



# 液压系统 使用与维修手册

吴博 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

本书立足于工程实际应用,对液压系统工作介质(液压油)、液压组成元件(液压泵、液压缸、液压马达、液压控制阀、液压辅助元件)、液压基本回路的工作原理、安装使用和维护、典型故障分析与排除,液压元件的规格型号和技术参数,以及液压系统的安装调试、清洗、维护和常见故障分析与排除等进行了全面系统的介绍。

本书可供从事液压技术的工程技术人员、现场工作人员在液压系统设计、液压设备现场使用与维护、故障分析排除时参阅使用,也可供应用型工科院校教学时参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压系统使用与维修手册/吴博主编. —北京:机械工业出版社, 2012.4

ISBN 978-7-111-37279-0

I. ①液… II ①吴… III ①液压系统—使用—技术手册②液压系统—维修—技术手册 IV. ①TH137-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第016480号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:舒雯

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·43 75印张·1002千字

0 001—3 000册

标准书号·ISBN 978-7-111-37279-0

定价 98 00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379770

社服务中心:(010) 88361066 网络服务

销售一部:(010) 68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着工业现代化和自动化的发展，液压技术在机械相关行业得到越来越广泛的应用。但是，由于液压系统工作介质在封闭的管路内工作，其故障具有多样性、隐蔽性和复杂性等特点，故障出现后很难找到故障原因。液压系统发生故障，不仅导致液压设备受损失，产品生产率下降，甚至危及人身安全、造成环境污染。因此，正确合理地设计和使用液压系统，提高故障的分析排除能力，对提高液压机械和设备的工作性能和经济性能具有重要的意义。

本书从液压设计和使用人员的实际需要出发，遵循理论分析与实际应用相结合的原则，系统介绍了液压油的特性、使用、防污和回收技术；液压泵、液压执行元件、液压阀、液压辅助装置等液压元件的典型结构及工作原理、安装调试、使用和维修、常见故障诊断和排除及液压元件的规格型号与性能参数；液压系统常用液压回路的工作原理和故障分析与排除典型实例；液压系统的安装、清洗、调试、维护及常见故障的分析与排除方法，突出实用性，注重工程实际应用，侧重于对工程技术人员在液压技术应用、故障分析与排除等方面的培养。

本书由哈尔滨理工大学机械动力工程学院吴博担任主编，黑龙江科技学院机械工程学院王本永、哈尔滨理工大学机械动力工程学院王志伟和黑龙江工程学院国绍文担任副主编，参加编写的还有哈尔滨理工大学机械动力工程学院王延福、东北林业大学交通学院岳永恒和哈药集团制药六厂崔兆福。其中，第4章由吴博编写，第5章由王本永编写、第6章由王志伟编写，第2章和第7章由国绍文编写，第1章由岳永恒编写，第3章第1节由崔兆福编写，第3章第2节由王延福编写。全书由吴博统稿。

本书在编写过程中参阅了大量相关文献、资料和教材，在此向相关作者、编者表示衷心的感谢。同时，还要感谢参与本书文献资料搜集、整理和文稿录入工作的蔡兆辉、孙桂涛、杨光、苑灵山、刘欣岩、刘树国等研究生，感谢他们对本书的帮助和支持。

由于编者水平所限，书中难免有不妥和缺陷之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 液压油的使用和维护</b> .....	1
1.1 液压油的性质 .....	1
1.2 液压油的性能要求 .....	9
1.3 液压油的种类 .....	10
1.4 液压油的选用 .....	14
1.4.1 液压油的选用步骤 .....	15
1.4.2 液压油的选用方法 .....	15
1.5 液压油的污染与防污 .....	18
1.5.1 液压油污染的原因 .....	19
1.5.2 污物的测定方法 .....	20
1.5.3 液压油污染度等级评定标准 .....	21
1.5.4 液压油的防污措施 .....	23
1.6 液压油的存放原则 .....	26
1.7 液压油的使用 .....	26
1.8 液压油的回收和再利用 .....	27
1.8.1 废油的回收 .....	27
1.8.2 废油的再生 .....	27
1.8.3 液压油中水分去除 .....	28
1.8.4 液压油中空气去除 .....	28
<b>第 2 章 液压泵的使用和维修</b> .....	29
2.1 液压泵的工作原理 .....	29
2.2 液压泵的分类及图形符号 .....	29
2.3 液压泵主要参数及计算 .....	30
2.4 液压泵的安装和使用 .....	32
2.4.1 液压泵的安装 .....	32
2.4.2 液压泵的使用 .....	33
2.5 齿轮泵 .....	34
2.5.1 齿轮泵工作原理 .....	34
2.5.2 齿轮泵的典型结构 .....	35
2.5.3 齿轮泵的分类、特点和应用场合 .....	36
2.5.4 齿轮泵的选用原则和使用 .....	37
2.5.5 齿轮泵故障分析和排除 .....	38
2.5.6 齿轮泵的维修 .....	40
2.5.7 齿轮泵常用产品 .....	41

2.6 叶片泵 .....	62
2.6.1 叶片泵工作原理 .....	62
2.6.2 叶片泵的分类、特点和应用场合 .....	63
2.6.3 叶片泵的选用原则和使用 .....	65
2.6.4 叶片泵故障分析和维修 .....	66
2.6.5 叶片泵的维修和再装配 .....	69
2.6.6 叶片泵常用产品 .....	69
2.7 柱塞泵 .....	84
2.7.1 柱塞泵工作原理 .....	84
2.7.2 柱塞泵的分类、特点和应用场合 .....	84
2.7.3 柱塞泵典型结构 .....	86
2.7.4 柱塞泵的选用原则和使用 .....	89
2.7.5 柱塞泵故障分析和排除 .....	91
2.7.6 柱塞泵的维修和重装 .....	92
2.7.7 柱塞泵常用产品 .....	93
2.8 螺杆泵 .....	103
2.8.1 螺杆泵典型结构及工作原理 .....	103
2.8.2 螺杆泵的分类、特点及应用场合 .....	104
2.8.3 螺杆泵的选用原则及安装使用 .....	104
2.8.4 螺杆泵故障分析与排除 .....	105
2.8.5 螺杆泵的维修 .....	106
2.8.6 螺杆泵常用产品 .....	106
<b>第3章 液压缸和液压马达的使用和维修 .....</b>	<b>125</b>
3.1 液压缸的使用和维修 .....	125
3.1.1 液压缸的分类和特点 .....	125
3.1.2 液压缸输出参数的计算 .....	127
3.1.3 液压缸的典型结构及组成 .....	129
3.1.4 液压缸的选型和安装 .....	130
3.1.5 液压缸密封件和工作介质的选用 .....	132
3.1.6 液压缸缓冲装置的选用 .....	134
3.1.7 液压缸常见故障分析和排除 .....	136
3.1.8 液压缸的维修 .....	142
3.1.9 液压缸常用产品 .....	146
3.2 液压马达的使用和维护 .....	163
3.2.1 液压马达的分类和特点 .....	163
3.2.2 液压马达的主要性能参数和图形符号 .....	163
3.2.3 液压马达的工作原理 .....	165
3.2.4 液压马达的选型和使用 .....	165
3.2.5 液压马达故障分析和排除 .....	166
3.2.6 液压马达的维修 .....	168

3.2.7  液压马达常用产品 .....	170
<b>第4章  液压控制阀使用与维护 .....</b>	<b>190</b>
4.1  液压控制阀的分类和性能要求 .....	190
4.1.1  液压控制阀的分类 .....	190
4.1.2  液压阀的基本性能要求 .....	191
4.2  方向控制阀的使用和维护 .....	191
4.2.1  单向阀的使用和维护 .....	191
4.2.2  液控单向阀的使用和维护 .....	201
4.2.3  换向阀使用和维护 .....	208
4.3  流量控制阀使用和维护 .....	254
4.3.1  节流阀使用和维护 .....	255
4.3.2  调速阀使用和维护 .....	266
4.3.3  溢流节流阀使用和维护 .....	279
4.3.4  其他流量阀使用和维护 .....	281
4.3.5  流量阀的选用 .....	287
4.4  压力控制阀使用和维护 .....	290
4.4.1  溢流阀使用和维护 .....	290
4.4.2  减压阀的使用和维护 .....	332
4.4.3  顺序阀使用和维护 .....	348
4.4.4  压力继电器使用和维护 .....	361
4.5  电液比例阀使用和维护 .....	377
4.5.1  电液比例阀分类 .....	378
4.5.2  电液比例压力阀典型结构及工作原理 .....	379
4.5.3  电液比例压力阀故障分析与排除 .....	382
4.5.4  电液比例压力阀常用产品 .....	383
4.5.5  电液比例流量阀典型结构及工作原理 .....	396
4.5.6  电液比例流量阀故障分析与排除 .....	398
4.5.7  电液比例流量阀常用产品 .....	398
4.5.8  电液比例方向阀典型结构及工作原理 .....	409
4.5.9  电液比例方向阀故障分析与排除 .....	411
4.5.10  电液比例方向阀常用产品 .....	411
4.5.11  电液比例复合阀典型结构及工作原理 .....	423
4.5.12  电液比例复合阀常用产品 .....	425
4.5.13  电液比例阀比例电磁铁故障分析与排除 .....	426
4.5.14  电液比例阀选用原则 .....	427
<b>第5章  液压辅助元件使用与维修 .....</b>	<b>428</b>
5.1  蓄能器使用与维修 .....	428
5.1.1  蓄能器的典型类型 .....	428
5.1.2  蓄能器性能参数的计算 .....	430
5.1.3  蓄能器的应用 .....	432

---

5.1.4	蓄能器的选择、安装及使用 .....	432
5.1.5	蓄能器故障分析与排除 .....	433
5.1.6	蓄能器常用产品 .....	434
5.2	过滤器使用与维修 .....	439
5.2.1	过滤器的性能指标 .....	439
5.2.2	过滤器的典型结构 .....	440
5.2.3	过滤器的选用及安装 .....	441
5.2.4	过滤器故障分析与排除 .....	443
5.2.5	液压系统推荐清洁度和过滤精度 .....	444
5.2.6	过滤器常用产品 .....	444
5.3	油箱使用与维护 .....	464
5.3.1	油箱的作用 .....	464
5.3.2	油箱的种类 .....	465
5.3.3	油箱的使用 .....	465
5.3.4	油箱容积参数的计算 .....	466
5.3.5	油箱故障分析与排除 .....	467
5.4	空气过滤器的使用 .....	468
5.4.1	空气过滤器典型结构 .....	468
5.4.2	空气过滤器常用产品 .....	469
5.5	热交换器使用与维护 .....	471
5.5.1	换热器的作用 .....	471
5.5.2	冷却器典型结构 .....	472
5.5.3	冷却器的基本参数 .....	473
5.5.4	冷却器的选用 .....	474
5.5.5	加热器的使用 .....	474
5.5.6	冷却器故障分析与排除 .....	475
5.5.7	热交换器常用产品 .....	475
5.6	压力表使用与维护 .....	479
5.6.1	压力表的作用和分类 .....	479
5.6.2	压力表典型结构及工作原理 .....	479
5.6.3	压力表的选用和安装 .....	480
5.6.4	压力表的校验 .....	480
5.6.5	压力表常用产品 .....	480
5.7	压力表开关的使用与维护 .....	484
5.7.1	压力表开关的作用和分类 .....	484
5.7.2	压力表开关的典型结构及工作原理 .....	484
5.7.3	压力表开关的使用 .....	486
5.7.4	压力表开关常用产品 .....	486
5.8	其他液压辅助元件的使用 .....	488
5.8.1	压力传感器的使用 .....	488

5.8.2	液位计的使用 .....	490
5.8.3	温度计的使用 .....	493
5.8.4	温度继电器（温度开关）的使用 .....	494
5.8.5	液位继电器（液位开关）的使用 .....	495
5.8.6	流量仪表的使用 .....	497
5.9	密封装置的使用与维修 .....	500
5.9.1	密封装置的作用和要求 .....	500
5.9.2	密封件的种类及常用密封圈 .....	500
5.9.3	密封件的选用原则 .....	502
5.9.4	密封圈的使用 .....	504
5.9.5	密封装置故障分析与排除 .....	505
5.10	管道与管接头的使用与维修 .....	512
5.10.1	油管的选用、安装和计算 .....	512
5.10.2	管接头的分类、典型结构及常用产品 .....	523
5.10.3	管路及管接头故障分析与排除 .....	547
<b>第6章</b>	<b>液压回路使用与故障排除 .....</b>	<b>552</b>
6.1	压力控制回路使用与故障排除 .....	552
6.1.1	调压回路使用与故障排除 .....	552
6.1.2	减压回路使用与故障排除 .....	558
6.1.3	增压回路使用与故障排除 .....	561
6.1.4	卸荷回路使用与故障排除 .....	564
6.1.5	平衡回路使用与故障排除 .....	572
6.1.6	保压回路使用与故障排除 .....	578
6.1.7	缓冲回路使用与故障排除 .....	580
6.2	调速回路使用与故障排除 .....	583
6.2.1	节流调速回路使用与故障排除 .....	583
6.2.2	容积调速回路使用与故障排除 .....	592
6.2.3	容积节流调速回路使用与故障排除 .....	596
6.2.4	快速运动回路使用与故障排除 .....	600
6.2.5	速度换接回路使用与故障排除 .....	608
6.3	方向控制回路使用与故障排除 .....	612
6.3.1	换向回路使用与故障排除 .....	612
6.3.2	锁紧回路使用与故障排除 .....	618
6.4	多缸控制回路使用与故障排除 .....	623
6.4.1	顺序动作回路使用与故障排除 .....	623
6.4.2	同步回路使用与故障排除 .....	632
6.4.3	互不干涉回路的使用 .....	647
6.5	减速回路故障分析与排除 .....	648
6.6	制动回路故障分析与排除 .....	650
6.7	位置控制回路故障分析与排除 .....	654



---

6.8 供油回路故障分析与排除 .....	657
<b>第7章 液压系统的使用及维护 .....</b>	<b>666</b>
7.1 液压系统的安装 .....	666
7.1.1 安装前的准备工作 .....	666
7.1.2 各组成元件的安装 .....	666
7.2 液压系统的清洗 .....	668
7.3 液压系统的调试 .....	668
7.3.1 空载试车调试 .....	668
7.3.2 负载试车调试 .....	669
7.4 液压系统常见故障分析与排除 .....	669
7.4.1 液压系统工作压力失常故障的危害和排除方法 .....	669
7.4.2 液压系统欠速故障的危害和排除方法 .....	671
7.4.3 液压系统振动和噪声故障的危害和排除方法 .....	672
7.4.4 液压系统执行元件爬行故障的危害和排除方法 .....	673
7.4.5 液压系统液压油污染故障的危害和排除方法 .....	675
7.4.6 液压系统温升过高故障的危害和排除方法 .....	676
7.4.7 液压系统气穴现象故障的危害和排除方法 .....	678
7.4.8 液压系统锈蚀故障的危害和排除方法 .....	679
7.4.9 液压系统炮鸣故障的危害及排除方法 .....	679
7.4.10 液压系统液压冲击故障的危害和排除方法 .....	683
7.4.11 液压系统液压卡紧故障的危害和排除方法 .....	684
7.5 液压系统的维护 .....	685
<b>参考文献 .....</b>	<b>686</b>

# 第 1 章 液压油的使用与维护

在液压传动系统中，液压油是传递动力和信号的工作介质，同时它还起到润滑、冷却和防锈的作用。液压系统工作的可靠性在很大程度上取决于液压油。

## 1.1 液压油的性质

### 1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，用  $\rho$  表示，单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

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

式中  $V$ ——液体的体积 ( $\text{m}^3$ )；

$m$ ——液体的质量 ( $\text{kg}$ )。

液体的密度随温度的升高而下降，随压力的增加而增大。对于液压传动中常用的液压油（矿物油）来说，在常用的温度和压力范围内，密度变化很小，可视为常数。在计算时，常取  $15^\circ\text{C}$  时的液压油密度为  $900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

单位体积液体的重力称为液体的重度，用  $\gamma$  表示，单位为  $\text{N}/\text{m}^3$ 。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g \quad (1-2)$$

式中  $W$ ——液体的重力 ( $\text{N}$ )；

$g$ ——液体重力加速度，标准值为  $g = 9.80665\text{m}/\text{s}^2$ 。

### 2. 可压缩性

液体体积受压力作用而发生减小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性的大小用体积压缩系数  $\kappa$  来表示，其定义为液体在单位压力变化下所引起的体积相对变化率。即

$$\kappa = - \frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-3)$$

式中  $V$ ——增压前液体的体积；

$dV$ ——压力变化  $dp$  时液体体积的变化量；

$dp$ ——液体压力的变化量。

由于压力增大时液体的体积减小，即  $dV$  与  $dp$  的符号始终相反，为保证  $\kappa$  为正值，所以在式 (1-3) 的右边加一负号。 $\kappa$  值越大，液体的可压缩性越大；反之，液体的可压缩性越小。常用液压油的体积压缩系数为  $5 \sim 7 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

液体的体积压缩系数  $\kappa$  的倒数称为液体的体积弹性模量，用  $K$  表示。即

$$K = \frac{1}{\kappa} = - \frac{V}{dV} dp \quad (1-4)$$

在实际应用中，常用  $K$  值来说明液体抵抗压缩能力的大小，它表示产生单位体积相对变化量所需的压力增量。

$K$  表示液体产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。可用其说明液体抵抗压缩能力的大小。在常温下，纯净液压油的体积弹性模量  $K$  取  $(1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{ MPa}$ ，数值很大，故一般可以认为液压油是不可压缩的。只有在研究液压系统的动态特性和高压情况下，才考虑液压油的可压缩性。但是，若液压油中混入空气，其压缩性将显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能，故在液压系统中应尽量减少油液中的空气含量。因此，在分析液压油的可压缩性时，必须综合考虑液压油本身的可压缩性、混在油中空气的可压缩性，以及盛放液压油的封闭容器（包括管道）的容积变形等因素的影响，常用等效体积弹性模量表示。在工程计算中通常对矿物油型液压油的体积弹性模量取  $K = (0.7 \sim 1.4) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。

在变动压力作用下，液压油可压缩性的作用就像一个弹簧，当外力增大时，液压油体积减小；当外力减小时，液压油的体积增大。当作用在封闭容器内液体上的外力发生  $\Delta F$  变化时，假设液体承压面积  $A$  不变，则液柱的长度必有  $\Delta l$  的变化，如图 1-1 所示。此处，液压油的体积变化为  $\Delta V = A\Delta l$ ，液压油的压力变化为  $\Delta p = \Delta F/A$ ，则液体的体积弹性模量为

$$K = -\frac{V\Delta F}{A^2\Delta l} \quad (1-5)$$

液压弹簧刚度  $k_h$  为

$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2}{V}K \quad (1-6)$$

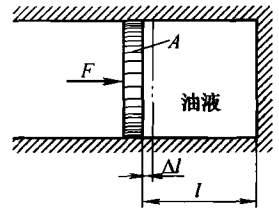


图 1-1 液压油弹簧刚度计算

### 3. 黏性

(1) 黏性的定义 液体在外力作用下流动或具有流动趋势时，分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动而产生内摩擦力的性质称为黏性。黏性是液体的重要物理性质，只有在流动或具有流动趋势时才能表现出来，是选择液压用油的主要依据。

液体流动时，由于液体和固体壁面间的附着力及液体本身的黏性，会使其内部各液层间的速度大小不等。

设在两个平行平板之间充满液体，两平行平板间的距离为  $h$ ，如图 1-2 所示，其中一块板固定，另一块板以速度  $u_0$  运动。紧贴于上平板极薄的一层液体，在附着力的作用下，随着上平板一起以  $u_0$  的速度向右运动；紧贴于下平板极薄的一层液体和下平板一起保持不动；而中间各层液体则从上到下按递减的速度向右运动，这是因为相邻两薄层液体

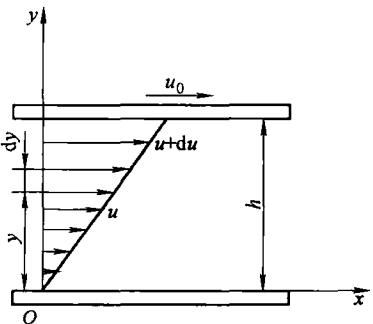


图 1-2 液体黏性示意图

间存在内摩擦力，该力对上层液体起阻滞作用，而对下层液体起拖曳作用。当两平板间的距离较小时，两平板间的各液层的速度按线性规律变化。

实验测定结果表明,液体流动时相邻液层间的内摩擦力  $F_f$  与液层接触面积  $A$  成正比,与液层间的速度梯度  $du/dy$  成正比,并且与液体的性质有关,即

$$F_f = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

式中  $\mu$ ——由液体性质决定的比例系数,称为动力黏度 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ );

$A$ ——接触面积 ( $\text{m}^2$ );

$du/dy$ ——速度梯度,即相对运动速度对液层距离的变化率 ( $\text{s}^{-1}$ )。

若用单位面积上的摩擦力  $\tau$  (切应力) 来表示,则式 (1-7) 可以改写成

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-8)$$

式 (1-8) 就是著名的牛顿内摩擦定律。

由式 (1-8) 可知,静止液体的速度梯度  $du/dy = 0$ , 所以内摩擦力为零,因此液体在静止状态下是不具有黏性。

(2) 黏度 液体黏性的大小用黏度表示。常用的表示方法有三种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

1) 动力黏度 (或绝对黏度)  $\mu$ 。动力黏度就是牛顿内摩擦定律中的  $\mu$ , 它表征液体黏性的内摩擦系数。由式 (1-7) 可得

$$\mu = \frac{F_f}{A \frac{du}{dy}} \quad (1-9)$$

式 (1-9) 表示动力黏度的物理意义,即液体在单位速度梯度下流动或有流动趋势时,相接触的液层间单位面积上产生的内摩擦力。在国际单位制中,动力黏度的单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$  (或  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ), 工程上常用的单位是 P (泊) 或 cP (厘泊)。三者相互间的关系为

$$1 \text{Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{P} = 10^3 \text{cP}$$

2) 运动黏度  $\nu$ 。液体的动力黏度  $\mu$  与其密度  $\rho$  的比值称为液体的运动黏度,用  $\nu$  表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-10)$$

液体的运动黏度  $\nu$  没有明确的物理意义,但在工程实际中经常用到。因为在其单位中有长度和时间的量纲,所以称为运动黏度,它在液压分析和计算中是一个经常遇到用到的物理量。在国际单位制中,运动黏度的单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ , 工程上常用的单位是  $\text{cm}^2/\text{s}$  (斯, St), 或者用  $\text{m}^2/\text{s}$ , (厘斯, cSt)。它们之间的关系为

$$1 \text{m}^2/\text{s} = 10^4 \text{St} = 10^6 \text{cSt}$$

液压油的牌号常用液压油在某一温度下的运动黏度的平均值来表示。在我国,把  $40^\circ\text{C}$  时以厘斯为单位表示的运动黏度平均值作为液压油的牌号。例如,30号液压油,就是在  $40^\circ\text{C}$  时,液压油的运动黏度的平均值为  $30 \text{cSt}$ 。

3) 相对黏度。动力黏度与运动黏度都很难直接测量,所以在工程上常用相对黏度

来表示液压油的黏性，相对黏度又称为条件黏度。相对黏度是采用特定的黏度计，在规定的条件下测量出来的液体黏度。根据测量的条件不同，各国采用的相对黏度也不同，我国、前苏联和德国采用恩氏黏度来表示液压油的相对黏度，美国采用赛氏黏度，英国采用雷氏黏度。

恩氏黏度用恩式黏度计测定，将  $200\text{cm}^3$ 、温度为  $t$  的被测液体装入黏度计的容器内，由其下部直径为  $2.8\text{mm}$  的小孔流出，测出全部液体在自重作用下流尽所需的时间  $t_1$ ，再测出  $200\text{cm}^3$ 、 $20^\circ\text{C}$  蒸馏水在同一黏度计中流尽所需的时间  $t_2$  ( $t_2 = 50 \sim 52\text{s}$ )，这两个时间的比值称为被测液体的恩氏黏度。恩氏黏度用符号  $^\circ\text{E}$  表示，为

$$^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-11)$$

恩氏黏度与运动黏度的关系可用下面的经验公式进行换算

$$\nu = \left( 7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad (1-12)$$

(3) 黏度与压力的关系 液体所受的压力增大时，其分子间的距离将减小，内摩擦力增大，黏度也随之增大。对于一般的液压系统，当压力在  $20\text{MPa}$  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，黏度的变化则不能忽视。石油型液压油的黏度与压力的关系可用以下公式表示。

$$\nu_p = \nu_0(1 + 0.003p) \quad (1-13)$$

式中  $\nu_p$ ——油液在压力  $p$  时的运动黏度；

$\nu_0$ ——油液在（相对）压力为零时的运动黏度。

(4) 黏度与温度的关系 液压油的黏度对温度的变化极为敏感，温度升高，油液的黏度显著降低。油液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。油液的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。不同种类的液压油有不同的黏温特性，常用液压油的黏温特性可用黏温特性图表示，如图 1-3 所示。黏温特性较好的液压油，黏度随温度的变化较小，油温变化对液压系统性能的影响较小。

液压油黏度与温度间的关系式为

$$\mu_T = \mu_0 e^{-\lambda(T-T_0)} \quad (1-14)$$

式中  $\mu_T$ ——温度为  $T$  时的动力黏度；

$\mu_0$ ——温度为  $T_0$  时的动力黏度；

$\lambda$ ——油液的黏温系数。

油液的黏温特性可用黏度指数 VI 来表示，黏度指数 VI 的值越大，表示油液黏度随温度的变化越小，即黏温特性越好。一般液压油要求 VI 值在 90 以上，精制的液压油及有添加剂的液压油，其值可大于 100。

#### 4. 膨胀性

液压油的体积随温度升高而增大的特性称为膨胀性，在液压油膨胀过程中，其密度发生变化。液压油的膨胀体积为

$$V = V_0(1 + \alpha_v \Delta T) \quad (1-15)$$

式中  $V_0$ ——常温下工作液体的体积 ( $\text{cm}^3$ )；

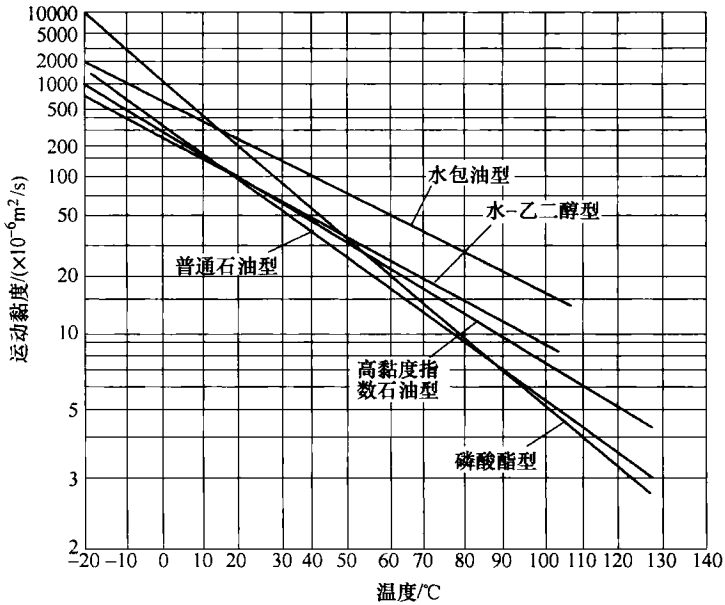


图 1-3 液压油的黏温特性图

$\Delta T$ ——温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\alpha_v$ ——液体膨胀系数 ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), 对矿物油为  $(8.5 \sim 9.0) \times 10^{-4} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

在一般工作温度范围内, 液压油的膨胀性可以忽略不计。

### 5. 热导率 $\lambda$

热导率  $\lambda$  表示液压油内热传导的难易程度。传导热量为

$$Q_n = \lambda A(T_2 - T_1)/L \quad (1-16)$$

式中  $A$ ——传热面积 ( $\text{m}^2$ );

$T_1 - T_2$ ——温度差 (K);

$L$ ——与热流成直角方向的物质厚度 (m);

$Q_n$ ——传导的热量 (W)。

### 6. 比热容 $c$

比热容是指温度升高 1K 的单位质量液体所需要的热量。矿物油的比热容  $c$  为

$$c = 1.65 \sim 2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

### 7. 凝点或倾点

凝点是指油液温度下降到失去流动性的最高温度。一般是将液压油油样装到倾斜角为  $45^{\circ}$  的双层试管中进行降温, 当温度降到一定程度, 油液不再移动 (停留 1min) 时的最高温度即为凝点。将已冷却的试管取出, 水平放置 5s, 油样仍不流动, 该温度即为倾点。倾点比凝点高  $2.5^{\circ}\text{C}$  左右。液压油至少应在比凝点高  $10^{\circ}\text{C}$  的温度下使用, 否则油液流动性差。

### 8. 酸值

酸值是指中和 1g 液压油中的全部酸性物质所需氢氧化钾的毫克数。酸值是衡量液

液压油氧化程度的重要指标，是液压油使用性能的重要参数之一，当酸值超过规定时，就需要更换新油。

### 9. 腐蚀

腐蚀是液压油在规定条件下，对规定金属试件的腐蚀性。

### 10. 其他性质

液压油还有其他一些物理化学性质，如热稳定性、水解稳定性、氧化稳定性、剪切稳定性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、相容性、抗燃性、抗磨性等，这些性质对液压系统的工作性能也影响较大。对于不同品种的液压油，这些性质的指标是不同的，具体应用时可查阅液压油相关产品手册。

为了提高液压油的性能，常在基础油液中加入各种添加剂。添加剂的种类及作用如表 1-1 所示。

表 1-1 液压油中常用添加剂的种类及作用

种类	添加剂		采用添加剂的原因	添加剂的作用	应用范围举例	使用条件 (重量比)
		品名				
黏度指数添加剂		威尼波尔 聚乙烯正丁基醚 聚异丁烯 聚甲基丙烯酸酯 烯炔聚合物 烷基苯乙烯聚合物	一般油的黏度值随温度变化很大，在冬夏和昼夜温差悬殊的地方和起动与工作温差太大的机床上，黏度变化太大，将引起开车困难、漏油降压、降低速度和功率等问题	利用高分子聚合物在油中溶解率的变化，以改变油的黏度指数，减少油黏度随温度而变化的比率	注塑机、机床的液压传动系统与野外作业的汽车、拖拉机等	添加剂加入量为 1% ~ 2%
油性添加剂		油酸 油酸铝 硬酯酸 硬酯酸铝 二烷基硫代磷酸锌 三甲酚磷酸酯 氯化石蜡	在低速和中等以上负荷的各种摩擦副之间易形成动压油膜，在开、停车及负荷改变时，原有油膜也常受到破坏	通过添加剂的极性物质增加润滑油的吸附及楔入能力，以保证边界油膜的强度，防止干摩擦，降低摩擦系数	精密机床及重要运动机构，防止导轨及工作台的爬行	限于中等负荷及摩擦表面温度为 120 ~ 200℃ 高温时将分解失效，添加剂的加入量小于 2%
极压与抗磨添加剂		三甲酚磷酸酯 氯化石蜡 石墨 二硫化钼 硫化鲸鱼油 有机二硫代磷酸锌 有机磷化物和脂肪酸酯	在高温和重负荷下边界油膜将受到挤压和剪切而破裂	利用硫、磷、氯等化合物高温时放出的活性元素，在金属表面生成一层塑性高、熔点低的薄膜，能适应高温高压情况，活性物质吸附性较强，可保证油膜不受破坏，能减少磨损和防止咬住的危险	极重负荷的正齿轮、伞齿轮、双曲线齿轮及蜗轮、蜗杆，其他重型机械的轴承	磷酸等活性物质有腐蚀金属的副作用，故不宜用于非极压情况，添加剂的加入量为 0.3% ~ 0.5%

(续)

种类	添加剂	采用添加剂的原因	添加剂的作用	应用范围举例	使用条件 (重量比)
	品名				
降凝添加剂	巴拉费罗 萘和石蜡的缩合产物 酚和石蜡的缩合产物 烷基酚与硫化物的混合物	石蜡基润滑油在低温时稠化, 以致凝固, 降低润滑效果, 增加机械阻力	添加剂溶于油中, 能为微小的石蜡结晶所吸附, 阻止其形成网状结构, 因此, 油分子不再被结晶吸附, 出现稠化情况	北方低温地区的机械	添加剂加入量为 0.1% ~ 0.7%
黏度添加剂	高分子聚合物 (如聚异丁烯等)	机床导轨及变速箱有漏油现象, 影响润滑效果及文明生产	添加剂能细密油的组织, 加大油的黏性, 因而能减少漏油	金属切削机床, 塑料机械	添加剂加入量极小
抗泡沫添加剂	硅醛油 甲基苯硅油 甲基硅油 乙基硅油	一般油搅动时能与空气混合, 生成泡沫, 液压系统中存在泡沫, 能引起供油中断, 造成运行故障及加速磨损	添加剂溶于油中, 能加快泡沫消除速度, 使泡沫在产生之后, 及时消除, 不致危害机床的运动或降低润滑效果	机床的液压系统与各种内燃机、注塑机	硅油类油溶性差, 可用有机溶剂(如二甲苯、四氯化碳)
抗锈添加剂	硫酸锌有机二硫代磷酸酯 脂肪酸衍生物	油中原有水分及落入或凝结水分, 会使金属表面生锈蚀损	添加剂能改变润滑油的黏附性能, 使其强韧地附着在金属的表面, 可防水穿透, 形成腐蚀保护膜	汽轮机、压缩机	添加剂加入量极小
抗氧化与抗腐蚀添加剂	二烷基二硫代磷酸盐 对羟基二苯胺 2, 6-二丁基对甲酚 二苯胺 受阻酚和芳胺	油在使用过程中, 特别在高温条件下与空气中氧接触会氧化变质, 降低润滑性, 并能分离出胶质沉淀, 生成酸性物质, 有堵塞油管及腐蚀金属的危险, 缩短使用寿命	抗氧化添加剂能与金属表面层作用形成保护膜, 防止表面的腐蚀, 并且隔断润滑油与金属直接接触, 防止金属的触媒作用, 以降低氧化速度	注塑机、机床的液压系统与内燃机用油	添加剂加入量小于 0.3%
多效能添加剂	二硫磷酸酯 烷基酚炔衍生物	某些机械运动的条件特殊, 要使用数种添加剂, 手续麻烦, 又易发生不利的反应, 影响使用性能	采用多效能添加剂, 从多方面改进润滑油的性能, 手续简化, 能提高机器使用寿命及润滑油的效果	各种内燃机	



液压油性能变差造成液压系统产生的故障及排除方法如表 1-2 所示。

表 1-2 液压油性能变差造成的液压系统故障及排除方法

	容易发生的故障	产生故障的原因	排除方法
黏度	过低时	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 油温上升, 黏度下降</li> <li>2. 油液黏度使用不当</li> <li>3. 长时间使用高黏度指数的油</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 改进冷却系统, 修理</li> <li>2. 更换成黏度合适的液压油</li> </ol>
	过高时	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 油温过低, 环境温度过低</li> <li>2. 液压油黏度使用不当</li> <li>3. 低温时, 油温无升温装置</li> <li>4. 一般元件却使用高黏度油</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 安装低温加热装置和温控装置</li> <li>2. 修理油温控制系统</li> <li>3. 更换成合适黏度的油液</li> </ol>
防锈性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由于生锈进入滑动部位, 产生控制阀、油缸的不正常动作</li> <li>2. 锈脱落而烧接、拉伤</li> <li>3. 因锈粒子的流动产生动作不良, 流量阀流量不稳定</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 防锈性差的油内混进了水分</li> <li>2. 锈蚀的扩展加剧</li> <li>3. 开始时就已生锈</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用防锈性好的油</li> <li>2. 防止水分混入</li> <li>3. 清洗, 除锈</li> </ol>
抗乳化性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产生于因油中水分而锈蚀</li> <li>2. 液压油发生不正常老化、劣化</li> <li>3. 因水分产生泵、阀的气穴和气蚀</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 液压油本身的防锈性差</li> <li>2. 液压油老化、劣化、水分的分离性差</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用抗乳化性好的液压油</li> <li>2. 更换油</li> </ol>
老化劣化	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产生油泥, 使液压元件动作不良</li> <li>2. 氧化加剧, 腐蚀金属材料</li> <li>3. 润滑性能降低, 元件加快磨损</li> <li>4. 防锈性、抗乳化性降低, 产生故障</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高温下长久使用油液氧化、劣化</li> <li>2. 水分、金属粉、空气等污染物进入油内, 促进劣化</li> <li>3. 油局部高温和加热</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 避免在 60℃ 以上的高温下长期使用</li> <li>2. 除去污物</li> <li>3. 防止用加热器局部加热</li> </ol>
腐蚀	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 腐蚀铜、铝、铁等金属</li> <li>2. 伴随着气蚀、腐蚀金属</li> <li>3. 泵、阀、过滤器、冷却器的局部腐蚀</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 添加剂的影响</li> <li>2. 液压油老化、劣化、腐蚀性物质混入</li> <li>3. 水分混入而气穴气蚀</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调查液压油的性质</li> <li>2. 防止老化、劣化污染物混入</li> <li>3. 防止水分混入</li> </ol>