

面向 21 世纪高等院校规划教材

液压与气压传动

主编 尹凝霞 主审 李广慧



上海科学技术出版社



配套出版

《液压与气压传动综合实践》
系统设计+软件仿真+实物搭建

面向 21 世纪高等院校规划教材

液压与气压传动

主编 尹凝霞

主审 李广慧

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书主要内容包括液压流体力学基础知识、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助装置、液压基本回路、典型液压系统、液压系统设计计算及气压传动。考虑到学时有限,本书以液压传动为主、气压传动为辅,从而符合少而精、简明扼要的教学要求。在编写过程中,遵循以学生为中心,以成果为导向,力求理论联系实际,从应用的角度综合介绍液压与气压传动技术,注重学生分析问题和解决问题的能力培养。

本书可作为普通高等院校机械类、机电类专业本科生教材,也可供有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 尹凝霞主编. -- 上海 : 上海科学技术出版社, 2022. 12
面向21世纪高等院校规划教材
ISBN 978-7-5478-5852-3

I. ①液… II. ①尹… III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材 IV. ①TH137
②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第161800号

液压与气压传动

主编 尹凝霞

主审 李广慧

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F)

邮政编码 201101 www.sstp.cn

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13.75

字数 330千字

2022年12月第1版 2022年12月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-5852-3/TH·96

定价: 49.00元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向印刷厂联系调换

前 言

液压与气压传动是机械设备实现传动与控制的关键技术之一,世界各国对液压与气压传动技术的发展都给予了高度重视。目前,液压与气压传动技术已广泛应用于包括船舶、汽车、航空航天、国防和智能装备等各个领域,可以说有机械的地方就会涉及液压或气压技术。液压与气压传动技术是高校机械大类专业基础课。

本书以液压与气压传动技术为主线,在简介液压与气动技术基本原理基础上,着重分析了各类元件的工作原理、结构和选用原则,有针对性地对基本回路、典型液压与气压系统的工作原理进行了深入浅出的阐述,并于每章末都附有习题与思考题,以使学生更好地巩固与掌握液压与气压传动的基础知识。

本书在梳理知识脉络的基础上,重点解决“学时少,内容多”的突出矛盾,在章节内容编排上力求言简意赅,在编写过程中坚持成果导向教育(outcome based education, OBE)理念,每章开始均明确提出本章的知识目标和能力目标。全书坚持理论联系实际、突出应用,通过对具体系统的分析提高学生对液压/气压系统的分析与设计能力。

本书由广东海洋大学尹凝霞担任主编,河北师范大学赵秀平和广东海洋大学杨桢毅、麦青群担任副主编。具体编写分工如下:尹凝霞编写绪论和第7~9章,赵秀平编写第1、4、5章,麦青群编写第2、3章,杨桢毅编写第6章。广东海洋大学李广慧教授作为本书主审,对书稿进行了细致审阅,提出了许多宝贵意见,在此谨致谢意。

本书出版得到广东海洋大学2020年度校级本科教学质量与教学改革工程项目的支持。为了提高学生的液压综合设计能力、创新能力、独立工作能力及团队协作能力,后期将配套出版本教材的姊妹篇《液压与气压传动综合实践》。《液压与气压传动综合实践》一书,主要面向工程实践能力培养,注重学生动手能力提升,并且软件仿真与实物搭建实践验证相结合,是理论教学的必要拓展与有益补充。

在本书编写过程中,我们参考和借鉴了部分国内外同行出版的教科书或发表的文献资料,部分图片参考自互联网,并得到了许多专家和同行的热情支持,在此致以诚挚的感谢和敬意。

由于本书涉及知识面较广,加之作者水平有限,书中难免存在不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

目 录

绪论	1
0.1 液压与气压传动的工作原理及工作特征	1
0.2 液压与气压传动系统的组成及图形符号	3
0.3 液压与气压传动的优缺点及其对比	5
0.4 液压与气压传动课程学习导引	6
习题与思考题	6
第 1 章 液压流体力学基础知识	8
1.1 液压油	8
1.2 液体静力学	14
1.3 液体动力学	19
1.4 管道流动	26
1.5 孔口流动	30
1.6 缝隙流动	32
1.7 液压冲击和空穴现象	35
习题与思考题	38
第 2 章 液压动力元件	42
2.1 液压泵概述	42
2.2 齿轮泵	45
2.3 叶片泵	49
2.4 柱塞泵	54
2.5 液压泵的选用	56
习题与思考题	57
第 3 章 液压执行元件	59
3.1 液压马达	59
3.2 液压缸	62
习题与思考题	72
第 4 章 液压控制元件	74
4.1 液压阀概述	74
4.2 方向控制阀	77
4.3 压力控制阀	91
4.4 流量控制阀	100

4.5	伺服阀	106
4.6	电液比例阀	111
4.7	电液数字控制阀	115
	习题与思考题	118
第5章	液压辅助装置	125
5.1	蓄能器	125
5.2	过滤器	130
5.3	油箱	134
5.4	热交换器	136
5.5	油管 and 管接头	138
	习题与思考题	141
第6章	液压基本回路	142
6.1	压力控制回路	142
6.2	速度控制回路	149
6.3	方向控制回路	157
6.4	多执行元件控制回路	160
	习题与思考题	164
第7章	典型液压系统	167
7.1	液压系统读图方法	167
7.2	动力滑台液压系统	167
7.3	压力机液压系统	170
7.4	汽车起重机液压系统	173
	习题与思考题	175
第8章	液压系统设计计算	178
8.1	液压系统设计步骤	178
8.2	液压系统设计计算举例	183
	习题与思考题	188
第9章	气压传动	189
9.1	气压传动基础知识	189
9.2	气源装置及气动辅助元件	192
9.3	气动执行元件	197
9.4	气动控制元件	200
9.5	气动基本回路	202
9.6	气动系统实例	209
	习题与思考题	212
	参考文献	214

绪 论

本章学习目标

- (1) 知识目标：了解组成系统的各类液压与气动元件的基本结构、工作原理及性能。
- (2) 能力目标：与其他传动方式相对比，了解液压与气压传动的特点及适用场合。

一部完整的机器，一般由动力部分、传动部分、控制部分和工作部分组成。传动部分是一部机器的重要组成部分，除传递动力外，还要对工作部分的输出力（力矩）、速度（转速）进行控制并满足其他操纵（如换向等）要求。常见的传动方式有机械传动、电气传动、电传动和流体传动等。液压传动和气压传动是流体传动中最常见的两种形式，液压传动中的介质为液体，气压传动中的介质为气体。本章主要内容即为液压与气压传动的工作原理、系统组成及其特点。

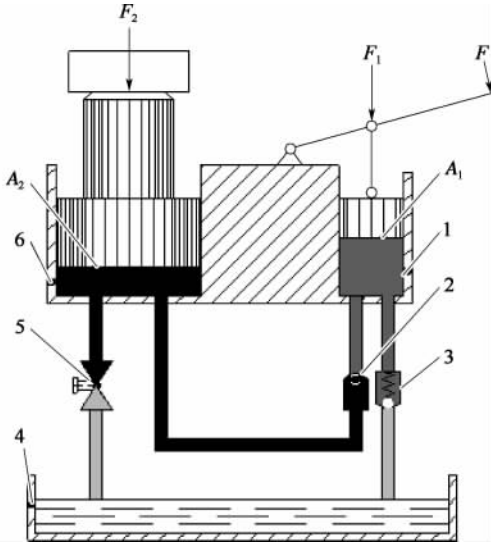
0.1 液压与气压传动的工作原理及工作特征

自 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传递原理、18 世纪末英国制造出世界上第一台水压机算起，液压与气压传动技术出现已有几百年历史，但直到 20 世纪尤其是第二次世界大战之后液压与气压传动才真正在工业上被广泛应用并迅猛发展，先后在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床等行业得到推广。20 世纪 60 年代后，随着原子能、空间技术和计算机技术的发展，液压传动技术向更广阔的领域渗透；当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、高寿命和高度集成化的方向发展。此外，液压传动的应用程度已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志之一，发达国家生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心和 95% 以上的自动线都采用了液压传动技术。

与液压传动一样，气动技术已成为实现工业自动化的有效手段，自 20 世纪 60 年代以来气动技术同样发展迅速，同时因空气介质具有防火、防爆、防电磁干扰及抗振动、冲击、辐射等优点，近年来气动技术也已从汽车、采矿、钢铁、机械工业等重工业领域扩展至化工、轻工、食品、军事等各行各业。气动元件的微型化、节能化和无油化是当前气动技术的发展方向，同时，计算机辅助设计、计算机仿真与优化技术及电子控制技术的发展，也为气动技术的发展提供了广阔的前景。

0.1.1 液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动原理相似，都是基于静压传递原理工作，其传动原理可用图 0-1 所示液压千斤顶来说明。当向上抬起杠杆时，小液压缸 1 的小活塞向上运动，其下腔工作容积增



1—小液压缸；2—排油单向阀；3—吸油单向阀；
4—油箱；5—截止阀；6—大液压缸

图 0-1 液压千斤顶工作原理图

大形成局部真空,排油单向阀 2 关闭,油箱 4 中油液在大气压作用下经吸油管顶开吸油单向阀 3 进入小液压缸下腔;当向下压杠杆时,小液压缸 1 下腔容积减小,油液受挤压,压力升高,关闭吸油单向阀 3,顶开排油单向阀 2,油液经排油管进入大液压缸 6 下腔,推动大活塞上移顶起重物。如此不断上下扳动杠杆,则不断有油液进入大液压缸下腔,使重物逐渐举升。如杠杆停止动作,大液压缸下腔油液压力将使排油单向阀关闭,大活塞连同重物一起被自锁不动,停止在举升位置。打开截止阀 5 时,大液压缸下腔通油箱,大活塞将在自重作用下向下移动,迅速回复至原始位置。

由液压千斤顶工作原理可知,小液压缸 1 和排油单向阀 2、吸油单向阀 3 完成吸油与排油,将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出,称为(手动)液压泵;大液压缸 6 将油液的压力

能转换为机械能输出,抬起重物,称为液压缸,大、小液压缸组成了最简单的液压传动系统,实现了力与运动的传递。

气压传动与液压传动的主要区别为:前者的工作介质为压缩空气,工作完毕的气体一般直接排向大气而不回收,通常其工作压力较低而后者工作压力较高,工作完毕的回油通常须排回油箱实现回收。

0.1.2 液压与气压传动的工作特征

1) 力的传递靠工作介质压力实现,工作压力取决于外负载

设图 0-1 中大液压缸活塞有效作用面积 A_2 ,作用在其上的负载力为 F_2 ,该力在液压缸中所产生的液体压力 $p_2 = F_2 / A_2$,依据帕斯卡定律“作用于密闭流体上的压力将等值同时传递至液体各点”,液压泵排油压力 p_1 应等于液压缸中液体压力,即 $p_1 = p_2 = p$,液压泵排油压力又称系统压力。

为了克服外负载使液压缸活塞运动,作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 应为

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \quad (0-1)$$

式中, A_1 为液压泵活塞有效作用面积。

在 A_1 、 A_2 一定时,外负载 F_2 越大,系统中压力 p 也越高,所需作用力 F_1 也越大,即系统工作压力取决于外负载,此为液压与气压传动工作原理的第一个工作特征。

2) 运动速度的传递靠容积变化相等原则实现,运动速度取决于流量

在不考虑液体可压缩性、泄漏损失和缸体、管路变形时,液压泵排出的液体体积必然等于进入液压缸液体体积,即容积变化相等,设液压泵活塞位移为 s_1 ,液压缸活塞位移为 s_2 ,则有

$$A_1 s_1 = A_2 s_2 \quad (0-2)$$

式(0-2)两边同时除以时间 t ,可得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (0-3)$$

式中, v_1 、 v_2 分别为液压泵活塞和液压缸活塞平均运动速度; q_1 、 q_2 分别为液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

由此可见, 液压与气压传动的运动速度是靠密闭工程容积变化相等的原则实现运动传递的, 活塞的运动速度取决于输入流量的大小, 而与外负载无关, 此为液压与气压传动的第二个特征。

3) 系统的动力传递符合能量守恒, 压力与流量的乘积等于功率

不计任何损失时, 系统输入功率 P_1 与输出功率 P_2 相等, 即有

$$P_1 = F_1 v_1 = P_2 = F_2 v_2 \quad (0-4)$$

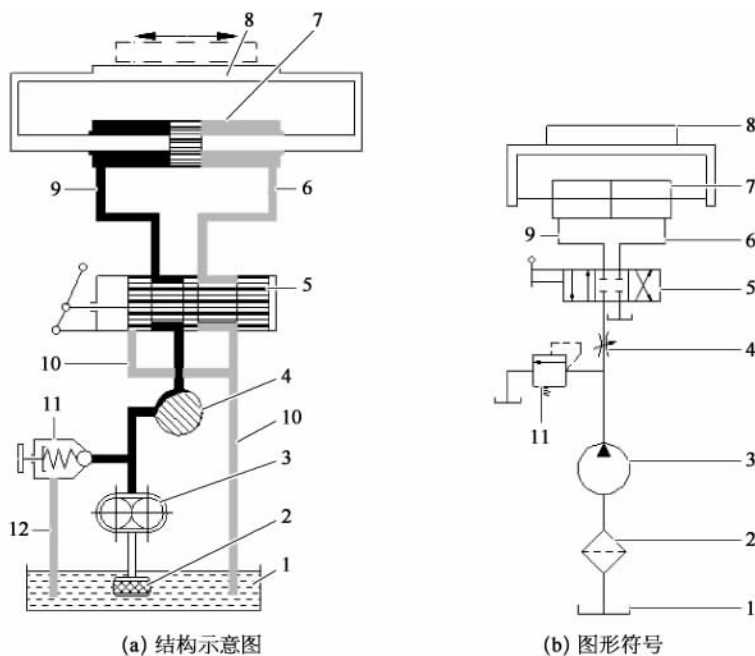
$$P = P_1 = F_1 v_1 = p A_1 \frac{q_1}{A_1} = P_2 = F_2 v_2 = p A_2 \frac{q_2}{A_2} = p q \quad (0-5)$$

由式(0-5)可以看出, 液压传动中功率为压力与流量的乘积, 此为液压与气压传动的第三个工作特征。

0.2 液压与气压传动系统的组成及图形符号

0.2.1 液压与气压传动系统组成

图 0-2 所示为典型磨床工作台液压系统原理图, 液压泵 3 在电动机带动下旋转, 油液

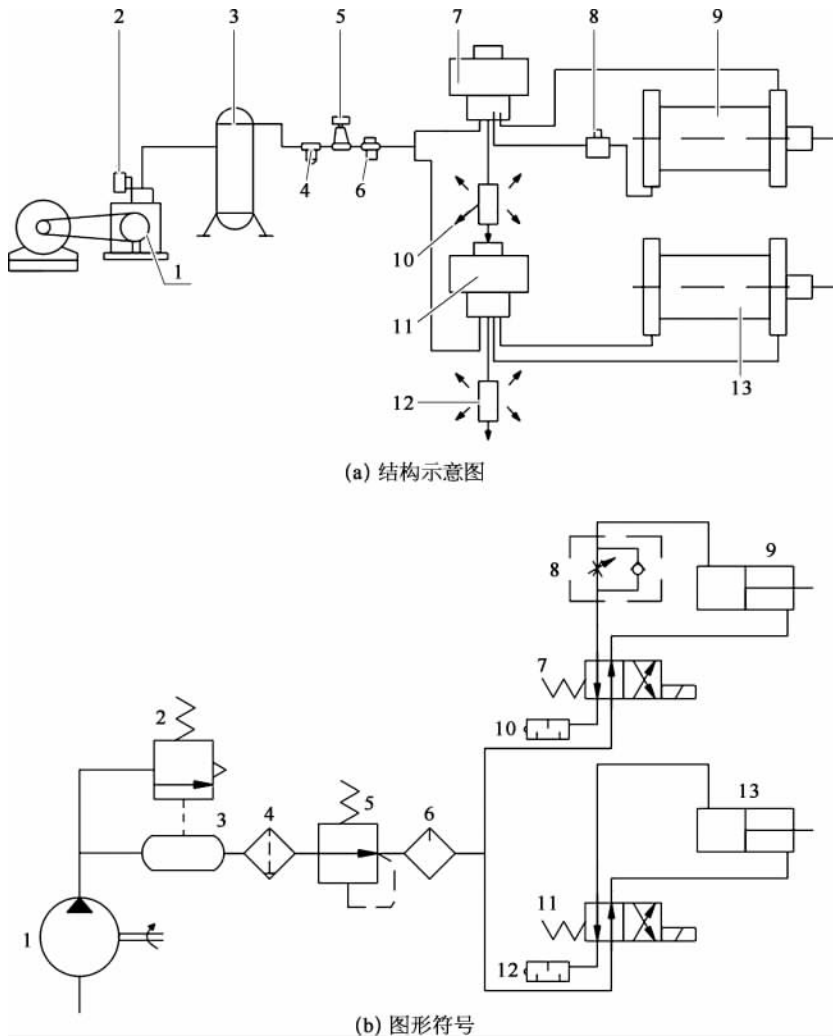


1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵; 4—节流阀; 5—换向阀; 6、9、10、12—管道; 7—液压缸; 8—工作台; 11—溢流阀

图 0-2 典型磨床工件台液压系统原理图

由油箱1经过滤器2被吸入液压泵,当手动换向阀5处于左位时,压力油经节流阀4、换向阀5进入液压缸左腔,推动活塞带动工作台向右移动,液压缸右腔的油液经换向阀流回油箱。改变换向阀2的阀芯位置,使之处于左端位置时,液压缸活塞反向运动。

气压传动系统与液压传动系统相似。如图0-3所示,在气压发生器与气缸间,有控制压缩空气的压力、流量和流体方向的各种动力控制元件,逻辑运算、检测、自动控制等信号控制元件,以及使压缩空气净化、润滑、消声和传输所需的一些装置。



1—空压机;2—安全阀;3—储气罐;4—过滤器;5—减压阀;6—油雾器;7、11—换向阀;
8—单向流量控制阀;9—胀形气缸;10、12—消声器;13—合膜气缸

图0-3 典型气压系统原理图

从上述例子可以看出,一个完整的液压与气压传动系统由以下几部分组成:

(1) 动力装置。为将机械能转变为流体压力能的装置,常见的是液压泵和空气压缩机,为系统提供压力油液或者压缩空气。

(2) 执行元件。为将流体的压力能转变为成机械能以驱动工作机构的元件,主要包括

做直线运动的缸和转动或摆动的马达。

(3) 控制元件。指对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制、调节的装置,主要包括压力阀、流量控制阀和方向阀等。

(4) 辅助元件。为上述三个组成部分以外的其他元件,包括管道、过滤器、油雾器、管接头及消声器等。

0.2.2 液压与气压传动图形符号

图 0-2a 和图 0-3a 所示液压系统原理图与气压系统原理图,直观性强、容易理解,但难以绘制。在实际工作中,除少数特殊情况外,一般多采用 GB/T 786.1—2009 中所规定的流体传动系统及元件图形符号来绘制,如图 0-2b 和图 0-3b 所示。值得注意的是,图形符号只表示元件功能,不表示元件具体结构和参数;反映各元件在油路连接中的相互关系,不反映其空间安装位置;只反映静止位置或初始位置工作状态,不反映其过渡过程。

0.3 液压与气压传动的优缺点及其对比

0.3.1 液压与气压传动优缺点

与机械传动和电气传动相比,液压与气压传动具有特有的优点和缺点,分别介绍如下:

1) 优点

(1) 系统的布局安装灵活,系统中各部分采用管道连接,各元件布置不受严格空间位置限制,安装具有很大灵活性,可构成其他方法难以组成的复杂系统。

(2) 易于实现大范围无级调速,调速范围可达 2 000 : 1,还可在运行过程中进行调速。

(3) 系统的运动与换向性能优良,液压装置和液气联动传递运动比较平稳,且由于重量轻、惯性小、反应快,易于实现快速启动、制动和频繁换向。

(4) 具有良好的控制调节特性,易于实现自动控制、中远程控制和过载保护,与电气控制和电子控制相结合,易于实现自动工作循环和自动过载保护。

(5) 主要元件实现了标准化、系列化和通用化,有利于缩短机器的设计、制造周期和降低制造成本。

2) 缺点

(1) 相比机械和电气系统,液压与气压传动过程中需要经过两次能量转换,传动效率偏低。

(2) 由于流体传动介质的可压缩性和泄漏因素影响,不能严格保证系统的传动比。

(3) 对温度的变化比较敏感,工作性能易受温度变化影响,因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。

(4) 液压与气压传动元件制造精度高,系统工作过程中发生故障不易诊断。

液压与气压传动和其他传动的比较见表 0-1。

表 0-1 液压与气压传动和其他传动的比较

比较参数	气 动	液 压	电 气	机 械
输出力大小	中等	大	中等	较大
动作速度	较快	较慢	快	较慢
装置构成	简单	复杂	一般	普通
受负载影响	较大	一般	小	无
传输距离	中	短	远	短
速度调节	较难	容易	容易	难
维护	一般	较难	较难	容易
造价	较低	较高	较高	一般

0.3.2 液压与气压传动主要区别

(1) 液压传动以液压传递动力,气压传动以气压传递动力,两者工作原理相似,其本质区别在于工作介质,前者是油液、后者是空气。

(2) 两者可压缩性不同,液压油几乎不可压缩,压力稳定,传力较大;而空气压缩比大,不易获得较大推力和转矩。液压传动的力或力矩远大于气压传动,速度平稳;气压传动传递的力或力矩相对较小。

(3) 液压传动有自润滑性,液压件耐磨,寿命长;气压传动无润滑性,须在气路中另外设置润滑装置。

0.4 液压与气压传动课程学习导引

液压与气压传动课程是一门技术基础课,主要介绍液压与气压传动基础知识、液压元件、液压基本回路、典型液压系统和液压系统设计计算及气压传动。本课程涵盖内容较多,各种液压与气压元件既有自身结构特点,又有相通之处;元件、回路与系统间既独立又有内在关联,加之学时有限,故教材内容以液压传动为主、气压传动为辅。本书中第1章为液压传动基础知识;第2~5章为液压元件;第6章为液压基本回路;第7章为典型液压系统;第8章为液压系统设计计算;第9章为气压传动;此外,还扼要介绍了国家标准和有关规范。

通过本课程的学习,学生应具备一般液压系统的分析与设计能力,具有一般液压设备的分析与应用能力,为技术改造和技术革新创造条件,并为学习有关专业机械传动控制课程奠定必要基础。



习题与思考题

1. 液压传动、气压传动与机械传动、电气传动相比,有哪些优缺点? 试举出你所见到的

2~3 个具体例子,说明液压传动技术在工业、农业、军事、交通等领域的应用情况。

2. 液压传动系统由哪几部分组成,各部分的作用是什么?

3. 液压传动系统的基本参数是什么?系统的压力和流量是怎样确定的,它们与哪些因素有关?

4. 液压与气压传动技术的未来发展趋势是什么?

第 1 章 液压流体力学基础知识

本章学习目标

- (1) 知识目标：了解液压传动工作介质，掌握液体动力学三大方程。
- (2) 能力目标：能够用三大方程分析一些液压现象。

液压传动是以液体为工作介质进行能量传递的，因此了解液体的基本性质，掌握液体在静止和运动过程中的基本力学规律，对于正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压系统都是十分重要的。

本章除了简要地叙述液压油液的性质、液压油液的要求和选用等内容外，将着重阐述液体的静力学特性、静力学基本方程式和动力学的几个重要方程式。

1.1 液 压 油

1.1.1 液压油的性质

1.1.1.1 密度

单位体积液体所具有的质量称为该液体的密度，即

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

式中， ρ 为液体的密度(kg/m^3)； m 为体积为 V 的液体的质量(kg)； V 为液体的体积(m^3)。

密度是液体的一个重要的物理参数。密度的大小随着液体的温度或压力的变化会产生一定的变化，但其变化量一般较小，在工程计算中可以忽略不计。常用液压油的密度约为 $900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

1.1.1.2 可压缩性

液体受压力作用而使体积减小的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体，当压力增大 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为

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (1-2)$$

式中， k 为液体的体积压缩率(或称压缩系数)。由于压力增大时，液体的体积减小，即 Δp 与 ΔV 的符号始终相反，为保证 k 为正值，在式(1-2)的右边加一负号。

液体压缩率 k 的倒数，称为液体的体积弹性模量，以 K 表示，即

$$K = \frac{1}{k} = -\Delta p \frac{V}{\Delta V} \quad (1-3)$$

式中, K 为液体产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。在实际应用中, K 常用来说明液体抵抗压缩能力的大小。

液体的体积弹性模量和温度、压力有关: 温度增加时, K 值减小; 压力增大时, K 值增大。液压油的体积弹性模量 $K = (1.2 \sim 2) \times 10^3$ MPa, 数值很大, 故对于一般液压系统, 可认为液压油是不可压缩的。但是, 当液压油中混入空气时, K 值将大大减小, 其可压缩性将显著增加, 并将严重影响液压系统的工作性能。故在液压系统中应尽量减少液压油中空气含量。

1.1.1.3 黏性

1) 黏性的表现

液体在外力作用下流动时, 分子间内聚力的存在使其流动受到牵制, 从而沿其界面产生内摩擦力, 这一特性称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理性质, 也是选择液压油的重要依据。

液体的黏性示意图如图 1-1 所示。假设距离为 h 的两平行平板之间充满液体, 下平板固定, 上平板以速度 u_0 向右平行运动。由于液体和固体壁面间的附着力以及液体的黏性, 会使流动液体内部各液层的速度大小不等: 紧靠上平板的液层速度为 u_0 , 紧靠下平板的液层速度为零, 而中间各层液体的速度当层间距离 h 较小时, 从上到下近似呈线性递减规律变化。这是因为在相邻两液体层间存在有内摩擦力, 该力对上层液体起阻滞作用, 而对下层液体则起拖拽作用。

实验结果表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 即

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

式中, 比例系数 μ 称为黏性系数或动力黏度。

若以 τ 表示液层间的切应力, 即单位面积上的内摩擦力, 则

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。

由上式可知, 在静止液体中, 由于速度梯度 $du/dy = 0$, 故内摩擦力为零。因此静止液体是不呈现黏性的, 液体只有在流动或有流动趋势时才会呈现出黏性。

2) 黏性的度量

度量黏性大小的物理量称为黏度。常用的黏度有三种, 即动力黏度、运动黏度和相对

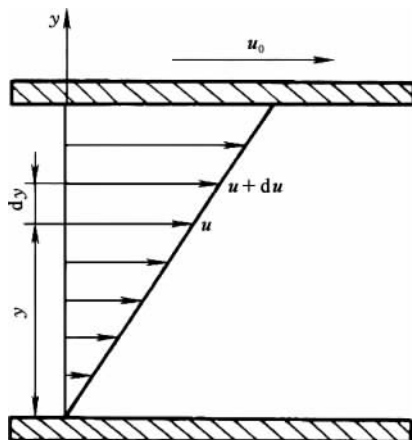


图 1-1 液体的黏性示意图

黏度。

(1) 动力黏度 μ 。又称绝对黏度。动力黏度 μ 是表征流动液体内摩擦力大小的黏性系数,根据式(1-5)可知

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy} \quad (1-6)$$

由此可知,动力黏度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,接触液层间单位面积上产生的内摩擦力。在我国法定计量单位制及国际计量单位制(SI制)中,动力黏度 μ 的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (牛·秒/米²)。

在流体力学中,把黏性系数 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,一般液压油均可视为牛顿液体。

(2) 运动黏度 ν 。液体动力黏度与其密度之比称为该液体的运动黏度 ν ,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

在我国法定计量单位制及 SI 制中,运动黏度 ν 的单位是 m^2/s (米²/秒)。因在其单位中只有长度和时间的量纲,故得名为运动黏度。运动黏度 ν 没有明确的物理意义。但在工程实际中经常用它来表示液体的黏度。液压油的牌号就是用它 在 40 °C 时的运动黏度 ν (mm^2/s)的平均值来表示的。如 L-AN32 液压油,就是指这种液压油在 40 °C 时的运动黏度 ν 的平均值为 32 mm^2/s 。

(3) 相对黏度。又称条件黏度。动力黏度和运动黏度是理论分析和计算时经常使用的黏度,但它们都难以直接测量。因此,在工程上常常使用相对黏度。它是采用特定的黏度计在规定的条件下测量出来的黏度。根据测量条件和使用仪器的不同,各国采用的相对黏度单位也不同。如中国、德国等采用恩氏黏度(°E),美国采用国际赛氏秒(SSU)等。

恩氏黏度由恩氏黏度计测定,即将 200 ml、温度为 t °C 的被测液体装入底部有 $\phi 2.8$ mm 小孔的恩氏黏度计内,先测定该液体在自重作用下通过小孔流尽所需的时间 t_1 ,再测出同体积温度为 20 °C 的蒸馏水通过同一小孔流尽所需的时间 t_2 ,两者的比值便是该液体在温度 t °C 时的恩氏黏度,即

$${}^{\circ}E_t = t_1 / t_2 \quad (1-8)$$

工程上常用 20 °C、50 °C、100 °C 作为测定恩氏黏度的标准温度,由此得来的恩氏黏度分别用 ${}^{\circ}E_{20}$ 、 ${}^{\circ}E_{50}$ 和 ${}^{\circ}E_{100}$ 表示。

3) 黏度与温度的关系

温度变化使液体内聚力发生变化,因此液体的黏度对温度的变化十分敏感:温度升高,黏度下降,这一特性称为液体的黏-温特性。油液黏度的变化直接影响液压系统的性能、泄漏量和容积效率,因此希望黏度随温度的变化越小越好。几种典型液压油的黏-温特性曲线如图 1-2 所示。

黏-温特性常用黏度指数(viscosity index, VI)来度量。VI 表示该液体的黏度随温度变化的程度与标准液的黏度变化程度之比。黏度指数越高,说明黏度随温度变化越小,其黏-

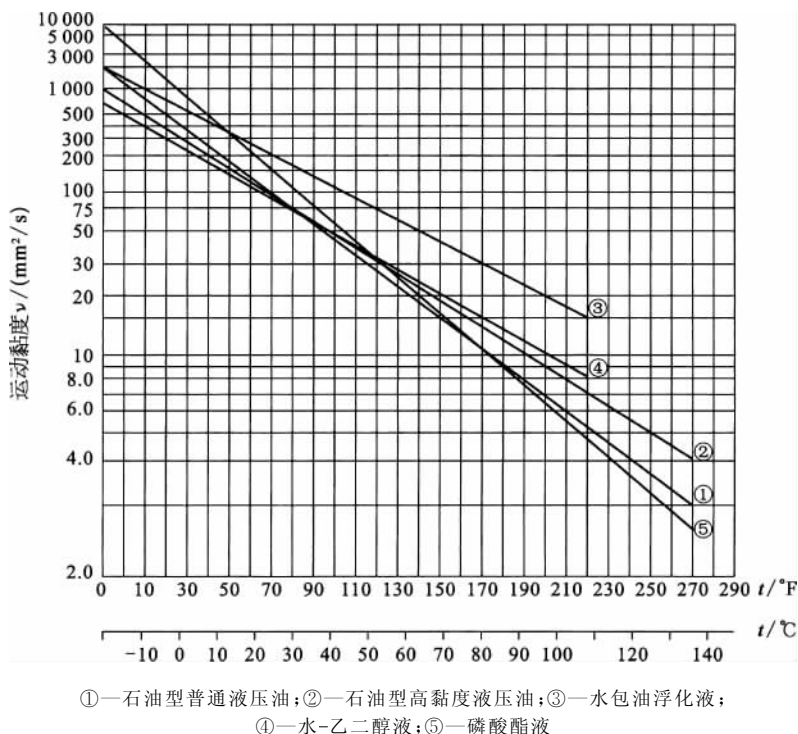


图 1-2 典型液压油的黏-温特性曲线

温特性越好。一般液压油要求黏度指数值在 90 以上,精制的液压油及加有添加剂的液压油,其黏度指数值可大于 100。

4) 黏度与压力的关系

压力增大时,液体分子间的距离缩小,内聚力增大,黏度也随之增大。这种关系称为油液的黏-压特性。在实际应用中,油液黏度随压力的变化在中低压时并不明显,若系统压力小于 32 MPa 时,压力对黏度的影响比较小,可以不考虑。

1.1.1.4 其他性质

液压传动工作介质还有其他一些性质,如稳定性(热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性和剪切稳定性等)、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性以及相容性(对所接触的金属、密封材料和涂料等作用程度)等,都对它的选择和使用有重要影响。这些性质需要在精炼的矿物油中加入各种添加剂来获得。不同品种的液压油,这些性质的指标也不同,具体可查阅有关资料。

1.1.2 对液压油的要求和选用

1.1.2.1 液压系统对液压油的基本要求

为了保证液压系统的正常工作,液压油需要满足以下基本要求:

(1) 合适的黏度和良好的黏-温特性。保证液压元件在工作压力和工作温度发生变化的条件下得到良好润滑、冷却和密封。

(2) 良好的润滑性能。保证油液能在零件的滑动表面上形成强度较高的油膜,避免干摩擦。