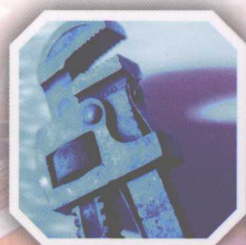
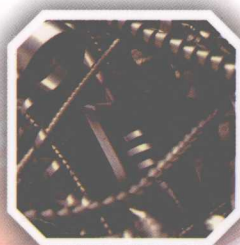


高职高专机电类规划教材

液压与 气压传动

■ 郑兰霞 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专机电类规划教材

液压与气压传动

郑兰霞 主编

人民邮电出版社

北京



图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 郑兰霞主编. —北京: 人民邮电出版社,
2008.8

高职高专机电类规划教材
ISBN 978-7-115-17981-4

I. 液… II. 郑… 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. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 070677 号

内 容 提 要

本书介绍液压传动与气压传动两部分内容。第一篇液压传动部分共分 7 章: 液压传动基础、液压泵、液压缸与液压马达、液压控制阀、液压辅件、液压基本回路和典型液压传动系统。第二篇气压传动共分 3 章: 气压传动概述、气动元件、气动回路及应用实例。

针对高职高专学生的学习特点, 本书每章后附有能力训练和思考与练习题。附录列出了常见液压与气动元件的图形符号。

本书为高职高专机械类专业和机电一体化专业的教材, 也可以作为行业培训教材, 还可供有关技术人员学习参考。

高职高专机电类规划教材

液压与气压传动

- ◆ 主 编 郑兰霞
责任编辑 赵慧君
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京华正印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13
字数: 314 千字
印数: 1—3 000 册

2008 年 8 月第 1 版

2008 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17981-4/TN

定价: 22.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

液压与气压传动是一门现代工业技术,是机械设备与自动化控制技术相结合的重要环节,广泛应用于各个领域。因此,液压与气压传动已经成为机电类专业最重要的技术基础课程之一。

本书以液压传动技术为主线,阐明了液压与气压传动技术的基本原理,着重培养学生分析、设计液压与气动基本回路的能力,以及安装、调试、使用、维护液压与气动系统的能力。

本书在编写的过程中,力求突出以下特点。

1. 在内容的编排上,注重理论联系实际,注意引用新技术成果,突出高职教育特点,以高职学生“必须、够用”为度,力求作到少而精。

2. 着眼于学生在应用能力方面的培养,部分章节后安排有必要的实训内容。

3. 采用大量的图示和表格来说明问题,清晰明了,通俗易懂。

4. 为方便和指导学生学习,每章的开篇都列出了本章的内容提要和学习要点,章后附有思考与练习题。

5. 全面贯彻国家标准,液压与气动的图形符号严格执行现行最新的国家标准(GB/T786.1—1993)。

本书由黄河水利职业技术学院郑兰霞任主编,马卫东、胡修池任副主编。郑兰霞编写第1章,于冰编写第2章,张俊海编写第3章和附录,马卫东编写第4章,张延编写第5章、第10章,胡修池编写第6章,靳征昌编写第7章,贾磊编写第8章、第9章。华北水利水电学院袁昕为本书主审,对本书进行了细致、详尽的审阅,提出了许多宝贵意见。在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在一些疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年5月

目 录

第一篇 液 压 传 动

第 1 章 液压传动基础 1

1.1 液压传动的工作原理及组成 1

1.1.1 液压传动的工作原理 1

1.1.2 液压传动系统的组成 2

1.1.3 液压传动系统的图形符号 3

1.2 液压传动的特点 3

1.2.1 液压传动的优点 3

1.2.2 液压传动的缺点 4

1.3 液压油 4

1.3.1 液压油的主要性质 4

1.3.2 液压油的种类 6

1.3.3 液压油的使用 7

1.4 液压传动基本理论 9

1.4.1 液体静力学基础 9

1.4.2 液体动力学基础 12

1.4.3 液流的压力损失 15

1.4.4 小孔和缝隙的流量 17

1.4.5 气穴现象和液压冲击 19

思考与练习 20

第 2 章 液压泵 22

2.1 液压泵的工作原理及性能参数 22

2.1.1 液压泵的工作原理 22

2.1.2 液压泵的主要性能参数 23

2.2 齿轮泵 24

2.2.1 齿轮泵的工作原理和结构 24

2.2.2 齿轮泵的困油问题 25

2.2.3 齿轮泵的径向不平衡力 25

2.2.4 齿轮泵的排量和流量 26

2.2.5 中高压齿轮泵的特点 26

2.2.6 内啮合齿轮泵 27

2.3 叶片泵 28

2.3.1 单作用叶片泵 28

2.3.2 双作用叶片泵 30

2.4 柱塞泵 33

2.4.1 轴向柱塞泵 33

2.4.2 径向柱塞泵 36

2.5 液压泵的选用与维护 37

2.5.1 液压泵的选用 37

2.5.2 液压泵的使用与维护 37

2.5.3 液压泵的常见故障及排除方法 38

能力训练 1 液压泵的拆装 40

思考与练习 42

第 3 章 液压缸与液压马达 44

3.1 液压缸的类型 44

3.1.1 活塞缸 44

3.1.2 柱塞缸 46

3.1.3 摆动缸 47

3.1.4 其他液压缸 48

3.2 液压缸的设计 49

3.2.1 工作压力 49

3.2.2 主要尺寸的确定 49

3.2.3 液压缸的结构设计 51

3.3 液压马达 54

3.3.1 液压马达的性能参数 55

3.3.2 轴向柱塞马达 56

3.3.3 叶片式液压马达 57

3.4 液压缸的使用与维护 57

3.4.1 液压缸的使用 57

3.4.2 液压缸的常见故障及排除方法	58	5.2 滤油器	95
3.5 液压马达的使用与维护	58	5.2.1 滤油器的主要性能指标	95
3.5.1 液压马达的使用与维护	58	5.2.2 滤油器的主要类型	96
3.5.2 液压马达的常见故障及排除方法	58	5.2.3 滤油器的选用和安装	97
能力训练2 液压缸的拆装	59	5.3 蓄能器	98
思考与练习	60	5.3.1 蓄能器的功用	98
第4章 液压阀	62	5.3.2 蓄能器的类型	98
4.1 方向控制阀	63	5.3.3 蓄能器的使用和安装	99
4.1.1 单向阀	63	5.4 压力继电器、压力表、压力表开关	99
4.1.2 换向阀	64	5.4.1 压力继电器	99
4.2 压力控制阀	71	5.4.2 压力表	100
4.2.1 溢流阀	72	5.4.3 压力表开关	100
4.2.2 顺序阀	74	5.5 管件	101
4.2.3 减压阀	76	5.5.1 油管	101
4.2.4 溢流阀、顺序阀和减压阀的比较	76	5.5.2 管接头	102
4.3 流量控制阀	77	5.6 密封装置	103
4.3.1 流量控制的特性	77	5.6.1 间隙密封	103
4.3.2 节流阀	79	5.6.2 密封元件	104
4.3.3 调速阀	79	5.6.3 对密封装置的使用要求	106
4.4 其他液压控制阀	81	5.7 油冷却器	106
4.4.1 比例阀	81	5.7.1 水冷式冷却器	107
4.4.2 叠加阀	82	5.7.2 风冷式冷却器	107
4.4.3 二通插装阀	83	5.7.3 油冷却器安装的场所	107
4.4.4 电液伺服阀	85	思考与练习	108
4.5 液压阀的使用与维护	86	第6章 液压基本回路	109
4.5.1 液压控制阀的安装使用	86	6.1 方向控制回路	109
4.5.2 液压控制阀的故障原因及排除方法	87	6.1.1 换向回路	109
能力训练3 液压阀的拆装	90	6.1.2 锁紧回路	110
思考与练习	91	6.1.3 浮动回路	110
第5章 液压辅助元件	93	6.2 压力控制回路	111
5.1 油箱	93	6.2.1 调压回路	111
5.1.1 油箱的结构	93	6.2.2 卸荷回路	112
5.1.2 油箱的设计要点	94	6.2.3 平衡回路	113
		6.2.4 减压回路	114
		6.2.5 增压回路	114
		6.2.6 保压回路	115
		6.3 速度控制回路	116

6.3.1 调速回路	116	7.4 塑料注射成型机液压系统	145
6.3.2 快速回路	125	7.4.1 概述	145
6.3.3 速度换接回路	126	7.4.2 液压系统工作原理	146
6.4 多缸工作控制回路	128	7.4.3 液压系统特点	149
6.4.1 顺序动作回路	129	7.5 汽车起重机液压系统	150
6.4.2 同步动作回路	130	7.5.1 概述	150
6.4.3 互不干扰回路	132	7.5.2 液压系统工作原理	150
能力训练 4 基本回路的设计与安装	132	7.5.3 液压系统特点	153
思考与练习	134	7.6 挖掘机液压系统	153
第 7 章 液压传动系统	137	7.6.1 概述	153
7.1 组合机床动力滑台液压系统	137	7.6.2 液压系统工作原理	153
7.1.1 概述	137	7.6.3 液压系统特点	155
7.1.2 液压系统工作原理	139	7.7 液压系统的使用与维护	156
7.1.3 液压系统特点	139	7.7.1 液压系统的安装与调试	156
7.2 数控车床液压系统	140	7.7.2 液压系统的使用与维护	158
7.2.1 概述	140	7.7.3 液压系统的常见故障及排除方法	158
7.2.2 液压系统工作原理	141	能力训练 5 液压系统的设计	161
7.2.3 液压系统特点	142	能力训练 6 液压系统的故障诊断及排除	163
7.3 多轴钻床液压系统	142	思考与练习	164
7.3.1 概述	142		
7.3.2 液压系统工作原理	142		
7.3.3 液压系统特点	144		

第二篇 气压传动

第 8 章 气压传动概述	165	9.1.2 空气净化装置	169
8.1 气压传动系统的工作原理及组成	165	9.1.3 储气罐	172
8.1.1 气压传动系统的工作原理	165	9.1.4 油雾器	172
8.1.2 气压传动系统的组成	166	9.2 气动执行元件	174
8.2 气压传动的特点	167	9.2.1 气缸	174
8.2.1 气压传动的优点	167	9.2.2 气动马达	179
8.2.2 气压传动的缺点	167	9.3 气动控制元件	180
思考与练习	167	9.3.1 压力控制阀	180
第 9 章 气动元件	168	9.3.2 流量控制阀	181
9.1 气源装置	168	9.3.3 方向控制阀	183
9.1.1 空气压缩机	168	9.4 气动逻辑元件	184
		9.5 气动辅助元件	186
		思考与练习	187

第 10 章 气动回路及应用实例188

10.1 气动基本回路188

10.1.1 换向回路188

10.1.2 速度控制回路189

10.1.3 压力控制回路191

10.1.4 气液联动回路191

10.2 气压传动系统应用实例193

10.2.1 工件夹紧气压传动系统193

10.2.2 数控加工中心气动换刀系统194

思考与练习195

附录 常用液压与气动元件图形符号 (GB/T786.1—1993)196

参考文献200

第一篇 液压传动

液压传动广泛应用于机床、工程机械和建筑机械等设备上。它使用压力油作为传递能量的载体来实现传动与控制，而实现传动与控制必须要由各类泵、阀、缸及管道等元件组成一个完整的系统。本篇主要讲述组成系统的各类液压元件的结构、工作原理、应用方法，以及由这些元件组成的各种控制回路的作用和特点。

学习要求：

熟悉液压油的物理性质，了解流体力学的基础知识；掌握液压泵、液压缸、液压控制阀及液压系统中的辅助装置的基本结构和工作原理；掌握液压系统常用回路的基本工作原理及基本工作特性；理解典型液压系统的工作原理，掌握分析液压系统的方法，能进行简单液压回路的设计，对现有液压系统进行保养、调试及简单维修。

第 1 章 液压传动基础

本章是学习液压传动技术的基础，主要讲述液压传动的工作原理、组成和特点，液压油的主要性质、使用与污染控制，液体静力学的基本特性、液体流动时的运动特性、流经管路的压力以及流经孔口和缝隙的流量等液压基础知识。

本章重点是液压传动的工作原理、组成，液压油的性质，液体动力学的基础知识和液体流经管路的压力损失。

1.1 液压传动的工作原理及组成

液压传动是用液体作为工作介质，在密封的回路里，利用液体的压力能进行能量传递的传动方式。

1.1.1 液压传动的工作原理

先从分析最简单的液压传动实例开始，认识液压传动。

图 1.1 所示为液压千斤顶的工作原理图。大、小两个液压缸 9 和 2 的内部分别装有活塞 8 和 3，活塞和缸体之间保持一种良好的配合关系，不仅活塞能够在缸内滑动，而且配合面之间能实现可靠的密封。当向上提起杠杆 1 时，小活塞 3 就被带动上升，于是小液压

缸下腔的密封工作容积便增大。这时，由于单向阀 4 和 7 分别关闭了它们各自所在的油路，所以在小液压缸 2 下腔形成了部分真空，油箱 12 中的油液就在大气压力作用下推开单向阀 4 沿吸油孔道进入小液压缸下腔，完成一次吸油动作。接着，压下杠杆 1，小活塞 3 下移，小液压缸下腔的工作容积减小，把其中的油液挤出，推开单向阀 7（此时单向阀 4 关闭了通往油箱的油路），油液便经两个液压缸之间的连接孔道进入大液压缸 9 的下腔。由于大液压缸的下腔也是一个密封的工作容积，所进入的油液因受挤压而产生作用力推动大活塞 8 上升，并将重物向上顶起一段距离。如此反复地提、压杠杆 1，就可以使重物不断上升，达到起重的目的。

如将截止阀 11 旋转 90°，则在重物自重的作用下大液压缸下腔的油液流回油箱 12，活塞就下降到原位。

从上例可以看出：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，可知液压传动是以液体作为介质来进行能量传递的一种传动方式。它依靠容积的变化传递运动，依靠液体内部的压力（由外界负载所引起的）传递动力。液压传动装置本质上是一种能量转化装置，它先将机械能转换为便于输送的液压能，随后又将液压能转换为机械能而作功。

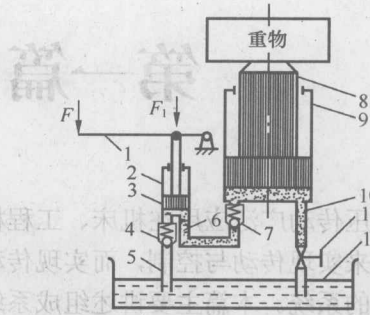


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

- 1—杠杆；2—小液压缸；3—小活塞；4、7—单向阀；
5—吸油管；6、10—管道；8—大活塞；
9—大液压缸；11—截止阀；12—油箱

1.1.2 液压传动系统的组成

图 1.2 所示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的液压传动系统应具备的基本性能和组成。

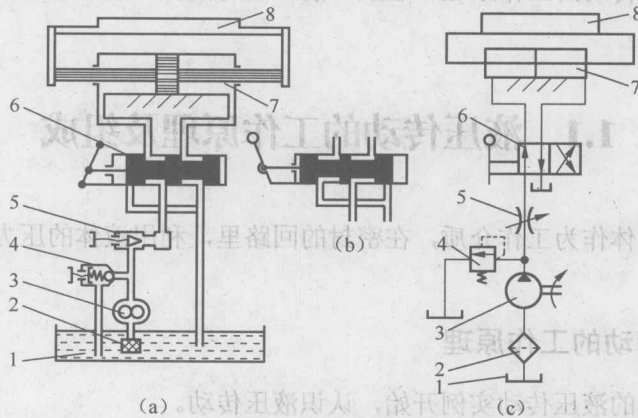


图 1.2 机床工作台液压传动系统

- 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

在图 1.2 (a) 中, 液压泵 3 由电动机驱动从油箱 1 中吸油。液压油经过滤器 2 过滤后流向液压泵, 经液压泵向系统供油。来自液压泵的压力油流经节流阀 5, 并经换向阀 6 进入液压缸 8 的左腔, 推动活塞连同工作台 8 向右运动。这时, 液压缸右腔的油通过换向阀 6 经回油管流回油箱。

如果将换向阀 6 的手柄扳回到左边位置, 使换向阀处于图 1.2 (b) 所示的状态, 油液则经换向阀进入液压缸 8 的右腔, 推动活塞连同工作台 7 向左运动。这时, 液压缸左腔的油通过换向阀和回油管流回油箱。

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, 进入液压缸的油液流量较大, 工作台的移动速度也较快; 反之, 当节流阀开口较小时, 进入液压缸的油液流量较小, 工作台的移动速度则较慢。

工作台移动时必须克服阻力, 例如要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, 泵出口多余的压力油也需要排回油箱。这些功能是由溢流阀 4 来实现的, 调节溢流阀弹簧的预紧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排回油箱。

从上述例子可以看出, 液压传动系统由以下四部分组成。

(1) 动力装置——液压泵。将原动机输入的机械能转换为液体的压力能, 作为系统供油装置。

(2) 执行装置——液压缸 (或液压马达)。将液体压力能转换为机械能, 对负载做功。

(3) 控制调节装置——各种液压控制阀。用以控制液体的方向、压力和流量, 以保证执行装置完成预期的工作任务。

(4) 辅助装置——油箱、油管、滤油器、压力表、冷却器、管接头和各种信号转换器等。创造必要条件, 保证系统正常工作。

1.1.3 液压传动系统的图形符号

在图 1.2 (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。这种图形直观性强, 较易理解, 但难于绘制, 系统中元件数量较多时更是如此。

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。对于图 1.2 (a) 所示的液压系统, 如用国家标准 GB/T 786.1—1993 液压图形符号绘制时, 其系统原理图如图 1.2 (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参数。使用这些图形符号, 可使液压系统图简单明了, 易于绘制。GB/T 786.1—1993 液压图形符号见本书附录。

1.2 液压传动的特点

1.2.1 液压传动的优点

与机械传动、电气传动相比, 液压传动具有以下优点。

- (1) 液压传动装置运动平稳、反应快、惯性小,能高速启动、制动和换向。
- (2) 在同等功率情况下,液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。
- (3) 液压传动装置能在运行中方便地实现无级调速,且调速范围最大可达 1:2000。
- (4) 操作简便,易于实现自动化。当它与电气控制结合时,能实现复杂的自动工作循环和远距离控制。
- (5) 容易实现直线运动。
- (6) 易实现过载保护。一般采用矿物油为工作介质,液压元件能自行润滑,使用寿命较长。
- (7) 液压元件已实现了标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和使用。

1.2.2 液压传动的缺点

液压传动具有以下缺点。

- (1) 由于液压油的泄漏和可压缩性,液压传动不能保证严格的传动比。泄漏如果处理不当,不仅污染场地,而且还可能引起火灾和爆炸事故。
- (2) 液压传动对油温变化较敏感,这会影响到它的工作稳定性。因此液压传动不宜在很高或很低的温度下工作,一般工作温度在 $-15^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内较合适。
- (3) 液压元件在制造精度上要求较高,因此它的造价高,且对油液的污染比较敏感。
- (4) 液压传动在能量转换的过程中,压力、流量损失大,故系统效率较低。
- (5) 液压传动装置出现故障时不易查找原因,使用和维修要求有较高的技术水平。

1.3 液 压 油

液压油既是液压系统中传递功率的介质,又是液压元件的冷却、防锈和润滑剂。在工作中产生的磨粒和来自外界的污染物,也要靠液压油带走。液压油的黏性,对减少泄漏、保证液压元件的密封性能都起着重要作用。

1.3.1 液压油的主要性质

1. 密度

密度是单位体积液压油的质量:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1.1)$$

密度随着温度或压力的变化而变化,但变化不大,通常忽略不计,一般取 $\rho=890\text{ kg/m}^3\sim 910\text{ kg/m}^3$ 。

2. 黏性

液体在外力作用下流动或有流动趋势时,分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动而产生一种内摩擦力,这一特性称为液体的黏性。黏性是液体重要的物理特性,也是选择液压油的主要依据。液体黏性示意图如图 1.3 所示。

内摩擦力表达式:

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

牛顿液体内摩擦定律：液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 及液层之间的相对速度 du 成正比，而与液层间的距离 dy 成反比。 μ 是比例系数，也称为液体的黏性系数或动力黏度。

因为液体静止时， $\frac{du}{dy} = 0$ ，所以液体在静止状态时不呈现黏性。

黏性的大小用黏度表示。黏度可分为绝对黏度和相对黏度，绝对黏度包括动力黏度和运动黏度。

(1) 动力黏度

液体单位面积上的内摩擦力 τ 的表达式：

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

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) \quad (1.2)$$

动力黏度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。

动力黏度单位，在国际单位（SI 制）中为帕·秒（Pa·s）或牛顿·秒/米²（N·s/m²）。

(2) 运动黏度

动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值叫运动黏度，用 ν 表示。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1.3)$$

运动黏度没有明确的物理意义，其单位中只有长度和时间的量纲（m²/s，斯），类似于运动学的量，故称为运动黏度。工程中常用运动黏度（ ν ）作为液体黏度的标志。液压油的牌号就是用液压油在 40℃ 时的运动黏度平均值来表示的。

运动黏度的法定计量单位（IS 制）为 m²/s；以前沿用的非法定计量单位（CGS 制）为 St（斯）、cSt（厘斯）。它们之间的换算关系为

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

例如：牌号为 L-HL32 的液压油，指这种油在 40℃ 时的运动黏度平均值为 32mm²/s。

3. 黏温特性和黏压特性

黏度随着压力的变化而变化的特性叫黏压特性。液体的压力增大时，分子间的距离缩小，内聚力增大，其黏度值也随之增大。在一般情况下，压力对黏度的影响比较小，可以不考虑。

黏度随着温度的变化而变化的特性叫黏温特性。液体的温度升高时，分子间的内聚力减小，黏度就随之降低。液压油的黏度对温度的变化比较敏感，不同种类的液压油有不同的黏温特性。图 1.4 为典型液压油的黏温特性曲线。

4. 可压缩性

液体的可压缩性是指液体受压力作用而发生体积缩小的性质。体积为 V_0 的液体，当压

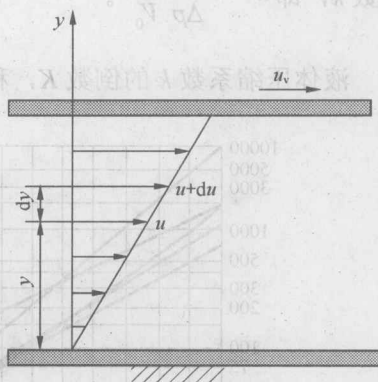


图 1.3 液体粘性示意图

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, 称为液体的压缩系数 k , 即 $k = -\frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p}$ 。

液体压缩系数 k 的倒数 K , 称为液体的体积模量, 即 $K = \frac{1}{k}$ 。

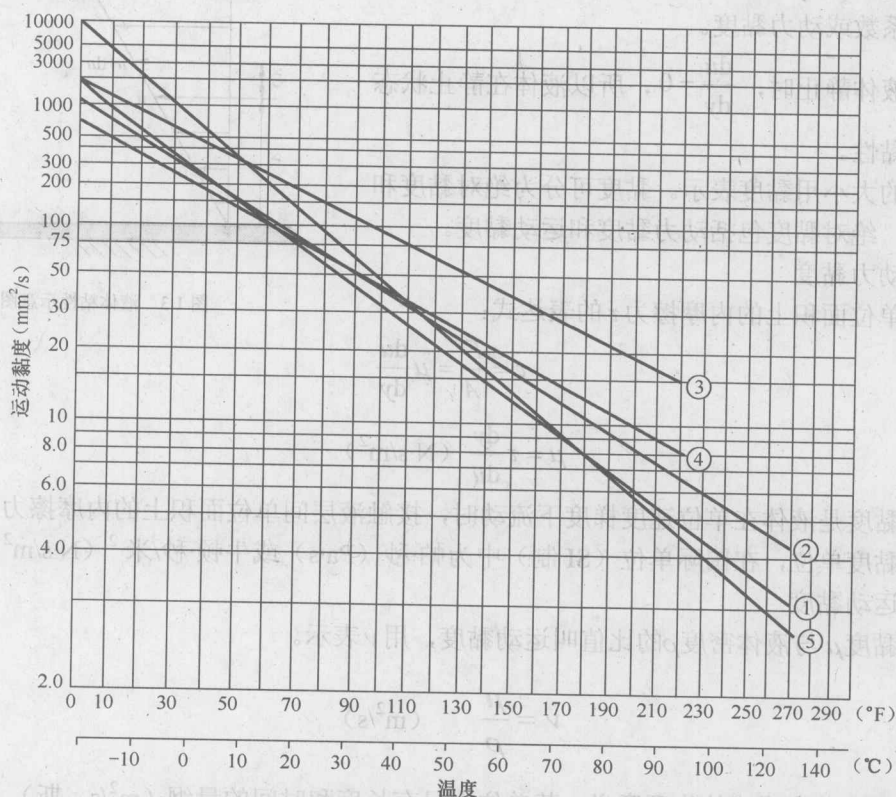


图 1.4 典型液压油的粘温特性曲线

- ①—矿油型通用液压油；②—矿油型高黏度指数液压油；
③—水包油乳液；④—水-乙二醇液；⑤—磷酸酯液

一般认为油液不可压缩（因压缩性很小），若分析动态特性或压力变化很大的高压系统，则必须考虑可压缩性的影响。

5. 其他性质

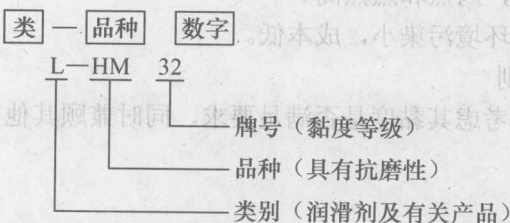
物理性质：润滑性（在金属摩擦表面形成牢固油膜的能力）、抗燃性、抗凝性、抗泡沫性、抗乳化性、凝点、闪点（明火能使油面上油蒸气闪燃，但油本身不燃烧的温度）和燃点（使油液能自行燃烧的温度）等。

化学性质：热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、相容性（对密封材料、涂料等非金属材料化学作用程度，如不起作用或很少起作用则相容性好）和毒性等。

1.3.2 液压油的种类

国际标准化组织于 1982 年按照液压油的组成和主要特性编制和发布了 ISO 6743/4: 1982

《润滑剂、工业润滑油和有关产品（L 类）的分类——第 4 部分：H 组（液压系统）》。我国于 1987 年等效采用上述标准制定了国家标准 GB/T 7631.2—1987。液压油的各部分含义如下：



液压油一般有矿油型、合成型和乳化型三大类，主要类型及其特性和用途如表 1.1 所示。

表 1.1 液压油的主要类型及其特性和用途

类 型	名 称	ISO 代号	特性和用途
矿油型	通用液压油	L-HL	精制矿油加添加剂，提高抗氧化和防锈性能，适用于室内一般设备的中低压系统
	抗磨型液压油	L-HM	L-HL 油加添加剂，改善抗磨性能，适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HV 可用于环境温度在-40℃~-20℃的高压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂，改善黏温特性，VI 值达 175 以上，适用于对黏温特性有特殊要求的低压系统，如数控机床液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 油加添加剂，改善黏温特性，适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	全损耗系统用油	L-HH	浅度精制矿油，抗氧化性、抗泡沫性较差，主要用于机械润滑，可作液压代用油，用于要求不高的低压系统
	汽轮机油	L-TSA	深度精制矿油加添加剂，改善抗氧化性、抗泡沫性能，为汽轮机专用油，可作液压代用油，用于一般液压系统
乳化型	水包油乳化液	L-HFA	难燃、黏温特性好，有一定的防锈能力，润滑性差，易泄漏，适用于有抗燃要求、油液用量大且泄漏严重的系统
	油包水乳化液	L-HFB	既具有矿油型液压油的抗磨、防锈性能，又具有抗燃性，适用于有抗燃要求的中压系统
合成型	水-乙二醇液	L-HFC	难燃，黏温特性和抗蚀性好，能在-30℃~60℃温度下使用，适用于有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃，润滑抗磨性能和抗氧化性能良好，能在-54℃~135℃温度范围内使用，缺点是有毒。适用于有抗燃要求的高压精密系统

1.3.3 液压油的使用

液压系统对液压油的要求如下。

- (1) 合适的黏度和良好的粘温特性。一般液压系统所选用的液压油，其运动黏度大多为 13 cSt~68 cSt（40℃下）。
- (2) 良好的化学稳定性，使用寿命长。
- (3) 良好的润滑性能，以减小元件中相对运动表面的磨损。
- (4) 质地纯净，不含或含有极少量的杂质、水分和水溶性酸碱等。
- (5) 对金属和密封件有良好的相容性。

- (6) 抗泡沫性好, 抗乳化性好, 腐蚀性小, 抗锈性好。
- (7) 体积膨胀系数低, 比热容高。
- (8) 凝点和流动点低, 闪点和燃点高。
- (9) 对人体无害, 对环境污染小, 成本低。

1. 液压油的选择原则

选择液压油时, 首先考虑其黏度是否满足要求, 同时兼顾其他方面。选择时应考虑如下因素。

- (1) 液压泵的类型。
- (2) 液压系统的工作压力。
- (3) 运动速度。
- (4) 环境条件 (包括温度、室内、露天、水下等)。
- (5) 防污染的要求。
- (6) 技术经济性 (包括价格、使用寿命、维护保养的难易程度等)。

总之, 选择液压油时, 一是考虑液压油的品种, 二是考虑液压油的黏度。

2. 品种和黏度的选用

首先根据工作条件 (工作部件运动速度、工作压力、环境温度) 和液压泵的类型选择油液品种, 然后选择液压油的黏度等级。一般来说, 工作部件运动速度慢、工作压力高、环境温度高, 宜用黏度较高的液压油 (以降低泄漏); 工作部件运动速度快、工作压力低、环境温度低, 宜用黏度较低的液压油 (以降低功率损失)。通常根据液压泵的要求来确定液压油的黏度。表 1.2 列出各种液压泵合适的用油黏度范围及推荐用油牌号。

表 1.2 液压泵用油的黏度范围及推荐牌号

名 称	运动黏度 mm ² /s		工作压力 MPa	工作温度 ℃	推 荐 用 油
	允 许	最 佳			
叶片泵	16~220	26~54	7	5~40	L-HH32, L-HH46
				40~80	L-HH46, L-HH68
			>14	5~40	L-HL32, L-HL46
				40~80	L-HL46, L-HL68
齿轮泵	4~220	25~54	<12.5	5~40	L-HL32, L-HL46
				40~80	L-HL46, L-HL68
			10~20	5~40	L-HM46, L-HM68
				40~80	L-HM46, L-HM68
			16~32	5~40	L-HM32, L-HM68
				40~80	L-HM46, L-HM68
径向柱塞泵	10~65	16~48	14~35	5~40	L-HM32, L-HM46
				40~80	L-HM46, L-HM68
轴向柱塞泵	4~76	16~47	>35	5~40	L-HM32, L-HM68
				40~80	L-HM68, L-HM100

3. 使用

除了合理地选择液压油外, 使用中还应注意以下问题。

- (1) 对长期使用的液压油, 应使其长期处于低于它开始氧化的温度下工作。
- (2) 在储存、搬运及加注过程中, 应防止油液被污染。
- (3) 对油液定期抽样检验, 并建立定期换油制度。
- (4) 油箱的储油量应充分, 以利于液压系统的散热。
- (5) 保持液压系统的密封良好, 一旦有泄漏就应立即排除。

4. 液压油的污染及其控制

液压油中的污染物来源包括: 液压装置组装时残留下来的污染物(如切屑、毛刺、型砂、磨粒、焊渣、铁锈等); 从周围环境混入的污染物(如空气、尘埃、水滴等); 在工作过程中产生的污染物(如金属微粒、锈斑、涂料剥离片、密封材料剥离片、水分、气泡以及液压油变质后的胶状生成物等)。

固体颗粒使元件加速磨损, 寿命缩短, 使泵性能下降, 甚至使阀芯卡死, 滤油器堵塞。水的侵入不仅会产生气蚀, 而且还将加速液压油的氧化, 并与添加剂起作用产生黏性胶质, 堵塞滤油器。空气的混入将导致泵气蚀及执行元件低速爬行。

为了减少油液的污染, 可采取以下措施。

(1) 液压元件在加工的每道工序后都应净化, 装配后严格清洗。系统在组装前, 油箱和管道必须清洗。用机械方法除去残渣和表面氧化物, 然后进行酸洗。系统在组装后, 用系统工作时使用的液压油(加热后)进行全面清洗, 并将清洗后的介质换掉。系统冲洗时应设置高效滤油器, 并启动系统使元件动作, 用铜锤敲打焊口和连接部位。

(2) 在油箱呼吸孔上装设高效空气滤清器或采用隔离式油箱, 防止尘土、磨料和冷却水的侵入。液压油必须通过滤油器注入系统。

(3) 系统应设置过滤器, 其过滤精度应根据系统的不同情况来选定。

(4) 系统工作时, 一般应将液压油的温度控制在 65°C 以下。液压油温度过高会加速氧化, 产生各种生成物。

(5) 系统中的液压油应定期检查和更换, 在注入新的液压油前, 整个系统必须先清洗一次。

1.4 液压传动基本理论

1.4.1 液体静力学基础

1. 压力及其表示

液体单位面积上所受的垂直力, 物理学中称压强, 液压传动中习惯称压力。通常以 p 表示:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1.4)$$

压力的法定单位为帕斯卡, 简称帕, 符号为 Pa, $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。工程上常用单位为兆帕(MPa)。它们的换算关系是 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

压力的表示法有两种: 绝对压力和相对压力。绝对压力是以绝对真空作为基准所表示的