

《液压技术基础》编写组 编



液压技术基础

科学出版社

内 容 简 介

本书以国内现有的液压元件和液压系统为基础，用通俗简明的语言介绍了有关液压传动的基本知识，解析了各种常用液压元件的工作原理、性能特点和典型结构（包括液压泵和液压马达、液压缸、控制阀、液压辅件等），通过对几个典型液压系统的剖析，使读者了解液压系统的分析和设计方法，并且对液压伺服系统做了扼要概述。

本书可供具有中等文化程度的读者、技术干部及从事液压传动工作的人员参考。

液 压 技 术 基 础

《液压技术基础》编写组 编

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

石 家 庄 地 区 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年2月第一版 开本：787×1092 1/16

1981年2月第一次印刷 印张：14

印数：0001—16,120 字数：322,000

统一书号：15031·328

本社书号：2028·15-3

定 价：1.50 元

前 言

液压传动是一项比较新的技术。由于它具有结构紧凑、重量轻、惯性小、起动运转平稳、能在较大范围内实现无级调速、能有效地防止过载、易于实现自动控制及远距离操纵等独特的优点，因此目前在国民经济和国防建设的各个领域，包括各种金属切削机床，矿山、起重、运输、冶金、锻压设备，轻工业和农业机械以及火炮、坦克、飞机、舰艇、雷达、导弹和宇宙飞行器的操纵和驾驶等方面，获得了日益广泛的应用。

为了普及液压技术基础知识，我们编写了这本书。本书以国内现有的液压元件和液压系统为基础，力求用通俗简明的叙述，着重分析各种常用液压元件的工作原理、性能特点和典型结构；通过介绍几个典型的液压系统，使读者了解液压系统的分析和设计方法，并对液压伺服系统有一个基本的概念。

参加本书编写的有严金坤、范崇託、马力中等同志，由马力中主编及负责全书的修改工作。在编写的过程中，得到了有关工厂、院校、研究所、设计院等单位的热情帮助，并由上海市机械制造工艺研究所审阅全书，在此表示衷心的感谢。限于水平，书中难免有不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

《液压技术基础》编写组

目 录

前 言

第一章 液压传动的一些基本概念	1
§1-1 液压传动的基本原理.....	1
§1-2 液压油的性质和选用.....	2
§1-3 液体静力学.....	11
§1-4 液体动力学.....	13
§1-5 管路系统压力损失计算.....	17
§1-6 泄漏计算.....	19
§1-7 液压冲击和气穴现象.....	21
§1-8 液压传动中常用的基本公式.....	24
第二章 液压泵和液压马达	29
§2-1 齿轮泵和齿轮液压马达.....	30
§2-2 叶片泵和叶片液压马达.....	36
§2-3 径向柱塞泵和径向柱塞马达.....	44
§2-4 轴向柱塞泵和轴向柱塞马达.....	56
第三章 液压缸	67
§3-1 液压缸的分类和结构.....	67
§3-2 液压缸的设计计算.....	72
第四章 控制阀	82
§4-1 控制阀的作用和分类.....	82
§4-2 方向控制阀.....	83
§4-3 压力控制阀.....	94
§4-4 流量控制阀.....	103
第五章 液压辅件	113
§5-1 油箱.....	113
§5-2 油管和管接头.....	114
§5-3 滤油器.....	117
§5-4 蓄能器.....	121
§5-5 冷却器和加热器.....	123
§5-6 密封装置.....	124
第六章 典型液压系统	129
§6-1 Q_2-5-13 汽车起重机液压系统.....	129
§6-2 机械手液压系统.....	137
§6-3 油压机液压系统.....	146
第七章 液压传动系统的设计计算	155
§7-1 液压基本回路.....	155
§7-2 液压系统设计计算.....	174

第八章 液压伺服系统的概述	184
§8-1 伺服控制理论的基本概念.....	184
§8-2 电液伺服阀.....	188
§8-3 典型液压伺服回路及动态分析.....	198
§8-4 电液伺服系统应用实例.....	206
附录 液压系统图图形符号	210

第一章 液压传动的一些基本概念

§ 1-1 液压传动的基本原理

一、液压传动的工作原理和组成部份

液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的装置。液压传动一般可以分为两种类型：借助于运动着的液体的容积变化来传递动力的液压传动，称为容积式液压传动；借助于运动着的液体的动能来传递能量的，称为动力式液压传动。本书所介绍的都属于容积式液压传动。它的基本工作原理可以用下面的液压千斤顶来说明。

在建筑工地及汽车修理中，人们常常使用一种小巧的起重工具——液压千斤顶。图 1-1 是液压千斤顶的结构示意图，它有大小两个液压缸，只要在手柄上施加几十公斤的力，大液压缸就能顶起几吨重的重物。那么，它是怎样工作的呢？当人们将手柄 8 向上扳动时，连杆带动小活塞 7 向上移动，形成真空，储存在油箱 2 内的油经过管道 c 和单向阀 6 吸入小液压缸下腔；当手柄 8 被压下时，小活塞向下移动，于是小缸下腔的油经管道 b 和单向阀 3 压入大液压缸下腔（此时单向阀 6 关闭），迫使大活塞 1 上升，顶起重物。这样，手柄不断上下往复扳动，就能不断地把油压入大缸下腔，使大活塞顶着重物慢慢上升。单向阀 3 的作用是保证进入大缸的油不能倒流，从而使重物保持在上升位置。若要使重物降下，可拧开放油螺塞 5，让大液压缸内的油经管道 a 和单向阀 4 回到油箱 2，使大活塞下降。只要控制放油口的大小，就可以控制重物下降的速度。在这里，小液压缸的主要作用是通过不断地完成吸油和压油的动作，将人为的机械功转换为油液的液压能，实际上它是一只手动柱塞泵；而大液压缸的作用则是将油液的液压能转化为顶升重物的机械能，它相当于一只柱塞式液压缸。显然，液压千斤顶是利用油作为工作介质实现了能量的传递。

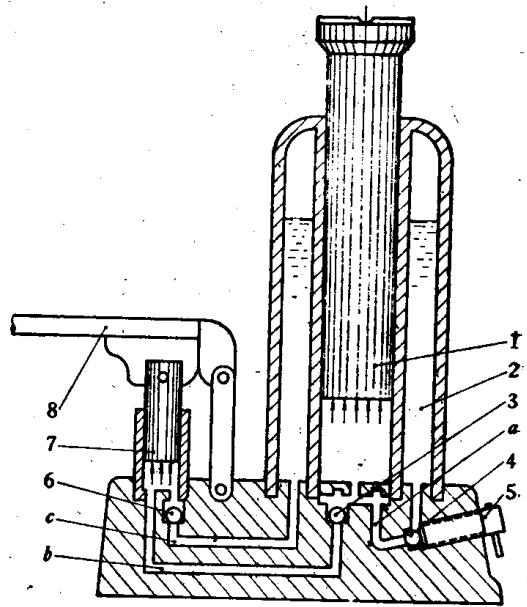


图 1-1 液压千斤顶

通常，一个液压传动系统除液压油外，应由以下四个部份组成：

- (1) 能源部分。液压泵把电动机或其他发动机输出的机械能转换为流动液体的压力能。
- (2) 执行机构部分。液压马达或液压缸将流动液体的压力能转换成机械能输出以驱动负载。

(3) 控制部分。包括各种压力、流量及方向控制阀等，用来控制和调节油液的压力、流量和方向，以满足对液压传动系统提出的动作和性能要求。

(4) 辅助部分。包括油箱、油管和管接头、滤油器、蓄能器、加热器和冷却器等辅助元件。

这些液压元件将在以后各章中分别介绍。

二、液压传动的主要优缺点

液压传动与电气、机械等传动相比较，具有以下优点：

(1) 液压传动装置的重量轻，体积紧凑，惯性小。例如相同功率液压马达的体积为电动机的12~13%。当液压泵的转速为2500~3000转/分，压力为200~250公斤力/厘米²时，泵的单位功率重量为0.15~0.2公斤/千瓦，而一般发电机则为1.5~2公斤/千瓦。

(2) 能在很大的调整范围内实现无级变速。特别是采用节流式调速时，结构十分简单，成本低廉，调速范围可达200~250。而电动机通常只能达到2。虽然机械传动也能实现无级变速，如钢球变速器等，但调速范围和传动功率都较小。

(3) 传递运动均匀平稳，负载变化时速度较稳定。正因为有这一特点，金属切削机床中磨床传动现在几乎都采用液压传动，仿型机床也广泛使用液压传动。

(4) 操纵简便易于实现自动化。特别是电液联合应用时，能够充分发挥两者的优点，实现复杂的自动工作循环。

(5) 易于实现过载保护。

(6) 可实现低速大扭矩传动，无需减速器。

液压传动的缺点：

(1) 液压系统中存在漏油现象，会影响运动的平稳性和准确性。

(2) 当液体中含有空气时容易产生噪音，并使低速运动不平稳。

(3) 温度变化时，液体粘性变化会引起传动特性的变化。

(4) 液压元件的制造精度要求较高，加工工艺较复杂。

总的说来，液压传动的优点是主要的，存在的缺点随着设计制造和使用水平的不断提高，是可以逐步克服的。

由于液压传动具有许多突出的优点，所以液压传动系统的应用越来越被各个工业部门所重视，在机床、汽车、造船、锻压设备、矿山、冶金、起重运输机械以及轻工业和农业机械方面已经得到广泛的采用；在国防工业中（如舰艇、飞机、坦克、火炮、导弹等）也得到广泛应用。随着我国工业的迅速发展，液压技术必将得到迅速的推广和提高。

§ 1-2 液压油的性质和选用

在液压传动装置中，通常都采用矿物油作为工作液体。它不但能传递能量，而且能起润滑作用。由于液压系统工作时，液体的压力、流速和温度往往变化较大。油液的质量优劣也直接影响着液压系统的工作性能。因而对工作油液性质的研究和选择是不容忽

视的。

一、液压油的主要物理性质

1. 重度和密度

液体单位体积的重量称为重度，用 γ 表示：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{公斤力/米}^3) \quad (1-1)$$

式中 G ——液体的重量 (公斤力)；

V ——液体的体积 (米³)。

液体单位体积的质量称为密度，用 ρ 表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4) \quad (1-2)$$

式中 m ——液体的质量 (公斤力 \cdot 秒²/米)；

V ——液体的体积 (米³)。

由于重量等于质量乘重力加速度，即 $G = mg$ ，所以液体的重度和密度的关系为：

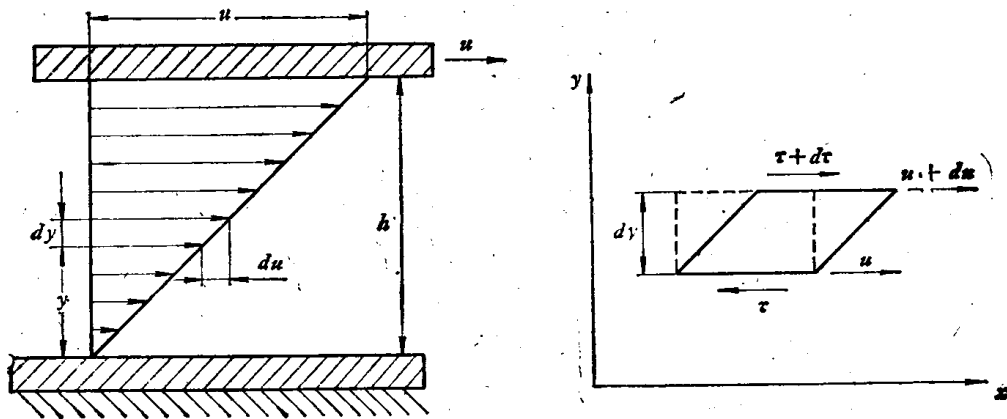
$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (\text{公斤力/米}^3) \quad (1-3)$$

式中重力加速度 g 的数值为 9.81 米/秒²。

液压油的密度和重度都随压力和温度而变化。它们的数值随压力增加而增大，随温度升高而下降。但是在一般的工作情况下，温度和压力引起的变化甚微，所以液压油的重量和密度可视为常数。在计算时一般可取油液的重度 $\gamma = 900$ 公斤力/米³，密度 $\rho = 92$ 公斤力 \cdot 秒²/米⁴ = 0.92×10^{-6} 公斤力 \cdot 秒²/厘米⁴。

2. 粘度

根据日常生活经验我们知道，机器的润滑油到了夏天就变稀，到了冬天就变稠，稀油和稠油的流动性是不同的，油的这种特性叫粘性，它是液体流动时液体分子间的内部摩擦力作用的结果。粘性是油液各种物理性质中最重要的特性，也是选择液压油的一个非常重要的依据。粘性的大小可用粘度来表示。



(a) 相对运动的平行平板间液体的流动

(b) 粘性液体两无限薄层间的滑移变形

图 1-2

如图 1-2a 所示的平行平板间液体的流动。设上平板以速度 u 相对下平板运动。紧贴于上平板上的油液粘附于上平板上，其速度为 u ；紧贴于下平板上的油液粘附于下平板上，其速度为零。中间油液的速度按线性分布。我们可以把这种流动看成是许多无限薄的油层在运动，如图 1-2b 所示。当运动较快的油层在运动较慢的油层上滑过时，两层间由于粘性就产生内摩擦力的作用。根据实际测定数据得知，油层间的内摩擦力 F_{τ} 与油层的接触面积 A 及油层的相对速度 du 成正比，而与此两油层的距离 dy 成反比。如果以 $\tau = \frac{F_{\tau}}{A}$ 表示切应力，则有

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中 $\frac{du}{dy}$ 称为速度梯度，或称剪切率； μ 是比例系数，称为绝对粘度系数，又称动力粘度。当速度梯度变化时， μ 为常数的液体称为牛顿液体， μ 为变数的液体称为非牛顿液体。除高粘度或含有特种添加剂的油液外，一般的液压油均可视为牛顿液体。

动力粘度 μ 从物理意义上讲，即是面积各为 1 厘米² 和相距 1 厘米的两层液体，当其中的一层液体以 1 厘米/秒的速度与另一层液体作相对运动，此时所产生的阻力以达因为单位，即为动力粘度。

粘度的物理单位为达因·秒/厘米²，又称“泊”。百分之一“泊”称为“厘泊”。在工程单位制中，绝对粘度的单位为公斤力·秒/米²。工程单位和物理单位的换算关系如下：

$$1 \text{ 公斤力} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 = 98.1 \text{ 泊} (\text{达因} \cdot \text{秒} / \text{厘米}^2) \approx 100 \text{ 泊} = 10^4 \text{ 厘泊}.$$

在计算中经常采用运动粘度。运动粘度又叫运动粘性系数，它是液体的动力粘度与它的密度之比：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{厘米}^2 / \text{秒}) \quad (1-5)$$

式中 ρ ——矿物油密度， $\rho = (85 \sim 96) \text{ 公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$ ，
或 $\rho = (0.85 \sim 0.96) \times 10^6 \text{ 公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{厘米}^4$ 。

运动粘度在物理单位制中其单位为厘米²/秒，这个单位习惯上称为“沱”，沱的单位太大，应用不便，所以往往用厘沱表示：

$$1 \text{ 沱} = 100 \text{ 厘沱}$$

运动粘度的工程单位为米²/秒，和物理单位的换算关系如下：

$$1 \text{ 米}^2 / \text{秒} = 10^4 \text{ 沱} (\text{厘米}^2 / \text{秒}) = 10^6 \text{ 厘沱}$$

运动粘度 ν 没有什么特殊的物理意义，只是因为是在液压系统的理论分析和计算中常常碰到绝对粘度 μ 和密度 ρ 的比值，因而才采用运动粘度这个单位来代替 μ/ρ ，它之所以称为运动粘度，是因为在它的单位中只有运动学因次的缘故。

动力粘度和运动粘度是在理论分析和推导中经常使用的粘度单位，它们实际上无法直接测量，因此工程上常采用另一种可以用仪器直接测量的粘度表示法，即相对粘度。相对粘度是以液体的粘度相对于水的粘度的大小程度来表示该液体的粘度。相对粘度又称条件粘度。各国采用的相对粘度单位有所不同，有的用赛氏粘度，有的用雷氏粘度，我国采用恩氏粘度。

恩氏粘度的测定方法如下：测定 200 厘米³ 某一温度的被测液体在自重作用下流过直径 2.8 毫米小孔所需的时间 t_A ，然后测出同体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一孔所需时间

t_B ($t_B=50\sim 52$ 秒), t_A 与 t_B 的比值即为被测液体的恩氏粘度值。恩氏粘度用符号“°E”表示。被测液体在温度 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏粘度用符号“°E_t”表示:

$$^{\circ}E_t = \frac{t_A}{t_B} \quad (1-6)$$

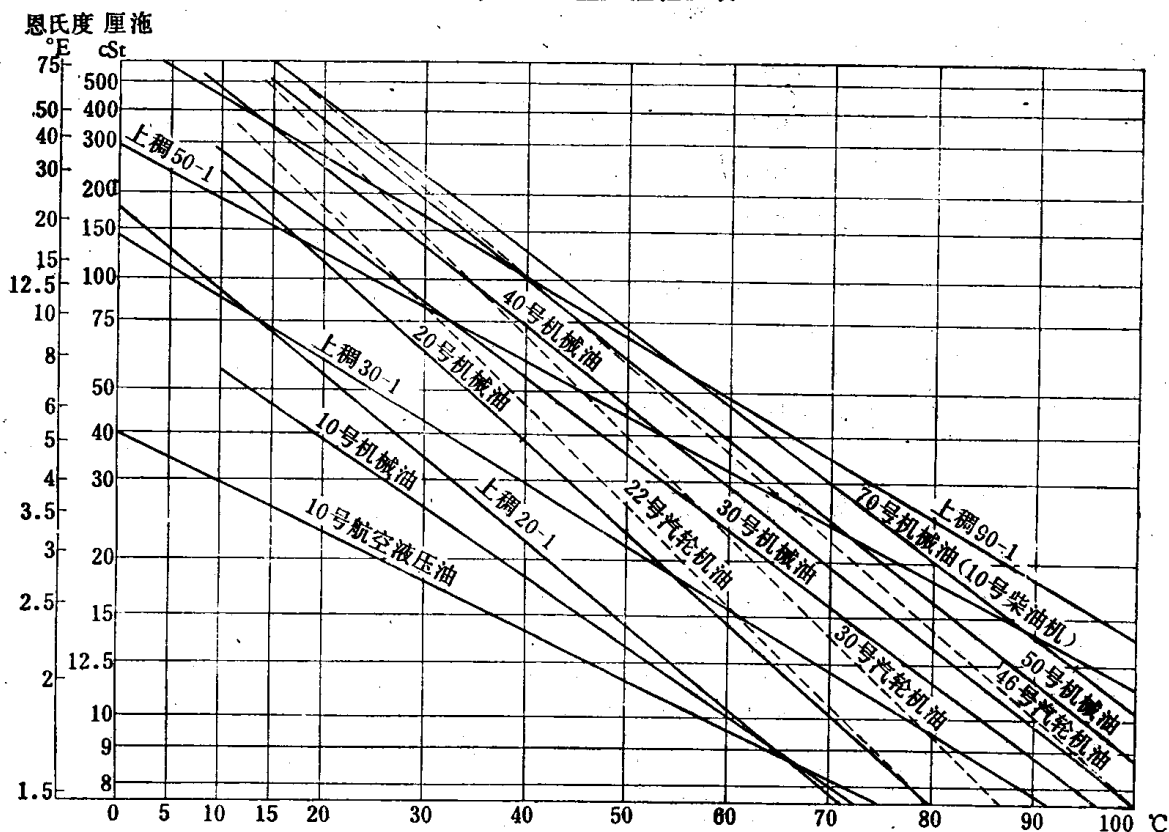
工业上一般以 20°C 、 50°C 和 100°C 作为测定恩氏粘度的标准温度,并相应地以符号 °E₂₀、°E₅₀ 和 °E₁₀₀ 来表示。

知道了恩氏粘度以后,可以利用下列经验公式,将恩氏粘度换算成运动粘度:

$$\nu = 0.0731^{\circ}E - \frac{0.0631}{^{\circ}E} \text{ 沲(厘米}^2\text{/秒)} \quad (1-7)$$

表 1-1 所示为一部分国产液压油的粘温表,可供使用时参考。

表 1-1 国产油粘温表



目前国际上较普遍地采用粘度指数(V. I.)表示油液粘温性能。粘度指数表示被测油液粘度随温度变化的程度同标准油液粘度变化程度比较的相对值,如图 1-3 所示。它是用两种标准油液制成标度。一种标准油液的粘度随温度变化最小,命其粘度指数为 100,另一种标准油液的粘度随温度变化最大,命其粘度指数为 0,它们在 98.9°C 时的粘度与被测油液相同。假设被测油液的粘度指数介于 $0\sim 100$ 之间(在图 1-3 中用虚线表示),那么被测油液可按下式计算:

$$\text{粘度指数(V. I.)} = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \quad (1-8)$$

式中 L ——粘度指数为 0 的标准油液在 37.8°C 的运动粘度(厘沲),而其 98.9°C 的粘度与被测油液粘度相同;

U ——被测油液在 37.8°C 的运动粘度(厘沲);

H ——粘度指数为 100 的标准油液在 37.8°C 的运动粘度(厘沲), 而其 98.9°C 的粘度与被测油液粘度相同。

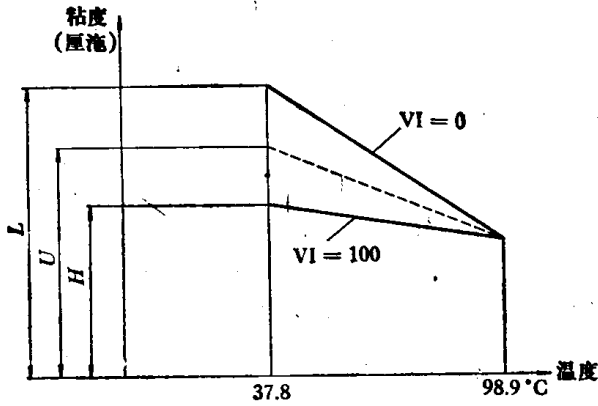


图 1-3 粘度指数计算简图

液压油的粘度指数与其成分和炼制方法有关。通常, 环烷基油液的粘度指数(V.I.) ≈ 0 ; 石蜡基油液的粘度指数(V.I.) $= 100$, L 和 H 的数值可根据被测油液在 98.9°C 时的运动粘度, 从有关手册中查得。

粘度指数高, 表示粘温曲线平坦, 也就是粘温性能好。目前新研制的液压传动用油的粘度指数一般大于 100。

3. 压缩性

液体受压力的作用发生体积变化的性质叫压缩性。液体的压缩性极小, 在很多场合下是可忽略不计的。但在高压和受压体积较大或动态分析时就有必要考虑液体的可压缩性。如图 1-4 所示, 液体的相对压缩量与压力增量成正比:

$$-\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta p \quad (1-9)$$

式中 V ——原来液体的体积;

ΔV ——压力增量为 Δp 时, 因压缩而减小的体积;

Δp ——压力增量;

β ——液体体积系数或称压缩系数。

式 (1-9) 可写成:

$$\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right) = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right) \quad (1-10)$$

由于式(1-9)中压缩系数 β 为正值, 而当压力增加 dp 为正值时, 体积总是减少, 即 dV 为负值, 所以在右边要加一负号。 β 值的物理意义是液体压力有单位增量时, 体积的相对变化率。

β 值与压缩的过程有关, 等温压缩与绝热压缩的压缩系数数值不同, 但液压油的等温和绝热压缩系数差别很小, 故在工程实用上通常不加以区别。常用液

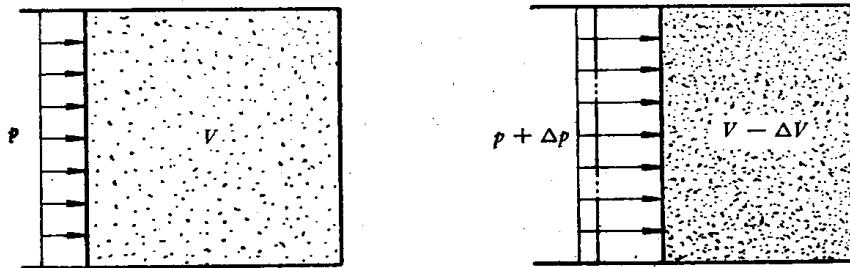


图 1-4 压力升高时油液体积的变化

压油的压缩系数为 $\beta = (5 \sim 7) \times 10^{-5}$ 厘米²/公斤力。

压缩系数 β 的倒数称为容积弹性模数:

$$\beta_e = \frac{1}{\beta} = (1.4 \sim 1.9) \times 10^4 \text{ 公斤力/厘米}^2 \quad (1-11)$$

从上式中可见，油的弹性模数比钢的弹性模数小 100~150 倍。当油中混有空气时，油的可压缩性将显著增加。例如油中混有 1% 空气时，容积弹性模数将降低到纯油的 5% 左右；油中混有 5% 空气时，容积弹性模数将降低到纯油的 1% 左右。故液压系统在设计和使用时应努力避免油中混有空气。

除上述物理性质外，还有其他标志液压油物理性质的参数，如凝固点和流动点、沸点、闪点和燃点、润滑性、以及表面张力、介电性质等。

二、工作油液的化学性质

用于液压传动的工作油液可分为矿物油与植物油两大类。一般说，植物油为非饱和碳氢化合物，性质活泼易氧化变质，但其润滑性能良好。相反，矿物油为饱和碳氢化合物，性质稳定，但其润滑性稍差。液压传动系统中大多采用矿物油，有时掺入少许添加剂以改善其润滑性能。

1. 热稳定性

液压油在温度升高时发生化学变化的程度叫热稳定性，如不发生变化或变化很少则稳定性好。大多数常用的液压油是有机化合物的混合物，当温度升到一定程度时，可能产生裂化作用，使平均分子量减少而产生一些较高挥发性的物质。这变化可能是聚合作用，产生一些树脂状物、焦油、甚至焦炭，也可能是裂化和聚合同时发生。在实际系统中，由于和金属以及其他起催化剂作用的物质相接触，反应的过程会大大加快，它所产生的物质和外来的杂质，如水分和尘粒等混在一起，形成了一种渣泥物，一部分悬浮在液体中，一部分沉积在系统的各个部分。当温度增加到某一极限温度以上时这种反应的速度会变得很快，从而使此种液压油在该温度以上就不能工作。

2. 氧化稳定性

液压油与空气或其它氧化物发生反应的程度叫氧化稳定性。不易氧化变质的油就是化学安定性好。液压油氧化后通常都将使油液的粘度增加并生成酸性化合物，引起液压系统中金属部分的腐蚀现象。并且氧化物的化学性质一般比热解作用的产物更为活泼，所以更容易产生渣泥。温度增高液体的氧化就强烈。

液压油是一种碳氢化合物的矿物油，其中有些碳氢化合物是非饱和的，化学性能比较活泼，易与氧发生作用。而尘埃、污垢、铁锈和金属屑等机械杂质又作氧化过程的催化剂，使油液加速氧化。一般希望油液在 90°C 以下化学性能稳定，能保证正常工作。

3. 水解稳定性

液压油遇水分解变质的程度叫水解稳定性。水在液压油中大部分可能沉在油箱底部，但也有一部分会象乳化液一样循流着，而成为油中渣泥的一种成分。水分也会使酸性的氧化物的腐蚀性大为增加。在低温时，油液析出的水点凝成坚硬的细冰粒，将严重划伤机件的工作表面。

4. 相容性

液压油抵抗常用于系统中的各种材料起化学反应的能力叫相容性。某些油液能与它接触的颜料、油漆、电绝缘物质以及密封件、软管、蓄压器膜片等起反应，因此必须谨慎地使用。

三、对液压油的性能要求

液压系统是依靠液压油来传递能量的，它的性能对液压系统的工作影响很大。根据使用经验，在选择液压油时要注意以下几点。

(1) 粘度适当。选择液压油时，粘度是首先要考虑的因素之一。在同样的工作压力下，油液的粘度过低，会使泵的容积效率降低，系统泄漏增加，压力下降，机件磨损增大；而粘度过高，会使油液流经管路孔道时的摩擦阻力增加，压力降和功率损失大，温升加快，并影响到泵的自吸性能。因此选择液压油的粘度应考虑液压系统的结构特点，管路和元件的尺寸，工作压力和工作温度。由于液压泵是对粘度变化最敏感的元件之一，所以在一般情况下，可以根据泵所规定的粘度范围来选择液压油，表 1-2 是按泵的类型所推荐的用油粘度范围。

表 1-2 按泵的类型推荐用油的粘度(50°C 厘沲)

泵 的 类 型	环 境 温 度	
	14~38°C	38~80°C
叶片泵		
70公斤力/厘米 ² 以下	18~27	25~42
70公斤力/厘米 ² 以上	32~38	36~53
齿轮泵	18~38	60~80
柱塞泵	18~38	60~110

(2) 粘温性能好。在使用的温度范围内，油液粘度随温度的变化应比较小。一般液压油的粘度指数要求在 90 以上。

(3) 具有良好的化学安定性。油液本身不易氧化变质，也不对金属表面、密封装置等起腐蚀和破坏作用。

(4) 在整个工作温度和压力范围内均能保持良好的润滑性和很高的油膜强度。

(5) 质量应纯净，不含有各种杂质。因为液压油中若含有水溶性酸和碱，即使是极微量的，也会使机件及密封装置受腐蚀。若含有空气和易气化的杂质，则会生成气泡，使油液压缩性显著增加，从而引起液压系统工作不平稳，产生液压冲击、噪音及振动。若油液中含有机械杂质，会促使油液氧化而生成胶泥状物质，堵塞液压元件中的小孔和狭缝，影响系统的正常工作。若油中含有水分，不仅易使金属表面锈蚀，而且会使油液乳化，降低油的润滑性能，缩短油的使用寿命。

(6) 对液压系统所用的各种材料，包括金属、塑料、油漆、橡胶以及其它液压油有良好的相溶性。

(7) 满足防火和安全的要 求，油的闪点要高。

四、常用工作油液

目前我国生产的油液种类较多，液压系统中常用的油液简要介绍如下：

1. 普通油

(1) 机械油：国产机械油分为七个牌号，牌号上所标明的号数就是它在温度 50°C 时运动粘度的平均值。机械油为工业用普通润滑油，目前在一般机床液压传动中应用很普遍，其氧化安定性差，常用于条件要求不高的地方。

(2) 汽轮机油(透平油)：这种油因加进抗氧化添加剂，氧化安定性好，在高温下酸值也不会增高，与混入的水分能迅速完全分离，有高的抗乳化性。它酸性低、灰分少、无机械杂质也无水溶性的酸和碱。它为浅黄色透明液体，比机械油纯净，用于要求稍高的液压传动系统中。

由于普通油液中没有或很少加入添加剂，传动时易产生泡沫，声响大，粘温性能差等缺点，已不能满足近代液压传动用油的要求。因此石油工业部门生产了多种专用液压油。由于在油液中加入了各种添加剂，使性能得到改善。

2. 专用液压油

(1) 稠化液压油：凝固点低，氧化安定性好，油中加有添加剂以增加润滑性、防锈蚀和增加粘度指数。其消泡性好，适用于低温。它常用于建筑机械、工程机械和起重机械等液压系统中。

(2) 航空液压油：这是一种经过特殊加工的石油烃润滑油。油中加有增加粘度指数和润滑的添加剂。它凝固点低，粘温性能很好。无腐蚀，不损伤密封物，具有良好的润滑性能。通常染成红色，俗称红油。常用于航空液压系统中。航空液压油在 -30°C、-20°C、0°C、37.8°C 和 98.8°C 时的运动粘度分别为 177、98、42、13.3 及 4.75 厘沲。

(3) 精密机床液压油：这是一种高度精制的润滑油，油中加有抗氧化、抗磨损、抗泡沫、防锈蚀及改进粘度指数等添加剂。其粘温性能好，粘度指数高。适用于精密机床和其他要求较高的中低压液压系统，但不能用于低温。

精密机床液压——导轨油：与精密机床液压油的性能及适用范围相同，并具有导轨油的特性，在低速下防爬效果较好。

(4) 专用锭子油和合成锭子油：是高度精制的锭子油，具有很低的凝点，良好的润滑性及防腐性，主要用在液压传动系统中。

(5) 舵机液压油：适用于船舶舵机液压系统，也是一种专用液压油。

部分常用国产液压油质量指标如表 1-3 所示。

五、工作油液的性能试验

液压油经过一定时期的使用，由于工作温度和压力的变化，以及进入油中的杂质的催化作用，会逐渐氧化变质。所以应定期对工作油液进行必要的试验，以决定是否需要更换。在试验时先要从油箱的上部或中部取样。为查明沉淀物的性质、数量和水的含量则应从油箱底部取样。取样至少在沉淀物已沉淀了 24 小时之后再取。

1. 外观试验

用试管把新油和取样油比较：

(1) 如发现暗黑恶臭则必须更换。

(2) 油的颜色没有变化而混浊时，要查明所含的水分。如有水分时，使油澄清排出

表 1-3 常用国产油液的主要性能指标

牌 号	性 能	50°C 时运 动粘 度 ν_{50} (厘池)	粘 度 指 数 (不小于)	凝 点 (不高于°C)	闪点(开口) (不低于°C)	水 分 (%)	酸 值 (毫克KOH /克不大于)	机 械 杂 质 (不大于%)
上 稠	20-1	12.51	105	163.5	-33	无	0.237	无
	30-1	18.67	>130	185.5	-49	无	0.131	无
	50-1	40.56	>130	174	-48.5	痕迹	0.123	无
	90-1	60.91	128	217	-27.5	无	0.063	无
兰 稠	30-1	11.85	125	149	-32	无	0.034	0.0042
	40-1	29.66	144	149	-38	无	0.034	0.0041
	40-2	27.35	140	146	-37	无	0.0398	0.0048
10号航空液压油		≥ 10		92	-70	无	0.05	无
精 密 液 压 机 床 油	20号	17~33	90	170	-10	无		无
	30号	27~33	90	170	-10	无		无
	40号	37~43	90	170	-10	无		无
专用锭子油		12~14		163	-45	无	0.07	无
舵机液压油		7~8		135	-40	无	0.05	无
机 械 油	10号	7~13		165	-15	无	0.14	0.005
	20号	17~23		170	-15	无	0.16	0.005
	30号	27~33		180	-10	无	0.20	0.007
	40号	37~43		190	-10	无	0.35	0.007
汽 轮 机 油	22号	20~23		180	-15		0.02	无
	30号	28~32		180	-10		0.02	无
变 压 器 油		<9.6		135	-10~-45		0.05	无
11号汽缸油		9~13		215	5		0.25	0.007
10号柴油机油		67~73		210	0	痕迹	0.35	0.007

后并不妨碍使用。

(3) 如混入异种油，若没有变质，只要粘度适当，并不妨碍使用。但应尽量避免几种油任意混合使用。

2. 静止试验

(1) 使用放大镜查明水分沉淀于底部的状态和含有率。

(2) 将取样油加热后，取一滴放在实验用滤纸上，如在滤纸表面残留薄层黑斑点，油就不适合再继续使用。

(3) 在加热到 250°C 左右的热铁板上滴上一滴取样油，如有爆裂声则说明油中含有水分。

工作油液中容许混入杂质的限度是按压力、回路使用油量多少而不同，一般在 0.1% 左右。

§ 1-3 液体静力学

一、压力

静止液体在单位面积上所受的作用力称为液体静压力，简称压力。设液体在面积 A (厘米²) 上所受的作用力为 P (公斤力)，那么压力 p 为：

$$p = \frac{P}{A} \text{ (公斤力/厘米}^2\text{)} \quad (1-12)$$

如果液体中各点的压力是不均等的，则液体中某一点 m 的压力 p 可取该点附近的极限值表示，即分布在 m 点周围而作用在微小面积 ΔA 上的液体总静压力为 ΔP ，那么 ΔA 上的平均压力为 $\Delta P / \Delta A$ 。当 ΔA 无限向 m 点缩小时， $\Delta P / \Delta A$ 的极限就叫做 m 点的压力。所以，一点上的液体静压力的数学表达式为：

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta A} \right) \quad (1-13)$$

我们设想在处于相对平衡状态下的液体中取任意形状的一团液体 V 来考虑，如图 1-5a 所示。这团液体所以能够保持相对平衡状态，是由于作用于它的所有力的合力为零。将 V 分成 I 和 II 两部分。现在假定把部分 II 拿走，而在分离平面 BAC 内的 A 点上作用着一个合力 R ，以代替被拿走的部分对部分 I 的作用力，如图 1-5b 所示。把合力 R 分解为两个分力 T 和 P ，使力 T 与平面 BAC 相合，而力 P 则垂直于平面 BAC 。显然力 T 要使 A 点处的液体质点沿着平面 BAC 滑动，而处于静止状态的液体，这种滑动是不可能的，所以力 T 是不可能存在的。因此，在 A 点处只剩下了唯一可能的一个力 P ，其方向与平面 BAC 垂直。由此可见，液体总静压力永远垂直于它所作用的平面。

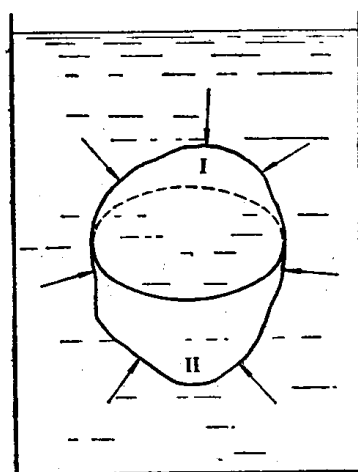
压力 p 的单位在我国用“公斤力/厘米²”表示。1 公斤力/厘米² 的压力也叫做一个工程大气压力，而一个物理大气压力相当于 1.0333 公斤力/厘米²。在国外，压力的单位也用“磅/英寸²”或“巴”表示的，它们的换算关系如下：

$$1000 \text{ 磅/英寸}^2 = 70 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

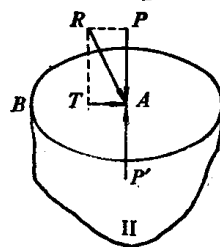
$$1 \text{ 巴} = 10^5 \text{ 牛顿/米}^2 = 1.02 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

液体静止时，在同一水平面上压力是相同的。但是由于重力的作用，随着垂直深度的增加，压力也增加。

我们研究液体中一个高为 h ，底面积等于 A 的垂直柱体上所作用的力，如图 1-6 所示。在液柱侧面，垂直作用着的是大小相等、方向相反的水静压力的水平力；液柱的上底面与自由液面相重合，其上的作用压力为 p_0 ；在液柱的下底面上，垂直作用着的是压力为 p 的水静压力。除此之外，在分离出来的柱体体积上还有作用于其重心的重力 G 。我们



(a) 相对平衡状态下的液体团



(b) 液体内部的作用力

图 1-5 压力的作用方向

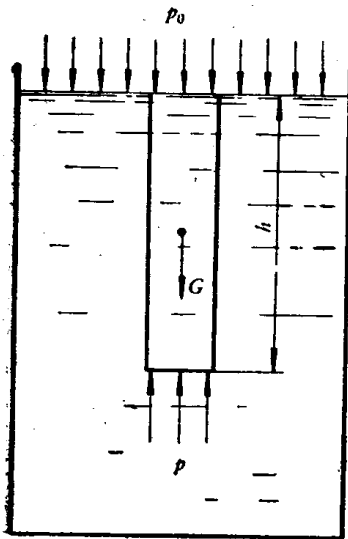


图 1-6 深度 h 处液点的液体压力

从力学中知道，假如物体处于平衡状态，则作用于其上的一切力在任意轴上的投影之和必须等于零。把作用在分离液柱上的所有力都投影到垂直轴上，由于作用于液柱侧面的水平诸力的投影为零，因此可以得到如下力平衡方程式：

$$p_0A + \gamma Ah - pA = 0$$

$$p = p_0 + \gamma Ah \quad (1-14)$$

所得的方程式就给出任意液点处的水静压力 p ，自由液面上的压力 p_0 ，液点在自由液面以下的淹没深度 h ，和以重度 γ 值为其表征的液体种类四者之间的关系。

如果假定液面上的压力 $p_0 = 0$ ，则液体的压力和距液面的深度成正比，即

$$p = \gamma h$$

二、绝对压力、相对压力和真空

1. 绝对压力：

前面所讲的静水压力 p ，在水力学中常被叫做绝对压力 p 。

2. 相对压力(表压力)：

在绝对水压力 p 中减去大气压力 p_a 以后所剩下的部分，在水力学中常被叫做相对压力 p_A 。因此，绝对压力与相对压力(压力表压力)之间的关系为：

$$p_A = p - p_a \quad (1-15)$$

在重力液体中，如自由液面所受的压力系大气压力，则

$$p_A = \gamma h \quad (1-16)$$

3. 真空：

当绝对压力小于大气压力时，我们用真空度 p_v 来表示大气压力 p_a 与绝对压力 p 之差，即：

$$p_v = p_a - p \quad (1-17)$$

绝对压力、表压力及真空度的关系如图 1-7 所示。

通常大气压力等于 10000 公斤力/米²，也相当于 1 公斤力/厘米²，并且将这一数值的压力叫做一个工程气压，它等于高 10 米的水柱所造成的压力。

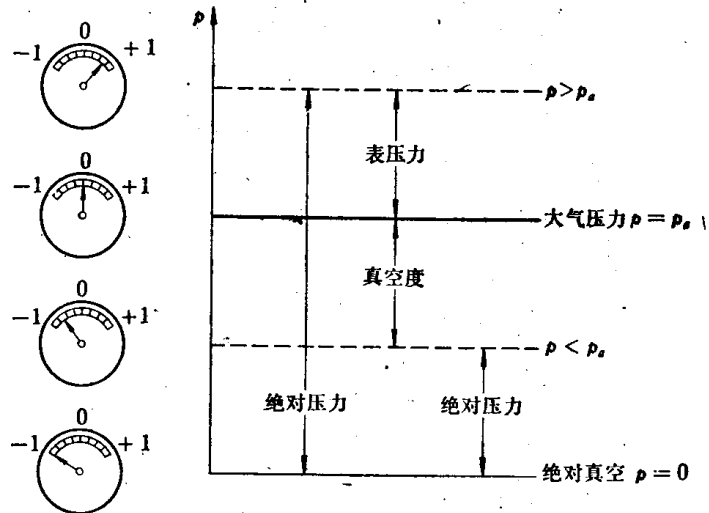


图 1-7 绝对压力、表压力及真空度的关系

三、巴斯加原理

在密封容器内的平衡液体中，任意一点的压力如有变化，这个压力的变化值将传给