



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

YEYA CHUANDONG
YU KONGZHI

液压传动与控制

(第4版)

沈兴全 主编

基础 宽口径 · 授理论 融先进 · 重实践 讲典型



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013048454

TH137
213-4

“十二五”普通高等教育本科国家级规

液压传动与控制

(第4版)

沈兴全 主编



国防工业出版社

·北京·



北航

C1656506

TH137

213-4

123840810

内 容 简 介

本书阐述了液压传动与控制的基础理论,在全面介绍液压元件的基础上,将其与基本回路有机地结合起来,对液压基本回路、典型液压系统进行了综合分析,讲授了液压系统的一般设计方法,并介绍了液压伺服控制系统以及液压系统使用、维护和故障分析等相关知识;在内容上注意拓宽专业口径和加强专业基础;内容全面,取材新颖,图文并茂,并附有大量的例题和习题。本书可作为高等院校液压传动与控制课程教材,也可供从事该专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与控制/沈兴全主编. —4版. —北京:
国防工业出版社, 2013. 5

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-118-08719-2

I. ①液… II. ①沈… III. ①液压传动—高等学校—
教材②液压控制—高等学校—教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 081368 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 476 千字

2013 年 5 月第 4 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

第4版前言

液压技术是研究利用有压液体实现传动和控制的一门新兴学科,近几年发展迅速,尤其是在电子技术、计算机技术日益发展的今天,液压技术已渗透到各个学科领域。确切地说,液压技术是电子和机械技术之间的一种技术,把“传动”和“控制”结合起来是液压技术发展的必然结果。

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。与第3版相比,分别对各章作了充实和调整,更加注重反映该学科国内外的最新研究成果和发展趋势,如新增的液压系统的仿真与性能分析、液压泵的噪声与控制等内容都具有十分重要的现实意义。教材重点讲授液压传动与控制技术的基础知识,内容上兼顾机械各行业的需要,而不局限于某一个领域的应用,致力于培养宽口径、厚基础的高素质综合性人才。教材贯彻理论联系实际,学以致用原则,编写了较多的典型系统和应用实例,不仅方便教师授课,也有利于加深学生对基本概念、基本原理、基本方法的理解,巩固所学的知识点,提高解决实际问题的能力。教材精选了较多液压传动与控制典型习题,为学生自主学习、自我评价创造了良好的条件,更为有学习兴趣的优秀学生提供了更多实践和自我提高的机会,激发学生的学习积极性。教材积极采用液压传动与控制最新国家标准,推广最新定义的科学术语。

本书由沈兴全教授主编。参加编写的有沈兴全、李耀明、于大国、黄晓斌、赵丽琴、庞俊忠。其中沈兴全编写第一章,李耀明编写第二、第三章,于大国编写第四、第五、第六章,黄晓斌编写第七、第八章,赵丽琴编写第九、第十章,庞俊忠编写第十一、第十二章。由沈兴全对全书进行统稿。

本书在编写过程中参考了大量同仁论著中的精华,均列于参考文献之中。在此谨向各位作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免有许多的缺点和错误,敬请读者批评指正。

本书备有教学课件,凭学校的授课和用书证明可与于大国联系课件事宜(yudaguol2@qq.com)。

编者

2013年1月

目 录

第一章 液压传动概论	1
第一节 液压传动的工作原理及组成	1
第二节 液压技术的发展与应用	4
第三节 液压传动的特点	5
习题	6
第二章 液压传动介质	7
第一节 液压油	7
第二节 液压油的污染与控制	13
例题	17
习题	20
第三章 液压流体力学基础	22
第一节 液体静力学	22
第二节 液体动力学	25
第三节 管道中液流的特性	32
第四节 孔口和缝隙的压力流量特性	36
第五节 液压冲击与空穴现象	44
例题	47
习题	54
第四章 液压泵	57
第一节 概述	57
第二节 液压泵的性能参数	60
第三节 齿轮泵	62
第四节 叶片泵	68
第五节 柱塞泵	73
第六节 液压泵的噪声与控制	78
例题	79
习题	80

第五章 液压系统的执行元件	82
第一节 液压缸	82
第二节 液压缸的结构	88
第三节 液压缸的设计与计算	92
第四节 液压马达	100
例题	107
习题	112
第六章 液压辅助元件	115
第一节 密封件	115
第二节 蓄能器	121
第三节 滤油器	124
第四节 热交换器	129
第五节 管件	133
第六节 油箱	136
例题	139
习题	140
第七章 液压阀	141
第一节 概述	141
第二节 方向控制阀	143
第三节 压力控制阀	151
第四节 流量控制阀	158
第五节 电液比例控制阀	163
第六节 液压伺服阀	166
第七节 叠加阀和二通插装阀	171
第八节 电液数字阀	174
例题	178
习题	181
第八章 液压基本回路	186
第一节 速度控制回路	186
第二节 压力控制回路	208
第三节 方向控制回路	216
第四节 多缸工作控制回路	220
例题	223
习题	232

第九章 典型液压系统	237
第一节 组合机床动力滑台液压系统	238
第二节 汽车起重机液压系统	241
第三节 振动压路机液压系统	244
第四节 数控机床液压系统	248
第五节 机械手液压系统	250
第六节 注塑机液压系统	252
例题	257
习题	260
第十章 液压系统设计与计算	263
第一节 液压系统的设计步骤	263
第二节 液压传动系统设计实例	274
例题	279
习题	286
第十一章 液压伺服控制系统	289
第一节 液压伺服控制系统概述	289
第二节 典型液压伺服控制系统	291
习题	294
第十二章 液压系统的使用、维护和故障分析	295
第一节 液压系统的安装与调试	295
第二节 液压系统的使用与维护	298
第三节 液压系统的故障诊断方法	300
第四节 液压系统的故障排除方法	302
例题	307
习题	310
附录 常用液压与气动元件图形符号	312
参考文献	317

第一章 液压传动概论

传动可以通过固体、液体、气体实现。液压传动是研究以液体为能源介质,来实现各种机械传动和自动控制的学科。

第一节 液压传动的工作原理及组成

一、液压传动的工作原理

以液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。

如图 1-1 所示,手柄 1 带动活塞上提,泵缸 2 容积扩大形成真空,排油单向阀 3 关闭,油箱 5 中的液体在大气压力作用下,经管 6、吸油单向阀 4 进入泵缸 2 内;手柄 1 带动活塞下压,吸油单向阀 4 关闭,泵缸 2 中的液体推开排油单向阀 3,经管 9、10 进入液压缸 11,迫使活塞克服重物 12 的重力 G 上升而做功;当需液压缸 11 的活塞停止时,使手柄 1 停止运动,液压缸 11 中的液压力使排油单向阀 3 关闭,液压缸 11 的活塞就自锁不动;工作时截止阀 8 关闭,当需要液压缸 11 的活塞放下时,打开此阀,液体在重力作用下经此阀排往油箱 5。

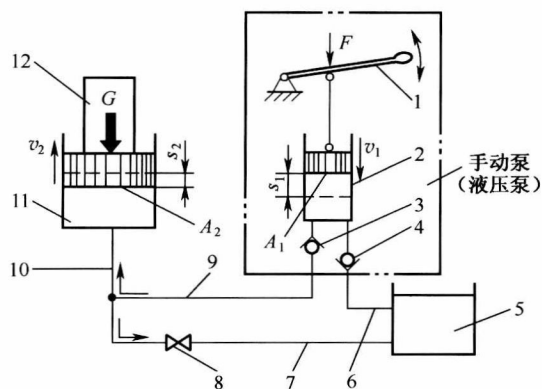


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—手柄;2—泵缸;3—排油单向阀;4—吸油单向阀;5—油箱;
6、7、9、10—管;8—截止阀;11—液压缸;12—重物。

设大、小活塞的面积为 A_2 、 A_1 ,当作用在大活塞上的负载和作用在小活塞上的作用力分别为 G 和 F 时,大、小活塞下腔以及连接导管构成的密闭容积内的油液具有相等的压强,设为 p ,如忽略活塞运动时的摩擦阻力,有

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

或

$$G = F \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

如果 A_2 、 A_1 选择合适的,作用在小活塞上一个很小的力 F ,便可由大活塞举起很重的重物。

上述内容为液压千斤顶的工作原理。液压千斤顶作为简单又较完整的液压传动装

置由以下几部分组成：

(1) 液压泵。是把机械能转换成液体压力能的元件。泵缸 2、吸油单向阀 4 和排油单向阀 3 组成一个阀式配流的液压泵。

(2) 执行元件。是把液体压力能转换成机械能的元件。如液压缸 11(当输出不是直线运动而是旋转运动时,则为液压马达)。

(3) 控制元件。是通过对液体的压力、流量、方向的控制,来实现对执行元件的运动速度、方向、作用力等的控制的元件,用以实现过载保护、程序控制等。如截止阀 8 即属控制元件。

(4) 辅助元件。除上述三个组成部分以外的其他元件,如管道、管接头、油箱、滤油器等为辅助元件。

二、液压系统的组成

分析液压千斤顶的原理图,可以看出液压系统是由以下五部分组成的:

(1) 动力元件。把机械能转换成液压能的装置,由泵和泵的其他附件组成,最常见的是液压泵,它给液压系统提供压力油。

(2) 执行元件。把液压能转换成机械能带动工作机构做功的装置。它可以是做直线运动的液压缸,也可以是做回转运动的液压马达。

(3) 控制元件。对液压系统中油液压力、流量、运动方向进行控制的装置,主要是指各种阀。

(4) 辅助元件。由各种液压附件组成,如油箱、油管、滤油器、压力表等。

(5) 工作介质。液压系统中用量最大的工作介质是液压油,通常指矿物油。

三、液压系统图的图形符号

液压传动系统的图示方法有三种:装配结构图、结构原理图和职能符号图。

装配结构图能准确地表达系统和元件的结构形状、几何尺寸和装配关系,但绘制复杂,不能简明、直观地表达各元件的功能。它主要用于设计、制造、装配和维修等场合,而在系统性能分析和设计方案论证时不宜采用。

结构原理图可以直观地表达各种元件的工作原理及在系统中的功能,并且比较接近元件的实际结构,故易于理解接受,但图形绘制仍比较复杂,难于标准化,并且它对于元件的结构形状、几何尺寸和装配关系的表达也很不准确。这种图形不能用于设计、制造、装配和维修,对于系统分析又过于复杂,常用于液压元件的原理性解释和说明,在液压元件的理论分析和研究中也常用到。

在液压系统中,凡是功能相同的元件,尽管结构和原理不同,均用同一种符号表示。这种仅仅表示功能的符号称为液压元件的职能符号。职能符号图是一种工程技术语言,其图形简洁标准、绘制方便、功能清晰、阅读容易,便于液压系统的性能分析和设计方案的论证。用职能符号绘制液压系统图时,它们只表示系统和各元件的功能,并不表示具体结构和参数以及具体安装位置。

我国制定的液压及气动图形符号标准,与国际标准和多数发达国家的标准十分接

用职能符号绘制液压系统图时,如无特别说明,均指元件处于静态和零位而言。常用方向性的元件符号(如油箱等)必须按规定绘制,其他元件符号也不得任意倾斜。但必须特别说明某元件在液压系统中的动作原理或结构时,允许局部采用结构原理图(亦称半结构图)表示。

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。

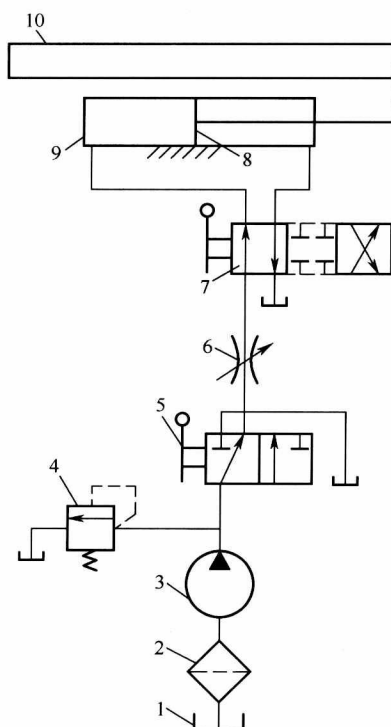


图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

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。

第二节 液压技术的发展与应用

液压传动相对于机械传动来说，是一门新兴的技术。它的发展历史虽然较短，但发展的速度却非常快。自从 1795 年制成了第一台压力机起，液压技术进入了工程领域，1906 年开始应用于国防战备武器。

第二次世界大战期间，由于军事工业迫切需要反应快、精度高的自动控制系统，因而出现了液压伺服控制系统，从 20 世纪 60 年代起，由于原子能、空间技术、大型船舰及电子技术的发展，不断地对液压技术提出新的要求，液压技术开始飞速发展起来。

在我国，20 世纪中期液压产品受到重视。自从 1964 年从国外引进液压元件生产技术，并自行设计液压产品以来，国产液压件得到了广泛的应用。20 世纪 80 年代起，加速了对国外先进液压产品和技术引进、消化与国产化工作，推动了我国液压技术在各个方面的发展。

目前，液压技术应用领域日趋广泛：从民用到国防，由一般传动到精度很高的控制系统，液压技术得到更加广泛的发展和应用。

在国防工业中，海、陆、空各种战备武器均采用液压传动与控制技术。如飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮、导弹及火箭等。

在民用工业中,众多行业也都广泛采用液压传动与控制技术。

(1) 机床工业。目前传动系统中采用液压传动与控制的机床有压铸件、造型机、冲压机、锻压机、组合机床、拉床、磨床和仿形机床。

(2) 冶金工业。有电炉控制系统、轧钢机控制系统、平炉装料、转炉控制、高炉控制、带材跑偏及恒张力装置等。

(3) 工程机械。有推土机、挖掘机、联合采煤机、隧道掘进机、压路机、凿岩机及桥梁启闭等。

(4) 农业方面。有联合收割机控制系统、拖拉机的悬挂装置等。

(5) 汽车工业。有全液压越野车、液压自卸式汽车、液压高空作业车、消防车(云梯车及消防照明)等。

(6) 轻纺工业。有塑料注射机、橡胶硫化机、造纸机、印刷机及纺织机等。

(7) 船舶工业。有工程船舶(全液压挖泥船、打捞船、打桩船及采油平台)、水翼船、气垫船及船舶辅机(起货机、锚机、舵机、舱盖启闭及船底启闭、船队连接装置及防摇鳍)等。

(8) 建材工业。有水泥窑控制系统等。

另外,近几年又出现的太阳跟踪系统、海浪模拟装置、飞机驾驶模拟器、船舶驾驶模拟器、地震再现装置、火箭助飞发射装置、宇航环境模拟装置、高层建筑防震系统及紧急刹车装置等,均采用了液压技术。

总之,一切工程领域,凡是有机设备的场合,均可应用液压技术来实现一定的功能与作用。

当前,液压技术在实现高速、高压、大功率、高效率、低噪声、经久耐用、高度集成化等各项要求方面都取得了重大的进展,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。此外,在液压元件和液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化以及微机控制等开发性工作方面,日益显示出显著的成绩。

如今,为了和最新技术的发展保持同步,满足日益变化的市场需求,液压技术的发展呈现如下一些比较重要的特征:

- (1) 提高元件性能,创制新型元件,不断小型化和微型化;
- (2) 高度的组合化、集成化和模块化;
- (3) 和微电子技术相结合,走向智能化;
- (4) 研发特殊传动介质,推进工作介质多元化。

第三节 液压传动的特点

液压传动具有以下几个方面的优点:

(1) 在同等的体积下,液压装置可以比电气装置产生出更多的动力。由于液压系统中的压力能比电磁场中的磁力大出 30~40 倍,在同等的功率下,液压装置的体积小、重量小、结构紧凑。而液压马达的体积和重量只有同等功率电动机的 12% 左右。

(2) 液压装置工作比较平稳。由于重量小、惯性小、反应快,液压装置易于实现快速启动、制动和频繁的换向。液压装置的换向频率,在实现往复回转运动时可达 500 次/min,实现往复直线运动时可达 1000 次/min。

(3) 液压装置能在大范围内实现无级调速(调速范围可达 2000),还可以在运行的过程中进行调速。

(4) 液压传动容易实现自动化。这是因为它对液体压力、流量或流动方向易于进行调节和控制的缘故。当将液压控制和电气控制、电子控制或气动控制结合起来使用时,整个传动装置能实现很复杂的顺序动作,接受远程控制。

(5) 液压装置易于实现过载保护。液压缸和液压马达都能长期在失速状态下工作而不会过热,这是电气传动装置和机械传动装置无法做到的。

(6) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,液压系统的设计、制造和使用都比较方便。液压元件的排列布置也具有较大的机动性。

(7) 用液压传动来实现直线运动比用机械传动简单。

(8) 液压系统一般采用矿物油为工作介质,相对运动面可自行润滑,使用寿命长。

另外一方面,液压传动具有以下几方面的缺点:

(1) 液压传动不能保证严格的传动比,这是由液压油液的可压缩性和泄漏等原因造成的。

(2) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(摩擦损失、泄漏损失等),长距离传动时更是如此。

(3) 液压传动对油温变化比较敏感,它的工作稳定性很易受到温度的影响,因此它不宜在很高或很低的温度条件下工作。

(4) 为了减少泄漏,液压元件在制造精度上的要求较高,因此它的造价较贵,而且对油液的污染比较敏感。

(5) 由于液体流动的泄漏较大,所以效率较低。如果处理不当,泄漏不仅污染场地,而且还可能引起火灾和爆炸事故。

(6) 液压传动要求有单独的能源。

(7) 液压传动出现故障时不易找出原因。

总的说来,液压传动的优点是突出的,它的一些缺点有的现已大为改善,有的将随着科学技术的发展而进一步得到克服。

习 题

1-1 液压传动系统由哪些部分组成?各部分的功用分别是什么?

1-2 液压传动与其他形式的传动相比,具有哪些优点?哪些缺点?

1-3 液压传动系统有泵、阀、执行元件、油箱、管路等元件和辅件,还得有驱动泵的电机。而电机驱动系统,似乎只需一只电机就行了。为什么说液压系统的体积小,重量小呢?

1-4 液压系统中,要经过两次能量的转换,一次是电机的机械能转换成为泵输出的流动液体的压力能,另一次是输入执行元件的流动液体的压力能转换成为执行元件输出的机械能。经过能量转换是要损失能量的,那么为什么还要使用液压系统呢?

1-5 结合本章机床工作台液压系统图,学习附录“液压”图形符号。尝试借助附录,利用 AutoCAD 软件独立绘制机床工作台液压系统图。

第二章 液压传动介质

液压传动工作介质的种类比较多,通常采用矿物油作为工作介质,所以一般都将液压传动工作介质称为液压油。除矿物油外,近年来又出现了以水为主要成分的高水基液压油。

由于液压油的性质及其质量将直接影响液压系统的工作,因此有必要对液压油的性质进行研究,对各种液压油的选用和污染的控制进行探讨。

第一节 液压油

液压油的质量直接影响液压系统的工作性能,因此必须合理地选择和使用。

一、液压油的主要物理性质

1. 密度

对于均质液体,其单位体积内液体的质量称为密度,它是一个重要的物理参数。通常用 ρ 表示,计算式为

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

式中 V ——液体的体积;

m ——体积为 V 的液体的质量。

在国际单位制(SI)中,液体的密度单位是 kg/m^3 。

液压油的密度随压力的增大而增大,随温度升高而减小。由于液压系统中工作压力变化不算太大,油液温度又是在控制范围内,所以油温和压力引起的密度变化甚微,因此可视为常数。一般液压油的密度为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. 可压缩性

在一般计算时,油的可压缩性可忽略不计。但在做液压元件或系统的动态分析时,就必须考虑油的压缩性了。液体受压力作用而发生体积变小的性质称为液体的可压缩性。通常用液体的压缩系数 k 表示液体的体积变化情况,压缩系数定义为单位压力所引起的液体单位体积的变化,即

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

式中 Δp ——压力增量;

ΔV ——体积的增量;

V ——液体初始的体积。

由于压力增大时液体的体积减小,因此式(2-2)的右边须加一负号,以使 k 为正值。液体的可压缩性很小,当 $p < 1.5\text{MPa}$ 时,油液的可压缩性可忽略不计。但压力很高,受

压体积较大或对液压系统进行动态分析时,就要考虑液体的压缩性。通常取液压油的压缩系数 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

液体的压缩系数 k 的倒数为液体的体积弹性模数,用 K 表示

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V$$

在实际应用中,常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小, K 值越大,液体的压缩比越小,其抗压性能越强,反之越弱。常温下,液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$,数值很大,故一般可认为油液是不可压缩的。

应当指出,如果空气混入液体中,将导致其抵抗压缩的能力显著降低,故在液压系统中应力求减少油液中混入气体及其他易挥发物质。

3. 黏性

液体在管道中流动时,各流层的运动速度不相等,越接近管壁的流层速度越小,管子中心的流层速度最大。其原因是由于液体与管壁之间的附着力和液体分子间的内聚力造成的,使其流动受到牵制,阻碍流层间的相对滑动,在相邻流层之间便产生了内摩擦力。液体流动时的这种内摩擦阻力称为液体的黏性。当液体静止时,各层无相对滑动,不产生摩擦力,因而不显示黏性。如图 2-1 所示,假设两平行平板间存满液体,当上平板以 u_0 向右运动,紧贴上平板的液体黏附于上平板,也以速度 u_0 运动,而紧贴下平板的一层液体仍保持不动,其中间各层液体间在内聚力的作用下相互牵制,运动快的一层液体带动运动慢的一层液体向右运动,而运动慢的液体对运动快的液体起阻滞作用。不难看出,液体从上到下按递减的速度向右运动。当平板间的距离很小时,各流层的速度呈线性规律分布。

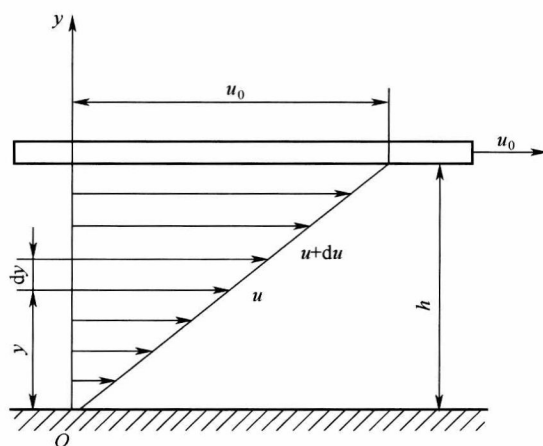


图 2-1 液体黏性示意图

根据实验得出,液体流动时两液层之间的内摩擦力 F 与液层间接触面积 A 成正比,与液层间相对速度 du 、液层间距离 dy 之商成正比,即

$$F = \eta A \frac{du}{dy} \quad \text{或} \quad \tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中 η ——液体黏性的内摩擦系数,称为液体动力黏度;

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度,即液层间相对速度对液层距离的变化律;

τ ——单位面积上的内摩擦力,即切应力。

式(2-3)称为牛顿液体的内摩擦定律。若 $\frac{du}{dy}=0$,说明液体处于静止状态,根据公式计算,内摩擦力 $F=0$,因此静止液体不显示黏性。

表示黏性大小的物理量称为黏度。液压油的黏度是选择液压油的重要依据,黏度大小直接影响液压系统的正常工作、工作效率和灵敏度。

常用的黏度有三种:动力黏度、运动黏度和相对黏度(恩氏黏度)。

(1) 动力黏度(绝对黏度)。是用液体流动时所产生的内摩擦力大小来表示的黏度,其计算式为

$$\eta = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-4)$$

物理意义:面积各为 1cm^2 、相距为 1cm 的两层液体,以 1cm/s 的速度相对运动时所产生的内摩擦力。

动力黏度 η 的单位,在法定计量单位中用“帕[斯卡]秒”表示,简称帕·秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$)或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

(2) 运动黏度。在相同温度下,液体的动力黏度 η 与它的密度 ρ 之比,称为运动黏度,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2-5)$$

在工程上, ν 的法定计量单位是 m^2/s 或 mm^2/s 。

工程上,常用运动黏度表示油的牌号。液压油的牌号,是用它在某一温度下的运动黏度平均值来表示,例如 N32 号液压油,就是指这种油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。在运动黏度前冠以“N”字符,以区别于其他温度下的运动黏度。我国液压油牌号过去是按 50°C 运动黏度来划分的,例如,旧牌号 20 号液压油,就是指它在 50°C 时的运动黏度平均值为 $20\text{mm}^2/\text{s}$ 。新牌号是按 40°C 运动黏度划分,液压油新旧牌号(40°C 与 50°C 运动黏度等级)对照可查阅液压传动手册,以便使用。例如,旧牌号是 10 号液压油,对应的新牌号是 N15 号液压油;旧牌号是 30 号液压油,对应的新牌号是 N46 号液压油;旧牌号是 40 号液压油,对应的新牌号是 N68 号液压油。

(3) 相对黏度(恩氏黏度)。用恩氏黏度计进行测量,故称恩氏黏度。

恩氏黏度的测定方法:将被测的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 200cm^3 体积的油液流尽所需时间 $t_{\text{油}}$,与流出同样体积的 20°C 的蒸馏水所需时间 $t_{\text{水}}$ 相比,其比值就是该油在温度 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度,用符号 $^\circ E_t$ 表示。

$$^\circ E_t = \frac{t_{\text{油}}}{t_{\text{水}}} \quad (2-6)$$

式中 $t_{\text{油}}$ —— 200cm^3 被测油液流过恩氏黏度计小孔所需的时间;

$t_{\text{水}}$ —— 200cm^3 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

$$\nu_t = \left(7.31^\circ E_t - \frac{6.31}{E_t}\right) \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) \tag{2-7}$$

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

当油液的运动黏度不超过 $76\text{mm}^2/\text{s}$,温度在 $30\sim150^\circ\text{C}$ 范围内时,温度 $t^\circ\text{C}$ 油液的运动黏度为

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t}\right)^n \tag{2-8}$$

式中 n 为随油液黏度变化的指数,见表 2-1。

表 2-1 指数 n 随油液黏度变化的值

$\nu_{50}/(\text{mm}^2/\text{s})$	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

恩氏黏度与运动黏度的换算也可用查表法。

(5) 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性质称为油液的黏温特性。不同种类的液压油有不同的黏温特性。黏温特性较好的液压油,黏度随温度的变化较小,因而温度变化对液压系统性能的影响较小。液压油黏度和温度的关系可用图 2-2 来查找。

(6) 黏度和压力的关系。液体所受的压力增大时,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 32MPa 以下时,压力对黏度的影响不大,可以忽略不计。当压力较高或压力变化较大时,黏度的变化则不容忽视。

4. 其他性质

液压油还有一些其他物理化学性质,如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、相容性以及纯净性等,都对液压系统工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油,这些性质的指标也有所不同,具体可见油类产品手册。

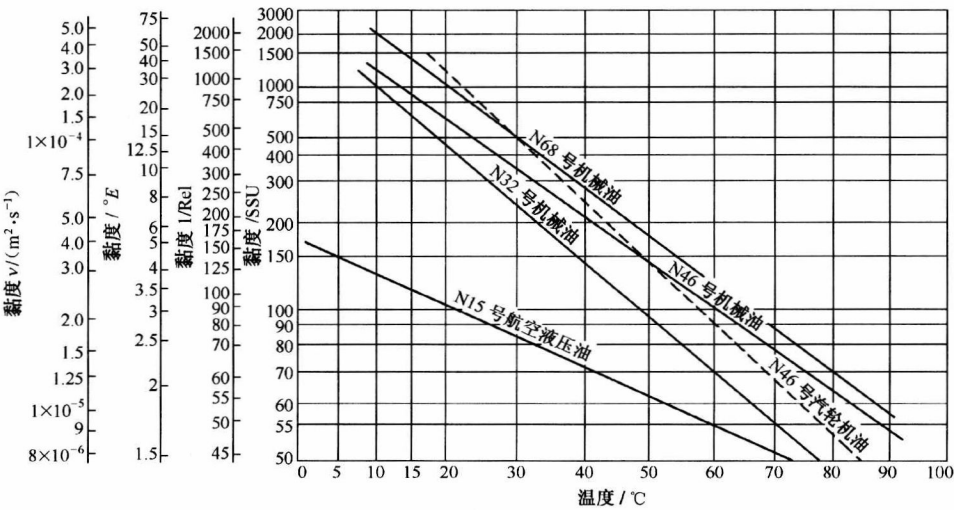


图 2-2 油液的黏温特性