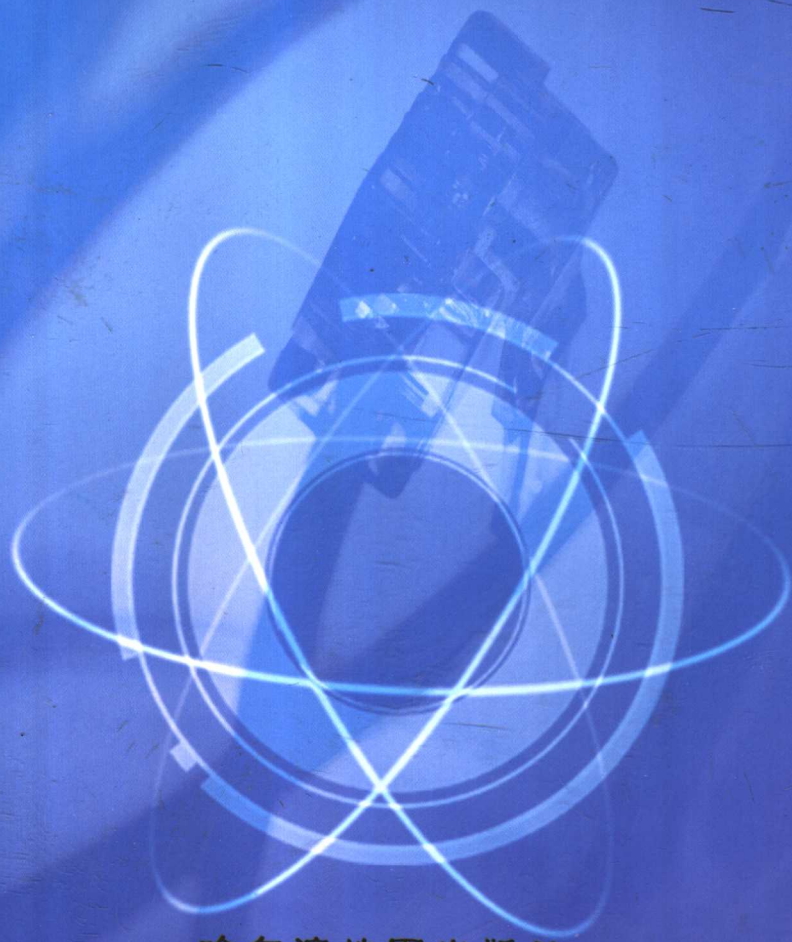


液压传动与气压传动

YEYA CHUANDONG YU QIYA CHUANDONG

主 编 赵 军
副主编 张东煜 赖庆辉
主 审 武 华



哈尔滨地图出版社

液压传动与气压传动

YEYA CHUANDONG YU QIYA CHUANDONG

主 编 赵 军

副主编 张东煜 赖庆辉

主 审 武 华

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气压传动/赵军主编. - 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2007. 7

ISBN 978 - 7 - 80717 - 683 - 1

I. 液… II. 赵… III. ①液压传动 - 高等学校 - 教材
②气压传动 - 高等学校 - 教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 110332 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

哈尔滨市动力区哈平印刷厂印刷

开本: 767 mm × 1 168 mm 1/16 印张: 11 字数: 282 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 80717 - 683 - 1

印数: 1 ~ 1 000 定价: 24.00 元

内 容 简 介

本书讲述液压传动与气压传动工作原理、系统设计和系统应用。内容包括：液压元件的结构和基本原理、液压系统基本回路、典型液压系统、液压系统设计计算；气压传动基础知识、气动元件及气动回路等。本书注重基本概念与基本原理的阐述，突出液压气动技术的理论知识的应用，培养学生的工程应用和设计能力。

本书可供高等院校机械工程类专业使用，也可供工程技术人员参考。

前 言

本书讲述液压传动与气压传动工作原理、系统设计和系统应用。内容包括:液压元件的结构和基本原理、液压系统基本回路、典型液压系统、液压系统设计计算;气压传动基础知识、气动元件及气动回路等。本书注重基本概念与基本原理的阐述,突出液压气动技术的理论知识的应用,培养学生的工程应用和设计能力。

本书在内容的选材和处理上,力求理论与实践相结合,突出理论知识的应用,加强实用性的分析,即注重讲清基本理论,又对液压系统的分析、设计、使用和液压元件的选用等方面给予了足够的重视。每章后面均有一定数量的思考题和习题,以便于读者加深理解和巩固所学内容。

全书共分 11 章,主要内容是:第一、二章介绍了液压传动和液压液体力学的基础知识。第三章至第六章为液压元件的结构和基本工作原理。第七章为液压基本回路的组成、特点及功能。第八章为典型液压系统实例。第九章为液压伺服传动系统的基本原理介绍。第十章为液压系统设计的内容。第十一章为气压传动技术基本知识。本书可供高等院校机械工程类专业学生使用。

本书由黑龙江八一农垦大学赵军担任主编,东北林业大学张东煜、东北农业大学赖庆辉担任副主编。张东煜编写第二章和第四章,赖庆辉编写第六章和第十章,其他章节由赵军编写,并负责统稿。全书由武华教授主审。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中难免出现不妥之处,欢迎广大读者批评指正,以便进一步修改完善。

编 者

2007 年 7 月

目 录

第一章 液压传动概述	1
第一节 液压传动的定义	1
第二节 液压传动的工作原理及系统的组成	1
第三节 液压传动的优缺点	3
第四节 液压传动的应用	4
第二章 液压流体力学基础	6
第一节 流体的物理性质	6
第二节 液体静力学	9
第三节 液体动力学基础	11
第四节 管道内压力损失的计算	16
第五节 孔口及间隙流动	19
第六节 液压冲击及空穴现象	24
第三章 液压泵	31
第一节 概述	31
第二节 齿轮泵	33
第三节 叶片泵和叶片马达	36
第四节 柱塞泵	40
第四章 液压马达和液压缸	44
第一节 液压马达	44
第二节 液压缸	46
第三节 液压缸的设计和计算	51
第五章 液压控制阀	55
第一节 概述	55
第二节 方向控制阀	56
第三节 压力控制阀	61
第四节 流量控制阀	63
第五节 组合阀	68
第六节 比例阀、逻辑阀和数字阀	71
第六章 液压辅助装置	76
第一节 蓄能器	76
第二节 滤油器	77
第三节 油箱	79
第四节 热交换器	80
第五节 管件	81
第六节 密封装置	81
第七章 液压基本回路	84

第一节	速度控制回路	84
第二节	压力控制回路	90
第三节	方向控制回路	94
第四节	多缸工作控制回路	96
第八章	典型液压系统	100
第一节	动力滑台液压系统	100
第二节	万能外圆磨床液压系统	102
第三节	液压机液压系统	106
第四节	Q2—8 型汽车起重机液压系统	108
第五节	佳联 JL3070 型联合收割机液压系统	110
第九章	液压伺服系统	112
第一节	液压伺服系统的工作原理	112
第二节	液压伺服系统的基本类型和特点	114
第三节	液压伺服系统的应用	116
第十章	液压传动系统设计与计算	120
第一节	明确设计要求,进行工况分析	120
第二节	确定液压系统主要参数	123
第三节	拟定液压原理图	124
第四节	液压元件的计算和选择	124
第五节	液压系统性能的验算	128
第六节	绘制工作图和编写技术文件	129
第七节	液压系统设计计算举例	129
第十一章	气压传动	135
第一节	气压传动概述	135
第二节	气源装置及辅件	136
第三节	气动执行元件	142
第四节	气动控制元件	145
第五节	气动基本回路	154
第六节	气动回路举例	157
附录		161
参考文献		169

第一章 液压传动概述

第一节 液压传动的定义

一部完整的机器由原动机、传动机、工作机(含辅助装置)组成。原动机包括电动机、内燃机等。工作机完成该机器工作任务的直接工作部分,如剪床的剪刀,车床的刀架、车刀、卡盘等。由于原动机的功率和转速变化范围有限,为了适应工作机的工作力和工作速度的变化,以及操纵性能的要求,在原动机和工作机之间设置了传动机构,其作用是把原动机输出功率经过变换后传递给工作机。

传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动机构。流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动方式,它包括液压传动、液力传动和气压传动。

液压传动和液力传动均是以液体作为工作介质进行能量传递的传动方式。液压传动主要是利用液体的压力能传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能传递能量。由于液压传动有许多突出的优点,它被广泛应用于机械制造、工程建设、石油化工、交通运输、军事器械、矿山冶金、轻工、农机、渔业、林业等各方面。同时,也被应用到航天航空、海洋开发、核能工程等各个工程技术领域。

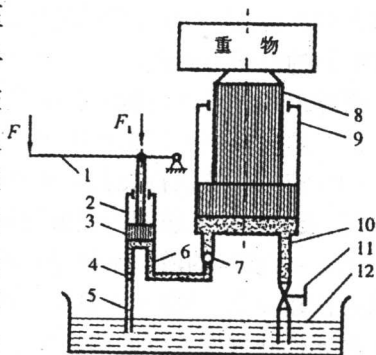
第二节 液压传动的工作原理及系统的组成

一、液压传动的工作原理

液压传动的工作原理,可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

如图 1-1 所示,大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。提起手柄使小活塞向上移动,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,单向阀 4 打开,通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油;用力压下手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,下腔的油液经管道 6 输入举升大油缸 9 的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升大油缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升大油缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

通过对上面液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下手柄时,小油缸输出压力油,将机械能转换成油液的压力能,压力油推动大活塞举起重物,将油



1 - 杠杆手柄 2 - 小油缸 3 - 小活塞
4, 7 - 单向阀 5 - 吸油管 6, 10 - 管道
8 - 大活塞 9 - 大油缸
11 - 截止阀 12 - 油箱

图 1-1 液压千斤顶工作原理

液的压力能又转换成机械能。大活塞举升的速度取决于单位时间内流入大油缸中油液容积的多少。由此可见,液压传动是以液体作为工作介质,并以其压力能来传递能量的。

二、液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置,下面分析一种驱动工作台的液压系统如图 1-2 所示,它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。液压泵在电动机驱动下从油箱中吸油,油液经滤油器进入液压泵,油液在泵腔中从低压进入、高压输出,在图 1-2(a) 所示状态下,通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔,推动活塞使工作台向右移动,液压缸右腔的油经换向阀和回油管排回油箱。如果将换向阀手柄转换成图 1-2(b) 所示状态,则压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔,推动活塞使工作台向左移动,液压缸左腔的油经换向阀和回油管排回油箱。

从机床工作台液压系统的工作过程可以看出,一个完整的、能够正常工作的液压系统,应该由以下五个主要部分组成:

(1) 能源装置。能源装置供给液压系统压力油,把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。

(2) 执行装置。执行装置把液压能转换成机械能的装置,其形式有作直线运动的液压缸,有作回转运动的液压马达。

(3) 控制装置。控制装置对系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。

(4) 辅助装置。上述三部分之外的其他装置,如油箱、滤油器、油管等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。

(5) 工作介质。传递能量的流体,如液压油。

由上述液压系统工作过程的分析可知,工作台的移动速度通过节流阀调节。当节流阀开大时,进入液压缸的油量增多,工作台的移动速度增大;当节流阀关小时,进入液压缸的油量减小,工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力,液压缸必须产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服移动工作台的阻力越大,液压缸中的油液压力越高;反之,压力就越低。

通过上述分析,可以得到液压传动两个重要的特性:

(1) 液压系统的压力取决于作用负载的大小;

(2) 液压系统执行装置的速度取决于输入的流量。

三、液压传动系统图的图形符号

图 1-2 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图,它有直观性强、容易理解的优点。但图形比较复杂,绘制比较麻烦。我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路的国家标准,即液压系统图图形符号(GB/T786.1-93)。我国制定的液压系统图图形符号有以下几条基本规定。

(1) 液压系统图图形符号只表示元件的职能和连接通路,不表示元件的具体结构和参数。

(2) 液压系统图图形符号通常均以元件的静止或零位置表示,不表示从一个工作状态转到另一工作状态的过渡过程。

(3) 液压系统图只表示各元件的连接关系,不表示系统布置的具体位置或元件在机器中的实际安装位置。

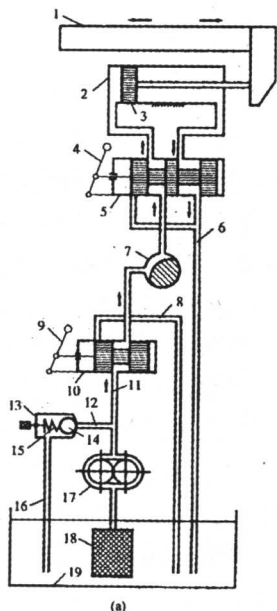
(4) 液压系统图图形符号在系统图上的布置,除有方向性的元件符号(如油箱、仪表),根

据具体情况可转动 90° , 180° , 270° 绘制,但不得将可调性箭头向下倒置。

(5) 当需要标明元件的名称、型号和参数时,一般在系统图的零件表中说明,必要时可标注在元件符号旁边;

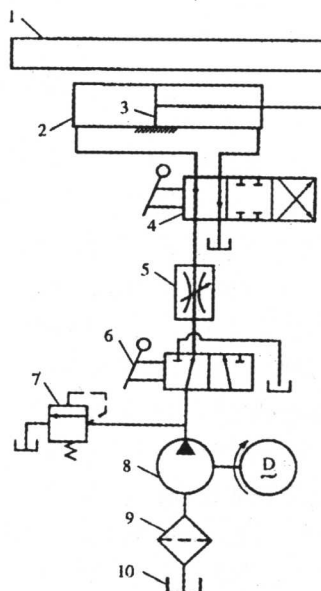
(6) 对于标准中没有规定的图形符号,均允许局部采用结构简图表示。

图 1-3 所示为图 1-2(a) 系统用国标《GB786.1-93 液压系统图图形符号》绘制的工作原理图。



1—工作台 2—液压缸 3—活塞 4—换向手柄
5—换向阀 6, 8, 16—回油管 7—节流阀
9—开停手柄 10—开停阀 11—压力管
12—压力支管 13—溢流阀 14—钢球
15—弹簧 17—液压泵 18—滤油器 19—油箱

图 1-2 机床工作台液压系统工作原理



1—工作台 2—液压缸 3—油塞 4—换向阀
5—节流阀 6—开停阀 7—溢流阀
8—液压泵 9—滤油器 10—油箱

图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号

第三节 液压传动的优缺点

液压传动的优点:

(1) 液压传动是油管连接,可以方便灵活地布置传动机构。

(2) 液压传动装置重量轻、结构紧凑、惯性小。例如,相同功率液压马达的体积为电动机的 $12\% \sim 13\%$ 。液压泵和液压马达单位功率的重量指标是目前发电机和电动机的 $1/10$ 。

(3) 液压传动可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达,可以实现无级调速,调速范围可达 $1:2000$,并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 传递运动均匀平稳,负载变化时速度较稳定。

(5) 液压装置易于实现过载保护,同时液压件能自行润滑,因此使用寿命长。

(6) 液压传动易实现自动化,特别是液压控制和电气控制结合使用,能容易地实现复杂的自动工作循环,而且可以实现遥控。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

液压传动的缺点:

- (1) 液压系统的泄漏,影响运动的平稳性和正确性,使得液压传动不能保证严格的传动比。
- (2) 液压传动对油温的变化比较敏感,所以不宜在温度变化很大的环境条件下工作。
- (3) 为了减少泄漏,以及为了满足某些性能上的要求,液压元件的配合件制造精度要求较高,加工工艺较复杂。
- (4) 液压传动要求有单独的能源,不像电源那样使用方便。
- (5) 液压系统发生故障不易检查和排除。

第四节 液压传动的应用

液压传动相对于机械传动来说是一门新学科,从17世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理,18世纪末英国制成第一台水压机算起,液压传动已有二、三百年的历史,只是由于早期技术水平和生产需求的不足,液压传动技术没有得到普遍的应用。随着科学技术的不断发展,对传动技术的要求越来越高,液压传动技术自身也在不断发展。第二次世界大战期间,在兵器上采用了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,大大提高了兵器的性能,也大大促进了液压技术的发展。战后,液压技术迅速转向民用,随着各种标准的不断制订和完善,各类元件的标准化、规格化、系列化,液压传动在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。近30年来,由于原子技术、航空航天技术、控制技术、材料科学、微电子技术等学科的发展,使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,在国民经济的各个部门都得到了应用。采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

以液压传动应用于金属切削机床为例,说明液压传动的应用。

(1) 进给运动传动装置。磨床砂轮架和工作台的进给运动大部分采用液压传动;车床、六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架;铣床、刨床、组合机床的工作台等的进给运动也都采用液压传动。

(2) 往复主体运动传动装置。龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕,由于要求作高速往复直线运动,并且要求换向冲击小、换向时间短、能耗低,因此都可以采用液压传动。

(3) 仿形装置。车床、铣床、刨床上的仿形加工可以采用液压伺服系统来完成,其精度可达0.01~0.02 mm,磨床上的成形砂轮修正装置亦可采用这种系统。

(4) 辅助装置。机床上的夹紧装置、齿轮箱变速操纵装置、丝杠螺母间隙消除装置、垂直移动部件平衡装置、分度装置、工件和刀具装卸装置、工件输送装置等,采用液压传动有利于简化机床结构,提高机床自动化程度。

(5) 静压支承。重型机床、高速机床、高精度机床上的轴承、导轨、丝杠螺母机构等处采用液体静压支承后,可以提高工作平稳性和运动精度。

液压传动在其他机械工业部门的应用情况见表1-1。

表1-1 液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	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、皮带运输机等
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

续表

行业名称	应用场所举例
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、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

思考题和习题

- 1-1 何谓液压传动？
- 1-2 液压传动系统由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
- 1-3 液压传动方式有哪些主要优缺点？
- 1-4 我国对液压系统的图形符号做了哪些主要规定和说明？

第二章 液压流体力学基础

第一节 流体的物理性质

一、流体质点和连续介质

流体的真实结构是由大量的分子所组成的,分子之间有间隙,每一个分子都在不断地做不规则热运动。在流体力学中,把流体质点作为最小的研究对象。所谓质点是指含有大量分子并能保持其宏观力学特性的微小体积的流体单元。从微观角度来看,流体是不连续的。但是,在大多数工程实际中,人们关心的是大量分子的总体的统计的效应,而不是单个分子的行为。当从宏观角度来研究流体的机械运动,而不涉及微观的物质结构时,就认为流体物质是连续分布的。把流体看成是由无数连续分布的质点所组成,质点之间没有任何间隙,而是完全充满着所占空间的连续体。因此,可以把流体看成是连续介质。

把流体看成连续介质之后,流体的压强、温度、密度、速度等,在空间应该是连续分布的,从而可以利用连续函数这一工具,给流体力学的研究带来很大的方便。

二、作用在流体上的力

作用在流体上的力可分为质量力和表面力两大类。处于某种力场中的流体,所有质点均受有与质量成正比的力,这个力称为质量力。如重力、直线惯性力、离心惯性力。

单位质量流体所受质量力为单位质量力。单位质量力在直角坐标系中沿 x, y, z 三个轴向分量分别记为 X, Y, Z 。如在流体中取体积 (V) , 所含质量为 (M) , 在重力场中(取直角坐标系的 z 轴垂直于水平面) 单位质量力的分量为:

$$X = 0, Y = 0, Z = \frac{-\Delta M g}{\Delta M} = -g。$$

表面力是指作用在流体外表面上,与表面积大小成正比的力。在流体力学的研究中,常常自流体内取出一个分离体作为研究对象。这时表面力指的是周围流体作用在分离体表面上的力。对于整个流体,这种表面力属于内力,彼此抵消。通常以单位面积上的表面力即应力表示表面力的大小,应力可分为切向应力和法向应力。

三、流体的密度和重度

单位体积流体所具有的质量称为流体的密度,以符号 (ρ) 标记。取包围空间某点微元体积 ΔV , 其中所含流体质量为 ΔM , 比值 $\frac{\Delta M}{\Delta V}$ 即为 ΔV 中的平均密度。若令 $\Delta V \rightarrow 0$, 即 ΔV 向该点收缩趋近于零时为该点的流体密度, 即

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{-\Delta M g}{\Delta M}$$

某体积均质流体的质量与标准状态下同体积纯水质量的比值称为流体的相对密度。单位体积流体所具有的重量称为流体的重度,以符号 γ 标记。密度和重度的关系: $\gamma = \rho g$ 。

四、流体的压缩性与膨胀性

流体的密度随着其所处的压强和温度而变化,因为压强和温度是空间点坐标和时间的函

数,所以,密度也是空间点坐标和时间的函数。

流体温度升高体积增大的性质称为膨胀性,流体的压力增大体积减小的性质称为压缩性。由于液压油的压缩性非常小,因此,在一般工程计算中完全可以忽略压缩性的影响,按不可压缩处理。这种假想的不可压缩流体模型称为不可压缩流体。

五、流体的黏性

流体在外力作用下流动时,由于流体分子间的内聚力而产生一种阻碍流体分子之间进行相对运动的内摩擦力,流体流动产生内摩擦力的性质称为流体的黏性。由于流体具有黏性,当流体发生剪切变形时,流体内就产生阻滞变形的内摩擦力,由此可见,黏性表征了流体抵抗剪切变形的能力。处于相对静止状态的流体中不存在剪切变形,因而也不存在变形的抵抗,只有当运动流体层间发生相对运动时,流体对剪切变形的抵抗,也就是黏性才表现出来。黏性所起的作用为阻滞流体内部的相互滑动,在任何情况下它都只能延缓滑动的过程而不能消除这种滑动。黏性的大小可用黏度来衡量,黏度是选择液压油的主要指标,是影响流体流动的重要物理性质。

当流体流动时,由于流体与固体壁面的附着力及流体本身的黏性使流体内各处的速度大小不等,以流体沿如图 2-1 所示的平行平板间的流动情况为例。

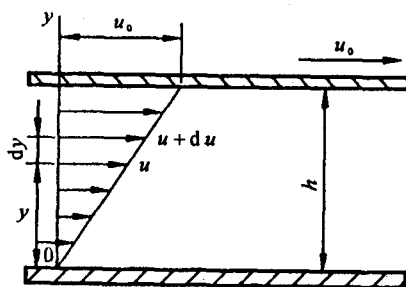


图 2-1 液体的黏性示意图

设上平板以速度 u_0 向右运动,下平板固定不动。紧贴于上平板上的流体粘附于上平板上,其速度与上平板相同。紧贴于下平板上的流体粘附于下平板上,其速度为零。中间流体的速度按线性分布。这种流动看成是许多无限薄的流体层在运动,当运动较快的流体层在运动较慢的流体层上滑过时,两层间由于黏性产生内摩擦力的作用。根据实际测定的数据可知,流体层间的内摩擦力 F 与流体层的接触面积 A 及流体层的相对流速 du 成正比,而与此流体层间的距离 dy 成反比,即:

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

以 $\tau = F/A$ 表示切应力,则有:

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

式中: μ 为衡量流体黏性的比例系数,称为绝对黏度或动力黏度; du/dy 表示流体层间速度差异的程度,称为速度梯度。上式是流体内摩擦定律的数学表达式。

流体的黏度通常有三种不同的度量单位。

(1) 动力黏度 μ

动力黏度表示流体的黏性即内摩擦力的大小。动力黏度 μ 的物理意义是当速度梯度 $du/dy = 1$ 时,单位面积上的内摩擦力的大小,即:

$$\mu = \frac{F}{A} \frac{1}{du/dy}$$

动力黏度的国际计量单位(SI)为牛顿·秒/米²,符号为 $N \cdot s/m^2$,或为帕·秒,符号为 $Pa \cdot s$ 。

(2) 运动黏度 ν

运动黏度是动力黏度 μ 与密度 ρ 的比值:

$$\nu = \mu/\rho$$

式中： ν 为液体的运动黏度， m^2/s ； ρ 为液体的密度， kg/m^3 。

运动黏度的 SI 单位为 m^2/s ， m^2/s 。还可用 CGS 制单位：St（斯）和 cSt（厘斯）表示。

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

运动黏度没有什么明确的物理意义，它不能像 μ 一样直接表示流体的黏性大小。按国标 GB/T3141-94 规定，液压油产品的牌号用黏度的等级表示，即用该液压油在 40°C 时的运动黏度中心值表示。

动力黏度和运动黏度是理论分析和推导中经常使用的黏度单位，它们都难以直接测量，因此，工程上采用一种可用仪器直接测量的黏度单位，即相对黏度。

(3) 相对黏度

相对黏度是根据特定测量条件制定的，故又称条件黏度。测量条件不同，采用的相对黏度单位也不同。有的用赛氏秒 SUS，有的用雷氏黏度 RS（英国、美国），有的用恩氏黏度（中国、德国、前苏联）。恩氏黏度的测定方法如下：测定 200 cm^3 某一温度的被测液体在自重作用下流过直径 2.8 mm 小孔所需的时间 t_1 ，然后测出同体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一孔所需时间 t_2 （ $t_2 = 50 \sim 52 \text{ s}$ ）， t_1 与 t_2 的比值即为流体的恩氏黏度值。恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}$ 表示，被测液体温度 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}_t$ 表示。

$$^\circ\text{E}_t = t_1/t_2$$

工业上一般以 20°C 、 50°C 和 100°C 作为测定恩氏黏度的标准温度，并相应地以符号 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 和 $^\circ\text{E}_{100}$ 表示。知道恩氏黏度，利用下列的经验公式，将恩氏黏度换算成运动黏度。

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

六、压力和温度对黏度的影响

一般情况下，压力对黏度的影响比较小，在工程中当压力低于 5 MPa 时，黏度值的变化很小，可以不考虑。当液体所受的压力加大时，分子之间的距离缩小，内聚力增大，其黏度也随之增大。当液体压力大于 50 MPa 时，其影响才趋于显著。

液压油黏度对温度的变化是十分敏感的，当温度升高时，其分子之间的内聚力减小，黏度就随之降低。不同种类的液压油，它的黏度随温度变化的规律也不同。

七、液压系统对液压油的要求和液压油的选用

液压油是液压系统的重要组成部分，是用来传递能量的工作介质。除了传递能量外，还起着润滑运动部件和保护金属不被锈蚀的作用。液压油的质量及各种性能将直接影响液压系统的工作状态。

液压系统使用油液应具备如下性能：

适宜的黏度和良好的粘温特性；润滑性能好；良好的化学稳定性，即对热、氧化、水解、相容都具有良好的稳定性；对液压装置及相对运动的元件具有良好的润滑性；对金属材料具有防锈性和防腐性；比热、热传导率大，热膨胀系数小；抗泡沫性好，抗乳化性好；油液纯净，含杂质量少；流动点和凝固点低，闪点和燃点高。

在选择液压油时，除了按照泵、阀等元件出厂规定中的要求进行选择外，一般可作如下考虑：

(1) 考虑液压系统中工作压力的高低

当液压系统中的工作压力较高时，宜选择黏度较高的油液，因为高压时的泄漏问题比较突出，而克服黏性阻力所产生的压力损失的相对比值较小。在工作压力较低时，宜选用黏度较低的油液。例如，当工作压力小于 7.0 MPa 时，多选用 40°C 时运动黏度为 $28 \sim 65 \text{ cst}$ 的油液，当工作压力为 $7.0 \sim 20.0 \text{ MPa}$ 时，可选用 40°C 时运动黏度为 100 cst 的油液。

(2) 考虑液压系统的环境温度

矿物油黏度随温度的变化较大,因此当环境温度高时,应选用黏度较高的油液,反之,应选用黏度较低油液,例如在严冬时可用 15 号机械油,夏季用 32 号机械油,酷热时选用 46 号油液。

(3) 考虑液压系统中工作部件的运动速度

当液压系统中工作部件的运动速度高时,油液的流速也高,液压损失也随之增大,而泄漏量相对减小,因此宜选用黏度较低油液。反之,当工作部件的运动速度很低时,单位时间内所需流量很小,泄漏量相对增大,将对工作机构的运动速度产生影响,故宜选用黏度较高的油液。

(4) 考虑几种常用液压油的主要性能

机械油。氧化稳定性差,常用于条件要求不高的系统。

汽轮机油。具有较高的抗氧化性、抗乳化性,比机械油纯净,用于要求较高的液压系统中。

柴油机油。油中加有抗氧化、防锈蚀和去垢剂。润滑性能好,黏度指数高。常用于农机和工程机械的液压系统中。

稠化液压油。我国近年新试制的专用液压油,有上稠、兰稠等牌号。它们的凝固点低、氧化安定性好,防锈、润滑、粘温性好,可用于低温、高压条件,工作时泡沫少,噪音小。

抗磨液压油。具有良好的抗氧防锈性,优良的抗磨性,可防止液压元件过早磨损,按 40 °C 时运动黏度分 15, 22, 32, 46, 68, 100 个牌号,可分别适用于低、中、高压液压系统。

第二节 液体静力学

液体静力学研究液体处于静止状态下的力学规律及其实际应用。所谓静止包括绝对静止和相对静止,绝对静止是指液体整体相对于地球没有相对运动,相对静止是指液体本身和容器一起做各种运动,液体内部各质点间没有相对运动。因此,液体在静止状态下不呈现黏性,不存在切应力,只有法向的压应力,即静压力。

一、液体静压力及其特性

静止液体在单位面积上所受的力称为静压力。静压力在液压传动中简称压力,在物理学中则称压强。液体内部某质点处的法向力 ΔF 对其微小面积 ΔA 的极限称为压力 p , 即:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \Delta F / \Delta A$$

若法向力均匀地作用在面积 A 上,则压力表示为:

$$p = F/A$$

式中: A 为液体有效作用面积; F 为液体有效作用面积上所受的力。

静压力具有下述两个重要特征:

- (1) 液体静压力垂直于作用面,其方向与该面的内法线方向一致;
- (2) 静止液体中,任何一点所受到的各方向的静压力都相等。

二、液体静力学方程

静止液体内部受力如图 2-2 所示。设容器中装满液体,在任意一点 A 处取一微小面积 dA , 该点距液面深度为 h , 距坐标原点高度为 Z , 容器液面

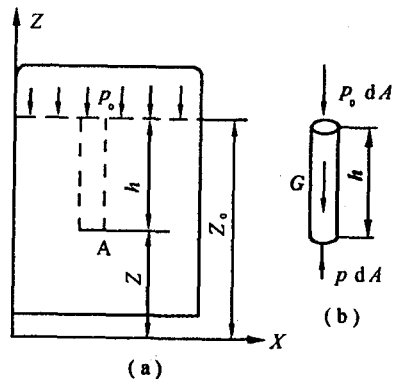


图 2-2 静压力的分布规律

距坐标原点为 Z_0 。为了求得任意一点 A 的压力,可取 $dA \cdot h$ 液柱为分离体。根据静压力的特性,作用于液柱上的力在各方向都呈平衡,可求得各作用力在 Z 方向的平衡方程。微小液柱顶面上的作用力为 $p_0 dA$ (方向向下),液柱本身的重力 $G = \gamma h dA$ (方向向下),液柱底面受到的作用力为 $p dA$ (方向向上),则平衡方程为:

$$p dA = p_0 dA + \gamma h dA$$

故

$$p = p_0 + \gamma h$$

上式是液体静力学基本方程。为了更清晰地说明静压力的分布规律,将上式按坐标 Z 变换一下,即以 $h = Z_0 - Z$,代入上式整理后得:

$$p = \gamma Z = p_0 + \gamma Z_0 = \text{常量}$$

上式是液体静力学基本方程的另一种形式。其中 Z 表示 A 点的单位质量液体的位能,设 A 点液体质点的质量为 m ,重力为 mg ,如果质点从 A 点下降到基准水平面,它的重力所做的功为 mgz 。因此 A 处的液体质点具有位置势能 mgz ,单位质量液体的位能是 $mgz/mg = Z$ 。 Z 又常称作位置水头。而 $p/\rho g$ 表示 A 点单位质量液体的压力能,常称为压力水头。由以上分析可知,静止液体中任意一点都有单位质量液体的位能和压力能,各点的总能量之和为一常量。

分析液体静力学基本方程可知:

- (1) 静止液体中任意一点的压力均由两部分组成,即液面上的压力 p_0 和液体自重引起的压力 γh ;
- (2) 静止液体内的压力随液体距液面的深度变化呈线性规律分布,且在同一深度上各点的压力相等,压力相等的所有点组成的面为等压面。在重力作用下静止液体的等压面为一个平面;
- (3) 可通过下述三种方式使液面产生压力 p_0 :通过固体壁面(如活塞)使液面产生压力;通过气体使液面产生压力;通过不同质的液体使液面产生压力。

三、压力的表示方法及单位

液体压力通常有绝对压力、相对压力(表压力)、真空度三种表示方法。在地球表面上,一切物体都受大气压力的作用,而且是自成平衡的,即大多数测压仪表在大气压下并不动作,它所表示的压力值为零。因此,测压仪表测出的压力是高于大气压力的那部分压力,它是相对于大气压(即以大气压为基准零值)所测量到的一种压力,称为相对压力或表压力。另一种是以绝对真空为基准零值所测得的压力,称为绝对压力。当绝对压力低于大气压时,习惯上称为出现真空。因此,某点的绝对压力比大气压小的那部分数值为该点的真空度。绝对压力、相对压力(表压力)和真空度的关系如图 2-3 所示。

由图 2-3 可知,绝对压力总是正值,表压力则可正可负,负的表压力就是真空度。把下端开口,上端具有阀门的玻璃管插入密度为 ρ 的液体中,如图 2-4 所示。在上端抽出一部分封入

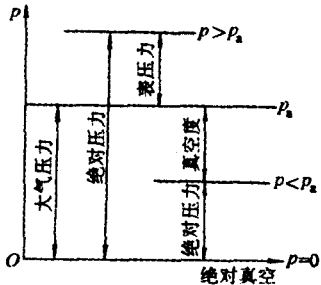


图 2-3 三种压力的关系

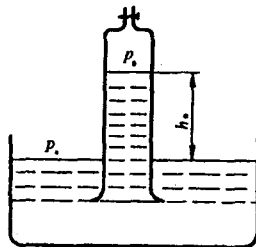


图 2-4 真空