

凡矿采掘机械的液压传动

西安矿业学院 四川矿业学院 淮南煤炭学院 山东矿业学院 编

煤炭工业出版社

U152
X467

煤矿采掘机械的液压传动

西安矿业学院 四川矿业学院 淮南煤炭学院 山东矿业学院 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统阐述液压传动技术的基础理论；重点介绍煤矿采掘机械常用的液压元件（中、高压油泵，油马达，油缸和液压阀）的构造、工作原理、设计计算及使用维修，采掘机械液压系统的基本回路，典型液压系统的分析和设计。对国外引进的部分综合机械化采煤设备的液压元件和液压系统，也做了叙述和分析。

本书供煤矿采掘机械专业的工人、技术干部和科研人员使用，也可作煤矿高等院校教材。

煤矿采掘机械的液压传动

西安矿业学院 四川矿业学院 编
淮南煤炭学院 山东矿业学院

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092¹/₁₆ 印张17¹/₄

字数411千字 印数1—23,200

1976年7月第1版 1978年7月第1次印刷

书号15035·2157 定价1.80元

前 言

煤矿采掘机械比较普遍地采用液压传动技术，特别是综合机械化采煤设备，用得更为广泛。

为适应煤矿机械化的发展，满足煤炭战线工人、技术人员和高等院校师生的需要，我们在原煤矿高等院校教材《采掘机械》（上册），即《采掘机械液压传动》的基础上，进一步修改补充写成本书。

在编写过程中，我们曾得到有关厂矿、研究院所和兄弟院校的热情帮助和大力支持，提出不少宝贵意见，在此表示衷心的感谢。由于我们的水平所限，书中可能有不少缺点甚至是错误，恳切希望广大读者批评指正。

目 录

第一章 液压传动原理和液压流体力学基础	1
(一) 液压传动的工作原理及其在采掘机械中的应用	1
(二) 液压油	3
(三) 液压流体力学的基本知识	8
第二章 油 泵	26
(一) 概 述	26
(二) 径向柱塞式油泵	29
(三) 轴向柱塞式油泵	45
(四) 齿轮油泵	65
(五) 转子油泵	75
(六) 叶片油泵	81
第三章 油马达	92
(一) 概 述	92
(二) 单作用径向柱塞式油马达	98
(三) 静力平衡径向柱塞式油马达	102
(四) 内曲线油马达	105
第四章 油 缸	132
(一) 油缸的分类	132
(二) 油缸的典型结构	132
(三) 油缸的主要零件	134
(四) 油缸的基本参数计算	138
第五章 液压阀	145
(一) 压力阀	145
(二) 流量阀	158
(三) 方向控制阀	163
(四) 阀 组	184
第六章 辅助元件	188
(一) 滤油器	188
(二) 蓄能器	191
(三) 油管和管接头	192
(四) 密封装置	195
(五) 油箱和冷却器	199
第七章 采掘机械的液压系统	201
(一) 液压系统的分类	201
(二) 液压系统的调速	202
(三) 基本回路	209
(四) 采煤机械的典型液压系统	221

(五) 液压系统的设计	243
(六) 液压系统的故障排除和维护修理	251
(七) 采煤机和液压支架的液压系统	253
附 录	258
(一) 液压传动常用单位换算表	258
(二) 液压系统图图形符号	260

第一章 液压传动原理和液压流体力学基础

(一) 液压传动的工作原理及其在采掘机械中的应用

液压传动是以油液为工作介质来转换和传递能量的方式。我们掌握液压传动的目的，是了解液压元件和液压系统的工作原理、结构、性能，正确选用液压元件，组成合理的液压系统，以解决采掘机械液压传动的使用、维修、改装和设计等问题，并设计新元件、新系统，使之更广泛地在采掘机械上使用。

一、液压传动的工作原理

以升降采煤机滚筒的液压系统为例，说明液压传动的工作原理(图1-1)。

电动机带动偏心轮12，使油泵从油箱9中吸油，并将压力油送入管路。为使油液清洁，油泵所吸的油要经过滤油器2过滤。油泵排出的压力油经换向阀4时，可以改变油流方向。图示位置为换向阀的中间位置。压力油经阀芯16的中间油口流回油箱，油泵空载。用手把将换向阀的阀芯移到左端时，压力油经阀芯的油口和油管14进入液压锁5，打开两边的锥阀，使压力油进入油缸6的左腔，推动活塞向右移动。同时，活塞右腔的油经液压锁5、油管15、换向阀4的右腔和油管17回油箱。活塞向右移动时，通过摇臂7的摆动使滚筒升高，以适应采煤工作面煤层厚度的变化。换向阀的阀芯移到右端时，工作原理一样，仅活塞移动的方向相反，滚筒降低。如需要滚筒停在某一位置，只要把换向阀打到中间位置，使油泵的油经过它流回油箱；而油缸两侧的油液被液压锁5的锥阀锁住，油缸和滚筒就固定在既定位置。滚筒调高时，如截割岩石，滚筒受力很大，油泵的压力也很高，压力超过安全阀3的弹簧所调整的压力后，压力油顶开安全阀的钢球流回油箱，以保护整个液压系统的元件不被损坏。

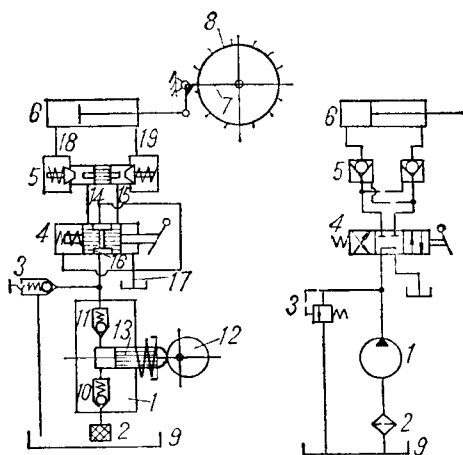


图 1-1 采煤机滚筒调高的液压系统

1—油泵；2—滤油器；3—安全阀；4—换向阀；5—液压锁；6—油缸；7—摇臂；8—滚筒；9—油箱；10、11—油泵单向阀；12—偏心套；13—油泵柱塞；14、15—油管；16—阀芯；17、18、19—油管

由此可见，液压系统由以下4个主要部分组成：

1. 油泵

将电动机的机械能经过油泵转换为油液的压力能，并利用压力油来传递动力和运动。

2. 液动机

液动机包括油缸和油马达，它将油液的压力能转换为机械能，带动工作机构运转。

3. 液压阀

安全阀、换向阀、单向阀和液压锁等元件，它们都起一定的控制作用，如控制和调节液流的压力、流量(速度)和方向，以满足各种工作要求。

4. 辅助元件

包括滤油器、冷却器、蓄能器、油管、油箱以及各种控制仪表等。

液压系统中各元件的关系可用图1-2表示。

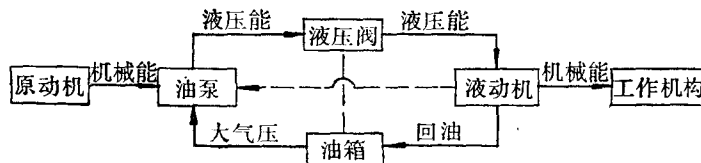


图 1-2 液压系统的组成

二、液压传动的特点

在一定条件下与电传动和机械传动对比，液压传动的优缺点如下：

1. 优点

- 1) 易于获得很大的力或力矩 例如在液压机上可产生几百吨或更高的压力。
- 2) 调速性能好 在比较大的调速范围内，容易实现无级调速和自动调速。
- 3) 运转平稳、均匀 油液本身具有吸振能力，并可获得1毫米/分以下的无爬行的稳定速度。而在机械传动中，加工和装配的误差都能引起振动和冲击。
- 4) 控制容易、操作方便。
- 5) 容易防止过载。
- 6) 容易获得很大的减速比，而且传动系统比较简单。
- 7) 体积小、重量轻 在功率相同条件下，油马达是电动机体积的12~13%。在转速相同条件下，发电机的重量与压力105公斤/厘米²的油泵相比，要大5倍；与压力210公斤/厘米²的油泵对比，要大8倍。
- 8) 能自行润滑。
- 9) 容易实现自动化 因重量和体积都减少很多，惯性较小，动作灵敏。特别是电液配合应用，能充分发挥两者的优点。

2. 缺点

- 1) 容易泄漏，尤其在高压时，间隙密封较困难。
- 2) 油液的温度容易升高，温升过高时，对工作性能影响较大。
- 3) 油液混入杂质后，管路、小孔、缝隙和阀口易堵塞，影响正常工作。
- 4) 发生故障不易检查和排除。
- 5) 定比传动较差 由于油泵的流量和压力的脉动、外负载的变化、油液的微量压缩、管子的弹性、油液泄漏的增加和空气侵入等原因，使运动速度不能准确地保持定比传动。
- 6) 液压系统的效率较低，因它的损失比机械传动的种类多、数值较大。油液在管路中流动产生液压损失，管路长和流速大时，液压损失增大，因此不适宜远距离传动。
- 7) 制造的精度要求较高。

随着科学技术的发展, 液压传动的优点更加充分地发挥, 缺点在不断克服或因不断改进而变为不明显。总的看来, 液压传动的优点是主要的, 近年来越来越广泛地采用。

三、采掘机械对液压传动的要求

采掘机械在井下工作, 受复杂多变的地质条件的影响很大, 而且采掘工作面空间很小, 还有煤尘和岩尘等污染, 因此采掘机械的液压传动应满足以下主要的要求:

1. 采掘机械的负载大, 要求液压传动系统结构紧凑, 体积小, 重量轻, 过载保护装置的动作要灵敏。
2. 采掘机械的负载变化大, 必须进行无级调速或自动调速。
3. 采掘机械工作的环境, 要求进行油液的过滤和冷却。
4. 采掘机械的工作空间小, 影响事故处理和检修, 因此要求液压元件和系统工作可靠, 便于维修。

以上要求比较容易满足, 因此近年来采掘机械越来越广泛地采用液压传动, 采煤机、掘进机和装载机等都不同程度地采用了液压技术, 特别是液压支架, 全部采用液压传动。

(二) 液 压 油

一、液压油的物理性质

1. 重度与密度

单位体积油液的重量叫重度, 一般以 γ 表示, 即

$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{ 公斤/米}^3,$$

式中 G ——液体的重量, 公斤;

V ——液体的体积, 米³。

单位体积油液的质量叫密度, 一般以 ρ 表示, 即

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{\gamma}{g} \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^3,$$

式中 $M = \frac{G}{g}$ ——液体的质量, 公斤 $\cdot$ 秒²/米, $M = \frac{G}{g}$;

g ——重力加速度, 米/秒², $g = 9.81 \text{ 米/秒}^2$ 。

2. 粘度

油液具有不同程度的粘滞性, 这实质上是油液存在着内摩擦力以抵抗在剪切力作用下产生变形的一种性质。油液粘滞性用粘度表示。

油液的粘度值对液压传动有很大影响。粘度大, 液压系统内摩擦力大, 因而强烈发热。粘度太大, 还会引起液压元件的动作迟缓, 甚至动作失调。粘度太小, 油液容易从元件的缝隙中漏掉, 系统效率降低, 甚至系统压力上不去。

1) 粘度的表示方法

粘度的表示方法有 3 种: 相对粘度(恩氏粘度)、绝对粘度(动力粘度)和运动粘度。

(1) 相对粘度

在生产中, 通常用符号 $^{\circ}\text{Et}$ 表示, 这是因为它能够用相应的仪器(恩氏粘度计)来测定。相对粘度表示在某一标准温度下, 200厘米³(毫升)的油液与同体积的蒸馏水流过直径2.8毫米的小孔所需时间的比值。即

$$^{\circ}\text{E} = \frac{t_1}{t_2},$$

式中 t_1 ——200厘米³的被测油液流过恩氏粘度计小孔时所需的时间, 秒;

t_2 ——200厘米³的蒸馏水流过恩氏粘度计小孔时所需的时间, 秒。

相对粘度只是一个比值, 所以无单位。在测量时, 通常用20℃、50℃、100℃作为标准温度, 所以测得的粘度分别用符号 $^{\circ}\text{E}_{20}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{50}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{100}$ 来表示。

(2) 绝对粘度和运动粘度

绝对粘度 μ 表示面积1米², 距离1米的相邻两层流体, 以1米/秒的速度相对运动时, 相互间的作用力(内摩擦力或切应力)。作用力大, 粘度就大, 可用内摩擦定律表示如下:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dr}, \quad \mu = \tau \frac{dr}{dv},$$

式中 μ ——绝对粘度;

dv ——相邻油膜间的相对滑动速度;

dr ——相邻油膜间的距离。

绝对粘度的工程单位是公斤·秒/米², 物理单位是达因·秒/厘米²(或叫泊)。工程单位与物理单位换算关系如下:

∴ 1克(重力) = 981达因,

∴ 1公斤·秒/米² = 98.1泊(达因·秒/厘米²) $\approx$ 100泊 $\approx$ 10⁴厘泊。

运动粘度 ν 是绝对粘度 μ 与油液密度 ρ 的比值, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{厘米}^2/\text{秒}(\text{或叫沩})。$$

如采用工程单位, ν 的单位是米²/秒, 1米²/秒 = 10⁴沩 = 10⁶厘沩。

在理论运算和推导中, 经常使用绝对粘度和运动粘度。它们实际上无法直接测量。绝对粘度和运动粘度可利用以下的关系从相对粘度中推算出来:

$$\mu = \nu \rho,$$

$$\nu = 0.731^{\circ}\text{Et} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{Et}}, \text{厘米}^2/\text{秒}(\text{沩})。$$

2) 温度对油液粘度的影响

液压传动用的油液, 在温度升高时会变稀, 也就是粘度降低, 造成系统的漏损加大。

油的种类不同, 粘度的变化规律也不同, 所以很难用一个统一公式来表达粘度随温度而变化的关系。对于运动粘度不超过76厘沩的矿物油, 当温度在30~150℃的范围时, 可近似地用下式来计算粘度的变化:

$$\nu_t = \nu_{60} \left(\frac{50}{t} \right)^n,$$

式中 ν_t ——温度为 t ℃时的运动粘度, 厘米²/秒(厘沩);

ν_{50} ——温度为50℃时的运动粘度,厘米²/秒(厘沲);

n ——指数。 n 值见表1-1。

表 1-1 粘度与 n 值的关系

ν_{50} (厘沲)	2.5	6.5	9.5	12	21	30	45	52	60	68	76
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.49	2.52	2.56

3) 压力对油液粘度的影响

油液的粘度与压力有很大的关系。压力大,分子间距离缩短、粘性增高。压力与粘度之间的关系如下式:

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp},$$

式中 ν_0 ——一个大气压下油液的运动粘度;

e ——自然对数的底;

b ——实验系数, b 值一般为 0.002~0.003;

p ——油的压力,公斤/厘米²;

ν_p ——压力为 p 时,油液的运动粘度。

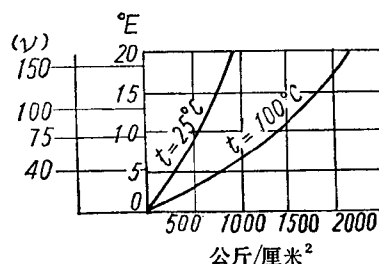


图 1-3 压力与粘度曲线

图1-3表示在不同的压力作用下,实验矿物油时所得到的压力-粘度关系曲线。

3. 油液的压缩性

油液在压力作用下体积缩小的特性叫做压缩性。这个体积缩小量 ΔV 与压力的增加量 Δp 之间存在着如下关系:

$$\Delta V = \beta V \Delta p,$$

式中 V ——油液压缩前的体积,厘米³;

β ——体积压缩系数,厘米²/公斤;

ΔV ——油液压缩后的体积变化值,厘米³;

Δp ——压力的变化值,公斤/厘米²。

目前使用的传动油液的受压范围为150~200公斤/厘米²时, β 可取 50×10^{-6} 厘米²/公斤。

在高压的传动系统中,由于油液具有可压缩性,油液在高低压突然转换的瞬间,体积就突然膨胀而形成冲击。泵阀元件上有的带有阻尼小孔或节流小倒角,就是为了消除这种现象而设计的。

二、液压油的化学性质

使用当中希望油液具有稳定不变的化学性质,即在温度发生变化或接触到其他物质(如空气、金属和非金属材料等)时,应能很好地保持原有的性质。但是,目前还没有这种理想的油液,因此在上述条件发生变化时,油液的化学性质要发生一定程度的变化。

油液的化学性质主要有:

1. 热的稳定性

油液在通过缝隙、小孔或管道时,会产生大量的热使油温升高,而油温过高时会使油分子裂化,粘度下降;同时,又会使分子聚合而产生沥青、焦油等树脂状物质。析出的沥

青和杂质堵塞液压元件的小孔,就要影响系统的正常工作。因此,应把液压油的使用温度限制在 $15^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

2. 氧化性

常温时,油液与空气或其它氧化剂接触后会氧化,氧化产生的酸性物质要腐蚀金属表面。

油与高温热源接触会剧烈氧化、着火,有造成事故的可能性。对油的可燃性的3个指标——闪点、燃点和自燃温度。这3项指标要通过实验的方法确定:将油放在烧杯中加热,用火焰周期地移近油面,火焰使油的蒸气发生“瞬时火焰”时,温度计上的读数叫做闪点。温度达到闪点的油,如已点燃的火焰离开引火火焰后,随即熄灭。杯中的油继续加热到引火火焰移走之后仍能维持燃烧时的油温,叫做燃点。油在空气中不用引火而能自动燃烧时的温度叫做自燃温度。必须指出,高压油如经细微缝隙喷出雾状油气时,极易引起爆炸。

3. 相容性

不同性质的油液相互溶解的能力或与其它物质的相互作用称为相容性。在生产实践中常会遇到这样的问题,油液与橡胶密封材料中的某些增塑剂发生作用,相互溶解使橡胶膨胀而失去弹性,破坏其密封性能。有时混合油的比例选择不当,或与油漆发生作用,就会使油液产生悬浮物或胶体,将液压系统中的阻尼孔堵塞而影响正常工作。

三、液压油的表面性质

这个问题从两个方面讨论。

1. 油液与气体的相互作用

空气在油中具有一定的溶解度,一般约 $6\sim 12\%$ 。如果系统在工作中产生局部负压,这些气体就会从油中析出而形成气泡,引起系统发生噪音和振动。目前解决这个问题 的办法,是将液压系统的负压限制在容许范围以内,即最大真空度不超过250毫米汞柱。具体措施包括:油在吸油管中的流速限制在2米/秒以下,各回油管都深入油面以下,改进油箱的结构(如采用隔板和过滤网,减缓油的流动速度,使气泡来得及浮起,并尽快消除)。

2. 油液与金属表面的相互作用

图1-4表示两金属板相对滑动时,油液在间隙中的情况。与金属接触时,油液中的极性分子,在金属表面紧密而整齐地排列成一个强固的边界层。如作用在表面的正压力 p 较小,而滑动速度 v 较大,油膜厚度 δ 较大,在这种情况下,两金属板便有可能以“全液体摩擦”的形式相对运动。反之,如油膜厚度很小,形成边界层摩擦,摩擦系数增大。如果 p 大而 $v=0$,两金属板表面极为接近,油液从两板间隙中挤出,这时两个金属板表面上的极性分子层相互作用,将产生极大的附着力,要使金属板重新产生相对运动,必须施加很大的推力。这在减压阀和顺序阀等液压元件结构中已成难题。例如高压持续时间超过一分钟时,有些制造质量不好的阀,泄压后,往往发现阀芯在弹簧力作用下不能动作。

目前,采取提高零件的几何精度特别是椭圆度和锥度,开均压环形槽,或使阀芯经常

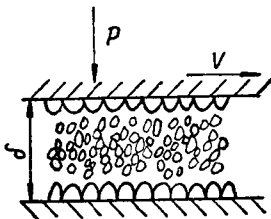


图 1-4 油液在间隙中的分布

处于高频振动状态，以避免产生这种不良现象。

四、液压油的选择

液压传动用的液压油应具有以下条件：

1. 有良好的润滑性能。
2. 在较宽的温度范围内(最好在 $-30^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$)粘度变化小。
3. 对目前广泛采用的各种材料，如金属、油漆、塑料和合成橡胶等不起化学、物理作用。
4. 粘度大小适合于现在一般液压元件的间隙密封要求。
5. 不易吸收空气或溶解空气。
6. 燃点较高，凝固点较低，（特别是在气候寒冷的条件下工作时，对这一指标的要求更严格）。
7. 质地纯净，不含杂质，（如酸碱和其它机械杂质等）。
8. 对电的绝缘性能良好。
9. 热传导系数较高，散热性能好。
10. 不易氧化。
11. 和现在使用的其它液压油能互相溶解，至少能稀释到10%。
12. 价格便宜。

目前几乎没有一种油能完全满足上述指标，只能根据工作条件有侧重的选用。

在液压传动系统中，液压油选用矿物油，而不选用植物油和动物油，因为它们的酸性和碱性大，有腐蚀性，而且化学稳定性差。

应按下列原则选用矿物油：

1. 按液压元件(泵和阀等)的规定选用。
2. 根据工作机械的要求选用。一般机械(包括采掘机械)用普通矿物油，航空机械和精密机械可选专用油液。
3. 消耗量大，压力和温度比较高时，可选用乳化液。如液压支架都是选用乳化液。这种油液一般由5%的乳化油和95%的水所组成，乳化油的主要成分是基础油（轻质润滑油）、乳化剂和防锈剂等。这种类型的乳化液具有水的基本优点：粘度小，管道阻力小，不会燃烧，安全，有良好的冷却性能，不易产生泡沫，空气溶解度低等。缺点是粘度低，容易泄漏，润滑性能不如矿物油。所以一般油泵和阀都不能使用乳化液，需要设计制造专用的乳化液泵和专用阀类。

液压传动中常采用粘度在 $2\sim 8^{\circ}\text{E}_{50}$ 的矿物油（相当11.5~60厘沲），其牌号见表1-2。其中最常用的是20号和30号机械油。

由于上述矿物油中没有或很少加入各类添加剂，使用时容易产生泡沫，声响大，粘温性能差和油膜易破坏等缺点，不能满足液压传动用油的要求。近几年来我国试制成稠化液压油，分“上稠”、“兰稠”数种。这种油的特点，是凝固点低、氧化稳定性好、防锈、润滑性好、粘温性好、工作时泡沫少。

表 1-2 几种常用国产油的主要性能

项 目	精密机床 液压油			机 械 油			主轴油	变压器油	航空 液压油	汽轮机油 (透平油)		高速机 械油
	20号	30号	40号	20号	30号	40号	10号	25号	10号	22号	30号	7号
运动粘度 ν_{40} (厘沲)	17—23	27—33	37—43	17—23	27—33	37—43	8—13	9.6	10	20—23	28—32	6—8
相对粘度 E_{50}	2.6—3.3	3.8—4.6	5.0—5.7	2.6—3.3	3.8—4.6	5.0—5.7				2.9—3.2	4—4.5	
粘度指数(不小于)	90	90	90				90					
闪点(不低于 $^{\circ}\text{C}$)	170	170	170	170	180	190	130	135	92	180	180	125
凝点(不高于 $^{\circ}\text{C}$)	-10	-10	-10	-15	-10	-10	-15	-25	-70	-15	-10	-10
酸值(毫克KOH/克, 不大于)				0.16	0.2	0.35		0.05	0.05	0.02	0.02	
氧化安定性(小时, 不小于)	600	600	600									
(酸值达到2.0毫克KOH/克的时间)												
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	
水 分	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	
机械杂质(%)(不大于)	无	无	无	0.005	0.007	0.007	无	无	无	无	无	
腐蚀(T_3 铜片, 100°C , 3小时)	合格	合格	合格				合格					
防锈性(蒸馏水法)	合格	合格	合格				合格					
临界载荷(公斤, 不小于)	60	60	60				45					

(三) 液压流体力学的基本知识

在液压传动中, 一般用油液作为传递和转换能量的工作介质。

液压流体力学主要研究液体与液压元件之间相互作用的规律及其应用。本节着重介绍静止油液和流动油液的力学基本规律。

一、液压油的力学概念

在力学上, 把液压油看成是由极微小的质点组成的连续流体。它具有良好的流动性, 本身没有固定的形状, 但能得到所在容器的形状。由于油液质点间的凝聚力极小, 质点和质点之间不能承受拉力只能承受压力。

如果从所研究的液压油中取出一块体积, 作用在这一体积上的力可分为质量力和表面力。

质量力是作用于油液所有质点上的力。如果是其它物体作用在该油液上的力, 叫外质量力, 如重力等。如果该油液具有加速度, 这种加于油液上的力叫惯性力, 如离心力等。质量力是个向量, 它与油液的质量成正比。在分析研究中, 因重力占的比重极小, 一般都忽略不计。

表面力是作用于油液外表面上的力, 是个向量。它与作用的面积成正比, 用单位面积上所受的表面力来度量。油液的压应力(简称压力)和切应力(简称切力)都是表面力。

二、静止油液的力学基本规律

所谓“静止”, 是指油液内部质点和质点之间没有相对位移。油液整体完全可以看成象刚体一样地移动。

1. 油液的静压力

油液的静压力是静止的油液受外力作用时，在油液内部产生的压力。静压力以作用在油液单位面积上的力来表示(图1-5)，物理上叫压强，在液压传动里简称压力。

在密闭的容积内，加一作用力 P ，其压力为

$$p = \frac{P}{A},$$

式中 p ——压力，公斤/厘米²；

A ——受力面积，厘米²；

P ——作用在面积 A 上的力，公斤。

由上式可知，压力 p 与作用力 P 成正比，与受力面积 A 成反比。

这种外力 P 是加于油液表面上的力，或油液本身的重量。油液不受外力作用时，油液分子之间的作用力(引力和斥力)处于平衡状态。在外力作用下，油液受到挤压，体积缩小，这时分子之间产生的斥力大于引力，其差值便阻止油液压缩，而显示出油液内部的压强，并与外力作用的压强相平衡。因此，外力是油液产生压强的条件，而油液内部作用力的变化是油液产生压强的根据。

压力的计量通常有两种。一种是绝对压力，其数值是以绝对真空为基准算起的，都是正值。所谓绝对真空，是指在密封的容器内没有任何物质，压强等于零。另一种是相对压力，又称表压力。表压力值是以大气压为基准算起的正值，它表示油液压力超过大气压的数值。

绝大多数压力表在大气压作用下，指针在零位。液压传动中的压力，就是指的表压力。各种压力的关系如图1-6所示，即

绝对压力 = 大气压力 + 表压力，

或表压力 = 绝对压力 - 大气压力。

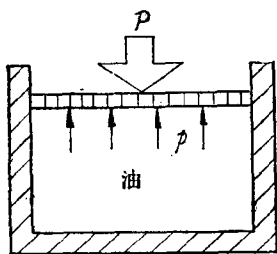


图 1-5 静压力示意

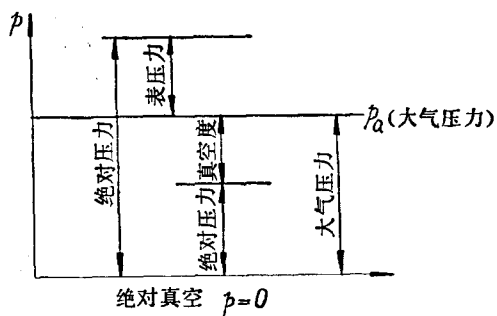


图 1-6 各部压力的关系

如果油液的绝对压力小于大气压力，则具有真空度，又称负压。真空度并不是绝对压力，而是绝对压力小于大气压力的数值，它们的关系是：

绝对压力 = 大气压力 - 真空度，

或 真空度 = 大气压力 - 绝对压力。

例如真空度为0.7公斤/厘米²，绝对压力为0.3公斤/厘米²。

压力的单位有3种。

第一种是用单位面积上的作用力来表示。在工程单位制中,常用的压力单位为公斤力/厘米²。习惯上用公斤/厘米²表示。在物理单位制中,压强的单位为巴,即1厘米²的面积上作用10⁵达因的力叫1巴。1巴=10⁵达因/厘米²=10⁵牛顿/米²。两种单位的换算式为:

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 0.981 \text{ 巴} = 14.223 \text{ 磅/英寸}^2;$$

$$1 \text{ 巴} = 1.02 \text{ 公斤/厘米}^2;$$

$$1 \text{ 磅/英寸}^2 = 0.07 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

第二种是用液柱高度来表示,单位是米水柱和毫米水柱或厘米汞柱和毫米汞柱。这种单位常用于计量真空度。

第三种单位是用大气压来表示。

以上3种单位的关系是:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 工程大气压} &= 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10 \text{ 米水柱} = 735.5 \text{ 毫米汞柱} \\ &= 0.981 \text{ 巴。} \end{aligned}$$

工程大气压,简称大气压。

2. 油液的静压特性

1) 油液压力的方向总是沿作用面的内法线方向。内法线方向是指与作用面相垂直并指向油液内部的方向,也就是说,油液的压力是压缩力。

在图1-7中,将静止油液中的一块体积用任意面1-2将该体积分为两部分,带影线的部分为分离体。如果压力不是指向作用面的法线,如 P_1 ,必须产生切向分力 τ ,因 $\tau = \mu \frac{dv}{dr}$,

(式中 $\frac{dv}{dr}$ 是相邻油膜层之间油液相对滑动的速度梯度。)而 $v \neq 0$,它将引起油液的运动。

如果压力的方向不是内法线,而是外法线,如张力 P_2 也将引起油液的运动。这些都与油液是静止的前提相矛盾。因此,油液的压力方向总是沿作用面的内法线方向(如图1-7中压力 P)。

2) 在静止油液内部同一深度的任一点上,向任何方向都有压力,而且各个方向上的压力都相等,随深度的增加,压力也增加。

图1-8是油液压力分布的实验装置。在A点处有3个管口方向不同而深度相同的测压管,测压管中的压力都相等。这个实验说明了“各处静压相等”的静压特性。

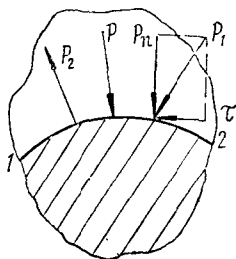


图 1-7 静止油液表面受力分析

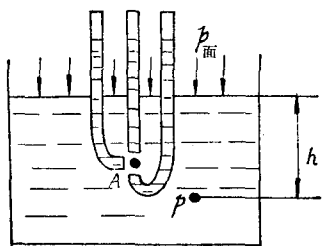


图 1-8 油液静压力的分布

油液压力的基本公式如下:

$$p = p_{\text{面}} + r h, \quad (1-1)$$

式中 $p_{\text{面}}$ ——油液中任意点的压力, 公斤/厘米²;

$p_{\text{面}}$ ——油面上的压力, 公斤/厘米²;

γ ——油液的重度, 公斤/厘米³;

h ——由油面到任意点的深度, 厘米。

从公式(1-1)可以看出, 油液中任一点的压力由两部分组成: 一部分是油面上的压力 $p_{\text{面}}$; 另一部分是单位面积上的油液重量 γh 。油管高度不超过10米(10米=1000厘米), 油液的重度 γ 为900公斤/米³(等于0.0009/厘米³), 则 γh 为0.9公斤/厘米²。因 $p_{\text{面}}$ 远远大于 γh , 所以在计算中往往不考虑由油液重量所产生的压力。于是压力方式(1-1)写成下式:

$$p = p_{\text{面}} = \text{常数}。 \quad (1-2)$$

也就是说, 在液压系统中, 当油液静止时油液中各点的压力相等。

3) 静压传递不变原理

由上述“各处静压相等”的特性, 便可得出静压传递不变的原理: 作用在密闭容器中的静止油液部分边界面上的压力, 能以相等的压力传递到整个油液内。或者说, 如一部分固体边界面上的压力发生了变化 Δp , 则油液中各点上同样引起压力的变化 Δp 。这个静压传递不变的原理, 通常叫做帕斯卡原理, 它是液压传动的基本原理, 应用很广。容积式液压传动的液压元件和液压系统都是根据这个原理工作的。

图1-9 是油压千斤顶的工作原理图。在油泵 1 上加一力 F 使活塞下移, 并产生压力 $p = F/A_1$, (A_1 为油泵活塞面积)。根据静压传递不变原理, 压力 p 以同样大小传递给油缸 2, 对油缸的活塞产生一作用力 $W = pA_2$ (A_2 为油缸的活塞面积)。 W 就是千斤顶起重物体的重量。由此可以得出:

$$p = \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad \text{或} \quad W = F \frac{A_2}{A_1}。 \quad (1-3)$$

由式(1-3)可知, 在小活塞上加一个不大的力, 就可以在大活塞上得到很大的力。例如, $A_1 = 10$ 厘米²、 $A_2 = 1000$ 厘米²、 $F = 10$ 公斤, 则 W 为 1000 公斤。这就是油压千斤顶能顶起千斤重的原理。

4) 油液总压力

在液压传动中, 油液中的压力各处相等, 所以作用在物体表面上的油液压力, 可看成是均匀分布的压力。

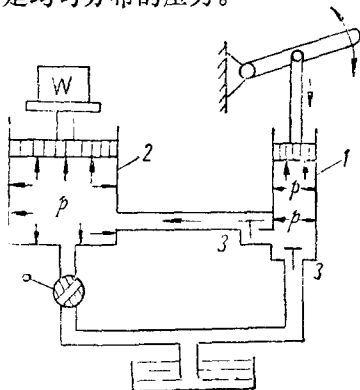


图 1-9 油压千斤顶的原理

1—油泵; 2—油缸; 3—阀门

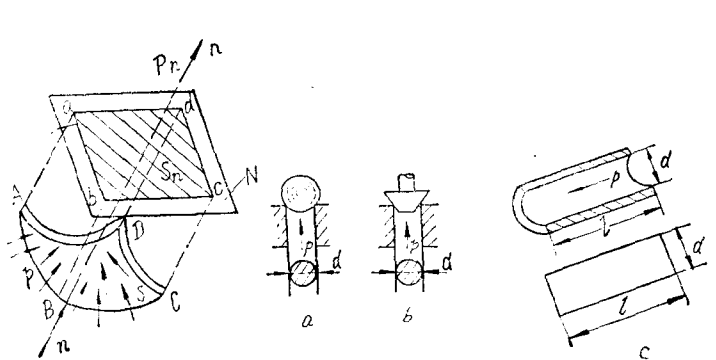


图 1-10 作用在曲面上的液压力