

高等学校适用教材

机电一体化 系统设计

JIDIAN YITIHUA
XITONG SHEJI

● 宋现春 于复生 主 编

● 田素博 李纪明 副主编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

高等学校适用教材

机电一体化系统设计

主 编 宋现春 于复生
副主编 田素博 李纪明



中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/宋现春,于复生主编. —北京:中国计量出版社,2010.7
高等学校适用教材
ISBN 978-7-5026-3293-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 106357 号

内 容 提 要

本书主要介绍机电一体化技术的基础知识,从系统的观点出发,主要讲述了构成机电一体化技术的主要内容:机械系统;微机与接口技术;传感器技术与机械量检测;伺服驱动技术;控制系统设计。旨在培养学生“以机为主,以电为辅,机电有机结合”的分析与设计能力,最后通过列举机电一体化典型系统,使学生开阔思维,举一反三,培养学生开发新型机电一体化产品的能力。

本书图文并茂、深入浅出,简明易懂,实用性强。在内容及举例中融入了本学科最新的研究成果,可用作大专院校测控技术类、机械类专业机电一体化方向的本科生教材,也可供相关专业的夜大、函大、职大、大专及培训班等使用,还可供从事机电一体化系统设计、制造的工程技术人员参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)
电 话 (010)64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 三河市灵山红旗印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 15.75
字 数 362 千字
版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000
定 价 29.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

前 言

本书主要介绍机电一体化技术的基础知识,从系统的观点出发,主要讲述了构成机电一体化技术的主要内容:机械系统;微机与接口技术;传感器技术与机械量检测;伺服驱动技术;控制系统设计;典型应用举例。旨在培养学生“以机为主,以电为辅,机电有机结合”的分析与设计能力,最后通过列举机电一体化典型系统,使学生开阔思维,举一反三,培养学生开发新型机电一体化产品的能力。

机电一体化技术是一门实践性很强的综合性学科,所涉及的知识领域非常多,目前各种先进技术发展又特别快。因此,本书在介绍各部分内容时不是求全求多,而是注重这些技术的相互渗透和有机结合,使学生真正了解和掌握机电一体化的重要实质及机电一体化设计的理论和方法,从而能够灵活地综合运用这些技术,进行机电一体化产品的分析、设计与开发。

本书是我们总结了多年来教学和科研的经验,在广泛收集资料和原有课程讲义的基础上,结合课程教学大纲要求,考虑相关课程内容,精心编写而成的,其内容主要有如下特点。

(1) 删去了部分较陈旧、重复的内容。在微机与接口技术中,只对应用广泛的单片机进行介绍,删去了关于 Z80CPU、逻辑接口芯片等部分的内容;在控制系统中只简单介绍 PLC 的特点及应用,对数控编程等可能重复的内容不作介绍;考虑到课程教学大纲要求以及学时等限制,对计算机控制技术的有关理论知识没有涉及,只对计算机控制的硬件部分进行了介绍。

(2) 增加了学科发展的新技术成果内容。在传感器技术与检测系统中,考虑到激光干涉仪在数控机床等行业中的推广应用,书中对其原理、特点及工程中应用方法等进行了介绍;在伺服驱动技术中,对较新的驱动电路及芯片进行了介绍。

(3) 在全书各章节内容安排上,既注重与先修课程内容的衔接,又避免了相互重复,并将重点放在了实际应用上。例如在介绍机械系统时,对常见主要机械结构先从满足系统功能要求方面对结构形式进行介绍;然后再从机械系统动力学性能分析出发,通过有关计算从满足系统动态性能方面对机械结构进行整体优化设计;并在最后应用实例中对几个有代表性的工程应用进行了较全面的分析。

本书由山东建筑大学宋现春、于复生主编,由沈阳农业大学田素博、淮海工学院李纪明任副主编,徐州工程学院张佐营以及山东建筑大学姜洪奎、许向荣、张蔚波参加编写。山东大学的林明星教授为本书的主审,全面详细地审查了本书的初稿,并提出了中肯的意见,编者据此进行了认真修改。编者在此向主审人致以诚挚的谢意,同时向本书所引用参考文献的作者表示致意。

本书图文并茂、深入浅出、简明易懂、实用性强,融入了本学科最新的研究成果,可作为大专院校测控技术类、机械类专业机电一体化方向的本科生教材,也可供相关专业的夜大、函大、职大、大专及培训班等使用,还可供从事机电一体化系统设计、制造的工程技术人员参考。

编 者

2010年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 机电一体化基本概念	(1)
第二节 机电一体化系统的基本组成要素	(3)
第三节 机电一体化中共性关键技术	(5)
第四节 机电一体化发展趋势	(7)
复习题	(10)
第二章 机械系统	(11)
第一节 概述	(11)
第二节 机械传动机构	(11)
第三节 机械导向机构	(23)
第四节 机械执行机构	(28)
第五节 机械系统的等效转动惯量与等效力矩	(33)
第六节 机械系统动态特性分析	(40)
复习题	(41)
第三章 微机与接口技术	(43)
第一节 单片机扩展接口	(43)
第二节 数字量输入输出通道	(64)
第三节 模拟量输入输出通道	(72)
第四节 系统抗干扰技术	(90)
复习题	(107)
第四章 传感器技术及机械量检测	(108)
第一节 传感器技术概论	(108)
第二节 光栅位移传感器及其应用	(113)
第三节 激光位移检测技术及其应用	(122)
第四节 常见机械量传感器及其应用	(127)
第五节 传感器非线性补偿原理	(134)

第六节	传感器信号的数字滤波	(137)
第七节	传感器技术的发展	(139)
复习题	.....	(140)
第五章	伺服系统	(141)
第一节	伺服系统的基本结构型式及特点	(141)
第二节	步进电动机伺服系统	(145)
第三节	直流伺服电动机	(156)
第四节	交流伺服电动机	(161)
第五节	伺服系统设计	(165)
复习题	.....	(174)
第六章	控制系统设计	(175)
第一节	概述	(175)
第二节	被控对象数学模型的建立	(177)
第三节	计算机控制基础	(187)
第四节	可编程控制器(PLC)	(197)
复习题	.....	(213)
第七章	机电一体化总体设计及典型实例	(214)
第一节	机电一体化总体设计的内容	(214)
第二节	系统性能指标分析及产品优化设计	(218)
第三节	车床的机电一体化改造	(225)
第四节	机械手及其控制	(235)
第五节	工业机器人及应用	(241)
复习题	.....	(243)
参考文献	.....	(244)

第一章 绪 论

第一节 机电一体化基本概念

Mechatronics 是机械电子学或机械电子技术的意思,也称机电一体化技术,是 Mechanics (机械学)和 Electronics(电子学)两词的合成,20 世纪 70 年代由日本人首先开始使用。机电一体化技术的定义:机械工程和电子工程相结合的技术,以及应用这些技术的机械电子装置。

机电一体化是在以机械、电子技术和计算机科学为主的多门学科相互渗透、相互结合的过程中,逐渐形成和发展起来的一门新兴边缘技术学科。

“机电一体化”包含两个含义:“机电一体化技术”和“机电一体化产品”。机电一体化技术是以电子技术特别是微电子技术为主导的多种新兴技术与机械技术交叉、融合而成的综合性高技术,是工程领域不同种类技术的综合及集合,它是包括机械技术、微电子技术、计算机和信息处理技术、自动控制技术、电力电子技术、伺服驱动技术以及系统总体技术在内的一种高新技术。近年来,随着微电子技术和计算机应用技术的快速发展,机电一体化技术领域在不断地扩大和完善。

而机电一体化产品是把机电一体化技术应用在机械产品之上,即在传统的机械产品中采用微电子技术和计算机技术生产出来的新一代产品。初级的机电一体化产品,是指采用微电子技术代替和完善机械产品中的一部分,以提高产品的性能;而高级的机电一体化产品,是利用机电一体化技术使机械产品实现自动化、数字化和智能化,使产品性能实现质的飞跃。

从现代机械产品和技术角度看,日本机械振兴协会经济研究所于 1981 年提出的定义体现了机电一体化产品及其技术的基本内容及特征,即“机电一体化是在机械主功能、动力功能、信息与控制功能上引进了电子技术,并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合而成的系统总和。”因此,机电一体化是在机械产品中的机构主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进电子技术和计算机技术,并将机械装置和电子设备以及计算机软件等有机结合起来构成的系统总称。

20 世纪 90 年代国际机器和机械理论研究会给它下了一个定义:机电一体化是精密机械工程、电子控制和系统思想,在产品设计和制造过程中协同结合。

机电一体化的研究和开发主要包括计算机数控系统、机器人、计算机辅助设计/辅助制造系统、柔性制造系统和计算机集成制造系统等。机电一体化产品和系统的特点是产品和系统功能的实现是机构中所有部分功能共同作用的结果。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。

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存在的优越性和潜在的应用性能。与传统的机电产品相比,机电一体化产品具有下述优越性。

(1)使用安全性和可靠性大为提高

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,避免和减少人身和设备事故的发生,显著提高设备的使用安全性。机电一体化产品由于采用电子元器件,减少了机械产品中的可动构件和磨损部件,从而使其具有较高的灵敏度和可靠性,产品的故障率低,寿命得到了提高。

(2)生产能力和工作质量得以提高

机电一体化产品大都具有信息自动处理和自动控制功能,其控制和检测的灵敏度、精度以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和产品的合格率。同时,由于机电一体化产品实现了工作的自动化,使生产能力得以大大提高。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,机床数量可减少约50%,节省操作人员数量约50%,缩短生产周期40%,使加工成本降低50%左右。

(3)使用性能得以改善

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,使得操作大大简化并且方便、简单。机电一体化产品的工作过程根据预设的程序逐步由电子控制系统指挥实现,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对象的数学模型以及外界参数的变化随机自寻最佳工作程序,实现自动最优化操作。

(4)具有复合功能并且适用面广

机电一体化产品跳出了机电产品的单技术和单功能限制,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。机电一体化产品一般具有自动化控制、自动补偿、自动校验、自动调节、自动保护和智能化等多种功能,能应用于不同的场合和不同领域,满足用户需求的应变能力较强。例如,电子式空气断路器具有保护特性可调、选择性脱扣、正常通过电流与脱扣时电流的测量、显示和故障自动诊断等功能,使得其应用范围大为扩大。

(5)调整和维护方便

机电一体化产品在安装调试时,可通过改变控制程序来实现工作方式的改变,以适应不同用户对象的需要以及现场参数变化的需要。这些控制程序可通过多种手段输入到机电一体化产品的控制系统中,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,即可按指定的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较大的措施,使工作恢复正常。

机电一体化技术和产品的应用范围非常广泛,涉及工业生产过程中的所有领域,因此机电一体化产品的种类很多,而且还在不断地增加。按照机电一体化产品的功能,可以将其分成

下述几类。

①数控机械类 主要产品包括数控机床、机器人、发动机控制系统以及全自动洗衣机等。这类产品的特点是执行机构为机械装置。

②电子设备类 主要产品包括电火花加工机床、线切割机、超声波加工机以及激光测量仪等。这类产品的特点是执行机构为电子装置。

③机电结合类 主要产品包括自动探伤机、形状自动识别装置、CT扫描诊断机以及自动售货机等。这类产品的特点是执行机构为电子装置和机械装置的有机结合。

④电液伺服类 主要产品为机电液一体化的伺服装置,如电子伺服万能材料试验机。这类产品的特点是执行机构为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 主要产品包括传真机、磁盘存储器、磁带录像机、录音机、复印机等。这类产品的主要特点是执行机构的动作由所接收的信息类信号来控制。

除此之外,机电一体化产品还可根据机电技术的结合程度分为功能附加型、功能替代型和机电融合型三类。按照产品的服务领域和对象,可将机电一体化产品分成工业生产类、运输包装类、储存销售类、社会服务类、家庭日常类、科研仪器类、国防武器类以及其他用途类等不同的种类。

第二节 机电一体化系统的基本组成要素

一个较完善的机电一体化系统,应包含以下几个基本要素:机械本体、动力与驱动部分、执行机构、传感测试部分、控制及信息处理部分。我们将这些部分归纳为结构组成要素、动力组成要素、运动组成要素、感知组成要素、智能组成要素。这些组成要素内部及其之间,通过接口耦合、运动传递、物质流动、信息控制、能量转换有机融合集成一个完整系统。

一、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、联接等。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,适应产品高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观等要求。

二、动力部分

按照系统控制要求,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,获得尽可能大的功能输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

驱动部分在控制信息作用下,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,还需考虑维修和实行标准化。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。

三、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。

四、执行机构

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、液压等机构。根据机电一体化系统的匹配性要求,需要考虑改善性能。例如,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。

五、控制及信息单元

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,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。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,通常称为机电一体化的五大组成要素。在系统中的这些单元和它们各自内部各环节之间都遵循接口耦合、运动传递、信息控制、能量转换的原则,我们称它们为四大原则。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,增强抗干扰能力以及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。

六、接口耦合、能量转换

(1)变换 两个需要进行信息交换和传输的环节之间,由于信息的模式不同(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,通过接口完成信息或能量的统一。

(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)耦合 变换和放大后的信号在环节间能可靠、快速、准确地交换,必须遵循一致的时序、信号格式和逻辑规范。接口具有保证信息的逻辑控制功能,使信息按规定模式进行传递。

(4)能量转换 包含了执行器、驱动器,不同类型能量的最优转换方法与原理。

七、信息控制

在系统中,所谓智能组成要素的系统控制单元,在软、硬件的保证下,完成数据采集、分析、判断、决策,以达到信息控制的目的。对于智能化程度高的系统,还包含了知识获取、推理机制,及知识自学习等以知识驱动为主的信息控制。

八、运动传递

运动传递是指各组成要素之间、不同类型运动之间的变换与传输,以及以运动控制为目的的优化。由于采用四大原则,使各组成要素联接成为一个有机整体;由于控制和信息处理单元的预期信息导引,使各功能环节有目的地协调一致运动,从而形成机电一体化系统工程。

数控机床和加工中心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、X 纵横直线运动和主轴转角位置 C 三个坐标及相应伺服驱动单元,两坐标联动;转塔式刀库有 12 个刀位,可安装自转和非自转刀具,因此除一般车削加工车外,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。机床使用高档的 ACRAMATIC-950 数控系统,它采用多总线、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、可编程序控制器输入输出、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序控制器管理机床的 M 辅助功能和系统各环节运行状态监测信息。系统开发了很强的自诊断功能,对系统运行故障和操作错误实时显示报警。同时,系统设置有标准数据传送通道,可以通过 RS-511 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,因此可直接进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,而且以此为基础,能够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,并配置工作、工具等的自动物流传送设备,采用控制组、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);而计算机集成化制造系统(CIMS)则是计算机信息管理系统(MIS);计算机辅助设计、辅助制造、辅助工艺规划及辅助分析(CAD/CAM/CAPP/CAE),简称 TIS;质量控制系统(QIS);以及以 FMS 为代表的制造自动化系统(MAS),通过网络及数据库将支持系统有机集成。

机电一体化产品和机电一体化生产系统是机电制造业进步的必然趋势,也是现代高新技术支持下的综合技术发展的结果。

第三节 机电一体化中共性关键技术

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、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交叉的技术密集型系统工程。

一、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,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、性能上以及功能上的变更,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。如计算机辅助工艺规划编制(CAPP)是目前 CAD/CAM 系统研究的瓶

颈,其关键在于如何将各行业、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。

二、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。因此,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。

三、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、人一机接口。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;人一机接口提供了人与系统间的交互界面。

四、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;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、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。

五、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,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。

六、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,带动工作机械做回转、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,极大地促进了机电一体化技术的发展。

第四节 机电一体化发展趋势

随着科技的发展和社会经济的进步,对制造工程中的机电一体化技术提出了许多新的和更高的要求,制造工程中出现了新的概念。毫无疑问,机械制造自动化中的数控技术,CNC、FMS、CIMS及机器人等都一致被认为是典型的机电一体化技术、产品及系统。

为了提高机电产品的性能质量、发展高新技术,现在有越来越多的零件要求制造精度越来越高,形状也越来越复杂。例如,高精度轴承的滚动体圆度要求小于 $0.5\mu\text{m}$;液浮陀螺球面的球度要求为 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$;激光打印机的平面反射镜和录像机磁头的平面度要求为 $0.04\mu\text{m}$,粗糙度为 $0.02\mu\text{m}$ 。为了提高效率、减少阻力和降低噪声,既要精密传递运动又要密封压缩做功,螺杆压缩机包络成型螺旋曲面、管平膨胀机的叶轮叶片、飞机螺旋桨、潜水艇的推进器等都具有极其复杂的空间曲面;现代汽车发动机的活塞也不是圆柱形,而是要求具有椭圆鼓形的;为提高强度和使用寿命,机械轴也不再是圆柱形,而是由几段圆弧组成菱柱体;卫星天线中馈源要求有方与圆光滑地过渡实体;而各类特殊刀具与模具,其型面也极其复杂。所有这些,要求CNC机床具有高性能、高精度和稳定加工复杂形状零件表面的能力。因而新一代的CNC系统这类典型机电一体化产品,正朝着高性能、智能化、系统化以及轻量、微型化方向发展。

一、机电一体化的高性能化

高性能化一般包含高速化、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位幅度进行高速数据传递。因而,在相当高的分辨率($0.1\mu\text{m}$)情况下,系统仍有高速度($100\text{m}/\text{min}$),可控及联动坐标达16轴,并且有丰富的图形功能和自动程序设计功能。为获取高效率,减少各辅助时间是一方面,而实现高速化的关键是CNC、主轴转速进给率、刀具交换、托板交换等各关键部分实现高速化。首先,CNC的高速化在于不仅采用了高性能32位CPU,而且所采用的是精简指令集(RISC)机。在RISC机中, $50\sim 80\text{MIPS}$ (1MIPS 为100万条指令/秒)被认为是普遍的,有的系统甚至采用了 180MIPS 机,这对于高速数据处

理起着重要作用。为了提高速度,采用实时多任务操作系统,进行并行处理,使运算能力进一步加强。设置多重缓冲器,保证连续微小加工段的高速加工。快速插补运算,对于复杂轮廓,将加工形状用微小线段来逼近是通用方法。在高性能数控系统中,除了具有直线、圆弧、螺旋线插补等一般功能外,还配置有特殊函数插补运算,如样条函数插补等。微位置段命令用样条函数来逼近,保证了位置、速度、加速度都具有良好的性能,并设置专门函数发生器、坐标运算器进行并行插补运算。超高速通信技术、全数字伺服控制技术是高速化的一个重要方面。在数字伺服控制中使用了超高速数字信号处理器(DSP),并应用了现代控制理论的各种算法,如鲁棒控制、前馈控制和特定方式下的加、减速控制等控制策略以及非线性补偿技术,可在系统中进行在线控制。它可以进行非线性补偿,静、动态惯性补偿值的自动设定和更新等。在给定精度要求下,可使响应速度大幅度提高。前馈控制可使位置跟踪误差消除,同时使系统位置控制达到高速响应。加、减控制,能使高速下准确定位。高分辨率、高速响应的绝对位置传感器是实现高精度的检测部件。采用这种传感器并通过专用微处理器的细分处理,可达极高的分辨率(163 840线/转)。采用交流数字伺服驱动系统,其位置、速度及电流环都实现了数字化,实现了几乎不受机械载荷变动影响的高速响应伺服系统和主轴控制装置。与此同时,还出现了所谓高速响应内装式主轴电机,把电机作为一体装入主轴之中,实现了机电融合一体。这样就使得系统的高速性、高精度性极佳。如法国 IBAG 等公司的磁浮轴承的高速主轴,最高转速可达 150000r/min,一般转速为 7000 ~ 25000r/min;加工中心换刀速度快达 1.5s;切削速度方面,硬质合金刀具和超硬材料涂层刀具车削和铣削低碳钢的速度达 500m/min 以上,而陶瓷刀具可达 800 ~ 1000m/min,比高速钢刀具 30 ~ 40m/min 的速度提高数十倍;精车速度甚至可达 1400m/min。至于系统可靠性方面,采用了冗余、故障诊断、自动检错、纠错、系统自动恢复、软、硬件可靠性等技术予以保证,使得这种典型的机电一体化产品具有高性能,即高速、高效、高精度和高可靠性。它代表了机电一体化高性能的发展趋势。而对于普及经济型以及升级换代提高型的机电一体化产品,组成它们的命令发生器、控制器、驱动器、执行器以及检测传感器等各个部分,都在不断采用高速、高精度、高分辨率、高速响应、高可靠的零部件,使产品性能不断提高。

二、机电一体化的智能化趋势

人工智能在机电一体化技术中的研究日益得到重视,机器人与数控机床的智能化就是重要应用。智能机器人通过视觉、触觉和听觉等各类传感器检测工作状态,根据实际变化过程反馈信息并做出判断与决定。数控机床的智能化,现在各类传感器对切削加工前后和加工过程中的各种参数进行监测,并通过计算机系统做出判断,自动对异常现象进行调整与补偿,以保证加工过程的顺利进行,并保证加工出合格产品。目前,国外数控加工中心多具有以下智能化功能:对刀具长度、直径补偿和刀具破损监测;切削过程的监测;工件自动检测与补偿。随着制造自动化程度的提高,信息量与柔性也同样提高,出现智能制造系统(IMS)控制器来模拟人类专家的智能制造活动,对制造中的问题进行分析、判断、推理、构思和决策,其目的在于取代或延伸制造工程中人的部分脑力劳动,并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承和发展。

(1) 诊断过程的智能化

诊断功能的强弱是评价一个系统性能的重要智能指标之一。INC 引入了人工智能的故障诊断系统,采用了各种推理机制,能准确判断故障所在,并具有自动检错、纠错与系统恢复功能,从而大大提高了系统的有效度。

(2) 人一机接口的智能化

智能化的人—机接口,可以大大简化操作过程,这里包含多媒体技术在智能化中的有效应用。

(3) 自动编程的智能化

操作者只需输入加工工件素材的形状和需加工形状的数据,加工程序就可全部自动生成,这里包含:素材形状和加工形状的图形显示;自动工序的确定;使用刀具、切削条件的自动确定;刀具使用顺序的变更;任意路径的编辑;加工过程干涉校验等。

(4) 加工过程的智能化

通过智能工艺数据库的建立,系统根据加工条件的变更,自动设定加工参数。同时,将机床制造时的各种误差预先存入系统中,利用反馈补偿技术对静态误差进行补偿。还能对加工过程中的各种动态数据进行采集,并通过专家系统分析进行实时补偿或在线控制。此外,现代 CNC 系统大都具有学习与示教功能。

三、机电一体化的系统化发展趋势

系统化的表现特征之一是系统体系结构进一步采用开放式和模式化的总线结构。系统可以灵活组态,进行任意剪裁和组合,同时寻求实现多坐标多系列控制功能的 CNC 系统。表现特征之二是通信功能的大大加强,一般除 RS-232 外,还有 RS-422 以及 DNC 等多种功能。同时,考虑通信联网需要,建立了通信局部网络(LAN),标准化的制造自动化协议(MAP)已进入 CNC 系统,从而可实现异型机异网互联及资源共享。

四、机电一体化的轻量化及微型化发展趋势

一般机电一体化产品,除了机械主体部分,其他部分均涉及电子技术。随着片式元器件(SMD)的发展,表面组装技术(SMT)正在逐渐取代传统的通孔插装技术(THT)成为电子组装的重要手段,机电一体化产品正朝着小型化、轻量化、多功能、高可靠方向发展。因此,机电一体化产品中具有智能、动力、运动、感知特征的组成部分将逐渐向轻量化、小型化方向发展。

此外,20 世纪 80 年代末期,微型机械电子学及其相应的结构、装置和系统的开发研究取得了综合成果,科学家利用集成电路的微细加工技术,实现了将机构及其驱动器、传感器、控制器及电源集成在一个很小的多晶硅上,因而获得了完备的微型电子机械系统(Micro Electro Mechanical System, MEMS)。整个尺寸缩小到几个毫米甚至几百微米。这是机电一体化一个微型化的研究领域。这种微型机电一体化系统将在工业、农业、航天、军事、生物医学、航海及家庭服务等各个领域广泛应用,它的发展将使现行的某些产业或领域发生深刻的技术革命。

复习题

1. 机电一体化技术的特点是什么？
2. 机电一体化技术的组成要素有哪些？
3. 机电一体化共性技术主要有哪些？其发展趋势如何？