

# 液 压 与 气 动 技 术

朱新才 周秋沙 主 编

周 雄 副主编

唐中一 主 审

重 庆 大 学 出 版 社

## 内 容 简 介

本书以工程应用为重点,主要介绍了液压传动与气压传动技术的基础知识,各种液压与气动元件的结构、工作原理、性能特点、选择和应用,有关基本回路组成及典型液压系统实例,液压回路和系统的基本设计与计算,有关元件及系统的故障分析与排除,液压元件与系统的安装、调试及维护,液压伺服系统及应用等。

本书内容全面,取材较新,通俗易懂。可作为高等学校机械类教材,也可作为工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/朱新才,周秋沙主编. —重庆:重庆大学出版社,2003. 7

ISBN 7-5624-2801-8

.液... . 朱... 周... . 液压传动 气压传动 . TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 013106 号

## 液 压 与 气 动 技 术

朱新才 周秋沙 主 编

周 雄 副主编

唐中一 主 审

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:廖应碧 责任印制:秦 梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: [fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:20 字数:499 千

2003 年 7 月第 1 版 2005 年 6 月第 2 次印刷

印数:5 001—10 000

ISBN 7-5624-2801-8/TH·97 定价:24.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究。

# 前 言

随着科学技术的迅速发展,工业生产进入以计算机、数控和液压技术为主体的发展阶段,进而迈入以网络和信息技术为核心的经济发展阶段。由于液压与气动技术独特的优越性,使其得到了越来越广泛的应用。液压与气动技术介于机械和电子技术之间,同时又包含了机械和电子的有关内容,将传动与控制有机地结合已是一种必然。

本书在对有关企业进行调研,征求了有关院校意见的基础上,结合高职高专教学改革的要求以及编者多年教学与实践应用的体会,参考有关文献编写而成。在编写中着重于基本内容的掌握和应用,突出实践能力和综合素质的培养,同时考虑了教材的先进性和科学性。在内容的选材和处理上,力求理论联系实际,学以致用。把重点放在提高读者正确、合理地选用液压及气动元件和分析、设计液压系统,以及对液压元件与系统的常见故障进行分析和排除的能力上。

本书由朱新才、周秋沙担任主编,周雄担任副主编。参加编写的有朱新才(第5章、第8章的部分内容、第12章)、周雄(第13章)、周秋沙(第9章、第10章)、马新民(第3章、第4章)、龚奇平、姜秀华(第6章、第8章的部分内容、第11章)、崔学红(第7章)、唐世英(第1章、第2章)。本书由唐中一教授担任主审。

在编写过程中,曾得到有关工厂、兄弟学校等单位的大力支持和帮助,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2003年2月

# 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 液压传动的概念、工作原理及基本特性.....	1
1.2 液压传动系统的组成及工程表示 .....	3
1.3 液压传动的优缺点 .....	4
小 结.....	5
思考题与习题.....	5
第 2 章 液压流体力学基础 .....	6
2.1 液压油的主要性质及选用 .....	6
2.2 静止液体的力学性质.....	10
2.3 流动液体的力学性质.....	13
2.4 液体在小孔和缝隙中的流动.....	18
2.5 液压冲击和汽蚀现象.....	21
小 结 .....	22
思考题与习题 .....	23
第 3 章 液压动力元件.....	25
3.1 液压泵概述.....	25
3.2 齿轮泵.....	28
3.3 叶片泵.....	34
3.4 柱塞泵.....	39
3.5 液压泵的选用 .....	48
小 结 .....	48
思考题与习题 .....	49
第 4 章 液压执行元件.....	50
4.1 液压马达.....	50
4.2 液压缸.....	62
小 结 .....	74
思考题与习题 .....	75

第 5 章 控制阀及应用 .....	76
5.1 方向控制阀及应用 .....	77
5.2 压力控制阀及应用 .....	89
5.3 流量控制阀及应用 .....	104
5.4 电液比例控制阀及应用 .....	111
5.5 二通插装阀及应用 .....	115
5.6 叠加式液压阀 .....	124
5.7 阀的集成 .....	127
小 结 .....	130
思考题与习题 .....	131
第 6 章 液压辅助元件 .....	134
6.1 油箱 .....	134
6.2 过滤器 .....	136
6.3 蓄能器 .....	139
6.4 管路及管接头 .....	141
6.5 密封装置 .....	143
6.6 压力表及压力表开关 .....	144
第 7 章 液压基本回路及分析 .....	146
7.1 概 述 .....	146
7.2 速度控制回路 .....	146
7.3 压力控制回路 .....	156
7.4 其他控制回路 .....	158
小 结 .....	160
思考题与习题 .....	161
第 8 章 液压系统实例分析 .....	163
8.1 液压系统图的阅读方法 .....	163
8.2 组合机床动力滑台液压系统 .....	164
8.3 万能外圆磨床液压系统 .....	168
8.4 步进加热炉液压控制系统 .....	174
第 9 章 液压系统设计计算 .....	178
9.1 液压系统设计步骤 .....	178
9.2 液压系统设计计算举例 .....	192
小 结 .....	207
思考题与习题 .....	208

---

第 10 章 液压伺服系统 .....	209
10.1 液压伺服系统概述 .....	209
10.2 液压伺服阀 .....	213
10.3 电液伺服阀 .....	217
10.4 液压伺服系统应用举例 .....	226
小 结 .....	233
思考题与习题 .....	234
第 11 章 液压系统故障诊断及排除 .....	236
11.1 液压系统故障特征及现象 .....	236
11.2 液压系统故障诊断步骤和方法 .....	239
11.3 液压元件及系统常见故障的诊断及排除 .....	241
第 12 章 液压系统的安装、调试与维护 .....	254
12.1 液压传动系统的安装 .....	254
12.2 液压系统的清洗与试压 .....	256
12.3 液压系统的调试 .....	258
12.4 液压系统的使用、维护和保养 .....	259
12.5 电液伺服阀的安装和使用 .....	261
第 13 章 气压传动 .....	262
13.1 气压传动概述 .....	262
13.2 气源装置和辅助元件 .....	264
13.3 气动执行元件 .....	276
13.4 气动控制元件 .....	283
13.5 气动基本回路 .....	292
13.6 气动系统应用与分析 .....	301
思考题与习题 .....	303
附录 常用液压传动图形符号 .....	304
参考文献 .....	313

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 液压传动的概念、工作原理及基本特性

液压传动是指用液体作为工作介质、借助于液体的压力能进行能量传递和控制的一种传动形式。利用各种元件组成不同功能的基本控制回路,若干基本控制回路再经过有机组合,就形成了具有一定控制机能的液压传动系统。

液压传动的工作原理可用图 1.1 所示的液压千斤顶的工作原理来说明。

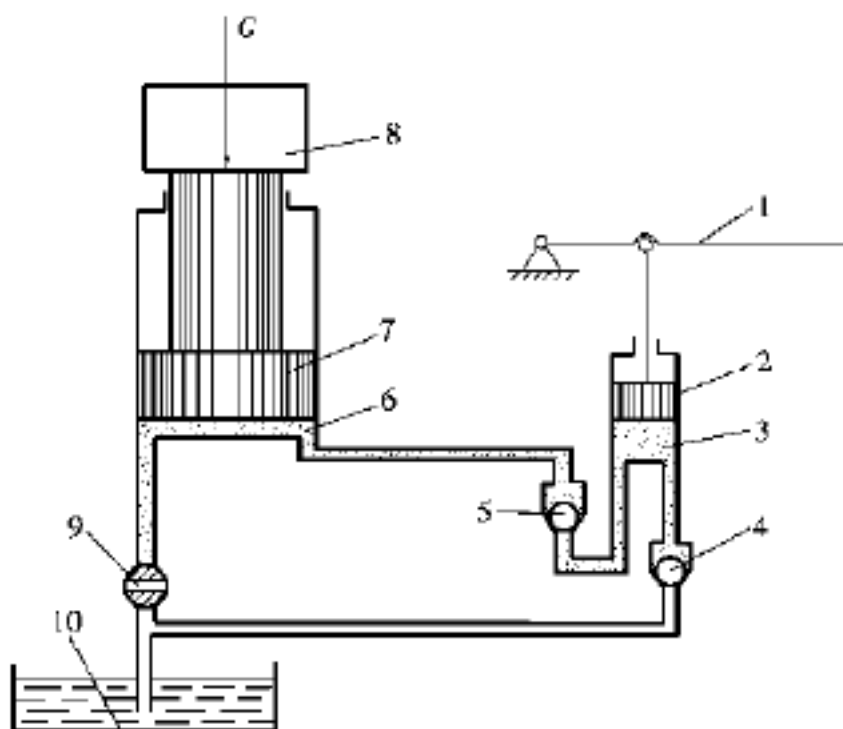


图 1.1 液压千斤顶原理示意图

在图 1.1 中,大液压缸筒 6 和活塞 7 组成执行元件,小液压缸筒 3 和活塞 2 组成动力元件,活塞与缸筒保持非常良好的配合。活塞能在缸筒内自如滑动,配合面之间又能实现可靠的密封。单向阀 4、5 保证油液在管路中单向流动,截止阀 9 控制所在管路的通断状态。

千斤顶工作原理:上提杠杆 1 时,小缸活塞就被带动向上移动。活塞下端密封腔容积增大,造成腔内压力下降,形成局部负压(真空)。此时,单向阀 5 将所在管路阻断,油箱 10 中的

油液在大气压力作用下推开单向阀 4 沿吸油管进入小缸下腔, 吸油过程完成。接着下压杠杆 1, 小活塞向下移动, 下端密封腔容积减小, 造成腔内压力升高。此时, 单向阀 4 将吸油管路阻断, 单向阀 5 被正向推开, 小缸下腔的压力油经连通管路挤入大液压缸筒 6 的下腔, 迫使大活塞向上移动, 从而推动重物 8 上行。如此反复提压杠杆 1, 就能不断将油液压入大液压缸筒 6 的下腔, 迫使活塞 7 不断向上移动, 使重物逐渐升起, 从而达到起重目的。

如果打开截止阀 9, 大液压缸筒 6 下腔将通过回油管与油箱连通, 活塞 7 在重物的自重作用下迅速向下移动, 液压油直接流回油箱。

分析液压千斤顶的工作原理可得出两活塞之间的力比例关系、运动关系和功率关系。

### (1) 力比例关系

大活塞下腔的油液所产生的压力为  $p = G/A_2$ 。在大活塞上行过程中, 单向阀 5 开启, 大、小液压缸的下腔相通。若不计任何压力损失, 大、小活塞下腔的压力必然相等。小活塞上必须施加力  $F_1$ ,  $F_1 = pA_1$ , 因而有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{G}{A_2}$$

或

$$\frac{G}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1.1)$$

式中,  $A_1$ 、 $A_2$  分别为小活塞和大活塞的作用面积;  $F_1$  为杠杆手柄作用在小活塞上的力;  $G$  为重物的重力。

式(1.1)是液压传动中力传递的基本公式, 由于  $p = G/A_2$ , 因此, 当负载  $G$  增大时, 流体工作压力  $p$  也要随之增大, 亦即  $F_1$  要随之增大。由此建立了一个很重要的基本概念, 即: 液压传动的工作压力(即液体的压力)取决于负载, 而与流入的流体多少无关。

### (2) 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、油管的变形, 则从图 1.1 可以看出, 被小活塞压出的油液的体积必然等于大活塞向上升起后大缸扩大的体积。即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1.2)$$

式中,  $h_1$ 、 $h_2$  分别为小活塞和大活塞的位移量。

从式(1.2)可知, 两活塞的位移量和两活塞的面积成反比, 将  $A_1 h_1 = A_2 h_2$  两端同除以活塞移动的时间  $t$  得:

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

或

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1.3)$$

式中,  $v_1$ 、 $v_2$  分别为小活塞和大活塞的运动速度。

$A \frac{h}{t}$  的物理意义是单位时间内液体流过截面积为  $A$  的某一截面的体积, 称为流量  $q$ , 即:

$$q = Av。$$

如果已知进入缸体的流量  $q$ , 则活塞的运动速度为:

$$v = \frac{q}{A} \quad (1.4)$$

调节进入缸体的流量  $q$ , 即可调节活塞的运动速度  $v$ , 这就是液压传动与气压传动能实现无级调速的基本原理。从式(1.4)可得到另一个重要的基本概念, 即: 活塞的运动速度取决于进入液压缸的流量, 而与流体压力大小无关。

### (3) 功率关系

由式(1.1)和式(1.3)可得:

$$F_1 v_1 = G v_2 \quad (1.5)$$

式(1.5)左端为液压千斤顶的输入功率, 右端为输出功率, 这说明在不计损失的情况下输入功率等于输出功率。由式(1.5)还可得出:

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1.6)$$

式(1.6)表明, 液压传动中的功率  $P$  为压力  $p$  与流量  $q$  的乘积。压力  $p$  和流量  $q$  是液压传动中最基本、最重要的两个参数, 它们相当于机械传动中的力和速度, 它们的乘积即为功率。

液压千斤顶在工作时由小液压缸筒 3 将外部输入的机械能转换为液体的压力能, 再由大液压缸 6 将液体的压力能转换为机械能向外输出, 以推动负载。由此可知, 液压传动的过程就是机械能——液压能——机械能的能量转换过程。液压传动装置本质上是一种能量转换装置。液压传动的工作原理就是利用液体在密封容积发生变化时产生的压力能来实现运动和动力的传递。

## 1.2 液压传动系统的组成及工程表示

图 1.2 为一简化的液压传动系统, 其工作原理如下:

液压泵 3 由电动机驱动旋转, 从油箱 1 经过滤油器 2 吸油。当阀 5 的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 的阀芯的位置, 使之处于左端时, 液压缸活塞将反向运动。

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阀 11 和管道 12 流回油箱。液压缸的工作压力取决于负载。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。

由上述例子可以看出, 液压传动系统除了工作介质外, 主要由四大部分组成:

动力元件——液压泵。它将机械能转换成压力能, 给系统提供压力油。

执行元件——液压缸或液压马达。它将压力能转换成机械能, 推动负载做功。

控制元件——液压阀(流量、压力、方向控制阀等)。它们对系统中油液的压力、流量和

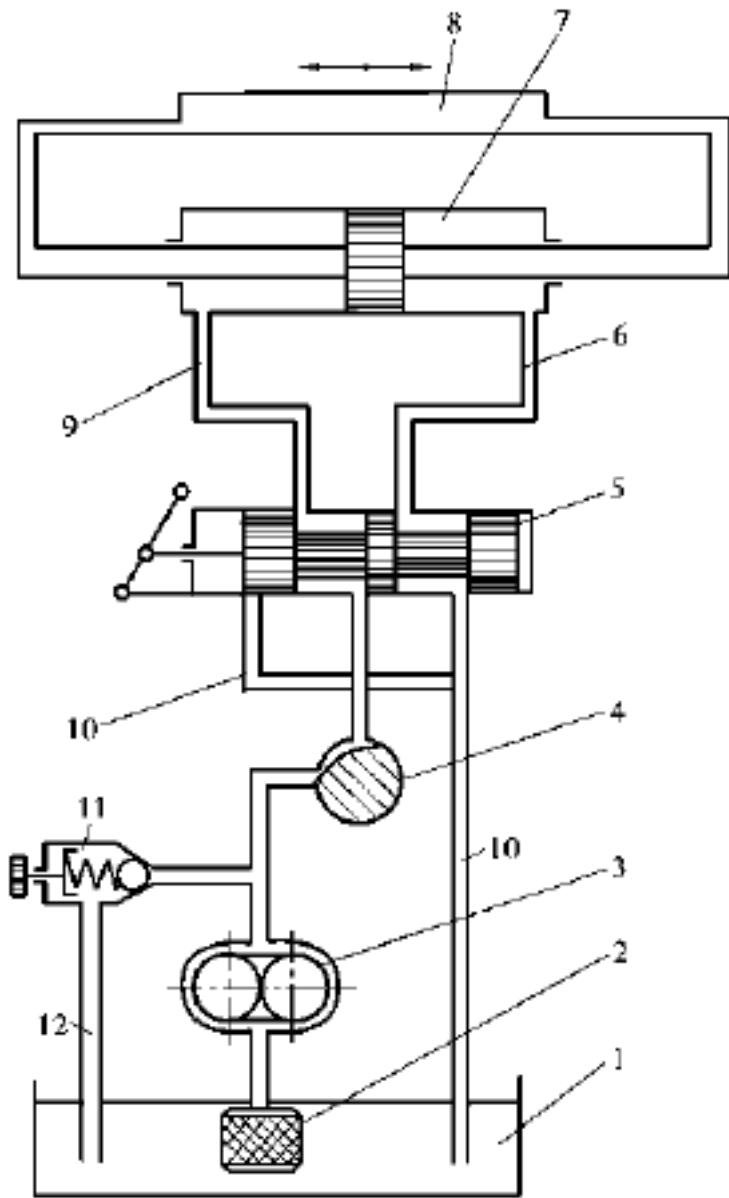


图 1.2 液压传动系统结构原理图

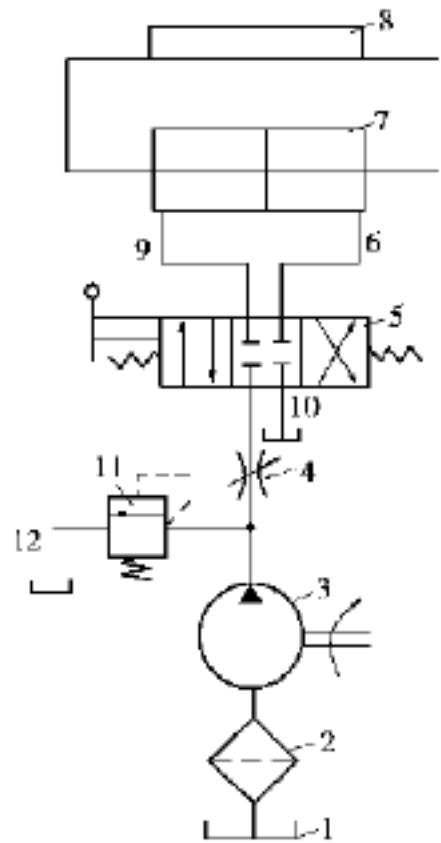


图 1.3 液压传动系统工作原理图

流动方向进行控制和调节。

辅助元件——系统中除上述三部分以外的其他元件,如油箱、管路、过滤器、蓄能器、管接头、压力表开关等。由这些元件把系统连接起来,以支持系统的正常工作。

图 1.2 所示液压系统中,各元件以结构符号表示。所构成的系统原理图直观性强,容易理解;但图形复杂,绘制困难。工程实际中均采用元件的标准职能符号绘制液压系统原理图。职能符号仅表示元件的功能,而不表示元件的具体结构及参数(元件职能符号参看附录 GB786.1 - 93)。图 1.3 即为采用标准职能符号绘制的液压系统工作原理图,简称液压系统图。

### 1.3 液压传动的优缺点

液压传动的主要优点:

能够方便地实现无级调速,调速范围大。

与机械传动和电气传动相比,在相同功率情况下,液压传动系统的体积较小,重量较轻。工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。

便于实现过载保护,而且工作油液能使传动零件实现自润滑,因此使用寿命较长。

操纵简单, 便于实现自动化, 特别是与电气控制联合使用时, 易于实现复杂的自动工作循环。

液压元件实现了系列化、标准化和通用化, 易于设计、制造和推广应用。

液压传动的主要缺点:

液压传动中不可避免地会出现泄漏, 液体也不可能绝对不可压缩, 故无法保证严格的传动比。

液压传动有较多的能量损失( 泄漏损失、摩擦损失等), 故传动效率不高, 不宜作远距离传动。

液压传动对油温的变化比较敏感, 不宜在很高和很低的温度下工作。

液压传动出现故障时不易找出原因。

## 小 结

液压传动利用液体的压力能来传递动力( 运动和力), 与其他传动方式特点不同。

液压系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件组成, 用液体作为工作介质。

液压系统的压力取决于负载, 执行元件的运动速度取决于进入它的液体的流量, 液压系统的功率取决于压力和流量。

液压元件及系统原理图按国家标准( GB786.1 - 93) 规定的图形符号绘制。

## 思考题与习题

- 1.1 什么叫液压传动? 简述其工作原理。
- 1.2 液压系统由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
- 1.3 液压系统的压力、速度、功率取决于什么?
- 1.4 简述液压传动的优缺点。

# 第 2 章 液压流体力学基础

液体是液压传动的工作介质,是能量进行传递的中间媒介。因此,了解液体的基本力学性质,掌握液体在平衡状态和运动状态下的力学规律,有助于正确理解液压传动原理,也是合理地设计和使用液压系统的理论基础。

## 2.1 液压油的主要性质及选用

### 2.1.1 液压油的主要性质

#### (1) 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

式中  $V$ ——液体的体积;

$m$ ——体积为  $V$  的液体的质量;

$\rho$ ——液体的密度。

密度是液体的一个重要物理参数,当液体温度或压力发生变化时,其密度也会发生变化。但其变化量一般很小,所以常取密度为定值。一般液压油的密度取  $900 \text{ kg/m}^3$ 。

#### (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。体积为  $V$  的液体,当压力增加  $p$  时,体积减小  $\Delta V$ ,则液体在单位压力变化下的体积相对变化量为:

$$\beta = - \frac{1}{p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2.2)$$

式中,  $\beta$  称为液体的压缩系数,因压力变化方向与体积变化方向相反,式中加一负号以保证

为正值。

的倒数称为液体的体积弹性模量,以  $K$  表示

$$K = \frac{1}{\beta} = - \frac{p}{V} \quad (2.3)$$

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

在常温下,纯净油液的体积弹性模量  $K$  取  $(1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$ , 数值非常大,故对于一般液压系统,可认为油液是不可压缩的,但当液压油中混入空气时,其可压缩性将显著增加,这会严重影响液压系统的工作性能。在有较高要求或压力变化较大的液压系统中,应力求减少油液中混入的气体及其他易挥发物质(汽油、煤油、乙醇、苯等)的含量。由于油液中的气体难以完全排除,实际计算中常取  $K = 0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

### (3) 粘性

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生的一种内摩擦力,这种现象叫做液体的粘性。液体只有在流动时才会呈现出粘性,静止液体是不呈现粘性的。

粘性使流动液体内部各处的速度不相等。如图 2.1 所示,若两平行平板间充满液体,下平板不动,而上平板以速度  $u_0$  向右平动。由于液体的粘性,紧靠下平板和上平板的液体层速度分别为零和  $u_0$ ,而中间各液层的速度则视它距下平板的距离按线性规律变化。

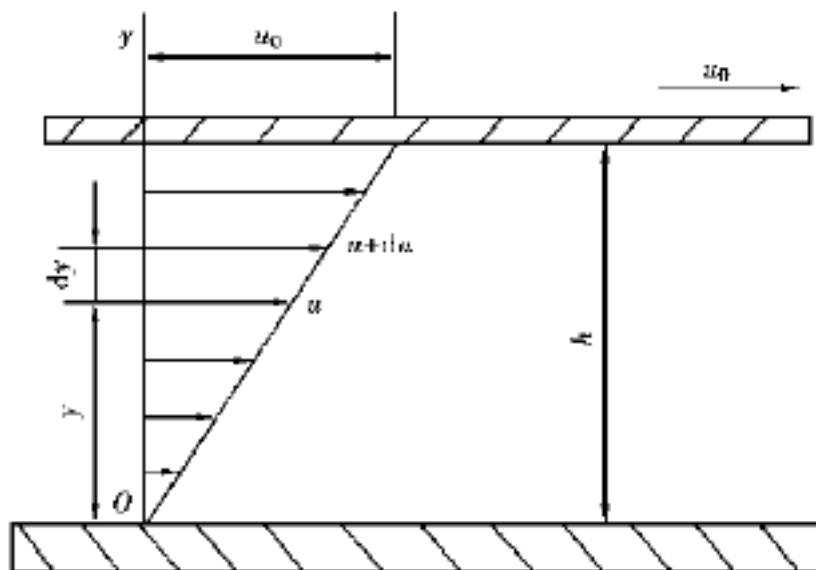


图 2.1 液体粘性示意图

实验测定指出:液体流动时相邻液层间的内摩擦力  $F_t$  与液层接触面积  $A$ 、液层间的速度梯度  $du/dy$  成正比,即

$$F_t = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.4)$$

式中,  $\mu$  为比例常数,称为粘性因数或粘度。如以  $\tau$  表示切应力,即单位面积上的摩擦力,则

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

由式(2.5)可知,在静止液体中,速度梯度为零,内摩擦力为零,故液体在静止状态下是不呈现粘性的。

粘度是衡量流体粘性的指标。常用的粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度,下面仅介绍

前两者。

### 1) 动力粘度 $\mu$

动力粘度可由式(2.5)导出, 即

$$\mu = \frac{dy}{du} \quad (2.6)$$

由此可知, 动力粘度的物理意义是: 液体在单位速度梯度下流动时, 液层间单位面积上产生的内摩擦力。动力粘度  $\mu$  又称绝对粘度。

动力粘度  $\mu$  的单位为帕秒 (Pa · s) 或  $N \cdot s/m^2$ 。

### 2) 运动粘度

动力粘度  $\mu$  与液体密度  $\rho$  之比叫做运动粘度  $\nu$ , 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.7)$$

运动粘度没有明确的物理意义。在理论分析和计算中常遇到  $\mu$  与  $\rho$  的比值, 为方便起见用“ $\nu$ ”表示。其单位中有长度和时间的量纲, 故称为运动粘度。运动粘度  $\nu$  的单位为  $mm^2/s$ 。

我国液压油的粘度等级是用 40℃ 时的运动粘度 (以  $mm^2/s$  计) 的中心值来划分的, 如某牌号为 L—HL22 的普通液压油在温度为 40℃ 时的运动粘度为  $22mm^2/s$ 。

液体的粘度随温度和压力的变化而变化。一般来说, 温度升高, 粘度下降; 压力升高, 粘度增加。在液压传动中, 由于压力不是特别高, 一般不考虑其对粘度的影响。温度对粘度的影响较大, 应予以考虑。一般用粘度指数来衡量粘度随温度的变化程度, 粘度指数越大, 粘度受温度的影响越小。

## (4) 其他性质

液压油还有其他一些性质, 如稳定性 (热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、剪切稳定性等)、抗泡沫性、抗乳化性、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, 都对它的选择和使用有重要影响。这些性质需要在精炼的矿物油中加入各种添加剂来获得。相关知识, 可参阅有关资料。

## 2.1.2 液压油的选用

### (1) 液压传动对工作介质的性能要求

不同的工作机械和不同的使用情况对液压传动工作介质的要求有很大的不同。为了很好地传递运动和动力, 液压传动工作介质应具备如下性能:

合适的粘度, 较好的粘温特性。

润滑性能好。

质地纯净, 杂质少。

对金属和密封件有良好的相容性。

对热、氧化、水解和剪切都有良好的稳定性。温度低于 57℃ 时, 油液的氧化速度缓慢, 之后, 温度每增加 10℃, 氧化的程度增加一倍, 所以, 控制液压传动工作介质的温度特别重要。

抗泡沫好, 抗乳化性好, 腐蚀性小, 防锈性好。

体积膨胀系数小, 比热容大。

流动点和凝固点低, 闪点(明火能使油面上油蒸气闪燃, 但油本身不燃烧时的温度)和燃点高。

对人体无害, 成本低。

对轧钢机、压铸机、挤压机和飞机等液压系统则须突出耐高温、热稳定、不腐蚀、无毒、不挥发、防火等项要求。

表 2.1 液压系统工作介质分类(GB11118—89)

分 类	名 称	代 号	组成和特性	应 用
石油型	精制矿物油	L—HH	无抗氧化剂	低压液压系统、循环润滑系统
	普通液压油	L—HL	HH 油, 并改善其防锈和抗氧化性	低压液压系统、循环和非循环润滑系统
	抗磨液压油	L—HM	HL 油, 并改善其抗磨性	低、中、高压液压系统
	高粘度指数液压油	L—HR	HL 油, 并改善其粘温性	环境恶劣、温度变化较大的低压液压系统
	高粘度指数抗磨液压油	L—HV	HM 油, 并改善其粘温特性	环境恶劣、温度变化较大的低、中、高压液压系统
	液压导轨油	L—HG	HM 油, 并改善其粘—滑特性	使用于液压和导轨润滑系统合用一种油品的机床
乳化型	水包油乳化液	L—HFAE	含水大于 80%。难燃性好, 便宜; 但低温性、粘温性、润滑性差	用于需要难燃液、对润滑性要求不高的场合, 如煤矿液压支架
	油包水乳化液	L—HFB	含水小于 40%。难燃性较好; 但低温性、粘温性、润滑性较差	
合成型	水—聚合物液	L—HFC	含乙二醇或其他聚合物的水溶液。低温、粘温、难燃性好	
	磷酸酯液	L—HFDR	磷酸酯中加入各种添加剂。难燃性好, 但粘温性、低温性差	

## (2) 液压油的选用

液压系统通常采用石油型液压油。在特殊场合还可用乳化型、合成型液压油。各类型液压油的有关情况参见表 2.1。

一般可根据液压系统的使用性能和工作环境等因素确定液压油的品种。当品种确定后,主要考虑油液的粘度。在确定油液粘度时主要应考虑系统工作压力、环境温度及工作部件的运动速度。当系统的工作压力较大、环境温度较高、工作部件运动速度较低时,为了减少泄漏,宜采用粘度较高的液压油。当系统工作压力较小、环境温度较低而工作部件运动速度较高时,为了减少摩擦功率损失,宜采用粘度较低的液压油。

当选购不到合适粘度的液压油时,可采用调和的方法得到满足粘度要求的调和油。当液压油的某些性能指标不能满足某些系统较高要求时,可在油中加入各种改善其性能的添加剂——抗氧化、抗泡沫、抗磨损、防锈以及改进粘温特性的添加剂,使之适用于特定的场合。

液压油的牌号及其技术性能指标,可查阅有关资料。

## 2.2 静止液体的力学性质

这里所定义的静止,是指液体内部质点之间没有相对运动,因而液体的粘性不会呈现出来。

### 2.2.1 液体静压力及其特性

作用在液体上的力有质量力和表面力两种类型。质量力作用于液体的所有质点上,如重力、惯性力等;表面力作用在所研究液体的某表面上,如切向力、法向力等。表面力可以是其他物体作用在液体上的力,也可以是一部分液体作用在另一部分液体上的力。

#### (1) 液体的静压力

静止液体在单位面积上所受的力称为静压力。

若静止液体内某点处的微小面积  $A$  上作用有法向力  $F$ , 当  $A \rightarrow 0$  时, 则该点的静压力可表示为:

$$p = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F}{A} \quad (2.8)$$

若在液体的面积  $A$  上所受均匀分布的作用力  $F$  时, 则静压力可表示为:

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

液体静压力在物理学上称为“压强”, 在工程实际中习惯称为“压力”。

液体的压力是在外力挤压下产生的。这些外力就是前述的质量力和表面力。由于液体是流体, 要使其受到挤压, 必须在密闭容器中进行。

## (2) 液体静压力的特性

液体静压力垂直于作用面,方向与该面的内法线方向一致。

静止液体内任一点所受的静压力在各个方向上都相等。

## (3) 液体静力学基本方程

在重力作用下静止液体的受力情况可用图 2.2 表示。在液体中任取一点 A,若要求得液体 A 点处的压力  $p$ ,可从液体中取出一个底部通过该点的垂直小液柱。设液柱的底面积为  $dA$ ,高度为  $h$ ,如图 2.2 所示。液柱本身重力为  $G = \rho gh dA$ ,由于液柱处于平衡状态,则力平衡方程为:

$$pdA = p_0 dA + \rho gh dA \quad (2.10)$$

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2.11)$$

式中  $p_0$ ——作用在液面上方的压力;

$\rho$ ——液体密度。

式(2.11)为液体静力学的基本方程。

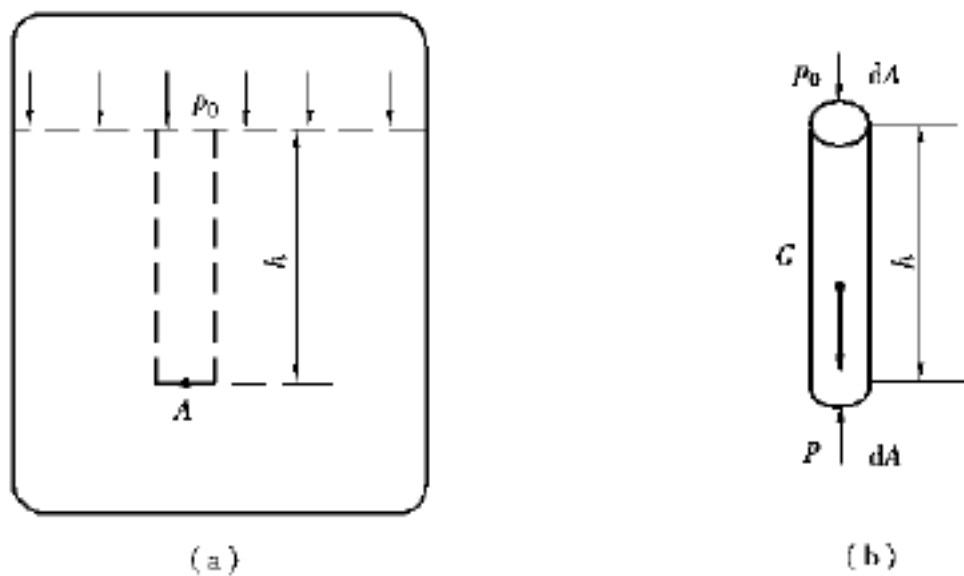


图 2.2 重力作用下静止液体的受力

由式(2.11)可知,静止液体内任意点的压力由两部分组成:即液面外压力  $p_0$  和液体自重对该点的压力  $\rho gh$ 。静止液体内的压力随液体的深度呈线性规律分布。静止液体内同一深度的各点压力相等,压力相等的所有点组成的面为等压面。在重力作用下,静止液体的等压面是一个水平面。

## (4) 压力表示方法及单位

压力的表示方法有绝对压力和相对压力两种。绝对压力以绝对真空为基准来进行度量;相对压力是以大气压  $p_0$  为基准来进行度量。

绝对压力、大气压力、相对压力的关系是:

$$\text{绝对压力} = \text{相对压力} + \text{大气压力}$$

$$\text{相对压力} = \text{绝对压力} - \text{大气压力}$$

绝大多数压力表测得的压力都是相对压力,因而工程中习惯把相对压力称做“表压力”。当绝对压力  $>$  大气压力时,表压力为正;当绝对压力  $<$  大气压力时,表压力为负。工程上把负