量仪等。其特点为执行机构是电子装置。

(3) 机电结合类

机电结合类主要产品为自动探伤机、形状识别装置、CT 扫描仪、自动售货机等。其特点为执行机构是机械和电子装置的有机结合。

(4) 电液伺服类

电液伺服类主要产品为机电一体化的伺服装置。其特点为执行机构是液压驱动的机械装置,控制机构是接受电信号的液压伺服阀。

(5) 信息控制类

信息控制类主要产品为电报机、磁盘存储器、磁带录像机、录音机及复印机、传真机等办公自动化设备。其主要特点为执行机构的动作完全由所接受的信息控制。

2. 按系统的控制方式分类

(1) 开环控制系统

开环控制的机电一体化系统是没有反馈的控制系统,这种系统的输入直接送给控制器,并通过控制器对受控对象产生控制作用,如图 1-5 所示。一些家用电器、简易机床和精度要求不高的机电一体化产品都采用开环控制方式。开环控制机电一体化系统的优点是结构简单,成本低,维修方便,若组成系统的元件特性和参数值比较稳定,且外界干扰较小,则开环控制能够保持一定的精度;但精度通常较低,无自动纠偏能力。

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统是指在系统的输出端与输入端之间存在反馈回路,输出量对控制过程产生影响的控制系统,也叫反馈控制系统,如图 1-6 所示。闭环控制系统的核心是通过反馈来减小被控量(输出量)的偏差。闭环系统的优点是精度较高,对外部扰动和系统参数变化不敏感,但存在稳定、振荡、超调等问题,系统性能分析、设计和维修较困难。

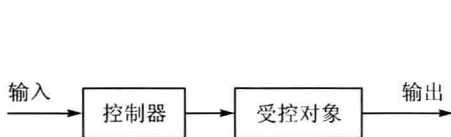


图 1-5 开环控制系统

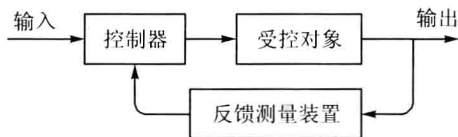


图 1-6 闭环控制系统

3. 按控制系统输入量的特征分类

(1) 恒值控制系统

系统输入量为恒定值,控制任务是保证在任何扰动作用下系统的输出量均为恒值,如恒温箱控制、电网电压、频率控制等。

(2) 程序控制系统

输入量的变化规律预先确知,输入装置根据输入的变化规律,发出控制指令,使被控对象按照指令程序的要求而运动,如数控加工系统。

(3) 随动系统(伺服系统)

输入量的变化规律不能预先确知,其控制要求是输出量迅速、平稳地跟随输入量变化,并能排除各种干扰因素的影响,准确地复现输入信号的变化规律,如仿形加工系统、火炮自动瞄准系统等。

4. 按控制系统控制元件特性分类

(1) 线性控制系统

当控制系统的各元件的输入/输出特性是线性特性时,控制系统的动态过程可以用线性微分方程(或线性差分方程)来描述,这种控制系统称为线性控制系统。

(2) 非线性控制系统

当控制系统中有一个或一个以上的非线性元件时,系统的特性就要用非线性方程来描述,这类控制系统称为非线性控制系统。

四、机电一体化系统特点

随着机电一体化技术的快速发展,机电一体化产品有逐步取代传统机电产品的趋势。这

完全取决于机电一体化技术所具有的优越性和潜在的应用性能。与传统的机电产品相比,机电一体化系统具有如下的特点:

(1) 工作能力和质量提高

机电一体化系统具有信息自动处理和自动控制功能,其控制和检测灵敏度、精度及范围都有很大程度的提高,通过自动控制系统可精确地保证机械的执行机构按照设计的要求完成预定的动作,使之不受机械操作者主观因素的影响,从而实现最佳操作,保证最佳的工作质量。同时,由于机电一体化产品实现了工作的自动化,使得系统工作能力大大提高。例如,数控机床对工件的加工稳定性大大提高,生产效率比普通机床提高 5~6 倍,柔性制造系统的生产设备利用率可提高 1.5~3.5 倍,可减少机床数量约 50%,减少操作人员约 50%,缩短生产周期 40%,使加工成本降低 50% 左右。此外,由于机电一体化工作方式具有可通过调整软件来适应需求的良好柔性,特别适合于多品种小批量产品的生产,是缩短产品开发周期,加速更新换代的重要途径。

(2) 使用安全性和可靠性提高

机电一体化产品一般都具有自动监视、报警、自动诊断、自动保护等功能。在工作过程中遇到过载、过压、过流、短路等电力故障时,能自动采取保护措施,避免和减少人身与设备事故,显著提高设备的使用安全性。机电一体化产品由于采用大量电子元器件,减少了机械产品中的可动构件和磨损部件,因此具有较高的灵敏度和可靠性,产品的故障率低,寿命得到了延长。

(3) 调整和维护方便,使用性能改善

由于机电一体化产品普遍采用程序控制和数字显示,操作按钮和手柄数量显著减少,操作过程大大简化并且使用方便、简单。机电一体化产品在安装调试时,可通过改变控制程序来改变工作方式,以适应不同用户对象的需要及现场参数变化需要。这些控制程序可通过多种手段输入到机电一体化产品控制系统中,而不需要改变产品中的任何部件或零件。对于具有存储功能的机电一体化产品,可以事先存入若干套不同的执行程序,然后根据不同的工作对象,只需给定一个代码信号输入,即可按预定程序进行自动工作。机电一体化产品的自动化检验和自动监视功能可对工作过程中出现的故障自动采取措施,使工作恢复正常。机电一体化产品的工作过程根据预设程序由电子控制系统来逐步实现,系统可重复实现全部动作。高级的机电一体化产品可通过被控制对象的数学模型以及设定参数的变化随机搜寻工作程序,实现自动最优化操作。

(4) 具有复合功能,适用面广

机电一体化产品一般具有自动化控制、瞬间自动补偿、自动校验、自动调节、自动保护和智能等多种功能,能应用于不同的场合和领域,应变能力大大增强。机电一体化产品跳出了机电产品单技术和单功能的限制,具有复合技术和复合功能,使产品的功能水平和自动化程度大大提高。

(5) 改善劳动条件,有利于自动化生产

机电一体化产品自动化程度高,是知识密集型和技术密集型产品,是将人们从繁重体力劳动中解放出来的重要途径,可以加速工厂自动化、办公自动化、农业自动化、交通自动化甚至是家庭自动化的发展。

(6) 节约能源,减少耗材

节约一次和二次能源是国家的战略目标,也是用户十分关心的问题。机电一体化产品,通

过采用低能耗驱动机构和最佳的调节控制,以提高设备的能源利用率,可收到明显的节能效果。同时,由于多种学科的交叉融合,机电一体化系统的许多功能一方面从机械系统转移到了微电子、计算机等系统,另一方面从硬件系统转移到了软件系统,从而使机电一体化系统朝着轻、小、智能化方向发展,减少了材料消耗。

因此,无论是生产部门还是使用单位,机电一体化技术和产品的应用,都会带来显著的社会和经济效益。正因为如此,世界各国,尤其是日本、美国及欧洲各国都在大力发展和推广机电一体化技术。传统产业通过机电一体化革命所带来的优质、高效、低耗和柔性增强了企业的竞争能力,引起各个国家和企业的高度重视。

第二节 机电一体化技术与产品

机电一体化包含了“技术”和“产品”两方面的内容,即机电一体化技术和机电一体化产品(系统)。机电一体化技术是指包括技术基础、技术原理在内的使机电一体化系统得以实现、使用 and 发展的技术。机电一体化系统是机械系统和微电子系统有机结合,被赋予新的功能和性能的新式系统。

一、机电一体化的理论与技术基础

1. 理论基础

系统论、信息论、控制论的建立,微电子尤其是计算机技术的迅猛发展,引发了科学技术的又一次革命,导致了机械工程的机电一体化。系统论、信息论和控制论是机电一体化技术的理论基础,是机电一体化技术的方法论。

开展机电一体化技术研究,无论在工程的构思、规划、设计等方面,还是在其实施或实现方面,都不能只着眼于机械或电子部分,不能只看到传感器或计算机,而是要用系统的观点,合理解决系统中信息流与控制机制的问题,有效地综合各相关技术,才能形成所需要的系统或产品。

确定机电一体化系统的目的、功能和规格后,利用机电一体化技术进行设计、制造的整个过程称为机电一体化工程。实施机电一体化工程实际上是一项系统工程,需要科学规划、系统研究和设计。机电一体化技术是系统工程科学在机械电子工程中的具体应用,具体地讲,就是以机械电子系统或产品为对象,以数学方法和计算机等为工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计和制造,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标,实现系统的综合最优化。

可见,机电一体化技术是从系统工程观点出发,应用机械、微电子等有关技术,将机械、电子等部分有机结合,实现系统或产品整体最优化的综合性技术。小型的系统或设备,即使是一台机器,也都是由许多要素组成的,为了实现所具有的“目的功能”,还需要从系统角度出发,不拘泥于机械技术或电子技术,而采用能够使各种功能要素构成最佳组合的各种技术与方法。

2. 技术基础

从机电一体化的发展进程看,系统论、信息论、控制论是机电一体化技术的理论基础,而微电子技术、精密机械技术则是其技术基础。

微电子技术的进步,尤其是微型计算机技术的迅速发展,为机电一体化技术的进步与发展

提供了前提条件,正是由于计算机的出现和发展才使机械、电子、信息的一体化得以实现。同时,精密机械加工技术也在机电一体化技术的发展中发挥了重要作用,机电一体化系统中的许多重要零部件都是利用超精密加工技术制造的,就连微电子技术本身的发展也离不开精密机械技术,大规模集成电路制造中的微细加工就是精密机械技术进步的结果。因此可以说,精密机械加工技术促进了微电子技术的不断发展,微电子技术的不断发展又推动了精密机械技术中加工设备的不断更新。当然,由于机电一体化是一个系统工程,是一个大系统,因此其发展不仅要依靠信息技术、控制技术、机械技术、电子技术和计算机技术的发展,还要依靠其他相关技术的发展。

机电一体化这一新兴学科有其技术基础、设计理论和研究方法,只有对其充分理解,才能正确地进行机电一体化方面的工作。机电一体化的目的是使系统(产品)高附加值化,即多功能,高效率,高可靠性,省材料,省能源,不断满足人们生活和生产的多样化需求。所以,一方面,机电一体化既是机械工程发展的继续,也是电子技术应用的必然;另一方面,机电一体化的研究方法应该从系统的角度出发,采用现代化设计分析方法,充分发挥交叉学科技术的优势。

二、机电一体化的关键技术

机电一体化是各种技术相互渗透的结果,是技术密集型的系统工程。其关键共性技术组成包括机械技术、检测技术、伺服传动技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术和系统总体技术等。

1. 机械技术

机械技术是机电一体化的基础,随着高新技术引入机械行业,机械技术面临着挑战和变革。在机电一体化产品中,机械技术不再是单一地完成系统间的连接,而是要优化设计系统的结构、质量、体积、刚性和寿命等参数对机电一体化系统的综合影响。机械技术的着眼点在于如何与机电一体化的技术相适应,利用其他高新技术来更新概念,实现结构上、材料上、性能上及功能上的变更,以满足减轻质量,缩小体积,提高精度,提高刚度,改善性能和增加功能的要求。

在制造过程的机电一体化系统中,经典的机械理论与工艺应借助于计算机辅助设计技术,同时采用人工智能与专家系统等,形成新一代的机械制造技术。这里原有的机械技术以知识和技能的形式存在。计算机辅助工艺规程编制(CAPP)是目前 CAD/CAM 系统研究的瓶颈,其关键问题在于如何将各行业、企业、技术人员中的标准、习惯和经验进行表达和陈述,从而实现计算机的自动工艺设计与管理。

2. 传感与检测技术

传感与检测装置是系统的感受器官,与信息系统的输入端相连并将检测到的信息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,其功能越强,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。现代工程技术要求传感器能快速、精确地获取信息,并能经受各种严酷环境的考验。与计算机技术相比,传感器的发展显得缓慢,难以满足技术发展的要求。不少机电一体化装置不能达到满意的效果

或无法实现设计的关键原因在于没有合适的传感器。因此大力开展传感器的研究对于机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

3. 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策,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。计算机技术包括计算机软件技术和硬件技术、网络与通信技术、数据技术等。在机电一体化系统中,计算机信息处理部分指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时,直接影响到系统工作的质量和效率。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。人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术等都属于计算机信息处理技术。

4. 自动控制技术

自动控制技术范围很广,机电一体化的系统设计在基本控制理论指导下,对具体控制装置或控制系统进行设计;对设计后的系统进行仿真和现场调试;最后使研制的系统可靠地投入运行。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、再现和检索等。

随着微型机的广泛应用,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。

5. 伺服传动技术

伺服传动包括电动、气动、液压等各种类型的驱动装置,由微型计算机通过接口与这些传动装置相连接,控制其运动,带动工作机械作回转、直线及其他各种复杂的运动。伺服传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或部件,对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动有电液马达、脉冲油缸、步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。由于变频技术的发展,交流伺服驱动技术取得了突破性进展,为机电一体化系统提供了高质量的伺服驱动单元,极大地促进了机电一体化技术的发展。

6. 系统总体技术

系统总体技术是一种从整体目标出发,用系统的观点和从全局角度,将总体分解成相互有机联系的若干单元,找出能完成各个功能的技术方案,再把功能和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。系统总体技术解决的是系统的性能优化问题和组成要素之间的有机联系问题,即使各个组成要素的性能和可靠性很好,但如果整个系统不能很好协调,系统也很难正常运行。

接口技术是系统总体技术的关键环节,主要有电气接口、机械接口、人机接口。电气接口实现系统间的信号联系;机械接口则完成机械与机械部件、机械与电气装置的连接;人机接口提供人与系统间的交互界面。

三、典型的机电一体化产品

机电一体化产品已经渗透到国民经济、日常工作及生活的各个领域,现代数控机床、工业机器人、微机电系统等都是典型的机电一体化产品。

1. 数控机床

数字控制技术,简称数控(Numerical Control, NC)技术,是利用数字化的信息对机床运动

及加工过程进行自动化控制与管理的一种方法。用数控技术实施加工控制的机床,或者说具备了数控系统的机床称为数控机床。数控技术是机械加工自动化的基础,是数控机床的核心技术,其水平高低关系到国家战略地位和国家综合实力的水平,并伴随着信息技术、微电子技术、自动化技术和检测技术的发展而发展。

现代数控机床是机、电、液、气、光高度一体化的产品,是机电一体化的典型产品,是新一代生产技术、计算机集成制造系统等的技术基础。要实现对机床的控制,需要用几何信息描述刀具和工件间的相对运动,以及用工艺信息描述机床加工必须具备的一些工艺参数,例如进给速度、主轴转速、主轴正反转、换刀、冷却液的开关等。这些信息按一定的格式形成加工文件(数控加工程序)并存放在信息载体上,然后由机床上的数控系统读入,通过对其译码,从而使机床动作并加工零件。

数控机床一般由下列几个部分组成:

① 主机,是用于完成各种切削加工的机械部件。主机是数控机床的主体,包括机床身、立柱、主轴和进给机构等机械部件。

② 数控装置,是数控机床的核心。包括硬件及相应的软件,用于输入数字化的零件程序,并完成输入信息的存储、数据的变换、插补运算以及实现各种控制功能。

③ 驱动装置,是数控机床执行机构的驱动部件。包括主轴驱动单元、进给单元、主轴电机及进给电机等,在数控装置的控制下通过电气或电液伺服系统实现主轴和进给驱动。当几个进给联动时,可以完成定位、直线、平面曲线和空间曲线的加工。

④ 辅助装置,指数控机床的一些必要的配套部件,用于保证数控机床的运行,如冷却、排屑、润滑、照明和监测等。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头,还包括刀具及监控检测装置等。

⑤ 编程及其他附属设备,可用来在机外进行零件的程序编制、存储等。

当产品及其加工过程能由数学定义的时候,数控是最理想的。随着计算机辅助设计(CAD)的应用日益广泛,由数学定义的加工过程和产品愈来愈多,人们熟悉的制图已经变得不十分必要,因为由数学定义的零件完全可以用计算机数控机床加工。

与普通机床相比,数控机床有如下特点:

- ① 高速度,高效率;
- ② 加工精度高,具有稳定的加工质量;
- ③ 可进行多坐标的联动,能加工形状复杂的零件;
- ④ 当加工零件改变时,一般只需要更改数控程序,可节省生产准备时间;
- ⑤ 自动化程度高,可以减轻劳动强度;
- ⑥ 对操作人员的素质要求较高,对维修人员的技术要求更高。

目前,高档的数控加工中心机床得到了迅速发展,并在自动化生产系统中占有重要地位。数控加工中心是一种带有刀库并能自动更换刀具,对工件能够在一定的范围内进行多种加工操作的数控机床。在加工中心上加工零件的特点是:被加工零件经过一次装夹后,数控系统能控制机床按不同的工序自动选择和更换刀具,自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助功能,连续地对工件各加工面自动地进行多工序加工。由于加工中心能集中地、自动地完成多种工序,避免了人为的操作误差,减少了工件装夹、测量和机床的调整时间及工件周转、搬运和存放时间,大大提高了加工效率和加工精度,所以具有良好的经济