

液压传动与气动

中等专业学校教学用书

液压传动与气动

本溪钢铁学校 赫贵成 主编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

液压传动与气动

本溪钢铁学校 赫贵成 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张21 字数497千字

1981年9月第一版 1981年9月第一次印刷

印数00,001~12,500册

统一书号: 15062·3724 定价1.70元

前 言

本书是根据冶金中等专业学校矿山机械专业和冶金机械专业共用的《液压传动与气动》课程的教学大纲编写的。

全书共分三篇十八章：第一篇从第一章到第三章，内容包括水力学基本知识及其必要的计算；第二篇从第四章到第十二章，内容包括液压元件的工作原理、结构、应用、性能以及液压系统分析与设计计算；第三篇从第十三章到第十八章，内容包括气动元件的工作原理、功用以及气动回路简介。

本书一至四章由鞍山钢铁学校马更生、林家晨编写，五、十一、十二章由北京冶金机电学院涂念雅编写，六至八章由天津大学冶金分校邓瑞国编写，九、十章以及十三至十八章由本溪钢铁学校赫贵成编写，全书由赫贵成担任主编。由于编者水平有限，编写时间仓促，书中肯定存在缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

1980年8月

目 录

第一篇 水力学基础知识

第一章 液压传动的工作介质	1
第一节 液压油的物理性质	1
第二节 液压油的使用	6
第二章 水静力学	8
第一节 水静压力的基本概念	8
第二节 总压力计算	13
第三章 水动力学	16
第一节 连续方程及其应用	16
第二节 伯努利方程及其应用	18
第三节 压力损失	27
第四节 孔口节流	38
第五节 动量方程	42
第六节 液压冲击	46
第七节 过渡过程基本方程	50

第二篇 液 压 传 动

第四章 油泵	55
第一节 齿轮泵	56
第二节 叶片泵	62
第三节 柱塞泵	74
第五章 油缸和油马达	85
第一节 油缸的分类和结构	86
第二节 油缸的密封装置	91
第三节 油缸的设计计算	93
第四节 油马达的概念	97
第五节 高速小扭矩油马达	100
第六节 低速大扭矩油马达	102
第六章 控制阀	108
第一节 方向控制阀	109
第二节 压力控制阀	122
第三节 流量控制阀	135
第七章 辅助装置	143
第一节 油管及管接头	143
第二节 油泵的安装及油箱设计	146

第三节	滤油器	147
第四节	蓄能器	150
第八章	液压基本回路	154
第一节	压力控制回路	154
第二节	流量控制回路	166
第三节	方向控制回路	175
第九章	液压系统	178
第一节	实现“快、慢、快”运动循环的回路	178
第二节	B690型液压牛头刨床	187
第三节	80马力静压传动机车液压系统	193
第四节	W ₂ -100 挖掘机液压传动系统	197
第五节	轧机的液压系统	202
第十章	液压系统的设计计算	209
第一节	液压系统设计的基本内容和步骤	209
第二节	高炉炉顶液压系统	210
第三节	高炉炉顶液压传动设计计算	213
第四节	机床液压系统设计计算与实例	226
第十一章	液压随动系统	240
第一节	液压随动系统的概念及分类	240
第二节	电液随动阀	243
第三节	液压随动系统实例	245
第十二章	液压系统的安装、试车与故障分析	251
第一节	液压系统的安装、试车与维护	251
第二节	液压系统常见的故障及分析	253

第三篇 气压传动

第十三章	气源系统及其配件	256
第一节	概述	256
第二节	过滤器	258
第三节	油雾器	259
第四节	消声器	262
第五节	195-B电铲气源系统	263
第十四章	气动执行元件	266
第一节	气缸	266
第二节	气马达	272
第十五章	气控阀	274
第一节	压力控制阀	274
第二节	流量控制阀	279
第三节	方向控制阀	281
第十六章	气动回路应用实例	289
第一节	过载保护回路	289
第二节	气缸自动两次往复动作回路	290

第三节	汽车车门的安全操纵回路	290
第四节	机床动力头控制回路	291
第五节	运输机自动选择的输送控制回路	292
第十七章	逻辑元件及其应用	293
第一节	高压逻辑元件	294
第二节	牙轮钻机行走离合器和行走制动器控制回路	296
第三节	回转式气动机械手	298
第四节	射流逻辑元件	299
第五节	射流元件应用实例	303
第十八章	逻辑控制回路简介	305
第一节	逻辑运算的基本符号和术语	305
第二节	逻辑运算的定律和定理	307
第三节	逻辑函数的简化及其应用	308
附录	313
附录一	力学单位制表(公制)	313
附录二	局部阻力系数 ζ 值	314
附录三	液压阀件在额定流量下的压力损失	319
附录四	常用单位换算表	320
附录五	常用液压系统图图形符号	321

第一篇 水力学基础知识

物质的存在状态有固态、液态、气态三种,处于三种状态的物质分别称为固体、液体和气体,液体和气体统称流体。研究流体的平衡和运动的科学称为流体力学,研究液体的平衡和运动的科学则称为水力学,因此水力学并不是只研究水的平衡和运动规律的。本篇将着重讲述关于油液的平衡和运动的规律。

第一章 液压传动的工作介质

以固体作为介质,进行能量的转换、传递和控制的传动称为固体传动,又称机械传动;而以流体作为介质,进行能量的转换、传递和控制的传动则称为流体传动,它包括液体传动和气体传动。流体具有机械能的形式有动能、压力势能和位置势能三种。本书着重讨论以压力势能为主的传动,而不讨论以动能为主的液力(气力)传动。

第一节 液压油的物理性质

一、密度和重度

物体所含物质的数量叫质量,质量也是惯性大小的量度。人们把保存在国际度量衡局的千克标准砝码作为量度物体质量的单位,任何物体在天平上与这个标准砝码平衡时,这个物体的质量也是千克,一千克的千分之一是一克。为了比较同体积各种液体质量的大小,取单位容积中液体的质量称为该液体的密度,用 ρ 表示:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{克/厘米}^3) \quad (1-1)$$

式中 m —— 液体的质量 (克);
 V —— 液体的容积 (厘米³)。

重量是物体由于地球吸引而具有的力。单位容积中液体的重量称为该液体的重度,以 γ 表示:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{达因/厘米}^3) \quad (1-2)$$

式中 G —— 液体的重量 (达因);
 V —— 液体的容积 (厘米³)。

牛顿第二定律给出了在地球引力场中重量和质量的关系为:

$$G = mg \quad (\text{达因}) \quad (1-3)$$

式中 g —— 重力加速度 (厘米/秒²),其余同前。

将式(1-3)两端除以体积 V ,便得到重度和密度之间的关系:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (\text{达因/厘米}^3) \quad (1-4)$$

上面所用的是厘米·克·秒制,也可以用米·公斤·秒制或工程制,但是在一种计算

中要统一。

例题 1-1 水的重度是1000公斤力/米³，试用三种单位制表示水的重度和密度。

解 在厘米·克·秒制中，

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{1000 \times 9.8 \times 10^5}{1 \times 10^8} = 9.8 \times 10^2 \text{ (达因/厘米}^3\text{)}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{9.8 \times 10^2}{980} = 1 \text{ (克/厘米}^3\text{)}$$

在米·公斤·秒制中，

$$\gamma = \frac{1000 \times 9.8}{1} = 9.8 \times 10^3 \text{ (牛顿/米}^3\text{)}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{9.8 \times 10^3}{9.8} = 10^3 \text{ (千克/米}^3\text{)}$$

在工程制中，

$$\gamma = 1000 \text{ (公斤力/米}^3\text{)}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1000}{9.8} = 102 \text{ (公斤力·秒/米}^4\text{)}$$

二、粘度

1. 牛顿内摩擦定律

设液体在圆管中由于压差而流动，若是把流体按同心圆分为许多层，则各层流体速度不同，在管壁处最小，在管心处最大，按曲线分布，如图 1-1 所示。

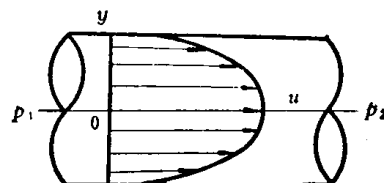


图 1-1 液体在圆管内流动的流速分布

各层流速沿流通横截面方向 y 上的变化率 du/dy 称为速度梯度。 du/dy 代表速度分布曲线各处切线的斜率。这一变量，在管壁处最大，管心处最小。

如沿横截面方向把液体分为许多薄层，则由于流体质点间引力的作用，速度不同的相邻两层流体在流动时将相互牵制，流速小的那一层要阻止流速大的那一层的运动，流速大的那一层则要带动流速小的那一层向前运动。这种相互牵制的力称为内摩擦力。

牛顿内摩擦定律指出：当流动的液体可以分为速度不同的许多薄层而没有层与层之间的掺杂时，单位面积上的内摩擦力与速度梯度成正比，即：

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

写成等式
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \text{ (达因/厘米}^2\text{)} \quad (1-5)$$

$$T = \mu F \frac{du}{dy} \text{ (达因)} \quad (1-5')$$

上式中 τ —— 单位面积上的内摩擦力；

F —— 流体层间的接触面积 (厘米²)；

T —— 在 F 上的总内摩擦力；

μ —— 比例系数，称为动力粘度 (克/厘米·秒)；

du/dy —— 速度梯度 (1/秒)。

粘度是表征流体内摩擦力大小的物理量。只有流体流动时粘性才表现出来。常用的粘度有三种：动力粘度、运动粘度和相对粘度。

2. 动力粘度

式(1-5)中的比例系数 μ 就是动力粘度，即：

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy} \quad (\text{克/厘米} \cdot \text{秒}) \quad (1-6)$$

在同样的速度梯度下，不同种类流体的内摩擦力并不相同。这是因为它们的粘性大小不同，所以动力粘度在数值上就是速度梯度为1时单位面积上的内摩擦力。在厘米·克·秒制中，它的单位是克/厘米秒，称为泊。泊的百分之一叫厘泊，是常用单位。

例题 1-2 图 1-2 是一种粘度测量装置的示意图，腔内注满被测油液， $d = 20$ 厘米， $D = 20.1$ 厘米， $l = 40$ 厘米，主轴转速 $n = 120$ 转/分，测得转矩 $M = 0.386$ 公斤力·米，试计算这种油液的动力粘度 μ 。

解 轴上的转矩是由于油的粘度引起的，当主轴旋转时，在长为 l 的环形间隙中引起流动，利用牛顿内摩擦定律即可计算 μ 。

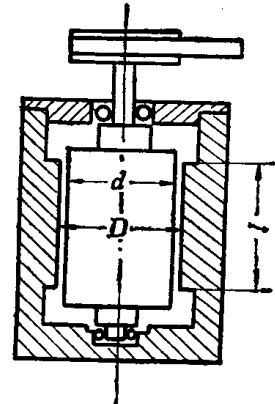


图 1-2 粘度测量装置

$$F = \pi dl = \pi \times 20 \times 40 = 2510 \quad (\text{厘米}^2)$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{\frac{2\pi n}{60} \times \frac{d}{2} - 0}{\frac{1}{2}(D-d)} = \frac{\frac{2\pi \times 120}{60} \times \frac{20}{2}}{0.5(20.1-20)} = 2510 \quad (1/\text{秒})$$

根据公式(1-5')

$$M = T \frac{d}{2} = \mu F \frac{du}{dy} \cdot \frac{d}{2}$$

$$\therefore \mu = \frac{M}{F \frac{du}{dy} \cdot \frac{d}{2}} = \frac{0.386 \times 9.8 \times 10^5 \times 10^2}{2510 \times 2510 \times 10}$$

$$= 0.6 \quad (\text{克/厘米秒}) = 0.6 \quad (\text{泊}) = 60 \quad (\text{厘泊})$$

3. 运动粘度

通常采用动力粘度与密度的比值作为一种新的粘度，称为运动粘度 ν ，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{厘米}^2/\text{秒}) \quad (1-7)$$

在厘米·克·秒制中这一单位，称为沱（念“托”），沱的百分之一叫厘沱，是最常用的粘度单位。

液压油的牌号通常都用某温度（50°C或100°C）下的厘沱值命名，例如20号机械油在50°C时的运动粘度的平均值为20厘沱，写作 $\nu_{50} = 20$ 厘沱，角码表示温度。

4. 相对粘度（恩氏粘度）

它是由恩氏粘度计直接测得的。图 1-3 是恩氏粘度计的示意图，将试油200毫升置于内桶中，外套内是测定温度的恒温水，内套下部有一个平均直径 $\phi 2.8$ （毫米）略有锥度的

短铂管，测前塞住，油恒温后，打开塞子，油由铂管流出，记下流完时间 t_1 ，再让同体积 20°C 的蒸馏水流出，流完时间为 t_2 (大约 $50\sim 52$ 秒)，则把比值 t_1/t_2 作为这种油在这个温度下的相对粘度 $^\circ\text{E}$ ，

即：
$$^\circ\text{E}_t = t_1/t_2 \quad (1-8)$$

例如某种油200毫升在 50°C 恒温下从恩氏粘度计中流完的时间为 244 秒，则它的相对粘度：

$$^\circ\text{E}_{50} = \frac{244}{51} = 4.78$$

相对粘度和运动粘度之间的换算可以查阅后面的图 1-4，亦可用下述经验公式：

$$\nu (\text{厘沲}) = 7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \quad (1-9)$$

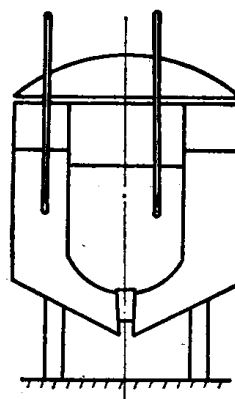


图 1-3 恩氏粘度计

5. 粘度和温度的关系

液压油的粘度对温度很敏感，温度升高时粘度变小。粘温性能是指油液的粘度随温度的变化而变化的性能，在同样温升下，油的粘度降低得越少，这种油的粘温性能就越好。

粘度对温度的函数关系可由华尔瑟公式给出：

$$\lg \lg(\nu + 0.8) = -n \lg T + C \quad (1-10)$$

式中 ν —— 运动粘度 (厘沲)；

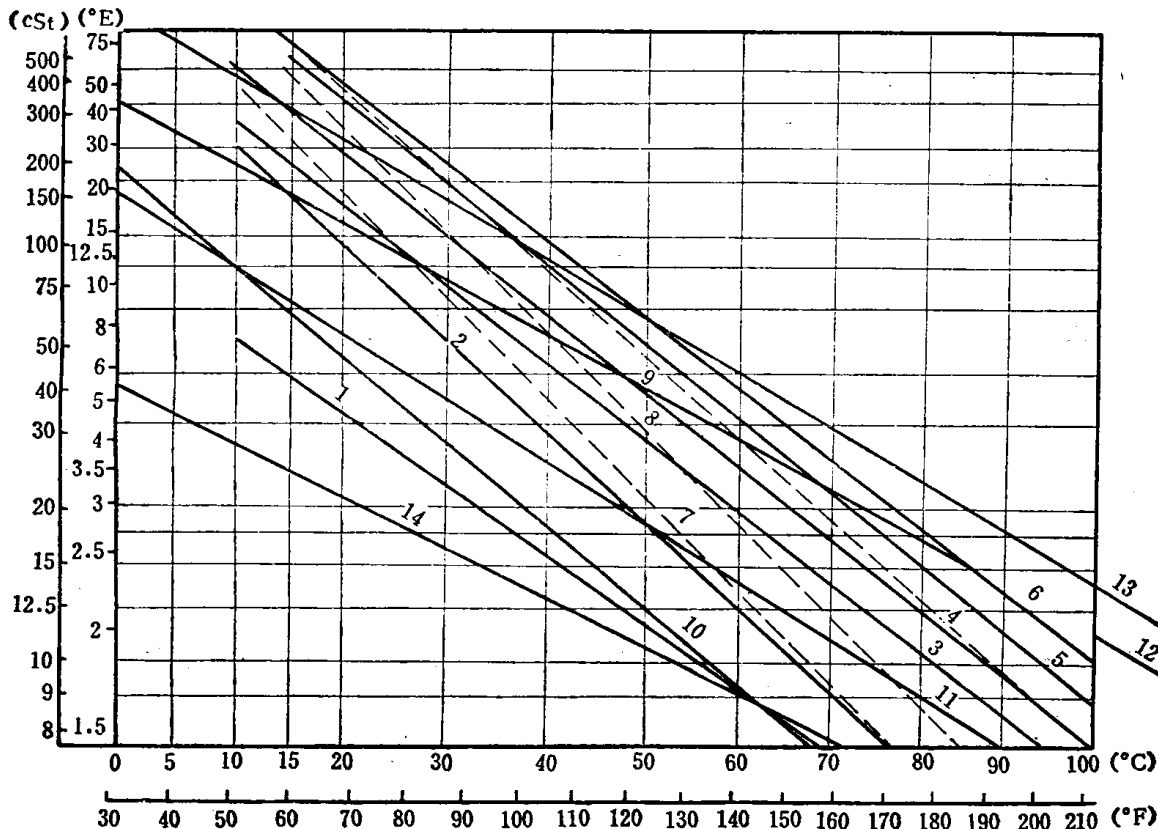


图 1-4 国产油粘温图

1—10号机械油；2—20号机械油；3—30号机械油；4—40号机械油；5—50号机械油；6—70号机械油（柴油机油）；7—22号汽轮机油；8—30号汽轮机油；9—46号汽轮机油；10—上稠20-1；11—上稠30-1；12—上稠50-1；13—上稠90-1；14—10号航空液压油

T ——绝对温度 (K) ;

n 与 C ——常数, 与油的种类有关。

例题 1-3 某油 $\nu_{50}=20$ 厘沲, $\nu_{20}=96$ 厘沲, 求 ν_{10} 。

解

$$\begin{cases} \lg \lg(20+0.8) = -n \lg(273+50) + C \\ \lg \lg(96+0.8) = -n \lg(273+20) + C \end{cases}$$

二式联立, 解出 $n = 4.205$; $C = 10.671$

$$\lg \lg(\nu_{10}+0.8) = -4.205 \lg(273+10) + 10.671$$

解上式可得 $\nu_{10}=197.5$ 厘沲。

在应用公式 (1-10) 时因为是双对数公式, 应特别注意等式右边数值的准确性, 否则误差会很大。

图 1-4 是国产油的粘温图, 它直接给出了粘度随温度变化的关系。

粘度指数 V.I. 值是西方常用的粘温指标, 它把不同粘温性能的油在对数坐标纸上移到同一终点进行比较, 如图 1-5 所示。斜度最大的那条线是粘温性能最不好的油, 令其 V.I. 值为零, 斜度最小的那条线是一种粘温性能很好的油, 令其 V.I. 值为 100, 虚线表示待测的试油, 当这三种油在 210°F 具有相同的粘度时, 则试油的 V.I. 值:

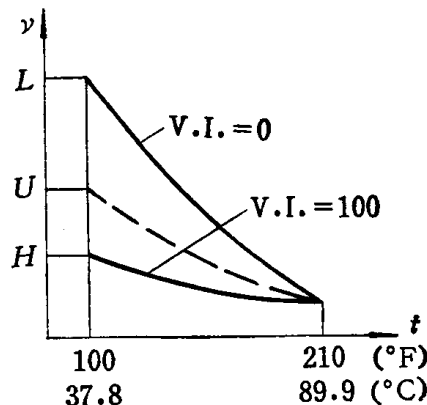


图 1-5 V.I. 值的意义

$$V.I. = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \quad (1-11)$$

式中 L —— V.I. 值为零的油在 100°F 时的粘度, 而其在 210°F 时的粘度与试油相同;

U —— 试油在 100°F 时的粘度;

H —— V.I. 值为 100 的油在 100°F 时的粘度, 而其在 210°F 时的粘度与试油相同。

V.I. 值越大, 油的粘温性能越好, 一般液压油的 V.I. 值要求在 90 以上, 专用高级液压油的 V.I. 值可以越过 100。

实际上, 只要知道某种油在 100°C 和 50°C 的运动粘度, 即可利用专门的图表直接查出它的 V.I. 值。

6. 粘度和压力的关系

液压油的粘度随压力的增大而变大, 这是由于压力加大使油液分子间距离减小而增大了分子间引力的缘故。压力变化时油液粘度的变化呈指数关系:

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp} \quad (\text{厘沲}) \quad (1-12)$$

式中 ν_p —— 在压力为 p 时的运动粘度;

ν_0 —— 常压下的运动粘度 (厘沲);

p —— 油的压力 (公斤力/厘米²);

b —— 系数, 一般为 $0.002 \sim 0.003$ (厘米²/公斤力)。

油的粘度因压力升高而引起的变化比因温度升高而引起的变化要小得多。

例题 1-4 20 号机械油在常压下 50°C 时的粘度为 $\nu_0 = 20$ 厘沲, 若温度不变, 试求它在 160 公斤力/厘米² 压力下的粘度, 并查出常压下 70°C 时的粘度。试作比较。

解 取 $b = 0.003$ (厘米²/公斤力)

$$\nu_p = \nu_0 e^{bP} = 20 e^{0.003 \times 160} = 32.3 \text{ (厘沲)}$$

由图 1-4 查得常压下 70°C 时的粘度，

$$\nu_{70} = 9 \text{ (厘沲)}$$

比较上列二数值，可见在压力增大很多时粘度并不增加很多，但温度变化不多，却引起了粘度的很大变化。

三、可压缩性

处于密闭容器中的流体受到外界压力作用时体积会缩小，这种性质叫可压缩性。显然，由于气体分子间的距离比液体大得多，气体的可压缩性比液体大得多。相对压缩量为：

$$\Delta V / V = \beta \Delta P \quad (1-13)$$

式中 ΔV —— 由于压力变化引起的油液容积的变化；

V —— 原容积；

ΔP —— 压力变化量（公斤力/厘米²）；

β —— 压缩系数（厘米²/公斤力）。

β 是表征流体可压缩性的量，它的倒数称作弹性系数 E ，即：

$$E = \frac{1}{\beta} \text{ (公斤力/厘米}^2\text{)} \quad (1-14)$$

油液的压缩系数 β 是一个随压力升高而稍稍变小的变量，在常用压力范围内可取平均值 $\beta = 6 \times 10^{-5}$ 厘米²/公斤力。

对于气体， β 的数值与压缩过程的条件（等温压缩，绝热压缩）有关，且随压力的不同而有很大差别，这就使得以气体作为介质传递动力时的准确性大为降低。

第二节 液压油的使用

从传递能量的角度看，一切液体都可以作为液压传动的工作介质，但实际上工作介质还需兼起润滑、冷却、防锈、防腐等作用，因而对工作液提出了不含机械杂质、润滑性能好、抗氧化性好、消泡性好、粘温性能好、闪点高、无毒等要求。所以不是所有的液体都可以用作工作介质的。工作液基本分石油基液压油和合成基液压油两大类。前一类指石油经过蒸馏、脱蜡、精制、化学改质而得到的油液，这是最常用的。后一类则是以化工产品为基础油，加入多种添加剂而成的液体，如磷酸酯、硅油、有机酸酯、水油乳状液等。后一类多属于难燃的和不可燃的液压油，热稳定性能也好。工业上以使用石油基液压油为主。

一、常用的液压油

大致可分为普通液压油和专用液压油两类。

1. 普通液压油

(1) 机械油 它常用作润滑油，在条件要求不高的液压系统中亦用作液压油。按 50°C 的运动粘度，它有七个牌号，即 10、20、30、40、50、70、90。它的主要缺点是含有微量机械杂质，抗氧化性差，即易因氧化而生成胶质沉淀。

(2) 汽轮机油（透平油） 它由机械油净化，并加入抗氧化、抗泡沫的添加剂而成，性能普遍比机械油提高。按 50°C 的运动粘度，它有四个牌号，即 22、30、46、57 号，普遍用于要求较高的液压系统中。

(3) 变压器油 经高度精制，不含任何机械杂质及水分，加入了抗氧化添加剂，只

有一种牌号，粘度很低， $\nu_{50} < 9.6$ 。这种油常用于低温、轻载、低压系统中。

(4) 11号汽缸油 是一种粘度很高的重质油，是以 100°C 时的运动粘度命名的，用于高温、重载、低速液压系统。

(5) 柴油机油 加入了抗氧化、抗腐蚀和使发动机清洁的添加剂，润滑性好，粘温性能好。按 100°C 的运动粘度，它有8、11、14三个牌号，常用于拖拉机、工程机械、起重运输机械的液压系统。

2. 专用液压油

(1) 稠化液压油 是一种以石油基油为基油加入各种添加剂专用于液压传动的高级液压油，特点是凝固点低、抗氧化、防锈、润滑、粘温性能好、消泡性好，适于低温，工作时声响小，有“上稠”、“兰稠”等多种牌号，用于建筑机械、工程机械、起重机械等的液压系统。

(2) 精密机床液压油 是一种精制的润滑油，并加有抗氧化、抗磨损、抗泡沫、防腐蚀及改进粘度指数的添加剂，粘温性能好，粘度指数高。按 50°C 运动粘度，它有20、30、40三个牌号，适用于精密机床的液压系统，但不适于低温。

(3) 航空液压油 是一种经过特殊加工的石油基液压油，加有改进粘温性能和提高润滑性能等的添加剂。凝固点低、粘温性能很好，在 70°C 和负 50°C 具有合适的粘度， 50°C 粘度为10(厘沲)，无腐蚀，不损伤密封物，具有良好的润滑性能，呈红色，俗称“红油”。这种油广泛用于航空液压系统中，适于低温，在常温下粘度较低，价格贵。

(4) 合成锭子油 是一种合成烃类液压油，具有很低的凝点，良好的润滑性和防腐性， 50°C 的运动粘度12~14(厘沲)，是一种高级液压油。

二、液压油的选择

在液压元件中，油泵是对油的选择最敏感的元件，因而一个液压系统所选用的油常由泵的要求决定。此外，还有以下一般原则可供选油时参考。

(1) 精密系统用高级油，而一般系统用普通油。如在一般液压系统中常用机械油、汽轮机油、柴油机油。在精密系统中用精密机床液压油、稠化液压油、合成锭子油等，在使用随动阀的伺服系统中，对用油的选择特别严格。

(2) 环境温度高的用高牌号油，反之用低牌号油。如冬季用10号油，夏季用20号油，酷热时用30号油，高温环境用11号汽缸油，低温环境用变压器油等。

(3) 系统压力高的用高粘度油，压力低的用低粘度油。这是为了控制漏泄。

(4) 在低压($P = 20 \sim 30$ 公斤力/厘米²)往复运动的驱动中，以及动力活塞速度很高时($v > 8$ 米/分)采用低粘度的油；在旋转运动驱动中，用粘度较高的油。这是为了保证油膜不被破坏而使润滑良好。

三、液压油的使用

(1) 控制油温 对于石油基液压油来说，油温不应超过 65°C ，否则将加剧氧化，油将迅速变质。为此应尽量减少节流，特别要避免高压下大量排油，油箱容积在许可条件下尽量大些，以改善散热条件，必要时在油箱中设置油冷却器。油温也不应低于 15°C ，否则油的粘度增加很多，带来不必要的功率损失。

(2) 避免机械杂质进入油中 油箱密封性要好，加新油时应经过过滤，透气口要设空气滤清器，滤油器要及时清理。

(3) 防止空气进入油中 油泵吸油口应密封可靠, 油箱中的吸油管不可离油面太近, 系统的最高点应设放气阀, 放出油中的游离空气。

(4) 油箱的合理设计 吸油管应远离回油管, 避免使用对油的氧化起催化作用的铅、锌、铜等材料, 油箱内要涂耐油的防锈漆, 油箱中的冷却器不能漏水。

作业题

1. 某种油液的重度是870公斤力/米³, 试用厘米·克·秒制和米·公斤·秒制单位表示这种油液的重度和密度。

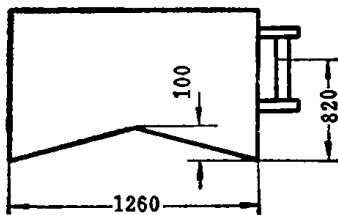
2. 油箱正面尺寸如图所示, 单位为毫米, 宽度为950毫米, 若油的重度 $\gamma = 0.9 \times 10^{-8}$ 公斤力/厘米³, 求当油注到油标标准线时, 需注入多少吨油?

3. 如图所示的滑动轴承, 轴承间隙0.8毫米不变, 轴颈直径 $d = 160$ 毫米, 轴承宽度 $L = 200$ 毫米, 润滑油粘度 $\mu = 70$ 厘泊, 轴承转速 $n = 250$ 转/分, 求轴承所消耗的功率。

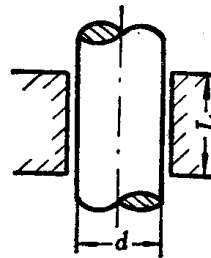
4. 某油重度 $\gamma = 870$ 公斤力/米³, 运动粘度 $\nu = 30$ 厘沲, 求在三种单位制中动力粘度 μ 和运动粘度 ν 的数值和单位。

5. 2.5°E 等于多少厘沲? 38厘沲等于多少 $^\circ \text{E}$?

6. 起重设备使用的液压油, 若是粘度过低为什么会影响起重能力?



题2图



题3图

第二章 水静力学

本章讨论液体在静止状态下的平衡的一些规律。

第一节 水静压力的基本概念

一、压力及其单位

液体对与之接触的壁面的作用力称为总压力 P ; 单位面积的壁面所受的这种作用力称为压强或压力 p , 以后一律称为压力。

如果壁面各处压力不同, 则:

$$p = \frac{dP}{dF} \text{ (公斤力/厘米}^2\text{)} \quad (2-1)$$

如果压力是常量, 则:

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

二式中 P —— 总压力 (公斤力);

F —— 受压壁面面积 (厘米²)。

由于流体的流动性，压力永远只能指向容器壁面而且垂直容器壁面，否则，切向分力就会使流体运动，从而破坏了静止的条件。

压力的单位有下列几种：（1）公斤力/厘米²。（2）大气压。这是指地球周围的大气由于地球吸引而对地面所形成的压力，标准大气压的数值为1.033公斤力/厘米²。（3）巴。1达因/厘米²=1微巴=10⁻⁶巴，所以1(巴)=10牛顿/厘米²=1.02公斤力/厘米²。（4）磅力/英寸²。这是英制的常用单位。1公斤力/厘米²=14.22磅力/英寸²，1磅力/英寸²=0.0703公斤力/厘米²。（5）米水柱。1公斤力/厘米²=10米水柱。（6）厘米汞柱。1公斤力/厘米²=73.5厘米汞柱。

二、相对压力和绝对压力

如果一个密闭容器被抽得没有任何气体分子，这个容器内部即处于绝对真空状态。压力的计算若以绝对真空为起点，称为绝对压力；若以大气压为计算起点，称为相对压力。相对压力有正值与负值之分，正值的相对压力称为表压力或计示压力，或简称为压力；负值的相对压力称为真空度；相对压力为零时，就是一个标准大气压力的常压状态。

绝对压力不存在负值，绝对压力大于大气压力的状态是正压状态，绝对压力小于大气压力的状态为负压状态，绝对压力等于大气压力的状态为常压状态。

绝对压力 $P_{绝}$ 与表压力 $P_{表}$ 之间的关系是：

$$P_{绝} = P_0 + P_{表} \quad (2-2)$$

式中 P_0 ——大气压力。

绝对压力 $P_{绝}$ 与真空度 H 之间的关系是：

$$P_{绝} = P_0 - H \quad (2-3)$$

真空度常以毫米汞柱为单位。

图2-1表示了三种压力之间的关系，在大气压 P_0 的上方是正压状态，下方是负压状态。 A 点是正压状态，有表压力 $P_{表}$ 为绝对压力 P_A 与大气压力 P_0 的差值； B 点是负压状态，有真空度 H_B 为大气压力 P_0 和绝对压力 P_B 的差值。

三、水静压力的计算

在密闭容器（图2-2）中有重度为 γ 的液体，液面压力为 P_0 ，在液面铅直深度 h 处有一点 A ，取出 A 点以上的一段液柱为隔离体进行分析，这小段液柱高 h ，底面积为 dF 。在上表面它受到表面压力作用，总力为 $P_0 dF$ ，在下表面，它受到液中压力 P 的作用，总力为 $P dF$ ，这小段液柱重量为 $\Delta G = \gamma h dF$ 。它是静止的故有平衡方程式：

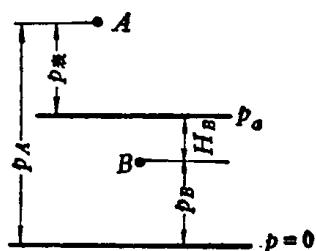


图 2-1 绝对压力、表压力、真空度之间的关系

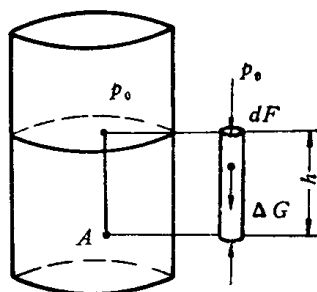


图 2-2 水静压力的计算

$$P_0 dF + \gamma h dF = P dF$$

故得

$$P = P_0 + \gamma h \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-4)$$

式中 p ——液面下深 h 处的绝对压力；
 p_0 ——液面上的压力（公斤力/厘米²）；
 γ ——液体重度（公斤力/厘米³）；
 h ——铅直深度（厘米）。

上式说明：液面下深度 h 处的压力等于表面压力 p_0 与液体重度和深度的乘积 γh 之和。该式称为水静力学基本方程。可以看出自由表面上的压力 p_0 是均等地传递到液体内任何点的。还可以看出任何一点的水静压力包括两部分，一部分是自由表面上的外部压力 p_0 ，另一部分是液体的重度与深度的乘积，深度不同，这部分的压力也不同。

如果是敞口容器，表面压力为大气压力 p_a ，液面下深 h 处的压力：

$$p = p_a + \gamma h \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-5)$$

$$p_{\text{表}} = \gamma h \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-5')$$

例题2-1 湖面下水深10（米）处表压是多少？

解 淡水重度 $\gamma = 1000$ （公斤力/米³） = 10^{-3} （公斤力/厘米³）

$$p_{\text{表}} = \gamma h = 10^{-3} \times 10^3 = 1 \quad (\text{公斤力/厘米}^2)$$

由此可以看到，以流体高度作为压力的单位正是由于 γh 与压力 p 具有相同的因次和相近的意义的缘故。使用常用单位时有如下关系：

$$\gamma H \times 10^{-4} = p \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-6)$$

式中 γ ——液体重度（公斤力/米³）；

H ——液柱高（米）。

例题2-2 标准大气压 $p_a = 1.033$ 公斤力/厘米²，如果用水柱和汞柱表示，它的数值是多少？汞的重度为 13.6×10^3 公斤力/米³。

解
$$H_{\text{水}} = \frac{p}{\gamma_{\text{水}} \times 10^{-4}} = \frac{1.033 \times 10^4}{1000} = 10.33 \quad (\text{米水柱})$$

$$H_{\text{汞}} = \frac{p}{\gamma_{\text{汞}} \times 10^{-4}} = \frac{1.033 \times 10^4}{13.6 \times 10^3} = 0.76 \quad (\text{米汞柱})$$

$$= 760 \quad (\text{毫米汞柱})。$$

静止液体内，压力相等的各点所组成的面称做等压面。液体的自由面是等压面中的一个特例，等压面的概念对于计算有关问题是很方便的。图2-3是U形管测压计，用来测定左侧空气管道中的压力 p ，右侧水银面与大气相通。由于 $X-X$ 水平面为等压面，两侧压力应该相等。

右侧：
$$p_x = p_a + \gamma_{\text{汞}} h_2$$

左侧：
$$p_x = p + \gamma_a h_1$$

则未知压力 p 为：

$$p = p_a + \gamma_{\text{汞}} h_2 - \gamma_a h_1 \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-7)$$

或
$$p = p_a + \gamma_{\text{汞}} \left(h_2 - \frac{\gamma_a}{\gamma_{\text{汞}}} h_1 \right) \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-7')$$

由于比值 $\left(\frac{\gamma_a}{\gamma_{\text{汞}}} \right)$ 非常小，计算时可以忽略不计，故有：

$$p = p_a + \gamma_{\text{汞}} h_2 \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-8)$$

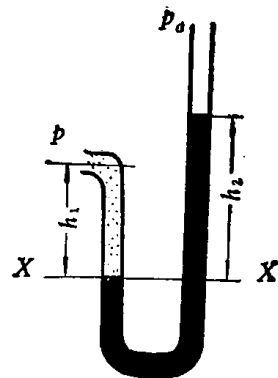


图 2-3 U形管测压计