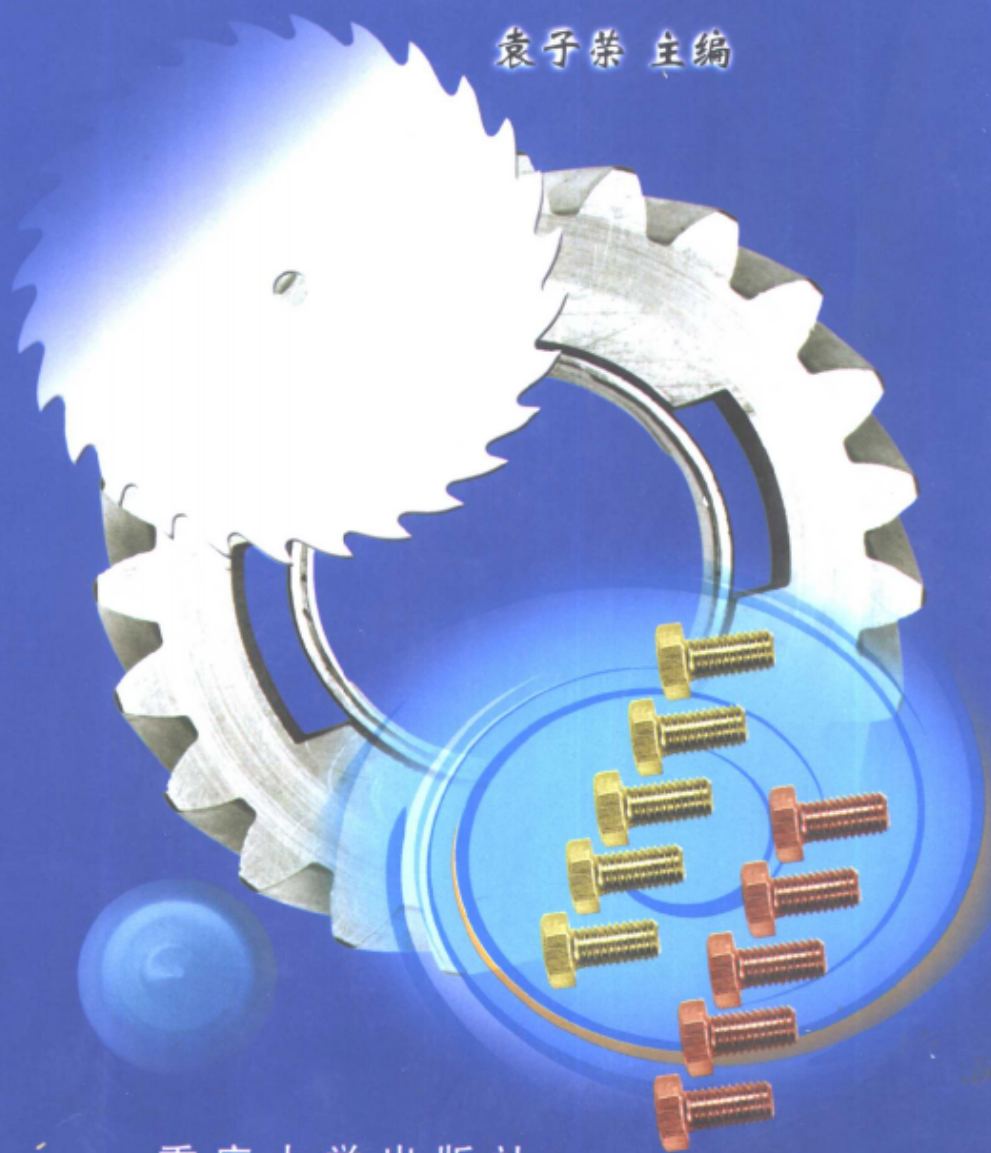


高等学校教材

液气压传动与控制

YEQIYA CHUANDONG YU KONGZHI

袁子荣 主编



重庆大学出版社



机械类系列教材目录

机械制图
机械制图习题集
机械工程材料
理论力学
材料力学
机械原理
机械原理课程设计手册
机械设计
机械设计课程设计手册
材料成形技术基础
电工电子学(上)
电工电子学(下)
机电控制理论及应用
机械制造技术基础
机械工程测试技术与信号分析
液气压传动与控制
数控技术
机械电气自动控制
计算机辅助设计技术基础

ISBN 7-5624-2550-7



9 787562 425502 >

ISBN 7-5624-2550-7 / TH·93

定价:26.00 元

TH137
Y-959

液气压传动与控制

袁子荣 主编

重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液气压传动与控制/袁子荣主编. —重庆:重庆大学出版社, 2002.3

机械设计制造及自动化专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2550-7

I. 液... II. 袁... III. ①液压传动—高等学校—教材②液压控制—高等学校—教材③气压传动—高等学校—教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 098907 号

液气压传动与控制

袁子荣 主编

责任编辑 梁 涛

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:437 千

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2550-7/TH·93 定价:26.00 元

序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济已见端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。邓小平同志早已明确指出:科技是现代化的关键,而教育是基础。毫无疑问,高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中化、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。

为了适应社会主义现代化建设的需要,在 1993 年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面启动和实施《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》,有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是:改革教育体制、教育思想和教育观念;拓宽专业口径,调整专业目录,制定新的人才培养方案;改革课程体系、教学内容、教学方法和教学手段;实现课程结构和教学内容的整合与优化,编写、出版一批高水平、高质量的教材。

地处巴山蜀水的重庆大学,是驰名中外的我国重要高等学府。重庆大学出版社是一个重要的大学出版社,工作出色,一贯重视教材建设,从 90 年代初期开始实施“立足西部,面向全国”的战略决策,针对当时国内专科教材匮乏的情况,组织西部地区近 20 所院校编写、出版机械类、电类专科系列教材,以后又推出计算机、建筑、会计类专科系列教材,得到原国家教委的肯定与支持。在 1998 年教育部颁布《普通高等学校本科专业目录》之后,重庆大学出版社立即组织西部地区高校的数十名教学专家反复领会教学改革精神,认真学习全国的教育改革成果,

充分交流各校的教学改革经验,制定机械设计制造及其自动化专业的教学计划和各门课程的教学大纲,并组织编写、出版机械类本科系列教材。为了确保教材的质量,重庆大学出版社采取了以下措施:

- 发挥教育理论与教育思想的指导作用,将教学改革思想和教学改革成果融入教材的编写之中。

- 根据人才培养计划中对学生知识和能力的要求,对课程体系和教学内容进行整合,不过分强调每门课程的系统性、完整性,重在实现系列教材的整体优化。

- 明确各门课程在专业培养方案中的地位 and 作用,理顺相关课程之间的关系。

- 精选教学内容,控制教学学时数,重视对学生自主学习能力、分析解决工程实际问题能力和创新能力的培养。

- 增强 CAD、CAM 的内容,提高教材的先进性;尽可能运用 CAI 等现代化教学手段,提高传授知识的效率。

- 实行专家审稿制度,聘请学术水平高、事业心强、长期活跃在教学改革第一线的专家审稿,重点审查书稿的学术质量和是否具有特色。

这套教材的编写符合教学改革的精神,遵循教学规律和人才培养规律,具有明显的特色。与出版单科教材相比,有计划地将教材成套推出,实现了整体优化。这富有远见。

经过几年的艰苦努力,这套机械类本科教材已陆续问世了。它反映了西部高校多年来教学改革与教学研究的成果,它的出版必将为繁荣我国高等学校的教材建设作出积极的贡献,特别是在西部大开发的战略行动中,起着十分重要的作用。

高等学校的教学改革和教材建设是一项长期而艰巨的工作,任重道远,不可能一蹴而就。我希望这套教材能够得到读者的关注与帮助,并希望通过教学实践与读者不吝指教,逐版加以修订,使之更加完善,在高等教育改革的百花园中奇花怒放!我深深为之祝愿。

中国科学院院士 杨叔子

2000 年 4 月 28 日

前言

为了适应国家实施西部大开发急需人才的需要,以及适应大学本科的专业设置、教学计划、教学内容和课程设置、课程体系进行改革的需要,根据 1999 年 1 月西部地区工科院校教材建设主编会议精神,此次编写的系列教材应满足面向 21 世纪高等工程教育改革和机械类大专业招生的需要。为了适当拓宽知识面,培养宽口径人才并考虑到液气压传动在现代机械制造工业中的地位和发展,同时突出工程控制与应用的特点,在听取了各方面意见的基础上,编写了《液气压传动与控制》教材。

近年来,液压与气压传动技术已经广泛应用于各个工业部门,而且由于微电子技术和控制理论学科的发展,促进了液气压技术与控制技术的紧密结合,互相渗透。学习本课程的目的是使学生掌握液气压传动技术的基本概念、基本理论和基本方法及其在控制工程中的应用,为机械设计制造及自动化专业方向课程的学习做知识准备,并为学生今后从事机电液设备的设计、制造及使用方面的工作打下基础。

本书具有以下几个特点:

1. 编写大纲根据液压、气动元件、控制系统在结构、原理及应用等方面的诸多共性,采用液压、气动互相结合的体系进行编写,归纳共性,做到举一反三,以利于对学生进行分析与综合能力的培养。

2. 编写中,注意处理好内容多、学时少的矛盾,内容尽量精简,着重讲解基本概念、基本理论和基本方法。避免冗长的结构叙述,并尽量采用简化后的直观的原理图。结构部分尽量在现场教学中讲授。液压传

动内容的编写以高压为主,并反映当前国际上的先进技术和国际标准。

3. 注重对学生进行理论结合实际,工程综合应用能力的培养,在内容上尽量避免较深的数学推导、动态特性分析等内容。文字叙述精炼,通俗易懂,便于自学。

4. 内容力求新颖,在反映国内外有关液气压新技术的同时,书中不少内容及列举的大量的实践例子,都是编者在长期的科研、生产、教学中所获得的原始资料,有自己的真知灼见。因此,更使本书具有可读、可用、可教的特点。

5. 为了能够做到精讲多练,每章之后均有供选择的习题,通过思考练习使学生容易把握重点、难点。

6. 采用国际单位制及新的图形符号。

本书共分 10 章,第 1 章为绪论,介绍液气压传动系统的基本工作原理、组成和特点,工作介质的特性和选用,液气压技术的应用与发展概况。第 2 章为流体力学基础,介绍流体静力学、动力学,能量损失及与液压,气动相关的其他基础知识。第 3 章为动力元件,介绍液压泵和空压机的工作原理,结构特点,正确选择和应用。第 4 章为执行元件,介绍直线运动执行元件和旋转运动执行元件的设计计算、选择和应用。第 5 章为控制元件,介绍各种调节阀的工作原理、类型和结构特点,在控制系统中的应用与选择。第 6 章为辅助元件,介绍液压、气动各种辅件的作用原理、类型、特点、选择与应用。第 7 章为基本回路,介绍各类基本回路的工作特性,分析各类回路的特点及其在工程中的应用。第 8 章为典型液、气压传动系统,介绍典型传动系统的读图及分析方法。第 9 章为系统设计计算,介绍系统的设计步骤、设计计算方法及控制手段。第 10 章为伺服控制系统,简要介绍伺服控制系统的分类、工作原理、特点和应用。

本书由昆明理工大学袁子荣教授主编。参加编写的有:陕西工学院杨明亮(第 1、2 章)、贵州大学黄放(第 3 章)、桂林电子工业学院田玲(第 4 章)、重庆大学张德文(第 5 章)、昆明理工大学吴张永(第 6 章)、袁子荣(第 7、10 章)、杨尚平(第 9 章)、甘肃工业大学陈惠贤(第 8 章)。昆明理工大学硕士研究生仲海卫、贺鹏、顾毅、郑军华、王强等对本书的文字输入、图表绘制作了大量工作。云南省国防工业学校许茂桃副教授对全书作了全面校对,在此深表谢意。并感谢本书引用文献的所有作者和出版社,为本书的编写提供了翔实的资料。

由于编者水平有限,书中难免存在着缺点和错误,请广大读者不吝赐教。

编者谨识

2001 年 12 月于昆明

目录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 液气压传动的工作原理及系统组成	(1)
1.2 液气压传动的工作介质	(2)
1.3 液气压传动的优缺点	(10)
1.4 液气压传动与控制的发展概况	(11)
习题	(12)
第 2 章 流体力学基础	(13)
2.1 流体静力学	(13)
2.2 气体状态方程	(16)
2.3 流体动力学	(18)
2.4 液压系统的压力损失	(25)
2.5 孔口及缝隙的流量压力特性	(28)
2.6 充、放气温度与时间的计算	(33)
2.7 液压冲击和气穴	(35)
习题	(36)
第 3 章 动力元件	(39)
3.1 概述	(39)
3.2 液压泵的性能参数	(41)

3.3 齿轮泵	(42)
3.4 叶片泵	(47)
3.5 柱塞泵	(53)
3.6 气源装置	(58)
习题	(62)
第4章 执行元件	(63)
4.1 直线运动执行元件的类型、特点和工作原理	(63)
4.2 液压缸	(67)
4.3 气缸	(75)
4.4 旋转运动执行元件的工作原理、类型和特点	(84)
4.5 液压马达	(86)
4.6 气马达	(88)
习题	(91)
第5章 控制元件	(93)
5.1 概述	(93)
5.2 压力控制阀	(94)
5.3 流量控制阀	(102)
5.4 方向控制阀	(106)
5.5 其他液压阀	(115)
5.6 气动控制阀(特殊阀)	(124)
习题	(129)
第6章 辅助元件	(131)
6.1 油箱	(131)
6.2 管件	(133)
6.3 蓄能器	(134)
6.4 过滤器	(136)
6.5 热交换器	(139)
6.6 密封件	(141)
6.7 气动辅件	(144)
6.8 真空元件	(149)
6.9 气压传输系统的管理	(151)
习题	(153)
第7章 基本回路	(154)
7.1 方向控制回路	(154)
7.2 压力控制回路	(156)

7.3 速度控制回路·····	(164)
7.4 同步回路·····	(178)
7.5 顺序回路·····	(181)
习题·····	(183)
第8章 典型液气压传动系统·····	
8.1 组合机床动力滑台液压系统·····	(187)
8.2 液压机液压系统·····	(189)
8.3 塑料注射成型机液压系统·····	(192)
8.4 气动机械手气压传动系统·····	(196)
8.5 铝箔轧机电液伺服控制系统·····	(198)
8.6 电液比例控制系统·····	(201)
习题·····	(202)
第9章 液气压系统的设计计算·····	
9.1 液压系统的设计计算·····	(205)
9.2 液压系统设计举例·····	(220)
9.3 气动系统设计·····	(227)
习题·····	(241)
第10章 伺服控制系统·····	
10.1 液压伺服系统概述·····	(242)
10.2 伺服阀·····	(244)
10.3 机液伺服系统·····	(253)
10.4 电液伺服系统·····	(259)
习题·····	(262)
附录	
附录 I 液压与气压传动常用图形符号·····	(263)
参考文献 ·····	(270)

第 1 章

绪 论

一部完整的机器,一般由原动机、传动机构和工作机构组成。

传动机构是一部机器的重要组成部分,除传递动力外,还要对工作机构的输出力(力矩)、速度(转速)进行控制并满足其他操纵(如换向等)要求。

传动机构的工作方式有机械传动、电气传动和流体传动。液压传动和气压传动是流体传动中最常用的两种传动形式,液压传动中使用的介质为液体,气压传动中使用的介质为气体。因此,所谓流体传动即是以流体为工作介质,在密闭容器中实现能量转换和传递的装置。

液压传动由于具有传动平稳、易于实现无级调速和自动控制等优点,在机床、锻压机械、塑料机械、冶金机械、矿山机械、农业机械、建筑机械、工程机械、航空航天等领域应用极为广泛。据统计,国外 95% 的工程机械和自动生产线都采用液压传动。气压传动具有防火、防爆、无污染和价廉等优点,在汽车、电子、食品、轻纺、石油、化工、包装业和机器人等领域得到了广泛的应用。

1.1 液气压传动的工作原理及系统组成

液压与气压传动系统的工作原理完全相似,它们都是基于静压传递原理来工作的,其传动模型如图 1.1 所示,由缸体 1,2,活塞 3,4 和流体连接件 5 组成一个密封容器,容器中盛满液体或气体。大小活塞可以在缸孔内上下移动,但流体不允许外泄漏。

当在小活塞上施加的作用力足够大时,就能将重物 W 举升起来,这种力和运动的传递是通过容器内的液体或气体来实现的。这就是液压与气压传动工作原理上的共性。下面以液压千斤顶为例进一步说明液压传动系统的工作原理。图 1.2 所示的液压千斤顶与图 1.1 的传动模型不同之处只是增加了单向阀 6,7,放油阀 8,贮油室 9 和杠杆 10,但却组成了一个简单的液压传动系统。工作时,首先向上提起杠杆,小活塞 3 向上运动,缸体 1 的容积增大,形成局部真空,贮油室中的油液在大气压力作用下通过单向阀 6 进入缸 1,此时单向阀 7 关闭。当压下杠杆时,油液通过单向阀 7 压入缸 2,此时单向阀 6 关闭。只要连续不断地提起和压下杠杆,就能把油从贮油室吸入缸 1 又输送到缸 2,并推动活塞 4 向上运动将重物 W 举升起来。若要下降重物,打开放油阀 8,缸 2 中的油流入贮油室,活塞 4 返回到初始位置就完成了重物的下

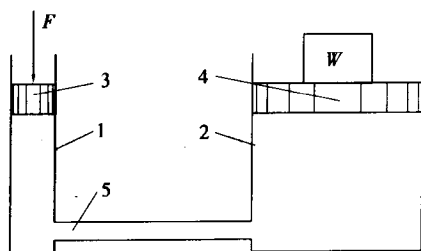


图 1.1 流体传动模型

1,2—缸体;3,4—活塞;5—流体连接件

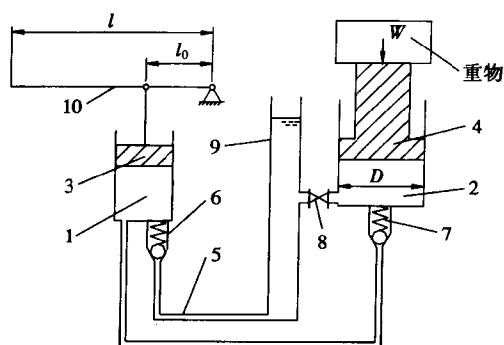


图 1.2 液压千斤顶工作原理示意图

1—小油缸；2—大油缸；3—小活塞；4—大活塞；
5—油管；6,7—单向阀；8—放油阀；9—贮油室；
10—手柄

④辅助装置：上述三部分以外的其他元件，如油箱、管接头、滤油器、蓄能器、管道、密封件、分水滤气器、油雾器、消声器等。

降动作。

典型的气压传动系统的工作原理如图 1.3 所示。从图 1.2 和图 1.3 可以看出，液气压传动系统由四个部分组成：

①能源装置：将机械能转换成流体的压力能。如液压泵、空压机、真空泵等，为系统提供油源和气源。

②执行装置：将流体的压力能转换成机械能。如液压缸、液压马达、气缸和气马达。

③控制调节装置：对流体的压力、方向和流量进行控制和调节。如单向阀、换向阀、压力阀、流量阀、气动逻辑元件和传感器等。近代的液气压系统，往往要和电气控制部分组合在一起，才能形成完整的液气压控制装置。

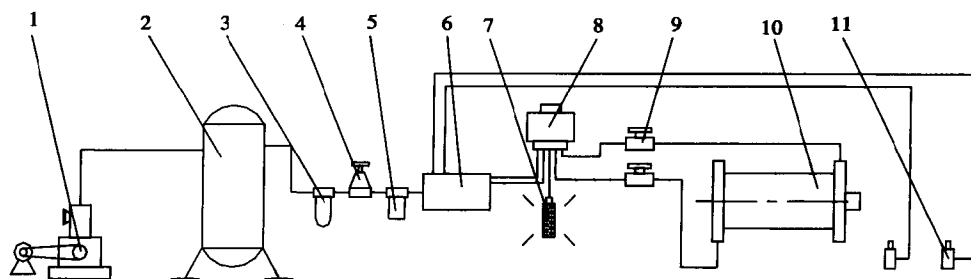


图 1.3 气压传动系统示意图

1—空压机；2—贮气罐；3—分水滤气器；4—压力阀；5—油雾器；
6—逻辑控制元件；7—消声器；8—换向阀；9—流量阀；10—气缸；11—行程阀

另外，液气压传动系统的图形符号表示方法必须按照 GB/T786.1—93 绘制，见本书附录 I。它是工程技术上应用与交流的语言，应该经常阅读并掌握。

1.2 液气压传动的工作介质

1.2.1 工作介质的物理特性

(1) 密度

密度是指单位体积内所含流体物质的质量，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——流体的密度;

V ——流体的体积;

m ——流体的质量。

在国际单位制(SI制)中,密度的单位为 kg/m^3 。液压油在 15°C 时的密度可取 $\rho = 900\text{kg/m}^3$ 。上述公式也适用于空气密度的计算,在标准状态下,干空气的密度为 1.293kg/m^3 。密度与压力和温度有关,压力增加时,密度增大,温度增加时,密度减小。

(2) 流体的粘性

1) 牛顿流体内摩擦定律

流体分子之间存在内聚力,液体在外力作用下流动时,流体分子间的相对运动导致一种内摩擦力的产生,这种产生内摩擦力的特性称为流体的粘性。流体在流动时才呈现出粘性,静止流体是不呈现粘性的。

流体在管道中流动时,除内摩擦力外,分子与固体壁面之间还有附着力,因而流体在管道中流动时,各处的流速不相等,一般靠近壁面速度小,中间速度大。这一现象表明,流体流动时层与层之间是存在摩擦力的。如图 1.4 所示,在两块平行平板之间充满了液体,当上平板相对静止的下平板以速度 u_0 运动时,由于紧贴平板的液体附着在板上,与板的速度相同,两板之间的液体运动速度从上到下逐渐递减,这是因为液体层与层之间有内摩擦力,这个力将对上层液体起阻滞作用,对下层液体起拖曳作用。当两平板之间距离很小时,其速度近似为线性分布。从实验得知:内摩擦力 F 的大小与两板之间液层面积 A 成正比,与液层间的速度梯度 du/dz 成正比,还与液体的性质有关。即

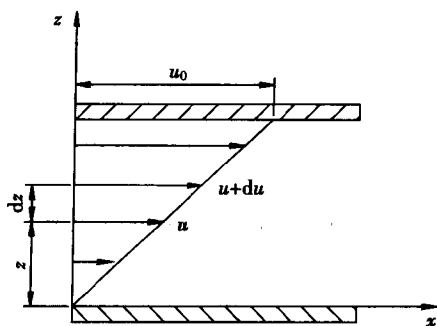


图 1.4 液体粘性示意图

$$F = \mu A \frac{du}{dz} \quad (1.2)$$

式中 μ ——表示流体粘性的系数,称为动力粘度。

若单位面积上的内摩擦力以切应力 τ 表示,则有

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dz} \quad (1.3)$$

式(1.3)称为牛顿流体内摩擦定律。

2) 粘度

粘度是表示流体粘性大小的一种度量。有动力粘度、运动粘度和相对粘度三种表示方法。

① 动力粘度 μ

由式(1.3)可知,动力粘度(又称绝对粘度)是指流体在单位速度梯度时,单位面积上的内摩擦力。在 SI 制中,单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (帕·秒),在 CGS 制中,单位为 P(泊)和 cP(厘泊), $1\text{Pa}\cdot\text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$ 。

② 运动粘度 ν

在实际应用中,动力粘度显得太大,常用动力粘度与密度 ρ 的比值来表示粘度,称为运动粘度。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.4)$$

在 SI 制中, ν 的单位是 m^2/s 。运动粘度无明显的物理意义, 在 CGS 制中, 单位是 St(沱)和 cSt(厘沱)。 $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$ 。液压油的牌号一般以温度为 40°C 时的运动粘度(单位为 cSt)的平均值表示。如 L-HM46 抗磨液压油即是指该油在 40°C 时的平均运动粘度为 $40\text{mm}^2/\text{s}(\text{cSt})$ 。

空气的粘度比液压油的粘度小, 如空气在一个大气压、 40°C 时的动力粘度是 $1.91 \times 10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

③相对粘度

为了便于测量, 定义了相对粘度。测定的方法和表示相对粘度的单位很多, 我国常采用恩氏粘度($^\circ\text{E}$), 英国采用雷氏粘度(R), 美国采用国际赛氏秒(SSU)。恩氏粘度是用恩氏粘度计来测定的。将 200mL 的被测液体装入恩氏粘度计中, 并加热到所需的某一温度时, 测出该液体从恩氏粘度计底部 $\phi 2.8\text{mm}$ 的小孔流出所用时间 t_1 , 与同体积的蒸馏水在 20°C 时流出所用时间 t_2 的比值, 即为恩氏粘度的数值。即

$$^\circ\text{E} = t_1/t_2 \quad (1.5)$$

恩氏粘度与运动粘度的关系按下列经验公式换算

$$\text{当 } 1.35 \leqslant ^\circ\text{E} \leqslant 3.2 \text{ 时} \quad \nu = 8.0^\circ\text{E} - \frac{8.64}{^\circ\text{E}} (\text{mm}^2/\text{s}) \quad (1.6)$$

$$\text{当 } ^\circ\text{E} > 3.2 \text{ 时} \quad \nu = 7.6^\circ\text{E} - \frac{4.0}{^\circ\text{E}} (\text{mm}^2/\text{s})$$

④粘度-温度特性

液体的粘度随温度变化而变化的性质, 称为粘温特性。各种液体的粘度, 对温度的变化十分敏感, 随温度的升高而降低。而空气的粘度, 随温度的升高而增大。粘度的变化直接影响到液压系统工作的稳定性, 引起工作压力和工作速度的改变。因此, 要求液体的粘度随温度的变化越小越好。粘温特性一般用粘度指数 VI 的大小来衡量。石油基油液的粘度指数从 90 到 110 不等, 粘度指数高, 表明该液体的粘温特性好。一般要求液压油的粘度指数在 90 以上, 优质液压油粘度指数在 100 以上。液压系统最高工作温度最好不要超过 $+65^\circ\text{C}$, 含水液压液的工作温度范围为 $+10 \sim +54^\circ\text{C}$ 。粘度指数 VI 的选用可查阅相关资料。

液压油的粘度随温度变化的数值可以从粘温图中查得, 图 1.5 列出了几种常用油液的粘温图。

⑤粘度-压力特性

液体的粘度随压力变化而变化的性质称为粘压特性。压力对粘度的影响在低压时不明显, 在应用时可以忽略。当压力超过 50MPa 时, 液体粘度随压力增加而显著增大。当压力升高到 70MPa 以上时, 液体的粘度将比常压下增大 4~10 倍。

液体的动力粘度 μ 与压力 $p(\text{MPa})$ 的关系可由以下公式近似计算, 即

$$\mu = \mu_0 e^{k \cdot p} (\text{Pa} \cdot \text{s}) \quad (1.7)$$

式中 μ_0 ——大气压力下液体的动力粘度($\text{Pa}\cdot\text{s}$);

k ——因液体不同而异, 对石油基液压油 $k = 0.015 \sim 0.035\text{MPa}$;

e ——自然对数之底。

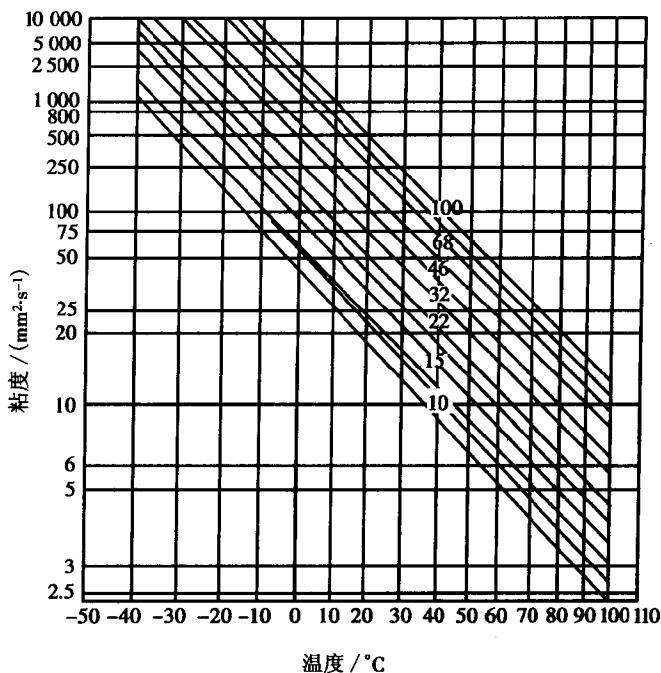


图 1.5 粘度与温度间的关系

(3) 流体的压缩性

液体和气体的体积都随压力增加而变小,但是气体的可压缩性比液体大得多。气体体积随温度和压力的变化规律用气体的状态方程表示,流体的压缩性用压缩系数表示。压缩系数是指在一定温度下,每增加单位压力时的体积相对变化量,即

$$k = - \frac{\Delta V / V_0}{\Delta p} \quad (1.8)$$

式中 k ——液体的体积压缩系数;

V_0 ——初始体积;

ΔV ——体积增量;

Δp ——压力增量。

由于压力增大时体积变小,为了保持 k 为正值,给式中加一负号。

液体体积压缩系数的倒数,称为体积弹性模量,用 E 表示,即 $E = 1/k$ 。纯液压油的体积弹性模量为 $(1.4 \sim 2.0) \times 10^3$ MPa,由于实际的液压油含有气体,常取 $E = 7 \times 10^2$ MPa,而钢的体积弹性模量为 2×10^5 MPa,因此液压油的可压缩性是钢的 200 多倍。

气体的体积是易变的,对一定温度下同体积的液压油和空气比较,当工作压力从 0.2MPa 增加到 0.3MPa 时,液压油的体积减少了 1/20 000,而空气的体积减少了 1/2,体积变化相差 10 000 倍。若油液中混入 1% 的气体,在 3.5MPa 压力下则混合体的体积弹性模量仅为纯油的 1/4。在液压传动中,静态计算时一般不考虑液体的压缩性,但在压力较高,执行元件容积较大和动态计算时,则要考虑液体压缩性的影响。气体的压缩性明显降低了气压传动的效率。传动介质的压缩性不同引起液压传动与气压传动在特性上的很大差别,学习中应该注意。

例 1.1 已知一液压缸的内径 $D = \phi 150\text{mm}$, 活塞的最大行程 $L = 1\,000\text{mm}$, 油液的体积压缩系数 $k = 1.4 \times 10^{-9}\text{m}^2/\text{N}$, 工作时最高压力 $p = 30\text{MPa}$, 不计液压缸的变形和泄漏, 问在最大行程时液压缸内油的压缩量是多少?

解 液压缸的最大容积为

$$V = L\pi D^2/4 = (1 \times 3.14 \times 0.15^2/4)\text{m}^3 = 0.017\,7\,\text{m}^3$$

当液压缸的压力增加到 30MPa 时, 容积的变化量为

$$\Delta V = kVp = 1.4 \times 10^{-9} \times 0.017\,7 \times 30 \times 10^6 = 7.43 \times 10^{-4}\,\text{m}^3$$

压缩量为

$$\Delta L = 4\Delta V/(\pi D^2) = [4 \times 7.43 \times 10^{-4}/(3.14 \times 0.15^2)]\text{m} = 0.042\text{m} = 42\,\text{mm}$$

从例题中可以看出, 在高压大容积执行元件中, 液体压缩性的影响是很明显的。

1.2.2 空气的湿度与含湿量

在气压传动中, 工作介质为空气, 空气是由多种气体混合组成的, 主要成分是氮(N_2)、氧(O_2)、氩(Ar)、二氧化碳(CO_2)和少量其他气体。空气分为干空气和湿空气, 不含水蒸气的是干空气, 含有水蒸气的是湿空气。

空气中的水蒸气, 在一定压力和温度条件下会凝成水滴, 使小孔及元件锈蚀或堵塞。影响气动系统的正常工作。

(1) 湿度

1) 绝对湿度

绝对湿度是指单位体积的湿空气中含有水蒸气的质量, 用 χ 表示, 即

$$\chi = m_s/V \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (1.9)$$

式中 m_s ——空气中水蒸气的质量(kg);

V ——湿空气的体积(m^3)。

2) 饱和绝对湿度

混合气体的压力为混合前各成分气体分压力的总和。若湿空气中水蒸气的分压力达到该湿度下水蒸气的饱和压力, 则此时的绝对湿度为饱和绝对湿度, 用 χ_b 表示。

3) 相对湿度

在一定的温度和压力下, 绝对湿度和饱和绝对湿度之比称为该温度下的相对湿度, 用 Φ 表示, 即

$$\Phi = \frac{\chi}{\chi_b} \times 100\% = \frac{P_s}{P_b} \times 100\% \quad (1.10)$$

如果将气体状态方程带入, 可以导出其他的表达形式。当空气绝对干燥时 $p_s = 0$, 则 $\Phi = 0$; 当空气达到饱和时, $p_s = p_b$, 则 $\Phi = 100\%$ 。气动系统中, 各种阀在使用时相对湿度不得大于 95% 。

(2) 含湿量

含湿量是反映干空气中所混合水蒸气的数量, 分为质量含湿量和容积含湿量。

1) 质量含湿量

质量含湿量指单位质量的干空气中所混合的水蒸气的质量, 用 d 表示, 即