



“十一五”高等学校通用教材（机电类）

◆ 许同乐 主编

液压与 气压传动



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



“十一五”高等学校通用教材(机电类)

液压与气压传动

许同乐 主编



中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/许同乐主编. —北京:中国计量出版社,2006.11

“十一五”高等学校通用教材(机电类)

ISBN 7-5026-1787-6

I. 液… II. 许… III. 液压传动-流体力学-高等学校-教材 IV. TH137.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 133597 号

内 容 提 要

本书的主要内容包括液压油与液压液体力学基础,液压元件如液压泵、液压缸与液压马达、液压控制阀和辅助元件的结构原理,液压传动基本回路,液压系统分析,液压系统设计与计算,气压传动,现代液压技术基础知识。本书还附有思考题与习题,有利于学生复习巩固所学的基础知识,提高学生分析和解决问题的能力。附录部分为常用液压与气动图形符号,可方便作者查找使用。

本书着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,突出针对性和实用性。不仅可作为普通本科教育机电类专业教材,还适用于各类职业学院、职工大学等的相关专业。此外,也可供工程技术人员参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)
电 话 (010)64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京市迪鑫印刷厂印刷
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 15.25
字 数 365 千字
版 次 2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000
定 价 27.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

前 言

为了适应 21 世纪应用型工程技术人才培养的需要,充分反映我国液压与气压传动技术的发展状况,我们以坚持“强化基础、适当拓宽,提高综合能力”为原则而编写本书。在编写过程中,作者结合了多少年的教学经验,不仅继承了传统知识,而且根据我国液压与气压传动技术的发展,注入新的内容。本书注重多层次教学,将基本观点、基本理论、基本方法与实际应用相结合,力求简明扼要,通俗易懂。书中图文并茂,内容由浅入深,便于自学。

本书内容主要包括:

(1) 液压油与液压流体力学基础,主要介绍液压油的物理性质、液压油的污染控制与选用以及流体压力损失和流量的计算。

(2) 液压元件包括液压泵、液压马达、液压缸、液压控制阀和液压辅助元件,本书主要介绍各元件的结构特点、工作原理及性能特点。

(3) 液压系统基本回路,主要介绍方向控制回路、压力控制回路、速度控制回路和多缸工作控制回路的性能特点和工作原理。

(4) 典型液压系统,主要介绍几种常用典型液压系统的工作原理和组成特点,阐述了阅读和分析液压系统的方法。

(5) 液压系统设计计算,主要介绍进行液压系统设计的方法和步骤,并通过举例加以说明。

(6) 气压传动部分,主要介绍气压传动的基础、气压传动元件和气压传动基本回路。

(7) 现代液压技术基础知识,主要介绍伺服阀与伺服控制系统、比例阀和比例控制系统及微型计算机—液压控制技术。

本书还附有思考题与习题,有利于学生复习巩固所学的基础知识,提高学生分析和解决问题的能力。附录部分为常用液压与气动图形符号,可方便作者查找使用。

本书由山东理工大学许同乐编写第一、三、九章,李军伟编写第四章第一、二节,刘军营编写第七、十一章,刘同义编写第六章;烟台职业学院王志明、张玉杰编写第五章,华北水利水电学院司爱国编写第八、十章;兖州矿区职工大学李福固、张艳红、吴蓉玲编写第二章及第四章第三节。本书由许同乐任主编。北京科技大学周志鸿教授为本书主审。

在本书编写过程中,得到了韩进宏教授以及有关领导和相关老师的热情帮助和支持;马金英老师对本书的图形提出了宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。同时,也对参考文献的各位作者表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编 者

2006 年 11 月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 液压和气压传动的基本原理和组成	(1)
第二节 液压和气压传动的优缺点	(2)
第三节 液压与气压传动的应用与展望	(3)
思考题	(5)
第二章 液压油与液压流体力学基础	(6)
第一节 液压油	(6)
第二节 液体静力学基础	(11)
第三节 液体动力学基础	(15)
第四节 液体流动时的压力损失	(21)
第五节 液体流经小孔和缝隙的流量计算	(25)
第六节 液压冲击和空穴现象	(29)
思考题与习题	(30)
第三章 液压泵	(34)
第一节 液压泵概述	(34)
第二节 齿轮泵	(38)
第三节 叶片泵	(41)
第四节 柱塞泵	(47)
第五节 各类液压泵的性能及应用	(52)
思考题与习题	(52)
第四章 液压缸与液压马达	(54)
第一节 液压缸的分类和特点	(54)
第二节 液压缸结构参数的计算与选择	(61)
第三节 液压马达	(65)
思考题与习题	(71)
第五章 液压控制阀	(72)
第一节 概述	(72)
第二节 方向控制阀	(73)
第三节 压力控制阀	(88)
第四节 流量控制阀	(100)
思考题与习题	(105)
第六章 辅助元件	(109)
第一节 蓄能器	(109)

第二节	油箱	(111)
第三节	滤油器	(113)
第四节	热交换器	(116)
第五节	管件	(117)
	思考题	(120)
第七章	液压传动基本回路	(121)
第一节	方向控制回路	(121)
第二节	压力控制回路	(124)
第三节	速度控制回路	(130)
第四节	多缸工作控制回路	(147)
	思考题与习题	(151)
第八章	液压系统分析	(153)
第一节	液压系统分类	(153)
第二节	组合机床动力滑台液压系统	(154)
第三节	塑料注塑成型机液压系统	(157)
第四节	液压压力机液压系统	(161)
第五节	汽车起重机液压系统	(164)
第九章	液压系统设计与计算	(167)
第一节	液压系统的设计步骤和要求	(167)
第二节	液压系统设计计算举例	(176)
	思考题与习题	(183)
第十章	气压传动	(184)
第一节	气压传动基础	(184)
第二节	气动元件	(189)
第三节	气动基本回路	(203)
第四节	气动系统实例	(209)
	思考题与习题	(212)
第十一章	现代液压技术基础知识	(213)
第一节	概述	(213)
第二节	伺服阀与伺服控制系统	(214)
第三节	比例阀和比例控制系统	(227)
第四节	微型计算机—液压控制技术简介	(229)
	思考题	(230)
附录	常用液压气动图形符号(摘自 GB/T 786.1—1993)	(232)
参考文献		(236)

第一章 概述

液压与气压传动是机电设备中发展最快的技术之一。近几十年来,随着机电一体化的迅速发展,液压与气压传动技术所渗透的应用领域遍及到各个工业部门,成为实现工业自动化、提高生产率的重要手段。

液压与气压传动都是以流体作为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式,它与机械传动、电气传动相比各有其特点。液压传动是以不可压缩的液体作为工作介质;而气压传动则是以压缩性较大的空气作为工作介质。

第一节 液压和气压传动的基本原理和组成

一、基本工作原理

液压与气压传动的基本工作原理、元件的工作原理以及回路的组成等方面是极为相似的,只是工作介质不同。本章以图 1-1 所示液压千斤顶为例说明其工作原理和组成。气压传动的工作原理和组成将在第十章做论述。

图中有两个液压缸 2 和 5, 液压缸 2 作为液压泵为系统提供高压油, 液压缸 5 用来举起重物 G , 两个液压缸的活塞与缸体保持一种良好的配合关系, 不仅活塞能够在缸内滑动, 而且配合面之间又能实现可靠的密封。当手柄带动活塞向上运动时, 液压缸 2 的密封容积增大, 腔内压力下降, 形成局部真空, 使排油单向阀 4 关闭。由于油箱与大气相通, 所以油箱中的液压油在大气压力作用下, 推开吸油单向阀 3 进入液压缸 2, 完成了吸油动作; 当手柄带动活塞向下运动时, 液压缸 2 的密封容积减小, 腔内压力增加, 这时吸油单向阀 3 关闭, 排油单向阀 4 打开, 液压油从液压缸 2 进入到液压缸 5 的下腔, 迫使大活塞克服重物 G 向上运动, 使重物 G 顶起一段距离, 完成了排油动作。当手柄如此反复的运动时, 重物 G 就不断的上升, 达到起重的目的; 当需要液压缸 5 活塞停止运动时, 手柄 1 停止运动, 排油单向阀 4 在高压油作用下关闭, 可以使重物 G 保持一定的时间; 液压缸 5 在工作时, 放油阀 6 是关闭的, 当需要液压缸 5 的活塞恢复到原位, 打开放油阀 6, 液压油在重物的自重作用下经此阀流回油箱。

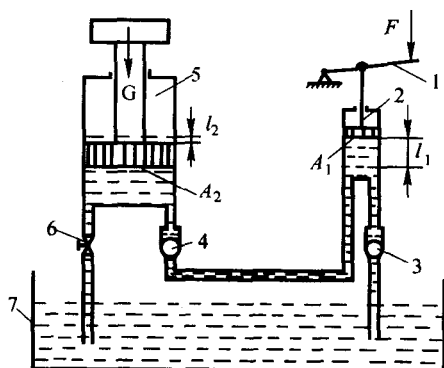


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

1—手柄; 2, 5—液压缸; 3—吸油单向阀;
4—排油单向阀; 6—放油阀; 7—油箱

从例子可以看到:①液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的;②液压传动用液体的压力能来传递动力,它与利用液体动能的液力传动是不同的;③液压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的,即在密封容积内的受压液体的流动。

二、基本工作组成

图 1-2 为机床工作台液压传动系统图。工作台与液压缸活塞固定在一起,液压缸缸体固定在机床的床身上。当换向阀 5 在左位时,液压泵 3 排出的液压油通过换向阀 5 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞向右移动,同时使工作台向右运动,液压缸 7 右腔的液压油通过回油管经换向阀 5 流回油箱 1,活塞运动的速度有节流阀 6 调节。当换向阀 5 在右位时,液压泵 3 排出的液压油通过换向阀 5 进入液压缸 7 的右腔,推动活塞和工作台向左移动;当换向阀 5 在中位时,液压泵 3 排出的液压油直接经换向阀 5 流回油箱 1,完成卸荷。

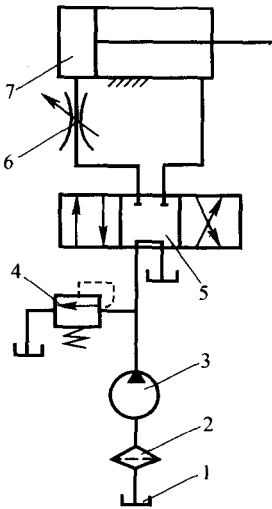


图 1-2 机床工作台液压系统图

- 1—油箱;2—滤油器;3—液压泵;
4—溢流阀;5—换向阀;
6—节流阀;7—液压缸

根据图 1-2 可以看出,液压系统由以下五部分组成。

(1)能源装置:将原动机所提供的机械能转变成液压能的装置,通常称液压泵。

(2)执行元件:将液压泵所提供的液压能转变称机械能的元件。做直线运动的液压缸,或做旋转运动的液压马达。

(3)控制元件:控制或调节液压系统中液压油的压力、流量和液压油的流动方向元件。通称液压控制阀。如图 1-2 中的溢流阀 4、换向阀 5、节流阀 6。

(4)辅助元件:上述三部分以外的其他元件,例如油箱、油管、管接头、蓄能器、滤油器、冷却器、加热器及各种检测仪表等,它们的功能各不相同,但对保证系统正常工作有重要作用。

(5)工作介质:油液或液压液,是液压传动中能量传递的载体。

第二节 液压和气压传动的优缺点

一、液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

- (1)与机械传动、电力传动同功率相比较时,液压传动的体积小、重量轻、结构紧凑。
- (2)工作平稳、反应快、冲击小、能高速启动、制动、能够频繁换向。液压装置的换向频率,在实现回转运动时,可达 500 次/min;实现往复直线运动时,可达 1000 次/min。
- (3)可实现大范围的无级调速,能在运行过程中进行调速,调速范围可达(2000:1)。
- (4)控制方便,易于实现自动化,对压力、流量、方向易于进行调节或控制。
- (5)易于实现过载保护。
- (6)液压元件已经标准化、系列化和通用化,在液压系统的设计和使用中都比较方便。元

件排列布置也具有较大的机动性。

(7)具有自润滑和吸振性能。

2. 液压传动的缺点

(1)不能保证严格的传动比。这是因为工作介质的可压缩性与泄漏的影响。

(2)损失大,不利于远距离传输。因为液压传动在工作过程中有压力损失、泄漏损失。

(3)系统工作性能易受温度影响,因此不易在很高或很低的温度条件下工作。

(4)液压元件的制造精度要求高,所以元件价格贵。

(5)液压系统的故障不易查找。

(6)工作介质的净化要求高。

二、气压传动的优缺点

1. 气压传动的优点

(1)工作介质容易取得,即直接从大气中取得,用过后直接排放到大气中而不污染环境,且不需回气管路,故气动系统管路较简单。

(2)气动元件的制造精度要求低,因为气压传动的工作压力低。

(3)与液压传动相比,气压传动反应快、动作迅速。一般只需 $0.02 \sim 0.03\text{s}$ 就可以建立起需要的压力和速度。因此,它特别适用于实现系统的自动控制。

(4)空气的粘度很小(约为油粘度的万分之一),在管道中流动时的压力损失小,所以节能、高效。它适用于集中供气和远距离输送。

(5)空气的性质受温度的影响小,高温下不会发生燃烧和爆炸,使用安全。所以对工作环境的适应性好,特别是在易燃、易爆、高尘埃、强磁、辐射及振动等恶劣环境中,比液压、电子及电子控制都优越。

(6)由于气体的可压缩性,便于实现系统的过载保护。

(7)介质清洁,管道不易堵塞,不存在介质变质及介质的补充和更换问题。元件使用方便,维护简单。

(8)气动元件机构简单,容易制造,易于实现标准化、系列化和通用化。

2. 气压传动的缺点

(1)由于空气的可压缩性大,所以气动系统的动作稳定性差,负载变化时对工作速度的影响较大。

(2)由于工作压力低,且结构尺寸不宜过大,所以气压系统不易获得较大的输出力和力矩。因此,气压传动不适于重载系统。

(3)气动系统有较大的排气噪声。

(4)因空气无润滑性能,故在气路中需要设置给油润滑装置。

第三节 液压与气压传动的应用与展望

一、液压与气压传动的应用

液压与气压技术相对于机械传动来说是一门新兴的技术,近代液压与气压技术在工业中

的应用是从 20 世纪中叶开始的,时间较短。

我国的液压工业开始于 20 世纪 40 ~ 50 年代,最初只应用于机床和锻压设备,后来应用到工程机械上。这时期液压系统压力很低,一般为 2 ~ 7MPa,到了 60 年代,液压系统进入高速高压化迅速发展时期,系统压力达到了 20MPa,液压元件的重量明显下降,液压技术趋于成熟化。70 年代开始重视环境污染,降低噪声及液压系统的可靠性。这种技术得到了更加广泛的发展和应用。

(1) 在国防工业中的应用

海、陆、空各种战备武器均采用液压技术。如飞机、舰艇、导弹等。

(2) 在民用工业中的应用

① 机床工业:机床在夹紧固定、平衡装置、零件传送等方面采用液压技术,现在正向高精度、高效率、数控化、柔性化方向发展。

② 工程机械:工程机械中广泛采用液压技术,如推土机、挖土机、压路机、凿岩机、采煤机等。工程机械液压技术正向高压化、自动化、智能化方向发展。

③ 轻纺工业:液压技术应用在塑料机械、造纸机、印刷机及纺织机等方面。

④ 冶金工业:液压技术应用在轧钢机、平炉装料、转炉控制高炉控制等方面。其液压产品主要向节能提高效率、提高控制性能以适应机电一体化发展,提高可靠性、寿命、安全性和维修性方向发展。

⑤ 农业方面:联合收割机的控制系统、拖拉机的悬挂装置等应用液压技术。

总之,一切工程领域,凡是有机械设备的场合,均可采用液压技术。

二、液压与气压传动的展望

由于微型计算机的发展和提高,使数字化技术广泛应用于液压与气压传动中,并且还不断地在开拓着新的应用领域。数字技术在液压与气压传动的应用主要表现在直接数字控制(DDC)、计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助测试(CAT)等方面。

(1) 数字元件。为了能使液压与气压传动技术实现高速、高效及高可靠性,出现了数字元件,是通过把电子控制装置安装于传统阀、缸或泵内,并进行集成化处理,形成了种类繁多的数字元件。如数字阀、数字缸、数字泵、数字马达等,由数/模转换元件直接与计算机相连,利用计算机输出的脉冲数和频率来控制电液系统的压力和流量。

(2) CAD 技术。液压与气压技术的计算机辅助设计是随电子数字计算机的高速发展而发展起来的一门新兴技术,简称 CAD 技术。CAD 技术包括建模、仿真、优化、设计和绘图(包括二维工程图形、三维几何造型)。它是利用计算机来辅助设计人员设计较为复杂的控制系统的一种新方法,它不仅可使控制系统的设计周期大为缩短,并且可以利用计算机仿真技术,更为方便地进行各种方案的分析比较,从而获得最优的设计方案,提高设计水平。

(3) 计算机辅助测试(CAT)。随着液压与气压传动装置对液压元件的技术特性、技术参数的测试要求越来越高,传统的测试方法显得不够完善。为提高其测试精度,加快测试速度,更快地为装备提供安全、可靠的依据,就需要设计较完善的液压与气压元件计算机辅助测试技术。

数字技术的飞速发展极大地带动液压与气压行业,开辟了诸多新兴的研究领域。为了实现信号检测、处理快捷方便、灵活可靠、结构紧凑、响应快等,对已有的液压与气压元件,通过模

拟流量控制或脉冲流量控制的方式,组成数字液压元件,实现计算机直接或间接控制系统的压力和流量;对于新设计的系统,通过仿真验证系统控制方案的可行性,研究系统结构参数对动态性能的影响或运用虚拟样机技术,实现系统的数字化仿真。

思 考 题

- 1-1 液压传动系统由哪几部分组成?各个组成部分的作用是什么?
- 1-2 液压传动的主要优缺点是什么?
- 1-3 液压传动系统与气压传动系统相比有哪些优缺点?

第二章 液压油与液压流体力学基础

液压传动是以液体作为工作介质进行能量传递的。因此,了解液体的物理性质,掌握液体在静止和运动过程中的基本力学规律,对正确理解和掌握液压传动的基本原理是十分重要的。同时,这些内容也是合理设计和使用液压系统的理论基础。

第一节 液压油

一、液压油的性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,用 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 表示。即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中: m ——液体的质量(kg);

V ——液体的体积(m^3)。

液体的密度随温度的升高而下降,随压力的增加而增大。对于液压传动中常用的液压油(矿物油)来说,在常用的温度和压力范围内,密度变化很小,可视为常数。在计算时,常取 15°C 时的液压油密度 $\rho = 900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性的大小用体积压缩系数 $k(\text{m}^2/\text{N})$ 来表示。其定义为液体在单位压力变化下的体积相对变化量。

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

式中: V ——增压前液体的体积;

ΔV ——压力变化 Δp 时液体体积的变化量;

Δp ——液体压力的变化量。

由于压力增大时液体的体积减小,因此上式的右边需加一负号,使 k 为正值。

常用液压油体积压缩系数 k 的倒数称为液体的体积弹性模量,用 $E(\text{N}/\text{m}^2)$ 表示。

$$E = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p \cdot V}{\Delta V} \quad (2-3)$$

在实际应用中,常用 E 值说明液体抵抗压缩能力的大小,它表示产生单位体积相对变化量所需的压力增量。

液压油的体积弹性模量 $E = (1.4 \sim 2) \times 10^9 \text{N}/\text{m}^2$ 。其数值很大,故对于一般液压系统,可认为油液是不可压缩的。只有在研究液压系统的动态特征和高压情况下,才考虑油液的可压

缩性。但是,若液压油中混入空气,其抗压缩能力将显著下降,并将严重影响液压系统的工作性能。因此,在液压系统中尽量减少油液中的空气含量。因实际液压系统的液压油中难免会混有空气,通常对矿物油型液压油取 $E = (0.7 \sim 1.4) \times 10^9 (\text{N/m}^2)$ 。

3. 粘性

(1) 粘性的意义

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动,而产生内摩擦力的性质称为粘性。粘性是液体的重要物理性质,也是选择液压油的主要依据。

液体流动时,由于它和固体壁面间的附着力以及它的粘性,会使其内各液层间的速度大小不等,如图 2-1 所示。设在两个平行平板之间充满液体,两平行平板间的距离为 h ,当上平板以速度 u_0 相对于静止的下平板向右移动时,紧贴于上平板极薄的一层液体,在附着力的作用下,随着上平板一起以 u_0 的速度向右运动;紧贴于下平板极薄的一层液体和下平板一起保持不动;而中间各层液体则从上到下按递减的速度向右运动。这是因为相邻两薄层液体间存在内摩擦力,该力对上层液体起阻滞作用,而对下层液体起拖拽作用。当两平板间的距离较小时,各液层的速度近似按线性规律分布。

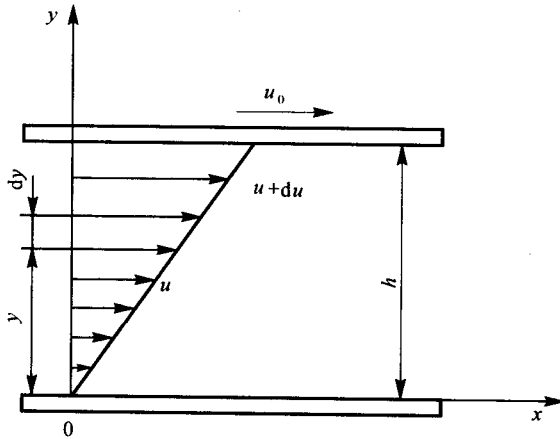


图 2-1 液体粘性示意图

实验测定指出: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 和液层间相对运动的速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比。

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$

式中: μ ——比例系数,称为动力粘度;

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度,即相对运动速度对液层距离的变化率。

若以 τ (切应力)表示液层间单位面积上的内摩擦力,则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-5)$$

式(2-5)称为牛顿液体内摩擦定律。

由式(2-5)可知,在静止液体中,因速度梯度 $\frac{du}{dy} = 0$,故内摩擦力为零。因此,液体在静止

状态下是不呈现粘性的。

(2) 液体的粘度

液体粘性的大小用粘度表示。常用的粘度有三种,即动力粘度、运动粘度和相对粘度。

① 动力粘度 μ

动力粘度又称绝对粘度,根据牛顿液体内摩擦定律可得

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2-6)$$

由此可知,液体动力粘度的物理意义是:当速度梯度等于 1 时,接触液体层间单位面积上的内摩擦力即为动力粘度。

动力粘度 μ 的法定计量单位是 $N \cdot s/m^2$ 或用 $Pa \cdot s$ 表示。

② 运动粘度 ν

动力粘度 μ 和液体密度 ρ 之比值称为运动粘度,用 ν 表示。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-7)$$

运动粘度 ν 的法定计量单位是 m^2/s 。

工程中常用运动粘度来标志液体的粘度。如液压油的牌号,常用它在某一温度下的运动粘度的平均值来表示。例如,32 号液压油,就是指这种液压油在 $40^\circ C$ 的运动粘度 ν 的平均值为 $32mm^2/s$ 。

③ 相对粘度

相对粘度又称条件粘度。它是采用特定的粘度计,在规定的条件下测出来的液体粘度。根据测量条件不同,各国采用的相对粘度的单位也不同。如美国采用赛氏粘度,英国采用雷氏粘度,我国和欧洲一些国家采用恩氏粘度 $^\circ E (m^2/s)$ 。

恩氏粘度由恩氏粘度计测定。即将 200mL 的被测液体装入底部有直径为 2.8mm 小孔的恩氏粘度计的容器中,在某一特定温度 $t(^\circ C)$ 时,测定全部液体在自重作用下流过小孔所需的时间 t_1 与同体积的蒸馏水在 $20^\circ C$ 时流过同一小孔所需的时间 t_2 ($t_2 = 50 \sim 52s$) 之比值,便是该液体在 $t(^\circ C)$ 时的恩氏粘度。恩氏粘度用符号 $^\circ E$ 表示。

$$^\circ E = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-8)$$

恩氏粘度和运动粘度可用经验公式(2-9)换算。

$$\nu = \left(7.31^\circ E - \frac{6.31}{^\circ E} \right) \times 10^{-6} \quad (m^2/s) \quad (2-9)$$

(3) 粘度与压力的关系

当压力增加时,液体分子间距离减小,内聚力增加,其粘度也有所增加,液压油的动力粘度 μ 与压力 p (MPa) 的关系为

$$\mu = \mu_0 e^{kp} \quad (2-10)$$

式中: μ_0 ——大气压力下液压油的动力粘度 ($Pa \cdot s$);

k ——随液压油而异的指数,对矿油型液压油 $k = 0.015 \sim 0.03$ 。

在液压系统中,若系统的压力不高,压力对粘度的影响较小,一般可忽略不计。当压力高于 50MPa 时,压力对粘度的影响较明显,则必须考虑压力对粘度的影响。

(4) 粘度与温度的关系

液压油的粘度对温度的变化极为敏感,温度升高,粘度将显著降低。油的粘度随温度变化的性质称为粘温特性。不同种类的油液有不同的粘温特性,油液粘度的变化将直接影响液压系统的性能和泄漏量。因此,希望油液的粘度随温度的变化越小越好,液压油粘度与温度的关系可以用式(2-11)表示。

$$\mu_t = \mu_0 e^{-\lambda(t-t_0)} \approx \mu_0(1 - \lambda \Delta t) \quad (2-11)$$

式中: μ_t ——温度为 t 时的动力粘度;

λ ——粘温指数。

图 2-2 为一些典型液压油的粘温曲线。

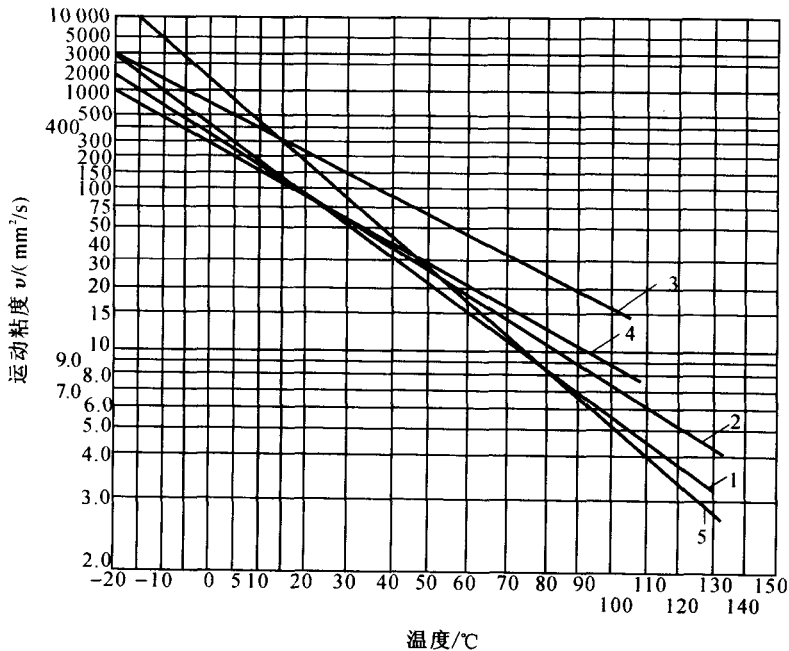


图 2-2 液压介质的粘温曲线

1—YA 液压油;2—YD 液压油;3—YRB 液压油;4—YRC 液压油;5—YRD 液压油

液压油的粘温特征可以用粘度指数 VI 来表示,VI 值越大,表示油液粘度随温度的变化率越小,即粘温特性越好。一般液压油要求 VI 值在 90 以上;精制的液压油及加有添加剂的液压油,其 VI 值可大于 100。

4. 其他特性

液压油还有其他一些物理化学性质,如抗燃性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、抗磨性等。这些性质对液压系统的工作性能也影响较大。对于不同品种的液压油,这些性质的指标是不同的,具体应用时可查油类产品手册。

二、对液压油的要求和选用

1. 液压油的要求

液压油既是液压传动与控制的工作介质,又是各种液压元件的润滑剂。因此,液压油的性

能会直接影响液压系统的功能,如工作可靠性、灵敏性、稳定性、系统效率和零件寿命等。选用液压油时,应满足下列要求。

(1)粘温性好。在使用温度范围内,粘度随温度的变化愈小愈好。

(2)润滑性能好。在规定的范围内有足够的油膜强度,以免产生干摩擦。

(3)化学稳定性好。在贮存和工作过程中不易氧化变质,以防胶质沉淀物影响系统正常工作;防止油液变酸,腐蚀金属表面。

(4)质地纯净、抗泡沫性好。油液中含有机械杂质易堵塞油路,若含有易挥发性物质,则会使油液中产生气泡,影响运动平稳性。

(5)闪点要高,凝固点要低。油液用于高温场合时,为了防火安全,闪点要求高;在温度低的环境下工作时,凝固点要求低。一般液压系统中,所用的液压油的闪点约为 130 ~ 150℃,凝固点约为 -10 ~ -15℃。

2. 液压油的种类

液压油的品种很多,主要可分为三大类型:石油型、合成型和乳化型。液压油的主要品种及性质见表 2-1。

表 2-1 液压油种类和性能

性能	可燃性液压油			抗燃性液压油			
	矿物油类			合成液		乳化液	
	通用 液压油	抗磨 液压油	低温 液压油	磷酸 酯液	水-乙 二醇液	油包 水型	水包 油型
密度/(kg·m ⁻³)	850 ~ 900			1100 ~ 1500	1040 ~ 1100	920 ~ 940	1000
粘度	小~大	小~大	小~大	小~大	小~大	小	小
粘度指数 VI (不小于)	90	95	130	130 ~ 180	140 ~ 170	130 ~ 150	极高
润滑性	优	优	优	优	良	良	可
防锈蚀性	优	优	优	良	良	良	可
闪点不低於/℃	170 ~ 200	170	150 ~ 170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝点不高于/℃	-10	-25	-35 ~ -45	-20 ~ -50	-50	-25	-5

石油型液压油是以全损耗系统用油为原料,精炼后按需要加入适当添加剂而成。这类液压油润滑性好,但抗燃性差。

目前,我国液压传动采用全损耗系统用油和气轮机油的情况很普遍。全损耗系统用油是一种工业用润滑油,价格低廉,但精制深度较浅,化学稳定性较差,使用时易生成粘稠物质阻塞元件小孔,影响系统性能。系统的压力越高,问题越严重。因此,只有在低压系统且要求很低时才可以应用全损耗用油。至于气轮机油,虽经深度精制并加有抗氧化、抗泡沫等添加剂,其性能优于全损耗用油,但这种油的抗磨性和防锈性不如通用液压油。

通用液压油一般是以气轮机油作为基础油再加以各种添加剂配制而成的,其抗氧化性、抗磨性、抗泡沫性、粘温特性均好,广泛适用于在中低压系统,一般机床液压系统最适宜使用这种

油。对于高压或中高压系统,可根据其工作条件和特殊要求选用抗磨液压油、低温液压油等专用油类。

石油型液压油有很多优点,而其主要缺点是具有可燃性。在一些高温、易燃、易爆的工作场合,为安全起见,应该在系统中使用抗燃性液体,如磷酸脂、水-乙二醇等合成液,或油包水、水包油等乳化液。

3. 液压油的选用

首先,应根据液压系统的环境和工作条件选用合适的液压油类型,类型确定后再选择油的牌号。

对液压油牌号的选择,主要是对油液粘度等级的选择,因为粘度对液压系统的稳定性、可靠性、效率、温升以及磨损都有显著的影响。在选择粘度时,应注意以下几方面的情况。

(1) 液压系统的工作压力:工作压力较高的液压系统宜选用粘度较大的液压油,以便于密封,减少泄漏;反之,可选用粘度较小的液压油。

(2) 环境温度:环境温度较高时,宜选用粘度较大的液压油,因为环境温度高会使油的粘度下降。

(3) 运动速度:当工作部件的运动速度较高时,为减小液流的摩擦损失,宜选用粘度较小的液压油。

在液压系统的所有元件中,以液压泵对液压油的性能最为敏感,因为泵内零件的运动速度最高,承受的压力最大,且承压时间长、温升高。因此,常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油的粘度。各类液压泵适用的粘度范围如表 2-2 所示。

表 2-2 各类液压泵适用的粘度范围

液压泵类型		环境温度 5~40℃	环境温度 40~80℃
		$\nu / (\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}) (40^\circ\text{C})$	$\nu / (\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}) (40^\circ\text{C})$
叶片泵	$p < 7 \text{MPa}$	30~50	40~75
	$p \geq 7 \text{MPa}$	50~70	55~90
齿轮泵		30~70	95~165
轴向柱塞泵		40~75	70~150
径向柱塞泵		30~80	65~240

第二节 液体静力学基础

液体静力学是研究液体处于相对平衡状态下的力学规律,以及这些规律的应用。这里所说的相对平衡,是指液体内部质点之间没有相对运动,至于液体整体完全可以像刚体一样做各种运动。

一、液体的压力

1. 液体的静压力及其特征

静止液体在单位面积上所受的力称为静压力。如果在液体内某点处微小面积 ΔA 上