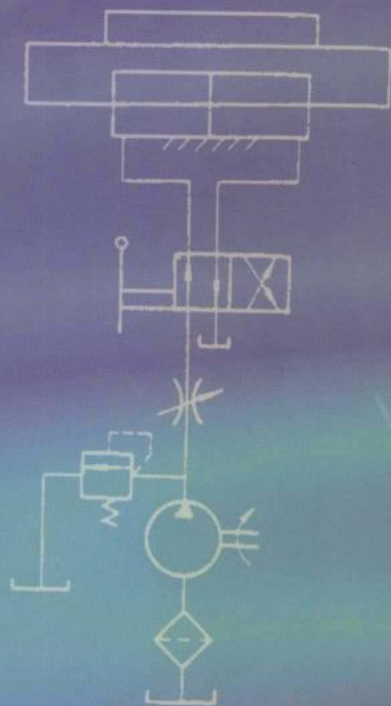
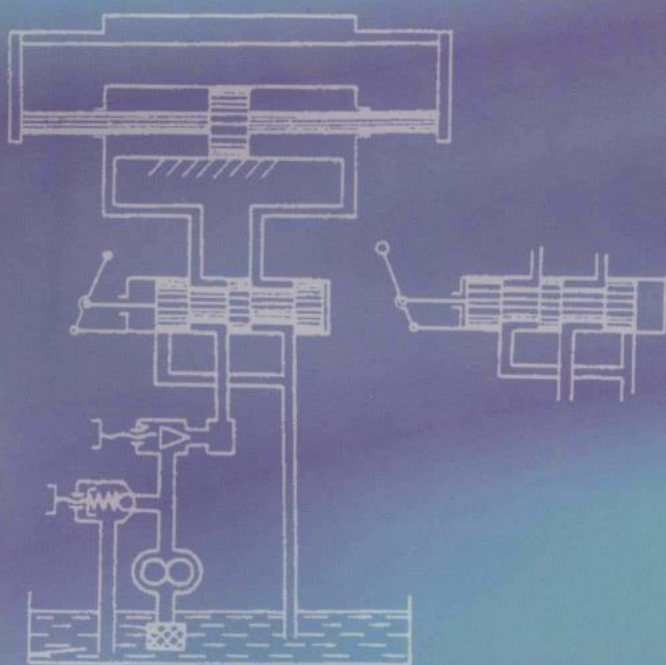


张纯亮 张贺宝 主编

液压传动与控制



兵器工业出版社

高等军事院校教材

液压传动与控制

张纯亮	张贺宝	主 编
薛 雷	李临涪	副主编
赵国豪	安国军	
董 兵	杨岐子	主 审

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书主要内容包括液压油液、流体力学基础、液压元件的结构原理、常用液压回路、典型液压系统、液压系统的使用维护等。内容上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,强调液压元件的结构原理、本质和共性,加强针对性和实用性,注意反映国内外比较成熟的液压新技术和新成果。为便于阅读、思考和练习,本书较多地采用简明易懂的结构原理插图,各章均附有思考题和习题。

本教材适用于炮兵、防空兵、装甲兵指挥专业本科及专科 20~40 学时使用,也可作为其它初级指挥院校相关专业的教材或参考书,并可供其他工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与控制/张纯亮,张贺宝主编. —北京:兵器工业出版社,2001.7
ISBN 7-80172-022-9

I. 液... II. ①张...②张... III. ①液压传动—教材②液压控制—教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 043307 号

出版发行:兵器工业出版社

责任编辑:王 强

责任技编:常小虹

社 址:100089 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销:各地新华书店

印 刷:河南省济源市国营五三--印刷厂

版 次:2001 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—2050

封面设计:底晓娟

责任校对:常小虹

责任印制:莫丽珠

开 本:787×1092 1/16

印 张:10.5

字 数:260 千字

定 价:19.50 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

本教材是根据中共中央、国务院《关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和军委关于《军队院校教育改革和发展纲要》的精神；以培养适应军队现代化建设和打赢高技术条件下局部战争的需要，具有良好的全面素质、复合的知识结构和综合能力、较强的创新精神和创新能力的新型军事人才为目标，按照总部《制（修）订教学计划的基本要求》，遵循军事教育规律，建立起体现时代特征，富有高等军事院校教育特色的教学内容体系而编写的。本书以国家教委关于制订第三轮教材规划的指导思想和要求为依据，结合军队指挥院校的特点和多年来教学与教材编写方面的实践经验编写而成。主要内容包括液压流体力学基础、液压元件、液压回路及典型系统、液压系统的使用维护等。

针对军事指挥人才应具有分队指挥和分队装备运用等方面的能力，具有宽厚的科学文化素质、扎实的工程技术素质，具备掌握武器装备使用、维护技能等特点。本书在内容上力求贯彻少而精和理论联系实际的原则，采取“调整、强化、精选、充实”等措施，着重基本概念和原理的阐述，突出理论知识的应用，强调液压元件的结构原理、本质和共性，加强针对性和实用性，注意反映国内外比较成熟的液压新技术和新成果。为便于阅读、思考和练习，本书较多地采用简明易懂的结构原理插图，各章均附有思考题和习题。全书严格执行新的国家标准，统一名词术语和符号标记。

本教材结构合理、新颖；文字叙述简练、通俗易懂、图文并茂；教材内容选取既切合教学实际，又兼顾到将来的发展；充分体现了军队指挥院校理论联系实际，重在使用、维修的特点，对故障分析与排除以足够的重视。教材适用于炮兵、防空兵、装甲兵指挥专业本科、专科 20~40 学时使用，也可作为其它各类初级指挥院校教材或参考书。

参加本书编写的有：张纯亮、张贺宝、薛雷、李临涪、栾传俊、安国军、赵国豪、王新田、马海英、刘红彬、彭海阔、赵华东、魏俊杰同志，由张纯亮、张贺宝同志任主编，薛雷、李临涪、栾传俊、赵国豪、安国军同志任副主编。

本书由董兵、杨岐子同志主审

对本书存在的问题，恳请广大读者批评指正。

编者

2001 年 4 月

目 录

第一章 概论	1
第一节 液压传动的工作原理	1
第二节 液压传动系统的组成及图形符号	2
第三节 液压传动的优缺点	3
第四节 液压传动的应用和发展	4
第二章 液压油液	5
第一节 液压油液的主要性质	5
第二节 液压油液的选用	8
第三节 液压油液的污染及其控制	9
第三章 液压流体力学基础	12
第一节 液体静力学	12
第二节 液体动力学基础	15
第三节 液体流动时的压力损失	20
第四节 小孔和缝隙流量	22
第五节 液压冲击和气穴现象	25
第四章 液压泵和液压马达	29
第一节 液压泵概述	29
第二节 齿轮泵	31
第三节 叶片泵	34
第四节 柱塞泵	39
第五节 螺杆泵	42
第六节 液压马达	43
第七节 液压泵、马达的选择和性能比较	47
第八节 常用液压泵和液压马达常见故障及排除	48
第五章 液压缸	52
第一节 液压缸的类型和特点	52
第二节 液压缸的结构	56
第三节 液压缸的主要尺寸	64
第六章 液压阀	67
第一节 概述	67
第二节 方向控制阀	68
第三节 压力控制阀	74
第四节 流量控制阀	81
第五节 比例阀、二通插装阀和数字阀	83
第七章 辅助液压元件	91

第一节 蓄能器	91
第二节 过滤器	93
第三节 油箱	97
第四节 管件	99
第八章 液压基本回路	102
第一节 压力控制回路	102
第二节 速度控制回路	106
第三节 方向控制回路	117
第四节 多缸工作控制回路	118
第九章 液压伺服系统	126
第一节 液压伺服系统的工作原理及特性	126
第二节 液压伺服阀及伺服机构	129
第三节 液压伺服系统实例	135
第十章 典型液压系统	137
第一节 汽车起重机液压系统	137
第二节 M107 型 175mm 自行火炮液压系统	140
第十一章 液压系统的使用、维护与故障排除	148
第一节 液压系统的安装与清洗	148
第二节 液压系统的调试	150
第三节 液压系统的保养	151
第四节 液压系统的故障分析和排除方法	152
附录	157
参考文献	161

第一章 概 论

液压传动是利用密闭系统中的液体来进行能量传递的传动方式。液压传动与机械传动相比，具有许多优点，所以液压技术广泛地应用于各个工业领域和兵器工业中。特别是近年来，液压技术的发展进入了一个新的阶段，成为发展速度最快的技术之一。

本章介绍液压传动的工作原理、组成、特点及液压传动的应用和发展等。

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。图中杠杆手柄 1、小活塞 2、小缸体 3、钢球 4 和 5 组成手动液压泵，活塞和缸体之间保持一种良好的配合关系，活塞能在缸内滑动，而且配合面之间又能实现可靠的密封。当抬起手柄 1 时，小活塞 2 向上移动，于是小缸 3 的下腔密封容积增大，腔内压力下降形成局部真空，这时钢球 5 将所在的通路关闭，油箱 10 中的油液在大气压力的作用下推开钢球 4，沿吸油管进入小缸的下腔，完成一次吸油动作。当用力压下手柄 1 时，小活塞 2 下移，小缸下腔的密闭容积减少，腔内压力升高，这时钢球 4 自动关闭了油液流回油箱的通路，小缸的压力油推开钢球 5 挤入大缸 6 的下腔，驱动大活塞 7 将重物 8 向上顶起一段距离，完成一次压油动作。如此地抬、压手柄 1，使重物不断升高，达到起重的目的。

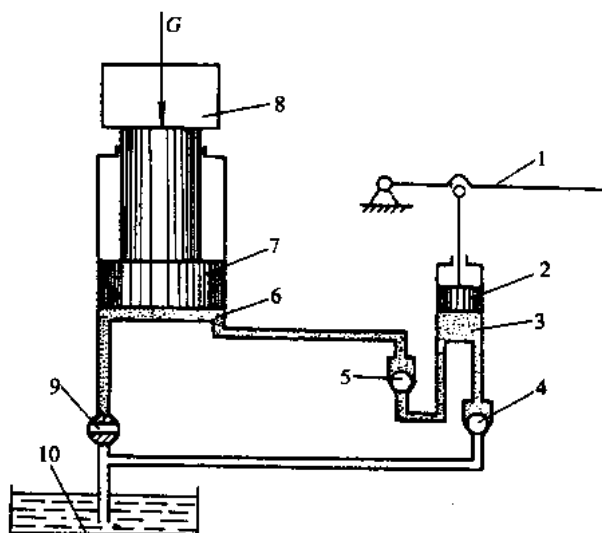


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

- 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—油箱

若将放油阀 9 旋转 90°，在自重的作用下，活塞 7 实现回程。

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在密封容积中的受压液体的压力能实现运动和动力传递的，它先将机械能转换为便

于输送的液体的压力能，再将液体的压力能转换为机械能。液压传动装置本质上是一种能量转换装置。液压传动利用液体的压力能进行工作，它与利用液体的动能工作的液力传动有根本的区别。

第二节 液压传动系统的组成及图形符号

图 1-2 为机床工作台液压传动系统，它由油箱 1、过滤器 2、液压泵 3、溢流阀 4、节流阀 5、换向阀 6、液压缸 7、工作台 8 组成。

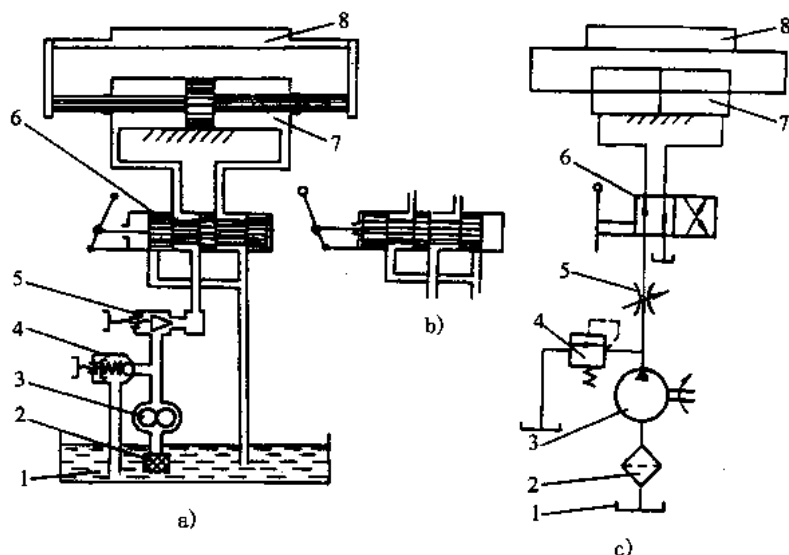


图 1-2 机床工作台液压传动系统

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

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。油液经过滤器 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排回油箱。

如果将换向阀手柄扳到左边位置，使换向阀处于图示 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，泵出口多余的压力油亦需要排回油箱。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油液压力，并让多余的油在相应压力下打开溢流阀，经回油管流回油箱。

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，它将原动机输入的机械能转换为流体介质的压力能，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) 控制元件 包括各种阀类，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。

(4) 辅助元件 包括油箱、油管、过滤器以及各种指示器和控制仪表等。它们的作用是提供必要的条件使系统得以正常工作和便于监测控制。

(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，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，一般都用国家标准 GB786.1-1993 规定的简单的液压图形符号绘制，对于图 1-2a 所示的液压系统可绘制出如图 1-2c 所示的图形。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，可使液压系统简单明了，便于绘制。GB786.1-1993 液压图形符号参见本书附录。

第三节 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) 液压传动能方便地在大范围内实现无级调速（调速范围达 2000:1），且可在系统运行的过程中进行调速。

(2) 在同等的功率下，液压传动装置体积小、质量轻。液压马达的体积和质量只有同等功率电动机的 12% 左右。

(3) 工作平稳，换向冲击小，反应速度快，可实现频繁换向。

(4) 便于实现过载保护，而且液压元件自行润滑，使用寿命较长。

(5) 操纵简单、省力，易于实现自动化。特别是和电气控制联合使用时，易于实现复杂的工作循环，还可远程控制。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化，便于设计制造和推广使用。液压元件的排列布置也具有较大的机动性。

(7) 抗电磁干扰能力强。液压传动是利用液体作这工作介质，进行能量的转换和传递，因此它不受电磁干扰，也不干扰其它电子设备。对于三位一体的自行高炮来讲，这一特点至关重要。

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下工作。

(4) 液压元件在制造精度上的要求较高，因此，它的造价较贵，而且对油的污染比较敏感。

(5) 液压传动出现故障时不易找出原因。

第四节 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技术，但如从 17 世纪中叶巴斯卡提出静压传递原理，18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，也有二三百年的历史了，由于缺乏成熟的液压元件，直到 1906 年美国在舰炮俯仰装置上最早实践成功液压传动。第二次世界大战期间，在一些兵器上采用了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置。它在提高兵器的性能的同时，也大大促进了液压技术的发展。战后，液压技术迅速转向民用，并随着各种液压元件的研制和完善，各类元件产品的标准化、系列化和通用化，使它在机械制造、工程机械、汽车制造等行业得到推广使用。20 世纪 60 年代以来，随着原子能、空间技术、计算机技术等的发展，液压技术得到了很大的发展，并渗透到各个工业领域中去，例如，国外今日生产的 95% 的工程机械，95% 以上的自动线都采用液压传动。

当前，液压技术向高压、高速、大功率、低噪声、低能耗、经久耐用、高度集成化等方向发展，并获得重大成效。近年来，液压行业对于计算机应用给予极大的关注，其中计算机辅助设计（即 CAD）技术的推广使用和数字控制液压元件的研制开发尤其突出。另外，减小元件的体积和质量，提高元件的寿命，研制新介质，以及污染控制技术等方面，也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

我国的液压工业始于本世纪 50 年代，其产品最初只用于机床和锻压设备，后来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，我国生产的液压元件已形成系列，并在各种机械设备上得到广泛的应用。目前，我国在消化、推广从国外引进的先进液压技术的同时，大力开展国产液压新产品的研制工作，并已取得一定成效。例如，已开发研制了中、高压齿轮泵、插装式锥阀、电液比例阀、叠加阀等。40 年来，我国的液压工业从无到有，发展很快，取得了很大的成就。但也要看到，我国的液压元件与国外先进的同类产品相比，仍存着一定的差距。

与其它工业领域一样，在兵器工业中，尤其在各种火炮坦克上，例如高炮、地面火炮、舰炮、自行火炮及火箭和导弹发射装置上，都广泛地采用了液压传动与控制技术，许多发达国家已经把液压技术作为实现武器装备现代化的重要手段之一。

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 液压传动系统有哪几部分组成？试说明各部分的作用。
- 1-3 绘制液压系统图时，液压元件如何表示？试画出几种主要液压元件的图形符号。
- 1-4 液压传动与其它传动方式相比，具有哪些特点。

第二章 液压油液

在液压系统中，液压油液是传递动力和运动的工作介质，同时，它还起到润滑、冷却和防锈的作用。液压系统能否可靠、有效地工作，在很大程度上取决于系统中所用的液压油液。因此，在掌握液压系统之前，必须对液压油液有一清晰的了解。

第一节 液压油液的主要性质

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。随着液体温度和压力的变化，其密度也会发生变化，一般是随温度升高而减小，随压力增高而加大。但是这种变化量通常不大，可以忽略不计。—

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，液体的可压缩性用体积压缩系数 k ，即单位压力变化下的体积相对变化量表示。体积为 V 的液体，当压力增大 Δp 时，体积减小 ΔV ，则：

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

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

在实际使用时，常用液体体积压缩系数 k 的倒数 K 来衡量液体的可压缩性。 $K = 1/k$ ，称为液体的体积弹性模量，用来说明液体抵抗压缩能力的大小。

石油型液压油的 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{MPa}$ ，它的可压缩性是钢的 100~150 倍。当液体中混有空气时，其抗压缩能力将显著降低。由于油液中很难避免混入气体，实际计算中常取液压油的体积模量 $K = (0.7 \sim 1.4) \times 10^3 \text{MPa}$ 。

液压油的可压缩性对动态下工作的液压系统来说影响极大，但当液压系统在静态下工作时，一般可不予考虑。

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。液体只有在流动时才会呈现粘性。粘性是液体的重

要物理性质，是选择液压油的主要依据。

粘性使流动液体内部各处的速度不相等。如图 2-1 所示。若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，紧贴下平板的液体层速度为零，紧贴于上平板的液体层速度为 u_0 ，而中间各液层的速度则视它与下平板的距离大小按线性规律或曲线规律变化。这是因为相邻液体层的分子内聚力使得下层液体对上层液体起阻滞作用，而上层液体对下层液体起拖曳作用。

实验结果指出，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

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

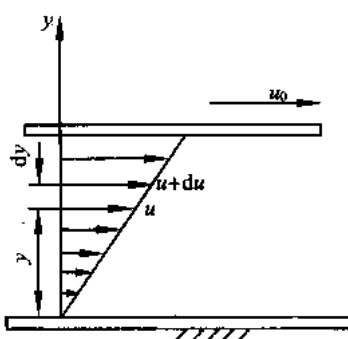


图 2-1 液体的粘性

式中 μ 是比例系数，称为粘性系数或动力粘度。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

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

这就是牛顿液体内摩擦定律。

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，表征流体粘性的内摩擦系数。由式 (2-4) 得

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

由此可知动力粘度 μ 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。

动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)，它与以前沿用的旧计算单位 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。即

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

运动粘度 ν 无明显的物理意义，因为 μ 与 ρ 的比值在液体压力的分析和计算中常遇到，其单位中只有长度和时间的量纲，类似于运动学的量，所以把它称为运动粘度。

运动粘度的法定计量单位是 m^2/s (米²/秒)，它与以前的非法定计量单位 cst (厘斯) 之间的关系是：

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

国际标准化组织 ISO 规定，统一采用运动粘度来表示油的粘度等级。我国机械油和液压油采用 40℃ 时的运动粘度值 (mm^2/s) 为其粘度等级标号，即油的牌号。例如牌号为 L-HL32 的液压油，就是指该油在 40℃ 时运动粘度平均值为 $32 \text{mm}^2/\text{s}$ 。

(3) 相对粘度

液体的动力粘度与运动粘度都难以直接测量,一般仅用于理论分析和计算。工程上常用一些简单方法去测定液体的相对粘度,然后再根据关系式换算出动力粘度或运动粘度。相对粘度又称条件粘度。它是按一定的测量条件制定的。我国采用恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}$,美国采用赛氏粘度 SSU 。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定:将 200cm^3 温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 的被测液体装入粘度计的容器内,使之在自重作用下由其下部直径为 $\phi 2.8\text{mm}$ 小孔流出,测出液体流尽所需的时间 t_1 ,再测出 20°C 同体积的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需的时间 t_2 (通常平均值 $t_2 = 51\text{s}$),这两个时间的比值,称为被测液体在这一温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏粘度。

$$^{\circ}\text{E}_t = t_1/t_2 \quad (2-7)$$

恩氏粘度与运动粘度间的换算关系式为

$$\nu = (7.31^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}}) \times 10^{-6}$$

3. 粘度与温度的关系

液压油粘度对温度的变化极为敏感,温度升高,粘度下降。油的粘度随温度变化的性质称为油液的粘温特性。

粘度随温度变化率的大小直接影响液压油液的使用,其重要性不亚于粘度本身。不同的油液有不同的粘温特性,国产常用液压油的粘温特性曲线如图 2-2 所示。国际和国内常采用粘度指数 VI 值来衡量油液特性的好坏。粘度指数 VI 值较大,表示油液粘度随温度变化率较小,即粘温特性好。一般液压油的 VI 值要求在 90 以上。

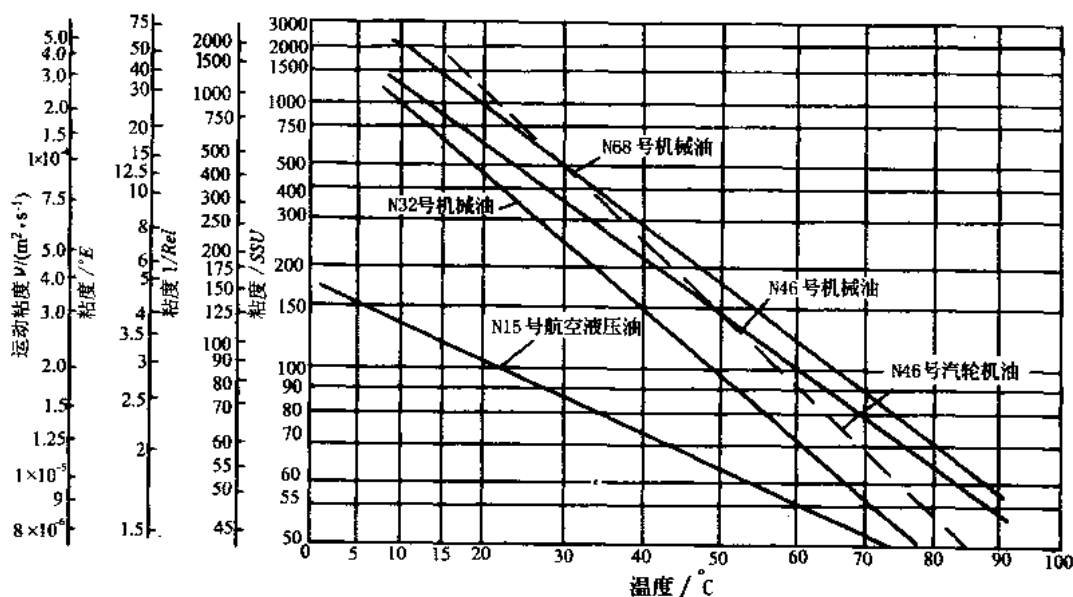


图 2-2 几种国产油液粘温图

4. 粘度与压力的关系

液体所受的压力增大时,其分子间的距离减小,内聚力增大,粘度亦随之增大。但对于一般的液压系统,当压力在 32MPa 以下时,压力对粘度的影响可以忽略不计。

四、其它性质

液压油还有其它许多性能,如抗燃性、抗凝性、抗泡沫性、抗氧化性、抗乳化性、防锈性、导热性、润滑性、相容性(主要是指对密封材料不侵蚀、不溶胀的性质)等,都对液压系统工作性能有影响。对于不同品种的液压油,这些性质的指标也有所不同,具体可见油类产品手册。

第二节 液压油液的选用

一、对液压油液的要求

为了使液压系统正常工作,液压油液一般应满足如下要求:

(1)适当的粘度和良好的粘温特性。

(2)润滑性能好,在工作压力和温度发生变化时,应具有较高的油膜强度。以免产生干摩擦。

(3)质地纯净、杂质少。

(4)具有良好的防蚀性、相容性、抗泡沫性和抗乳化性。

(5)对热、氧化、水解和剪切具有良好的稳定性,以防油液变质产生粘质沉淀物,引起液压元件的堵塞。

(6)闪点和燃点高,凝点低。

(7)对人体无害、成本低。

(8)体积膨胀系数小,比热容大。

对于具体的液压传动系统,则需根据情况,突出某些方面的使用性能要求。

二、液压油液的品种

液压油的品种很多,主要分为三大类型:石油型、合成型、乳化型。液压油的主要品种及特性见表 2-1:

表 2-1 液压油的主要品种及其性质

种 类 性 能	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	磷酸酯液	水-乙二醇液	油包水液	水包油液
密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	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 / $^{\circ}\text{C}$ 不低于	170~200	170	150~170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝点 / $^{\circ}\text{C}$ 不高于	-10	-25	-35~-45	-20~-50	-50	-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,这类液压油润滑性能好,但抗燃性较差。在一些高温、易燃易爆的工作场合,应该在液压系统中使用难燃性的合成型和乳化型液体。

三、液压油液的选择

正确、合理地选择液压油,对液压系统适应各种工作环境的能力、延长系统和元件的寿

命,提高系统工作的可靠性都有重要的影响。

在选用液压油时,应根据系统工作环境、系统工作压力、工作温度和经济性等因素考虑;参考液压元件生产厂的样本和说明书,参考同类型液压系统使用的液压油。

在众多的因素中,最主要的因素是液压油粘度。粘度太大,液传动的压力损失和发热大,系统效率下降,粘度太小,泄漏增大,也影响系统效率降低。

在液压系统中,液压泵的工作条件最为严峻,不但压力大、转速高和温度高,而且油液在被泵吸入和压出时受到剪切作用,所以一般根据液压泵的要求来确定液压油液粘度。表2-2为各种液压泵的合适粘度范围及推荐用油。

表 2-2 各种液压泵选用的液压油

泵 型		粘度(40~80℃)(mm ² /s)		适用液压油种类和粘度牌号
		5~40℃	40~80℃ ^①	
叶片泵	7MPa 以下	30~50	40~75	抗磨液压油 N32、N46、N68
	7MPa 以上	50~70	55~90	抗磨液压油 N46、N68、N100
螺杆泵		30~50	40~80	抗氧防锈 N32、N46、N68
齿轮泵 ^②		30~70	95~165	抗氧防锈,高压时用抗磨液压油 N32、N46、N68、N100、N150
径向柱塞泵		30~50	65~240	同上
轴向柱塞泵		40	70~150	同上

① 5~40℃、40~80℃系指液压系统温度。

② 中高压以上时可将抗氧防锈油改用为同粘度的抗磨液压油。

第三节 液压油液的污染及其控制

实践证明,液压油液的污染是系统发生故障的主要原因,它严重影响着液压系统的可靠性及元件的寿命。因此,控制液压油的污染是十分重要的。

一、污染的危害

液压油液被污染指的是液压油液含有水分、空气、微小固体颗粒、胶状生成物及微生物等杂质。液压油液被污染后,对液压系统产生的不良后果主要有:

(1) 固体颗粒胶状生成物,堵塞滤油器,使泵吸油困难;堵塞阀的缝隙和小孔,使阀的动作失灵和性能下降;产生噪音。

(2) 固体颗粒加速元件磨损;擦伤密封件产生泄漏。

(3) 水分和空气的侵入会加速液压油液的氧化变质,易产生胶状生成物;降低液压油的润滑能力;引起气蚀,使元件加速损坏;使液压系统出现振动、爬行等现象。除此之外,不正当的热能、放射能也常被认为是油液的污染,它们使油温超过规定限度,导致油液变质等。

二、污染的原因

液压油液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、维修过程带入的砂粒、铁屑、磨料、锈片、棉纱、灰尘等。虽然清洗,但仍有残留杂质。

(2) 侵入物污染:这主要是指周围环境中的空气、水分、尘埃等,通过油箱的进气孔、注油孔、外露的运动构件等侵入系统,造成液压油液污染。

(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、锈斑、涂料剥离片、油液变质后的胶状生成物等,造成液压油液污染。

三、污染的等级和测定

液压油液的污染程度用油液的污染度表示。油液的污染度是指单位容积油液中固体颗粒污染物的含量。为了描述和评定液压系统油液的污染程度,以便对污染进行控制,制定了相应的 ISO4406 国际标准。

ISO4406 等级标准用两个代号表示油液的污染度,前面的代号表示 1mL 油液中尺寸大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒数的等级,后面的代号表示 1mL 油液中尺寸大于 $15\mu\text{m}$ 颗粒数的等级,两个代号间用一斜线分隔,代号的含义如表 2-3 所示。例如,等级代号为 19/16 的液压油,表示它在 1mL 的尺寸大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒数在 2500~5000 之间,尺寸大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒数在 320~640 之间。这种双代号标志法说明实质性工程问题是很科学的,因为 $5\mu\text{m}$ 左右的颗粒对堵塞液压元件缝隙的危害性最大,而大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒对液压元件的磨损作用最为显著,用它们来反映油液的污染度最为恰当,因而这种标准得到了普遍采用。

目前,比较先进实用的测定污染度方法是自动颗粒计数法。其工作原量是当光源照射油液样品时,利用油液中颗粒在光电传感器上投影所发出的脉冲信号来测定油液污染度。由于信号的强弱和多少分别与颗粒的大小和数量有关,将测得的信号与标准颗粒产生的信号相比较,就可以算出油液样品中颗粒的大小和数量。这种方法能自动计算,操作简单,测定精确、迅速,因此,得到了广泛的应用。

表 2-3 ISO4406 污染度等级标准

1mL 油液中的颗粒数	等级代号	1mL 油液中的颗粒数	等级代号
>5000000	30	>80~160	14
>2500000~5000000	29	>40~80	13
>1300000~2500000	28	>20~40	12
>640000~1300000	27	>10~20	11
>320000~640000	26	>5~10	10
>160000~320000	25	>2.5~5	9
>80000~160000	24	>1.3~2.5	8
>40000~80000	23	>0.64~1.3	7
>20000~40000	22	>0.32~0.64	6
>10000~20000	21	>0.16~0.32	5
>5000~10000	20	>0.08~0.16	4
>2500~5000	19	>0.04~0.08	3
>1300~2500	18	>0.02~0.04	2
>640~1300	17	>0.01~0.02	1
>320~640	16	≤ 0.01	0
>160~320	15		

四、污染的控制

液压油液污染的原因很复杂,液压油液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,将液压油液污染程度控制在某一限度以内是较为切实可行的办法。实践中常采取以下几方面措施来控制污染。

(1)对元件和系统进行清洗,清除在加工和组装过程中残留的污染物。液压元件在加工的每道工序后都应净化,装配后经严格的清洗。

系统在组装前,油箱和管道必须清洗。用机械方法除去残渣和表面氧化物,然后进行酸

洗。系统在组装后进行全面的清洗,最好用系统工作时使用的油液清洗,不可用煤油。清洗时除油箱的通气孔(加防尘罩)外须全部密封。清洗时应尽可能加大流量,有可能时并采用热油冲洗。机械油在80℃的粘度为其25℃时1/8,因此80℃的热机械油能冲掉许多25℃的机械油冲不掉的污物。系统在冲洗时须装设高效滤油器,同时使元件动作,并用铜锤敲打焊口和连接部位。

(2)防止污染物从外界侵入。液压油液在工作过程中会受到环境污染,因此可在油箱呼吸孔上装设高效的空气滤清器或采用密封油箱,防止尘土、磨料和冷却物的侵入。液压油液在运输和保管过程中会受到污染,买来的油液必须静放数天,然后通过滤油器注入系统。另外,对活塞杆端应装防尘密封,经常检查并定期更换。

(3)采用合适的过滤器。这是控制液压油污染的重要手段。应根据系统的不同情况选用不同过滤精度、不同结构的过滤器,并定期检查和清洗,详见第七章。

(4)控制液压油液的温度。液压油液工作温度过高对液压装置不利,液压油液本身也会加速氧化变质,产生各种生成物,缩短它的使用期限。一般液压系统的工作温度最好控制在65℃以下,机床液压系统还应更低些。

(5)定期检查和更换液压油液。每隔一定时间,对系统中的油液进行抽样检查,分析其污染度是否还在该系统容许的使用范围之内。如已不合要求,必须立即更换。不应在油液脏到使系统工作出现故障时才更换。在更换新油液前,整个系统必须先清洗一次。

思 考 题

- 2-1 什么是液体的粘性?常用的粘度表示方法有哪几种?分别说明其粘度单位。
- 2-2 什么是粘温特性?
- 2-3 液压油有哪些主要品种?液压油的牌号与粘度有什么关系?如何选用液压油?
- 2-4 液压油的污染有什么危害?污染是怎样产生的?如何控制液压油的污染?