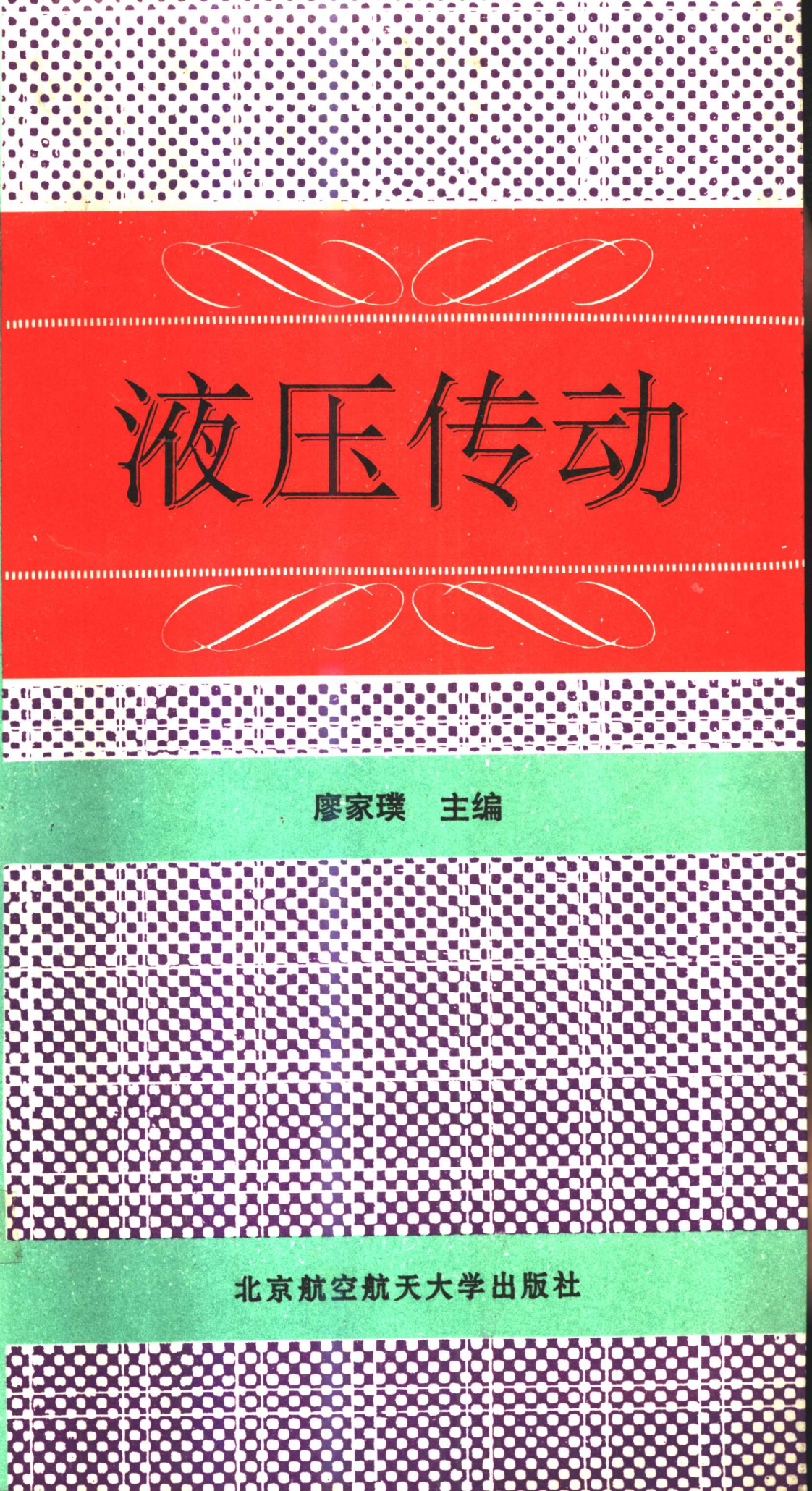
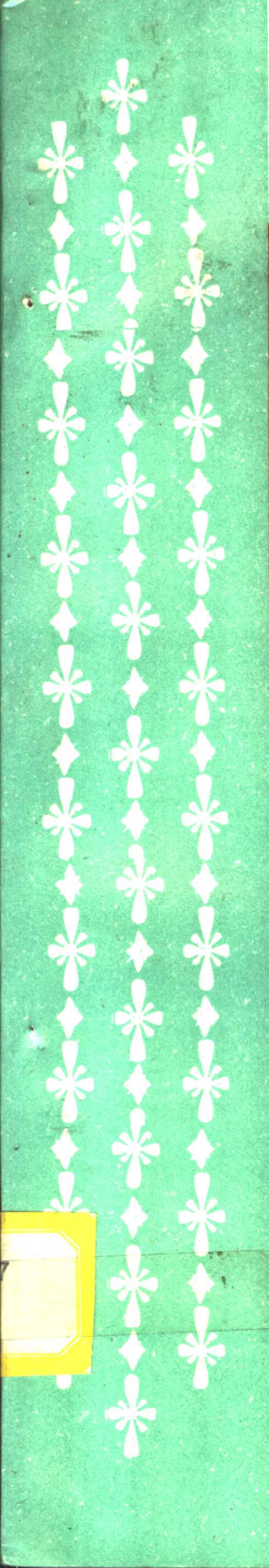




液压传动

廖家璞 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书介绍液压传动的基本概念、常用的液压元件、典型液压系统等。

全书共分八章,其内容为:绪论、液压传动基本知识、液压传动中常用的液压元件(包括液压泵、液压马达、液压缸和辅助装置)、控制阀与液压基本回路、典型液压系统实例和液压系统设计计算及液压伺服系统基本知识。

本书系中专机械类专业教材,也可以作为职工业余大学或厂办工学院机制专业学生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/廖家璞编. —北京:北京航空航天大学出版社,1995

ISBN 7-81012-593-1

I. 液… II. 廖… III. 液压传动 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 19042 号

- 书 名: 液压传动
- 编 著 者: 廖家璞 主编
- 责任编辑: 曾昭奇
- 责任校对: 李宝田
- 出 版 者: 北京航空航天大学出版社
- 地 址: 北京学院路 37 号(100083)2015720(发行科电话)
- 印 刷 者: 朝阳区科普印刷厂印刷
- 发 行: 新华书店总店科技发行所
- 经 售: 全国各地书店
- 开 本: 16
- 印 张: 13.75
- 字 数: 350 千字
- 印 数: 6000 册
- 版 次: 1995 年 12 月第一版
- 印 次: 1995 年 12 月第一次印刷
- 书 号: ISBN 7-81012-593-1/TH·021
- 定 价: 14.00 元

前 言

本书是根据航空航天工业部中专教材委员会机械专业组于1992年制定的编写提纲编写的,全书教学时数约75~80学时。

本书是中等专业学校机械制造专业学生的教材。在编写过程中,结合部属厂、所的工作特点和具体情况,力求理论联系实际,学以致用,在讲清基本概念、基本原理和基本方法的同时,将基本回路、典型液压系统等章节作为重点,讲清、讲细,以提高学生的适应能力及分析问题和解决问题的能力。其它章节,在保证传统体系基本完整的基础上,尽量做到简明扼要。

本书共八章,主要内容是:一至五章介绍液压传动系统的工作原理、组成,有关流体力学的基本规律,液压泵、液压缸及辅助装置;六至七章介绍各种控制阀的结构、类型和性能参数,基本回路、典型液压系统及液压系统的设计与计算;第八章介绍液压伺服系统的基本知识。

参加编写的有:大庸航空工业学校廖家璞(编写第一、七章);成都航空工业学校傅沛明(编写第二、四章);西安航空工业技术专科学校简引侠(编写第三、五、八章);大庸航空工业学校于兴华、刘坚、上海航空工业学校赵喜萌(合编第六章)。全书由廖家璞担任主编。

本书由北京航空航天大学李述楣副教授审阅,并提出了不少宝贵意见和建议;在编写过程中也得到各兄弟院校的大力支持和帮助。编者在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

1995年5月

CA851

目 录

第一章 绪 论

§ 1-1 液压传动的工作原理及其组成部分	(1)
一、液压传动的工作原理	(1)
二、液压传动系统的组成及职能符号	(2)
§ 1-2 液压传动的优缺点	(4)
习 题	(5)

第二章 液压传动基础知识

§ 2-1 液体的物理性质	(6)
一、液体的密度	(6)
二、液体的可压缩性	(6)
三、液体的粘性	(6)
四、液压油的选用	(9)
§ 2-2 液体静力学基础	(11)
一、液体的静压力及其特性	(11)
二、液体静力学基本方程及其物理意义	(12)
三、压力的传递	(13)
四、绝对压力、相对压力和真空度	(14)
五、液体压力作用于固体壁面的总作用力	(14)
§ 2-3 液体动力学方程	(15)
一、基本概念	(16)
二、连续性方程	(16)
三、伯努利方程	(17)
四、动量方程	(19)
§ 2-4 管路中压力损失的计算	(20)
一、层流、紊流、雷诺数	(21)
二、沿程损失	(22)
三、局部损失	(24)
四、管路系统总压力损失	(24)
§ 2-5 液体流过小孔和缝隙的流量	(24)
一、液体流过小孔的流量	(24)
二、液体流过缝隙的流量	(26)
§ 2-6 液压冲击及空穴现象	(29)

一、液压冲击	(29)
二、空穴现象	(29)
习 题	(30)

第三章 液压泵和液压马达

§ 3-1 概 述	(32)
一、工作原理和特点	(32)
二、主要性能参数	(33)
§ 3-2 齿轮泵	(36)
一、结构和工作原理	(36)
二、流量和流量脉动	(37)
三、困油现象及消除措施	(38)
四、径向不平衡力及改善措施	(39)
五、泄漏问题及高压化措施	(40)
§ 3-3 叶片泵	(41)
一、双作用叶片泵的结构和工作原理	(41)
二、双作用叶片泵的流量计算	(43)
三、双作用叶片泵的定子曲线	(44)
四、双作用叶片泵的叶片倾角	(44)
五、双联叶片泵	(46)
六、双作用叶片泵的高压化措施	(46)
七、单作用叶片泵工作原理和流量计算	(47)
八、限压式变量叶片泵	(49)
§ 3-4 柱塞泵	(51)
一、径向柱塞泵的工作原理	(51)
二、轴向柱塞泵的工作原理和结构举例	(52)
三、轴向柱塞泵的流量和流量脉动	(54)
§ 3-5 其它类型液压泵简介	(55)
一、转子泵	(55)
二、螺杆泵	(56)
三、凸轮转子泵	(57)
§ 3-6 液压泵的选用	(58)
§ 3-7 液压马达	(59)
一、双作用叶片马达的结构和工作原理	(59)
二、轴向柱塞马达的结构和工作原理	(60)
习 题	(63)

第四章 液压缸

§ 4-1 液压缸的结构形式及特点	(64)
-------------------------	------

一、活塞式液压缸	(64)
二、柱塞缸	(70)
三、摆动液压缸	(71)
四、其它液压缸	(72)
§ 4-2 液压缸的结构设计	(73)
一、密封装置	(73)
二、活塞与活塞杆的连接	(76)
三、缸筒与端盖的连接	(76)
四、缓冲装置	(77)
五、排气装置	(78)
§ 4-3 液压缸主要尺寸的确定	(78)
一、液压缸工作压力的确定	(78)
二、液压缸尺寸的确定	(79)
三、缸壁厚度的校核	(81)
习 题	(81)

第五章 辅助装置

§ 5-1 滤油器	(83)
一、对滤油器的基本要求	(83)
二、滤油器的类型	(84)
三、滤油器的选用与安装	(85)
§ 5-2 蓄能器	(87)
一、蓄能器的功用	(87)
二、蓄能器的结构类型	(88)
三、蓄能器的安装和使用注意事项	(89)
§ 5-3 油管 and 管接头	(90)
一、油 管	(90)
二、管接头	(91)
§ 5-4 油箱和热交换器	(93)
一、油 箱	(93)
二、热交换器	(94)
习 题	(96)

第六章 液压控制阀和液压基本回路

§ 6-1 方向控制阀和方向控制回路	(97)
一、单向阀	(97)
二、换向阀	(99)
三、方向控制回路	(107)
§ 6-2 压力控制阀和压力控制回路	(110)

一、溢流阀与调压回路	(110)
二、减压阀与减压回路	(117)
三、顺序阀及基本回路	(119)
四、压力继电器及其在回路中的应用	(122)
五、卸荷回路	(124)
§ 6-3 流量控制阀和节流调速回路	(126)
一、调速方法概述	(126)
二、流量控制阀的特性	(126)
三、节流阀	(129)
四、调速阀	(129)
五、温度补偿调速阀	(130)
六、溢流节流阀	(131)
七、节流调速回路	(133)
§ 6-4 速度控制回路	(138)
一、调速回路	(138)
二、速度换接回路	(143)
三、增速回路	(146)
§ 6-5 其它回路	(147)
一、增压回路	(147)
二、保压与防干扰回路	(148)
§ 6-6 比例阀、二通插装阀简介	(150)
一、电液比例控制阀(简称比例阀)	(150)
二、二通插装阀	(151)
习 题	(154)

第七章 典型液压传动系统

§ 7-1 组合机床液压系统	(159)
一、组合机床动力滑台的液压系统	(159)
二、立式组合机床液压系统	(162)
§ 7-2 万能外圆磨床液压系统	(165)
一、概 述	(165)
二、M1432B 型万能外圆磨床液压系统	(165)
三、M1432B 型万能外圆磨床液压系统的特点	(172)
§ 7-3 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	(173)
一、概 述	(173)
二、YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	(173)
三、YA32-200 型四柱万能液压机液压系统的特点	(176)
§ 7-4 SZ-250A 型塑料注射成型机液压系统	(176)
一、概 述	(176)

二、SZ-250A 型塑料注射机液压系统	(176)
§ 7-5 液压系统设计计算简介	(180)
一、液压系统的设计步骤	(180)
二、液压系统设计计算举例	(181)
习 题	(187)
第八章 液压伺服系统	
§ 8-1 液压伺服系统的基本类型和特点	(188)
一、滑阀式液压伺服系统	(188)
二、转阀式液压伺服系统	(191)
三、喷嘴式液压伺服系统	(191)
四、喷嘴挡板式液压伺服系统	(192)
§ 8-2 机液伺服系统应用举例	(194)
§ 8-3 机液伺服系统的工作特性	(196)
一、机液伺服系统的静态特性	(196)
二、机液伺服系统的动态特性	(197)
§ 8-4 电液伺服阀和电液伺服系统	(198)
一、电液伺服阀的工作原理	(199)
二、电液伺服系统应用举例	(200)
习 题	(201)
附 录	(202)
参考文献	(209)

第一章 绪 论

液压传动是近 60 年来发展起来的一门新技术,虽然早在 17 世纪中叶巴斯卡就提出了静压传动原理和液压系统的初步方案,但由于受到工艺制造技术落后的影响,液压技术的发展长期停滞不前。随着科学技术的发展,工艺制造技术的不断提高,直到本世纪 30 年代,液压传动技术重新开始兴起。

液压传动与机械传动有所不同,它是利用液体传递动力和控制动作的,具有很多其它传动方式所没有的独特优点。所以近 60 年来液压技术的发展非常迅速。30 年代初期,世界各先进国家开始生产液压元件,并首先应用在机床上。第二次世界大战爆发后,战争推动了军事工业的发展,同时也推动了液压技术的发展。当时,液压传动装置已广泛应用在航空、船舶、车辆、机床等各种机械上。战后,军事工业的巨大成就迅速转入民用工业,促使国民经济的各个领域开始普遍地采用液压传动。

当前,液压传动正朝着高压化、微型化、大流量、大功率、高效率、低噪声、高寿命等方向发展。液压技术的应用几乎遍及国民经济的各个领域,如航空、航天、交通运输、机械制造、工程建设、石油化工、农林机械、矿山机械、冶金机械、纺织机械以及海洋开发、地震预测等部门。

§ 1-1 液压传动的工作原理及其组成部分

液压传动是以液体为工作介质,用来传递运动和动力的一种传动方式。例如:磨床工作台的直线运动、组合机床的进给运动、工程机械中的液压挖掘装载机等。现举例说明它的工作过程。

一、液压传动的工作原理

液压千斤顶是液压传动的简单例子,其工作原理如图 1-1 所示。图中:1 和 5 是两个液压缸,用油管将其连通;2 和 6 是两个活塞;3 和 4 是单向阀,用来控制油液的流动方向;7 为截止阀;8 为油箱。工作时,首先将杠杆提起,缸 1 下腔密封容积增大,腔内压力下降,形成局部真空,此时单向阀 4 关闭,油箱 8 中的油液在外界大气压力的作用下,经过吸油管推开单向阀 3 的钢球,进入并充满缸 1 的下腔,完成一次吸油动作。接着,压下杠杆,活塞 2 下移,缸 1 下腔的密封容积减小,油液受外力挤压而产生压力,迫使单向阀 3 关闭,并使单向阀 4 的钢球受到一个向上的作用力。当这个作用力大于缸 5 下腔油液对它的作用力时,缸 1 中的油液便推开单向阀 4 而挤入缸 5 的下腔(此时截止阀应关闭),推动活塞 6 上升,顶起重物 W 。这样,通过液体压力的传动,活塞 2 的运动便传给了活塞 6。如果反复使活塞 2 上下运动,活塞 6 便作间断的上升运动。将重物 W 的位置不断升高,从而达到起重的目的。将截止阀 7 打开,使缸 5 的下腔与油箱 8 接通,在重物 W 的作用下,活塞 6 下腔的油液流回油箱,同时活塞 2 向下移动并恢复原位。

从千斤顶的工作过程可以看出,液压传动是利用液体的压力来传递能量的。其传递的过程

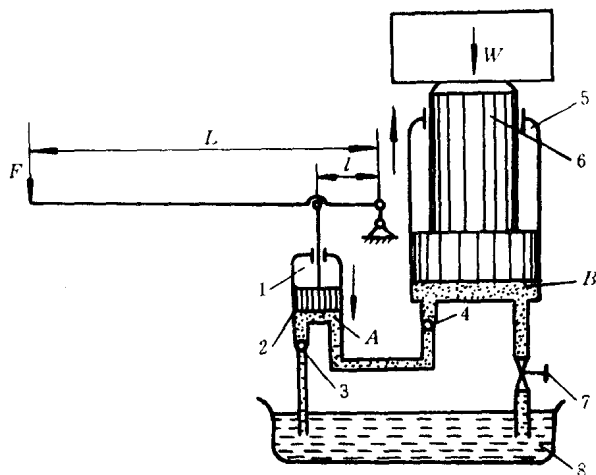


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

需要经过两次能量转换：首先通过动力装置（液压泵）把外界输入的机械能转换为液体的压力能，并通过管道输往执行机构（液压缸）；然后通过执行机构，再把液体的压力能转换为机械能，带动机器的运动部件运动。因此，液压传动装置本质上是一种能量转换装置。同时，从工作过程也可以看出，液压传动必须在密闭的容器内进行，如容器不密封，就不能形成必要的压力，也就不能实现液压传动。

二、液压传动系统的组成及职能符号

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置，而对于机床和其它液压机械，由于工作过程中的动作复杂，传动性能要求较高，所以液压传动系统也就复杂得多。图 1-2 是一台简单磨床工作台直线往复运动的液压传动系统原理图。工作台 9 由活塞杆带动作直线运动，液压缸 8 中的油液，由齿轮泵 3 供给。磨削时，工作台作往复运动。为了使工作台能够换向，在液压系统中设置了手动换向阀 7，用来改变油液进入液压缸的方向。根据加工需要的不同，工作台的运动速度应能调整，为此，系统中设置了速度调节装置——节流阀 5。改变节流阀开口的大小，就能改变通过节流阀而进入液压缸内的油液流量，因而控制了工作台的运动速度。磨床工作台在运动时，还要克服阻力，如磨削力和摩擦阻力等。这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服，根据系统所承受的负载不同，液压泵输出油液的压力应该能够调节；另外由于工作台速度需要改变，通常使泵输出的油液要多于液压缸所需的油液，因此，必须使泵输出多余的油液排回油箱 1。这些功能，由图 1-2 中所设置的溢流阀 4 来完成。图中：2 为滤油器，起防止污物进入液压系统的作用；6 为压力表，用于测定系统的压力。若把这些液压元件用油管 and 管接头连接起来，便组成了磨床工作台往复运动的液压传动系统。在工作过程中，若操纵手柄 10 置于图 1-2(a) 所示的位置，泵 3 输出的压力油经节流阀 5 到换向阀 7，由于换向阀阀芯处于中间位置，管路 P、A、B、T 互不相通，即液压缸左、右两腔不通压力油，工作台停止运动。此时，泵 3 输出的压力油经溢流阀 4 流回油箱。若操纵手柄 10 置于图 1-2(b) 所示位置，泵 3 输出的压力油经节流阀 5，再经换向阀 7 的阀口 P、A 进入液压缸 8 的左腔，推动活塞带动工作台 9 向右运动。此时，泵 3 输

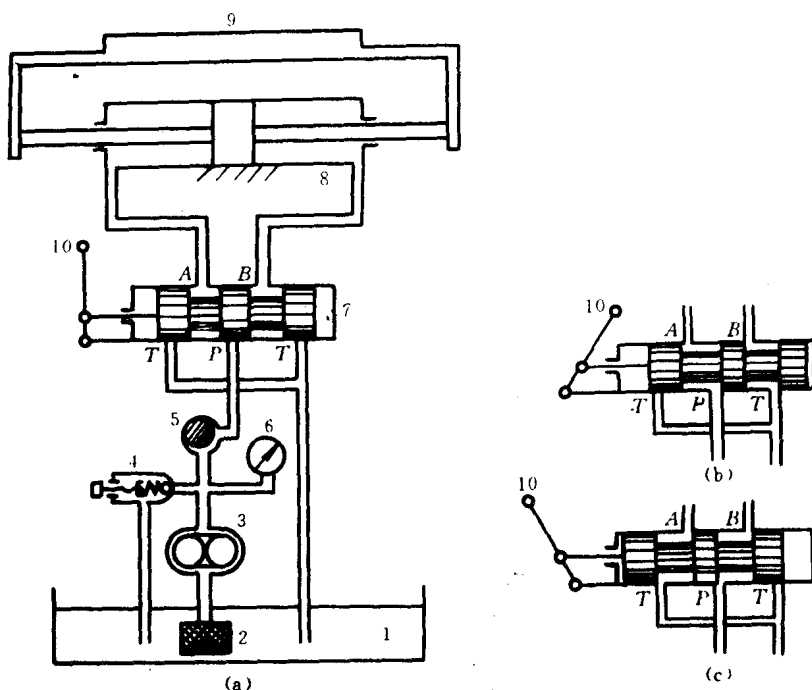


图 1-2 液压系统工作原理图

出的多余油液从溢流阀 4 流回油箱。液压缸右腔的油液经换向阀 7 的 B/T 阀口排回油箱。

若工作台向左运动,应将手柄 10 置于图 1-2(c)所示的位置,这时泵输出的压力油经节流阀 5、换向阀 7 的阀口 P/B 进入缸 8 的右腔,工作台便向左运动,而缸 8 左腔的油液经换向阀 7 的阀口 A/T 流回油箱,泵 3 输出的多余油液仍从溢流阀 4 排回油箱,因而达到了工作台换向的目的。

由上可知,改变换向阀阀芯的位置,可以改变油液流动的方向,从而达到工作台换向的目的。调节节流阀 5,可以改变进入液压缸内油液的流量,以控制工作台的运动速度。调节溢流阀 4,可控制泵的出口压力。

通过上例分析可以看出,液压传动系统一般由以下四部分组成:

1. 动力元件——液压泵。其功用是将机械能转换为油液的压力能,是一种能量转换元件,它给液压系统提供压力油,实际上是整个液压系统的能源。
2. 执行元件——液压缸(用于直线运动)和液压马达(用于旋转运动)。其功用是将油液的压力能转换为驱动工作部件的机械能。它也是一种能量转换元件。
3. 控制元件——各种阀类元件,如方向阀、压力阀、流量阀等。其用以控制液流方向、压力和流量。这些元件的不同组合形成不同功能的液压系统,以满足不同工作性能的要求。此类元件在系统中占有重要的地位。
4. 辅助元件——各种油管、滤油器、油箱、压力表等辅助性元件。这些辅助元件对于保证系统正常工作是必不可少的重要组成部分。

液压系统图有半结构式原理图和职能符号原理图两种。结构式原理图如图 1-2 所示,这种

图形直观性强,较易理解,但难于绘制,系统中元件数量较多时更是如此。而职能符号原理图,各液压元件都用符号表示,这些符号只表示元件的职能,连接系统的通路,不表示元件的具体结构,使用这些符号,可使液压系统图简单明了,便于绘制。

为了适应液压技术的迅速发展,我国已制定了液压及气动职能符号(GB786—76)。一般液压系统原理图均应按国标规定的职能符号(见本书附录)绘制。只有无法用职能符号表示,或者有必要特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时,才允许局部采用结构简图表示。

按国标有关规定,将图 1-2 所示的结构式原理图改用职能符号表示,则如图 1-3 所示。

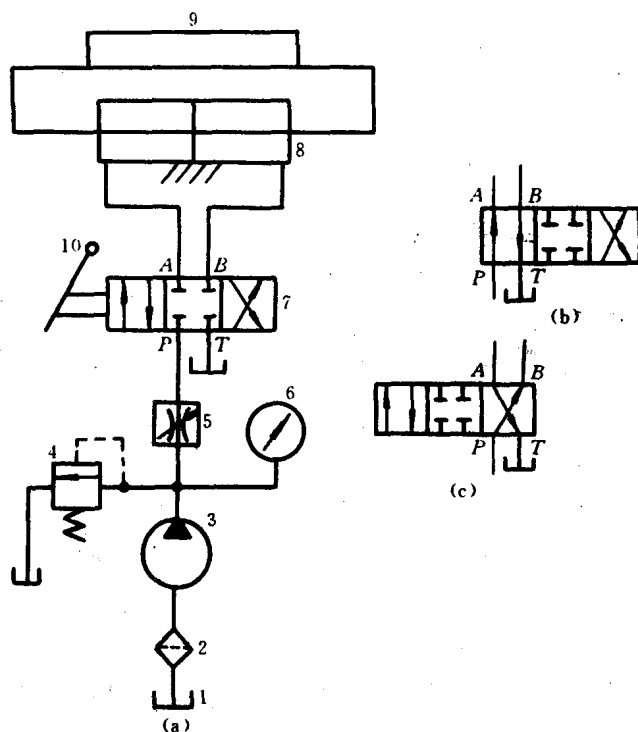


图 1-3 液压系统工作原理图(职能符号图)

§ 1-2 液压传动的优缺点

液压传动与其它传动相比较,有如下主要优点:

1. 在相同功率的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、惯性小、结构紧凑,而且能传递较大的力和力矩。
2. 液压传动工作比较平稳、反应快、冲击小,能高速启动和频繁的换向。
3. 能方便地实现无级调速,且调速范围大。
4. 操纵简单,便于实现自动化,特别是电、液联合控制时,易于实现复杂的自动工作循环。因此,液压传动在自动、半自动化程度要求较高的场合得到了广泛应用。
5. 液压系统借助安全阀等可自动实现过载保护,而且工作油液能使传动零件实现自动润滑,故使用寿命长。

6. 液压元件易于实现系列化、标准化,便于设计、制造和推广使用。

液压传动的主要缺点是:

1. 液压传动采用油液为工作介质,在相对运动表面间不可避免地要有泄漏,同时油液也不是绝对不可压缩的。因此,不宜用在传动比要求严格的场合。

2. 液压传动有较大的能量损失(泄漏损失、压力损失等),故传动效率不高,不宜作远距离传动。

3. 由于油液粘度随温度的变化而改变,所以不易保持运动速度的稳定,且不宜在高温及低温下工作。

4. 发生故障不易检查。

总之,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。因此,液压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途。

习 题

1. 何谓液压传动?试述液压千斤顶的工作原理。
2. 液压传动由哪几部分组成?试说明各组成部分的作用。
3. 绘制液压系统图时,为何要采用职能符号法?试画出液压泵、节流阀和溢流阀的职能符号。
4. 液压传动与机械传动、电气传动相比有哪些优、缺点?

第二章 液压传动基础知识

液压传动以液体作为工作介质来传递能量。因而研究液体的有关性质,有助于正确理解液压传动的基本原理。

§ 2-1 液体的物理性质

一、液体的密度

密度 ρ : 单位体积液体的质量, 即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad (2-1)$$

式中 m ——液体的质量, 单位为 kg;

V ——液体的体积, 单位为 m^3 。

液体的密度随温度升高而下降, 随压力增大而增大。但是在一般使用条件下, 温度和压力引起的密度变化很小, 所以, 液体的密度可近似视为常数。计算时可取 $\rho = 900 \text{kg/m}^3$ 。

二、液体的可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为可压缩性。

一定体积 V 的液体, 当压力增大 Δp 时, 体积减小了 ΔV 。衡量可压缩性大小的压缩系数 β 定义为

$$\beta = - \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad \text{m}^2/\text{N} \quad (2-2)$$

其物理意义是: 单位压力所引起的液体单位体积的变化。

由于压力增大时液体体积减小 (ΔV 为负值), 为使 β 值为正值, 所以式中加了一个负号。

压缩系数的倒数称为体积弹性模量, 用 K 表示, 即

$$K = \frac{1}{\beta} \quad \text{N/m}^2 \quad (2-3)$$

在液压系统实际计算时常取 $K = 0.7 \times 10^9 \text{N/m}^2$ 。

实际上, 液体的可压缩性很小, 一般情况允许把液体看成不可压缩的。但在分析液压系统动态性能或压力变化很大的高压系统时, 必须考虑液体的可压缩性。

三、液体的粘性

1. 粘 性

当液体在外力作用下流动时, 由于液体分子之间内聚力和液体分子与容器壁面之间附着力的作用, 导致液体分子之间相对运动而产生内摩擦力, 这种特性称为液体的粘性。

液体流动时, 液体与固体壁面的附着力和液体分子间的内聚力, 使各层液体的速度不同。

如图 2-1 所示,两平行平板间距离为 h ,且充满液体。设下平板固定不动,上平板以 u_0 的速度向右运动,由于附着力的作用,紧贴于上平板的液层与上平板一起以 u_0 的速度向右运动,而紧贴于下平板的液层其速度为零。中间各层的速度呈线性分布。这是因为相邻两液层之间由于内聚力的作用相互制约。流动快的液层带动较慢的液层,而流动慢的液层又阻滞流动较快的液层,两层间相对运动从而产生内摩擦力,或称为粘性阻力。

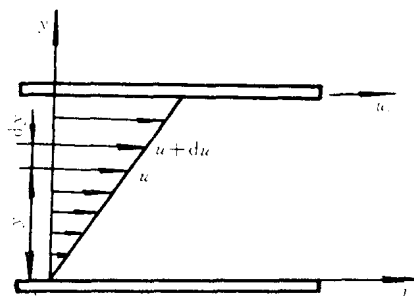


图 2-1 粘性示意图

牛顿的液体内摩擦定律指出:液体层间的内摩擦力 T 与液层间的接触面积 A 及液层间相对速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即

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

式中 μ ——比例系数,称为粘性系数或动力粘度;

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度或剪切率。

在静止液体中,由于速度梯度 $du/dy=0$,内摩擦力为零。因此,液体在静止状态时不呈现粘性。

2. 粘 度

粘性的大小可以用粘度来衡量,粘度是选择液压油的主要指标。在我国液体常用的粘度有动力粘度、运动粘度和恩氏粘度。

(1) 动力粘度 μ

由式(2-4)内摩擦力 T 除以接触面积 A ,得切应力:

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \cdot \frac{du}{dy} \quad \text{N/m}^2 \quad (2-5)$$

则

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad \text{N} \cdot \text{s/m}^2 \quad (2-6)$$

动力粘度 μ 的物理意义:液体在单位速度梯度下流动时,单位面积上的内摩擦力。因为它的单位中有动力学的要素,所以称为动力粘度。

动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒, $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$),它与以前沿用的单位 P (泊, $\text{dyn} \cdot \text{s/cm}^2$)之间的关系是: $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P}$ 。

(2) 运动粘度 ν

动力粘度 μ 与液体密度 ρ 的比值就是运动粘度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{m}^2/\text{s} \quad (2-7)$$

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 (施)和 cSt (厘施)之间的关系是: $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St}(\text{cm}^2/\text{s}) = 10^6\text{cSt}(\text{mm}^2/\text{s})$

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,所以称之为运动粘度。

运动粘度 ν 没有明确的物理意义,只是在液压系统分析和计算时常用到这个量。但目前机

液体运动粘度

械油的粘度常用其在 50℃ 时运动粘度的平均值厘沱数来标志(如:20 号机械油即该油在 50℃ 时的运动粘度 ν 的平均值为 20cSt)。

(3) 恩氏粘度

动力粘度和运动粘度在实际中难以直接测量,恩氏粘度可采用仪器直接测量液体粘度,它是相对粘度之一。

恩氏粘度是被测液体与水的粘性的相对比较值。将 200cm³ 液体在 t ℃ 时通过恩氏粘度计底部小孔(直径 $\phi 2.8\text{mm}$)所需时间 t_1 与同体积蒸馏水在 20℃ 时通过相同小孔所需时间 t_2 (通常取 $t_2=51\text{s}$)之比,即为该液体在 t ℃ 时恩氏粘度的数值($^{\circ}E_t$),表示为

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-8)$$

工业上常以 20℃ 和 50℃ 作为测量恩氏粘度的标准温度,并用相应的符号 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 表示。

恩氏粘度与运动粘度之间可用下列经验公式换算:

$$\nu = (7.31^{\circ}E - \frac{6.31}{^{\circ}E}) \times 10^{-6} \quad \text{m}^2/\text{s} \quad (2-9)$$

3. 粘度与压力的关系

液体的粘度随压力升高而增大。这是由于压力增加使液体分子间距离减小,内聚力增加,因此粘度有所增加。其关系可用下列经验公式表示:

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp} \approx \nu_0 (1 + bp) \quad (2-10)$$

式中 ν_0 ——液体压力为一个大气压($\approx 10^5\text{Pa}$)时的运动粘度;

ν_p ——液体压力为 $p(\text{Pa})$ 时的运动粘度;

e ——自然对数之底;

b ——系数。

对于液压油, $b = (2 \sim 3) \times 10^{-8} (1/\text{Pa})$ 。可见压力变化对粘度的影响不大,因此压力较低时可不考虑。

4. 粘度与温度的关系

液体的粘度对温度的变化很敏感,随温度升高液体的粘度显著下降。这是由于温度升高后液体分子内聚力减小,粘度随之降低。在一定范围内(30~150℃)矿物油粘度与温度的关系可用下面近似式表示:

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (2-11)$$

式中 ν_t ——液体在温度为 t ℃ 时的运动粘度;

ν_{50} ——液体在温度为 50℃ 时的运动粘度;

n ——指数(见表 2-1)。

表 2-1 运动粘度与温度指数的关系

$\nu_{50}(\text{mm}^2/\text{s})$	2.5	6.5	9.5	12	21	30	38	45	52	60	68	76
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56

图 2-2 所示部分国产油液的粘温图,也可直接从图中查出当温度为 t ℃ 时的油液粘度。

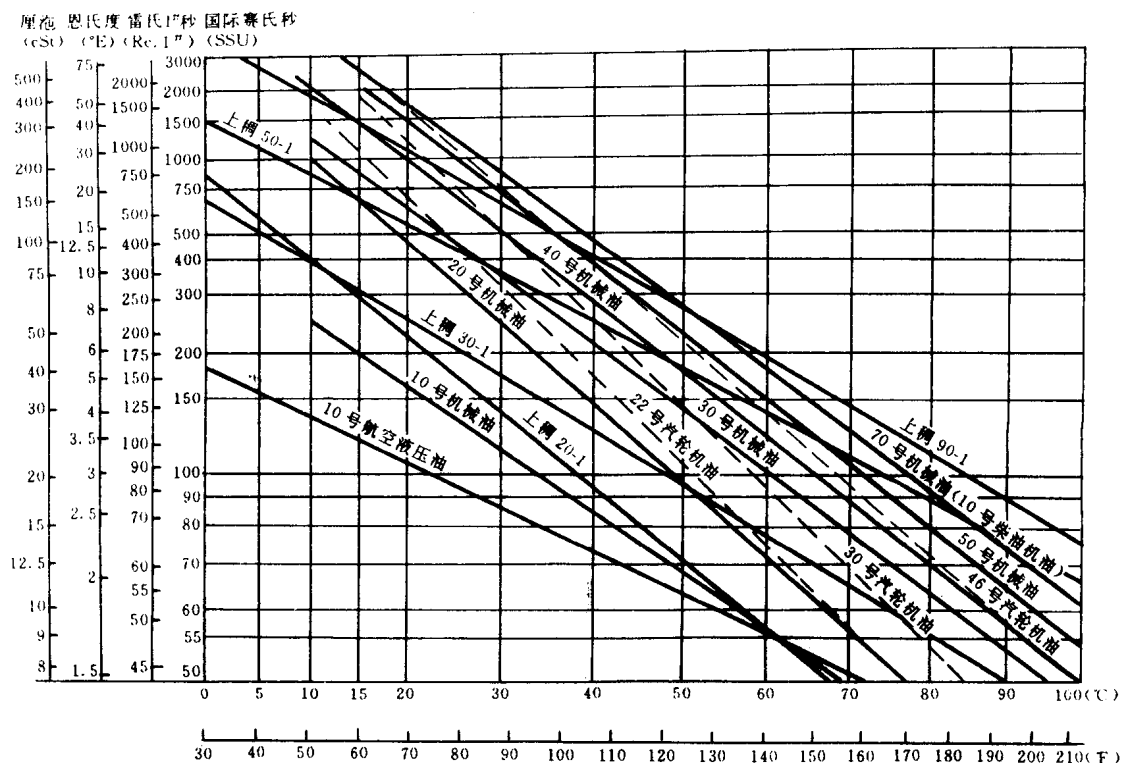


图 2-2 几种国产油液的粘温关系

液体粘度随温度变化的性质称为粘温特性。由于液压油粘度对温度的敏感将直接影响液压系统的工作性能,因此,希望粘度随温度的变化越小越好。由图 2-2 可见航空油和稠化油(上稠)的粘温特性比机械油好,因为这两种油液内加了改善粘温特性的添加剂。

5. 混合油液的粘度

当液压油产品的粘度不能满足液压系统需要时,可用不同粘度的油液混合,使其达到规定的粘度,混合油液的粘度 $^{\circ}E$ 用下述经验公式计算:

$$^{\circ}E = \frac{a^{\circ}E_1 + b^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (2-12)$$

式中 $^{\circ}E_1, ^{\circ}E_2$ ——混合前两种油液的恩氏粘度, $^{\circ}E_1 > ^{\circ}E_2$;

a, b ——参与混合的两种油液各占的百分数($a+b=100$);

c ——实验系数(见表 2-2)。

表 2-2 系数 c 的数值

$a\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$b\%$	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

四、液压油的选用

液压油作为液压系统的工作介质,对它一般有如下要求: