

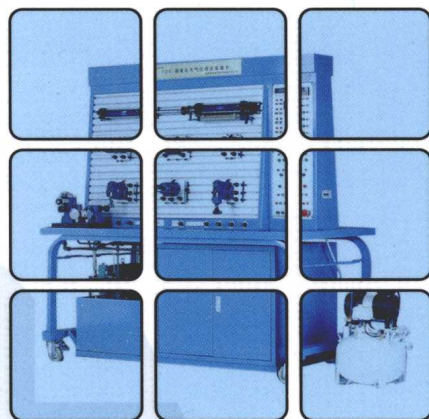
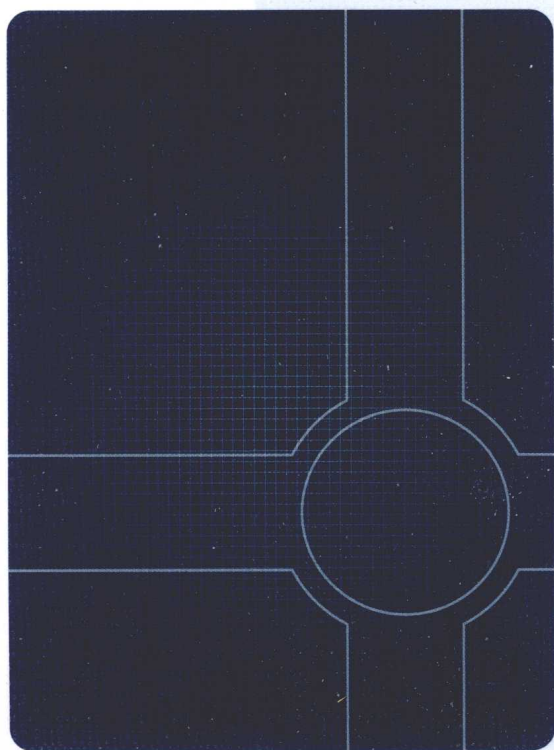


全国高职高专应用型规划教材·机械机电类

液压与气压传动

滕文建 主编

YEYA YU QIYA CHUANDONG



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高职高专应用型规划教材·机械机电类

液压与气压传动

主 编 滕文建

副主编 钟宝华 姚传峰

参 编 陈红杰 陈伟栋 赵益涛



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据高等职业教育的培养目标,按照“淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用”的原则而编写,内容包括:液压与气压传动认识、液压传动的基础知识、液压动力元件、液压执行元件、液压辅助装置、液压控制阀及液压回路、典型液压系统、液压伺服控制系统和气压传动9个项目,共30个任务。每个项目又由情景描述、学习目标、任务分析、任务引入、工作过程、项目小结、综合训练等板块组成,在内容上,去繁就简,简洁实用,利于培养学生理论联系实际的工作能力和技术应用能力。

本书是高职高专机械机电类通用教材之一,既可作为高职高专、职业技术教育及成人教育的教材使用,也可作为技师培训、有关工程技术人员、现场管理人员、操作技术工人的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/滕文建主编. —北京:北京大学出版社, 2010. 9
(全国高职高专应用型规划教材·机械机电类)
ISBN 978-7-301-17109-7

I. ①液… II. ①滕… III. ①液压传动 - 高等学校:技术学校 - 教材 ②气压传动 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 064961 号

书 名: 液压与气压传动

著作责任者: 滕文建 主编

策 划 编 辑: 傅 莉

责 任 编 辑: 傅 莉

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-17109-7/TH · 0182

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电 子 信 箱: zyjy@pup.cn

印 刷 者: 三河市北燕印装有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 323 千字

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是根据国家教育部高职高专教学大纲的要求，结合职业教育的特点和职业教育教学改革经验，本着“淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用”的原则而编写的。

本书共分为9个项目：液压与气压传动认识、液压传动的基础知识、液压动力元件、液压执行元件、液压辅助装置、液压控制阀及液压回路、典型液压系统、液压伺服控制系统和气压传动，以技术应用为主线，详细介绍了液压与气压系统的安装、调试、维护与维修等有关知识。本书在内容上力求少而精，重点在于培养学生实际分析问题、解决问题和动手操作的能力。为便于学生学习与自我检验，每个项目后都配有“项目小结”和“综合训练”。

本书由山东交通职业学院的滕文建老师担任主编并负责全书统稿，钟宝华、姚传峰为副主编。具体编写工作如下：滕文建编写项目1、项目5，钟宝华编写项目2、项目3，姚传峰编写项目4、项目6，陈红杰编写项目7，陈伟栋编写项目8，赵益涛编写项目9。

本书可作为高职高专院校机械机电类专业及其他相关专业的教学用书，也可作为技师培训、有关工程技术人员、现场管理人员、操作技术工人的参考用书。

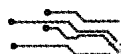
本书在编写过程中得到了相关老师的大力支持，在此表示衷心感谢。由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，敬请各位专家和读者批评指正。

编 者

2010年6月

目 录

项目 1 液压与气压传动认识	(1)
项目 2 液压传动的基础知识	(6)
任务 1 液压油	(6)
任务 2 液体静力学	(14)
任务 3 液体动力学	(17)
任务 4 液压系统中的压力损失	(23)
任务 5 小孔与缝隙流量	(27)
任务 6 液压系统故障现象	(31)
项目 3 液压动力元件	(35)
任务 1 液压动力元件的认识	(35)
任务 2 齿轮泵	(38)
任务 3 叶片泵	(44)
任务 4 柱塞泵	(50)
任务 5 各类液压泵的选用与使用	(56)
项目 4 液压执行元件	(59)
任务 1 液压马达	(59)
任务 2 液压缸	(67)
项目 5 液压辅助装置	(79)
任务 1 过滤器	(79)
任务 2 蓄能器	(83)
任务 3 油箱	(86)
任务 4 密封装置、油管 and 管接头	(88)
项目 6 液压控制阀及液压回路	(97)
任务 1 方向控制阀及方向控制回路	(97)
任务 2 压力控制阀及压力控制回路	(108)
任务 3 流量控制阀及速度控制回路	(122)
任务 4 多缸运动回路	(132)
项目 7 典型液压系统	(140)
任务 1 典型液压系统分析	(140)
任务 2 液压系统安装、调试、使用和维护	(152)
任务 3 液压系统的故障诊断与排除	(155)



项目 8 液压伺服控制系统	(163)
任务 1 液压伺服系统概述	(163)
任务 2 液压伺服阀	(165)
任务 3 液压伺服系统实例	(169)
项目 9 气压传动	(175)
任务 1 气源装置及气动元件	(175)
任务 2 气动系统基本回路	(190)
任务 3 气压传动系统	(194)
附录 常用液压与气动元件图形符号	(201)
参考文献	(205)



项目 1 液压与气压传动认识



情景描述

对于液压与气压传动的应用，在日常生活中我们并不陌生，几乎所有的机器上都有液压与气压的元件。但是，液压与气压传动到底是什么？为什么应用得这么广泛？如何才能更好地应用和改进现有的设备？通过本项目的学习，将对液压与气压传动的工作原理及优缺点进行初步的了解。



学习目标

1. 知识目标：

- (1) 掌握液压与气压传动的工作原理；
- (2) 认识液压与气压传动系统的组成及符号；
- (3) 了解液压与气压传动的研究对象及应用；
- (4) 认识液压与气压传动的优缺点。

2. 能力目标：

通过本项目的学习，学生能够了解液压与气压传动系统在日常生产、生活的应用及发展前景。

任务分析

本项目以液压千斤顶的工作原理为引子，对液压与气压传动系统的概念、组成、基本工作原理和发展概况进行介绍，使学生对液压与气压系统有一个初步的了解。

任务引入

一部完整的机器由原动机、传动部分、控制部分及工作机构等部件组成。传动部分是一个中间环节，它的作用是把原动机（电动机、内燃机等）的输出功率传送给工作机构。传动有多种类型，如机械传动、电力传动、液体传动、气压传动以及它们的组合—复合传动等。

用液体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为液体传动。按照其工作原理的不同，液体传动又可分为液压传动和液力传动两种形式。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量，而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。

用气体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为气压传动。气压传动是利用压缩

气体的压力能来实现能量传递的一种传动方式，其介质主要是空气，也包括燃气和蒸汽。
本书主要介绍以液体为介质的液压传动技术和以压缩空气为介质的气压传动技术。

工作过程

一、液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动的工作原理和控制方法基本是相同的，可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

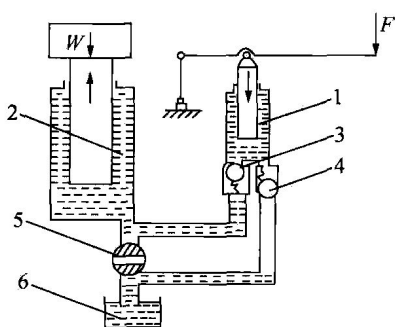


图 1-1 油压千斤顶工作原理

- 1-小油缸；2-大油缸；3、4-单向阀；
5-阀门；6-油箱

图 1-1 是油压千斤顶的工作原理图。油压千斤顶的小油缸 1、大油缸 2、油箱 6 以及它们之间的连接通道构成一个密闭的容器，里面充满液压油。在阀门 5 关闭的情况下，提起杠杆，小油缸 1 的柱塞上移，其密封容积增大形成部分真空，于是油箱 6 里的油液在大气压的作用下经过吸油管及单向阀 4 进入小油缸，即吸油；压下杠杆，小油缸的柱塞下移，促使小油缸的密封容积减少，油液压力升高，单向阀 4 自动关闭，压力油通过单向阀 3 流入大油缸 2 内，即输油，推动大柱塞将重物顶起。再次提起杠杆时，单向阀 3 自动关闭，使油液不能倒流，保证了重物不致自动落下。这样，当杠杆被反复提起和压下

时，小油缸不断交替进行吸油和输油过程；压力油不断进入大油缸，将重物不断顶起，从而达到起重的目的。将阀门 5 旋转 90°，在重物的重力作用下，大油缸的油液排回油箱。

通过对油压千斤顶工作过程的分析，可知：液压与气压传动是以油液或空气为工作介质，依靠密封容积的变化传递运动，依靠介质的内压力传递动力的；其实质是能量转换，即：先将机械能转换为压力能，通过各种元件组成的控制回路实现能量控制，再将压力能转换为机械能。

二、液压与气压传动系统的组成及图形符号

为了对液压和气压系统有一个更清楚的认识，以工程实际中的磨床为例，进一步了解液压传动系统的基本功能和组成情况。

机床工作台液压系统的工作原理是：液压泵 4 在电动机的带动下旋转，油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵，由液压泵输入的压力油→手动换向阀 9→节流阀 13→换向阀 15→液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动；液压缸 18 右腔的油液→换向阀 15→油箱。如果将换向阀 15 转换成如图 1-2（a）中状态 1 所示的状态，则压力油→液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液→换向阀 15→油箱。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。当节流阀开大时，进入液压缸 18 的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，工作台的移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的打开溢流阀 7 流回油箱。如果将手动换向阀 9 转换成如图 1-2（a）中状态 2 所示的状态，液压泵输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱，这时工作台停止运动，液压系统处于卸荷状态。



液压传动系统的图形符号有结构原理图和职能符号图两种。图1-2(a)所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强,容易理解,但难于绘制。在实际工作中,除少数特殊情况外,一般都采用国标所规定的液压与气动图形符号(参看本书附录A)来绘制,如图1-2(d)所示。图形符号表示元件的功能,而不表示元件的具体结构和参数;反映各元件在油路连接上的相互关系,不反映其空间安装位置;只反映静止位置或初始位置的工作状态,不反映其过渡过程。使用图形符号既便于绘制,又可使液压系统简单明了。

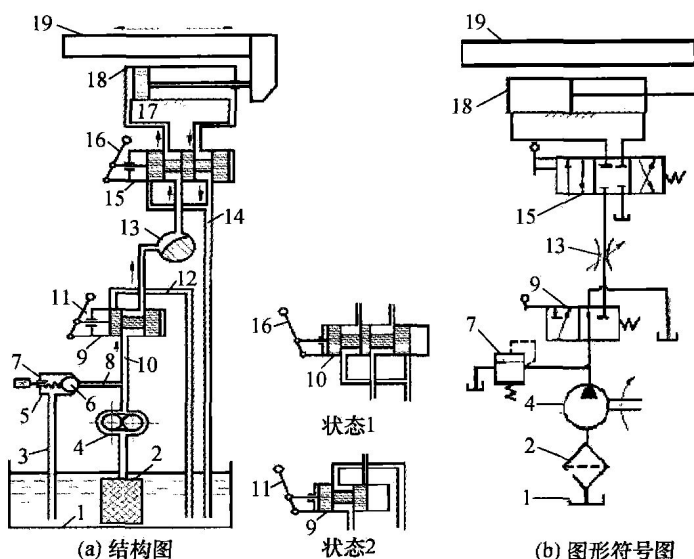


图1-2 机床工作台液压系统

- 1-油箱; 2-过滤器; 3, 12, 14-回油管; 4-液压泵; 5-弹簧; 6-钢球; 7-溢流阀; 8, 10-压力油管;
9-手动换向阀; 11, 16-换向手柄; 13-节流阀; 15-换向阀; 17-活塞; 18-液压缸; 19-工作台

从上述的液压和气压传动系统的工作原理图可以看出, 液压与气压传动系统大体上由以下五部分组成。

(1) 动力装置——把原动机的机械能转换成液压能或气压能的装置, 它是液压与气压传动系统的动力源, 如液压泵、空压机。

(2) 控制调节装置——用来控制工作介质的流动方向、压力和流量, 以保证执行元件和工作机构按要求工作, 如单向阀、换向阀、节流阀、溢流阀等。

(3) 执行装置——将压力能转换为机械能的装置, 如液压缸或马达。

(4) 辅助装置——除以上装置外的其他元器部件称为辅助装置, 如油箱、过滤器、蓄能器、冷却器、分水滤气器、油雾器、消声器、管件、管接头以及各种信号转换器等。

(5) 工作介质——传递能量的载体, 即液压油液和压缩空气。

三、液压与气压传动的特点

液压与气压传动虽然都是以流体作为工作介质来进行能量的传递和转换, 其系统的组成又基本相同, 但由于所使用的工作介质不同, 使得这两种系统有各自不同的特点。

1. 液压传动的特点

(1) 液压传动的优点。

- ① 在同等功率下，液压装置的体积小，重量轻，结构紧凑。
- ② 液压装置容易做到对速度的无级调节，而且调节范围大。
- ③ 液压装置工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。
- ④ 易于实现过载保护。液压传动采取了多种过载保护措施，能自动防止过载，避免发生事故。

⑤ 易于实现自动化。系统的压力、流量和流动方向容易实现调节和控制，特别是与电气、电子和气动控制联合起来使用时，能使整个系统实现复杂的程序动作，也可方便实现远程控制。

⑥ 易于实现标准化、系列化和通用化。液压元件属机械工业基础件，在国内外有许多专门从事液压元件制造的厂家，除油箱和少量的专用件外，一般的液压元件都能直接购买到，且规格齐全、品种多样。

(2) 液压传动的缺点。

- ① 液压元件制造精度要求高，系统维护技术水平要求高。
- ② 不能实现严格的传动比。由于液压传动介质的可压缩性和泄漏等因素的影响，导致其传动比不如机械传动精确。
- ③ 传动效率偏低。在液压传动中，系统须经两次能量转换，因而相对于机械和电气系统其传动效率偏低。
- ④ 发生故障不易检查与排除，且工作介质被污染后，会造成液压元件阀芯卡死等现象，使系统不能正常工作。

2. 气压传动的特点

(1) 气压传动的优点。

① 气压传动的工作介质是空气，具有取之不尽用之不竭的特点，且用后的空气可以排到大气中去，不会污染环境。

② 输出力和速度调节容易。气压传动动作速度反应快，气缸动作速度一般为 $50 \sim 500 \text{ mm/s}$ ，比液压和电气装置动作速度快。

③ 气动系统结构简单、维修方便，管路不易堵塞，也不存在介质变质、补充更换等问题。因为气动系统的压力较低（一般低于 1 MPa ），所以气动元件的材料和制造精度要求低。

④ 气压传动对工作环境适应性好，在易燃、易爆、多尘埃、强辐射、振动等恶劣工作环境下，仍能可靠地工作。

⑤ 气压传动有较好的自保持能力，即使压缩机停止工作，气阀关闭，气压传动系统仍可维持一个稳定压力。而液压传动要维持一定出压力，需要能源装置工作或在系统中加蓄能器。

⑥ 气压传动在一定的超负载工况下运行也能保证系统安全工作，并不易发生过热现象。

(2) 气压传动的缺点。

① 气压传动系统的工作压力低，仅适用于小功率场合。在相同输出力的情况下，气





压传动装置比液压传动装置尺寸大。

② 由于空气的可压缩性大,气压传动系统的速度稳定性差,给系统的位置和速度控制精度带来很大影响,一般可采用气液联动获得较理想的效果。

③ 气压传动系统的噪声大,尤其是排气时,须加消声器。

④ 气压传动工作介质本身没有润滑性,需另加油雾器进行润滑,而液压系统无此问题。

四、液压与气压传动的发展概况

液压与气压传动是以液压油或压缩空气为传递能量的载体,实现各种传动和控制的能量转换装置。

液压传动相对于机械传动来说,是一门新的技术。虽然从17世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理,18世纪末英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动技术已有二、三百年的历史,但直到20世纪30年代它才在机床、起重机械、工程机械、农用机械和汽车等行业逐步推广。特别是20世纪60年代以后,液压技术随着原子能、空间技术、计算机技术的发展而迅速发展,并渗透到各个工业领域。

气压传动的应用历史悠久,早在公元前,埃及人就开始用风箱产生压缩空气助燃,这是最初气压传动的应用。从18世纪的产业革命开始,气压传动逐渐被应用于各类行业中,如矿山用的风钻、火车的刹车装置等。而气压传动应用于一般工业中的自动化、省力化则是近些年的事情。目前世界各国都把气压传动作为一种低成本的工业自动化手段。国内外自20世纪60年代以来,气压传动发展十分迅速,目前气压传动元件的发展速度已超过了液压元件,气压传动已成为一个独立的专门技术领域。

当前液压与气压技术正向高速、高压、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时,随着新型液压、气压元件和其系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术的发展,液压与气压传动技术已成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动控制技术,实现工业自动化的一种重要手段,具有广阔的发展前景。



项目小结

本项目学习了液压与气压传动的概念、基本工作原理、组成、优缺点和发展概况。

(1) 液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量,气压传动则是用气体作为工作介质进行能量传递的传动方式。

(2) 液压与气压传动系统由动力装置、控制调节装置、执行装置、辅助装置和工作介质五部分组成。液压传动系统的图形符号有结构原理图和职能符号图两种。



综合训练

1-1 液压与气压传动的工作原理是什么?

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 液压与气压传动各有哪些优缺点?



项目2 液压传动的基础知识



情景描述

本项目以液压传动的工作介质——液压油为载体，介绍了液压油的分类及用途，分析了液体的基本性质，阐述了液体的静力学特性，静力学基本方程和动力学的几个重要方程，液体流动时的压力损失及缝隙流量，同时分析液压系统常见的故障现象。



学习目标

1. 知识目标：

- (1) 掌握液压传动工作介质的基本性质；
- (2) 了解液压油的污染及防护；
- (3) 叙述工作液体的性质及液体的力学规律；
- (4) 叙述液压系统的压力损失、流量损失以及功率计算；
- (5) 熟悉液压系统的故障现象。

2. 能力目标：

- (1) 能够了解并选用工作介质；
- (2) 能够了解工作介质的污染原因、危害，并能运用污染的控制方法；
- (3) 能够利用液体静力学规律分析液压现象；
- (4) 能够分析液压系统的压力损失、流量损失以及减少损失的方法；
- (5) 了解常见液压系统故障现象。

任务1 液 压 油

任务分析

要学会正确运用液压油，必须了解液压油的性质、分类及污染的原因和防护方法，因此本任务主要学习液压油的物理性质、分类、选用及污染控制方法。

任务引入

液压油是液压传动系统中的传动介质，而且还对液压装置的机构、零件起着润滑、冷却和防锈作用。液压传动系统的压力、温度和流速会在很大的范围内变化，因此能



否正确选用液压油直接影响液压系统的工作性能。此外,合理地使用液压油也是很重要的。

工作过程

一、液压传动工作介质的性质

1. 油液的密度

单位体积液体的质量称为液体的密度,以 ρ 表示。如果体积为 V 的液体,它的质量为 m ,则:

$$\rho = m/V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2-1)$$

我国采用油温为 20°C 时的液压油密度为液压油的标准密度,以 ρ_{20} 表示。机械常用液压油密度为 $\rho_{20} = (850 \sim 900) \text{ kg/m}^3$ 左右。

2. 压缩性和热膨胀性

液体的压缩性是指液体受压力作用后体积减小的性质。在一般液压传动中,油液的压缩性可以忽略不计。但是在压力变化很大和传动要求较高的高压系统中,因为液体的压缩性使液体由高压到低压突然转换的瞬间,压缩后的液体会突然膨胀而造成冲击,所以这种场合必须考虑液体的压缩性。

液体可压缩性的大小可以用体积压缩系数 κ 来表示,其定义为:受压液体在单位压力变化时发生的体积相对变化量,即:

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

式中: Δp ——压力变化量(Pa);

ΔV ——在 Δp 作用下,液体体积的变化量(m^3);

V ——压力变化前的液体体积(m^3)。

因为压力增大时液体的体积减小,所以在式(2-2a)的右边加一负号,以便使液体的体积压缩系数 κ 为正值。

液体体积压缩系数的倒数被称为液体的体积弹性模量,简称体积模量,用 K 表示。即:

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{V}{\Delta V} \Delta p \quad (2-2b)$$

体积弹性模量 K 表示液体产生单位体积相对变化量时所需要的压力增量。在使用中,可用 K 值来说明液体抵抗压缩能力的大小。石油基液压油体积弹性模量的数值是钢($K = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$)的 $1/(100 \sim 150)$,即它的可压缩性是钢的 $100 \sim 150$ 倍。但在实际使用中,由于在液体内不可避免地会混入空气等原因,使其抗压缩能力显著降低,从而影响液压系统的工作性能。因此,在有较高要求或压力变化较大的液压系统中,应尽量减少油液中混入的气体及其他易挥发性物质(如煤油、汽油等)的含量。由于油液中的气体难以完全排除,在工程计算中常取液压油的体积弹性模量 $K = 0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 左右。

液体的热膨胀性是指液体因温度升高而体积增大的性质。液体的热膨胀性也是很微

小的，再加之液压传动系统的升温不能超过允许值，所以在一般情况下可忽略不计。

3. 黏性

液体流动时流层之间产生内摩擦力的性质，称为液体的黏性。

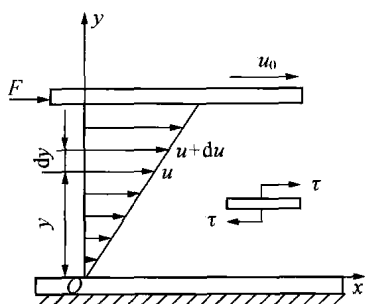


图 2-1 液体黏性示意图

液体在外力作用下运动时，液体各处的运动速度是不同的（例如平缓的小河，河心流速高，从河心至两岸流速逐渐降低），这是由于液体与固体壁间的附着力和液体分子间的内聚力造成的。如图 2-1 所示，在两平行板之间充满了液体，下平板不动，上平板以速度 v 平行于下平板运动。由于液体的黏性，两平板间的液体也随之运动。可以把液体流动看成许多无限薄的液体流层，黏附于上平板的流层速度为 v ，黏附于下平板的流层速度为零，而中间层的速度按图 2-1 所示直线规律分布。

通过大量的实验和理论研究，1686 年牛顿首先揭示了液体的内摩擦规律：液体流动时相邻液层单位面积上的内摩擦力（或切应力） τ 与液体运动时的速度梯度成正比，并与液体的性质有关，即：

$$\tau = \mu \left| \frac{dv}{dy} \right| \quad (2-3)$$

式中： μ ——液体内摩擦系数，称为动力黏度系数；

$\frac{dv}{dy}$ ——速度梯度，垂直于流动方向上单位长度内的速度变化（ dv 为相邻液层之间的相对滑动速度， dy 为相邻液层之间的间隔距离）。

液体黏性的大小用黏度来度量，黏度通常有如下三种表示方法。

(1) 动力黏度 μ 。

动力黏度又称绝对黏度，它直接表示流体的黏性，即内摩擦力的大小。动力黏度 μ 从物理意义上讲，是当速度梯度 $dv/dy = 1$ 时，单位面积上的内摩擦力的大小，由式 (2-3) 可得动力黏度：

$$\mu = \left| \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \right| \quad (2-4)$$

动力黏度的国际 (SI) 计量单位为牛顿·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 。

在同一温度下液体的动力黏度 μ 与它的密度 ρ 之比称为运动黏度，以 ν 表示，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

运动黏度的单位为 m^2/s ，常用字的数学单位为 mm^2/s ，称为厘斯 (cst)。

$$1 m^2/s = 10^6 mm^2/s = 10^6 cst$$

在液压传动计算中和液压油的牌号上（润滑油牌号），一般不使用动力黏度，而使用运动黏度。液压油的牌号就是以厘斯 (cst) 为单位在温度为 40℃ 时运动黏度的平均值。



如L-HV32号液压油就表示在标准温度(40℃)时平均运动黏度为32cst。动力黏度和运动黏度为绝对黏度,不易直接测量,一般用于理论计算。

(3) 相对黏度(又称条件黏度)。

相对黏度是以液体的黏度与水的黏度比较的相对值表示的黏度。因测定方法的不同,各国采用的相对黏度各有不同。中国、前苏联和德国采用的是恩氏黏度(用 $^{\circ}E$ 表示),英国采用雷氏黏度(R),美国采用赛氏黏度(SSU),法国采用巴氏黏度($^{\circ}B$)。

恩氏黏度用恩氏黏度计来测定。它表示被测定的液体在某一温度下,从恩氏黏度计的 $\Phi 2.8\text{ mm}$ 小孔流出200 ml所需的时间 t_1 ,与蒸馏水在20℃时从同一小孔流出200 ml所需时间 t_2 的比值,即:

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-6)$$

工业上一般以20℃、50℃和100℃作为测定恩氏黏度的标准温度,并相应的以符号 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 和 $^{\circ}E_{100}$ 来表示。

工程中常采用先测出液体的相对黏度,再根据关系式换算出动力黏度或运动黏度的方法。恩氏黏度和运动黏度的换算关系式为:

$$\nu = (7.31^{\circ}E_t - 6.31/^{\circ}E_t) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (2-7)$$

(4) 压力对黏度的影响

在一般情况下,压力对黏度的影响比较小,一般液压油的压力在20 MPa以下时,黏度增大数值很小,可忽略不计。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。因此,在压力很高以及压力变化很大的情况下,黏度值的变化就不能忽视。

(5) 温度对黏度的影响

液压油的黏度对温度的变化十分敏感,如图2-2所示,温度升高,黏度下降。这种油液的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。油液黏性变化会直接影响液压系统的工作性能和泄漏量,因此要求液压油的黏性随温度的变化越小越好。油温在20~80℃范围内,黏温关系可用如下经验公式表示:

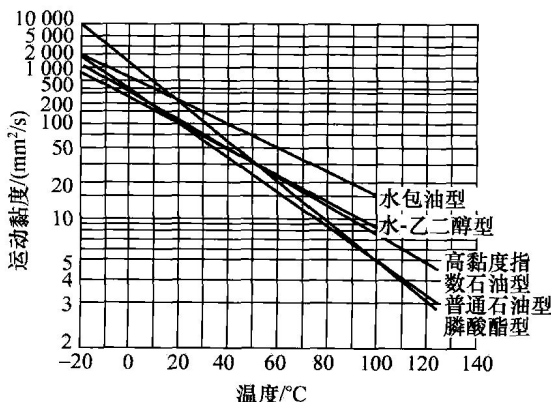


图2-2 典型液压油的黏度-温度曲线



$$\mu = \mu_0 e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2-8)$$

式中： μ 、 μ_0 ——分别为温度为 t 和 t_0 时该油液的动力黏度；

λ ——取决于油液物理性能的黏温系数。对矿物系液压油可取 $\lambda = 1.8 \times 10^{-2} \sim 3.6 \times 10^{-2} [^{\circ}\text{C}]^{-1}$ 。

液压油黏度与温度的关系亦可以从黏温图上查得。

4. 油液的其他性质

(1) 闪点

闪点是油液由加热到蒸发的油气与空气混合后，接触明火能发生闪光时油液的最低温度。

闪点是油液防火性能的重要指标。闪点高，表明低沸点馏分少，油液在高温下的安全性好。闪点低就不宜在高温下使用。

(2) 凝点

凝点是油液在试验条件下，冷却到失去流动性时的最高温度。液压油的低温流动性与凝点有关。一般认为，在凝点以上 10°C 时液压油的流动性是较好的。

(3) 化学稳定性和热稳定性

化学稳定性是指油液抵抗与含氧物质（特别是与空气）起化学反应的能力。油液与空气或其他氧化剂接触会发生氧化反应生成酸性物质，使油液变坏。此外油液还可能与其他物质发生反应。

热稳定性是指油液在高温时抵抗化学反应的能力。温度升高时，油液的化学反应将加快，油分子裂化，并且可能产生沥青焦油等树脂状物质。这些杂质黏附在油路各处，堵塞液压元件小孔并卡住阀芯，影响系统正常工作。

(4) 酸值

酸值是中和 1g 液压油中的全部酸性物质所需氢氧化钾的毫克数，以 KOH/g 的 mg 数表示。酸值是控制液压油使用性能的重要指标之一。酸值大的油液容易造成机件腐蚀，并加快油液变质，增加机械磨损。因此，根据设备的使用条件，规定了可用的最高酸值。

(5) 腐蚀

腐蚀是液压油在规定条件下对规定金属试片的腐蚀作用。对所选液压油要求腐蚀试验合格。

二、工作介质的分类

液压油的品种很多，主要分为三大类型：矿油型、乳化型和合成型。液压油的主要品种、特性及用途参见表 2-1。

矿油型液压油润滑性和防锈性较好，黏度等级范围较广，因而在液压系统中应用较广。其主要品种有普通液压油、抗磨液压油、低温液压油、高黏度液压油、液压导轨油及其他专用液压油（如航空液压油和舵机液压油等），它们都是以全损耗系统液压油为基础原料，精炼后加入适当添加剂而得。



表 2-1 液压油的主要品种、特性及用途

类 型	名 称	ISO 代号	特 性 及 用 途
矿 油 型	普通液压油	L-HL	精致矿油加添加剂, 提高抗氧化和防锈性能, 适用于室内一般设备的中、低压系统
	抗磨液压油	L-HM	L-HL 中加添加剂, 改善抗磨性能, 适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HM 中加添加剂, 改善黏温特性, 可用于环境温度 $-20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的高压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂, 改善黏温特性, VI 值达 175 以上, 适用于对黏温特性有要求的低压系统, 如数控机床液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 油加添加剂, 改善黏温特性, 适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	全损耗系统用油	L-HH	浅度精致矿油, 抗氧化性、抗泡沫性较差, 主要用于机械润滑, 可做液压代用油, 用于要求不高的低压系统
	汽轮机油	L-TSA	深度精制矿油加添加剂, 改善抗氧化性、抗泡沫性差, 为汽轮机专用抗燃要求、油液用量大且泄露严重的系统
乳 化 型	水包油乳化液	L-HFA	难燃、黏温特性好, 有一定的防锈能力, 润滑性差, 易泄露, 适用于有抗燃要求、油液用量大且泄露严重的系统
	油包水乳化液	L-HFB	既具有矿油型液压油的抗磨、防锈性能, 又具有抗燃性, 适用于有抗燃系统要求的中压系统
合 成 型	水-乙二醇液	L-HFC	难燃, 黏温特性和抗蚀性好, 能在 $-30 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 温度下使用, 适用于有抗燃系统要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃, 润滑抗磨性能和抗氧化性能良好, 能在 $-54 \sim 135^{\circ}\text{C}$ 温度下使用, 缺点是有毒; 适用于有抗燃要求的高压精密系统

矿油型液压油虽然应用很广, 具有许多优点, 但其主要缺点是可燃。在一些高温、易燃、易爆的工作场合, 为安全起见, 应采用难燃性液压油, 如水包油、油包水等乳化液, 水-乙二醇、磷酸酯等合成液。

三、液压油的选用

正确合理地选择液压油是液压系统设计和使用时应考虑的重要内容之一, 对保证液压传动系统正常工作、延长液压传动系统及液压元件的使用寿命以及提高液压系统的工作可靠性等都有重要影响。

液压油的选用主要根据液压传动系统的工作环境及工作性质来选择, 具体选用时可以从以下几方面考虑。

1. 液压油的类型

根据使用要求和运转条件 (防火、防锈、防蚀、抗泡沫、抗氧化要求及工作环境温

