



高职高专“十一五”规划教材

液压与气压传动技术

马宪亭 主编
姜福祥 主审

YEYA

YU

QIYACHUANDONG

JISHU



化学工业出版社

液压与气压传动技术

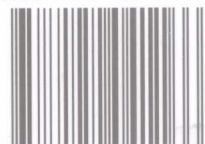
YEYA

YU

QIYACHUANDONG

JISHU

ISBN 978-7-122-04116-6



9 787122 041166 >



www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网

定价：19.80元

普通高等教育“十一五”规划教材
全国高等职业院校教材
教育部职业教育与成人教育司
教育部职业技术教育中心研究所
天津科技出版传媒集团

高职高专“十一五”规划教材

液压与气压传动技术

马宪亭 主编

贺丽平 李福固 副主编

姜福祥 主审



化学工业出版社

·北京·

本书围绕液压与气压传动技术所必需的知识和技能,优化内容,简化结构,增强了实用性,主要侧重液压方面,兼顾气动,更具针对性。内容包括:液压传动概述,液压传动力学基础,液压泵与液压马达,液压缸,液压控制阀,液压辅助元件,液压元件试验,液压系统基本回路,液压系统应用分析与维护,气压技术概述,气缸、气马达及气动控制阀,气动基本回路及应用,气动技术应用等。

本书可作为高职高专院校、成人教育学院、函授大学等机电类及机械类专业的教学用书,也可供有关的工程技术人员参考。

林琳 张琳 “十一五” 守高郑高

木姓齿奇丑产已丑嫩

编主 马宪亭

编主 陶燕华 平丽霞

审主 刘群英

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动技术/马宪亭主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-04116-6

I. 液… II. 马… III. ①液压传动-高等学校: 技术学院-教材②气压传动-高等学校: 技术学院-教材
IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 182580 号

责任编辑: 王金生 高钰 袁俊红
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 张燕文
装帧设计: 周遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 282 千字 2009 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 19.80 元

版权所有 违者必究

试读结束 需要全本请在线购买: www.ertongbook.com

前 言

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》指出，职业教育必须坚持以就业为导向，以素质为基础，以能力为本位，加大课程建设与改革的力度，增强学生的职业能力。为适应高等职业教育事业不断发展的需要，突显工学结合、学用一致，“教、学、做”一体化的现代职教理念，注重学生的职业素质和专业技能的培养，我们针对高职高专机械类、机电类专业的人才培养目标和岗位技能需要编写了本教材。在编写中，广泛吸取和借鉴高职高专教学改革成果和编者多年的教学经验，力求出精品、有特色。

本书围绕液压与气压传动技术所必需的基本知识和技能，优化内容，简化结构，增强了实用性，尽力实现理论知识与技能训练的统一，具体特点如下。

① 以液压技术为主线，围绕技能型人才的职业要求，淡化了繁琐深奥的传动理论知识，简化了元件的工作原理，突出了应用技术，并配有工业应用图例、立体图形，使学生易学、易懂。

② 以加强学生实际应用技能的培养为宗旨，着重讲解元件的技术要求及基本回路应用。增加了较多液压系统应用实例、液压元件试验和 PLC 在气动控制中的应用等，符合当今企业自动化生产线、专用设备上所使用的液压与气压传动技术的实际，达到学以致用效果。

本书可作为高职高专院校、成人教育学院、函授大学等大专层次的机电类及机械类专业的教学及参考用书，同时可供工程技术人员参考使用。

全书由马宪亨主编，并编写了第 1、7 章及 2、4、6 章的部分内容及全部思考和练习题；王宏臣编写第 2、6 章；张俊编写第 3、13 章；杨杰编写第 4、5、10 章；李福固编写第 8、9 章；贺丽平编写第 11、12 章。全书由姜福祥教授主审，校核工作由尹新爱完成。

本书在编写过程中，得到了江南大学刘利国博士、山东水利职业学院苑章义副教授、南京化工职业技术学院孙健领主任和南京工业职业技术学院王书营副教授的热情支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2008. 10

目 录

第 1 章 液压传动概述	1
1.1 液压传动的工作原理及组成	1
1.1.1 液压传动的工作原理	1
1.1.2 液压传动系统的组成	2
1.1.3 液压技术发展与应用	3
1.2 液压传动的特点及图形符号	4
1.2.1 液压传动的特点	4
1.2.2 液压传动的图形符号	5
1.3 液压油的主要物理性质及基本要求	5
1.3.1 液压油的主要物理性质	5
1.3.2 液压油的特点及使用要求	7
1.4 液压系统运行中的主要问题	8
1.4.1 油液泄漏	8
1.4.2 液压冲击	9
1.4.3 气穴现象	10
思考和练习题	10
第 2 章 液压传动力学基础	11
2.1 液体静力学基础	11
2.1.1 液体静压力概念、特性及基本方程	11
2.1.2 静压力传递及固体壁面上的力	12
2.2 液体动力学基础	13
2.2.1 理想流体和稳定流动	13
2.2.2 流量、流速和流动状态	14
2.2.3 质量连续性方程	15
2.2.4 能量守恒方程	16
2.3 管路内压力损失计算	17
2.3.1 沿程压力损失	17
2.3.2 局部压力损失	18
2.4 孔口流量特性	18
2.4.1 液流流经薄壁孔的流量	18
2.4.2 液流流经细长孔的流量	19
思考和练习题	19
第 3 章 液压泵与液压马达	21
3.1 液压泵的工作原理和性能参数	21
3.1.1 液压泵的工作原理	21
3.1.2 液压泵的主要类型及职能符号	22
3.1.3 液压泵的主要性能参数	22
3.2 液压泵的特性	24
3.2.1 齿轮泵	24
3.2.2 叶片泵	27
3.2.3 柱塞泵	29
3.2.4 螺杆泵	31
3.3 液压泵及电动机的选用	31
3.3.1 液压泵的选用	31
3.3.2 电动机参数的选择	32
3.3.3 应用实例	32
3.4 液压马达	33
3.4.1 液压马达的分类及原理特性	33
3.4.2 高速小转矩马达	37
3.4.3 低速大转矩马达	37
3.4.4 液压马达的应用	38
思考和练习题	39
第 4 章 液压缸	41
4.1 液压缸的类型及特点	41
4.1.1 活塞式液压缸	41
4.1.2 柱塞式液压缸	42
4.1.3 其它类型的液压缸	43
4.2 液压缸的典型结构	44
4.2.1 典型结构举例	44

4.2.2 液压缸典型部件	45	4.3.3 柱塞缸的基本参数计算	48
4.3 液压缸的参数计算及应用实例	47	4.3.4 应用实例	49
4.3.1 双杆活塞缸的基本参数计算	47	思考和练习题	51
4.3.2 单杆活塞缸的基本参数计算	47		
第5章 液压控制阀	53		
5.1 方向控制阀	53	5.3 流量控制阀	69
5.1.1 单向阀	53	5.3.1 流量控制原理	69
5.1.2 换向阀	54	5.3.2 节流阀、调速阀及旁通式调 速阀	69
5.1.3 方向控制阀的应用	60	5.3.3 流量控制阀的应用	71
5.2 压力控制阀	61	5.4 比例阀、插装阀和叠加阀	72
5.2.1 溢流阀	62	5.4.1 比例阀	72
5.2.2 减压阀	64	5.4.2 插装阀	73
5.2.3 顺序阀	66	5.4.3 叠加阀	74
5.2.4 增压器	68	思考和练习题	76
5.2.5 压力继电器	68		
第6章 液压辅助元件	80		
6.1 油箱	80	6.3.2 压力表开关	84
6.1.1 油箱的作用与分类	80	6.4 蓄能器	84
6.1.2 油箱的容量计算及设计注意 事项	80	6.4.1 蓄能器的类型和结构	84
6.2 滤油器	81	6.4.2 蓄能器的安装	85
6.2.1 滤油器的类型及特点	81	6.5 密封装置和管件	85
6.2.2 滤油器的选用与安装	82	6.5.1 密封装置	85
6.3 压力表及压力表开关	83	6.5.2 管道元件	86
6.3.1 压力表	83	思考和练习题	88
第7章 液压元件试验	89		
7.1 液压元件试验项目	89	7.2.2 液压马达的性能试验	92
7.1.1 强度和密封试验	89	7.2.3 功率回收试验系统	93
7.1.2 寿命和环境试验	90	7.2.4 压力控制阀试验系统	94
7.2 液压元件的试验系统	90	思考和练习题	95
7.2.1 液压泵的性能试验	90		
第8章 液压系统基本回路	96		
8.1 压力控制回路	96	8.2 速度控制回路	101
8.1.1 调压回路	96	8.2.1 调速回路	101
8.1.2 减压回路	97	8.2.2 快速运动回路	106
8.1.3 保压回路	98	8.2.3 速度换接回路	107
8.1.4 增压回路	98	8.3 方向控制回路	108
8.1.5 卸荷回路	99	8.3.1 换向回路	108
8.1.6 平衡回路	100	8.3.2 锁紧回路	109

8.4 多缸工作控制回路	109	8.4.3 互不干涉回路	112
8.4.1 顺序动作回路	110	思考和练习题	113
8.4.2 同步回路	111		
第9章 液压系统应用分析与维护	116		
9.1 液压系统图分析方法及液压系统分类	116	9.3.3 M1432A型万能外圆磨床液压系统的特点	124
9.1.1 液压系统图的阅读	116	9.4 Q2-8型汽车起重机液压系统	124
9.1.2 液压系统分类	116	9.4.1 简介	124
9.2 YA32-200型液压压力机液压系统	117	9.4.2 Q2-8型汽车起重机液压系统的工作原理	125
9.2.1 简介	117	9.4.3 Q2-8型汽车起重机液压系统的特点	127
9.2.2 YA32-200型液压压力机液压系统的工作原理	117	9.5 液压系统的使用与维护	127
9.2.3 YB32-200型液压压力机液压系统的特点	120	9.5.1 液压系统的安装与调试	127
9.3 M1432A型万能外圆磨床液压系统	120	9.5.2 液压系统的正常使用与维护保养	129
9.3.1 简介	120	9.5.3 液压系统的常见故障与排除	130
9.3.2 M1432A型万能外圆磨床液压系统的工作原理	120	思考和练习题	132
第10章 气压技术概述	133		
10.1 气压技术的应用及特点	133	10.2.1 空气的基本性质	135
10.1.1 气压技术的应用范围	133	10.2.2 基本方程	136
10.1.2 气动系统的分类、特点及组成	133	10.3 气源装置	137
10.1.3 气动系统的控制方式	135	10.3.1 空气压缩机	138
10.2 空气及其流动基本方程	135	10.3.2 空气净化装置	139
		思考和练习题	143
第11章 气缸、气马达及气动控制阀	144		
11.1 气缸与气马达	144	11.2.2 溢流阀	149
11.1.1 气缸	144	11.2.3 顺序阀	150
11.1.2 气马达	147	11.2.4 方向控制阀	150
11.2 气动控制阀	147	11.2.5 流量控制阀	153
11.2.1 减压阀	147	思考和练习题	155
第12章 气动基本回路及应用	156		
12.1 速度控制回路	156	12.2.3 多级压力控制回路	157
12.1.1 单作用气缸速度控制回路	156	12.3 应用回路举例	158
12.1.2 双作用气缸速度控制回路	156	12.3.1 增压回路	158
12.1.3 气-液转换回路	157	12.3.2 冲压回路	158
12.2 压力控制回路	157	12.3.3 同步控制回路	158
12.2.1 一级压力控制回路	157	思考和练习题	159
12.2.2 二级压力控制回路	157		

第 13 章 气动技术应用	160
13.1 公共汽车车门气压系统	160
13.2 工件夹紧气压系统	160
13.3 气动机械手气压系统	162
13.4 PLC 在气动控制中的应用	163
附录	165
部分思考和练习题答案	172
参考文献	176

第 1 章 液压传动概述

1.1 液压传动的工作原理及组成

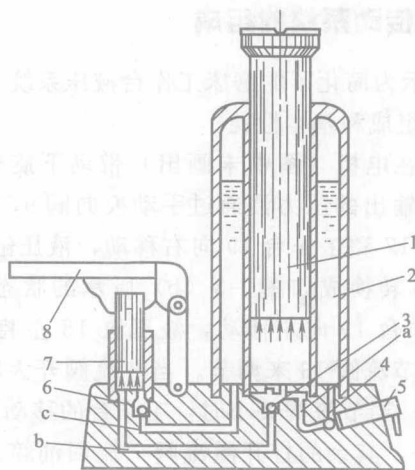
1.1.1 液压传动的工作原理

传动就是把动力源的动力通过某种方式传给机器设备。就传动方式而言，有机械传动，它是通过机构或部件进行传动的方式，如齿轮传动、带传动、蜗杆传动和螺旋传动；有电气传动，它是通过控制电机进行传动的方式；有流体传动，它是以流体（液体、气体）为工作介质，进行能量转换、传递和控制的传动，它又包括液压传动、液力传动和气压传动。液压传动是以液体为工作介质，在密封的回路里，利用液体的压力能来实现能量传递的传动方式。液力传动主要是利用液体动能的液体传动。气压传动则是利用气体压力能的气体传动。

图 1-1 所示为油压千斤顶的实物图和结构图，图 1-2 所示为其工作原理图，利用它来说明液压传动的工作原理。



(a) 液压千斤顶实物图



(b) 液压千斤顶结构示意图

图 1-1 油压千斤顶实物图和结构示意图

1—大活塞；2—油箱；3,4,6—单向阀；5—放油旋塞；7—小活塞；8—手柄；a,b,c—油通道

如图 1-2 所示，当用手向上抬起手柄 8 时，小活塞 7 被提起，小活塞腔的密封容积增大，腔内压力减小，形成负压，这时单向阀 3 关闭，单向阀 6 打开，油箱 2 中的油液在大气压作用下沿吸油通道进入小活塞腔的下腔，完成一次吸油动作。当压下手柄时，小活塞腔的密封容积减小，腔内压力增大，这时单向阀 6 关闭了油液回油箱的油通道，小活塞腔的压力油顶开单向阀 3 进入大活塞 1 的下腔，推动重物 G 向上移动。经过反复抬压手柄 8，就可以

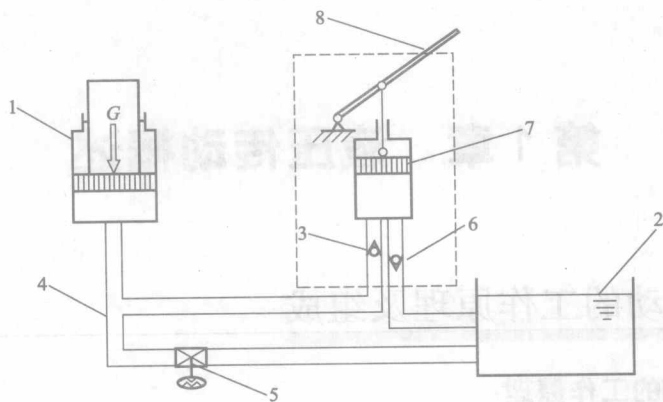


图 1-2 千斤顶工作原理图

1—大活塞；2—油箱；3,6—单向阀；4—油管；
5—旋扭；7—小活塞；8—手柄

完成多个吸油、压油过程，使重物不断被升起，达到起重目的。要想使重物下降到原位，就把放油旋扭 5 打开，在重物自重作用下，大活塞 1 下腔中的油液流回油箱，达到复位目的。

由此过程可以看出，千斤顶是一个简单的液压装置，但它实现了压力能的传递，完成了力的传动，实现了两种能量的转换：先将机械能转换为能够输送的液压能，后将液压能转换为机械能而做功，其本质是一种能量转换装置。

1.1.2 液压传动系统的组成

图 1-3 所示为简化了的磨床工作台液压系统工作原理图，通过它进一步了解一般液压传动系统的基本组成和基本性能。

液压泵 4 在电机（图中未画出）带动下旋转，油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵，由液压泵输出的压力油通过手动换向阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动，液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 排回油箱。如果将换向阀 15 转换成如图 1-3 (b) 所示的状态，则压力油进入液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 排回油箱。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。当节流阀开大时，进入液压缸 18 的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，工作台的移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的打开溢流阀 7 流回油箱。如果将手动换向阀 9 转换成如图 1-3 (c) 所示的状态，液压泵输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱，这时工作台停止运动，液压系统处于卸荷状态。

从以上例子可以看出，液压系统由五部分组成。

(1) 动力元件 把机械能转化成液体压力能的装置，是系统的动力源。常见的是液压泵。

(2) 执行元件 把液体压力能转化成机械能的装置，是系统的工作部件。常见的是液压缸和液压马达。

(3) 控制调节元件 对液体的压力大小、流量多少和流动方向进行控制和调节的装置，是执行元件完成预期工作的保证。这类元件主要包括各类控制阀或者由各种阀构成的组合装

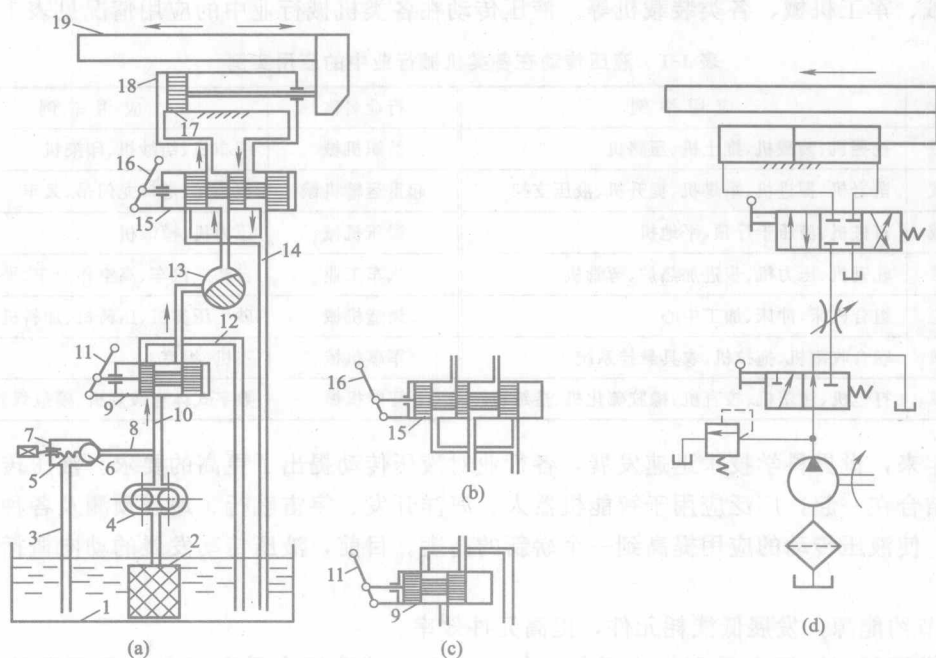


图 1-3 磨床工作台液压传动系统工作原理及系统原理图

- 1—油箱；2—过滤器；3,12,14—回油管；4—液泵；5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；
8,10—压力油管；9—手动换向阀；11,16—换向手柄；13—节流阀；
15—换向阀；17—活塞；18—液压缸；19—工作台

置。常见的是各种阀类，如溢流阀、减压阀、换向阀等。

(4) 辅助元件 如各种管接件、油管、油箱、过滤器、蓄能器、压力表等，起到连接、输油、贮油、过滤、贮存压力能和测量等作用。

(5) 工作介质 即各种液压工作介质，通常称液压油，它是实现运动和动力传递的基础。

通过以上分析可知，液压传动是以液体为工作介质，在密封的回路里，利用压力能来实现能量传递的传动方式。

1.1.3 液压技术发展与应用

液压传动相对于机械传动来讲，是一门发展较晚的技术。从 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机到现在，液压传动技术只有二三百年的历史。直到 20 世纪 30 年代它才较普遍地用于起重机、机床及工程机械中。

我国的液压工业始于 20 世纪 50 年代，最初只是应用于机床和锻压设备，后来发展到拖拉机和工程机械上。自 1964 年开始引进国外液压元件生产技术并自行设计液压产品以来，我国的液压元件生产已从低压到高压形成系列。我国已瞄准世界发展主流的液压元件系列型谱，有计划地引进、消化、吸收国外最先进的液压技术和产品，大力开展产品国产化工作。我国的液压技术在 21 世纪必将获得更快的发展。

液压传动在机械设备中的应用非常广泛。有的设备是利用其能传递大的动力，且设备结构简单、体积小、重量轻的优点，如工程机械、矿山机械、冶金机械等；有的设备是利用它操纵控制方便，能较容易地实现较复杂工作循环的优点，如各类金属切削机床、轻工机械、

运输机械、军工机械、各类装载机等。液压传动在各类机械行业中的应用情况见表 1-1。

表 1-1 液压传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用举例	行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机	纺织机械	织布机、纺纱机、印染机
矿山机械	凿岩机、掘进机、采煤机、提升机、液压支架	起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机	锻压机械	压力机、模锻机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉、弯管机	汽车工业	自卸式汽车、高空作业车、平板车
机械制造	组合机床、冲床、加工中心	铸造机械	砂型压实机、压铸机、加料机
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统	军事机械	飞机、坦克
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机	智能机械	数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱

近年来，世界科学技术迅速发展，各行业对液压传动提出了更高的要求。液压传动与电子技术结合在一起，广泛应用于智能机器人、海洋开发、宇宙航行、地震预测及各种电液伺服系统，使液压传动的应用提高到一个崭新的高度。目前，液压传动发展的动向概括有以下几点。

- ① 节约能源，发展低能耗元件，提高元件效率。
- ② 发展新型液压介质和相应元件，如发展高水基液压介质和元件，新型石油基液压介质。
- ③ 注意环境保护，降低液压元件噪声。
- ④ 重视液压油的污染控制。
- ⑤ 进一步发展电气-液压控制，提高控制性能和操作性能。
- ⑥ 重视发展密封技术，防止漏油。

1.2 液压传动的特点及图形符号

1.2.1 液压传动的特点

(1) 主要优点 液压传动与机械传动、电气传动相比有以下优点。

- ① 相同功率情况下，液压元件体积小、重量轻、结构紧凑。例如，同功率液压马达的重量只有电机的 1/6 左右。
- ② 工作比较平稳，惯性小，易于实现快速启动、制动和频繁的换向。
- ③ 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速（调速范围达 2000 : 1）。
- ④ 易于实现过载保护，相对运动面可自行润滑，使用寿命长。
- ⑤ 液压元件实现了标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和使用。

(2) 主要缺点

- ① 由于液压油的可压缩性和易流动性，导致液压传动不能保证严格的传动比。
- ② 工作性能易受温度变化的影响，因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。
- ③ 由于液压传动有较多的能量损失（如泄漏、摩擦阻力等），所以传动效率不高。如果泄漏处理不当，不仅污染场地，而且还可能引起火灾和爆炸事故。
- ④ 液压元件在制造精度上要求较高，因此它的造价高，且对油液的污染比较敏感。

⑤ 液压传动出现故障时不易查找原因。

总体来讲, 液压传动的优点是突出的, 它的一些缺点有的现已大为改善, 有的将随着科学技术的发展而进一步得到克服。

1.2.2 液压传动的图形符号

图 1-3 (a) 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它虽直观性强, 容易理解, 但绘制繁琐。在工程实际中, 除少数特殊情况外, 一般都采用简单的职能图形符号来表示。GB/T 786.1—93 规定了液压与气动图形符号 (参看附录)。图形职能符号只表示元件的功能, 不表示元件的具体结构和参数; 反映各元件在油路连接上的相互关系, 不反映其空间安装位置; 反映静止位置或初始位置的工作状态, 不反映其过渡过程, 如图 1-3 (d) 所示。

1.3 液压油的主要物理性质及基本要求

液压传动中的工作液体——液压油, 既是传递功率的介质, 又是液压元件的冷却、防锈和润滑剂。在工作中产生的磨粒和来自外界的污染物, 也要靠工作液体带走。因此, 了解液压油的基本性质, 掌握其力学规律, 是学习液压传动的基础。

1.3.1 液压油的主要物理性质

(1) 密度 单位体积液体的质量称为液体的密度, 即

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

式中 V ——液体的体积, m^3 ;

m ——液体的质量, kg ;

ρ ——液体的密度, kg/m^3 。

密度反应了组成液体的分子间的疏密程度。

矿物油型液压油的密度随温度和压力而变化, 但其变动值很小, 可认为其为常数, 它在 20°C 时的密度为 $850\sim 900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(2) 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, 可用体积压缩系数 κ 表示。设体积为 V 的液体, 当压力增大 Δp 时, 体积的减小量为 ΔV , 则液体在单位增大压力下体积相对变化量为

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

由于压力增大时液体的体积减小, 因此式 (1-2) 右边需加一负号, 以使 κ 为正值。

体积压缩系数 κ 的倒数, 称为体积弹性模量 K , 简称体积模量, 即

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

体积模量 K 反映了液体产生单位体积相对变化量所需要的压力增量, 表示液体抵抗压缩能力的大小。

液压油的体积模量和温度、压力以及油液中所含空气的多少有关。在常温下, 纯净液压油的体积模量 $K = (1.4\sim 2) \times 10^3 \text{MPa}$, 数值较大, 故一般可认为油液是不可压缩的。但在高压下或受压体积较大以及对液压系统进行动态分析时, 就需要考虑液体可压缩性的影响。

实际计算中常取液压油的体积模量 $K=0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

(3) 黏性

① 黏性的物理意义。液体在外力作用下流动（或有流动趋势）时，由于液体分子内聚力的存在，要阻止分子相对运动，因而产生的一种内摩擦力，这一特性称为液体的黏性。液体的黏性是液体固有的一种性质，它表征了流体抵抗剪切变形的能力。只有在流动（或有流动趋势）时才会呈现出黏性，静止液体是不呈现黏性的。液体的黏性是用来选择液压油的主要指标。

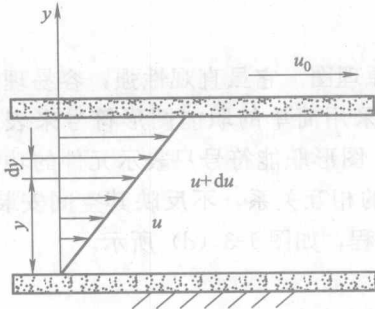


图 1-4 液体的黏性

由于液体的黏性是液体内摩擦力的表现，为了说明影响内摩擦力的因素，做一简单实验。如图 1-4 所示，设两平行平板间充满液体，下平板固定不动，上平板以速度 u_0 向右运动，上平板上的流体黏附于上平板上，其速度与上平板相同，下平板上的流体黏附于下平板上，其速度为零，中间流体的速度按线性分布从下到上逐渐增大。

根据实际测定的数据可知，液体层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 及液层的相对流速 du 成正比，与液层间的距离 dy 成反比，与液体本身的特性有关，即

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

式中， μ 为比例系数，称为动力黏度。若以 τ 表示液体的内摩擦切应力，即液层间单位面积上的内摩擦力，则

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

式 (1-5) 说明，当速度梯度 $\frac{du}{dy} = 0$ 时，内摩擦力为零，即液体在静止状态下是不呈现出黏性的。

② 黏度。液体的黏性大小用黏度来表示。通常有动力黏度和运动黏度两种表示方法。

动力黏度 μ 也称绝对黏度，它反映液体的黏性即内摩擦力的大小。 μ 有一定的物理意义，表示当速度梯度 $du/dy=1$ 时，在数值上等于液层间单位面积上的内摩擦力的大小，即

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (1-6)$$

动力黏度的法定计量单位为牛顿·秒/米²，符号为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ，或为帕·秒，符号为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

运动黏度 ν 是绝对黏度 μ 与密度 ρ 的比值，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

此黏度无物理意义，只是人为把两者的比值定义而成，但对 ρ 值相近的流体，如各种矿物油型液压油之间，还是可用来大致比较它们的黏性，其单位为 m^2/s 、 mm^2/s 。

我国生产的液压油的牌号就是以 mm^2/s 为单位的，表示在温度 40°C 时运动黏度 ν 的平均值。例如，牌号为 L-HL32 的液压油，就是指该油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$

(28.8~35.2 mm²/s)。牌号越大，其黏度值也越大，油越稠。

在工程实际中，常采用先测定液体的相对黏度，然后再换算成绝对黏度的方法来确定工作油液的黏度。

③ 黏度与温度和压力的关系。液体的黏度随温度和作用压力而变化。液压油黏度对温度的变化是十分敏感的，当温度升高时，其分子之间的内聚力减小，黏度就随之降低。这个变化率的大小直接影响液压传动工作介质的使用，其重要性不亚于黏度本身。不同种类的液压油，黏度随温度变化的规律也不同。当液体所受的压力加大时，分子之间的距离缩小，内聚力增大，其黏度也随之增大。在工程实际应用中，压力在 32MPa 以下时，压力对黏度的影响比较小，可以不考虑。

(4) 其它性质 液压油还有其它一些性质，如抗泡沫性、抗乳化性、抗燃性、抗氧化性、防锈性、润滑性以及相容性（对所接触的金属、密封材料、涂料等作用程度）等，它们对工作介质的选择使用有重要影响。其指标可参阅有关资料。

1.3.2 液压油的特点及使用要求

(1) 种类 液压油可分为可燃液压油（石油基液压油）和难燃液压油两大类。石油基液压油有普通液压油、专用液压油、抗磨液压油和高黏度指数液压油，它是以石油基精炼物为基础，加入抗氧化或抗磨剂等混合而成的液压油，不同性能、不同品种、不同精度则加入不同的添加剂。难燃液压油有合成液压油（磷酸酯液压油）和含水液压油（水-乙二醇液压油、油包水乳液、水包油乳液）。使用中可查相关手册。

(2) 特点

① 液压油的正常工作温度。不同品质的液压油的工作温度见表 1-2。

表 1-2 液压油工作温度

液压油	连续工作状态/℃	最高温度/℃
水包油型液压油	4~50	65
油包水型液压油	4~65	85
水-乙二醇液压油	-18~65	70
矿物油型液压油	低温-80	120~140
磷酸酯液压油	-7~82	150

② 液压油定期更换指标。液压油的黏度、酸值、水分及杂质含量直接影响液压元件的工作，必须定期检查，及时更换，主要指标参考值见表 1-3。

表 1-3 液压油更换参考指标

液压油	性能							
	40℃黏度 变化/%	污垢含量 /mg·(100mL) ⁻¹	水分 /%	酸值增加 /KOHmg·g ⁻¹	相对密度(油 15℃/水 4℃变化)	钢片腐蚀级别 (100℃, 3h)	闪点 /℃	凝点 /℃
普通液压油	±(10~15)	10	0.1	0.3	0.05	2	60	—
抗磨液压油	±(10~15)	10	0.1	0.3	0.05	2	60	—
低凝液压油	±10	10	0.1	0.3	0.05	2	60	—
磷酸酯	7~ 7.5mm ² /s	—	0.5	—	(25℃)1.055	—	—	<-60