



机械工人培训丛书

液 压 传 动

林从滋 编
王庚新

中国农业机械出版社



液 压 传 动

林从滋 王庚新 编

*

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

787×1092 32开 8 14/16印张 194千字

1982年12月北京第一版 · 1982年12月 北京第一次印刷

印数: 00,001—16,000 定价: 0.82元

统一书号: 15216·121

出 版 说 明

为了满足机械行业培训工人的需要，我社组织编写了这套《机械工人培训丛书》。这套丛书由七本组成，即《金属材料》、《公差与测量》、《金属切削刀具》、《机床夹具》、《机床的传动与调整计算》、《机械传动》、《液压传动》。

这套丛书属于中级培训读物，内容包括与机械制造有关的主要基础知识。机械工人掌握这些内容，不仅有助于保证产品质量、提高生产效率，还能获得一定的技术革新能力。考虑到在职培训难以拿出更多的学时，本丛书在篇幅上力求少而精，使之能用较短的时间讲完每一本分册，同时也注意了读者自学的需要。

在编写过程中，我们认真地吸取了不少职工教育工作者的意见。很多部门的负责同志，为本丛书的编写提供了条件。为了更好地实现编写意图，我们邀请了业务水平较高、教学经验丰富的教师和工程技术人员负责进行编写，书稿完成后，部分内容曾请生产第一线的同志进行审阅。对于上述参与编写工作的这些同志，我们在此致以诚挚的谢意。

本书有不够完善或错误之处，欢迎广大读者指正。

中国农业机械出版社

一九八二年一月

目 录

第一章 液压传动的基本知识	1
第一节 什么是液压传动	1
第二节 液压油的选择	6
第三节 静止液体的性质	12
第四节 流动液体的性质	18
第五节 液体流动时的压力损失	21
第六节 液体流经薄壁小孔的流量	24
第七节 液压传动的功率计算和电机的选择	25
第八节 液压冲击和空穴现象	27
第二章 液压泵	29
第一节 液压泵的用途和工作原理	29
第二节 齿轮泵	31
第三节 叶片泵	40
第四节 柱塞泵	56
第五节 液压泵的选择	58
第三章 液压缸和液压马达	62
第一节 液压缸	62
第二节 液压缸结构设计中的几个问题	76
第三节 液压缸主要尺寸的确定	85
第四节 液压马达	93
第四章 控制阀及液压基本回路	97
第一节 方向控制阀和方向控制回路	98
第二节 压力控制阀和压力控制回路	119
第三节 顺序动作回路	143

第四节	平衡回路.....	148
第五节	卸荷回路.....	156
第六节	流量控制阀和速度控制回路.....	190
第七节	同步回路.....	192
第五章	典型液压系统实例.....	192
第一节	怎样看液压系统图.....	193
第二节	组合机床的液压系统.....	203
第三节	M1432A万能外圆磨床液压系统.....	215
第四节	CB3463型半自动转塔车床液压系统.....	222
第五节	Y32-300四柱式万能液压机液压系统.....	226
第六章	辅助装置.....	225
第一节	油箱.....	228
第二节	油管及管接头.....	229
第三节	密封.....	231
第四节	滤油器.....	238
第五节	压力表和压力表开关.....	237
第六节	蓄能器.....	240
第七节	液压系统中阀类元件的连接方式.....	247
第七章	液压系统的设计.....	247
第一节	液压系统的设计步骤.....	254
第二节	液压传动系统设计举例.....	261
第八章	液压系统的使用维护与故障排除.....	261
第一节	液压系统的使用维护.....	266
第二节	液压系统常见故障及排除方法.....	271
第三节	液压系统的试车和调整.....	273
附录	液压系统图图形符号(GB786-79摘录).....	

第一章

液压传动的基本知识

第一节 什么是液压传动

液压传动，是以液体为工作介质，用来传递运动和动力的一种传动方式。例如：磨床工作台的直线往复运动、组合机床的进给运动、工程机械中的液压挖掘装载机等，都是液压传动的例子。现举例说明它的工作过程。

一、液压传动的工作原理

液压千斤顶是液压传动的简单例子，图 1-1 是它的工作原理图。图中 3 和 7 是两个液压缸，2 和 6 是两个活塞，两液压缸用油管将其连通，4 和 5 是单向阀，用以控制油液的流动方向。工作时，首先将杠杆 1 提起，使活塞 2 上移，缸 3 下腔的工作容积增大（此时单向阀 5 关闭），使腔内形成局部真空，于是油箱 9 中的油液在外界大气压力的作用下，经过吸油管，

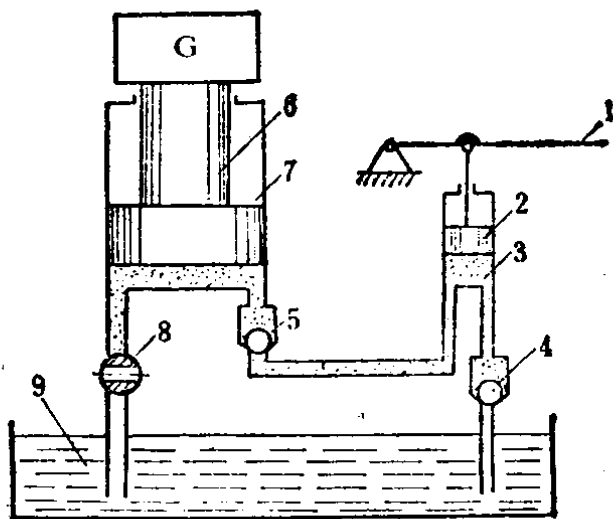


图1-1 液压千斤顶工作原理图

推开单向阀 4 的钢球，进入并充满缸 3 的下腔。当压下杠杆 1 时，活塞 2 下移，缸 3 下腔的工作容积减小，油液受外力挤压而产生压力，迫使单向阀 4 关闭，并使单向阀 5 的钢球受到一个向上的作用力。当这个作用力大于缸 7 下腔油液对它的作用力时，缸 3 中的油液便推开单向阀 5 而挤入缸 7 的下腔（放油阀 8 应关闭），推动活塞 6 上升，顶起重物 G。这样，通过液体的传动，活塞 2 的运动便传给了活塞 6。如果反复提压杠杆 1，就能不断把油液压入缸 7 的下腔，使重物缓慢上升，从而达到起重的目的。将放油阀 8 转动 90° ，使缸 7 的下腔与油箱 9 接通，在重物 G 的作用下，活塞 6 向下移动并恢复原位，下腔的油液也流回油箱。

从液压千斤顶的工作过程中可以看出，液压传动是利用有压力的液体（一般为矿物油）来传递能量的。其传递过程需要经过两次能量转换，首先通过动力装置（液压泵）把外界输入的机械能转换为液体的压力能，并通过管道输往液动机（液压缸或液压马达）；然后通过液动机，再把液体的压力能转换为机械能，带动机器的运动部件运动。液压传动必须在密封的容器中进行，如果容器不密封，则不能形成必要的压力，也就不能实现液压传动。

二、液压传动的组成部分

液压千斤顶是一种很简单的液压传动装置，而对于机床和其它的液压机械，由于工作过程复杂，性能要求较高，所以其液压传动系统也复杂得多。图 1-2 是一台简单磨床工作台直线运动的液压传动系统原理图。工作台 9 由活塞杆带动作直线运动，液压缸 8 中的油液由齿轮泵 3 供给。磨削时，工作作往复运动。为了使工作台能够换向，在液压系统中设置了手动换向阀 7，用来改变油液进入液压缸的方向。根

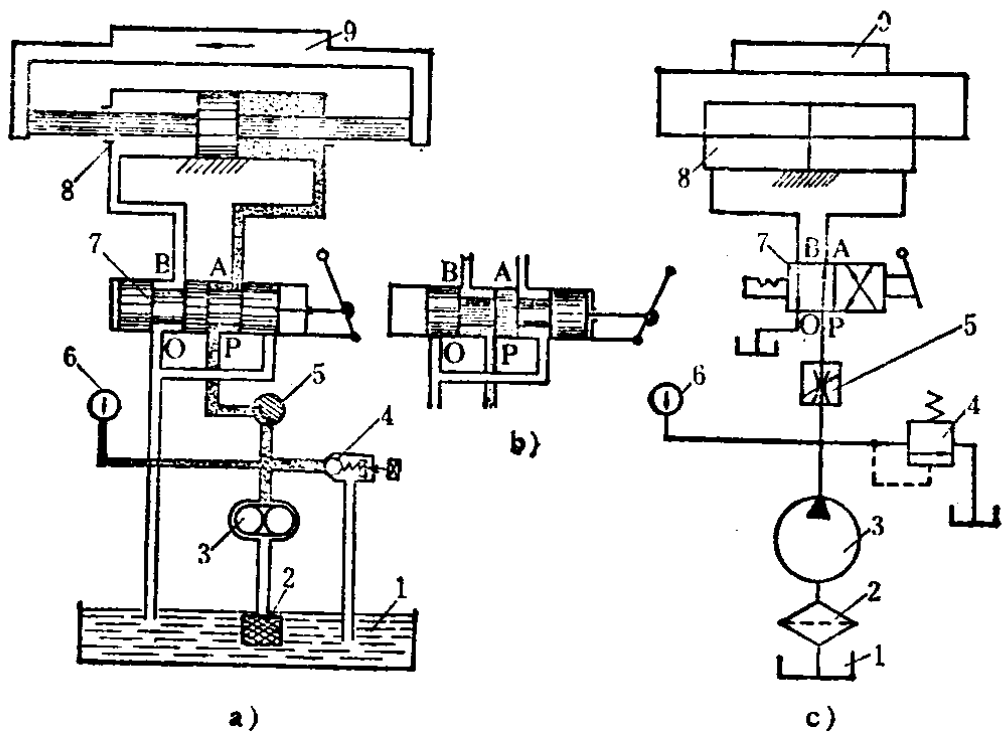


图1-2 简单磨床工作台运动液压系统原理图

据加工要求的不同，工作台的运动速度应能调整，为此，系统中设置速度调节装置——节流阀5。节流阀的作用和自来水龙头相似，改变节流阀开口的大小，就能改变通过节流阀而进入液压缸内的油液流量，因而控制了工作台的运动速度。磨床工作台在运动时需要克服各种阻力，如磨削力和相对运动件表面之间的摩擦力等，这些阻力是由液压泵打出的压力油来克服的。根据阻力的大小，从泵打出来的油液压力应当能够调整，为此，在液压系统中应设置一个压力控置装置——溢流阀4。溢流阀在控制液压泵输出油液压力的同时，还能把泵输出的多余油液排回油箱。若把这些液压元件用油管 and 管接头等连接起来，便组成了磨床工作台往复运动的液压传动系统。在工作过程中，若工作台向左运动，换向阀处于图1-2 a)的位置。当电动机带动齿轮泵3旋转时，泵从油箱1中吸油，输出的压力油经节流阀5，再经换向阀7的P、A

阀口进入液压缸 8 的右腔，推动活塞带动工作台 9 向左运动。于此同时，液压缸 8 左腔的油液经换向阀 7 的 B、O 阀口被排回油箱。

若工作台向右运动，应将换向阀的手柄搬到图 1-2 b 的位置，使滑阀向右移动，这时泵输出的压力油经节流阀 5，换向阀 7 的 P、B 阀口进入缸 8 的左腔，工作台便向右运动，而缸 8 右腔的油液经换向阀 7 的 A、O 阀口流回油箱，因而达到了工作台换向的目的。

调节节流阀 5，可以改变进入液压缸内油液的流量，以控制工作台的运动速度。调节溢流阀 4，可控制泵的出口压力。

从上面的例子可以看出，液压传动系统一般由以下四部分组成。

(1) 动力部分 如液压泵。它供给液压系统压力油，将电动机输出的机械能转换为液体的压力能，以驱动活塞（液压缸）运动。

(2) 工作部分（或称执行机构） 如液压缸（用于直线运动）或液压马达（用于旋转运动）。它把液体的压力能转换为机械能，以带动工作机构运动。

(3) 控制部分 如各种控制阀类，包括换向阀、压力阀、节流阀等。它们各起一定的作用，用来实现液压系统的各种运动及性能要求。

(4) 辅助部分 如油箱、滤油器、油管、管接头、压力表等。

液压传动系统图中，各种液压元件应按照 GB786-76 所规定的职能符号绘制，把图 1-2 a 的各元件用符号表示即如图 1-2 c 所示。

三、液压传动的优缺点

液压传动的主要优点如下：

(1) 液压传动可以在较大的范围内实现无级调速。

(2) 操作简单，便于实现自动化，特别是电、液联合应用时，易于实现复杂的自动工作循环。因此，液压传动在自动、半自动化程度要求较高的场合得到广泛的应用。

(3) 运动平稳，便于实现频繁的换向，且易实现过载保护。因为采用油液作为工作介质，使相对运动表面之间能自行润滑，所以使用寿命长。

(4) 液压传动与机械、电力传动方式比较，在输出相同功率的条件下，它的体积小、重量轻、动作灵敏。

(5) 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化。因此，便于设计、制造和推广使用。

液压传动的主要缺点是：

(1) 液压传动采用油液为工作介质，在相对运动表面间不可避免地要有泄漏，同时油液也不是绝对不可压缩的，因此不宜用在传动比要求严格的场合。

(2) 由于油的粘度随温度或压力的变化而改变，所以不易保持运动速度的稳定，且不宜在高温及低温下工作。

(3) 发生故障不易检查。

总之，液压传动的优点较多。尽管也存在某些缺点，但随着技术的发展，有些缺点正在得到克服。例如调速阀和温度补偿调速阀的出现和使用，便可以减少压力或温度变化对速度稳定性的影响等。因此，液压传动有着广泛的发展前途。

第二节 液压油的选择

为了合理的选择和使用工作油液，需要对液压油的性质进行必要的了解。为此，介绍一些物理学中讲过的概念。

一、液体的质量和重量，密度和重度

(一) 液体的质量和重量 同其它物质一样，液体也具有质量和重量。液体的质量，是指一定液体内所具有该物质的数量。液体的重量，是指地球对一定质量液体的吸引力。重量也称重力。两者的关系可用牛顿第二定律表示：

$$G=mg \quad \text{或} \quad m=\frac{G}{g} \quad (1-1)$$

式中 G ——重量；

m ——质量；

g ——重力加速度。

在工程计算中，重量的单位是公斤力；重力加速度的单位是981厘米/秒²（或9.81米/秒²），将其代入式（1-1），则得质量的单位是公斤力·秒²/厘米或公斤力·秒²/米。

(二) 密度和重度 单位体积液体的质量，称为液体的密度。用 ρ 表示。

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

式中 m ——液体的质量（公斤力·秒²/厘米）；

V ——质量为 m 的液体的体积（厘米³）。

单位体积液体的重量，称为液体的重度。

用 γ 表示。

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

因为 $G=mg$ ，所以液体的重度和密度的关系为：

$$\gamma = \rho g \quad (1-4)$$

油液的密度和重度，随温度和压力的不同而稍有变化。在一般计算中，这种变化极小，可以忽略不计。对于机床液压传动中所用的矿物油，在所使用的温度和压力范围内，计算时可取密度 $\rho=0.92 \times 10^{-6}$ 公斤力·秒²/厘米⁴；重度 $\gamma=0.9 \times 10^{-8}$ 公斤力/厘米³。

二、粘度

液体在管道中流动时，各流层的运动速度一般不相等，与管壁接触的流层速度最小，管子中心的流层速度最大。这是由于液体与管壁之间的附着力和液体分子间的内聚力造成的。如图1-3所示，在两平行平板之间充满液体，设下平板固定不动，上平板以速度 v 平行于下平板运动。由于液体的附着力和内聚力的作用，使两平板之间的液体也随之运动，粘附在上平板上的流层速度为 v ，粘附在下平板上的流层速度为零。而中间各流层的速度则按图示规律分布。液体各流层的运动速度不相等，当速度较快的流层在速度较慢的流层上滑过时，在相邻流层之间便产生了内摩擦力，以阻止流层间的相对滑动。液体的这种性质称为粘性。表示粘性大小的物理量称为粘度。

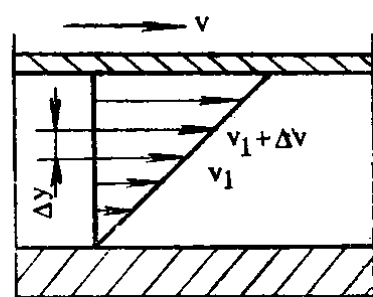


图1-3 液体流动时的速度分布

在实际应用中，机械油常用号数表示，如20号、30号、或40号机械油等，这个号数就表示机械油的粘度大小。号数愈大，说明该油流动时的内摩擦力愈大，即粘度愈大。粘度是液体最重要的特性之一，在液压系统中，主要根据粘度选择

油液。我国常用的粘度单位有三种：

(1) 动力粘度 这是直接用液体流动时所产生的内摩擦力大小来表示的粘度。它的物理意义是：面积各为 1 厘米²，相距为 1 厘米的两层液体，以 1 厘米/秒的速度相对运动，此时所产生的内摩擦力（以达因为单位），即为动力粘度，用动力粘度系数 μ 表示，其单位为泊（1 泊 = 1 达因·秒/厘米²）。

在计算时，因泊的单位太大，所以常用厘泊表示，1 泊 $\approx$ 100 厘泊。

在工程中，动力粘度的单位是公斤力·秒/米²。

由于 1 克重力 = 981 达因

所以 1 公斤力·秒/米² = 98.1 泊 $\approx$ 10⁴ 厘泊

(2) 运动粘度 在相同温度下，液体的动力粘度 μ 与它的密度之比，称为运动粘度，用 ν 表示。

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

式中 ρ ——液体的密度。

ν 的单位是厘米²/秒，一般称为沱。1 沱 = 1 厘米²/秒，沱的单位太大，常用厘沱，1 沱 = 100 厘沱。

在工程中， ν 的单位是米²/秒，1 米²/秒 = 10⁴ 沱 = 10⁶ 厘沱。

工业上所用的 20 号、30 号等机械油，其号数即表示该油在 50℃ 时的运动粘度数值（厘沱）。

(3) 恩氏粘度 动力粘度和运动粘度直接测量比较困难，所以工程上常用恩氏粘度。恩氏粘度是以水的流动性作为标准来确定其它液体流动性的一种方法。

恩氏粘度的测定方法是：将被测的油放在一个特别的容

器里（恩氏粘度计），加热至 $t^{\circ}\text{C}$ 后，由容器底部一个 $\phi 2.8$ 毫米的孔流出，测量流出200厘米³体积的油所需时间 $t_{\text{油}}$ （秒），把这个时间和流出同样体积的 20°C 的蒸馏水所需时间 $t_{\text{水}}$ 相比，比值就是该油在温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏粘度，用恩氏粘度符号 $^{\circ}\text{E}_t$ 表示。

$$^{\circ}\text{E}_t = \frac{t_{\text{油}}}{t_{\text{水}}} \quad (1-6)$$

工业上一般以 20°C 、 50°C 及 100°C 作为测定恩氏粘度的标准温度，相应以 $^{\circ}\text{E}_{20}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{50}$ 和 $^{\circ}\text{E}_{100}$ 表示。

恩氏粘度和运动粘度可用下面的经验公式换算。也可直接从手册中的图表上查出。

$$v_t = 7.31^{\circ}\text{E}_t - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}_t} \quad (\text{厘沲}) \quad (1-7)$$

式中 v_t ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时，油液的运动粘度（厘沲）；

$^{\circ}\text{E}_t$ ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时，油液的恩氏粘度。

【例】 某一牌号的机械油，在 50°C 时，从恩氏粘度计流出200厘米³需要234秒，而蒸馏水在 20°C 时流出200厘米³需要52秒，问该油是多少号的机械油。

$$\text{【解】} \quad ^{\circ}\text{E}_{50} = \frac{234}{52} = 4.5$$

$$v_{50} = 7.31 \times 4.5 - \frac{6.31}{4.5} = 31.5 \quad (\text{厘沲})$$

即该油是30号机械油。

需要指出，油的粘度并不是固定不变的，它随油的压力和温度而改变，当压力增大时，油的粘度也增大。但是，如果压力小于50公斤力/厘米²，压力引起的粘度变化极小，可以忽略不计。温度变化对粘度影响较大。油温升高，油的粘度显著降低，这将直接影响液压系统的工作性能。各种油液的粘度随油温

变化的规律也不相同，使用时可查阅国产油粘度温度曲线。

三、液压传动用油的要求和选择

为了保证液压设备的正常工作，所用油液应满足下列要求：

- (1) 具有合适的粘度，粘度随温度的变化要小。
- (2) 润滑性能良好，有足够的油膜强度。
- (3) 要有较高的化学稳定性，不易氧化变质；有良好的抗乳化性，不易起泡沫。
- (4) 燃点和凝固点应能满足环境温度要求。
- (5) 对机件及密封装置的腐蚀性要小，油质纯净，尽量减少油中的机械杂质、水分、灰分等。

表 1 - 1 是几种国产油的主要性能。

表1-1 几种常用国产油的主要性能

主要指标		运动粘度	恩氏粘度	闪点(开口)	凝 点	酸 值	机械杂质
名称 和牌号		ν_{50} (厘沲)	E_{50}	$^{\circ}\text{C}$ (不低于)	$^{\circ}\text{C}$ (不高于)	毫克KOH/克 (不大于)	% (不大于)
精密机床 液压油	20号	17~23	2.6~3.3	170	-10		无
	30号	27~33	3.8~4.6	170	-10		无
	40号	37~43	5.0~5.7	170	-10		无
机械油	10号	7~13		165	-15	0.14	0.005
	20号	17~23	2.6~3.3	170	-15	0.16	0.005
	30号	27~33	3.8~4.6	180	-10	0.2	0.007
	40号	37~43	5.0~5.7	190	-10	0.35	0.007
汽轮机油	22号	20~23	2.9~3.2	180	-15	0.02	无
	30号	28~32	4.0~4.5	180	-10	0.02	无
主轴油	10号	8~13		130	-15		无

注：(1)闪点：油加热时，它的蒸汽和周围空气混合，接近火焰时有闪光发生，这时的温度称为闪点。

(2)酸值：中和100毫升石油产品，所需氢氧化钾的毫克数称为酸值。

选择液压油时，通常应考虑油的粘度、工作环境的温度和系统的压力三个因素，而粘度是选油的重要指标。具体选用时，除按照泵、阀样本的要求选用外，一般可作如下考虑。

(1) 对于机床液压系统，所用矿物油的粘度一般为 $2 \sim 5.8^{\circ}E_{50}$ (11.5~43厘沲)。

(2) 在一般液压传动中，应用较广的是10号、20号、30号机械油，8号柴油机油和22号、30号汽轮机油。为了使油液具有所需的粘度特性，有时可采用稠化油。

(3) 选择油的粘度时，要考虑周围环境的温度，周围环境温度高时，选用粘度较高的油，反之，选用粘度较低的油。如在机床中，冬季可用10号机械油，夏季可用20号机械油，酷热时用30号机械油。

(4) 要根据液压系统的工作压力选择油的粘度。高压时用高粘度油，中、低压时用较低粘度的油，因为高压时泄漏问题比较突出，而中、低压时压力损失问题突出。如：压力低于70公斤力/厘米²时，可用20~38厘沲 (50°C) 的油，压力在70~200公斤力/厘米²时，就用60厘沲 (50°C) 的油。

(5) 在低压往复运动中 ($p=20 \sim 30$ 公斤力/厘米²)，且活塞速度很高时 ($v \geq 8$ 米/分)，用粘度低的油，一般可用10号、20号机械油；在旋转运动中用22号汽轮机油、30号及40号机械油。

一般情况下，液压传动用油可参照表1-2按泵类型来选择。

表1-2 按液压泵类型推荐用油粘度

液 压 泵 类 型		环境温度14~38℃	环境温度38~80℃
		厘沲(50℃)	厘沲(50℃)
叶片泵	压力在70公斤力/厘米 ² 以下	18~27	25~42
	压力在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

第三节 静止液体的性质

一、静止液体的压力及其特性

静止液体的压力或流速很低的液体的压力，叫作静压力。液压传动中所用的压力都是指液体的静压力，简称为压力。液体的压力，是指液体在单位面积上所受的作用力，用p表示，其单位是公斤力/厘米²。液体中的压力，主要是由液体的自重和液体表面受外力作用而产生的。

(一) 大气压力和液体自重所产生的压力 图1-4 表示容器中盛有油液，液面上受到大气压力 p_a 的作用，m为液面下深度为h处的一点，该点所受的作用力比液面处要大，所大的数值为h高的液体的重力。因此m点液体所受的压力 p_m 为：

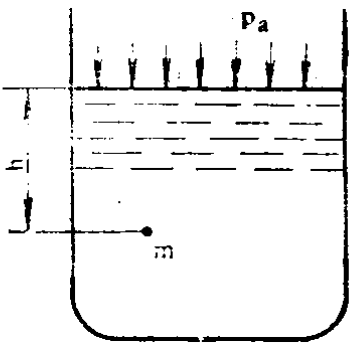


图1-4 大气压力和液体自重产生的压力

$$p_m = p_a + \gamma h \tag{1-8}$$

式中 γ ——液体的重度。