

21 世纪精品教材系列

机电一体化 系统设计

J I D I A N Y I T I H U A X I T O N G S H E J I

主编◎齐庆国 刘晓玲



 吉林大学出版社

21 世纪精品教材系列

机电一体化系统设计

主 编 齐庆国 刘晓玲



吉林出版集团 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计 / 齐庆国, 刘晓玲主编. —— 长春: 吉林大学出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-5677-3150-9

I. ①机… II. ①齐… ②刘… III. ①机电一体化—系统设计—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 031964 号

书 名: 机电一体化系统设计
作 者: 齐庆国 刘晓玲 主编

责任编辑: 李伟华 责任校对: 甄志忠
吉林大学出版社出版、发行
开本: 787×1092 毫米 1/16
印张: 16.5 字数: 300 千字
ISBN 978-7-5677-3150-9

封面设计: 可可工作室
北京市楠海印刷厂 印刷
2015 年 2 月 第 1 版
2015 年 2 月 第 1 次印刷
定价: 35.00 元

版权所有 翻印必究
社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021
发行部电话: 0431-89580028/29
网址: <http://www.jlup.com.cn>
E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

机电一体化系统设计课程是机械类专业学生的一门专业课,本课程的特点是涉及多个学科,内容交叉,综合性强,教学难度也较大。本教材尝试以项目教学法及模块式教材编写理念,从系统设计的角度出发,重点讲解机电一体化系统设计的基本方法和工程线路,同时分模块介绍了机电一体化系统设计的各组成模块的设计方法,如机械传动及位置检测系统、动力系统、执行系统、计算机控制系统等。主要以机电行业中最具代表性的数控机床、工业机器人及工业自动化生产流水线模型等应用实例作为设计和分析的对象,介绍了典型机电一体化系统的设计方法。

本书由齐庆国、刘晓玲主编。具体分工为:甘肃煤炭工业学校齐庆国(模块一至模块四及全书统稿校对);甘肃煤炭工业学校刘晓玲(模块五至模块七)。编写过程得到了相关单位的大力支持与帮助,同时也参阅了国内外同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。

机电一体化技术日新月异,由于编者水平有限,书中缺点或错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2015 年 2 月

目 录

模块一 机电一体化总论	(1)
项目一 机电一体化的涵义	(1)
项目二 机电一体化系统组成及相关技术	(4)
项目三 机电一体化的技术优势及发展趋势	(9)
模块二 机电一体化系统总体方案设计	(15)
项目一 概 述	(15)
项目二 总体结构方案设计	(16)
项目三 驱动方案设计	(19)
项目四 控制系统方案设计	(24)
项目五 机电一体化系统的现代设计方法	(30)
模块三 机械系统设计	(55)
项目一 机械系统的选择与设计	(55)
项目二 机械传动机构设计	(58)
项目三 机械参数对系统性能的影响	(70)
项目四 传感与检测装置设计	(81)
模块四 动力系统设计	(107)
项目一 动力元件的种类和主要特性	(107)
项目二 动力元件的选择与计算	(125)
模块五 执行系统设计	(135)
项目一 执行系统组成及分类	(135)
项目二 常用的典型执行系统	(137)
项目三 执行系统设计	(144)



模块六 计算机控制系统设计	(158)
项目一 计算机控制系统设计要求	(158)
项目二 常用控制计算机	(169)
项目三 控制系统的选用	(209)
模块七 机电一体化系统设计实例	(214)
项目一 数控车床	(214)
项目二 自动生产线系统设计	(225)
项目三 焊接机器人设计实例	(246)
参考文献	(257)



模块一 机电一体化总论

项目一 机电一体化的涵义

一、机电一体化的发展

机电一体化技术是将机械技术、电工电子技术、微电子技术、信息技术、传感器技术、接口技术、信号变换技术等多种技术进行有机地结合,并综合应用到实际中去的综合技术。现代化的自动生产设备几乎可以说都是机电一体化的设备,如图 1-1 与 1-2 所示。

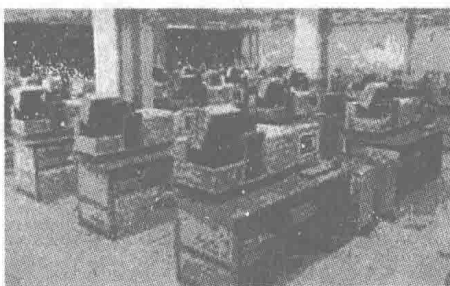


图 1-1 机电一体化办公设备

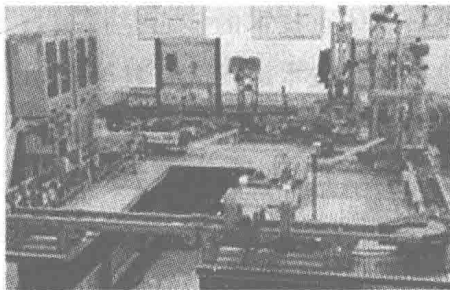


图 1-2 机电一体化实训装置

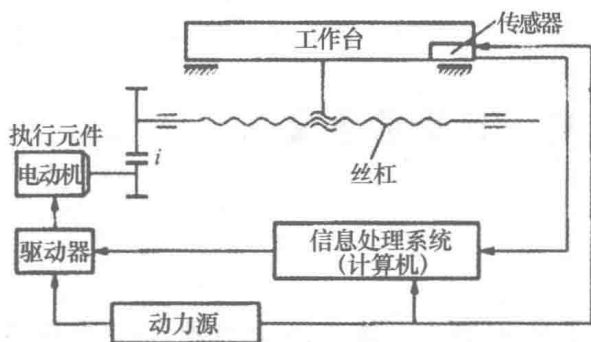
日本在 20 世纪 70 年代初开始使用“机电一体化”这个新名词,这个词是根据英文 Me-chanics(机械学)的前半部和 Electronics(电子学)的后半部相结合而构成的,即 Mechatronics(日本造的英文组合词),用日本汉字“机电一体化”来表示。“机电一体化”这组汉字比较恰当地表述了一个新的概念,因而能迅速直接地被我国接受和使用。

1984 年,美国机械工程协会(ASME)的一个专家组在给美国国家科学基金会的报告中,明确地提出了现代机械系统的定义:“由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。”这一含义实质上是指机电一体化系统,它与以上的定义是一致的。

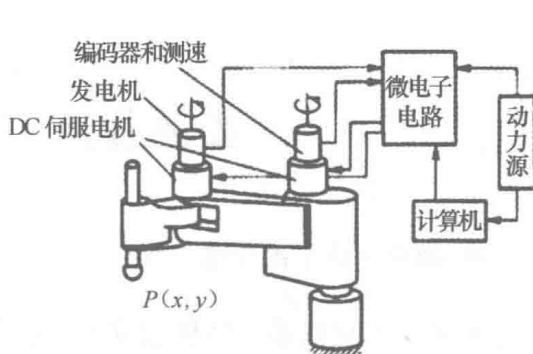
机电一体化技术以各种形式渗透到了社会的各个角落,社会生产、家庭生活、交通运输、航空航天及海洋开发都在使用机电一体化产品,都离不开机电一体化技术。机电一体化概念也普遍被人们所接受。机电一体化技术是机械技术向自动化、智能化方向



发展的必然产物,它的产生和发展具有广泛的技术基础和社会基础。图 1-3 所示为两个典型的机电一体化系统的基本结构,其中图 1-3(a)所示为数控机床进给系统原理图,图 1-3(b)所示为工业机器人系统原理图,它们都是机、电、传感检测和计算机技术相互融合的综合系统。



(a)数控机床进给系统原理图



(b)工业机器人系统原理图

图 1-3 机电一体化系统的基本构成

机电一体化技术的核心是机械技术和电子技术,而力学、机械学、制造工艺学和控制构成了机械技术的四大支柱学科,如图 1-4 所示,即使是一个简单的机械产品的设计也都需要以上技术的支持,如人们熟悉的自行车是一个非常典型的机械产品。设计自行车首先要从结构设计入手,要使其具有一定的功能、外观形状和负载能力,就必须进行力学计算和机械设计,这就离不开力学和机械学。要使其具有一定的运动性能,如方向控制、速度控制、刹车制动等都离不开控制技术,与现代控制技术不同的是它所采用的是手动控制而不是自动控制。要制造一辆自行车,制造工艺学当然也是不可缺少的技术。可见机械技术离不开力学、机械学、控制和制造工艺学的支持。

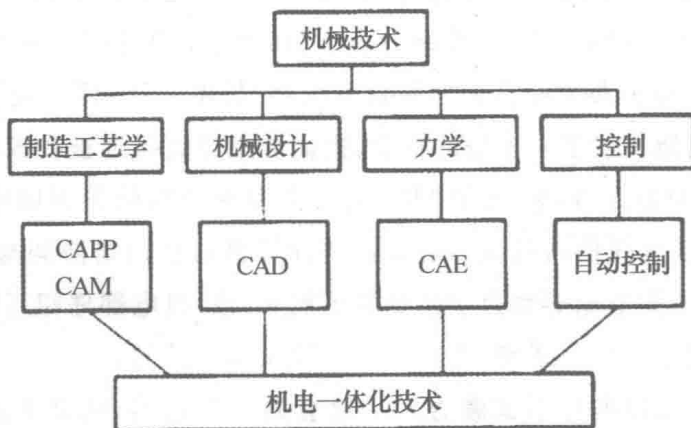


图 1-4 机械技术的发展与机电一体化技术



近年来,由于超大规模集成电路技术的发展,计算机技术得到了快速发展,机械技术的4个支持学科也随之发生了很大的变化。如计算机辅助工程(CAE)技术的出现,依靠快速、大存储量和高精度的计算机几乎使任何复杂的力学计算成为可能。机械优化设计、计算机辅助设计(CAD)技术的发展使得原来主要靠人工完成的机械设计任务大部分可以由计算机来完成。数控技术、计算机辅助制造(CAM)技术的出现使得加工工艺产生了一次革命,微电子技术和信息技术成了加工工艺过程的重要技术。变化最明显的是控制技术,它经历了从古老的机械式手动控制到继电器逻辑控制、计算机自动控制、智能控制的发展历程,它的每一次技术进步都是微电子技术和计算机技术发展的产物。可见机械技术的4个支柱学科无一不渗透了电子技术和信息技术,正是由于这些技术的有机结合,使得传统的机械技术发展成今天的机电一体化技术。

二、机电一体化的概念

机电一体化技术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并向传统机械工业领域迅速渗透、机械技术与电子技术高度结合的现代化工业基础上,综合运用机械技术、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群体技术,根据系统功能目标和优化组织结构目标,合理配置机械本体、执行结构、动力驱动单元、传感测试元件、控制计算机及接口元件等硬件要素,并使之在软件程序和微电子电路逻辑有目的的信息流向引导下,相互协调、有机融合和集成,形成物质和能量的有序规则运动,在高功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能价值的系统工程技术。由此而产生的功能系统,则成为一个以微电子技术为主导,在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。

机电一体化技术和机电一体化产品的定义可分别概括为:

(1) 机电一体化技术

是微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术相结合的新兴的综合性高新技术,是机械技术与微电子技术的有机结合。

(2) 机电一体化产品

是新型机械结构与微电子器件,特别是微处理器、微型机相结合而开发出来的新一代电子化机械产品。

机电一体化产品的种类非常多,应用范围也非常广泛,可以从不同角度对其进行分类。

从机电一体化技术的发展水平来看,可以分为三类系统:



①功能附加型初级系统。

②功能替代型中级系统。

③机电融合型高级系统。

从机电一体化系统的应用范围来看,也可以分为三类系统:

①用于人们日常生活的机电一体化产品(系统),如自动洗衣机、自动照相机等,称为民生机电产品。

②用于社会生产的机电一体化产品,如数控机床、工业机器人等,称为产业机电产品。

③用于办公自动化的机电一体化产品,如复印机、打字机等,称为办公机电产品。

项目二 机电一体化系统组成及相关技术

一、机电一体化系统的结构要素

一个较完善的机电一体化系统,应包括以下6个基本要素:机械本体、执行机构、驱动部分、测试传感部分、控制及信息处理单元、能源,各要素和环节之间通过接口相联系。图1-5所示为柔性加工单元(FMC)系统的原理图,它描述了机电一体化系统的基本结构要素及相互关系。

1. 机械本体

系统所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架、机械连接等。由于机电一体化产品在技术性能、水平和功能上的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸等方面适应产品的高效、多功能、可靠、节能、小型、轻量和美观等要求。

2. 执行机构

在驱动部分的动力作用下,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,如提高刚度、减轻重量、实现模块化、标准化和系列化、提高系统整体可靠性等。

3. 驱动部分

在控制信息的作用下提供动力,驱动各种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

部环境的适应性和工作可靠性。由于几何尺寸上的限制,动作范围狭窄,还需考虑维修和标准化。随着电力电子技术的高速发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动方法已经大量地应用于机电一体化系统。

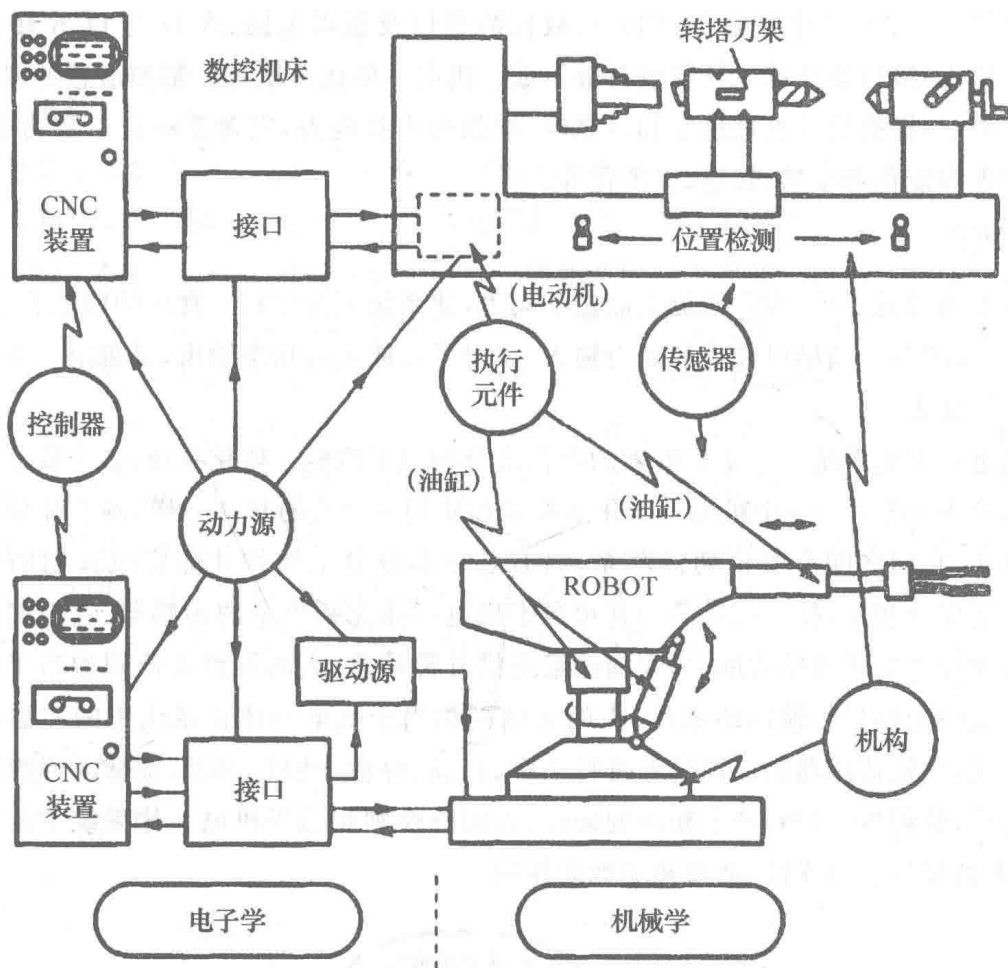


图 1-5 机电一体化系统的基本结构要素及相互关系

4. 测试传感部分

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,变成可识别的信号,传输到信息处理单元,经过分析和处理后产生相应的控制信息。测试传感部分的功能一般由专门的传感器和仪表来完成。传感器的精度决定了系统精度的上限。传感器的技术水平制约着整个“机电一体化技术”的发展,它是机电一体化的瓶颈技术之一。



5. 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、储存、分析、加工,根据信息处理结果,按照一定的程度和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。它一般由计算机、可编程序控制器(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:提高信息处理速度和可靠性,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。

6. 能源

按照系统的要求,为系统提供能量和动力,使系统正常运行。常用的能源有电源、液压源、气压源等。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。

机电一体化系统 6 个结构要素的有机结合构成了机电一体化系统,各个要素之间的关系如图 1-6 所示。一个机电一体化系统正如我们一个人的身体一样,各个部分都有不同的分工,它们之间有着密切的联系,只有各个部分分工协作才能完成预期的作业任务。人的皮肤和耳、鼻、口、舌等器官相当于机电一体化系统中的传感器,它们把外部信息通过神经系统传递给大脑,为大脑决策提供外部信息;人的神经系统则相当于机电一体化系统中的信号传输网络系统;人的大脑则相当于机电一体化系统中的控制及信息处理单元,它把传感器的反馈信号进行采样、存储、分析、处理、判断,根据人的想法指挥肌肉运动,使得各个器官产生相应的动作;人的骨骼则相当于机电一体化系统中的机械本体,对人的身体起到支撑、造型和美观的作用。

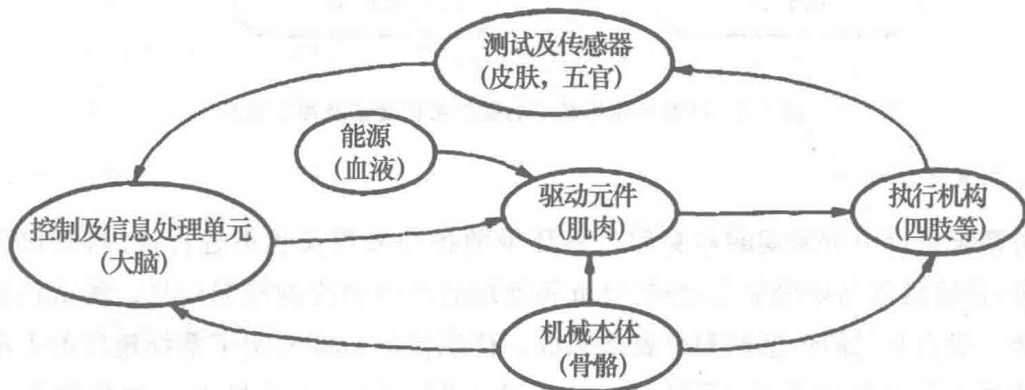


图 1-6 人与机电一体化系统



二、机电一体化的相关技术

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、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技术,它主要包括以下 6 个相关技术。

1. 机械技术

机械技术是机电一体化技术的基础。随着高新技术引入到机械行业,机械技术面临着挑战和变革。在机电一体化产品中,它不再是单一地完成系统间的连接,而是在系统结构、重量、体积、刚性与耐用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,实现结构上、材料上、性能上的变更,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的辅助技术,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,是任何其它技术代替不了的。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,从而实现计算机自动工艺设计与管理。

2. 伺服驱动技术

伺服驱动包括电动、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驱动装置相连接,控制它们的运动,带动执行机构做回转、直线以及其他各种复杂的运动。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的装置和部件,对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动元件有电液马达、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。

3. 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,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技术的研究,对于机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

4. 自动控制技术

自动控制技术范围很广,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;系统控制实验,最后使研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,例如位置控制、速度控制、自适应控制、自诊断校正、补偿、示教再现控制等。由于微型机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机技术联系在一起,成为机电一体化中十分关键的技术。

5. 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的软件技术和硬件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化系统中,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,因此计算机及信息处理技术已成为促进机电一体化技术发展的最活跃因素。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。

6. 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概念单元,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级分解,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,它是实现系统各个部分有机连接的保证。接口包括电气接口、机械接口和人-机接口。电气接口实现系统间电信号的连接;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。



项目三 机电一体化的技术优势及发展趋势

一、机电一体化的技术优势

机电一体化技术综合利用各相关技术优势,扬长避短,取得系统优化效果,有显著的社会效益和技术经济效益。具体可概括为以下 10 个方面。

1. 提高精度

机电一体化技术使机械传动部件减少,因而使因机械磨损、配合间隙及受力变形等所引起的误差大大减小,同时由于采用电子技术实现自动检测、控制、补偿和校正因各种干扰因素造成的动态误差,从而可以达到单纯机械装备所不能达到的工作精度。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 0.025mm 提高到 0.01mm;大型镗铣床装感应同步器数显装置可将加工精度从 0.006mm 提高到 0.002mm。

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面貌,具备多种复合功能,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,并且还有刀具磨损自动补偿、自动显示刀具动态轨迹图形、自动控制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,能完成自动焊接、划线、切割、钻孔、热处理等操作,可加工金属、塑料、陶瓷、木材、橡胶等各种材料。这种极强的复合功能,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时间和辅助时间,缩短新产品的开发周期,提高产品合格率,减少操作人员,提高生产效率,降低成本。例如数控机床生产效率要比普通机床高 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、最佳的调节控制和提高设备的能源利用率来达到显著的节能效果。例如汽车电子点火器,由于控制最佳点火时间和状态,



可大大节约汽车的耗油量;工业锅炉若采用微型计算机精确控制燃料与空气的混合比,可节煤 5%~20%;还有被称为电老虎的电弧炉,是最大的耗电设备之一,如改用微型计算机实现最佳功率控制,可节电 20%。

5. 提高安全性、可靠性

具有自动检测监控的机电一体化系统,能够对各种故障和危险情况自动采取保护措施,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和汽轮机的协调控制、汽轮机的电液调节系统、自动启停系统和安全保护系统等,不仅提高了机组运行的灵活性,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和控制问题,保证系统可靠运行。

6. 改善操作性和使用性

机电一体化装置中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,并建立良好的人-机界面,对操作参数加以提示,因而可以通过简便的操作实现复杂的控制功能,获得良好的使用效果。如一座高度复杂的现代大型熔炉作业控制系统,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、计划熔化和造型之间的协调平衡等,从整个系统的启动到熔炉全部作业完毕,只需操作几个按钮就能完成。有些机电一体化装置,可实现操作全部自动化,如示教再现工业机器人,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,随机自寻最佳工作过程,协调对内对外关系,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是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的操作以及在危险或有害环境下的工作,因而大大减轻了人的脑力和体力劳动,改善了人的工作环境条件。例如 CAD 和 CAPP 极大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、深海机器人、太空工作机器人、在核反应堆和有毒环境下的自动工作系统,则成

为人类谋求解决危险环境中作业问题的最佳途径。

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新型传动技术,代替笨重的老式电气控制的复杂机械变速传动机构,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来实现的运动,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,简化了电动机的结构,提高了电动机的寿命和运行特性,并缩小了体积;数控精密插齿机可节省齿轮等传动部件 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来简化结构、减轻重量,对于航天航空技术而言更具有特殊的意义。

9. 降低成本

由于结构的简化,材料消耗的减少,制造成本的降低,同时由于微电子技术的高速发展,微电子器件价格迅速下降,因此机电一体化产品价格低廉,而且维修性能得到改善,使用寿命得到延长。例如石英晶振电子表以其多功能、使用方便及低价格优势,迅速占领了计时商品市场。

10. 增强柔性

机电一体化系统可以根据使用要求的变化,对产品的功能和工作过程进行调整和修改,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,通过修改程序、改变运动轨迹和运动姿态可以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,可以通过调整系统运行程序,适应不同零件的加工工艺。机械工业中约有 75% 的产品属中小批量,利用柔性生产系统,能够经济、迅速地解决中小批量、多品种产品的自动化生产,对机械工业发展具有划时代的意义。通过编制用户程序,实现工作方式的改变,可以适应各种用户对象及现场参数变化的需要,机电一体化的这种柔性应用功能,构成了机械控制“软件化”和“智能化”的特征。

二、机电一体化技术的发展趋势

1. 机电一体化系统的高性能化

高性能化一般包括高速化、高精度、高效率和高可靠性。新一代 CNC 系统就是以此“四高”为满足生产急需而诞生的。它采用 32 位多 CPU 结构,以多总线连接,以 32 位幅