

普通高等教育机械电子工程专业规划教材

液压与气压传动 第2版



附光盘

华中科技大学 许福玲 陈尧明 主编



普通高等教育机械电子工程专业规划教材

液压与气压传动

第 2 版

主 编	许福玲	陈尧明
副主编	杨文生	
参 编	高常识	唐晓群
	单根立	丁万荣
主 审	李定华	



机械工业出版社

本书是机械电子工程(机电一体化)专业统编教材,可作为各机械类专业教学用书,也可供从事流体传动及控制技术的工程技术人员参考。

全书分液压传动和气压传动两篇,共十三章。第一篇液压传动,主要讲述液压传动基础理论、液压元件、液压基本回路、典型液压系统及其设计计算;第二篇气压传动,主要讲述气压传动基础知识、气源装置及气动元件、气动基本回路与常用回路、气动逻辑系统设计和气压传动系统实例。

本书与同类教材相比较,兼顾了液压与气动元件、回路的通用性和专门化,同时考虑了液压与气动技术的传统体系和发展趋势,增加了液压与气动行业最新技术成果的应用,尤其注意了传授知识和培养能力并重。

本书同时配备多媒体课件及习题集。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/许福玲,陈尧明主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2004.7

普通高等教育机械电子工程专业规划教材

ISBN 7-111-05329-X

I. 液... II. ①许... ②陈... III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第025641号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:邓海平 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年6月第2版第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·18.75印张·463千字

定价:29.50元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本教材自1997年5月出版以来,由于受到广大读者的关爱,印刷达十次之多。为了适应新世纪液压与气压传动课程教学的要求,受机械工业出版社之托,我们总结了七年来的教学心得,并综合了同行的宝贵意见,对全书进行了审查和整理,既更正了所发现的错误,又在保持原教学大纲的深度及学时要求的前提下对部分内容进行了更新与调整。如:

1. 在“液压流体力学基础”中,将孔口流动与缝隙流动分为两节叙述。孔口流动强调它的控制作用,为此引进了液阻的概念;缝隙流动从泄漏着眼,强调它对液压元件工作性能的影响。

2. 改变在“齿轮泵”一节中定义困油现象的习惯,将其作为液压泵的共性问题,提前在液压泵概述中讲述。为与其他液压元件的讲述内容一致,去掉了液压缸有关设计的内容,增加了液压缸安装形式等应用方面的知识。

3. 增加了高压直动型溢流阀和减压阀的叙述,补充了调速阀和旁通型调速阀的结构图,以便读者对液压阀有更全面的了解。

4. 用更具典型的组合机床动力滑台液压系统置换外圆磨床液压系统,而磨床中颇具特色的采用机液换向阀的换向回路则移到“液压基本回路”中讲述;用更先进的机电一体化液压挖掘机系统替代继电器控制的工业机械手液压系统,以使读者对计算机控制的机电一体化系统有一个初步认识。

5. 摒弃了局限于机床液压系统的“负载分析”计算公式,增加了“液压系统方案设计”内容,使“液压系统设计计算”一章更具通用性和适用性。

6. 气动执行元件中增加了无活塞杆气缸,补充了有别于液压缸的气缸工作特性;为突出气压传动的特点,对“气动逻辑元件”与“气动传感器及气动仪表”进行了改写,对插图进行了调整,使文、图更为和谐。

另外,本教材还配备了多媒体课件及“液压与气压传动习题集”,以作辅助教学用。我们希望继续得到广大读者的爱护和指正。

本书的修订整理、多媒体光盘及习题集均由许福玲、陈尧明共同完成。

编者
于华中科技大学

第 1 版前言

本书是根据 1994 年 11 月底机械工业部在沈阳召开的机械电子工程（机电一体化）专业教学教材研讨会精神，由机械工业部教材编辑室组织编写的机电一体化专业统编教材。

液压与气压传动技术是机电一体化人才所应具备的控制与伺服驱动技术的组成部分。“液压与气压传动”课程的任务是使学生掌握液压与气压传动的基础知识，掌握各种液压、气动元件的工作原理、特点、应用和选用方法，熟悉各类液压与气动基本回路的功用、组成和应用场合，了解国内外先进技术成果在机械设备中的应用。

本书在编写过程中，力求贯彻少而精和理论联系实际的原则，针对机械电子工程专业的需要，着重考虑了以下几个辩证关系：

(1) 液压与气动 以液压为主，将伺服控制作为液压的有机组成部分，使之融为一体，气动部分则强调其特点。

(2) 元件与系统 在讲透元件工作原理的基础上，着重其在系统中的作用，使元件与系统有机结合。

(3) 通用与专用 重在通用元件、回路的工作原理及应用，某些专用的元件及回路则在习题中有所补充。

(4) 传统体系与发展观点 保留了元件—回路—系统的传统体系，但顺应液压与气动技术的发展趋势，改变了一些传统提法，如低压、高压。

书中元件图形符号、回路及系统原理图采用中华人民共和国新标准 GB/T 786.1—1993 绘制。

本书适用于普通工科院校机械类各专业，也适用于各类成人高校、自学考试等有关机械类学生，也可供从事流体传动及控制技术的工程技术人员参考。

参加本书编写的有：许福玲（华中科技大学，绪论、第六、七章），陈尧明（华中科技大学，第二、四章），杨文生（河北理工学院，第一、八章），高常识（哈尔滨理工大学，第三、五章），唐晓群（华中科技大学，第十、十二章），单根立、丁万荣（河北机电学院，第九、十一、十三章）。由许福玲、陈尧明主编并统稿，杨文生任副主编。

本书由广东工业大学李定华教授主审，参加审稿的还有司徒忠教授、罗勇武副教授、查晓春副教授、刘强副教授。在编写过程中，华中科技大学邓星钟教授、唐仕梅副教授给予了很大的帮助，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

1996 年 2 月于武汉

目 录

第2版前言

第1版前言

绪论 1

一、液压与气压传动的工作原理及特征 1

二、液压与气压传动系统的组成 2

三、液压与气压传动的优缺点 4

四、液压与气动技术的应用和发展概况 5

第一篇 液 压 传 动

第一章 液压流体力学基础 7

第一节 液压油液 7

一、液压油液的性质 7

二、对液压油液的要求和选用 11

第二节 液体静力学 13

一、静压力及其特性 13

二、静压力基本方程式 13

三、帕斯卡原理 15

四、静压力对固体壁面的作用力 16

第三节 液体动力学 16

一、基本概念 16

二、流量连续性方程 18

三、伯努利方程 18

四、动量方程 20

第四节 管道流动 22

一、流态与雷诺数 22

二、圆管流动的沿程压力损失 24

三、管道流动的局部压力损失 25

第五节 孔口流动 26

一、薄壁小孔 26

二、滑阀阀口 27

三、锥阀阀口 28

四、短孔和细长孔 28

五、液阻 29

第六节 缝隙流动 30

一、平板缝隙 30

二、圆柱环形缝隙 31

三、圆锥环形间隙 32

四、液压卡紧现象 33

第七节 液压冲击和气穴现象 34

一、液压冲击 34

二、气穴现象 36

第二章 液压泵 38

第一节 液压泵概述 38

一、液压泵的基本工作原理 38

二、液压泵的主要性能参数 40

三、液压泵的特性曲线 41

四、液压泵的分类和选用 41

五、液压泵的图形符号 42

第二节 柱塞泵 42

一、配流轴式径向柱塞泵 42

二、斜盘式轴向柱塞泵 44

三、斜轴式无铰轴向柱塞泵 47

第三节 叶片泵 48

一、双作用叶片泵 48

二、单作用叶片泵 51

第四节 齿轮泵 54

一、外啮合齿轮泵 54

二、内啮合齿轮泵 58

三、螺杆泵 58

第三章 液压马达与液压缸 60

第一节 液压马达 60

一、液压马达概述 60

二、高速液压马达 62

三、低速液压马达 63

第二节 液压缸 67

一、常用液压缸及其速度推力特性 67

二、其他形式液压缸 70

三、液压缸的技术特点 72

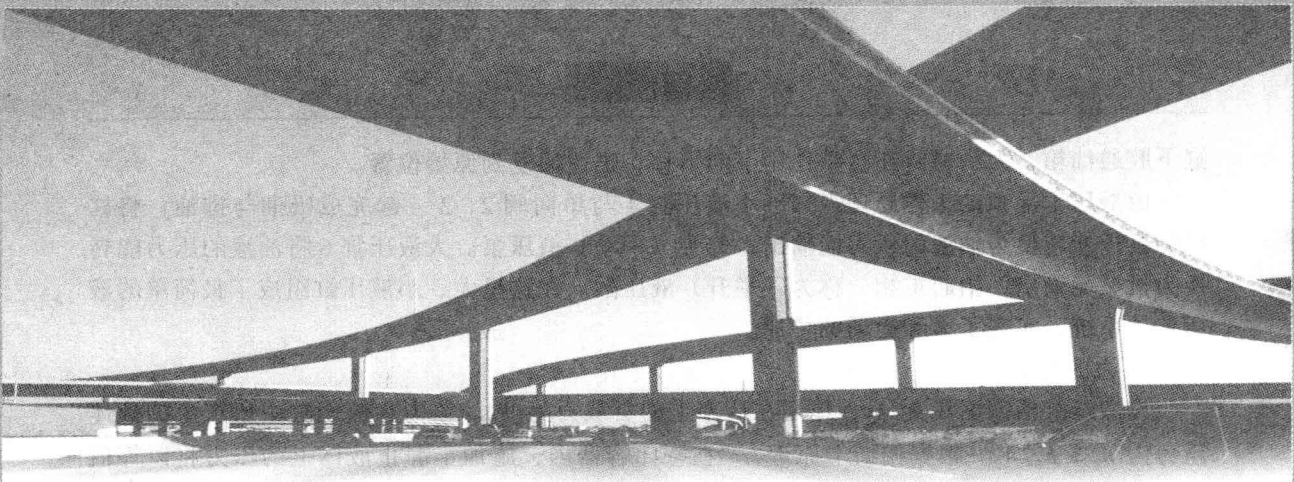
四、摆动式液压缸 75

第四章 液压控制阀 77

第一节 液压阀概述	77	第三节 油箱、热交换器及压力表辅件	126
一、液压阀的基本结构与原理	77	一、油箱	126
二、液压阀的分类	77	二、热交换器	127
三、液压阀的性能参数	79	三、压力表辅件	128
四、对液压阀的基本要求	79	第四节 管件	129
第二节 方向控制阀	79	一、油管	129
一、单向阀	79	二、管接头	129
二、换向阀	81	第五节 密封装置	132
第三节 压力控制阀	88	一、对密封装置的要求	132
一、溢流阀	88	二、密封装置的分类及特点	132
二、减压阀	93	第六章 液压基本回路	136
三、顺序阀	95	第一节 压力控制回路	136
四、压力继电器	96	一、调压回路	136
第四节 流量控制阀	97	二、卸载回路	137
一、流量控制原理	97	三、减压回路	138
二、节流阀	97	四、增压回路	138
三、调速阀	98	五、平衡回路	139
四、分流集流阀	101	六、保压回路	140
第五节 插装阀和叠加阀	103	七、泄压回路	141
一、插装阀	103	第二节 速度控制回路（一）——调速回 路	142
二、叠加阀	108	一、定量泵节流调速回路	142
第六节 伺服阀	109	二、变量泵容积调速回路	148
一、电液伺服阀	109	第三节 速度控制回路（二）——快速和 速度换接回路	152
二、机液伺服阀	111	一、快速运动回路	152
三、伺服阀的性能与特点	112	二、速度换接回路	154
第七节 电液比例阀	113	第四节 方向控制回路	156
一、电液比例压力阀	113	一、换向回路	156
二、电液比例流量阀	114	二、锁紧回路	157
三、电液比例换向阀	116	三、制动回路	157
第八节 电液数字阀	117	第五节 多执行元件控制回路	159
一、电液数字阀的工作原理与组成	117	一、顺序动作回路	159
二、电液数字阀的典型结构	118	二、同步回路	160
第五章 液压辅件	120	三、互不干扰回路	161
第一节 蓄能器	120	四、多路换向阀控制回路	163
一、蓄能器的分类及其特征	120	第七章 典型液压系统	164
二、蓄能器的功用	121	第一节 组合机床动力滑台液压系统	164
三、蓄能器的容量计算	122	一、概述	164
四、蓄能器的选用与安装	122	二、YT4543 型动力滑台液压系统工作 原理	164
第二节 过滤器	123	三、YT4543 型动力滑台液压系统特点	166
一、液压油液的污染及其控制	123		
二、过滤器的功用和类型	123		
三、过滤器的选用	125		
四、过滤器的安装	125		

第二节 压力机液压系统	167	一、概述	178
一、概述	167	二、光电液伺服跑偏控制系统的组成及工	
二、3150kN 通用液压机液压系统工作		作原理	178
原理及特点	167	第八章 液压系统的设计计算	181
三、3150kN 液压机插装阀集成系统		第一节 液压系统的设计步骤	181
原理	169	一、液压系统使用要求及速度负载分	
第三节 塑料注射成型机液压系统	171	析	181
一、概述	171	二、液压系统方案设计	182
二、SZ-250A 型注塑机液压系统工作		三、液压系统的参数计算	183
原理	172	四、液压元件和装置的选择	185
三、液压系统特点	174	五、验算液压系统性能	187
第四节 机电一体化液压挖掘机系统	175	六、绘制工作图、编制技术文件	189
一、概述	175	第二节 液压系统的设计计算举例	189
二、机电一体化液压挖掘机系统的组		一、负载分析	189
成	175	二、液压系统方案设计	190
三、机电一体化液压挖掘机工作技术		三、液压系统的参数计算	191
要点	177	四、液压元件的选择	193
第五节 带钢光电液伺服跑偏控制系统	178	五、验算液压系统性能	194
第二篇 气压传动			
第九章 气压传动基础知识	197	第一节 气源装置	210
第一节 空气的物理性质	197	一、气压发生装置	211
一、空气的组成	197	二、压缩空气的净化装置和设备	211
二、空气的密度	197	三、管道系统	213
三、空气的粘性	198	四、气动三大件	214
四、空气的压缩性与膨胀性	198	第二节 气动辅件	217
五、湿空气	199	一、消声器	217
六、压缩空气的析水量	201	二、管道连接件	217
第二节 理想气体的状态方程	201	第三节 气动执行元件	217
一、理想气体状态方程	201	一、气缸	217
二、气体状态变化过程	201	二、气马达	221
第三节 气体的流动规律	203	第四节 气动控制阀	223
一、气体流动的基本方程	203	第五节 气动逻辑元件	225
二、声速与马赫数	203	一、气动逻辑元件的分类及特点	225
三、气体在管道中的流动特性	204	二、高压截止式逻辑元件	225
第四节 气动元件的流通能力	205	三、其他逻辑元件	229
一、有效截面积	205	四、逻辑元件的应用	229
二、流量	206	第六节 气动传感器及气动仪表	230
第五节 充气、放气温度与时间的计算	207	一、气动传感器	230
一、定积容器充气问题	207	二、气动变送器	231
二、容器的放气	208	三、气动调节器	233
第十章 气源装置及气动元件	210	第十一章 气动基本回路与常用回路	235

第一节 气动基本回路	235	二、气动行程程序控制系统设计概述	250
一、压力和力控制回路	235	三、程序的校正设计	251
二、换向回路	237	四、标准程序设计方法	255
三、速度控制回路	237	第十三章 气压传动系统实例	262
四、位置控制回路	239	第一节 气控机械手	262
五、气动逻辑回路	240	一、用信号-动作状态线图法设计的气控回路	263
第二节 气动常用回路	241	二、用卡诺图图解法设计的气控回路	263
一、安全保护回路	241	三、采用“非门”元件的气控回路	264
二、同步动作回路	242	第二节 气动计量系统	265
三、往复动作回路	242	一、概述	265
四、计数回路	242	二、气动控制系统	266
五、振荡回路	244	第三节 硬质合金刀片磨床气液系统	267
第十二章 气动逻辑系统设计	245	一、概述	267
第一节 非时序逻辑系统设计	245	二、气液系统分析	267
一、非时序逻辑问题及设计步骤	245	附录 A 习题	270
二、逻辑代数设计法	246	附录 B 常用液压与气动元件图形符号 (GB/T 786.1—1993)	283
三、卡诺图设计法	247	参考文献	290
四、非时序逻辑问题设计举例	248		
第二节 时序逻辑控制系统设计	249		
一、时序逻辑控制的特点	249		



绪 论

液压与气压传动，又称液压气动技术，是机械设备中发展速度最快的技术之一，特别是近年来，随着机电一体化技术的发展，与微电子、计算机技术相结合，液压与气压传动进入了一个新的发展阶段。

液压与气压传动是以流体（液压油液或压缩空气）为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。它们通过各种元件组成不同功能的基本回路，再由若干基本回路有机地组合成具有一定控制功能的传动系统。

一、液压与气压传动的工作原理及特征

液压与气压传动的基本工作原理是相似的，现以图 0-1 所示液压千斤顶来简述液压传动的工作原理。

如图示，当向上抬起杠杆时，手动液压泵的小活塞向上运动，小液压缸 1 下腔容积增大形成局部真空，单向阀 2 关闭，油箱 4 的油液在大气压作用下经吸油管顶开单向阀 3 进入小液压缸下腔。当向下压杠杆时，小液压缸下腔容积减小，油液受挤压，压力升高，关闭单向阀 3，顶开单向阀 2，油液经排油管进入大液压缸 6 的下腔，推动大活塞上移顶起重物。如此不断上下扳动杠杆，则不断有油液进入大液压缸下腔，使重物逐渐举升。如杠杆停止动作，大液压缸下腔油液压力将使单向阀 2 关闭，大活塞连同重物一起被自锁不动，停止在举升位置。如打开截止阀 5，大液压

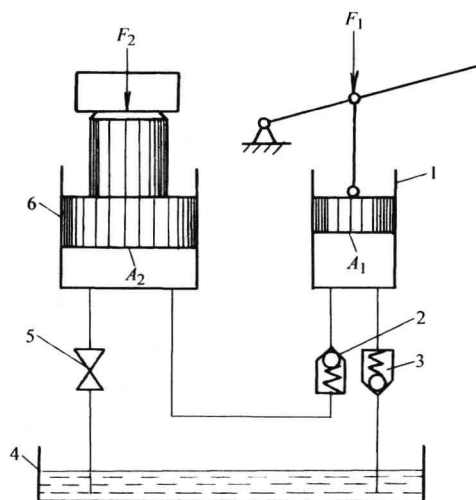


图 0-1 液压千斤顶工作原理图

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

缸下腔通油箱，大活塞将在自重作用下向下移，迅速回复到原始位置。

由液压千斤顶的工作原理得知，小液压缸 1 与单向阀 2、3 一起完成吸油与排油，将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出，称为（手动）液压泵。大液压缸 6 将油液的压力能转换为机械能输出，抬起重物，称为（举升）液压缸。在这里大、小液压缸组成了最简单的液压传动系统，实现了力和运动的传递。

1. 力的传递

设液压缸活塞面积为 A_2 ，作用在活塞上的负载力为 F_2 。该力在液压缸中所产生的液体压力为 $p_2 = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理，“在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点”，液压泵的排油压力 p_1 应等于液压缸中的液体压力，即 $p_1 = p_2 = p$ ，液压泵的排油压力又称为系统压力。

为了克服负载力使液压缸活塞运动，作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 应为

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \quad (1)$$

式中 A_1 ——液压泵活塞面积。

在 A_1 、 A_2 一定时，负载力 F_2 越大，系统中的压力 p 也越高，所需的作用力 F_1 也越大，即系统压力与外负载密切相关。这是液压与气压传动工作原理的第一个特征：液压与气压传动中工作压力取决于外负载。

2. 运动的传递

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形，液压泵排出的液体体积必然等于进入液压缸的液体体积。设液压泵活塞位移为 s_1 ，液压缸活塞位移为 s_2 ，则有

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (2)$$

上式两边同除以运动时间 t ，得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (3)$$

式中 v_1 、 v_2 ——液压泵活塞和液压缸活塞的平均运动速度；

q_1 、 q_2 ——液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

由上述可见，液压与气压传动是靠密闭工作容积变化相等的原则实现运动（速度和位移）传递的。调节进入液压缸的流量 q ，即可调节活塞的运动速度 v ，这是液压与气压传动工作原理的第二个特征：活塞的运动速度只取决于输入流量的大小，而与外负载无关。

从上面的讨论还可以看出，与外负载力相对应的流体参数是流体压力，与运动速度相对应的流体参数是流体流量。因此，压力和流量是液压与气压传动中两个最基本的参数。

二、液压与气压传动系统的组成

工程实际中的液压传动系统，在液压泵—液压缸的基础上还设置有控制液压缸的运动方向、运动速度和最大推力的装置，下面以图 0-2 所示典型液压系统为例，说明其组成。

液压泵 3 由电动机驱动旋转，从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 5 阀芯处于图示位置时，压力油经阀 4、阀 5 和管道 9 进入液压缸 7 的左腔，推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经管道 6、阀 5 和管道 10 流回油箱。改变阀 5 阀芯工作位置，使之处于左端位置时，液压缸活塞反向运动。

改变流量控制阀 4 的开口，可以改变进入液压缸的流量，从而控制液压缸活塞的运动速度。液压泵排出的多余油液经溢流阀 11 和管道 12 流回油箱。液压缸的工作压力取决于负

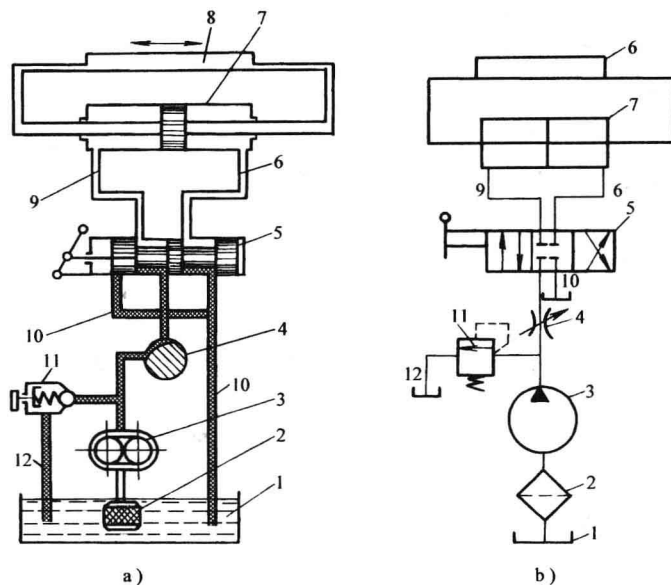


图 0-2 典型液压系统原理图

a) 典型液压系统原理结构示意图 b) 典型液压系统原理图形符号图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—流量控制阀 5—换向阀

6、9、10、12—管道 7—液压缸 8—工作台 11—溢流阀

载。液压泵的最大工作压力由溢流阀 11 调定，其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经阀和管道的压力损失之总和。因此，系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值，溢流阀对系统还起着过载保护作用。

气压传动系统与液压传动系统相似，如图 0-3 所示，在气压发生器和气缸之间有控制压缩空气的压力、流量和流动方向的各种动力控制元件和逻辑运算、检测、自动控制等信号控制元件，以及使压缩空气净化、润滑、消声和传输所需要的一些装置。

从上面例子可以看出，液压与气压传动系统主要由以下五部分组成：

(1) 能源装置 将机械能转换成流体压力能的装置。常见的是液压泵或空气压缩机，为系统提供压力油液或压缩空气。如图 0-1 中，缸 1、单向阀 2、3 组成的阀配流液压泵，图 0-3 中空气压缩机及贮存、净化压缩空气的附属设备集中在工厂或车间的压缩空气站内，向各用气点分配压缩空气。

(2) 执行元件 将流体的压力能转换成机械能输出的装置。它可以是作直线运动的液压缸或气缸，也可以是作回转运动的液压马达、气马达、摆动缸，如图 0-1 中的缸 6。

(3) 控制元件 对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制和调节的装置，以及进行信号转换，逻辑运算和放大等功能的信号控制元件，如图 0-2 中的溢流阀、流量控制阀、换向阀，以及图 0-3 中的压力阀、流量阀、换向阀、逻辑元件、行程阀等。

(4) 辅助元件 保证系统正常工作所需的上述三种以外的装置，如图 0-2 中的过滤器、油箱、管件，图 0-3 中的消声器、油雾器、分水滤气器等。

(5) 工作介质 用它进行能量和信号的传递。液压系统以液压油液作为工作介质，气动系统以压缩空气作为工作介质。

为了简化液压、气动系统的表示方法,通常采用图形符号来绘制系统的原理图。各类元件的图形符号脱离了具体结构,只表示其职能,由它们组成的系统原理图表达了系统的工作原理及各元件在系统中的作用,如图 0-2b、图 0-3b 所示。我国制定的“气动与液压”图形符号标准 GB/T 786.1—1993 见附录 II。在下面每讲一类元件,都会介绍其图形符号,要求熟记常用元件的图形符号。

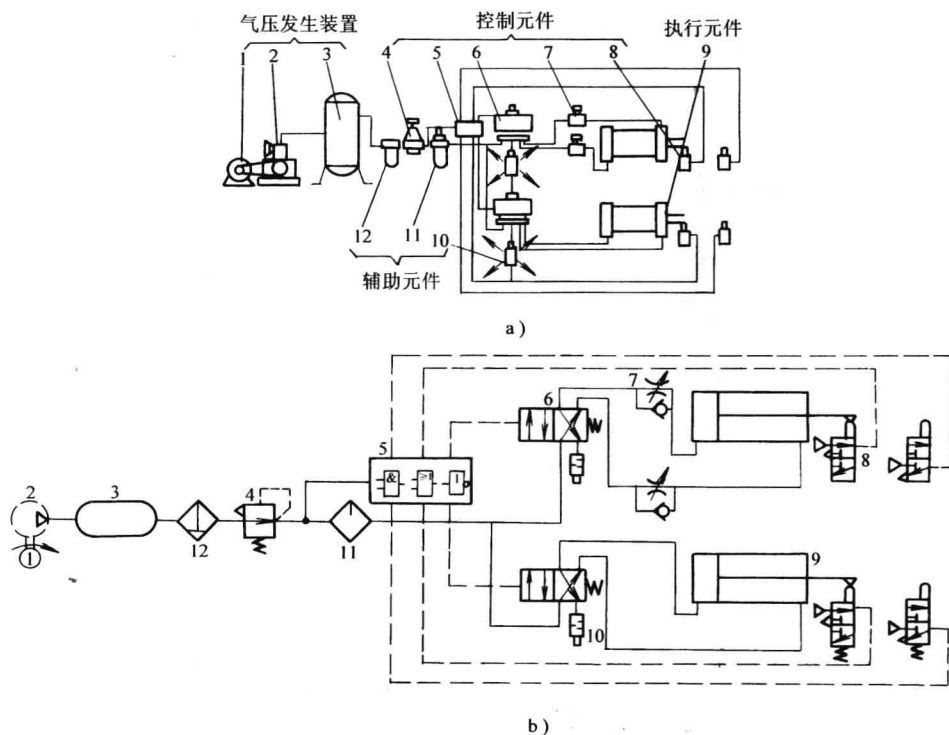


图 0-3 气压传动及控制系统原理图

a) 组成示意图 b) 图形符号图

1—电动机 2—空气压缩机 3—气罐 4—压力控制阀 5—逻辑元件组 6—换向阀
7—流量控制阀 8—行程阀 9—气缸 10—消声器 11—油雾器 12—分水滤气器

三、液压与气压传动的优缺点

与机械传动和电力拖动系统相比,液压与气压传动具有以下优点:

- 1) 液压与气动元件的布置不受严格的空间位置限制,系统中各部分用管道连接,布局安装有很大的灵活性,能构成用其他方法难以组成的复杂系统。
- 2) 可以在运行过程中实现大范围的无级调速,调速范围可达 2000:1。
- 3) 液压传动和液气联动传递运动均匀平稳,易于实现快速启动、制动和频繁的换向。
- 4) 操作控制方便、省力,易于实现自动控制、中远程距离控制、过载保护。与电气控制、电子控制相结合,易于实现自动工作循环和自动过载保护。
- 5) 液压与气动元件属机械工业基础件,标准化、系列化和通用化程度较高,有利于缩短机器的设计、制造周期和降低制造成本。

除此之外,液压传动突出的优点还有单位质量输出功率大。因为液压传动的动力元件可采用很高的压力(一般可达 32MPa,个别场合更高),因此,在同等输出功率下具有体积小、

质量小、运动惯性小、动态性能好的特点。

气压传动突出的优点还有以空气作工作介质，处理方便，无介质费用、泄漏污染环境、介质变质及补充等问题。

液压与气压传动的缺点：

- 1) 在传动过程中，能量需经两次转换，传动效率偏低。
- 2) 由于传动介质的可压缩性和泄漏等因素的影响，不能严格保证定比传动。
- 3) 液压传动性能对温度比较敏感，不能在高温下工作，采用石油基液压油作传动介质时还需注意防火问题。
- 4) 液压与气动元件制造精度高，系统工作过程中发生故障不易诊断。

总的来说，液压与气压传动的优点是主要的，其缺点将随着科学技术的发展会不断得到克服。例如，将液压传动与气压传动、电力传动、机械传动合理地联合使用，构成气液、电液（气）、机液（气）等联合传动，以进一步发挥各自的优点，相互补充，弥补某些不足之处。

四、液压与气动技术的应用和发展概况

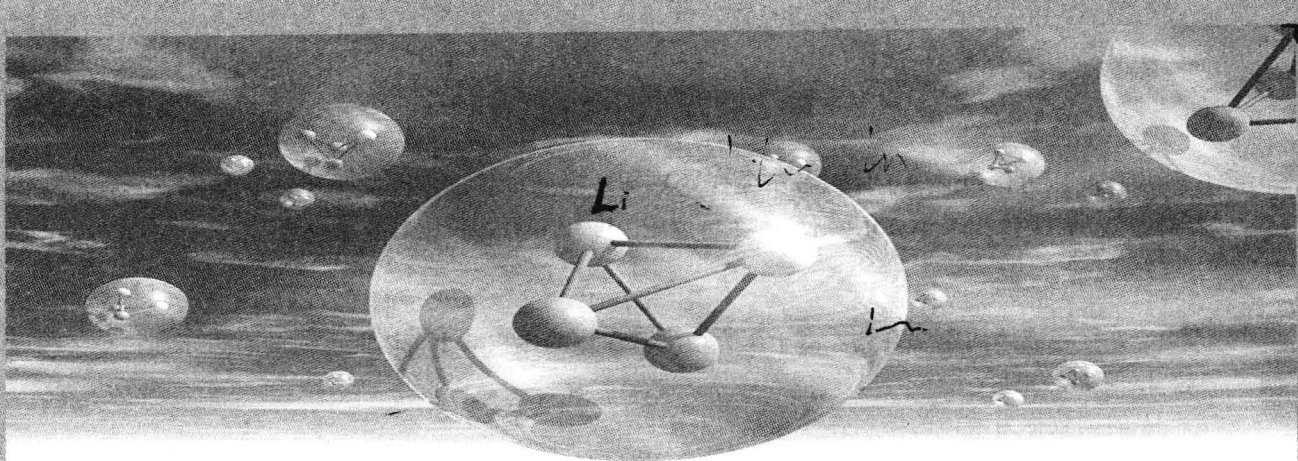
液压与气压传动相对于机械传动来说是一门新兴技术。虽然从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传递原理、18 世纪末英国制造出世界上第一台水压机算起，已有几百年的历史，但液压与气压传动在工业上被广泛采用和有较大幅度发展却是 20 世纪中期以后的事情。

近代液压传动是由 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的，最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器，其后才在机床上应用。第二次世界大战期间，由于军事工业和装备迫切需要反应迅速、动作准确、输出功率大的液压传动及控制装置，促使液压技术迅速发展。战后，液压技术很快转人民用工业，在机床、工程机械、冶金机械、塑料机械、农林机械、汽车、船舶等行业得到了大幅度的应用和发展。20 世纪 60 年代以后，随着原子能、空间技术、电子技术等^[1]方面的发展，液压技术向更广阔的领域渗透，发展成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。现今，采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。如发达国家生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动线都采用了液压传动。

随着液压机械自动化程度的不断提高，液压元件应用数量急剧增加，元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近十年来，液压技术与传感技术、微电子技术密切结合，出现了许多诸如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机（液）电一体化元器件，使液压技术在高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、使用寿命长、高度集成化等方面取得了重大进展。无疑，液压元件和液压系统的计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助试验（CAT）和计算机实时控制也是当前液压技术的发展方向。

人们很早就懂得用空气作工作介质传递动力做功，如利用自然风力推动风车、带动水车提水灌田，近代用于汽车的自动开关门、火车的自动抱闸、采矿用风钻等。因为空气作工作介质具有防火、防爆、防电磁干扰，抗振动、冲击、辐射等优点，近年来气动技术的应用领域已从汽车、采矿、钢铁，机械工业等重工业迅速扩展到化工、轻工、食品、军事工业等各行各业。和液压技术一样，当今气动技术亦发展成包含传动、控制与检测在内的自动化技术，作为柔性制造系统（FMS）在包装设备、自动生产线和机器人等方面成为不可缺少的重要手段。由于工业自动化以及 FMS 的发展，要求气动技术以提高系统可靠性、降低总成本

与电子工业相适应为目标,进行系统控制技术和机电液气综合技术的研究和开发。显然,气动元件的微型化、节能化、无油化是当前的发展特点,与电子技术相结合产生的自适应元件,如各类比例阀和电气伺服阀,使气动系统从开关控制进入到反馈控制。计算机的广泛普及与应用为气动技术的发展提供了更加广阔的前景。



第一篇 液 压 传 动

第一章

液压流体力学基础

液体是液压传动的工作介质，因此，了解液体的基本性质，掌握液体平衡和运动的主要力学规律，对于正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压系统都是十分重要的。

本章除了简要地叙述液压油液的性质、液压油液的要求和选用等内容外，将着重阐述液体的静力学特性，静力学基本方程式和动力学的几个重要方程式。

第一节 液 压 油 液

一、液压油液的性质

(一) 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 V ——液体的体积；

m ——体积为 V 的液体的质量；

ρ ——液体的密度。

密度是液体的一个重要物理参数。随着温度或压力的变化，其密度也会发生变化，但变化量一般很小，可以忽略不计。一般液压油的密度为 900kg/m^3 。

(二) 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体, 当压力增大 Δp 时, 体积减小 ΔV , 则液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

$$k = - \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (1-2)$$

式中, k 称为液体的压缩系数。由于压力增大时液体的体积减小, 因此上式的右边须加一负号, 以使 k 为正值。

k 的倒数称为液体的体积弹性模量, 以 K 表示

$$K = \frac{1}{k} = - \frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (1-3)$$

K 表示产生单位体积相对变化量所需要的压力增量, 在实际应用中, 常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。

液压油的体积弹性模量为 $K = (1.2 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$, 数值很大, 故对于一般液压系统, 可认为油液是不可压缩的。但是, 若液压油中混入空气时, 其可压缩性将显著增加, 并将严重影响液压系统的工作性能。故在液压系统中尽量减少油液中的空气含量。

(三) 粘性

1. 粘性的意义

液体在外力作用下流动时, 液体分子间内聚力会阻碍分子相对运动, 即分子之间产生一种内摩擦力, 这一特性称为液体的粘性。粘性是液体的重要物理特性, 也是选择液压用油的依据。

液体流动时, 由于液体和固体壁面间的附着力以及液体的粘性, 会使液体各液层间的速度大小不等。如图 1-1 所示, 设在两个平行平板之间充满液体, 当上平板以速度 u_0 相对于静止的下平板向右移动时, 在附着力的作用下, 紧贴于上平板的液体层速度为 u_0 , 而中间各层液体的速度则从上到下近似呈线性递减的规律分布, 这是因为在相邻两液体层间存在有内摩擦力的缘故, 该力对上层液体起阻滞作用, 而对下层液体则起拖曳作用。

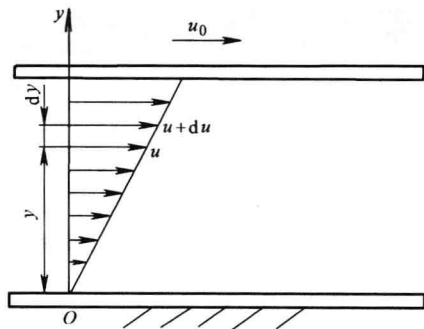


图 1-1 液体粘性示意图

实验测定结果表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 即

$$F_f = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中 μ ——比例系数。又称为粘度系数或动力粘度。

若以 τ 表示液层间在单位面积上的内摩擦力, 则上式可写成

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。

由上式可知, 在静止液体中, 因速度梯度 $du/dy = 0$, 故内摩擦力为零, 因此液体在静止状态下是不呈现粘性的。