

煤炭职业教育课程改革规划教材

MEITAN ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

液压传动与采掘机械

YEYA CHUANDONG YU CAIJUE JIXIE

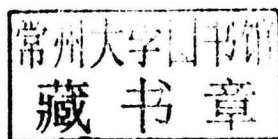
● 主 编 张书征 李寿昌

煤炭工业出版社

煤炭职业教育课程改革规划教材

液压传动与采掘机械

主编 张书征 李寿昌



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

液压传动与采掘机械 / 张书征, 李寿昌主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2012

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978-7-5020-3960-8

I. ①液… II. ①张… ②李… III. ①采掘机-液压传动-职业教育-教材 IV. ①TD420.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 247827 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787\text{mm} \times 1092\text{mm}^{1/16}$ 印张 $12^{3/4}$
字数 298 千字 印数 1—3 000
2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷
社内编号 6781 定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书主要介绍了液压传动的基础理论，液压元件的结构、工作原理及液压系统的维护，采煤机械、液压支护设备及掘进机械的结构、工作原理、性能、使用维护及故障处理。

本书可作为煤炭职业院校矿山机械专业、矿山机电专业的教学用书，也可作为现场工程技术人员参考用书。

前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的要求，加快煤炭职业教育教材建设步伐，依据培养技术应用型专门人才的要求和煤炭行业的自身特点，在广泛调研和征求意见的基础上，本着科学性、实用性、先进性的编写指导思想，我们组织有关教师编写了本教材。本教材在编写过程中注重职业教育的特点，简化了理论体系，以实用、必需、够用为原则，力求使所讲内容尽可能与现场实践相结合。

本教材由云南能源职业技术学院组织编写，由张书征、李寿昌任主编。具体编写分工如下：张书征编写第一章，李寿昌编写第二章至第四章。全书由张书征统稿。

本教材在编写过程中，吸收和借鉴了同类教材和书籍的精华，在此谨对各位原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在错误和不妥之处，恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改。

编 者

2011 年 12 月

目 次

第一章 液压传动	1
第一节 液体基本知识	1
第二节 液压传动的基本知识	5
第三节 液压泵	13
第四节 液压马达与液压缸	19
第五节 液压控制阀	26
第六节 辅助元件	42
第七节 液压基本回路	47
第八节 液压传动系统的使用维护	56
第二章 采煤机械	59
第一节 滚筒采煤机	59
第二节 电牵引采煤机	78
第三节 连续采煤机	93
第四节 其他类型的采煤机	103
第五节 采煤机的选用	108
第六节 采煤机的操作使用与维护	113
第七节 采煤机常见故障分析与处理	117
第三章 液压支护设备	122
第一节 单体液压支柱与滑移顶梁支架	122
第二节 液压支架	127
第三节 乳化液泵站	137
第四节 液压支架的选用	142
第五节 液压支架的安装、使用维护及故障处理	146
第四章 掘进机械	155
第一节 钻孔机械	155
第二节 装载机	174
第三节 掘进机	186
参考文献	196

第一章 液 压 传 动

第一节 液体基本知识

液压传动是用液体作为工作介质来传递能量和进行控制的传动方式，其中的液体称为工作介质，一般为矿物油，所以应先了解和熟悉液体的基本知识。

一、液体静力学

液体静力学是研究液体在静止和相对静止状态下的力学规律及这些规律在工程上的应用。在静力学研究中，由于液体是静止的，质点间无相对运动，液体不显示黏性，因此液体静力学规律和液体的黏性无关。

1. 液体静压力及其特性

作用于液体上的力按其性质分为表面力和质量力两类。表面力是指作用在静止液体表面上的力，它是由与静止液体相互接触的物体产生的，如大气对井水的压力、液压缸活塞对油液的压力等。质量力是作用于液体每一质点上，并与液体质量成正比的力，如重力、惯性力等。

1) 液体静压力

液体静压力是指液体处于静止状态时单位面积上所受的法向作用力。若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上，则静压力 p 为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

若在静止液体中围绕某点取一面积 ΔA ，设作用在这小块面积 ΔA 上的法向力为 ΔF 。当面积 ΔA 无限缩小到一点时，这个比值的极限称为该点的静压力，即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-2)$$

2) 液体静压力的特性

(1) 液体静压力的作用方向总是沿作用面的内法线方向。这说明液体静压力的方向总是垂直指向作用面。

(2) 静止液体内任一点的静压力与作用方位无关，其值均相等。这说明静止液体中任一点来自各个方向的静压力相等，与静压力的作用方向没有关系。

2. 液体静力学基本方程

液体静力学基本方程描述了液体静压力的分布规律，下面导出基本方程。如图 1-1 所示，在静止液体中任取一微小倾斜圆柱体，微小圆柱体上、下底面的压力分别为 p_0 和 p ，高差为 h ，长度为 L ，微小圆柱体的重力为 G ，重力与轴线的夹角为 α ，假设微

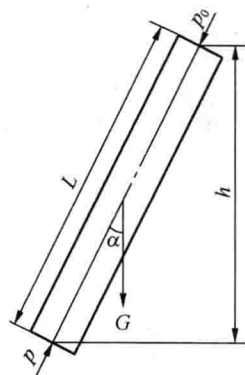


图 1-1 液体静力学
基本方程推导

小圆柱体的底面积为 dA ，则微小圆柱体的受力情况如下：

- (1) 作用在上底面上的力为 $p_0 dA$ 。
- (2) 作用在下底面上的力为 $p dA$ 。
- (3) 重力及重力在轴线上的分力分别为 $\gamma L dA$ 、 $\gamma L dA \cos \alpha$ 。
- (4) 作用在微小圆柱体圆柱面上的力与圆柱面垂直，在轴线上的分力为零，所以不考虑微小圆柱体圆柱面的受力。

微小圆柱体轴向受力平衡方程为

$$p dA - p_0 dA - \gamma L dA \cos \alpha = 0$$

因 $L \cos \alpha = h$ ，所以

$$p = p_0 + \gamma h \tag{1-3}$$

式中 p ——液体内某点的静压力，Pa；
 p_0 ——液面压力，Pa；
 γ ——液体的重度， N/m^3 ；
 h ——某点在液面下的深度，m。

式 (1-3) 为液体静力学基本方程。该方程表明：

- (1) 在重力作用下，液体内的静压力随着深度的增加而增大；静止液体内的压力沿液深呈线性规律分布。
- (2) 静压力由两部分组成，即液面压力 p_0 和单位面积上的重力 γh 。
- (3) h 为常数时， p 为常数，即同一容器内深度相同的各点静压力也相等。

在静止液体中，由压力相等各点组成的面称为等压面。在静止、同种、连续的液体中，水平面就是等压面。如果不能同时满足这 3 个条件，水平面就不是等压面。

3. 静压力的计算基准

静压力的计算基准有两种，即绝对真空基准和大气压力基准。

绝对压力是指以绝对真空为基准（零点）算起的压力，用 p 表示；相对压力是指以大气压力 p_a 为基准（零点）算起的压力，用 p_b 表示。绝对压力、相对压力和大气压力之间的关系为

$$p = p_a + p_b \tag{1-4}$$

绝对压力只能是正值，但相对压力可能是正值，也可能是负值。相对压力为正值时称为正压，相对压力为负值时称为负压。负压的绝对值称为真空度，用 p_z 表示。常用压力表测量的压力为正压，真空表测量的压力为真空度。真空度的计算公式为

$$p_z = |-p_b| = p_a - p \tag{1-5}$$

图 1-2 所示为上述几种压力之间的关系。

4. 液体静压力的传递（帕斯卡定律）

密闭容器内，静止液体表面上的压力变化将等值传递到液体中的任意点，这就是静压力的等值传递规律，也称帕斯卡定律。由液体静力学基本方程 $p = p_0 + \gamma h$ 可知， p_0 与 γh 无关，属于表面力。 p_0 会等值传递到液体内的各点上，使



图 1-2 几种压力之间的关系图

任意一点的压力发生相应的改变。

静压力的等值传递规律在工程上应用广泛,如水压机、油压千斤顶等。图 1-3 所示为水压机工作原理。

在相连通的两个容器内的液体表面上各置一个活塞,面积分别为 A_1 和 A_2 , 在小活塞上施加力 F_1 , 当小活塞处于平衡状态时, 其下液体的压力应为

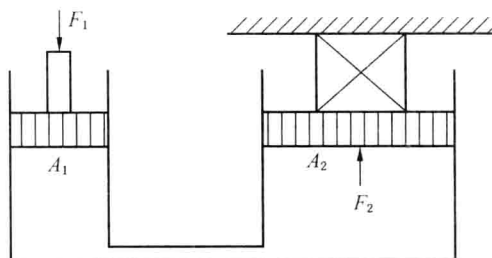


图 1-3 水压机工作原理图

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

根据帕斯卡定律, p 将等值传递到大活塞下的液体中, 使大活塞产生的作用力为

$$F_2 = pA_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-6)$$

由于 $A_2 > A_1$, 所以作用在大活塞上的力 F_2 要比小活塞上的力 F_1 大很多。

二、液体动力学

液体动力学是研究液体运动的力学规律及这些规律在工程上的应用。

1. 基本概念

1) 稳定流和非稳定流

流动液体具有一定的速度、压力、密度、温度等运动要素, 一般密度和温度可看成常数, 所以运动要素主要有速度和压力。液体在流动时, 各质点的运动要素是随时间和空间位置的变化而变化的。当液体质点在流经某一空间坐标点时, 它的运动要素不随时间改变, 称这种运动为稳定流; 否则称之为非稳定流。

实际中, 稳定流较少, 但只要各运动要素变化较小, 或者在较长时间内平均值是稳定不变的, 便视为稳定流。如矿井排水、矿井通风、水暖工程中等液体的流动都可以看成稳定流。稳定流是工程研究的对象。

2) 过流断面

过流断面是指与液体流动方向相垂直的横断面, 用符号 A 表示, 单位为 m^2 。

3) 流量与断面平均流速

流量是指单位时间内通过过流断面的液体的体积, 用 q 表示, 单位为 m^3/s 。

断面平均流速是指流量除以过流断面得到的商 (图 1-4), 用 v 表示 (单位为 m/s), 其计算公式为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-7)$$

2. 液体流动的连续性方程

液体的连续性方程是质量守恒定律在液体力学中的一种应用形式。如图 1-5 所示, 在单位时间内流入断面 1—1 的液体质量应等于流出断面 2—2 的液体质量, 即

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 = \text{常数}$$

两边同除以 ρ , 得

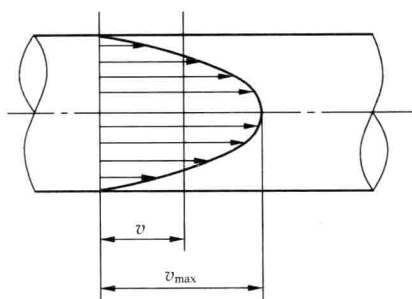


图 1-4 断面平均流速

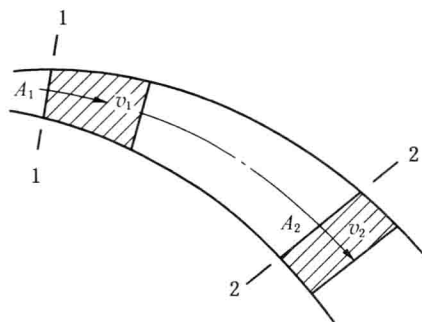


图 1-5 连续性方程的推证

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = q = \text{常数} \quad (1-8)$$

或

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

式 (1-8) 称为连续性方程。

3. 液体的能量方程

自然界中能量是守恒的，液体的能量也是守恒的。液体在流动中内部能量可以相互转换，但总的能量保持不变。液体内部的能量转换规律称为能量方程，又叫伯努利方程，它是能量守恒与转换定律在液体力学中的具体应用，是液体力学中重要的基本方程。

1) 能量方程的推导

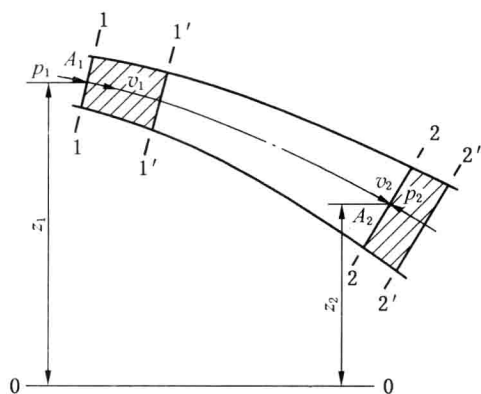


图 1-6 能量方程的推证

如图 1-6 所示，重力作用下的液体作稳定流动，在其上任取两断面 1—1' 和 2—2'。两断面的面积分别为 A_1 、 A_2 ，流速分别为 v_1 、 v_2 ，压力分别为 p_1 、 p_2 ，距离基准面 0—0 的高度分别为 z_1 、 z_2 。经过 dt 时间后，流段由 1—2 位置流到 1'—2' 位置。根据动能定理，外力在 dt 时间内所做的功等于该时间段的动能增量。则压力所做的功为

$$p_1 A_1 v_1 dt - p_2 A_2 v_2 dt = (p_1 - p_2) q dt$$

重力所做的功为

$$\begin{aligned} mgz_1 - mgz_2 &= \rho A_1 v_1 dt g z_1 - \rho A_2 v_2 dt g z_2 \\ &= \gamma q (z_1 - z_2) dt \end{aligned}$$

动能的增量为

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho q dt$$

所以

$$(p_1 - p_2) q dt + \gamma q (z_1 - z_2) dt = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho q dt$$

整理并移项得

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1-9)$$

式(1-9)为理想液体的能量方程,即理想液体的伯努利方程。对于实际液体,由于黏性的存在,流动中必然产生摩擦阻力,消耗一部分能量。另外,以断面平均流速代替实际流速计算动能时,需乘以修正因数 α ,如果用 h_w 表示单位重力液体从一断面流到另一断面的能量损失,则实际液体总流的能量方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \quad (1-10)$$

式中 α_1 、 α_2 ——动能修正因数。

式(1-10)两边乘以 γ ,即可变为液压传动常用的能量方程,即

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{\alpha_1 \rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g z_2 + \frac{\alpha_2 \rho v_2^2}{2} + \Delta p_w \quad (1-11)$$

式中 Δp_w ——单位体积液体的能量损失,常称为压力损失。

2) 能量方程的意义

从物理学的观点来看,能量方程中的各项表示液体的某种能量,其单位是J/N或m。

z 表示单位重力液体所具有的位置势能,简称单位位能或比势能。 p/γ 表示单位重力液体所具有的压力能,简称单位压能或比压能。 $\alpha v^2/2g$ 表示单位重力液体所具有的速度能,简称单位动能或比动能。 h_w 表示单位重力液体从一断面流至另一断面因克服各种阻力所引起的能量损失,简称单位能量损失。 $z + p/\gamma + \alpha v^2/2g$ 表示单位重力液体所具有的总能量。

如果用 E_1 和 E_2 分别表示两个断面的总能量,则式(1-11)可写成

$$E_1 = E_2 + h_w$$

可见, $E_1 > E_2$ 。这说明液体总是从高能量的断面流向低能量的断面。

3) 能量方程的应用条件

(1) 液体的流动必须是稳定流。实际上稳定流很少,但只要各运动要素变化较小,或者在较长时间内平均值是稳定不变的,便可视为稳定流。

(2) 液体不可压缩。能量方程适用于压缩性很小的液体,也适用于无压缩性或压缩性很小的气体。

(3) 所选的两过流断面为缓变流。

(4) 两断面间没有能量输入或输出。如果有能量输入或输出,能量方程应写为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \pm H = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

式中 $\pm H$ ——单位重力液体获得或失去的能量, m。

(5) 所选两断面之间应没有分流或合流情况,即符合连续性方程, q 为常数。

(6) 两断面的压力可取为绝对压力,亦可取为相对压力,但二者的基准应统一。

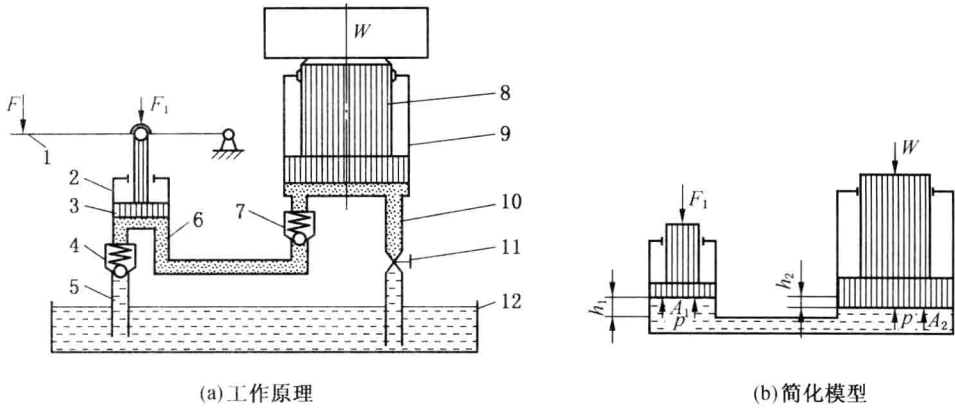
第二节 液压传动的基本知识

一、液压传动的工作原理及系统组成

(一) 液压传动的工作原理

液压传动是用液体作为工作介质来传递能量和进行控制的传动方式。

液压传动的工作原理可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。图 1-7a 所示为液压千斤顶的工作原理图，大油缸和大活塞组成举升液压缸。杠杆手柄、小油缸、小活塞、单向阀组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管从油箱中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升油缸的下腔，迫使大活塞向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升油缸下腔，使重物逐渐升起。如果打开截止阀，举升油缸下腔的油液通过管道 10、截止阀流回油箱，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作过程。



1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小活塞；4、7—单向阀；5—吸油管；6、10—管道；
8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

图 1-7 液压千斤顶工作原理及简化模型图

通过对液压千斤顶工作过程的分析，可以得出液压传动的工作原理：利用液压泵将电动机或其他原动机输出的机械能转变为液体的压力能，然后在控制元件的控制和辅助元件的配合下，通过执行元件把液体的压力能转变为机械能，从而完成直线或回转运动并对外做功。

图 1-7b 所示为液压千斤顶的简化模型，据此可分析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

当大活塞上有重物负载 W 时，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到液体各点，那么在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p ，即小活塞上必须施加力 F_1 ($F_1 = pA_1$)，因而有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-12)$$

$$W = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1-13)$$

式中 A_1 、 A_2 ——小活塞和大活塞的作用面积；

F_1 ——杠杆手柄作用在小活塞上的力。

由式 (1-12) 可知, 液压传动的工作压力取决于负载, 而与输入的液体流量大小无关。

2. 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性, 则从图 1-7b 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油缸扩大的体积, 即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2 \quad (1-14)$$

式中 h_1 、 h_2 ——小活塞和大活塞的位移。

将式 (1-14) 两端同除以活塞移动的时间 t , 得

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = q \quad (1-15)$$

或
$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{q}{A_2} \quad (1-16)$$

式中 v_1 、 v_2 ——小活塞和大活塞的运动速度。

式 (1-16) 说明, 活塞的运动速度取决于进入液压缸的流量, 而与液体压力大小无关。

3. 功率关系

由式 (1-13) 和式 (1-16) 可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1-17)$$

式 (1-17) 左端为输入功率, 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 (1-17) 还可得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1-18)$$

由式 (1-18) 可以看出, 液压传动的功率 P 可以用压力 p 和流量 q 的乘积来表示, 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。

应该指出, 液压传动的工作压力取决于负载, 而与流量大小无关; 执行元件的速度取决于流量, 而与液体压力大小无关。

(二) 液压传动系统的组成

液压传动系统简称液压系统。一个完整的、能够正常工作的液压系统, 由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和工作介质组成。

(1) 动力元件。它是供给液压系统压力油、把机械能转换成压力能的装置。最常见的是液压泵。

(2) 执行元件。它是把压力能转换成机械能的装置。其类型有作直线运动的液压缸及作回转运动的液压马达。

(3) 控制元件。它是对系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。控制元件常称控制阀, 其类型有压力控制阀、方向控制阀和流量控制阀等。

(4) 辅助元件。是指除上述 3 部分以外的其他元件, 如管路、管接头、油箱、蓄能器、密封件和监测仪表等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。

(5) 工作介质。它是能量的载体, 也是液压元件的润滑剂。

二、工作液体

(一) 工作液体的主要物理性质

1. 密度与重度

液体的密度是指单位体积的液体的质量，用 ρ 表示（单位为 kg/m^3 ），其计算公式为

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-19}$$

式中 m ——液体的质量， kg ；

V ——液体的体积， m^3 。

液体的重度是指单位体积的液体的重力，用 γ 表示（单位为 N/m^3 ），其计算公式为

$$\gamma = \frac{G}{V} \tag{1-20}$$

式中 G ——液体的重力， N ；

V ——液体的体积， m^3 。

因 $G = mg$ ，由式（1-19）和式（1-20）得液体的重度与密度的关系式为

$$\gamma = \rho g \tag{1-21}$$

式中 g ——当地的重力加速度， m/s^2 。一般取 $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

需要说明的是：液体的密度与它在地球上的位置无关，而液体的重度与它所处的位置有关，因为地球上不同地点的重力加速度不同，所以重度也就不一样。另外，液体的密度和重度受外界压力和温度的影响，当指出某种液体的密度或重度时，必须指明所处的外界压力和温度条件。

表 1-1 给出了几种常见液体在不同温度下的密度和重度，以便选用。

表 1-1 几种常见液体在标准大气压（101325 Pa）和不同温度下的密度与重度

液体名称	密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	重度/ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	测量温度/ $^{\circ}\text{C}$
水	999.87	9.809	0
水	999.72	9.807	10
水	998.2	9.792	20
水银	13550	132.926	20
酒精	790	7.742	20

2. 压缩性和膨胀性

液体的压缩性是指液体的体积随压力的增加而缩小的性质。液体的膨胀性是指液体的体积随温度的升高而增大的性质。

液体的压缩性与膨胀性很小，当压力和温度变化不大时，可以认为液体的体积不发生变化，既不可压缩又不膨胀。但是在一些特殊情况（如水击现象）下，就必须考虑其影响，否则液体的压缩性与膨胀性引起的影响，将会造成很大的误差。

3. 黏性

液体流动时，液体分子间因相对运动产生内摩擦力而阻碍其相对运动的性质，称为液

体的黏性。黏性对液体的运动起阻碍作用。

如图 1-8 所示, 设上平板以速度 u_0 向右运动, 下平板固定不动, 紧贴于上平板上的液体黏附于上平板上, 其速度与上平板相同。紧贴于下平板上的液体黏附于下平板上, 其速度为零。中间液体的速度按线性分布。这种流动可看成是许多无限薄的液体层在运动, 当运动较快的液体层在运动较慢的液体层上滑过时, 两层间由于黏性就产生了内摩擦力。为了维持液体的运动状态, 必须消耗一定的能量来克服内摩擦力, 这就是液体运动时产生能量损失的原因之一。

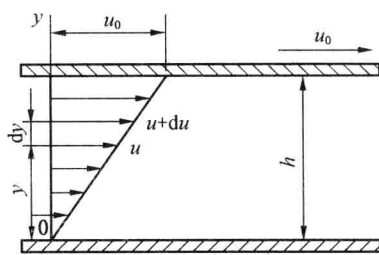


图 1-8 液体的黏性示意图

不同的液体, 其黏性一般也不同。黏性的大小用黏度表示, 通常有动力黏度、运动黏度和相对黏度 3 种度量方法。

动力黏度反映液体黏性的动力特征, 表征液体抵抗变形的能力, 用 μ 表示 (单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)。运动黏度表示液体在一个标准大气压和同一温度下, 液体的动力黏度与其密度的比值, 用 ν 表示 (单位为 m^2/s)。相对黏度是指在规定的条件下用特定的黏度计直接测定的黏度。根据测定条件不同, 有恩氏黏度、赛氏黏度和雷氏黏度几种, 各国采用的相对黏度也不同, 我国采用恩氏黏度。

压力和温度对液体的黏性都有影响, 液体的黏性随压力的升高而增大, 但在压力不很高时, 其黏性变化很小, 可以忽略。温度对油液黏度的影响很大, 当油温升高时, 其黏度显著下降, 这一特性称为油液的黏温特性。它直接影响液压系统的性能和泄漏量, 因此希望油液的黏度随温度的变化越小越好。

(二) 工作液体的选择

1. 对工作液体的要求

工作液体是液压传动系统的重要组成部分, 是用来传递能量的工作介质。除传递能量外, 它还起着润滑运动部件和保护金属不被锈蚀的作用。工作液体的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。从液压系统使用工作液体的要求来看, 有下面几点:

(1) 适宜的黏度和良好的黏温性能。一般液压系统所用的液压油其黏度为 $11.5 \times 10^{-6} \sim 35.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ($2 \sim 5^\circ \text{E}_{50}$)。

(2) 润滑性能好。在液压传动机械设备中, 除液压元件外, 其他一些有相对滑动的零件也要用液压油来润滑, 因此液压油应具有良好的润滑性能。为了改善液压油的润滑性能, 可加入添加剂以增加其润滑性能。

(3) 良好的化学稳定性。良好的化学稳定性主要体现在对热、氧化、水解、相容都具有良好的稳定性。

(4) 对金属材料具有防锈性和防腐性。

(5) 比热、热传导率大, 热膨胀系数小。

(6) 抗泡沫性好, 抗乳化性好。

(7) 油液纯净, 含杂质少。

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

此外，对油液的无毒性、价格便宜等，也应根据不同的情况有所要求。

2. 工作液体的品种及黏度的确定

1) 液压油品种的选择

液压油可以分为矿物型液压油和难燃型液压油两大类，其中难燃型液压油包括合成型和乳化型两种。液压油的主要品种及其特性和用途见表 1-2。

表 1-2 液压油的主要品种及特性和用途

类型	名 称	ISO 代号	特 性 和 用 途
矿物型	基础油	L-HH	无添加剂的石油基液压油，抗氧化性、抗泡沫性较差，主要用于机械润滑
	普通液压油	L-HL	精制矿物油加添加剂，提高抗氧化和防锈性能，适用于一般设备的中低压系统
	抗磨液压油	L-HM	L-HL 油加添加剂，改善抗磨性能，适用于工程机械、车辆液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 油加添加剂，改善黏温特性，适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	低温液压油	L-HV	可用于环境温度 -40 ~ -20 ℃ 的高压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂，改善黏温特性，适用于对黏温特性有特殊要求的低压系统
合成型	水-乙二醇液	L-HFC	难燃，黏温特性和抗蚀性好，能在 -30 ~ 60 ℃ 温度范围内使用，适用于有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃，润滑抗磨性和抗氧化性能良好，能在 -54 ~ 135 ℃ 温度范围内使用，但有毒，适用于有抗燃要求的高压精密系统中
乳化型	水包油乳化液	L-HFA	其含油为 5% ~ 10%，含水量为 90% ~ 95%，另加各种添加剂。其特点是难燃，黏温特性好，有一定的防锈能力，但润滑性差，易泄漏
	油包水乳化液	L-HFB	其含油为 60%，含水量为 40%，另加各种添加剂。其特点是有很好的润滑性、防锈性、抗燃性，但使用温度不能高于 65 ℃

矿物型液压油的润滑性和防锈性好，黏度等级范围也较宽，因而在液压系统中应用很广。矿物型液压油具有可燃性，为了安全起见，在一些高温、易燃、易爆的工作场合，常用水包油、油包水等乳化液或水-乙二醇、磷酸酯等合成液。

2) 液压油黏度等级的确定

黏度对液压系统工作的稳定性、可靠性、效率及磨损都有显著的影响。在一定条件下，选用的油液黏度太高或太低都会影响系统的正常工作。黏度高的油液流动时产生的阻力较大，克服阻力所消耗的功率较大，而此功率损耗又将转换成热量使油温上升。黏度太低会使泄漏量加大，使系统的容积效率下降。

在确定黏度时可根据设备厂家推荐的品种号数来选用，或者根据系统的工作环境、工

作压力及经济性等因素综合考虑。

(1) 工作压力。为减少泄漏，对于工作压力较高的液压系统，宜选用黏度较大的液压油。在一般环境温度 ($t < 38\text{ }^{\circ}\text{C}$) 下，可根据不同压力级别来选择黏度，即低压 ($0 < p < 2.5\text{ MPa}$) 时， $v = 10 \sim 30\text{ cSt}$ ；中压 ($2.5\text{ MPa} < p < 8\text{ MPa}$) 时， $v = 20 \sim 40\text{ cSt}$ ；中高压 ($8\text{ MPa} < p < 16\text{ MPa}$) 时， $v = 30 \sim 50\text{ cSt}$ ；高压 ($16\text{ MPa} < p < 32\text{ MPa}$) 时， $v = 40 \sim 60\text{ cSt}$ 。

(2) 运动速度。为了减小液流的摩擦阻力，当液压系统的工作部件运动速度较高时，宜选用黏度较低的液压油。

(3) 环境温度。周围环境温度超过 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时应适当提高油液的黏度，夏季选黏度较高的油液，冬季选黏度较低油液。

(4) 液压泵的类型。在液压系统的所有元件中，以液压泵对液压油的性能最为敏感，因为泵内零件的运动速度很高，承受的压力较大，润滑要求苛刻，温升高，因此常根据液压泵的类型及要求来选择液压油的黏度。

各类液压泵适用的黏度范围及牌号见表 1-3。

表 1-3 液压泵适用的黏度范围及牌号

液 压 泵 名 称		黏度范围/(mm ² ·s ⁻¹)		工作压力/ MPa	工作环境 温度/℃	推 荐 用 油
		允许	最佳			
齿 轮 泵		4 ~ 220	25 ~ 54	< 12. 5	5 ~ 40	L - HH32、L - HH46
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68
				10 ~ 20	5 ~ 40	L - HH46、L - HH68
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68
				16 ~ 32	5 ~ 40	L - HH32、L - HH68
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68
叶 片 泵	1200 r/min	16 ~ 220	26 ~ 54	7	5 ~ 40	L - HH32、L - HH46
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68
	1800 r/min	20 ~ 220	26 ~ 54	> 14	5 ~ 40	L - HH32、L - HH46
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68
柱 塞 泵	径向式	10 ~ 65	16 ~ 48	14 ~ 35	5 ~ 40	L - HH32、L - HH46
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68
	轴向式	4 ~ 76	20 ~ 47	> 35	5 ~ 40	L - HH32、L - HH68
					40 ~ 80	L - HH68、L - HH100
螺 杆 泵		19 ~ 49		> 10. 5	5 ~ 40	L - HH32、L - HH46
					40 ~ 80	L - HH46、L - HH68

注：液压油代号中 L 是石油产品的总分类号“润滑剂和有关产品”，H 表示液压系统用的工作液体，数字表示该工作液体的某个黏度等级。