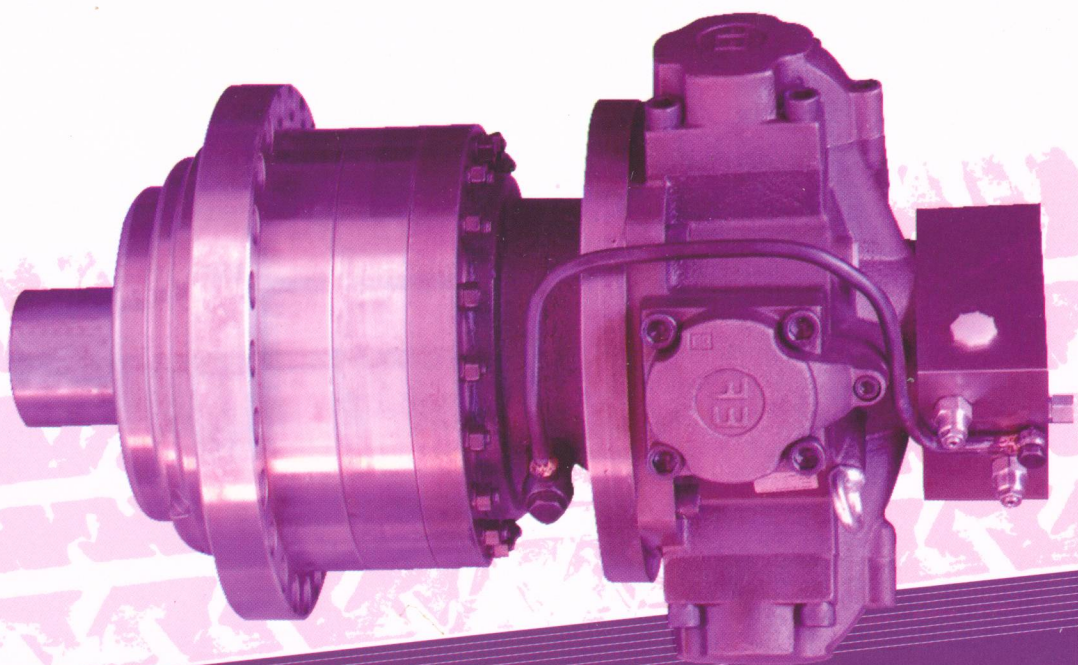


21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材



液压传动与气动技术

(第2版)

主 编 曹建东 龚肖新



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材

液压传动与气动技术（第 2 版）

主 编 曹建东 龚肖新
主 审 芮延年



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据职业技术教育的教学要求,结合现代企业技术发展的需要编写的。全书共 18 章,主要内容包括:液压传动概述、液压传动基础知识、液压泵和液压马达、液压缸、液压控制阀、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压系统、气动基础知识、气源及气源处理系统、气动执行元件、气动控制阀、气动辅助元件、真空元件、气动回路、典型气动系统、气动系统的使用与维护 and 气动实训项目。每章末均附有习题,本书还增加了气动实验课题及相应解答,并配有附录。本书简明扼要地阐述工作原理,系统全面地介绍常用元件,联系实际列举典型回路,开拓创新地设计实训项目,充分体现了职业技术教学内容的实用性、时代性和拓展性。

本书可作为职业技术学院机械制造、机电一体化、模具、数控、自动化等专业的教材,也可作为相关专业人员和相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

3205
液压传动与气动技术/曹建东,龚肖新主编. —2 版. —北京:北京大学出版社,2012.8

(21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-20752-9

I. ①液… II. ①曹…②龚… III. ①液压传动—高等教育—教材②气压传动—高等教育—教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 120807 号

书 名: 液压传动与气动技术(第 2 版)

著作责任者: 曹建东 龚肖新 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-20752-9/TH·0294

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市北燕印装有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 498 千字

2006 年 1 月第 1 版

2012 年 8 月第 2 版 2012 年 8 月第 1 次印刷(总第 6 次印刷)

定 价: 40.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

第2版前言

本书是职业技术学院机械制造、机电一体化、模具、数控、自动化等专业的教学用书，是编者结合现代工业自动化飞速发展的需求，经过多年的教学、科研及生产的实践，引用最新技术资料编写而成的。

在编写本书时，我们遵循的指导思想是：阐明工作原理，拓展专业知识，引入先进技术信息，强化实验实践环节，注重理论联系实际，培养学生理解、分析、应用的综合能力。

本书主要由三大部分组成：第一部分为液压传动的基本概念、常用液压元件的类型和特点、液压基本回路和典型液压系统的功能及应用；第二部分为气压传动的基础知识、多种类型气动元件的结构和特性、常用气动回路的应用特点、典型气动系统的设计与应用、故障诊断与排除方法；第三部分为气动实验课题及解答。

由于现代企业大量引进气动设备和技术，相关专业的技术人员和职业技术学院的学生在接受专业培训和教育过程中需要配套教材，而目前市场上的相关教材中液压部分内容所占比重较大，气动部分资料比较欠缺。为此，本书做了重大改进：将液压传动与气动技术两部分内容有机整合，在精简液压传动理论知识的基础上，大量引入现代实用气动技术资料，并附有气动系统常见故障诊断与排除、与自动化生产设备相关的气动实验课题及解答等内容，同时还提供了符合最新国家标准的常用液压与气动图形符号的附录。

本书不仅可以作为职业技术学院相关专业的实用教材或培训资料，还可以供教师、学生、企业技术人员课内处学习，拓展视野或进一步提高时参考。

本书由苏州工业职业技术学院曹建东、龚肖新主编，苏州大学芮延年主审。本书第1~8章、16~18章、引例、附录由龚肖新编写，第9~15章由曹建东编写。

在本书的编写过程中，苏州瑞思机电科技有限公司、苏州维捷自动化系统有限公司、苏州工业职业技术学院自控研发中心等部门给予了极大支持和帮助，编者在此一并表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

第 1 章 液压传动概述	1
1.1 液压传动的工作原理	2
1.2 液压传动系统的组成	3
1.3 液压传动系统的图形符号	3
1.4 液压传动的优缺点	4
1.5 习题	4
第 2 章 液压传动基础知识	6
2.1 液压传动的工作介质	6
2.2 液压传动的主要参数	9
2.3 液体流动时的能量	14
2.4 液体流经小孔和间隙时的流量	19
2.5 液压冲击和空穴现象	20
2.6 习题	21
第 3 章 液压泵和液压马达	24
3.1 液压泵和液压马达概述	25
3.2 齿轮泵	28
3.3 叶片泵	31
3.4 柱塞泵	34
3.5 液压马达	38
3.6 习题	39
第 4 章 液压缸	41
4.1 液压缸的类型和特点	42
4.2 液压缸的结构	47
4.3 液压缸的设计计算	51
4.4 习题	52
第 5 章 液压控制阀	55
5.1 方向控制阀	56
5.2 压力控制阀	64
5.3 流量控制阀	73
5.4 插装阀、比例阀和叠加阀	78
5.5 习题	85

第 6 章 液压辅助元件	88
6.1 油箱	89
6.2 滤油器	90
6.3 压力表及压力表开关	92
6.4 油管和管接头	94
6.5 蓄能器	95
6.6 习题	96
第 7 章 液压基本回路	98
7.1 方向控制回路	99
7.2 压力控制回路	101
7.3 速度控制回路	107
7.4 多缸动作控制回路	114
7.5 习题	120
第 8 章 典型液压系统	124
8.1 组合机床动力滑台液压系统	125
8.2 专用铣床液压传动系统	128
8.3 机械手液压传动系统	130
8.4 液压伺服系统	133
8.5 习题	136
第 9 章 气动基础知识	139
9.1 气动技术的应用与发展	140
9.2 气动技术的优缺点	141
9.3 气动元件的分类	143
9.4 空气的性质	144
9.5 习题	149
第 10 章 气源及气源处理系统	151
10.1 气源系统	152
10.2 气源处理系统	158
10.3 习题	169
第 11 章 气动执行元件	170
11.1 分类和特点	171
11.2 常用气缸的结构特点和工作原理	173
11.3 气动马达	184
11.4 习题	187
第 12 章 气动控制阀	189
12.1 方向控制阀	190



12.2	压力控制阀	201
12.3	流量控制阀	207
12.4	习题	209
第 13 章	气动辅助元件	211
13.1	润滑元件	212
13.2	空气处理组件	215
13.3	消声器	216
13.4	气动传感器	218
13.5	气动放大器	223
13.6	转换器	225
13.7	管道系统	228
13.8	习题	230
第 14 章	真空元件	232
14.1	真空发生装置	233
14.2	真空吸盘	237
14.3	真空用气阀	238
14.4	真空压力开关	240
14.5	其他真空元件	241
14.6	使用注意事项	243
14.7	习题	245
第 15 章	气动回路	247
15.1	方向控制回路	248
15.2	压力控制回路	252
15.3	速度控制回路	257
15.4	位置控制回路	262
15.5	同步控制回路	264
15.6	安全保护回路	266
15.7	习题	270
第 16 章	典型气动系统	273
16.1	全气动控制系统的典型实例	274
16.2	继电器控制气动系统的设计应用	276
16.3	电气液联合控制气动系统应用实例	282
16.4	习题	287
第 17 章	气动系统的使用与维护	289
17.1	维护保养	290
17.2	故障诊断与排除	292
17.3	维修工作	299
17.4	习题	301



第 18 章 气动实训项目	302
项目 1 单作用气缸的直接控制(全气动)	302
项目 2 单作用气缸的速度控制(全气动)	304
项目 3 逻辑控制回路(全气动)	306
项目 4 单作用气缸的直接控制(单电控)	308
项目 5 双作用气缸的间接控制(双电控)	309
项目 6 双作用气缸的逻辑“与”控制(直接控制)	310
项目 7 双作用气缸的逻辑“或”控制(间接控制)	312
项目 8 双作用气缸的自锁电路实验(断开优先)	313
项目 9 双作用气缸的自锁电路实验(导通优先)	314
项目 10 双作用气缸往返运动控制(接触式)	315
项目 11 双作用气缸往返运动控制(非接触)	317
项目 12 双缸顺序控制	318
附录	322
参考文献	328

第1章

液压传动概述

教学目标

了解液压传动与其他传动方式之间的不同之处,熟悉其优缺点;掌握液压传动系统的工作原理、组成部分及各组成部分的作用;认识图形符号及其功用。

引例

1795年,英国约瑟夫·布拉曼在伦敦用水作为工作介质,以水压机的形式将其应用于工业上,诞生了世界上第一台水压机;第一次世界大战(1914—1918年)后,液压传动广泛应用于军事工业;第二次世界大战(1941—1945年)后,液压技术迅速转为民用,在美国机床中有30%应用了液压传动。目前,液压传动技术几乎渗透到现代工程机械的各个领域,例如,机床工业(组合机床、数控机床)、工程机械(挖掘机、装载机)、运输机械(港口龙门吊、叉车)、矿山机械(盾构机、破碎机)、建筑机械(打桩机)、农业机械(拖拉机、平地机)、汽车工业(自卸汽车、转向器、减振器)、智能机械(机器人)等。液压传动技术的应用实例如图1.1所示。

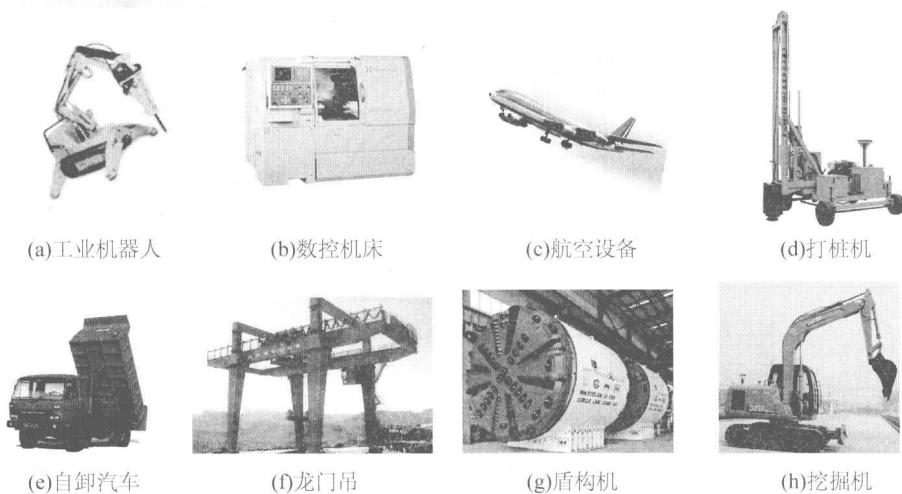


图 1.1 液压传动技术的应用实例

1.1 液压传动的工作原理

液压传动是利用静压传递原理来工作的,其传动模型如图 1.2 所示。密封容器中盛满液体,当小活塞在作用力 F 足够大时即下压,小缸体内的液体流入大缸体内,依靠液体压力推动大活塞,将重力为 W 的物体举升。这种力和运动的传递是通过容器内的液体实现的。

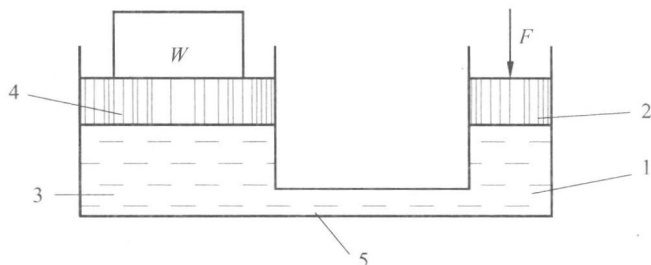


图 1.2 液压传动模型

1、3—缸体；2、4—活塞；5—连通管； W —重物重力； F —作用力

如图 1.3 所示是磨床工作台液压系统工作原理图。油液由油箱 1 经滤油器 2 被吸入液压泵 3,由液压泵输出的压力油经过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔(或右腔),液压缸的右腔(或左腔)的油液则经过换向阀后流回油箱,工作台 9 随液压缸中的活塞 8 实现向右(或向左)移动,当换向阀处于中位时,工作台停止运动。工作台实现往复运动时,其速度由节流阀 5 调节,克服负载所需的工作压力则由溢流阀 4 控制。图 1.3 中(a)、(b)、(c)分别表示了换向阀处于 3 个工作位置时,阀口 P、T、A、B 的接通情况。

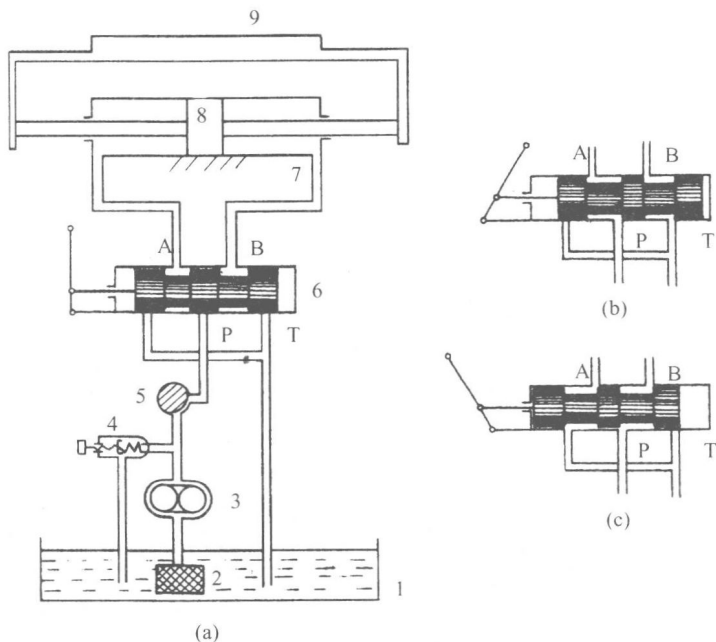


图 1.3 磨床工作台液压传动系统工作原理图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—节流阀；6—换向阀；7—液压缸；8—活塞；9—工作台



1.2 液压传动系统的组成

根据磨床工作台液压系统的工作原理可知, 液压传动是以液体为工作介质的, 一个完整的液压传动系统还必须由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件 4 部分组成, 见表 1-1。

表 1-1 液压传动系统组成

组成部分	功用	举例
动力元件	将机械能转换为液体的压力能	液压泵
执行元件	将液体的压力能转化为机械能	液压缸、液压马达
控制元件	控制流体的压力、流量和方向, 保证执行元件完成预期的动作要求	方向阀、压力阀、流量阀等
辅助元件	起连接、储油、过滤、测量等作用	油管、油箱、滤油器、压力表等

1.3 液压传动系统的图形符号

图 1.3 所示的液压传统系统工作原理图较直观, 容易理解, 但图形较复杂, 难以绘制。在实际工作中, 常用图形符号来绘制, 如图 1.4 所示。图形符号不表示元件的具体结构, 只表示元件的功能, 使系统图简化, 原理简单明了, 便于阅读、分析、设计和绘制。

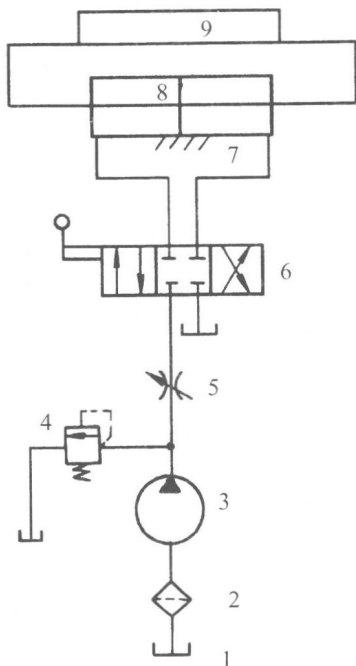


图 1.4 液压传动系统图形符号图

1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4—溢流阀; 5—节流阀;
6—换向阀; 7—液压缸; 8—活塞; 9—工作台



1.4 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点。

(1) 液压传动的传递功率大，能输出大的力或力矩。即在同等功率下，液压装置的体积小，重量轻，结构紧凑。

(2) 液压执行元件的速度可以实现无级调节，而且调速范围大。

(3) 液压传动工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。

(4) 液压装置易于实现过载保护，能实现自润滑，使用寿命长。

(5) 液压装置易于实现自动化的工作循环。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

液压传动也存在如下缺点。

(1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使传动无法保证严格的传动比。

(2) 液压传动能量损失大，因此传动效率低。

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感，不宜在较高或较低的温度下工作。

(4) 液压传动出现故障时不易找出原因。

1.5 习 题

一、填空题

1. _____是液压传动中常用来传递运动和动力的工作介质。
2. 液压传动的工作原理是依靠_____来传递运动，依靠_____来传递动力。
3. 液压传动系统除油液外可分为_____、_____、_____、_____4个部分。
4. 液压传动具有传递功率_____，传动平稳性_____，能实现过载_____，易于实现自动化等优点。但是有泄漏，容易_____环境，传动比不_____。

二、判断题

1. 液压传动装置实质上是一种能量转换装置。 ()
2. 液压传动以流体为工作介质。 ()
3. 液压传动可实现过载保护。 ()

三、选择题

1. 液压系统的辅助元件是_____。
A. 电动机 B. 液压泵 C. 液压缸或液压马达 D. 油箱
2. 换向阀属于_____。
A. 动力元件 B. 执行元件 C. 控制元件 D. 辅助元件



3. 可以将液压能转化为机械能的元件是_____。
- A. 电动机 B. 液压泵 C. 液压缸或液压马达 D. 液压阀
4. 液压传动的特点是_____。
- A. 可与其他方式联用，但不易自动化
- B. 不能实现过载保护与保压
- C. 速度、扭矩、功率均可实现无级调节
- D. 传动准确、效率高

四、问答题

1. 什么是液压传动？
2. 液压传动系统由哪几部分组成？各组成部分的主要作用是什么？
3. 绘制液压系统图时，为什么要采用图形符号？
4. 简述液压传动的主要优缺点。

第2章

液压传动基础知识

教学目标

了解液压系统中工作介质的主要性质及其选用和污染控制；掌握液压传动中压力、流量的基本概念、主要特性和实际应用；初步认识液体流动中的能量转换、液压冲击和空穴现象。

引例

机械设备总故障有40%发生在液压系统中，其中70%是因油液污染和选油不当造成的。液压油对液压设备犹如血液对生命，清洁的液压油在机械内循环流动是保证设备正常运行和润滑的重要条件。另外，为了适应绿色制造技术发展新要求，节能环保型的工作介质目前有两个发展方向：一是以无污染的纯水(或海水)为工作介质，开发出相应的水液压系统；二是开发以食用油为基础的环保型生物基液压油。

2.1 液压传动的工作介质

在液压系统中，使用的工作介质有石油基液压油、难燃型液压液、高水基液和水介质(海水、淡水)等，一般称为液压油。液压油的基本性质和合理选用对液压系统的工作状态影响很大。

1. 液压油的主要性质

1) 黏性

液体分子之间存在内聚力，液体在外力作用下流动时，液体分子间的相对运动导致内摩擦力的产生，液体流动时具有内摩擦力的性质被称为黏性。

液体黏性的大小用黏度来表示，黏度是液压油划分牌号的依据。例如，N32 液压油是指这种油在40℃温度时的运动黏度平均值为32mm²/s。



表 2-1 是常用液压油的新、旧黏度等级牌号的对照,旧标准是以 50℃ 的黏度值作为液压油的黏度值。

表 2-1 常用液压油的牌号和黏度

ISO 3448—92 黏度等级	40℃ 时运动黏度/ (mm ² /s)	现牌号 (GB/T 3141—94)	过渡牌号 (1983—1990 年)	旧牌号 (1982 年以前)
ISO VG15	13.5~16.5	15	N15	10
ISO VG22	19.8~24.2	22	N22	15
ISO VG32	28.8~35.2	32	N32	20
ISOVG46	41.4~50.6	46	N46	30
ISOVG68	61.2~74.8	68	N68	40
ISOVG100	90~110	100	N100	60

影响液体黏度的主要因素是温度和压力。

当液体所受的压力增加时,分子间的距离将减小,于是内摩擦力将增加,即黏度也将随之增大,但一般在中、低压液压系统中压力变化很小,因而通常压力对黏度的影响忽略不计。

液压油的黏度对温度的变化十分敏感,温度升高,黏度下降,液压油的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。一般高温应选择黏度大的液压油,以减少泄漏;低温应选择黏度小的液压油,以减小摩擦。

2) 可压缩性

液体受到压力后容积发生变化的性质称为液体的可压缩性。

对于一般中、低压液压系统,液体的可压缩性很小。因而可以认为液体是不可压缩的。而在压力变化很大的高压系统中,就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体中混入空气时,可压缩性将显著增加,并将严重影响液压系统的工作性能,因而在液压系统中应使油液中的空气含量减少到最低限度。

2. 液压传动介质的选用

选用液压传动介质的种类要考虑设备的性能、使用环境等综合因素。例如,一般机械可采用普通液压油;设备在高温环境下,就应选用抗燃性能好的介质;在高压、高速的工程机械上,可选用抗磨液压油;当要求低温时流动性好,则可用加了降凝剂的低凝液压油。液压油黏度的选用应充分考虑环境温度、工作压力、运动速度等要求。例如,温度高时选用高黏度油,温度低时选用低黏度油;压力越高,选用的黏度越高;执行元件的速度越高,选用的黏度越低。

在液压传动装置中,液压泵的工作条件最为恶劣,较简单实用的方法是按液压泵的要求确定液压油,见表 2-2。



表 2-2 液压泵用油黏度范围及推荐用油表

名称		黏度范围/(mm ² /s)		工作压力/MPa	工作温度/℃	推荐用油
		允许	最佳			
叶片泵 (1200r/min) 叶片泵 (1800r/min)		16~220	26~54	7	5~40	L—HM 液压油 32 46, 68
					40~80	
				7 以上	5~40	L—HM 液压油 46, 68, 100
					40~80	
齿轮泵		4~220	25~54	12 以下	5~40	L—HL 液压油 32, 46, 68
					40~80	
				12 以上	5~40	L—HM 液压油 46, 68, 100, 150
					40~80	
柱 塞 泵	径向	10~65	16~48	14~35	5~40	L—HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150
					40~80	
	轴向	4~76	16~47	35 以上	5~40	L—HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150
					40~80	
螺杆泵		19~49		10.5 以上	5~40	L—HL 液压油 32, 46, 68
					40~80	

注：液压油牌号 L—HM32 的含义是：L 表示润滑剂；H 表示液压油；M 表示抗磨型；32 表示黏度等级为 VG32。

3. 工作介质的污染及控制

工作介质的污染对液压系统的可靠性影响很大，液压系统运行中的大部分故障是因为油液不清洁引起的。因此，正确使用和防止液压油的污染尤为重要。

油液的污染是指油液中含有固体颗粒、水、微生物等杂物，这些杂物的存在会导致以下问题。

(1) 固体颗粒和胶状生成物堵塞滤油器，使液压泵吸油不畅、运转困难、产生噪声；堵塞阀类元件的小孔或缝隙，使阀类元件动作失灵。

(2) 微小固体颗粒会加速有相对滑动的零件表面的磨损，使液压元件不能正常工作；同时还会划伤密封件，使泄漏流量增加。

(3) 水分和空气的混入会降低液压油液的润滑性，并加速其氧化变质，产生气蚀，使液压元件加速损坏；使液压传动系统出现振动、爬行等现象。

控制油液的污染常采用以下措施。

(1) 减少外来的污染：液压传动系统的管路和油箱等在装配前必须严格清洗，用机械的方法除去残渣和表面氧化物，然后进行酸洗；液压传动系统在组装后要进行全面清洗，最好用系统工作时使用的油液清洗，特别是液压伺服系统最好要经过几次清洗来保证清洁；油箱通气孔要加空气滤清器，给油箱加油要用滤油装置，对外露件应装防尘密封，并经常检查，定期更换；液压传动系统的维修、液压元件的更换及拆卸应在无尘区进行。

(2) 滤除系统产生的杂质：应在系统的相应部位安装适当精度的过滤器，并且要定期



检查、清洗或更换滤芯。

(3) 控制液压油液的工作温度：液压油液的工作温度过高会加速其氧化变质，产生各种生成物，缩短它的使用期限。

(4) 定期检查更换液压油液：应根据液压设备使用说明书的要求和维护保养规程的有关规定，定期检查更换液压油液；更换液压油液时要清洗油箱，冲洗系统管道及液压元件。

2.2 液压传动的主要参数

液压传动中的主要参数是压力和流量，了解这两大参数的概念、基本特性和应用，有助于深入理解液压传动的基本工作原理和特性。

2.2.1 压力

1. 压力的概念

液体在单位面积上所受的垂直力称为压力(在物理学中称为压强)，压力通常用 p 表示。

若在液体的面积 A 上受到均匀分布的作用力 F ，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A}$$

压力的国标单位为 N/m^2 (牛/米²)，即 Pa(帕)，工程上常用 MPa(兆帕)、bar(巴)和 kgf/cm^2 ，它们的换算关系为

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar} = 10^6 \text{ Pa} = 10.2 \text{ kgf}/\text{cm}^2$$

2. 静压传递

据帕斯卡原理可知，在密闭容器中的静止液体，由外力作用在液面上的压力能等值地传到液体内部的所有各点。

如图 2.1 所示， A_1 、 A_2 分别为液压缸 1 和 2 的活塞面积，两缸用管道连通。大活塞缸 2 内的活塞上有重力 W ，当给小活塞缸 1 的活塞上施加力 F_1 时，液体中就产生了 $p = \frac{F_1}{A_1}$ 的压力。随着 F_1 的增加，液体的压力也不断增加，当压力 $p = \frac{W}{A_2}$ 时，大活塞缸 2 的活塞开始运动。

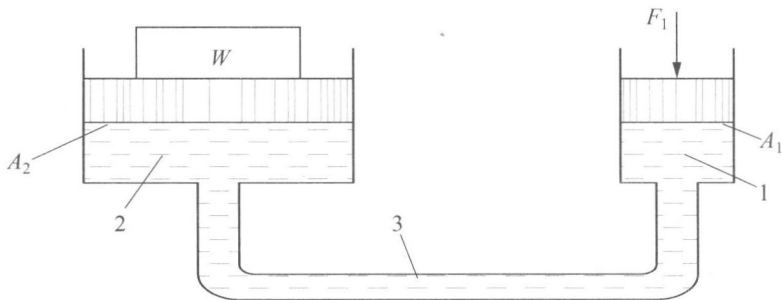


图 2.1 帕斯卡原理的应用

1—小活塞缸；2—大活塞缸；3—管道