



教育部高等职业教育
示范专业规划教材

数控技术专业



液压与气动

马廉洁 主编

YEYA YU QIDONG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等职业教育示范专业规划教材
数控技术专业

液 压

与 气 动

主 编 马廉洁
副主编 单淑梅 韩廷水
参 编 张文祥 赵春红
主 审 李玉山

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是高等职业教育示范专业规划教材。全书共分十三章,第二至七章为液压传动,第八至十三章为气动技术。本书主要讲述了流体力学的基本知识,液压、气动元件的结构及工作原理、特点及应用,液压、气动的基本回路和典型系统分析,液压、气动程序控制回路,气动电气控制回路设计方法等。

本书大量引入了当前企业广泛应用的新技术,在内容编排上按先宏观后微观的原则进行,内容简洁、通俗易懂,具有很强的针对性和实用性。建议学时为 60 学时。

本书可作为高等职业教育机械类各专业的教学用书,也可供相关专业学生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动/马廉洁主编. —北京:机械工业出版社,
2009.4

教育部高等职业教育示范专业规划教材. 数控技术专业
ISBN 978-7-111-26203-9

I. 液… II. 马… 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(2009)第 014658 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:郑 丹 责任编辑:张双国

版式设计:张世琴 责任校对:李 婷

封面设计:鞠 杨 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.25 印张·351 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26203-9

定价:25.00 元

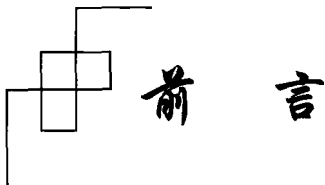
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379171

封面无防伪标均为盗版



我国高职高专教育的培养目标着眼于技能型、实用型人才,高职高专教育的教材改革也不断深化,教材体系应反映生产实践背景,教材内容应体现实用性。为适应当前我国高职高专教育发展的需要,配合“国家示范性高等职业院校建设计划”,促进示范建设院校专业(群)核心课程建设,打造高职高专精品教材,机械工业出版社于2007年1月在北京召开了“教育部高等职业教育示范专业(数控技术专业、模具设计与制造专业)规划教材建设研讨会”。本书就是在这样的背景下,基于这一理念编写完成的。

全书包括液压和气动两部分,共分为十三章,第一章为液压与气动技术概论,第二至七章为液压传动,第八至十三章为气动技术。

在本书的编写过程中,编者力求贯彻少而精和理论联系实际的原则,强调针对性和实用性。本书具有如下特点:

1) 教材体系力求与生产实践相统一。与其他同类教材比较,本书中气动技术的有关内容有较大幅度增加,同时增加了液压与气动系统电气与程序控制等相关内容,以适应现代企业生产线、生产设备的实际情况,而对传统液压元件、流体力学理论等内容作了必要的删减。

2) 教材内容力求与教学规律相统一。本书在内容安排上贯彻了先感性后理性、从宏观到微观的原则。在学习各元件结构原理之前,首先介绍与该元件应用有关的典型回路或系统,及其在回路中的安装位置、作用,然后重点介绍元件的结构原理及其在回路中的应用,使元件与系统有机地结合起来。

3) 突出针对性、实用性。教材内容以当前广泛应用的液压与气动技术为主体,重点介绍元件的应用及回路设计方法,注重学生的技能培养。基础理论以必需、够用为度,力求简单实用,符合高职高专教育的特点。

本书适合高等职业技术学院、高等专科学校、职业大学机械类各专业学生使用,也适用于各类成人高校、自学考试等专科层次的机械、机电类专业学生,还可供相关工程技术人员参考。

本书由马廉洁任主编并统稿,单淑梅、韩廷水任副主编。本书具体的编写分工为:东北大学马廉洁编写第一、五、七章,长春汽车工业高等专科学校单淑梅编写第八、九章,泰山

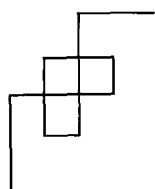


职业技术学院韩廷水编写第六、十三章，石家庄机械技工学校张文祥编写第十、十一、十二章，山西综合职业技术学院赵春红编写第二、三、四章。

本书由秦皇岛职业技术学院李玉山任主审。白城师范学院于秀华对书稿进行了校对。

由于编者水平所限，书中错误、不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者



目 录

前言

第一章 液压与气动技术概论	1
第一节 液压与气动技术的发展	1
第二节 液压与气压传动的工作原理、组成及图形符号	3
第三节 液压与气动技术的特点	5
习题	6
第二章 流体传动基础理论	7
第一节 流体传动的工作介质与性能	7
第二节 液体流动时的压力损失及流量	15
第三节 液体冲击与气穴现象	18
习题	19
第三章 液压动力元件	21
第一节 液压泵的工作原理	21
第二节 液压泵的主要性能与参数	22
第三节 液压泵的结构	23
第四节 液压泵与电动机参数的选用	30
习题	31
第四章 液压执行元件及辅助元件	33
第一节 液压缸	33
第二节 液压马达	38
第三节 液压辅助元件	42
习题	48
第五章 液压控制元件	50
第一节 液压控制元件概述	50
第二节 方向控制阀	52
第三节 压力控制阀及其应用	61
第四节 流量控制阀及其应用	69

第五节 叠加阀	76
第六节 插装阀	82
习题	87
第六章 液压基本回路	90
第一节 压力控制回路	90
第二节 速度控制回路	96
第三节 多缸工作控制回路	99
第四节 其他回路	102
习题	104
第七章 典型液压系统	106
第一节 组合机床动力滑台液压系统	106
第二节 180t 板金冲床液压系统	109
第三节 多轴钻床液压系统	112
第四节 塑料注射成型机液压系统	115
第五节 机电一体化液压挖掘机系统	120
第八章 气源装置及系统	124
第一节 概述	124
第二节 压缩空气	125
第三节 气源系统及空气净化处理装置	129
第四节 压缩空气的输送	138
习题	140
第九章 气动执行元件	141
第一节 气缸	141
第二节 气动马达	152
第三节 气缸的选择和使用要求	153
习题	154
第十章 气动控制元件	155

第一节	方向控制阀	155	第一节	气动基本回路	174
第二节	流量控制阀	162	第二节	气动程序控制回路	186
第三节	压力控制阀	164	习题		197
习题		168	第十三章	电气气动控制系统	198
第十一章	真空元件及真空吸附回路	169	第一节	电气控制的基本知识	198
第一节	真空发生器	169	第二节	电气回路图绘图原则	199
第二节	真空吸盘	170	第三节	基本电气回路	200
第三节	真空控制元件	171	第四节	电气气动程序回路设计	202
第四节	真空吸附回路	172	习题		215
习题		173	附录	常用液压与气动元件图形符号	216
第十二章	气动程序控制系统	174	参考文献		221

第一章 液压与气动技术概论

第一节 液压与气动技术的发展

一、液压与气动技术的发展过程

相对于机械传动, 液压传动技术起步较晚。自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起, 液压传动技术只有二三百年的历史, 直到 20 世纪 30 年代才较普遍地用于起重机、机床及工程机械。

第二次世界大战期间, 出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。第二次世界大战结束后, 液压技术迅速转向民用工业, 不断应用于各种自动机械及自动生产线, 从而使它在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业得到推广应用。

1829 年出现了多级空气压缩机, 为气压传动的发展创造了条件。1871 年风镐开始用于采矿。1868 年美国人发明了气动制动装置, 并在 1872 年用于铁路车辆的制动。20 世纪 50 年代, 气动技术成功用于导弹尾翼控制的高压气动伺服机构。20 世纪 60 年代射流的发现和气动逻辑元件的发明, 使气动技术得到了很大发展。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代, 最初只应用于机床和锻压设备上, 后来又用于拖拉机和工程机械。我国的液压与气动技术随着从国外引进一些液压气动元件、生产技术以及进行自行设计, 已在各种机械设备上得到了广泛的使用。

二、液压与气动技术的发展趋势

随着原子能技术、空间技术、计算机技术的发展, 液压与气动技术已渗透到各个工业领域中, 并开始向高速、高压、大功率、高效率、低噪声、高度集成化的方向发展。

液压与气动技术已成为工业机械、工程建筑机械及国防尖端产品不可缺少的重要技术。液压与气动技术的革新主要体现在液压现场总线技术、自动化控制软件技术、液压与气动节能技术等方面。

1. 液压现场总线与气动智能化技术

随着现代制造技术的飞速发展, 流体控制技术和电子控制技术的结合越来越紧密, 液压总线技术在液压系统中的应用越来越广泛。液压现场总线系统是在液压总线的供油路和回油路间安装数个开关液压源, 并与各自的控制阀、执行器相连接。液压现场总线技术具有良好的经济性、可操作性、可靠性、可维护性、人机对话界面等特点。

气动技术的智能化指的是具有集成微处理器, 并具有处理指令和程序控制功能的单元或元件。市场上出现的内置可编程序控制器的阀岛, 是新一代的电/气一体化的控制元器件, 由多个电控气阀构成, 并集成了信号的输入/输出以及信号的控制。最典型的智能气动元件

是内置可编程控制器的阀岛，以阀岛和现场总线技术的结合实现的气电一体化是目前气动技术的一个发展方向。

2. 自动化控制软件技术

以微机软件为基础的控制方案在不同类型的液压控制中是较好的控制方案。利用液压技术控制回路(控制阀、变量泵)和执行机构(液压缸、液压马达)不同的变型与组合配置，可以提供多种不同特性的控制方案。有些液压控制的运动与电气驱动的运动类似，因此，这样的液压运动控制也可以当作坐标轴的电气运动控制来对待和处理。操作监控与机床运动的相互集成必须是更简单、更方便和更高效的。

气动系统的最大优点之一是单独元件的组合能力。无论是各种不同大小的控制器还是不同功率的控制元件，在一定应用条件下，都具有随意组合性。模块化发展是非常重要的。完整的模块以及独立的功能单元，只需简单地进行组装即可投入使用，这样不仅可大大节约装配时间，同时用户也无需配备各种经专门培训的技术人员。另外，集成化元件的出现使气动技术的集成化程度大大地提高了。随着气动技术的发展，元件正从单一功能型向多功能系统、通用化模块、集成化方向发展。

3. 液压与气动节能技术

液压与气动系统的能量损失包括各元件中运动件的摩擦损失、泄漏损失、溢流损失、节流损失、输入和输出功率不匹配的无功损失几方面。节能是液压与气动技术的重要课题之一，随着节能和环保要求的日益高涨，有效活用能源和降低噪声已成为液压与气动行业的重要目标。小型化、微型化和系列化是其重要的发展方向。微型气动元件不但用于精密机械加工及电子制造业，而且用于制药业、医疗技术、包装技术等。

三、液压与气动技术的应用

液压与气动技术在机械设备中的应用非常广泛。有的设备是利用它能传递大的动力、结构简单、体积小、重量轻的优点，如工程机械、矿山机械、冶金机械等；有的设备是利用它操纵控制方便，能较容易地实现较复杂工作循环的优点，如各类金属切削机床、轻工机械、运输机械、军工机械、各类装载机等。液压与气压传动在各类机械行业中的应用见表 1-1。

表 1-1 液压与气压传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用场所举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	汽车起重机、港口龙门起重机、叉车、装卸机械、传动带运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、塑料注射机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

第二节 液压与气压传动的工作原理、组成及图形符号

传动机构通常分为机械传动机构、电气传动机构和流体传动机构。

流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动。它包括液体传动和气体传动。

液体传动是以液体为工作介质的流体传动。它包括液力传动和液压传动。液力传动是主要利用液体动能的液体传动。液压传动是主要利用液体压力能的液体传动。

气压传动是以压缩气体为工作介质，靠气体的压力传递动力或信息的流体传动。传递动力的系统是将压缩气体经由管道和控制阀输送给气动执行元件，把压缩气体的压力能转换为机械能而做功；传递信息的系统是利用气动逻辑元件或射流元件以实现逻辑运算等功能，也称气动控制系统。

一、液压与气压传动的工作原理及结构组成

液压传动系统以液体作为工作介质，而气压传动系统则以气体作为工作介质。两种工作介质的不同在于：液体几乎不可压缩，气体却有一定的可压缩性。液压与气压传动在基本工作原理、元件的工作机理以及回路的构成等多方面是相似的。

下面就分别以液压千斤顶和气动剪料机系统来说明液压传动和气压传动的工作原理。

1. 液压传动的工作原理及结构组成

下面以图 1-1 所示的液压千斤顶为例，说明液压传动装置的工作原理及其组成。当手柄 1 带动活塞上移时，泵缸 2 的容积扩大形成真空，排油单向阀 4 关闭，油箱 5 中的液体在大气压力的作用下，经油管、吸油单向阀 3 进入泵缸 2 内；当手柄 1 带动活塞下移时，吸油单向阀 3 关闭，泵缸 2 中的液体推开排油单向阀 4，经油管进入液压缸 7，迫使活塞克服重物 8 的重力上升而做功。当需要液压缸 7 的活塞停止时，使手柄 1 停止运动，液压缸 7 中的液压力使排油单向阀 4 关闭，液压缸 7 的活塞就自锁不动。工作时截止阀 6 关闭，当需要液压缸 7 的活塞下移时，打开此阀，液体在重力的作用下经此阀排往油箱 5。

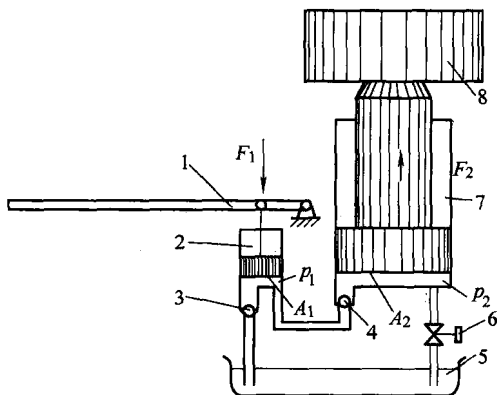


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—手柄 2—泵缸 3—吸油单向阀 4—排油单向阀
5—油箱 6—截止阀 7—液压缸 8—重物

液压传动装置由以下几部分组成：

- (1) 液压动力元件 把机械能转换成液体压力能的元件，如液压泵。
- (2) 液压执行元件 把液体压力能转换成机械能的元件，如液压缸、液压马达等。
- (3) 液压控制元件 通过对液体的方向、压力、流量的控制，来实现对执行元件的运动方向、作用力、速度等的控制的元件，如换向阀、减压阀等。
- (4) 液压辅助元件 上述 3 个组成部分以外的其他元件，如管道、管接头、油箱、过

滤器等。

2. 气压传动的工作原理及结构组成

下面以气动剪料机为例来说明气压传动的工作原理，如图 1-2 所示。

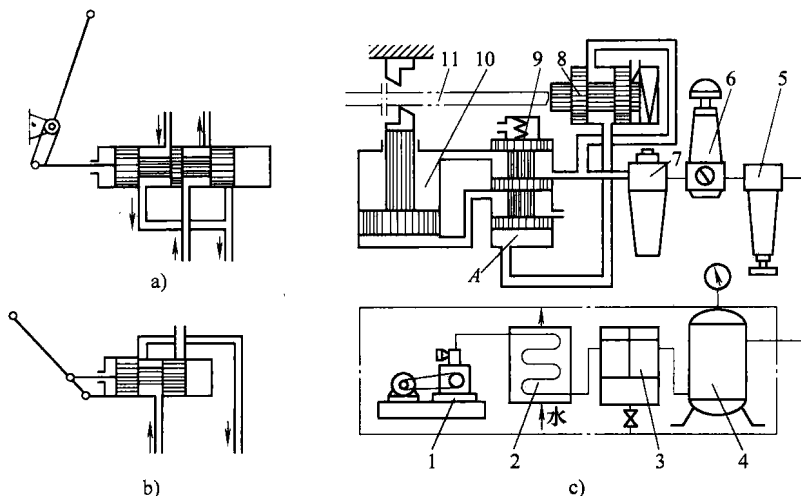


图 1-2 气压传动的工作原理

1—空气压缩机 2—冷却器 3—油水分离器 4—储气罐 5—分水滤气器
6—减压阀 7—油雾器 8—行程阀 9—换向阀 10—气缸 11—工料

在图 1-2 所示系统中，工料 11 送入剪料机并到达预定位置时，行程阀 8 的阀芯被推向右移，把换向阀 9 的控制腔 A 接通大气，于是在弹簧力作用下，换向阀 9 下移。由空气压缩机 1 产生并经净化储存在储气罐 4 中的压缩空气，经分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7、换向阀 9 排入大气，气缸活塞杆带动剪刀将工料 11 剪断，并随之松开行程阀 8 的阀芯使之复位，将排气通道隔断，将进气通道接通。于是换向阀 9 的控制腔内的气压升高，阀芯被推向上移，主气路被切换，压缩空气进入气缸 10 的上腔，气缸活塞向下运动并使气缸下腔排气，活塞向下运动带动剪刀复位，准备第二次下料。

气动系统也是能量转换与传递系统。与液压系统相比，尽管工作原理基本一样，但由于所用的工作介质的性质不同，在装置的构成上也有不少差别。

气压传动系统由气源元件、气动执行元件、气动控制元件和气动辅助元件组成。

(1) 气源元件 把机械能转换成气体压力能的元件。它是提供压缩空气的装置，一般采用空气压缩机。

(2) 气动执行元件 把压缩气体的压力能转换为机械能的装置。它用来驱动工作部件，包括气缸和气动马达。

(3) 气动控制元件 用来调节气流的方向、压力和流量，相应地分为方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀等。

(4) 气动辅助元件 包括净化空气用的分水滤气器，改善空气润滑性能的油雾器，消除噪声的消声器，管子联接件和气动传感器等。

二、液压与气压传动系统的图形符号

图 1-1 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图，图 1-2 所示的气压系统图是一

种半结构式的气压工作原理图。它们直观性强、容易理解，但其绘制比较麻烦。在实际工作中，除少数特殊情况外，一般都采用国标 GB/T 786.1—1993 所规定的液压与气动图形符号（参看附录）来绘制，如图 1-3、图 1-4 所示。

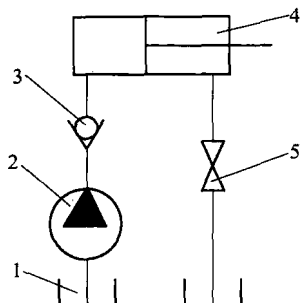


图 1-3 液压千斤顶液压

传动系统图形符号

1—油箱 2—液压泵 3—单向阀
4—液压缸 5—截止阀

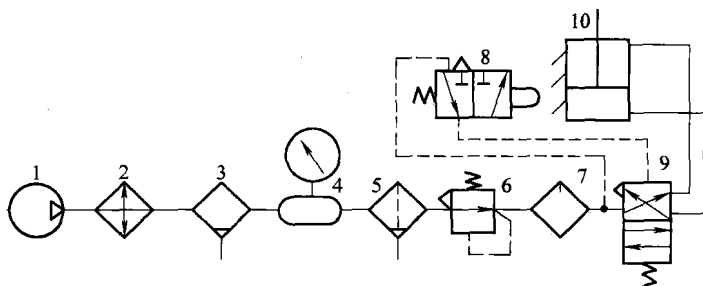


图 1-4 气动剪料机气压传动系统图形符号

1—空气压缩机 2—冷却器 3—油水分离器 4—储气罐 5—分水滤气器
6—减压阀 7—油雾器 8—行程阀 9—换向阀 10—气缸

按照规定，液压与气动组件的图形符号应以组件的静止位置或零位表示。图形符号只表示元件的功能，而不表示元件的具体结构和参数；只反映各元件在回路中的连接上的相互关系，不反映其空间安装位置；只反映静止位置或初始位置的工作状态，不反映其过渡过程。使用图形符号既便于绘制，又可使液压与气动系统简单明了。

第三节 液压与气动技术的特点

一、液压传动的主要特点

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) 液压传动的各种元件，可根据需要方便、灵活地来布置。
- 2) 重量轻、体积小、运动惯性小、反应速度快。
- 3) 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速（调速范围达 2000:1）。
- 4) 可自动实现过载保护。
- 5) 相对运动面可自行润滑，使用寿命长。
- 6) 容易实现直线运动，容易实现机器的自动化。当采用电液联合控制后，不仅可实现更高程度的自动控制过程，而且可以实现遥控。

2. 液压传动的主要缺点

- 1) 由于流体流动的阻力损失和泄漏较大，所以效率较低。
- 2) 容易造成环境污染，还可能引起火灾和爆炸事故。
- 3) 工作性能易受温度变化的影响，不宜在很高或很低的温度条件下工作。
- 4) 液压元件的制造精度要求较高，价格较贵。

二、气压传动的主要特点

1. 气压传动的优点

- 1) 工作介质来源方便, 用后排气处理简单, 不污染环境。
- 2) 空气的粘度很小, 管路损失也很小, 所以便于集中供气、远距离输送。
- 3) 气压传动结构简单、轻便, 安装维护简单, 动作迅速、反应快。
- 4) 工作环境适应性好, 特别在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣工作环境中, 比液压、电子、电气控制优越。
- 5) 压力等级低, 使用安全。
- 6) 能够实现过载自动保护。

2. 气压传动的缺点

- 1) 由于空气具有可压缩性, 因此工作速度稳定性较差。
- 2) 传递的功率较小, 因而气动系统输出力较小。
- 3) 噪声较大, 在高速排气时要加消声器。
- 4) 气动装置中的气信号传递速度在声速以内, 比电子及光速慢, 因此, 气动控制系统不宜用于元件级数过多的复杂回路。
- 5) 空气作为工作介质本身没有润滑性, 需另加装置进行给油润滑。

习 题

- 1-1 液压传动装置主要由哪几部分组成?
- 1-2 气压传动装置主要由哪几部分组成?
- 1-3 液压与气动组件的图形符号绘制的原则是什么?
- 1-4 液压传动的主要特点有哪些?
- 1-5 气压传动的主要特点有哪些?

第二章 流体传动基础理论

流体传动的工作介质是流体，主要包括液体与气体，流体传动常分为液体传动与气体传动两大类。本章主要讲解液体的性能和力学基本知识，为后续学习准备必要的基础理论知识。

第一节 流体传动的工作介质与性能

流体传动的工作介质在流体传动中起着传递运动、能量和信号的作用，可使设备达到预期的使用要求。

一、液压油

(一) 液压油的用途与要求

1. 液压油的用途

- (1) 传递作用 把液压泵提供的能量传递给执行元件，以达到设备使用要求。
- (2) 润滑作用 可润滑液压泵、液压阀、液压缸等液压系统的元件。
- (3) 密封作用 利用液压油的粘性减少泄漏，起到密封作用。
- (4) 冷却作用 液压油吸收液压系统能量损耗产生的热量，起冷却作用。
- (5) 去污作用 液压油流动时，可带走液压传动系统中的磨粒和污染物。
- (6) 防蚀作用 液压油可防止液压元件生锈和腐蚀，特殊酸碱液除外。

2. 液压油的要求

- (1) 可压缩性小 保证系统的快速响应。
- (2) 适中的粘度与粘温特性 保证系统的动力和运动参数，减少泄漏。
- (3) 良好的性能 良好的润滑性、良好的稳定性、良好的相容性、良好的防锈蚀性。

(二) 液压油的类型

液压油按国际标准的分类见表 2-1。目前 90% 以上的液压设备采用石油基液压油。基油为精制的石油润滑油。另外，海水、淡水在某些舰船液压系统中可作为工作介质。

表 2-1 液压油的分类

	类 别	组成与特性	代 码
液压油	石油基液压油	无添加剂的石油基液压油	L-HH
		HH + 抗氧化剂	L-HL
		HL + 抗磨剂	L-HM
		HL + 增粘剂	L-HR
		HM + 防爬剂	L-HG

(续)

液 压 油	类 别		组成与特性		代 码
	难燃液压力	含水液压力	水包油乳化液	水含量大于 80% (体积分数)	L-HFAE
			水的化学溶液		L-HFAS
			油包水乳化液	水含量小于 80% (体积分数)	L-HFB
			水-乙二醇液		L-HFC
		合成液压力	磷酸酯无水合成液		L-HFDR

为了满足液压设备的不同要求,往往在基油中加入各种添加剂,以改善液压油液的性能。常见添加剂:第一类改善液压油化学性能,如抗氧化剂、防腐剂等;第二类改善液压油物理性能,如增粘剂、抗磨剂等。

(三) 液压油的性质

液压油的性质有物理性质和化学性质,在此仅介绍物理性质中的密度、可压缩性和粘性。

1. 密度

单位体积液体所具有的质量称为该液体的密度。其计算公式如下:

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

式中 ρ ——液体的密度;

m ——液体的质量;

V ——液体的体积。

液压油的密度会随着压力或温度的变化而变化,由于其变化量很小,工程计算中一般将其忽略。

2. 可压缩性

液压油随压力增高而体积缩小的性质称为可压缩性。可压缩性一般用压缩率 k 表示,其计算公式如下:

$$k = - \frac{p_0}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2-2)$$

式中 k ——压缩率;

p_0 ——初始状态时液体的压力;

Δp ——液体的压力增加量;

ΔV ——液体的体积减小量;

V_0 —— p_0 时液体的体积。

由于压力增加时液体的体积缩小(两者变化方向相反),为使 k 为正值,需在式(2-2)右边加“-”号。其物理意义是液体在增加单位压力下体积的相对减小量。

液压油压缩率 k 的倒数称为液压油体积模量,用 K 表示:

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

其物理意义是液体抵抗外负载能力的大小。液压油的可压缩性是钢的 100 ~ 150 倍(钢的

体积模量为 $2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$)。当液压油中有气泡时, K 值将大幅度减小。一般情况下, 液压油的可压缩性对液压系统性能的影响不大; 但在高温、高压下, 温度升高时 K 值减小, 压力增加时 K 值增大, 并且是非线性变化。

3. 粘性

液体的粘性指液体流动时产生内摩擦力的性质。常用粘度衡量液体的粘性, 粘度高则粘性大。

如图 2-1 所示, 设相对面积为 A 、间距为 h 的两平行板间充满液体, 下板固定, 上板受拉力 F 作用, 以速度 u_0 向右匀速平移。由于液体和固体壁面间的附着力及液体的粘性作用, 液体内部呈现层状流动, 各层的速度大小不等 (粘结在下板上的液层速度为零, 粘结在上板上的液层速度为 u_0 , 中间各层液体的速度从上到下线性递减), 快速液层牵动慢速液层流动, 慢速液层阻碍快速液层流动。

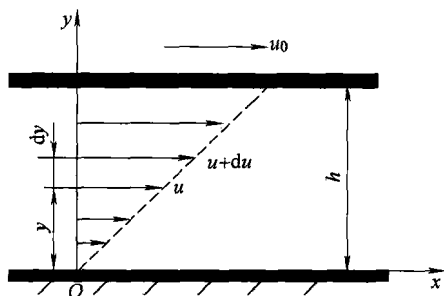


图 2-1 液体内摩擦力示意图

液体层间的切应力 τ (单位面积上的内摩擦力) 的计算公式如下:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$

式中 τ ——切应力;

F ——流动液体相邻液层间的内摩擦力;

A ——两板相对面积;

μ ——比例系数, 又称为粘性系数即动力粘度;

$\frac{du}{dy}$ ——液层间的速度梯度。

由式(2-4)可知, 在静止液体中, 由于速度梯度 $du/dy = 0$, 内摩擦力 $F = 0$, 所以静止液体不显示粘性, 流动液体才显示粘性。

液体粘度是衡量液体粘性的指标。常用绝对粘度是动力粘度 μ 与运动粘度 ν , 我国常用的相对粘度是恩氏粘度 E 。

(1) 动力粘度 μ 液体在以单位速度梯度流动时, 单位面积上的内摩擦力。动力粘度是表示液体流动时内摩擦力大小的粘性系数, 即

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

式中 μ ——液体动力粘度;

τ ——切应力;

$\frac{du}{dy}$ ——液层间的速度梯度。

动力粘度 μ 的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动粘度 ν 液体动力粘度与其密度之比, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-6)$$

式中 ν ——液体运动粘度；

μ ——液体动力粘度；

ρ ——液体的密度。

运动粘度 ν 的单位是 m^2/s 。

(3) 恩氏粘度 $^{\circ}E$ 温度为 t (单位为 $^{\circ}\text{C}$)的200mL被测液体由恩氏粘度计容器底部直径为 $\phi 2.8\text{mm}$ 的小孔中流尽所用的时间 t_1 ，与同体积温度为 20°C 的蒸馏水在同一粘度计中流完所用的时间 t_2 (通常 $t_2 = 51\text{s}$)之比，称为该被测液体在温度为 t 时的恩氏粘度，记为 $^{\circ}E$ 。即

$$^{\circ}E = \frac{t_1}{t_2} = \frac{t_1}{51} \quad (2-7)$$

恩氏粘度与运动粘度的换算关系为：

当 $1.3 \leq ^{\circ}E \leq 3.2$ 时， $\nu = 8^{\circ}E - 8.64/^{\circ}E$

当 $^{\circ}E > 3.2$ 时， $\nu = 7.6^{\circ}E - 4/^{\circ}E$

式中 ν 的单位为 $10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定。

(4) 温度、压力、气泡对粘度的影响 油液的粘度对温度的变化十分敏感，油液的粘度随温度升高而下降。在低压下，粘度变化不明显，可以忽略不计；当压力大于 50MPa 时，压力对粘度的影响显著。液压油中混入气泡时，局部分子间距增大，油液的粘度急剧下降、体积模量急剧降低。

(四) 液压油的选择与使用

1. 液压油的选择

液压油的选择包括品种和粘度的选择，其基本步骤如下：

1) 根据液压系统对液压油性能的要求(如粘度、温度界限、润滑性、相容性等)选择合适的液压油。

2) 查阅液压油的性能比较和应用范围(见表2-2)，选出符合系统要求的液压油品种。

表2-2 工作介质性能比较和应用范围

项 目	石 油 基	水 包 油	油 包 水	水-乙二醇	磷 酸 酯
温度/ $^{\circ}\text{C}$	-29 ~ 100	低 4 ~ 49	低 4 ~ 66	低至高 -18 ~ 66	低至高 -7 ~ 130
抗燃性	易燃	不燃	抗燃	抗燃	抗燃
润滑性	优	差	良	良至优	优
腐蚀性	无	小	极小	极小	极小
粘温性能	良至优	差	良	优	差至良
粘度	低至很高	低	低	低至高	低至高
压力 p/MPa	全域	≤ 14	≤ 7	≤ 14	$\leq 14 \sim 21$
毒性	无	无	无	极微	较微
泵寿命	长	短	较长	较短	长
维护保养	易	难	难	较易	较易
相对价格	100	10 ~ 15	150	300 ~ 400	500 ~ 800