

21世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

液压与气压传动

Y E Y A Y U Q I Y A C H U A N D O N G

主 编◎雷 萍 孙晓辉
副主编◎张金明 丑幸荣
主 审◎张宝忠



 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

液压与气压传动

主 编 雷 萍 孙晓辉
副主编 张金明 丑幸荣
主 审 张宝忠

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动/雷萍, 孙晓辉主编
北京: 中国人民大学出版社, 2010
21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列
ISBN 978-7-300-11187-2

- I. 液…
- II. ①雷…②孙…
- III. ①液压传动—高等学校: 技术学校—教材
②气压传动—高等学校: 技术学校—教材
- IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 154551 号

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

液压与气压传动

主 编 雷 萍 孙晓辉
副主编 张金明 丑幸荣
主 审 张宝忠

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010-62511242 (总编室)		010-62511398 (质管部)
	010-82501766 (邮购部)		010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)		010-62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn http://www.ttrnet.com (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	三河市汇鑫印务有限公司		
规 格	185mm×260mm 16 开本	版 次	2010 年 7 月第 1 版
印 张	11.25	印 次	2010 年 7 月第 1 次印刷
字 数	258 000	定 价	23.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

前 言

本书是为高职高专机电一体化、模具设计与制造、数控技术类专业编写的液压与气压传动教学用书。本书在编写过程中,针对目前高职院校学生的实际情况,改变理论部分的编写方式,在保证必要基本知识的前提下,削减了大量烦琐的公式推导和计算,降低了教材的难度。本书采用模块化编写的方式,便于实现理论和实训的一体化教学。

全书分液压传动和气压传动两部分内容,共17个模块。每个模块都设有教学目的、建议学时、思考与练习。本书主要介绍了液压与气压传动的液体力学基础;液压与气压传动元件的结构、工作原理及应用;液压与气压传动基本回路和典型系统的组成与分析;液压系统的使用与维护;气压传动系统设计等。本书力求语言简练,条理清晰,深入浅出,难点分散。在编写过程中以实用性和指导性为原则,简要介绍理论知识,强调基本训练,加强分析问题和解决问题能力的训练,突出高职高专的办学特色,并力求切实起到帮助学生灵活运用知识,培养学生解决实际问题能力的目的。

本书由雷萍、孙晓辉担任主编,张金明、丑幸荣担任副主编,张宝忠主审。模块1、4、11、12由丑幸荣编写;模块2、3、5、6、7由雷萍编写;模块8、9、10由张金明编写;模块13~17由孙晓辉编写;液压传动部分的思考与练习由雷萍编写,气压传动部分的思考与练习由孙晓辉编写。全书由雷萍统稿。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、函授学院、成人教育学院等机电一体化、模具设计与制造、数控技术类专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年4月

目 录

第一部分 液压传动	1
模块 1 液压与气压传动系统的基本工作原理和组成	3
模块 2 液体力学基础	9
模块 3 液压泵	28
模块 4 液压缸	45
模块 5 方向控制阀和方向控制回路	54
模块 6 压力控制阀和压力控制回路	66
模块 7 流量控制阀和调速回路	78
模块 8 其他控制阀及其应用	82
模块 9 液压辅助元件	88
模块 10 其他基本回路	96
模块 11 典型液压系统	111
模块 12 液压系统的维护和调试	123
第二部分 气压传动	133
模块 13 气压传动基础知识	135
模块 14 气源装置和气压传动元件	140
模块 15 气压传动基本回路	152
模块 16 气压传动系统实例	158
模块 17 气压传动系统设计	162
 附录 常用液压与气压传动元件图形符号	 167
 参考文献	 173

第一部分

液 压 传 动

液压与气压传动是以流体（液压油或压缩空气）为工作介质进行能量转化和控制的一种传动形式。液压和气压传动的基本原理相似。

模块 1 液压与气压传动系统的基本工作原理和组成

【教学目的】

- 1. 掌握液压传动和气压传动的基本工作原理和组成；
- 2. 了解液压传动和气压传动的优缺点。

【建议学时】

2 学时。

一、液压传动和气压传动的基本工作原理

（一）液压传动系统的基本工作原理

现以图 1—1 所示的液压千斤顶为例，简述液压传动的工作原理。

如图 1—1 所示，当向上抬起杠杆时，小活塞向上运动，小液压缸 1 下腔容积增大，形成局部真空，于是油箱 4 中的油液在大气压作用下，通过吸油管推开单向阀 3 进入小活塞下腔，此时单向阀 2 关闭，从而完成吸油。当向下压杠杆时，小活塞下降，其下腔的密封容积减小，油受挤压，油压升高，单向阀 3 关闭，单向阀 2 打开，小活塞下腔的油液经管道进入大液压缸 6 的下腔，大活塞向上移动，举起重物，从而完成一次压油。如此不断上下扳动杠杆，就可以不断地把油液压入大液压缸中，从而使重物逐渐升起，达到举重的目的。当杠杆停止动作时，大液压缸下腔的油液压力使单向阀关闭，从而保证重物不会自行下落。当工作结束时，打开截止阀 5，大液压缸下腔的油液通过管道流回油箱 4，大活塞在重物和自重的作用下向下移动，回到原始位置。

由液压千斤顶的工作过程可知，小液压缸 1 和单向阀 2、3 构成手动液压泵，完成吸油和压油，实现将杠杆的机械能转换为油液的压力能。大液压缸构成执行元件，实现将油液的压力能转化为机械能。

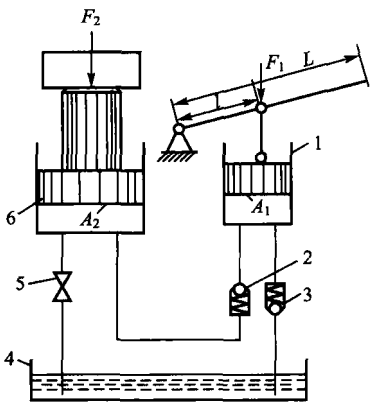


图 1—1 液压千斤顶工作原理

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

根据帕斯卡定律“平衡液体内某一点的液体压力等值地传递到液体内各处”，则手动液压泵的压力 p_1 应等于大液压缸中的液体压力 p_2 ，即

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = p_2 = \frac{F_2}{A_2} \tag{1-1}$$

由上式可见，如果 F_1 或 F_2 等于零，则压力 p_1 、 p_2 也必然为零，所以说就负载和压力二

者来说,负载是第一性的,压力是第二性的。有了负载,液体才会有压力,并且压力的大小决定于负载。这是液压传动工作原理的一个很重要的概念:液压传动中液体压力决定于负载。

2. 运动的传递

当向下移动小活塞时,不考虑泄漏和液体的可压缩性,其排出的液体体积应等于进入到大液压缸的液体体积。设小活塞位移为 s_1 , 大液压缸活塞位移为 s_2 , 则

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (1-2)$$

这些动作是在事件 $t(s)$ 内完成的, 小活塞移动速度 $v_1 = \frac{s_1}{t}$, 大液压缸移动速度 $v_2 = \frac{s_2}{t}$, 则

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (1-3)$$

单位时间内从手动液压泵排出油液的体积, 称为流量, 即 $q = v_1 A_1$, 则

$$v_2 = \frac{v_1 A_1}{A_2} = \frac{q}{A_2} \quad (1-4)$$

由此可见, 执行元件大液压缸的运动速度决定于进入液压缸的流量。这是液压传动工作原理的另一个重要概念: 活塞的运动速度只决定于输入流量的大小, 而与外负载无关。

从上面的讨论可以看出, 与外负载相对应的参数是压力, 与运动相对应的是流量。可见, 压力和流量是液压传动中两个最基本的参数。

(二) 机床工作台液压系统

如图 1—2 所示为机床工作台液压系统的结构及原理图。它由油箱 1、过滤器 2、液压泵 3、节流阀 4、溢流阀 5、换向阀 6、手柄 7、液压缸 8 以及连接元件油管、接头等组成。

该系统的工作原理是: 电动机带动液压泵 3 旋转, 液压泵从油箱通过过滤器吸油, 当手柄 7 推至如图 1—2 (b) 所示的位置时, P 与 A 相通, B 与 T 相通, 液压泵 3 输出的压力油 → 节流阀 4 → 换向阀 6 → 液压缸 8 (左腔), 推动活塞 9 带动工作台 10 向右移动。这时液压缸 8 右腔的油液 → 换向阀 6 → 油箱 1。

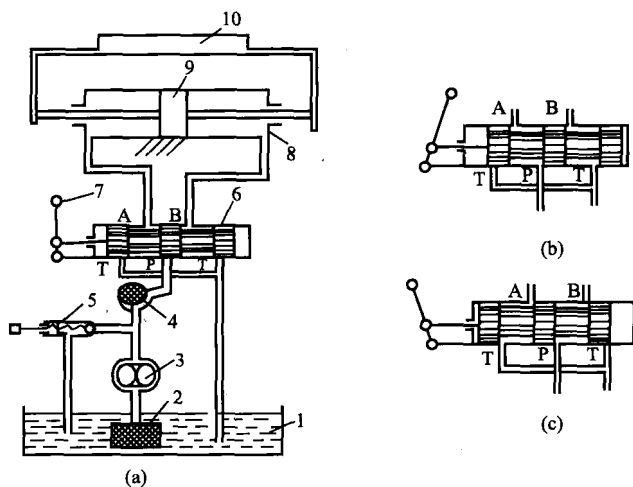


图 1—2 机床工作台液压系统

- 1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵; 4—节流阀; 5—溢流阀;
6—换向阀; 7—手柄; 8—液压缸; 9—活塞; 10—工作台

当手柄 7 推至如图 1—2 (c) 所示的位置时, P 与 B 相通, A 与 T 相通, 液压泵 3 输出的压力油→节流阀 4→换向阀 6→液压缸 8 (右腔), 推动活塞 9 带动工作台 10 向左移动。这时液压缸 8 左腔的油液→换向阀 6→油箱 1。

当手柄 7 处于如图 1—2 (a) 所示位置时, P 与 A、B、T 均不通, 液压缸 8 无油进入, 工作台静止不动。

由此可见, 换向阀 6 可以改变压力油的通路, 使液压缸不断换向实现工作台的往复运动。

工作台的运动速度由节流阀 4 来调节。改变节流阀 4 的开口大小, 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。

工作台运动时要克服阻力, 克服切削力和相对运动间表面的摩擦力等, 因此需要液压缸产生足够的推力, 而这个推力是由液压缸中油液压力所产生的, 油液压力的最大值是由溢流阀来调节和控制的。溢流阀的作用是调节和稳定系统的最大工作压力, 并溢出定量泵多余的油液。

图 1—2 中过滤器 2 起滤油作用。

如图 1—3 所示为机床工作台液压系统的职能符号图。结构原理图直观性好, 容易理解, 但图形复杂, 绘制困难。为了简化原理图的绘制, 系统中各元件可采用符号来表示, 这些符号只表示元件的职能, 不表示元件的结构和参数。目前我国的液压与气压系统图采用 GB/T 786.1—1993 所规定的职能符号绘制。

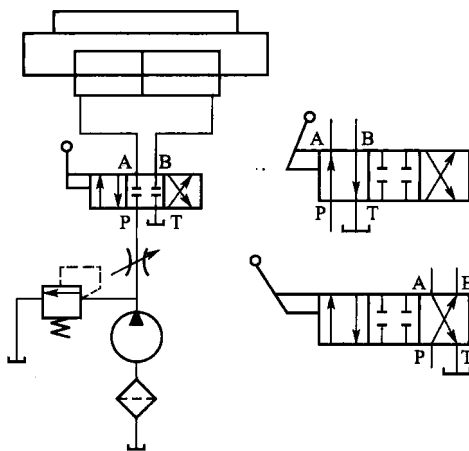


图 1—3 机床工作台液压系统 (用职能符号表示)

(三) 气压传动系统的基本工作原理

如图 1—4 所示为气动剪切机的工作原理图。它由空气压缩机 1、冷却器 2、油水分离器 3、储气罐 4、分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7、行程阀 8、气控换向阀 9、气缸 10 等组成。

图 1—4 所示位置为剪切前的预备状态, 空气压缩机 1 输出的压缩空气→冷却器 2→油水分离器 3→储气罐 4→分水滤气器 5→减压阀 6→油雾器 7→气控换向阀 9→部分气体进入气控换向阀 9 下方, 推动阀芯至上位, 使气体经过气控换向阀 9 进入气缸 10 上腔。缸活塞下移, 剪切机的剪口张开, 处于预备工作状态。

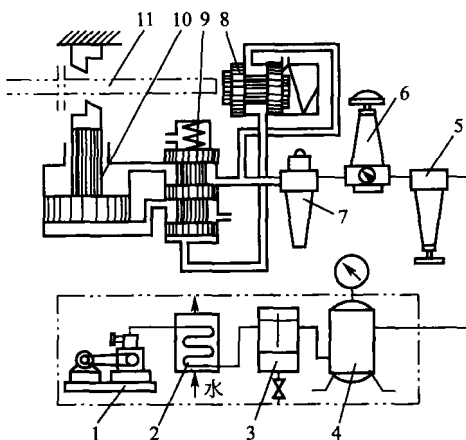


图 1—4 气动剪切机

- 1—空气压缩机；2—冷却器；3—油水分离器；
4—储气罐；5—分水滤气器；6—减压阀；
7—油雾器；8—行程阀；9—气控换向阀；
10—气缸；11—工件

当送料机构将工件 11 送入剪切机并到达预定位置时，工件将行程阀 8 压下，此时气控换向阀 9 阀芯下腔的气体经行程阀 8 排空，气控换向阀 9 阀芯在弹簧力的作用下处于下位，此时压缩空气经气控换向阀 9 进入气缸 10 下腔，推动活塞上移，而气缸上腔气体经气控换向阀 9 排空。此时活塞上移，剪刀切削刃剪断工件。工件剪下后，行程阀 8 在弹簧力的作用下复位，将排气口堵死，气控换向阀 9 阀芯下方气压增加，换向阀阀芯上移，使气路换向，气缸上腔进压缩空气，下腔排气，气缸活塞下移，又恢复到图 1—4 所示预备状态，为下一个循环做好准备。

二、液压与气压传动系统的组成

由上述系统实例可见，一个完整的液压与气压传动系统主要由以下几部分组成：

- (1) 动力元件：液压泵或空气压缩机，作用是为系统提供液压油或压缩空气，实现原动机的机械能向流体的压力能的转换。
- (2) 执行元件：液压缸、液压马达或气缸、气动马达，作用是带动工作部件运动，实现流体的压力能向工作部件的机械能的转换。
- (3) 控制元件：方向阀、压力阀、流量阀，作用是控制流体流动的方向、压力、流量。
- (4) 辅助元件：油箱、过滤器、油管以及分水滤气器、油雾器、蓄能器等，作用是保证系统正常工作。

三、液压与气压传动的优缺点

与机械传动和电力拖动相比较，液压与气压传动具有的优缺点列于表 1—1 中。

表 1—1

液压传动和气压传动的优缺点

	液压传动	气压传动
优点	(1) 在同等功率情况下,体积小,重量轻,结构紧凑; (2) 能实现无级调速,调速范围大; (3) 传动平稳,反应快,冲击小; (4) 调节简单,操作方便; (5) 易于实现过载保护,自润滑,寿命长; (6) 易于实现标准化、系列化、通用化,易于设计、制造和推广使用。	(1) 工作介质是空气,取之不尽、用之不竭,成本低; (2) 流动阻力小,损失小,易于集中供气和远距离输送; (3) 动作迅速,反应快,调节维护简单方便; (4) 工作环境适应性好,特别适合于易燃、易爆、多尘、潮湿等恶劣工作环境中工作; (5) 具有过载保护功能。
缺点	(1) 油液易泄漏,且可压缩,不能保证严格的传动比; (2) 损失大,效率低,不宜做远距离传动; (3) 对油温和负载变化敏感,不宜在低、高温下工作; (4) 元件制造精度高,成本高; (5) 出现故障不易追查原因,不宜迅速排除。	(1) 空气可压缩性大,不宜实现准确的速度控制和很高的定位精度,传动稳定性差; (2) 压缩空气压力低,用于输出动力较小的场合; (3) 排气噪声大。

四、液压与气压传动的应用和发展

液压传动从 17 世纪帕斯卡提出静压传递原理、1795 年世界上第一台水压机诞生,已有了 200 多年的历史,但由于没有成熟的液压传动技术和液压元件,且工艺制造水平低下,故其发展缓慢,几乎停滞。气压传动早在公元前就有了应用,埃及人采用风箱产生的压缩空气助燃。

20 世纪 30 年代,由于工艺制造水平提高,开始生产液压元件,并首先应用于机床。20 世纪 50~70 年代,工艺水平有了很大提高,液压与气压传动技术也迅速发展,国民经济各个领域,从蓝天到大海,从军用到民用,从重工业到轻工业,到处都有液压与气压传动技术,且其水平高低已成为一个国家工业发展水平的标志。如:火炮跟踪、炮塔稳定、海底石油探测平台固定、煤矿矿井支承、矿山用的风钻、火车的刹车装置、液压装载、起重、挖掘、轧钢机组、数控机床、多工位组合机床、全自动液压车床、液压机械手等。

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,出现了许多如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机电(液)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、长使用寿命、高度集成化等方面取得了重大的发展。同时,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。

思考与练习

- 1.1 什么是液压传动?试述液压传动的工作原理。
- 1.2 液压传动系统由哪些部分组成?各部分的功用分别是什么?

1.3 气压传动与液压传动相比, 具有哪些优点和缺点?

1.4 液压千斤顶如图 1—1 所示。千斤顶的小活塞直径为 15mm, 行程为 10mm, 大活塞直径为 60mm, 重物 F_2 为 48 000N, 杠杆比为 $L:l=750:25$, 试求:

- (1) 杠杆端施加多少力才能举起重物?
- (2) 此时密封容积中的液体压力等于多少?
- (3) 杠杆上下运动一次, 重物的上升量为多少?

模块2 液体力学基础

【教学目的】

1. 掌握液压油的性质和选用；
2. 掌握液体静力学的基本方程；
3. 掌握液体动力学的三个基本方程（连续性方程、伯努利方程和动量方程）；
4. 了解管道中液流的特性，掌握流动损失计算；
5. 了解薄壁小孔、细长孔及缝隙流的液流特性，掌握薄壁小孔、细长孔的流量计算。

【建议学时】

8 学时。

一、液压油

（一）液压油的性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度，通常用 ρ (kg/m^3) 表示，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中， m 为液体的质量； V 为液体的体积。

密度是液体的一个重要参数。密度的大小随着液体的温度、压力的改变会产生一定的变化，但变化量一般较小，可以忽略不计。一般液压油的密度约为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. 液体的可压缩性

液体在压力作用下使体积减小的性质称为液体的可压缩性。其大小可用液体的压缩系数 k 表示，即

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

式中， Δp 为压力变化量； ΔV 为体积变化量； V 为原有体积。

上式中因为压力增大时，液体体积减小，因而 Δp 和 ΔV 的符号始终相反，为保证 k 为正值，式中应添加一个负号。

k 的倒数称为液体的体积弹性模量，用 K 表示，即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{V \Delta p}{\Delta V} \quad (2-3)$$

K 表示产生单位体积相对变化量所需要的压力增量，它表示液体抵抗压缩的能力。 K 值越大，可压缩性越小。常温下，纯净液压油的弹性模量为 $(1.4 \sim 2.4) \times 10^9 \text{Pa}$ ，钢的弹性模量为 $2.1 \times 10^{11} \text{Pa}$ ，一般在中低压系统中可认为液压油是不可压缩的。当液压油中混入气体或是在高压系统，则压缩性显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能。可见应

尽量避免油液中混入空气。

3. 黏性

液体在外力作用下流动时，由于液体与固体壁面间的吸附力以及分子间内聚力的存在，流动受到牵制，这种相互牵制的力称为液体内摩擦力或黏性力，液体流动时呈现的这种性质称为黏性。液体只有在流动或有流动趋势时才会呈现黏性，液体静止时不呈现黏性。

实验测定结果表明，液体流动时相邻流层间的内摩擦力 F 与接触面积 A 和速度差 du 成正比，而与层间距离 dz 成反比，如图 2—1 所示，即

$$F = \mu A \frac{du}{dz} \quad (2-4)$$

$$\text{或} \quad \tau = \mu \frac{du}{dz} \quad (2-5)$$

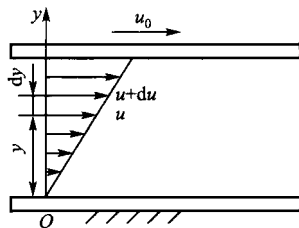


图 2—1 液体黏性示意图

式中， μ 为液体黏性系数（动力黏度）； $\frac{du}{dz}$ 为速度梯度，流层间相对速度对流层距离的变化率； τ 为单位面积上的摩擦力，或称为内摩擦切应力。式 2—5 称为牛顿内摩擦定律。

黏性的大小用黏度表示。常用的黏度有三种，即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 动力黏度 μ 。

动力黏度 $\mu = \frac{F}{\frac{du}{dz} A}$ ，即液体在单位速度梯度下流动时，流层间单位面积上产生的内摩

擦力，单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）。

(2) 运动黏度 ν 。

运动黏度 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 是动力黏度与密度的比值，单位为 m^2/s 。现在还在用的单位有 St （池）、 cSt （厘池）， $1\text{cSt} (\text{mm}^2/\text{s}) = 10^{-2}\text{St} (\text{cm}^2/\text{s}) = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。

运动黏度没有明确的物理意义，但通常用运动黏度表示在 40°C 下液压油的牌号。如 L-HL32，表示普通液压油在 40°C 时的运动黏度的平均值为 32cSt 。

(3) 相对黏度。

相对黏度又称为条件黏度，它是采用特定黏度计在规定的条件下测量出来的黏度。由于测量仪器和条件不同，各国相对黏度的含义也不同，中国、德国和俄罗斯采用的是恩式黏度（ $^\circ\text{E}$ ）；英国采用的是雷氏黏度（R）；美国采用的是赛氏黏度（SSU）。

恩式黏度（ $^\circ\text{E}$ ）因用恩式黏度计测量而得名。即以 200mL 液体在 40°C 时通过一特定容器上 $\phi 2.8\text{mm}$ 小孔流出所需要的时间 t_1 与同体积的蒸馏水在 20°C 时通过同样小孔流出时间 t_2 之比，为该液体在 40°C 时的恩式黏度值。

$$^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-6)$$

恩式黏度与运动黏度的换算关系为

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s} \quad (2-7)$$

液体的黏度对温度的变化十分敏感，当温度升高时，黏度将显著降低。同时液体的黏

度也随压力变化，压力增加液体的黏度将增大，但是压力在 32MPa 以下时变化很小，可以忽略不计。

(二) 液压油的种类及选用

1. 液压油的种类

液压油主要有石油型、合成型和乳化型三大类。液压油的主要品种及其性质列于表 2—1 中。

表 2—1 工作介质的主要类型及其性质

性能 \ 种类	可燃型液压油			抗燃型液压油			
	石油型			合成型		乳化型	
	通用 液压油	抗磨 液压油	低温 液压油	磷酸酯液	水—乙 二醇液	油包水液	水包油液
密度/kg·m ⁻³	850~900			1 100~1 500	1 040~1 100	920~940	1 000
黏度	小~大	小~大	小~大	小~大	小~大	小	小
黏度指数VI≥	90	95	130	130~180	140~170	130~150	极高
润滑性	优	优	优	优	良	良	可
防腐蚀性	优	优	优	良	良	良	可
闪电/℃≥	170~200	170	150~170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝点/℃≥	-10	-25	-35~-45	-20~-50	-50	-25	-5

石油型液压油是以全损耗系统用油（旧称机械油）为原料，精炼后按需要加入适当添加剂而成的。这类液压油润滑性好，但抗燃性差。

2. 液压油的选用

首先根据液压系统的环境和工作条件选用液压油的类型，类型确定后再选择液压油的牌号。选择时一般考虑以下几个方面：

- (1) 工作压力。工作压力高的液压系统宜选用黏度较大的液压油，以减少泄漏。反之，可选用黏度较小的液压油。
- (2) 环境温度。环境温度较高时，宜选用黏度较大的液压油。
- (3) 运动速度。液压系统执行元件运动速度较高时，宜选用黏度较低的液压油，以减小液流的摩擦阻力，从而减小液流的功率损失。

另外，也可根据液压泵的类型及工作条件选择液压油的黏度。各种液压泵使用的液压油黏度范围如表 2—2 所示。

表 2—2 各种液压油适用的黏度范围

液压泵类型		黏度 (40℃)/(10 ⁻⁶ mm ² /s)	
		环境温度 5℃~40℃	环境温度 40℃~80℃
叶片泵	$p < 7 \times 10^6 \text{ Pa}$	30~50	40~75
	$p \geq 7 \times 10^6 \text{ Pa}$	50~70	55~90
齿轮泵		30~70	95~165
轴向柱塞泵		40~75	70~150
径向柱塞泵		30~80	65~240

二、液体静力学基础

液体静力学是研究静止液体的力学规律的。静止液体是指液体内部质点间没有相对运动。至于盛放液体的容器，不论它是静止的或是运动的，都没有影响。

(一) 静压力及其特性

静止液体在单位面积上所受的法向力称为静压力。它相当于物理学中的压强。即

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-8)$$

式中， F 为法向作用力； A 为作用面积。

我国采用法定计量单位 Pa 计量压力， $1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$ 。液压系统中压力的单位习惯用 MPa， $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$ 。

液体静压力有两个重要特性。

(1) 方向性：液体静压力垂直于承压面，其方向和该面的内法线方向一致。

(2) 同值性：静止液体任一点所受到的压力在各个方向上都相等。

(二) 静压力基本方程

1. 静压力基本方程

液体在容器内处于静止状态，为求任意深度 h 处的压力 p ，可以假想从液面往下选取一个垂直小液柱作为研究对象。设液柱的底部面积为 ΔA ，高为 h ，如图 2-2 所示。由于液柱处于平衡状态，于是有

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

两边同除 ΔA 则得

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2-9)$$

上式称为液体静压力基本方程。由上式可知，重力作用下的静止液体，其压力分布特征如下：

(1) 静止液体任一点的压力由两部分组成：一部分是液面上的压力，另一部分是该点以上液体自重形成的压力。但液面上只受大气压力 p_a 作用时，则液体任一点的压力为

$$p = p_a + \rho gh \quad (2-10)$$

(2) 静止液体压力随液体深度变化呈直线规律分布。

(3) 离液面深度相同的各点组成了等压面，此等压面为一水平面。

如果取 x 轴为相对高度的起始点，则式 2-9 可写成

$$p = p_0 + \rho g(Z_0 - Z)$$

$$\frac{p}{\rho g} + Z = \frac{p_0}{\rho g} + Z_0 = \text{常数} \quad (2-11)$$

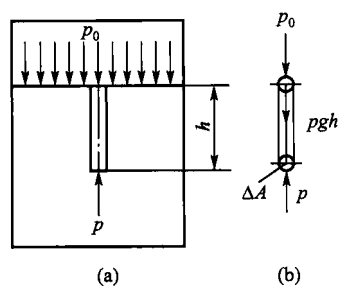


图 2-2 重力作用下的静止液体