

机械工业中等专业教育 机械制造专业系列

李登万 主编

液压 传动

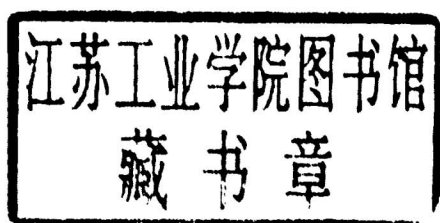
修 订 版
南 大 学 出 版 社

J

机械工业中等专业教育机械制造专业系列教材

液 压 传 动

李登万 蔡慧萍 李苍叶 编
宋永祥 主 审



东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

本书主要包括液压传动基础知识、液压元件的结构原理及常见故障的排除方法、液压基本回路、典型液压系统(包括:组合机床、外圆磨床、液压机、机械手和加工中心)分析调试及常见故障的排除方法、液压系统的使用与维护等。全书着重于基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,强调针对性和实用性,体现职业技术教育特色。本书在较大程度上反映了我国液压技术新的发展和进步,采用了最新液压图形符号(GB/T 7861.1—93)和液压油(液)新的分类标准(CB/T 7631.2—87)。

本书为中等专业学校机械制造专业教改系列教材之一,通用于机械设备维修与管理、工模具设计与制造、汽车制造与维修、数控机床加工技术和机床数控技术应用专业,并可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/李登万,蔡慧萍,李苍叶编.—南京:东南大学出版社,2000.2

机械工业中等专业教育机械制造专业系列教材
ISBN 7-81050-015-5

I. 液... II. ①李...②蔡...③李... III. 液压
传—专业学校—教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 13405 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏省地质测绘院印刷厂印刷
开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:10 字数:285 千字
2000 年 4 月第 2 版 2000 年 4 月第 5 次印刷
印数:21201—24200 定价:13.00 元

中国机械工业教育协会高职与中专教育分会
机 械 制 造 专 业 教 材 编 审 委 员 会

主任委员	程益良		
副主任委员	王希平		
委	员	刘际远	李铁尧 陈行毅
		高文征	聂建武 黄剑滕
		司徒渝	翟 轰 储克森
		苏群荣	

修订版前言

《液压传动》教材自 1995 年 7 月由东南大学出版社出版发行以来已重印 5 次,经全国机械及其他行业部分中等专业学校、职工中专和职业高中等学校使用四年来的教学实践表明,本教材深受广大教师和学生的好评。同时,他们也提出了宝贵的建议和修订要求。为适应科学技术和社会经济的迅猛发展,跟上现代制造技术的发展步伐,满足学校教材使用要求,编审委员会于 1998 年 10 月召开了系列教材主编会议,决定修订再版。根据会议确定的修订原则和规划,在广泛征求意见的基础上,我们对《液压传动》教材作了修订,它与 1995 年 7 月版相比,增加了液压机械手液压系统和加工中心液压系统分析,删除了偏深偏难的习题,并对部分习题增添了提示,同时也增添了部分更贴近工程实际的习题,更换了部分图表。

在新的人才结构和需求形势下,采用本教材教学,建议注意以下几点:

1. 理论教学中,注意淡化理论推导,突出理论应用,强化分析解决液压技术应用能力的培养。

2. 在实践教学方面,注意加强典型液压系统的调整和故障分析排除能力的培养。

3. 在教学过程中,尽可能多采用挂图、教具、录像和 CAI 课件等现代教育技术手段,注意理论与实践的有机结合,加强现场教学。

4. 在课程考核方式上,尽可能采用开卷考试,注意能力考核。

参加本次修订工作的有:四川省机械工业学校李登万、上海市机电工业学校蔡慧萍、咸阳机器制造学校李苍叶,四川省机械工业学校李登万担任主编,福建机电学校宋永祥担任主审。

编写分工如下:蔡慧萍编写 1、2、3 章;李苍叶编写 4、5、6 章;李登万编写 7、8、9 章。在本书修订过程中,四川省机械工业学校陈文兵为本书描绘了部分插图,在此一并致谢。

由于编者水平有限,对修订版的不当之处,请不吝赐教。

编 者

2000 年 2 月

前 言

《液压传动》是机械工业中等专业教育机械制造专业教改系列教材之一。

机械工业中等专业教育研究会机制专业教材编审委员会,根据中专学校机械制造专业培养生产现场工艺实施型技术人才的目标和毕业生主要从事机械制造工艺规程的编制与实施、工艺装备的设计、机械设备的安装调试维护和改造、机械加工中质量分析与控制等工作的要求制定了实施性教学计划。该计划规定本门课程的教学任务是:讲授液压传动的基础知识、液压泵、液压缸及马达、液压控制阀、液压基本回路、典型液压系统等内容。通过本课程的学习,使学生初步掌握液压传动的基础知识和基本概念;掌握液压元件的工作原理、结构及使用方法;掌握常见液压系统的分析和调试方法,并能排除一般液压故障。教学时数为 60 学时,其中理论教学 50 学时,实践教学 10 学时。

本教材的编写在内容取舍上,保留了作为车间工艺技术员必不可少的液压传动基础知识、液压元件、液压基本回路和典型液压系统分析等内容,汲取了当代科学技术和机械工业发展的新成果,如插装式锥阀、电液比例控制阀、电液数字控制阀等;在编写体例上,遵循教学规律和教材使用的特点,注意液压传动共性问题的阐述,讲清基本概念和基本原理,在加强工程实践能力的训练方面,突出了理论知识的应用、液压元件的使用、液压系统的分析调试及故障排除,落实了设备的安装、调试与维护的训练,体现了职业技术教育的特色。

本书由四川省机械工业学校李登万主编,上海市机电工业学校蔡慧萍、咸阳机器制造学校李苍叶协编,福建机电学校宋永祥主审。编写分工如下:蔡慧萍编写 1、2、3 章;李苍叶编写 4、5、6 章;李登万编写 7、8、9 章。在本书编写过程中,冯波为本书描绘了插图;广西机械工业学校张群生提供了部分资料,在此一并致谢。由于编者水平所限,加之时间仓促,错误与不足之处在所难免,请不吝赐教,以便修订时改进。

编 者

1994 年 12 月 10 日

修订版说明

由中国机械工业教育协会高职与中专教育分会组织编写的这套由 18 门课程组成的中等专业教育机械制造专业教材,出版发行已 4 年多时间了。这套专业教材得到行业内外不少学校的赏识,使用后反响不凡。为使这套教材更能适应中专教育的改革,适应培养面向 21 世纪中等专业人才的需要,编委会征求了使用学校的意见后召开了 18 本教材主编研讨会,拟订了修订本套教材的指导思想和修订原则,并用一年多的时间对本套教材进行了修订。修订后的教材除保留原有特点外更能体现职业教育的特色,且面向 21 世纪增添了新技术内容,采用最新国标,突出应用,多举实例,尽力做到图文并茂,便于教学与自学,并注意到对学生素质的全面培养。

修订后的教材适用于招收初中毕业生四年制机制专业,也可供职业中专、职工中专、函授中专机制专业使用。其中语文、应用数学、物理通用于机电类专业,机械制图、工程力学、工程材料与金属热加工、机械设计基础、电工学与工业电子学、计算机应用基础通用于机类专业。

在修订过程中得到了咸阳机器制造学校、福建高级工业专门学校、四川省机械工业学校、上海市机电工业学校、常州机械学校、西安仪表工业学校、芜湖机械学校、东风汽车公司汽车工业学校、靖江市工业学校、廊坊市工业学校、湖南省机械工业学校、邯郸市工业学校、嘉兴市中等专业学校、成都市工业学校、浙江机械工业学校、西安机电学校、辽宁仪器仪表学校、江苏省无锡机械制造学校和东南大学出版社等单位的大力支持,谨致诚挚的谢意。衷心希望广大教师和学生在使用中提出宝贵意见,以便再次修订时改进,使之日臻完善。

中国机械工业教育协会高职与中专教育分会
机 械 制 造 专 业 教 材 编 审 委 员 会
1999 年 5 月

目 录

1 概论	(1)
1.1 液压传动的工作原理与系统的组成	(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	(2)
1.2 液压传动的优缺点	(3)
1.2.1 液压传动的优点	(3)
1.2.2 液压传动的缺点	(3)
1.3 液压传动的应用及发展概况	(3)
思考题	(4)
2 液压传动基础	(5)
2.1 液压油(液)的主要物理性质及选用	(5)
2.1.1 液体的粘性	(5)
2.1.2 液体的可压缩性	(7)
2.1.3 液压油(液)的要求及选用	(8)
2.2 液体静力学	(9)
2.2.1 液体静压力及其特性	(9)
2.2.2 液体静力学基本方程	(10)
2.2.3 液体静压力的传递	(10)
2.2.4 压力的表示方法	(11)
2.2.5 液体对固体壁面的作用力	(11)
2.3 液体动力学	(12)
2.3.1 基本概念	(12)
2.3.2 连续性方程	(13)
2.3.3 伯努利方程	(14)
2.3.4 动量方程	(15)
2.4 液体流动时的压力损失	(16)
2.4.1 沿程压力损失	(16)
2.4.2 局部压力损失	(16)
2.4.3 管路系统的总压力损失	(17)
2.5 液体流经小孔及间隙的流量	(17)
2.5.1 液体流经小孔的流量	(17)

第一节	产品计数光电子线路	106
第二节	光电限量控制电路	110
第三节	光电保安和报警电路	114
第四节	专用工业光电控制电路	120
第七章	光电游戏电路	127
第一节	彩灯控制电路	127
第二节	随机控制模拟电子游戏电路	131
第三节	光电玩具控制电路	133
第四节	电视游戏机控制电路	136
第八章	光电测量电路	141
第一节	开关型光电测量电路	141
第二节	光电编码器	147
第三节	模拟放大型光电测量电路	150
第四节	光纤数字遥控测量系统	156
第九章	光电状态指示和显示电路	162
第一节	光电状态指示电路	162
第二节	光电显示器件及其驱动电路	165
第三节	光电显示电路	169
第十章	光电遥控电路	177
第一节	电风扇光电遥控电路	177
第二节	彩色电视机遥控原理	179
第三节	金星 C471-1 机半自动遥控系统	185
第四节	快乐 HC2103R 机全自动遥控系统	192
第十一章	光电信息传输和处理电路	198
第一节	模拟光纤通信系统和电路	198
第二节	数字光纤通信系统和电路	201
第三节	光电信息处理电路	207
第四节	光电逻辑和计算电路	210
第十二章	集成光电子电路	213
第一节	集成光电传感和通信电路	213
第二节	集成光电耦合器	218
第三节	集成光控开关电路	220
第四节	集成光电显示电路	222

4.2.2 液压马达的主要性能参数	(47)
思考题与习题	(48)
5 液压控制阀	(49)
5.1 方向控制阀	(49)
5.1.1 单向阀	(49)
5.1.2 换向阀	(50)
5.1.3 方向控制阀的常见故障及排除方法	(56)
5.2 压力控制阀	(56)
5.2.1 溢流阀	(56)
5.2.2 顺序阀	(60)
5.2.3 减压阀	(62)
5.2.4 压力继电器	(63)
5.2.5 压力控制阀的常见故障及排除方法	(64)
5.3 流量控制阀	(65)
5.3.1 流量控制阀的特性	(65)
5.3.2 节流阀和调速阀	(66)
5.3.3 流量控制阀的常见故障及排除方法	(69)
5.4 其它液压控制阀	(69)
5.4.1 插装式锥阀(又称逻辑阀或二通插装阀)	(69)
5.4.2 电液比例控制阀(简称比例阀)	(72)
5.4.3 电液数字控制阀	(73)
思考题与习题	(74)
6 液压辅助元件	(76)
6.1 油管及管接头	(76)
6.1.1 油管	(76)
6.1.2 管接头	(76)
6.2 过滤器	(77)
6.2.1 过滤器的功用	(77)
6.2.2 过滤器的基本类型及其性能	(78)
6.2.3 过滤器的安装位置	(79)
6.3 蓄能器	(79)
6.3.1 蓄能器的功用	(79)
6.3.2 蓄能器的结构与工作原理	(80)
6.3.3 蓄能器的安装及使用注意事项	(80)
6.4 压力计及压力计开关	(81)
6.4.1 压力计	(81)
6.4.2 压力计开关	(81)

6.5 油箱	(82)
6.5.1 油箱的容量	(82)
6.5.2 油箱的结构	(82)
思考题	(83)
7 液压基本回路	(84)
7.1 压力控制回路	(84)
7.1.1 调压回路	(84)
7.1.2 减压回路	(85)
7.1.3 卸荷回路	(85)
7.1.4 平衡回路	(86)
7.2 速度控制回路	(87)
7.2.1 调速回路	(87)
7.2.2 增速回路	(94)
7.2.3 换速回路	(95)
7.3 方向控制回路	(97)
7.3.1 换向回路	(97)
7.3.2 锁紧回路	(97)
7.4 多缸工作控制回路	(98)
7.4.1 顺序动作回路	(98)
7.4.2 同步回路	(99)
7.4.3 互不干扰回路	(100)
思考题与习题	(101)
8 典型液压系统分析	(103)
8.1 组合机床动力滑台液压系统	(103)
8.1.1 概述	(103)
8.1.2 1HY40 型动力滑台液压系统	(104)
8.2 外圆磨床液压系统	(108)
8.2.1 概述	(108)
8.2.2 外圆磨床工作台换向回路	(108)
8.2.3 M1432B 型万能外圆磨床液压系统	(109)
8.3 液压机液压系统	(114)
8.3.1 概述	(114)
8.3.2 YA27-500 型单动薄板冲压液压机液压系统	(115)
8.4 液压机械手液压系统	(118)
8.4.1 概述	(118)
8.4.2 JS-1 型液压机械手液压系统	(118)
8.5 加工中心液压系统	(121)

8.5.1 概述	(121)
8.5.2 ZHS-K63 型加工中心液压系统	(121)
思考题与习题	(126)
9 液压系统的使用与维护	(129)
9.1 液压系统的安装与清洗	(129)
9.1.1 安装	(129)
9.1.2 清洗	(130)
9.2 液压系统的调试	(131)
9.2.1 空载试车	(131)
9.2.2 负载试车	(131)
9.3 液压系统的维护保养	(132)
9.3.1 使用维护要求	(132)
9.3.2 操作保养规程	(132)
9.3.3 点检与定检	(132)
9.3.4 定期维护	(133)
9.4 液压系统故障诊断	(134)
9.4.1 故障诊断步骤与方法	(134)
9.4.2 查定故障部位的方法	(135)
9.5 液压油(液)污染与控制	(136)
9.5.1 液压油(液)污染原因与危害	(136)
9.5.2 控制液压油(液)污染的措施	(137)
思考题	(138)
附录	(139)
参考文献	(145)

1 概 论

以液体为工作介质进行能量传递和控制的传动方式称为液体传动,它包括液压传动和液力传动。液压传动主要以液体压力能进行工作;液力传动主要以液体动能进行工作(如离心泵、液力变矩器等)。两者在原理上有根本区别,前者是本课程讨论的内容。

1.1 液压传动的工作原理与系统的组成

1.1.1 液压传动的工作原理

1) 液压千斤顶

图 1.1 为液压千斤顶工作原理图。液压缸 3 和 6 连通构成一个密封容器,里面充满油液。在放油阀 9 关闭的情况下,将手柄 1 提起时,活塞 2 便向上移动,使缸 3 下腔密封容积增大而形成真空,这时钢球 5 将缸 3 和 6 之间的通道关闭,油箱 10 内的油液在大气压力作用下顶开钢球 4 进入缸 3 下腔,完成一次吸油;将手柄 1 压下时,活塞 2 则向下移动,缸 3 下腔密封容积减小,腔内油液压力升高,这时钢球 4 将油液流回油箱的通道关闭,缸 3 下腔压力油顶开钢球 5 进入缸 6 下腔,推动活塞 7 上升,顶起重物 8。如此反复地提压手柄,油液就不断地进入缸 6 下腔,推动活塞 7 不断上升而达到起重的目的。

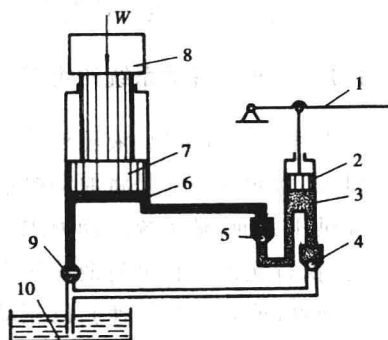


图 1.1 液压千斤顶的工作原理

2) 简单液压传动系统

图 1.2 为机床工作台液压传动系统图。如图 1.2a 所示状态,电动机(图中未示出)带动液压泵 3 旋转,经过滤器 2 从油箱 1 中吸油,然后油液经节流阀 5 和换向阀 6 压入工作台液压缸(缸筒固定在床身上,活塞杆与工作台连接)左腔,推动活塞及工作台向右移动,这时工作台液压缸右腔的油液经换向阀排回油箱。

如果将换向阀 6 的手柄向左扳,使其处于图 1.2b 所示状态,油液则经换向阀压入工作台液压缸右腔,推动活塞及工作台向左移动,这时工作台液压缸左腔的油液亦经换向阀排回油箱。通过换向阀改变油液的通路,便能实现工作台液压缸运动换向。

通过节流阀调节单位时间进入液压缸的油液体积,便能调节工作台的移动速度。

通过溢流阀 4 调定液压泵输出油液的压力,便能克服阻力推动工作台液压缸活塞运动,并让液压泵输出的多余油液溢回油箱。

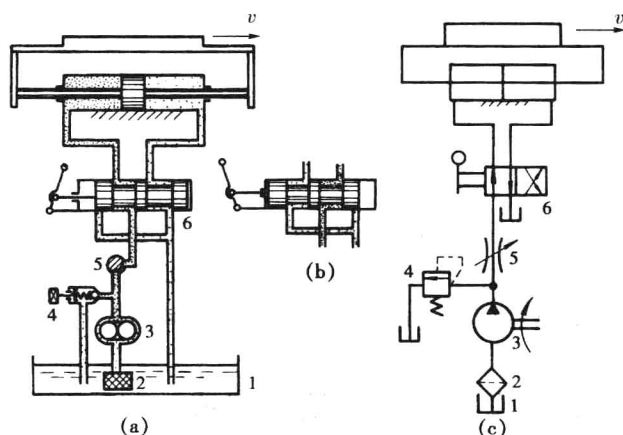


图 1.2 机床工作台液压传动系统

通过上述实例分析,可发现液压传动的特点是:先通过动力元件(液压泵)将原动机(如电动机)输入的机械能转换为液体压力能,再经密封管道和控制元件等输送至执行元件(如液压缸),将液体压力能又转换为机械能以驱动工作部件。

1.1.2 液压传动系统的组成

从上述实例可看出,液压传动系统除工作介质外,应由以下四个主要部分组成:

(1)动力元件 它是将原动机输入的机械能转换为液体压力能的装置,其作用是为液压系统提供压力油,是系统的动力源。如各类液压泵。

(2)执行元件 它是将液体压力能转换为机械能的装置,其作用是在压力油的推动下输出力和速度(或转矩和转速),以驱动工作部件。如各类液压缸和液压马达。

(3)控制调节元件 它是用以控制液压传动系统中油液的压力、流量和流动方向的装置。如溢流阀、节流阀和换向阀等。

(4)辅助元件 上述几部分以外的其它装置,分别起储油、输油、过滤和测压力等作用。如油箱、油管、过滤器和压力计等。

1.1.3 液压传动系统的图形符号

图 1.2a 所示液压传动系统中各元件的图形基本上表示了它的结构原理,故称为结构原理图。这种原理图直观性强,容易理解,但图形比较复杂,特别是当系统中元件较多时,绘制很不方便。为了简化原理图的绘制,图中各元件可采用图形符号表示。一般液压传动系统图都应按照 GB/T 7861.1-93 所规定的液压图形符号来绘制。图 1.2a 所示液压系统,用图形符号绘制的系统图如图 1.2c 所示。使用图形符号可使液压传动系统图简单明了,便于绘制。

液压传动系统图中的图形符号只表示元件的功能、操作(控制)方法和外部连接口,不表示元件的具体结构和参数;液压传动系统图只表示各元件的连接关系,而不表示系统管道布置的具体位置或元件在机器中的实际安装位置;液压传动系统图中的图形符号通常以元件

的静止位置或零位置来表示。当无法用图形符号表示或者有必要特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时,也允许局部采用结构原理图表示。关于各种元件的图形符号将在以后讲述元件时具体介绍。

1.2 液压传动的优缺点

1.2.1 液压传动的优点

- (1) 液压传动可在运行过程中进行无级调速,调速方便且调速范围大;
- (2) 在相同功率的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑;
- (3) 液压传动工作比较平稳、反应快、换向冲击小,能快速启动、制动和频繁换向;
- (4) 液压传动的控制调节简单,操作方便、省力,易实现自动化,当其与电气控制结合,更易实现各种复杂的自动工作循环;
- (5) 液压传动易实现过载保护,液压元件能够自行润滑,故使用寿命较长;
- (6) 由于液压元件已实现了系列化、标准化和通用化,故制造、使用和维修都比较方便。

1.2.2 液压传动的缺点

- (1) 液体的泄漏和可压缩性使液压传动难以保证严格的传动比;
- (2) 液压传动在工作过程中能量损失较大,不宜作远距离传动;
- (3) 液压传动对油温变化比较敏感,不宜在很高和很低的温度下工作;
- (4) 液压传动出现故障时,不易查找出原因。

总的说来,液压传动的优点是十分突出的,其缺点将随着科学技术的发展而逐渐得到克服。

1.3 液压传动的应用及发展概况

液压传动相对于机械传动来说,是一门新技术。自 1795 年制成第一台水压机起,液压技术就进入了工程领域,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和精度高的自动控制系统,因而出现了液压伺服系统。20 世纪 60 年代以后,由于原子能、空间技术、大型船舰及计算机技术的发展,不断地对液压技术提出新的要求,液压技术相应也得到了很大发展,渗透到国民经济的各个领域。在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床工业中,液压技术得到普遍应用。近年来液压技术已广泛应用于智能机器人、海洋开发、宇宙航行、地震预测及各种电液伺服系统,使液压技术的应用提高到一个崭新的高度。目前,液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声和高度集成化等方向发展;同时,减小元件的重量和体积,提高元件寿命,研制新的传动介质以及液压传动系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化设计、微机控制等工作,也日益取得显著成果。

解放前,我国经济落后,液压工业完全是空白。解放后,我国经济获得迅速发展,液压工业也和其它工业一样,发展很快。20 世纪 50 年代就开始生产各种通用液压元件。当前,我国已生产出许多新型和自行设计的系列产品,如插装式锥阀、电液比例阀、电液伺服阀、电液脉冲马达以及其它新型液压元件等。但由于过去基础薄弱,所生产的液压元件,在品种与质量等方面和国外先进水平相比,还存在一定差距,我国液压技术的现状,还满足不了国民经济发展需要。但是随着我国工业技术的发展,可以预见,液压技术也将获得进一步发展,它在各个工业部门中的应用,也将会越来越广泛。

思考题

- 1.1 什么叫液压传动?
- 1.2 液体传动有哪两种形式? 它们的主要区别是什么?
- 1.3 液压系统由哪几部分组成? 试说明各组成部分的作用。
- 1.4 液压传动有哪些优缺点?

2 液压传动基础

液压传动是以液体为工作介质进行能量传递的。为了更好地理解和掌握液压传动原理、液压元件的结构及性能,正确使用维护液压系统,就必须了解液体的基本性质,掌握液体平衡和运动的主要力学规律。

2.1 液压油(液)的主要物理性质及选用

2.1.1 液体的粘性

1) 液体粘性的意义

液体在外力作用下流动时,液体分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动,而产生内摩擦力,这一特性称为液体的粘性。液体流动时会呈现粘性,而静止液体不呈现粘性。粘性的大小可以用粘度表示,粘度是液体最重要的特性之一,是选择液压油(液)的主要依据。

2) 液体的粘度

常用的粘度有动力粘度、运动粘度和条件粘度三种。

(1) 动力粘度 μ 图 2.1 所示两平行平板之间充满液体,上平板以速度 u_0 向右运动,下平板固定不动。紧贴上平板的液体在吸附力作用下,跟随上平板以速度 u_0 向右运动,紧贴下平板的液体在吸附力作用下则保持静止,中间液体的速度由上至下逐渐减小。当两平行平板距离较小时,速度近似按线性规律分布(如图示分布)。

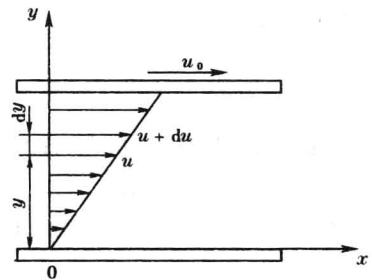


图 2.1 液体粘性示意图

由实验得出,液层间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 、液层间相对速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比。即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

若用单位面积上的内摩擦力,即切应力 τ 来表示液体粘性,则上式可改写成

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.2)$$

式中: μ 为比例系数,又称为粘性系数或动力粘度; du/dy 为速度梯度,即液层间相对运动速度对液层间距离的变化率,或称剪切率。

式(2.2)称为牛顿液体内摩擦定律。