



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

液压与气动技术

■ 陈伟 主编
■ 袁训东 张桂云 关学强 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

液 压 与 气 动 技 术

主 编	陈 伟		
副主编	袁训东	张桂云	关学强
编 写	谭永顺	高红莉	武际花
	徐钰琨	周玉霞	
主 审	房彦伟		



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。全书共分7个学习情境，主要内容包括液压与气动系统的认知与实践、液压与气动系统的动力元件、液压与气动系统的执行元件、液压与气动系统的控制元件、液压与气动系统的辅助元件、液压与气动系统的基本回路、典型液压与气动系统。每个学习情境中又包括若干任务模块，分别从任务描述、任务分析、相关知识、任务指导几个方面进行阐述。同时，在例题与习题的安排上，以工程实例为主，注重培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职高专院校机械类专业液压与气动技术的教材，也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

207019

液压与气动技术/陈伟主编. —北京: 中国电力出版社, 2011.5
普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5123-1671-3

I. ①液… II. ①陈… III. ①液压传动—高等职业教育—教材
②气压传动—高等职业教育—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 083311 号

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷
各地新华书店经售

*
2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 315 千字
定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

高等职业教育培养的是应用型技术人才。在本书的编写过程中，始终贯彻高等职业教育课程改革的理念，结合专业教学任务与专业工作过程特点，对学生的就业岗位进行任务与职业能力分析，以实际工作任务（项目案例）为导向，注重学生应用技能的培养。

本书以液压与气动技术在行业中的应用为主线，根据学生的认知规律与技能要求，采用循序渐进、理论教学与典型案例相结合的方式编写教学内容，做到“教”、“学”、“做”一体化。在内容编写上注重以知识点、技能点的典型案例作为任务驱动，引导学生在完成任务的实施过程中掌握液压与气动技术的专业基础知识和基本技能。

全书共分7个学习情境，主要内容包括液压与气动系统的认知与实践、液压与气动系统的动力元件、液压与气动系统的执行元件、液压与气动系统的控制元件、液压与气动系统的辅助元件、液压与气动系统的基本回路、典型液压与气动系统。每个学习情境又包括若干任务模块，分别从任务描述、任务分析、相关知识、任务指导几个方面加以阐述。

本书遵循“以就业为导向，工学结合”的原则，以实用为基础，根据企业的实际需要选取内容，突出培养学生解决实际问题的能力。主要特点如下：

(1) 选材新颖。以当前具有代表性的液压与气动技术为背景，取材新颖、实用，对近年来新开发的液压、气动元器件以及典型液压气动系统应用做了重点介绍，同时每一部分均有实训内容，突出实践技能的培养。

(2) 体系独特。在教材体系上进行了大胆、合理的整合，即将液压与气动两部分内容融为一体。这样既减少了重复，又增强了对比性，能够以较少的授课学时，传授更多的知识。同时，也可达到使学生触类旁通、融会贯通、举一反三的目的。

(3) 内容适当。基础理论知识以必须、够用为度，尽量减少复杂的理论推导，更多地阐述生产实际中的应用问题，使学生易学易懂。

(4) 应用性强。增加了绝大部分元件实例图片，以增加学生的感性认识。同时，在例题与习题的安排上，以工程实例为主，注重培养学生树立解决工程实际案例的意识。

在讲授本书内容时，可根据实际情况作适当增减。

本书由山东科技职业学院组织编写，陈伟担任主编，袁训东、张桂云、关学强担任副主编，参加编写的有谭永顺、高红莉、武际花、徐钰琨、周玉霞。

本书由内蒙古工业大学房彦伟教授审稿。审稿老师提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥或疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年7月

目 录

前言

学习情境一 液压与气动系统的认知与实践	1
任务 初识液压与气动系统	1
任务描述	1
任务分析	1
相关知识	1
1.1 液压与气压传动概述	1
1.2 液压传动的工作介质	5
1.3 流体静力学	9
1.4 流体动力学	11
1.5 液体流动时的压力损失及流量计算	13
1.6 液压冲击和气穴现象	17
任务指导	19
1.7 液压实验台观摩教学	19
练习与提高	20
学习情境二 液压与气动系统的动力元件	23
任务一 液压泵的性能测试	23
任务描述	23
任务分析	23
相关知识	23
2.1 液压泵概述	24
任务指导	26
2.2 液压泵的性能测试实验	26
任务二 液压泵的拆装	29
任务描述	29
任务分析	29
相关知识	30
2.3 齿轮泵	30
2.4 叶片泵	34
2.5 柱塞泵	39
任务指导	43
2.6 液压泵拆装实训	43
气动知识	45
2.7 气源装置及辅件	45

练习与提高	49
学习情境三 液压与气动系统的执行元件	50
任务一 液压系统中工作压力形成的原理	50
任务描述	50
任务分析	50
相关知识	51
3.1 液压缸的类型及特点	51
任务指导	58
3.2 液压系统中工作压力形成的原理实验	58
任务二 液压缸的拆装	62
任务描述	62
任务分析	62
相关知识	62
3.3 液压缸的结构设计	62
3.4 液压缸的设计计算	65
任务指导	69
3.5 液压缸拆装实训	69
气动知识	70
3.6 气缸	70
任务三 液压马达的拆装	73
任务描述	73
任务分析	73
相关知识	73
3.7 液压马达	73
任务指导	78
3.8 液压马达拆装实训	78
气动知识	78
3.9 气马达	78
练习与提高	80
学习情境四 液压与气动系统的控制元件	81
任务一 液压方向控制阀的拆装	81
任务描述	81
任务分析	81
相关知识	81
4.1 液压方向控制阀	81
任务指导	91
4.2 液压方向控制阀拆装实训	91
气动知识	93
4.3 气压方向控制阀	93

任务二 液压压力控制阀的拆装	95
任务描述	95
任务分析	95
相关知识	95
4.4 液压压力控制阀	95
任务指导	99
4.5 液压压力控制阀的拆装实训	99
气动知识	100
4.6 气压压力控制阀	100
任务三 液压流量控制阀的拆装	103
任务描述	103
任务分析	103
相关知识	103
4.7 液压流量控制阀	103
任务指导	105
4.8 液压流量控制阀的拆装实训	105
气动知识	106
4.9 气压流量控制阀	106
新型液压阀	107
4.10 液压插装阀和叠加阀	107
4.11 液压比例阀、伺服阀和数字阀	110
练习与提高	112
学习情境五 液压与气动系统的辅助元件	115
任务 液压辅助元件的认知	115
任务描述	115
任务分析	115
相关知识	115
5.1 蓄能器	115
5.2 过滤器	117
5.3 油箱及热交换器	121
5.4 油管与管接头	123
任务指导	125
5.5 液压辅助元件的认知实训	125
气动知识	125
5.6 气压辅件	125
练习与提高	127
学习情境六 液压与气动系统的基本回路	128
任务一 液压方向控制回路的认识	128
任务描述	128

任务分析	128
相关知识	128
6.1 液压方向控制回路	128
任务指导	129
6.2 液压方向控制回路实训	129
气动知识	131
6.3 气压方向控制回路	131
任务二 液压压力控制回路的认知	133
任务描述	133
任务分析	133
相关知识	134
6.4 液压压力控制回路	134
任务指导	138
6.5 液压压力控制回路实训	138
气动知识	142
6.6 气压压力控制回路	142
任务三 液压节流调速回路性能测试	143
任务描述	143
任务分析	143
相关知识	144
6.7 液压调速回路	144
任务指导	148
6.8 液压节流调速回路性能测试实验	148
气动知识	154
6.9 气压节流调速回路	154
任务四 液压快速运动回路的认知	154
任务描述	154
任务分析	154
相关知识	154
6.10 快速运动回路和速度换接回路	154
任务指导	158
6.11 液压快速运动回路实训	158
气动知识	160
6.12 气压速度控制回路	160
任务五 多缸动作回路的认知	161
任务描述	161
任务分析	161
相关知识	161
6.13 多缸动作回路	161

任务指导·····	166
6.14 多缸动作回路实训·····	166
气动知识·····	168
6.15 其他气动回路·····	168
练习与提高·····	170
学习情境七 典型液压与气动系统·····	172
任务 钻床工作台液压系统故障分析与设计·····	172
任务描述·····	172
任务分析·····	172
相关知识·····	172
7.1 组合机床动力滑台液压系统 ·····	173
7.2 数控车床液压系统 ·····	176
7.3 推土机液压系统 ·····	179
任务指导·····	181
7.4 钻床工作台液压系统故障分析与设计实训 ·····	181
气动知识·····	183
7.5 典型气动系统 ·····	183
练习与提高·····	188
附录 常用液压与气动图形符号·····	191
参考文献·····	201

学习情境一 液压与气动系统的认知与实践

任务 初识液压与气动系统

任务描述

图 1-1 所示为 QCS003B 液压实验台，要求学生通过该实验台完成如下任务：

(1) 认识动力元件、执行元件、控制调节元件、辅助元件的外形，并抄画图形符号。

(2) 了解液压系统中压力的建立与调节，以及在液压系统中如何控制执行元件的运动速度和运动方向。

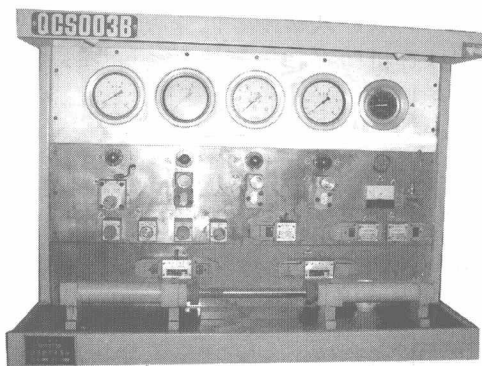


图 1-1 QCS003B 液压实验台

任务分析

本任务是通过液压实验台观摩教学，使学生建立对液压与气动技术的感性认识。在液压实训室，由老师指导完成任务。

相关知识

1.1 液压与气压传动概述

一部机器通常都有传动机构，且传动方式多样。按照传动方式的不同，可分为机械传动、电气传动、气压传动和液压传动。

液压传动与气压传动（简称液压与气动）是以流体为工作介质进行能量传递的一种形式，液压传动主要是以液压油为工作介质来传递运动和动力的，气压传动则是以压缩空气为

工作介质来传递运动和动力的。

1.1.1 液压与气压传动的发展与应用

液压与气压传动的发展,可追溯到人类利用自然风力推动风车带动水车提水灌田,利用风箱产生的压缩空气鼓风炼铁、炼钢的年代,追溯到公元前 200 年人类制成第一台水轮机并开始利用水能的年代。17 世纪,帕斯卡提出著名的帕斯卡定律;18 世纪末,英国制成世界第一台水压机;19 世纪末,德国制成液压龙门刨床,美国制出液压六角磨床和车床。但是由于受到制造工艺低下的影响,液压与气压传动并没有得到广泛的应用。随着现代科学技术的飞速发展,液压与气压传动已形成专门的技术领域。第二次世界大战期间,一些反应快、动作准、功率大的液压传动及伺服系统在军事装备中的应用,使液压与气压传动得到了进一步的发展。特别是 20 世纪 60 年代以来,随着原子能、空间技术、计算机技术的发展,液压与气压传动技术也得到了迅速的发展,它不仅应用于民用工业,如机床制造业、起重设备、矿山机械、工程机械、农业机械以及化工机械、塑料模压机械、汽车行业等方面,而且在军用产品上也得到了广泛应用,如军舰上的炮塔、舵机、雷达扫描设备的高低、方向机和甲板机械等,又如在飞机上的燃油系统、舱盖及起落架的液压或电液伺服控制等。目前,液压与气压传动技术正向高压、高速、高效、大功率、低噪声,高度集成化方向发展。随着计算机辅助设计、机电一体化技术、计算机仿真和优化技术、可靠性技术、污染控制技术等,在液压与气动元件和系统中的应用,将使液压与气压传动技术走向一个新的发展阶段。

1.1.2 液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动分别以液压油、压缩空气为工作介质,把电动机的机械能转化为工作介质的压力能,然后由执行机构带动负载做功。液压与气压传动的工作原理可以用简单磨床工作台液压系统(见图 1-2)和气动剪切机系统(见图 1-3)来说明。

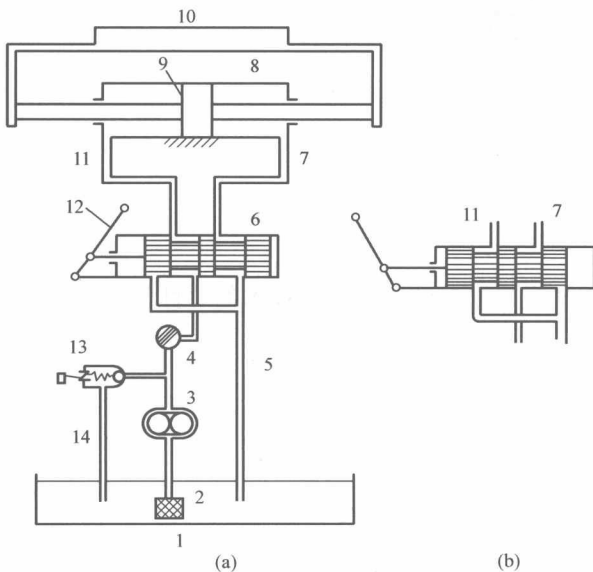


图 1-2 简单磨床工作台液压系统原理图
1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵; 4—节流阀;
5、7、11、14—油管; 6—换向阀; 8—液压缸;
9—活塞; 10—工作台; 12—手柄; 13—溢流阀

现以图 1-2 (a) 所示的简化磨床工作台液压系统原理图为例,来说明液压传动的工作原理。液体受压后,其内部的压强可向各个方向传递,液压传动就是利用液体的这一特性来完成工作任务的。工作时,电动机带动液压泵 3 旋转,从油箱 1 经过滤器 2 吸油,将压力油送入管路。压力油首先经节流阀 4、换向阀 6 的环槽、油管 11,进入液压缸 8 的左腔。液压缸 8 的缸体是固定的,在压力油的作用下,活塞 9 带动工作台 10 向右运动。液压缸右腔的油液经油管 7、换向阀 6 的环槽和油管 5 流回油箱。若扳动手柄 12 使换向阀阀芯处于图 1-2 (b) 所示位置时,则压力油经换向阀 6 的环槽、油管 7 进入液压缸 8 的右腔,工作台向左运动,液压缸 8 左腔的液压油经油管 11、换向阀 6 的

环槽和油管 5 流回油箱。

换向阀 6 的作用是控制工作台运动方向。节流阀 4 的作用与自来水龙头相似，通过改变节流阀的开口量，来控制进入液压缸 8 的油液流量，从而调节工作台 10 的运动速度。溢流阀 13 的作用是调整液压泵的工作压力。当溢流阀关闭时，压力油不能通过溢流阀；若油液压力升高，克服弹簧力将溢流阀 13 打开，多余的压力油则会通过溢流阀经油管 14 流回油箱，从而使进入系统的油液保持一定的压力。过滤器 2 起滤清油液的作用。

由上述分析可以看出，液压传动是在密闭容器内，以液体为工作介质，通过密闭容积的变化，利用液体的压力能来传递能量和进行控制的传动方式。

图 1-3 (a) 所示为气动剪切机的工作原理图。气源装置由空气压缩机 1、后冷却器 2、除油器 3 和储气罐 4 组成，此装置能产生压缩空气并对其进行初次净化处理；气源调节装置（又称气动三联件）由空气过滤器 5、减压阀 6 和油雾器 7 组成，此装置能对压缩空气进一步净化、减压和润滑。

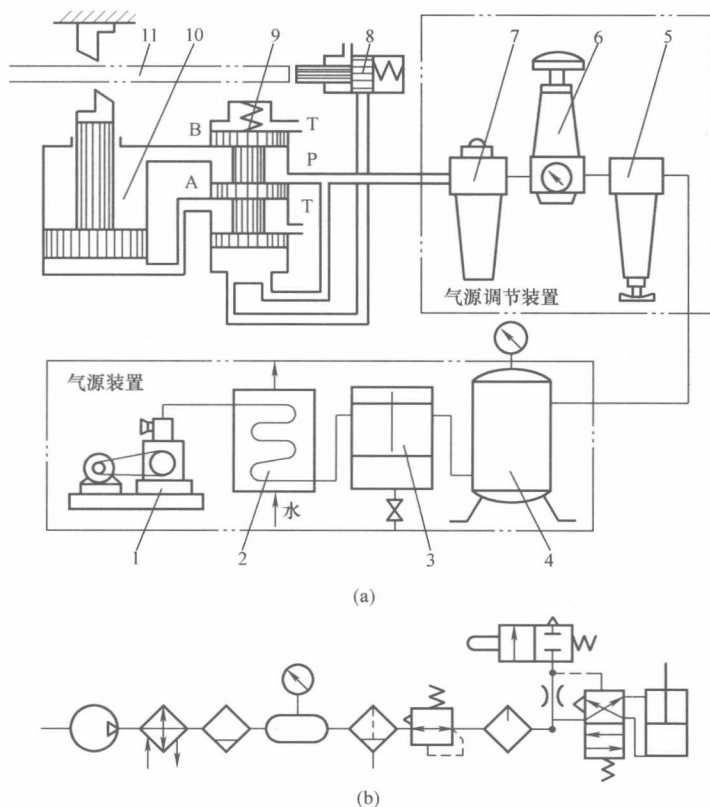


图 1-3 气动剪切机的工作原理图

(a) 结构原理图；(b) 图形符号

- 1—空气压缩机；2—后冷却器；3—除油器；4—储气罐；5—空气过滤器；
6—减压阀；7—油雾器；8—行程阀；9—换向阀；10—气缸；11—工料

当压缩空气到达换向阀 9 时，部分气体作用在换向阀的下腔，克服弹簧力，阀芯上移，则压缩空气经换向阀的 P→B 口进入气缸 10 的上腔，活塞向下运动；气缸下腔的气体经换向阀的 A→T 口排向大气，剪刀退回；当工料 11 由上料装置送至预定位置时，压下行程阀

8, 此时换向阀 9 下腔的控制气体经行程阀 8 排空, 阀 9 在弹簧力的作用下复位, 压缩空气经换向阀 9 的 P→A 口进入气缸下腔, 活塞向上运动, 气缸上腔的气体经阀 9 的 B→T 口排出, 此时剪刀处于剪切状态。以上剪刀的两处动作为系统的一次工作循环。

由上述分析可看出, 气压传动是利用空气压缩机, 将电动机或其他原动机输出的机械能转化为空气的压力能, 然后在控制元件的控制和辅助元件的配合下, 通过执行元件把空气的压力能转化为机械能, 从而完成直线或回转运动, 并对外做功。

1.1.3 液压与气压传动系统的组成

由以上例子可看出, 液压与气压传动系统主要由以下四个部分组成。

(1) 动力元件——是把电动机或其他原动机输出的机械能转换为工作流体压力能的能量转换装置。液压系统最常见的动力装置为液压泵, 而气动系统的动力装置由空气压缩机及其辅件组成。

(2) 执行元件——是把压力能转换为机械能的能量转换装置, 如液压缸、气缸或液压马达、气马达。

(3) 控制元件——是对系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置, 如各种压力阀、流量阀、方向阀等。

(4) 辅助元件——同上述三种装置共同组成整个系统, 并对整个系统的正常工作起辅助作用。例如, 液压系统中的油箱、蓄能器、冷却器、油管等, 气动系统中的油雾器、空气过滤器、储气罐、消声器等。它们对保证液压与气动系统稳定和可靠地工作起着重要的作用。

1.1.4 液压与气动系统的图形符号

图 1-2 和图 1-3 (a) 所示的液压系统图是结构式工作原理图, 这种原理图直观性强,

容易理解, 但绘制起来比较困难。为此, 通常采用 GB/T 786.1—2009 所规定的液压与气动图形符号来绘制, 如图 1-3 (b) 和图 1-4 所示。

绘制系统图的规定如下:

(1) 符号均以元件的静止位置或零位置表示, 元件符号内的油液流动方向用箭头表示。

(2) 系统中的主油路以标准实线表示, 控制油路和泄漏油路以细虚线表示。

1.1.5 液压与气压传动的优缺点

1. 液压传动与其他传动相比

(1) 在相同功率下, 液压传动装置结构紧凑、体积小、重量轻, 因此惯性小, 启动换向迅速, 可通过调节油液的流量, 方便地实现无级调速,

且调速范围大, 易于实现过载保护, 但在工作过程中能量损失较大, 效率较低, 不适宜远距离传动。

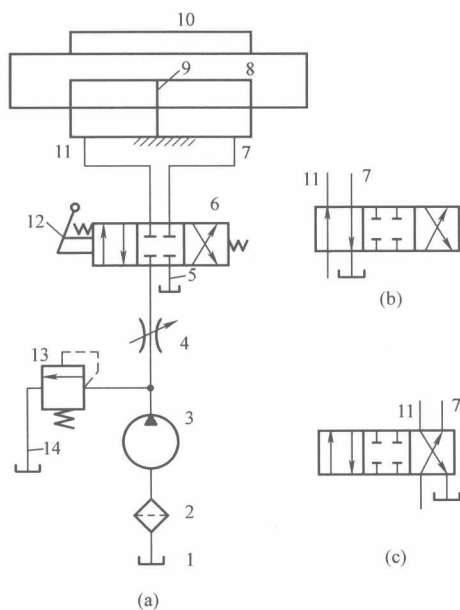


图 1-4 用图形符号表示的磨床工作台液压系统原理图

(2) 液压油具有良好的润滑性和防锈性,有利于延长液压元件的使用寿命。但是油液的泄漏和可压缩性使液压传动难以保证严格的传动比,且油液的黏性受温度变化的影响,故液压传动的性能也受温度变化的影响。

(3) 液体工作介质具有弹性和吸振能力,使液压传动运转比较平稳,但液压传动对油液的清洁管理和元件的制造精度要求较高,因而成本也较高。

(4) 借助结构简单的液压缸可轻易地实现直线往复运动,且液压传动的控制调节比较简单,操作方便,与电气控制相结合,易于实现自动化,但其装置出现故障时,不易诊断。

(5) 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化,便于设计制造和推广使用。

2. 气压传动与液压传动的比较

(1) 气压传动以空气作为工作介质,使用后排气简单,对环境污染小。与液压传动相比不必设置回油油箱及管路,但排气噪声较大,在高速排气时需加装消声器。

(2) 空气的可压缩性比液压油的可压缩性大,故气压传动对冲击负载具有较强的适应能力,也可实现过载保护。然而气缸的运动速度易受负载变化的影响,同样不适合工作速度和传动比要求严格的场合。

(3) 空气黏度小,流动时压力损失小,所以压缩空气可集中供应和远距离输送,但空气本身没有润滑性,需另加装置进行给油润滑。

(4) 与液压传动相比,气压传动动作迅速、反应快、维护简单、管路不易堵塞,且不存在介质变质、补充、更换等问题。由于气压传动工作压力较低(一般为 $0.3\sim 1.0\text{MPa}$),故输出力小,不适合大功率传动的场合。

(5) 与液压传动相比,气压传动过程中的泄漏对环境污染小,不像液压油的泄漏,会严重地污染环境,并且气压传动对工作环境的适应性好,适宜在易燃、易爆等环境中工作。

1.2 液压传动的工作介质

液压传动最早使用的工作介质主要是水,由于油的润滑性、防锈性等较水好,矿物油很快取代水而成为液压系统的主要工作介质。随着液压技术的发展,其工作介质的品种越来越多,但目前使用最广泛的仍然是矿物油型液压油。

1.2.1 液压油的基本物理性质

1. 密度

密度是单位体积液体的质量,用 ρ 表示:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-1)$$

式中 m ——液体的质量, kg;

V ——液体的体积, m^3 。

液压油的密度随压力的增加而增大,随温度的升高而减小。对于液压系统中使用的液压油,在使用的温度和压力范围内,密度变化很小,可忽略不计。常用液压油的密度一般为 $850\sim 950\text{kg/m}^3$ 。

此外,油液还具有可压缩性。油液的可压缩性是很微小的,在一般的液压系统中,当压

力变化不大,且油温又在控制范围内时,油液的可压缩性不大,可忽略不计。但在压力较高或进行动态分析时,就必须考虑液体的可压缩性。

2. 黏性

液体在外力作用下流动时,由于液体与固体壁间的附着力和液体分子间的内聚力使液体各层间的运动速度不相等。以如图 1-5 所示的两平行平板中液体的流动情况为例,其中上平板以速度 u_0 向右平动,而下平板不动。由于液体的附着力和分子间的内聚力,附着于下平板的液体层速度为 0,附着于上平板的液体层速度为 u_0 ,中间各液体层的速度按线性分布。由于各层的运动速度不同,快的流层会拖曳慢的流层,慢的流层又阻滞快的流层,即不同速度流层相互制约而产生了内摩擦力。实验测定:液体流动时,相邻液层间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 和液层间的相对运动速度 du 成正比,与液层间的距离 dy 成反比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-2)$$

式中 μ ——比例系数;
 du/dy ——速度梯度。

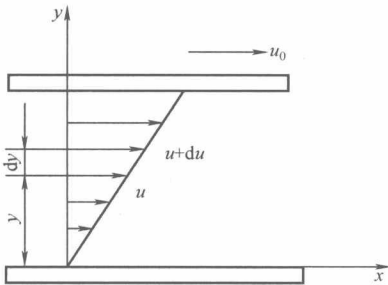


图 1-5 液体黏性示意图

液体在流动时产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。黏性是液体的重要特性,对液压油的润滑能力有很大的影响。表示黏性大小的物理量称为黏度,它是选择液压油的主要依据。

我国常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 黏度的表示方法及其相互关系

1) 动力黏度 μ 。如以 τ 表示单位面积上的内摩擦力,则有

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。在流体力学中,把比例系数 μ 不随速度梯度变化而变化的液体称为牛顿液体,反之称为非牛顿液体。除高黏度或含有特殊添加剂的油液外,均可视为牛顿液体。

比例系数 μ 称为动力黏度,可由式 (1-3) 导出,即

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (1-4)$$

由此可见,动力黏度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,相邻液层间单位面积上产生的内摩擦力。其单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,即 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$,它与 CGS 制中的单位 P (泊, $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$) 之间的换算关系为

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

2) 运动黏度 ν 。动力黏度 μ 与同温度下该液压油密度 ρ 的比值称为运动黏度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

运动黏度 ν 没有特殊的物理意义,只是因为 μ 与 ρ 的比值在流体力学计算中经常出现。

它的单位为 m^2/s ，与 CGS 制中 St (斯) 之间的换算关系为

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

工程上常把运动黏度作为液体黏度的标志。国产机械油的牌号就是用机械油在 40°C 时运动黏度 ν 的平均值表示。例如，牌号为 L-HL46 的液压油，就是指其在 40°C 时，运动黏度 ν 的平均值为 $46\text{mm}^2/\text{s}$ 。

3) 相对黏度 $^\circ E$ 。动力黏度和运动黏度是理论计算中常用的单位，但不易直接测量，因此工程中常用各种黏度计测量油液的黏度。用各种黏度计所测得的黏度称为相对黏度。相对黏度受黏度计的品种和测试条件的影响，只能相对地表示液体黏性的大小。根据测量条件的不同，各国采用的相对黏度单位也不相同，我国采用恩氏黏度 $^\circ E_t$ 。

液体的恩氏黏度用恩氏黏度计测量，方法如下：常压下，200mL 温度为 $t^\circ\text{C}$ 的被测液体，在自重作用下从恩氏黏度计中直径为 2.8mm 的小孔流完所需时间 t_1 ，与 200mL 温度为 20°C 的蒸馏水从该小孔流完所需时间 t_2 (通常 $t_2=51\text{s}$) 的比值，即为被测液体在温度 t 时的恩氏黏度，用 $^\circ E_t$ 表示，即

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-6)$$

工业上，常用 20、50、 100°C 作为测定恩氏黏度的标准温度，并相应地以符号 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 、 $^\circ E_{100}$ 表示。在液压传动中一般以 50°C 作为测定恩氏黏度的标准，以 $^\circ E_{50}$ 表示。

工程中常采用先测出液体的相对黏度，再换算出动力黏度或运动黏度。恩氏黏度和运动黏度的换算关系式如下：

当 $1.35 \leq ^\circ E \leq 3.2$ 时

$$\nu = \left(8^\circ E - \frac{8.64}{^\circ E}\right) \times 10^{-6} \quad (1-7)$$

当 $^\circ E > 3.2$ 时

$$\nu = \left(7.6^\circ E - \frac{4}{^\circ E}\right) \times 10^{-6} \quad (1-8)$$

(2) 黏度与温度的关系

液压系统中常用的矿物油对温度的变化很敏感，当温度升高时，油液的黏度明显降低。液体的黏度随温度变化的特性称为黏温特性。例如，20 号机械油， 20°C 时黏度约为 $100\text{mm}^2/\text{s}$ ；当温度升高到 60°C 时，黏度降为 $12\sim 16\text{mm}^2/\text{s}$ 。

油液黏度的变化直接影响到液压系统的性能和工作稳定性，所以希望油液的黏度随温度的变化越小越好，同时也希望液压系统工作时温度的变化不要太大。液压油的黏—温曲线图可查阅有关液压设计手册。

此外，液压系统工作时，油温不能太高。若油温过高，除黏度显著降低外，油液还易氧化，析出沥青等杂质，使油的工作寿命降低，并影响液压系统的工作可靠性。

(3) 黏度与压力的关系

当液体所受压力增加时，其分子间的距离减小，内聚力增大，黏度也随之增大。液压油黏度随压力的变化并不像随温度变化那样明显，在机床液压系统所使用的压力范围内，液压油黏度受压力变化的影响甚微，可忽略不计。但当压力高于 10MPa 或压力变化较大时，则应考虑压力对黏度的影响。

(4) 其他性质

1) 流动点和凝固点。当液压系统的温度降低到使油液失去了流动性,这时的温度称为油液的凝固点。比凝固点高 2.5°C 的温度称为油液的流动点。一般液压传动用油的凝固点约为 $-10\sim-15^{\circ}\text{C}$,稠化液压油的凝固点可达 -38°C 。

2) 闪点和燃点。油液加热后会挥发出可燃性蒸汽,与空气混合在油面上,接触到火焰的瞬间会突然闪火燃烧,此最低温度称为油液的闪点。如果温度继续上升,油液就会连续燃烧,此时的温度称为油液的燃点。一般液压传动用油的闪点为 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

3) 氧化稳定性与热稳定性。氧化稳定性是指油液抵抗与含氧物质发生化学反应,特别是与空气发生化学反应而保持其性质不发生变化的能力。这种反应的结果可形成固体沉淀物、胶状物和酸性物质,使金属元件产生锈蚀、堵塞,且会加剧磨损。

热稳定性是指油液在高温时抵抗化学反应和分解的能力。高温会使油液发生化学反应,加快和油分子的裂化分解,从而可能产生沥青、焦油等物质。这些杂质会堵塞油路,影响系统的正常工作。

4) 抗乳化性和消泡性。抗乳化性是指阻止油液与水混合形成乳化液的能力。乳化的油液会破坏润滑油膜,降低润滑性能。

消泡性是指抑制油液中泡沫形成及迅速释放油液中分散气泡的能力。若油液中产生气泡,则易发生空穴现象,影响液压系统的正常工作。

1.2.2 液压系统对液压油的基本要求

液压系统工作时,液压油的工作参数(如压力、温度、流速等)都在不断地变化,为保证液压传动系统工作性能稳定且具有较长的使用寿命,液压传动用油必须满足以下要求。

- (1) 合适的黏度和良好的黏温特性。
- (2) 良好的润滑性。
- (3) 良好的化学稳定性和热稳定性。
- (4) 高的闪点和低的凝固点。
- (5) 良好的抗乳化性和消泡性。
- (6) 对液压系统所用金属及密封件材料等具有良好的相容性。
- (7) 良好的油液纯净度,杂质少。
- (8) 防锈性好,腐蚀性小。

1.2.3 液压油的选用

1. 液压油的分类

液压油的品种很多,主要分为三大类:矿油型、乳化型和合成型。其中,乳化型和合成型为抗燃液压油。由于矿油型液压油润滑性和防锈性好,黏度等级范围较宽,因而在液压系统中应用较广。

(1) 矿油型:包括普通液压油、抗磨液压油、低温液压油、机械液压油、汽轮机油、专用液压油等,如图1-6所示。

(2) 乳化型:包括水包油乳化液、油包水乳化液等。

(3) 合成型:包括磷酸酯液压油、脂肪酸酯液压油等。

2. 液压油的选用

液压传动用油的选择合适与否,直接影响液压系统的工作性能、工作可靠性、使用寿命等。