

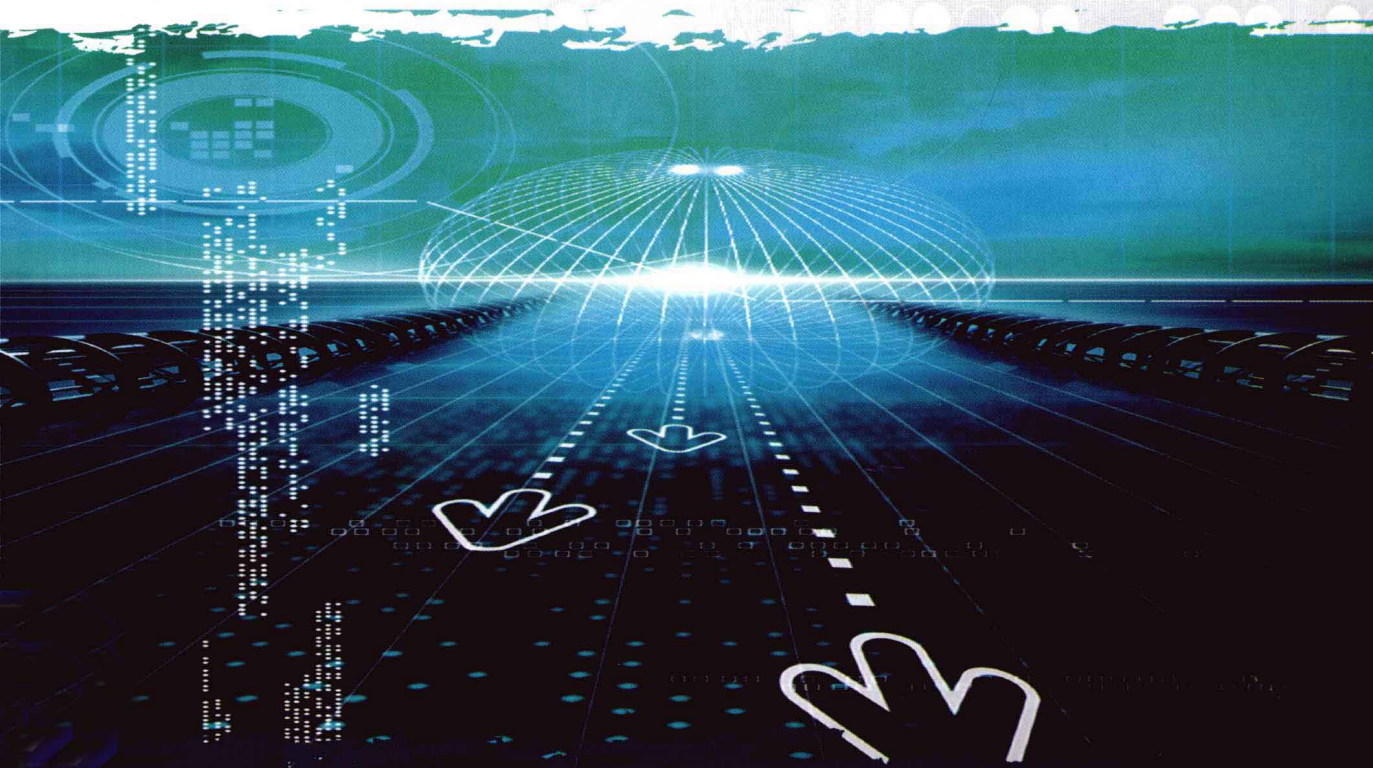


新世纪应用型高等教育
机械类课程规划教材

液压与气压传动

新世纪应用型高等教育教材编审委员会 组编

主 编 胡竟湘 主 审 王海涛



大连理工大学出版社

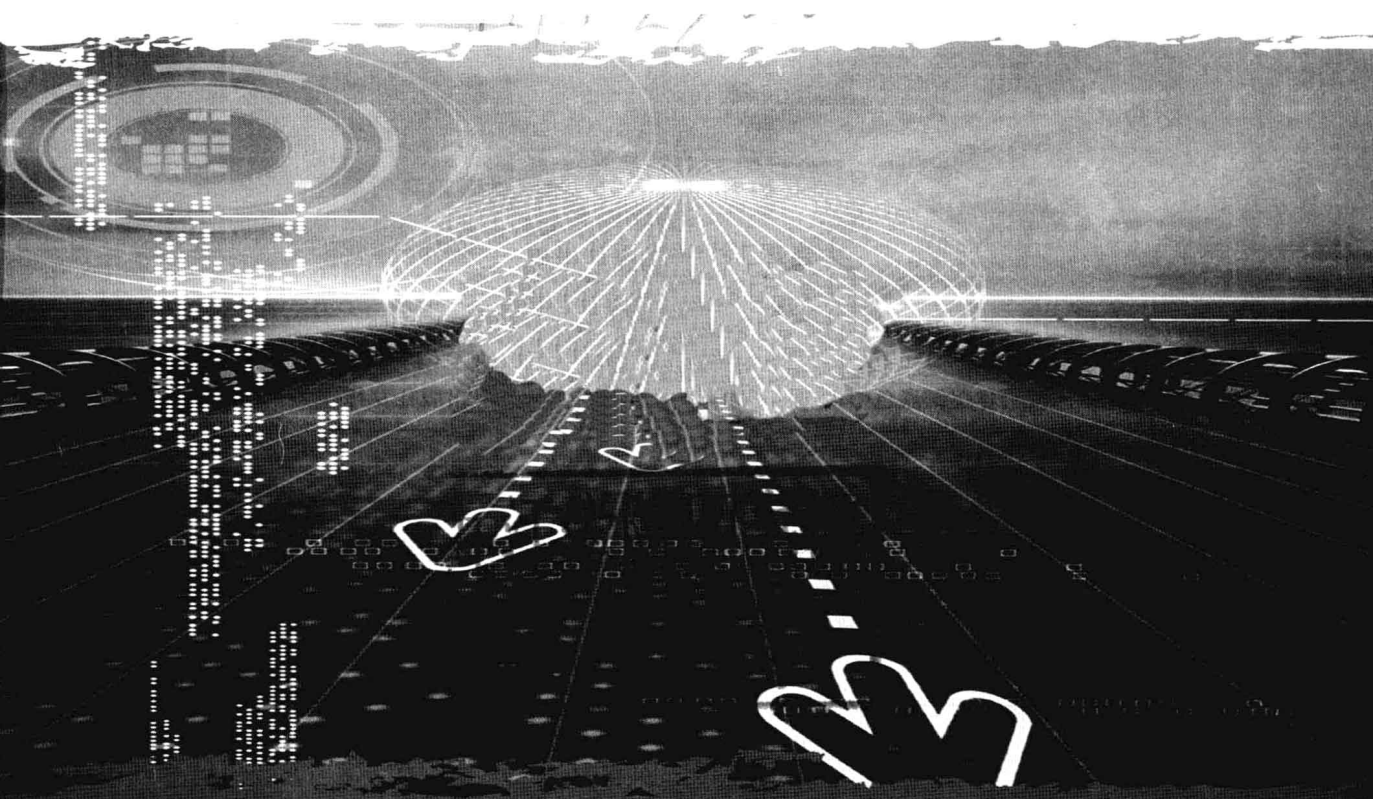


新世纪应用型高等教育
机械类课程规划教材

液压与气压传动

新世纪应用型高等教育教材编审委员会 组编

主 编 胡竟湘
副主编 韦建军 巴新华
安爱琴 钟定清
主 审 王海涛



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 胡竟湘主编. —大连:大连理工大学出版社, 2009.10(2011.7 重印)

新世纪应用型高等教育机械类课程规划教材
ISBN 978-7-5611-5173-0

I. ①液… II. ①胡… III. ①液压传动—高等学校—教材 ②气压传动—高等学校—教材 IV. ①TH137
②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 191075 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码 116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:14.5 字数:335 字

印数:4001~5500

2009 年 10 月第 1 版

2011 年 7 月第 2 次印刷

责任编辑:孔泳滔

责任校对:王 哲

封面设计:张 莹

ISBN 978-7-5611-5173-0

定 价:29.00 元

前言

《液压与气压传动》是新世纪应用型高等教育教材编审委员会组编的机械类课程规划教材之一。

本教材是为了适应应用型本科机械设计及其自动化专业人才的培养目标,结合相关专业知识的要求,参照目前高等院校专业教学基本要求,在总结近几年教学实践的基础上编写而成的。本教材适用于普通工科院校机械设计及其自动化专业使用,其他机械类专业可根据实际情况对教材内容进行增减,也适用于其他各类成人高校、电大、自学考试相关专业,并可供从事液压与气压传动相关工作的技术人员参考。

在本教材的建设过程中,注重突出以下特色:

1. 体系结构优化

本教材在内容的选取和安排上,按照基础理论(第1~2章)—动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件(第3~6章)—基本回路(第7章)—系统设计(第8~10章)—气压传动(第11章)的体系编写,条理清晰,循序渐进,由浅入深,层次清楚,系统性强。

2. 编写理念创新

本教材以少而精的理念取材和编排章节,精选内容,通俗易懂,叙述简单明了,特别适于少学时的液压与气压传动课程的教学。

3. 体例编排合理

对于学生较难掌握的压力阀和调速回路等内容,专门编排了典型例题,并在每章末都附有经过精选的思考题和习题,有助于学生加深对基本概念的理解,加强对基本计算和知识应用能力的训练以及对重要知识点的掌握。

4. 注重应用

应用型本科旨在培养高级工程技术应用型人才,这就决定了应用型本科的教材建设,特别是专业课的教材建设必须突出应用性。对理论部分,以够用为度,重点介绍目前广泛应用的液压与气压元件的结构、原理及其实际应用,液压与气压传动的基本回路以及液压系统的设计方法。

5. 术语标准规范

本教材中的名词术语、物理量的符号与单位及液压与气压传动的图形符号都采用最新国家标准。

本教材共分 11 章:液压传动概述、液压流体力学基础、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压系统、液压传动系统的设计与计算、液压伺服系统、气压传动;在附录中提供了常用液压及气压传动现行的国家标准图形符号。

本教材由湖南工程学院胡竞湘任主编,广西工学院韦建军、河南科技学院巴新华、河南科技学院安爱琴和湖南工程学院钟定清任副主编,郑州轻工业学院耿军晓等参与了教材编写工作。具体编写分工如下:第 1 章、第 2 章由胡竞湘编写;第 3 章、第 4 章由韦建军编写;第 5 章、第 6 章由巴新华编写;第 7 章、第 8 章由安爱琴编写;第 9 章、第 11 章及附录由钟定清编写;第 10 章由耿军晓编写。本教材由胡竞湘负责统稿和定稿。

大连海事大学王海涛老师审阅了本教材并提出了许多宝贵的意见和建议,在编写过程中,湖南工程学院陈学辉、刘国荣老师对本教材提出了许多建设性意见,周刚强、温柯柯在文本的录入及绘图方面做了很多工作,在此一并表示衷心感谢。

敬请广大读者对本教材中的疏漏之处予以关注,并将意见、建议反馈给我们,以便及时修订完善。

所有意见和建议请发往:dutpgz@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411-84706676 84707604

编 者

2009 年 10 月



第 1 章 液压传动概述	1
1.1 液压传动的工作原理	1
1.2 液压传动系统的组成及图形符号	2
1.3 液压传动的特点及应用	4
习 题	5
第 2 章 液压流体力学基础	6
2.1 工作介质	6
2.2 液体静力学	14
2.3 液体运动学和动力学	18
2.4 管路压力损失分析	27
2.5 小孔流量	30
2.6 缝隙流动	31
2.7 液压冲击与气穴现象	34
习 题	37
第 3 章 液压动力元件	41
3.1 概 述	41
3.2 齿轮泵	44
3.3 叶片泵	48
3.4 柱塞泵	55
3.5 液压泵的应用	59
习 题	60
第 4 章 液压执行元件	62
4.1 液压缸的类型和特点	62
4.2 液压缸的典型结构和组成	66
4.3 液压马达	72
习 题	76
第 5 章 液压控制元件	77
5.1 概 述	77
5.2 方向控制阀	79
5.3 压力控制阀	90
5.4 流量控制阀	101
5.5 其他阀	105
习 题	110

第 6 章 液压辅助元件	112
6.1 蓄能器	112
6.2 滤油器	114
6.3 油箱	116
6.4 管件	118
习 题	120
第 7 章 液压基本回路	121
7.1 方向控制回路	121
7.2 压力控制回路	122
7.3 速度控制回路	129
7.4 多缸运动回路	143
习 题	147
第 8 章 典型液压系统	149
8.1 组合机床动力滑台液压系统	149
8.2 液压机液压系统	152
8.3 Q2-8 型汽车起重机液压系统	156
8.4 塑料注射成形机液压系统	159
习 题	164
第 9 章 液压传动系统的设计与计算	166
9.1 概 述	166
9.2 液压传动系统的设计与计算实例	176
习 题	181
第 10 章 液压伺服系统	183
10.1 概 述	183
10.2 典型的液压伺服阀	184
10.3 液压伺服系统实例	188
习 题	190
第 11 章 气压传动	191
11.1 概 述	191
11.2 气源装置及辅助元件	193
11.3 气动执行元件	199
11.4 气动控制元件和逻辑元件	202
11.5 气动基本回路	209
11.6 气压传动系统实例	215
习 题	216
附录 常用液压及气压传动图形符号	217
部分习题参考答案	224
参考文献	226

第 1 章

液压传动概述

以液体为工作介质进行能量传递的传动方式称为液体传动。液体传动按工作原理的不同又分为液压传动和液力传动：液压传动主要利用液体压力能(压强)进行工作(如运土机)；液力传动主要以液体动能(速度)进行工作(如离心泵)。本教材主要介绍液压传动。

1.1 液压传动的工作原理

图 1-1 所示为液压千斤顶的工作原理，提起杠杆手柄 1 使小活塞 2 向上滑动，小缸体 3 的下腔密封容积增大，下腔内压力降低，形成局部真空，这时单向阀 5 把所在的通路关闭，油箱 10 中的油在大气压力的作用下推开单向阀 4 沿吸油道进入小缸体的下腔，完成一次吸油动作；下压杠杆手柄，小活塞向下移动，小缸体下腔密封容积减小，下腔压力升高，这时单向阀 4 关闭了油液流回油箱的通道，同时，压力油将单向阀 5 推开，小缸体下腔的油经管道进入大缸体 6 的下腔，迫使大活塞 7 向上移动，顶起重物 8 一段距离。如此反复地提压杠杆手柄，油就能源源不断地压入大缸体的下腔中，使重物慢慢被抬起。若将放油阀 9 旋转 90°，则油液在重物的重力作用下流回油箱，活塞也降到原位。

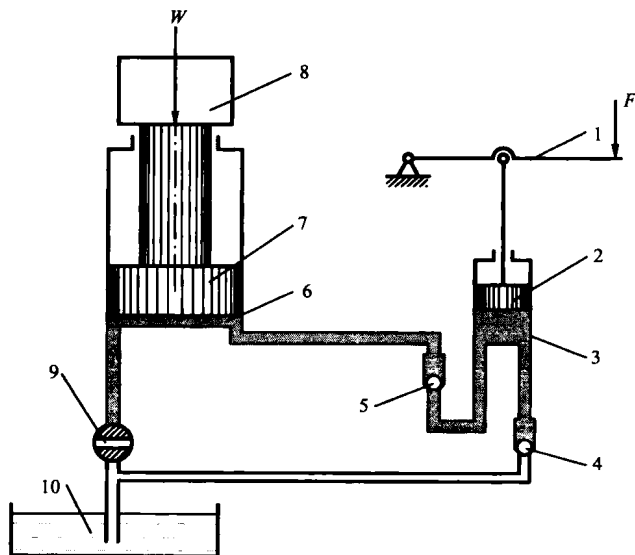


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆手柄；2—小活塞；3—小缸体；4、5—单向阀；6—大缸体；
7—大活塞；8—重物；9—放油阀；10—油箱

2 液压与气压传动

图 1-1 中,由杠杆手柄、小活塞、小缸体、单向阀 4 和 5 组成手动液压泵,大缸体和大活塞为液压执行工作部件(液压缸)。由此可知,液压千斤顶是一个简单的液压传动装置,它依靠液体在密封容积中变化的液压能来实现运动和动力传递。液压传动装置实际上是一种能量转换装置,它先将机械能(杠杆手柄在力 F 作用下的位移)转换为便于传递的液压能,再将液压能转换为机械能(大活塞推举重物上移做功)。

注意:机械能转换为液压能必要的两个条件是:有密封容积;该密封容积可周而复始地变化。

1.2 液压传动系统的组成及图形符号

图 1-2 所示为驱动机床工作台的液压传动系统的工作原理:如图 1-2(a)所示,液压泵 3 由电机驱动旋转,从油箱 1 中吸油。油液经过滤器 2 进入液压泵,再进入压力油路,通过节流阀 5,油液被堵在换向阀 6 处,液压油无法进入液压缸 7,此时液压缸中的活塞不能移动,与活塞杆刚性连接的工作台 8 也只能处于停止状态。

当换向阀的手柄移动成图 1-2(b)所示的状态时,液压油通过换向阀进入液压缸左腔,此时液压缸右腔的油液经换向阀和回油管流回油箱,液压缸中的活塞推动工作台向右移动。

当换向阀的手柄移动成图 1-2(c)所示的状态时,液压油将从换向阀进入液压缸的右腔,此时液压缸左腔的油经换向阀和回油管流回油箱,液压缸中的活塞将推动工作台向左移动。

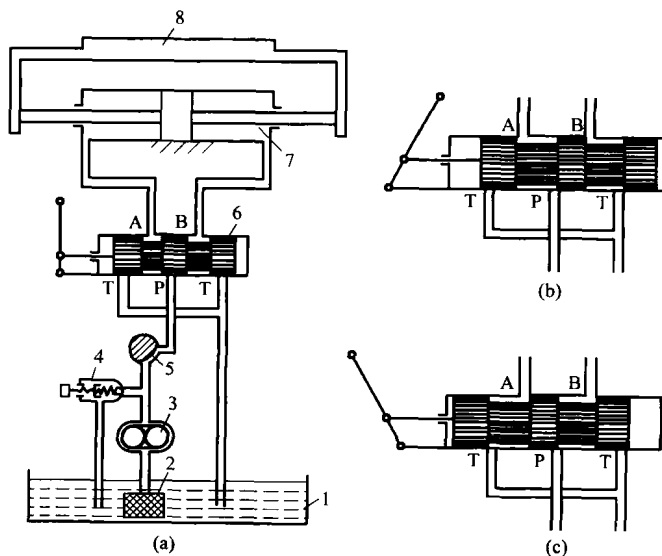


图 1-2 用半结构式绘制的驱动机床工作台的液压系统的工作原理图

1 - 油箱;2 - 过滤器;3 液压泵;4 溢流阀;

5 节流阀;6 - 换向阀;7 - 液压缸;8 工作台

因此,换向阀的主要功能就是控制液压缸及工作台的运动方向。

节流阀的主要功能是控制进入液压缸的流量,工作台的移动速度是通过节流阀来调节的;当节流阀的开口大时,进入液压缸的油液流量就大,工作台的移动速度就快;反之,当节流阀的开口小时,工作台的移动速度就慢。因此,也可以说节流阀控制液压缸中活塞的运动速度。

溢流阀 4 的主要功能是控制系统的工作压力。当管道液压力过载,油液将顶开溢流阀中的钢球(阀芯)流回油箱,它起着安全阀的作用;当工作台进入低速磨削状态时,节流阀开口小,进入液压缸的油流量小,液压泵所输出的多余油液在相应的压力下顶开溢流阀的钢球流回油箱,从而稳定了泵的出口压力(等于弹簧的预压力),调节溢流阀中弹簧的预压力就是调节液压泵的最大出口压力,它起稳压、调压的作用。

如图 1-2 所示的液压系统原理图用半结构式绘制各液压元件,这种图形直观,较易理解,但难以绘制。所以,在工程实际中,一般采用图形符号来绘制液压系统原理图,如图 1-3 所示。

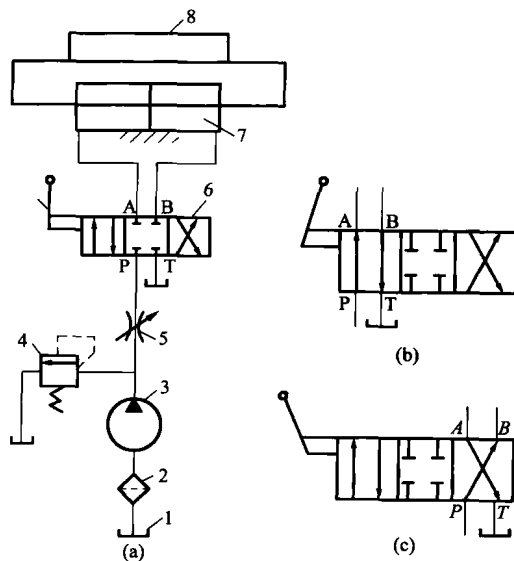


图 1-3 用图形符号绘制的机床工作台液压系统工作原理图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—溢流阀;
5—节流阀;6—换向阀;7—液压缸;8—工作台

注意:在图 1-3 中,图形符号表示元件的功能,不表示元件的具体结构和参数;只反映各元件在油路连接上的相互关系,不反映其空间安装位置;只反映静止位置或初始位置的工作状态,不反映其变化过程。

目前采用 GB/T 786.1—1993 液压图形符号,详见附录。

可见,液压传动系统由以下五个部分组成:

- (1) 液压动力元件。把机械能转换成液压能的装置,一般指液压泵。
- (2) 液压执行元件。把液压能转换成机械能的装置,一般指做直线运动的液压缸、做回转运动的液压马达等。
- (3) 液压控制元件。对液压系统中液体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装

置。例如溢流阀、节流阀、换向阀等。这些元件的不同组合,能构成完成不同功能的液压系统。

(4)辅助装置。指除以上三种元件以外的其他装置,如油箱、过滤器、蓄能器、管道等,它们对保证液压系统可靠和稳定地工作有重要作用。

(5)工作介质。在液压系统中传递运动和动力能量的液体,即液压油。

1.3 液压传动的特点及应用

1.3.1 液压传动与电力传动、机械传动相比的主要特点

1. 主要优点

(1)单位质量的设备所能输出的力、功率比较大,即同样体积、质量的装置,液压传动装置可输出更大的力和力矩。

(2)特别是与机械装置相比,操作方便、省力,系统结构空间的自由度大,布局安装灵活,可构成复杂系统,且能在很大范围内实现无级调速,传动比可达 $(100\sim 2\,000):1$ 。

(3)传动平稳,便于实现频繁换向和自动防止过载。

(4)与电气控制相配合,可较方便地实现复杂的程序动作和远程控制,以实现自动化。

(5)液压元件易实现系列化、标准化和通用化。

2. 主要缺点

(1)泄漏及油液的可压缩性,使得传动比不恒定,不能进行定比传动。

(2)传动过程中,能量需经两次转换,能量损失(泄漏、摩擦损失等)大,传动效率低。

(3)液压系统出现故障时不易找出原因。

1.3.2 液压传动的应用及发展

近年来,随着工艺制造水平的飞快提高,液压传动在国民经济各领域得到广泛的应用,其水平高低已成为衡量一个国家工业发展水平的标志之一。

由于液压传动装置结构简单、体积小、质量轻,而液压缸(或马达)的输出推力(或扭矩)比较大,且操纵方便、布置灵活,与电气配合易实现自动化和遥控,因此在工程机械、农业机械、汽车、矿山机械、压力机械、航空工业和军舰上的许多控制机构中都得到了普遍应用。我国液压传动技术始于20世纪50年代,在20世纪60年代发展较快,自1964年开始从国外引进液压元件生产技术并自行设计液压产品以来,我国的液压元件已形成系列,采用国际标准和国家标准,大力研制开发国产液压元件新产品(如高压阀、电液比例阀、电液伺服阀、叠加阀、插装阀)。

目前,液压元件正向着高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化等方向发展;与计算机科学相结合,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)技术、计算机辅助测试(CAT)技术、计算机直接控制(CDC)技术、计算机实时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术都是当前液压技术发展和研究的方向;与电子学相结合的系统控制技术和机、电、液、气综合技术也是当前研究和开发的方向。

· 习 题 ·

- 1-1 何谓液压传动？液压传动装置通常是由哪几部分组成的？
- 1-2 液体传动有哪两种形式？它们的主要区别是什么？
- 1-3 和其他传动方式相比较，液压传动有哪些主要优、缺点？
- 1-4 液压系统原理图中的图形符号代表了什么？反映了什么？
- 1-5 如图 1-4 所示的液压千斤顶，小柱塞面积 $A_1 = 100 \text{ mm}^2$ ，大柱塞面积 $A_2 = 1\,000 \text{ mm}^2$ ，重物产生的力 $W = 5\,000 \text{ N}$ ，手压杠杆比 $L:l = 100:10$ ，行程 $S = 6 \text{ mm}$ ，试求：
- (1) 此时密封容积中的油液压力 p ？
 - (2) 若要举起重物，杠杆端需施加的力 F 应为多大？
 - (3) 杠杆上下动作一次，重物上升高度为多少？

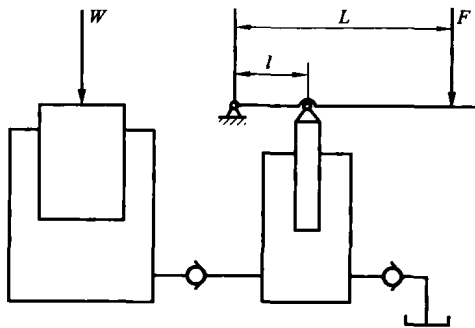


图 1-4 习题 1-5 图

第 2 章

液压流体力学基础

流体力学主要研究流体的宏观运动、平衡规律以及流体与固体的相互作用。液压流体力学是流体力学的组成部分,主要研究液体与液压组件间的相互作用规律,对于了解液体(工作介质)的基本性质,正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压系统是非常必要的。

2.1 工作介质

液压传动的工作介质是液压油液或其他合成液体,在液压系统中起传递能量和控制信号的作用。同时,它还具有润滑、冷却和防锈等作用。工作介质对液压系统能否可靠、有效地工作起着重要作用。因此,必须了解工作介质的基本性质,以便正确选用。

2.1.1 使用要求与种类

1. 对工作介质的使用要求

液压传动的工作介质应满足如下使用要求:

- (1)黏度适当,黏温特性好(温度变化时黏度变化幅度小),压力对黏度影响小。
- (2)润滑性能好,防锈能力强。
- (3)质地纯洁,杂质少,当污染物从外部侵入时能迅速分离。
- (4)化学稳定性好,长期工作不易因受热、氧化或水解而变质。
- (5)抗泡沫性、抗乳化性好。
- (7)对金属、密封件、橡胶软管等具有兼容性。
- (8)空气分离压、饱和蒸气压及凝固点低,闪点、燃点高,能防火、防爆。
- (9)体积膨胀系数小,比热容大,对人体无害,成本低等。

在实际液压传动系统设计中,从成本考虑,应根据具体情况,以满足液压系统工作需要为原则确定工作介质。

2. 工作介质的种类

液压系统中使用工业液压油液为工作介质,其种类如图 2-1 所示。液压油采用统一的命名方式:类-品种-数字,例如 L-HL-68 中,第一个 L 代表润滑剂类;H 代表液压系统的用油,第二个 L 代表防锈、抗氧化型;68 代表运动黏度(mm^2/s)。

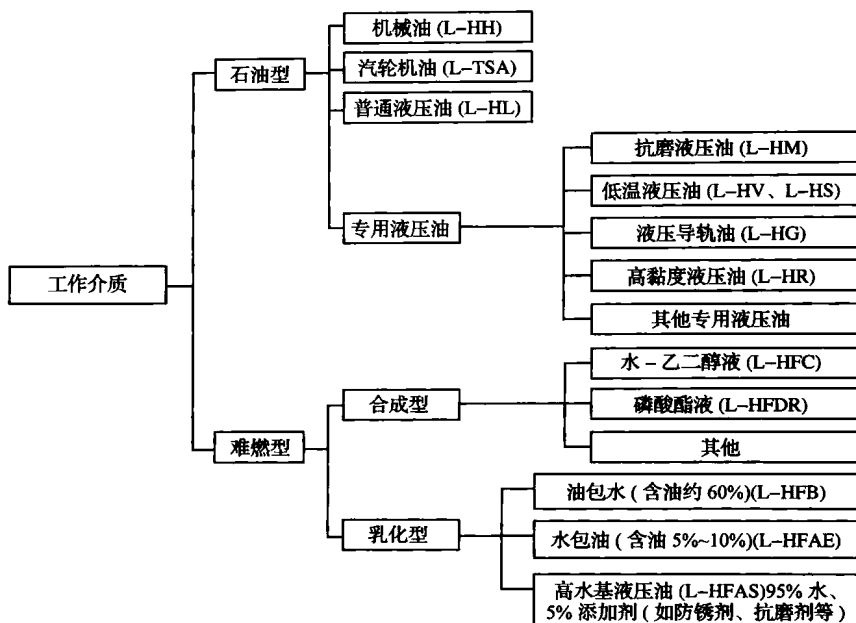


图 2-1 工作介质的种类

目前 90% 以上的液压设备的工作介质采用石油型液压油。石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的。添加剂有两种:一种可改善油液的化学性能,如抗氧化剂、防腐剂、防锈剂等;另一种可改善油液的物理性能,如增黏剂、抗泡剂、抗磨剂等。这种油液的润滑性好,但抗燃性差。

机械油为石油润滑油馏分,其氧化稳定性差,使用时易产生黏稠胶质,堵塞组件,常用于压力低及不重要的液压系统。汽轮机油是深度精加工的润滑油,加入了抗氧化、抗泡沫、防锈蚀等添加剂,比机械油好。普通液压油采用汽轮机油馏分作为基础油,加入抗氧化、抗腐蚀、抗磨、抗泡沫、防锈蚀等添加剂调和而成,用于高精密机床或要求较高的中、低压液压系统,但只适于 0℃ 以上的工作环境。专用液压油以普通液压油或深度精制机械油为基础油,在特殊工作要求下,再加入提高特定性能的添加剂,如抗磨剂、增黏剂、防爬剂等。

在高温条件下工作时,可选用难燃型工作介质,其中合成型的价格较高,对密封材料和油漆等有溶解作用;乳化型的价格便宜,属于含水油液,污染小,但润滑性较差。因此,只有在必须使用的场合才应用难燃型工作介质。

在舰船液压系统中,以海水(淡水)作为一种新型工作介质,它成本低,液压系统工作中的水可直接排入海洋(或江河),避免了液压油作为工作介质的舰船液压系统因泄漏而对海洋(或江河)的污染,还可避免潜艇作战时由于液压油泄漏而暴露目标。但水对组件的腐蚀大、润滑条件差等问题制约了它的广泛应用。目前,对以水为工作介质的研究越来越引起人们的重视。

2.1.2 物理性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

密度是液体的一个重要的物理参数。随着液体温度或压力的变化,其密度也会发生变化,但这种变化通常不大,可以忽略不计。一般液压油的密度为 900 kg/m^3 ,水的密度为 1000 kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而体积减小的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体,当压力增大 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为

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

式中, k 为液体的压缩系数。由于压力增大时液体的体积减小,因此式(2-2)等号的右边必须加负号,使 k 为正值。

k 的倒数称为液体的体积模量,以 K 表示,即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (2-3)$$

K 表示产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。在实际应用中, K 值的大小表示液体抗压缩能力的大小。在常温下,纯净的石油型液压油的体积模量 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$,数值很大,它的可压缩性是钢的 $100 \sim 150$ 倍,故液压系统在静态(稳态)下工作时可认为油液是不可压缩的。

必须指出,当液压油中混有不溶解性气体(如空气等)时,其抗压缩能力将显著降低,这会严重影响液压系统的工作性能。因此,在要求较高或压力变化较大的液压系统中,应力求减少油液中混入的气体及其他易挥发物质(如汽油、煤油、乙醇和苯等)的含量,并需设有排气装置。

3. 黏性

液体在外力作用下,液层间做相对运动时产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。液体只有在流动(或有流动趋势)时才会呈现出黏性,静止液体不呈现黏性。黏性是液体的基本属性,对液压组件的性能和系统的工作特性有极大影响。黏性是选择工作介质的重要依据。

(1) 牛顿液体内摩擦定律

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 u_0 的速度向右平移。由于液体的黏性作用,紧贴下平板的液体层速度为零,紧贴于上平板的液体层速度为 u_0 ,而中间各层液体的速度则根据它与下平板间的距离近似呈线性规律分布。由实验得知,内

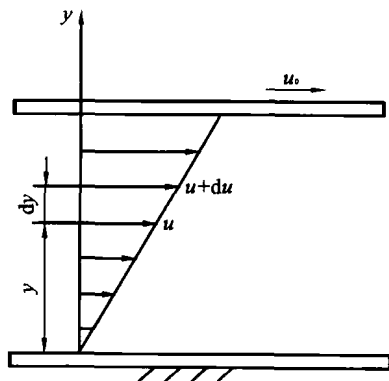


图 2-2 液体黏性示意图

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

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

式中, μ 是表征流动液体内摩擦力大小的比例系数,称为黏性系数或动力黏度。

若以 τ 表示液层间的切应力,即单位面积上的内摩擦力,则式(2-4)可表示为

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-5)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。

(2) 黏性的度量

液体黏性大小用黏度来表示。液体黏度可用动力黏度(又称绝对黏度)、运动黏度和相对黏度三种形式来度量。

① 动力黏度 μ

动力黏度是指液体在单位速度梯度下流动时单位面积上产生的内摩擦力。即

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2-6)$$

在我国法定计量单位制及 ISO 制中,动力黏度 μ 的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$,因其量纲只有动力学要素,故而得名。

② 运动黏度

运动黏度 ν 是动力黏度 μ 与液体密度 ρ 之比,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-7)$$

在我国法定计量单位制及 ISO 制中,运动黏度 ν 的单位是 m^2/s

运动黏度没有明显的物理意义,只是在计算中常出现 μ/ρ ,为方便而引入。因其量纲中有运动学要素,故而得名。

我国液压油液的牌号,就是采用液压油液在 40°C 时的运动黏度平均值来表示的。例如 32 号液压油液,就是指这种油液在 40°C 时的运动黏度平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

③ 相对黏度

相对黏度又称条件黏度。它是用特定的黏度计在规定的条件下测得的液体黏度。根据测量条件的不同,各国采用的相对黏度的单位也不同。如我国、德国等国采用恩氏黏度($^\circ\text{E}$),美国采用国际赛氏秒(SSU),英国采用雷氏黏度(R)等。

恩氏黏度用恩氏黏度计测量:将 200 mL 温度为 $T^\circ\text{C}$ 的被测液体装入黏度计的容器内,使液体从容器下部直径为 2.8 mm 的小孔流出,测出液体流尽所需的时间 $t_1(\text{s})$,再测出同体积的蒸馏水在 200°C 时流过同一小孔所需的时间 t_2 。这两个时间的比值即被测液体在 $T^\circ\text{C}$ 下的恩氏黏度,即 $^\circ\text{E}_T = t_1/t_2$ 。一般以 20°C 、 50°C 、 100°C 作为测定恩氏黏度的标准温度,由此而得来的恩氏黏度分别用 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 、 $^\circ\text{E}_{100}$ 表示。

恩氏黏度与运动黏度的换算关系式为

$$\nu = (A \cdot ^\circ\text{E} - \frac{B}{^\circ\text{E}}) \times 10^{-6} \quad (2-8)$$

当 $1.35 < ^\circ\text{E} < 3.2$ 时, $A=8$, $B=8.64$; 当 $^\circ\text{E} > 3.2$ 时, $A=7.6$, $B=4.0$ 。

(3) 黏性与压力、温度的关系

当液压油液所受的压力增大时,其分子间的距离减小,内聚力增大,黏度亦随之增大。但对于一般的液压系统,当压力在 32 MPa 以下时,压力对黏度的影响不大,可以忽略不计。

液压油液对温度的变化十分敏感,当液体温度升高时,黏度显著下降,液体黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量,因此希望黏度随温度的变化越小越好。液体的黏度随温度变化的性质称为液体的黏温特性。图 2-3 为几种典型液压工作介质的黏温特性图。

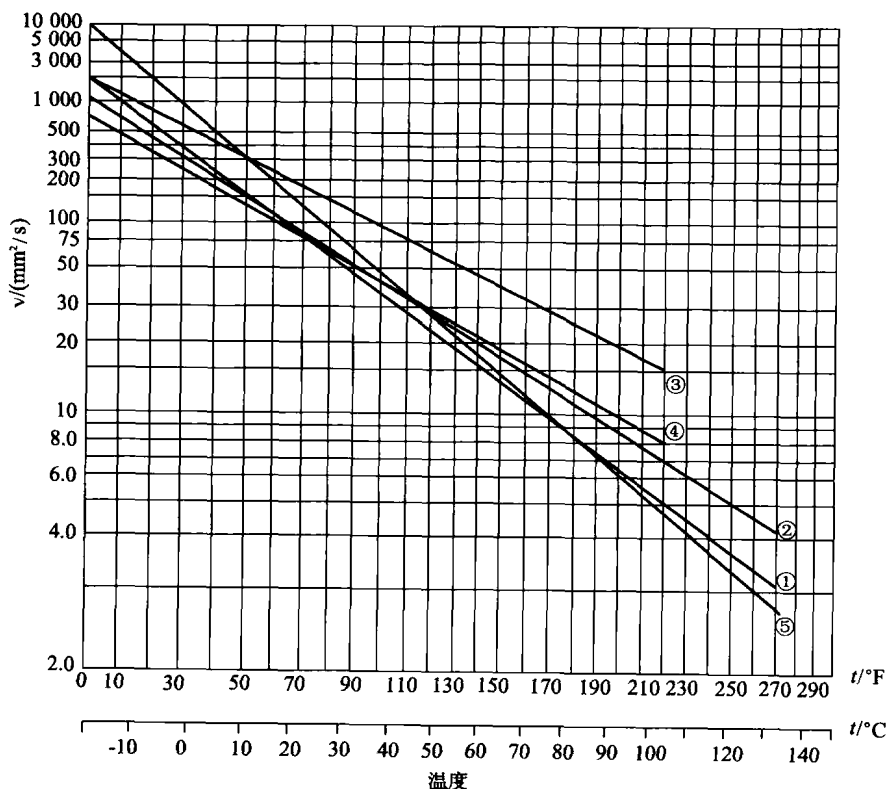


图 2-3 几种典型工作介质的黏温特性图

- ①—矿油型普通液压油；②—矿油型高黏度指数液压油；
③—水包油乳化液；④—水-乙二醇液；⑤—磷酸酯液

2.1.3 工作介质的选择方法

工作介质的选择主要考虑两个方面：品种和黏度。要根据工作条件（如工作温度范围、有无起火危险等）和液压系统的要求（是否液压专用、工作压力、运行的可靠性等），首先考虑品种的选择。

工作介质的品种确定之后，就应选择黏度等级。黏度等级的选择是十分重要的，因为黏度对液压系统工作的稳定性、可靠性、效率、温升以及摩擦都有显著的影响。