

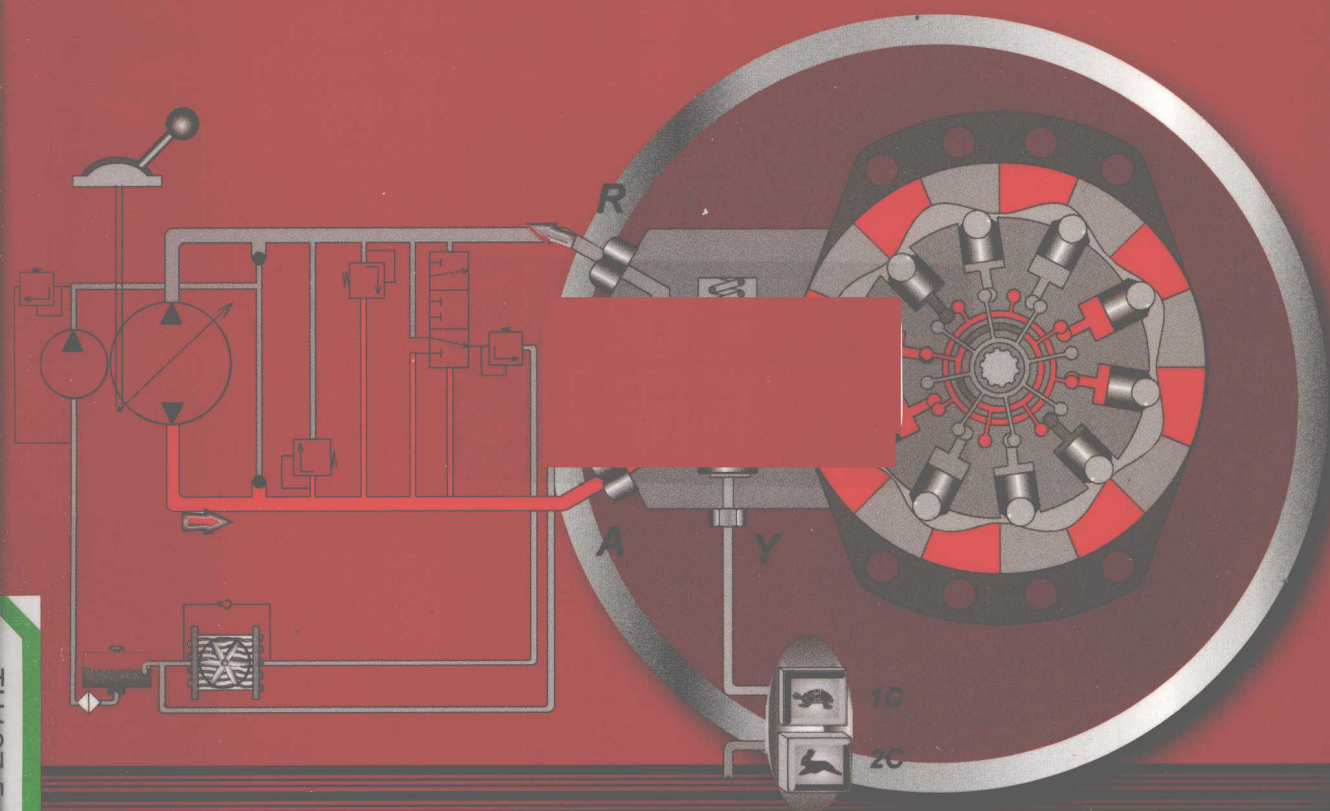
企业液压技术培训教程

YEYA YUANJIAN JI XITONG DE YUANLI SHIYONG YU WEIXIU

液压元件及系统

原理、使用与维修

刘延俊 编著



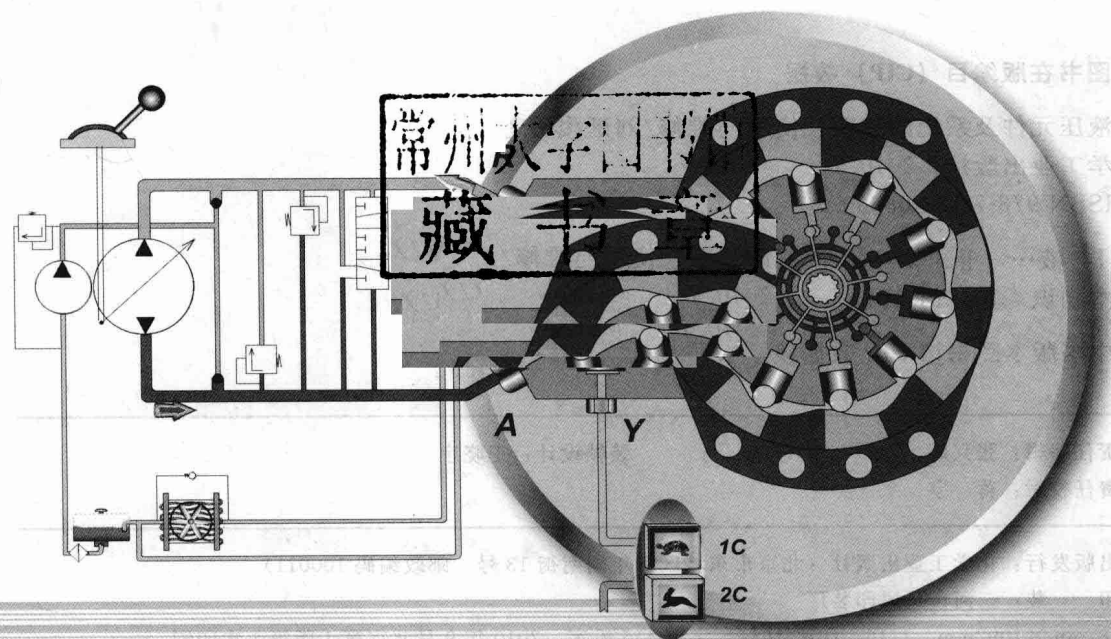
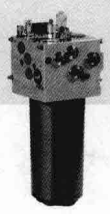
化学工业出版社

企业液压技术培训教程

YEYA YUANJIAN JI XITONG DE YUANLI SHIYONG YU WEIXIU

液压元件及系统的原理、使用与维修

刘延俊 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从企业液压技术培训的需要出发,以液压元件与系统的实际应用为主线,全面介绍液压元件及系统的基本原理、结构、使用与常见故障的维修技术,同时对液压系统的安装、调试、使用与维护,故障诊断步骤、方法做了介绍。编写上力求贯彻少而精、理论分析与实际应用相结合的原则,侧重了对工程技术人员液压技术应用、故障诊断与排除以及技术创新能力的培养。书中的许多实例是编著者 20 多年在科研、设计、制造、调试、故障诊断与维修方面所做的工作以及工作经验的总结。书中元件的图形符号、回路以及系统原理图全部采用了国家最新图形符号绘制。为了便于读者使用和查阅液压元件与系统的常见故障与排除方法,本书作为附录将其收录。

本书特别适用于企业从事液压设备使用和维护的工程技术人员、现场工作人员作为培训教材使用,也可作为应用型工科院校的教学参考书或教材,以及专业学位研究生实践性课程的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压元件及系统的原理、使用与维修/刘延俊编著. —北京:
化学工业出版社, 2010.7
ISBN 978-7-122-08660-0

I. 液… II. 刘… III. ①液压元件-基本知识②液压系统-
基本知识 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 094073 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 415 千字 2010 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着工业自动化的发展，液压设备以它独特的优势在国民经济各个行业得到了广泛的应用。由于液压元件和液压系统具有其完全不同于机械设备的特殊性，工作液体都在封闭的管路内工作，不像其他机械设备那样直观，它的故障具有隐蔽性、多样性、不确定性和因果关系复杂性等特点，故障出现后不易查找原因。液压系统一旦发生故障，不仅导致设备受损，产品质量下降，生产线停工，而且可能危及人身安全、造成环境污染，造成巨大的经济损失。因此如何保证液压元件及系统的正常运行，怎样及时发现故障，甚至提前发现故障的征兆，都是液压技术人员以及操作使用人员亟待解决的问题。

为了进一步推动我国液压技术的发展，提升液压设备操作与使用人员的整体水平，满足企业对液压技术的培训要求，结合笔者长期从事液压系统设计、制造、安装调试，以及故障诊断与排除的经验，从企业液压设备操作与维护人员的实际需要出发，系统介绍了液压元件的结构、原理、图形符号、特性曲线、选用原则、常见故障原因以及排除方法；同时对液压基本回路与典型系统的特点、故障诊断方法、故障原因、排除步骤做了介绍。

本书编写上力求贯彻少而精、理论分析与实际应用相结合的原则，侧重了对工程技术人员在液压技术应用、故障诊断与排除，以及技术创新能力的培养。本书中的许多实例是笔者20多年在科研、设计、制造、调试、故障诊断与维修方面所做的工作以及工作经验的总结。书中元件的图形符号、回路以及系统原理图全部采用国家最新图形符号绘制。为了便于读者使用和查阅液压元件与系统的常见故障与排除方法，本书作为附录将其一一收录。

本书特别适用于企业从事液压设备使用和维护的工程技术人员、现场工作人员作为培训教材使用，也可作为应用型工科院校的教学参考书或教材，以及专业学位研究生实践性课程的教材。

本书由山东大学机械工程学院刘延俊编著。谢玉东、任慧丽、彭建军、郝宁、李超、程波、杨振华、朱传同、高新华、刘秀梅、孔鹏等参与了本书文献资料搜集、文稿录入整理和部分插图的绘制等工作。

感谢本书编写过程中曾给予大力支持的单位、个人及参考文献的各位作者，特别感谢山东拓普液压气动有限公司、中船重工集团第704研究所为本书的编写提供了大量翔实的技术资料，在此一并感谢！由于笔者学识水平有限，书中错误和缺点在所难免，不妥之处恳请广大读者和从事液压技术工作的专家及同行批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 液压传动技术基础	1
1.1 液压传动系统的工作原理及其组成	1
1.1.1 液压传动系统的工作原理	1
1.1.2 液压传动系统的组成	2
1.2 液压传动系统的图形符号	2
1.3 液压系统的应用特点与故障诊断技术的发展趋势	3
1.3.1 液压系统的应用特点	3
1.3.2 液压系统故障诊断的发展趋势	4
第 2 章 液压油的选用与污染防治	7
2.1 液压油的物理性质	7
2.1.1 液压油的密度	7
2.1.2 液压油的可压缩性	7
2.1.3 液压油的黏性	8
2.2 液压油的分类与选用	10
2.2.1 液压油的分类	10
2.2.2 几种常见的国产液压油	11
2.2.3 对液压油的要求	14
2.2.4 液压油的选择和使用	14
2.2.5 国内外常用液压油的代用	16
2.3 液压油的污染控制	21
2.3.1 污染物的种类及危害	21
2.3.2 污染的原因	21
2.3.3 污染的测定方法与特点	21
2.3.4 污染度的等级	22
2.3.5 几种污染度等级标准的对应关系	23
2.3.6 液压油液品质的判断	24
2.3.7 液压油液的污染控制	25
2.4 液压油的使用与维护	26
2.4.1 液压油的存放	26
2.4.2 液压油使用过程中存在的问题	27
2.4.3 液压油的使用与维护	27
第 3 章 液压泵的使用与维修	29
3.1 概述	29
3.1.1 液压泵的基本工作原理	29
3.1.2 液压泵的分类	29
3.1.3 液压泵的主要性能参数	30
3.1.4 液压泵特性及检测	31
3.2 齿轮泵	32
3.2.1 齿轮泵的工作原理	32
3.2.2 外啮合齿轮泵	33
3.2.3 内啮合齿轮泵	34
3.2.4 齿轮泵的特点与使用注意事项	36
3.3 叶片泵	36
3.3.1 双作用式叶片泵	36
3.3.2 单作用式叶片泵	38
3.3.3 双联叶片泵	40
3.3.4 叶片泵的使用与常见故障排除	41
3.4 柱塞泵	42
3.4.1 柱塞泵的工作原理	42
3.4.2 柱塞泵的常见故障及排除	43
3.4.3 CY14-1 轴向柱塞泵使用指南	45
3.4.4 V 系列柱塞泵使用指南	49
3.5 螺杆泵	53
3.5.1 螺杆泵的型号编制	53
3.5.2 螺杆泵使用注意事项	54
第 4 章 液压执行元件的使用与维修	55
4.1 液压马达的使用与维修	55
4.1.1 液压马达的工作原理与结构	55
4.1.2 液压马达的主要参数	57
4.1.3 液压马达常见故障及排除	58

4.2 液压缸的使用与维修	60	4.2.2 液压缸的选用原则及注意事项	60
4.2.1 液压缸的典型结构	60	4.2.3 液压缸常见故障及排除	61
第5章 液压控制元件的使用与维修	65		
5.1 概述	65	5.5.2 电液比例流量阀	109
5.1.1 液压控制元件的作用与分类	65	5.5.3 电液比例方向阀	110
5.1.2 液压控制元件的性能参数	65	5.5.4 比例阀的应用	111
5.1.3 液压控制元件的选型原则	66	5.5.5 比例阀使用注意事项	112
5.2 方向控制阀	66	5.5.6 比例阀常见故障与排除	112
5.2.1 单向阀	66	5.6 叠加阀	112
5.2.2 换向阀	69	5.6.1 叠加阀的特点	112
5.3 压力控制阀	81	5.6.2 叠加阀的结构及工作原理	113
5.3.1 溢流阀	81	5.6.3 叠加阀使用注意事项	115
5.3.2 减压阀	88	5.7 插装阀	115
5.3.3 顺序阀	92	5.7.1 插装阀的特点	115
5.3.4 压力继电器	94	5.7.2 插装阀的结构及工作原理	115
5.4 流量控制阀	96	5.7.3 插装阀的应用	117
5.4.1 普通节流阀与单向节流阀	98	5.7.4 插装阀使用注意事项	120
5.4.2 调速阀	99	5.8 伺服阀	120
5.4.3 溢流节流阀	100	5.8.1 伺服阀的分类	120
5.4.4 流量控制阀常见故障与排除	101	5.8.2 伺服阀的工作原理	120
5.4.5 分流集流阀	103	5.8.3 伺服阀的使用维护	124
5.4.6 齿轮流量分配器	105	5.8.4 伺服阀常见故障与排除	126
5.5 比例阀	108	5.8.5 射流管伺服阀放大器的选用及 注意事项	126
5.5.1 电液比例压力阀	108		
第6章 液压辅助元件的使用维修	129		
6.1 滤油器	129	6.4.5 蓄能器常见故障与排除	140
6.1.1 滤油器的功能作用和性能指标	129	6.5 压力表开关	140
6.1.2 滤油器的类型及其性能特点	130	6.5.1 压力表开关的功用及分类	140
6.1.3 滤油器的安装注意事项	131	6.5.2 压力表开关的典型结构与与工作 原理	141
6.1.4 滤油器常见故障与排除	132	6.5.3 压力表开关常见故障与排除 方法	142
6.2 油箱	132	6.6 压力表	143
6.2.1 油箱的功用、分类与结构	132	6.6.1 压力表的作用与分类	143
6.2.2 油箱使用中应注意的问题	133	6.6.2 压力表的典型结构与基本原理	143
6.2.3 油箱常见故障与排除	134	6.6.3 压力表的选用原则	144
6.3 热交换器	134	6.7 液位继电器	144
6.3.1 冷却器的类型及工作原理	134	6.7.1 液位继电器基本原理	144
6.3.2 加热器的类型及工作原理	135	6.7.2 液位继电器的使用与维护	144
6.3.3 热交换器的使用和维护原则	135	6.8 连接件	144
6.4 蓄能器	136	6.8.1 油管	145
6.4.1 蓄能器的功用	136	6.8.2 管接头	145
6.4.2 蓄能器的类型和结构	136	6.8.3 软管总成及软管接头	146
6.4.3 蓄能器容量的计算	138	6.8.4 钢管接头	147
6.4.4 蓄能器的应用和安装使用注意 事项	138		

6.8.5 连接件常见故障与排除	148	6.9.2 密封装置的类型和特点	148
6.9 密封装置	148	6.9.3 新型密封元件	151
6.9.1 对密封装置的要求	148	6.9.4 密封装置的常见故障与排除	153
第7章 液压基本回路	155		
7.1 速度控制回路	155	7.3.1 换向回路	168
7.1.1 调速回路	155	7.3.2 锁紧回路	169
7.1.2 快速运动回路	161	7.4 多缸动作回路	169
7.1.3 速度换接回路	162	7.4.1 顺序动作回路	169
7.2 压力控制回路	163	7.4.2 同步回路	170
7.2.1 调压回路	163	7.4.3 多缸快慢速互不干涉回路	171
7.2.2 减压回路	164	7.5 液压油源基本回路	172
7.2.3 卸荷回路	164	7.5.1 开式油源回路	172
7.2.4 增压回路	166	7.5.2 闭式油源回路	172
7.2.5 平衡回路	167	7.5.3 补油泵回路	173
7.3 方向控制回路	168	7.5.4 节能液压源回路	173
第8章 典型液压系统故障分析与排除实例	176		
8.1 平板轮辂刨渣机液压系统故障诊断与 排除方法	176	工作原理	187
8.1.1 液压系统工作原理	176	8.5.3 立磨液压机液压系统的故障分析与 排除方法	187
8.1.2 平板轮辂刨渣机调试过程中的 故障诊断与排除方法	176	8.5.4 几点说明	188
8.2 双立柱带锯机液压系统的故障分析与 排除	178	8.6 剪绳机液压系统的故障分析与排除	189
8.2.1 结构及作业流程	178	8.6.1 液压系统工作原理	189
8.2.2 液压控制系统及工作原理	179	8.6.2 剪绳机液压系统的故障分析与 排除	189
8.2.3 常见故障与排除方法	181	8.7 盘式热分散机液压系统的故障分析与 排除	190
8.2.4 双立柱带锯机液压系统的特点	181	8.7.1 工作原理	190
8.3 丁基胶涂布机液压系统的故障分析与 排除	182	8.7.2 常见故障与排除	191
8.3.1 丁基胶涂布机液压系统的组成和 原理	182	8.8 垃圾压缩中转站液压系统的故障分析 与排除	193
8.3.2 丁基胶涂布机液压系统存在的 问题及改进方法	182	8.8.1 垃圾压缩中转站实现的动作以及 设计说明	193
8.3.3 丁基胶涂布机液压系统的常见 故障与排除方法	183	8.8.2 调试过程中的常见故障与排除	193
8.4 弯管机液压系统的故障分析与 排除	184	8.9 机车防溜液压系统的故障分析与 排除	195
8.4.1 液压系统工作原理	184	8.9.1 系统工作原理	195
8.4.2 故障分析与排除	185	8.9.2 故障现象	195
8.4.3 液压弯管机的主要特点	186	8.9.3 原因分析与解决方法	195
8.5 立磨液压机液压系统的故障分析与 排除	187	8.10 轮胎脱模机三缸比例同步液压系统的 故障分析与排除	197
8.5.1 立式磨机的工作原理	187	8.10.1 系统工作原理	197
8.5.2 立磨液压机液压系统的组成和 工作原理	187	8.10.2 系统故障原因与排除	198
		8.10.3 系统特点	199
		8.11 二通插装方坯剪切机液压系统的常见 故障分析与排除	199

故障与排除	200	排除	201
8.11.1 剪切机液压系统的工作过程	200	8.12 液压系统常见故障共性分析	202
8.11.2 剪切机液压系统的常见故障与			
第9章 液压系统的安装、调试、使用与维护	204		
9.1 液压系统的安装	204	9.4.2 液压油的使用和维护	217
9.1.1 流体连接件的安装	204	9.4.3 防止空气进入系统	218
9.1.2 液压元件的安装	207	9.4.4 防止油温过高	218
9.2 液压系统的清洗	210	9.4.5 检修液压系统的注意事项	219
9.2.1 液压系统的清洁度标准	210	9.5 200吨棉机液压系统安装、调试、使用	
9.2.2 液压系统的实用清洗方法	211	与维护举例	220
9.2.3 液压系统的两次清洗	211	9.5.1 200吨液压棉花打包机液压系统的	
9.3 液压系统的调试	213	安装与调试	220
9.3.1 液压系统调试前的准备	213	9.5.2 200吨棉花打包机液压系统的使用	
9.3.2 液压系统的调试	214	维护与保养	224
9.3.3 液压系统的试压	215	9.5.3 200吨棉花打包机液压系统常见	
9.4 液压系统的使用、维护和保养	216	故障与排除方法	224
9.4.1 液压系统的日常检查	216		
第10章 液压系统的故障诊断	227		
10.1 液压系统的故障原因分析	227	10.3.3 逻辑分析法	233
10.1.1 设计原因	227	10.3.4 仪器专项检测法	233
10.1.2 制造原因	227	10.3.5 模糊逻辑诊断方法	234
10.1.3 使用原因	228	10.3.6 智能诊断方法	235
10.1.4 液压油污染的原因	228	10.3.7 基于灰色理论的故障诊断	
10.2 液压系统的故障特征与诊断步骤	229	方法	235
10.2.1 液压系统的故障特征	229	10.4 150kN电缴机液压系统的故障	
10.2.2 液压系统的故障诊断步骤	229	诊断实例	236
10.3 液压系统的故障诊断方法	232	10.4.1 设备简介	236
10.3.1 直观检查法	232	10.4.2 系统工作原理与故障现象	236
10.3.2 对比替换法	233	10.4.3 原因分析与故障排除	237
附录	239		
参考文献	253		

第 1 章 液压传动技术基础

1.1 液压传动系统的工作原理及其组成

1.1.1 液压传动系统的工作原理

液压传动系统和机械传动系统相比, 由于具备功率密度高、结构小巧、配置灵活、组装方便、可靠耐用等独到的特点, 因此在国民经济的各个行业中得到了广泛采用。液压传动系统是以运动着的液体作为工作介质通过能量转换装置, 将原动机的机械能转变为液体的压力能, 然后通过封闭管道、调节控制元件, 再通过另一能量装置将液体的压力能转变为机械能的系统。液压传动系统实际上包含液压传动和液压控制两方面的内容, 两者是相互联系的, 很难截然分开, 所以在分析液压系统故障时, 一定要搞清楚信号的来龙去脉, 为快速准确判断系统的故障原因奠定基础。

为了使读者了解液压传动的工作原理, 现以实现工作台往复运动的简单磨床的液压传动系统为例(图 1-1)进行分析。液压缸 8 固定在床身上, 活塞 9 连同活塞杆带动工作台 10 作直线往复运动。电动机带动液压泵 3 旋转, 液压泵 3 从油箱 1 经过滤油器 2 吸油, 油液通过节流阀 4 流至换向阀 6。当手柄 7 处于图 1-1(a) 所示位置时, P 与 A、B、T 均不通, 液压缸 8 不通油, 所以工作台停止。

若将手柄 7 推至图 1-1(b) 所示位置, 这时油液从 P→A→液压缸 8 左腔; 液压缸 8 右腔→B→T, 工作台 10 向右移动。

若将手柄 7 推至图 1-1(c) 所示位置, 这时油液从 P→B→液压缸 8 右腔; 液压缸 8 左腔→

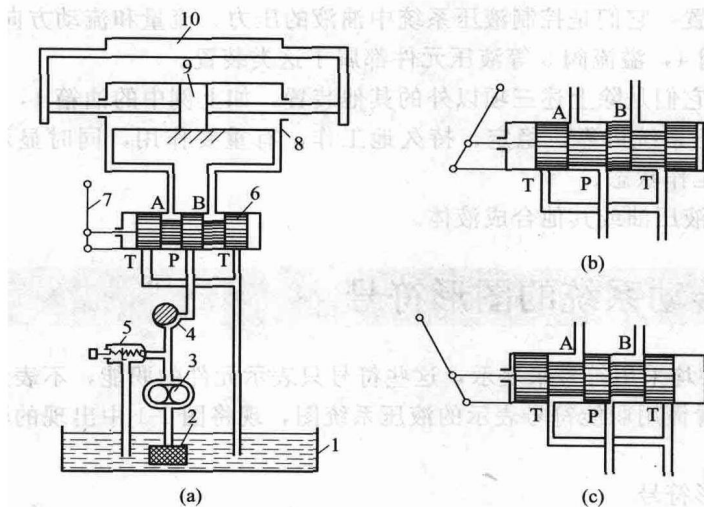


图 1-1 简单磨床的液压传动系统

- 1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4—节流阀; 5—溢流阀; 6—换向阀;
7—手柄; 8—液压缸; 9—活塞; 10—工作台

A→T, 工作台 10 向左移动。

由此可见: 由于设置了换向阀 6, 所以可改变压力油的通路, 使液压缸不断换向实现工作台的往复运动。

工作台速度 v 可通过节流阀 4 来调节。节流阀的作用是利用改变节流阀开口的大小, 来调节通过节流阀油液的流量, 以控制工作台的速度。

工作台运动时, 要克服阻力, 克服切削力和相对运动件表面的摩擦力等, 这些阻力, 由液压泵输出油液的压力能来克服, 根据工作情况的不同, 液压泵输出油液的压力应该能够调整。另外一般情况下, 液压泵排出的油液往往多于液压缸所需油液, 多余的油液经溢流阀 5 流回油箱。图中 2 为网式滤油器, 起滤油作用。

通过对上面系统的分析可见:

① 液压传动是依靠运动着的液体的压力能来传递动力的, 它与依靠液体的动能来传递动力的“液力传动”不同。

② 液压系统工作时, 液压泵将机械能转变为压力能; 执行元件(液压缸)将压力能转变为机械能。

③ 液压传动系统中的油液是在受调节控制的状态下进行工作的, 液压传动与控制难以截然分开。

④ 液压传动系统必须满足它所驱动的机床部件(工作台)在力和速度方面的要求。

⑤ 有工作介质, 液压传动是以液体作为工作介质来传递信号和动力的。

1.1.2 液压传动系统的组成

从以上的例子可以看出液压传动系统的组成部分有以下五个方面。

① 能源装置 它把机械能转变成油液的压力能。如图 1-1 中的液压泵 3, 最常见的就是液压泵, 它给液压系统提供压力油, 使整个系统能够动作起来。液压泵最常见的驱动动力是电动机。

② 执行装置 将油液压力能转变成机械能, 并对外做功。常用执行元件是液压缸和液压马达, 如图 1-1 中的液压缸 8。

③ 控制调节装置 它们是控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向的装置。图 1-1 中换向阀 6, 节流阀 4, 溢流阀 5 等液压元件都属于这类装置。

④ 辅助装置 它们是除上述三项以外的其他装置, 如上例中的油箱 1, 滤油器 2, 油管等。它们对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作, 有重要作用, 同时显示液压系统的压力、液位、流量等工作状态。

⑤ 工作介质 液压油或其他合成液体。

1.2 液压传动系统的图形符号

图 1-1 中各元件均采用符号来表示, 这些符号只表示元件的职能, 不表示元件的结构和参数。为便于大家看懂用职能符号表示的液压系统图, 现将图 1-1 中出现的液压元件的主要图形符号介绍如下。

(1) 液压泵图形符号

由一个圆加上一个实心三角来表示, 三角箭头向外, 表示液压油的输出方向。图中无箭头的为定量泵, 有箭头的为变量泵。

(2) 换向阀的图形符号

为改变液压油的流动方向,换向阀的阀芯位置要变换,它一般可变动2~3个位置,例如图1-1实例中换向阀6有3个工作位置,阀上的外接通路数为4。根据阀芯可变动的位置数和阀体上的通路数,可组成x位x通阀。其图形意义如下。

① 换向阀的工作位置用方格表示,有几个方格即表示几位阀。

② 方格内的箭头符号表示油流的连通情况(有时与油液流动方向一致)，“T”表示油液被阀芯闭死的符号,这些符号在一个方格内和方格的交点数即表示阀的通路数,也就是外接管路数。

③ 方格外的符号为操纵阀的控制符号,控制形式有手动、电动和液动等。

(3) 压力阀图形符号

方格相当于阀芯,方格中的箭头表示油流的通道,两侧的直线代表进出油管。图中的虚线表示控制油路,压力阀就是利用控制油路的液压力与另一侧弹簧力相平衡的原理进行工作的。

(4) 节流阀图形符号

方格中两圆弧所形成的缝隙表示节流孔道,油液通过节流孔使流量减少,图中的箭头表示节流孔的大小可以改变,亦即通过该阀的流量是可以调节的。

液压系统图中规定:液压元件的图形符号应以元件的静止状态或零位来表示。液压元件与系统的图形符号详见国家标准 GB/T 786.1—2009。

1.3 液压系统的应用特点与故障诊断技术的发展趋势

1.3.1 液压系统的应用特点

液压传动系统由于具有易于实现回转、直线运动,元件排列布置灵活方便,可在运行中实行无级调速等诸多优点,所以在国民经济各部门中都得到了广泛的应用,但各部门应用液压传动的出发点不同,工程机械、压力机械采用的原因是结构简单,输出力量大。航空工业采用的原因是重量轻、体积小。机床主要是可实现无级变速,易于实现自动化,能实现换向频繁的往复运动的优点。

在实际应用过程中,设计者经常会遇到按照给定的条件选择最优控制系统及其元件的问题,为了正确地选用控制系统,表1-1给出了几种常用控制系统的对比资料。

表 1-1 液压、气动、电气系统的对比

对比项目	系 统		
	液压	气动	电气
功率重量比	大	中	小
系统尺寸	采用高压时最小	中	大
运动平稳性	好	差	中
重复定位精度	高	低	中
传动系统总效率	70%左右	<30%	<90%
传递信号速度/(m/s)	1000	<360	300000
输出装置动作时间/s	0.06~0.1	0.02~0.1	0.05~0.15
蓄能装置	采用蓄能器	采用简单压力容器	采用蓄电池
磁场的影响	无影响	无影响	引起误动作

1.3.2 液压系统故障诊断的发展趋势

随着数据处理技术、计算机技术、网络技术和通信技术的飞速发展，以及不同学科之间的融合，液压系统的故障诊断技术已经逐渐从传统的主观分析方法，向着虚拟化、高精度化、状态化、智能化、网络化、交叉化的方向发展。

(1) 虚拟化

虚拟化是指监测与诊断仪器的虚拟化。传统仪器是由工厂制造的，其功能和技术指标都是由厂家定义好的，用户只能操作使用，仪器的功能和技术指标一般是不可更改的。随着计算机技术、微电子技术和软件技术的迅速发展和不断更新，在国际上出现了在测试领域挑战整个传统测试测量仪器的新技术，这就是虚拟仪器技术。

“软件就是仪器”，反映了虚拟仪器技术的本质特征。一般来说，基于计算机的虚拟仪器系统主要是由计算机、软面板及插在计算机内外扩槽中的板卡或标准机箱中的模块等硬件组成，有些虚拟仪器还包括有传统的仪器。由于其具有开发环境友善，具有开放性和柔性，若增加新的功能可方便地由用户根据自己的需要对软件作适当的改变即可实现，用户可以不必懂得总线技术，不必掌握面向对象的语言，即可将其应用于液压系统乃至整个机械设备监测与诊断仪器及系统，可以是一个新的发展方向。

(2) 高精度化

高精度化，是指在信号处理技术方面提高信号分析的信噪比。不同类型的信号具有不同的特点，即使是同一类型的信号也可以从不同的角度进行描述和分析，以揭示事物不同侧面之间的内在规律和固有特性。对于液压系统而言，其信号、参数通常是瞬态的、非线性的、突变的，而传统的时域和频域分析只适用于稳态信号的分析，因此往往不能揭示其中隐含的故障信息，这就需要寻找一种能够同时表现信号时域和频域信息的方法，时频分析就应运而生。小波分析就是这种分析的一种典型应用，将小波理论应用于这些信号的处理上，可以大大提高其分辨率。可以预见，信号分析处理技术的发展必将带动故障诊断技术的高精度化。

(3) 状态化

状态化是对监测与诊断而言。据美国设备维修专家分析，有将近 1/3 的维修费用属于“维修过剩”造成的费用。原因在于：目前普遍采用的预防性定期检修的间隔周期是根据统计结果确定的，在这个周期内仅有 2% 的设备可能出现故障，而 98% 的设备还有剩余的运行寿命，这种谨慎的定期大修反而增加了停机率。美国航空公司对 235 套设备普查的结果表明，66% 的设备由于人的干预，破坏了原来的良好配合，降低了可靠性，造成故障率上升。因此，将预防性定期维修逐步过渡到“状态维修”已经成为提高生产率的一条重要途径，也是现代设备管理的需要。随着科技的发展，可以利用传感技术、电子技术、计算机技术、红外测温技术和超声波技术，跟踪液体流经管路时的流速、压力、噪声的综合载体信号产生的时差流量信号和压力信号，并结合现场的各种传感器，对液压系统动态参数（压力、流量、温度、转速、密封性能）进行“在线”实时检测。这就能从根本上克服目前对液压系统“解体体检”的弊端，并能实现监测与诊断的状态化，解决“维修不足”与“维修过剩”的矛盾。

(4) 智能化

随着人工智能技术的迅速发展，特别是知识工程、专家系统和人工神经网络在诊断领域中的进一步应用，人们已经意识到其所能产生的巨大的经济和社会效益。同时由于液压系统故障所呈现的隐蔽性、多样性、成因的复杂性和进行故障诊断所需要的知识对领域专家实践经验 and 诊断策略的严重依赖，使得研制智能化的液压故障诊断系统成为当前的趋势。以数据

处理为核心的过程将被以知识处理为核心的过程所替代；同时，由于实现了信号检测、数据处理与知识处理的统一，使得先进技术不再是少数专业人员才能掌握的技术，而是一般设备操作工人所使用的工具。

(5) 网络化

随着社会的进步，现代大型液压系统非常复杂、十分专业，需要设备供应商的参与才能对它的故障进行快速有效的诊断，而设备供应商和其他专家往往身处异地，这就使建立基于Internet的远程在线监测与故障诊断成为开发液压系统故障诊断的必然趋势。远程分布式设备状态监测和故障诊断系统的典型结构如图1-2所示。

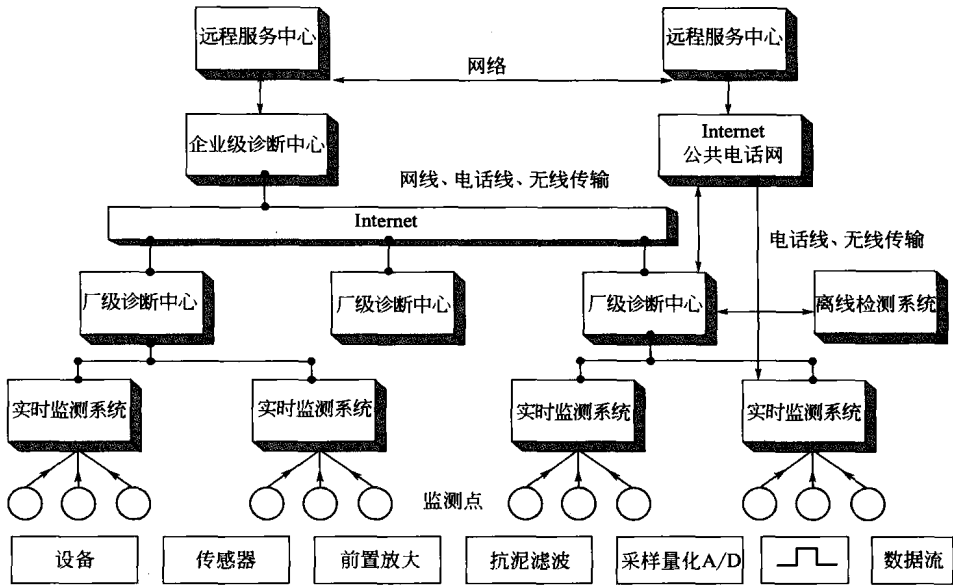


图 1-2 远程分布式设备状态监测和故障诊断系统的典型结构

首先在企业的各个分厂的关键液压设备上建立实时监测点，实时监测系统进行在线监测并采集故障诊断所需的设备状态数据，并上传到厂级诊断中心；同时在企业内部建立企业级诊断中心，在技术力量较强的科研单位和设备生产厂家建立远程诊断中心。当然，并不是所有的诊断系统都需要建立企业级诊断中心。一般来说，对于生产规模比较大和分散的企业（如跨国企业等）可以构建企业级诊断中心，而对于小型的企业通常不需要。此外，对于数据传输时是采用专用网线、电话线，还是无线传输，这得根据企业的实际情况了。

当液压设备出现异常时，实时监测系统首先做出反应，实行报警并采取一些应急措施，并在厂级诊断中心进行备案和初步的诊断；厂级诊断中心不能自行处理的，则开始进入企业级诊断（没有企业级诊断中心的，则直接进入远程诊断中心）；而对于企业级诊断中心也不能解决的故障，则由企业级诊断中心通过计算机网络或卫星将获得的故障信息送到远程的诊断中心，远程诊断中心的领域专家或专家系统软件通过对传过来的数据进行分析，得出故障诊断结论和解决方案，并通过网络反馈给用户。

当前，在构建远程故障诊断系统时，很少把设备制造厂家列为主要角色之一。这就意味着在进行设备的故障诊断时，不能充分利用到设备设计制造的有关数据资料。无论是从设备使用方，还是从设备生产方来说，这都会造成一种无形的损失。对设备使用方来说，他们无法充分享受设备的售后服务；而对于设备生产方，则难以从大量的设备运行历史记录中发现

有价值的知识用于设备的优化设计和制造，同时丧失树立企业良好形象的机会。因此，在构建远程故障诊断系统时，为了充分发挥设备生产厂家在远程诊断中的作用，需要各分布式的设备生产厂家的积极参与，实现更大范围的资源共享。

(6) 交叉化

交叉化是指设备的故障诊断技术与人体医学诊断技术的发展交叉化。从广义上看，机械设备的故障诊断与人体的医学诊断一样，它们之间应该具有相通之处。特别是液压系统，更是如此。因为液压系统的组成与人体的构成具有许多可比性：液压油如同人的血液，液压泵如同人的心脏，压力表如同人的眼睛，执行元件如同人的四肢，而控制系统和传感器就如同人的大脑和神经，不断根据执行元件的反馈信息发出各种控制指令。

同整个机械设备的故障诊断技术相比，人体的医学诊断发展至今，已经发展得相当完美。机械设备的故障诊断技术自 20 世纪 60 年代开始至今，其发展史只是人体医学发展历史长河中的一滴，借鉴人体的医学诊断技术，可以使我们在设备诊断技术上取得突破，少走许多弯路。远程故障诊断从医学领域成功向机械设备领域的扩展就是一个很好的例子。此外，油液分析就可以说是液压系统的抽血化验，所以笔者为了引起使用者对液压油清洁度的重视，在给学生授课以及给相关液压控制系统的用户进行培训和解决现场系统故障时，经常做出这样的比喻：“油液被污染的液压系统就相当于人患了白血病”。目前虽说油液分析已应用得比较广泛，但从人体的血检所能获得的信息来看，油液中所能获取的设备故障信息远远不止目前的这些，应该进行深入的研究。随着科学技术的进一步发展，这必然为人们所认识。

综上所述，液压设备往往是结构复杂而且是高精度的机、电、液一体化的综合系统，系统具有机液耦合、非线性、时变性等特点。引起液压故障的原因较多，加大了故障诊断的难度。但是液压系统故障有着自身的特点与规律，正确把握液压系统故障诊断技术的发展方向，深入研究液压系统的故障诊断技术不仅具有很强的实用性，而且具有很重要的理论意义。

第2章 液压油的选用与污染防治

液压油是液压传动与控制系统中用来传递能量的液体工作介质。除了传递能量外，它还起着润滑有相对运动部件和保护金属不被锈蚀的作用。液压油对液压系统的作用就像血液对人体一样重要。所以，合理选择、使用、维护、保管液压油是关系到液压设备工作可靠性、耐久性和工作性能好坏的重要问题，也是减少液压设备出现故障的有力措施。据统计，液压系统故障率的75%~85%以上是由于液压油的污染造成的，所以为了正确使用与维护液压系统，应当首先了解液压油的性质、液压油污染的原因以及防治措施。

2.1 液压油的物理性质

2.1.1 液压油的密度

单位体积液体的质量称为液体的密度。通常用 ρ 表示，其单位为 kg/m^3 。

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

式中 V ——液体的体积， m^3 ；

m ——液体的质量， kg 。

密度是液体的一个重要物理参数，主要用密度表示液体的质量。常用液压油的密度约为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ ，在实际使用中可认为密度不受温度和压力的影响。

2.1.2 液压油的可压缩性

液体的体积随压力的变化而变化的性质称为液体的可压缩性。其大小用体积压缩系数 k 表示

$$k = -\frac{1}{dp} \times \frac{dV}{V} \quad (2-2)$$

即：单位压力变化时，所引起体积的相对变化率称为液体的体积压缩系数。由于压力增大时液体的体积减小，即 dp 与 dV 的符号始终相反，为保证 k 为正值，所以在式(2-2)的右边加一负号。 k 值越大，液体的可压缩性越大，反之液体的可压缩性越小。

液体体积压缩系数的倒数称为液体的体积弹性模量，用 K 表示。即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{V}{dV} dp \quad (2-3)$$

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 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{MPa}$ ，数值很大，故一般可以认为液压油是不可压缩的。若液压油中混入空气，其抵抗压缩能力会显著下降，并严重影响液压系统的工作性能。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，在工程计算中常取液压油的体积弹性模量 $K = 0.7 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

在变动压力下，液压油的可压缩性的作用极像一个弹簧，外力增大，体积减小；外力减

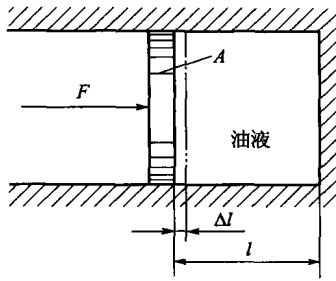


图 2-1 油液弹簧刚度计算

小, 体积增大。当作用在封闭容器内液体上的外力发生 ΔF 变化时, 如液体承压面积 A 不变, 则液柱的长度必有 Δl 的变化 (见图 2-1)。在这里, 体积变化为 $\Delta V = A\Delta l$, 压力变化为 $\Delta p = \Delta F/A$, 此时液体的体积弹性模量为

$$K = -\frac{V\Delta F}{A^2\Delta l}$$

液压弹簧刚度 k_h 为

$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2}{V}K \quad (2-4)$$

液压油的可压缩性对液压传动系统的动态性能影响较大, 但当液压传动系统在静态 (稳态) 下工作时, 一般可以不予考虑。

2.1.3 液压油的黏性

(1) 黏性的定义

液体在外力作用下流动 (或具有流动趋势) 时, 分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力, 这种现象称为液体的黏性。黏性是液体固有的属性, 只有在流动时才能表现出来。

液体流动时, 由于液体和固体壁面间的附着力以及液体本身的黏性会使液体各层间的速度大小不等。如图 2-2 所示, 在两块平行平板间充满液体, 其中一块板固定, 另一块板以速度 u_0 运动。结果发现两平板间各层液体速度按线性规律变化。最下层液体的速度为零, 最上层液体的速度为 u_0 。试验表明, 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

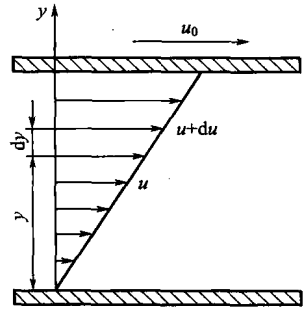


图 2-2 液体的黏性

$$F_f = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-5)$$

式中 μ ——由液体性质决定的系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——接触面积, m^2 ;

du/dy ——速度梯度, s^{-1} 。

其应力形式为

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

τ 称为摩擦应力或切应力。

这就是著名的牛顿内摩擦定律。

(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) μ 动力黏度就是牛顿内摩擦定律中的 μ , 由式 (2-5) 可得

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

式 (2-7) 表示了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。在国际单位制中的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)，工程上用的单位是 P (泊) 或 cP (厘泊)。换算关系为： $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$ 。

② 运动黏度 ν 液体的动力黏度 μ 与其密度 ρ 的比值称为液体的运动黏度，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-8)$$

液体的运动黏度没有明确的物理意义，但在工程实际中经常用到。因为它的单位只有长度和时间的量纲，所以被称为运动黏度。在国际单位制中的单位为 m^2/s ，工程上用的单位是 cm^2/s (斯, St) 或 mm^2/s (厘斯, cSt)。

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4(\text{斯, St}) = 10^6(\text{厘斯, cSt})$$

液压油的牌号，常由它在某一温度下的运动黏度的平均值来表示。我国把 40°C 时运动黏度以 cSt (厘斯) 为单位的平均值作为液压油的牌号。例如 46 号液压油，就是在 40°C 时，运动黏度的平均值为 46cSt (厘斯)。

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。所谓相对黏度就是采用特定的黏度计在规定的条件下测量出来的黏度。由于测量的条件不同，各国采用的相对黏度也不同，我国、俄罗斯、德国用恩氏黏度，美国用赛氏黏度，英国用雷氏黏度。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定，即将 200mL、温度为 $t^\circ\text{C}$ 的被测液体装入黏度计的容器内，由其下部直径为 2.8mm 的小孔流出，测出流尽所需的时间 t_1 (s)，再测出 200mL、 20°C 蒸馏水在同一黏度计中流尽所需的时间 t_2 (s)，这两个时间的比值称为被测液体的恩氏黏度。即

$$^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-9)$$

恩氏黏度与运动黏度的关系为

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

(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 20MPa 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。石油型液压油的黏度与压力的关系可用下列公式表示

$$\nu_p = \nu_0 (1 + 0.003p) \quad (2-11)$$

式中 ν_p ——油液在压力 p 时的运动黏度；

ν_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

油液的黏度对温度的变化极为敏感，温度升高，油的黏度显著降低。油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，黏温特性较好的液压油，黏度随温度的变化较小，因而油温变化对液压系统性能的影响较小。液压油黏度与温度的关系可用式(2-12)表示

$$\mu_t = \mu_0 e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2-12)$$

式中 μ_t ——温度为 t 时的动力黏度；

μ_0 ——温度为 t_0 的动力黏度；

λ ——油液的黏温系数。