



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 液压传动与控制

(第2版)

沈兴全 主编

国家级规划教材

作者权威, 学术领先

面向21世纪教学改革

全国优秀出版社倾力打造



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 液压传动与控制

(第2版)

沈兴全 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书阐述了液压传动与控制的理论基础,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的相关知识。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机械、机械电子工程、车辆、工程机械等专业本科生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. —2版. —北京:国防工业出版社,2009.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-118-06178-9

I. 液... II. 沈... III. ①液压传动②液压控制  
IV. TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第012140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)

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17½ 字数 403 千字

2009年3月第2版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 28.00元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 再 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,近几年的发展速度非常迅猛,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。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,立足于培养 21 世纪需要的宽口径厚基础的高素质综合性人才,贯彻理论联系实际,学以致用原则,重点讲授液压传动与控制技术的基础知识,同时注意反映该学科国内外的最新研究成果和发展趋势,新增了液压伺服阀、液压伺服控制系统等内容。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。本书融入了较多的典型系统和应用实例,供教师讲课参考和学生课后练习,有利于学生巩固所有的知识点,加深对基本概念的理解,提高实际应用能力。

本书由沈兴全教授主编。参加编写的有沈兴全、吴秀玲、吴淑琴、郑智贞、杜文华、辛志杰、叶玉刚、赵永娟。其中沈兴全编写第一、二章,辛志杰编写第三章,吴秀玲编写第四、五章,吴淑琴编写第六、七章,杜文华编写第八章,郑智贞编写第九章,叶玉刚编写第十章,赵永娟编写第十一章。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。

编 者  
2008 年 11 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 液压技术的应用      | 3  |
| 第三节 液压传动的特点      | 3  |
| 习题               | 4  |
| 第二章 液压传动介质       | 6  |
| 第一节 液压油          | 6  |
| 第二节 液压油的污染与控制    | 12 |
| 例题               | 16 |
| 习题               | 18 |
| 第三章 液压流体力学基础     | 20 |
| 第一节 液体静力学        | 20 |
| 第二节 液体动力学        | 23 |
| 第三节 管道中液流的特性     | 30 |
| 第四节 孔口和缝隙的压力流量特性 | 35 |
| 第五节 液压冲击与空穴现象    | 42 |
| 例题               | 46 |
| 习题               | 53 |
| 第四章 液压泵          | 56 |
| 第一节 概述           | 56 |
| 第二节 液压泵的性能参数     | 58 |
| 第三节 齿轮泵          | 59 |
| 第四节 叶片泵          | 65 |
| 第五节 柱塞泵          | 70 |
| 例题               | 74 |
| 习题               | 76 |
| 第五章 液压系统的执行元件    | 78 |
| 第一节 液压缸          | 78 |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 第二节 液压缸的结构 .....        | 83         |
| 第三节 液压缸的设计与计算 .....     | 87         |
| 第四节 液压马达 .....          | 94         |
| 例题 .....                | 99         |
| 习题 .....                | 105        |
| <b>第六章 液压辅助元件</b> ..... | <b>108</b> |
| 第一节 密封件 .....           | 108        |
| 第二节 蓄能器 .....           | 113        |
| 第三节 滤油器 .....           | 115        |
| 第四节 热交换器 .....          | 120        |
| 第五节 管件 .....            | 123        |
| 第六节 油箱 .....            | 126        |
| 例题 .....                | 128        |
| 习题 .....                | 129        |
| <b>第七章 液压阀</b> .....    | <b>131</b> |
| 第一节 概述 .....            | 131        |
| 第二节 方向控制阀 .....         | 132        |
| 第三节 压力控制阀 .....         | 140        |
| 第四节 流量控制阀 .....         | 146        |
| 第五节 电液比例控制阀 .....       | 151        |
| 第六节 液压伺服阀 .....         | 154        |
| 第七节 叠加阀和二通插装阀 .....     | 159        |
| 第八节 电液数字阀 .....         | 162        |
| 例题 .....                | 167        |
| 习题 .....                | 169        |
| <b>第八章 液压基本回路</b> ..... | <b>174</b> |
| 第一节 调速回路 .....          | 174        |
| 第二节 压力控制回路 .....        | 193        |
| 第三节 方向控制回路 .....        | 198        |
| 第四节 多缸工作控制回路 .....      | 201        |
| 例题 .....                | 205        |
| 习题 .....                | 212        |
| <b>第九章 典型液压系统</b> ..... | <b>217</b> |
| 第一节 组合机床动力滑台液压系统 .....  | 217        |
| 第二节 汽车起重机液压系统 .....     | 219        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 第三节 振动压路机液压系统·····           | 222        |
| 第四节 数控机床液压系统·····            | 226        |
| 第五节 机械手液压系统·····             | 229        |
| 例题·····                      | 232        |
| 习题·····                      | 234        |
| <b>第十章 液压系统设计与计算·····</b>    | <b>237</b> |
| 第一节 液压系统的设计步骤·····           | 237        |
| 第二节 液压传动系统设计示例·····          | 247        |
| 例题·····                      | 252        |
| 习题·····                      | 258        |
| <b>第十一章 液压伺服控制系统·····</b>    | <b>261</b> |
| 第一节 液压伺服控制系统概述·····          | 261        |
| 第二节 典型液压伺服控制系统·····          | 263        |
| 习题·····                      | 267        |
| <b>附录 常用液压与气动元件图形符号·····</b> | <b>268</b> |
| <b>参考文献·····</b>             | <b>272</b> |

# 第一章 液压传动概论

液压传动是研究以有压流体为能源介质,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。

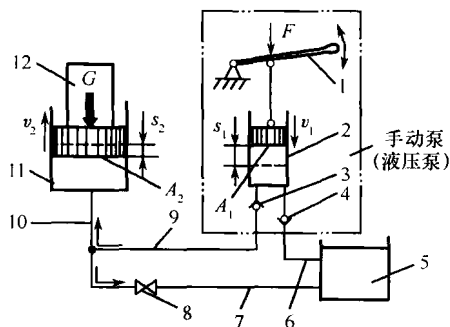


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

- 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。

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它元件,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,由泵和泵的其它附件组成,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。它可以是作直线运动的液压缸,也可以是作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

图 1-2 所示的液压系统图是一种半结构式的机床工作台液压系统工作原理图,它的直观性强,容易理解,但绘制起来比较麻烦,系统中元件数量多时更是如此。图 1-3 所示为同一个液压系统用液压图图形符号绘制成的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系

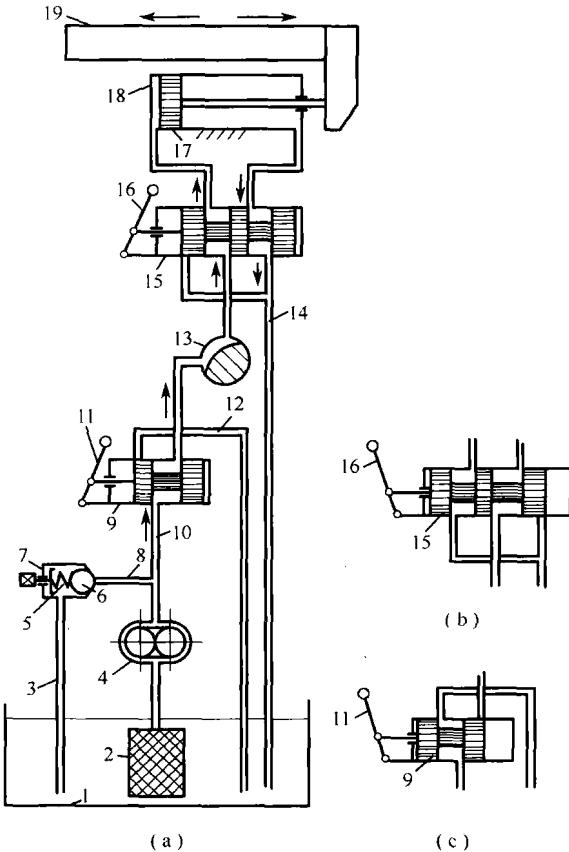


图 1-2 半结构式机床工作台液压系统的工作原理图

- 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。

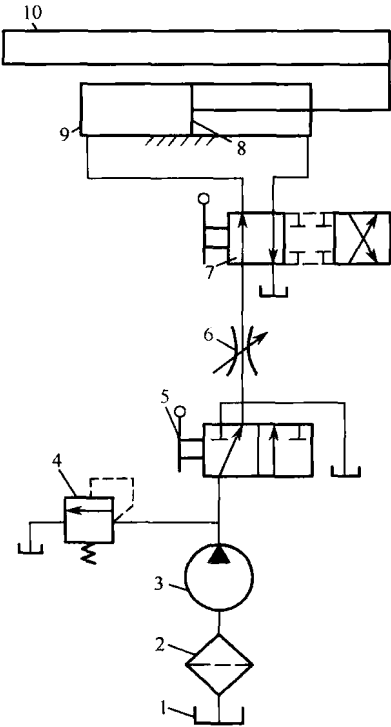


图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

- 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。

统图简单明了,便于绘制。有些液压元件的职能如果无法用这些符号表达时,仍可采用它的结构示意图形式。

## 第二节 液压技术的应用

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。应用领域日趋广泛,从民用到国防,由一般的传动到精确度很高的控制系统,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。如飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮、导弹及火箭等。

在民用工业中:

(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、磨床和仿形机床等;

(2) 冶金工业:有电炉控制系统、轧钢机的控制系统、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:有联合收割机的控制系统、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、船队联接装置及防摇鳍)等。

(8) 建材工业: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、船舶驾驶模拟器、地震再现、火箭助飞发射装置、宇航环境模拟、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。

## 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,由于液压系统中的压力能比电磁场中的磁力大出(30 ~ 40)倍,

液压装置可以比电气装置产生出更大的动力。在同等的功率下,液压装置体积小、重量轻、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,由于重量轻、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或控制的缘故。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办到的。

(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,液压传动也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,它的工作稳定性很容易受到温度的影响,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,因此它的造价较高,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 液压传动与其它形式的传动相比,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,似乎只需一台电机就行了。为什么说液压系统的体积小、重量

轻呢？

**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？

## 第二章 液压传动介质

在液压传动系统中,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

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 $\rho$ 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。

液压油的密度随压力的增大而增大,随温度升高而减小。但通常在使用的压力和温度范围内,这种变化很小,可视为常数。一般液压油的密度为 $900\text{kg/m}^3$ 。

##### 2. 可压缩性

在一般计算时,油的可压缩性可忽略不计。但在作液压元件或系统的动态分析时,就必须考虑油的可压缩性了。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  $\Delta p$ ——压力增量;

$\Delta V$ ——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,就要考虑液体的可压缩性。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。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,如果有空气混入液体中,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它易挥发物质。

### 3. 粘性<sup>①</sup>

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粘性。当液体静止时,各层无相对滑动,不产生摩擦力,因而不显示粘性。如图 2-1 所示,假设两平行平板间存满液体,当上板以  $u_0$  向右运动,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,而运动慢的对运动快的起阻滞作用。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。

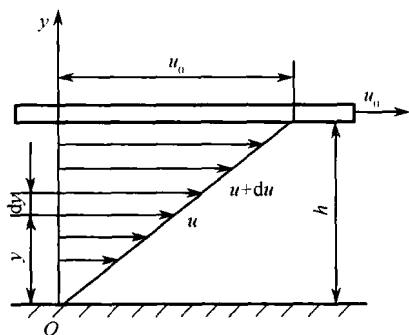


图 2-1 液体粘性示意图

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  $A$  和液层间相对速度  $du$  成正比,而与液层间距离  $dy$  成反比,即

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

式中  $\eta$ ——液体粘性的内摩擦系数,称为液体动力粘度;

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

$\tau$ ——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粘性。

表示粘性大小的物理量称为粘度。液压油的粘度是选择液压油的重要依据,粘度大小

<sup>①</sup> 1988 年《现代汉语通用字表》确认“黏”为“黏性”、“黏度”的规范字,“粘”(zhān)只作动词。但 GB3102.3—93 中仍用“粘度”,本书沿用后者。

直接影响液压系统的正常工作、工作效率和灵敏度。

常用的粘度有三种:动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 是用液体流动时所产生的内摩擦力大小来表示的粘度,其计算式为

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

$\eta$  的物理意义是:面积各为  $1\text{cm}^2$ 、相距为  $1\text{cm}$  的两层液体,以  $1\text{cm/s}$  的速度相对运动,此时所产生的内摩擦力。

动力粘度  $\eta$  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) 运动粘度 在相同温度下,液体的动力粘度  $\eta$  与它的密度  $\rho$  之比,称为运动粘度,用  $\nu$  表示,即

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

在工程上,  $\nu$  的法定计量单位是  $\text{m}^2/\text{s}$  或  $\text{mm}^2/\text{s}$ 。

工程上,常用运动粘度表示油的牌号。液压油的牌号,是用它在某一温度下的运动粘度平均值来表示,例如 N32 号液压油,就是指这种油在  $40^\circ\text{C}$  时的运动粘度平均值为  $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。我国液压油牌号过去是按  $50^\circ\text{C}$  时的运动粘度来划分的,例如,旧牌号 20 号液压油,就是指它在  $50^\circ\text{C}$  时的运动粘度平均值为  $20\text{mm}^2/\text{s}$ 。新牌号是按  $40^\circ\text{C}$  时的运动粘度划分,液压油新旧牌号( $40^\circ\text{C}$  与  $50^\circ\text{C}$  时运动粘度等级)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) 相对粘度(恩氏粘度) 用恩氏粘度计进行测量,故称恩氏粘度。

恩氏粘度的测定方法是:将被测的油放在一个特制的容器里(恩氏粘度计),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  $200\text{cm}^3$  体积的油液流尽所需时间  $t_{\text{油}}$ ,与流出同样体积的  $20^\circ\text{C}$  的蒸馏水所需时间  $t_{\text{水}}$  相比,其比值就是该油在温度  $t^\circ\text{C}$  时的恩氏粘度,用符号  $^\circ E_t$  表示。

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

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

$t_{\text{水}}$  ——  $200\text{cm}^3$  蒸馏水,在  $20^\circ\text{C}$  温度下流过恩氏粘度小孔所需的时间。

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

经验公式为

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

式中  $\nu_t$  —— 温度为  $t^\circ\text{C}$  时,油液的运动粘度;

$^\circ E_t$  —— 温度为  $t^\circ\text{C}$  时,油液的恩氏粘度。

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

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

式中  $n$  为随油液粘度变化的指数, 见表 2-1。

表 2-1 指数  $n$  随油液粘度变化的值

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

恩氏粘度与运动粘度的换算也可用查表法。

(5) 粘度和温度的关系 油液的粘度对温度的变化极为敏感, 温度升高, 油的粘度下降。油的粘度随温度变化的性质称为油液的粘温特性。不同种类的液压油有不同的粘温特性, 粘温特性较好的液压油, 粘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。液压油粘度和温度的关系可用图 2-2 所示粘温图来查找。

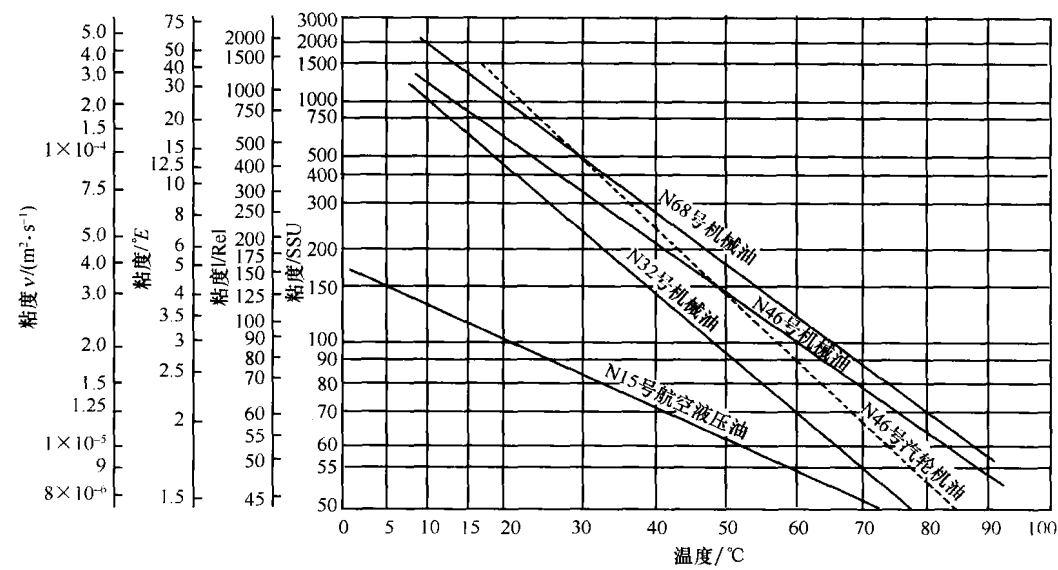


图 2-2 油液的粘温特性

(6) 粘度和压力的关系 液体所受的压力增大时, 其分子间的距离减小, 内聚力增大, 粘度亦随之增大。但对于一般的液压系统, 当压力在  $32\text{MPa}$  以下时, 压力对粘度的影响不大, 可以忽略不计。当压力较高或压力变化较大时, 粘度的变化则不容忽视。

4. 其它性质

液压油还有一些其它物理化学性质, 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。

二、液压油的使用要求

液压油是液压传动系统的重要组成部分, 是用来传递能量的工作介质。除了传递能量



外,它还起着润滑运动部件和保护金属不被锈蚀的作用,液压油的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。从液压系统使用油液的要求来看,有下面几点:

(1) 适宜的粘度和良好的粘温性能。一般液压系统所用的液压油其粘度范围为

$$\nu = (11.5 \times 10^{-6} \sim 35.3 \times 10^{-6}) \text{ m}^2/\text{s} (2E_{50} \sim 5E_{50})$$

(2) 润滑性能好。在液压传动机械设备中,除液压元件外,其它一些有相对滑动的零件也要用液压油来润滑,因此,液压油应具有良好的润滑性能。为了改善液压油的润滑性能,可加入添加剂增加其润滑性能。

(3) 稳定性要好,即对热、氧化、水解和剪切都有良好的稳定性,使用寿命长。

油液抵抗其受热时发生化学变化的能力叫做热稳定性。热稳定性差的油液在温度升高时容易使油的分子裂化或聚氧,产生脂状沥青、焦油等物质。由于这种化学反应是随温度升高而加快的,所以一般液压油的工作温度限制在 65℃ 以下。

油液与空气中的氧或其它含氧物质发生反应后生成酸性化合物,能腐蚀金属,这种化学反应的速度越慢,其氧化稳定性就越好,油液遇水发生分解变质的程度称为水解稳定性,水解变质后的油液粘度降低,腐蚀性增加。

油液在很大的压力下流过很小的缝隙或孔时,由于机械剪切作用使油的化学结构发生变化,粘度减小。要求油液具有抗剪切稳定性,不致受机械剪切作用而使粘度显著变化。

(4) 消泡性好。油液中的泡沫一旦进入液压系统,就会造成振动、噪声以及增大油的压缩性等,因此需要液压油具有能够迅速而充分地放出气体而不致形成泡沫的性质,即消泡性。为了改善油的消泡性,可在油中加入消泡添加剂。

(5) 凝固点低、流动性好。为了保证能够在寒冷气候情况下正常工作,需要液压油的凝固点低于工作环境的最低温度,保证低温流动性,能够正常工作。

(6) 闪点高。对于高温或有明火的工作场合,为满足防火、安全的要求,需要油的闪点要高。

(7) 质地纯净,杂质含量少。

(8) 绿色环保,对人体以及周围环境无害,成本低。

### 三、液压油的选用

正确而合理地选用液压油,是保证液压设备高效率正常运转的前提。

选择液压油时,可根据液压元件生产厂样本和说明书所推荐的品种号数来选用液压油,或者根据液压系统的工作压力、工作温度,液压元件种类及经济性等因素全面考虑。一般是先确定适用的粘度范围,再选择合适的液压油品种。同时还要考虑液压系统工作条件的特殊要求,如在寒冷地区工作的系统则要求油的粘度指数高,低温流动性好、凝固点低,伺服系统则要求油质纯,压缩性小,高压系统则要求油液抗磨性好。

在选用液压油时,粘度是一个重要的参数。粘度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏以及流动时的压力损失、系统的发热温升等。所以,在环境温度较高,工作压力高或运动速度较低时,为减少泄漏,应选用粘度较高的液压油,否则相反。

在选用油的品种时,一般要求不高的液压系统可选用机械油、汽轮机油或普通液压油。对于要求条件较高或专用液压传动设备可选用各种专用液压油,如抗磨液压油、稠化