



工程机电技术

吕广明 编著

哈尔滨工业大学出版社

工程机电技术

吕广明 编著



哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

内 容 简 介

本书以培养学生综合设计能力和满足工程设计人员需求为主线,从整体设计出发,将主要工程机械的工作原理、液压技术与控制方式有机结合,系统地讲述了设计过程所需的基本理论和基本方法,并通过大型机电液一体化设计实例,从满足工程机电液系统要求的设计角度出发,作了细尽的论述。

全书共分为 11 章:第 1 章 绪论;第 2 章主要讲述工程机电液压技术基础;第 3~8 章主要讲述典型工程机械的工作原理和工作方式;第 9 章主要讲述工程机电产品的可靠性设计理论和方法;第 10~11 章对沥青摊铺机和液压挖掘机进行了机电液一体化技术实例分析。

本书可作为高等学校机械类及近机类专业工程机械自动化技术课程主要教材及从事机电液一体化研究的广大工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程机电技术/吕广明编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.6

ISBN 7-5603-2032-5-X

I.工… II.吕… III.工程机械-机械设计-高等学校-教材 IV.TU602

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045278 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006

传 真 0451—86414749

印 刷 哈尔滨市龙华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 15.75 字数 380 千字

版 次 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2032-5/TH·121

印 数 1~3 000

定 价 20.00 元

前 言

随着科学技术的日益发展,学科之间的相互交叉和融合已成为当今技术发展的主流。工程技术人员单一的专业知识已不能适应新技术发展的要求,掌握一套完整的系统化设计理论和方法已成为必然。

本书是根据高等学校机械类及近机类专业工程机电液一体化课程的基本要求和 21 世纪教学课程体系改革以及从事机电液技术研究的广大工程技术人员需要,结合编者多年的科研实践和教学经验编写而成的。全书从整体设计出发,将主要工程机械的工作原理、液压技术与控制方式有机结合,系统地讲述了设计过程所需的基本理论和基本方法,适度增加了适应科技发展的新知识、新技术、新理论。并通过大型机电液一体化设计实例,从系统理论分析及数学建模开始,至系统的特性分析及动态设计,最后结合计算机仿真技术实现系统的设计指标要求。从系统角度看,工程机电液系统属于非线性系统,针对此特点,本书以液压挖掘机为实例,详细地介绍了模糊控制、神经网络控制在工程机械方面的应用。

全书主要内容为工程机电技术基础,典型工程机械介绍,工程机电技术实例分析。在编写时,充分考虑了不同专业学生学习的特点及工程技术人员需要,除阐述某些基本理论和必要的计算外,删去了一些繁琐的公式推导和 unnecessary 的内容,力求少而精。本书可适合不同专业、不同学时要求,采用可随意增减的结构,根据不同专业、不同学科的要求可自行整节删除或选用。另外,从加强读者对各章基本内容的理解和有利于学生复习的角度出发,各章均编有复习思考题。

本书由哈尔滨工业大学机电工程学院工程机械系教师编写,参加编写的人员有:吕广明(第 1、5、9、10、11 章),胡长胜(第 2 章),薛渊(第 3、4 章),车仁炜(第 6、7、8 章)。全书由哈尔滨工业大学陆念力教授主审。此外,哈尔滨工业大学机电工程学院白桦参加了第 11 章模糊控制部分的编写工作,谈龙斌等研究生为本书提供了部分实验数据及仿真结果。哈尔滨工业大学出版社及哈尔滨工业大学机电工程学院的各位领导及同事们,在此书的编写过程中给予了大力支持,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏及不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2004 年 3 月 15 日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 工程机电一体化的含义	1
1.2 工程机电一体化技术的发展历史及特点	2
1.3 工程机电一体化系统的组成	3
1.4 工程机电一体化技术的主要特征	4
1.5 工程机电一体化与其他技术的区别	6
思考题	7
第2章 液压传动与控制基础	8
2.1 术语定义	8
2.2 液压传动基本理论	12
2.3 液压传动与控制系统的组成	17
2.4 液压元件与液压回路	18
2.5 工程机械液压传动控制系统分析基础	27
思考题	31
第3章 工程起重机械	32
3.1 起重机械的类型与性能参数	32
3.2 起重机的常用零部件	34
3.3 塔式起重机	43
3.4 自行式起重机	47
思考题	50
第4章 土方机械	51
4.1 铲土运输机械	51
4.2 挖掘机	66
4.3 压实机械	72
思考题	76
第5章 桩工机械	78
5.1 概述	78
5.2 柴油打桩机	79
5.3 振动沉拔桩机	86
5.4 灌注桩成孔机	88
思考题	95
第6章 混凝土机械	97
6.1 混凝土称量设备	97
6.2 混凝土搅拌机	100

6.3 混凝土输送机械	107
6.4 混凝土振动器	111
思考题	113
第7章 路面机械	115
7.1 沥青洒布机械	115
7.2 沥青混凝土搅拌机械	120
7.3 沥青混凝土摊铺机	127
思考题	131
第8章 其他设备	132
8.1 工程运输车辆与机械	132
8.2 石方机械	137
8.3 钢筋加工机械	141
思考题	145
第9章 工程机电系统的可靠性设计	146
9.1 工程机电系统可靠性的概念	146
9.2 工程机电系统可靠性设计的软件方法	149
9.3 工程机电系统可靠性设计的硬件方法	157
思考题	180
第10章 沥青混凝土摊铺机调平电液自动控制系统	182
10.1 工程机电系统的数学建模	182
10.2 工程机电系统的一般设计过程	185
10.3 沥青混凝土摊铺机调平电液控制系统	188
10.4 开关式自动调平系统	189
10.5 比例式自动调平系统	192
10.6 比例-脉冲式自动调平系统	196
思考题	198
第11章 液压挖掘机的智能控制技术	199
11.1 液压挖掘机发展综述	199
11.2 液压挖掘机工装位姿的数学建模	202
11.3 液压挖掘机的能控性及能观性分析	206
11.4 液压挖掘机挖掘轨迹 PID 控制方法的实现	211
11.5 液压挖掘机挖掘轨迹模糊控制方法的实现	218
11.6 液压挖掘机挖掘轨迹神经网络控制方法的实现	227
11.7 液压挖掘机控制系统的硬件和软件设计	235
思考题	241
参考文献	243

第1章 绪 论

随着计算机技术、控制技术、微电子技术、机械本体技术及液压传动技术的发展,工程机电液技术近些年来得到了迅速发展。本书针对工程机电技术的最新发展情况及发展方向进行了论述,介绍了常见工程机械的机械本体,分析了工程机电系统的数学建模、系统设计方法及相关指标分析。最后,以混凝土摊铺机、液压挖掘机为例,从机电系统的角度进行性能指标分析及机电液技术设计,并进行计算机仿真技术分析。

1.1 工程机电一体化的含义

“机电一体化”源于“Mechatronics”,该词的构成有两种提法,一种认为由 Mechanism 的前半部分和 Electronics 的后半部分合成,应理解为“机械的电子化”。另一种认为是 Mechanics 的前半部分和 Electronics 的后半部分合成,应理解为“机械电子学”。不论如何理解,其强调的是机械技术与电子技术的结合。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、生产方式及管理体系均发生了巨大的变化,它代表着机械工业技术革命的前沿方向。在我国,“机械电子学”与“机电一体化”并存,但后者更为流行。进入 20 世纪 60 年代以来,一大批逐步形成的高技术群体,如微电子技术、信息技术、自动化技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、空间技术、海洋开发技术、激光与红外技术、光纤通信技术等等,已经且继续向机械制造工艺设备、汽车、工程机械等各个领域渗透。机电一体化以机械为主体,以计算机控制,特别是以智能控制为核心,将工业产品和过程都作为一个完整的系统看待,因此,强调各种技术的协同和融合,是一种以实践,即产品和过程为基础的技术,并贯穿于设计和制造的全过程中。机电一体化依据不同的相关技术,在特定的行业,又被称为“机电光(光学技术)一体化”,“机电信(信息技术)一体化”,“机电液(液压技术)一体化”,“机电仪(仪器仪表)一体化”。机电一体化技术是微电子技术向传统机械工业渗透过程中逐渐形成的一种新兴的综合性高技术;也可以这样说,机电一体化是机械技术、微电子技术及各相关技术相互融合的产物。它本身不是什么现代尖端技术,但已成为尖端技术的基石,它是一门生机勃勃的跨专业的边缘科学。

机电一体化尚没有明确统一的定义,这是由于人们看问题的角度不同,对其理解也就各异;随着社会生产和科学技术的迅猛发展,机电一体化的具体内容将不断发展与更新。

国际机器和机械理论研究会(IFTMM)、机电一体化技术委员会给出了下述定义: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的协同结合。

1991 年英国创刊了国际性期刊(Mechatronics),在其刊物的编辑方针中提出:机电一体化的基本形式可以视为在现代工程技术中机械与电气学科的结合。它是一种相对新的概念,

涉及系统、部件和产品的设计,其目的是在基本机械结构及其总体控制之间求得最佳平衡。

本书将机电一体化定义为: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。其目的是不断提高劳动生产率,减轻人们的体力劳动强度,逐步代替部分脑力劳动。通过这种技术生产出来的是种类繁多的机电一体化产品,这些产品广泛地应用到国民经济、科研活动、国防建设和人民生活等各个领域。

1.2 工程机电一体化技术的发展历史及特点

工程机电一体化技术仍然属于机电一体化的内容。由于液压与液力传动技术在工程机械技术构成中所占的比重越来越大,为突出这一特点,人们又将工程机械机电一体化称为工程机械机电液一体化。在这一领域内,紧紧围绕着两个方面的内容进行研究:一是以简化人员操作,提高设备的动力性、经济性以及作业效率,节省能源等为目的的机械、电子、液压技术,如自动换挡系统、挖掘机恒功率输出控制系统等;二是以提高作业自动化程度为目的的机电液控制技术,如摊铺机、平地机的自动找平和恒速控制系统,振动块旋转方向与行驶方向的控制系统,挖掘机工作装置运动轨迹的自动控制系统等。机电液控制技术兼备了电子和液压技术的双重优势,形成了具有强大竞争力的自身技术特点,为各种工程机械自动控制提供了一种新手段,是工程机械发展的必然趋势。

纵观工程机械的发展历史,在技术上大致可以分为三个时期:

第一次是柴油机的出现,使工程机械有了较理想的动力装置,各类建筑机械的出现形成以这一时期为特点的第一代产品。

第二次是液压技术的广泛应用,使工程机械的传动装置、工作装置更趋于合理,为工程机械提供了良好的传动装置。工程机械作业形式多种多样,工作装置的种类繁多,要求实现各种各样的复杂运动,液压传动结构紧凑,布置简单方便,易实现各种运动形式的转换,能满足复杂的作业要求,具有许多优良的传动平稳性、过载性、可控性,易实现无级变速,操纵简单轻便。由于工程机械找到了理想的传动装置,推动了工程机械的飞速发展,出现了形形色色完成各种施工作业的工程机械,形成了以全面液压化为标志的第二代产品。

第三次是微电子技术在建筑机械方面的广泛应用,尤其是计算机技术的广泛应用,使工程机械向着高性能、自动化和智能化方向发展。要使工程机械高效节能,就要对发动机和传动系统进行控制,合理分配功率,使其处于最佳工况;为了减轻驾驶员劳动强度和改善操纵性能,需要采用自动控制,实现工程机械自动化;要完成高技能的作业,就需要智能化;为了提高安全性,需要安全控制,进行运行状态监控,故障自动报警;随着建设领域的扩展,为了避免人员到无法及不易接近的场所和作业环境十分恶劣的地方去作业,需要采用远距离操纵和无人驾驶技术。近年来,工程机械的发展主要是操纵和控制机构的改进,例如,摊铺机自动找平控制,挖掘机节能控制、全功率控制、轨迹控制、自动挖掘控制等。推土机、装载机操纵杆数的减少,操纵功率逐渐下降,操纵越来越方便。有的装载机转向操纵已从方向盘改为操纵杆式转向。动力装置方面:柴油机已采用微机控制电子喷射和电子调速器,挖掘机、推土机和装载机都采用了发动机工况控制,根据作业工况通过电子控制,使发动机输出不同的功率。传动装置方面:如装载机变速器采用了电操纵、微机控制自动换挡和换挡品质控制等。

1.3 工程机电一体化系统的组成

机电一体化包括技术和产品两个部分。从技术构成考虑,机电一体化主要包括六种:机械本体;检测传感部分;执行驱动部分;控制和信息处理设备;驱动部件;动力系统。

1.3.1 机械本体

机械本体包括机械设备的壳体、机身、支架等支撑结构。对机械本体的要求是:尽量采用新材料、复合材料;尽量做到小型化、轻量化,要提高刚性,实现组合化、标准化和系列化;努力提高系统整体的可靠性。机械本体技术主要涉及机械整体的设计及制造和从整个系统研究的运动学及动力学特性。

1.3.2 检测传感部分

检测传感部分用于检测、监视工程机电系统运行中的一些关键参量或状态,并反馈给信息处理及控制器部分,经过处理后作为下一步机械运行的依据。传感器有各种类型,可以把非电量(温度、压力、位移、流量等)转变成电信号,然后送入控制处理设备。

1.3.3 执行驱动部分

执行驱动部分根据信息处理部分的指令,来完成规定的机械动作,包括电动执行机构、气动执行机构、液动执行机构以及附着在这些机构上的机械部分。电动执行机构有各种伺服电机(直流、交流、力矩马达、低惯量电机等)、步进电机、电磁阀、继电器。气动执行机构有气缸、气阀、气动马达等。液动执行机构有油缸、液压马达、摆动油缸等。

1.3.4 控制和信息处理设备

控制和信息处理设备是整个装置的指挥中枢,它将传感器检测的信号,按预先编制的算法程序对数据及信息进行存贮、交换、运算等处理,然后给驱动部件发出动作指令,使之完成规定的任务。这一部分多选用各种类型的微处理器或微型计算机和不同规模的集成电路来完成。

1.3.5 驱动部件

驱动部件把输入的控制“电信号”放大、变换(有时变换成气压或液压信号)、匹配,然后推动执行机构。可以用很小的输入来控制很大的输出,因此,驱动部件是连接强电设备和弱电设备的纽带。驱动部件中广泛采用电工电子器件,例如,晶闸管、双极型功率晶体管(GTR)、功率场控晶体管(P-MOSFET)、绝缘栅极电力晶体管(IGBT)等。

1.3.6 动力系统

工程机电产品的动力系统是为产品提供能量与动力功能的,驱动执行机构,使系统正常运行;其能量与动力来源于电动、液动、气动的机械动力装置。

应该指出的是,构成工程机电装置的几个部分并不是并列的。其中机械本体是主体,装

置的主要功能必须由机械来完成,否则就不能称其为机电一体化产品。如电子计算机、非指针式电子表等,其主要功能已由电子器件和电路等完成,机械已退居次要地位,这类产品应归属于电子产品,而不是机电一体化产品。从机电一体化系统的组成来看,系统中既包含高电压、大电流的电气设备,即强电设备,又包含低电压、小电流的控制与信息处理设备和传感器部件,即弱电设备,因此,要防范强电设备产生的强烈的电磁噪声对弱电设备的正常工作构成的极大的威胁。

可以把工程机电系统看做一个“人”:机械本体是人的躯体;传感器犹如人的五官,能感知各种信号和信息;控制器相当于人的大脑和神经系统;执行器就如同人的四肢。人完成各种动作和做各类工作,要靠食物供给能量,工程机电装置则主要靠液能、电能,液能需要液压泵,电能要由电工电子装置变换后才能使用。

1.4 工程机电一体化技术的主要特征

机电一体化技术并不是机械技术、微电子技术以及其他相关技术的简单罗列、拼装或组合,而是有机地相互结合或融合,是有其客观规律的。这一崭新的技术,与机械技术、电子技术比较,主要有以下特征。

1.4.1 具有综合性和系统性

机电一体化是一门跨学科的边缘科学。机电一体化技术是由微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术结合而成的综合性高技术。这种众多技术的综合及多个部分的结合,使机电一体化技术及产品更具有系统性、完整性和科学性。机械技术、微电子技术、自动控制技术、信息技术、传感技术、电工电子技术、接口技术、模拟量与数字量交换技术以及软件技术等组成机电一体化技术,这些技术在这个完整的系统中,相互要求、取长补短、不断向系统化、复合集成化的方向发展。

1.4.2 多层次,覆盖面广

机电一体化技术不仅体现在一些机电一体化的单机产品之中,而且贯穿于工程系统设计之中。从简单的单台机电一体化产品,到现代工业中的柔性加工系统;从简单的单参数显示,到复杂的多参数、多级控制;从机械零部件连续自动热处理生产线,到各种现代高速重型机械自动化生产线等,机电一体化技术都有不同层次、覆盖面很广的应用特点。对于工程机电液系统,需成套地进行开发和制造;对于机电一体化单机产品,应采用简繁并举、高低级并存的多层次发展途径。可发展功能附加型的低级产品,增添某些新的功能而不需改动传统机械产品的结构;也可发展功能代替型的中级产品,这种产品是采用电子技术替代传统机械产品的某些零部件或控制装置的功能,使机械结构产生不同程度的变化;应积极发展机电融合型的高级产品,高级的机电一体化产品则将彻底冲破传统机械产品的结构及设计思想,成为未来的新一代产品。

1.4.3 机械电子化

原有的工程机电产品采用微电子技术之后,使得产品在质量、性能和功能、效率和节能

等方面都有了长足的进步,甚至产品结构也发生了质的变化,具有新功能,具体表现在:

(1)采用微电子控制实现工程机电产品的多功能和高性能。例如,微型机控制的生产指挥仪、电子控制的防滑制动装置、微型机控制的电机调速装置、液压挖掘机的轨迹控制等。

(2)机械式控制机构被电子装置所取代。例如,电子缝纫机中的微处理器取代了传统的偏心轮连杆机构,挖掘机的全功率输出控制、发电机组的电子缝纫机控制,在内燃机燃料喷射装置中采用微型机进行程序控制。

(3)机械式信息处理机构被电子装置所取代。例如,石英钟表取代机械式钟表,全电子式自动电话交换机代替机械式电话交换机,电子计算器代替手摇或电动的机械式计算机等。

(4)机械本身的主要功能被新的功能所取代。如线切割加工机床、激光手术器的主要功能装置代替了传统的主要机械性能,工程机械的手动操作装置被自动控制装置替代。

1.4.4 具有高可靠性、高稳定性、高寿命、高精度

机电一体化技术使产品中的机械传动部件减少,因而使机械磨损以及配合间隙等所引起的误差大大减小,由于采用了计算机及控制技术,使得控制精度及处理速度提高,并减少因各种干扰因素造成的误差,还可通过自控系统自行诊断、校正、补偿来达到靠单纯机械方式所不能实现的工作精度。因此,机电一体化产品的控制、检测及工作的精度、灵敏度、范围都有很大的提高。

同时,由于机械磨损及运动部件配合间隙所引起的误差,会产生摩擦、撞击、振动等,将影响装置的寿命、工作稳定性和可靠性,以及给环境带来危害。而机电一体化技术的应用,使装置的可运动部件减少,磨损也大为减少,电子元件甚至无可动部件、无机械磨损。因此,装置的寿命提高,故障率降低,从而提高了产品的可靠性和工作稳定性。

由于机械装置与电子装置发生故障的模式是不同的,而机电一体化产品的寿命、可靠性及稳定性是二者的综合,所以,各个组成部分如何适当匹配,以使机电元件两者取得平衡,则是设计制造机电一体化产品过程中面临的一个重要问题。上面关于机械部分已有简单讨论,对于电子装置,虽然无可动构件及其磨损、冲击,但它的元器件的寿命往往与工作温度、湿度、电场、磁场、环境的气体、粉尘以及电源的波动等有关,也会有各式各样的故障发生。因此,电子器件参数的选择、质量筛选等工作,在机电产品设计中应认真审查和考虑。

性能上向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展,功能上向小型化、轻型化、多功能方向发展;具有多种复合功能,是机电一体化应用技术的显著特征。电子技术的引入,使产品面貌发生了巨大变化,机电装置能按照人的意图进行自动控制、自动检测、信息采集及处理、调节、修正、补偿、自诊断、自动保护直至自动记录、显示、打印工作结果。通过改变程序、指令等软件内容而无需改动硬件部分就可变换产品的功能,使机械控制功能内容的确定和变化趋于“软件化”和“智能化”。例如,采用微机的电器综合保护装置,功能要达十余种,实现各种自动检测和保护,并加以显示,可实现对系统的失压、欠压、过载、短路、断相、不平衡、联锁等进行多种保护和控制,具有这些功能的系统被广泛地用于电站、车船、煤矿等工矿企业和场所。美国一座先进的配有五轴机器人和电脑数控装置及工件控制系统的激光加工中心,能完成自动焊接、划线、切割、钻削、热处理等操作,可任意加工金属、塑料、陶瓷、木材、橡胶等各种材料。这种多功能和高效率是传统机械加工系统所不能比拟的。

上述产品单靠机械技术或微电子技术很难或根本无法制成,必须综合应用机械与电子

技术才有可能实现。这就需要机电一体化设计人员根据产品的预期目的、功能或要求,权衡机械技术和微电子技术的各自优劣,进行系统优化,并使机械参数与电子参数相互匹配,以达到产品方方面面的合理优化。

1.5 工程机电一体化与其他技术的区别

为求准确理解机电一体化,有必要与其他有关技术加以区别。

1.5.1 与机电学的区别

机电学的主要任务是探讨各种发电机、电动机等原动机械的设计、制造等技术,是电气机械时代的产物。当发电机和电动机出现之后,电能成了世界上最重要的二次能源,以电动机为主体的电气传动机构成了重要的执行机构,其应用领域迅速扩展,于是出现了大量以电力驱动为重要构成部件的电气机械,实现了机械技术与电工技术的结合。这种结合以机械为主体,其技术支撑是电工技术,电气机械的控制、操作大都以基于电磁学原理的各种电器来实现。具有以下一些特征:①在设计过程中很少考虑电器与机械的内在联系,基本上是根据机械的要求选用相应的电气传动装置;②机械和电气装置之间独立,它们之间的连接基本上是以硬性的机械连接为主,整个装置是按刚性设计的;③装置所需的控制用各种电器,如接触器、继电器、可控硅等来实现,属于强电范畴;④不采用微型计算机,不涉及软件。

机电一体化所实现的是电子机械,它强调在设计过程中机械与微电子技术相结合,对它们之间的相互作用和影响统一考虑。

1.5.2 与并行工程的区别

机电一体化和并行工程是两种近年来发展起来的学科,其目的都是为了提高生产运作效率和系统性能,但两者的观点和途径截然不同。理想方式是并行工程和工程机电技术的发展与结合,它们殊途同归。

在并行工程中,电气、机械、控制和计算机等专业的工作组,各自在不同的工作环境下独立去操作,但设计和制造在不同专业又结合起来,彼此分别地来完成产品的不同部件。可以说,并行工程采用的是垂直集成。

机电一体化则将机械、电气、控制和计算机工程等专业的知识分别在设计阶段和制造阶段有机地结合起来,综合地进行设计和制造,它采用的是横向集成。它强调机械、电气、控制和计算机等专业的高度结合,也强调设计和制造过程的有机结合。

1.5.3 与自动控制的区别

自动控制是指采用自动化仪器、仪表在没有人直接参与下,实现使工程机电系统的一些指定参数保持规定值或按某种规律变化的操作,实现自动控制功能的装置,包括被控对象在内称为自控系统。自动控制这一学科侧重点在于讨论控制原理,包括控制规律、分析方法和系统构成等。

工程机电系统中将自动控制、微电子技术作为重要的支撑技术,以机械为本体,自动控制装置是它的重要组成部分。它利用自动控制有关原理和方法,对工程机电系统进行系统

分析和性能估测,它强调的仍是工程机电技术和产品本身。

1.5.4 与计算机应用的区别

计算机应用的着重点是如何应用计算机和怎样用好计算机,它的出发点是计算机,它讨论的主要是计算机应用的原理、方法和有关技术。工程机电技术则是将计算机作为一个核心部件,目的在于提高和改善系统的性能,计算机技术是其主要的支撑技术之一,其出发点是工程机电产品而不是计算机应用技术本身。

思考题

1. 机电一体化“Mechatronics”的含义是什么?
2. 机电一体化系统由几部分组成?简述各部分的功能。
3. 简述机电一体化技术的主要特征。
4. 工程机电一体化技术主要分几个发展阶段?
5. 工程机电一体化技术容易与哪些技术混淆?与这些技术之间的区别是什么?

第2章 液压传动与控制基础

随着现代科学技术的飞速发展,工程机械的传动装置正由传统的机械传动方式向液压传动方式发展,目前已经出现了全液压驱动的工程机械。随着人们对工程机械的自动化和智能化的要求不断提高,液压传动与控制技术作为机械与控制系统的一个方便的接口,越来越受到人们的重视,而液压传动与控制技术的发展和液压元器件制造水平的提高及其本身所具有的优点,使得液压传动与控制技术在机械、交通运输、飞机、导弹等各方面得到了广泛应用。

在学习和掌握液压传动与控制技术时,要重点掌握和理解一个定义(雷诺数的定义及其物理意义)、一个实验(恩氏粘度的测定实验)、两个特性(压力与外负载、流量与速度的关系)和三个基本方程(连续性方程、伯努力方程和动量方程)。对于液压元件则要理解和掌握一个零件(弹簧)和一个油腔(液压敏感腔)的作用。

2.1 术语定义

2.1.1 液压传动

液压传动是以液体为介质,依靠液体的压力能来传递动力的(液压传动与液力传动不同,后者是依靠流动液体的动能来传递动力的,如水轮机、液力变矩器等)。

液压传动按其工作原理的不同可分为容积式和液力式两种,前者是依靠液体的压力能进行工作的,一般称为容积式液压传动;后者除压力能外,还依靠液体的动能进行工作。

2.1.2 液压油相关术语

1. 密度与重度

(1) 密度。对于非均质液体而言,液体在某点的微小质量 Δm 与其体积之比的极限值,称做液体在该点处的密度,用符号 ρ 表示,即

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (2.1)$$

对于均质液体而言,液体的质量 m 与其体积之比,称做液体的密度,用符号 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

在国际单位制(SI)中,密度的单位是 kg/m^3 ,计算时一般取 $900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(2) 重度。对于均匀液体而言,单位体积的液体所具有的重量叫做重度,用符号 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2.3)$$

式中 G ——液体的重量, N;
 V ——液体的体积, m^3 。

在国际单位制(SI)中,重度的单位是 N/m^3 。因 $G = mg$,故

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.4)$$

式中 g ——重力加速度。

工程机械中,常用的液压油重度一般为 $8.83 \times 10^3 \text{ N}/\text{m}^3$ 。

液压油的密度和重度与温度和压力是直接相关的。液体的密度和重度随着温度的升高而下降,随着压力的增加而增大。但在工程机械中,由于液压系统在工作中工作压力变化范围不很大,油液的温度控制在一定的范围内,因此,油温和压力的变化引起的密度和重度的变化很小。

2. 压缩性

由于所受压力的作用而引起的液体体积变化的性质叫做液体的压缩性。

由于液体的压缩性很小,在很多场合可以忽略不计。但在压力较高或进行液压系统动态分析时必须考虑液体的压缩性。

液体压缩性的大小用体积压缩系数 β 表示,即液体所受压力每增加一个单位压力时,其体积的相对变化量,即

$$\beta = - \frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad (2.5)$$

式中 Δp ——液体压力的变化值;
 ΔV ——液体体积在压力变化 Δp 时,体积的变化值;
 V ——液体的初始体积。

式中负号的含义:压力增大时,液体的体积减小,故加负号使 β 为正值。

液体体积压缩系数的倒数称为液体体积弹性模量,用 K 表示,即

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (2.6)$$

常见液压油的压缩系数 $\beta = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$,则 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^9 \text{ Pa}$ 。钢的弹性模量为 $2.06 \times 10^{11} \text{ Pa}$,可见液压油的弹性模量约为钢的弹性模量的 1.65%。

3. 粘性

在外力作用下油液流动时,由于液体分子间内聚力的作用而产生的阻碍其分子相对运动的内摩擦力,称为液体的粘性。油液在静止时不显示粘性,运动时才显现粘性。粘性只能阻碍、延缓液体内的相对运动而不能消除这种运动。

粘性的大小用粘度来表示,它是选择液压油的主要指标。

如图 2.1 所示,在两个平行平板之间充满油液,上平板以速度 u_0 向右运动,下平板固定不动,若将两平行平板间的液体划分成与平行板平行的若干薄层,则紧靠着上平板的液层在附着力的作用下随上平板一起以 u_0 速度向右运动,而紧靠着下平板的液层在附着力的作用下静止不动。中间的液层的速度由上到下逐渐减小。当两个平行平板间的距离较小时,速度递减近似呈线性关系。由于各液层的速度不同,流动速度不同的液层会相互影响,流动快的液层带动流动慢的液层加快速度,而流动慢的液层则阻碍流动快的液层使其流速降低。液层之间的相互作用力称为内摩擦力,用 F_r 表示,即

$$F_{\tau} = \mu \cdot A \cdot \frac{du}{dt} \quad (2.7)$$

式中 A ——面积, m^2 ;
 μ ——比例系数, 称为动力粘度, 也称绝对粘度;
 $\frac{du}{dt}$ ——速度梯度, 即液层相对速度相对液层距离的变化律。

若用 $\tau = \frac{F_{\tau}}{A}$ 表示切应力, 则有

$$\tau = \frac{F_{\tau}}{A} = \mu \frac{du}{dt} \quad (2.8)$$

动力粘度 μ 为常数的液体称为牛顿液体, μ 为变数的称为非牛顿液体, 即

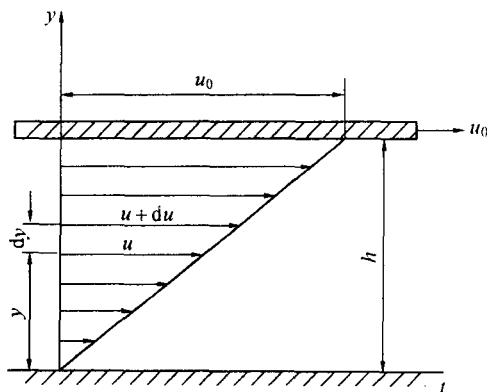


图 2.1 相对运动与粘性

$$\mu = \frac{F_{\tau}}{A \frac{du}{dt}} \quad (2.9)$$

动力粘度 μ 的物理意义为当速度梯度等于 1 时, 相接触的液层间单位面积上的内摩擦力。在国际单位制(SI)中, μ 的单位是帕斯卡秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。在 CGS 单位制中, μ 的单位是达因·秒/厘米²($\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$), 则有

$$1 \text{ 达因} \cdot \text{秒} / \text{厘米}^2 (\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2) = 1 \text{ 泊 (Poise)} = 100 \text{ 厘泊 (cP)}$$

因为 1 牛(N) = 10^5 达因(dyn), 所以, 1 帕·秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$) = 10 泊(P)。

动力粘度 μ 与液体密度 ρ 的比值, 称为运动粘度, 用符号 ν 表示, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.10)$$

在国际单位制(SI)中, 运动粘度以米²/秒(m^2/s)为单位。

由于运动粘度的测定比较困难, 工程上常采用测定方法比较容易的“相对粘度”, 又称为“条件粘度”。各国采用的相对粘度单位有所不同, 我国采用恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}$ 表示。

恩氏粘度的测定实验如下:

测定体积为 200 cm^3 , 温度为 $t \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的被测液体在自重作用下流过直径为 2.8 mm 小孔所需要的时间 t_1 , 然后测出同体积的蒸馏水在 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时流过同一小孔所需的时间 t_2 , t_1 与 t_2 的比值就是被测液体在 $t \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏粘度, 即

$$^{\circ}\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (2.11)$$

液压油粘度对温度的变化是十分敏感的, 温度升高, 液压油的粘度下降, 油液变稀; 液压油的粘度也受压力变化影响, 压力增加时, 分子间距离就缩小, 分子间作用力加强, 粘度将增大。但压力在 $2 \times 10^7 \text{ Pa}$ (200 大气压) 以下时, 粘度的变化不大, 实际可忽略不计。

2.1.3 流动液体的一些基本概念

(1) 理想液体: 我们把无粘性、无压缩性的液体称为理想液体。

(2) 实际液体: 我们把既有粘性、又有压缩性的液体称为实际液体。

(3) 稳定流动(恒定流动):如果液体中任一点的压力、流速和密度等运动参数都不随时间变化,称该流动状态为稳定流动(恒定流动)。

(4) 非稳定流动:如果液体中任一点的压力、流速和密度等运动参数中任意一个随时间变化时,称该流动状态为非稳定流动。

在研究液压油的静态特性时,可认为液体是稳定流动,研究液压油动态特性时必须按非稳定流动来考虑。

(5) 流量(Q):单位时间内流过截面的液体体积称为流量。

(6) 平均流速(v):流量 Q 与通流断面面积 A 的比值称为流速。

设液压油流过某一微小通流断面 dA 的流速为 u ,则通过 dA 的微小流量为 $dQ = u dA$,对此式进行积分,则通过通流断面 A 的流量为

$$Q = \int_A u dA \quad (2.12)$$

要由式(2.12)中求出 Q ,必须先知道流速在整个通流断面上的分布规律,一般情况下,在液压传动技术中可采用一种平均流速 v 来求流量,即

$$Q = \int_A u dA = v \cdot A \quad (2.13)$$

若已知某通流断面的流量 Q ,则其平均流速 v 的计算式为

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.14)$$

(7) 层流:液体在运动时不同液层呈不混杂的线状或层状状态的流动,称为层流。

(8) 紊流:液体在运动时不同液层呈混杂紊乱状态的流动,称为紊流。

由实验可知,液体的流动状态是层流还是紊流,与管内平均流速 v 、管道的直径 d 及液体的运动粘度 ν 有关,可以用雷诺数 Re 作为判别流动状态的准则,即

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (2.15)$$

不同平均流速、不同直径、不同运动粘度情况下,流动液体的流态由临界雷诺数 $Re_{\text{临}}$ 决定,当 $Re < Re_{\text{临}}$ 时为层流, $Re > Re_{\text{临}}$ 为紊流。临界雷诺数一般可由实验求得。

雷诺数的物理意义:雷诺数是液流的惯性力对粘性力的无因次比,当雷诺数大时,表明惯性力起主导作用,这时的液体流态为紊流;当雷诺数小时,表明粘性力起主导作用,这时的液体流态为层流。

(9) 液压冲击:在液压系统中,由于某种原因引起液体压力在某一瞬间急剧升高,形成很高的压力峰值,这种现象叫液压冲击。

液压冲击形成的原因:① 液流突然停止运动时产生的压力冲击;② 运动部件制动或换向时产生的压力冲击;③ 液压系统中某些液压元件动作失灵或不灵敏产生的液压冲击。

液压冲击的危害:压力比正常值大很多,并形成噪声和振动;使某些液压元件(阀、压力继电器等)产生误动作,并可能损坏设备。

液压冲击的防止措施:增大管道内径以减少管道中液流速度,从而减少转变成压力能的动能;尽可能延缓或加长执行元件制动的时间;选择动作灵敏、响应较快的液压元件。

(10) 空穴现象:在液流中,如果某点的压力低于当时温度下油液的空气分离压时,溶解在油液中的空气将迅速、大量地分离出来,形成气泡;如果某点的压力低于当时温度下油液