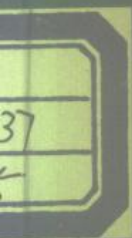


液 压 传 动 技 术

肖 龙 陆立颖
赵东江 邓小君 编著
袁世先 刘 莹



冶 金 工 业 出 版 社

液压传动技术

肖 龙 陆立颖 赵东江 编著
邓小君 袁世先 刘 莹

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1999

图书在版编目(CIP)数据

液压传动技术/肖龙,陆立颖等编著. —北京:冶金工业出版社,1999.8

ISBN 7-5024-2372-9

I. 液… II. ①肖… ②陆… III. 液压传动-技术
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45989 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 李培禄 美术编辑 李 心 责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999 年 8 月第 1 版,1999 年 8 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;9.125 印张;242 千字;282 页;1-2000 册

20.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64013877

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

液压技术近几年发展的速度是非常迅猛的,尤其在电子技术、微机控制日益发展的今天,液压技术已迅速渗入到各个学科领域。确切地说,“液压”是电子和机械技术之间的一种技术,把“传动”和“控制”结合起来是液压技术发展的必然结果。

本书阐述了液压传动的基础理论,系统地介绍了液压传动中的元件,并且将其与基本回路有机地结合起来,突出了典型系统的分析,讲授了系统的设计方法,对比较现代的比例控制、伺服控制以及最新技术的应用也作了介绍。本书收集了近几年较新的有关技术资料,在编写上力求系统全面,可供液压传动专业的工程技术人员参考,也可作为高等工科院校专业课程教材。

本书由肖龙、陆立颖、赵东江、邓小君、袁世先、刘莹编著。其中袁世先编写第一章、第八章;陆立颖编写第二章、第五章;刘莹编写第三章、第十三章、附录;赵东江编写第四章、第十章、第十一章;邓小君编写第六章、第九章;肖龙编写第七章、第十二章。

由于作者水平所限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

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	5
第二章 液压流体力学基础	7
第一节 液压油	7
第二节 液体静力学基础	12
第三节 液体动力学基础	16
第四节 液体流动时的压力损失	23
第五节 孔口和缝隙流量计算	26
第六节 液压冲击及气穴现象	30
第三章 液压泵和液压马达	33
第一节 液压泵概述	33
第二节 齿轮泵	35
第三节 叶片泵	38
第四节 柱塞泵	44
第五节 液压马达	51
第四章 液压缸	57
第一节 液压缸的分类和工作原理	57
第二节 液压缸的结构	65
第三节 液压缸的设计计算	70
第五章 液压控制阀	74
第一节 概述	74
第二节 方向控制阀	74
第三节 压力控制阀	82
第四节 流量控制阀	93
第五节 比例阀和逻辑阀	97
第六章 液压辅助元件	100
第一节 密封件	100

第二节	蓄能器	106
第三节	滤油器	112
第四节	油箱和热交换器	118
第五节	管道元件	123
第七章	液压回路	127
第一节	方向控制回路	127
第二节	压力控制回路	128
第三节	速度控制回路	137
第四节	多缸工作控制回路	154
第八章	典型液压传动系统	162
第一节	YT4543 动力滑台液压系统	162
第二节	M1432A 型万能外圆磨床液压系统	165
第三节	Q2-8 型汽车起重机液压系统	174
第四节	YB32-300 型四柱万能液压机液压系统	178
第五节	SZ-250A 型注塑机液压系统	182
第六节	CB3463-1 型半自动转塔车床的液压系统	186
第九章	液压传动系统的设计与计算	198
第一节	设计要求与运动负载分析	198
第二节	执行元件主要参数的确定	201
第三节	拟定液压系统原理图	204
第四节	液压元件的计算和选择	205
第五节	验算液压系统的技术性能	207
第六节	绘制正式工作图和编写技术文件	209
第七节	液压系统设计计算举例	209
第十章	液压伺服系统	218
第一节	概述	218
第二节	典型的液压伺服控制元件	221
第三节	电液伺服阀	224
第四节	微机电液控制技术	226
第十一章	液体静压支承技术	230
第一节	静压轴承	230
第二节	静压导轨	242

第十二章	液压系统的故障诊断技术.....	246
第一节	液压系统的故障诊断方法	246
第二节	液压系统的故障诊断手段	249
第十三章	液压系统的使用、维护及故障分析	256
第一节	液压系统的安装和调试	256
第二节	液压系统的使用与维护	260
第三节	液压系统的故障分析和故障排除方法.....	262
附录	常用液压系统图形符号(摘自 GB786—76)	272
参考文献		282

第一章 概 论

第一节 液压传动的工作原理

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，即是本书所要讨论的内容。

下面以一个简单的例子来说明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

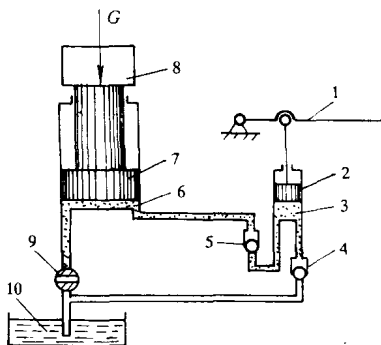


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

- 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

用手向上提起杠杆 1 时，小活塞 2 被带动上升，于是小液压缸 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 将进入大液压缸 6 的通路关闭，油池 10 中的油液就在大气压力的作

压下推开钢球 4 沿吸油孔道进入小液压缸的下腔，完成一次吸油动作；接着，压下杠杆 1，小活塞下移，小液压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，小液压缸下腔的压力油就推开钢球 5 挤入大液压缸 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（质量为 G ）不断升起，达到起重的目的。

若将放油阀 9 旋转 90° ，则在重物 8 的自重作用下，大液压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可变化的密封容积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，然后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

一、液压传动系统的组成

图 1-2 为某专用机床液压系统的结构原理图。液压缸 4 固定在床身上，活塞杆 7 和工作台 6 刚性连接。图示位置电磁铁 2 通电，将换向阀 3 的阀芯 10 推向右边。液压泵 12 把油箱 14 中的油液经滤油器 13 吸入液压泵内，然后通过管道经换向阀进入液压缸左腔，推动活塞 5 和工作台 6 向右运动，液压缸右腔油液经节流阀 8 和换向阀流回油箱。在此情况下，如果调节节流阀 8 的开口大小，即可改变工作台向右运动的速度。当电磁铁 2 断电电磁铁 11 通电时，换向阀的阀芯 10 被推向左边，使进入液压缸的油液换向，液压泵排出的油液经换向阀和单向阀 9 进入液压缸右腔，推动活塞和工作台向左运动，液压缸左腔油液经换向阀流回油箱。当两个电磁铁都断电时，阀芯 10 位于中位将进回油口堵死，工作台停止运动。此时，液压泵排出油液的压力将高于溢流阀 1 所调定的压力，于是，油液便经溢流阀和回油管流回油箱。溢流阀起调压或限压作用。

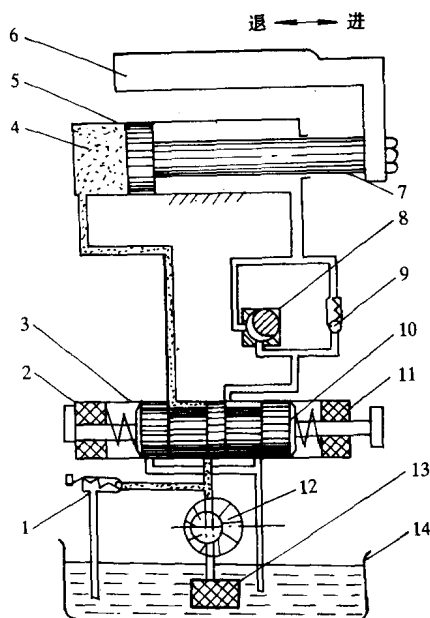


图 1-2 专用机床液压系统结构原理图

1—溢流阀；2、11—电磁铁；3—换向阀；4—液压缸；5—活塞；
6—工作台；7—活塞杆；8—节流阀；9—单向阀；10—阀芯；
12—液压泵；13—滤油器；14—油箱

从上述专用机床工作台的工作情况可以看出，一个液压系统通常由以下几部分组成：

（1）动力元件，即图 1-2 中的液压泵 12，它使动力部分（电机或其他原动机）所输出的机械能转换成液压能，给液压系统提供压力油。

（2）执行元件，即图 1-2 中的液压缸 4（或是作回转运动的液压马达），它使液压能转换成机械能。

（3）控制元件，即图 1-2 中所示的换向阀 3、节流阀 8、溢流阀 1 等。通过这些阀可以控制和调节液流的方向、流量和压力，从而改变执行元件的运动方向、运动速度和作用力（或转矩）大小。

(4) 辅助元件, 即图 1-2 中的油管、油箱和滤油器等。辅助元件是组成液压系统必不可少的元件, 对保证液压系统可靠地工作起重要作用。

(5) 工作介质, 即液压油。机床液压系统多数采用矿物油作为工作介质。

二、液压系统图的图形符号

在图 1-2 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 1-2 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 1-3 所示。图中的符号只表示元件的职能和连接通路, 并不表示各元件的具体结构和参数, 不表示系统管路具体位置和元件安装位置。图中序号的意义与图 1-2 相同。常用的液压系统图图形符号见本书附录。

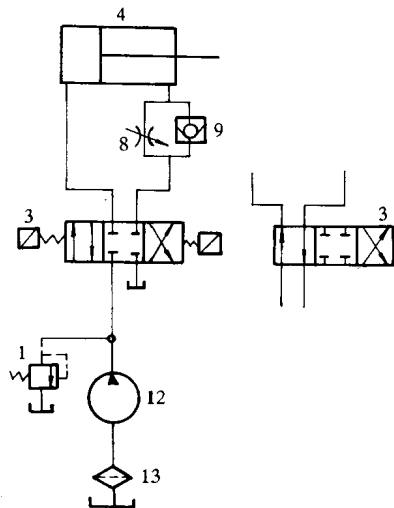


图 1-3 专用机床液压系统职能符号

第三节 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比，有以下一些优点：

(1) 能在较大的范围内比较方便地实现无级调速。调速范围一般可达 $100:1$ 至 $2000:1$ 。

(2) 在相同功率情况下，液压传动能量转换元件的体积较小，质量较轻。

(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有：

(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），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。

总地来看，液压传动的优点很多，随着科学技术的不断发展，有些缺点会逐步被克服。

液压传动由于具有上述一系列长处，因此，在国民经济各个部门中获得了广泛的应用。如在航海机械、航空机械、工程机械、农业机械、轻工机械等多方面都广泛地使用了液压传动。在机床上的应用主要有以下几个方面：

(1) 进给运动，如车床、自动车床刀架的进给，组合机床动力头、动力滑台的进给等。液压传动能满足所要求的调速范围，并

能实现无级调速。

(2) 主体运动，如牛头刨床或插床的滑枕，采用液压传动可实现滑枕的往复运动；也可用于自动车床、数控机床等的主轴旋转运动。

(3) 仿形装置，如车床、铣床上的仿形加工，可以采用液压伺服系统来实现。

(4) 数控机床。该机床上工作台的直线或回转步进运动，可以用电液脉冲马达及电液伺服阀等电液伺服装置实现。

(5) 静压支承。静压支承已应用于重型机床和高速机床的轴承、导轨和丝杆上，以获得平稳工作和较高的运动精度。

液压传动与电气控制相结合，是目前实现各种机械自动化的主要手段，也是机、电、液一体化技术的发展方向，因而具有更加广阔的应用前景。

第二章 液压流体力学基础

流体力学是研究流体平衡、运动及与固体相互作用规律的力学分支。液压流体力学研究对象是液体平衡和运动规律的一门学科。本章主要介绍与液压传动有关的流体力学内容。

第一节 液压油

液压油是液压传动的工作介质，液压油的性质与流体力学的特性关系密切，因而对液压传动的性能影响很大。本节主要介绍液压油的主要物理性质。

一、液压油的性质

(一) 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度，用 ρ 表示，液压油的密度 $\rho = 880 \sim 920 \text{ kg/m}^3$ 。

密度是液体的一个重要的物理参数。液体的密度随压力和温度的变化而变化，压力增高，密度增大；温度升高，密度减小。在一般工作条件下，这种变化很小，可以忽略不计。

(二) 可压缩性

液体分子间有一定间隙，液体受压后体积会减小。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。表征液体可压缩性的是压缩系数 k 。当液体的体积为 V 、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即为 k ，其大小为：

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

由于压力增大时，液体的体积减小，为使 k 为正值，故而式 2-1 中出现一负号。

液体压缩系数 k 的倒数称为液体的体积模量，以 K 表示，即

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

K 表示产生单位体积相对变化量所需的压力增量, K 的大小说明了液体抵抗压缩能力的大小。

在常温、常压下, 纯净油液的体积模量 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{MPa}$, 数值很大, 液体的压缩性很小, 可认为不可压缩, 所以一般情况下, 把液体看成“柔软刚体”。但在高压及研究液压系统的动态性能时, 则不能忽略液体的可压缩性。

当液压油中混入空气时, 液体的抗压缩能力将显著降低, 所以在实际使用时, 应力求减少油液中混入的气体及其他易挥发物质。在进行液压系统的动态计算时, 由于液压系统中不可避免地存在一定量的气体, 所以液压油的体积模量 K 取 $0.7 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

(三) 粘性

1. 粘性

液体在外力作用下流动时, 液体分子间的内聚力要产生一种阻碍液体分子间相对运动的内摩擦力, 液体流动时所具有的这种性质称为液体的粘性 (图 2-1)。

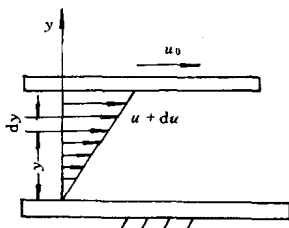


图 2-1 液体的粘性

如图 2-1 所示, 设距离很近的两平行平板间充满液体, 上平板以速度 u_0 向右平移, 下平板不动。液体的内摩擦力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。紧贴于上平板的液体层速度为 u_0 , 紧贴下平板的液体层速度为零, 而中间各层液体的速度则如图 2-1 中所示按线性规律分布。

据研究, 液体流动时, 相邻两液层间的内摩擦力 F 与液层的接触面积 A 和液层间的速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比, 即

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

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

式中 μ ——比例常数，又称为动力粘度，也可称为液体内摩擦系数；

τ ——单位面积上的内摩擦切应力，式 2-4 又称为牛顿内摩擦定律。

由上式可知，液体为静止液体时，速度梯度 $\frac{du}{dy}=0$ ，内摩擦力为零，即静止液体无粘性。

2. 粘度

用以表示液体粘性大小的物理量称为粘度。

常用的粘度有三种，即动力粘度、运动粘度和相对粘度。

动力粘度即液体内摩擦系数，又称绝对粘度。

由式 2-4 知动力粘度实际上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。在我国，动力粘度 μ 的法定计量单位是帕斯卡秒 (Pa·s)。

液体动力粘度与液体密度之比称为运动粘度，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

运动粘度单位中只含运动参数， ν 无物理意义，其法定计量单位为二次方米每秒 (m²/s)。ISO 规定统一采用某一温度下的运动粘度表示油液的粘度。我国生产的机械油和液压油新的标准采用 40℃ 时的运动粘度为其牌号（如 N32 号液压油，是指这种油在 40℃ 时的运动粘度平均值为 32mm²/s）。

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。由于测量条件的差异，各国采用的条件粘度也不同。我国、前苏联、德国采用的是恩氏粘度 (°E)，美国采用赛氏粘度 (SSU)，英国采用雷氏粘度 (R)。各种相对粘度和运动粘度间有相应的换算关系，具体内容可参阅有关资料。

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，使液体内聚力减小，

Figure 1 is a graph showing the relationship between kinematic viscosity (mm²/s) and temperature (°C) for various grades of mechanical and aviation oils. The graph includes curves for 10, 20, 30, 40, and 50 grades of mechanical oil, and 10, 22, 30, and 46 grades of aviation oil. The y-axis has multiple scales for different units, and the x-axis shows temperature from 0 to 100°C.

液压油的粘温特性除了用粘温曲线表示外,还可以用粘度指数 VI 来衡量。粘度指数 VI 值越大,则表示油液粘温特性越好,粘温曲线越平缓。一般液压油的粘度指数要求在 90 以上,优异的在 100 以上。

液压油还有其他一些物理化学性质，如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、导热性、相容性以及纯净性等。对于不同品种的液压油，其各种性质的指标也不相同，具体可见油类产品手册。