



全国高职高专机电工程教育“十一五”规划教材



机电工程系列

机电一体化技术

主编 刘勇军

西北工业大学出版社

全国高职高专机电工程教育“十一五”规划教材

机电一体化技术

主 编 刘勇军
副主编 李 鑫



西北工业大学出版社
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY PRESS

【内容简介】 本书是高等职业教育机电一体化技术专业的教材。全书共分 10 章,主要介绍了机电一体化的关键技术、机械基础知识、气压传动知识、传感与检测技术、常用电动机工作原理、可编程控制器、数字量控制系统梯形图程序设计方法、机电一体化技术综合实例、PLC 的通信与组网、触摸屏与 PLC 的连接与控制等,突出高职教育“必需、够用”的原则,强调理论联系实际,紧扣职业技能大赛,具有广泛的实用性。

本书可以作为高等院校、职业院校机电一体化和自动化等相关专业的教材,也可供大专院校相关专业和从事机电技术工作的工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化技术/刘勇军主编. —西安:西北工业大学出版社,2009.12
ISBN 978-7-5612-2582-0

I. 机… II. 刘… III. 机电一体化 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 139980 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮政编码:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpu.com

印 刷 者:陕西丰源印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:17.625

字 数:431 千字

版 次:2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

前 言

机电一体化是机械、电子、计算机、自动控制及信息处理技术、系统工程、检测传感技术、伺服传动技术等有机结合的一门复合技术,它代表着机械工程技术革命的前沿方向。作为高等教育的一个学科,它力图以其强大的应用潜力培养出一大批高技术人才。然而,它所要求的人才及人才知识结构、技术素养等明显不同于传统的机械工程以及电子工程人员,如何将机械技术和电子技术有机结合起来是机电专业必须解决的问题。

本书根据“必需、够用”的原则,首先讲述机械基础知识、气压传动知识、常用传感器、常用电动机工作原理、可编程控制器基本原理,然后讲述以 PLC 为中心的实践内容。本书内容基本覆盖了机电一体化技术的所有内容,内容全面,但也有侧重点,其中可编程控制器是现代机电一体化技术的核心,机电一体化技术人员要能够利用可编程控制器来设计机电一体化系统。

可编程控制器(PLC)以其高抗干扰能力、高可靠性、高性能价格比且编程简单而广泛地应用在现代化的自动生产设备中,担负着生产线的大脑——微处理单元的角色。因此,培养掌握机电一体化技术、掌握 PLC 技术及 PLC 网络技术的技术人才是当务之急。本书以亚龙 YL—335A 型自动生产线实训考核装备为例介绍机电一体化相关知识。YL—335A 在铝合金导轨式实训台上进行安装送料、加工、装配、输送、分拣等工作单元,构成一个典型的自动生产线的机械平台,系统各机构采用了气动驱动、变频器驱动和步进电机位置控制等技术。系统的控制方式采用每一工作单元由一台 PLC 承担其控制任务,各 PLC 之间通过 RS485 串行通信实现互联的分布式控制方式。因此,YL—335A 综合应用了多种技术知识,如气动控制技术、机械技术(机械传动、机械连接等)、传感器应用技术、PLC 控制和组网、步进电机位置控制和变频器技术等。利用 YL—335A 可以模拟一个与实际生产情况十分接近的控制过程,为学习者创造一个非常接近于实际的教学设备环境,从而缩短了理论学习与实际应用之间的距离。

本书的主要特点体现在以下几个方面:

(1)理论知识与实践技能有力结合。前面几章的理论知识为后面的应用做好铺垫,体现了“必需、够用”的原则。

(2)体现了机电一体化技术的核心。本书所列知识在目前工业生产中应用十分广泛,学生通过对本书的学习,可大大缩短与企业的磨合期。

(3)突出实用性和规律性。本书中所列的例子都从实践中来,而且所使用的设计方法可以使读者快速掌握,从而能够快速、高效、正确地完成机电一体化系统的设计。

(4)与职业教育改革方向一致。职业技能大赛是职业教育的改革方向,本书紧扣大赛的要求,内容覆盖了大赛要求的全部知识点。通过对本书的学习,也可使职业技能大赛由精英教育变为大众教育。

本书可作为高等院校、职业院校机电相关专业的教材,也可以作为从事机电技术设计和管

理的科研人员、工程技术人员的参考书。

本书由刘勇军任主编,李鑫任副主编。其中第1~3章由李鑫编写,第4章由邵雨露编写,第5章和第6章第1、2、4节由付保英编写,第7~9章由刘勇军编写,第6章第3节和第10章由牛卢璐编写。全书由王仕华主审,吴建平同志收集和整理了部分资料,在此表示衷心的感谢!

在本书编写过程中,得到了亚龙科技集团的支持,在此表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第1章 概论	1
1.1 机电一体化的基本概念	1
1.2 机电一体化产品的构成及特点	2
1.3 机电一体化的关键技术	3
1.4 机电一体化技术的发展趋势	4
1.5 学习本课程的方法	6
第2章 机械基础	7
2.1 螺旋传动	7
2.2 齿轮传动	15
2.3 同步带传动	31
习题	35
第3章 气动知识	36
3.1 气动元件及符号	37
3.2 气动控制阀	51
3.3 气动回路分析	61
习题	64
第4章 传感与检测	65
4.1 行程开关	65
4.2 电磁传感器	67
4.3 光电传感器	75
4.4 光纤传感器	77
习题	84
第5章 常用电动机工作原理	85
5.1 三相交流异步电动机	85
5.2 直流电动机	95
5.3 步进电动机	103
5.4 伺服电动机	108
5.5 单相电动机	113
习题	115

第 6 章 可编程控制器	117
6.1 可编程控制器工作原理	117
6.2 可编程控制器编程基础	122
6.3 可编程控制器的应用系统	133
6.4 Step - 7 编程软件的使用	142
习题	161
第 7 章 数字量控制系统梯形图程序设计方法	163
7.1 梯形图的经验设计法	163
7.2 根据继电器电路图设计梯形图的方法	168
7.3 顺序控制设计法与顺序功能图	171
7.4 顺序控制梯形图的设计方法	178
习题	189
第 8 章 机电一体化技术综合实例	192
8.1 供料单元	193
8.2 加工单元	198
8.3 装配单元	203
8.4 分拣单元	209
8.5 输送单元	219
习题	234
第 9 章 PLC 的通信与组网	235
9.1 计算机通信概述	235
9.2 S7 - 200 的网络通信	238
9.3 S7 - 200 的通信实例	244
习题	252
第 10 章 触摸屏与 PLC 的连接与控制	253
10.1 触摸屏的功能	253
10.2 e - View 触摸屏简介	254
10.3 触摸屏与 PLC 连接	255
10.4 EV5000 软件介绍	256
10.5 触摸屏组态设计	261
10.6 PLC 控制程序设计	274
习题	275
参考文献	276

第 1 章 概 论

1.1 机电一体化的基本概念

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、相互结合过程中逐渐形成和发展起来的一门新兴边缘技术学科,而机电一体化产品是在机械产品的基础上,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。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。机电一体化技术同时也是工程领域不同种类技术的综合及集合,它是建立在机械技术、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基础之上的一种高新技术。

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。目前,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,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,保证整体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上述的自动化,生产能力大大提高。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,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、显示和故障自动诊断等功能,使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。

1.2 机电一体化产品的构成及特点

机电一体化产品的功能是通过其内部各组成部分功能的协调和综合来共同实现的。从其结构来看,机电一体化产品具有自动化、智能化和多功能的特性,而实现这种多功能一般需要机电一体化产品具备五种内部功能,即主功能、动力功能、检测功能、控制功能和执行功能,而

实现这些功能的各个组成部分及其技术就构成了机电一体化产品的总体或系统。

(1) 机械系统。机电一体化产品的机械系统包括机身、框架、机械传动和连接等机械部分。这部分是实现产品功能的基础,因此对机械结构提出了更高的要求,需在结构、材料、工艺加工及几何尺寸等方面满足机电一体化产品高效、多功能、可靠、节能和小型轻量等要求。除一般性的机械强度、刚度、精度、体积和重量等指标外,机械系统技术开发的重点是模块化、标准化和系列化,以便于机械系统的快速组合和更换。

(2) 动力系统。动力系统为机电一体化产品提供能量和动力功能,去驱动执行机构工作以完成预定的主功能。动力系统包括电、液、气等动力源。机电一体化产品以电能利用为主,包括电源、电动机及驱动电路等。

(3) 传感与检测系统。传感器的作用是将机电一体化产品在运行过程中所需要的自身和外界环境的各种参数转换成可以测定的物理量,同时利用检测系统的功能对这些物理量进行测定,为机电一体化产品提供运行控制所需的各种信息。传感与检测系统的功能一般由测量仪器或仪表来实现,对它的要求是体积小、便于安装与连接、检测精度高、抗干扰等。

(4) 信息处理及控制系统。根据机电一体化产品的功能和性能要求,信息处理及控制系统接收传感与检测系统反馈的信息,并对其进行相应的处理、运算和决策,以对产品的运行施以规定的控制,实现控制功能。机电一体化产品中,信息处理及控制系统主要由计算机的软件和硬件以及相应的接口所组成。硬件一般包括输入/输出设备、显示器、可编程控制器和数控装置。机电一体化产品要求信息处理速度快, A/D 和 D/A 转换及分时处理时的输入/输出可靠,系统的抗干扰能力强。

(5) 执行机构。执行机构在控制信息的作用下完成要求的动作,实现产品的主功能。机电一体化产品的执行机构一般是运动部件,常采用机械、电液、气动等机构。执行机构因机电一体化产品的种类和作业对象不同而有较大的差异。执行机构是实现产品目的功能的直接执行者,其性能好坏决定着整个产品的性能,因而是机电一体化产品中最重要的组成部分。

机电一体化产品的五个组成部分在工作时相互协调,共同完成所规定的目的功能。在结构上,各组成部分通过各种接口及其相应的软件有机地结合在一起,构成一个内部匹配合理、外部效能最佳的完整产品。

1.3 机电一体化的关键技术

机电一体化产品是由多种技术以及相关的组成部分构成的综合体,而机电一体化技术是由多种技术相互交叉、相互渗透形成的一门综合性边缘技术,它所涉及的技术领域非常广泛。概括起来,机电一体化设计的关键技术包括下述 6 个方面:

(1) 精密机械技术。机械技术是机电一体化技术的基础,因为机电一体化产品的主功能和构造功能大都以机械技术为主来得以实现。在机械传动和控制与电子技术相互结合的过程中,对机械技术提出了更高的要求,如传动的精密性和精确度的要求与传统机械技术相比有了很大的提高。在机械系统技术中,新材料、新工艺、新原理以及新结构等方面在不断地发展和完善,以满足机电一体化产品对缩小体积、减轻重量、提高精度和刚度以及改善工作性能等方面的要求。

(2) 信息处理技术。信息处理技术是指在机电一体化产品工作过程中,与工作过程各种参

数和状态以及自动控制有关的信息的交换、存取、运算、判断和决策分析等。在机电一体化产品中,实现信息处理技术的主要工具是计算机。计算机技术包括硬件和软件技术、网络与通信技术、数据处理技术和数据库技术等。在机电一体化产品中,计算机信息处理装置是产品的核心,它控制和指挥整个机电一体化产品的运行,因此,计算机应用及其信息处理技术是机电一体化技术中最关键的技术,它包括目前广泛研究并得到实际应用的人工智能技术、专家系统技术以及神经网络技术等。

(3)检测与传感器技术。在机电一体化产品中,工作过程的各种参数、工作状态以及与工作过程有关的相应信息都要通过传感器进行接收,并通过相应的信号检测装置进行测量,然后送入信息处理装置以及反馈给控制装置,以实现产品工作过程的自动控制。机电一体化产品要求传感器能快速和准确地获取信息并且不受外部工作条件和环境的影响,同时检测装置能不失真地对信息信号进行放大和输送以及转换。

(4)自动控制技术。机电一体化产品中的自动控制技术包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、校正、补偿等。机电一体化产品中自动控制功能的不断扩大,使产品的精度和效率都在迅速提高。通过自动控制,机电一体化产品在工作过程中能及时发现故障,并自动实施切换,减少了停机时间,使设备的有效利用率提高。由于计算机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机控制技术结合在一起,它已成为机电一体化技术中十分重要的关键技术。该技术的难点在于现代控制理论的工程化和实用化,控制过程中边界条件的确定,优化控制模型的建立以及抗干扰等。

(5)伺服驱动技术。伺服驱动技术主要是指机电一体化产品中的执行元件和驱动装置设计中的技术问题,它涉及设备执行操作的技术,对所加工产品的质量具有直接的影响。机电一体化产品中的执行元件有电动、气动和液压等类型,其中多采用电动式执行元件,驱动装置主要是各种电动机的驱动电源电路,目前多为电力电子器件及集成化的功能电路构成。执行元件一方面通过接口电路与计算机相连,接受控制系统的指令,另一方面通过机械接口与机械传动和执行机构相连,以实现规定的动作。因此,伺服驱动技术直接影响着机电一体化产品的功能执行和操作,对产品的动态性能、稳定性能、操作精度和控制质量等具有决定性的影响。

(6)系统总体技术。系统总体技术是从整体目标出发,用系统的观点和方法,将机电一体化产品的总体功能分解成若干功能单元,找出能够完成各个功能的可能技术方案,再把功能与技术方案组合成方案组进行分析、评价,综合优选出适宜的功能技术方案。系统总体技术的主要目的是在机电一体化产品各组成部分的技术成熟、组件的性能和可靠性良好的基础上,通过协调各组件的相互关系和所用技术的一致性来保证实现产品经济、可靠、高效率和操作方便等。系统总体技术是最能体现机电一体化设计特点的技术,也是保证其产品工作性能和技术指标得以实现的关键技术。

1.4 机电一体化技术的发展趋势

机电一体化技术的发展大体可分为三个阶段。

20世纪60年代以前为第一阶段,这一阶段称为初期阶段。在这一时期,人们自觉或不自觉地利用电子技术的初步成果来完善机械产品的性能。特别是在第一次世界大战期间,战争刺激了机械产品与电子技术的结合,这些机电结合的军用技术战后转为民用,对战后经济的恢

复起了积极的作用。那时研制和开发从总体上看还处于自发状态。由于当时电子技术的发展尚未达到一定水平,机械技术与电子技术的结合还不可能广泛和深入发展,已经开发的产品也无法大量推广。

20 世纪 70 ~80 年代为第二阶段,可称为蓬勃发展阶段。这一时期,计算机技术、控制技术、通信技术的发展为机电一体化的发展奠定了技术基础,大规模、超大规模集成电路和微型计算机的迅猛发展为机电一体化技术的发展提供了充分的物质基础。这个时期的特点:①mechatronics一词首先在日本被普遍接受,大约到 20 世纪 80 年代末期在世界范围内得到比较广泛的承认;②机电一体化技术和产品得到极大发展;③各国均开始对机电一体化技术和产品给以很大的关注和支持。

20 世纪 90 年代后期,机电一体化技术开始了向智能化方向迈进的新阶段。机电一体化进入深入发展时期:一方面光学、通信技术等进入了机电一体化,微细加工技术也在机电一体化中崭露头角,出现了光机电一体化和微机电一体化等新分支;另一方面对机电一体化系统的建模设计、分析和集成方法,机电一体化的学科体系和发展趋势都进行着深入研究。同时,由于人工智能技术、神经网络技术及光纤技术等领域取得的巨大进步,为机电一体化技术开辟了发展的广阔天地。这些研究将促使机电一体化进一步建立完整的基础和逐渐形成完整的科学体系。

我国是从 20 世纪 80 年代初才开始这方面的研究和应用。国务院成立了机电一体化领导小组并将该技术列为“863 计划”。在制定“九五”规划和 2010 年发展纲要时充分考虑了国际上机电一体化技术的发展动向和由此可能带来的影响。许多大专院校、研究机构及一些大中型企业对这一技术的发展及应用做了大量的工作,并取得一定成果,但与日本等先进国家相比仍有相当差距。

任何一门学科都是由基础理论、技术和工程系统组成的完整体系。机电一体化在技术和工程系统方面已有很大发展,但在基础理论方面尚在发展之中,还很不完备。

机电一体化是集机械、电子、光学、控制、计算机、信息等多学科的交叉融合,它的发展和进步依赖并促进相关技术的发展和进步。因此,机电一体化的主要发展方向如下:

(1)智能化。智能化是 21 世纪机电一体化技术的一个重要发展方向。这里所说的“智能化”是对机器行为的描述,是在控制理论的基础上吸收智能控制学、计算机科学、模糊数学、心理学、生理学和混沌动力学等新思想、新方法,模拟人类智能,使它具有判断推理、逻辑思维、自主决策等能力,以求得到更高的控制目标。诚然,使机电一体化产品具有与人完全相同的智能是不可能的,也是不必要的。但是,高性能、高速度微处理器使机电一体化产品具有低级智能或人的部分智能,则是完全可能而又必要的。

(2)模块化。模块化是一项重要而又艰巨的工程。由于机电一体化产品种类和生产厂家繁多,研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、环境接口的机电一体化产品单元是一项十分复杂而重要的工作,如研制集减速智能调速机于一体的动力单元,具有视觉、图像处理、识别和测距等功能的控制单元,以及各种能完成典型操作的机械装置。这样,可利用标准单元迅速开发出新的产品,同时也可扩大生产规模。这需要制定各项标准,以便各部件、单元的匹配和连接。由于利益冲突,近期很难制定国际或国内这方面的标准,但可以通过织建一些大企业来逐渐形成。显然,从电气产品的标准化、系列化带来的好处可以肯定,无论是对生产标准机电一体化单元的企业还是对生产机电一体化产品的企业,模块化将给机电一体化企业

带来美好的前程。

(3) 网络化。20 世纪 90 年代, 计算机技术的突出成就是网络技术。网络技术的兴起和飞速发展给科学技术、工业生产、政治、军事、教育以及人们日常生活都带来了很大的变革。各种网络将全球经济、生产连成一片, 企业间的竞争也全球化。机电一体化新产品一旦研制出来, 只要其功能独到、质量可靠, 很快就会畅销全球。由于网络的普及, 基于网络的各种远程控制和监视技术方兴未艾, 而远程控制的终端设备本身就是机电一体化产品。现场总线技术、局域网技术使家用电器网络化已成大势, 利用家庭网络可以将各种家用电器连接成以计算机为中心的计算机集成家电系统, 使人们在家里充分享受各种高技术带来的便利和快乐。因此, 机电一体化产品无疑朝着网络化方向发展。

(4) 微型化。微型化兴起于 20 世纪 80 年代末, 指的是机电一体化向微型机器和微观领域发展的趋势。国外将微型化的机电一体化系统称为微电子机械系统或微机电一体化系统, 泛指几何尺寸不超过 1 cm^3 的机电一体化产品, 并向微米、纳米级发展。微机电一体化产品体积小、耗能少、运动灵活, 在生物医疗、军事、信息等方面具有不可比拟的优势。微机电一体化发展的瓶颈在于微机械技术, 微机电一体化产品的加工采用精细加工技术, 即超精密技术, 它包括光刻技术和蚀刻技术两类。

(5) 绿色化。工业的发达给人们生活带来了极大变化。一方面, 物质丰富, 生活舒适; 另一方面, 资源减少, 生态环境受到严重污染。于是, 人们呼吁保护环境资源, 回归自然。绿色产品概念在这种呼声下应运而生, 绿色化是时代的趋势。绿色产品在其设计、制造、使用和销毁的生命过程中, 符合特定的环境保护和人类健康的要求, 对生态环境无害或危害极少, 资源利用率最高。设计绿色的机电一体化产品, 具有远大的发展前途。机电一体化产品的绿色化主要是指使用时不污染生态环境, 报废后能回收利用。

(6) 人性化。未来的机电一体化更加注重产品与人的关系, 机电一体化的人性化有两层含义, 一层是机电一体化产品的最终使用对象是人, 如何赋予机电一体化产品人的智能、情感、人性显得越来越重要, 特别是对家用机器人, 其高层境界就是人机一体化; 另一层是模仿生物机理, 研制各种机电一体化产品。事实上, 许多机电一体化产品都是受动物的启发研制出来的。

1.5 学习本课程的方法

由于机电一体化技术涉及的学科较多, 需要的知识量很大, 要想学好、学精不是一件简单的事情, 但遵循科学的学习方法, 可以大大提高学习效率。学习本课程时, 应注意以下事项:

(1) 打好基础。学习机电一体化技术要学好电工电子技术、机械设计基础、液压与气动技术、计算机技术等基础学科。

(2) 理解基本原理。对于一些机电一体化元件, 要掌握其基本工作原理, 能够与其他元件之间正确连接。例如对传感器, 我们要掌握其机械结构、电气参数, 能够将其应用于机电一体化成品中。

(3) 重视实验实训。本教材的特点是紧跟当前的机电一体化技术, 以工程实例和实训设备来讲述机电一体化相关技术, 通过实验实训可以快速、高效地掌握机电一体化相关技术, 并可增加实际工程经验。

第2章 机械基础

2.1 螺旋传动

2.1.1 螺旋传动的结构与参数

螺旋传动由螺杆和螺母组成,利用螺杆和螺母的啮合来传递动力和运动。它主要用于将回转运动变为直线运动,将转矩转换成推力。

螺旋传动按其用途不同,可分为三类:

(1)传力螺旋。传力螺旋以传递动力为主,要求用较小的力矩转动螺杆(或螺母),而使螺母(或螺杆)产生轴向运动和较大的轴向力,这个轴向力可用来做起重和加压等工作。例如,图2-1所示的为起重螺旋和压力机螺旋。这种螺旋一般为间歇性工作,工作速度不高,通常要求自锁。

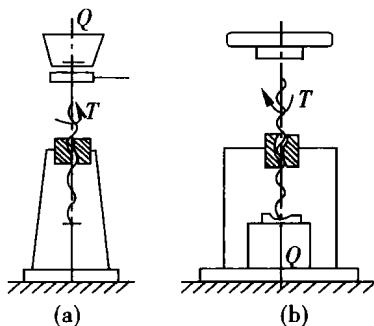


图2-1 传力螺旋

(a)起重螺旋;(b)压力机螺旋

(2)传导螺旋。传导螺旋以传递运动为主,如机床的进给丝杠(见图2-2)。这种螺旋通常在较长时间内连续工作,速度较高,要求有较高的运动精度。

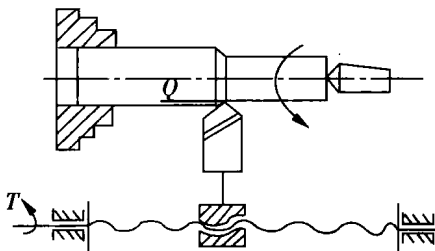


图2-2 传导螺旋

(3)调整螺旋。调整螺旋用以调整固定零件间的相对位置,如机床、仪器中的微调机构。这种螺旋不经常转动,一般在空载下调整。

螺旋传动若按其螺纹副中摩擦性质的不同,又可分为三类:

(1)滑动螺旋。滑动螺旋的螺纹副中产生的是滑动摩擦,因此摩擦阻力大、传动效率低(一般为30%~40%)、磨损快、运动精度低,还可能出现爬行等现象,但是这种螺旋结构简单、制造方便、易于自锁,故是目前应用最广的一种螺旋传动。滑动螺旋通常采用梯形螺纹和锯齿形螺纹,其中梯形螺纹应用最广,锯齿形螺纹用于单面受力。矩形螺纹由于工艺性较差、强度较低等原因应用很少,对于受力不大和精密机构的调整螺旋,有时也采用三角螺纹。

一般螺纹升程和摩擦系数都不大,因此虽然轴向力 F 相当大,而转矩 T 则相当小。传力螺旋就是利用这种工作原理获得机械增益的。升程越小则机械增益的效果越显著。

(2)滚动螺旋。滚动螺旋的螺纹副中产生的是滚动摩擦。图2-3是滚动螺旋的一种结构形式。在螺杆和螺母之间设有封闭循环的滚道,在滚道内放满钢球,这样就使螺旋副的摩擦成为滚动摩擦。用滚动体在螺纹工作面间实现滚动摩擦的螺旋传动,又称滚珠丝杠传动。滚动体通常为滚珠,也有用滚子的。滚动螺旋传动的摩擦系数、效率、磨损、寿命、抗爬行性能、传动精度、传动的平稳性和轴向刚度等远比滑动螺旋传动好。滚动螺旋传动的效率一般在90%以上。它不自锁,具有传动的可逆性,但结构复杂,制造精度要求高,抗冲击性能差,成本相对较高。它已广泛地应用于机床、航空、船舶和汽车等要求高精度或高效率的场合。滚动螺旋传动的结构型式,按滚珠循环方式分外循环和内循环。外循环的导路为一导管,将螺母中几圈滚珠联成一个封闭循环。内循环用反向器,一个螺母上通常有2~4个反向器,将螺母中滚珠分别联成2~4个封闭循环,每圈滚珠只在本圈内运动。外循环的螺母加工方便,但径向尺寸较大。为提高传动精度和轴向刚度,除采用滚珠与螺纹选配外,常用各种调整方法以实现预紧。

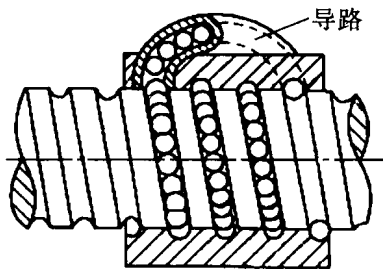


图 2-3 螺旋槽式外循环滚珠螺旋

在 JB/T3162—1991 中,将滚动螺旋传动称为滚珠丝杆副。该标准规定,滚珠丝杆副分为定位滚珠丝杆副(称 P 类)和传动滚珠丝杆副(称 T 类)。前者是通过旋转角度和导程控制轴向位移量的滚珠丝杆副,后者是与旋转角度无关用于传递动力的滚珠丝杆副。

(3)静压螺旋。静压螺旋的螺纹副中产生的是液体摩擦,其结构如图 2-4 所示。静压螺旋传动摩擦系数小,传动效率可达 99%,工作平稳,寿命

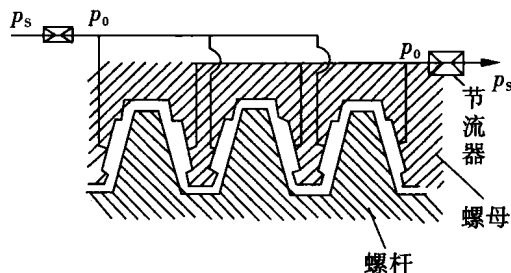


图 2-4 静压螺旋传动

长,无磨损和爬行现象,无反向空程,轴向刚度很高,不自锁,具有传动的可逆性,但螺母结构复杂,制造精度要求高,而且需要有一套压力稳定、温度恒定和过滤要求高的供油系统,使成本提高。因此,只有在高精度、高效率的重要传动中才宜采用,如在数控机床、精密机床中,静压螺旋常被用做进给和分度机构的传导螺旋。这种螺旋采用牙较高的梯形螺纹。螺杆仍为一具有梯形螺纹的普通螺杆,但在螺母每圈螺纹中径处开有3~6个间隔均匀的油腔。同一母线上同一侧的油腔连通,用一个节流阀控制。油泵将精滤后的高压油注入油腔,油经过摩擦面间缝隙后再由牙根处回油孔流回油箱。当螺杆未受载荷时,牙两侧的间隙和油压相同。当螺杆受向左的轴向力作用时,螺杆略向左移;当螺杆受径向力作用时,螺杆略向下移。当螺杆受弯矩作用时,螺杆略偏转。由于节流阀的作用,在微量移动后各油腔中油压发生变化,螺杆平衡于某一位置,保持某一油膜厚度,靠油腔的压力差来承受外载荷。

本节只介绍滑动螺旋传动的设计计算。

1. 滑动螺旋传动的结构

螺旋传动的结构主要是指螺杆和螺母的固定与支承结构形式。当螺杆短而粗且垂直布置时,如起重力的传力螺旋,可以利用螺母本身作为支承(见图2-5)。而当螺杆细而长且水平布置时,如机床的丝杠,应在螺杆两端或中间附加支承,以提高螺杆的工作刚度,其支承结构和轴的支承结构基本相同。

螺母的结构有整体式螺母(见图2-5)、剖分式螺母(见图2-6)和组合式螺母(见图2-7)等形式。整体式螺母结构简单,但因磨损而产生的轴向间隙不能补偿,故只适用于精度要求不高的螺旋传动。剖分式螺母和组合式螺母能补偿旋合螺纹的磨损和消除轴向间隙,可以避免反向传动时的空行程,故广泛应用于经常正反转的传导螺旋中。

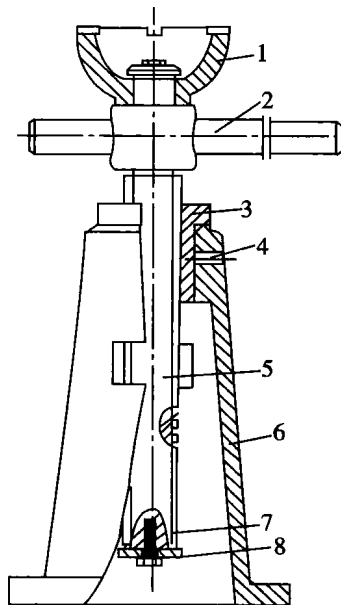


图 2-5 螺旋起重器

1—托杯;2—手柄;3—螺线;4—紧定螺钉;5—螺杆;6—底座;7—螺栓;8—挡圈

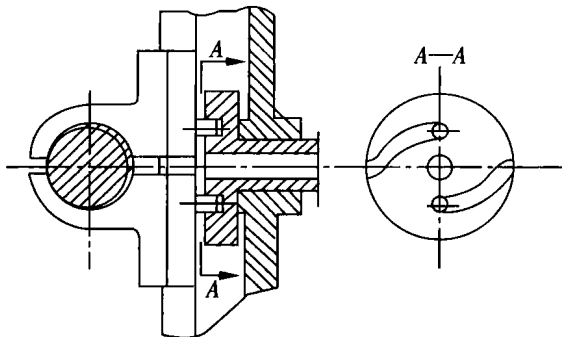


图 2-6 剖分式螺母

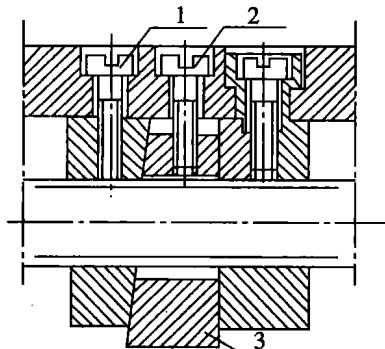


图 2-7 组合式螺母

1—固定螺钉;2—调整螺钉;3—调整楔块

滑动螺旋传动中多采用梯形或锯齿形螺纹,且常用右旋螺纹。传力螺旋和调整螺旋要求自锁时,应采用单线螺纹;对于传导螺旋,为了提高其传动效率和直线运动速度,可采用多线

螺纹。

2. 螺纹的基本参数

图 2-8 所示为圆柱内螺纹和外螺纹。螺纹的基本要素包括螺纹的牙型、直径、线数、螺距和导程、旋向以及升角。

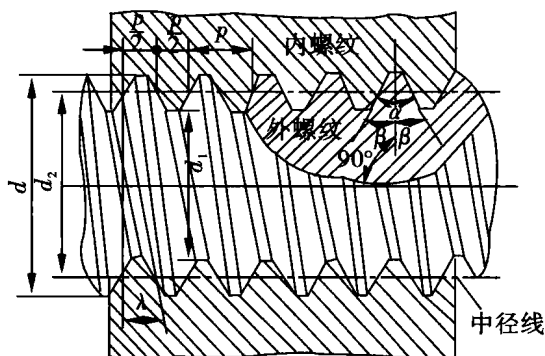


图 2-8 螺纹的主要参数

(1) 螺纹的牙型。

1) 螺纹牙。在加工螺纹的过程中,由于刀具的切入形成了连续的凸起和沟槽两部分。螺纹凸起的部分称为螺纹牙,其顶端称为螺纹的牙顶;螺纹沟槽部分的底部称为螺纹的牙底。

2) 牙型。在通过螺纹轴线的剖面上,螺纹的轮廓形状称为牙型。由螺纹的形成原理可知,牙型即是沿螺旋线运动的平面图形。常见的螺纹牙型有三角形、梯形和锯齿形等。

3) 牙型角。在通过螺纹轴线的剖面上,螺纹牙型的两个侧边之间的夹角称为牙型角,用 α 表示。

4) 牙侧角。螺纹牙型的侧边与螺纹轴线的垂线之间的夹角称为牙侧角,用 β 表示。

5) 牙型高度。牙顶到牙底的垂直距离称为牙型高度,用 h 表示。

(2) 螺纹的直径。

1) 大径。螺纹的最大直径称为大径,即与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相重合的假想圆柱的直径。外螺纹的大径用 d 表示,内螺纹的大径用 D 表示。在有关螺纹的标准中,大径称为螺纹的公称直径。

2) 小径。螺纹的最小直径称为小径,即与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相重合的假想圆柱的直径。内螺纹、外螺纹的小径分别用 D_1 和 d_1 表示。

3) 中径。中径位于螺纹的大径和小径之间。中径也是一个假想圆柱的直径,其母线称为中径线,其轴线称为螺纹轴线。在中径线上,牙型上的凸起和沟槽宽度相等,则该圆柱的直径称为螺纹的中径。内、外螺纹的中径分别用 D_2 和 d_2 表示。

(3) 螺纹的线数。在形成螺纹时,所沿螺旋线的条数称为线数,用 n 表示。螺纹的线数有单线和多线之分。沿一条螺旋线所形成的螺纹称为单线螺纹,如图 2-9(a) 所示。单线螺纹的自锁性好,常用于连接。工程上常用的是

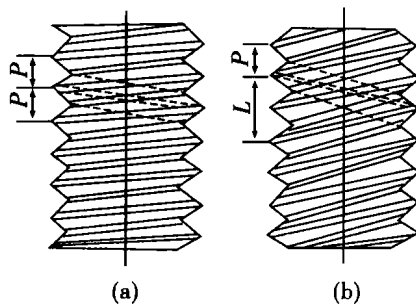


图 2-9 螺纹的线数