

普通高等教育“十三五”规划教材



液压传动系统

第4版

王洁 苏东海 官忠范 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

液 压 传 动 系 统

第4版

主编 王 洁 苏东海 官忠范
参编 梁 全 勾 轶 刘 峰
主审 姜继海

机 械 工 业 出 版 社

本书内容包括：绪论，液压基本回路，节流调速回路分析，容积调速回路分析，蓄能器回路分析，典型液压系统分析，液压系统设计计算，液压系统的污染、泄漏、噪声和爬行，液压传动系统仿真。每章均配有例题和习题，有利于巩固理论知识。

本书兼顾了液压回路的通用性和特殊性、传统体系和发展趋势，强调理论知识与实际应用相结合，增加了液压行业新技术的介绍，注重培养工程设计和应用能力，突出了工程实用性。书中液压元件图形符号采用最新国家标准。

本书可作为普通高等院校机械类、机电类和近机类相关专业的教材，也可作为相关专业的教学参考书，或供从事液压行业的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压传动系统/王洁, 苏东海, 官忠范主编. —4 版.
—北京: 机械工业出版社, 2015. 6
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 50739-0

I. ①液… II. ①王… ②苏… ③官… III. ①液压传动系统 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 147434 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 蔡开颖 责任编辑: 蔡开颖 李超 余 晖

版式设计: 赵颖喆 责任校对: 程俊巧 任秀丽

封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 11 月第 4 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 385 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 50739 - 0

定价: 32.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

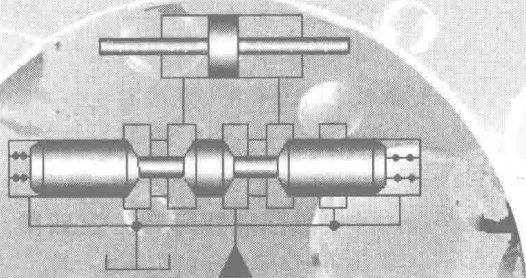
服务咨询热线: 010-88379833 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-33879649 机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com



前言

本书是在官忠范主编的《液压传动系统》(第3版)的基础上进行修订的。修订本书的原因是:本书第3版本的液压回路、系统的图形符号已不符合国家现行标准(GB/T 786.1—2009)的要求,需要修改;另外,增加了负载敏感泵及其调速回路和液压系统仿真的内容。

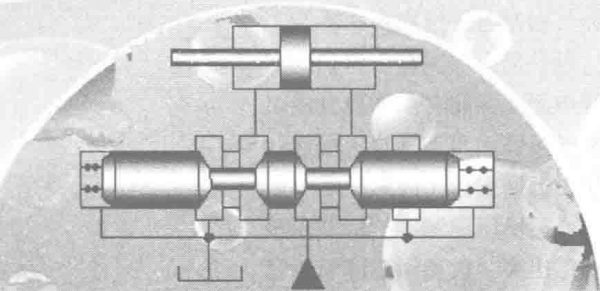
修订本书的指导思想是:力求体现教材应有的稳定性、先进性、理论性和系统性;着重基本观点、基本原理、基本方法的介绍;注重教材知识点的广度、深度与本课程的基本要求一致;适当反映本学科的新技术;贯彻理论与实际相结合的原则;保持和发扬本书在内容和体系安排上的特色。

本书是为高等院校机械类专业编写的液压教材,由沈阳工业大学王洁、苏东海和官忠范担任主编,其中第二章、第四章和第七章(第一~七节)由王洁编写,绪论和第八章由苏东海编写,第五章、第九章由梁全编写,第三章和第六章由勾轶编写,第七章第八节由刘峰编写。本书由哈尔滨工业大学姜继海教授担任主审。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请同行专家和广大读者给予指正。

编者





目 录

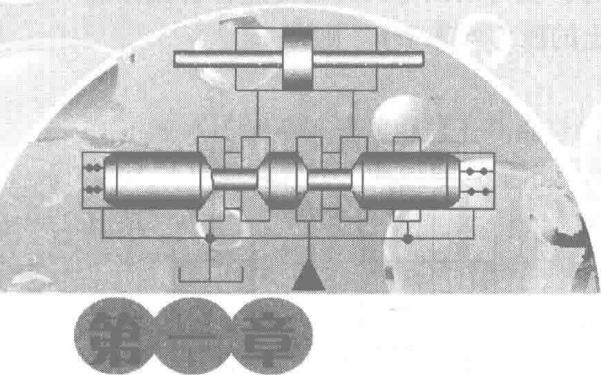
前言	
第一章 绪论	1
第一节 液压传动的工作原理及特征	1
第二节 液压传动系统的组成	3
第三节 液压传动的优缺点	4
第四节 液压技术的发展与应用	5
习题	7
第二章 液压基本回路	8
第一节 压力控制回路	8
一、调压回路	8
二、减压回路	9
三、增压回路	10
四、卸荷回路	11
五、保压和泄压回路	13
六、平衡回路	15
七、制动和缓冲回路	16
第二节 速度控制回路	17
一、增速回路	17
二、减速回路	19
三、速度转换回路	19
第三节 方向控制回路	20
一、换向回路	21
二、连续换向回路	22
三、锁紧回路	23
第四节 顺序动作回路	24
一、压力控制顺序动作回路	24
二、行程控制顺序动作回路	25
第五节 同步控制回路	26
一、流量同步回路	26
二、容积同步回路	28
三、伺服同步回路	29
第六节 液压马达控制回路	30
一、液压马达速度换接回路	30
二、液压马达制动缓冲回路	30
三、闭式回路的补油和冷却	32
第七节 其他控制回路	32
一、互不干扰回路	32
二、多路换向阀控制回路	33
三、二通插装阀回路	34
四、叠加阀回路	39
习题	41
第三章 节流调速回路分析	45
第一节 节流调速回路及其负载特性	45
一、采用节流阀的节流调速回路	45
二、采用调速阀的调速回路	52
第二节 节流调速回路的功率特性	54
一、节流阀调速回路	54
二、调速阀调速回路	63
第三节 节流调速回路性能比较	65
一、负载特性	65
二、调节特性	66
三、功率特性	66
四、低速特性	67
五、其他性能	68
第四节 压力、功率适应回路	68
一、压力适应回路	68
二、功率适应回路	71



第五节 节流调速回路的节能分析	74	第二节 磨床液压系统	129
一、单泵定压节流调速回路	74	一、磨床工作台对液压系统的要求	129
二、双泵双压节流调速回路	76	二、液压系统的特点	130
三、多泵数字控制分级节流调速回路	77	三、典型液压系统	131
习题	78	第三节 单斗挖掘机液压系统	137
第四章 容积调速回路分析	80	一、液压系统的特点	138
第一节 容积调速回路	80	二、典型液压系统	141
一、变量泵-定量马达、液压缸回路	80	三、双泵双回路全功率调节变量系统	143
二、定量泵-定量马达回路	85	第四节 塑料注射成型机液压系统	146
三、变量泵-变量马达回路	87	一、液压系统的特点	147
第二节 容积调速回路的速度刚性分析与速度稳定方法	92	二、典型液压系统	147
一、容积调速回路的速度刚性分析	92	三、技术特点	156
二、速度稳定方法	93	习题	156
第三节 容积调速回路主要参数的选择	95	第七章 液压系统设计计算	161
一、主要性能指标	95	第一节 设计计算的内容和步骤	161
二、液压泵和液压马达参数的选择	97	第二节 明确技术要求进行工况分析	162
第四节 容积节流调速回路	98	一、明确技术要求	162
一、限压式变量泵和调速阀的调速回路	98	二、负载分析及负载循环图	164
二、差压式变量泵和节流阀的调速回路	99	三、运动分析及运动循环图	167
三、负载敏感泵和节流阀的调速回路	101	第三节 液压系统主要参数设计	168
第五节 容积调速回路的动态特性	103	一、初选系统压力	168
一、回路动态方程及传递函数的建立	103	二、计算液压缸尺寸或液压马达排量	169
二、回路动态特性分析	105	三、计算液压缸或液压马达所需流量	170
习题	106	四、绘制液压缸或液压马达工况图	171
第五章 蓄能器回路分析	108	第四节 拟订液压系统原理图	172
第一节 蓄能用蓄能器回路	108	一、需要考虑的主要问题	172
一、蓄能用蓄能器回路分析	108	二、液压回路设计成败对比举例	175
二、蓄能器容量的计算	110	第五节 液压元件的选择	176
第二节 吸收脉动的蓄能器回路	115	一、液压执行元件的选择	176
第三节 吸收液压冲击的蓄能器回路	121	二、液压泵的选择	176
习题	122	三、液压控制阀的选择	178
第六章 典型液压系统分析	124	四、蓄能器的选择	179
第一节 液压机液压系统	124	五、管道的选择	179
一、液压系统的特点	124	六、确定油箱容量	181
二、典型液压系统	125	七、过滤器的选择	181
		八、液压油的选用	181
		第六节 液压系统性能验算	182
		一、系统压力损失计算	182
		二、系统效率计算	183
		三、液压冲击计算	186



四、液压系统发热计算	187	第三节 液压系统的噪声	208
第七节 液压装置结构设计及技术文件 编制	188	一、振动和噪声的基本概念	208
一、液压装置的结构设计	188	二、液压系统的噪声源	212
二、绘制正式工作图并编制技术 文件	190	三、主要液压元件的噪声及其防治	213
第八节 液压系统设计计算举例	190	四、液压系统的噪声控制	217
一、负载与运动分析	190	第四节 液压系统的爬行	220
二、确定液压缸参数	192	一、产生爬行的原因	220
三、拟订液压系统图	193	二、消除爬行的途径和方法	223
四、液压元、辅件的选择	194	习题	224
五、液压系统主要性能的验算	195	第九章 液压传动系统仿真	225
习题	198	第一节 液压系统仿真技术简介	225
第八章 液压系统的污染、泄漏、 噪声和爬行	202	一、仿真的基本概念	225
第一节 液压系统的污染	202	二、液压仿真软件	226
一、污染物形态及危害	202	三、液压系统建模及仿真技术发展 方向	228
二、污染控制	203	第二节 液压系统仿真软件 AMESim	228
三、典型液压系统清洁度等级	205	一、AMESim 仿真软件简介	228
第二节 液压系统的泄漏	206	二、用 AMESim 进行液压系统仿真的 基本方法	229
一、泄漏及其危害	206	三、液压传动系统仿真实例	230
二、泄漏的治理	206	习题	242
		参考文献	243



绪 论

第一节 液压传动的工作原理及特征

一部机器通常由原动机、传动装置和工作机构三部分所组成。原动机的作用是把各种形态的能量转变为机械能，是机器的动力源；工作机构是利用机械能来改变材料或工件的性质、状态、形状或位置，以进行生产或达到其他预定目的的工作装置；传动装置设于原动机和工作机构之间，起传递动力和进行控制的作用。传动的类型有多种，按照传动所采用的机件或工作介质的不同可分为机械传动、电力传动和流体传动。

(1) 机械传动 通过齿轮、齿条、带、链条等机件传递动力和进行控制的一种传动方式，它是发展最早而应用最为普遍的传动形式。

(2) 电力传动 利用电力设备并调节电参数来传递动力和进行控制的一种传动方式。

(3) 流体传动 以流体（液体、气体）为工作介质来进行能量转换、传递和控制的传动形式。流体传动又根据工作介质是液体或气体分为液体传动和气体传动。根据能量利用的性质不同，液体传动又分为液压传动和液力传动。主要利用液体压力能传递能量的传动方式称为液压传动，主要利用液体动能传递能量的传动方式称为液力传动。

本书主要介绍液压传动系统的组成、动力传递原理、设计计算方法和系统性能分析。

实际应用的液压传动装置大多数比较复杂。现以图 1-1 所示的手动液压千斤顶为例，来说明液压传动的工作原理和基本特征。

当向上抬起杠杆 1 时，小液压缸 2 中的活塞向上运动，由于小液压缸 2 下腔容积增大而形成局部真空，排油单向阀 3 关闭，油箱 5 中的油液在大气压作用下经吸油管顶开吸油单向阀 4 进入小液压缸 2 的下腔。此时完成吸油工作。当向下压杠杆 1 时，小液压缸 2 中的活塞向下运动，小液压缸 2 下腔容积减小，油液受挤压使压力升高，吸油单向阀 4 关闭，油液经排油单向阀 3 输送到大液压缸 7 中，推动活塞上移，顶起重物做功，完成排油工作。如此不断地上下扳动杠杆 1，使重物逐渐举升。重物上升时，截止阀 6 关闭。当需要将重物放下时，打开截止阀 6，大液压缸 7 中的油液流回油箱，活塞在重力的作用下下移，回到初始位置。这是一个简单的液压传动系统，实现了力和运动的传递。



在图 1-1 所示的系统中,若忽略管路中的流动阻力,就可以认为其力的传递符合流体静力学原理,即:作用在小液压缸 2、大液压缸 7 活塞上的压力均等于 p 。则有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (1-1)$$

式中 A_1 、 A_2 ——小液压缸 2、大液压缸 7 活塞面积;
 F_1 、 F_2 ——作用在小液压缸 2、大液压缸 7 活塞上的力。

当结构尺寸要素 A_1 和 A_2 一定时,液压缸中的压力 p 取决于举升负载重物所需要的作用力 F_2 ,而手动泵上的作用力 F_1 则取决于压力 p 。所以,被举升的负载越重,则液体介质的压力越高,所需作用力 F_1 也就越大。反之,如果空载工作,并且不计摩擦力,则压力 p 以及手动泵工作所需要的力 F_1 都为零。液压传动的这一基本特征,可以简略地表述为“压力取决于负载”。

在图 1-1 液压系统中,若不考虑液体的可压缩性、泄漏等因素,就可以认为其运动速度的传递符合液流连续性方程,即符合密闭工作腔容积变化相等的原则。

图 1-1 中小液压缸 2 活塞向下移动所压缩的容积,应等于大液压缸 7 活塞向上移动所扩大的容积。则有

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

式中 h_1 、 h_2 ——小液压缸 2、大液压缸 7 活塞的位移。

上式两边同除以活塞的运动时间 t ,得

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = q \quad (1-2)$$

式中 v_1 、 v_2 ——小液压缸 2、大液压缸 7 活塞的平均运动速度;

q ——液压泵输出的平均流量。

当结构尺寸要素 A_1 和 A_2 一定时,液压缸 7 的移动速度 v_2 只取决于输入流量 q 的大小。输入液压缸的流量 q 越大,则运动速度 v_2 越快。液压传动的这一基本特征,可以简略地表述为“速度取决于流量”。

显而易见,单位时间内,小液压缸 2 和大液压缸 7 的活塞所做的功,即功率分别为

$$P_1 = v_1 F_1 = \frac{q}{A_1} p A_1 = p q$$

和

$$P_2 = v_2 F_2 = \frac{q}{A_2} p A_2 = p q$$

由此看出: $P_1 = P_2$, 它表明液压传动符合能量守恒定律;压力与流量的乘积就是功率。

综上所述,可归纳出液压传动的基本特征是:以液体为传动介质,靠处于密闭容器内的液体静压力来传递动力,其静压力的大小取决于外负载;负载速度的传递是按液体容积变化相等的原则进行的,其速度大小取决于流量。

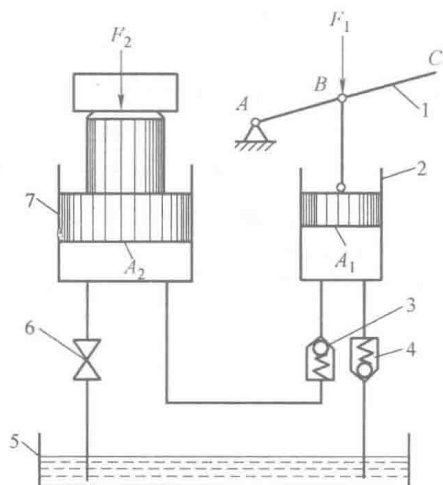


图 1-1 液压千斤顶

- 1—杠杆 2—小液压缸 3—排油单向阀
 4—吸油单向阀 5—油箱
 6—截止阀 7—大液压缸

第二节 液压传动系统的组成

液压传动系统通常由以下几部分组成：

- (1) 动力元件 将原动机输出的机械能转换成液体压力能的元件，最常见的形式是液压泵。
- (2) 执行元件 将液体的压力能转换成机械能的元件，最常见的形式是液压马达和液压缸。
- (3) 控制元件 控制液压系统中液体压力、流量和流动方向的元件，如溢流阀、节流阀和换向阀。
- (4) 辅助元件 保证系统正常工作、起检测和控制作用的元件，如油箱、压力表、过滤器等。
- (5) 工作介质 传递能量的液体，即液压油。

图 1-2 所示为用图形符号表示的液压系统组成图。图中符号意义详见 GB/T 786. 1—2009 《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》。

液压传动系统按照工作介质循环方式的不同，可以分为开式系统和闭式系统。

图 1-2 所示就是一个开式系统，其特点是液压泵自油箱吸油，经换向阀送入液压缸，液压缸回油返回油箱，工作油在油箱中冷却及沉淀过滤之后再进入工作循环。

闭式系统如图 1-3 所示，液压泵 4 的吸油管直接与液压马达的回油管相连通，形成一个

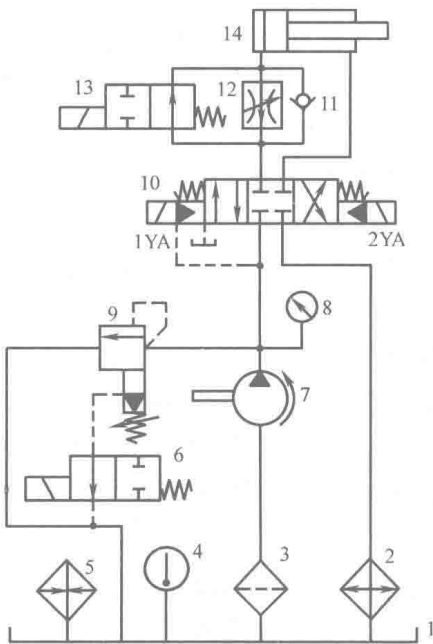


图 1-2 用图形符号表示的液压系统组成图
1—油箱 2—冷却器 3—过滤器 4—温度计 5—加热器
6、10、13—换向阀 7—液压泵 8—压力表 9—溢流阀
11—单向阀 12—调速阀 14—液压缸

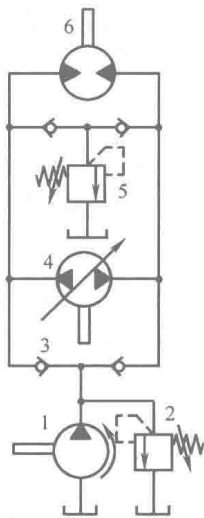


图 1-3 闭式系统
1、4—液压泵 2、5—溢流阀
3—单向阀 6—液压马达



闭合回路。为了补偿系统中由于液压泵、马达和管路等处的泄漏损失,设置了起补油作用的液压泵1。液压马达是通过改变液压泵4的液流方向和流量来换向和调速的,因此,在闭式系统中常采用双向变量泵。

液压传动系统,按控制方式的不同可分为阀控系统和泵控系统。

用液压控制阀来控制系统压力、流量和执行元件的运动方向及速度或转速的系统可称为阀控系统,图1-2所示系统就属于阀控系统。

用变量泵来控制系统执行元件的运动方向及其速度或转速的系统可称为泵控系统,图1-3所示系统就属于这种系统。

在实际应用的液压传动系统中,阀控系统是很普遍的,如由定量泵、双作用液压缸等元件所组成的液压传动系统,其液压缸的运动方向和速度只能用控制阀来控制 and 调节;而泵控系统往往要和阀控方式相结合,实际上是阀控与泵控组合而成的复合系统。

液压传动系统按系统中所使用的泵的数目的多少可分为单泵及多泵系统;按液压泵向多个液压缸或马达供油连接方式的不同可分为串联及并联系统;按工程上液压设备工况特点及应用场合的不同,液压传动系统的种类更是名目繁多。上述各类系统的特点及应用场合,将分别在后面有关章节结合其应用实例加以讨论。

第三节 液压传动的优缺点

上述的几种传动方式,它们各有其特点、用途和适用范围。

机械传动的优点是传动准确可靠、操作简单、传动效率高、制造容易和维护简单等。缺点是一般不能进行无级调速,远距离操作困难,结构也比较复杂等。

电力传动的优点是能量传递方便、信号传递迅速、标准化程度高、易于实现自动化等。缺点是运动平稳性差,易受外界负载的影响;惯性大、换向慢,电力设备和元件要耗用大量的有色金属,成本高;受温度、湿度、振动、腐蚀等环境影响较大。

气压传动的优点是结构简单、成本低、易于实现无级变速;气体黏性小,阻力损失小,流速可以很高;能防火、防爆,可以在高温下工作。缺点是空气容易压缩,负载对传动特性的影响较大,不宜在低温下工作(凝结成水,结冰);工作压力一般小于0.8MPa,只适用于小功率传动。

液压传动与上述几种传动方式相比,有以下优点。

1) 体积小、重量轻,可适用于不同功率范围的传动。由于液压传动的动力元件可以采用很高的压力(一般可达32MPa,个别场合更高)来进行能量转换,因此具有体积小的特点。单位功率的重量远小于一般的电动机。在中、大功率以及实现直线往复运动时,这一优点尤为突出。

2) 操纵控制方便,易于实现无级调速,调速范围大。可以采取各种不同的方式(手动、机动、电动、气动、液动等)操纵液压控制阀,来改变液流的压力、流量和流动方向,从而调节液压缸或液压马达的输出力、速度、位移。调速范围可达2000:1。

3) 易于实现自动化。可以简便地与电控部分组成机电液一体化,实现各种自动控制,这种电液控制既具有液压传动输出功率适应范围大的优点,又可以充分利用电子技术控制方便、灵活等特点,因而具有很强的适应性和广阔的应用领域。



4) 工作安全性好,易于实现过载保护。从液压动力元件的两个基本特征可知,工作机构的载荷、速度将直接反映为液流的压力、流量。因此,通过对液流参数的监控,就能实现对机器的安全保护。

5) 传动平稳。油液具有吸收冲击的能力,所以运动均匀平稳。

6) 系统安装灵活。液压传动装置的各元件之间仅靠管路连接,没有严格的定位要求。因此结构布置可以根据机器的具体情况灵活决定,与机械传动的严格安装要求相比,简单方便得多。

7) 液压传动的响应快,动态特性好。由于液压元件的运动部分质量小,因此液压传动的动态响应快。

8) 系统设计、制造和维护方便。液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,有利于缩短液压系统的设计周期、降低制造和维护成本。

液压传动的缺点:

1) 传动效率较低。在液压传动中,需经过由机械能到液压能,再由液压能到机械能两次能量转换,同时由于受液体流动阻力和泄漏的影响,传动效率不高,影响了功率的利用,不适用远距离传动。

2) 工作性能易受温度变化的影响。因为当温度变动时,液体的黏度会发生变化,直接影响液流的状态,导致泄漏、压力损失等,从而影响执行元件运动的稳定性。液压系统不宜在过高或过低温度下工作。

3) 难以保证严格的传动比。由于油液的可压缩性、泄漏等因素影响,难以保证严格的传动比。

4) 液压系统造价较高。为防止和减少泄漏,液压元件的制造和维护要求均较高,价格也较贵。

5) 故障难以诊断。造成液压元件和液压系统故障的因素较多,不易诊断。

第四节 液压技术的发展与应用

液压技术的发展是与流体力学的理论研究相关联的。1650年帕斯卡提出了静止液体中的压力传播规律——帕斯卡原理,1686年牛顿揭示了黏性液体的内摩擦定律,18世纪流体力学的两个重要原理——连续性方程和伯努利能量方程相继建立,上述理论为液压技术的发展奠定了基础。自从1795年英国制成世界上第一台水压机起,液压传动开始进入工程领域,然而在工业上的真正推广使用和有较大幅度的发展却是本世纪中叶的事,至于它和微电子技术密切结合,形成机电液一体化元件及系统,应用现代传感技术及信号处理方法,对元件或系统进行品质监控或故障诊断,更是近十余年来出现的新事物。

20世纪50年代,液压技术迅速由军事工业转入民用工业,在机床、工程机械、压力机械、船舶机械、冶金机械、农业机械及汽车等行业得到了广泛的应用和发展。60年代以后,随着原子能技术、空间技术、电子技术等的迅速发展,再次将液压技术向前推进,使其发展成为包括传动、控制、检测在内的一门对现代机械装备的技术进步有重要影响的基础技术,使其在国民经济的各部门得到了更广泛的应用。液压传动及其控制在某些领域内已占有压倒性的优势,例如:国外现生产的95%的工程机械、90%的数控加工中心、95%以上的自动



生产线都采用了液压传动。因而可以说，液压传动及控制技术是实现现代化传动与控制的关键性技术，是衡量一个国家工业水平的重要标志之一。其发展趋势见表 1-1。

表 1-1 液压传动的发展趋势

发展趋势	具体方面
减少能耗，充分利用能量	采用集成化回路和铸造流道，减少管道损失，减少元件和系统的内部压力损失
	尽量减少采用节流系统来调节流量和压力，以减少节流损失
	采用静压技术和新型密封材料，减少摩擦损失
污染控制	开发无泄漏元件和系统，减少环境污染
	开发封闭式密封系统
	开发油水分离净化装置，消除油液中所含的气体和水分
机电液一体化	扩大电液伺服比例技术的应用
	开发电子直接控制液压泵，通过改变电子控制器的程序，操纵标准化调节机构，实现泵的各种调节方式
	提高液压元件的性能，满足机电液一体化要求。开发内藏式传感器、带有计算机和自我管理机能（故障诊断、故障排除）的智能元件
提高可靠性和性能稳定性	采用新材料、新工艺、新结构，减少由于黏附擦伤、气蚀而引起的元件损伤
	合理进行元器件选择匹配，最大限度地消除引起故障发生的潜在因素
增加适应性	高度重视能耗控制技术，降低工作噪声
	改善代用介质的性能及其适应性研究
提高元器件的功能密度	单功能元件的组合向多功能元件发展
	集成器件子系统化
	开发智能型一体化器件
发展轻小型和微型液压技术	提高轻小型器件的功率密度
	开发微型液压技术
纯水液压传动	开发纯水液压元件与系统，可广泛应用于食品机械以满足其卫生要求，以及水下机器人、水切割等

液压传动在各行业中的应用见表 1-2。

表 1-2 液压传动在各行业中的应用

行 业	应用举例
机床工业	组合机床、磨床、拉床、车床、机械加工自动线
汽车工业	汽车中的制动、转向、变速，自卸式汽车
船舶工业	船舶用的甲板起重机械（绞车）、船头门、舱壁阀、船尾推进器、舰艇消摆装置
电力工业	电站调速系统
兵器工业	火炮操纵装置、导弹发射车、火箭推进器、坦克火炮系统
航空工业	飞机起落架、飞机舵机、飞机前轮转向装置、飞行器仿真
航天工业	飞行姿态控制和驱动

(续)

行 业	应用举例
冶金机械	轧辊调整装置、轧钢设备
工程机械	推土机、装载机、挖掘机、平路机、起重运输机
矿山机械	液压支架、凿岩机、破碎机、开掘机
水利机械	防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构
锻压机械	液压机、模锻机、剪板机、空气锤、冲压机
农业机械	耕种机具、精播机、平移式喷灌机、联合收割机、拖拉机
轻工机械	打包机、注塑机、造纸机、皮革切片及压下厚度控制
渔业机械	起网机、吊装机、干冰制造机
牧业机械	牧草收获机、饲料造粒机、高密度打捆机

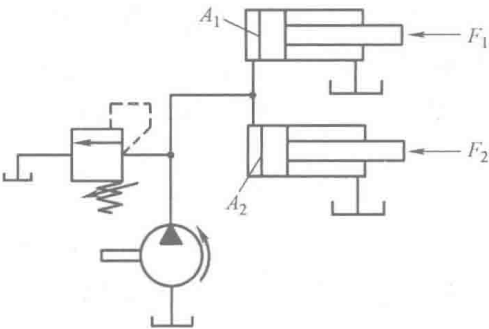
习 题

- 1-1 液压传动系统的工作压力取决于什么？执行元件的速度取决于什么？
- 1-2 液压系统的两个主要参数是什么？
- 1-3 液压传动由哪几部分组成？各部分的功能是什么？
- 1-4 流动的液体具有压力能、动能和势能，这三种能量是同时存在的。哪一种能量形式在液压传动中是最主要的？为什么？
- 1-5 简述液压传动的优缺点。
- 1-6 在图 1-1 所示的液压传动原理图中，已知：小液压缸 2 和大液压缸 7 活塞的直径分别为 10mm 和 35mm；杠杆比 $\overline{AB}/\overline{AC}=1/20$ ，作用在大液压缸 7 活塞上的重物所受重力 $F_2=19.6\text{kN}$ ，小液压缸 2 活塞的移动速度 $v_1=0.5\text{m/s}$ 。不计管路的压力损失、活塞与缸体间的摩擦阻力及其泄漏。试确定：在杠杆作用点 C 需施加多大的力并作用多长时间才能把重物提升 0.2m，小液压缸 2 活塞输出功率为多大？

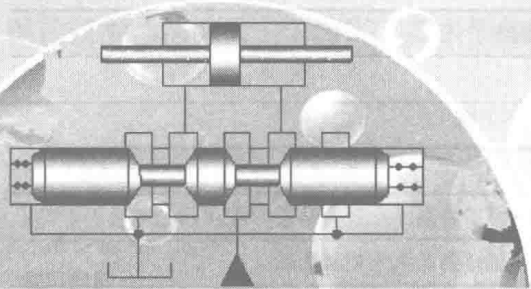
1-7 试说明图 1-2 所示系统中标号为 1、3、6、8、10 和 11 各元、辅件的主要功用。

1-8 在图 1-4 所示的系统中，液压泵的额定压力为 2.5MPa，流量为 10L/min，溢流阀的调定压力为 1.8MPa，两液压缸活塞面积 $A_1=A_2=30\text{cm}^2$ ，负载 $F_1=3\text{kN}$ ，负载 $F_2=4.5\text{kN}$ ，不计各种损失和溢流阀调压偏差，试分析计算：

(1) 液压泵起动后哪个液压缸先动作，为什么？速度分别为多少？

(2) 各液压缸的输出功率和液压泵的最大输出功率为多少？
- 
- 图 1-4 题 1-8 图
- 7





第二章

液压基本回路

现代机械的液压传动系统虽然越来越复杂，但总不外乎由一些基本回路所组成。液压基本回路是由相关液压元件组成，能实现某一特定功能的基本油路。基本回路按其系统中的功用可分为：压力控制回路——控制整个系统或局部油路的工作压力；速度控制回路——控制和调节执行元件的速度；方向控制回路——控制执行元件运动方向的变换和锁停；同步和顺序回路——控制几个执行元件同时动作或先后次序的协调等。

本章所讨论的是最常见的液压基本回路。熟悉和掌握它们的组成、工作原理、性能特点及其应用，对设计和分析液压传动系统是有帮助的。

第一节 压力控制回路

压力控制回路是利用压力控制阀来控制整个液压系统或局部油路的工作压力，以满足执行机构对力或力矩的要求，或者使工作机构平衡或顺序动作。它包括调压、减压、增压、卸荷、保压、泄压、制动和缓冲等回路。

一、调压回路

调压回路是用来控制系统的工作压力，使它不超过某一预先调定的数值，或者使工作机构在运动过程各个阶段中具有不同的压力。图 2-1 所示为压力控制回路中最基本的调压回路。在液压系统中一般用溢流阀来调定工作压力，由定量泵和流量阀组成节流调速回路时，溢流阀经常开启溢流。若系统中无流量阀，溢流阀作安全阀用，则只有当执行元件处于行程终点、泵输出油路闭锁或系统超载时，溢流阀才开启，起安全保护作用。溢流阀调定压力必须大于执行元件的最大工作压力和管路上各种压力损失的总和，作溢流阀时可大 5% ~ 10%，作安全阀时则可大 10% ~ 20%。根据溢流阀的压力流量特性，在不同溢流量时，压力调定值稍有波动。

图 2-2 所示为远程调压回路。将远程调压阀（或小流量溢流

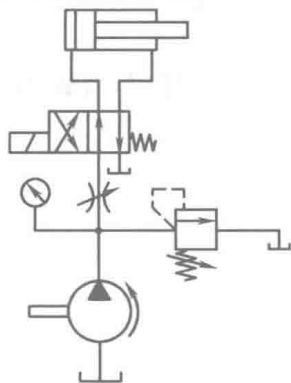


图 2-1 调压回路

阀) 3 接在先导式溢流阀 2 的控制口上, 液压泵的压力即可由远程调压阀 3 作远程调节。远程调压阀可以安装在操作方便的地方。远程调压阀 3 的调定压力应低于先导式调压阀 2 的调定压力。

图 2-3 所示为多级调压回路。主溢流阀 2 的控制口通过三位四通换向阀 3 分别接至远程调压阀 4 和 5, 使系统有三种压力调定值: 三位四通换向阀左位工作时, 压力由远程调压阀 4 来调定; 三位四通换向阀右位工作时, 压力由远程调压阀 5 来调定; 而三位四通换向阀中位工作时, 由主溢流阀 2 来调定系统的最高压力或安全压力值。各远程调压阀的压力可在主溢流阀的调定压力下分别调节。

图 2-4 所示为比例调压回路。系统可以通过电液比例溢流阀实现无级调压。根据执行元件行程各个阶段的不同要求, 调节输入比例溢流阀的电流, 即可改变系统的工作压力。回路组成简单, 压力变换平稳冲击小, 更易于远距离和连续控制。

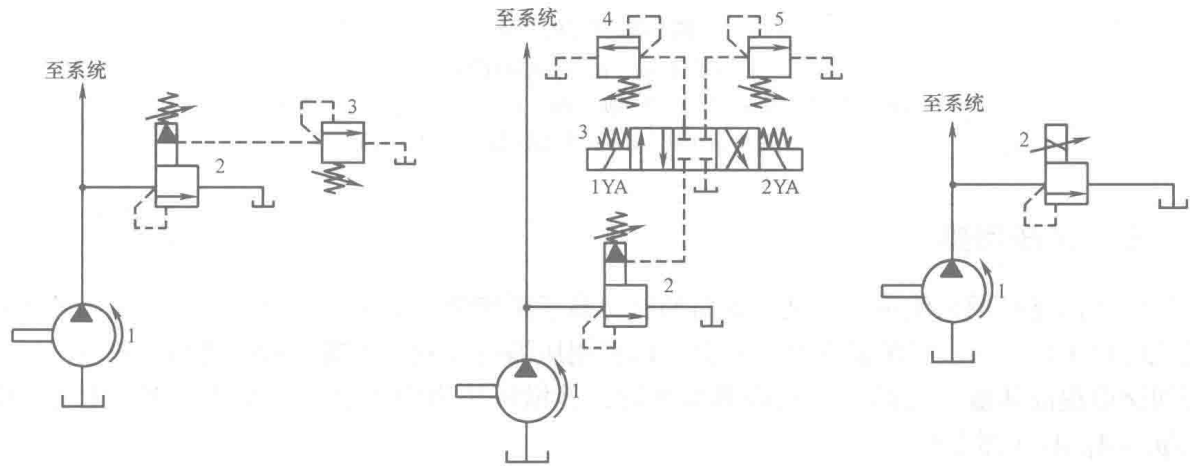


图 2-2 远程调压回路
1—液压泵 2—先导式溢流阀
3—远程调压阀

图 2-3 多级调压回路
1—液压泵 2—主溢流阀 3—三位四通换向阀 4、5—远程调压阀

图 2-4 比例调压回路
1—液压泵 2—比例溢流阀

二、减压回路

减压回路用来使系统某一支路具有低于系统压力的可调稳定工作压力, 如机床的工件夹紧、导轨润滑及液压系统的控制油路常采用减压回路。

最常见的减压回路是在所需低压的支路上串接定值减压阀, 如图 2-5a 所示。液压泵同时向主系统和液压缸 5 供油。液压缸 5 活塞杆伸出时需要低于系统压力的某一稳定的低压, 而活塞返回时无需减压, 为此在回路中接入单向减压阀 4。减压阀可在最低压力 0.5MPa 至溢流阀 2 调定压力之间调节。

图 2-5b 所示为二级减压回路。在先导式减压阀 6 的遥控口上接入远程调压阀 8, 当换向阀 7 电磁铁带电时, 液压缸 5 的压力由远程调压阀 8 的调定压力决定。远程调压阀 8 的调定压力必须低于先导式减压阀 6。液压泵的最大工作压力由溢流阀 2 调定。回路中的单向阀 9 用于当主油路压力低于先导式减压阀 6 的调定值时, 防止液压缸 5 的压力受其干扰, 起短时报压作用。减压回路也可以采用比例减压阀实现无级减压。

由于减压阀工作时阀口的压降和泄漏油路的泄漏, 总有一定的功率损耗, 大流量的减压回路或系统有多处需要低压输出时, 应另外采用单独的泵来供油。

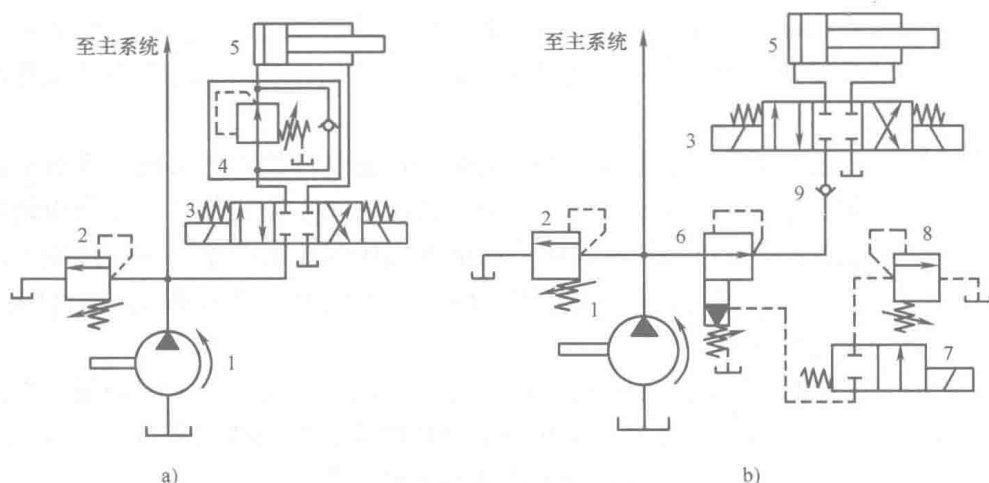


图 2-5 减压回路

a) 减压回路 b) 二级减压回路

1—液压泵 2—溢流阀 3、7—换向阀 4—单向减压阀 5—液压缸
6—先导式减压阀 8—远程调压阀 9—单向阀

三、增压回路

增压回路是用来使系统中某一支路的压力高于系统压力的回路。利用增压回路，液压系统就可以采用压力较低的液压泵，甚至可以利用压缩空气动力源来获得较高的系统压力。增压回路中提高油液压力的主要元件是增压缸，其增压比为增压缸大、小活塞面积之比，即 $p_2/p_1 = A_1/A_2$ (图 2-6a)。

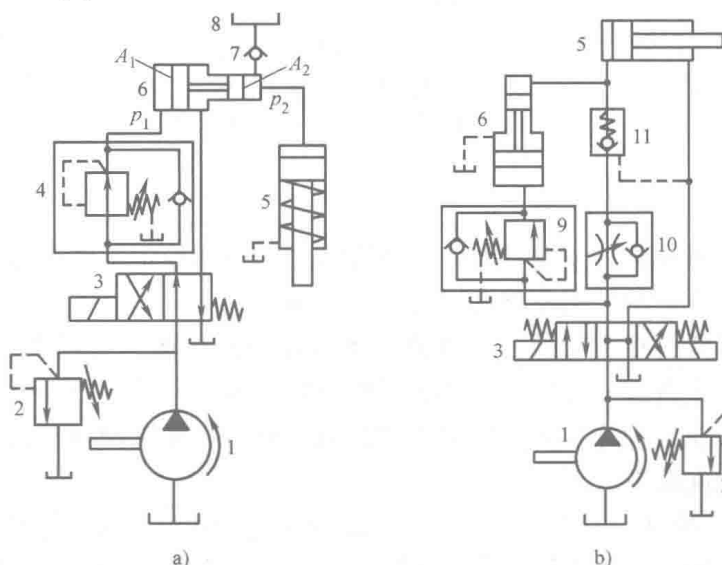


图 2-6 单作用增压回路

1—液压泵 2—溢流阀 3—换向阀 4—单向减压阀 5—液压缸 6—增压缸
7—单向阀 8—上置油箱 9—单向顺序阀 10—单向节流阀 11—液控单向阀

图 2-6 所示为单作用增压回路，该回路只适宜于液压缸需要很大的单向作用力和小行程