



新世纪高职高专教改项目成果教材

XINSHIJI GAOZHI GAOZHUAN JIAOGAI XIANGMU CHENGGUO JIAOCAI

机械制造及机电一体化系列

机电一体化系统

赵先仲 主编



高等教育出版社

新世纪高职高专教改项目成果教材

机电一体化系统

赵先仲 主编

刘晓刚 王春海 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材,供高等职业教育技能型紧缺人才培养试用。本书从应用角度出发,介绍了机电一体化产品的组成和原理、产品特点,主要零部件和元器件的原理、作用,主要控制元件与控制电路的介绍、分析,机电一体化产品应用实例等。书中内容新颖、深浅适中,符合专业应用要求。

全书共分8章。第1章介绍机电一体化的概念和主要特征、机电一体化系统的组成、机电一体化系统的分类;第2章介绍机电一体化系统的机械结构;第3章介绍机电一体化系统中的检测环节;第4章介绍机电一体化系统的控制系统;第5章介绍控制系统中常用的控制方式;第6章介绍机电一体化系统的执行装置及其控制;第7章介绍工业机器人技术;第8章介绍机电一体化产品实例。

本书适合机电一体化专业和数控技术应用专业的学生使用,也可作为从事计算机控制、机电一体化工作的技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统 / 赵先仲主编. —北京: 高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014672-X

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 059354 号

策划编辑 赵 亮 责任编辑 卞莉莉 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 范晓红 责任校对 杨凤玲 责任印制 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 010-82028899

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 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 14.50
字 数 340 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 18.50 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

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向21世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2号）的精神，教育部高等教育司决定从2000年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一些较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002年11月30日

前 言

机电一体化是在以大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术高度发展、精密机械高速发展、机械与电子技术高度结合的现代工业基础上,综合应用机械技术、微电子技术、自动控制技术、信息技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术、信号变换技术以及软件编程技术等的技术集成。它从根本上改变了产品的结构,为人类带来了巨大的经济效益。

本书是为高职高专机电一体化专业的机电一体化系统课程编写的教材。本书从应用角度出发,介绍了机电一体化产品的组成和原理、产品特点,主要零部件和元器件的原理、作用和选用,主要控制元件与控制电路的介绍、分析、选择,机电一体化产品应用实例等。书中内容新颖、深浅适中,符合专业应用要求。主要应用内容为电梯、全自动洗衣机、机器人和灌装机等系统,特别适合机电一体化专业和数控技术应用专业的学生使用。本书也可作为从事计算机控制、机电一体化工作的技术人员的参考资料。

全书共分8章。第1章介绍机电一体化的概念和主要特征、机电一体化系统的组成、机电一体化系统的分类;第2章介绍机电一体化系统的机械结构;第3章介绍机电一体化系统中的检测环节;第4章介绍机电一体化系统的控制系统;第5章介绍控制系统中常用的控制方式;第6章介绍机电一体化系统的执行装置及其控制;第7章介绍工业机器人技术;第8章介绍机电一体化产品实例。

通过本书的学习,可以使学生在全面了解典型机电一体化产品的基础上,培养对一般机电一体化产品运行原理、故障等初步分析、判断的能力,提高初步的维护、维修能力,也为深入学习机电一体化工作打下良好的基础。

本书由赵先仲任主编、刘晓刚、王春海任副主编,其中第1、4章由赵先仲编写,第2、6、7章以及第8章第1、2节由刘晓刚编写,第3、5章由王春海编写,第8章第3节由刘立伟编写。全书由赵先仲统稿,由杨祖效老师主审。

由于水平有限,书中所涉及的内容多、范围广,难免存在不少缺点,敬请读者批评指正。

编 者
2004年2月

目 录

第1章 概述	1	3.2 速度检测环节的构成和接口	51
1.1 机电一体化的概念	1	3.2.1 测速发电机	51
1.2 机电一体化系统的组成	2	3.2.2 霍尔转速传感器	52
1.3 机电一体化各功能组成部分的关系 及作用	3	3.2.3 其他转速检测元件	54
1.4 机电一体化技术的特点	4	3.3 温度检测环节的构成和接口	56
1.5 机电一体化技术在国民经济中 的地位与作用	6	3.3.1 检测元件	56
第2章 机电一体化系统中的机械结构 ..	9	3.3.2 温度检测系统应用实例	58
2.1 机械精度	9	第4章 控制系统	61
2.1.1 反映整体设备的精度概念	9	4.1 控制系统的组成及其作用	61
2.1.2 涉及零件的精度概念	11	4.2 控制系统的设计要求	61
2.2 机械系统中的基本问题	12	4.3 控制系统中的输入装置	62
2.2.1 材料选择	12	4.3.1 通用键盘的使用	62
2.2.2 机械传动	13	4.3.2 矩阵键盘的使用	65
2.2.3 常见支承类型	15	4.4 控制系统中的信息显示	69
2.2.4 动平衡	16	4.4.1 用CRT显示信息	70
2.2.5 结构工艺性	17	4.4.2 数码管显示	72
2.3 机械传动系统的结构特点	19	4.5 控制系统中的信息输入、输出	76
2.3.1 轴与支承	19	4.5.1 并行输入/输出	77
2.3.2 轴上零件的固定	20	4.5.2 串行输入/输出	79
2.4 滚珠丝杠与滚动导轨	22	4.6 控制系统中的数据处理	81
2.4.1 滚珠丝杠	22	4.6.1 数制的转换处理	81
2.4.2 导轨副的组成、种类及其 应满足的要求	25	4.6.2 数字滤波	82
2.4.3 滚动导轨副的类型	27	第5章 常用控制方式	86
第3章 检测环节	29	5.1 顺序控制与时间控制	86
3.1 位置检测环节的构成和接口	29	5.1.1 顺序控制与时间控制系统 的基本概念	86
3.1.1 感应同步器	29	5.1.2 顺序控制与时间控制系统的组成 ..	87
3.1.2 旋转变压器	34	5.1.3 顺序控制系统的分类	87
3.1.3 光栅	37	5.1.4 顺序控制与时间控制系统的实例 ..	88
3.1.4 脉冲编码器	43	5.2 速度控制	93
3.1.5 磁栅	48	5.2.1 步进电机的速度控制	93
		5.2.2 直流伺服电机的速度控制	96
		5.2.3 交流电动机的速度控制	102
		5.3 轨迹控制	107

5.3.1 逐点比较法	108	7.3.2 机器人手臂	148
5.3.2 数据采样法	113	7.3.3 机器人手腕	150
第6章 执行装置及其控制	116	7.3.4 手腕的柔顺性	151
6.1 步进电机	116	7.3.5 机器人末端夹持器	153
6.1.1 步进电机工作原理	116	7.4 工业机器人控制	154
6.1.2 反应式步进电机的主要机械特性	117	7.4.1 示教再现控制系统	155
6.1.3 步进电机的控制	119	7.4.2 微型计算机控制系统	157
6.1.4 步进电机的主要特点	121	7.5 工业机器人的操作	160
6.2 直流伺服电机及其控制	122	7.5.1 开启电源	160
6.2.1 直流伺服电机	122	7.5.2 操作面板使用	161
6.2.2 直流伺服电机的机械特性和调节特性	123	7.5.3 示教盒的功能及使用	162
6.2.3 直流伺服电机参数之间的关系	125	7.5.4 手动模式下的电动机 启动及文本输入	163
6.2.4 直流调速控制方式	126	7.6 工业机器人的编程	164
6.3 交流伺服电机及其控制	129	7.6.1 RAPID 语言	164
6.3.1 交流伺服电机	129	7.6.2 应用举例	171
6.3.2 晶闸管调压调速	129	第8章 机电一体化产品实例	174
6.3.3 (PWM)型晶闸管变频调速系统	130	8.1 电梯	174
6.4 液压与气动控制	133	8.1.1 电梯组成与功能	174
6.4.1 液压控制	133	8.1.2 电梯控制系统的主要部件	176
6.4.2 气压传动与控制	135	8.1.3 交流双速电梯电气原理	178
第7章 工业机器人技术	141	8.1.4 PLC I/O 节点分配	179
7.1 机器人的分类及应用	141	8.1.5 四层电梯 PLC 控制程序	181
7.1.1 按信息输入形式分类	141	8.2 全自动洗衣机	183
7.1.2 按坐标分类	142	8.2.1 全自动洗衣机工作过程	183
7.1.3 按受控运动方式分类	143	8.2.2 全自动洗衣机的软件设计	184
7.1.4 按运动副连接方式分类	143	8.3 灌装封盖机械	187
7.2 机器人的专用名词及相关概念	144	8.3.1 典型灌装封口机结构分析	188
7.2.1 机器人的定义	144	8.3.2 控制部分	198
7.2.2 机器人的相关概念	144	习题与思考	203
7.2.3 位姿	145	附录 I 通用键盘布局和正常编码	206
7.2.4 齐次矩阵	147	附录 II 与 Shift、Ctrl 组合的键盘 编码	207
7.2.5 轨迹规划	147	附录 III 与 Alt 组合的键盘编码	208
7.2.6 承载能力	147	附录 IV 电梯控制梯形图	209
7.2.7 速度和循环时间	148	附录 V 洗衣机程序清单	213
7.2.8 定位精度和重复精度	148	参考文献	220
7.3 典型工业机器人的结构	148		
7.3.1 机器人机座	148		

第 1 章 概 述

1.1 机电一体化的概念

机电一体化是在大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术高度发展、精密机械高速发展、机械与电子技术高度结合的现代工业基础上,综合应用机械技术、微电子技术、自动控制技术、信息技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术、信号变换技术以及软件编程技术等的一门群体技术,根据系统功能目标优化组织结构目标,合理配置布局机械本体、执行机构、动力驱动单元、传感测试元件、控制元件、微电子信息接收、分析、加工、处理、生产、传输单元和线路以及衔接接口元件等硬件元素,并在软件程序和微电子电路逻辑的控制下,相互协调、有机融合和集成,在高功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能的系统工程技术。由此而产生的功能系统则成为一个以微电子技术为主导的现代高新技术支持下的机电一体化系统或机电一体化产品。

数控机床是典型的机电一体化产品,同时又是用于产品制造的机电一体化生产设备。以美国辛辛那提(Cincinnati)1210-U车削加工中心为例,机床拥有刀塔的Z(纵向)、X(横向)直线运动和C(主轴转角位置)三个坐标及相应伺服驱动单元,两坐标联动,转塔式刀库有十二个刀位,可安装自转和非自转刀具。因此除一般车削内、外圆柱面,内、外圆锥面,内、外曲面外,还可进行端面和柱面分布孔、槽及螺旋表面的钻削和铣削加工。机床配备有刀具测头和工件测头,可对刀具坐标和工件尺寸进行测量。机床使用高档数控系统,其控制系统结构采用多总线、多CPU结构。各CPU分别进行数据传送通道管理、操作键盘和显示管理、磁盘驱动器读写操作、可编程控制器输入输出、插补运算和伺服驱动控制等,由总线仲裁器按中断优先原则管理总线分配和通信,协调各子模块的运算和控制功能。数控系统通过可编程控制器管理机床的辅助功能(M功能)和系统各环节运行状态监测信息。系统具备很强的自诊断功能,系统运行过程中对故障和操作错误实时报警。同时,系统设置有标准数据传送通道,可以通过串接口与上位计算机联机,进行程序传送和管理,控制信息通信,因此可直接接入计算机集成制造系统网络。

这种机电一体化生产装备,不仅自身具有很强的功能,还可以使用这些设备形成更高级的机电一体化制造系统。数控机床和加工中心机床配备自动上下料装置,包括机床工作台自动交换设备或工业机器人,在上位计算机程序控制下实现多品种加工对象的连续自动化生产,构成柔性制造单元(FMC);根据加工对象的类别范围,合理组织不同种类的FMC,并配置工件、工具等的自动物流传送设备,采用控制级、决策级等层次结构式的多级计算机管理与控制,实现优化自动生产过程,构成能够适应多品种、中小批量自动化生产的柔性制造系统(FMS);而计算机集成制造系统(CIMS)则是计算机经营决策管理系统、计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)与FMS的有机集成。

机电一体化产品和机电一体化生产系统是机械制造工业进步的必然趋势,也是现代高新技

术支持下的综合技术发展的结果。

1.2 机电一体化系统的组成

一个较完善的机电一体化系统,一般应由机械本体、动力部分、测试传感部分、执行机构、驱动部分、控制及信息处理单元及接口组成,各部分之间通过接口相联系。

1. 机械本体

机械本体是所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架、机械连接、机械运动部件等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸及精度等方面适应产品高效、多功能、可靠、节能、小型、轻量、美观等要求。

2. 动力部分

在控制系统的控制下,为系统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率输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

3. 测试传感部分

在系统运行中对系统本身和外界环境的各种参数及状态进行检测,变成可识别信号,传输到信息处理单元,经过分析、处理后产生相应的控制信息。其功能一般由专门的传感器和仪器仪表完成。

4. 执行机构

接收控制系统的控制信息和指令,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,需要考虑改善性能,如提高刚性,减轻重量,实现组件化、标准化和系列化,提高系统整体可靠性等。

5. 驱动部分

在控制信息作用下,提供动力并实现功率匹配,驱动各执行机构完成各种动作和功能。机电一体化系统一方面要求驱动的高效率和快速响应特性,同时要求对水、油、温度、尘埃等外部环境的适应性和可靠性。由于几何尺寸上的限制,动作范围狭窄,还需考虑维修和实现标准化。由于电力电子技术的高度发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动大量应用于机电一体化系统。

6. 控制及信息处理单元

将来自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,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统按要求实现有序地运行。控制及信息处理单元一般由计算机、可编程控制器(PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D 与 D/A 转换、I/O(输入输出)接口和计算机外部设备等组成。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,提高可靠性,增强抗干扰能力,完善系统自诊断功能,实现信息处理智能化和小型、轻量、标准化等。

7. 接口

接口是系统中各单元和环节之间进行物质、能量和信息交换的连接界面,是外部设备和数控装置之间的桥梁。基本功能主要有三个:

(1) 变换 两个需要进行信息交换和传输的环节之间,由于信号的模式不同(数字量与模

拟量、串行码与并行码、连续脉冲与序列脉冲等),无法直接实现信息或能量的交流,通过接口完成信号或能量的统一。

(2) 放大 在两个信号强度相差悬殊的环节间,经接口放大,达到能量的匹配。

(3) 传递 变换和放大后的信号在环节间能可靠、快速、准确地交换,必须遵循协调一致的时序、信号格式和逻辑规范。接口具有保证信息传递的逻辑控制功能,使信息按规定模式进行传递。

由于接口的作用使各组成部分连接成为一个有机整体,由于控制和信息处理单元的信息引导,使各功能环节按预先的要求有条不紊地动作,从而形成机电一体化系统工程。

1.3 机电一体化各功能组成部分的关系及作用

机电一体化是系统技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术、检测传感技术、伺服传动技术和机械技术等多学科技术领域综合交叉的技术密集型系统工程。

1. 精密机械技术

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,传统的机械技术面临着挑战和变革。在机电一体化产品中,它不再是单一地完成系统间的连接,在系统结构、重量、体积、刚性与耐用性方面对机电一体化系统有着重要的影响。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、材料、性能方面的变更,满足减少重量、缩小体积、提高精度、提高刚度、改善性能的要求。

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。原有的机械技术以知识和技能的形式存在,是任何其他技术代替不了的。如计算机辅助工艺规程编制(CAPP)是目前 CAD/CAM 系统研究的瓶颈,其关键在于如何将广泛存在于各行业、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. 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的交换、存储、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的软件技术和硬件技术,网络与通信技术,数据库技术等。机电一体化系统中,计算机与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。因此,计算机应用及信息处理技术是为促进机电一体化技术发展和变革的最重要的因素之一。

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。

3. 系统技术

系统技术就是以整体的概念组织应用各种相关技术,从全局角度和系统目标出发,将总体分解成相互有机联系的若干功能单元,以功能单元为子系统进行二次分解,生成功能更为单一和具体的子功能单元。这些子功能单元同样可继续逐层分解,直到能够找出一个可实现的技术方案。深入了解系统内部结构和相互关系,把握系统外部联系,对系统设计和产品开发十分重要。

接口技术是系统技术中一个重要方面,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。电气接口实现系统间电信号连接;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。

4. 自动控制技术

自动控制技术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;最后使控制的系统能可靠地投入运行。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、检索等。

由于微型计算机的广泛应用,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。

5. 传感与检测技术

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连并将检测到的信号输送到信息处理部分,经过分析计算确定是否满足要求。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)变换成系统可识别的、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,并能经受各种恶劣环境的考验。与计算机技术相比,传感器的发展显得缓慢,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。

6. 伺服传动技术

伺服传动包括电动、气动、液压等各种类型的传动装置,由微型计算机通过接口与这些传动装置相连接,控制它们的运动,带动工作机械作回转、直线以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与部件,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。由于变频技术的进步,交流伺服驱动技术已取得突破性进展,可为机电一体化系统提供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。

1.4 机电一体化技术的特点

机电一体化综合利用各相关技术优势,取得系统优化效果,有显著的社会效益和技术经济效益。

1. 提高精度

机电一体化技术使机械传动部件大大减少,因而使机械磨损、配合间隙、零件制造精度及受力变形等所引起的误差大大减小,同时由于使用计算机和电子技术实现自动检测和控制,补偿校正因各种干扰因素造成的动态误差,从而达到纯机械传动装备所不能实现的工作精度。如采用微型计算机误差分离技术的电子化圆度仪,其测量精度可由原来的 $0.025\ \mu\text{m}$ 提高到 $0.01\ \mu\text{m}$,大型镗铣床装上感应同步器数显装置可将加工精度从 $0.06\ \text{mm}/1\ 000\ \text{mm}$ 提高到 $0.02\ \text{mm}/1\ 000\ \text{mm}$ 。

2. 增强功能

现代高新技术的引入极大地改变了机械工业产品的性能,一台设备具有多种复合功能,已成为机电一体化产品和应用技术的一个显著特征。例如,加工中心机床可以将多台普通机床上的多道工序在一次装夹中完成,并且还有自动检测工件和刀具,自动显示刀具动态轨迹图形,自动保护和自动故障诊断等极强的应用功能;配有机器人的大型激光加工中心,能够完成自动焊接、划线、切割、钻孔、热处理等操作,可对金属、塑料、陶瓷、木材、橡胶等各种材料进行加工。这种极强的复合功能,是机电一体化的结果,是传统机械加工系统所不能比拟的。

3. 提高生产效率,降低成本

机电一体化生产系统能够减少生产准备和辅助时间,缩短新产品开发周期,提高产品合格率,减少操作人员的数量,提高生产效率,降低生产成本。例如,数控机床的生产效率比普通机床高 5~6 倍,柔性制造系统可使生产周期缩短 40%,生产成本降低 50%。

4. 节约能源,降低消耗

机电一体化产品通过采用低能耗的驱动机构,最佳的调节控制,使设备的能源消耗大大降低,能源利用率显著提高。例如,汽车电子点火器由于控制最佳点火时间和状态可大大节约汽车耗油量;如将节能工况下运行的风机、水泵改为随工况变速运行,平均可节电 30%;工业锅炉使用微型计算机精确控制燃料与空气的最佳混合比,可节约燃煤 5%~20%,耗电量大的电弧炉,如改用微型计算机实现最佳功率控制,可节省 20% 的电力。

5. 提高安全性、可靠性

具有自动检测监控功能的机电一体化系统能够对各种故障和危险情况自动采取保护措施和及时修正运行参数,提高系统的安全可靠性。例如,大型火力发电设备中,锅炉与汽轮机的协调控制系统、汽轮机的电液调节系统、自动启停系统、安全保护系统等,不仅提高了机组运行的灵活性和经济性,而且提高了机组运行的安全性和可靠性,使火力发电设备逐步走向全自动控制;又如,大型轧机多级计算机分散控制系统,可以解决对大型、高速、冷热轧机的多参数测量、控制问题,保证系统可靠运行。

6. 改善操作性和使用性

机电一体化装置或系统各相关传动机构的动作顺序及功能协调关系,可由程序控制自动实现,并建立友好的人-机界面,对操作参量加以提示,因而可以通过简便的操作得到复杂的功能控制和使用效果。操作者只需输入一些参数或编制控制运行的应用程序。如一座高度复杂的现代大型熔炉作业的控制系统,其控制内容包括最优配料、多台电炉的功率控制、球化和孕育处理、记忆球铁浇铸情况、铁水成分、熔化和造型之间的协调平衡等,整个系统从起动到熔炉的全部作业完成,只需操作几个按钮就能完成。有的机电一体化装置,可实现操作全自动化,如带有示教功能的工业机器人,在由人工进行一次示教操作后,即可按示教内容自动重复实现全部动作。有些更高级的机电一体化系统,还可通过被控对象的数学模型和目标函数以及各种运行参数的变化情况,自动确定最佳工作过程,以及对内对外协调关系,以实现自动最优控制,如微型计算机控制的钢板测厚自动控制系统、电梯全自动控制系统、智能机器人等。机电一体化系统的先进性和技术密集性与操作使用的简易性和方便性相互联系在一起。

7. 减轻劳动强度,改善劳动条件

机电一体化一方面能够将制造和生产过程中极为复杂的人的智力活动和资料数据记忆查找工作改由计算机来完成,一方面又能由程序控制自动运行,代替人的紧张和单调重复操作以及在

危险或有害环境下的工作,因而大大减轻了劳动者的脑力和体力劳动,改善了劳动者的工作环境条件。例如,CAD 和 CAPP 极大地减轻了设计人员的劳动复杂性,提高了设计效率;搬运、焊接和喷漆机器人取代了人的单调重复劳动;武器弹药装配机器人、深海工作机器人、在核反应堆和有毒环境下的自动工作系统,替代了人类在危险环境中的劳动。

8. 简化结构,减轻重量

由于机电一体化系统采用新型电力电子器件和传动技术代替笨重的老式电气控制和复杂的机械变速传动,由微处理机和集成电路等微电子元件和程序逻辑软件完成过去靠机械传动链和机构来实现的关联运动,从而使机电一体化产品体积减小,结构简化,重量减轻。例如,无换向器电动机,将电子控制与相应的电动机电磁结构相结合,取消了传统的换向电刷,简化了电动机结构,提高了电动机寿命和运行特性,并缩小了体积;数控精密插齿机可节省齿轮和相关的支承零部件 30%;一台现金出纳机用微处理机控制可取代几百个机械传动部件。采用机电一体化技术简化结构,减轻重量对于航空航天技术有更特殊的意义。

9. 降低价格

由于结构简化,材料消耗减少,制造成本降低,同时由于微电子制造技术的高速发展,微电子器件价格迅速下降,因此,机电一体化产品价格低廉,而且维修性能改善,使用寿命延长。例如石英晶振电子表以其高功能、计时准确、使用方便和价格低的优势迅速占领了计时商品市场。

10. 增强柔性应用功能

机电一体化系统可以根据使用要求的变化,对产品应用功能和工作过程进行调整修改,满足用户多样化的使用要求。例如工业机器人具有较多的运动自由度,手爪部分可以换用不同工具,可以使机器人具有搬运、焊接、切割、喷漆等操作。通过修改程序改变运动轨迹和运动姿态,适应不同的作业过程和工作内容;利用数控加工中心或柔性制造系统可以通过更换加工程序,加工不同的零件。机械工业约有 75% 的产品属中小批量,利用柔性生产系统,能够经济迅速地解决这种中小批量多品种的自动化生产。

通过编制应用程序来实现工作方式的改变,适应各种用户对象及现场参数变化的需要,机电一体化这种柔性应用功能构成了机械控制“软件化”和“智能化”特征。

1.5 机电一体化技术在国民经济中的地位与作用

一个国家的制造产业的机电一体化水平直接影响产品的性能、生产效率、经济效益,直接影响国家的经济发展。

现代军事产品对机电一体化提出了更高的要求。如卫星制导、激光制导等,都是先将目标的准确位置送给计算机,通过计算机快速准确的计算并发出控制指令,控制导弹准确击中目标。

机电一体化以其本身特有的技术优势迅速改变现代制造产业的产品结构,机电一体化使产品实现更新和升级换代,技术性能指标大幅度提高,使原来的低、中档产品上升为高档产品,在功能、水平、质量、品种、使用效果和价格等方面能更好地满足国内外市场需求,增强了产品的竞争性。另一方面,机电一体化的生产装备易于根据市场需求组织和改变产品生产,缩短新产品生产周期,降低能耗和生产成本,使企业增强生产经营的竞争能力。

以数控机床、机器人、FMS 的发展应用为例,可以体现出机电一体化在现代机械制造产业构

成中的重要地位和作用。

1. 机床产业数控化

机床是机械工业的基础制造装备和工作母机,是决定机械工业生产能力和水平的关键。数控机床的技术经济效益显著,主要表现在,缩短新产品试制和生产周期,节约大量工艺装备,生产效率高,辅助生产时间减少,减少人为误差,加工精度稳定性显著提高,零件互换性好,能加工用普通机床很难甚至无法加工的各类复杂零件,数控机床的结构,如宽调速主轴和进给伺服系统可以减少齿轮传动机构。因此,在国际竞争日益激烈,产品品种变化频繁的形势下,机床产业的数控化发展十分迅速。

高档数控加工中心机床,由于其在自动化生产系统中的重要地位,近年来得到迅速发展。

当前,数控机床一方面向多功能、高速化的方向发展,同时开发简易数控装置也有广泛的应用需求。以 8 位和 16 位微型计算机为核心的数控系统大量广泛应用;以 32 位微型计算机为核心的数控系统使数控机床发展到一个崭新的阶段。32 位高档数控系统既能独立而高效地完成单机控制任务,又能依据需要很容易地联入 FMS,是构成柔性自动化生产系统的基础。

2. 机器人产业兴起

当第一台电子计算机于 1946 年问世后的第二年,即 1947 年,就有科学家提出“人工智能”概念,1956 年这一术语正式得到科技界的确认。由于人们的认识不同,技术水平和理论基础的局限性等因素,机器人的研究工作曾出现几次大起大落。20 世纪 40 年代和 50 年代中期,都曾发生过起伏而未结出硕果。直到 60 年代初,在信息论、现代计算机和微电子及通信技术的推动下,利用计算机软件模拟人的大脑信息处理系统,推出了体现智能行为的程序,终于在美国产生了第一台实用样机。20 世纪 60 年代末 70 年代初,日本、美国等在专家系统和庞大数据处理技术的研究飞速发展的情况下,机器人技术研究取得重大突破,功能日益增强,应用范围不断扩展。目前,机器人技术在全球范围内得到了广泛的应用,逐步形成了一个重要的高技术学科领域和工业机器人产业。

目前,国外工业机器人主要生产厂家有 400 余家,机器人品种规格达 700 余种,不少国家都有自己的标准化、系列化产品和销售市场。工业发达国家的机器人产值每年平均增长率为 20% ~ 40%。

据统计,工业机器人的 98% 用于制造业,主要用途是:① 材料加工;② 机床上下料;③ 点焊与弧焊;④ 喷漆与抛光;⑤ 冲压;⑥ 装配;⑦ 浇铸和锻造。由于机器人的成功使用,各国纷纷加紧研究试制,应用领域也越来越广,已逐步扩展到水下、空间、核工业、采伐、救灾、医疗及服务行业等非机械制造领域。如 1985 年 9 月美、法两国海洋科学家经多年努力,使用了可潜入深度为两万英尺的高级水下机器人 Argo,在北大西洋海底找到了 73 年前(1912 年)沉没的“泰坦尼克”巨轮残骸,美国的“挑战者”号航天飞机残骸也是由水下机器人打捞的。机器人技术还受到了军事部门的重视,一些军事大国正在研究开发各种各样的军用机器人。由美国国家实验室指导发展的军事机器人能执行侦察巡逻任务,还可具有反坦克武器的技能。它由计算机遥控,配有摄影机和监视器以及光纤网络,能够在远距离接受指令。

3. 制造系统自动化

柔性制造系统发展很快,因为小批量生产自动化可由加工中心解决,大批量生产用自动线解决,在它们之间存在中批量生产自动化问题,其数量占机械制造品种的 70%,因此许多国家开发

FMS 解决这方面问题。

FMS 由计算机系统控制、协调多台数控机床、辅机和物料储运装置,因此比 FMC 有较多的自动化作业功能。系统可按优化的程序自动连续高效运行,设备利用率高,对作业对象及生产批量的变化有良好的适应能力。根据大量资料综合分析,它与单机流水线相比,减少机床和工人 52% 以上,减少占地面积 42% ~ 76%,减少制品和流动资金 95.6%,可提高机床利用率 1.3 ~ 3.5 倍,提高生产效率 50% ~ 55%,可缩短生产周期 40% ~ 90%,可降低成本 50%。这些显著效益促进了 FMS 的生产和应用。

20 世纪 80 年代,国外柔性制造设备开始和 CAD/CAPP/CAM 及生产管理经营决策系统进行集成,把管理信息和制造活动,借助计算机技术和网络技术有机联系起来,向计算机集成制造系统 CIMS 发展,以谋求实现整个企业生产管理的现代化。1985 年日本建成筑波无人化实验工厂就是一例。又如山崎株式会社在美浓加茂工厂建立了 CIM - FMS - 21 系统自动化车间,由五条 FMS 与 38 台机床组成,加工 543 种机床零件,月产 200 种机床的 11 120 个零件。

机电一体化的制造系统已经在现代制造产业中占据极为重要的地位。

第 2 章 机电一体化系统中的机械结构

一个典型的机电一体化系统,一般由控制部件、接口电路、功率放大电路、执行元件、机械以及检测传感部件等部分组成。其中机械起着传递功率、支承、连接、执行的功能。机械系统一般由减速装置、丝杠螺母副、蜗轮蜗杆副等各种线性传动部件以及连杆机构、凸轮机构等非线性传动部件、导向支承部件、旋转支承部件、轴系及架体等机构组成。这些部件或零件的装配或使用是以零件或部件的精度为前提的,因此,机械系统中的精度概念是机电设备或装置满足使用要求的基本条件。

2.1 机械精度

精度与误差是一对互相相反的概念。所谓误差,就是对某一特定的物理量进行度量时,所测得数值与真值的差值。精度的高低是以误差的大小来衡量的,误差越大精度越低,反之亦然。根据误差的性质不同,精度包括了三个方面的含义,即准确度、精密度、精确度。准确度通常用来反映系统的测量值与真值的近似程度,反映了系统误差的大小;精密度是从随机误差的角度来反映系统的测量值与真值的近似程度;精确度则是系统误差和随机误差的综合反映。

在机械系统中,有许多精度的具体概念,如机床的加工精度、设计精度、定位精度等,但总体上可以分为两大类,即反映整体设备的精度概念和涉及零件的精度概念。

2.1.1 反映整体设备的精度概念

(1) 机床精度 是指机床在未受外载作用下的原始精度,它包括几何精度、传动精度、定位精度等各项指标,它们的精度表述以允差的形式来描述。

机床是机电设备中十分典型的精度要求较高的仪器设备,为了保证设备达到或满足使用要求,国家规定了各类机床的验收标准。例如,C6140A 普通车床有 18 项精度指标,如表 2-1 所示,国家用此来检验该类型机床是否达到部颁标准。

表 2-1 400 mm 普通车床精度标准

项目序号	检 验 项 目	允 差
1	溜板移动在垂直平面内的直线度	0.02 mm/m,只许凸
2	溜板移动时的倾斜	0.03 mm/m
3	溜板移动在水平平面内的直线度	0.015 mm/m
4	尾架移动对溜板移动的平行度	上母线:0.03 mm/m 侧母线:0.03 mm/m
5	主轴锥孔中心线的径向跳动	近主轴端 在 300 mm 处
6	溜板移动对主轴中心线的平行度	上母线:0.03 mm/m,只许向上 侧母线:0.015 mm/m,只许向操作者

续表

项目序号	检 验 项 目	允 差
7	小刀架移动对主轴中心线的平行度	0.04 mm/m
8	主轴的轴向窜动	0.01 mm/m
9	主轴轴肩支承面的跳动	0.02 mm/m
10	主轴定心轴颈的径向跳动	0.01 mm/m
11	溜板移动对尾架套筒锥孔中心线的平行度	上母线:0.03 mm/m 侧母线:0.03 mm/m
12	溜板移动对尾架套筒伸出方向的平行度	上母线:0.03 mm/100 mm,只许向上 侧母线:0.03 mm/100 mm,只许向操作者
13	主轴锥孔中心线和尾架套筒锥孔中心线对溜板移动的等高度	0.06 mm/m,只许尾架高
14	丝杠两轴承中心线和开合螺母中心线对床身导轨的等距度	上母线:0.15 mm/m 侧母线:0.15 mm/m
15	丝杠的轴向窜动	0.01 mm/m
16	精车螺纹的螺距精度	0.03 mm/25 mm;0.04 mm/100 mm; 0.06 mm/300 mm
17	精车外圆的圆度和圆柱度	圆度:0.01 mm/m 圆柱度:0.01 mm/100 mm
18	精车端面的平面度	$D_{\text{试件}} < 200 \text{ mm}$,0.015 mm/m 只许凹

(2) 几何精度 是指机床或仪器在不运动(如主轴不转,工作台不移动)或运动速度较低时的精度。它规定了决定于加工或测量精度的各主要零部件以及这些零部件的运动轨迹的相对位置允差。例如表 2-1 中第 1、2、3 项等就规定了 400 mm 普通车床的几何精度标准。

(3) 传动精度 是指机械传动链单向传动时,其输入端与输出端瞬时传动比的实际值与理论值之差。通常以传动误差来衡量,并定义为:输入轴单向回转时,输出轴转角的实际值与理论值之差。凡是有执行动作功能的机电产品都有传动精度的要求,例如表 2-1 中第 16 项就规定了 400 mm 普通车床的传动精度标准。

(4) 机床定位精度 是指机床或仪器主要部件在运动终点所能达到的实际位置的精度,这是一个具有综合性质的精度指标。机床的定位形式大致可分为手动定位、自动间歇定位和连续定位三种形式。

手动定位,从字面上理解,机床上的运动部件的运动位置是依靠手动来确定的。例如,一些坐标镗床的工作台和主轴箱的移动、定位就是手动的。自动间歇定位的设备,如磨齿机、花键轴磨床,加工完一个齿后,机床自动分度。连续定位的设备,如仿形机床,在工作时,它把一个连续的加工过程分解成一个个单元,只有每一个单元都定位准确,才能保证加工精度。

(5) 机床加工精度 是一项综合性的精度指标,即指机床在加工工件时所能达到的精确度。机床加工精度和机床精度概念之间有一定区别,机床加工精度是在加工时体现出来的精度,与机床设备本身使用的时间年限、加工时的切削力、环境温度等都有关系,机床精度所描述的是机床的原始精度,不考虑上述这些情况。