



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

煤矿机械

液压传动

主编 武维承 史俊青

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

煤矿机械液压传动

主 编 武维承 史俊青
副主编 吴义顺 严周民

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书主要介绍了液压流体力学的基本知识和煤矿机械液压传动中常用液压元件的工作原理、结构特点、主要性能、液压控制回路和其在煤矿机械中的实际应用等,充分反映了近年来煤矿机械液压传动中的新技术和新发展。在内容编排和形式上采用了比较新颖的编排结构,便于在教学中进行关联性、综合性讲解,也便于自学者在学习过程中较好地理解和快速地掌握。

本书是煤炭高职或专科院校煤矿机械、煤矿机电、煤矿开采等专业的教材,也可作为函授大学、职工大学的教学用书,并可作煤矿中专和技工学校的教学参考书。本书也可供在矿山、工程和其他相关行业从事液压传动的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿机械液压传动/武维承,史俊青主编. —北京:煤炭工业出版社,2009

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978 - 5020 - 3441 - 2

I. 煤… II. ①武…②史… III. 煤矿 - 矿山机械 - 液压传动 IV. TD4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 190055 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址:www.cciph.com.cn

北京京科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 13 插页 1

字数 320 千字 印数 1—5,000

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 6246 定价 26.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

全国煤炭高职高专矿山机械类“十一五”规划教材 编 审 委 员 会

主 任:冯海明

副主任:李克孝 丁原廉 何全茂

秘书长:谢光辉

委 员(以下按姓氏笔画为序):

马立克	王寅仓	牛小铁	毋虎城
安淑女	朱江峰	刘捷	刘立群
刘永清	劳宇	汪浩	杨玉璋
杨桢	苏汉明	张小亮	张安义
张君伟	张树征	张晓梅	何朝柱
何富贤	闵国林	林木生	武熙
武维承	金建云	侯克清	康力
韩治华	裴文喜		

前 言

本书是由中国煤炭教育学会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织编写的全国煤炭高职高专“十一五”规划教材。

由于近年来我国的采煤业及其技术装备得到迅速发展,新型煤矿采掘机械、提升设备和巷道车辆运输设备等得到广泛应用。根据煤矿生产现场技术的发展变化,围绕培养适应煤矿现场需要的高等职业技术人才,是本书编写的主导思想。

本书主要介绍了液压流体力学的基本知识和煤矿机械液压传动中常用液压元件的工作原理、结构特点、主要性能、液压控制回路和其在煤矿机械中的实际应用等,充分反映了近年来煤矿机械液压传动中的新技术和新发展。内容编排和形式上比较新颖,便于在教学中进行关联性、综合性讲解,也便于自学者在学习中较好地理解和快速地掌握。

本书由武维承、史俊青任主编,吴义顺、严周民任副主编。参加编写的有:管霞(第一章)、张荣花(第二章、第三章、第十二章)、刘培云(第四章)、吴义顺(第五章、第六章)、严周民(第七章、第八章)、史俊青(第九章、第十一章、附录)、武维承(第十章第一、二、五节)、杨宝林(第十章第三、四、六节)。全书由武维承、史俊青统稿、定稿。

在本书编写过程中,得到山西大同大学、大同煤矿集团公司、中国神华集团神东煤炭分公司等有关单位和许多学者的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

第一章 液压传动基本知识	1
第一节 液压传动工作原理	1
第二节 液压传动系统的组成	3
第三节 液压传动发展概况及其在矿山机械中的应用	5
本章小结	6
思考题与习题	7
第二章 液压介质及其污染的控制	8
第一节 液压介质	8
第二节 液压介质的污染与控制	14
第三节 液压介质辅件及其应用	15
本章小结	20
思考题与习题	20
第三章 液压流体力学基础	22
第一节 静止液体的力学特性	22
第二节 流动液体的力学特性	24
第三节 流体流动的压力损失	29
第四节 小孔与缝隙流动	30
第五节 液压冲击和气穴现象	35
本章小结	36
思考题与习题	36
第四章 液压动力元件及其辅助元件	38
第一节 液压泵工作原理	38
第二节 齿轮泵	41
第三节 叶片泵	47
第四节 柱塞泵	49
第五节 液压动力辅助元件及其应用	54
液压泵拆装实训	62
本章小结	63
思考题与习题	63
第五章 液压执行元件	65
第一节 液压马达	65
第二节 液压缸	73

液压马达和液压缸拆装实训	80
本章小结	82
思考题与习题	82
第六章 方向阀及其控制回路	84
第一节 单向阀及其控制回路	84
第二节 换向阀及其控制回路	86
方向阀拆装实训	93
本章小结	94
思考题与习题	94
第七章 压力阀及其控制回路	95
第一节 溢流阀及其控制回路	95
第二节 减压阀及其控制回路	98
第三节 顺序阀及其控制回路	101
第四节 其他压力控制阀及其应用	104
压力控制阀拆装实训	107
本章小结	109
思考题与习题	109
第八章 流量阀及速度控制回路	111
第一节 流量控制阀及其应用	111
第二节 容积调速回路	125
第三节 其他形式的速度控制回路	129
流量控制阀拆装实训	135
本章小结	137
思考题与习题	138
第九章 插装阀及其控制回路	140
第一节 插装阀的结构原理	140
第二节 插装阀的应用	141
本章小结	147
思考题与习题	147
第十章 典型煤矿机械液压系统分析	149
第一节 液压系统基本回路	149
第二节 W8 型悬挂式防爆胶轮车制动控制液压系统	151
第三节 液压支架液压系统分析	154
第四节 液压牵引采煤机液压系统分析	156
第五节 6LS5 电牵引采煤机液压系统	159
第六节 矿井提升设备液压系统	163
本章小结	166
思考题与习题	166
第十一章 液压伺服及电液比例控制技术	167

第一节 液压伺服控制系统	167
第二节 电液比例控制技术	175
第三节 电液数字控制技术	180
本章小结	183
思考题与习题	183
第十二章 液压系统的使用与维护	184
第一节 液压系统的安装与清洗	184
第二节 液压系统的调试	187
第三节 液压系统的保养与维护	188
第四节 液压系统的故障分析与排除方法	190
本章小结	192
思考题与习题	192
附录 常用液压图形符号	193
附录 A 符号要素、管路	193
附录 B 控制机构和控制方法	193
附录 C 泵、马达和缸	194
附录 D 控制元件	195
附录 E 辅助元件	197
参考文献	198

第一章 液压传动基本知识

传动是将原动机的能量或动力向工作装置进行传递和分配,使原动机的运动或速度转变为工作装置所要求的运动形式或速度。如各种车辆的移动、液压支架的升降和移动、采煤机摇臂的摆动、采煤机截割部滚筒的转动等。

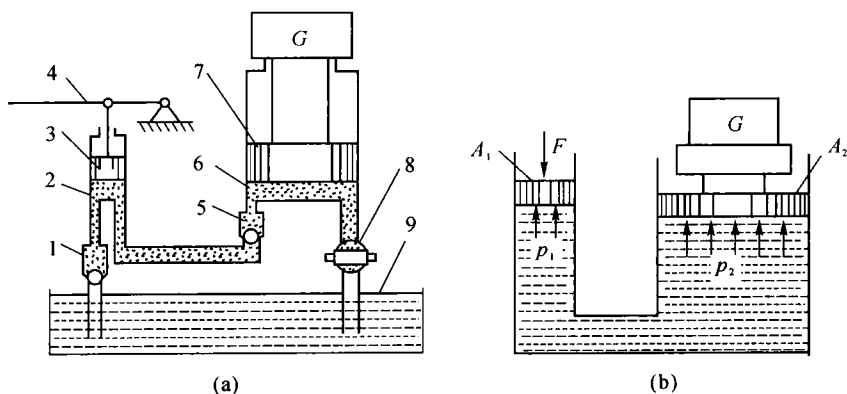
目前常用的传动方式有机械传动、电力传动、液体传动和气体传动。

液体传动是以液体为工作介质进行能量的传递、转换和分配的传动方式。液体传动分为液力传动和液压传动两种。液力传动是利用液体的动能进行工作的传动方式,如液力耦合器。液压传动是利用液体的压力能进行工作的传动方式。本书主要讨论液压传动的知识。

第一节 液压传动工作原理

一、液压传动工作原理

液压千斤顶是一个简单而又比较完整的液压传动装置,应用非常普遍。其结构原理如图 1-1(a)所示。



1—吸液阀;2—液压泵;3,7—活塞;4—手柄;5—排液阀;6—液压缸;8—截止阀;9—液压箱

图 1-1 液压千斤顶工作原理

手柄 4 带动小活塞 3 做往复运动。当小活塞向上运动时,液压泵内的密封容积增大,内部压力减小而形成真空。这时,液压箱 9 中的工作液体在大气压力的作用下推开吸液阀 1,进入液压泵的密封容积中,液压泵的容积增大,即液压泵吸液;同时排液阀 5 在大液压缸上部重物的作用下处于关闭状态。当小活塞向下运动时,液压泵内密封容积中的工作液体因受到挤压产生压力,而将吸液阀关闭,当压力增大到足以克服重物的重量 G 时,压力液体便顶开排液阀 5 进入大液压缸中的密封容积,将大活塞顶起,达到升起重物的目的;同时,液压泵的容积缩

小,即液压泵排液。连续地上下摇动手柄,便可使工作液体源源不断地压入大液压缸中,使重物上升到所需的高度。工作时截止阀 8 应关闭,工作完毕截止阀打开,液压缸的液体流回液压箱,重物下降。

可见,液压传动是利用液体的压力能传递能量的。液压泵将输入的机械能转变为液压能,经密封的管道传给液压缸,液压缸再将液压能转变为机械能输出,推动重物做功。

二、液压系统的工作特性

1. 力的放大或缩小

图 1-1(b)是千斤顶液压传动的简化模型,液压泵排液时,液压泵与液压缸相当于一个连通器,根据帕斯卡定律,密闭液体内某一点处单位面积所受的液体压力可等值地传递到液体内部各点,即

$$p_1 = p_2 = p = \frac{F}{A_1} = \frac{G}{A_2}$$

或

$$G = \frac{A_2}{A_1} F \quad (1-1)$$

式中 p_1 ——小活塞在液体单位面积上的作用力;

p_2 ——大活塞在液体单位面积上的作用力;

A_1 ——小活塞的横截面面积;

A_2 ——大活塞的横截面面积。

由式(1-1)可知,液体在密闭容器内传递力的过程中,通过作用面积的变化,可以实现力的放大或缩小。

2. 速度的增加或减小

由于液体几乎不可压缩,单位时间内液压泵排出液体的体积等于单位时间内进入液压缸液体的体积。即

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

或

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} \quad (1-2)$$

式中 v_1 ——小活塞的运动速度;

v_2 ——大活塞的运动速度。

因此,液体在密封容器内传递运动的过程中,又可以实现减速或增速功能。负载的速度只取决于密封容积的变化量,与所传递力的大小无关。所以液压传动也称为“容积式液压传动”。

3. 能量守恒

若不考虑摩擦和泄漏损失,则液压泵输出的液压功率 Fv_1 应等于输入液压缸的液压功率 Gv_2 ,即

$$P = Gv_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F \cdot \frac{A_1 v_1}{A_2} = Fv_1 \quad (1-3)$$

式中 P ——功率。

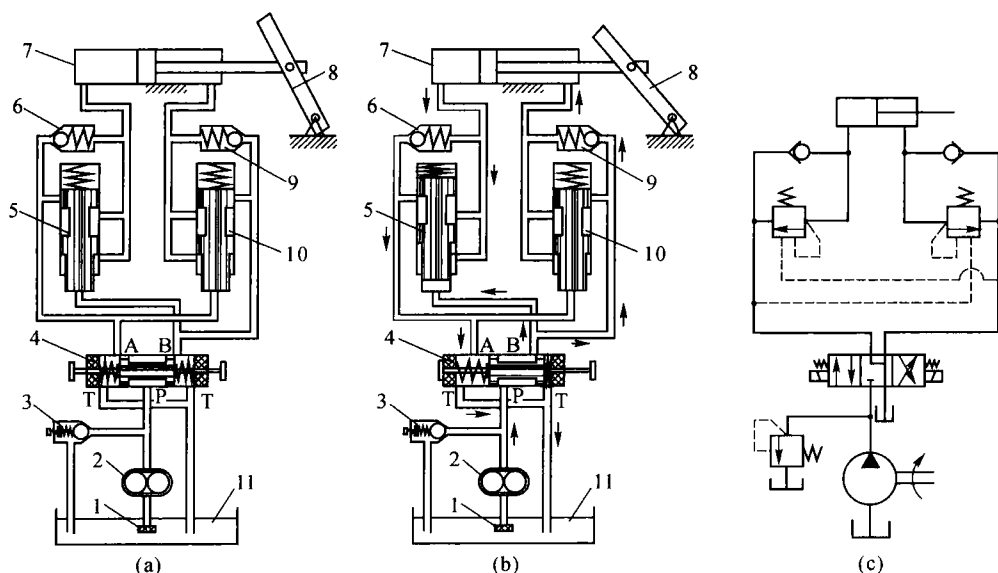
可见,液体在密闭容器内传递能量的过程中,不仅可实现力的放大、缩小或增速、减速的作用,而且所传递的能量在传递过程中也符合能量守恒定律。

第二节 液压传动系统的组成

一、液压传动系统的组成

采煤机采煤时为了适应煤层厚度变化,在煤层高度范围内上下调整滚筒称为调高。调高是通过液压缸活塞杆的升缩实现的。图 1-2 为 6LS 型采煤机滚筒调高装置液压系统原理图。

当电动机(图中未画出)带动齿轮式液压泵 2 旋转时,泵从液压箱 11 中吸液,然后将具有压力能的工作液输入管路,如图 1-2(a)所示。当电磁换向阀 4 处于中位时阀孔 P 与 A、B 均不相通,液压缸 7 不通压力液,同时由于单向阀 6 和 9 的反向锁紧作用,活塞杆静止不动。摇臂在外力的作用下也不会在锁紧位置上自动上升或下降。采煤机滚筒就在已调定的高度下割煤。



1—过滤器;2—齿轮式液压泵;3—安全阀;4—电磁换向阀;5、10—双液控安全阀;

6、9—单向阀;7—液压缸;8—摇臂;11—液压箱

图 1-2 6LS 型采煤机滚筒调高装置液压系统的原理图

当滚筒下部遇有岩石使其受到向上的推力而抬高摇臂时,液压缸右腔内的液压力急剧上升,若压力超过双液控安全阀 10 的弹簧调定压力值时,双液控安全阀 10 开启,压力液经双液控安全阀 10、阀孔 B、阀孔 T 卸荷到液压箱。当滚筒上部遇有岩石或其他原因使其受到向下的压力而压低摇臂时,液压缸左腔内的液压力急剧上升,若压力超过双液控安全阀 5 的弹簧调定压力值时,双液控安全阀 5 开启,压力液经双液控安全阀 5、阀孔 A、阀孔 T 到液压箱卸荷。在此,双液控安全阀限制系统压力,起安全保护作用,避免损坏液压缸。

当摇臂下降时,操作电磁换向阀,使左电磁铁通电,在电磁力作用下通过推杆推动阀芯右移,如图 1-2(b)所示,阀孔 P 和 B 通,A 和 T 通。由液压泵排出的压力液经电磁换向阀阀孔 P、B 后分两路,一路经单向阀 9 进入液压缸的活塞杆腔,另一路进入双液控安全阀 5 的下液控腔,活塞在压力液的作用下向左运动,通过活塞杆带动摇臂下降;活塞腔中的液压力随着压力

液进入活塞杆腔而增加,双液控安全阀 5 在下液控腔和活塞腔中两股压力液的共同作用下克服弹簧力开启,活塞腔的工作液经电磁换向阀阀孔 A、T 回液压箱。由于活塞腔有压力,所以摇臂能平稳下降。

当摇臂上升时,操作电磁换向阀,使右电磁铁通电,阀芯左移,阀孔 P 和 A 通,B 和 T 通,过程和摇臂下降时一样,所不同的是活塞杆腔的工作液经双液控安全阀 10 回液压箱。

由上可见,电磁换向阀的作用在于改变液体的通路,实现液压缸活塞杆的伸缩。图中安全阀 3 起保护齿轮泵的作用,当系统压力大于其弹簧力时,安全阀打开溢流,使系统压力降低。过滤器 1 起滤清液体的作用。

从前面的液压千斤顶和上述的示例可以看出,一个完整的液压传动系统通常由以下五个部分组成。

(1) 动力元件 把机械能转换成液体压力能的装置,通常称为液压泵。

(2) 执行元件 把工作液的压力能转换成机械能的装置,称为液动机。通常把作直线运动的液动机称为液压缸;把作回转运动的液动机称为液压马达。

(3) 控制元件 控制液压系统中液体的压力、流量和液流方向的装置,通常称为各种液压阀或阀,如图 1-2 中的安全阀 3、换向阀 4 等液压元件。这些元件是保证系统正常工作必不可少的组成部分。

(4) 辅助元件 如图 1-2 中的液压箱 11、过滤器 1、液压管等都是系统的辅助装置。它们对保证液压系统可靠、稳定、持久的工作,有不可或缺的作用。

(5) 传动介质 是指传递能量的流体,即液压油。

液压系统各装置的相互关系及能量转换如图 1-3 所示。

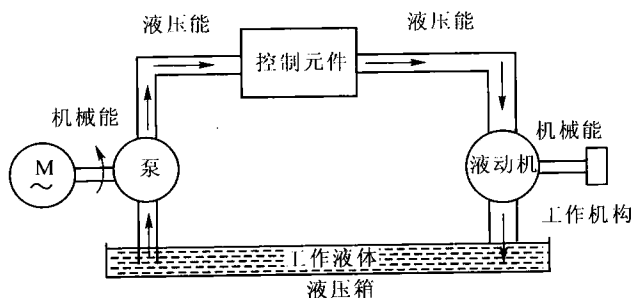


图 1-3 液压传动系统中液压装置之间的关系及能量转换

二、液压传动系统图示的方法

液压系统可用结构原理图和职能符号图表示。

1. 结构原理图

结构原理图如图 1-2(a)、(b)所示,近似于实物的剖面,能直观地表示元件的工作原理和功能,利于理解、接受;但其绘制较麻烦,难于实现标准化,不便于液压系统的设计、制造、安装和拆卸维修。

2. 职能符号图

在液压系统中,凡是功能相同的元件,尽管其结构不同,均采用一种规定的图形符号来表示,这种图形符号称为元件的职能符号。图 1-2(c)就是 6LS 型采煤机滚筒调高装置液压系统的职能符号图。这种图形符号简洁、标准、绘制方便、功能清楚、易于阅读,非常适用于分析液

压系统的工作原理和元件的性能,大大简化了方案设计过程中的绘图工作。

在绘制和阅读符号图时应注意以下几点:

(1) 符号图只表示元件的职能作用和彼此的连接关系,不表示元件的具体结构和参数,也不表示具体安装位置;

(2) 符号若无特别说明,均表示元件处于静止位置或零位置;

(3) 符号在系统图中的布置,除有方向性元件符号(如液压箱、仪表等)或规定以外,均可根据具体情况,水平或垂直绘制;

(4) 凡标准未列入的图形符号,可根据标准的原则和所列图例的规律性进行派生,当无法直接引用及派生时,或者有必要特别说明某一元件的结构和工作原理时,允许局部采用结构简图表示。

三、液压传动主要优缺点

液压传动和其他传动相比较,有以下主要优点:

(1) 在输出相同功率的条件下,液压传动装置质量轻、体积小、结构紧凑。据统计,液压马达的质量只有同功率电动机质量的 10%~20%,且能传递较大的力和转矩。

(2) 借助油管连接可灵活布局,便于和其他传动方式联用。易于改变传动方向,实现远距离传动和操纵(如液压支架)。

(3) 液压传动装置工作平稳,反应快,冲击小,能高速启动、制动,换向方便。如液压马达每分钟可换向 500 次,液压缸每分钟可换向 400~1 000 次,这是其他传动控制方式无法比拟的。

(4) 可实现无级调节。调速方便,调速范围宽,其传动比可达 1:10 000。

(5) 易于实现压力控制、速度控制和方向控制,也容易实现自动控制。

(6) 液压系统各运动部件都在油液中工作,具有较好的润滑条件;又易于实现过载保护,所以元件寿命长,系统工作稳定。

(7) 元件已系列化、标准化、通用化。

液压传动的主要缺点:

(1) 液压传动需经过 2 次能量转换,由于压力损失、容积损失和机械损失的存在,因此传动效率较低,一般为 0.6~0.8。

(2) 工作液体对污染很敏感,污染后的液体对系统的正常工作有较大影响。

(3) 液压传动系统的性能和效率受温度的影响较大。

(4) 液压元件制造精度要求较高,使用和维护要求较严,故障不易查找。

第三节 液压传动发展概况及其在矿山机械中的应用

一、液压传动的发展概况

液压传动相对于机械传动来说,是一门新技术。虽然从 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机至今,液压传动技术已有二百多年的历史。但由于当时技术条件的限制,液压传动并没有得到发展。近代液压传动是由 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的,最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器。第二次世界大战期间,在一些兵器上使用了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,大大提高了兵器的性能,也促进了液压技术的发展。

展。战后,液压技术迅速转向民用,并随着各种标准的不断制定和完善,各种元件的标准化、系列化、通用化在机械制造、工程机械、矿山机械、农业机械、汽车制造等行业中推广。20 世纪 60 年代后,原子能技术、空间技术、计算机技术(微电子技术)等的发展再次将液压技术推向前进,使它在国民经济各方面都得到了应用。现在液压传动技术已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代,液压元件最初只应用于机床和锻压设备,后来才用到农业、矿山和工程机械上。自 1964 年从国外引进部分液压元件生产技术,同时自行设计液压产品以来,经过 20 多年的艰苦探索和发展,特别是 20 世纪 80 年代初期引进美国、日本、德国的先进技术和设备,使我国的液压技术水平有了很大的提高。目前,我国的液压元件生产已从低压到高压形成系列,并生产出许多新型的元件,如插装式锥阀、电液比例阀、电液伺服阀、电液数字控制阀等。这些液压元件在各种机械设备上得到了广泛使用。

当前,液压技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、经久耐用、高度集成化等各项要求都得到了重大发展,在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术上也有许多新成就。特别是近年来液压与微电子、计算机技术相结合,使液压技术进入了一个新的发展阶段,使未来的液压技术变得更为机械电子一体化、模块化、智能化和网络化。

二、液压传动在煤矿机械中的应用

从 20 世纪 40 年代起,液压传动技术就用于煤矿机械。1945 年,德国制造了第一台液压传动的截煤机,实现了牵引速度的无级调速和过载保护;接着美国、英国、苏联等国家都在采煤机中应用了液压传动。1954 年,英国研制成功了自移式液压支架,出现了综合机械化采煤技术,从而扩大了液压传动在煤矿机械中的应用。到 20 世纪 60 年代初,多数采煤机都采用了液压传动。

由于液压传动容易实现往复运动,并且可保持恒定的输出力和力矩,因此,采煤机的滚筒调高,液压支架升降、推移、防滑、防倒和调架等都唯一地采用了液压传动。

此外,在掘进机、钻机、挖掘机、提升机以及洗选设备等其他煤矿机械中,也正日益广泛地采用液压传动,并且出现了一些全液压传动的煤矿机械设备。

我国煤矿机械中应用液压技术起步较晚,但发展十分迅速。1964 年开始制造具有液压牵引的采煤机,同时还开始了液压支架的研制工作。自 1968 年开始,我国已能批量生产液压调高和液压牵引采煤机。1974 年以来,我国开始成套生产液压支架。随着液压技术在我国的高速发展,我国自行设计制造的煤矿机械,都普遍采用了液压传动。

随着液压技术和微电子技术的结合,液压技术已走向智能化阶段,在微型计算机或微处理器的控制下,进一步拓宽了它的应用领域。无人采煤工作面的出现,喷浆机器人的研制成功,都是液压技术和微电子技术相结合的结果。可以预见,在今后的煤矿机械设备中,液压技术会得到更加广泛的应用。

本章小结

本章介绍了液压传动的工作原理、传动特性、组成、优缺点以及在煤矿机械中的应用。通过本章的学习,应掌握以下几点:

1. 传动是能量或动力由原动机向工作装置的传递,其基本功用就是变换动力装置的性能参数,扩大性能范围,以适应工作机构各种工况的要求。

2. 液压传动是利用工作液体的压力势能进行能量的传递,在传递过程中遵循能量守恒定律。该传动不仅可实现力的放大或缩小,而且可实现速度的增减。

3. 一个完整的液压传动系统由动力装置、执行装置、控制装置、辅助装置和传动介质五大部分组成。其中液压泵和液动机都是能量转换装置,前者将原动机的机械能转变成工作液体的液压能;后者将工作液体的液压能转变成工作机构所需要的机械能。

思考题与习题

- 1-1 什么叫液压传动?说明它的工作原理。
- 1-2 液压传动系统的工作特性有哪些?
- 1-3 液压传动系统由哪几部分组成?各部分的功用是什么?
- 1-4 绘制液压图时为何采用图形符号来绘制?
- 1-5 液压传动系统有哪些优缺点?

第二章 液压介质及其污染的控制

液压传动最常用的介质是液压油,此外,还有乳化型传动液和合成型传动液等。液体不仅传递能量,还能起润滑、冷却和防锈的作用。因此,有必要对液压介质的性质进行研究,对液压介质污染的控制进行探讨。

第一节 液 压 介 质

一、液压介质的主要物理性质

(一) 液体的密度

单位体积内液体的质量,称为液体的密度。用 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。即

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

单位体积内液体的重量,称为液体的重度。用 γ 表示,单位为 N/m^3 。即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2-2)$$

密度和重度的关系为

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

式中 M ——液体的质量, kg ;

G ——液体的重量, N ;

V ——液体的体积, m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 。

由于液体的体积是随着温度的上升而增加并随着压力的增大而减少,故密度随着温度的上升和压力的减小而略减小,反之则略增加。我国采用 20°C 、1 个标准大气压力下液体的密度为标准密度,用 ρ_{20} 表示。一般在理论计算时取矿物油的密度 $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(二) 液体的可压缩性

液体是可以被压缩的,设液体初始的体积为 V ,当压力增大 Δp 时,体积会缩小 ΔV ,则该液体的体积压缩系数 k 为

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2-4)$$

压缩系数 k 定义为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的体积减小,则式(2-4)的右边须加负号,以使 k 为正值。

另一种常用于描述液体可压缩性的指标是体积弹性模数,用 K 表示。其定义为 $1/k$,反映介质抵抗压力变化引起体积变化的能力。 K 值越大,表示越不容易被压缩。

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (2-5)$$

在实际应用中,常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。常温下,液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 2.0) \times 10^3$ MPa, 数值很大,故一般可认为油液是不可压缩的。

(三) 液体的黏性

在日常生活中,我们都能体会到液体有黏性。将杯中的水倒干净非常容易,但如果要将杯中的油液倒干净则不像倒水那么简单了,这是因为油液的黏性比水的黏性大。

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动而产生一种内摩擦力。这一特性称为液体的黏性。黏性的大小用黏度表示,黏性是液体重要的物理特性,也是选择液压油的主要依据。

黏性使流动液体内部各液层间的速度不等。如图 2-1 所示,两平行平板间充满液体,下平板不动,而上平板以速度 u_0 向右平动。由于黏性,紧贴于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 ,而中间各液体层的速度按线性分布。这表明,不同速度层相互制约而存在内摩擦力。

实验测定指出,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 和液层间的相对运动速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即

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

式中 μ ——比例常数,称为黏性系数或黏度;

du/dy ——速度梯度。

如以 τ 表示切应力,则内摩擦力对液层单位面积上的切应力为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-7)$$

这就是牛顿液体的内摩擦定律。在流体力学中,把黏性系数不随速度梯度变化而发生变化的液体称为牛顿液体,反之称为非牛顿液体。除高黏度或含有特殊添加剂的油液外,一般液压油均可视为牛顿液体。

黏度是衡量流体黏性的指标。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

1. 动力黏度

动力黏度可由式(2-7)导出。即

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-8)$$

由此可知,动力黏度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,液层间单位面积上产生的内摩擦力。动力黏度又称绝对黏度。动力黏度 μ 的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕每秒)。

2. 运动黏度

在相同温度下,动力黏度 μ 与液体密度 ρ 之比叫做运动黏度 ν ,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-9)$$

运动黏度没有明确的物理意义。因在理论分析和计算中常遇到 μ 与 ρ 的比值,为方便起见,用 ν 表示。其单位中有长度和时间的量纲,故称为运动黏度。运动黏度 ν 的单位为 m^2/s ,

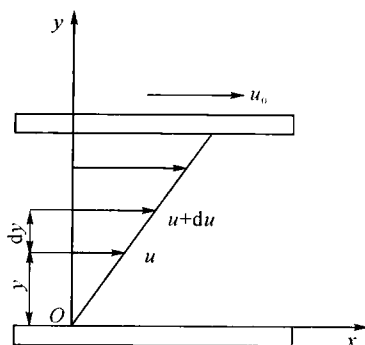


图 2-1 液体黏性示意图