



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

电液控制技术

易孟林 曹树平 刘银水 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

电液控制技术

易孟林 曹树平 刘银水 主 编

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书是《液压传动系统》的延续,重点介绍电液伺服控制、电液比例控制等工程实用电液控制技术。在内容上,本书扩展了范围,既重点介绍电液伺服控制和电液比例控制的基础理论与方法,也介绍构建电液控制系统涉及的信号检测和信号转换等基础技术及液压控制系统油源装置、污染控制、振动与噪声控制等相关技术;为开拓学生创新思维,推进新技术应用,还专题介绍了电液控制新技术,如电液控制中的机电一体化技术、电液数字阀及系统应用技术、水压控制技术和电/磁流变流体控制技术等。与同类教材相比,突出了“用电子技术和计算机控制技术强化液压技术”的宗旨,面向工程实际,跟踪科技发展前沿,采取了理论与实际相结合,电-液-计算机控制知识相结合,原理阐述与工程应用实例相结合,技术运用和技术创新相结合的方法,注重学生综合应用能力的培养。

本书可作为机械设计制造及其自动化、机械电子工程专业高年级本科生的“液压控制系统”课程教材,也可作为从事液压控制的工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电液控制技术/易孟林 曹树平 刘银水 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.9
ISBN 978-7-5609-6331-0

I. 电… II. ①易… ②曹… ③刘… III. ①液压控制-高等学校-教材 ②电液伺服系统-高等学校-教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113494 号

电液控制技术

易孟林 曹树平 刘银水 主编

策划编辑:刘 锦

责任编辑:刘 勤

封面设计:潘 群

责任校对:周 娟

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:通山金地印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:19

字 数:400千字

版 次:2010年9月第1版第1次印刷

定 价:32.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编审委员会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
 (工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

 谢友柏 宋玉泉 艾 兴
 (工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

 熊有伦
 (科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济 李培根
 (科学院院士) (工程院院士) (工程院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一 王安麟 王连弟 王明智 毛志远
左武炘 卢文祥 朱承高 师汉民 刘太林
李 斌 杜彦良 杨家军 吴昌林 吴 波
吴宗泽 何玉林 何岭松 陈康宁 陈心昭
陈 明 陈定方 张春林 张福润 张 策
张健民 冷增祥 范华汉 周祖德 洪迈生
殷国富 宾鸿赞 黄纯颖 童秉枢 傅水根
廖效果 黎秋萍 戴 同

秘书： 刘 锦 徐正达 万亚军

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师和学生的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》、《机电传动控制》、《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机

械工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用,现在看来,这一目标很好地达到了,让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩,但毫无疑问,这套书中,某本书中,这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足,必然会存在。何况形势总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

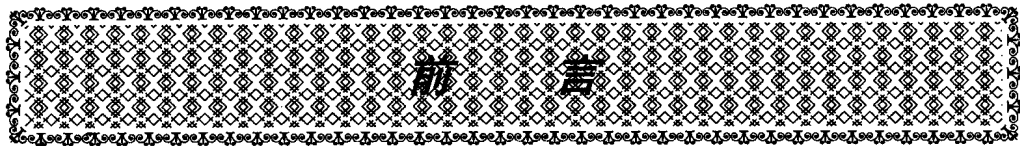
“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是几代机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展原教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一起一定能将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识不是终结,进步没有止境。“嘤其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士

2009.9.9



电液控制技术是液压技术的一个重要分支,也是现代控制工程的基本技术要素,它融合了液压技术、微电子技术、检测传感技术、计算机控制技术及自动控制理论等实用技术与理论。通常所说的电液控制系统主要是指采用电液伺服阀(伺服变量泵)或电液比例阀(比例变量泵)构成的能实现对被控对象进行连续、实时控制的液压系统。它弥补了普通液压传动系统之不足,综合了液压能传递较大功率的优越性与电子控制、计算机控制的灵活性,被誉为“电子大脑和神经+液压肌肉和骨骼”的“聪明机械”,是一种在大、中功率场合具有明显竞争优势的控制模式。最近二十余年来,电液控制技术得到了迅猛发展,广泛用于机械制造、工程机械、交通运输、冶金化工、石油能源、军事器械、水电核能及航空航天航海等领域。面对机械工业发展的大好形势,国家迫切需要大量的机电液复合型技术人才。为满足社会的需求和机械设计制造及其自动化专业本科生的学习需要,我们编写了这本《电液控制技术》。

本书是《液压传动系统》的延续,其基础涉及工程流体力学、电工电子学、检测传感技术及自动控制理论等。在本书编写过程中,吸纳了在本学科内有一定影响的教材和专著中的经典内容,并列入参考文献之中。与同类教材相比,本书拓展了内容,突出了“用电子技术和计算机控制技术强化液压技术”的宗旨,面向工程实际,跟踪科技发展前沿,采用理论与实际相结合,电-液-计算机控制知识相结合,原理阐述与工程应用实例相结合,技术运用和技术创新相结合的方法编写,力求深入浅出,以利于学生综合应用能力的培养。

全书共9章。第1章概述液压控制系统的基本原理、分类、组成、特点及电液控制技术的发展和应用;第2章介绍电液控制系统的信号检测和信息转换等基础技术;第3、4章阐述液压控制阀的特性和设计准则,讨论不同液压动力机构的数学建模、特性分析及阀控与泵控液压动力机构的负载最佳匹配问题;第5章介绍电液伺服阀的典型结构、工作原理、表征性能的主要参数选择与使用要点;第6章介绍电液伺服控制系统的类

型、特性分析、性能改善与设计;第7章介绍电液比例控制技术及应用,包括常见电液比例阀、比例泵原理和特点及电液比例控制系统的组成、分类与设计;第8章介绍电液控制系统油源装置、污染控制、振动与噪声控制等相关技术;为开拓学生创新思维,推进新技术应用,第9章专题介绍电液控制新技术,包括电液控制中的机电一体化技术、电液数字阀及系统应用技术、水压控制技术和电/磁流变流体控制技术等。本书内容面向工程实际,力求做到概念清晰、理论简明、方法实用、好懂易学。书中有较多的工程应用实例,各章均附有思考题和习题,有助于读者对基本原理的理解和运用。

本书由华中科技大学易孟林、曹树平、刘银水主编。其中第1、2、5、7章由易孟林编写,第3、4、6章由曹树平编写,第8、9章由刘银水编写。

马鞍山科达机电有限公司总经理朱钒博士参加了编写大纲的拟定和章节内容的精选工作,并提出了很多宝贵建议,对本书的出版给予了很大支持和帮助;华中科技大学机械学院博士后罗小辉和博士生胡军华参与了本书的统稿和复核工作,硕士研究生毛旭耀参与了资料收集和整理工作。他们都为书稿的完成付出了辛勤的劳动,在此一并致以诚挚的谢意。

华中科技大学出版社机械分社的领导和编辑对本书的出版给予了很大的帮助,也在此表示衷心的感谢。

尽管本书的作者们尽了极大的努力,但限于学识和经验,书中难免存在错误与不妥之处,恳请专家同行及广大读者批评指正,不胜感谢!

编 者

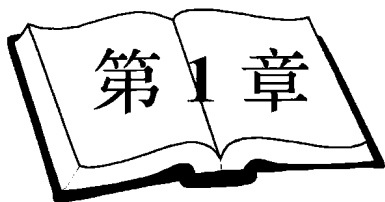
2010年5月



电液控制技术

第 1 章 绪论	(1)
1.1 液压控制系统概论	(1)
1.2 液压控制系统的分类与适用场合	(6)
1.3 电液控制系统的基本组成及特点	(7)
1.4 电液控制技术的发展和应用概况	(10)
思考题及习题	(11)
第 2 章 电液控制基础技术	(12)
2.1 信号检测技术	(12)
2.2 电气-机械转换器	(25)
2.3 控制放大器	(39)
思考题及习题	(50)
第 3 章 液压控制阀	(52)
3.1 概述	(52)
3.2 零开口四通圆柱滑阀的特性分析	(55)
3.3 正开口四通圆柱滑阀的特性分析	(59)
3.4 三通圆柱滑阀的特性分析	(62)
3.5 滑阀的功率输出及效率	(65)
3.6 喷嘴挡板阀的特性分析	(67)
3.7 射流管阀的特性分析	(73)
思考题及习题	(76)
第 4 章 液压动力机构	(78)
4.1 四通阀控液压缸	(78)
4.2 四通阀控液压马达	(88)
4.3 三通阀控差动缸	(90)
4.4 泵控液压马达	(91)
4.5 液压动力机构的负载折算与最佳匹配	(95)

思考题及习题·····	(103)
第 5 章 电液伺服阀 ·····	(105)
5.1 电液伺服阀的基本组成及分类·····	(105)
5.2 常见电液伺服阀的典型结构和工作原理·····	(107)
5.3 电液伺服阀的特性与主要性能参数·····	(117)
5.4 电液伺服阀的选择与使用·····	(122)
思考题及习题·····	(125)
第 6 章 电液伺服控制系统 ·····	(127)
6.1 电液伺服控制系统的类型与性能评价指标·····	(127)
6.2 电液位置伺服系统·····	(132)
6.3 电液伺服控制系统的性能改善·····	(143)
6.4 电液速度伺服系统·····	(154)
6.5 电液力伺服系统·····	(159)
6.6 电液伺服控制系统设计·····	(164)
思考题及习题·····	(166)
第 7 章 电液比例控制技术 ·····	(168)
7.1 电液比例阀·····	(168)
7.2 电液伺服比例阀·····	(185)
7.3 电液比例变量泵·····	(191)
7.4 电液比例控制系统的工作原理与技术优势·····	(196)
7.5 电液比例控制系统的设计·····	(200)
思考题及习题·····	(213)
第 8 章 电液控制系统的相关技术 ·····	(215)
8.1 液压油源装置·····	(215)
8.2 液压系统污染控制技术·····	(220)
8.3 液压系统振动和噪声控制技术·····	(238)
思考题及习题·····	(262)
第 9 章 电液控制新技术 ·····	(263)
9.1 整体闭环式电液控制元件·····	(263)
9.2 电液数字阀及系统·····	(266)
9.3 水压控制技术·····	(274)
9.4 电/磁流变控制技术·····	(283)
思考题及习题·····	(288)
参考文献 ·····	(290)



绪论

液压控制系统是在液压传动系统和自动控制技术与控制理论的基础上发展起来的,它包括机械-液压控制系统、电气-液压控制系统和气动-液压控制系统等多种类型。电液控制系统是电气-液压控制系统的简称,是指以电液伺服阀、电液比例阀或数字控制阀作为电液控制元件的阀控液压系统和以电液伺服或比例变量泵为动力元件的泵控液压系统,它是液压控制中的主流系统。本书主要论述电液控制系统的相关理论和技术。作为基础部分,本章概述液压控制系统的基本原理、组成、分类、适用场合及特点,并简要介绍电液控制技术的发展和应用概况。

1.1 液压控制系统概论

1.1.1 液压控制系统与液压传动系统的比较

液压控制系统有别于一般液压传动系统,它们之间的差异可通过下面列举的液压速度传动系统和电液速度伺服控制系统示例加以说明。

图 1-1 所示为两种形式的液压速度系统原理图。

在图 1-1(a)所示的液压速度传动系统中,它主要由液压缸、负载、电磁换向阀、调速阀及液压能源装置组成。其工作原理为:当电磁铁 CT_1 通电时,电磁换向阀左位工作,液压油经电磁换向阀、单向阀进入液压缸右腔,活塞在压力油的作用下向左快速移动,运动速度由液压泵的输流量决定;当电磁铁 CT_2 通电时,电磁换向阀换向,右位工作,液压油经电磁换向阀直接进入液压缸左腔,活塞在压力油的作用下向右移动,液压缸右腔的油经调速阀、电磁换向阀回油箱,回油流量受调速阀的控制。因此,可通过调节单向调速阀的节流口大小改变负载的运动速度。需要指出的是,调速阀虽然具有压力和温度补偿功能,其输出的流量不受负载和温度变化的影响,但它不能补偿液压缸、单向阀等液压元件泄漏的影响,所以在负载增加时,系统的速度也会由于泄漏的增加有所减慢。

图 1-1(b)所示为电液速度伺服控制系统,它主要由指令元件(指令电位器)、伺

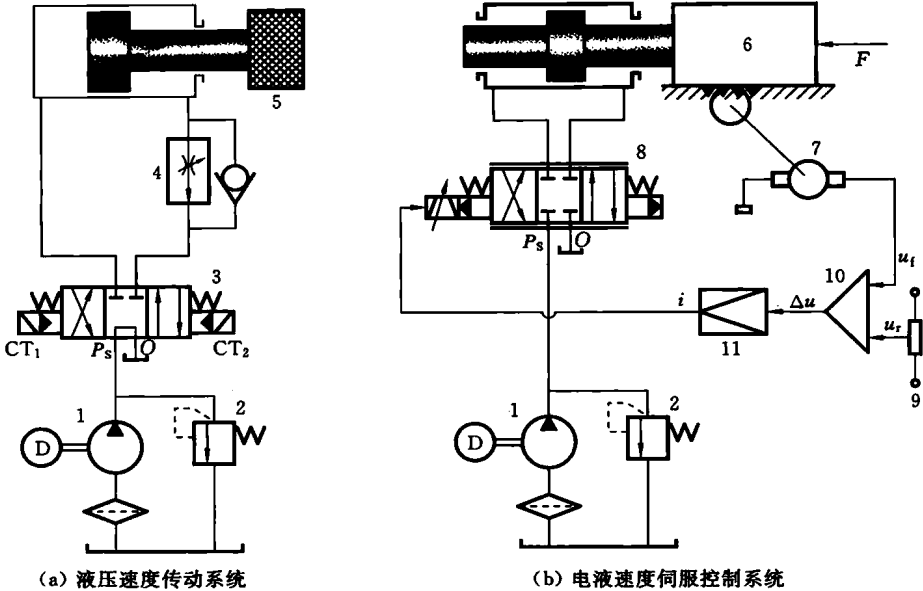


图 1-1 液压速度系统原理图

- 1—液压泵 2—溢流阀 3—电磁换向阀 4—单向调速阀 5—负载 6—工作台
 7—测速发电机 8—电液伺服阀 9—指令电位器 10—比较器 11—伺服放大器

服放大器、电液伺服阀、液压伺服缸、速度传感器(测速发电机)、工作台及液压能源装置组成。其工作原理为:当指令电位器给定一个指令信号 u_i 时,通过比较器与反馈信号 u_f 比较,输出偏差信号 Δu ,偏差信号经伺服放大器输出控制电流 i ,控制电液伺服阀的开口,输出相应的压力油驱动液压伺服缸,带动工作台运动。

由电液速度伺服控制系统的工作原理可知,液压伺服缸活塞的运动方向由控制电流的正负极性决定,而运动速度由伺服阀的输出流量即控制电流的大小确定。系统由于加入了检测、反馈构成了闭环控制,故具有抗干扰、抗环内参数变化的能力,该电液速度伺服控制系统对温度、负载、泄漏等影响因素均有自动补偿功能,能在有外部干扰的情况下获得精确的速度控制。

以上示例的分析比较告诉我们,液压控制系统与液压传动系统两者在工作任务、控制原理、控制元件、控制功能和性能要求等诸多方面均有所不同。它们之间的主要区别如表 1-1 所示。

必须明白,由于这两种系统的差异,对它们的研究内容侧重点也是不同的。液压传动系统侧重于静态特性方面,只有在特殊需要时才研究动态特性,而且,即使研究动态特性,一般也只需讨论外负载变化对速度的影响。而对液压控制系统来说,除了讨论如何满足以一定的速度对被控对象进行驱动等基本要求的,更侧重于系统动态特性(包括稳定性、快速性和准确性)的分析和研究。

表 1-1 液压传动系统与液压控制系统的比较

系统类别 对比内容	液压传动系统	液压控制系统
工作任务	以传递动力为主,信息传递为辅。基本任务是驱动和调速	以传递信息为主、传递动力为辅。主要任务是使被控制量,如位移、速度或输出力等参数,能够自动、稳定、快速而准确地跟踪输入指令变化
控制原理	一般为开环系统	多为带反馈的闭环控制系统
控制元件	采用调速阀或变量泵手动调节流量	采用液压控制阀,如同服阀、电液比例阀或电液数字阀自动调节流量
控制功能	只能实现手动调速、加载和顺序控制等功能。难以实现任意规律、连续的速度调节	能利用各种测量传感器对被控制量进行检测和反馈,从而实现对位置、速度、加速度、力和压力等各种物理量的自动控制
性能要求	追求的是传动特性的完善,侧重于静态特性要求。主要性能指标为调速范围、低速稳定性、速度刚度和效率等	追求的目标是控制特性的完善,性能指标要求应包括稳态性能和动态性能两个方面

1.1.2 液压控制系统的工作原理

在对图 1-1 所示两种形式液压速度系统的比较中,已粗略地提及电液速度伺服控制系统的工作原理。这里再对液压控制系统的一般工作原理作进一步阐述。

先来看一个机液伺服控制系统的例子。

图 1-2 所示为一简单的机液伺服控制系统原理图。

图中供油是来自恒压油源的壓力油,回油通油箱。液压力元件由四边滑阀和液压缸组成。滑阀是一个转换放大元件,它将输入的机械信号(阀芯位移)转换成液压信号(流量、压力)输出,并加以功率放大。液压缸为执行元件,输入是压力油的流量,输出是运动速度或位移。在这个系统中,阀体与液压缸缸体做成一体,构成了机械反馈伺服控制回路。其反馈控制过程是:当阀芯处于中间位置(零位)时,阀的 4 个窗口关闭,阀无流量输出,缸体不动,系统处于静止平衡状态。若阀芯 1 向右移一个距离 x_1 ,则节流窗口 a 、 b 便各有一个相应的开口量 x_a 、 x_b ,压力油经窗口 a 进入液压缸无杆腔,

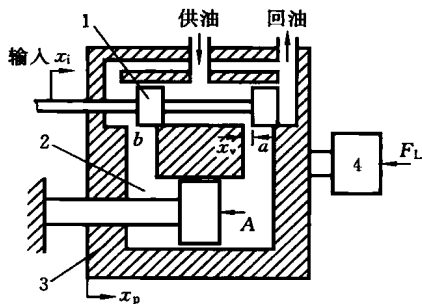


图 1-2 机液伺服控制系统原理图

1—阀芯 2—液压缸 3—阀体与缸体 4—负载

推动缸体右移 x_p , 液压缸左腔的油液经窗口 b 回油箱。在缸体右移的同时, 也带动阀体右移, 使阀的开口量减小, 即 $x_v = x_i - x_p$ 。而当缸体位移 x_p 等于阀芯位移 x_i 时, $x_v = 0$, 即阀的开口关闭, 输出流量为零, 液压缸停止运动, 处在一个新的平衡位置上。如果阀芯反向运动, 则液压缸也反向跟随运动。这就是说, 在该系统中, 滑阀阀芯不动, 液压缸缸体也不动; 阀芯向哪个方向移动, 缸体也向哪个方向移动; 阀芯移动速度快, 缸体也移动速度快; 阀芯移动多少距离, 缸体也移动多少距离。液压缸的位移(系统的输出)能够自动地、快速而准确地跟踪阀芯的位移(系统的输入)运动。系统的原理框图如图 1-3 所示。

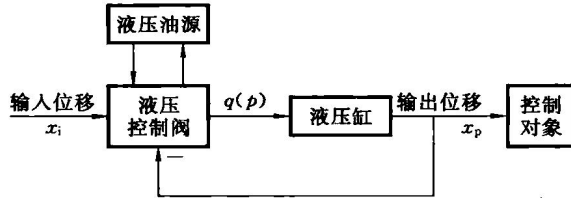


图 1-3 机液位置伺服控制系统的原理框图

该系统是一个靠偏差工作的负反馈闭环控制系统, 其输出量是位移, 故称为位置控制系统。由于其输入信号和反馈信号皆由机械构件实现, 所以也称机液位置伺服控制系统。还因它的机液转换元件为滑阀, 靠节流原理工作, 也称阀控式液压伺服系统。

以上介绍的是机液伺服控制系统的情况, 其反馈为机械连接形式。事实上, 反馈形式可以是机械、电气、气动、液压之一或它们的组合, 所以液压控制系统还有所谓电液控制和气液控制等多种形式。一般来说, 液压控制系统的基本控制原理都是类似的。下面再介绍一个电液位置伺服控制系统的示例。

图 1-4 所示为一个典型的电液位置伺服系统原理图。其工作原理是: 由计算机

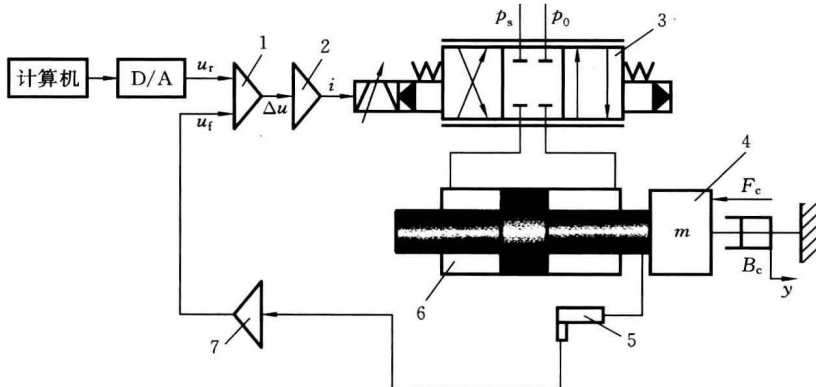


图 1-4 电液位置伺服控制系统原理图

- 1—比较器 2—校正、放大器 3—电液伺服阀 4—负载
- 5—位移传感器 6—液压伺服缸 7—信号放大器

(指令元件)发出数字指令信号,经D/A转换为模拟信号 u_r 后输给比较器,再通过比较器与位移传感器传来的反馈信号 u_f 相比较,形成偏差信号 Δu ,然后通过校正,放大器输出控制电流 i ,操纵电液伺服阀(电液转换元件)产生较大功率的液压信号(压力、流量),从而驱动液压伺服缸,并带动负载(被控对象)按指令要求运动。当偏差信号趋于零时,被控对象(负载)被控制在指令期望的位置上。该电液位置伺服控制系统的原理框图如图1-5所示。

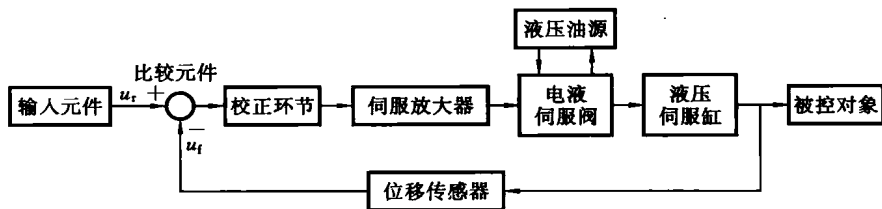


图 1-5 电液位置伺服控制系统的原理框图

综合上述机液、电液两控制系统的工作原理可知,液压控制系统一般具有如下特点。

1. 以液压为能源,具有功率放大作用,是一个功率放大装置

功率放大所需的能量由液压油源供给,供给能量大小则由转换元件根据系统的偏差大小调节。在图1-2所示系统中,移动阀芯所需的功率很小;在图1-4所示电液伺服系统中,驱动电液伺服阀的功率也很小。而系统的执行器(液压缸)输出的功率很大,通常比输入信号功率多达几百倍,甚至几千倍。所以液压伺服控制装置也称液压伺服放大器。

2. 液压控制系统是一个自动跟踪系统(即随动系统)

在上述机液、电液两伺服控制系统中,液压缸的位移都能按输入指令的变化规律变化。即系统的输出量能自动地跟随输入量的变化而变化,所以说伺服控制系统也是一个自动跟踪系统。

3. 液压控制系统是一个负反馈控制系统,依靠偏差信号工作

在图1-2所示系统中,缸体位移 x_p 之所以能够自动地、准确地跟踪阀芯位移 x_i 变化,是因为阀体和缸体是一个整体,构成了反馈控制。缸体的输出信号(位移 x_p)反馈至阀体,并与阀芯输入信号(位移 x_i)进行比较,有偏差(即有开口量),油源的壓力油就进入液压缸,缸体就继续移动,使阀的开口量(偏差)减小,直至输出的位移与阀芯的输入位移相等(即偏差消除)为止。而图1-4所示系统的伺服缸位移能跟随指令信号变化,则是由于用位移传感器检测到的反馈信号构成了负反馈闭环控制。在伺服缸达到期望位置时,偏差信号为零,电液伺服阀输出流量也为零,伺服缸就停止不动。这类系统都是靠偏差信号进行调节的,即以偏差来消除偏差,是按照控制理论中的负反馈控制原理工作的。

1.2 液压控制系统的分类与适用场合

1.2.1 液压控制系统的分类

液压控制系统的类型繁杂,可按不同的方式进行分类。

1. 按能量转换的形式分类

- (1) 机械-液压控制系统(也称机液伺服控制系统)。
- (2) 电气-液压控制系统(即电液控制系统)。
- (3) 气动-液压控制系统(或称气液控制系统)。
- (4) 机、电、气、液混合控制系统。

2. 按控制元件的类型分类

(1) 阀控系统 又称节流控制系统,是指由伺服阀或比例阀等液压控制阀利用节流原理控制输给执行元件的流量或压力的系统。

(2) 泵控系统 又称容积控制系统,是指利用伺服(或比例)变量泵改变排量的原理控制输给执行元件的流量或压力的系统。

3. 按被控制物理量性质分类

- (1) 位置(或转角)控制系统。
- (2) 速度(或转速)控制系统。
- (3) 加速度(或角加速度)控制系统。
- (4) 力(或力矩)控制系统。
- (5) 压力(或压差)控制系统。
- (6) 其他控制系统(如温度控制系统等)。

4. 按输入信号的变化规律分类

(1) 伺服控制系统 这类系统的输入信号是时间的函数,要求系统的输出能以一定的控制精度跟随输入信号变化,是一种快速响应系统。因此,有时也称随动系统。

(2) 定值调节系统 若系统的输入信号是不随时间变化的常值,要求其在外干扰的作用下,能以一定的控制精度将系统的输出控制在期望值上,这种系统称为定值调节系统,亦即恒值控制系统。

(3) 程序控制系统 程序控制系统的输入量按所需程序设定,它是一种实现对输出进行程序控制的系统。

1.2.2 液压控制系统的适用场合

液压控制系统一般都带检测反馈形成的闭环控制,具有抗干扰能力,对系统参数变化不太敏感,控制精度高、响应速度快、输出功率大、信号处理灵活,但要考虑稳定

性问题,设计较复杂,制造及维护成本较高,因此,多用于要求系统性能较高的场合。当然,不同类型的液压控制系统也各有其适用的场合。

1. 阀控系统 与 泵控系统的适用场合

阀控系统是利用节流原理工作的,故也称节流控制系统,其主要控制元件是液压控制阀(如伺服阀、电液比例阀或数字控制阀等),具有响应快、控制精度高,可利用公共恒压油源控制多个不同的执行元件的优点,其缺点是功率损失大、系统温升快,比较适用于中小功率的快速高精度控制场合。泵控系统又称容积控制系统,是用控制阀去控制变量泵或液压马达的变量机构,使其排量参数按系统控制要求变化的系统。由于泵控系统无节流和溢流损失,故效率高、节能,但响应速度比阀控系统慢、结构较复杂,适用于大功率而响应速度要求不高的控制场合。

2. 机液控制系统、电液控制系统与气液控制系统的适用场合

机液控制系统的指令给定、反馈和比较都采用机械构件,优点是简单可靠,价格低廉,环境适应性好,缺点是偏差信号的校正及系统增益的调整不方便,难以实现远距离操作;另外,反馈机构的摩擦和间隙都会对系统的性能产生不利影响。机液控制系统一般用于响应速度和控制精度要求不是很高的场合,绝大多数是位置控制系统。

电液控制系统的信号检测、校正和放大等都较为方便,易于实现远距离操作,易于和响应速度快、抗负载刚度大的液压动力元件实现整合,具有很大的灵活性和广泛的适应性。特别是电液控制系统与计算机的结合,可以充分运用计算机快速运算和高效信息处理的能力,可实现一般模拟控制难以完成的复杂控制规律,因而功能更强,适应性更广。电液控制系统是液压控制领域的主流系统。

气液控制系统由气动和液压两部分构成,系统中的信号检测和初始放大均采用气动元件实现,它具有结构简单、测量灵敏度高、工作可靠,可在高温、振动、易燃、易爆等恶劣环境中工作,但需要另加气源等附属设备。

1.3 电液控制系统的基本组成及特点

1.3.1 电液控制系统的基本组成

电液控制系统与其他类型液压控制系统的基本组成都是类似的。不论其复杂程度如何,都可分解为一些基本元件。图 1-6 所示为一般电液控制系统的组成。

(1) 输入元件 输入元件是指将指令信号施加给系统输入端的元件,所以也称指令元件。通常用的有指令电位器、信号发生器或程序控制器、计算机等。

(2) 比较元件 也称比较器。它将反馈信号与输入信号进行比较,形成偏差信号。比较元件有时并不单独存在,而是由几类元件有机组合构成整体,其中包含比较功能,如将输入指令信号的发生、反馈信号处理、偏差信号的形成、校正与放大等多项功能集于一体的板卡或控制箱。图 1-7 所示的计算机电液伺服/比例控制系统,其输