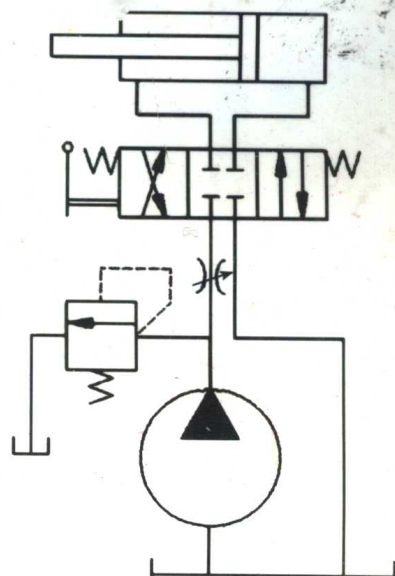
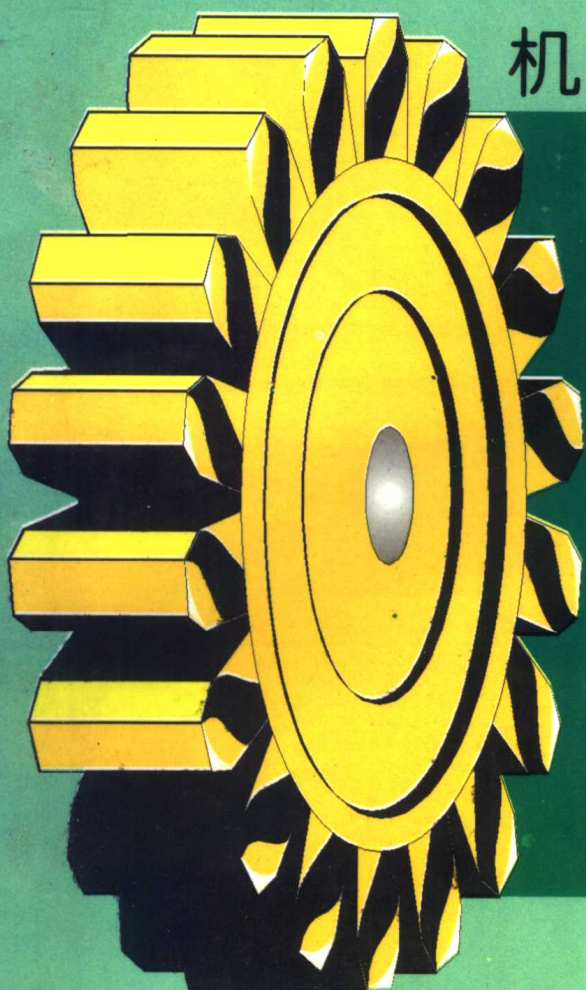


机械类专科系列教材

液压传动

姜继海 主编



哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨工业大学机械类高等工程专科系列教材

液 压 传 动

姜继海 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

全书共分十一章。第一章简述液压传动的工作原理、组成、特点及应用;第二章介绍液压系统所用介质;第三章介绍液压流体力学基础;第四、五、六和七章分别介绍液压系统所使用的动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件;第八章介绍主要液压回路;第九章介绍典型液压传动系统;第十章介绍液压传动系统的设计计算、液压系统原理图的拟定等;第十一章简单地介绍了液压伺服系统。

本书为机械类专业专科教材,也可供其它专业的科技人员参考应用。

哈尔滨工业大学机械类 高等工程专科系列教材编委会

主任委员	姜继海	副主任委员	荣涵锐
委 员	陈 明	王连明	荣涵锐
	李 旦	王广林	黄开榜
	韩荣第	周 明	姜继海

液压传动

Yeya Chuandong

姜继海 主编

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

黑龙江大学印刷厂印刷

+

开本 787×1092 1/16 印张 12.125 字数 294 千字

1997 年 11 月第 1 版 1997 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—5 000

ISBN 7-5603-1237-3 / TH·62 定价 15.50 元

前 言

高等工程专科教育是我国高等教育的重要组成部分,主要是为工程第一线培养专门技术人才。为使专科教学水平不断提高,我们在总结多年教学经验的基础上,根据国家教委对高等工程专科教学的基本要求,并吸取兄弟院校专科教学的经验,编写了这套机械类专科系列教材。

这套系列教材包括机械原理、机械设计、金属切削机床、机械制造工艺学、金属切削原理与刀具、液压传动六门机械制造专业专科学生技术基础课和专业课中的主干课程。

在这套系列教材编写过程中,我们特别注意把握专科教育与本科教育的区别,从专科教育特点出发,强调知识的应用与能力的培养。因此,在教学内容的选取上,处理好理论与实际应用的关系,基础理论知识以必需、够用为原则,对理论知识本身的产生过程,只讲思路,不做详细推导,重点介绍理论知识的应用,强调工程师的基本训练,加强分析、解决实际问题的能力及工程应用素质的培养。我们希望这套系列教材对我国机械类专科教育的发展能起到积极的作用。

哈尔滨工业大学机械工程系
机械类专科系列教材编委会

1997年4月于哈尔滨

编 者 的 话

本书是根据国家教委制定的高等工程专科教育的基础和技术基础课程“教学基本要求”及我校教学经验编写的。按照工程专科教育培养应用型技术人才的目标和规格要求,在本书的编写过程中贯彻基础理论以必需、够用为度,注重应用性、综合性的原则,全书以液压传动系统为主线,力求通俗易懂,学以致用,强调了使用能力培养和基本技能的训练。本书在编写中还注意吸收了部分兄弟院校在本专科教学中的教学经验和教学内容。

此外,还要说明以下两点:

(1)本教材主要适应于高等工程专科机械类专业学生使用,也可供其它有关专业的师生和工程技术人员参考;

(2)本教材所引用的有关标准、规范、数据、资料等,均为与阐明问题密切有关的部分,详细的数据和资料可查阅有关手册。

参加本书编写的有:姜继海(第一、二、三、四、五、六、七章、各章习题、思考题和附录)、李尚义(第八、九章)、赵克定(第十、十一章)。本书由姜继海主编,吴盛林主审。在本书编写过程中,得到了《哈尔滨工业大学机械类专科系列教材》编委会的指导和哈尔滨工业大学机械设计及控制教研室液压组全体老师的热情帮助和大力支持,在此一并表示深深地感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请广大读者予以批评指正。谢谢!

编 者

1997年4月于哈尔滨

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 液压传动系统的工作原理及组成	(1)
1.2 液压传动的特点	(4)
1.3 液压传动的应用	(4)
思考题和习题.....	(5)
第二章 液压油液	(6)
2.1 液压油液的性质和选择	(6)
2.2 液压油液的污染及控制	(10)
思考题和习题	(12)
第三章 液压流体力学基础	(13)
3.1 液体静力学	(13)
3.2 液体动力学	(16)
3.3 液体流动时的压力损失	(21)
3.4 孔口和缝隙流量	(26)
3.5 液压冲击和气穴现象	(31)
思考题和习题	(33)
第四章 液压泵和液压马达	(35)
4.1 液压泵的基本原理及分类	(35)
4.2 液压泵的基本性能参数和特性曲线	(35)
4.3 齿轮泵	(38)
4.4 叶片泵	(42)
4.5 柱塞泵	(47)
4.6 螺杆泵	(51)
4.7 各类液压泵的性能比较及应用	(51)
4.8 液压马达	(52)
思考题和习题	(56)
第五章 液压缸	(58)
5.1 液压缸的分类和特点	(58)
5.2 液压缸的结构	(63)
5.3 液压缸的设计与计算	(69)
思考题和习题	(70)
第六章 液压控制阀	(72)
6.1 概述	(72)
6.2 方向控制阀	(73)
6.3 压力控制阀	(82)

6.4 流量控制阀	(92)
6.5 比例阀、二通插装阀和数字阀	(95)
思考题和习题	(100)
第七章 液压系统辅助元件	(102)
7.1 蓄能器	(102)
7.2 滤油器	(105)
7.3 油箱	(108)
7.4 管件	(110)
思考题和习题	(112)
第八章 调速回路和多缸运动回路	(113)
8.1 调速回路	(113)
8.2 多缸运动回路	(127)
思考题和习题	(131)
第九章 典型液压传动系统	(135)
9.1 YT4543 型组合机床动力滑台液压系统	(135)
9.2 M1432 型万能外圆磨床液压系统	(138)
9.3 YB2-200 型液压机液压系统	(144)
9.4 Q2-8 型汽车起重机液压系统	(147)
9.5 SZ-250A 塑料注射成型机液压系统	(150)
思考题和习题	(156)
第十章 液压传动系统的设计和计算	(157)
10.1 明确设计要求,进行工况分析	(157)
10.2 执行元件主要参数的确定	(159)
10.3 液压系统原理图的拟定	(162)
10.4 液压元件的计算和选择	(162)
10.5 液压系统技术性能的验算	(165)
10.6 绘制正式工作图和编制技术文件	(166)
10.7 液压系统设计计算举例	(167)
思考题和习题	(171)
第十一章 液压伺服系统	(173)
11.1 概述	(173)
11.2 典型的液压伺服控制元件	(176)
11.3 电液伺服阀	(178)
11.4 液压伺服系统实例	(179)
思考题和习题	(182)
附录 部分常用液压系统图形符号(摘自 GB/T 786.1—93)	(183)
参考文献	(188)

第一章 概 论

一部完整的机器是由原动机部分、传动部分、控制部分和工作机构部分等组成。传动部分只是一个中间环节。它的作用是把原动机(电动机、内燃机等)的输出功率传送给工作机构。传动有多种类型,如机械传动(齿轮、轴、曲轴等)、电力传动(感应电动机、直线电动机、转矩电动机等)、液体传动、气体传动以及它们的组合——复合传动等。

用液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式被称之为液体传动。按照其工作原理的不同,液体传动又可分为液压传动和液力传动。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。液压传动又可称为容积式液压传动。由于液压传动有许多突出的优点,因此它被广泛地应用于机械制造、工程建设、石油化工、交通运输、军事器械、矿山冶金、航空、航海、轻工、农机、渔业、林业等各方面。同时,它也被应用到航天航空、海洋开发、核能工程、地震预测等各个技术领域。

液压传动相对于机械传动来说,它是一门新学科。但相对于计算机等新技术,它又是一门较老的技术。如果从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理、18 世纪末英国制成第一台水压机算起,液压传动已有二三百年的历史。只是由于在早期还没有成熟的液压传动技术和液压元件,而使它没有得到普遍的应用。随着科学技术的不断发展,各行各业对传动技术有了不断的要求,特别是第二次世界大战后,液压传动才被广泛地应用起来。

1.1 液压传动系统的工作原理及组成

一、液压传动系统的工作原理

图 1.1 表示一台驱动机床工作台的液压传动系统。这个系统可使工作机构做直线往复运动、克服各种阻力和调节工作机构的运动速度。我们可以通过它进一步了解一般液压传动系统的工作原理和基本组成。

在图 1.1(a)中,液压泵 4 由电动机驱动旋转,从油箱 1 中吸油。油液经滤油器 2 进入液压泵 4,当它从液压泵输出进入压力管 10 后,通过开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔,推动活塞 17 和工作台 19 向右移动。这时,液压缸 18 右腔的油经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

如果将换向手柄 16 转换成图 1.1(b)所示的状态,则压力管 10 中的油将经过开停阀 9、节流阀 13 和换向阀 15 进入液压缸 18 右腔,推动活塞 17 和工作台 19 向左移动,并使液压缸左腔的油经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

工作台 19 的移动速度是由节流阀 13 来调节的。当节流阀口开大时,进入液压缸 18 的油液增多,工作台的移动速度增大;当节流阀口关小时,工作台的移动速度减小。

为了克服移动工作台所受到的各种阻力,液压缸必须产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服的阻力越大,液压缸中的油压越高;反之压力就越低。输入液压缸油液的多少是通过节流阀 13 调节的,液压泵 4 输出的多余油液须经

溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱, 这只有在压力支管 8 中的油液压力对溢流阀钢球 6 的作用力等于或略大于溢流阀中弹簧 5 的预紧力时, 油液才能顶开溢流阀中的钢球流回油箱。所以, 在图示液压系统中, 液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的, 它和液压缸中的压力不一样大。

如果将换向阀手柄 16 转换成图 1.1(c) 所示的状态, 压力管中的油液将经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱, 不输送到液压缸中去, 这时工作台停止运动, 而系统保持溢流阀调定的压力。

如果将开停手柄 11 转换成图 1.1(d) 所示的状态, 压力管中的油液将经开停阀 9 和回油管 12 排回油箱, 不输送到液压缸中, 这时工作台就停止运动, 而液压系统卸荷。

从上面的例子可以看出:

- (1) 液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的;
- (2) 液压传动是以液体压力能来传递动力和运动的;

(3) 液压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的。

液压传动系统中的能量转换和传递情况见图 1.2。

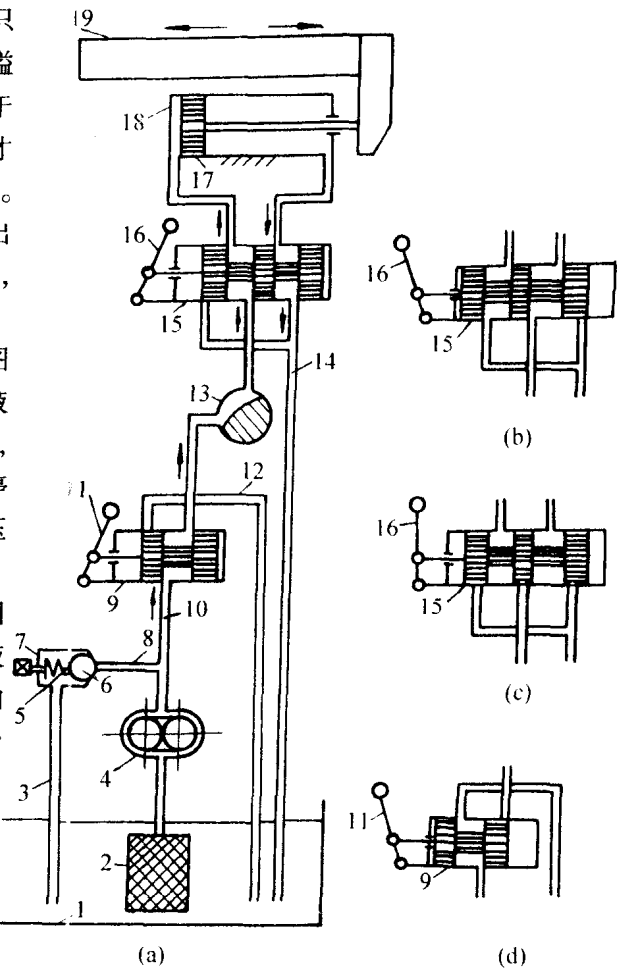


图 1.1 机床工作台液压传动系统的工作原理图
1—油箱; 2—滤油器; 3、12、14—回油管; 4—液压泵; 5—弹簧; 6—钢球; 7—溢流阀; 8—压力支管; 9—开停阀; 10—压力管; 11—开停手柄; 13—节流阀; 15—换向阀; 16—换向手柄; 17—活塞; 18—液压缸; 19—工作台

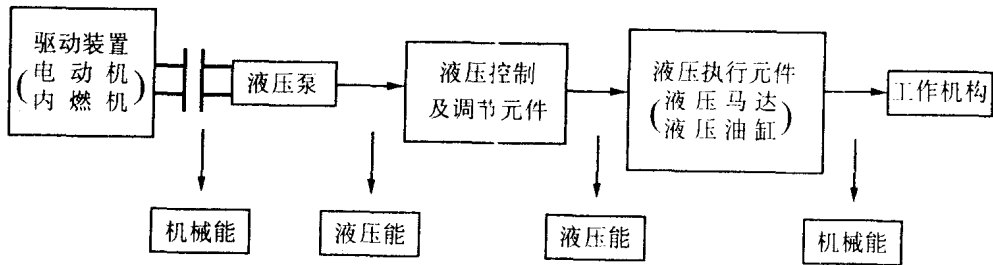


图 1.2 液压传动系统中的能量传递和转换图

二、液压传动系统的组成

从液压传动系统的工作原理图 1.1 和液压传动系统中的能量转换图 1.2 可以看出, 液压传动系统由以下五部分组成:

(1) 动力元件: 动力元件指液压泵, 它是将原动机的机械能转换成为液压能的装置, 其作用是为液压系统提供压力油, 是液压系统的动力源;

(2) 液压执行元件: 液压执行元件指液压缸或液压马达, 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(或转矩和转速), 以驱动工作机构;

(3) 控制调节元件: 它包括各种阀类元件, 其作用是用来控制液压系统中油液流动方向、压力和流量, 以保证液压执行元件和工作机构完成指定工作;

(4) 辅助元件: 辅助元件如油箱、油管、滤油器等, 它们对保证液压系统正常工作有着重要的作用;

(5) 工作介质: 工作介质指传动液体, 通常被称为液压油液。

三、液压传动系统的图形符号

在图 1.1 中, 组成液压传动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, 容易理解, 但绘制起来比较麻烦, 特别是在液压传动系统中的液压元件数量比较多时更是如此。所以, 在工程实际中, 除某些特殊情况外, 一般都是用简单的图形符号来绘制液压传动系统原理图。对图 1.1 所示的液压传动系统, 其系统原理图如果用国家标准 GB/T786.1—93 所规定的液压图形符号(见附录)绘制时, 如图 1.3 所示。在这里, 图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部连接口, 不表示元(辅)件的具体结构和参数, 也不表示连接口的实际位置和元(辅)件的安装位置。在绘制液压元件的图形符号时, 除非特别说明, 图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置, 并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外, 它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。使用这些图形符号后, 可使液压传动系统图简单明了, 便于绘制。当有些液压元件无法用图形符号表达或在国家标准中未列入时, 可根据标准中规定的符号绘制规则和所给出的符号进行派生。当无法用标准直接引用或派生时, 或有必要特别说明系统中某一元(辅)件的结构和工作原理时, 可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图表示。在用图形符号来绘制液压传动系统原理图时, 符号的大小应以清晰美观为原则, 绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理, 但应保持图形本身的适当比例。

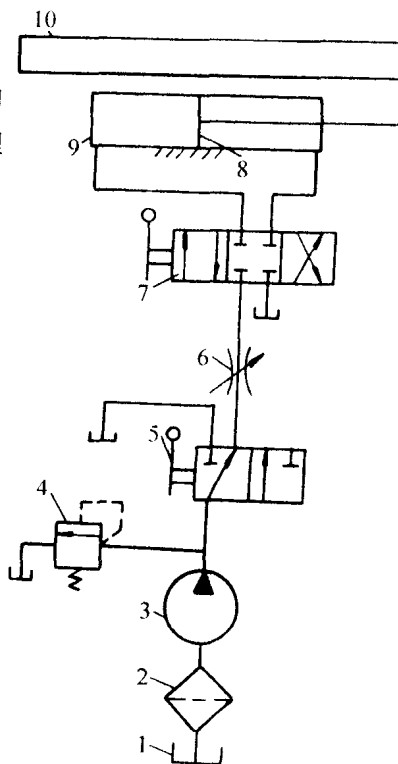


图 1.3 机床工作台液压传动系统的图形符号

1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵;
4—溢流阀; 5—开停阀; 6—节流阀;
7—换向阀; 8—活塞; 9—液压缸;
10—工作台

1.2 液压传动的特点

液压传动由于有许多特点,才使得它被广泛地应用于各行各业之中。

液压传动相对于其它传动有以下一些主要优点:

(1) 在同等体积下,液压装置能产生出更大的动力,也就是说,在同等功率下,液压装置的体积小、重量轻、结构紧凑,即:它具有大的功率密度或力密度,力密度在这里等于工作压力;

(2) 液压装置容易做到对速度的无级调节,而且调速范围大,并且对速度的调节还可以在工作过程中进行;

(3) 液压装置工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向;

(4) 液压装置易于实现过载保护,能实现自润滑,使用寿命长;

(5) 液压装置易于实现自动化,可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制,并能很容易地和电气、电子控制或气动控制结合起来,实现复杂的运动、操作;

(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。

当然,液压传动还存在以下一些明显缺点:

(1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性,使这种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),因此,传动效率相对低;

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在较高或较低的温度下工作;

(4) 液压传动在出现故障时不易找出原因。

1.3 液压传动的应用

液压传动主要应用如下:

(1) 一般工业用液压系统:塑料加工机械(注塑机)、压力机械(锻压机)、重型机械(废钢压块机)、机床(全自动六角车床、平面磨床)等;

(2) 行走机械用液压系统:工程机械(挖掘机)、起重机械(汽车吊)、建筑机械(打桩机)、农业机械(联合收割机)、汽车(转向器、减振器)等;

(3) 钢铁工业用液压系统:冶金机械(轧钢机)、提升装置(电极升降机)、轧辊调整装置等;

(4) 土木工程用液压系统:防洪闸门及堤坝装置(浪潮防护挡板)、河床升降装置、桥梁操纵机构和矿山机械(凿岩机)等;

(5) 发电厂用液压系统:涡轮机(调速装置)、核发电厂等;

(6) 特殊技术用液压系统:巨型天线控制装置、测量浮标、飞机起落架的收放装置及方向舵控制装置、升降旋转舞台等;

(7) 船舶用液压系统:甲板起重机械(绞车)、船头门、舱壁阀、船尾推进器等;

(8) 军事工业用液压系统:火炮操纵装置、舰船减摇装置、飞行器仿真等。

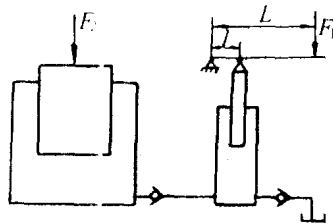
上述的概略说明不包括所有应用的可能性。用液压系统传递动力、运动和控制的应用范围相当广泛,它在当今的各个领域中都占有一席之地。目前,液压传动技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化等方面都取得了很大的进展。同

时,由于它与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以准确地控制,从而更使得它在各行各业中发挥出了巨大作用。

思考题和习题

- 1.1 液体传动有哪两种形式? 它们的主要区别是什么?
- 1.2 什么叫液压传动? 液压传动所用的工作介质是什么?
- 1.3 液压传动系统由哪几部分组成? 各组成部分的作用是什么?
- 1.4 液压传动的主要优缺点是什么?

1.5 如题 1.5 图所示的液压千斤顶,小柱塞直径 $d = 10\text{ mm}$,行程 $S = 25\text{ mm}$,大柱塞直径 $D = 50\text{ mm}$,重物产生的力 $F_2 = 50\,000\text{ N}$,手压杠杆比 $L:l = 500:25$,试求:(1)此时密封容积中的液体压力是多少?(2)杠杆端施加力 F_1 为多少时,才能举起重物?(3)杠杆上下动作一次,重物的上升高度是多少?



题 1.5 图

第二章 液压油液

液压传动是以液体作为工作介质来传递能量的。在液压系统中,液压油液用来传递动力和信号,并且起到润滑、冷却和防锈等作用。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使用的液压油液。因此,我们必须对液压油液有一清晰的了解。

2.1 液压油液的性质和选择

一、液压油液的种类

在液压传动系统中所使用的液压油液大多数是矿物油,但也有合成液体、水包油乳化液(也称为高水基)和油包水乳化液等。它们的种类如表 2.1 所示。

矿物油型液压油是以机械油为基料,精炼后按需要加入适当的添加剂而制成。所加入的添加剂大致有两类:一类是用来改善油液化学性质的,如抗氧化剂、防锈剂等;另一类是用来改善油液物理性质的,如增粘剂、抗磨剂等。矿物油型液压油润滑性好,但抗燃性差。由此又研制出难燃型液压油(乳化型、合成型等)供选择,以用于轧钢机、压铸机、挤压机等,来满足耐高温、热稳定、不腐蚀、无毒、不挥发、防火等项要求。

表 2.1 液压油液的种类

工业液压油液	矿物油型	汽轮机油 普通液压油(YA)	
		专用液压油	抗磨液压油(YB) 低温液压油(YC) 液压-导轨油 高粘度指数液压油(YD) 其它专用液压油
	难燃型	乳化型	水包油乳化液(YRA) 油包水乳化液(YRB)
		合成型	水-乙二醇液(YRC) 磷酸酯液(YRD) 其它

二、液压油液的性质

1. 基本性质

(1) 密度 ρ : 单位体积内的液体质量被称为密度。矿物油型液压油在 15°C 时的密度为 $900(\text{kg}/\text{m}^3)$ 左右。在实际使用中可认为它不受温度和压力的影响。

(2) 体积膨胀系数 α : 在液体压力不变的情况下,由于温度的变化所引起体积的相对变化量被称为体积膨胀系数。体积膨胀系数一般为 $(6.3 \sim 7.8) \times 10^{-4}(1/\text{K})$ 。

(3) 比热容 c : 比热容是指单位重量的液体温度升高 1°C 时所需要的热量。一般比热容为 $(1.7 \sim 2.1) \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 左右。

(4) 热导率 λ : 热导率表示液体内部热传导的难易程度。热导率一般为 $0.116 \sim 0.151 (\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$ 。

还有其它一些物理化学性质。在需要时可查阅有关手册。在液压传动技术中,液压油液最重要的特性是它的可压缩性和粘性。

2. 可压缩性

液体受压力的作用而使体积发生变化的性质被称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体,当压力变化量为 Δp 时,体积的变化量为 ΔV ,液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

$$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (2.1)$$

式中, κ 被称为液体的体积压缩系数。因为压力增大时液体的体积减小,所以上式的右边必须加一负号,以便使液体的体积压缩系数 κ 为正值。

液体体积压缩系数的倒数被称为液体的体积弹性模量,简称体积模量,用 K 表示,即

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{V}{\Delta V} \Delta p \quad (2.2)$$

体积弹性模量 K 表示液体产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。在使用中,可用 K 值来说明液体抵抗压缩能力的大小。一般矿物油型液压油的体积弹性模量为 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$ 。它的可压缩性是钢的 100 ~ 150 倍。但在实际使用中,由于在液体内不可避免地会混入空气等原因,使其抗压缩能力显著降低,这会影 响液压系统的工作性能。因此,在有较高要求或压力变化较大的液压系统中,应尽量减少油液中混入的气体及其它易挥发性物质(如煤油、汽油等)的含量。由于油液中的气体难以完全排除,在工程计算中,常取液压油的体积弹性模量 $K = 0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 左右。

液压油液的体积弹性模量和温度、压力有关。温度升高时, K 值减小,在液压油液正常的工作范围内, K 值会有 5% ~ 25% 的变化;压力增大时, K 值增大;反之则减小,但这种变化不呈线性关系,当压力大于 3 MPa 时, K 值基本上不再增大。

封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极像一根弹簧,外力增大,体积减小;外力减小,体积增大。在液体承压面积 A 不变时(见图 2.1),可以通过压力变化 $\Delta p = \Delta F/A$ 、体积变化 $\Delta V = A\Delta l$ (Δl 为液柱长度变化值)和式(2.1)求出它的液压弹簧刚度,即

$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2 K}{V} \quad (2.3)$$

液压油液的可压缩性对液压传动系统的动态性能影响较大。但当液压传动系统在静态(稳态)下工作时,一般可以不予考虑。

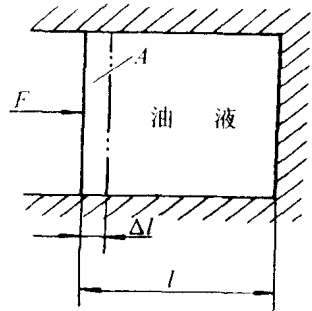


图 2.1 液压弹簧刚度计算

3. 粘性

液体在外力作用下流动或有流动趋势时,液体分子间的内聚力要阻止液体分子的相对运动,由此产生一种内摩擦力,这种现象被称为液体的粘性。

液体流动时,由于液体的粘性以及液体和固体壁面间的附着力,会使液体内部各液层间的流动速度大小不等。如图 2.2 所示,设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。由于液体的粘性作用,紧贴下平板液体层的速度为零,紧贴上平板液体层的速度为 u_0 ,而中间各液层的速度则视它距下平板距离的大小按线性规律或曲线规律变化。实验表明,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比,即

$$F_f = \eta A \frac{du}{dy} \quad (2.4)$$

式中, η 是比例常数, 称为粘性系数或动力粘度。如以 τ 表示液体的内摩擦切应力, 即液层间单位面积上的内摩擦力, 则有

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \eta \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。

由上式可知, 在静止液体中, 因速度梯度 $du/dy = 0$, 内摩擦力 τ 也为零, 所以液体在静止状态下不呈现粘性。

例 2.1 如图 2.3 所示的粘度计, 若 $D = 100 \text{ mm}$, $d = 98 \text{ mm}$, $l = 200 \text{ mm}$, 外筒转速 $n = 8 \text{ r/s}$ 时, 测得的转矩 $T = 40 \text{ N}\cdot\text{cm}$, 试求油液的动力粘度是多少?

解 由公式(2.4), 在两端乘以旋转粘度计的旋转半径 $D/2$, 可得到转矩 T , 即

$$T = \frac{D}{2} F_f = \frac{D}{2} \eta A \frac{du}{dy}$$

由此可得到油液的动力粘度如下

$$\eta = \frac{2T dy}{DA du} = \frac{2T}{DA} \frac{du}{dy}$$

假设各液层间的速度按线性规律分布, 即速度梯度为常数时, 则有

$$\frac{du}{dy} = \frac{\pi D n}{(D - d)/2}$$

同时将上式和 $A = \pi D l$ 代入上面得到的动力粘度公式, 则有

$$\eta = \frac{2 \times 40 \times 10^{-2}}{100 \times 100 \times 200 \times 10^{-9} \pi} \times \frac{(100 - 98) \times 10^{-3}}{2 \times 8 \times 100 \times 10^{-3} \pi} = 0.051 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

液体粘性的大小用粘度来表示。常用的液体粘度有三种, 即动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 η : 动力粘度又称为绝对粘度, 由式(2.4)可得

$$\eta = \frac{F_f}{A \frac{du}{dy}} \quad (2.6)$$

由式(2.6)可知液体动力粘度的物理意义是: 液体在单位速度梯度下流动或有流动趋势时, 相接触的液层间单位面积上产生的内摩擦力。动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$), 以前沿用的单位为 P (泊, $\text{dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$), 它们之间的关系是, $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P}$ 。

(2) 运动粘度 ν : 液体的动力粘度与其密度的比值被称为液体的运动粘度, 即

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.7)$$

液体的运动粘度没有明确的物理意义, 但它在工程实际中经常用到。因为它的单位只有长度和时间的量纲, 类似于运动学的量, 所以被称为运动粘度。它的法定计量单位为 m^2/s , 以前沿用的单位为 St (斯), 它们之间的关系是

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt (厘斯)}$$

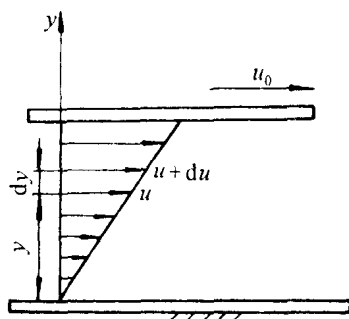


图 2.2 液体粘性示意图

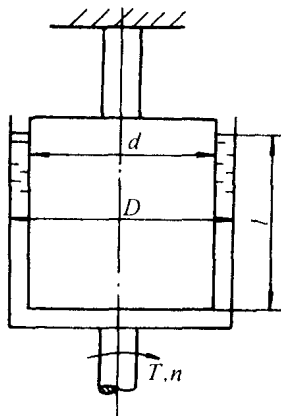


图 2.3 例题 2.1 附图

液压油的牌号就是用它在温度为 40℃ 时的运动粘度平均值来表示的。例如 32 号液压油,就是指这种油在 40℃ 时的运动粘度平均值为 32 mm²/s。

(3) 相对粘度:动力粘度和运动粘度是理论分析和计算时经常使用到的粘度单位,但它们都难以直接测量。因此,在工程上常常使用相对粘度。相对粘度又称为条件粘度,它是采用特定的粘度计在规定的条件下测量出来的粘度。用相对粘度计测量出它的相对粘度后,再根据相应的关系式换算出运动粘度或动力粘度,以便于使用。中国、德国等采用恩氏粘度°E,美国用赛氏粘度 SSU,英国用雷氏粘度 R,等等。

用恩氏粘度计测定液压油的恩氏粘度:把 200 mL 温度为 t ℃ 的被测液体装入恩氏粘度计的容器内,测出液体经容器底部直径为 2.8 mm 的小孔流尽所需时间 t_1 (s),并将它和同体积的蒸馏水在 20℃ 时流过同一小孔所需时间 t_2 (s)(通常 $t_2 = 51$ s)相比,其比值即是被测液体在温度 t ℃ 下的恩氏粘度,即°E_t = t_1/t_2 一般以 20℃、40℃ 及 100℃ 作为测定液体恩氏粘度的标准温度,由此而得到的恩氏粘度分别用°E₂₀、°E₄₀ 和°E₁₀₀ 来标记。

恩氏粘度与运动粘度之间的换算关系式为

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.8)$$

事实上,液体的粘度是随着液体的压力和温度而变化的。对液压油来说,压力增大时,粘度增大。但在一般液压系统使用的压力范围内,粘度增大的数值很小,可以忽略不计。但是液压油液的粘度对温度的变化十分敏感。如图 2.4 所示,温度升高,粘度显著下降,这种变化将直接影响液压油液的正常使用。液压油液的这种性质被称为液压油液的粘温特性。不同种类的液压油有着不同的粘温特性。粘温特性好的液压油,粘度随温度的变化较小。

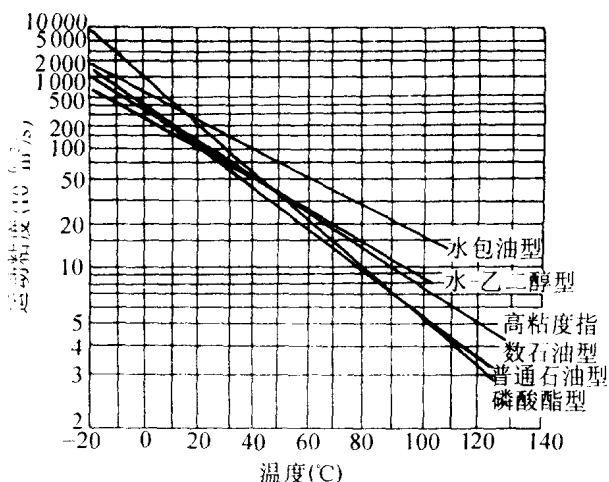


图 2.4 液压油粘度和温度之间的关系

三、对液压油液的要求

不同的液压系统、不同的使用条件,对液压油液的要求也不相同,为了更好地传递动力和运动,液压系统所使用的液压油液应具备以下的基本性能:

- (1) 合适的粘度,润滑性能好,并具有较好的粘温特性;
- (2) 质地纯净、杂质少,并对金属和密封件有良好的相容性;
- (3) 对热、氧化、水解和剪切有良好的稳定性;
- (4) 抗泡沫性、抗乳化性和防锈性好,腐蚀性小;
- (5) 体积膨胀系数小,比热容大,流动点和凝固点低,闪点和燃点高;
- (6) 对人体无害,对环境污染小,成本低,价格便宜。

四、液压油液的选择

正确合理地选择液压油液,对保证液压系统正常工作、延长液压系统和液压元件的使用寿命以及提高液压系统的工作可靠性等,都有重要影响。

对液压油液的选用,首先应根据液压传动系统的工作环境和工作条件来选择合适的液压油液类型,然后再选择液压油液的粘度。

1. 选择液压油液类型

在选择液压油液类型时,最主要的是考虑液压系统的工作环境和工作条件,若系统靠近 300℃ 以上高温的表面热源或有明火场所,就要选择如表 2.1 所示的难燃型液压油或液压液。其中对液压油液用量大的液压系统,建议选用乳化型液压液;用量小的选用合成型液压液。其中,当选用了矿物油型液压油后,首选的是专用液压油;在客观条件受到限制时或对简单的液压系统,也可选用普通液压油或汽轮机油。

2. 选择液压油液的粘度

对液压系统所使用的液压油液来说,首先要考虑的是粘度。粘度太大,液流的压力损失和发热大,使系统的效率降低;粘度太小,泄漏增大,也会使液压系统的效率降低。因此,应选择使系统能正常、高效和可靠工作的油液粘度。

在液压系统中,液压泵的工作条件最为严峻。它不但压力大、转速和温度高,而且液压油液被泵吸入和被泵压出时要受到剪切作用,所以一般根据液压泵的要求来确定液压油液的粘度。同时,因油温对油液的粘度影响极大,过高的油温不仅改变了油液的粘度,而且还会使常温下平和、稳定的油液变得带有腐蚀性,分解出不利于使用的成分,或因过量的汽化而使液压泵吸空,无法正常工作。所以,应根据具体情况控制油温,使泵和系统在油液的最佳粘度范围内工作。对各种不同的液压泵,在不同的工作压力、工作温度下,油液的推荐粘度范围及用油见表 2.2。

表 2.2 各类液压泵适用的粘度范围

液压油液类型	环境温度	5℃ ~ 40℃	40℃ ~ 80℃
	粘度	40℃ 粘度 (mm ² /s)	40℃ 粘度 (mm ² /s)
齿 轮 泵		30 ~ 70	54 ~ 110
叶片泵 $p \leq 7$ MPa		30 ~ 50	43 ~ 77
叶片泵 $p > 7$ MPa		54 ~ 70	65 ~ 95
轴向式柱塞泵		43 ~ 77	70 ~ 172
径向式柱塞泵		30 ~ 128	65 ~ 270

2.2 液压油液的污染及控制

一般来说,液压油液的污染是液压传动系统发生故障的主要原因,它严重地影响着液压传动系统工作的可靠性及液压元件的寿命。因此,液压油液的正确使用、科学管理以及污染控制,是提高液压传动系统的可靠性及延长液压元件使用寿命的重要手段。