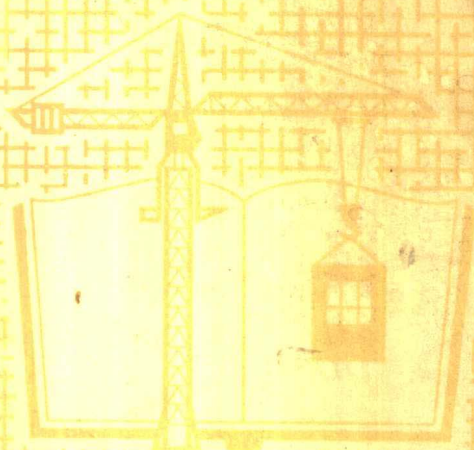


建筑工程液压技术

重庆建筑工程学院
南京工学院编
同济大学



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

建筑工程液压技术

重庆建筑工程学院

南京工学院 编

同济大学

1

中国建筑工业出版社

全书共分十三章。内容包括流体力学基本知识, 液压元件的工作原理、结构、性能分析及选型, 有关元件和液压系统的设计计算; 并对液压伺服系统、液体静压技术及系统安装调试等做了介绍。

本书是为建工类高等学校机械设备安装工程、建筑工程材料与制品及工业与民用建筑等专业编写的试用教材, 也可供建设部门的工程技术人员参考。

高等学校试用教材
建筑工程液压技术
重庆建筑工程学院
南京工学院编
同济大学

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*
开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 19%字数: 479 千字
1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷
印数: 1— 5,500册 定价: 2.05元
统一书号: 15040·4359

前 言

根据高等院校机械设备安装工程和建筑工程材料与制品专业的《液压传动》教学大纲并参照工业与民用建筑、制品工艺设备自动化、采暖通风、给水排水和环境保护等专业的需要，我们编写了这本试用教材。

本教材主要讲述液压传动的工作原理、结构特点和有关选用及设计计算方法，以期通过学习结合具体条件能够解决建筑工程中液压技术的有关生产和设计问题。

本教材内容包括流体力学基本知识，液压元件的工作原理、结构、性能分析及选型；有关元件与系统的设计计算，并对液压系统基本回路、液压伺服系统、液体静压技术及系统的安装、调试等作了介绍。

本教材编写人员是：重庆建筑工程学院孙正培、张传福、吴其万，南京工学院金祖泉、戴靖东，同济大学孙红蓼。并由甘肃工业大学谷振云，重庆建筑工程学院王铁荪进行审阅。

在教材编写过程中曾得到甘肃工业大学液压教研室、同济大学机械系的热情帮助和大力支持，上海交通大学、武汉建筑材料工业学院、辽宁建筑工程学院及哈尔滨建筑工程学院的有关同志也给了我们指导和帮助；还得到四川、江苏、上海等地建筑工程系统不少单位的支持，借此表示衷心感谢。由于编者水平有限，书中一定存在不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编者

1982年2月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 液压技术的发展概况	1
第二节 液压传动的基本概念	1
一、液压传动的基本工作原理 二、液压系统的组成 三、液压传动的主要优缺点	
第二章 液压传动的工作介质——液压油	7
第一节 液压油的分类及基本要求	7
一、对液压油的基本要求 二、液压油的分类	
第二节 液压油的物理化学性质	8
一、密度、重度和比重 二、压缩性、体积弹性系数和热膨胀性 三、比热、导热系数 四、油的粘度 五、液压油的稳定性 六、液压油的防火性能	
第三节 液压油的添加剂	17
一、改善基础油物理性质的添加剂 二、改善基础油化学性质的添加剂 三、添加剂的选用原则	
第四节 液压油的性能及选择	19
一、常用液压油的性能 二、液压油的选择	
第三章 液压流体力学	22
第一节 作用在液体上的力	22
一、液压油的力学模型 二、作用于液体上的力	
第二节 静止液体的力学性质	23
一、静压力及其特性 二、静止液体的基本方程 三、压力的计量及单位 四、巴斯加原理 五、液压油作用在固体壁面上的总压力	
第三节 流动液体和连续性方程	29
一、流动液体的基本概念 二、液流的连续方程	
第四节 伯努利方程	31
第五节 液流的动量方程	34
一、液流的动量方程式 二、动量方程的应用举例	
第六节 液体的流态和压力损失	37
一、两种流态和雷诺数 二、液体流动的压力损失	
第七节 液体流经小孔的流量	41
一、液体流经薄壁小孔的流量 二、液体流经细长小孔的流量	
第八节 液体流经缝隙的流量	43
一、流经平面平行缝隙的流量 二、流经环形缝隙的流量 三、流经两倾斜壁面缝隙间的流量 四、流经平行圆盘放射性流动的流量	
第九节 液压冲击与空穴现象	50
一、液压冲击 二、空穴与气蚀现象	

第四章 液压泵和液压马达	55
第一节 液压泵和液压马达的工作原理及基本参数	55
一、液压泵和液压马达的工作原理 二、液压泵和液压马达的基本参数	
第二节 齿轮泵和齿轮马达	58
一、齿轮泵的工作原理 二、CB-B型齿轮泵 三、中高压齿轮泵的结构特点 四、 齿轮泵的流量计算 五、齿轮马达的工作原理和结构特点 六、内啮合齿轮泵	
第三节 摆线转子泵和螺杆泵的工作原理	68
一、摆线转子泵的工作原理 二、螺杆泵的工作原理	
第四节 叶片泵和叶片马达	70
一、单作用叶片泵 二、变量叶片泵 三、双作用叶片泵 四、叶片马达	
第五节 轴向柱塞泵和轴向柱塞马达	80
一、斜盘式轴向柱塞泵 二、斜盘式轴向柱塞马达 三、斜轴式轴向柱塞泵和马达	
第六节 径向柱塞式低速大扭矩马达	92
一、曲轴连杆式低速大扭矩马达 二、静力平衡式低速大扭矩马达 三、内曲线多 作用马达	
第五章 液压缸	101
第一节 液压缸的类型与结构	101
一、液压缸的分类 二、液压缸的工作原理 三、液压缸的典型结构 四、液压缸各 组成部分的结构	
第二节 液压缸的设计计算	111
一、根据负载和工作压力确定液压缸的内径 D 和活塞杆直径 d 二、液压缸壁厚的计 算 三、活塞杆强度和稳定性验算 四、液压缸计算举例	
第三节 液压缸的性能	115
一、最低动作压力 二、外部泄漏 三、内部泄漏 四、缓冲性能 五、耐压性能	
第四节 摆动缸、多级缸及特殊液压缸	117
一、串联液压缸 二、增压液压缸(增压器) 三、伸缩套筒式液压缸(多级缸) 四、齿条活塞式液压缸 五、摆动液压缸	
第六章 液压控制阀	120
第一节 方向控制阀	120
一、单向阀 二、换向阀	
第二节 压力控制阀	130
一、溢流阀 二、减压阀 三、顺序阀	
第三节 流量控制阀	139
一、节流阀 二、调速阀 三、节流阀的温度补偿 四、分流、集流阀	
第四节 多路换向阀	148
第五节 比例控制阀	149
一、手动控制比例阀 二、电液比例控制阀	
第七章 辅助装置及密封件	157
第一节 密封件	157
一、间隙密封 二、O形密封圈 三、唇形密封圈 四、活塞环	
第二节 油管和管接头	164
一、油管 二、管接头	

第三节	油箱和热交换器	168
一、	油箱	
二、	热交换器	
第四节	滤油器	170
一、	滤油器的主要性能要求	
二、	滤油器的种类与结构	
三、	滤油器的选用和计算	
四、	滤油器在系统中的安装位置	
第五节	蓄能器	175
一、	蓄能器的作用及应用	
二、	蓄能器的种类	
第六节	压力继电器、压力表及其开关	178
一、	压力继电器	
二、	压力表	
三、	压力表开关	
第八章	液压基本回路	180
第一节	压力控制回路	180
一、	调压回路	
二、	减压回路	
三、	增压回路	
四、	卸荷回路	
第二节	速度控制回路	185
一、	速度调节回路	
二、	限速回路	
三、	速度换接回路	
四、	制动回路	
第三节	方向控制回路	200
一、	换向回路	
二、	锁紧回路	
第四节	多缸配合工作回路	203
一、	顺序动作回路	
二、	同步回路	
第九章	建筑工程典型液压系统	208
第一节	液压系统图的阅读和分析方法	208
一、	阅读液压系统图的步骤和分析方法	
二、	液压系统图阅读和分析举例	
第二节	建筑施工机械常见液压系统	212
一、	滑升模板的液压系统	
二、	Q ₂ -5型汽车起重机液压系统	
三、	ZL50型装载机液压系统	
第三节	建筑制品机械常见液压系统	222
一、	自动化连续生产混凝土蒸养立窑液压系统	
二、	汽车式混凝土搅拌运输车液压系统	
三、	固定式空心砌块成型机液压系统	
四、	加气混凝土翻转切割机液压系统	
第四节	机械设备安装工程常见液压系统	227
一、	ZW529中频液压弯管机的液压系统	
二、	剪板机的液压系统	
三、	M7150A平面磨床液压系统	
四、	BY2016龙门刨床液压系统	
第十章	液压传动系统的设计计算	236
第一节	液压传动系统的设计原则与性能指标	236
第二节	液压传动系统的设计步骤与计算方法	238
一、	明确液压系统的设计要求	
二、	确定液压系统方案,拟定液压系统原理简图	
三、	液压元件主要参数的计算与选择设计	
四、	液压系统的验算	
五、	绘制正式工作图,编制技术文件	
第三节	液压传动系统的设计计算举例	253
一、	中频弯管机液压传动系统的设计计算	253
第十一章	液压伺服系统	256
第一节	液压伺服系统的工作原理和组成	256
一、	液压伺服系统的工作原理	
二、	液压伺服系统的组成	
第二节	阀控液压伺服系统	257

一、滑阀式液压伺服系统	二、射流管式液压伺服系统	三、喷嘴-挡板式液压伺服系统	四、转阀式液压伺服系统
第三节 伺服滑阀的特性	.....261		
一、滑阀的开口形式	二、阀口流量-压力特性	三、滑阀的压力-流量特性	四、滑阀的阀系数
第四节 电液伺服阀	.....265		
一、电液伺服阀的工作原理	二、电液伺服阀的静特性和动特性	三、QDY系列电液伺服阀	四、电液伺服阀的几个基本回路
五、电液伺服阀的使用和维护			
第五节 液压伺服系统应用举例	.....271		
一、变量泵手动伺服机构	二、大型机床工作台移动的伺服机构	三、液压转向装置	四、车床液压仿形刀架
第六节 液压伺服系统的特性	.....274		
一、液压伺服系统的静特性	二、液压伺服系统的稳定性		
第十二章 液体静压技术	.....279		
第一节 液体静压支承的特点及应用	.....279		
一、液体静压支承的特点	二、液体静压支承的应用		
第二节 液体静压轴承	.....280		
一、液体静压轴承的特点与类型	二、液体静压轴承的工作原理	三、液体静压轴承结构形式的发展	四、动静压混合作用轴承
第三节 液体静压导轨	.....288		
一、液体静压导轨的工作原理和分类	二、液体静压导轨的结构和应用		
第四节 液体静压丝杆-螺母副	.....291		
一、液体静压丝杆-螺母副的工作原理	二、液体静压丝杆-螺母副的结构特点		
第十三章 液压系统的安装与调试	.....294		
第一节 液压系统的安装	.....294		
一、液压管道的安装	二、液压元件的安装		
第二节 液压系统的清洗及试压	.....297		
一、液压系统的清洗	二、液压系统的试压		
第三节 液压系统的调试	.....299		
一、液压系统调试的准备	二、液压系统的调试		
附录	.....302		
附录 I 液压图形符号(摘自GB786-76)	.....302		
附录 II 国际制(SI)单位及其换算	.....306		
(一) 液压传动中常用的国际制(SI)单位	(二) 常用国际制(SI)词冠	(三)	
液压传动中与国际制并用的常用单位	(四) 液压传动中暂时与国际单位制并用的单位		

第一章 绪 论

第一节 液压技术的发展概况

液压传动是在水力学、工程力学和机械制造技术基础上发展起来的一门应用技术。从1795年英国制成第一台水压机算起，液压技术进入工程领域至今已有180多年的历史了。在19世纪末德国制造了液压龙门刨床，美国制造了液压六角车床及液压磨床，但因那时没有较成熟的液压元件而使液压技术未能得到普遍应用。20世纪初，由于人造金刚砂和磨料的出现，以及精研加工工艺的成熟，为液压元件向高精度、高压、高效率方面的发展开辟了广阔前景。第一次世界大战及第二次世界大战期间液压技术主要被采用在军事装置上。二次大战后由于控制理论的发展，油液性能的完善和液压元件结构的不断改进，使液压传动装置在效率、可靠性等性能指标上大大提高，因而液压传动与液压控制得到了飞速发展。液压技术开始进入各行各业，特别是最近二、三十年以来液压技术在工业中的应用更是愈益广泛。

在我国从1952年开始为有关磨床生产配套的液压元件，1956年成立的组合机床研究所生产了我国第一台液压传动组合机床。1966年组织的液压元件联合设计组，拟定了液压元件的型谱，设计了部分基型。60年代末开始生产起重、挖掘等液压工程机械。

目前我国的液压技术处于普及和发展阶段。从事液压技术的生产和研究单位正在不断增加，新型的液压产品——机床、工程机械、起重运输机械等大量涌现。液压技术在机械制造、冶金、造船、石油化工、纺织及其它轻工业部门得到广泛应用。

在建筑工程中，液压技术也同样地得到推广使用。近年来不少工厂、工地已将液压技术应用于现场施工中的起重运输、挖掘铲土、凿眼打桩、平地压路以及滑模升板等各个方面。机械设备安装工程施工中亦广泛使用着液压弯管机、液压剪板机、液压起重机和各种液压机床。建筑材料制品工厂中则将液压技术应用于建筑构、配件的顶升、推移、堆垛；砌块的成型、脱模和输送；钢筋的剪切、冷拉、弯曲和焊接；以及制品的切割和材料的装卸等工序和操作环节上。液压技术的普及提高了建筑工程机械化、自动化程度，减轻了繁重的体力劳动，提高了劳动生产率。

今后液压技术还将在建筑工程中获得更大的发展。

第二节 液压传动的基本概念

用液体作为工作介质进行能量的传递，称为液体传动。

液体传动按其工作原理的不同，又可分为容积式液体传动和动力式液体传动两大类。两者的根本区别在于：前者是以液体的压力能进行工作，而后者是以液体的动能进行工作。通常将前者称为液压传动，而后者称为液力传动。

图1-1所示是液压传动的示意图。原动机的动力输入到液压传动装置，液压传动装置转换、传递和分配原动机的能量并将运动给予工作机（图中箭头所示表示液流方向）。

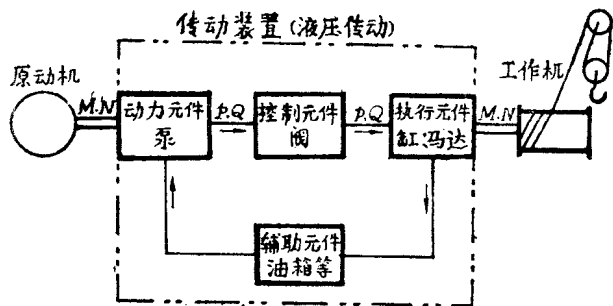


图 1-1 液压传动示意图

受力并向下移动时，小液缸排出的液体进入大液缸，因为假定液体不可压缩，故同样容积的液体使大活塞提升并推动负载做功。

从能量转换角度来看，小液缸是把小活塞作用的机械能转换成液体的液压能（压力、流量），大液缸则把这个液压能又重新转换成负载的机械能。在液压传动中，凡是把机械能转换成液压能的装置都称为液压泵，而把液压能转换成机械能的装置称为液动机（液缸、液压马达）。以液体作为介质，将液压泵和液动机再配以各种用途的阀件、油箱、油管等附件即可组成各种液压传动装置。如果在图1-2(a)的原理上增加油箱3、两个单向阀4、5，截止阀6和连接油管等，就构成了液压千斤顶的工作原理图(图1-2b)。当关闭截止阀6时，它能在小活塞上下连续动作时把大活塞不断提升，从而起到举升重物的作用。

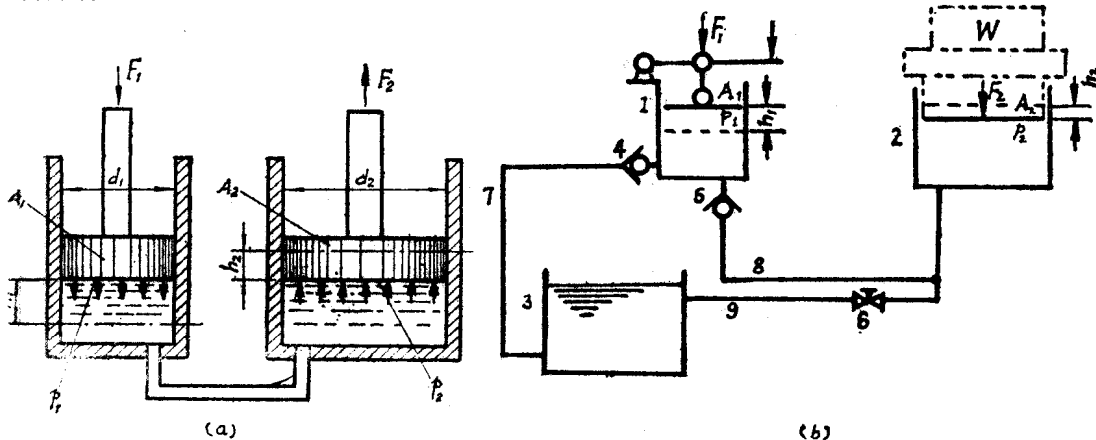


图 1-2 液压传动工作原理

液压千斤顶的工作原理具有两个主要工作特征。

1. 第一个工作特征。力（或力矩）的传递靠液体压力来实现。

如图1-2(b)所示，当手摇液压泵1的活塞向上运动时，缸体内的容积增大，压力降低形成真空，于是排油阀5关闭，吸油阀4开启，油液便在大气压力作用下从油箱3经管道7进入泵内；而当液压泵1的活塞向下运动时，缸体内的容积减小，于是被挤压的油

液将吸油阀 4 关闭，把排油阀 5 开启，压力油液经管道 8 进入液压缸 2 的缸体，克服外部负载 F_2 ，将放有重物 W 的活塞抬起。手摇泵 1 的活塞不断上下往复运动，外部负载就不断被抬高。当外部负载上升到所需高度时，停止手摇泵 1 活塞的运动，排油阀 5 关闭，液压缸 2 缸体内的液体被封死，其活塞也就停止不动。此时截止阀 6 处于关闭状态。

开启截止阀 6，液压缸 2 内的油液便经管道 9 流回油箱 3，于是活塞回到原始位置。

从上述液压千斤顶工作过程中，可以看到力从手摇泵 1 的活塞传到液压缸 2 的活塞是通过液体进行的。因此，活塞对液体有力的作用，单位面积上所受的力称为液体的工作压力。如果以 p_1 、 A_1 、 F_1 分别表示液压泵的工作压力、活塞面积和活塞上所受的力，以 p_2 、 A_2 、 F_2 表示液压缸的工作压力、活塞面积和活塞上所受的力。在液压泵活塞推动下，从液压泵中被压送出来的液体经过管道进入液压缸，则有 $p_1 = p_2$ ，并令 $p_1 = p_2 = p$ 。当忽略液压泵、液压缸以及整个液压系统中的损失，则有：

$$F_1 = p_1 A_1 = p A_1 \quad (1-1)$$

$$F_2 = p_2 A_2 = p A_2 = \frac{F_1}{A_1} A_2 \quad (1-2)$$

该式即为忽略系统损失时力传递的基本方程式。液压泵所产生的液体压力的高低是随液压缸的外负载而变化的，即 p 值由 F_2 所决定。反之，额定负载 F_2 已知，当选定合适的工作压力 p 后就能计算出液压缸所需的活塞面积 A_2 。

2. 第二个工作特征。运动速度的传递靠液体容积变化相等的原则进行。

在图 1-2 中假设液体是不可压缩的，从液压泵至液压缸的泄漏忽略不计，液压泵排出的液体容积等于流进液压缸的液体容积，则

$$h_1 A_1 = h_2 A_2 = V$$

式中 h_1 、 h_2 ——分别为液压泵、液压缸的活塞行程，米；

V ——液体容积，米³。

等式两边都除以时间 t ，得

$$\frac{h_1}{t} A_1 = \frac{h_2}{t} A_2$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q \quad (1-3)$$

式中 t ——时间，秒；

v_1 、 v_2 ——分别为液压泵、液压缸活塞移动速度，米/秒；

Q ——流量，米³/秒。

该式即为忽略系统泄漏时运动速度传递的基本方程式。可见，当连续调节液压泵的流量 Q ，就可获得连续变化的液压缸速度 v_2 ，因而液压传动能够实现无级调速。

根据上述两个工作特征可以看出，液压传动所传递的力与速度可以是无关的。因此，理论上液压传动可以用来实现与负载无关的任意运动规律。

在液压系统中，易于实现对液体压力、流量和流动方向的控制，从而易于实现对输出力、速度和运动方向的控制。所以，液压传动这门技术不仅在传动上，而且在控制上获得了广泛的应用。

二、液压系统的组成

从液压千斤顶的工作原理可知，液压系统由四部分组成：

1. 动力元件——液压泵（图 1-2 b 中的手摇泵 1）。其职能是将机械能转换为液体的

压力能。

2. 控制调节元件——各种阀在液压系统中控制和调节各部分液体的压力、流量和方向，以满足机械的工作要求，完成一定的工作循环。图1-2(b) 液压千斤顶中的单向阀4和5就是控制液流方向的。而截止阀6用于控制液压缸和油箱间油路的开、闭，当开启阀6时液压缸中的油液便流回油箱，重物即可随同活塞一起下降。阀6还可控制液流的流量，从而控制重物下降速度的快慢。

3. 执行元件——液动机。它将液体的压力能转换为机械能。包括带动负载作旋转运动的液压马达和带动负载作往复运动的液压缸。图1-2(b) 中的液压缸2就是液压千斤顶的执行元件。

4. 辅助元件。它包括油箱、滤油器、蓄能器、油管及管接头、密封件、冷却器、压力继电器及各种检测仪表等。

图1-3、1-4所示为机床液压系统，其中图1-3是它的结构图，图1-4是用半结构符号表示的原理简图。

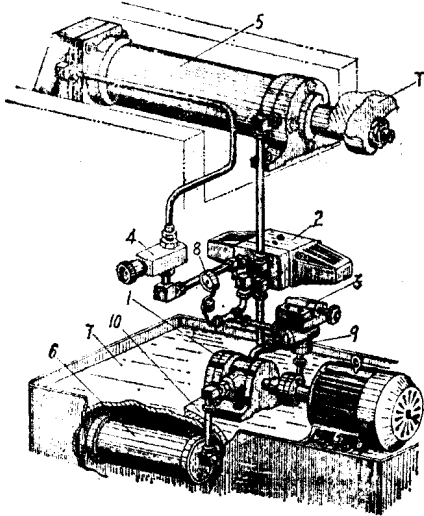


图 1-3 液压系统结构图

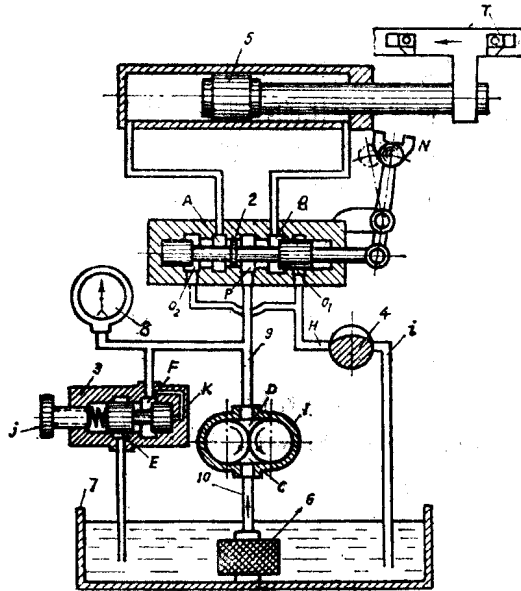


图 1-4 液压系统半结构符号原理图

该液压系统亦是由动力元件（液压泵1），控制调节元件（换向阀2、溢流阀3、节流阀4），执行元件（液压缸5），辅助元件（滤油器6、油箱7、压力表8、油管9、10）等四部分所组成。

电动机带动液压泵1从油箱7中通过滤油器6及吸油管10吸油，以较高的油压将油输出，这样，液压泵就把发动机的机械能转换成液压油的压力能。压力油经过油管9及换向阀2中的油液通道进入液压缸5，使液压缸的活塞杆伸缩，带动机床的工作台T沿着机床床身的导轨往复移动，这样，液压缸就把压力油的压力能转换成移动工作台的机械能。换向阀2的作用是控制液流的方向。

溢流阀3用于维持液压系统压力近似恒定。工作台T的速度改变由可调节流阀4来控制。

油箱7用于储存油液并散热，滤油器6的作用是滤去液压油中的杂质，压力表8用以

观察系统压力。

一般建筑工程上施工设备的动作是很复杂的，而这些动作都要求由适当的液压元件组成相应的液压系统去实现，但无论什么样复杂的液压系统均由上述四大部分所组成。

液压系统图的图形符号有半结构式和职能式两种，图1-4所示的机床液压系统图，其液压元件都用它们的半结构原理简图表示，此称断面结构系统图。这种系统图直观性强，元件结构和动作原理容易理解，但是图形比较复杂，绘制和使用都很不便。为了简化起见，通常采用职能符号表示的液压系统图。在这种系统图中以各种符号表示元件的职能，附录中列出了我国目前采用的液压系统图图形符号。图1-5是用规定的图形符号表示图1-4所示的机床液压系统图。

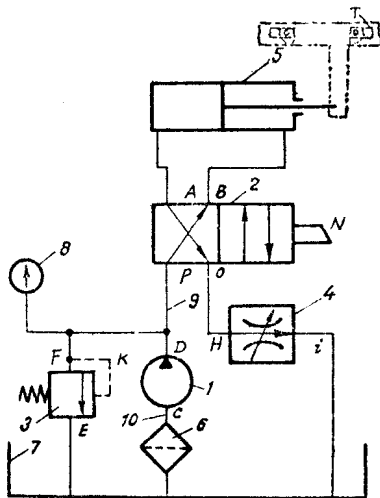


图 1-5 机床液压系统图

现行的液压系统图图形符号只表示元件的职能和连接通路、不表示元件的具体结构和参数，也不表示从一个工作状态转到另一个工作状态的过渡过程。系统图只表示各元件的连接关系，而不表示系统布管的具体位置或元件在机器中的实际安装位置。系统图中的符号通常均以元件的静止位置或零位置表示，例如图1-5中的换向阀有两个位置，在系统图中一般以活塞杆缩回的静止位置表示。当需要标明元件的名称、型号和参数时，一般在系统图的零件表中说明，必要时可注在元件符号的旁边。对于标准中没有规定的图形符号，可以根据标准的原则和所列图例的规律进行派生，当无法直接引用或派生时，或者有必要特别说明系统中某一元件的结构及动作原理时，允许局部采用结构简图表示。

三、液压传动的主要优缺点

液压传动与机械传动、电力传动、气压传动等其它传动形式相比较，有如下主要优点：

1. 能够获得很大的力或力矩。一个内径为30厘米的液压缸，当其油液压力为140公斤/厘米²时，活塞上便可产生近100吨的推力。这在建筑工程中对于减轻繁重体力劳动和提高劳动生产率有着重要意义。低速大扭矩液压马达可实现低速的大力矩传动，无需减速器。
2. 易于实现直线往复运动或摆动，以直接驱动工作装置。
3. 能在很大的调速范围内实现无级变速。当采用节流调速时，结构简单，成本低廉，调速范围可达200以上，而这在电力和机械调速中是较难达到的。
4. 重量轻、结构紧凑、惯性小。起重量为5吨的液压起重机，每台可比机械传动型式的减轻自重约3~5吨。相同功率的液压马达的体积为电动机的12~13%。当液压泵的转速为2500~3000转/分，压力为200~250公斤/厘米²时，液压泵的单位功率重量为0.15~0.2公斤/千瓦，而发电机则为1.5~2公斤/千瓦。
5. 传递运动均匀平稳，负载变化时速度较稳定。由于这一特点，金属切削机床中的磨床现在大都采用液压传动。
6. 操纵简单，便于实现自动化。特别是液压传动与电力传动联合应用时，能够充分发

挥两者的优点，易于实现各种复杂的自动工作循环。

7.借助于设置溢流阀等，易于实现系统的过载保护。

8.与机械传动相比易于布局及安置。液压传动用管道输送压力油，在不太长的距离内输送能量比较方便，液压元件的安装位置有较大的灵活性。

9.液压元件能自行润滑，磨损小、寿命长。液压传动工作介质的本身就是润滑油，可使各液压元件自行润滑，因而简化了机械的维护保养，并有利于延长元件的使用寿命。

10.液压元件易于实现标准化、系列化、通用化，便于组织专业性大批量生产，从而提高生产率、提高产品质量、降低成本，便于推广使用。

液压传动的缺点：

- (1) 液压油的泄漏影响运动的平稳性和正确性；
- (2) 温度变化时油的粘度发生变化，引起运动特性的变化；
- (3) 液压元件的配合件制造精度要求较高，加工工艺较困难，制造成本比较高；
- (4) 由于液体流动中有液压损失，故不适用于远距离传动。

第二章 液压传动的工作介质——液压油

液压油是液压系统的重要组成环节之一。任何液压设备，如果不能正确地选用液压油，就不能更好地发挥设备的使用效能。液压油的选用不合理或保养不慎，不仅会降低机器和装置的效率、增大动力消耗，而且也会降低液压元件的使用寿命，使有相对滑动的零件早期磨损、烧附或损坏。随着液压元件的精密化和高性能化，在液压油的品种和组成愈来愈多的情况下，对液压油的专门研究和正确选用更显得特别重要。

本章从液压技术的实用要求出发，介绍液压油的物理、化学性质，液压油的添加剂，液压油的各种使用性能，液压油的选用原则和保养方法。

第一节 液压油的分类及基本要求

一、对液压油的基本要求

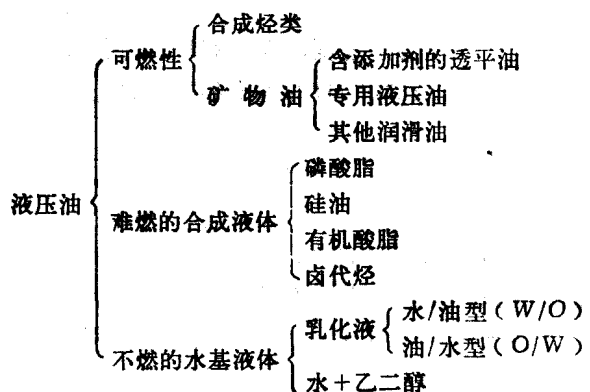
在液压系统中使用的液压油，应能适应传动时压力、速度、温度的变化，而保持其性能的稳定性。一般说来，液压油应满足下列要求：

1. 质量纯净，不含机械杂质及酸碱，以免堵塞管路、腐蚀金属材料及密封装置。
2. 具有适宜的粘度和良好的粘温特性。在使用温度范围内，工作油的粘度随温度的变化应小，并能在零件的相对滑动表面上形成强度较高的油膜，获得良好的润滑效果。
3. 具有高度的化学稳定性。在使用和长期贮存中，不易氧化变质，不析出胶质沉淀物；无毒性和臭味；并具有防锈性能。
4. 具有良好的抗乳化性和抗泡沫性。油中含水量不得超过 0.025%，并且有一定的消泡能力。

5. 应满足防火、防冻、机械剪切安定性和核辐射安定性的要求。在需防火的地方，油的闪点要高，在寒冷处，油的凝固点要低，油液通过泵、阀、微孔时，都要受到剧烈的剪切作用，故应具有一定的抗剪切安定性，以防止过大的粘度损失；油液在核反应堆的大功率核辐射作用下，各种添加剂都迅速失效，基础油的粘度也将显著变化，故对核潜艇和核电站的液压装置来说，在核辐射作用下，液压油粘度的稳定性是十分重要的。

二、液压油的分类

液压传动的工作介质有石油基液压油，合成基液压油和水基工作液三大类。一般可按右表分类：



表中属于合成型的难燃液包括本身不燃的磷酸脂和其他含磷的有机化合物及卤代烃等，其中磷酸脂作为工作油液用得最多的是磷酸三甲酚。粘度更高的有三甲苯基磷酸，磷酸二甲苯一苯基酯等。

磷酸脂型液压油，主要用于飞机和其他有爆炸危险的液压系统中，如大型运输机波音707、三叉戟飞机及舰艇液压系统中。

卤代烃液体，应用最多的是氯代烃，其防火性能、热稳定性和抗氧化安定性均较好。

水和乙二醇工作液是由35~60%的水加25~50%的乙二醇（或丙二醇）配成，其中可添加增粘剂，防锈和防磨剂。

属乳化液的有水包油（O/W），是以5~15%的油分散到水中。油包水（W/O）是在粘度与锭子油相当的油中，加入40%的水和适当的乳化剂、油性剂或防锈剂，使水在油中形成直径2微米的悬浮体，分散在乳化的工作油液中。

第二节 液压油的物理化学性质

一、密度、重度和比重

（一）密度

某种液压油，其单位体积的质量称为该液压油的密度，常以 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4) \quad (2-1)$$

式中 m ——体积为 V 的液体质量（公斤·秒²/米）；

V ——质量为 m 的液体体积（米³）。

按照牛顿力学，把物体中物质的量叫做物体的质量，它是表征物体惯性的物理量。

（二）重度

某种液压油，其单位体积的重量，称为该液压油的重度，以 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{公斤力} / \text{米}^3) \quad (2-2)$$

式中 G ——体积为 V 的液体重量（公斤力）；

V ——重量为 G 的液体体积（米³）。

由于物体的重量 G 等于质量 m 与重力加速度 g 的乘积，即 $G=mg$ ，所以密度和重度的关系为：

$$\gamma = \rho g \quad (2-3)$$

式中 g ——重力加速度， $g=981$ 厘米/秒²。

常用液压油在15°C时的重度和密度的范围为：

$$\gamma = (0.86 \sim 0.90) \times 10^{-3} \quad (\text{公斤力} / \text{厘米}^3),$$

$$\rho = (0.88 \sim 0.90) \times 10^{-6} \quad (\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{厘米}^4).$$

（三）比重

某种液压油在20°C时的重度与760毫米汞柱压力下、4°C时蒸馏水的重度之比值称该液压油的比重。比重是无因次量。

当重度单位采用克力/厘米³表示时，因为760毫米汞柱压力下，4°C时蒸馏水的重度 $\gamma=1000$ 公斤力/米³=1克力/厘米³，则液体的比重与重度在数值上相同，但它们是两种

不同的物理量。

二、压缩性、体积弹性系数和热膨胀性

(一) 压缩性

液压油受压力作用后，其体积减小或密度增加的性质叫压缩性。在液压系统中，液压油的压缩可以认为是弹性压缩。在温度不变的情况下，被压缩液体的体积相对变化量可用下式表示：

$$\frac{\Delta V}{V} = -\beta_v \Delta P \quad (2-4)$$

式中 ΔV ——液体受压力后减小的体积，厘米³；

V ——液体被压缩前的体积，厘米³；

ΔP ——压缩前后的压力差值，即压力增量（公斤力/厘米²）；

β_v ——体积压缩系数（厘米²/公斤力）。

因为在压力增加时，体积减小，即 ΔV 与 ΔP 的变化方向相反，所以式中带一负号。

体积压缩系数 β_v 即压力变化为一单位压力时，体积 V 的相对变化量。它表明液压油可压性的大小。

$$\beta_v = -\frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta P} = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤力}) \quad (2-5)$$

在150大气压以内，20°C时，常用液压油的体积压缩系数 $\beta_v = (5 \sim 7.5) \times 10^{-5}$ （厘米²/公斤）。

(二) 体积弹性系数

体积压缩系数 β_v 的倒数叫体积弹性系数（或体积弹性模数） E_0 。

$$E_0 = \frac{1}{\beta_v} \quad (\text{公斤力/厘米}^2) \quad (2-6)$$

常用液压油的体积弹性系数约为：

$$E_0 = (1.3 \sim 2) \times 10^4 \text{ 公斤/厘米}^2$$

在安装工程中，当同时考虑管道变形对液压系统的影响时，可引用综合体积弹性系数 E_e 的概念：

$$\frac{1}{E_e} = \frac{1}{E_0} + \frac{d}{E\delta} \quad (2-7)$$

式中 d ——管道内径，厘米；

E ——管材的弹性系数，钢管 $E = 2.1 \times 10^6$ 公斤力/厘米²；

δ ——管壁厚（厘米）。

对常用钢质油管取： $\frac{d}{\delta} = 6.1 \sim 13.2$

于是

$$\frac{d}{E\delta} = \frac{13.2}{2.1 \times 10^6} = \frac{1}{1.6 \times 10^5}$$

则

$$E_e \approx 0.909 E_0$$

严格讲来，油的体积压缩系数 β_v 与压缩过程有关，等温压缩与绝热压缩时的数值不同，然而这两种压缩系数值都很小，在一般工程计算中常把油看成是不可压缩的，仅在压