

机电一体化 系统设计

中国纺织出版社

高等纺织院校教材

机电一体化系统设计

魏俊民 周砚江 主编

何 钺 主审

ND30/24

8.27

中国纺织出版社

内 容 提 要

本书主要包括机电一体化的基本概念、机电一体化系统中的执行元件与接口设计、传感器检测与接口电路、工业控制计算机与接口设计、模拟控制设计技术、数字控制设计技术、程序控制设计技术、机电一体化系统设计内容和方法以及机电一体化系统实例分析。

本书可作为“机电一体化系统设计”的专业课教材,同时也可供从事机电一体化系统设计与研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/魏俊民,周砚江主编. -北京:中国纺织出版社,1998

ISBN 7-5064-1439-2/TP·0018

I.机… II.①魏… ②周… III.机电一体化-系统设计 IV.TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 12845 号

责任编辑:王 颖 责任校对:楼旭红
责任设计:任星荪 责任印制:刘 强

中国纺织出版社出版发行
地址:北京东直门南大街 6 号
邮政编码:100027 电话:010—64168226
中国纺织出版社印刷厂印刷 各地新华书店经销
1998 年 10 月第一版第一次印刷
开本:787×1092 1/16 印张:17
字数:413 千字 印数:1—5000 定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

现代科学技术发展的重要特点,一是纵向突破,二是横向融合。前者是少量科学工作者在实验室研究的内容;后者则是广大科技人员在工程领域从事的科学实践。机电一体化正是在融合了机械、电子、光学、计算机、控制论、信息论、材料学等多种科学技术的基础上发展起来的一门新兴学科。机电一体化技术迅速地应用于机械工程的各个方面,促进了机械工业的变革,成为机械工业的发展方向。因而,培养机械设计与研究人员的机电一体化设计意识与机电一体化技术设计能力已成了机械工程教育的重要内容。

机电一体化是一门多学科的复合技术,涉及的知识领域相当广泛,作为专业课程的“机电一体化系统设计”,不可能也没有必要把先修课程中已详细论述过的机械学与电子学的设计理论与方法再重述一遍。对机电一体化系统中的有关硬件设备,编者只从合理选用的角度,介绍其工作原理、使用特点及选用方法,而系统设计是本书的主要内容。由于机电一体化系统设计的主要工作是基本控制回路设计、接口设计及系统的抗干扰设计等,因此本书对这些设计作了比较详细的讨论。

作为教材,编者注意了编写内容的系统性,同时也考虑了实际设计人员的需要,在介绍各种设计方法时,尽可能具体、实用。本书共九章,其中第一章、第五章、第七章及第二章第三节由魏俊民编写,第二章第一节由胡旭东编写,第三章由王文中编写,第四章、第八章、第九章及第二章第二节由周砚江编写,第六章由刘曙光编写。全书由魏俊民、周砚江主编,西安交通大学何钺教授主审。书中插图由王巧云绘制。

由于编者水平有限,谬错之处诚望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 机电一体化概念.....	(1)
第二节 机电一体化系统的组成.....	(2)
第三节 发展机电一体化技术的基础.....	(4)
第四节 机电一体化的共性关键技术.....	(5)
第五节 机电控制系统的分类.....	(7)
第二章 执行元件及接口装置	(9)
第一节 执行元件.....	(9)
第二节 执行元件的功率驱动接口	(23)
第三节 输出接口装置	(52)
第三章 传感器与接口电路	(60)
第一节 传感器	(60)
第二节 传感器实例	(66)
第三节 微机与传感器接口	(76)
第四节 传感器信息传输中的抗干扰措施	(80)
第四章 工业控制微机与接口设计	(85)
第一节 概述	(85)
第二节 单片机控制系统设计	(89)
第三节 可编程序控制器.....	(124)
第四节 总线型工业控制微机系统.....	(141)
第五章 模拟控制设计技术	(147)
第一节 模拟控制系统.....	(147)
第二节 单位反馈系统模型.....	(149)
第三节 极点配置结果.....	(150)
第四节 内模原理.....	(153)
第五节 抗干扰能力设计.....	(156)
第六节 PID 控制	(158)
第七节 复合校正.....	(161)
第六章 数字控制设计技术	(164)
第一节 数字控制系统.....	(164)
第二节 采样过程与数据保持.....	(165)
第三节 离散系统的脉冲传递函数.....	(169)
第四节 离散系统的稳定性分析.....	(170)

第五节 数字控制系统设计·····	(175)
第七章 程序控制设计技术·····	(182)
第一节 开关表设计法·····	(182)
第二节 行程程序控制 x—D 线图设计法 ·····	(192)
第八章 机电一体化系统设计·····	(203)
第一节 机电一体化产品的系统设计要点·····	(203)
第二节 系统设计举例·····	(206)
第三节 系统整体评价与系统决策·····	(216)
第四节 系统调试·····	(222)
第五节 机电一体化系统的抗干扰设计·····	(224)
第九章 机电一体化系统实例·····	(234)
第一节 针式打印机·····	(234)
第二节 单片机模糊控制洗衣机·····	(241)
第三节 数控机床·····	(247)
第四节 合成纤维熔融纺丝系统·····	(256)
第五节 TOYOTA—JA 织机控制系统 ·····	(261)
主要参考文献·····	(266)

第一章 绪 论

第一节 机电一体化概念

现代科学技术的发展,极大地推动了不同学科的相互交叉与渗透,导致了几乎所有工程领域的技术革命与改造。纵向分化、横向综合已成为当代科学技术发展的重要特点。在机械工程领域,由于微电子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、生产方式及管理体系均发生了巨大变化,使工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。

机电一体化代表了正在形成中的新一代生产技术。从提出到发展虽然并不久远,但在促进经济和社会结构的变革中已经显示出并将日益显示其强大的推动力。机电一体化是我国机械工业发展的必由之路,机电一体化产品正在大量涌现。然而,关于“机电一体化”的含义尚无统一的定义。有人说:“机电一体化是机械技术、微电子技术相互融合的产物。”有人说:“机电一体化的含义,是指机械、电子、光学、信息等技术相互结合,融为一体的产品或系统。”还有人说:“机电一体化是在机械产品中结合了电子器件的信息处理和控制功能,是将机械、电子与信息技术进行有机综合,实现整体最佳化的技术。”就连最早提出这一新概念的日本,也众说纷纭。有的称机电一体化是“机械技术的机械学与电子技术的电子学有机结合的技术进步的总称。”有的说:“机电一体化就是利用微电子技术,最大限度地发挥机械能力的一种技术。”等等。当前,人们较为普遍接受的看法是“日本机械振兴协会”经济研究所对机电一体化概念所作的解释:“机电一体化乃是在机械的主功能、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系统的总称。”

机电一体化技术绝不能简单地理解为机械与电子相加的技术,这是机电一体化与机械加电气所形成的机械电气化在概念上的根本区别。机械工程技术由纯机械发展到机械电气化,仍属传统机械,主要功能依然是代替和放大人的体力。但是发展到机电一体化后,其中的微电子装置除可取代某些机械部件的原有功能外,还能赋予产品许多新的功能,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。即机电一体化产品不仅是人的手与肢体的延伸,还是人的感官与头脑的延伸,具有“智能化”的特征是机电一体化与机械电气化在功能上的本质差别。

机电一体化的目的是使产品多功能化、高效率化、高智能化、高可靠化、省材料省能源化。满足这些需求的产品单靠机械技术或微电子技术是无法实现的。唯有依靠机械的电子化才能开辟两者单独都不能达到的新领域。所以说,机电一体化既是机械工程发展的继续,同时也是电子技术应用的必然。

第二节 机电一体化系统的组成

一、机电一体化系统的功能组成

传统的机械产品主要是解决物质流和能量流的问题,而机电一体化产品除了解决物质流和能量流外,还要解决信息流的问题。如图 1-1 所示,机电一体化系统的主要功能就是对输入的物质、能量与信息(即所谓工业三大要素)按照要求进行处理,输出具有所需特性的物质、能量与信息。

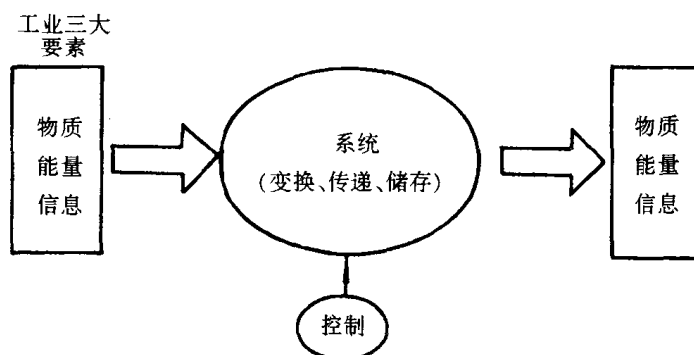


图 1-1 机电一体化系统的主功能

系统的主功能包括三个目的功能:变换(加工、处理)功能;传递(移动、输送)功能;储存(保持、存储、记录)功能。主功能是系统的主要特征部分,完成对物质、能量、信息的交换、传递和储存。机电一体化系统除了具备上述必须的主功能外,还应具备图 1-2 所示的其它内部功能。其中动力功能向系统各部分提供动力;计测功能与控制功能解决各种信息的获取、传输、处理和利用,并且对整个系统实施控制;构造功能是使构成系统的子系统及零、部件形成所定空间关系的整体结构的功能。

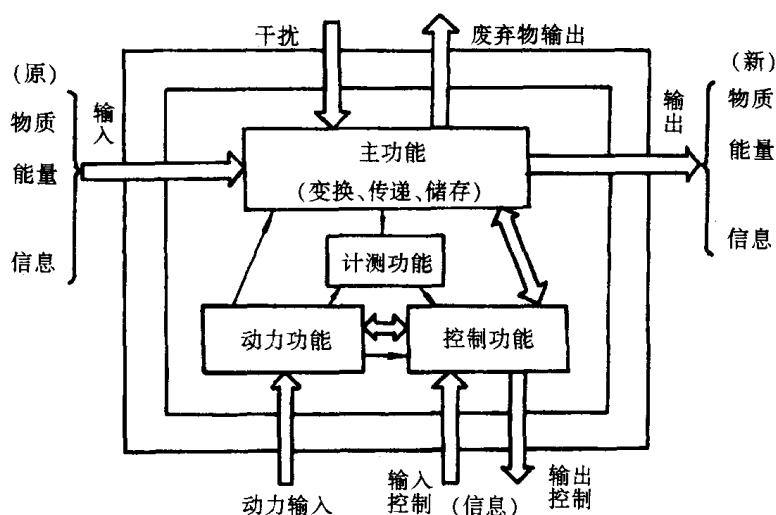


图 1-2 系统的内部功能

系统的输入/输出除了工业三大要素外,还有动力输入与控制信息的输入/输出。此外,系统还会受到外部干扰的输入以及非目的性废弃输出,这些都是系统设计时应当考虑的。

二、机电一体化系统的构成要素及其功能

从机电一体化系统的功能看,人体是机电一体化系统最好的蓝本。所以,不妨先分析一下人体的构成要素及相应功能,进而再分析机电一体化系统的主要构成要素及其功能。

如图 1-3(a)所示,构成人体的五大要素分别是头脑、感官(眼、耳、鼻、舌、皮肤)、手足、内脏及骨骼。相应的功能如图 1-3(b)所示,内脏提供人体所需要的能量(动力)及各种激素,维持人体活动;头脑处理各种信息并对其它要素实施控制;感官获取外界信息;手足执行动作;骨骼的功能是把人体各要素有机联系为一体。通过类比就可发现,机电一体化系统内部的五大

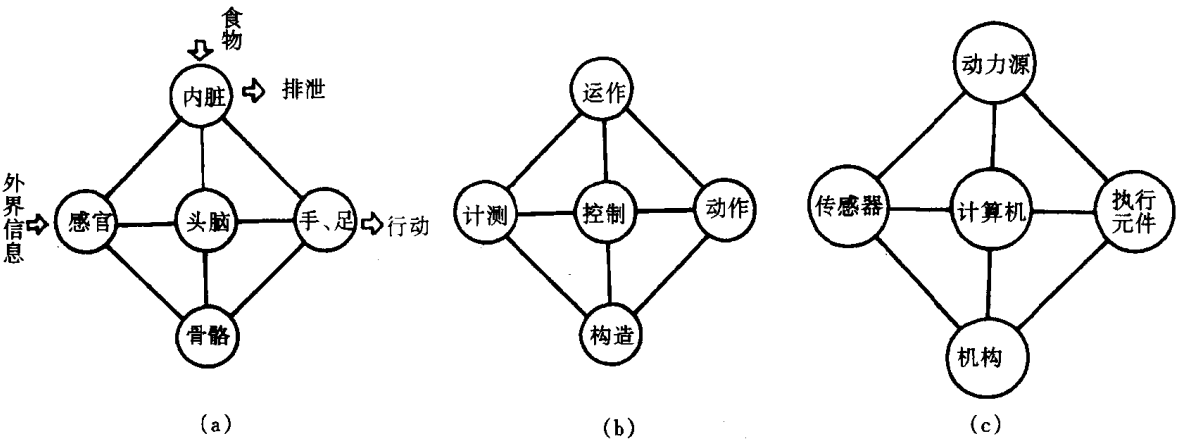


图 1-3 组成人体与机电一体化系统的对应要素及相应功能关系

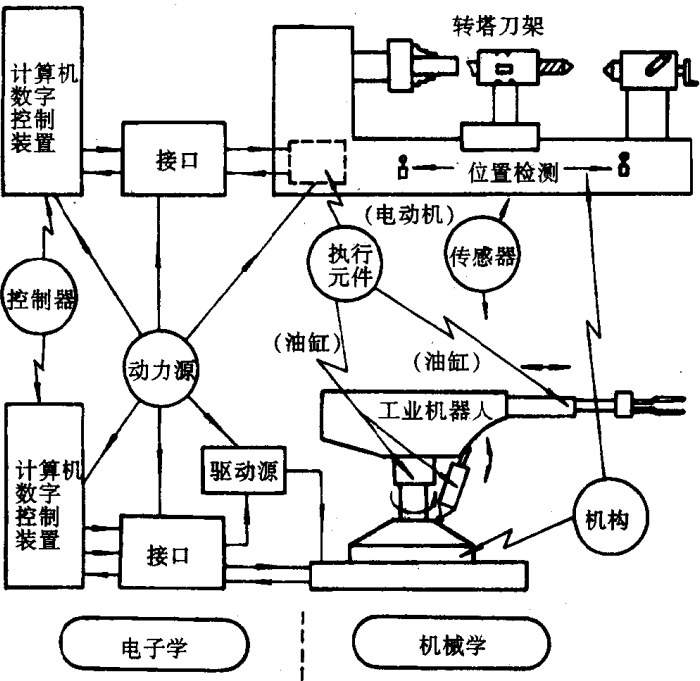


图 1-4 数控机床构成要素示意图

功能与人体的上述功能几乎是一样的,而实现各功能的相应构成要素如图 1-3(c)所示。

图 1-4 即为数控机床的功能组成及相应构成要素示意图。

机电一体化的特点之一是降低能源与材料消耗,而另一特点便是使人与机械的关系产生了根本变化。这种变化正是形成机电一体化产品功能强、性能好、智能化、效益高、应用价值大的重要缘故。

第三节 发展机电一体化技术的基础

系统论、信息论、控制论的建立,微电子技术,尤其是计算机技术的迅猛发展,引起了科学技术的又一次革命,诱发了机械工程的机电一体化。

系统论、信息论、控制论无疑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时,无论在工程的构思、规划、设计方面,还是在它的实施或实现方面,都不能只着眼于机械或电子,不能只看到传感器或计算机,而是要用系统的观点,合理解决信息流与控制机制问题,有效地综合各有关技术,才能形成所需要的系统或产品。在 1978 年,钱学森就曾论道:“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”机电一体化技术就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,用数学方法和计算机作工具,以最优设计、最优控制、最佳管理为目标,对系统的构成要素、结构形式、信息交换和控制策略等进行分析、设计、制造和服务,实现系统或产品的最优综合。

机电一体化系统是一个包括物质流、能量流和信息流的系统,是在“联合与改革”的大潮流中,科学—技术—经济—社会相互结合而发展起来的综合化工程,有效地利用各种信号所携带的丰富信息资源则有赖于信号处理和信息识别技术。考察所有机电一体化产品,就会看到准确的信息获取、处理、利用在系统中所起的实质性作用。

将工程控制理论用于机械工程技术而派生的机械控制工程为机械技术引入了崭新的理论、思想和语言,把机械设计技术由原来静态的、孤立的传统设计思想引向动态的、系统的设计环境,使科学的辩证法在机械技术中得以体现,为机械设计技术提供了丰富的现代设计方法。

如果说系统论、信息论、控制论是机电一体化技术的理论基础,那么微电子技术、精密机械技术就是它的技术基础。微电子技术的进步,尤其是微计算机技术的迅速发展,为机电一体化技术的进步与发展创造了前提。正是有了计算机,才使机械、电子、信息的一体化得以实现。有了微型计算机的日新月异,才有了机电一体化技术的勃勃生机。

同时,在机电一体化技术的发展中,不能低估了精密机械加工技术对它的贡献。机电一体化产品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。例如,大规模集成电路(LSI)制造中的微细加工就是精密机械技术的进步成果。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。

由于机电一体化是一个工程,是一个大系统,因此它的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,还要依靠相关技术的发展,同时也要受到社会条

件、经济基础的重大影响。机电一体化技术内部各种因素的联系以及外部条件的关系如图 1-5 所示。其中的主要因素固然是发展机电一体化技术的必备条件,但各种相关技术的发展及外部影响因素的相互配合也是必不可少的。图 1-6 表达了发展机电一体化技术支持系统的彼此关系。

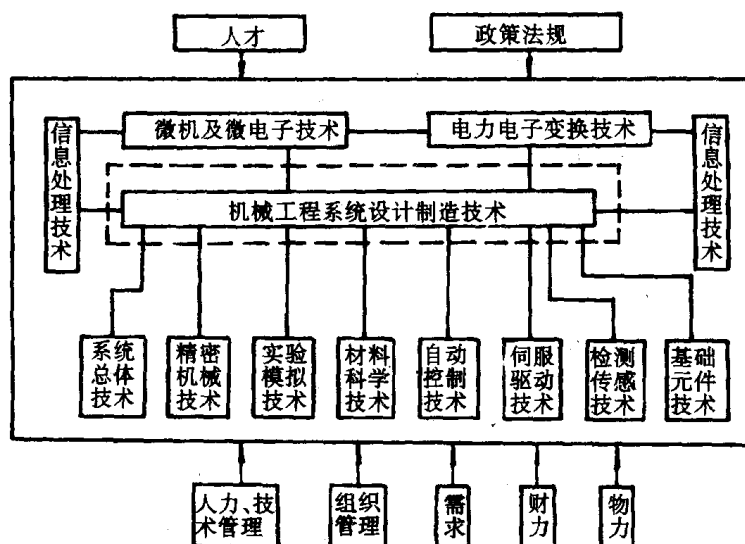


图 1-5 机电一体化技术内部组成因素

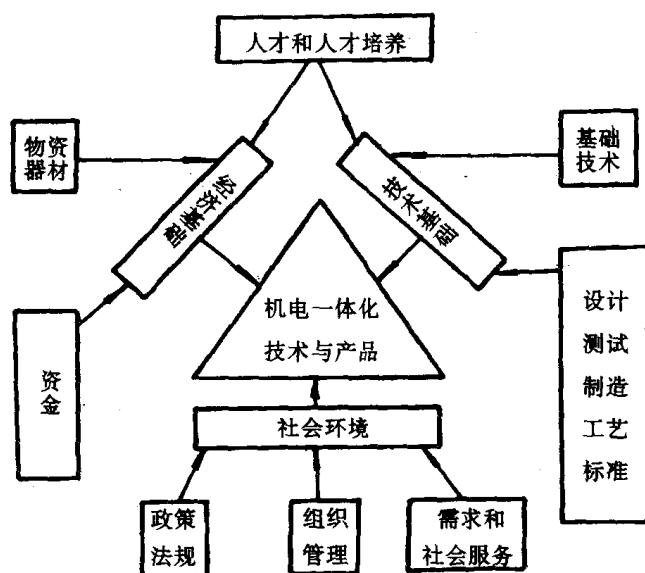


图 1-6 机电一体化技术支持系统

第四节 机电一体化的共性关键技术

发展机电一体化技术所面临的共性关键技术包括检测传感技术、信息处理技术、伺服驱动技术、自动控制技术、接口技术、精密机械技术及系统总体技术等。

一、检测传感技术

传感器技术是机电一体化的第一位关键性技术。机电一体化系统或产品的柔性化、功能化和智能化都与传感器的品种多少、性能好坏密切相关。

传感器技术自身就是一门多学科、知识密集的应用技术。传感原理、传感材料及加工制造装配技术是传感器开发的三个重要方面。作为一个独立器件,传感器的发展正进入集成化、智能化研究阶段。把传感器件与信号处理电路集成在一个芯片上,就形成了信息型传感器;若再把微处理器集成到信息型传感器的芯片上,就是所谓的智能型传感器。

与微电子技术、计算机技术的迅速发展相比较,传感器无论是种类、数量,还是性能、规格远不能满足生产、科研与人民生活的需要。不仅制约信息处理技术的发展,妨碍控制技术的进一步实施,而且也影响计算机技术的普及应用。是造成计算机“假饱和”现象并形成所谓“头脑发达,五官迟钝”被动局面的主要原因。

随着人类对自然界的不断探索,对客观世界研究的逐渐深入,待测信息的类型日益增多,待测信息的内容日益丰富,加之微机应用技术的迅速发展,人们已充分认识到了传感器技术的战略地位与重要作用。传感器技术需要研究开发的内容很多,例如:探索新的传感机理;开发各种传感功能的敏感材料;提高传感器灵敏度、可靠性、抗干扰等技术的研究;信息型、智能型传感器的开发;新型传感器,如模糊量传感器、光纤传感器、模式识别用传感器等的研究;传感器结构、制造加工与制造工艺超精化技术的开发研究等等。

二、信息处理技术

信息处理技术包括信息的输入、识别、变换、运算、存储及输出技术。信号的处理是否及时、准确,直接影响机电一体化系统或产品的质量 and 效率,因而也是机电一体化的关键技术。

信息处理的硬件设备主要有输入/输出设备、显示器、磁盘、计算机、可编程序控制器及数控装置等。以微电子技术为基础的微机技术与信号处理机的迅速发展极大地丰富了信息处理硬件。在信息处理技术方面尚需研究开发的课题有:提高硬件制造工艺,保证产品的可靠性;提高信号处理速度;研究汉字输入/输出装置;人机接口装置信息处理的智能化;软盘机、可编程序控制器的标准化等。

三、自动控制技术

所谓自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,通过控制器使被控对象或过程自动地按照预定的规律运行。自动控制技术的广泛应用,不仅大大提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,而且在人类征服大自然、探索新能源、发展空间技术与改善人类物质生活等方面起着极为重要的作用。

主要以传递函数为基础,研究单输入、单输出一类线性自动控制系统分析与设计问题的古典控制技术发展较早,且已臻成熟。在工程上,比较成功地解决了诸如伺服系统自动控制的实践问题。

随着科学技术发展和工程实践的需要而发展起来的现代控制技术主要以状态空间法为基础,研究多输入、多输出、变参量、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析和设计问题。最优控制、最佳滤波、系统识别、自适应控制等都是这一领域研究的主要课题。近年来,由于计算机技术和现代应用数学研究的快速发展,促进了现代控制技术在系统工程和模仿人类活动的智能控制等领域的重大进展。

在机电一体化技术中,诸如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、再现、检索等自动控制技术皆是重要的关键技术。现代控制理论的工程化与实用化以及优化控制模型的建立、复杂控制系统的模拟仿真、自诊断监控技术及容错技术等都是有待进一步开发研究的课题。

四、伺服驱动技术

这里说的伺服驱动技术,主要是指执行系统与机构中的技术问题。执行机构主要包括电磁铁、伺服电机、步进电机、液压马达、液压缸、气缸等。执行机构的性能、精度、响应速度及可靠性对机电一体化产品的性能与质量同样具有至关重要的影响。例如直流伺服电机的控制性能、速度与转矩特性的稳定性;交流电机系统的变频调速、电流逆变技术,电磁铁的体积大小、工作可靠问题;液压与气动执行机构的精度、响应速度等技术问题都是机电一体化系统设计中必须研究的技术。

五、接口技术

机电一体化系统是机械、电子和信息等性能各异的技术融为一体的综合系统,其构成要素或子系统之间的接口极其重要。从系统外部看,输入/输出是系统与人、环境或其它系统之间的接口;从系统内部看,机电一体化系统是通过许多接口将各组成要素的输入/输出联系成一体。因此,各要素及各子系统之间的接口性能就成为综合系统性能好坏的决定性因素。多数机电一体化系统的设计其实就是接口设计。

六、精密机械技术

前面曾叙述过精密机械加工技术对发展机电一体化技术的重要作用。这里要说的是机电一体化产品中的精密机械技术。机电一体化产品对机械部分的零部件的静、动态刚度、热变形有更高的要求。而且体积要小,重量要轻,磨损要小。特别是那些关键零部件,如导轨、滚珠丝杠、轴承、传动部件等的材料、精度对机电一体化产品的性能、控制精度影响极大。

七、系统总体技术

系统总体技术就是从整体目标出发,用系统的观点和方法,把机械与电子的功能在结构上有机地一体化的技术。机电一体化系统的高功能、高精度、高效能要求不可避免地要使产品复杂化。所以,即使各构成要素的功能、精度、性能都很好,但若整体系统不能很好协调,系统照样难以正常运行而不能发挥其应有的效能。

在机电一体化产品中,机械、电气和电子是性能、规律截然不同的物理模型,因而存在匹配上的困难;电气、电子又有强电与弱电、模拟与数字之分,必然遇到相互干扰与耦合的问题;系统的复杂性带来的可靠性问题;产品的小型化增加了状态监测与维修的困难;多功能化造成诊断技术的多样性等等。因此就要考虑产品整个寿命周期的总体综合技术。

为了开发出具有较强竞争能力的机电一体化产品,系统总体设计除考虑优化设计外,还包括可靠性设计、标准化设计、系列化设计以及造型设计。

第五节 机电控制系统的分类

机电控制系统的种类很多,可以从不同角度按照不同的分类方法进行分类,每一种分类方

法都代表一定的特点。

一、按照系统输入信号的变化规律分

1. 定值控制系统 定值控制系统也叫自动调整系统, 控制系统的基本任务, 是在存在扰动的前提下, 将实际输出量保持在某一期望的数值上。

2. 随动系统 这种控制系统的特点是系统的输出以一定的精度复现系统的输入信号。

3. 程序控制系统 在有两个以上执行机构的系统中, 使各步动作的控制信号按预定程序指挥执行机构依次动作。

二、按照系统输出量的形式分

按照输出量的形式可以分为位置控制、速度控制、加速度控制、力(或力矩)控制等。

三、按照输出量对控制作用的影响分

1. 闭环控制系统 凡系统输出量对控制作用有直接影响的系统叫闭环系统。闭环控制系统也叫反馈控制系统, 具有抑制系统内部和外部各种干扰对系统输出影响的能力。

2. 开环控制系统 系统的被控制量只能受控于控制量, 而对控制量不能反施任何影响的系统称为开环控制系统。由于被控制量不影响系统的控制作用, 所以对干扰造成的误差, 开环系统不具备修正的能力。

四、按照控制信号的变量形式分

按照控制变量的形式分为模拟控制系统和数字控制系统。

五、按照系统输出功率的大小分

1. 仪表伺服控制 功率在 200W 以下。

2. 功率伺服控制 功率范围在几十到几百千瓦。

还有一些按照其它分类方法定义的控制系統, 在此不一一列举。

第二章 执行元件及接口装置

第一节 执行元件

执行元件是机电控制系统重要组成部分。根据其在系统中的作用,选择执行元件时一般的考虑原则是:

- (1)在整个工作循环中都能够拖动负载按预期的要求运动;
- (2)执行元件的性能(无阻尼固有频率和阻尼比)是机电控制系统动态响应(系统的稳定性、快速性和稳态误差)的基本限制因素,所以选择执行元件不但要考虑满足负载拖动要求,还要考虑它对系统控制性能的影响;
- (3)性能密度大。对启、停频率低,要求低速平稳及扭矩脉动小,高速运行时振动噪声小,在整个调速范围内运动平稳的机械,如 NC 工作机械的进给运动,机器人驱动系统,要求其功率密度 P/W (P 为执行元件输出功率, W 是它的重量)大;而对启、停频繁,低速平稳性要求不高的机械,如高速打印机、绘图机等,则要求有较高的比功率 $dP/dt = T_N^2/J_M$ (T_N 是它的额定输出扭矩, J_M 是输出轴转动惯量)。

此外,还应考虑执行元件的其它一些性能,如速度范围、低速平稳定、刚性、效率、可靠性、寿命和价格等。

如表 2-1 所示,执行元件按其运动方式,可分为回转运动和直线运动两大类。若按工作介质分类,又可分为电气执行元件、液压执行元件和气动执行元件。

表 2-1 执行元件种类

种 类	特 点	优 点	缺 点
电动式	可使用商用电源,信号与动力的传送方向相同,有交流和直流之别,应注意电压之大小	操作简便,编程容易,能实现定位伺服,响应快,易与 CPU 相接、体积小,动力较大	瞬时输出功率大、过载差,特别是由于某种原因卡住时,会引起烧毁事故,易受外部噪声影响,无污染
气动式	空气压力源的压力为 0.5 ~ 0.7MPa,要求操作人员技术熟练	气源方便、成本低,无泄漏污染,速度快、操作比较简单,但功率小、体积大、动作不够平稳	不易小型化,远距离传输困难,工作噪声大,难于伺服控制
液压式	要求操作人员技术熟练,液压源压力为 5~8MPa	输出功率大、速度快、动作平稳,可实现定位伺服、易与 CPU 相接、响应快	设备难于小型化,液压源或液压油要求严格(杂质、温度、油量、质量),易泄漏且有污染

一、控制电动机

机电一体化产品中的控制电动机就是能提供准确运动或复杂动作的伺服电动机。利用电压、电流、频率(包括指令脉冲)等控制方式,实现定速(或变速)驱动,反复启、停的增量驱动以

及复杂驱动。驱动精度随驱动对象的不同而不同。常用的控制用电动机有:电压控制感应电动机(制动电动机或两相伺服电动机)、电压控制直流电动机(DC 伺服电动机)、频率控制同步(SM)电动机(同步型伺服电动机)、频率控制感应(IM)电动机(感应型伺服电动机)、频率控制磁阻电动机(步进电动机)等。上述每一种都有回转驱动型与直线驱动型。控制用电动机的特点及控制方式如表 2-2 所示。

表 2-2 控制用电动机的特点及控制方式

电动机	控制方式	应用	特点
感应电动机	电压控制 (晶闸管)	断续 制动电动机	用可逆电磁接触器使带有电磁制动器的鼠笼型感应电动机通断,用晶闸管进行电压控制
		连续 二相伺服电动机	适于计测设备(数瓦)、在数十瓦以上时,有类似于低频度定位的二速方式等用法
直流电动机	电压控制 (晶闸管、晶体管)	连续 DC 伺服电动机	有整流子和电刷。电枢中,频率与转速同步,可在无滑移的最佳条件下运转,效率、控制性能优良。具有从最佳响应的电动机到低响应的微电动机等各种电动机,可数字定位控制
磁阻电动机	频率控制 (晶体管)	开环 步进电动机	为开环控制方式,数字控制,无检测器,成本低,但同时也成为不稳定因素,自启动频率受到限制。多用于办公室设备等
同步电动机	频率控制 (晶体管)	闭环 同步(SM)型 伺服电动机 (交流伺服电动机)	是回转磁铁型,通过检测永久磁铁转子的位置,求出相位,使用 PWM 或电流型变换器,将此频率与各相绕阻速度电动势的相位比较进行控制
感应电动机	频率控制 (晶体管)	闭环 感应(IM)型 伺服电动机 (交流伺服电动机)	检测交流电动机气隙磁场的大小和方向,用电力电子变换器产生与气隙磁场同向的磁化电流和与气隙磁场垂直的有效电流,进行转矩控制

(一) 直流(DC)伺服电动机

直流伺服电动机具有响应快、精度和效率高、控制特性好、小型化、轻量化、价格低等优点,广泛用于伺服控制。在结构上有传统式和低惯量型两大类。

1. 直流伺服电动机的选择 选择直流伺服电动机的一般原则是:

(1)考虑电动机负载时,既要考虑负载阻力矩,还要考虑惯性负载力矩;

(2)对于频繁启动、制动与周期性负载,必须检查一个周期中的负载转矩均方根值,是否小于连续运行时的额定转矩;

(3)负载惯量不得超过电动机转子惯量的 3 倍,否则将影响系统的响应速度及控制精度;

(4)伺服电动机的机电时间常数要小,转矩—转速曲线的线性度要好;

(5)对低速大扭矩负载,可选用直流力矩伺服电动机。

2. 常用直流伺服电动机

(1)电磁式直流伺服电动机(SZ 型):机械特性下垂,在整个速度范围内能稳定运行;气隙小、磁密高、单位体积输出功率大、精度高。但电枢齿槽效应会引起转矩脉动,运行不平稳,电枢电感大,高速换向困难,需直流励磁电源。适用于中等功率直流伺服系统,不适于要求快速响应的伺服系统。

(2)永磁式直流伺服电动机(SY型):性能特点基本与电磁式相同,只是磁性随时间而退化,无需直流励磁电源。适用于一般小功率直流伺服系统,不适于要求快速响应的系统。

(3)杯型电枢直流伺服电动机(SYK型):机械特性下垂,运行稳定;惯量小,机电时间常数小;电枢电感小;最高响应时间为0.5ms,电枢的热容量小;无齿槽效应,转矩波动小,运行平稳,换向良好,噪声低,气隙大。但单位体积的输出功率小,耐冲击和耐热性差。适用于小功率(10W以下),需要快速动作的伺服系统中。

(4)无槽电枢直流伺服电动机(SWC型):特性曲线线性度好,机械特性下垂;电枢惯量小,机电时间常数小,电枢电感小,电磁时间常数小,换向良好;无齿槽效应,运转平稳,噪声低,瞬时起动、停止和快速响应好;耐冲击和耐热性能好。但气隙大,励磁安匝大,力能指标低。适用于快速运转、快速起动、快速停止和功率较大的伺服系统中。

(5)圆盘电枢直流伺服电动机:电枢绕组散热条件好,电枢短时过载能力强,工作可靠性高;转矩极为平稳;电刷的寿命长。但圆盘直径大,惯量比杯形电枢的大。适用于低速和要求起动、反转频繁的系统。

(6)无电刷直流电机(SW型):无换向火花,不产生无线电干扰;寿命长,运行可靠,维护简便;转速不受换向条件的限制,可高速运行;调速范围宽。适用于低噪声、高真空、对无线电不产生干扰的系统。

(7)直流力矩电动机:除具有永磁式直流伺服电动机的特点外,还具有反应速度快,转矩和转速波动小;能在低速甚至堵转状态下长期稳定运行;具有低速大扭矩输出特点,可直接驱动负载;精度较高,输出功率大;运行可靠,维护方便、振动和噪声小。可作为高精度位置和低速随动系统中的执行元件,如雷达天线的驱动等;和直流测速发电机配合,可用于高精度的低速调速系统。

表2-3是日本法纳克(FANUC)公司生产的用于工业机器人、CNC机床、加工中心(MC)的L系列(低惯量系列)、M系列(中惯量系列)和H系列(大惯量系列)直接伺服电动机。L系列适用于频繁启动、制动的小功率驱动系统;M系列适用于脉宽调制(PWM)驱动系统;H系列适用于大惯量的大功率驱动,采用六相全波晶闸管整流驱动电路。型号中字母H表示装有散热管冷却器。

(二)交流伺服电动机

交流伺服电动机是一种微型交流异步电动机,将输入控制线组的电气信号(控制电压)转换成转轴上的角位移和角速度,带动负载运行。其结构与一般异步电动机相似,但在特点上有很大的差别,具有转速—转矩曲线近似于直线和良好的控制性能。交流伺服电动机的功率范围一般为0.1~100W。

交流伺服电动机的转子结构有鼠笼式和非磁性环形转子(也称为空心杯形转子)两种。

鼠笼式转子结构简单,运行可靠,价格低,相同体积与重量情况下所产生的起动转矩及输出功率大于杯形转子交流伺服电动机,所以应用较为广泛。目前,我国生产的交流伺服电动机以SL系列伺服电动机为主。

与鼠笼形转子相比较,空心杯转子惯量小,轴承摩擦阻矩小,由于它的转子没有齿和槽,所以定、转子间没有齿槽粘合现象,转矩不随轴的位置而发生变化,低速旋转时,转轴一般不会有抖动现象,运转平稳。但是由于它内、外定子间气隙较大,所需激磁电流就大,因而降低了电动