

全国煤炭高等职业教育机械类规划教材

液压与 气动技术

● 主编 林木生 谢光辉

煤炭工业出版社

全国煤炭高等职业教育机械类规划教材

液压与气动技术

主 编 林木生 谢光辉

副主编 邱国庆 史俊青 严周民

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书是全国煤炭高等职业教育机械类规划教材之一。

全书分液压传动和气压传动二部分,系统地介绍了液压与气压传动技术。书中内容按照从原理到元件,从回路到系统的思路展开,内容详实。此外,还安排了液压元件拆装实习,章节后面附有小结,思考题与习题。力争实现理论与实践相结合,提高学生职业技能。

本书是高等职业技术学院、高等专科学校机械类专业的教材,也可作为普通工
科院校非机械类专业的教材,还可供相关工程技术人员自学或作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/林木生,谢光辉主编. —北京:煤炭
工业出版社,2004

全国煤炭高等职业教育机械类规划教材

ISBN 7-5020-2513-8

I. 液… II. ①林…②谢… III. ①液压传动—高等学
校:技术学校—教材 ②气压传动—高等学校:技术学
校—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 079524 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 17¹/₂

字数 423 千字 印数 1—6,000

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

社内编号 5284 定价 28.00 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

前言

本书是由中国煤炭教育协会和中国矿业大学北京教材编审室共同组织编写的,是全国煤炭高等职业教育机械类规划教材之一。

全书共分两篇,十五章。第一篇为液压传动,主要内容包括:液压传动基础知识、液压元件、液压基本回路、典型液压系统、液压系统的设计计算、液压伺服系统、液压系统的安装、调试及维护等。第二篇为气压传动,主要内容包括:气压传动基础知识、气源装置、气动元件、气动基本回路以及气动程序控制系统的分析和设计等。

本书依据高等职业技术教育的培养目标来编写,力求贴近工程实践。本教材具有以下特点:

(1) 贯彻少而精和理论联系实际的原则。在进行理论分析时,强调物理过程,简化理论推导;在合并部分章节内容的同时,突出了实际应用知识。

(2) 在重点阐述有关液压与气动的基本内容的基础上,力求反映我国液压与气动行业发展的最新情况。为此在本书中介绍了液压油的使用及抗污知识,对比例阀、插装阀、叠加阀、伺服阀、数字阀等正在逐步推广使用的新型液压元件的工作原理、结构及其应用做了介绍,对能进行液压系统优化设计、快速设计且使用极为方便的液压系统计算机辅助设计(液压 CAD)的内容及其应用作了简要介绍。

(3) 为培养学生的动手能力和职业岗位能力,本教材在介绍液压元件时,安排了“液压元件拆装实习”内容,指导学生动手拆装液压元件,加深对其结构和工作原理的理解与掌握。还对液压系统的安装、调试、维护及故障分析、排除等工程技术人员常用的知识进行了简要的介绍,收集了生产中应用液压技术的方式方法、宝贵经验和技术成果等,突出了高职教学特色。

(4) 各章均安排了小结及思考题与习题,以指导学生学习 and 巩固所学知识,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书主要适用于高职高专、成人高校、广播电视大学、函授的机械、机电类各专业,也可作为普通工科院校非机械类专业的教材,还可供工程技术人员参考使用。本书教学时数为 80 学时,两篇既有联系,又相互独立,可根据需要选用。

本书由林木生、谢光辉任主编,邱国庆、史俊青、严周民任副主编。参加本书编写的有:林木生(编写绪论和第一章),谢光辉(编写第二章、第四章),邱国庆(编写第五章),史俊青(编写第六章、第八章、第十一章),严周民(编写第三章、第十四章、第十五章),李文君(编写第七章、第十章、第十二章和附录 B),

目 录

绪论	(1)
----------	-----

第一篇 液压传动

第一章 液压传动基础知识	(6)
--------------------	-----

第一节 液压油	(6)
第二节 液体静力学基础	(14)
第三节 液体动力学基础	(18)
第四节 液体流动时的压力损失	(23)
第五节 小孔和缝隙流量	(26)
第六节 液压冲击和气穴现象	(29)
本章小结	(30)
思考题与习题	(31)

第二章 液压动力元件	(34)
------------------	------

第一节 液压泵概述	(34)
第二节 齿轮泵	(37)
第三节 叶片泵	(41)
第四节 柱塞泵	(46)
第五节 液压泵的选用	(49)
液压泵拆装实习	(51)
本章小结	(52)
思考题与习题	(53)

第三章 液压执行元件	(54)
------------------	------

第一节 液压马达	(54)
第二节 液压缸	(58)
液压马达和液压缸拆装实习	(69)
本章小结	(70)
思考题与习题	(70)

第四章 液压辅助元件	(72)
------------------	------

第一节 油管和管接头	(72)
第二节 油箱	(75)
第三节 滤油器	(76)

第四节 密封装置	(78)
第五节 蓄能器	(80)
第六节 流量计、压力测量仪表	(82)
本章小结	(83)
思考题与习题	(83)
第五章 液压控制阀及液压基本回路	(84)
第一节 概述	(84)
第二节 方向控制阀及方向控制回路	(85)
第三节 压力控制阀及压力控制回路	(95)
第四节 流量控制阀及节流调速回路	(104)
第五节 其他速度控制回路	(113)
第六节 多缸工作控制回路	(123)
第七节 电液比例阀、插装阀和数字阀	(127)
液压控制阀拆装实习	(132)
本章小结	(133)
思考题与习题	(134)
第六章 典型液压传动系统	(136)
第一节 怎样看液压系统图	(136)
第二节 组合机床动力滑台液压系统	(137)
第三节 万能外圆磨床液压系统	(139)
第四节 液压压力机液压系统	(145)
第五节 塑料注射成型机液压系统	(148)
本章小结	(152)
思考题与习题	(152)
第七章 液压传动系统的设计与计算	(154)
第一节 液压传动系统的设计步骤和设计要求	(154)
第二节 液压传动系统的设计与计算内容	(155)
第三节 液压传动系统的设计计算举例	(164)
第四节 CAD 在液压传动系统设计中的应用简介	(169)
本章小结	(170)
思考题与习题	(171)
第八章 液压伺服系统	(172)
第一节 概述	(172)
第二节 液压伺服阀及伺服机构	(174)
第三节 液压伺服系统实例	(178)
本章小结	(181)
思考题与习题	(182)
第九章 液压系统的安装、使用与维护	(183)
第一节 液压系统的安装	(183)

第二节 液压系统的使用与维护	(184)
第三节 液压系统的调试	(187)
第四节 液压系统的故障分析与排除	(188)
本章小结	(190)
思考题与习题	(190)
第二篇 气压传动	
第十章 气压传动基础知识	(191)
第一节 空气的物理性质	(191)
第二节 气体状态方程	(193)
第三节 气体流动规律	(194)
本章小结	(198)
思考题与习题	(198)
第十一章 气源装置及气动辅助元件	(199)
第一节 气源装置	(199)
第二节 气源净化装置	(201)
第三节 其他辅助元件	(204)
第四节 供气系统的管道设计	(209)
本章小结	(210)
思考题与习题	(211)
第十二章 气动执行元件	(212)
第一节 气缸	(212)
第二节 气动马达	(219)
本章小结	(221)
思考题与习题	(221)
第十三章 气动控制元件及基本回路	(222)
第一节 方向控制阀及换向回路	(222)
第二节 压力控制阀及压力控制回路	(228)
第三节 流量控制阀及速度控制回路	(231)
第四节 气动逻辑元件	(234)
第五节 其他回路	(240)
本章小结	(245)
思考题与习题	(245)
第十四章 气动程序系统及其设计	(246)
第一节 行程程序控制系统的设计步骤	(246)
第二节 多缸单往复行程程序回路设计	(247)
第三节 多缸多往复行程程序回路设计	(253)
本章小结	(256)

思考题与习题	(256)
第十五章 气压传动系统实例	(257)
第一节 气动机械手气压传动系统	(257)
第二节 气动钻床气压传动系统	(259)
第三节 气液动力滑台气压传动系统	(261)
第四节 工件夹紧气压传动系统	(262)
本章小结	(263)
思考题与习题	(263)
附 录	(264)
附表 A 常用液压与气动元件图形符号	(264)
附表 B 常用单位换算表	(268)
参考文献	(270)

绪 论

一、液压与气压传动的研究对象

液压与气压传动是研究以有压流体(压力油或压缩空气)为传动介质,来实现各种机械的传动和自动控制的学科。液压传动与气压传动实现传动和控制的方法是基本相同的,它们都是利用有关元件组成所需功能的基本回路,再由若干回路组合成传动系统来进行能量的传递与控制。因此,要研究液压与气压传动及其控制技术,就首先要了解传动介质的基本物理性能及其静力学、运动学和动力学特性;了解组成系统的各类液压与气动元件的结构、工作原理、工作性能以及各种基本回路的性能和特点,并在此基础上进行液压与气压传动控制系统的设计。

液压传动所用的工作介质为液压油或其他合成液体,气压传动所用的工作介质为空气,由于这两种流体的性质不同,所以液压传动和气压传动又各有其特点。液压传动传递动力大,运动平稳,但由于液体黏性大,在流动过程中阻力损失大,因而不宜作远距离传动和控制;而气压传动由于空气的可压缩性大,且工作压力低(通常在 1.0 MPa 以下),所以传递动力不大,运动也不如液压传动平稳,但空气黏性小,传递过程中阻力小、速度快、反应灵敏,因而气压传动能用于较远距离的传动和控制。

二、液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动的基本工作原理是相似的,现以图 0-1 所示的液压千斤顶来简述它们的工作原理。图中大小两个液压缸 6 和 3 的内部分别装有活塞 7 和 2,活塞和缸体之间保持一种良好的配合关系,不仅活塞能在缸内滑动,而且配合面之间又能实现可靠的密封。当用手向上提起杠杆 1 时,小活塞 2 就被带动上升,于是小缸 3 的下腔密封容积增大,腔内压力下降,形成部分真空,这时钢球 5 将所在的通路关闭,油箱 10 中的油液就在大气压力的作用下推开钢球 4 沿吸油孔道进入小缸的下腔,完成一次吸油动作。当压下杠杆 1 时,小活塞下移,小缸下腔的密封容积减小,腔内压力升高,这时钢球 4 自动关闭了油液流回油箱的通路,小缸下腔的压力油就推开钢球 5 进入大缸 6 的下腔,推动大活塞将重物 8(重力为 G)向上顶起一段距离。如此反复地提压杠杆 1,就可以使重物不断升起,达到起重的目的。

若将放油阀 9 旋转 90° ,则在物体 8 的自重作用下,大缸中的油液流回油箱,大活塞下降到原位。

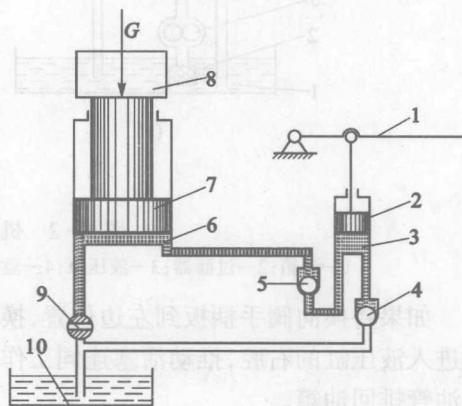


图 0-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆;2—小活塞;3、6—液压缸;4、5—钢球;
7—大活塞 8—重物;9—放油阀;10—油箱

从此例可以看出,液压千斤顶是一个简单的液压传动装置。分析液压千斤顶的工作过程,可知液(气)压传动是依靠液(气)体在密封容积变化中的压力能实现运动和动力传递的。液(气)压传动装置本质上是一种能量转换装置,它先将机械能转换为便于输送的压力能,后又将压力能转换为机械能做功。

三、液压与气压传动系统的组成及图形符号

1. 液压与气压传动系统的组成

图0-2为一台简化了的机床工作台液压传动系统,通过它可以进一步了解一般液压传动系统应具备的基本性能和组成情况。

在图0-2(a)中,液压泵3由电动机(图中未示出)带动旋转,从油箱1中吸油。油液经过滤器2过滤后流往液压泵,经泵向系统输送。来自液压泵的压力油流经节流阀5和换向阀6进入液压缸7的左腔,推动活塞连同工作台8向右移动。这时,液压缸右腔的油通过换向阀经回油管排回油箱。

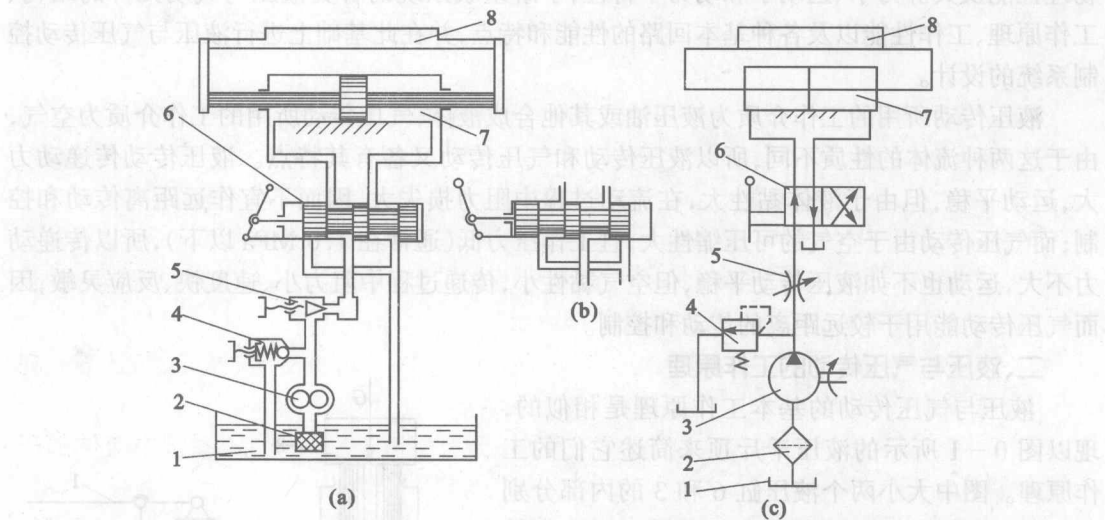


图0-2 机床工作台液压传动系统

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

如果将换向阀手柄扳到左边位置,换向阀处于图0-2(b)所示的状态,则压力油经换向阀进入液压缸的右腔,推动活塞连同工作台向左移动。这时,液压缸左腔的油亦经换向阀和回油管排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开口较大时,进入液压缸的流量较大,工作台的移动速度也较快;反之,当节流阀开口较小时,工作台移动速度则较慢。

工作台移动时必须克服阻力,如克服切削力和相对运动表面的摩擦力等。为适应克服不同大小阻力的需要,泵输出油液的压力应当能够调整;另外,当工作台低速移动时,节流阀开口较小,泵出口多余的油亦需要排回油箱。这些功能是由溢流阀4来实现的,调节溢流阀弹簧的预压力就能调整泵出口的油液压力,并让多余的油在相应压力下打开溢流阀,经回油管流回油箱。

图 0-3 为一可完成某程序动作的气动系统的组成原理图,其中的控制装置是由若干气动元件组成的气动逻辑回路。它可以根据气缸活塞杆的始末位置,由行程开关等传递信号,在作出逻辑判断后指示气缸下一步的动作,从而实现规定的自动工作循环。

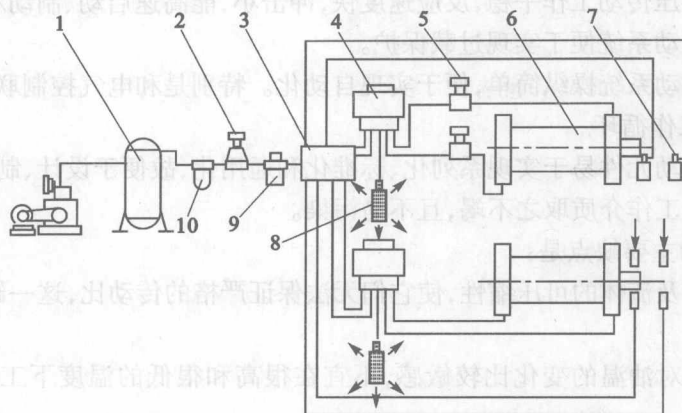


图 0-3 气压传动系统的组成

1—气压发生装置;2—压力控制阀;3—逻辑元件;4—方向控制阀;5—流量控制阀
6—气缸;7—行程开关;8—消声器;9—油雾器;10—过滤器

由上面的例子可以看出,液压与气压传动系统主要由以下几个部分组成:

(1) 动力元件 一般最常见的是液压泵或空气压缩机。它的功用是将原动机输入的机械能转换为流体的压力能,以驱动执行元件运动。

(2) 执行元件 一般指作直线运动的液(气)压缸、作回转运动的液(气)压马达等。它的功用是将流体的压力能转换为机械能,以驱动工作部件。

(3) 控制元件 指各种阀类元件,它们的作用是控制和调节液(气)压系统中流体的压力、流量和流动方向,以保证工作机构完成预定的工作运动。

(4) 辅助元件 指除以上三种以外的其他装置,如油箱、滤油器、分水滤气器、油雾器、蓄能器等,它们的作用是提供必要的条件,使系统得以正常工作和便于监测控制。

(5) 传动介质 即液压油或压缩空气,其作用是实现运动和动力的传递。

2. 液压与气压传动系统的符号

液压与气压传动系统的图形符号有结构原理图和职能符号图两种。在图 0-2(a)中,组成液压系统的各个元件是用半结构式图形画出来的,这种图形称为结构原理图。结构原理图直观性强,较易理解,但难于绘制,系统中元件数量多时更是如此。在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都用简单的图形符号来绘制液压系统原理图,故结构原理图已逐渐被淘汰。对于图 0-2(a)所示的液压系统,若用国家标准 GB 786.1—93 规定的液压图形符号绘制,则如图 0-2(c)所示。图中的符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和安装位置,这种图形符号称为职能符号。使用图形符号,可使液压系统图简单明了,便于绘制。GB 786.1—93 液压与气压图形符号见本书附录 A。

四、液压与气压传动的优缺点及应用

1. 液压与气压传动的优缺点

液压和气压传动与其他传动方式相比较,有如下主要优点:

- (1) 液压与气压传动能方便地实现无级调速,调速范围大。
- (2) 在相同功率情况下,液压传动能量转换元件的体积较小,重量较轻。
- (3) 液压与气压传动工作平稳,反应速度快,冲击小,能高速启动、制动和换向。
- (4) 液压与气动系统便于实现过载保护。
- (5) 液压与气动系统操纵简单,便于实现自动化。特别是和电气控制联合使用时,易于实现复杂的自动工作循环。
- (6) 液压与气动元件易于实现系列化、标准化和通用化,故便于设计、制造。
- (7) 气压传动工作介质取之不竭,且不易污染。

液压与气动的主要缺点是:

- (1) 由于泄漏及流体的可压缩性,使它们无法保证严格的传动比,这一缺点对气动尤为显著。
- (2) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高和很低的温度下工作,且易污染环境。
- (3) 气压传动传递的功率较小,气动装置的噪声也大。

总的说来,液压与气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。

2. 液压与气压传动的应用和发展

液压传动相对于机械传动来说,是一门新的技术。如果从 1795 年世界上第一台水压机诞生算起,液压传动已有 200 多年的历史。然而,液压传动的真正推广使用却是近 50 多年的事。特别是 20 世纪 60 年代以后,随着原子能科学、空间技术、计算机技术的发展,液压技术也得到了很大发展,渗透到国民经济的各个领域之中,在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床工业中,液压技术得到了普遍的应用。当前,液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、经久耐用、高度集成化等方向发展;同时,新型液压元件的应用,液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化、微机控制等工作,也日益取得显著的成果。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代,其产品最初应用于机床和锻压设备,后来又用于拖拉机和工程机械。自 1964 年开始从国外引进液压元件生产技术,同时自行设计液压产品以来,我国的液压元件生产已形成系列,并在各种机械设备上得到了广泛的使用。目前,我国机械工业在认真消化、推广从国外引进的先进液压技术的同时,大力研制开发国产液压元件新产品(如中高压齿轮泵、比例阀、叠加阀及新系列中高压阀等),加强产品可靠性和新技术应用的研究,积极采用国际标准和执行新的国家标准,合理调整产品结构,对一些性能差的不符合国家标准的液压件产品采取逐步淘汰的措施。可以看出,液压传动技术在我国的应用与发展已经进入了一个崭新的历史阶段。

气压传动技术在技术飞速进步、能源紧张的当今世界发展将更加迅速。随着工业的发展,它的应用范围也将日益扩大,同时它的性能也就必须满足气动机械多样化以及与机械电子工业快速发展相适应的要求。处在这样的变革时期,要求按不同于以前的观点去开发气动技术、气动机械和气动系统。即不单纯强调进行气动元件本身的研究而使之满足多样化的要求,而且为了达到提高系统的可靠性、降低成本,要进行无给油化、节能化、小型化和轻

量化、位置控制的高精度化,以及与电子学相结合的综合控制技术的研究。

液压与气压传动发展到目前的水平主要是由于液压与气压传动本身的特点所致,可以预见,随着工业的发展,液压与气压传动技术必将更加广泛地应用于各个工业领域。

思 考 题

- 0-1 何谓液(气)压传动? 液(气)压传动的基本工作原理是怎样的?
- 0-2 液(气)压传动系统有哪些组成部分? 各部分的作用是什么?
- 0-3 和其他传动方式相比较,液(气)压传动有哪些主要优、缺点?

第一篇 液压传动

第一章 液压传动基础知识

流体传动包括液体传动和气体传动,而液体传动按其工作原理的不同分为两类。主要以液体动能进行工作的称为液力传动;主要以液体压力能进行工作的称为液压传动。后者是本书所要讨论的内容。由于液压传动是以液体作为工作介质来进行能量传递的,因此,了解液体的基本性质,掌握液体平衡和运动的主要力学规律,对于正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压系统都是非常必要的。

第一节 液 压 油

一、液压油的主要性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,即

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

式中 V ——液体的体积;

m ——体积为 V 的液体的质量;

ρ ——液体的密度。

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,但这种变化量很小,可以忽略不计。一般液压油的密度为 900 kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。体积 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

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

式中 k ——液体的体积压缩系数。

由于压力增大时液体的体积减小,因此式(1-2)的右边须加一负号,以使 k 为正值。

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

K 为体积弹性模量,简称体积模量,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,常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。在常温下,纯净油液的体积模量 K

$= (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$, 数值很大, 故一般可认为油液是不可压缩的。

应当指出, 当液压油中混有空气时, 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。在有较高要求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。由于油液中的气体难以完全排除, 实际计算中常取液压油的体积模量 $K = 0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

3. 黏性

1) 黏性的物理本质

液体在外力作用下流动时, 分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动, 因而产生一种内摩擦力, 这一特性称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理性质, 也是选择液压用油的主要依据之一。

液体流动时, 由于液体的黏性以及液体和固体壁面间的附着力, 会使液体内部各层间的速度大小不等。如图 1-1 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。由于液体的黏性作用, 紧贴下平板的液体层速度为零, 紧贴 upper 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大小近似呈线性规律分布。

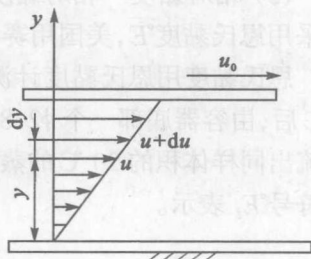


图 1-1 液体的黏性示意图

实验测定表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比, 即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中, μ 是比例常数, 称为动力黏度。若以 τ 表示内摩擦切应力, 即液层间在单位面积上的内摩擦力, 则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

式(1-5)称牛顿液体内摩擦定律。

由式(1-5)可知, 在静止液体中, 因速度梯度 $\frac{du}{dy} = 0$, 内摩擦力为零, 所以流体在静止状态下是不呈黏性的。

2) 黏度

表示液体黏性的大小的物理量称为黏度。常用的黏度有三种, 即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 动力黏度 动力黏度又称绝对黏度, 是用液体流动时所产生的内摩擦力的大小来表示的黏度, 由式(1-4)可得

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}}$$

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, 接触液层间单位面积上的内摩擦力大小。

动力黏度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)。

(2) 运动黏度 在相同温度下,液体的动力黏度和它的密度的比值称为运动黏度,以 ν 表示

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

运动黏度 ν 无物理意义,但它却是工程实际中经常用到的物理量。

运动黏度的法定计量单位是 m^2/s ,它与厘米克秒制单位 cSt (厘斯)之间的关系是

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cSt}$$

国际标准化组织 ISO 规定统一采用运动黏度来表示油的黏度等级。我国生产的全损耗系统用油和液压油采用 40°C 时的运动黏度值(mm^2/s)为其黏度等级标号,即油的牌号。例如,牌号为 L-HL32 的液压油,就是指这种油在 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,是根据一定的测量条件测定的,中国、德国等都采用恩氏黏度 $^\circ\text{E}$,美国用赛氏黏度 SSU,英国则用雷氏黏度 R ,等等。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定,将被测油放在一个特制的容器里(恩氏黏度计),加热至 $t^\circ\text{C}$ 后,由容器底部一个 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 的孔流出,测量出 200 mL 体积的油液流尽所需时间 t_1 ,与流出同样体积的 20°C 的蒸馏水所需时间 t_2 之比值就是该油在温度 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度,用符号 $^\circ\text{E}_t$ 表示。

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-7)$$

式中 t_1 —— 200 mL 被测油液流过恩氏黏度计小孔所需的时间;

t_2 —— 200 mL 蒸馏水,在 20°C 温度下流过恩氏黏度计小孔所需的时间。

(4) 恩氏黏度与运动黏度之间换算 工程中常采用先测出液体的恩氏黏度,再根据关系式或用查表法,换算出动力黏度或运动黏度。

经验公式为

$$\nu_t = (7.31^\circ\text{E}_t - \frac{6.31}{^\circ\text{E}_t}) \times 10^{-6} \quad (1-8)$$

式中 ν_t ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时,油液的运动黏度;

$^\circ\text{E}_t$ ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时,油液的恩氏黏度。

当油液的运动黏度不超过 $76 \text{ mm}^2/\text{s}$,下度在 $30^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 范围内时,温度 $t^\circ\text{C}$ 时油液的运动黏度为

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (1-9)$$

式中, n 为随油液黏度变化的指数,见表 1-1。

表 1-1 指数 n 随油液黏度变化的值

$\nu_{50}/\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	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

恩氏黏度与运动黏度的换算也可用查表法。

3) 黏度和温度的关系

油液的黏度对温度的变化极为敏感,温度升高,油的黏度下降。油的黏度随温度变化的