

内 容 提 要

本书简明而系统地介绍了液压传动的基本理论,液压元件以及液压辅助元件的基本结构和工作原理,液压基本回路和常用工程机械的液压系统。同时,介绍了液力元件的基本结构和原理以及油气悬架结构。最后,还介绍了典型工程机械液压系统的故障诊断与排除的方法。

本书可作为大专院校工程机械及其他相关专业的教学用书,也可供从事液压与液力传动的工程技术人员学习参考。

目 录

第一章 摇液传动基本理论	员
摇第一节 摇液传动的基本概念	员
摇第二节 摇液传动的工作液体	缘
摇第三节 摇液传动的的基本参数	愿
摇第四节 摇液体流动的基本规律	园
摇第五节 摇压力损失	猿
摇第六节 摇薄壁节流孔和阻尼节流孔	源
摇第七节 摇液冲击与空穴现象	缘
第二章 摇液元件	愿
摇第一节 摇液泵	愿
摇第二节 摇液马达	园
摇第三节 摇液缸	园
摇第四节 摇液控制阀	猿
摇第五节 摇螺杆泵	愿
摇第六节 摇比例阀、二通插装阀和数字阀	猿
第三章 摇液辅助元件	猿
摇第一节 摇蓄能器	猿
摇第二节 摇滤油器	猿
摇第三节 摇油箱	源
摇第四节 摇管件	源
第四章 摇液基本回路	源
摇第一节 摇压力控制回路	源
摇第二节 摇速度控制回路	源
摇第三节 摇方向控制回路	缘
摇第四节 摇重力负载液压回路	缘
摇第五节 摇回转机构液压回路	缘
摇第六节 摇支腿机构液压回路	缘
摇第七节 摇转向机构液压回路	缘
摇第八节 摇多缸工作控制回路	缘
摇第九节 摇液马达回路	园
第五章 摇液力传动	缘
摇第一节 摇概述	缘
摇第二节 摇液力偶合器	远
摇第三节 摇液力变矩器的工作原理与形式	猿

摇第四节摇液力机械变速器的构造	页
摇第五节摇液力机械变速器的液压控制系统	页
第六章摇油气悬架结构	页
摇第一节摇概述	页
摇第二节摇油气弹簧悬架	页
摇第三节摇硅油弹簧悬架	页
第七章摇工程机械液压系统	页
摇第一节摇推土机	页
摇第二节摇装载机	页
摇第三节摇汽车起重机	页
摇第四节摇铲运机	页
摇第五节摇平地机	页
摇第六节摇振动压路机	页
摇第七节摇稳定土拌和机	页
第八章摇工程机械液压系统的故障诊断与排除	页
摇第一节摇挖掘机液压系统故障的分析与排除	页
摇第二节摇装载机液压系统故障的分析与排除	页
摇第三节摇履带式推土机液压传动系统故障分析与排除	页
摇第四节摇汽车起重机液压传动系统故障分析与排除	页
摇第五节摇振动压路机液压系统故障诊断与排除	页
摇第六节摇稳定土拌和机液压系统故障诊断与排除	页
摇第七节摇沥青混凝土摊铺机液压系统的故障及排除	页
摇第八节摇井下铲运机液压系统故障的分析与排除	页
摇第九节摇平地机液压系统故障的分析与排除	页
参考文献	页

第一章 液 压 传 动 基 本 理 论

液压传动相对于机械传动来说,是一门新兴的技术。人类使用水力机械及液压技术虽然已有很长历史,但是液压技术在机械领域中得以应用并取得迅速发展则是 20 世纪、特别是第二次世界大战以来的事。由于液压传动具有许多突出的优点,因而目前已广泛地应用在工农业机械、机床、交通运输、陆地行走设备、船舶控制、火炮控制、飞机、导弹等各个方面。

本章的目的是搞清液压传动的工作原理,了解液压传动的主要优缺点及应用,初步掌握液压传动的两个工作特性。

第一节 液 压 传 动 的 基 本 概 念

一、液 压 传 动 的 工 作 原 理 及 工 作 特 性

(一) 工 作 原 理

对于不同的液压装置和设备,它们的液压传动系统虽然不同,但液压传动的基本工作原理是相同的。为了了解液压传动的基本工作原理,现以一简化了的机床液压系统为例加以说明,如图 1-1 所示。

图 1-1 为一磨床工作台液压系统工作原理图。图中 1 是油箱,2 是滤油器,3 是液压泵,4 是溢流阀,5 是开停阀,6 是节流阀,7 是换向阀,8 是液压缸(其缸筒固定在机床床身上,活塞杆 9 与工作台 10 相连),11 是油管。与机械传动相似,液压传动中的执行元件是在油压力的推动下按预定的要求动作的。对于图 1-1 中的执行元件——液压缸来说,它所要完成的动作要求是:直线运动、运动的变速、运动的换向和在任意位置的停留。下面就从这一液压系统是如何实现这三个动作的分析入手,得出液压传动的基本工作原理。

1. 液 压 缸 的 直 线 运 动

液压泵 3 由电机(图中未画出)带动旋转,从油箱 1 吸油。油液经滤油器 2 通过油管 11 进入液压泵后,被输送到油管 6 同时也输入旁路油管 12(该部分油路分析稍后),并开停阀 5 油管 7 节流阀 6 油管 8 换向阀 7 油管 8 进入液压缸 8 的左腔,作用于活塞 9 左侧的环形面积上。当油液对活塞向右的推力大于等于阻碍活塞向右移动的所有阻力之和时,活塞 9 活塞杆 9 以及和活塞杆相连的工作台 10 连同装夹在工作台上的工件 10 一起向右移动。这时,液压缸右腔的油液(刚开始时右腔可能没有油液,但经过一个往返运动后,右腔就有油液了)从液压缸的出口,经油管 11 换向阀 7 油管 11 排回油箱。这样就实现了液压缸(即工作台)的向右直线运动。

2. 液 压 缸 的 运 动 变 速

磨床在磨削工件时,根据加工要求的不同,工作台运动的速度必须可调。在图 1-1 中,工作台 10 运动速度的快慢是通过节流阀 6 来调节的,节流阀 6 像个自来水龙头,可以开大,

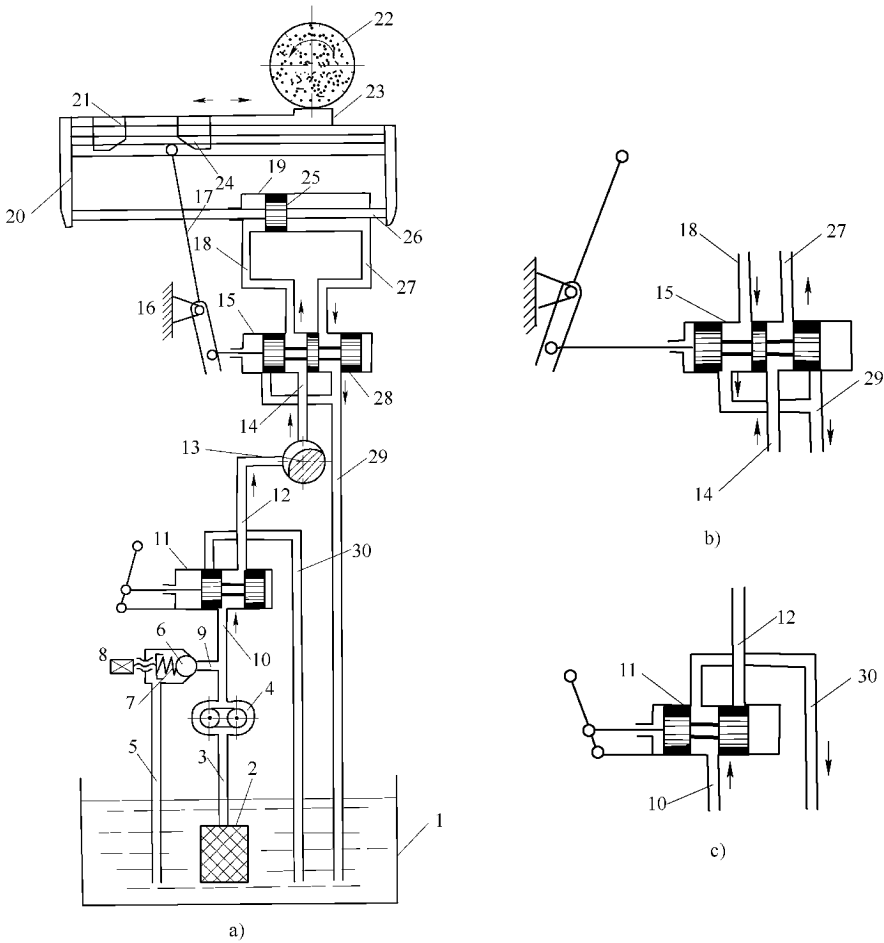


图 员 磨床工作台液压系统工作原理图(半结构图)

也可以关小。当它开大时,流入液压缸内的油液就增多,工作台运动速度就加快;关小时,工作台的速度就减慢。

液压缸的运动换向

为了进行连续磨削,工作台必须作往复(左右)运动(工件的横向进给由砂轮来完成)。在工作台的侧面上装有挡块和圆。当工作台向右运动到其左挡块碰到换向杆时,换向杆绕其支点顺时针方向转动,拨动换向阀阀芯,使之从图面上的位置移向左位,成为图 员 所示状态。这时,从油管 员 输来的油液经换向阀 员 缘后,经油管 员 进入液压缸的右腔,并作用于活塞 员 右边的环形面积上。当油液对活塞向左的推力大于等于阻碍活塞向左移动的所有阻力之和时,活塞、活塞杆及工作台便一起向左移动,同时液压缸左腔的油液从液压缸出口流出,经油管 员 换向阀 员 缘油管 员 排回油箱。此后,当工作台向左运动到其右挡块碰到换向杆时,又使杆 员 逆时针方向转动而使阀芯 员 移向右位,回复到图 员 的状态。如此循环往复,工作台不停地左右运动,磨削加工就可以持续地进行下去。

液压缸在任意位置上的停留

在工件装卸、尺寸检测或进行其他有关工作时,需要短期停止工作台的运动并能使其停留在任意位置上。这个动作可由开停阀 员 来完成(当然也可以由关闭节流阀 员 或关掉电机来圆

实现,不过前者不能卸荷,后者则由于频繁启闭电机而有损于电机寿命)。当拨动开停阀 5 的操纵手柄,使其阀芯处于阀体的左位,即如图 1-10 所示的状态时,液压泵输出的油液经油管 6 开停阀 5 油管 7 直接排回油箱,液压缸中无油液输入,工作台停止运动,停留在某个位置上。

当活塞在油液压力的作用下带动工作台一起运动时,阻碍活塞或工作台运动的阻力(包括导轨的摩擦力、砂轮 1 和工件 2 间的切削力等)越大,所需油液的压力也越大,反之亦然。调整油液压力使其与阻力(即外界负载)相适应是由溢流阀 4 来完成的。如前所述,由液压泵输出的油液除一部分经油管 6 输入液压缸外,另一部分则通过油管 3 进入溢流阀 4,当油液压力一旦超过阀 4 中弹簧 5 的调定压力时,钢球 2 便被顶开,油液进入阀 4 并经油管 3 排回油箱。这时油液压力与弹簧 5 的调定值相适应,不再升高,维持定值。当外界负载较大时,调整弹簧 5,使弹簧力增加,当钢球被顶开时,就得到了与较大负载相适应的较高的定值油压力,反之亦然。由此可见,溢流阀在这里起到了调节、控制油液压力的作用,以适应不同负载的要求。与此同时,溢流阀还起到了把液压泵输出的多余油液排回油箱的溢流作用。

液压系统中滤油器 3 的作用是滤去油液中的污物、杂质,保证油液的清洁,使系统正常工作。

由上述分析中,可以看出:

(1) 所谓液压传动就是以液体为介质,依靠运动着的液体的压力能来传递动力的(液压传动与液力传动不同,后者是依靠液体的动能来传递动力的,如水轮机、液力变矩器等,液力传动不是本课程的内容)。

(2) 液压系统工作时,液压泵把电机传来的回转式机械能转变成油液的压力能,油液被输送到液压缸(或液压马达)后,又由液压缸(或液压马达)把油液的压力能转变为直线式(或回转式)的机械能输出。

(3) 液压系统中的油液是在受调节、控制的状态下进行工作的,因此液压传动和液压控制在这个意义上来说是难以截然分开的。

(4) 液压系统必须满足其执行元件(如上例中的液压缸)在力和速度方面的要求。

(二) 液压传动的工作特性

液压系统工作时,外界负载越大(在有效承压面积一定的前提下),所需油液的压力也越大,反之亦然。因此,液压系统的油压力(简称系统的压力,下同)大小取决于外界负载。负载大,系统压力大;负载小,系统压力小;负载为零,系统压力为零。另外,活塞或工作台的运动速度(简称系统的速度,下同)取决于单位时间通过节流阀进入液压缸中油液的体积即流量。流量越大(在有效承压面积一定的前提下),系统的速度越快,反之亦然。流量为零,系统的速度亦为零。液压系统的压力和外界负载,速度和流量的这两个关系称做液压传动的两个工作特性。这两个特性很重要,随着课程的深入,要进一步加深对它的理解。

二、液压系统的组成

从上述例子可以看出,液压系统由以下四个主要部分组成:

(1) 能源装置。它是将电机输入的机械能转换为油液的压力能(压力和流量)输出的能量转换装置,一般最常见的形式是液压泵。

(2) 执行元件。它是将油液的压力能转换成直线式或回转式机械能输出的能量转换装置,在上例中,它是做直线运动的液压缸,在别的情况下,也可是做回转运动的液压马达。

(獾)调节控制元件。它是控制液压系统中油液的流量、压力和流动方向的装置,在上例中,就是控制液体流量的节流阀(流量阀)、控制液体压力的溢流阀(压力阀)及控制液流方向的换向阀、开停阀(方向阀)等液压元件的总称。这些元件是保证系统正常工作不可缺少的组成部分。

(源)辅助元件。是除上述三项以外的其他装置,如上例中的油箱、滤油器、油管、管接头等。这些元件对保证液压系统的可靠、稳定持久的工作,有重大作用。

以上源个组成部分将在下面各章节中分别介绍。

三、液压系统的图形符号

在图 1-10 所示的液压系统原理图中,各元件的图形基本上表示了该元件的内部结构原理,称此图为半结构式原理图,简称为半结图。这种图直观性强,容易理解,当液压系统发生故障时,根据此图检查也较方便,但图形较复杂,特别当系统中元件较多时,绘制更不方便。为简化液压原理图的绘制,我国制订了一套液压图形符号(GB 7927-87),将各液压元件都用相应的符号表示。这些符号只表示相应元件的职能、连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,并规定各符号所表示的都是相应元件的静止位置或零位置,称这种符号为职能符号。图 1-11 即为用职能符号绘制的上述磨床工作台的液压系统工作原理图(职能符号图)。图中符号所示,请参照图 1-10。由于这种图图面简洁,油路走向清楚,对系统的分析、设计都很方便,因此现在世界各国采用的较多(具体表示方法大同小异)。如果有些液压元件(如某些自行设计的非标准件)的职能无法用这些符号表示时,仍可以采用结构示意图。常用液压元件的职能符号在以后讲述到具体元件时还要提到。

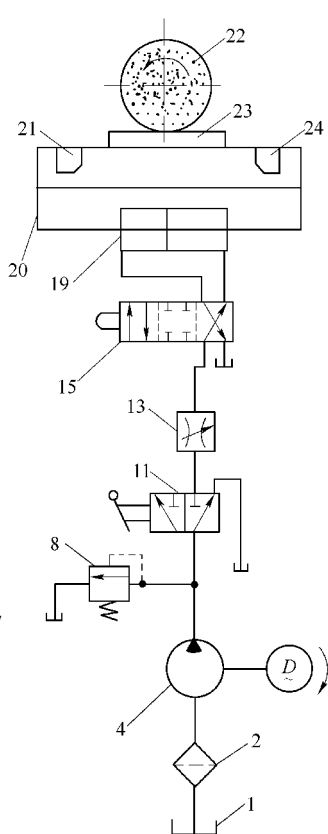


图 1-10 磨床工作台液压系统原理图(职能符号图)

四、液压传动的特点

液压传动由于有许多特点,才使得它被广泛地应用于各行各业之中。

液压传动相对于其他传动有以下一些主要优点:

(员)在同等体积下,液压装置能产生出更大的动力,也就是说,在同等功率下,液压装置的体积小、重量轻、结构紧凑,即:它具有大的功率密度或力密度,力密度在这里等于工作压力;

(圆)液压装置容易做到对速度的无级调节,而且调速范围大,并且对速度的调节还可以在工作过程中进行;

(獾)液压装置工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向;

(源)液压装置易于实现过载保护,能实现自润滑,使用寿命长;

(缘)液压装置易于实现自动化,可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制,并能很容易地和电气、电子控制或气动控制结合起来,实现复杂的运动、操作;

(远)液压元件易于实现系列化、标准化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

当然,液压传动还存在以下一些明显缺点:

- (员) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性,使它无法保证严格的传动比;
- (圆) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等)因此,传动效率相对低;
- (獭) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在较高或较低的温度下工作;
- (源) 液压传动在出现故障时不易找出原因。

五、液压传动的应用

液压传动主要应用如下:

- (员) 一般工业用液压系统:塑料加工机械(注塑机)、压力机械(锻压机)、重型机械(废钢压块机)、机床(全自动六角车床、平面磨床)等;
- (圆) 行走机械用液压系统:工程机械(挖掘机)、起重机械(汽车吊)、建筑机械(打桩机)、农业机械(联合收割机)、汽车(转向器、减振器)等;
- (獭) 钢铁工业用液压系统:冶金机械(轧辊调整装置)、提升装置(电极升降机等);
- (源) 土木工程用液压系统:防洪闸门及堤坝装置(浪潮防护挡板)、河床升降装置、桥梁操纵机构和矿山机械(凿岩机)等;
- (缘) 发电厂用液压系统:涡轮机(调速装置)、核发电厂等;
- (远) 特殊技术用液压系统:巨型天线控制装置、测量浮标、飞机起落架的收放装置及方向舵控制装置、升降旋转舞台等;
- (苑) 船舶用液压系统:甲板起重机械(绞车)、船头门、舱壁阀、船尾推进器等;
- (愿) 军事工业用液压系统:火炮操纵装置、舰船减摇装置、飞行器仿真装置等。

上述的概略说明不包括所有应用的可能性。用液压系统传递动力、运动和控制的范围相当广泛,它在当今的各个领域中都占有一席之地。目前,液压传动技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化等方面都取得了很大的进展。同时,由于它与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以准确地控制,从而更使得它在各行各业中发挥出了巨大作用。

第二节 液压传动的工作液体

工程机械液压系统所采用的工作介质往往为石油型液压油。液压油除了作为能量传递的工作介质外,还兼有润滑和冷却的作用。

一、工作液体的物理性质

(一) 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,用符号 ρ 表示。如果体积为 V 的液体,它的质量为 m ,那么

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

密度的单位是 kg/m^3 。我国采用 20°C 时的密度为液压油的标准密度,以 ρ_{20} 表示。工程机械常用液压油密度为 $\rho_{20} \approx 900 \text{ kg/m}^3$ 左右,在实用中可认为密度不受温度和压力的影响。

(二) 压缩性

液体的体积随压强的增大而减小,这种性质叫做压缩性。压力为 p 、体积为 V_0 的液体,

如压力增大 Δp , 体积减小 ΔV , 则此液体的可压缩性可用体积压缩系数 β , 即单压力变化下的体积相对变化量来表示。

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta p} \quad (1.10)$$

由于压力增大时体积减小, 因此式(1.10)右边需加一负号, 以使 β 成为正值。

液体压缩系数的倒数称为体积弹性模量 K , 即 $K = \frac{1}{\beta}$ 。体积弹性模量表示液体抵抗压缩的能力。体积弹性模量越大, 液体抵抗压缩的能力越强。一般石油型液压油的 K 值, 平均约为 $(1.5 \sim 2) \times 10^9 \text{ Pa}$ 。但实际应用中, 液体内不可避免地会混入气泡等原因, 使 K 值显著减小, 因此一般选取 $K = (0.7 \sim 1) \times 10^9 \text{ Pa}$ 。

油液的压缩性是很小的, 在工程机械液压传动中一般可以不计。

(三) 粘性

如图 1.11 所示, 两平面间充满液体, 设下平面固定不动, 而上平面以速度 U 运动。由于液体附着力的作用, 贴近于两平面的液体必粘附于平面上。紧贴在上平面的液体质点必以与上平面相同的速度 U 运动, 紧贴在下平面的液体质点的运动速度为零。由于液体内部内聚力的作用, 平面间流体的运动速度各不相同, 接近上平面的液层流速必大于接近于下平面液层的流速。运动速度较快的液层可以带动运动速度较慢的液层, 反之运动速度较慢的液层则又阻滞运动速度较快的液层, 任意两液层的接触面上将产生一对等值反向的力, 这一对力称为内摩擦力或切力。液体流动时产生内摩擦力的性质叫液体的粘性。

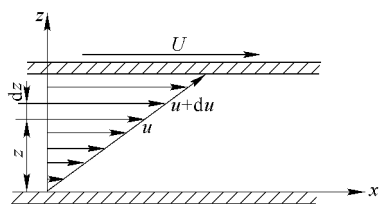


图 1.11 粘性的作用

经过大量的实验和理论研究, 1702 年牛顿首先揭示了液体的内摩擦规律: 液层间的内摩擦力 F 的大小与接触面积 A 和流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比, 与液体的性质有关而与压力无关, 即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1.11)$$

以面积 A 除上式的两端得单位面积上的内摩擦力, 即切应力 τ 为

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.12)$$

式中: μ ——比例系数, 称为动力粘度。

由上可知, 液体的动力粘度是指它在单位速度梯度下流动时的切应力。动力粘度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

液体的粘性是液压传动系统选择油液的重要指标之一, 粘性的大小用粘度度量。除了动力粘度之外, 工程上还经常采用运动粘度和相对粘度。

液体动力粘度与其密度的比值, 称为液体的运动粘度 ν , 即 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 。运动粘度的单位为 m^2/s 。运动粘度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遇到动力粘度 μ 与密度的比值, 因而才采用运动粘度来代替 μ , 它之所以被称为运动粘度, 是因为在它的单位中只有运动学因次的缘故。习惯上常用它标志液体粘度。

由于动力粘度和运动粘度难于直接测量, 因此工程实践中, 总是先用简便的方法测定液体的相对粘度, 然后再根据关系式换算出运动粘度或动力粘度。相对粘度是按一定条件制定的。我国、俄罗斯和德国采用恩氏粘度 E , 美国用赛氏粘度 S , 英国用雷氏粘度 R 等等。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定, 将温度为 t_1 的被测液体装入粘度计的容器内, 使其由下部直径为 d 的小孔流出, 测出液体流尽所需时间 T_1 ; 再测出温度为 t_2 的

的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需的时间 t_1 。这两个时间的比值即为被测液体在 t_2 下的恩氏粘度 E 。

由以上可知恩氏粘度是一个无量纲量。

恩氏粘度与运动粘度的换算关系式为

$$\nu = \frac{E}{0.0737} \quad (1)$$

$$\nu = \frac{E}{0.0737} \quad (2)$$

运动粘度 ν 的单位为 m^2/s

液体的粘度随压力的增大而增大。但在一般液压系统的使用压力范围内，增大的数值很小，一般不计。

液体的粘度对温度的变化十分敏感，温度升高，粘度下降。粘度的变化影响液压系统的性能，其重要性不亚于粘度本身。

二、对工作液体的基本要求

为了更好地传递力和运动，工程机械使用的液压油应具备如下性能：

(1) 合适的粘度和良好的粘温特性 粘度过高，各部件的运动阻力增加，温升快，泵的自吸能力下降，同时管道压损增大。反之粘度过低，液压系统容积损失增大，泵内油膜支承能力下降，导致摩擦体间干摩擦。工程机械常用油液的粘度为 $\nu = 16 \sim 68 \text{ mm}^2/\text{s}$

液体的粘度随温度变化的特性叫粘温特性。粘温特性好是指粘度随温度的变化要小，常用粘度指数评价。通常液压油的粘度指数大于 90

(2) 润滑性能好 在油温、油压的变化范围内应保证摩擦面间的润滑性能。

(3) 对密封材料的相容性 在工作介质对密封的影响会使得密封溶胀软化和使其硬化，结果都会使密封失效，所以要求工作介质与系统内密封材料的相容性好。

(4) 对氧化、乳化和剪切都有良好的稳定性 温度低于 50°C 时，油液的氧化速度缓慢，之后温度每增加 10°C ，氧化程度增加一倍，所以控制液压油液的温度特别重要。

(5) 抗泡沫性好，腐蚀性小，防锈性好。

(6) 清洁度高。

三、工作液体的种类及主要性能

液压系统的工作液体有三大类型：石油型、乳化型和合成型。本节介绍工程机械液压系统通常采用的石油型工作介质。

石油型液压系统工作介质分为：普通液压油、液压一导轨油、抗磨液压油、低温液压油、高粘度指数液压油、机械油、汽轮机油和其他专用液压油。工程机械液压系统常用液压油为抗磨液压油、低温液压油、高粘度指数液压油和机械油。

抗磨液压油

抗磨液压油的配置较复杂，除加的防锈、抗氧化剂外，还添加抗磨剂、金属钝化剂、破乳化剂和抗泡沫添加剂等。从抗磨剂的组成来看，抗磨液压油分为两种；一种是以二烷基二硫代磷酸锌为主剂的含锌油；一种是不含金属盐（简称无灰型）的油。含锌抗磨液压油，对钢—钢摩擦副（如叶片泵）来说抗磨性特别突出，而对含有银和铜的部件有腐蚀作用。无灰抗磨液压油对银和铜部件不会产生腐蚀且在水解安定性、破乳化及氧化安定性方面好于含锌抗磨液压油。

抗磨液压油适用于高压系统,以及户外温度不高于 100℃ 的场合。

低温液压油和高粘度指数液压油

这是两种不同档次的低温液压油。前者用于寒区(-10℃) ,后者用于严寒区(-30℃)。

机械油

主要适用于低负荷机械部件的润滑。可作液压系统的代用油,适用于环境温度为 0~40℃ ,工作压力低于 25MPa 的液压传动系统。

四、工作液体的选择

工作液体的选择应考虑下述问题:

(1) 液压系统所处的环境。如液压设备在室内还是室外作业,气温如何,有无高温热源和明火等。

(2) 液压系统的工作条件。如液压泵的类型、工作压力、温度;液压元件使用的金属、密封件的性质。

(3) 液压油的性质。

(4) 经济性。

由于液压泵对油的粘度和粘温特性是最敏感的元件之一,所以应尽可能满足液压泵对油品的要求。适于各种液压泵的油列于表 1-10。

液压泵粘度范围及用油表

表 1-10

名称	粘度范围(槽油)		工作压力 (MPa)	工作温度 (℃)	推荐用油
	允许	最佳			
叶片泵 变量柱塞泵	15~40	15~30	7	10~20	HM, HM-L 机械油
				20~30	HM, HM-L 机械油
叶片泵 变量柱塞泵	10~30	10~20	10以上	10~20	HM-L 机械油, HM-L 液压油
				20~30	HM-L 机械油, HM-L 液压油
齿轮泵	10~30	10~20	10以下	10~20	HM-L 机械油, HM-L 液压油
				20~30	HM-L 机械油, HM-L 液压油
			10~20	HM-L 机械油, HM-L 液压油	
径向柱塞泵	10~20	10~20	10~15	10~20	HM-L 机械油, HM-L 抗磨液压油
				20~30	HM-L 机械油, HM-L 抗磨液压油
径向柱塞泵	10~20	10~20	15以上	10~20	HM-L 机械油, HM-L 抗磨液压油
				20~30	HM-L 机械油, HM-L 抗磨液压油

第三节 液压传动的基本参数

液压传动的基本参数是压力、流量和功率。

一、液体的压力

液体在单位面积上所承受的法向作用力,通称为压力,而在物理学中称为压强。设液体在

面积 S 上所受的力 F 为 $F = pS$ ，则液体的压力 p 为

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

在国际单位制中，压力的单位是帕斯卡，简称为帕（ Pa ），也用 $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ （牛顿/米²）表示。由于帕（ Pa ）单位太小，在工程中使用很不方便，因此常采用它的倍数单位：千帕（ kPa ）或兆帕（ MPa ）。

（ $1\text{kPa} = 1000\text{Pa}$ ， $1\text{MPa} = 1000000\text{Pa}$ ）

二、流 量

单位时间内，流过管道的液体的体积称为液体的流量。若在时间 t 内，流过管道的液体体积为 V ，则流量 Q 为

$$Q = \frac{V}{t}$$

液压系统中，工程制流量常以 $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ （升/秒）为单位，常用 $\frac{\text{L}}{\text{min}}$ （升/分）表示。

液体在单位时间内流过的距离叫液体的流速。若液体通过管道的流量为 Q ，管道截面积为 S ，则液体的流速 v 为

$$v = \frac{Q}{S}$$

流量的单位常用 $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ 。若流量的单位用 $\frac{\text{L}}{\text{min}}$ ，管道截面积单位为 cm^2 ，则

$$v = \frac{Q}{S} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{60}{1000} \cdot 1000$$

液压系统的流量大小直接影响到工作机构（如液压缸活塞杆）的运动速度。

三、功 和 功 率

在物理学中已知，若一个物体在力 F 的作用下，沿力 F 的方向移动了距离 s ，则力 F 对这个物体做的功 W 为

$$W = Fs$$

单位时间内做的功叫功率 P ，所以

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv$$

式中： v ——物体移动的速度。

下面以一个简单的油缸和活塞的例子来说明。参见图 1-1。

具有流量 Q 和压力 p 的压力油从左端进入油缸，在时间 t 内，向油缸提供了体积为 V 的油，则 $V = Qt$ 。这时面积为 S 的活塞将受到一个向右的力 $F = pS$ ，以克服外载荷 R ，而移动了距离 s 并获得速度 v 。从上述的压力概念可知，压力 p 与活塞上受力 F 之间的关系为

$$F = pS$$

压力油对活塞所做的功 W 为

$$W = Fs = pSs$$

由于 $v = \frac{s}{t}$ ，所以

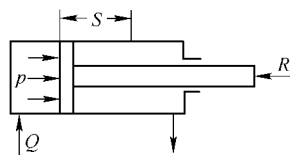


图 1-1 压力油对活塞做功

宰越 越越 越越

摇摇由此可知 液压油由于具有压力 所以它能够做功 即它具有能量 在数值上具有的压力能为 越越

液压油做功的功率 孕为

$$\text{孕越} \frac{\text{宰}}{\text{越}} \text{越越}$$

摇摇若压力以 越越代入 流量以 越越代入 则液压功率可用下式计算

$$\text{孕越} \frac{\text{孕}}{\text{越}} \text{越越}$$

摇摇在液压传动中 作用力是由油的压力产生的 速度是由压力油的流量提供的 而液压功是靠压力和流量共同传递的。

第四节 摇液体流动的基本规律

液压系统中的压力油在不断流动 流动着的液体在液压系统的不同位置上的流动状态不同 表达液体流动状态的参数 如流速、压力、能量、动量等在不断变化。然而 各参数的变化以及它们之间的关系都有一定的规律。本节将研究这些规律 以进一步认识整个液压系统 解决液压技术中的问题。

一、流动液体的连续性原理

在管道中任意取两个垂直于管道的截面 越和 越(图 越越) 其截面积分别为 越和 越 如以 越和 越分别表示两截面处的流速 则在单位时间内流过截面 越的液体体积为 越越 流过截面 越的液体体积为 越越。对于不可压缩的液体来说 截面 越越之间液体的体积是不变的 所以单位时间内通过截面 越流出这一区域的液体体积 越越 应该等于通过截面 越流入这一区域的液体体积 越越 即

$$\text{越越} \text{越越} \text{越越}$$

摇摇此式说明 在同一管道中 对于不可压缩的液体来说 液体的流速和管道的横截面积的乘积是一个恒量(等于流量 越) 这一结论就是液体的连续性原理 上式叫液流的连续性方程。

将上式改写为

$$\frac{\text{越}}{\text{越}} \text{越越}$$

摇摇此式表明 液体在管道中的流速与其横截面的大小成反比。

二、流动液体的能量守恒定律

在液压系统中是利用具有压力的流动液体来传递能量的。现在就对液体在管道内流动时所具有的能量形式及其变化规律进行分析。

图 越越为液体流经管子的情况。在管子断面 越处流速为 越 压力为 越 断面中心到地面的距离为 在。

在管子断面 越处 流速为 越 压力为 越 断面中心距地面高度为 在。

如果在断面 越处取出一块重力为 皂早油液(皂——油的质量 早——重力加速度) 则这部分 越

油液具有的能量分别为：

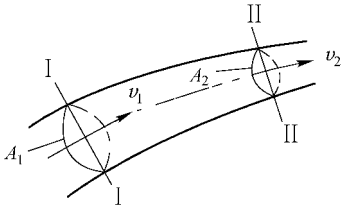


图 1 液体流连续性原理图

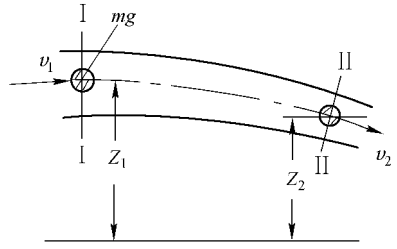


图 2 液体能量平衡图

位能。由于距地面有一定高度，故有位能。因此，单位重量的油，其位能为 Z 。越在左，越在右。

动能。质量为 m 的油液具有的动能为 $\frac{mv^2}{2}$ ，所以单位重量的动能为 $\frac{v^2}{2g}$ 。越在左，越在右。

压力能。由于油液具有压力，故它具有压力能。前已说明，当压力为 p ，流量为 Q 时的压力能为 pQ 。

又因为流量为 Q 的油液在 t 时间内其重量为 $Qt\gamma$ (γ 为油的重度)，因此，单位重量油液的压力能为 $\frac{p}{\gamma}$ 。

$$\frac{p}{\gamma}$$

在断面 I 处，单位重量油液具有的总能量为 $Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma}$ 。

同样的这块单位重量的油液，流到断面 II 时，如果没有能量损失，那么断面 II 处单位重量油液的总能量为 $Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$ 。

根据能量守恒定律，油液流经断面 I 时的总能量是相等的，即

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} = \text{常数}$$

此等式叫伯努利方程。其物理意义是：在密封的管道内流动的液体在任意断面上具有三种形式的能量，即位能、动能和压力能，这三种能量的总和是一定的，但它们之间可以互相转化。

在液压传动中，由于油液的高度所产生的位能与压力能相比很小，故通常可以略掉，于是伯努利方程变为下式

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$$

在实际的液压传动装置中，由于液体具有粘性，因此液体在流动时为克服内摩擦阻力必然要损失一部分能量。因此，单位重量的油液自断面 I 流到断面 II 时，能量损失为 h_f 。根据能量守恒定律，则有

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_f$$

摇摇液压传动主要是依靠液体的压力能传递动力,所以液流的压力能远大于其具有的动能,但液力传动则主要依靠液体的动能传递动力,因而其动能远大于压力能。

对液压传动,动能 $\frac{\rho v^2}{2}$ 可以忽略,则上式变为

$$\rho v_1^2 = \rho v_2^2 + \Delta p$$

摇摇式中 Δp 称为压力损失,这个损失越小,传动效率也就越高。

三、流动液体的动量定理

从物理学中已知,有一质量为 m 的物体,如受到一个外力 F 的作用,在一段时间 Δt 内,物体的速度由 v_1 变为 v_2 ,则物体运动的加速度 a 为

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

摇摇根据牛顿第二定律

$$F = ma = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{mv_2 - mv_1}{\Delta t}$$

摇摇在上式中,物体的质量 m 与速度 v 的乘积 mv 称为该物体的动量。动量是一个矢量,它的方向与速度 v 的方向相同。由上可知,质点的动量对时间的改变率等于作用于该质点的力,这就是动量定理,这是牛顿第二定理的另一种陈述形式。

假定一股流量为 Q 的液流,则在时间 Δt 内流过某截面液体的体积为 $Q \Delta t$,而流过液体的质量 m 为

$$m = \rho Q \Delta t$$

摇摇所以

$$F = \rho Q (v_2 - v_1)$$

摇摇这就是流通液体的动量方程。利用这个方程可以很容易地求出流动着的液体与固体之间的作用力。

下面研究几个例题说明液流动量方程的应用。

例一:图 1-10 为换向阀的局部结构,阀体上有两个通道,阀芯可在阀体内左右移动,以关闭或接通阀体的两个通道。求液流通过换向阀时对阀芯的轴向作用力 F_x 。

取阀芯凸肩之间的液体为研究对象,液流的初速度 v_1 在轴向的分量为 $v_1 \cos \alpha$,液流末速度 v_2 在轴向的分量为 $v_2 \cos \beta$,因而这部分液体在轴向受到阀芯的作用力 F_x 为

$$F_x = \rho Q (v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha)$$

摇摇而阀芯受到液流的作用力 F_x' 为

$$F_x' = -F_x = \rho Q (v_1 \cos \alpha - v_2 \cos \beta)$$

摇摇力 F_x' 的方向与液流初速度 v_1 在轴向投影的方向相同,即向右。此力也称为液动力,液动力企图关闭阀口。

例二:一股流量为 Q 射流射到一个可转动的叶片上(图 1-11),求液流给叶片的作用力 F_x 。液流在 x 方向受到叶片的作用力 F_x 为

$$F_x = \rho Q (v_1 \cos \alpha - v_2 \cos \beta)$$

摇摇液流在 x 方向对叶片的作用力 F_x' 为

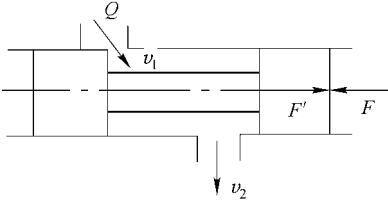


图 员 摇滑阀内的液动力

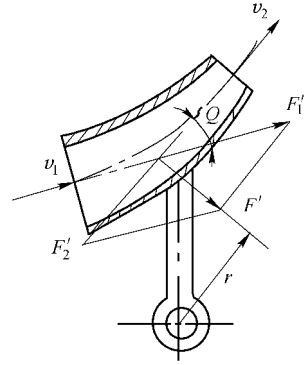


图 员 摇液流对叶片的作用力

摇摇液流在 增方向受到叶片的作用力 云匝为

$$云匝越\rho匝(增原增)$$

摇摇液流在 增方向对叶片的作用力 云乙为

$$云乙越原云 越原\rho匝(增原增)$$

摇摇将 云乙与 云匝合成 则可以求出液流对叶片的总作用力 云乙这个力将使叶片产生转动的转矩 酝,其大小为

$$酝越云乙$$

摇摇本小节所讲到的液流的动量原理也是今后学习液力传动的基本理论基础。

第五节 摇压力损失

液压传动中,通常用许多油管将各元件连接起来。当液压油流过时,由于液体具有粘性,所以就会因克服内摩擦力而产生能量损失。另外,液体在流经管接头或过流断面大小发生突然变化时,也要产生能量损失。这些损失主要表现为压力损失。压力损失又可分为沿程压力损失和局部压力损失。损失的大小与液体在管路内的流动状态有关。

一、液体的流动状态

由实验得知,由于液流速度 增管子直径 匝以及油的粘度不同,油在管中流动会出现“层流”与“紊流”两种不同状态。

层流是指液体在流动时呈不混杂的线状或层状流动。此时液体中各质点是平行管道轴线运动的,流速较低,受粘性的制约不能随意运动,粘性力起主导作用。紊流是指液体作混杂紊乱状态的流动,此时液体质点除了作平行管道的轴线运动外,还具有横向的运动,流速较高时,粘性的制约减弱,因而惯性力起主导作用。

液体的流动是层流还是紊流,需根据雷诺数来判别。雷诺数用 匝藻表示,即

$$匝藻越\frac{\rho v d}{\mu}$$

式中： v ——液流速度， m/s ；

d ——油管内径， m ；

μ ——运动粘度， $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

液流的雷诺数相同，其流动状态就相同。

经大量实验，在工程上常用一个临界雷诺数 Re_{cr} 来判别液流的状态是层流还是紊流。

当雷诺数 $Re < Re_{cr}$ 时为层流， $Re > Re_{cr}$ 时则为紊流。

对光滑金属圆管 $Re_{cr} \approx 2300$ ，圆橡胶软管 $Re_{cr} \approx 1000$ 。

对于层流，油流阻力仅由粘性产生。对于紊流，由于油分子混杂运动的结果，使油内摩擦力加大，油流阻力也增加。

二、沿程压力损失

液流在直管中的压力损失为沿程压力损失，它是由液体流动时的内摩擦阻力所引起的，主要决定于管道的长度、管子的内径、流速和粘度等。液流的流动状态不同，流经直管时的压力损失也不相同，可用下列半径经验公式确定

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{d} \rho \frac{v^2}{2}$$

式中： λ ——沿程损失系数；

v ——液体的平均流速；

ρ ——液体的密度；

L ——管子的长度；

d ——管子的直径。

沿程损失系数 λ 的数值与液体流动状态有关，可参考液压传动设计手册。

三、局部压力损失

当液流经过弯头、阀门或管子断面突然变化等场合时，液流速度大小和方向要发生急剧的变化，结果在这些区域造成涡流。液体质点在这涡流区域内相互碰撞和摩擦，从而消耗能量，造成局部压力损失。

局部压力损失可由下式确定

$$\Delta P = \xi \rho \frac{v^2}{2}$$

式中： ξ ——局部损失系数，具体数据可查阅有关液压传动设计手册。

管路的液压损失，导致功率浪费和油液的发热，使泄漏增加，传动效率降低，影响液压系统的工作性能，所以要尽量减少管路的液压损失。为了减少损失，应尽量缩短管道长度，采用较小流速，力求管道内壁光滑，采用粘度适当的油，尽量减少管道截面的变化等等。当然，采取每一项措施都可能带来其他一些问题，例如，降低流速，会导致油管尺寸加大，成本增高等。在对机械的使用维修中也要竭力避免人为地增加系统阻力的任何做法。

第六节 薄壁节流孔和阻尼节流孔

拆开液压元件，经常会遇见一些小孔，这些小孔基本有两种形态：薄壁节流小孔和细长的孔。