

贾培起 编著



液压传动

天津科学技术出版社

液 压 传 动

贾培起 编著

天津科学技术出版社

期 限 表

请于下列日期前将书还回

一九八六年二月十九日

一九八六年二月十九日

一九八七年二月廿七日

成1105-1

液 压 传 动

贾培起 编著

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

*

开本 787×1092毫米 1/16 印张 26 3/4 字数 651,000

一九八二年三月第一版

一九八二年三月第一次印刷

印数: 1-10,000

统一书号: 15212·26 定价: 2.78元

前 言

液压传动是一门较新的技术, 具有很多其它传动方式所没有的独特优点。因此, 各种机械设备应用液压技术越来越普遍, 世界各国对液压机械的需求量急速上升, 发展异常迅速。目前, 液压技术不仅应用于一般机械、高精密机械和超大型设备, 还是宇宙航行和海洋开发技术中不可缺少的传动方式; 同时, 也正在应用于各种生活设施当中。总之, 液压技术已经广泛地深入各个领域, 成为主要的传动方式之一。

近些年来, 我国的液压技术发展很快, 特别是在工程机械、锻压机械、金属切削机床、采掘设备、农业机械等机械制造和国防工业等一些部门, 液压技术的应用日益增多。现在, 我国已制定了一些液压传动的技术标准, 自行设计制造了各种液压元件, 在标准化、系列化和通用化方面作了大量工作, 在液压技术的研究方面也取得了可喜的成果。但是, 随着四个现代化建设的进展, 液压传动技术将会得到更广泛的应用, 因而也就要求广大工人和工程技术人员更加熟练地掌握这门技术。《液压传动》一书, 就是为进一步推广液压技术而编写的。

《液压传动》一书, 力求打破一般教科书的专业和课时的局限性, 取材广泛、丰富、实用, 以液压系统的设计为重点, 从实际应用出发, 较为系统地介绍液压传动的基本概念和理论知识, 各种液压元件的工作原理、结构形式、工作特性和应用实例。书中列举了大量典型的基本回路和应用回路, 结合实例讲述了液压系统设计的基本方法和步骤, 并且对液压设备维护保养和修理方面的问题作了讲解。此外, 书末还附录了一些标准资料、计算数据和图表, 可供设计时参考使用。

本书在编写过程中, 得到天津大学机制系锻压教研室的热情帮助, 该室李佐文同志在百忙中审阅稿件, 提出许多宝贵的修改意见, 特此表示谢意。但限于编著者的理论水平和实际经验, 书中的缺点和错误在所难免, 恳请读者批评指正。

一九八一年七月

目 录

第一章 概论.....(1)	六、油的污染(21)
§1 液压传动的特点(1)	§7 功率和效率(21)
§2 液压传动工作原理.....(2)	一、功率.....(21)
§3 液压元件的分类(3)	二、效率.....(22)
第二章 液压传动基础知识.....(4)	第三章 液压泵.....(23)
§1 油液的物理性质(4)	§1 概论(23)
一、粘性.....(4)	一、液压泵工作的基本原理.....(23)
二、压缩性(6)	二、液压泵的分类.....(23)
三、膨胀性(6)	三、液压泵的图形符号(24)
四、液压油的选择(7)	§2 齿轮泵(24)
§2 静止液体的性质(7)	一、外啮合齿轮泵.....(24)
一、巴斯加定律.....(7)	二、楔块式内啮合齿轮泵(29)
二、压力的形成.....(7)	三、摆线转子泵(30)
三、液体的作用力.....(8)	§3 叶片泵(32)
§3 流动液体的性质.....(8)	一、单作用叶片泵.....(32)
一、液流的连续性.....(8)	二、双作用叶片泵.....(33)
二、伯努利定律(9)	三、叶片泵的结构问题(33)
三、动量定律(10)	四、定量叶片泵(35)
§4 液体流动的压力损失(10)	五、变量叶片泵(37)
一、粘性流体(10)	六、复合叶片泵(41)
二、两种流态(10)	§4 轴向柱塞泵(44)
三、沿程压力损失(11)	一、概论(44)
四、局部压力损失(12)	二、直轴点接触式轴向柱塞泵(48)
五、液压系统的总压力损失(12)	三、直轴滑履式轴向柱塞泵.....(48)
§5 油液流经小孔及	四、斜轴式轴向柱塞泵(54)
缝隙流量的计算(13)	§5 径向柱塞泵(61)
一、小孔流量的计算(13)	一、概论.....(61)
二、缝隙流量的计算(14)	二、曲轴径向柱塞泵.....(62)
§6 液压传动中的其它物理现象(17)	三、缸体旋转式径向柱塞泵.....(62)
一、液压冲击(17)	§6 直列柱塞泵(63)
二、振动.....(18)	§7 螺杆泵(64)
三、空穴现象(19)	§8 液压泵的使用(65)
四、噪音.....(20)	一、各种液压泵的性能及
五、温升.....(20)	应用范围(65)

二、液压泵压力的选择	(65)	二、增压液压缸	(94)
三、液压泵流量形式的选择	(68)	三、增速液压缸	(95)
四、液压泵电机功率的计算	(68)	四、旋转液压缸	(95)
五、液压泵的故障和排除	(69)	五、多位液压缸	(96)
第四章 液压马达	(71)	六、点位液压缸	(96)
§ 1 概论	(71)	§ 5 液压缸的回路	(97)
§ 2 高速液压马达	(72)	一、液压缸的并联回路	(97)
一、齿轮液压马达	(72)	二、液压缸的同步回路	(97)
二、叶片液压马达	(73)	三、液压缸的顺序回路	(98)
三、轴向柱塞液压马达	(74)	四、液压缸的差动回路	(98)
§ 3 低速大扭矩液压马达	(77)	§ 6 液压缸设计的一般问题	(99)
一、轴向柱塞低速大扭矩 液压马达	(77)	一、液压缸设计的一般原则	(99)
二、径向柱塞低速大扭矩 液压马达	(77)	二、液压缸设计的步骤	(99)
§ 4 液压马达的使用	(83)	§ 7 液压缸的安装形式	(100)
一、各类液压马达的性能及应用	(83)	一、轴线固定式液压缸	(100)
二、液压泵和液压马达的 配合工作特性	(83)	二、轴线摆动式液压缸	(100)
三、液压马达的故障和排除	(86)	§ 8 液压缸零件的设计计算	(102)
第五章 液压缸	(87)	一、缸筒	(102)
§ 1 液压缸的结构及分类	(87)	二、活塞杆	(103)
一、液压缸的基本结构	(87)	三、活塞	(107)
二、液压缸的分类	(87)	四、缸盖	(108)
三、液压缸力的传递	(88)	五、导向套	(117)
§ 2 液压缸主要参数的计算	(89)	六、缓冲装置	(119)
一、活塞作用力的计算	(89)	七、排气装置	(120)
二、活塞运动速度的计算	(90)	八、防尘装置	(121)
三、液压缸实际出力的计算	(90)	§ 9 液压缸的故障和排除	(122)
§ 3 普通液压缸	(90)	第六章 摆动液压缸	(124)
一、单作用液压缸	(91)	§ 1 叶片式摆动液压缸	(124)
二、双作用液压缸	(91)	§ 2 曲柄式摆动液压缸	(126)
三、单活塞杆液压缸	(91)	§ 3 齿轮—齿条式摆动液压缸	(127)
四、双活塞杆液压缸	(92)	第七章 控制阀	(130)
五、缸筒运动液压缸	(92)	§ 1 概论	(130)
六、柱塞液压缸	(92)	一、阀的分类	(130)
七、伸缩液压缸	(93)	二、阀的基本结构	(130)
§ 4 特殊液压缸	(93)	三、阀的基本要求	(131)
一、串联液压缸	(93)	§ 2 阀的力学知识	(131)
		一、阀的流量系数	(131)
		二、滑阀的作用力	(132)
		三、锥阀的作用力	(135)

四、阀的振动	(135)	三、唇边密封圈	(210)
五、弹簧复位阀的开启力	(137)	四、间隙密封	(212)
§ 3 方向控制阀	(137)	五、活塞环	(213)
一、转阀	(137)	六、皮碗	(213)
二、滑阀	(139)	七、油封	(214)
三、多路滑阀	(153)	§ 2 油管及管接头	(214)
四、压力表开关	(156)	一、油管	(214)
五、梭形阀	(156)	二、管接头	(217)
六、单向阀	(156)	§ 3 滤油器	(220)
七、液控单向阀	(159)	一、滤油器的一般要求	(220)
八、方向控制阀的故障和排除	(163)	二、滤油器的种类	(220)
§ 4 压力控制阀	(164)	三、滤油器的选择	(223)
一、溢流阀	(164)	四、滤油器的设置	(224)
二、减压阀	(170)	§ 4 空气滤清器	(226)
三、顺序阀	(175)	§ 5 冷却器	(226)
四、背压阀	(179)	§ 6 加热器	(228)
五、压力继电器	(180)	§ 7 蓄能器	(229)
六、压力控制阀的故障和排除	(183)	一、蓄能器的种类	(229)
§ 5 流量控制阀	(184)	二、蓄能器的应用	(231)
一、概论	(184)	三、蓄能器容量的计算	(233)
二、节流阀	(187)	§ 8 压力表	(235)
三、调速阀	(193)	§ 9 油箱	(235)
四、溢流节流阀	(195)	一、油箱的结构要求	(235)
五、微量节流阀	(196)	二、油箱容积的确定	(236)
六、延时阀	(197)	第九章 液压基本回路	(238)
七、延时压力继电器	(199)	§ 1 液压基本回路概论	(238)
八、计量阀	(200)	一、液压回路的组成	(238)
九、分流阀	(201)	二、液压回路的表示方法	(238)
十、流量控制阀的故障和排除	(204)	三、开式回路和闭式回路	(239)
§ 6 液压操纵箱	(204)	四、开环控制和闭环控制	(240)
§ 7 液压阀的联接	(205)	五、开环自动控制的几种方法	(240)
一、管式联接	(206)	六、主回路和控制回路	(241)
二、板式联接	(206)	§ 2 动力控制回路	(241)
三、集成块	(207)	一、主动力控制回路	(241)
四、叠加阀	(208)	二、辅助动力控制回路	(243)
第八章 辅助元件	(209)	三、蓄能回路	(244)
§ 1 密封	(209)	四、补油回路	(246)
一、概论	(209)	§ 3 压力控制回路	(247)
二、O 形密封圈	(209)	一、调压回路	(247)

二、减压回路	(250)	三、并一串联回路	(282)
三、增压回路	(251)	四、梳形回路	(282)
四、背压回路	(252)	五、恒力矩回路	(282)
五、保压回路	(252)	六、增力矩回路	(283)
六、泄压回路	(254)	七、恒功率回路	(283)
七、平衡回路	(255)	八、恒速回路	(284)
八、卸荷回路	(256)	九、限速回路	(284)
九、安全回路	(257)	十、制动回路	(284)
十、稳压回路	(258)	第十章 液压伺服元件及其回路	(285)
十一、缓冲回路	(258)	§ 1 概论	(285)
§ 4 速度控制回路	(260)	§ 2 伺服阀	(285)
一、节流调速回路	(260)	一、滑阀式伺服阀	(286)
二、容积调速回路	(261)	二、喷嘴式伺服阀	(288)
三、联合调速回路	(262)	三、喷嘴挡板式伺服阀	(288)
四、差动回路	(263)	四、转阀式伺服阀	(289)
五、增速回路	(264)	§ 3 电液伺服阀	(290)
六、减速回路	(265)	§ 4 电液伺服马达	(292)
七、二次工进回路	(266)	§ 5 电液伺服缸	(294)
八、多速回路	(266)	§ 6 液压伺服系统的特性	(295)
九、稳速回路	(268)	一、液压伺服系统的静态特性	(295)
§ 5 方向控制回路	(269)	二、液压伺服系统的动态特性	(295)
一、启停回路	(269)	第十一章 电液比例元件及其回路	(297)
二、换向回路	(269)	§ 1 概论	(297)
三、强制退回回路	(270)	§ 2 电液比例控制元件	(297)
§ 6 位置控制回路	(271)	一、电液比例压力阀	(298)
一、锁紧回路	(271)	二、电液比例流量阀	(299)
二、定位回路	(271)	三、电液比例方向阀	(300)
三、多位回路	(272)	四、电液比例复合阀	(301)
§ 7 时间控制回路	(272)	五、电液比例变量泵和电液比例变	
§ 8 多缸控制回路	(273)	量马达	(302)
一、同步回路	(273)	§ 3 电液比例控制元件的特性	(302)
二、顺序回路	(276)	一、电液比例控制元件的静	
三、互锁回路	(278)	态特性	(302)
四、防干扰回路	(278)	二、电液比例控制元件的动	
五、时间控制回路	(280)	态特性	(303)
六、卸荷回路	(281)	第十二章 液压回路设计的注意事	
§ 9 液压马达控制回路	(281)	项	(304)
一、并联回路	(281)	§ 1 正确确定液压传动方案	(304)
二、串联回路	(282)		

§ 2 简化液压回路..... (305)	§11 冷轧卷取机液压系统 (336)
§ 3 提高液压回路的效率 (306)	§12 W 613 型 铲车液压系统 (337)
一、动力源回路的效率 (306)	§13 150T型汽车式液压起重机液压 系统 (338)
二、节流调速回路的效率 (308)	§14 W ₂ —100 型挖掘机液压系统 ... (339)
三、制动回路的效率 (308)	§15 DY—100 型 采煤掘进机液压系 统 (339)
§ 4 减少高速运动的冲击 (309)	§16 四柱垛式支架液压系统 (340)
§ 5 避免低速运动的爬行 (309)	§17 WH340型汽车自卸液压系统 ... (340)
§ 6 消除振动和噪音..... (310)	§18 拖拉机悬挂液压系统 (341)
一、液压泵和液压马达的振动 和噪音..... (310)	§19 船用舵机液压系统 (342)
二、液压阀的振动和噪音 (310)	
三、管路的振动和噪音 (311)	第十四章 液压系统的设计计算..... (343)
四、空穴现象引起的噪音 (311)	§ 1 概 论 (343)
§ 7 多阀控制的配合 (311)	§ 2 确定液压系统的任务和性能要 求 (343)
§ 8 液压系统的安全问题 (312)	§ 3 拟定液压系统原理图 (344)
一、液压系统安全设计的要点 (312)	§ 4 液压元件的选择、设计和计算... (345)
二、液压系统的潜在危险 (312)	一、工作情况分析..... (345)
三、液压系统的安全措施 (313)	二、执行元件的计算 (346)
§ 9 液压回路的逻辑设计 (316)	三、绘制循环图 (347)
一、逻辑回路的基本形式 (316)	四、液压泵参数的确定 (348)
二、与、或回路的组合 (316)	五、液压阀的选择..... (349)
三、逻辑运算的基本定理 (317)	六、辅助元件的选择 (349)
四、液压回路逻辑设计实例..... (319)	七、非标准液压元件的设计..... (349)
第十三章 液压系统..... (320)	§ 5 液压系统的验算..... (349)
§ 1 CB3463 型半自动转塔车床液压 系统 (320)	一、液压系统压力损失的计算 (349)
§ 2 CE 7120型仿形车床液压系统 ... (320)	二、液压系统发热温升的验算 (351)
§ 3 B228Y 型龙门刨床液压系统 ... (324)	三、液压冲击的验算 (351)
§ 4 M131W 型外圆磨床液压系统 ... (325)	§ 6 绘制正式工作图和编制技术文 件 (351)
§ 5 YT4543型液压他驱式动力滑台 液压系统 (327)	§ 7 液压系统设计实例——CB3450—1 型转塔车床液压系统设计计 算 (352)
§ 6 JS01型机械手液压系统 (328)	
§ 7 DJ6401 型电解机床液压系统 ... (329)	第十五章 液压系统的安装、使用和 维修..... (361)
§ 8 YB 32—200 型四柱液压机液压 系统 (330)	§ 1 液压系统的安 装 (361)
§ 9 Y79 Z—250 型粉末制品液压机 液压系统 (332)	§ 2 液压系统的使 用 (361)
§10 XS—Z—60A 型塑料注射成型 机液压系统..... (333)	§ 3 液压系统的调整..... (362)
	§ 4 液压系统的故障和排除 (362)

附 录

一、液压系统图图形符号

《GB785—65》 (366)

二、液压元件型号编制方法

(JB2184—77) (366)

三、高压阀型号说明 (榆茨液

压件厂系列) (380)

四、中低压阀型号说明 (广州机床

研究所系列) (381)

五、液压元件基本参数 (381)

六、普通油的性质 (383)

七、专用液压油的性质 (384)

八、油液粘度的换算 (384)

九、调合油粘度的计算 (389)

十、国产油粘温图 (389)

十一、油液流动的局部阻力系数 (390)

十二、功率计算图 (395)

十三、扭矩计算图 (396)

十四、液压缸参数计算图 (397)

十五、缸筒壁厚计算图 ($t/D \leq 1/10$) ... (400)

十六、活塞杆纵向弯曲强度的计算图 (欧拉公 式) (400)

十七、油管内流速计算图 (403)

十八、O形密封圈 (HG4—333—66) ... (404)

十九、Y_x形密封圈 (孔用) (408)

二十、Y_x形密封圈 (轴用) (413)

第一章 概 论

§1 液压传动的特点

在很早以前,人们就已经认识到利用流体作为动力,驱动简单的机械,用以代替繁重的体力劳动。但是,作为液压技术这门科学,还是最近几十年发展起来并逐步完善的,因此它是一项新的技术。随着科学技术和生产的发展,目前液压传动已经广泛地应用于空间技术、军事武器、飞机舰船、机车车辆、工程机械、矿山机械、建筑机械、农业机械、运输机械、化工机械、冶炼设备、轧钢机械、锻压机械、轻工机械及金属切削机床等机械制造业。

液压技术之所以被广泛应用,是因为它具备很多其它传动方式所没有的、独特的优点:

1. 液压传动与机械、电力和气动相比较,在输出同等功率的条件下,其结构紧凑,体积小,重量轻,能容量大,承载能力强。例如一个内径400毫米的液压缸,如果油压力为300公斤力/厘米²,就会得到360吨的推力。这对飞机和行走机械是非常有利的。

2. 采用液压传动能获得各种复杂的机械动作,如仿形车床的液压刀架,数控铣床的液压工作台,以及自动线中的液压系统,便于实现自动化。

3. 液压系统有卸荷、减压、增压和保压等装置和回路,很容易自动控制运动的力。

4. 可以自由地实现无级调速,而且能获得很大的调速比。如果用调速范围在0.02升/分到100升/分的节流阀,它的调速比可以达到5000,这是其它传动方式无法比拟的。同时,液压传动还容易获得极低的速度,如每秒钟运动几微米的速度,几十天旋转一周的转速等。

5. 惯性小,动作灵敏,启动、制动迅速,运动平稳,可以快速而无冲击地变速和换向。一个中等功率的电机启动需要几秒钟,而油马达只需0.1秒。如平面磨床以30~50米/分的速度运动,频繁换向,采用液压传动后,并无影响正常工作的冲击振动。

6. 动力的传递和储存都很方便。由于用管道传递压力油,所以液压元件、机构和装置都易于布局,各元件的安装自由度很大,可以随意放到任何适当的位置上,并能远距离操纵。

7. 自动防止过载,避免发生事故。

8. 液压元件能自动润滑,寿命长。

9. 液压传动可大大简化机械的结构,减少零件数目,使产量增加,成本降低。如机械传动的C3263转塔车床改为液压传动的CB3463转塔车床后,它的零件数目由624种1035件,减少到327种434件。

10. 易于实现标准化和系列化。液压件可以根据其工作原理和特点,分成若干系列,并制成通用的标准件,组织专业化工厂大量生产。同时,也大大简化了设计工作,缩短了制造周期,提高了生产效率。

但是液压传动也有一些缺点,主要是:

1. 液压传动采用液体作为传递动力的介质,在液压元件运动表面很难避免泄漏,因此,往往引起效率损失。另外,由于油液不是绝对不可压缩的,油管也会产生弹性变形,所以它不适用于传动比要求很严格的场合(如螺纹和齿轮加工机床的传动系统)。

2. 油的粘度随着温度的变化而变化, 容易引起工作机构的不稳定。在低温和高温的情况下, 不适于采用液压传动。

3. 油液中的污物影响液压元件的正常工作, 并加速其磨损, 降低液压系统的可靠性。矿物油在空气中会发生氧化变质, 需要定期更换。

4. 对液压件的加工精度和质量有很高的要求, 加工难度大。

5. 由于采用油管传递压力油, 损耗较大, 不适于远距离输送动力。

6. 不能象电气传动那样对信号进行放大、记忆和逻辑判断等数字运算, 所以不适用于小功率和复杂的控制系统。

但是, 随着科学技术和生产的发展, 液压传动存在的缺点正在逐步得到克服, 应用的范围越来越广。它与机械传动、电气传动和气动密切配合, 越来越充分地发挥其长处, 弥补其不足, 为液压技术更广泛地应用开辟了广阔的前景。

§2 液压传动工作原理

液压传动借助于处在密闭容积内的液体来传递能量和动力, 所以又叫作容积式液压传动*, 其工作原理如图1—1所示。

在密闭的联通器中分别有一个小缸和大缸。假如忽略容器和管路的弹性变形、流动液体的摩擦损失以及液体的压缩性, 那么当小活塞受到外力 P_1 时, 液体产生内压 p , 液体以相等的内压强度 p 向大活塞传递, 使大活塞产生一个向上的力 P_2 。假设小活塞的面积为 F_1 , 那么油液产生的内压

$$p = \frac{P_1}{F_1}$$

大活塞的面积为 F_2 , 那么大活塞产生的向上推力

$$P_2 = pF_2 = P_1 \frac{F_2}{F_1}$$

如果 $F_2 = 10F_1$, 那么

$$P_2 = P_1 \frac{F_2}{F_1} = P_1 \frac{10F_1}{F_1} = 10P_1$$

也就是说, 大活塞产生的推力10倍于小活塞的力。

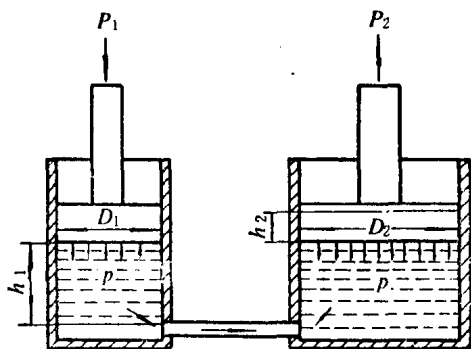


图1—1 液压工作原理图

当小活塞向下运动的距离为 h_1 时, 将体积为 h_1F_1 的油液挤入大缸中, 由于油液几乎不可压缩, 所以大活塞被推着向上运动。假设大活塞向上运动的距离为 h_2 , 由于小缸进入大缸的油量是一定的, 则

$$h_2F_2 = h_1F_1$$

所以

$$h_2 = \frac{h_1F_1}{F_2} = \frac{h_1F_1}{10F_1} = \frac{h_1}{10}$$

可见大活塞的行程是小活塞行程的十分之一。

但是, 无论它们的力和行程怎样变化, 大小活塞所作的功应该相等, 即

* 液体的传动分两大类, 即液压传动和液力传动, 液力传动借助于液体的运动能量来实现能量或动力的传递, 如离心泵—涡轮机系统。

$$N_1 = N_2 \quad \text{或} \quad P_1 h_1 = P_2 h_2$$

这就是液压传动的基本原理，小缸相当于液压系统中的动力元件液压泵，大缸相当于执行元件。为了控制执行元件的运动，在泵与执行元件之间设置控制阀和其它辅助装置，构成完整的液压系统。

§3 液压元件的分类

液压系统由若干元件装配而成。液压元件根据其功能可以分为四大类。

1. 动力元件 液压泵是液压系统的动力元件，其作用是将原动机的机械能转变为液压能供给液压系统。液压泵按结构分类有齿轮泵，叶片泵，柱塞泵，螺杆泵和转子泵。

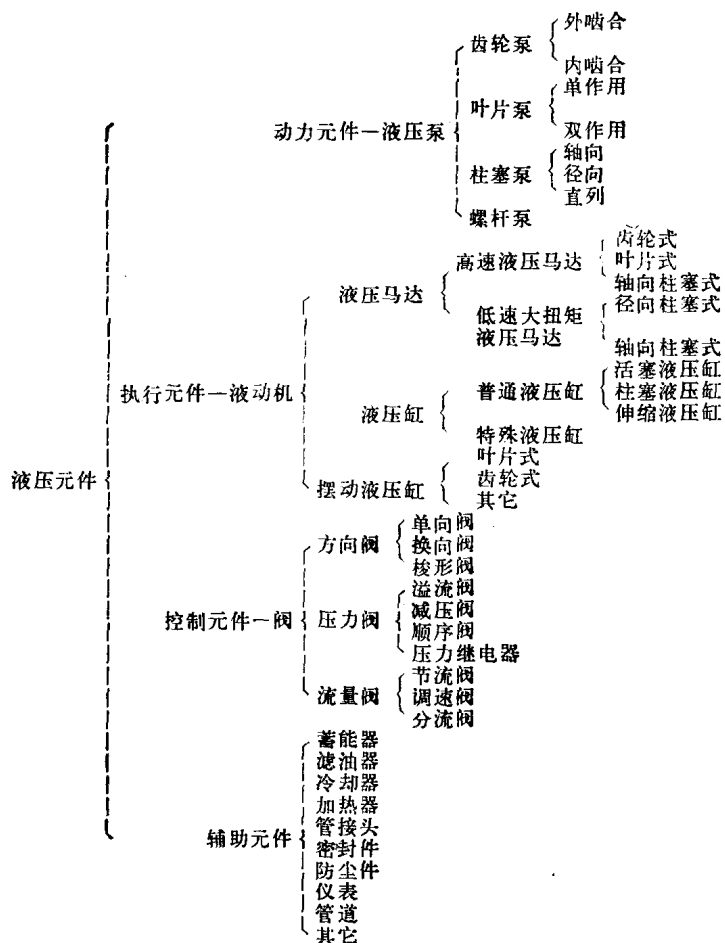
2. 执行元件 又称为液动机，其作用是将液压系统提供的液压能转变为机械能，拖动外部机构装置做机械运动。其结构和运动方式可分为液压马达，液压缸和摆动液压缸。

3. 控制元件 液压系统用阀作为控制元件。任何执行机构的运动都必须具有一定的力、速度和方向。这三个要素都是由阀控制的。阀可分为压力控制阀，流量控制阀和方向控制阀。

4. 辅助元件 除了上述三类元件外，其它元件均为辅助元件，它主要用于液压能的储存，油路的连接和密封，油液的滤清、加温和冷却，液压系统某些参数的显示等等。

液压元件的分类见表 1—1，各种元件的表示符号见附录 1。

表 1—1 液压元件的分类



第二章 液压传动基础知识

液压传动用油液或其它液体作为传递能量的介质，所以有必要研究液体的物理性质，以及平衡与运动的规律，搞清基本概念，以便正确理解液压传动的基本原理和各种现象，更好地设计液压系统。

§1 油液的物理性质

一、粘性

粘性是液体流动时表现的物理性质之一。液体流动时的情况如图 2—1 所示。

当液体在外力作用下流动时，管壁的附着力使液体各层的运动速度不相等。另外，分子间的内聚力又使得液体内部产生内摩擦而阻止流层间的相对滑动。液体的这种性质称为粘性。表示粘性大小的物理量称为粘度。

粘性是选择液压油的主要参数。粘度的大小决定了它的流动性，因此对液压系统的流量特性和压力损失有很大影响。例如根据液压泵、阀、液压缸等元件的密封要求，油液必须具有一定的粘度，否则，粘度过低会使油液容易流失，而粘度过高，又会增加压力损失，降低效率，引起噪音或使阀的动作不灵敏。

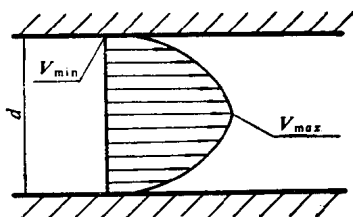


图2—1 流体运动图

1. 粘度 粘度可用几种不同的单位表示，一般常用的有三种单位。

(1) 动力粘度 μ 面积各为一平方厘米，相距一厘米的两层液体，以1厘米/秒的速度相对运动，这时产生的阻力为动力粘度，或称绝对粘度。绝对制*单位为泊 ($\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2}$)，

工程制单位为 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$ 。

$$1 \text{ 泊} = 100 \text{ 厘泊}$$

$$1 \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} = 98.1 \text{ 泊} \approx 100 \text{ 泊}$$

(2) 运动粘度 ν 在液压系统的计算中常常出现动力粘度与密度的比值 $\frac{\mu}{\rho}$ ，为此规定它为运动粘度，用符号 ν 表示，它的绝对制单位为沱 ($\text{厘米}^2/\text{秒}$)，工程制单位为 $\text{米}^2/\text{秒}$ 。

* 绝对制以质量、长度、时间作为三个基本单位，多用于物理学中；工程制以力（重量）、长度、时间作为三个基本单位，在一般工程中使用。世界上使用的度量单位有两类：米制单位和吋制单位，我国采用米制单位。绝对制单位的长度以厘米为单位，质量以克为单位，时间以秒为单位，力以达因为单位，所以也称为CGS制。工程制单位的长度以米为单位，力以公斤为单位，时间以秒为单位，所以也称为MKS制。吋制以磅、英尺、秒为三个基本单位。

$$1 \text{ 沲} = 100 \text{ 厘沲}$$

$$1 \text{ 米}^2/\text{秒} = 10^4 \text{ 沲}$$

动力粘度和运动粘度都难于测量，一般仅用于理论计算。

(3) 相对粘度 $^{\circ}\text{E}$ 相对粘度是以液体的粘度相对于水的粘度的大小程度来表示该液体的粘度。我国采用恩氏粘度计来测定相对粘度，所以又称为恩氏粘度，用符号 $^{\circ}\text{E}$ 表示。这是工程上常用的粘度单位。

恩氏粘度的测定方法是将被测油液放在恩氏粘度计中，测出某一温度下从 $\phi 2.8$ 毫米的小孔流出200毫升所需要的时间，然后求出它与蒸馏水在 20°C 流出相同体积所需时间的比值，即为恩氏粘度。

$$^{\circ}\text{E} = \frac{t_1}{t_2}$$

式中： t_1 ——200毫升被测油液流过恩氏粘度计小孔所需要的时间（秒）

t_2 ——200毫升蒸馏水在 20°C 温度下流过恩氏粘度计小孔所需要的时间（秒）

按照乌别洛德经验公式，恩氏粘度与运动粘度可按下列公式换算

$$\nu = 7.31 ^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}} \quad (\text{厘沲})$$

除了上述几种粘度单位外，国际上还常用国际赛氏秒（用SSU或 $^{\circ}\text{S}$ 表示），商用雷氏秒（用R $^{\circ}\text{I}$ 或 $^{\circ}\text{R}$ 表示），它们可按下列近似公式换算

$$\text{运动粘度 } \nu = 0.22 \text{SSU} - \frac{180}{\text{SSU}} \quad (\text{厘沲})$$

$$\text{运动粘度 } \nu = 0.26 ^{\circ}\text{R} - \frac{172}{^{\circ}\text{R}} \quad (\text{厘沲})$$

2. 粘度与温度、压力的关系 油液的粘度随着温度和压力的变化而变化。温度升高时，油液的粘度下降，这种现象在 50°C 以下比较明显，在 $50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时变化较为平缓。液压系统中希望采用粘温性能好的油液，即希望粘度随温度的变化越小越好。特别是对精密机床或机械来说，这一点很重要。因为粘度随着温度而变化，流量会发生波动，使运动不平稳。

当压力增高时，油液的粘度增大。一般在300公斤/厘米 2 以下时，粘度和压力差不多成线关系，变化不大。当压力极高时，粘度会急剧增大。

3. 油液粘度的选择 液压系统油液的粘度一般根据液压泵的种类，工作温度和系统压力来选择（参见表2—1）。

表2—1

推荐粘度范围

厘沲(50°C)

工作温度 $^{\circ}\text{C}$		5~40	40~80
叶片泵	70公斤力/厘米 2 以下	17~29	25~44
	70公斤力/厘米 2 以上	31~40	37~54
齿轮泵		17~40	63~88
轴向柱塞泵		25~44	40~98
径向柱塞泵		17~62	37~154

注：当压力高、温度高、运动速度低时，取大值。

二、压缩性

在说明液压传动基本原理时，可以把油液看作是**不可压缩的**。但是实际情况并非如此。当液体受到压力时，分子间的距离缩短，密度增加，体积减小。这种性质就叫做液体的压缩性。

液压油在350公斤力/厘米²以下的压力范围内，每升高70公斤力/厘米²，体积仅减小0.5%，因此，在一般情况下可以忽略不计。但是在研究液压传动中的动特性，计算液流的冲击力，抗振稳定性，工作的过渡过程，以及远距离操纵的液压机构时，必须考虑它的压缩性。

在某些情况下，液体的压缩性是有害的性质。例如，在精度要求很高的随动系统，油液的压缩性会影响它的运动精度。在超高压系统，液体加压压缩时吸收了能量，当换向时能量突然释放出来，会产生液压冲击，引起剧烈的振动和噪音。又如，行程较长的液压装置拉床液压缸在变动载荷下工作时，它的压缩量可达几毫米，影响切削过程的正常进行。

但是，我们可以利用它有利的一面。例如液压机中，可以利用油液的压缩性储存压力能，实现停机保压。

液体压缩性的大小，一般用压缩系数 β 来表示。它相当于每增加1公斤力/厘米²压力时，液体体积的变化值，如下式所示

$$\beta_v = \frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤力}) \quad \text{式}(2-1)$$

式中： β_v ——体积压缩系数

Δp ——压力变化值（公斤力/厘米²）

ΔV ——液体被压缩后体积的变化值（厘米³）

V_0 ——液体压缩前的体积（厘米³）

体积压缩系数 β_v 的倒数，称为体积弹性系数，以 E 表示即

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

当压力 $p \leq 150$ 公斤力/厘米²，温度 $t = 20^\circ\text{C}$ 时，各种油液的体积压缩系数一般取 $\beta_v = (5 \sim 7.5) \times 10^{-5}$ （厘米²/公斤力）。

体积压缩系数 β_v 受很多因素的影响，它随温度的增加而增大，随压力的增加而减小。粘度越高，含气量越大， β_v 值也越大。因此在计算中只能取近似平均值。

三、膨胀性

液体的体积随着温度升高而膨胀的性质叫膨胀性。在一般情况下，液体的热膨胀对液压系统的工作影响不大。但是液压系统中如有体积很大的封闭液体，特别是在闭式回路中，就必须注意因温升而引起的膨胀。因为这种膨胀会产生很高的压力，往往会胀裂液压系统中的薄弱部位。另一方面，在高温状态下保压的封闭系统，当温度下降时，液体体积减小，使其保持的压力下降，往往造成失压现象。

液体的膨胀性的大小用体积膨胀系数 β_t 表示。它表示温度每升高 1°C ，液体体积所发生的相对变化量，即

$$\beta_t = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1/^\circ\text{C}) \quad \text{式}(2-3)$$

式中: β_t ——体积膨胀系数

Δt ——温度变化值(度)

ΔV ——温度变化后体积的变化值(厘米³)

V_0 ——温度变化前的体积(厘米³)

液压系统中使用的油液,一般取 $\beta_t = 8.5 \sim 9 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$

四、液压油的选择

液压油的选择应该考虑液压泵、阀、液动机的要求和其它工作条件,一般应该满足以下几点:

1. 粘度适当,粘温性能好,压缩性小。
2. 氧化稳定性好,长期工作不变质。
3. 润滑性能好,防锈蚀能力强。
4. 抗泡沫性和抗乳化性能好。
5. 不含有水溶性酸碱,对液压元件和密封装置无侵蚀。
6. 无杂质和沉淀物。
7. 燃点高,低温用油要求凝点低。

为了改良液压油的各种特性,例如增强氧化稳定性,改善润滑性,提高耐蚀性等可以加入适当的添加剂。

一般液压传动系统常用机械油(10号、20号、30号),柴油机油(8号),汽油机油(22号、30号)。精密机床、飞机及其它要求较高的液压系统可采用专用的液压油,如精密机床液压油,航空液压油,精密机床液压一导轨油,锭子油,舵机液压油及稠化液压油等。各种油液的性质可参见附录6、7。

§2 静止液体的性质

一、巴斯加定律

对于静止的理想液体,它的压力传递具有以下三个基本性质:

1. 液压力总是垂直于任何受作用的表面。
2. 液体中,各点的压力在所有的方向上都相等。
3. 在密闭的容器中,加在静止液体的一部分上的压力,以相等的强度传给流体的所有其它部分。

这就是巴斯加定律。液压传动的基本原理就是根据这个原理(可参看第一章§2)。

二、压力的形成

压力,在物理学中叫做压强,是指单位面积上承受外力的大小,在液压传动中以 p 表示,单位为公斤力/厘米²。压力是液压元件最重要的参数之一。

液压系统的压力是怎样形成的呢?

根据牛顿定律,任何作用力和反作用力都是并存的,没有作用力就没有反作用力,换言之,没有反作用力就不会有作用力。液压系统的压力形成也是如此,要形成压力,必须具备反作用力,即载荷。当液压泵输出的油液没有任何阻力而直接流回油箱时,系统计示压力*为零。当压力油推动液压缸等液动机工作时,在运动过程中,系统形成压力,压力值为