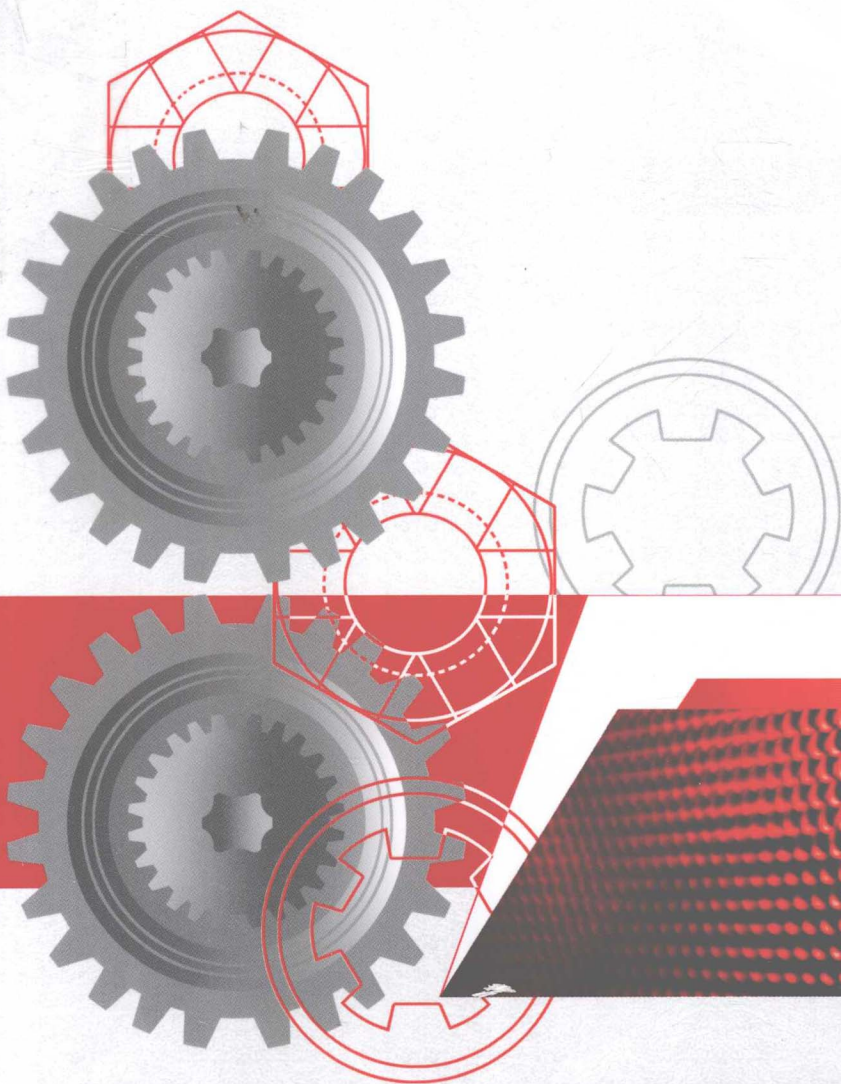




普通高等教育“十二五”规划教材  
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

# 液压与气压传动

◎主 编:贺尚红 ◎副主编:万贤杞 李 岳 刘忠伟 李 岚 彭佑多 汪大鹏 ◎主审:高殿荣  
YEYAYUQIYACHUANDONG



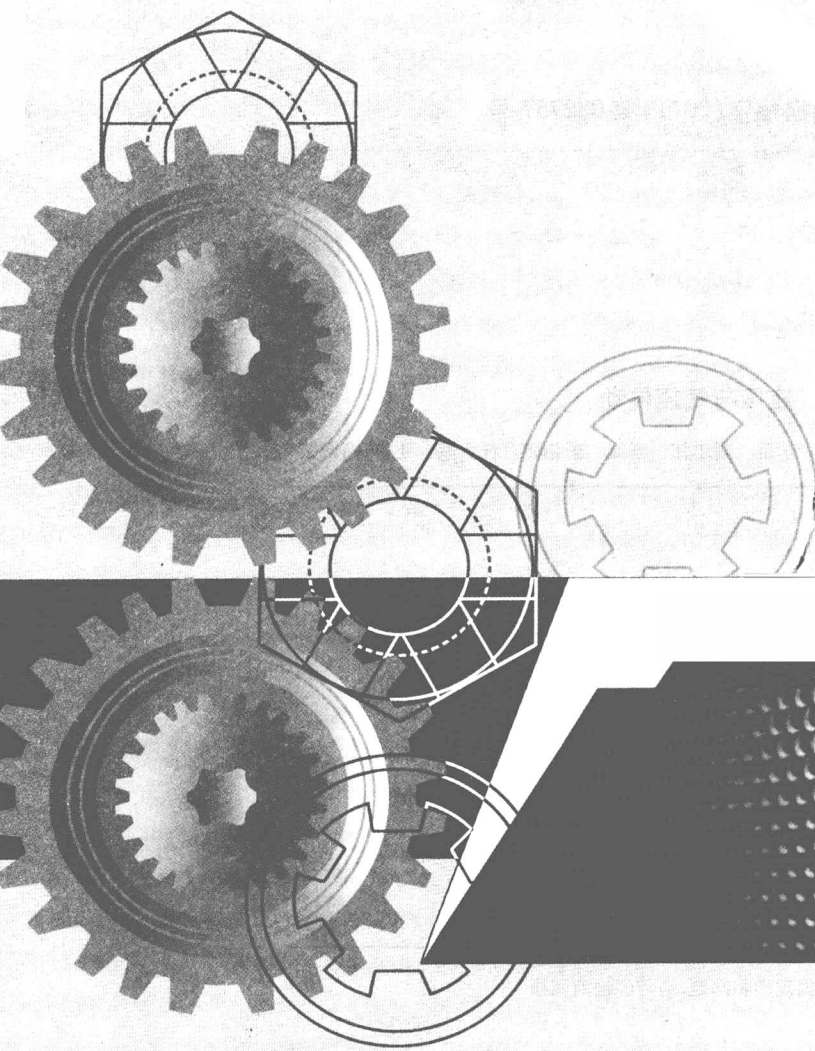
中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



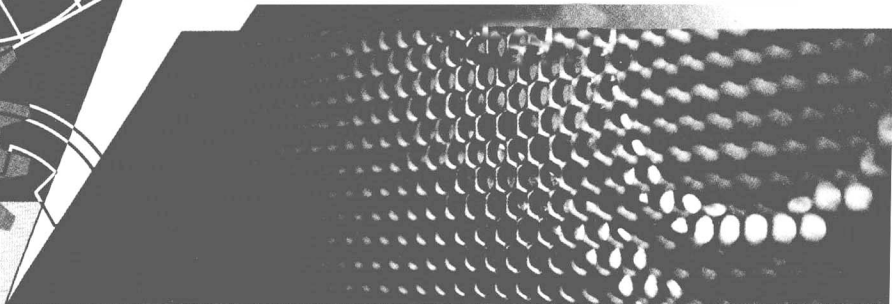
普通高等教育“十二五”规划教材  
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

# 液压与气压传动

◎主 编:贺尚红 ◎副主编:万贤杞 李 岳 刘忠伟 李 岚 彭佑多 汪大鹏 ◎主审:高殿荣  
YEYAYUQIYACHUANDONG



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



## CONTENTS. 目录

## 第一篇 液压传动

<b>第 1 章 液压传动概述</b> .....	(3)
1.1 液压传动系统工作原理与组成 .....	(3)
1.2 液压传动的特点 .....	(5)
1.3 液压传动应用概况 .....	(6)
1.4 液压传动工作介质 .....	(7)
本章小结 .....	(12)
习 题 .....	(13)
<b>第 2 章 液压流体力学基础</b> .....	(14)
2.1 液体静力学 .....	(14)
2.2 液体动力学 .....	(17)
2.3 流动压力损失 .....	(27)
2.4 小孔出流和缝隙、流动 .....	(34)
2.5 液压冲击和空穴现象 .....	(38)
本章小结 .....	(40)
习 题 .....	(40)
<b>第 3 章 液压动力元件</b> .....	(43)
3.1 液压动力元件基本概念 .....	(43)
3.2 齿轮液压泵 .....	(47)
3.3 叶片液压泵 .....	(51)
3.4 柱塞式液压泵 .....	(58)
3.5 液压泵选用 .....	(63)
本章小结 .....	(64)
习 题 .....	(64)

# 第一篇 液压传动



# 第1章

## 液压传动概述

液压传动是以液体为工作介质，依靠液体的压力能来传递动力的一种传动形式，与机械传动相比，它是一门比较新兴的技术。从1795年英国制成世界上第一台水压机算起，液压传动技术已有二三百年的历史，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，发展缓慢。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。在第二次世界大战期间，出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。战后，液压技术迅速转向民用，液压技术不断应用于各种自动机及自动生产线。

20世纪60年代以后，工艺水平有了很大提高，液压技术随着电气控制技术、传感器技术、计算机技术的发展而迅速发展，成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术，在国民经济的各个部门都得到了应用，如工程机械、数控加工中心、冶金自动线等。

我国的液压技术最初应用于机床和锻压设备上，随着从国外引进一些液压元件生产技术以及进行自行设计，我国的液压元件现已形成了系列，并在各种机械设备上得到了广泛的应用。

### 1.1 液压传动系统工作原理与组成

#### 1.1.1 液压传动的工作原理

图1-1所示，以液压千斤顶的工作原理图为例来说明液压传动的工作原理。将手柄5向上扳动时，小活塞向上移动，小缸4下腔因腔增大形成真空，油箱中的油液在大气压的作用下经过单向阀2吸入小缸4的下腔。当下压手柄5使小缸活塞下移时，小缸4下腔的油液通过单向阀3进入大缸7的下腔，油液被压缩，压力升高，当油液的压力升高到能克服大活塞上的负载G所需的压力值时，重物就随手柄的下压而上升，反复提压手柄，就可以使重物不断上升。要把重物从高位放下，系统设置了截止阀8。

设大、小活塞的面积分别为 $A_2$ 、 $A_1$ ，作用

在大活塞上的负载为 $G$ ，作用在小活塞上的力为 $F_1$ ，油液作用在大活塞上的力为 $F_2$ ，根据帕斯卡原理有：

$$p = \frac{G}{A_2} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

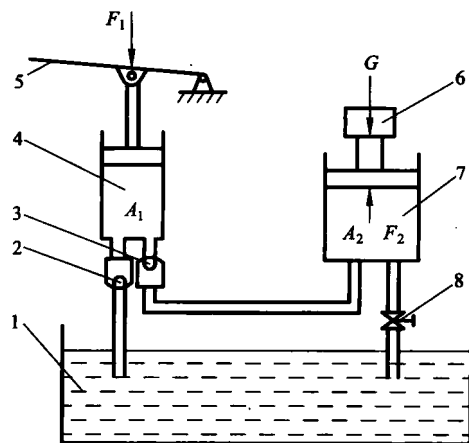


图1-1 液压千斤顶的工作原理图

- 1—油箱；2—单向阀；3—单向阀；4—小液压缸；  
5—手柄；6—负载；7—大液压缸；8—截止阀

$$F_1 = pA_1 \quad F_2 = pA_2 \quad (1-2)$$

由于  $A_1 < A_2$ ，所以可用较小的力举起较大的重物。

从液压千斤顶的工作原理可以看出液压传动的以下特点：

(1) 液压传动以液体为工作介质，动力的传递必须经过两次能量转换，首先通过能源装置把机械能转变为液体的压力能，再通过液压执行元件，把液体的压力能转变为机械能。

(2) 在作用面积一定时，系统的压力取决于负载。

图 1-2 所示为一种磨床工作台的液压系统，它由油箱 1、滤油器 2、液压泵 3、节流阀 4、溢流阀 5、换向阀 6、液压缸 8、工作台 10 以及连接这些元件的油管组成。

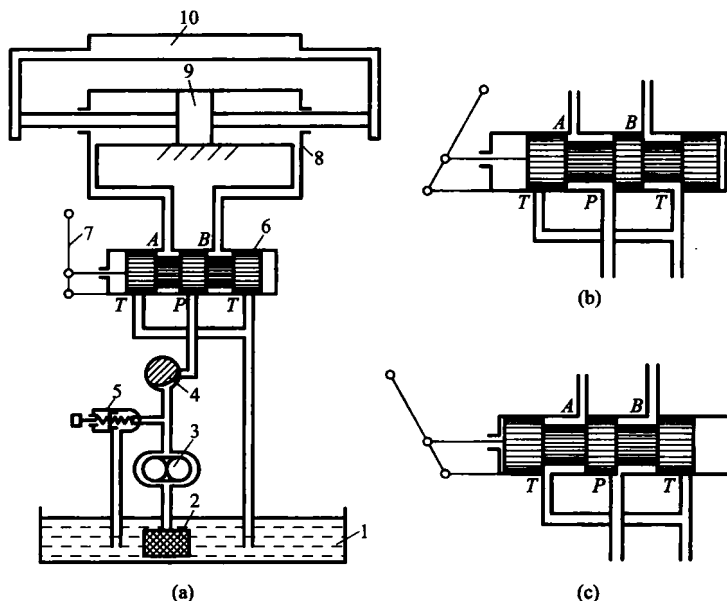


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

1—油箱；2—滤油器；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

它的工作原理如下：电动机带动液压泵 3 旋转，经过滤油器 2 从油箱 1 中吸油。在图 1-2(a) 所示状态下，油液经过液压泵进入压力管，通过溢流阀 5 回到油箱，工作台静止不动。在图 1-2(b) 所示状态下，油液经过液压泵进入压力管，通过节流阀 4、换向阀 6 的  $P \rightarrow A$ ，进入液压缸 8 的左腔，推动活塞 9 带动工作台 10 向右移动，液压缸右腔的油液经过换向阀 6 的  $B \rightarrow T$ ，经回油管回到油箱。在图 1-2(c) 所示状态下，油液经过液压泵进入压力管，通过节流阀 4、换向阀 6 的  $P \rightarrow B$ ，进入液压缸 8 的右腔，推动活塞 9 带动工作台 10 向左移动，液压缸左腔的油经过换向阀 6 的  $A \rightarrow T$ ，经回油管回到油箱。

工作台的移动速度通过节流阀 4 来调节。节流阀口开大，进入液压缸的油液增多，工作台的移动速度增大；节流阀口关小，进入液压缸的油液减少，工作台的移动速度减小。

### 1.1.2 液压传动系统的组成部分

一个完整的液压系统除了工作介质外，由以下四部分组成：

- (1) 能源装置——将机械能转换为流体压力能,如液压泵。
- (2) 执行元件——将流体的压力能转换为机械能,如液压缸、液压马达。
- (3) 控制元件——控制系统压力、流量、方向,如溢流阀、节流阀、方向阀等。
- (4) 辅助元件——保证系统正常工作除上述三种元件外的元件,如油箱、过滤器、管件等。

### 1.1.3 液压系统的图形符号

图1-2所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强,容易理解,但难于绘制。在实际工作中,除少数特殊情况外,一般都采用液压图形符号来绘制,如图1-3所示。

我国已经制定了液压与气压图形标准符号来表示液压与气压原理图,国家标准液压与气压系统图形符号(GB/T786—93),对于这些图形符号作了如下规定:

(1) 符号只表示元件的职能,连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2) 符号均表示元件的静止位置或中间零位置表示,当系统的动作另有说明时,可作例外。

## 1.2 液压传动的特点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点:

(1) 质量轻体积小。液压传动与机械、电力等传动方式相比,在输出同样功率的条件下,体积和质量可以减少很多,因此惯性小、动作灵敏。

(2) 传动平稳。在液压传动装置中,由于油液的压缩量非常小,在通常压力下可以认为不可压缩,而且油液有吸振能力,使传动十分平稳,便于实现频繁的换向。

(3) 在大范围内实现无级调速(调速范围可达2000:1),还可以在运行的过程中进行调速。

(4) 易于实现过载保护,液压系统中采取了很多安全保护措施,能够自动防止过载,避免发生事故。

(5) 液压元件能够自动润滑。由于采用液压油作为工作介质,使液压传动装置能自动润滑,因此元件的使用寿命较长。

(6) 易于实现机器的自动化。当采用电液联合控制甚至计算机控制后,可实现大负载、高精度、远程自动控制;

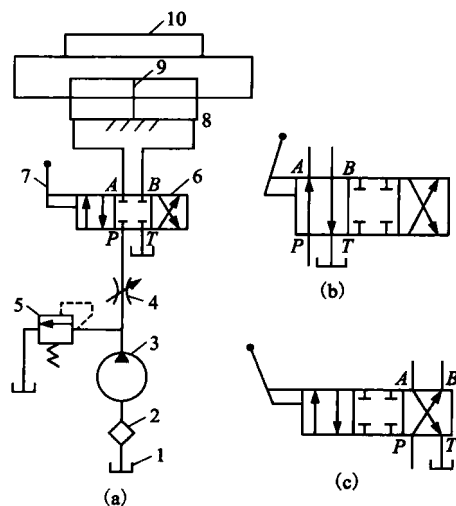


图1-3 机床工作台液压系统的图形符号

1—油箱;2—滤油器;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



(7) 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。

液压传动系统的主要缺点:

(1) 液压传动不能保证严格的传动比, 这是由于液压油的不可压缩性和泄漏造成的。

(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) 由于液体流动的阻力损失, 泄漏两次能力持续, 效率较低, 故不宜远距离输送动力。

(4) 液压元件制造精度要求较高, 因此它的造价高。

(5) 油液容易污染, 影响液压系统的工作性能。

(6) 液压系统发生故障不易检查和排除。

### 1.3 液压传动应用概况

由于液压技术有许多突出的优点, 从民用到国防, 都得到了广泛的应用, 其应用见表 1-1。

表 1-1 液压传动在各个行业的应用

行业名称	应用场合举例
机床工业	磨床、铣床、拉床、刨床、压力机、自动车床、组合车床、数控机床、加工中心等
工程机械	普遍采用了液压传动, 如挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械、皮带运输机、液压千斤顶等
矿山机械	开采机、凿岩机、开掘机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、平地机等
农业机械	联合收割机的控制系统、拖拉机和农用机的悬挂装置等
轻工机械	注塑机、打包机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车转向器、减振器等
船舶港口机械	起货机、起锚机、舵机, 甲板起重机械(绞车)、船头门、舱壁阀、船尾推进器等
铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等
国防工业	陆、海、空三军的很多武器装备都采用了液压传动与控制, 如飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮、导弹和火箭等
冶金工业	电炉控制系统、轧钢机的控制系统、平炉装料、转炉控制、高炉控制、带材跑偏和恒张力装置等
土木水利工程	防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构等

总之, 一切工程领域, 凡是有机设备的场合, 均可采用液压技术, 其前景非常可观。

## 1.4 液压传动工作介质

### 1.4.1 液压工作介质的性能要求及种类

液压油是液压传动系统中的工作介质，一方面，它传递动力和信号，同时还有润滑、冷却和防锈的作用。液压油的质量优劣直接影响液压系统的工作性能，因此，合理选用液压油是非常重要的。

#### 1. 液压油应具有的主要性能

- (1) 适宜的黏度和良好的黏温性能 油液黏度随温度的变化应比较小。
- (2) 优良的润滑性能(抗磨性能) 液压油液不仅是传递能量动力的介质，也是相对运动零件之间的润滑剂，液压油液应当能在零件的滑动表面上形成高强度的支撑油膜，形成液体润滑，避免干摩擦。
- (3) 良好的化学稳定性 即对热、氧化、水解、相容体都具有良好的稳定性。
- (4) 良好的抗乳化性 在液压油液中如加入水分会使油液乳化，降低油的润滑性能，增加油的酸值，缩短油的使用寿命。
- (5) 良好的防锈、抗腐蚀性 对液压元件的锈蚀性小。
- (6) 良好的抗泡性和空气释放性 液压油液中的气泡易于排出释放。
- (7) 良好的密封材料适应性 与密封材料、软管、涂料等有较好的相容性。
- (8) 良好的清洁性和过滤性 液压油液清洁，污染物少，并能通过过滤等手段清除污染。
- (9) 凝固点低，闪点、燃点高 在需要防火的地方，液压油液的闪点、燃点要高，在气候寒冷的条件下工作时，凝固点要低。
- (10) 对人体无害，对环境污染小，成本低，价格便宜。

#### 2. 液压油的种类

工作介质要同时满足上述各项要求是不可能的，一般根据需要满足一项或几项要求。按国际标准化组织(ISO)的分类，工作介质的类型详见表1-2所示，主要有石油基液压油和难燃液压油。目前，有90%以上的液压设备采用石油基液压油。这种液压油是以石油的精炼物为基础，加入各种为改进性能的添加剂而成。不同工作条件要求具有不同性能的液压油，不同品种的液压油是由于精制程度不同和加入不同的添加剂而成，这种油价格低，但物理化学性能较差，只能用在压力较低和要求不高的场合。为了改善系统液压油的性能，往往要加入各种添加剂。添加剂有两类：一类是改善油液化学性能的，如抗氧化剂、防腐剂、防锈剂等；另一类是改善油液物理性能的，如增黏剂、抗磨剂、防爬剂等。

**HH 液压油** 是一种不含任何添加剂的矿物油。这种油虽已列入分类之中，但在液压系统中已不使用。因为这种油稳定性差、易起泡，在液压设备中使用寿命短。

**HL 液压油** 是由精制深度较高的中性基础油，加抗氧和防锈添加剂制成的。HL 液压油按40℃运动黏度可分为15、22、32、46、68、100六个牌号。主要用于对润滑油无特殊要求，环境温度在0℃以上的各类机床的轴承箱、齿轮箱、低压循环系统或类似机械设备循环系统的润滑。它的使用时间比机械油可延长一倍以上。该产品具有较好的橡胶密封适应性，其最

高使用温度为 80℃。

表 1-2 工作介质的类型

类 别		组成与特性		代 号	
石油基液压油		无添加剂的石油基液压油		L-HH	
		HH + 抗氧化剂、防锈剂		L-HL	
		HL + 抗磨剂		L-HM	
		HL + 增黏剂		L-HR	
		HM + 增黏剂		L-HV	
		HM + 防爬剂		L-HG	
难燃液压油	含水液压油	高含水液压油	水包油乳化液	L-HFA	L-HFAE
			水的化学溶液		L-HFAS
		油包水乳化液		L-HFB	
	水-乙二醇		L-HFC		
	合成液压油	磷酸酯		L-HFDR	
		氯化烃		L-HFDS	
		HFDR + HFDS		L-HFDT	
		其他合成液压油		L-HFDU	

HM 液压油(抗磨液压油) 是从防锈、抗氧液压油基础上发展而来的,它们均按 40℃ 运动黏度分为 22、32、46、68 四个牌号。主要用于重负荷、中压、高压的叶片泵、柱塞泵和齿轮泵的液压系统,用于中压、高压工程机械、引进设备和车辆的液压系统,也可用于中等负荷工业齿轮(蜗轮、双曲线齿轮除外)的润滑。其应用的环境温度为 -10℃ ~40℃。该产品与丁腈橡胶具有良好的适应性。

HG 液压油 这是在 HM 液压油基础上添加油性剂或减磨剂构成的一类液压油。该油不仅具有优良的防锈、抗氧、抗磨性能,而且具有优良的抗黏滑性。该产品主要适用于各种机床液压和导轨合用的润滑系统或机床导轨润滑系统及机床液压系统。在低速情况下,防爬效果良好。

HV、HS 液压油(低温液压油) 这是两种不同档次的液压油。此两类油都有低的凝固点,优良的抗磨性、低温流动性和低温泵送性。HV、HS 液压油按基础油分为矿油型与合成油型两种,按 40℃ 运动黏度, HV 油分为 15、22、32、46、68、100 六个牌号, HS 油分为 15、32、32、46 四个牌号。HV 低温液压油主要用于寒区或温度变化范围较大和工作条件苛刻的工程机械、引进设备和车辆的中压或高压液压系统, HS 低温液压油主要用于严寒地区上述各种设备。使用温度为 -30℃ 以下。

水-乙二醇液压油(L-HFC) 这种液体由水、乙二醇和添加剂组成,而蒸馏水占 35% ~55%,因而抗燃性好。这种液体的凝固点低,达 -50℃,黏度指数高(130 ~170),为牛顿流体。缺点是能使油漆涂料变软。但对一般密封材料无影响。

乳化液 L-HFB 乳化液属抗燃液压油,它由水、基础油和各种添加剂组成。分水包油

乳化液和油包水乳化液,前者含水量达90%~95%,后者含水量达40%。

磷酸酯液压油(L-HFDR) 它的使用范围宽,可达-54℃~135℃。抗燃性好,氧化安定性和润滑性都很好。缺点是与多种密封材料的相容性(代表不起化学反应的能力)很差,有一定的毒性。

## 1.4.2 液压工作介质的性质

### 1. 密度

液压油的单位质量和单位体积之比称为该种液压油的密度,以 $\rho$ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3)$$

式中: $\rho$ ——液压油的密度;

$V$ ——液压油的体积;

$m$ ——液压油的质量。

液压油的密度随温度的升高而降低,随压力的升高而增大。矿物油型液压油在15℃时的密度为900(kg/m<sup>3</sup>)左右,在实际使用中可忽略温度和压力的影响。

### 2. 可压缩性

液压油受外力的作用而使其体积发生变化(体积减小)的性质被称为液体的可压缩性。

体积为 $V$ 的液压油,当压力变化量为 $\Delta p$ 时,体积的绝对变化量为 $\Delta V$ ,液体在单位压力变化下的体积相对变化量为:

$$\beta = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (1-4)$$

式中: $\beta$ ——液体的体积压缩系数。

因为压力增大时液体的体积减小,所以上式的右边加一负号,从而使液体的体积压缩系数为正值。

液压油体积压缩系数的倒数,称为体积弹性模量 $K$ ,简称体积模量

$$K = \frac{1}{\beta} = -\frac{V_0}{\Delta V} \Delta p \quad (1-5)$$

常用石油型液压油的体积弹性模量为 $(1.4 \sim 2) \times 10^3$  MPa,而钢的体积弹性模量为 $2.1 \times 10^3$  MPa,可见液压油的压缩性比钢大100~150倍。对于一般液压传动系统,可压缩性的影响可以忽略,但在研究动态性能或压力变化很大的高压系统时,则必须考虑油液压缩性的影响。

液压油的体积模量与温度、压力有关:温度增大时, $K$ 值减小,在液压油正常的工作范围内, $K$ 值会有5%~25%的变化,压力增大时, $K$ 值增大,但这种变化不呈线性关系,当 $p > 3$  MPa时, $K$ 值基本上不再增大。液压油液中如混有气泡时, $K$ 值将大大减小。

### 3. 黏性

(1) 黏性的意义 液体在外力作用下流动或有流动趋势时,液体分子间的内聚力阻碍液体分子间的相对运动,由此而产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。

图1-4所示液体流动时,相邻液层间的内摩擦力 $F$ 与液层间的接触面积 $A$ 和液层间相对运动的速度 $du$ 成正比,与液层间的层距离 $dy$ 成反比。即

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

如以  $\tau$  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，则有

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

式中： $\mu$ ——比例系数，称为动力黏度；

$du/dy$ ——速度梯度，即相对运动速度对液层距离的变化率。

上式称为牛顿内摩擦定律。

静止液体不呈现黏性。只有当运动流体层间发生相对运动时，流体抵抗剪切变形，是以黏性表现的。

黏性的大小可用黏度来衡量，黏度是选择液压油的主要指标，是影响流体流动的重要物理性质。

(2) 液体的黏度 液体黏性用黏度来表示。常用的液体黏度有三种表示方法，即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

①动力黏度  $\mu$  又称绝对黏度，其物理意义是：当速度梯度等于 1 时，流动的液体层间单位面积上产生的内摩擦力。

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (1-8)$$

法定计量单位  $N \cdot s/m^2$  或  $Pa \cdot s$ 。

②运动黏度  $\nu$  动力黏度与液体密度的比值，即  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

运动黏度无明确的物理意义，法定计量单位为米<sup>2</sup>/秒 ( $m^2/s$ )，1P(泊) = 1 dyn · s/cm<sup>2</sup> (达因 · 秒/厘米<sup>2</sup>) = 100 cP(厘泊) [1 m<sup>2</sup>/s = 10<sup>4</sup> cm<sup>2</sup>/s (St, 沱) = 10<sup>6</sup> mm<sup>2</sup>/s (cSt, 厘沱)]。运动黏度是工程上常用的黏度表示方法。如液压油的牌号，表示液压油在 40℃ 时的运动黏度的平均值。例如 20 号机油，表示液压油在 40℃ 时的运动黏度的平均值为 20 mm<sup>2</sup>/s。

过去我国机油的牌号，就是该油液在 50℃ 时的运动黏度的平均值，现已改用 40℃ 时的运动黏度的平均值表示机油的牌号。新旧牌号对照见表 1-3。

表 1-3 液压油新旧牌号对照表

新牌号黏度级	7	10	15	22	32	46	68	100	150
旧牌号黏度级	5	7	10	15	20	30	40	60	80

③相对黏度 又称条件黏度，它是采用特定的黏度计，在规定的条件下测出的液体黏度。根据测试条件不同，各国采用的相对黏度单位也不同。我国采用恩氏黏度<sup>°E</sup>。

恩氏黏度的测定方法是：将 200 cm<sup>3</sup> 被检测的油液放在一个特制的容器里(恩氏黏度计)，加热至  $t$ ℃ 后，再从容器底部一个  $\phi 2.8$  mm 的小孔流出，所需时间  $t_1$ ，与同等体积的 20℃ 的蒸馏水从恩氏黏度计流出所需时间  $t_2$  之比值即是该油液在温度  $t$ ℃ 时的恩氏黏度，用符号<sup>°E</sup> <sub>$t$</sub> 表示。

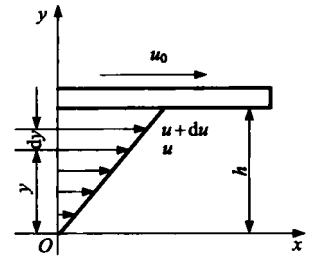


图 1-4 液体黏性示意图

$${}^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-9)$$

恩氏黏度与运动黏度的换算公式为

$$\nu = (7.31 {}^{\circ}E - \frac{6.31}{{}^{\circ}E}) \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-10)$$

工业上一般以 20℃、50℃ 和 100℃ 作为测定恩氏黏度的标准温度，相应恩氏黏度符号为  ${}^{\circ}E_{20}$ 、 ${}^{\circ}E_{50}$  和  ${}^{\circ}E_{100}$ 。

④黏度与温度的关系 液压油的黏度对温度的变化很敏感，温度升高，黏度降低(图 1-5)的这一特性称为油液的黏温特性。液压油的黏度随温度的变化越小越好，即黏温特性好。黏度的变化对液压系统的能量损失和泄漏量有直接的影响，黏度增大，能量损失增加，泄漏量减小；反之，能量损失减小，泄漏量增加。黏温特性可用黏度指数  $VI$  表示。黏度指数  $VI$  是用被检测油液黏度随温度变化的程度，同标准油液黏度变化程度比较的相对值。 $VI$  值越高，表示液压油黏度随温度变化越小，即黏温特性越好。对于普通的液压传动系统，一般要求  $VI \geq 90$ 。

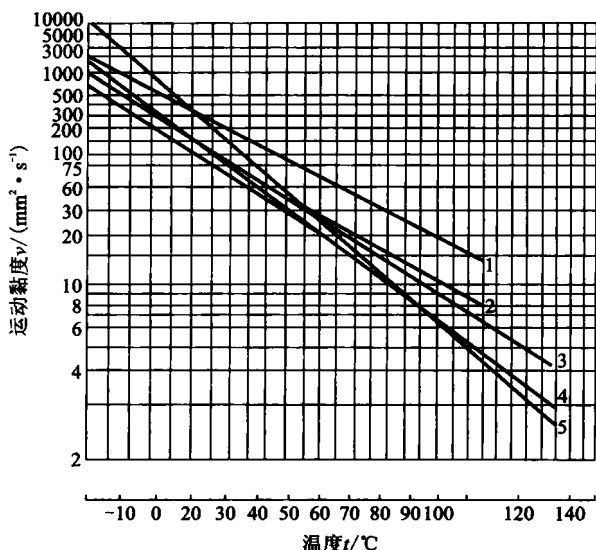


图 1-5 黏温特性曲线

1—水包油乳化液；2—水-乙二醇液；3—石油型高黏度指数液压油；  
4—石油型普通液压油；5—磷酸酯液

⑤黏度与压力的关系 在一般情况下，压力对黏度的影响比较小，在工程中当压力低于 5 MPa 时，黏度值的变化很小，一般不考虑。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。因此，在压力很高以及压力变化很大的情况下，黏度值的变化就不能忽视，当压力大于 50 MPa 时，其影响趋于明显。

### 1.4.3 液压工作介质的选择

正确而合理地选用液压油，乃是保证液压设备高效率正常运转的前提。

液压工作介质的选择包含两个方面：品种和黏度。

选用液压油时，可根据液压元件生产厂样本和说明书所推荐的品种型号选用液压油，或者根据液压系统的工作压力、工作温度、液压元件种类及经济性等因素全面考虑，同时还要考虑液压系统工作条件的特殊要求，如在寒冷地区工作的液压系统则要求油的黏度高、低温流动性好、凝固点低；伺服系统则要求液压油质纯、压缩性小；高压系统则要求液压油液抗磨性好；若环境温度较高且有防火要求，应选择难燃液压油。

在选用液压油时，黏度是一个重要的参数。黏度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏运动及流动时的压力损失、系统的发热温升等。黏度选用过高虽然对润滑性有利，但增加液压系统的阻力，压力损失增大，能耗损失增大，油温上升，液压系统动作不稳，产生噪声。过高的黏度还会造成低温启动时吸油困难，中断供油、发生设备故障。相反，当液压系统黏度过低时，会增加液压设备的内、外泄漏，液压系统工作压力不稳，压力降低，液压系统工作部件不到位，严重时会导致液压泵磨损增加。因此，选择合适液压油的品种，确定液压油的合适黏度，才能确保液压系统在最佳状态下工作。

液压泵是液压系统的重要元件，它在系统中的运动速度、压力和温升都较高，工作时间长，因而对液压油黏度要求较高，所以选择液压黏度时，应考虑液压泵(工作状态)。否则，会加速液压泵的磨损快，降低液压泵的容积效率降低等。在一般情况下，可将液压泵要求液压油的黏度作为选择液压油的基准，对各种不同的液压泵，推荐液压油的黏度见表 1-4。

表 1-4 液压泵用油的推荐使用黏度范围

环境温度		5℃ ~ 40℃	40℃ ~ 80℃
黏 度		40℃ 黏度 (mm <sup>2</sup> /s)	40℃ 黏度 (mm <sup>2</sup> /s)
液压泵类型	齿轮泵	30 ~ 70	110 ~ 54
	叶片泵 $p \leq 7$ MPa	30 ~ 50	43 ~ 77
	叶片泵 $p > 7$ MPa	54 ~ 70	65 ~ 95
	轴向式柱塞泵	43 ~ 77	70 ~ 172
	径向式柱塞泵	30 ~ 128	65 ~ 270

系统压力和执行装置工作速度也是选择液压油的重要依据：

通常，当工作压力较高时，宜选用黏度较高的液压油，以免液压系统泄漏增加，效率下降；工作压力较低时，宜用黏度较低的油，这样可以减少压力损失。

当液压系统中工作部件的运动速度很高时，油液的流速快，液压损失随着增大，而泄漏相对减少，因此宜用黏度较低的液压油；反之，当工作部件的运动速度较低时，单位时间所需的流量很小，液压系统泄漏较大，运动速度影响大，宜选用黏度较高的液压油。

矿物油的黏度受温度的影响变化大，为保证在工作温度时有合适的液压油黏度，必须考虑周围环境温度的影响。当温度高时，宜采用黏度较高的液压油；周围环境温度低时，宜采用黏度较低的液压油。

## 本章小结

本章介绍了液压传动的工作原理，液压传动系统的组成，液压传动的优缺点，列举了液压传动的应用，液压传动的工作介质，即液压油的主要性能，种类，及选择。

## 习 题

- 1-1 什么叫液压传动？液压传动系统由哪几部分组成？各组成部分的作用是什么？
- 1-2 液压传动有哪些优点？
- 1-3 液压油的作用是什么？
- 1-4 液压油应具备哪些主要性能？
- 1-5 油液黏度有哪几种表示方法？油液的黏度与温度、压力有什么关系？



## 第2章

# 液压流体力学基础

液压传动中的能量转换过程是以液体作为工作介质，通过固体和液体的相互作用完成的。该过程和液体的许多性质有关。流体力学是研究液体平衡与运动规律的一门科学。本章只介绍与液压传动相关的流体力学基本内容，为以后分析、使用以至设计液压元件和液压传动系统打下必要的理论基础。

### 2.1 液体静力学

液体静力学研究静止液体的力学规律和这些规律的实际应用。这里所说的静止液体是指液体处于内部质点间无相对运动的状态，因此液体不显示黏性，液体内部无剪切应力，只有法向应力即压力。

#### 2.1.1 液体静力学概念及静压力

作用在流体上的力有质量力和表面力，分别定义如下。

##### 1. 质量力

质量力( $G$ )：作用在研究的流体微粒团上，并与所作用的流体质量成正比。质量力包括重力和惯性力等。在流体力学中，常用单位质量力来衡量其大小。令  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  分别代表单位质量力在直角坐标轴  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的分量，则

$$X = \frac{G_x}{m} \quad Y = \frac{G_y}{m} \quad Z = \frac{G_z}{m}$$

单位与加速度的单位相同，均是  $m/s^2$ 。

##### 2. 表面力

作用在研究的液体的表面上，与液体的表面积成正比。表面力可分解为垂直于表面法向力(法向应力)和相切于表面的切向力(切向应力)，而法向正压力又叫正压力。

##### 3. 液体静压力

如图 2-1，在匀质的静止液体中取一分离体，将此分离体用一平面  $AB$  切成 I、II 两部分，取走 I 部分，要保持 II 部分的平衡，在面  $AB$  上必须加上 I 部分液体对 II 部分的作用力。

设作用在  $m$  点微小面积  $\Delta A$  上的合力为  $\Delta p$ ，根据压力的定义，其平均压力为

$$\bar{p} = \frac{\Delta p}{\Delta A} \quad (\text{N/m}^2) \quad (2-1)$$

当面积  $\Delta A$  无限收敛到  $m$  点时，则得

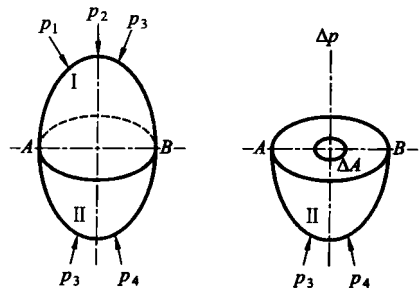


图 2-1 静止液体的分离体