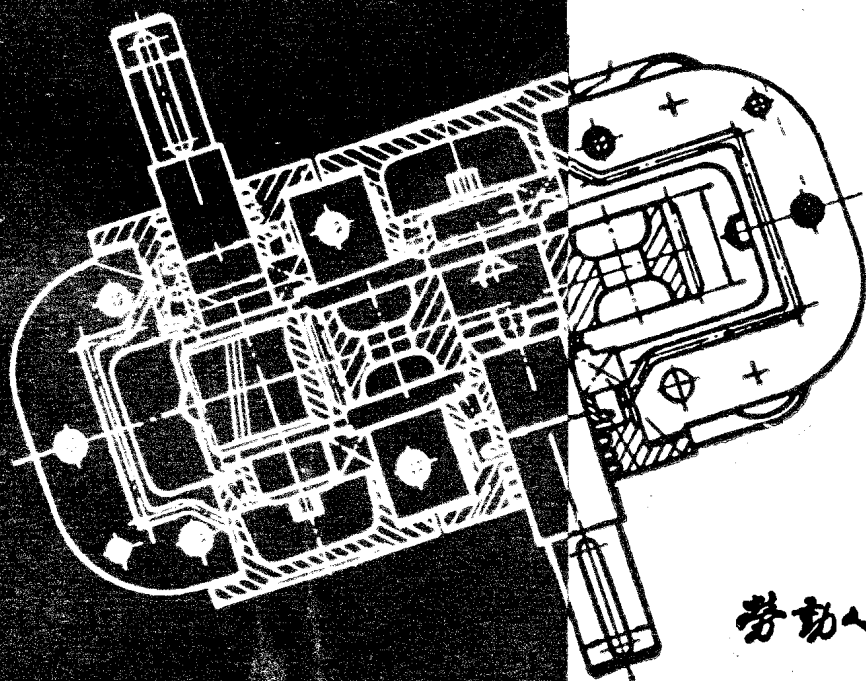
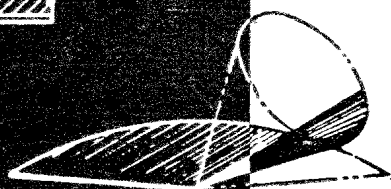
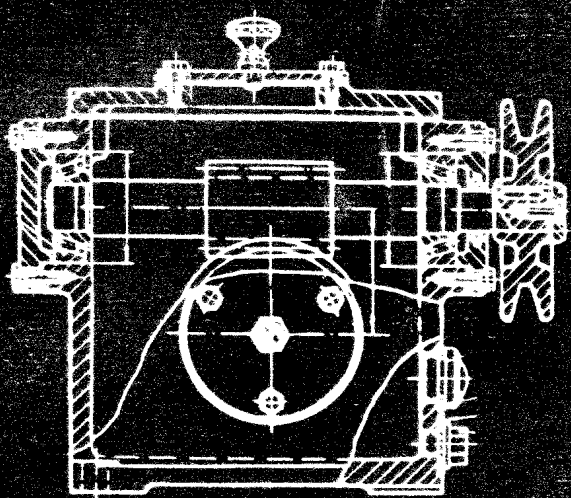


液压技术

试用



劳动人事出版社

机械类高级技工培训教材

液 压 技 术

劳动部培训司组织编写

(试 用)

江苏工业学院图书馆
藏书章

劳动人事出版社

液 压 技 术
劳动部培训司组织编写
责任编辑 陈卫国

劳动人事出版社出版
(北京市和平里中街12号)

北京隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 9.5印张 232千字
1989年6月北京第1版 1989年9月第1次印刷
印数: 15000册

ISBN 7-5045-0372-X/TH·032(课) 定价4.10元

本书是根据劳动部培训司审订颁发的《液压技术教学大纲》编写，供高级技工培训使用的教材。

内容包括：液压技术的基本概念、液压泵和液压马达、液压缸、控制阀、辅助元件、基本液压回路、液压传动的应用实例、液压传动的维护保养和常见故障、液压传动的随动系统等。

本书也适合班组长培训、关键岗位的专业培训和职工自学使用。

本书由倪国栋、王建晨编写，倪国栋主编；廖永祥、黄福宝审稿，廖永祥主审。

说 明

为了满足生产建设不断发展和适应企业深化改革的需要,原劳动人事部培训就业局于1987年10月组织编写了部分工种(专业)高级技工培训教材。这次组织编写的教材有机械制图、公差配合与技术测量、机构与零件、液压技术、机床电气控制、金属切削原理与刀具、机床夹具、机械制造工艺与设备、高级钳工技能训练和高级车工技能训练等10种。其余高级技工培训教材将根据需要陆续组织编写。

这次组织编写的教材内容,是根据高级技工的培养目标,按照原机械委颁发的工人技术等级标准对高级技工应知应会的要求,结合生产需要确定的。着重阐述本工种高级复杂程度的零件加工、复杂设备的调整、维修等操作技能、技巧和技术理论知识;适当介绍有关新技术、新工艺、新设备、新材料的应用;也涉及到某些技术岗位关键问题的处理。

教材的编写,力求理论联系实际,突出操作技能训练。各门课程相对独立,图文并茂,并采用了现行的新国标。这些教材通用性较强,比较适应当前培养高级技工的需要,也适合于班组长培训、关键岗位的专业培训和职工自学。

我们组织编写这一层次的教材,是初次尝试,不足之处在所难免,请各单位和个人在使用中提出宝贵意见和建议。

劳动部培训司

1988年6月

目 录

第一章 基本概念

§ 1-1 概述	1
§ 1-2 液压油的有关性质及其选用	3
§ 1-3 液压传动基本方程及压力损失	8
习题	13

第二章 液压泵和液压马达

§ 2-1 概述	14
§ 2-2 液压泵	16
§ 2-3 液压马达	24
§ 2-4 液压泵和液压马达的选用	25
习题	27

第三章 液压缸

§ 3-1 概述	28
§ 3-2 液压缸的结构及其应用	28
§ 3-3 液压缸主要结构及其尺寸的确定	35
习题	41

第四章 控制阀

§ 4-1 概述	42
§ 4-2 方向控制阀	43
§ 4-3 压力控制阀	49
§ 4-4 流量控制阀	56
§ 4-5 电液比例控制阀	59
习题	62

第五章 辅助元件

§ 5-1 油管和管接头	63
§ 5-2 滤油器	64
§ 5-3 油箱	66
§ 5-4 蓄能器	67
§ 5-5 压力表开关	69
习题	69

第六章 基本液压回路

§ 6-1 方向控制回路	70
§ 6-2 压力控制回路	72

§ 6-3 流量控制回路	77
§ 6-4 多缸顺序动作控制回路	84
§ 6-5 同步动作及多缸工作互不干扰回路	87
习题	89
第七章 液压传动应用实例	
§ 7-1 液压动力头滑台液压系统	92
§ 7-2 组合机床液压系统	96
§ 7-3 CB3463-1型半自动转塔车床的液压系统	98
§ 7-4 YA79-250型液压机液压系统	104
§ 7-5 B228Y型龙门刨床液压系统	107
§ 7-6 M1432A型万能外圆磨床液压系统	110
§ 7-7 起重机液压系统	115
习题	117
第八章 液压传动的维护保养和常见故障	
§ 8-1 液压设备的安装调试和使用	119
§ 8-2 液压设备的维护和保养	125
§ 8-3 液压设备的常见故障及排除	127
习题	132
第九章 液压传动的随动系统简介	
§ 9-1 液压随动系统原理及基本类型	133
§ 9-2 液压随动系统的应用	135
附录一 常用液压元件职能符号 (GB786-76摘录)	138
附录二 SI制单位和单位换算表 (部分)	141
附录三 中、低压液压元件型号说明	143

第一章 基本概念

液压传动是利用液体作为工作介质来进行能量传递的一种传动方式，液压传动以其固有的特点广泛地应用于科研，生产和国防等各个领域。随着工业新技术的不断发展，液压传动技术也愈加被人类所认识和重视，并将在各方面作出应有的贡献。

本章主要介绍液压传动的工作原理，液压传动系统的组成以及液压传动的优缺点。

§ 1-1 概 述

一、液压传动工作原理

液压传动在机械工程中应用广泛，各传动系统的结构形式虽各不相同，但其传动原理相仿。现以一个简化的工作台往复运动液压系统（图1-1）为例，概括说明液压传动的工作原理。

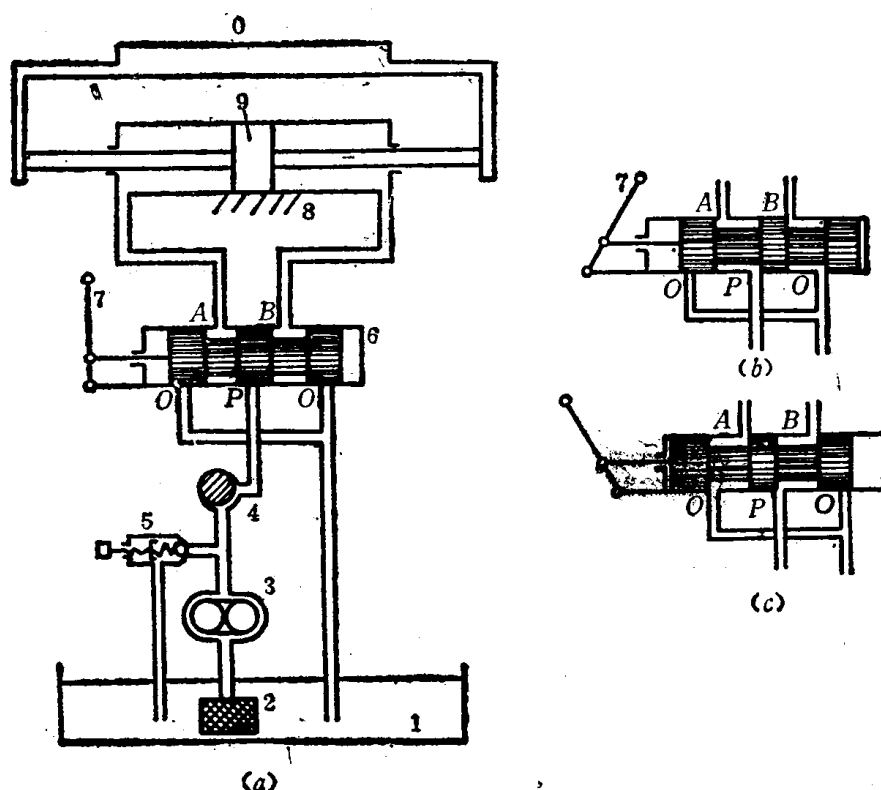


图 1-1 液压传动工作原理图

由图可见，液压泵由电动机带动旋转，从油箱1中吸油，油液经滤油器2通过油管进入液压泵后，将具有压力能的油液输入管路。在图1-1a所示的状态下，油液通过节流阀4流至换向阀6，由于换向阀处于中间位置，阀孔P与A、B均不相通，液压缸左、右腔不通压力油，所以

工作台停止不动。若将换向阀的阀芯向右推,使其处于图1-1b所示位置时,阀孔 P 和 A 、 B 和 O 相通,此时油液流入液压缸8的左腔,液压缸右腔的油液经 B 孔和回油孔 O 回油箱1,这时活塞9带动工作台10向右运动。如果使换向阀阀芯处于左端位置(图1-1c),这时压力油经 P 孔到 B 孔进入液压缸8的右腔,液压缸左腔的油液经 A 孔和回油孔 O 回油箱1,于是使活塞9带动工作台向左运动。如此往复拨动换向阀手柄,不断改变压力油的通路,使液压缸活塞不断换向以实现工作台所需的往复运动。

工作台速度的快慢是通过节流阀4来调节的。节流阀的作用是利用改变节流阀开口的大小,来调节通过节流阀油液的流量,以控制工作台的运动速度。

工作台运动时,要克服切削力、导轨的摩擦力等,这些阻力由液压泵输出的液压力来克服。根据工作台速度的改变和液压力的不同,液压泵排出的油液往往多于液压缸所需的油液,当油液的压力升高略超过溢流阀5中的弹簧调定压力时,钢球被顶开,多余的油液排回油箱,这时油液的压力不再升高,维持定值。溢流阀起着控制油液的压力和把液压泵输出的多余油液排回油箱的作用。

液压系统中的网式滤油器2的作用是滤去油中杂质,保持油液清洁,保证系统正常工作。

二、液压传动系统的组成与图形符号

从上面例子可以看出,液压传动系统的主要组成部分有以下四个方面:

1. 动力装置 把机械能转换成液压能的能量转换装置,如液压泵,它供给液压系统压力油。
2. 执行装置 把液压能转换成机械能的装置,以驱动工作台部件而做功,如各种液压缸和液压马达等。
3. 控制调节装置 用以控制液压系统的液体压力、流量和流向的装置,以保证执行机构完成预期的工作运动,如压力阀、流量阀和换向阀等。
4. 辅助装置 指各种管接头、油箱、油管、滤油器、蓄能器和压力表等,起连接、贮油、过滤、贮存压力能和测量油压等作用。

图1-1所示的液压传动系统图,其中各元件的图形基本上表示了其结构原理,故称结构原理图。这种结构原理图直观性强,容易理解,但图形复杂,绘制比较麻烦。为了简化图形,我国已制订了一套液压元件图形符号(GB786-76)见附录I,可以方便清晰地表达各种类型的液压元件职能,图1-2即为用这套符号绘制出来的上述磨床工作台的液压系统。

三、液压传动优缺点

液压传动与机械传动、电力传动相比有下列一些优点:

1. 在相同功率的情况下,液压传动装置的体积小,重量轻,惯性小,结构紧凑,而且能传递较大的力或转矩。
2. 能方便地实现无级调速,且调速范围大。
3. 液压传动工作比较平稳、反应快、冲击小,能高速启动和频繁的换向。
4. 控制和调节简单、方便、省力,当与电气控制配合使用时,更能实现复杂的顺序动作和远程控制。
5. 液压系统借助安全阀等可自动实现过载保护,同时以油作为介质时,相对运动表面间可自行润滑,故使用寿命长。

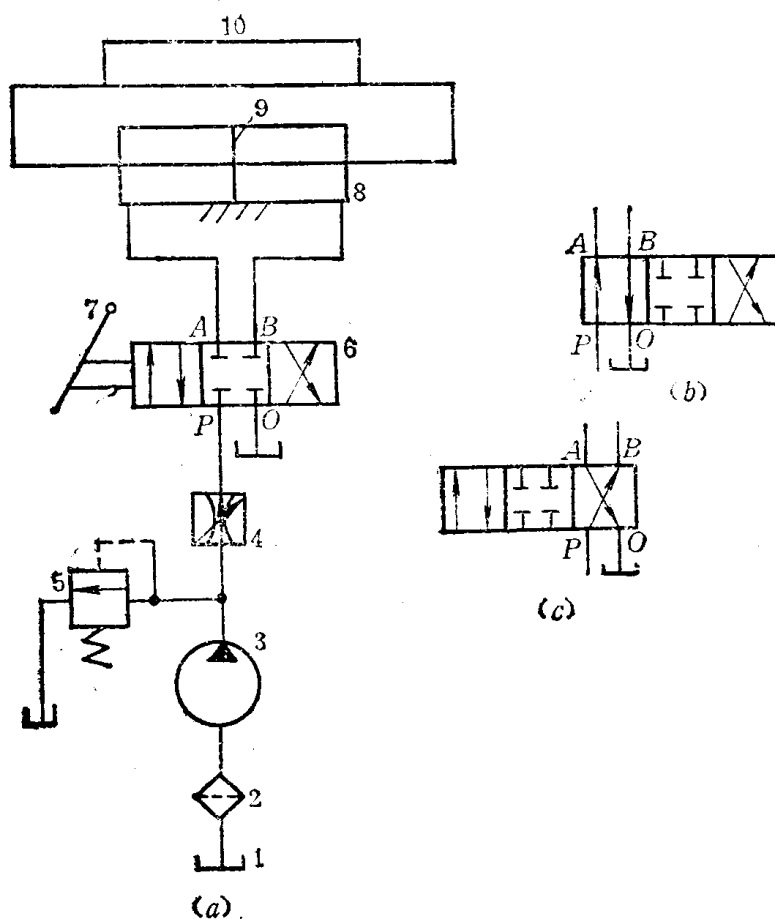


图 1-2 液压传动原理图 (职能符号图)

6. 液压元件易于实现系列化, 标准化。

液压传动的主要缺点:

1. 由于油液的可压缩性、油温变化和泄漏, 不宜用于传动比要求严格的传动中。
2. 液压传动由于在能量转换及传递过程中存在着机械摩擦损失, 压力损失和泄漏而使总效率下降, 故不宜作远距离传动。
3. 液压传动对油液的污染亦比较敏感, 要求有良好的过滤设施和保持油液清洁。
4. 液压传动系统出现故障时, 故障难于查找。

液压传动由于其优点比较突出, 其缺点则随着生产技术的发展正在逐步得到克服, 因此液压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途。

§ 1-2 液压油的有关性质及其选用

了解液体基本的物理性质, 有助于对液压传动基本原理的正确理解和掌握, 有利于对液压油的正确选用。

一、液体的有关性质

1. 重度和密度 液体单位体积的重量称为重度, 以 γ 表示:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{N/m}^3)$$

液体单位体积内的质量称为密度，以 ρ 表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

式中 G ——液体的重量： $G=mg$ 牛顿 (N) ；

m ——液体的质量 千克 (kg) ；

V ——液体的体积，米³ (m³) 。

液体的重度和密度之间存在着如下关系：

$$\gamma = \rho g$$

重力加速度的数值 $g=9.81$ 米/秒² (m/s²) 。

机床液压系统中常用的液压油为矿物油，其密度 $\rho=850\sim960\text{kg/m}^3$ 。重度可取 $\gamma=8400\sim9500\text{N/m}^3$ 。

液压油的密度和重度都随压力和温度的变化而变化，两者均随压力的增加而加大，随温度的升高而减小。在一般情况下，由压力和温度引起的变化都较小，油液的重度和密度可近似视为常数。

2. 可压缩性 液体的可压缩性是指液体受压力作用后体积减小的性质。液体的可压缩性很小，在一般情况下可以忽略不计的。但在压力变化较大的中、高压系统和远程控制及随动精度要求较高的液压系统等，由于液体的压缩性会影响液压系统工作的稳定性，以及产生液压冲击等现象，也就是在精确计算尤其在考虑液压系统的动态过程中，液体的可压缩性就成为一个很重要的因素。

3. 粘性和粘度 液体在外力作用下流动时，液体分子间的内聚力阻碍其分子间的相对运动而产生一种内摩擦力，这种特性称做液体的粘性。

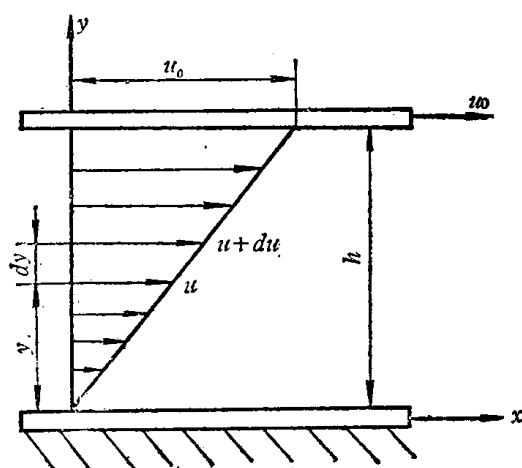


图 1-3 液体粘性示意图

液体流动时，液体与固体壁间的附着力以及液体本身的粘性使液体内部各处的速度大小不等。以图1-3所示，设两平行板间充满液体，当上平板以速度 u_0 相对下平板向右移动时，紧贴着上平板的一极薄层液体在附着力的作用下随上平板一起以 u_0 速度移动，紧贴着下平板的那薄层液体和下平板一起保持不动，而中间各层液体则从上到下按递减的速度向右移动。这是因为相邻两薄层液体间的分子内聚力对上层液体起阻滞作用，而对下层液体则起拖曳作用的缘故。当平板间的距离较小时，各液体层的速度按线性规律分布。

实验测定指出，液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层相对速度 du 成正比，而与液层间的距离 dy 成反比，即

$$F = \mu A \frac{du}{dy}$$

式中 μ ——比例常数,称为粘性系数或粘度;

du/dy ——速度梯度,即液层相对速度对液层距离的变化率。

在静止液体中,由于速度梯度 $du/dy=0$,内摩擦力为零。因此液体在静止状态时不呈现粘性。上式称为牛顿的液体内摩擦定律。若用单位面积上的内摩擦力 τ (即应力)来表示,则上式为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

液体的粘性大小用粘度来表示,粘度是液体的一项重要物理特性,也是选择液压用油的依据。常用的液体粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度等。

(1) 动力粘度 μ 动力粘度又称绝对粘度,由上式得到:

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy}$$

由此可知动力粘度 μ 的物理意义是:在单位速度梯度下流动时,单位面积上产生的内摩擦力。

在SI中,动力粘度 μ 的单位是帕·秒(Pa·s),或牛顿·秒/米²(N·s/m²)。

(2) 运动粘度 ν 动力粘度 μ 和液体密度 ρ 之比值叫做运动粘度。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

运动粘度 ν 没有明确的物理意义,它是一个在液压力分析和计算中经常遇到的物理量,其单位中只有长度和时间的量纲,故称为运动粘度。

在SI中,运动粘度 ν 的单位是米²/秒(m²/s)。

在CGS中,运动粘度 ν 的单位是厘米²/秒(cm²/s),通常称为‘施’(St),工程中常用厘施(cSt)来表示。

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{cm}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$$

运动粘度 ν 不是一个粘度的量,但工程中液体却常用它来表示,例如机械油的牌号就是这种油在50℃时的运动粘度 ν (cSt)的平均值。如10号机械油就是指这种机械油在50℃时运动粘度 ν 的平均值为10cSt。

(3) 相对粘度 相对粘度又称条件粘度,它是采用特定的粘度计在规定的条件下测出来的液体粘度。根据测量条件不同,各国采用的相对粘度的单位是不同的,美国采用国际赛氏秒(SSU),英国采用雷氏秒(°R),我国和欧洲国家采用恩氏粘度(°E)。

恩氏粘度用恩格尔计测定,即将200cm³的被测液体装入底部有 $\phi 2.8\text{mm}$ 小孔的恩氏粘度计容器中,在某一特定温度 $t^\circ\text{C}$ 时,测定其液体在自重作用下流尽所需的时间 t_1 ,和同体积的蒸馏水在20℃时流过同一小孔所需的时间 t_2 之比值,便是该液体在 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏粘度。恩氏粘度用符号 $^\circ E_t$ 表示:

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2}$$

工业上常用20℃、50℃、100℃作为测定恩氏粘度的标准温度,并分别以相应的符号 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 、 $^\circ E_{100}$ 表示之。

4. 粘度与温度关系 温度对油液的粘度影响较大,随着温度升高,油液的粘度将下降。

油液粘度与温度之间的关系称为油的粘温特性。

温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的粘度还可从图表中直接查出，图1-4为部分国产油液的粘温图。

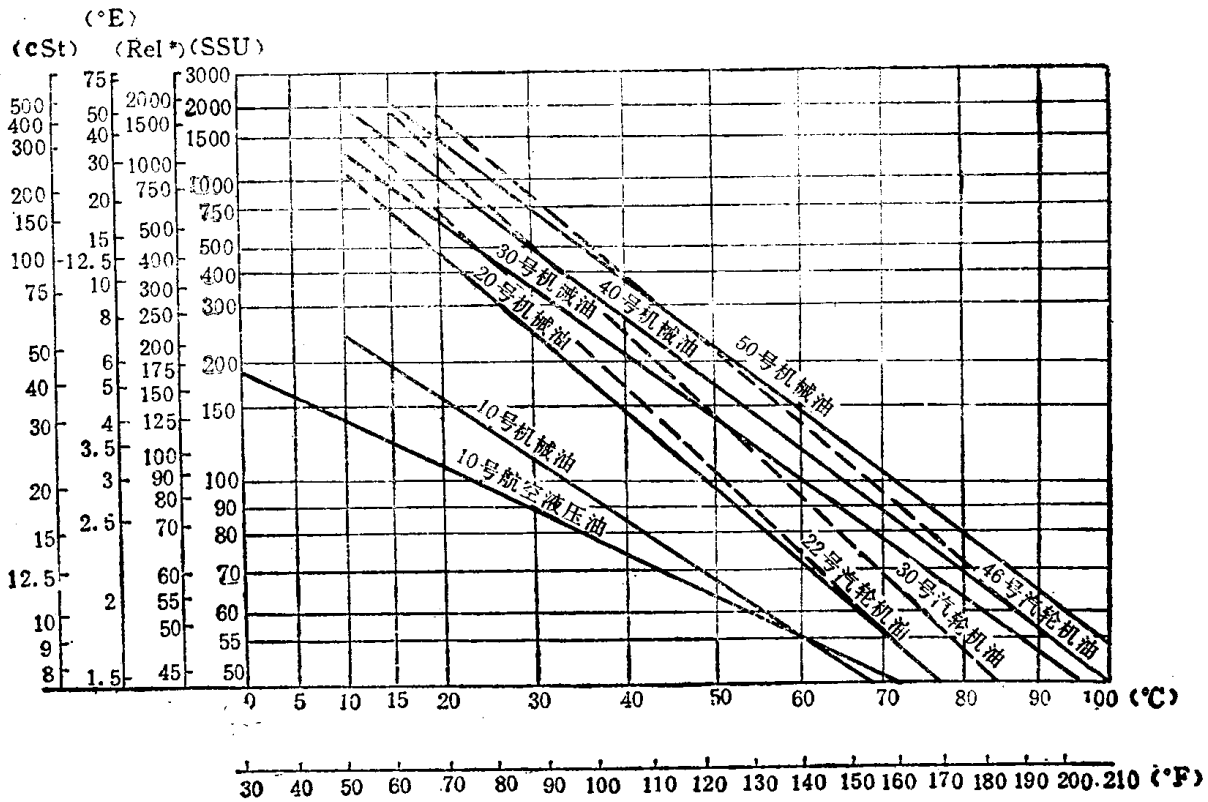


图 1-4 部分国产油液粘温图

5. 粘度与压力的关系 当液体所受的压力增加，其分子间的距离减小，内聚力增大，粘度也随之增大。在实际工程中，压力 $<50 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，一般均不考虑压力对粘度的影响，在压力较高或变化较大时，需考虑压力对粘度的影响。

二、液压油的选用

1. 液压油的分类 液压传动的工作液体很多，其主要工作液体可以分为三大类：矿物油型（也叫石油基型），乳化型和合成型。现归纳列于表1-1中。

2. 对液压油要求 对液压油的要求主要有以下几点：

(1) 具有适宜的粘度。在工作温度变化范围内粘度变化要小，即粘温性能好。

(2) 具有良好的润滑性和较高的油膜强度。因为油液既是工作介质，又是相对运动零件的润滑剂。

(3) 良好的化学稳定性。在贮存及长期使用过程中应不易氧化，不侵蚀机件，不破坏密封装置。

(4) 油液用于高温场合时，为了防火安全，要求闪点高；在温度低的环境下工作时，凝点要低。

(5) 油液的抗乳化性和抗泡沫性要好。油液乳化会降低油液的润滑性，酸值将增加，使油液的使用寿命缩短，油液中产生泡沫会引起气穴现象，从而产生噪声和振动，这将影响液压系统的正常工作。

表 1-1

液 压 油 的 分 类

液压油的类型		使 用 特 点
矿物油型〔石油基〕	机械油	由浅度精制的润滑油馏分制成, 用于一般机床润滑及液压系统
	汽轮机油	用比机械油精制程度深的润滑油制成, 使用寿命长, 但产量少, 应酌情选用
	普通液压油	用汽轮机油馏分作基础油, 加入其它添加剂调合成, 用于要求较高的系统
	液压导轨油	其基础油与液压油相同, 除加添加剂外还加油性剂, 以防止低速爬行
	专用液压油	抗磨液压油 其基础油与液压油相同, 加入一定量的抗磨剂及其它添加剂, 适用于高、中压系统及用于 $>-15^{\circ}\text{C}$ 以上工作环境
		低凝液压油 用低凝点的机械油或汽轮机油, 加添加剂调合而成, 低温下起动性好, 适用于 -15°C 以下的户外高压系统
		清净液压油 油中的杂质颗粒的粒度、数量都予以严格控制、具有较高的抗氧化安定性
		数控液压油 用低粘度的变压器油馏分后, 并加增粘剂等添加剂调合而成, 具有低速稳定性好, 用于数控机床电液脉冲马达
乳化型	油包水乳化液	含60%的基础油, 40%的水和各种添加剂组成的多相体系, 外相为油, 内相为水。具有较好润滑性、防锈性, 但使用温度不能高于 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$
	水包油乳化液	含水量达90~95%, 其余为矿物油和添加剂, 其稳定性、润滑性、防锈性较差, 用于液压支架等
合成型	磷酸酯液压油	使用温度范围宽, 可达 $-54\sim 135^{\circ}\text{C}$, 抗燃性好, 抗氧化安定性和润滑性好, 但与密封材料相容性差
	水-乙二醇液压油	含35~55%的水, 所以抗燃, 其优点是凝点低(-50°C), 粘度指数高。除对油漆涂料变软外, 对密封材料无影响, 便于液压系统更换油液
	硅 油	多用于作减振器油。其特点是压缩系数大, 粘温性及安定性好, 耐剪切等

3. 国产液压油简介 几种国产油的主要指标见表1-2。

4. 液压油的选用和使用注意事项 在选液压油时通常最先考虑的是粘度, 因为粘度即影响系统的泄漏, 又影响功率损失。当系统的工作压力较高, 环境温度较高或工作部件运动速度较慢时, 为了减少泄漏, 宜采用粘度较高的液压油。反之, 当工作压力较低, 环境温度较低, 或工作部件运动速度较快时, 为了减少功率损失, 宜采用粘度较低的液压油。

当液压油的某些性能指标不能满足某些系统(如精密机床液压系统)所需的较高要求时, 可以在油液中加入抗氧化、抗磨损、抗泡沫、防锈蚀, 改善粘温性能等的添加剂以改进它的性能, 使之适用于这些特定的场合。

表1-3为按液压泵类型推荐用油粘度表, 可供选取液压油时参考。

为了保持液压油在使用过程中的质量, 在使用中应注意下列几点:

(1) 保持系统的清洁, 及时清除油液中的杂质; 换油时要彻底清洗系统, 加入新油也需过滤。

(2) 保证系统密封, 防止空气进入。

(3) 油箱中的油面应保持一定的高度, 油泵的吸油管及系统的回油管必须插入油面之下, 安装合理, 以防止油中产生泡沫。

(4) 当环境温度在 38°C 以上时, 连续工作四小时, 油箱内的油温不得超过 70°C 。

表 1-2

几种国产油的主要质量指标

牌 号	主要指标	运动粘度	闪点(开口)	凝 点	酸 值	机械杂质
		(50℃) cSt	℃ (不低于)	℃ (不高于)	mg KOH/g (不大于)	%
汽 轮 机 油	22号	20—23	180	—15	0.02	无
	30号	28—32	180	—10	0.02	无
机 械 油	10号	7—13	165	—15	0.14	0.05
	20号	17—23	170	—15	0.16	0.05
	30号	27—33	180	—10	0.2	0.07
	40号	37—43	190	—10	0.35	无
精 液 密 压 机 油 床	20号	17—23	170	—10		无
	30号	27—33	170	—10		无
	40号	37—43	170	—10		无
稠 化 液 压 油	上稠 20—1	12.51	163.5	—33	0.237	无
	上稠 30—1	18.67	185.5	—49	0.231	无
	上稠 50—1	40.56	174	—48.5	0.123	无
	上稠 90—1	60.81	217	—27.5	0.063	无
航 空 液 压 油	10号	10	92	—70	0.05	无

注：1. 闪点：油加热，它的蒸气和周围空气相混合后，当接近火焰时有闪光发生，这时的温度称为闪点。

2. 凝点：油到达低温失掉流动性的温度，即为凝点。

3. 酸性：中和100毫升石油产品所需氢氧化钾的毫克数称酸值。

表 1-3

按 液 压 泵 类 型 推 荐 用 油 粘 度 表

液 压 泵 类 型		环境温度 14~38℃ cSt (50℃)	环境温度 38~80℃ cSt (50℃)
叶 片 泵	$p < 70 \times 10^5 \text{ Pa}$	17~29	25~44
	$p \geq 70 \times 10^5 \text{ Pa}$	31~40	37~54
齿 轮 泵		17~40	63~88
轴 向 柱 塞 泵		25~44	40~98
径 向 柱 塞 泵		17~62	37~154

§ 1-3 液压传动基本方程及压力损失

一、静力学基础

液体处于静止状态下的压力称为液体静压力。静止液体内任一点的压力 p 由两部分组成(图 1-5)：一部分是液体表面受到外力作用的压力 p_0 ，另一部分是液体的重度 γ 与该点液面深度 h 的乘积。当液面上只受大气压力 p_a 时， x 点处的静压力为：

$$p = p_a + \gamma h$$

液体压力有绝对压力和相对压力两种。绝对压力是以绝对真空为基准进行度量；相对压

力是以大气压力为基准来进行度量。

绝对压力不足于大气压力的那部分压力值，称之为真空度。

图1-6即为绝对压力、相对压力、真空度之间的关系。

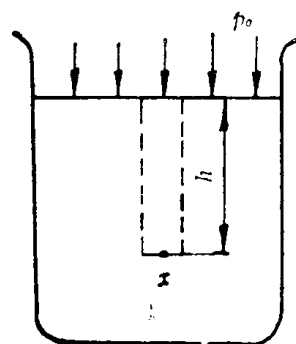


图 1-5 静止液体内任一点的压力

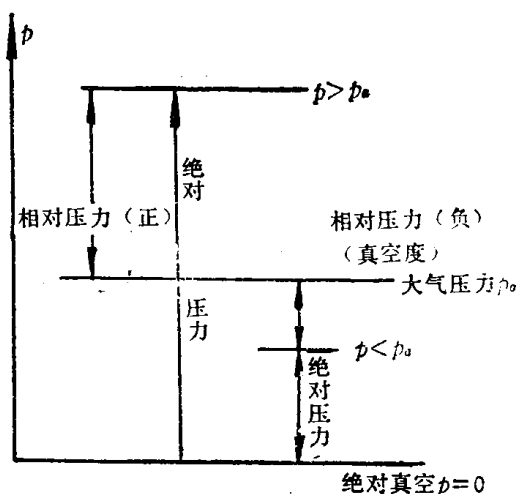


图 1-6 绝对压力、相对压力及真空度

由于大气压和油液自重产生的压力较小，在液压传动中可忽略不计，所以液压传动中所说的压力，一般指液体表面每单位面积上受外力作用所产生的力，可用下式表示：

$$p = \frac{F}{A}$$

式中 F ——作用力 (N) ;
 A ——作用面积 (m^2) ;
 p ——压力 (Pa)

由上式可知，液压系统的压力取决于外力，并随外力的变化而变化。

根据静止液体压力的性质，在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将通过液体同时传到液体的各点，并且其压力值处处相等。这就是静压传递原理或称帕斯克原理。

图1-7所示相互连通的密封容器，在活塞2上放置重物 G ，当作用力 F_1 压在活塞1上时，连通器内的液体受到“前阻后推”的作用而产生压力 p_F 。

$$p_F = \frac{F_1}{A_1} \quad (\text{Pa})$$

由帕斯克原理可知，压力 p_F 将传递到液体中各点，活塞2上将受到液压作用力 F_2 ；

$$F_2 = p_F \cdot A_2 \quad (\text{N})$$

或

$$p_F = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

即

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

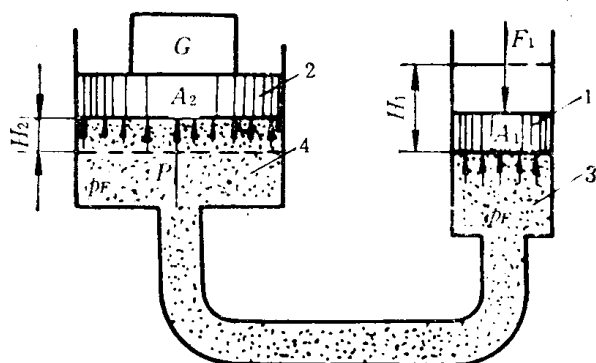


图 1-7 静压传递原理

式中 A_1, A_2 ——活塞1和活塞2的有效作用面积 (m^2)。

上式表明在一个较小的面积上作用较小的力 F_1 ，可以在较大的面积上得到较大的作用力 F_2 。当 F_2 足以克服重物 G 的重力时，则可将重物顶起而作功。液压机和液压千斤顶就是利用这一原理进行工作的。

二、动力学基础

在液压传动系统中，油液经常处于流动状态，因此有必要了解液体流动时的一些基本概念和规律。

1. 连续性方程 流速和流量是描述液流的两个基本参数。流速是指液流质点在单位时间内流过距离，符号为 v ，单位是米/秒；流量是指单位时间内流过某一截面的液体体积，符号为 Q ，单位是 m^3/s ，目前在液压传动中的流量单位常用升/分 ($1\text{m}^3=10^3\text{升}$)。

在液压缸中的液体流速为平均流速，它与活塞运动速度相同，从而可以建立起活塞运动速度。液压缸有效面积和流量间的关系即：

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{m/s})$$

由此可知，当液压缸有效面积一定时，活塞运动速度大小由输入液压缸的流量来决定。

理想液体在管道中稳定流动时，由于它几乎不可压缩，在压力作用下液体中间也不可能有空隙，所以液体流经管道每一截面的流量应相等，因而进入管道一端和自管道另一端流出的液体的流量相等，这就是液体流动连续原理。

利用液体流动连续性原理，我们可以计算图1-8所示管道流速间的关系。由于 $Q_1=Q_2$ ，

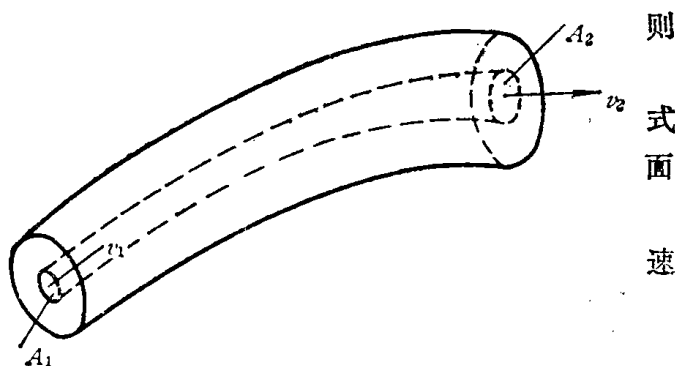


图 1-8 不同管道截面的流速

则
 $A_1 v_1 = A_2 v_2$
 式中 A_1, A_2 ——两个不同截面的截面积 (m^2)；
 v_1, v_2 ——相应截面处的平均流速 (m/s)。

从这个公式得知：

(1) 在同一通道中任一截面的流量相同；

(2) 同一管道中各截面的平均流速与通流截面积成反比，截面积小流速大；截面积大流速小。

2. 能量守恒方程 流动的液体不仅有压力能、位能，而且由于有一定的流速而具动能。图1-9所示为一液流管道，假定理想液体（即无粘性又不可压缩）在管中作稳定流动（流体中任意一点的压力、速度和密度都不随时间而变化）。质量为 m 的液体流经该管任意两个面积分别为 A_1 和 A_2 ，设两断面处的流速分别为 v_1 和 v_2 ，压力为 p_1 和 p_2 ，高度为 h_1 和 h_2 。若在很短时间内，液体通过两断面的距离为 $\Delta l_1, \Delta l_2$ ，根据能量守恒定律可以得到：

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_1 + p_1 \Delta V_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + m g h_2 + p_2 \Delta V_2$$

式中 $\Delta V_1, \Delta V_2$ ——分别为通过断面 A_1, A_2 的液体微小体积 ($\Delta V = A \Delta l$)。

根据液流的连续性原理可知：