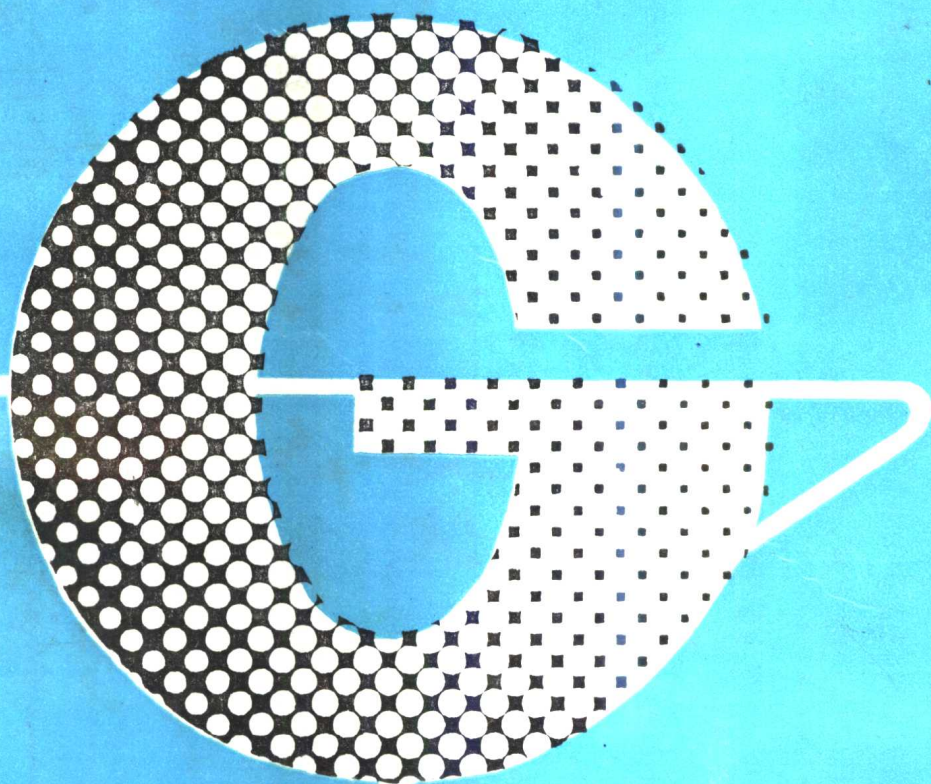


高等专科学校试用教材

液压传动



湘潭机电专科学校
扬州工学院

丁树模
姚如一

主编

机械工业出版社

高等专科学校试用教材

液 压 传 动

湘潭机电专科学校 丁树模
扬州工学院 姚如一 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书主要包括液压传动基础理论知识、液压元件的结构原理、常用液压回路、典型液压系统、伺服系统及液压传动系统设计计算等。全书着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性。此外,本书还在较大程度上反映了我国液压技术新的发展和进步。

本书为高等专科学校机械制造类专业教材,也适用于各类成人高校有关专业,并可供工程技术人员参考。

液 压 传 动

湘潭机电专科学校 丁树模 主编
扬州工学院 姚如一

责任编辑:林 松 责任校对:张 佳
封面设计:刘 代 版式设计:王 颖
责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)
机械工业出版社京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $10^{3/4}$ · 字数262千字
1992年5月北京第1版·1993年4月北京第2次印刷
印数 15 501—28 500 · 定价:3.25元

ISBN 7-111-03078-8/TH·336(课)

前 言

本书为全国高等专科学校机械制造专业教材,是根据高等专科学校机制专业教材编审委员会审定的《液压传动》教学大纲组织编写的。全书共分十章,主要包括液压传动基础理论知识、液压元件的结构原理、常用液压回路、典型液压系统、伺服系统及液压传动系统设计计算等。

本教材除适用于普通高等学校工程专科机械制造类专业外,也适用于各类成人高校有关专业,并可供工程技术人员参考。

本书的编写力求贯彻少而精和理论联系实际的原则,着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性,在体现专科教育特色方面做了很多努力。此外,本书在较大程度上反映了我国液压技术新的发展与进步,这也是本书的另一显著特点。当前,我国机械工业已将液压元件的生产实行A、B、C三类分级管理,其中C类产品多是我国早期开发的产品(如中低压阀等),国家主管部门已宣布对其实行分期分批淘汰。本书的编写着眼于A、B类产品,这与过去其它液压教材按C类产品讲述是有显著不同的。

本书由丁树模、姚如一主编。参加编写的人员有湘潭机电专科学校丁树模(第一、二、三章)、常州工业技术学院周堃敏(第四、九章)、扬州工学院姚如一(第五、六、七章)、长春大学来晓光(第八、十章)。

南京机械专科学校俞启荣为本书主审。书稿曾于1990年4月和11月先后在无锡、扬州两次召开审稿会进行集体审阅和修改,参加审稿会的同志除主审外,还有杭州高等专科学校杨叶清、郑州机械专科学校王明初、江南大学冯国雄、西安航空工业专科学校王立、洛阳建材专科学校门书春、邵阳工业专科学校李相容、湖南纺织专科学校辛才根、上海纺织工业专科学校杨培元、淮阳工业专科学校王兴渤、湖南建材专科学校万贤杞、哈尔滨机电专科学校迟刚锐等。

本书在编写过程中,曾得到浙江大学林建亚老师的热情指导,国家机械工业液压技术研究中心宋学义、双静娴同志对书稿的撰写给予了大力支持,并提出了许多有益的建议,广州机床研究所黄启泉、上海立新液压件厂刘渭民和苏州液压件厂刘沛林等同志亦给予很多帮助,湘潭机电专科学校严伟元、南京机械专科学校左健民曾对书稿的修改提出了不少宝贵意见,我们在此一并表示感谢。

由于编写水平所限,书中难免有不少缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编者

1991年5月

EA187/66

目 录

第一章 概论..... 1	第三节 油箱.....97
第一节 液压传动的工作原理..... 1	第四节 管件.....99
第二节 液压传动系统的组成及图形符号..... 1	习题..... 101
第三节 液压传动的优缺点及应用..... 3	第七章 液压回路..... 102
思考题..... 4	第一节 方向控制回路..... 102
第二章 液压流体力学基础..... 5	第二节 压力控制回路..... 103
第一节 液压油..... 5	第三节 速度控制回路..... 107
第二节 液体静力学.....11	第四节 多缸工作控制回路..... 117
第三节 液体动力学基础.....14	思考题和习题..... 121
第四节 液体流动时的压力损失.....20	第八章 典型液压传动系统..... 124
第五节 小孔和缝隙流量.....24	第一节 组合机床动力滑台液压系统..... 124
第六节 液压冲击和气穴现象.....28	第二节 外圆磨床液压系统..... 126
思考题和习题.....30	第三节 液压机液压系统..... 131
第三章 液压泵和液压马达.....34	第四节 Q2-8型汽车起重机液压系统..... 133
第一节 液压泵概述.....34	第五节 SZ-100/80型塑料注射成型机液压系统..... 135
第二节 齿轮泵.....36	思考题和习题..... 139
第三节 叶片泵.....39	第九章 液压传动系统的设计与计算..... 141
第四节 柱塞泵.....44	第一节 设计要求与运动、负载分析..... 141
第五节 螺杆泵.....48	第二节 执行元件主要参数的确定..... 143
第六节 各类液压泵的性能比较及应用.....48	第三节 液压系统原理图的拟订..... 146
第七节 液压马达.....49	第四节 液压元件的计算和选择..... 146
思考题和习题.....52	第五节 液压系统技术性能的验算..... 149
第四章 液压缸.....53	第六节 绘制正式工作图和编制技术文件..... 150
第一节 液压缸的分类和特点.....53	第七节 液压系统设计计算举例..... 151
第二节 液压缸的结构.....57	思考题和习题..... 155
第三节 液压缸的设计与计算.....62	第十章 液压伺服系统..... 156
思考题和习题.....64	第一节 概述..... 156
第五章 液压控制阀.....65	第二节 典型的液压伺服控制元件..... 157
第一节 概述.....65	第三节 电液伺服阀..... 159
第二节 方向控制阀.....66	第四节 液压伺服系统实例..... 160
第三节 压力控制阀.....73	思考题..... 162
第四节 流量控制阀.....82	附录 常用液压系统图形符号
第五节 比例阀、二通插装阀和数字阀.....84	(摘自GB786—76)..... 163
思考题和习题.....88	参考文献..... 168
第六章 液压辅助元件.....91	
第一节 蓄能器.....91	
第二节 滤油器.....93	

第一章 概 论

用液体作为工作介质来实现能量传递的传动方式称为液体传动。液体传动按其工作原理的不同分为两类。主要以液体动能进行工作的称为液力传动(如离心泵、液力变矩器等);主要以液体压力能进行工作的称为液压传动。后者是本书所要讨论的内容。

第一节 液压传动的工作原理

图1-1为液压千斤顶的原理示意图,我们可以用它为例来说明液压传动的工作原理。图中大小两个液压缸6和3的内部分别装有活塞7和2,活塞和缸体之间保持一种良好的配合关系,不仅活塞能在缸内滑动,而且配合面之间又能实现可靠的密封。当用手向上提起杠杆1时,小活塞2就被带动上升,于是小缸3的下腔密封容积增大,腔内压力下降,形成部分真空,这时钢球5将所在的通路关闭,油池10中的油液就在大气压力的作用下推开钢球4沿吸油孔道进入小缸的下腔,完成一次吸油动作。接着,压下杠杆1,小活塞下移,小缸下腔的密封容积减小,腔内压力升高,这时钢球4自动关闭了油液流回油池的通路,小缸下腔的压力油就推开钢球5挤入大缸6的下腔,推动大活塞将重物8向上顶起一段距离。如此反复地提压杠杆1,就可以使重物(重力为 G)不断升起,达到起重的目的。

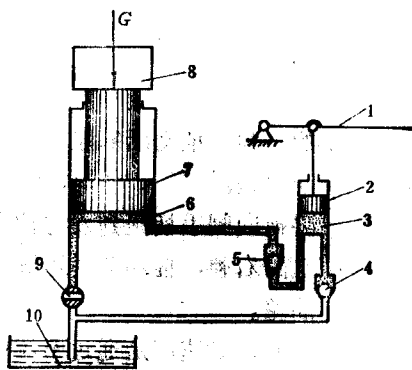


图1-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆 2—小活塞 3、6—液压缸
4、5—钢球 7—大活塞 8—重物
9—放油阀 10—油池

若将放油阀9旋转90°,则在物体8的自重作用下,大缸中的油液流回油池,活塞下降到原位。

从此例可以看出,液压千斤顶是一个简单的液压传动装置。分析液压千斤顶的工作过程,可知液压传动是依靠液体在密封容积变化中的压力能实现运动和动力传递的。液压传动装置本质上是一种能量转换装置,它先将机械能转换为便于输送的液压能,后又将液压能转换为机械能做功。

第二节 液压传动系统的组成及图形符号

图1-2表示一台简化了的机床工作台液压传动系统。我们可以通过它进一步了解一般液压传动系统所应具备的基本性能和组成情况。

在图1-2a中,液压泵3由电动机(图中未示出)带动旋转从油箱1中吸油。油液经滤油器2过滤后流往液压泵,经泵向系统输送。来自液压泵的压力油流经节流阀5和换向阀6进入

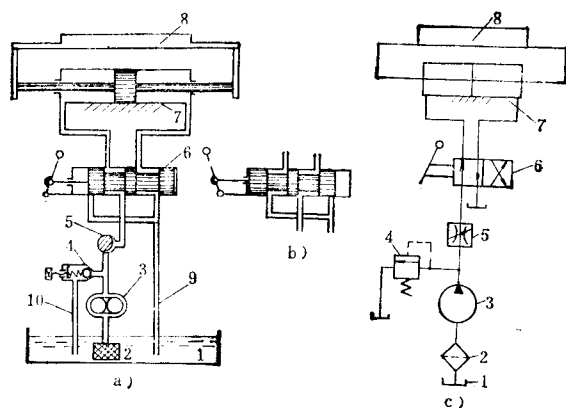


图1-2 机床工作台液压传动系统

1—油箱 2—滤油器 3—液压泵 4—溢流阀 5—节流阀 6—换向阀 7—液压缸 8—工作台

液压缸7的左腔，推动活塞连同工作台8向右移动。这时，液压缸右腔的油通过换向阀经回油管9排回油箱。

如果将换向阀手柄搬到左边位置，使换向阀处于图1-2b所示的状态，则压力油经换向阀进入液压缸的右腔，推动活塞连同工作台向左移动。这时，液压缸左腔的油亦经换向阀和回油管排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开口较大时，进入液压缸的流量较大，工作台的移动速度也较快；反之，当节流阀开口较小时，工作台移动速度则较慢。

工作台移动时必须克服阻力，例如克服切削力和相对运动表面的摩擦力等。为适应克服不同大小阻力的需要，泵输出油液的压力应当能够调整；另外，当工作台低速移动时，节流阀开口较小，泵出口多余的油亦需排回油箱。这些功能是由溢流阀4来实现的，调节溢流阀弹簧的预压力就能调整泵出口的液压油压力，并让多余的油在相应压力下打开溢流阀口经回油管10流回油箱。

从上述例子可以看出，液压传动系统由以下五个部分组成：

(1) 动力元件 动力元件即液压泵，它是将原动机输入的机械能转换为液压能的装置，其作用是为液压系统提供压力油，是系统的动力源。

(2) 执行元件 执行元件是指液压缸或液压马达，它是将液压能转换为机械能的装置，其作用是在压力油的推动下输出力和速度(或力矩和转速)，以驱动工作部件。

(3) 控制调节元件 它们包括各种阀类元件，如上例中的溢流阀、节流阀、换向阀等。这类元件的作用是用以控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向，以保证执行元件完成预期的工作运动。

(4) 辅助元件 辅助元件如油箱、油管、滤油器等，它们的作用是设置必要的条件以保证液压系统正常地工作。

(5) 工作介质 工作介质即传动液体，通常称液压油。液压系统就是通过工作介质实现运动和动力传递的。

在图1-2a中,组成液压系统的各个元件是用半结构式图形画出来的,这种图形直观性强,较易理解,但难于绘制,系统中元件数量多时更是如此。在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都用简单的图形符号来绘制液压系统原理图。对于图1-2a所示的液压系统,若用国家标准GB786-76规定的液压图形符号绘制时,其系统原理图如图1-2c所示。图中的符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和参数。使用这些图形符号,可使液压系统图简单明了,便于绘制。GB786-76液压图形符号见本书附录。

第三节 液压传动的优缺点及应用

一、液压传动的优缺点

液压传动与其它传动方式相比较,有如下主要优点:

- (1) 液压传动能方便地实现无级调速,调速范围大。
- (2) 在相同功率情况下,液压传动能量转换元件的体积较小,重量较轻。
- (3) 工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。
- (4) 便于实现过载保护,而且工作油液能使传动零件实现自润滑,故使用寿命较长。
- (5) 操纵简单,便于实现自动化。特别是和电气控制联合使用时,易于实现复杂的自动工作循环。

(6) 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。

液压传动的主要缺点是:

- (1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使传动无法保证严格的传动比。
- (2) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等),故传动效率不高,不宜作远距离传动。
- (3) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高和很低的温度条件下工作。
- (4) 液压传动出现故障时不易找出原因。

总的说来,液压传动的优点是十分突出的,它的缺点将随着科学技术的发展而逐渐得到克服。

二、液压传动的应用和发展

液压传动相对于机械传动来说,是一门新的技术。如果从1795年世界上第一台水压机诞生算起,液压传动已有近200年的历史。然而,液压传动的真正推广使用却是近50年的事。特别是本世纪60年代以后,随着原子能科学、空间技术、计算机技术的发展,液压技术也得到了很大发展,渗透到国民经济的各个领域之中,在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床工业中,液压技术得到了普遍的应用。当前,液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、经久耐用、高度集成化等方向发展;同时,新型液压元件的应用,液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化、微机控制等工作,也日益取得显著的成果。

我国的液压工业开始于本世纪50年代,其产品最初应用于机床和锻压设备,后来又用于拖拉机和工程机械。自1964年开始从国外引进液压元件生产技术,同时自行设计液压产品以来,我国的液压件生产已形成系列,并在各种机械设备上得到了广泛的使用。目前,我国机械工业在认真消化、推广从国外引进的先进液压技术的同时,大力研制开发国产液压件新产

品(如中高压齿轮泵、比例阀、叠加阀及新系列中高压阀等),加强产品质量可靠性和新技术应用的研究,积极采用国际标准和制订新的国家标准,合理调整产品结构,对一些性能差的不符合国家标准的液压件产品(如中低压阀等)采取逐步淘汰的措施。可以看出,液压传动技术在我国的应用与发展已经进入了一个崭新的历史阶段。

思考题

- 1-1 何谓液压传动? 液压传动的基本工作原理是怎样的?
- 1-2 液压传动系统有哪些组成部分? 各部分的作用是什么?
- 1-3 液压元件在系统图中是怎样表示的?
- 1-4 和其它传动方式相比较, 液压传动有哪些主要优、缺点?

第二章 液压流体力学基础

液压传动是以液体（液压油）作为工作介质来进行能量传递的，因此，了解液体的基本性质，掌握液体平衡和运动的主要力学规律，对于正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压系统都是非常必要的。

第一节 液 压 油

一、液压油的性质

（一）密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 V ——液体的体积；

m ——体积为 V 的液体的质量；

ρ ——液体的密度。

密度是液体的一个重要的物理参数。随着液体温度或压力的变化，其密度也会发生变化，但这种变化量通常不大，可以忽略不计。一般液压油的密度为 900kg/m^3 。

（二）可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体，当压力增大 Δp 时，体积减小 ΔV ，则液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2-2)$$

式中， κ 称为液体的压缩系数。由于压力增大时液体的体积减小，因此上式的右边须加一负号，以使 κ 为正值。

κ 的倒数称为液体的体积模量，以 K 表示

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (2-3)$$

K 表示产生单位体积相对变化量所需要的压力增量，在实际应用中，常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。在常温下，纯净油液的体积模量 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{MPa}$ ，数值很大，故一般可认为油液是不可压缩的。

应当指出，当液压油中混有空气时，其抗压缩能力将显著降低，这会严重影响液压系统的工作性能。在有较高要求或压力变化较大的液压系统中，应力求减少油液中混入的气体及其它易挥发物质（如汽油、煤油、乙醇和苯等）的含量。由于油液中的气体难以完全排除，实际计算中常取液压油的体积模量 $K = 0.7 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

（三）粘性

1. 粘性的物理本质

液体在外力作用下流动时, 分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动, 因而产生一种内摩擦力, 这一特性称为液体的粘性。粘性是液体的重要物理性质, 也是选择液压用油的主要依据。

液体流动时, 由于液体的粘性以及液体和固体壁面间的附着力, 会使液体内部各层间的速度大小不等。如图2-1所示, 设两平行平板间充满液体, 下平板不动, 上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体的粘性作用, 紧贴下平板的液体层速度为零, 紧贴上平板的液体层速度为 u_0 , 而中间各层液体的速度则根据它与下平板间的距离大小近似呈线性规律分布。

实验测定结果指出, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$

式中, μ 是比例常数, 称为动力粘度。若以 τ 表示内摩擦切应力, 即液层间在单位面积上的内摩擦力, 则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-5)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。

由上式可知, 在静止液体中, 因速度梯度 $du/dy = 0$, 内摩擦力为零, 所以液体在静止状态下是不呈粘性的。

2. 粘度

液体粘性的大小用粘度来表示。常用的粘度有三种, 即动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 动力粘度又称绝对粘度, 由式(2-4)可得

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}}$$

可知动力粘度的物理意义是: 液体在单位速度梯度下流动时, 接触液层间单位面积上的内摩擦力即为动力粘度。

动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$); 它与以前沿用的单位 P (泊, $\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$) 之间的关系是

$$1 \text{Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{P}$$

(2) 运动粘度 动力粘度和该液体密度的比值称为运动粘度, 以 ν 表示

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-6)$$

比值 ν 无物理意义, 但它却是工程实际中经常用到的物理量。因为它的单位只有长度和时间的量纲, 是类似于运动学的量, 所以称为运动粘度。

运动粘度的法定计量单位是 m^2/s (米²/秒), 它与以前沿用的单位 St (斯, 或沱) 之间的关系是

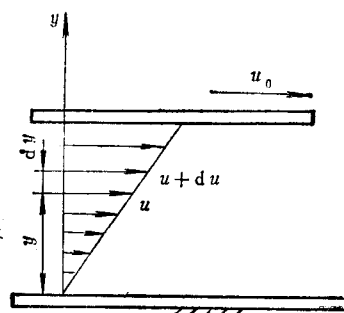


图2-1 液体的粘性

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^6\text{mm}^2/\text{s} = 10^6\text{cSt}$$

液压油的牌号，常用它在某一温度下的运动粘度平均值来表示，例如N32号液压油，就是指这种油在40℃时的运动粘度平均值为32mm²/s。我国的液压油牌号过去是按50℃运动粘度来划分的，例如，旧牌号20号液压油，就是指它在50℃时的运动粘度平均值为20mm²/s。液压油新旧牌号（40℃与50℃运动粘度等级）对照列于表2-1中。

表2-1 液压油新牌号(40℃运动粘度等级)与旧牌号(50℃运动粘度等级)对照

新牌号	N7	N10	N15	N22	N32	N46	N68	N100	N150
旧牌号	5	7	10	15	20	30	40	60	80

(3) 相对粘度

相对粘度又称条件粘度，它是采用特定的粘度计在规定的条件下测量出来的粘度。由于测量条件的不同，各国所用的相对粘度也不相同，我国、德国和苏联采用恩氏粘度 $^{\circ}E$ ，美国用赛氏粘度SSU，英国用雷氏粘度R。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定，即将200ml被测液体装入粘度计的容器内，在某一温度下，测出液体经容器底部直径为2.8mm小孔流尽所需的时间 t_1 ，和同体积蒸馏水在20℃时流过同一小孔所需时间 t_2 （通常 $t_2=51\text{s}$ ）的比值，便是被测液体在这一温度时的恩氏粘度： $^{\circ}E=t_1/t_2$ 。

恩氏粘度和运动粘度之间可用下列经验公式换算

$$\text{当 } 1.35 \leq ^{\circ}E \leq 3.2 \text{ 时, } \quad \nu = 8^{\circ}E - \frac{8.64}{^{\circ}E} \quad (2-7)$$

$$\text{当 } ^{\circ}E > 3.2 \text{ 时, } \quad \nu = 7.6^{\circ}E - \frac{4}{^{\circ}E} \quad (2-8)$$

式中， ν 的单位为mm²/s。

恩氏粘度和运动粘度的对应数值还可从有关图表中直接查出，例如图2-2的纵坐标就标出了二者的对应值。

3. 粘度和温度的关系

油液对温度的变化极为敏感，温度升高，油的粘度即显著降低。油的粘度随温度变化的性质称粘温特性。不同种类的液压油有不同的粘温特性，粘温特性较好的液压油，粘度随温度的变化较小，因而油温变化对液压系统性能的影响较小。

液压油粘度与温度的关系可以用图2-2所示的粘温图来查找。

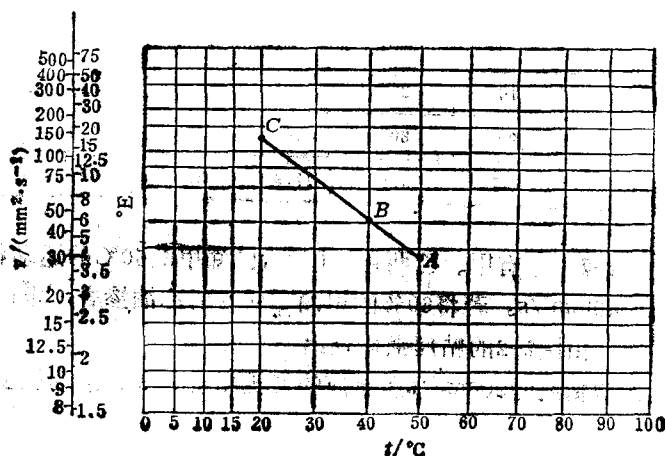


图2-2 油液的粘温特性

例2-1 已知某液压油在50℃时的运动粘度为30mm²/s，在40℃时的运动粘度为46mm²/s，试求该油在20℃时的运动粘度。

解 在图2-2所示的直角坐标平面内, 先由横坐标 50°C 和纵坐标 $30\text{mm}^2/\text{s}$ 确定一点 A , 再由横坐标 40°C 和纵坐标 $46\text{mm}^2/\text{s}$ 确定另一点 B , 通过 A 、 B 作直线与过 20°C 点的垂直线相交于 C 点, C 点的纵坐标值 $130\text{mm}^2/\text{s}$ 即为该油在 20°C 时的运动粘度。

液压油的粘温特性可以用粘度指数 VI 来表示, VI 值越大, 表示油液粘度随温度的变化率越小, 即粘温特性越好。一般液压油要求 VI 值在 90 以上, 精制的液压油及加有添加剂的液压油, 其 VI 值可大于 100。

4. 粘度和压力的关系

液体所受的压力增大时, 其分子间的距离将减小, 于是内聚力增大, 粘度亦随之增大。对于一般的液压系统, 当压力在 20MPa 以下时, 压力对粘度的影响不大, 可以忽略不计。当压力较高或压力变化较大时, 粘度的变化则不容忽视。石油型液压油的粘度与压力的关系可用下列公式表示

$$\nu_p = \nu_0 (1 + 0.003p) \quad (2-9)$$

式中 ν_p 、 ν_0 ——分别为油液在压力 p 时和一个大气压时的运动粘度。

5. 调合油的粘度

选择合适粘度的液压油, 对液压系统的工作性能起着重要的作用。但有时能得到的油液产品的粘度不合要求, 在此情况下可把两种不同粘度的油按适当的比例混合起来使用, 这就是调合油。调合油的粘度可用下列经验公式计算

$$^{\circ}E = \frac{a_1^{\circ}E_1 + a_2^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (2-10)$$

式中 $^{\circ}E_1$ 、 $^{\circ}E_2$ ——混合前两种油液的粘度, 取 $^{\circ}E_1 > ^{\circ}E_2$;

$^{\circ}E$ ——混合后的调合油粘度;

a_1 、 a_2 ——参与调合的两种油液各占的百分数 ($a_1\% + a_2\% = 100\%$);

c ——实验系数, 见表 2-2。

表 2-2 系数 c 的数值

a_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
a_2	90	80	70	60	50	40	30	20	10
c	6.7	13.1	17.9	22.1	25.5	27.9	28.2	25	17

例 2-2 今有甲、乙两种液压油, 已知甲油 50°C 的运动粘度为 $20\text{mm}^2/\text{s}$, 乙油 50°C 的运动粘度为 $40\text{mm}^2/\text{s}$ 。若将 80% 的甲油和 40% 的乙油掺合, 求调合油的运动粘度。

解 由图 2-2 的粘度坐标查出

运动粘度为 $20\text{mm}^2/\text{s}$ 所对应的恩氏粘度为 3; 运动粘度为 $40\text{mm}^2/\text{s}$ 所对应的恩氏粘度为 5.3。

因此

$$^{\circ}E_1 = 5.3, \quad ^{\circ}E_2 = 3$$

且

$$a_1 = 40, \quad a_2 = 60$$

又由表 2-2 查出系数 $c = 22.1$ 。

将以上数值代入式 (2-10), 得调合油的恩氏粘度为

$$\begin{aligned} \bullet E &= \frac{a_1 \cdot E_1 + a_2 \cdot E_2 - c(\cdot E_1 - \cdot E_2)}{100} \\ &= \frac{40 \times 5.3 + 60 \times 3 - 22.1(5.3 - 3)}{100} \\ &= 3.41 \end{aligned}$$

再查图2-2粘度坐标,求得调合油的运动粘度为25mm²/s。

(四) 其它性质

液压油还有其它一些物理化学性质,如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、相容性(主要是指对密封材料不侵蚀、不溶胀的性质),以及纯净性等,都对液压系统工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油,这些性质的指标也有不同,具体可见油类产品手册。

二、液压油的种类及选用

1. 液压油的种类

液压油的品种很多,主要可分为三大类型:石油型、合成型和乳化型。液压油的主要品种及其性质列于表2-3。

表2-3 液压油的主要品种及其性质

性能 \ 种类	可燃性液压油			抗燃性液压油			
	石油型			合成型		乳化型	
	通用液压油	抗磨液压油	低温液压油	磷酸脂液	水-乙二醇液	油包水液	水包油液
密度(kg·m ⁻³)	850~900			1100~1500	1040~1100	920~940	1000
粘度	小~大	小~大	小~大	小~大	小~大	小	小
粘度指数VI不小于	90	95	130	130~180	140~170	130~150	极高
润滑性	优	优	优	优	良	良	可
防锈蚀性	优	优	优	良	良	良	可
闪点(℃)不低于	170~200	170	150~170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝点(℃)不高于	-10	-25	-35~-45	-20~-50	-50~-65	-25	-5

石油型液压油是以机械油为原料,精炼后按需要加入适当添加剂而成。这类液压油润滑性好,但抗燃性差。

目前,我国液压传动采用机械油和汽轮机油的情况仍很普遍。机械油是一种工业用润滑油,价格虽较低廉,但精制深度较浅,抗氧化稳定性较差,使用时易生成粘稠胶质,阻塞元件小孔,影响液压系统性能。当系统的压力愈高时,问题愈加严重。因此,只有在低压系统且要求很低时才可应用机械油。至于汽轮机油,虽经深度精制并加有抗氧化、抗泡沫等添加剂,其性能优于机械油,但这种油的抗磨性和防锈性不如通用液压油。

通用液压油一般是以汽轮机油作为基础油再加以多种添加剂制成的,其抗氧化、抗磨、抗泡、粘温性能均好,广泛适用于在0~40℃工作的中低压系统,一般机床液压系统最适宜使用这种油。对于高压或中高压系统,可根据其工作条件和特殊要求选用抗磨液压油、低温液压油等专用油类。

石油型液压油有很多优点,但其主要缺点是具有可燃性。在一些高温、易燃、易爆的工

作场合,为了安全起见,应该在系统中使用抗燃性液体,如磷酸脂、水-乙二醇等合成液,或油包水、水包油等乳化液。

2. 液压油的选用

首先应根据液压系统的环境与工作条件选用合适的液压油类型,类型确定后再选择油的牌号。

对液压油牌号的选择,主要是对油液粘度等级的选择,这是因为粘度对液压系统的稳定性、可靠性、效率、温升以及磨损都有显著的影响。在选择粘度时应注意以下几方面情况:

(1) 液压系统的工作压力 工作压力较高的液压系统宜选用粘度较大的液压油,以减少泄漏;反之,可选用粘度较小的油。

(2) 环境温度 环境温度较高时宜选用粘度较大的液压油。

(3) 运动速度 当工作部件的运动速度较高时,为减小液流的摩擦损失,宜选用粘度较小的液压油。

在液压系统的所有元件中,以液压泵对液压油的性能最为敏感,因为泵内零件的运动速度最高,承受的压力最大,且承压时间长,温升高。因此,常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油的粘度。各类液压泵适用的粘度范围如表2-4所示。

表2-4 各类液压泵适用的粘度范围

粘度 液压油类型		环境温度	5~40℃		40~80℃	
			40℃粘度	50℃粘度	40℃粘度	50℃粘度
			mm ² ·s ⁻¹	mm ² ·s ⁻¹	mm ² ·s ⁻¹	mm ² ·s ⁻¹
齿轮泵			30~70	17~40	110~54	58~98
叶片泵	$p < 7\text{MPa}$		30~50	17~29	43~77	25~44
	$p \geq 7\text{MPa}$		54~70	31~40	65~95	35~55
柱塞泵	轴向式		43~77	25~44	70~172	40~98
	径向式		30~128	17~62	65~270	37~154

三、液压油的污染及其控制

液压油受到污染,常常是系统发生故障的主要原因。因此,控制液压油的污染是十分重要的。

1. 污染的危害

液压油被污染指的是液压油中含有水分、空气、微小固体颗粒及胶状生成物等杂质。液压油污染对液压系统造成的危害主要是:

(1) 固体颗粒和胶状生成物堵塞滤油器,使液压泵运转困难,产生噪声,堵塞阀类元件小孔或缝隙,使阀动作失灵。

(2) 微小固体颗粒会加速零件磨损,使元件不能正常工作;同时,也会擦伤密封件,使泄漏增加。

(3) 水分和空气的混入会降低液压油的润滑能力,并使其氧化变质,产生气蚀,使元件加速损坏;使液压系统出现振动、爬行等现象。

2. 污染的原因

液压油被污染的原因主要有以下几方面:

(1) 残留物污染 这主要是指液压元件在制造、储存、运输、安装、维修过程中带入的砂粒、铁屑、磨料、焊渣、锈片、棉纱和灰尘等,虽经清洗,但未清洗干净而残留下来,造成液压油污染。

(2) 侵入物污染 这主要是指周围环境中的污染物(空气、尘埃、水滴等)通过一切可能的侵入点,如外露的往复运动活塞杆,油箱的进气孔和注油孔等侵入系统,造成液压油污染。

(3) 生成物污染 这主要是指液压系统在工作过程中产生的金属微粒、密封材料磨损颗粒、涂料剥离片、水分、气泡及油液变质后的胶状生成物等,造成液压油污染。

3. 污染的控制

液压油污染的原因很复杂,液压油自身又在不断产生脏物,因此要彻底防止污染是很困难的。为了延长液压元件的寿命,保证液压系统正常工作,将液压油污染程度控制在某一度以内是较为切实可行的办法。实用中常采取如下几方面措施来控制污染:

(1) 力求减少外来污染 液压装置组装前后必须严格清洗,油箱通大气处要加空气滤清器,向油箱灌油应通过滤油器,维修拆卸元件应在无尘区进行。

(2) 滤除系统产生的杂质 应在系统的有关部位设置适当精度的滤油器,并且要定期检查、清洗或更换滤芯。

(3) 定期检查更换液压油 应根据液压设备使用说明书的要求和维护保养规程的规定,定期检查更换液压油。换油时要清洗油箱,冲洗系统管道及元件。

第二节 液体静力学

液体静力学所研究的是静止液体的力学性质。这里所说的静止,是指液体内部质点之间没有相对运动,至于液体整体完全可以象刚体一样作各种运动。

一、液体的压力

液体单位面积上所受的力称为压力。这一定义在物理学中称为压强,但在液压传动中习惯称为压力。压力通常以 p 表示。

液体的压力有如下特性:

- (1) 液体的压力沿着内法线方向作用于承压面。
- (2) 静止液体内任一点的压力在各个方向上都相等。

由上述性质可知,静止液体总是处于受压状态,并且其内部的任何质点都是受平衡压力作用的。

二、重力作用下静止液体中的压力分布

如图2-3a所示,密度为 ρ 的液体在容器内处于静止状态。为求任意深度 h 处的压力 p ,可以假想从液面往下切取一个垂直小液柱作为研究体,设液柱的底面积为 ΔA ,高为 h ,如图2-3b所示。由于液柱处于平衡状态,于是有

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

因此得

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2-11)$$

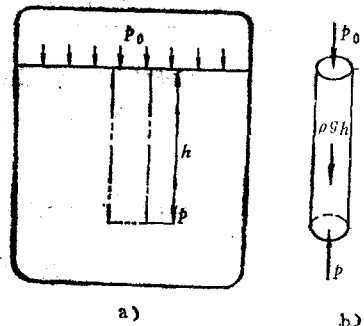


图2-3 重力作用下的静止液体

上式称为液体静力学基本方程式。由上式可知,重力作用下的静止液体,其压力分布有如下特征:

(1) 静止液体内任一点处的压力都由两部分组成:一部分是液面上的压力 p_0 ,另一部分是该点以上液体自重所形成的压力,即 $\rho g h$ 与该点离液面深度 h 的乘积。当液面上只受大气压力 p_a 作用时,则液体任一点处的压力为

$$p = p_a + \rho g h \quad (2-12)$$

(2) 静止液体内的压力随液体深度呈直线规律分布。

(3) 离液面深度相同的各点组成了等压面,此等压面为一水平面。

三、压力的表示方法和单位

根据度量基准的不同,液体压力分为绝对压力和相对压力两种。如式(2-12)表示的压力 p ,其值是以绝对真空为基准来度量的,叫做绝对压力;而式中超过大气压力的那部分压力 $p - p_a = \rho g h$,其值是以大气压力为基准来度量的,是相对压力。在地球的表面上,一切受大气笼罩的物体,大气压力的作用都是自相平衡的,因此一般压力仪表在大气中的读数为零,用压力表测得的压力数值显然是相对压力。正因为如此,相对压力又称为表压力。在液压技术中,如不特别指明,压力均指相对压力。

如果液体中某点的绝对压力小于大气压力,这时,比大气压力小的那部分数值叫做真空度。由图2-4可知,以大气压力为基准计算压力时,基准以上的正值是表压力,基准以下的负值就是真空度。例如,当液体中某点的绝对压力为 $0.3 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,其相对压力为 $p - p_a = 0.3 \times 10^5 \text{ Pa} - 1 \times 10^5 \text{ Pa} = -0.7 \times 10^5 \text{ Pa}$,即该点的真空度为 $0.7 \times 10^5 \text{ Pa}$ (这里取近似值 $p_a = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$)。

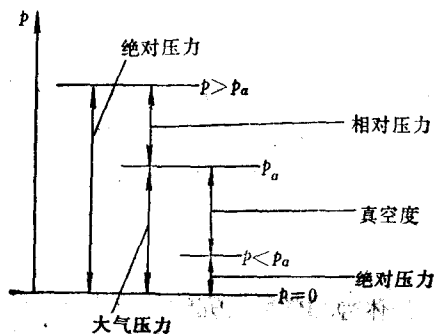


图2-4 绝对压力、相对压力和真空度

压力的单位除法定计量单位 Pa (帕, N/m^2)外,还有暂时允许使用的单位 bar (巴)和以前沿用的一些单位,如工程大气压 at (即 kgf/cm^2)、标准大气压 atm 、水柱高(mmH_2O)或汞柱高(mmHg)等。各种压力单位之间的换算关系见表2-5。

表2-5 各种压力单位的换算关系

Pa	bar	kgf/cm^2	at	atm	mmH_2O	mmHg
1×10^5	1	1.01972	1.01972	0.986923	1.01972×10^4	7.50062×10^2

例2-3 如图2-5所示,容器内盛有油液。已知油的密度 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$,活塞上的作用力 $F = 1000 \text{ N}$,活塞的面积 $A = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$,假设活塞的重量忽略不计。问活塞下方深度为 $h = 0.5 \text{ m}$ 处的压力等于多少?

解 活塞与液体接触面上的压力

$$p_0 = \frac{F}{A} = \frac{1000 \text{ N}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

根据式(2-11),深度为 h 处的液体压力为