

高等学校统编教材

液压控制系统

(修订本)

李洪人 主编

国防工业出版社



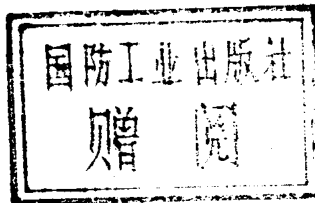
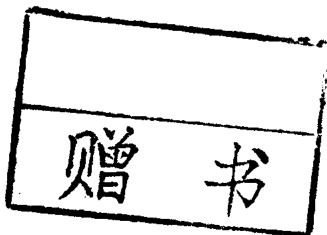
TH13)
L25
(11)

425319

液 压 控 制 系 统

(修 订 本)

李 洪 人 主 编



00425319

国防工业出版社

田宝荣

内 容 简 介

本书系统地论述液压控制系统的基本理论及其应用。着重阐述典型系统和主要元件的分析与设计方法,其中包括各类液压控制阀、动力机构、伺服阀的性能分析与设计原则,电液位置、速度、力控制系统和机械液压系统的分析与设计。本书涉及问题较全面,联系实际较广泛。书中附有一定数量的工程实例、例题、习题和思考题,以及图表、曲线和实验数据,有助于读者对基本理论的理解和具体应用。

本书作为高等工业院校流体传动与控制专业的本科生必修课程教材,也可供有关专业的教师和研究生以及从事液压控制研究、设计和应用的工程技术人员、科研人员参考。

0257/10/



液 压 控 制 系 统

(修 订 本)

李 洪 人 主 编

国防工业出版社 出版

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张17 393千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷 印数: 0,001—1,700册

ISBN 7-118-00671-8/TH·46 定价: 3.40元

出版说明

根据国务院国发〔1978〕23号文件批转试行的“关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定”，中国船舶工业总公司承担了全国高等学校船舶类专业教材的编审、出版的组织工作。自1978年以来，完成了两轮教材的编审、出版任务，共出版船舶类专业教材116种，对解决教学急需，稳定教学秩序，提高教学质量起到了积极作用。

为了进一步做好这一工作，中国船舶工业总公司成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”四个教材小组。船舶类教材委员会（小组）是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的业务指导机构，其任务是为作好高校船舶类教材的编审工作，并为提高教材质量而努力。

中国船舶工业总公司在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1986年制订了《1986年—1990年全国高等学校船舶类专业教材选题规划》。列入规划的教材、教学参考书等共166种。本规划在教材的种类和数量上有了很大增长，以适应多层次多规格办学形式的需要。在教材内容方面力求做到两个相适应：一是与教学改革相适应；二是与现代科学技术发展相适应。为此，教材编审除贯彻“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的原则以外，还注意了加强实践性教学环节，拓宽知识面，注重能力的培养，以适应社会主义现代化建设的需要。

这批教材由各有关院校推荐，同行专家评阅，教材委员会（小组）评议，完稿后又经主审人审阅，教材委员会（小组）复审。本规划所属教材分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及各有关高等学校的出版社出版。

限于水平和经验，这批教材的编审出版工作还会有许多缺点和不足，希望使用教材的单位和广大师生积极提出宝贵意见，以便改进工作。

中国船舶工业总公司教材编审室

1988年3月

前 言

液压控制是新发展起来的一门学科，它既是液压技术领域的重要分支，也是控制技术的重要组成部分。近年来，在许多工业技术部门中得到越来越广泛的应用。本书主要介绍液压控制技术的基本理论与基本方法，论述液压控制系统的分析与设计，以及常用液压控制元件的性能和确定有关参数的原则。本书在编写时力求能具有系统和完整的理论基础，为此，书中以基本原理、常用回路、典型元件与典型系统为重点，对基本概念、基本理论、基本分析方法和设计原则以及液压控制的特点都作了尽可能详尽的阐述。同时结合液压控制工程实际，通过实例、例题、实验数据以及有关图表、曲线来阐明基本理论的实际应用和分析问题、解决问题的方法，使读者对所学理论能更好的理解和掌握，有助于实际应用。书中尽可能吸收近年来国内外液压控制技术的研究成果，反映现代科学技术水平。本书以1981年出版的“液压控制系统”一书为基础，融会了近几年教学实践经验，对其做了较大幅度的增删，力求深入浅出、重点突出、满足流体传动与控制专业本科生必修课程的教学基本要求，并便于其它读者自学。

本书的基本内容分为两部分：第一部分是控制元件，包括前三章，着重分析液压控制阀、动力机构和电液伺服阀的静动态特性。其中第二章液压动力机构部分是本书的核心内容之一，分别就单自由度和双自由度两种负载情况，建立了适用于位置、速度、压力和力控制系统的统一数学模型，是分析与设计系统的基础。第二部分是控制系统，包括后四章，以电液位置伺服系统为主，介绍了包括速度、力和机械液压控制系统在内的各类系统的组成和特点，阐明了液压控制系统分析与设计的基本原理和方法。书中还附有一定数量的工程实例、例题，以及相应的图表、曲线和实验数据，可供设计系统时参考。每章之后还附有小结、思考题、例题和习题，以利读者在学习时进行复习和自我检查。

本书是按教学时数为60~65学时编写的，讲授时内容的取舍和次序的先后，教师可根据专业教学的需要、学时的多少及学生基础知识的水平来确定。某些内容也可让学生自学掌握。

本书由哈尔滨工业大学李洪人主编。第一、五、六章由罗绍维编写；第三、七章由赵玉琢编写；绪论、第二、四章由李洪人编写。本书由上海交通大学任锦堂副教授主审并提出许多宝贵意见，由哈尔滨工业大学许耀铭教授复审推荐。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
§ 1 液压控制系统的工作原理	1
§ 2 液压控制系统的特点	5
小结	6
思考题	6
第一章 液压控制阀	7
§ 1 液压控制阀的结构及分类	7
§ 2 液压控制阀的一般分析	10
§ 3 零开口四通滑阀的分析	13
§ 4 正开口四通滑阀的分析	18
§ 5 三通滑阀的分析	21
§ 6 带一个固定节流孔的二通滑阀的分析	24
§ 7 滑阀驱动力	27
§ 8 滑阀的设计	33
§ 9 液压控制阀的功率与效率	37
§ 10 喷嘴挡板阀的分析与设计	39
§ 11 射流管阀	47
小结	50
思考题	51
例题	52
习题	52
第二章 液压动力机构	53
§ 1 阀控液压缸	53
§ 2 阀控液压马达	77
§ 3 三通阀控制液压缸	80
§ 4 泵控液压马达	83
§ 5 具有多自由度负载的液压动力机构	87
§ 6 液压动力机构的参数选择	99
小结	108
思考题	109
例题	111
习题	112
第三章 电液伺服阀	113
§ 1 概述	113
§ 2 力反馈式两级伺服阀	121
§ 3 两级滑阀式伺服阀	147

§ 4 电液伺服阀性能参数及实验分析	151
§ 5 伺服阀选择方法及使用注意事项	152
§ 6 伺服放大器	152
小结	155
思考题	155
例题	156
习题	160
第四章 电液位置伺服系统	162
§ 1 系统的组成与方块图	162
§ 2 系统的动态分析	167
§ 3 系统的误差	175
§ 4 典型液压位置伺服系统的特点及主要设计原则	179
§ 5 具有弹性负载的位置伺服系统	182
§ 6 系统的校正	188
§ 7 电液伺服系统的设计	205
小结	215
思考题	215
习题	216
第五章 机械液压伺服系统	218
§ 1 典型机械液压伺服系统的分析与设计	218
§ 2 液压力矩放大器	221
§ 3 液压仿型刀架	224
§ 4 机械液压伺服系统的校正及其校正装置	227
小结	236
思考题	237
习题	237
第六章 电液速度控制系统	239
§ 1 速度控制系统的组成及控制方式	239
§ 2 速度控制系统的分析与校正	241
§ 3 速度控制系统的设计示例	245
小结	250
思考题	250
习题	251
第七章 电液力控制系统	252
§ 1 驱动力控制系统	252
§ 2 负载力控制系统	257
§ 3 加载系统组成及工作原理	258
§ 4 加载系统方块图及传递函数	260
小结	262
思考题	262
例题	263
习题	264
参考文献	265

绪 论

液压控制是液压技术领域的重要分支。近 20 年来，许多工业部门和技术领域对高响应、高精度、高功率-重量比和大功率液压控制系统的需要不断扩大，促使液压控制技术迅速发展。特别是控制理论在液压系统中的应用、计算机电子技术与液压技术的结合，使这门技术不论在元件和系统方面、理论与应用方面都日趋完善和成熟，并形成为一门学科，成为液压技术的重要发展方向之一。目前液压控制技术已经在许多部门得到广泛应用，诸如冶金、机械等工业部门，飞机、船舶交通部门，航空航天技术，海洋技术，近代科学试验装置及武器控制等。

我国于 50 年代开始液压伺服元件和系统的研究工作，现在已生产几种系列电液伺服阀产品，液压控制系统的研究工作也取得很大进展，并在越来越多的部门得到了成功的应用。随着国民经济的发展，液压控制技术会在更多的部门发挥更大的作用。

§ 1 液压控制系统的工作原理

一、液压传动与液压控制系统

图 0-1 所示为液压传动系统——节流调速系统。图中，若电磁铁 b 通电，液压油经单向阀进入活塞杆侧，活塞向左快速运动，其速度由液压泵的流量决定。当电磁铁 a 通电时，活塞向右运动，回油流量受调速阀控制，改变调速阀的开口即可调节活塞的速度。调速阀具有压力补偿或温度补偿作用，可使流经调速阀的流量不受负载波动或者温度变化的影响。但它不能补偿液压缸和单向阀等元件的内漏，所以当负载增加时，因漏损增加会使系统速度减慢。

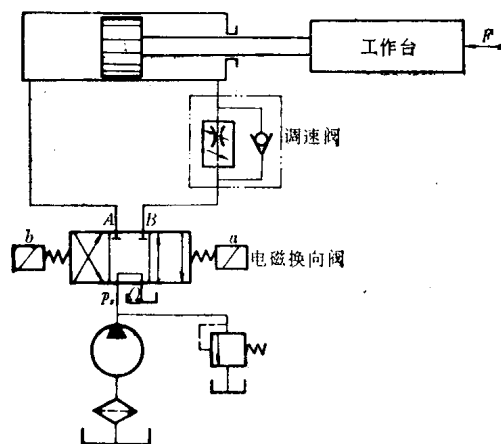


图0-1 节流调速回路

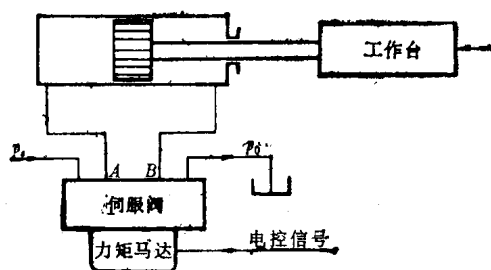


图0-2 带伺服阀的开环回路

图 0-2 所示为带电液伺服阀的调速系统。若负载不变，电液伺服阀的输出流量正比

于输入电流（阀开口正比于电流），方向则取决于电流的极性。通过改变电控信号的大小和极性很容易实现速度调节。但一般的伺服阀没有压力补偿作用，在变动负载作用下，它的性能比一般调速阀还差。当负载力、摩擦和温度变化时，系统的速度将随之而变。

图 0-3 所示为电液闭环速度控制系统。它是在图 0-2 的基础上增加两个元件构成的，一个是反馈传感器——测速发电机，它产生正比于实际速度的反馈电压，另一个是伺服放大器，它把输入信号与反馈信号的差值——偏差信号放大并输给电液伺服阀。为表示系统的组成和说明其工作原理，可根据图 0-3(a) 绘制系统原理方块图，见图 0-3(b)。系统的工作过程简述如下：

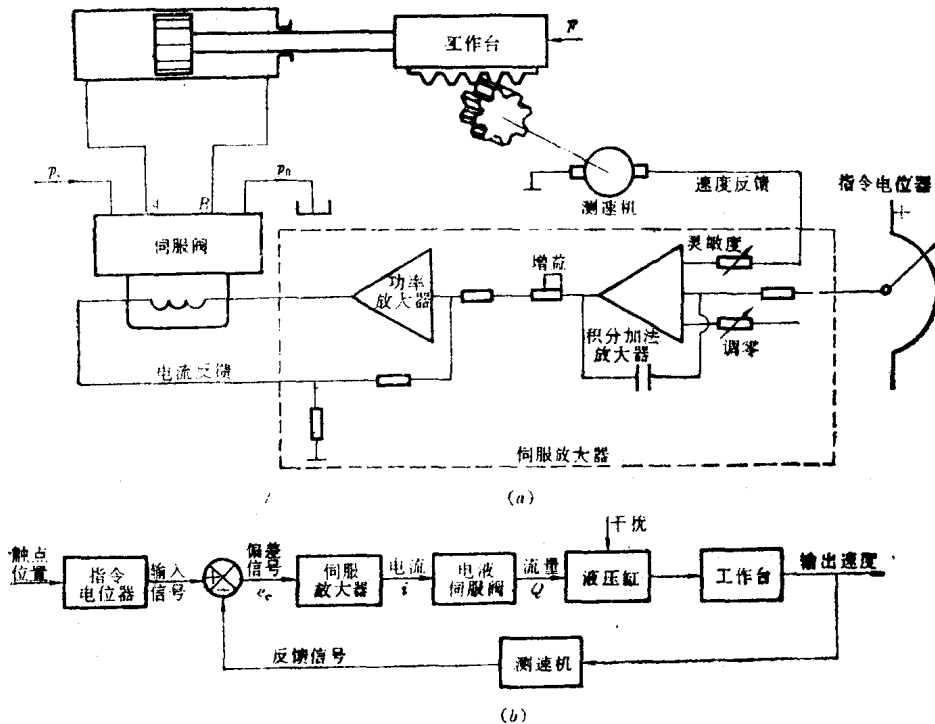


图0-3 闭环速度控制系统

(a) 速度控制系统原理图；(b) 速度控制系统方块图。

系统在输入信号作用下的调节过程：当输入电压调高时，偏差信号增大，电液伺服阀的输入电流增加，阀开口增大，伺服阀输出流量增加，工作台增速。这时测速机的反馈电压也相应增加，使偏差信号减小直到反馈电压与输入电压相接近时为止，这时工作台的速度便增大到与输入电压相适应的数值。若要求工作台速度降低，只需将输入电压调低，工作过程相反。总之通过调节输入信号的大小和极性，就可以实现无级连续的控制负载速度的目的。

系统在负载扰动作用下的调节过程：假如外负载力增加，因内漏增大，使工作台速度减慢，测速机输出电压降低，使偏差信号增大。同样使电液伺服阀的输入电流增加，阀开口增大，通过增大伺服阀流量来控制工作台速度重新达到给定值。反之若负载减小，调节过程相反。

比较以上三个系统可见，前两个系统对被控制量不进行检测，没有反馈作用，当控制结果与希望值不一致时无修正能力，故称为开环系统。图 0-3 所示系统引入反馈回路，

即用反馈传感器检测被控制量并与输入量进行比较得出偏差信号，再用该偏差信号控制系统向着减少偏差的方向运动，最后使偏差保持在尽可能小的范围内，从而实现被控制量按输入信号的给定规律变化的控制目的。并且不管什么样的干扰（外负载力、温度、参数变化等）使被控制量的实际值偏离希望值时，通过系统的控制作用都可消除偏差或限制在所要求的精度以内。该系统称为反馈控制系统。

下面再介绍一个简单位置控制系统的例子，见图0-4。图中，当阀芯处于中间位置时，滑阀的四个窗口均被关闭，阀没有流量输出，缸体保持不动。若阀芯向左移动位移为 x ，则窗口1、3打开，压力油经窗口1进入液压缸左腔，由于活塞固定不动，压力油推动缸体和负载向左运动。液压缸右腔的油液经窗口3排出。因阀套与缸体连成一体，所以阀套也随缸体一起向左运动，从而使阀的开口量减少。直到缸体的位移 y 等于滑阀的位移 x 时，滑阀的1、3窗口重新关闭。这时滑阀的输出流量为零，缸体停止运动，系统处于一个新的平衡位置。反之，若阀芯向右移动一个距离，滑阀的2、4窗口起控制作用，最后使缸体和负载也跟随运动同样距离。

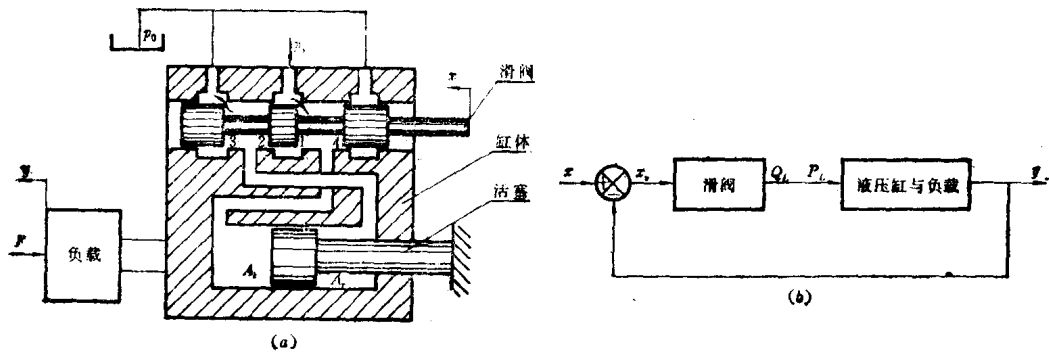


图0-4 机械液压位置控制系统

(a) 位置控制系统原理图；(b) 位置控制系统方块图。

当外负载力 F 发生变动时，系统也能进行调节。假定阀芯不动，外负载力按图示方向增大时，缸体将向右移动，并带动阀套一起右移，使1、3窗口打开，滑阀输出压力油，推动缸体向左移动，即向减小开口的方向移动，直到将1、3窗口重新关闭为止。反之，若负载减小，调节过程相反。

显然，该系统与图0-3所示系统相比，两者的工作原理是一样的，只是偏差产生和传递的介质不同而已。前者以电信号形式传递，该系统则为机械量形式传递。此处阀芯位移就是系统的输入信号，阀套位移是系统的反馈信号。输入信号与反馈信号在滑阀处相比较所得偏差信号即是滑阀的开口量。由于图中阀套与缸体直接相连，阀套的位移就等于缸体的位移，即反馈量等于系统的输出量。因此该系统为机械直接位置反馈系统。

无论是图0-3的速度控制系统，还是图0-4的位置控制系统，它们都是反馈控制系统，系统中都包含有液压控制元件（前者为电液伺服阀，后者是滑阀）和液压执行机构，我们称这类系统为液压控制系统。

二、液压控制系统的组成

液压控制系统不管多么复杂，都是由一些基本元件组成的，并可用图 0-5 所示方块图表示。液压控制系统的基本元件有：

1. 指令元件

向系统发出指令信号的装置，如前例中的指令电位器、阀芯，也可以是其它电器装置或计算机。

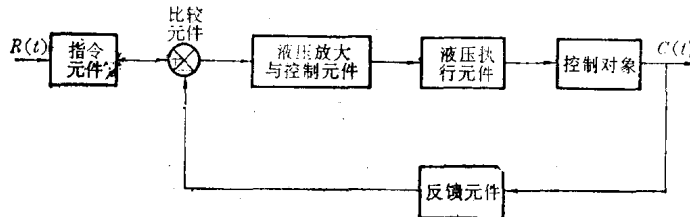


图0-5 液压控制系统的基本元件

2. 反馈元件

检测被控制量，将系统的输出转换为反馈信号的装置，如前例中的测速机、阀套，以及其它类型传感器。

3. 比较元件

相当于偏差检测器，它的输出等于系统输入和反馈信号之差，如例中的加法器、阀芯与阀套组件等。

4. 液压放大与控制元件

接受偏差信号，通过放大、转换与运算（电液、机液、气液转换），产生所需要的液压控制信号（流量、压力），控制执行机构的运动，如例中放大器、伺服阀、滑阀等。

5. 液压执行元件

如例中的液压缸。

6. 控制对象

接受系统的控制作用并将被控制量输出，如例中工作台或其它负载装置。

此外，系统中可能还有校正装置，以及不包括在控制回路内的能源设备和其它辅助装置等。

液压控制元件、执行元件和负载在系统中是密切相关的，把三者的组合称之为液压动力机构。凡包含有液压动力机构的反馈控制系统统称为液压控制系统。

三、液压控制系统的分类

液压控制系统可按下列不同原则进行分类。

1. 按偏差信号的产生和传递介质不同分类

- (1) 机械液压控制系统；
- (2) 电气液压控制系统；
- (3) 气动液压控制系统；

2. 按液压控制元件不同分类

- (1) 阀控系统——用伺服阀按节流原理来控制流入执行机构的流量或压力的系统；

(2) 泵控系统——利用伺服变量泵改变排量的办法控制流入执行机构的流量和压力的系统。

3. 按被控物理量的不同分类

- (1) 位置控制系统;
- (2) 速度控制系统;
- (3) 加速度控制系统;
- (4) 压力控制系统;
- (5) 力控制系统;
- (6) 其它物理量控制系统。

4. 按输入信号的不同分类

(1) 伺服系统——输入量总在频繁的变化, 系统的输出量能够以一定的准确度跟随输入量的变化而变化;

(2) 恒值系统——输入保持为常量, 或者只随时间作缓慢的变化, 系统能排除扰动力的影响, 以一定的准确度将输出量保持在希望的数值上。

除以上几种分类方法外, 还可将系统分为数字控制系统和连续时间控制系统, 线性或非线性系统等, 本书不一一列举了。

§ 2 液压控制系统的特点

液压控制系统与其它类型系统相比, 具有下列优点:

(1) 液压执行机构的功率-重量比和扭矩-惯量比(或力-质量比)大。液压控制系统的加速性好, 结构紧凑、尺寸小、重量轻, 适用于控制大功率、大惯量负载的场合。

通过与电动执行机构的比较可以说明这一点。电动执行机构的输出力或扭矩受所用磁性材料的磁饱和及功率损耗所引起的温升限制。若要增大力或扭矩, 只能增大尺寸。因此其结构尺寸比较大, 功率-重量比和力矩-惯量比较小。液压控制系统可用提高工作压力的办法来获得较大的力或扭矩, 而最大工作压力只受零件强度的限制。所以液压执行机构能够在较小的结构尺寸下产生较大的力或扭矩。此外, 因功率损耗而产生的热量, 可以由油液(一种很好的载热介质)带到散热器中去散热, 这样在一定功率条件下也可以减少部件尺寸, 提高系统的功率-重量比。近年来由于磁性材料的改善和电机结构上的突破, 这种差距已大为缩小, 特别是对中、小功率系统尤为明显。

(2) 液压执行机构响应速度快, 系统频带宽。液压执行机构工作腔内的油液可看成液压弹簧, 它与负载惯量形成一个弹簧-质量谐振系统。由于油液的压缩性小, 液压弹簧刚度大, 所以液压固有频率很高。就液压动力机构的流量-速度传递函数而言, 基本上是一个固有频率很高的振荡环节。因而液压执行机构的响应很快, 能快速启动、制动和换向。加上目前系统中常用的电液伺服阀频带很宽, 一般为100Hz左右, 最高可达500Hz以上。因而允许选取较高的增益, 系统频带易于展宽。

(3) 液压系统的刚度大, 抗干扰能力强, 误差小, 精度高。由于液体压缩性小, 液压执行机构泄漏少, 所以稳态速度刚度和动态位置刚度都比气动与电动系统大。所以液压控制系统具有高精度和快速响应的能力。

此外, 液压控制系统还有一些优点。如液压油的润滑性好, 液压元件寿命长(与气动相比); 低速平稳性好, 调速范围宽; 借助蓄能器能量储存方便, 易于采取节能措施; 过载保护容易等。

液压控制系统因有上述突出优点, 使它获得广泛的应用。但它还存在不少缺点, 因而又使它的应用受到某些限制。其主要缺点有:

(1) 液压元件加工精度要求高, 成本高, 价格贵。

(2) 当液压元件的密封装置设计、制造或使用维护不当时, 容易引起漏油, 污染环境。采用石油基液压油, 在某些场合有引起火灾的危险。采用抗燃液压油可使这种危险减小。

(3) 液压油易受污染。污染的油液会使伺服阀和液压执行机构磨损而降低其性能, 甚至造成堵塞。油液污染是液压控制系统发生故障的主要原因。因此, 液压控制系统通常要求对油液进行精细地污染控制和严格地使用管理。

(4) 与气动系统相比, 液压系统容易受温度变化的影响。

(5) 液压能源的获得、储存和输送不如电能方便。

综上所述, 液压控制系统具有结构紧凑、功率大、精度高和快速响应的突出特点。因此, 在那些能充分发挥其特点并显示出优势的领域便得到了迅速地发展和应用。另一方面由于自身的弱点, 也受到一定的限制。从60年代末开始, 轧机液压压下系统逐渐取代电动压下系统, 各种电液伺服试验机迅速发展起来就说明了这一点。同时我们也看到, 近年来由于电动执行机构的改进, 使电动控制系统(尤其是中小功率系统)有了很大发展。其响应速度和精度已接近或达到电液伺服系统的水平。再考虑到使用维护和经济性等方面的因素, 在某些方面液压控制系统有被电动控制系统取代的趋势。但与电动控制系统相比, 液压控制系统在功率、尺寸和重量方面仍占很大优势。而且液压控制自身也在不断向前发展, 无论在元件还是在系统方面, 由于现代控制技术、电子、计算机技术与液压技术的结合, 使液压控制也在不断创新并大大的提高了它的综合技术指标。今后这两种系统都将充分地发挥各自的优势, 在相应的技术领域求得更快的发展。

小 结

绪论中主要介绍两个问题:

1. 什么是液压控制系统。液压控制系统的组成与工作原理。
2. 液压控制系统的特点。并通过和电动、气动系统的比较, 介绍液压控制系统的优、缺点和发展前景。

思 考 题

1. 液压控制系统与液压传动系统的区别是什么?
2. 什么是液压动力机构? 液压控制元件、液压执行元件各有什么功用?
3. 为什么液压控制系统比气动系统和电动系统刚度大、响应快?
4. 为什么液压控制系统易于展宽频带?
5. 近年来电动控制系统在某些部门有取代液压控制系统的趋势说明什么问题?

第一章 液压控制阀

液压控制阀是液压伺服系统中的一种主要控制元件。在节流式伺服系统中，它直接控制执行元件动作，在容积式伺服系统中，它直接控制泵的变量机构，改变泵的输出流量，间接对执行元件的动作进行控制。所以液压控制阀的性能直接影响系统的工作性能。液压伺服系统的故障也往往与阀不正常工作有关。

液压控制阀的作用是利用液流的节流原理，用输入位移（或转角）信号对通往执行元件的液体流量或压力进行控制。它是一个机械-液压转换装置(图 1-1)。

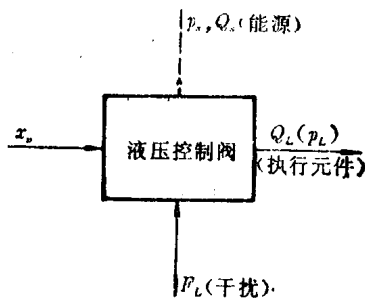


图1-1 单级阀原理图

液压控制阀的输出功率大，而输入功率很小，故液压控制阀也是一种功率放大装置。在电液伺服系统中这个放大系数十分大，用单级阀很难实现，故此时常将阀做成两级，甚至三级。某两级阀的工作原理图如图 1-2 所示。

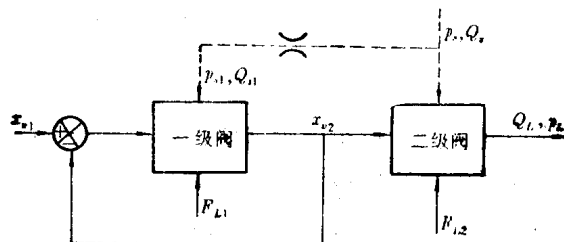


图1-2 两级阀原理图

§ 1 液压控制阀的结构及分类

典型的控制阀是圆柱滑阀(图 1-3)、喷嘴挡板阀(图 1-4)和射流管阀(图 1-5)。有时还采用它们的组合，如最常见的喷嘴挡板阀和圆柱滑阀组成的两级阀(图 1-6)。

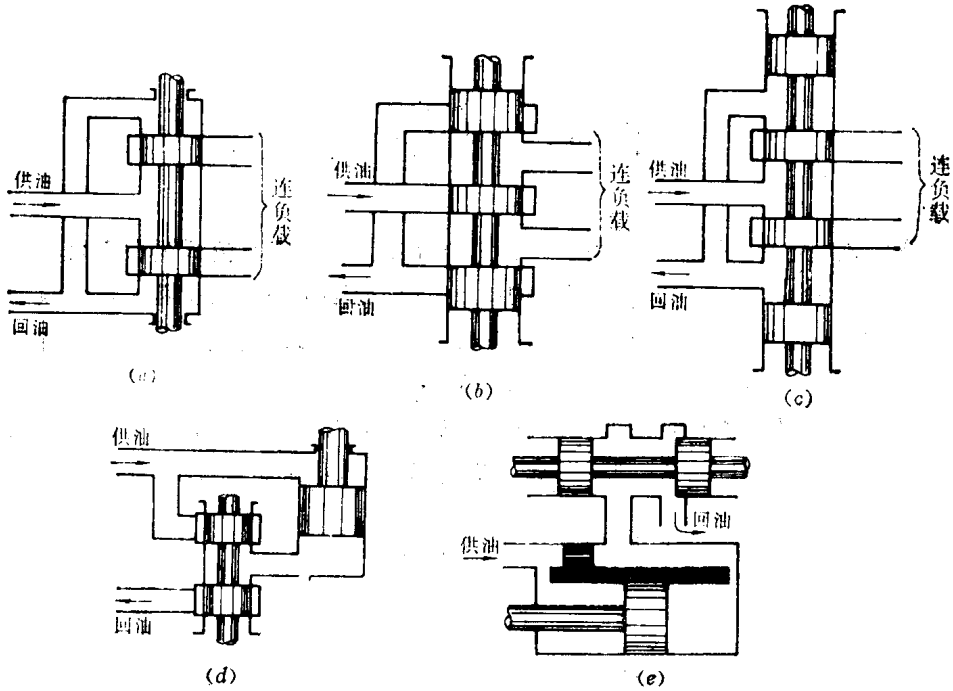


图1-3 各种圆柱滑阀结构示意图

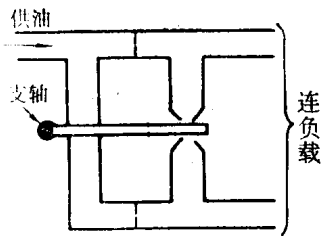


图1-4 喷嘴挡板阀

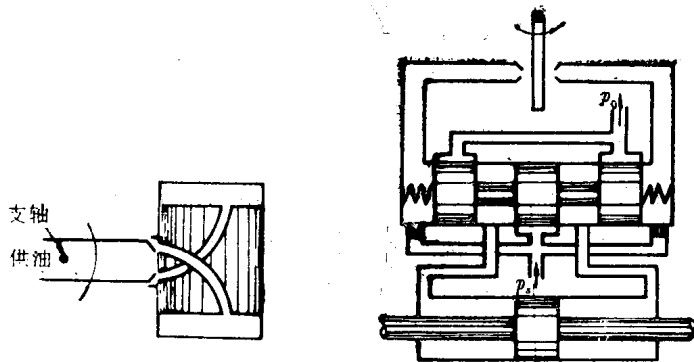


图1-5 射流管阀

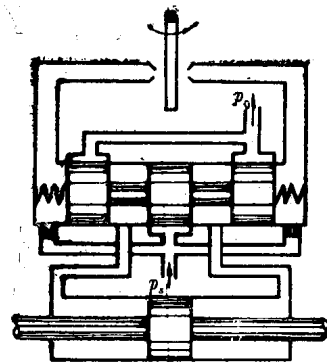


图1-6 喷嘴挡板阀和圆柱滑阀组成的两级阀

一、圆柱滑阀

这种阀具有最优良的控制特性，故在伺服系统中应用最广。随着使用场合不同，工程上应用的圆柱滑阀具有以下各种结构型式：

按进出阀的通道数，滑阀分为二通阀、三通阀和四通阀等。常用的是四通阀，而二通阀和三通阀只有一个负载通道，故只能控制差动液压缸的往复运动（图 1-3(e)、(d)）。

根据工作节流棱边数目，圆柱滑阀分为单边、双边和四边滑阀（图 1-3(e)、(d)、(c)）。为了保证节流边开口的准确性，对于双边滑阀必须保证一个轴向配合尺寸，而四边阀必须同时保证三个轴向尺寸的精度，这给加工带来许多困难。因此，从结构工艺性看，单边滑阀最简单，四边滑阀最复杂。但从以后的分析中可以知道，四边滑阀的性能最好，单边滑阀最差，故在要求高的伺服系统中，四边滑阀应用得最多，而在要求不高的机床仿型装置中常常采用单边或双边滑阀。

双边滑阀和四边滑阀都可以由两个阀芯台肩(图 1-3(a))或两个以上阀芯台肩组成。台肩数目越多,阀的轴向尺寸越大,加工难度往往也将增大。但三台肩(图 1-3(b))或四台肩阀(图 1-3(c))定心性较好,并可以将回油通道与阀端部分开,故可用于具有较高的回油压力处,并可减少外部泄漏。

根据阀芯台肩与阀套槽宽的不同组合,滑阀可以分为正开口(负重叠)阀,零开口(零重叠)阀和负开口(正重叠)阀(图 1-7)。它们具有不同的流量增益特性(图 1-8)。事实上,从零位附近流量增益曲线的形状来确定阀的开口型式要比用上述几何关系进行划分更为合理,因为零开口阀实际上总具有一个微小的正重叠量($1\sim 3\mu\text{m}$),以补偿径向间隙的影响,使阀的增益具有线性特性。

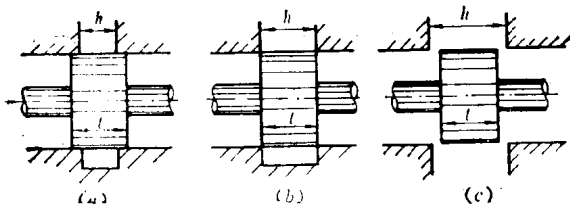


图1-7 滑阀的不同开口型式

(a) 负开口(正重叠) $t > h$; (b) 零开口 $t = h$; (c) 正开口(负重叠) $t < h$ 。

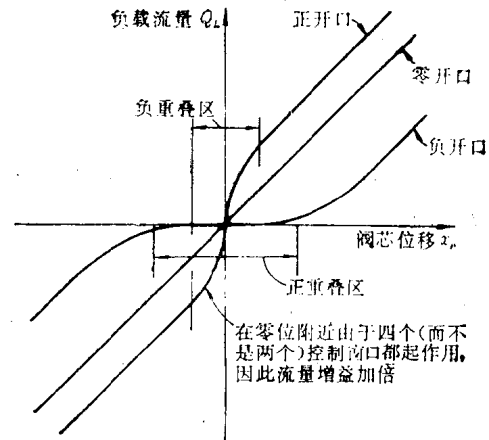


图1-8 不同开口型式的流量增益

在一般情况下,伺服系统希望尽可能具有线性增益特性,故零开口阀得到最广泛的应用。负开口阀由于其流量增益特性具有死区,将导致稳态误差,并且有时还可能引起游隙,从而产生稳定性问题,因此很少采用。正开口阀用于要求有一个连续的液流以使油液维持合适温度的场合,也用于要求采用恒流量能源的系统中。不过,它在零位时有较大的功率损耗,而且由于正开口以外区域增益降低和压力灵敏度低等缺点,使它只能用于某些特殊场合。

二、喷嘴挡板阀

挡板阀可作成单喷嘴和双喷嘴的(图 1-4)。后者较常用,它的挡板可绕支点偏转。当挡板在中间位置时,它与两喷嘴的间隙相等,故该处的流体阻力相同,因而两个控制阀的压力相等,此时输出压力差和流量均为零。当输入一位移信号使挡板偏离中间位置时,挡板与两个喷嘴之间形成的流体阻力不再相等,故有压力差和负载流量输出。

挡板阀的优点是抗污染能力强,不像滑阀那样需要保证严格的制造公差,故成本较低,而且它的惯量小,响应速度高。它的主要缺点是零位泄漏量大,因此只能在小功率系统中使用。实际上挡板阀主要用作两级电液伺服阀和机液伺服阀中的第一级。

三、射流管阀

当射流管在输入信号作用下偏离中间位置时,一个接收孔中的液体压力高于另一个,并使小活塞移动,即有负载压力和负载流量输出(图 1-5)。射流管阀由于零位泄漏量大,

特性不易预测以及响应较慢等原因，因此使用范围没有挡板阀那样广泛。这种阀的主要优点是它对油液的污染不敏感。但是，特性容易预测的挡板阀也具有相似的性能，因而往往被优先采用。近年来，对射流管阀已作了不少的研究，因而它已在某些电液伺服阀中用作前置放大级。

§ 2 液压控制阀的一般分析

本节主要确定液压控制阀的一般特性，如压力-流量曲线方程和阀系数等。虽然分析是以滑阀来说明的，但所涉及的原理以及所导出的一般关系式将适用于后几节所介绍的各种结构型式的阀。

一、一般流量方程

设有一个四通滑阀（图 1-9(a)），其中的液流通道可用等效的液压桥路表示在图 1-9(b) 上。当阀芯处于中间位置时，由于四个节流窗口都关闭，故无压力和流量输出。当阀芯如图 1-9(a) 所示有一正向位移时 ($x_v > 0$)，则油液将由油源经节流窗口 1 通往负载，而由负载流回的油液经节流窗口 3 通回油管路。

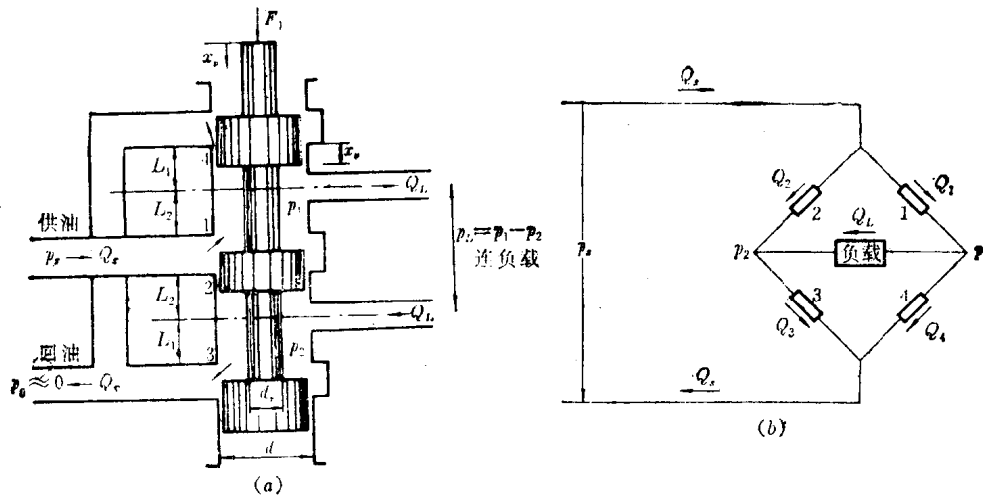


图1-9 三凸肩四通滑阀

负载流量 Q_L 的方向决定于阀芯位移 x_v 的方向，负载流量 Q_L 的大小决定于阀芯位移 x_v 的大小，并与负载压降 p_L 有关。下面分析在稳态工况下 Q_L 与 p_L 、 x_v 之间的关系。

参看图 1-9(a)，设供油压力为 p_s ，供油量为 Q_s ，负载流量为 Q_L ，通往负载液压缸活塞两边的压力各为 p_1 及 p_2 ，回油压力为 p_0 。一般可认为 $p_0 = 0$ 。于是

$$p_L = p_1 - p_2 \tag{1-1}$$

$$Q_L = Q_1 - Q_4 = Q_3 - Q_2 \tag{1-2}$$

$$Q_s = Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \tag{1-3}$$

根据节流公式可得