



应用技术型高校汽车类专业规划教材

配
课
件

下载地址

www.ccpres.com.cn

汽车 液压与气压传动

柳 波◎主 编



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

U463.2-43
03

014055898

要密内

应用技术型高校汽车类专业规划教材

Qiche Yeya yu Qiya Chuandong 汽车液压与气压传动

柳波 主编



U463.2-43
03



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

888220110

内 容 提 要

本书是应用技术型高校汽车类专业规划教材,详细介绍了汽车液压与气压传动相关知识,内容包括:液压传动与气压传动基础、液压力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压基本回路、液压伺服和比例控制系统、液压系统的设计计算、汽车液压系统、气压传动、气压传动在汽车上的应用等11章,在每章后都附加了本章小结和复习思考题,以便读者使用。

本书适合作为高等院校车辆工程、汽车服务工程专业的教材,也可作为高职高专、成人教育、自学考试等机械类专业和汽车工程专科专业的教材。同时,也可供从事液压传动与控制技术、汽车设计与制造技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车液压与气压传动 / 柳波主编. —北京:人民
交通出版社股份有限公司, 2014.6

应用技术型高校汽车类专业规划教材

ISBN 978-7-114-11412-0

I. ①汽… II. ①柳… III. ①汽车-液压传动-高等
学校-教材 ②汽车-气压传动-高等学校-教材 IV.
①U463.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 091207 号

应用技术型高校汽车类专业规划教材

书 名: 汽车液压与气压传动

著 者: 柳 波

责任编辑: 夏 韩

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.25

字 数: 374 千

版 次: 2014年7月 第1版

印 次: 2014年7月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11412-0

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

应用技术型高校汽车类专业规划教材编委会

主任

于明进(山东交通学院)

副主任(按姓名拼音顺序)

陈黎卿(安徽农业大学)

关志伟(天津职业技术师范大学)

唐 岚(西华大学)

陈庆樟(常熟理工学院)

何 仁(江苏大学)

于春鹏(黑龙江工程学院)

委员(按姓名拼音顺序)

曹金梅(河南科技大学)

邓宝清(吉林大学珠海学院)

付百学(黑龙江工程学院)

李 斌(人民交通出版社股份有限公司)

李耀平(昆明理工大学)

柳 波(中南大学)

石美玉(黑龙江工程学院)

宋年秀(青岛理工大学)

尤明福(天津职业技术师范大学)

王良模(南京理工大学)

吴 刚(江西科技学院)

谢金法(河南科技大学)

徐立友(河南科技大学)

杨 敏(南京理工大学紫金学院)

赵长利(山东交通学院)

周 靖(北京理工大学珠海学院)

慈勤蓬(山东交通学院)

邓 涛(重庆交通大学)

姜顺明(江苏大学)

李学智(常熟理工学院)

廖抒华(广西科技大学)

石传龙(天津职业技术师范大学)

宋长森(北京理工大学珠海学院)

谭金会(西华大学)

王慧君(山东交通学院)

王林超(山东交通学院)

吴小平(南京理工大学紫金学院)

徐 斌(河南科技大学)

徐胜云(北京化工大学北方学院)

衣 红(中南大学)

赵 伟(河南科技大学)

訾 琨(宁波工程学院)

秘书

夏 韡(人民交通出版社股份有限公司)

前言

FOREWORD

当前,随着汽车行业的快速发展,汽车人才需求激增,无论是汽车制造企业对于汽车研发、汽车制造人才的大量需求,还是汽车后市场对于汽车服务型人才的大量需求,都需要高校不断地输送相关人才。而目前,我国高等教育所培养的大部分人才还是以理论知识学习为主,缺乏实践动手能力,在进入企业一线工作时,往往高不成低不就。一方面,企业会抱怨招不到合适的人才;另一方面,毕业生们又抱怨没有合适的工作可找,主要问题就在于人才培养模式没有跟上社会发展实际需求。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》中明确指出,要提高人才培养质量,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。培养理论和实操兼具的人才,使之去企业到岗直接上手或稍加培养即可适应岗位。2014年2月26日,李克强总理在谈到教育问题时指出,要建立学分积累和转换制度,打通从中职、专科、本科到研究生的上升通道,引导一批普通本科高校向应用技术型高校转型。可见,国家对于应用型技术人才的培养力度将持续加大。

教材建设是高校教学和人才培养的重要组成部分,作为知识载体的教材则体现了教学内容和教学要求,不仅是教学的基本工具,更是提高教学质量的重要保证。目前,国内多家高校在应用型人才培养过程中普遍缺乏适用的教材,现有的本科教材远不能满足要求。因此,如何编写应用型本科教材是培养紧缺人才急需解决的问题。正是基于上述原因,人民交通出版社经过充分调研,结合自身汽车类专业教材、图书的出版优势,于2012年12月在北京组织召开了“高等教育汽车类专业应用型本科规划教材编写会”,并成立教材编写委员会。会议审议并通过了教材编写方案。

本系列教材定位如下:

(1)使用对象确定为拥有车辆工程、汽车服务工程或交通运输等专业的二

三本院校；

(2)设计合理的理论与实践内容的比例,主要解决“怎么做”的问题,涉及最基本的、较简单的“为什么”的问题,既满足本科教学设计的需要,又满足应用型教育的需要;

(3)与现行汽车类普通本科规划教材是互为补充的关系,与高职高专教材有明显区别,深度上介于两者之间,满足教学大纲的需求,有比较详细的理论体系,具备系统性和理论性。

《汽车液压与气压传动》教材根据“高等教育汽车类专业应用型本科规划教材编写会”会议精神编写。本书编写遵循“注重基础、强化全面,强调应用”的理念,在着重基本概念与结构、原理阐述的同时,突出理论知识应用能力的培养。从流体力学基础理论入手,分析了流体力学在液压与气压传动中的应用,进而介绍和分析了液压与气动元件、基本回路及系统的结构组成、工作原理及应用,注重揭示出它们之间的共性和本质。结合理论联系实际的需要,分析了系统设计方法,通过实例分析了液压与气动技术在汽车上的应用。

本书共分11章,其中第1章液压传动基础部分及第2、3、4、5、6、7章由柳波编写;第8章气压传动基础部分及第9、10章由衣红编写;第11章由李向华编写;第12章由陈敏编写。同时,感谢张振海、肖益民、彭志方在资料搜集等方面所做的大量工作。

本书突出汽车液压与气动技术的特点,简化基础理论推导过程,在阐述汽车液压与气动技术基本内容的基础上,注重理论知识在汽车上的具体应用,强化汽车液压与气动技术的应用特色。本书不仅可以作为高等院校相关专业的使用教材或培训资料,还可以供教师、学生、企业技术人员课内外学习、拓展视野或进一步提高时参考。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

应用技术型高校汽车类专业规划教材编委会

2014年3月

目 录

CONTENTS

第1章 液压传动与气压传动基础	1
1.1 液压传动概述	1
1.2 液压传动基础	4
1.3 气压传动概述	25
本章小结	27
复习思考题	28
第2章 液压动力元件	29
2.1 液压泵概述	29
2.2 齿轮泵	33
2.3 叶片泵	37
2.4 柱塞泵	40
本章小结	46
复习思考题	46
第3章 液压执行元件	48
3.1 液压马达	48
3.2 液压缸	54
本章小结	64
复习思考题	64
第4章 液压控制元件	66
4.1 液压阀的特性与分类	66
4.2 方向控制阀	69
4.3 压力控制阀	79
4.4 流量控制阀	90
本章小结	96
复习思考题	97
第5章 液压辅助元件	98
5.1 油箱	98

5.2	密封装置	101
5.3	过滤器	104
5.4	热交换器	106
5.5	蓄能器	107
5.6	管件	110
	本章小结	112
	复习思考题	112
第 6 章	液压基本回路	113
6.1	压力控制回路	113
6.2	速度控制回路	120
6.3	方向控制回路	133
6.4	多执行元件控制回路	135
	本章小结	140
	复习思考题	141
第 7 章	液压伺服和比例控制系统	143
7.1	液压伺服控制	143
7.2	电液比例控制	149
	本章小结	162
	复习思考题	162
第 8 章	液压系统的设计计算	163
8.1	明确设计要求、进行工况分析	163
8.2	液压系统原理图的拟定	167
8.3	确定液压系统主要参数	167
8.4	液压元件的计算与选择	169
8.5	液压系统性能的验算	171
	本章小结	174
	复习思考题	174
第 9 章	汽车液压系统	175
9.1	汽车动力转向液压系统	175
9.2	汽车制动液压系统	177
9.3	汽车液压悬架系统	182
9.4	自动变速器液压控制系统	185
9.5	汽车发动机液压调速系统	193
	本章小结	195
	复习思考题	195
第 10 章	气压传动	196
10.1	气源装置及辅助元件	196
10.2	气动元件	204

10.3 气动基本回路	219
本章小结	238
复习思考题	238
第 11 章 气压传动在汽车上的应用	239
11.1 汽车制动气压系统	239
11.2 汽车空气动力悬架系统	246
本章小结	248
复习思考题	248
参考文献	249



第1章 液压传动与气压传动基础



教学目标

1. 了解液压传动的组成、工作原理及特点。
2. 了解油液的性质。
3. 掌握液压静力学和动力学基础。
4. 掌握孔口、管道、缝隙流动特性以及液压冲击和空穴现象。
5. 了解气压传动的组成、工作原理及特点。



教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
液压传动与气压传动原理	熟练	帕斯卡静压传递原理
液压静力传递两大特性	理解	流体力学
液压力学三大方程	理解	流体力学
孔口与缝隙流动特性	熟练	流体力学

液压与气压传动是现代机械设备中高速发展的重要技术,特别是与微电子、计算机技术相结合,使其进入了一个崭新的发展阶段,目前已广泛应用在以汽车行业为代表的各工业领域。由于近年来微电子、计算机技术的飞跃发展,液压和气压零部件的制造技术进一步提高,使得液压与气压传动不仅在作为一类基本的传动形式上占有重要地位,而且还以优良的静态、动态性能成为一种重要的控制手段。

液压与气压传动技术的发展,极大地促进了汽车技术和汽车工业的高速发展,使得现代汽车成为机、电、液、计算机一体化的高新技术产物,汽车技术已成为现代科学技术和物质文明的发展标志。目前,技术先进的汽车上已广泛采用液压和气压技术进行传动或控制,在其燃料供给、节气门控制、机械润滑、动力转向、制动、悬架、废气循环等系统中大量应用了液压与气压传动技术。因此,加强针对汽车的液压与气压传动技术学习与研究,对于科学合理地设计、制造、使用和维修汽车具有重要意义。

1.1 液压传动概述

1.1.1 液压传动概述与应用

1. 液压传动的概述

液压传动相对于机械传动来说,它是一门新学科,但从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,液压传动已有两三百年的历史,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地应用。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,特别是在第二次世界大战期间及战后,由于军事及建设需求的刺激,液压技术日趋成熟。

第二次世界大战前后,成功地将液压传动装置用于舰艇炮塔转向器,其后出现了液压六角车床和磨床,一些通用机床到 20 世纪 30 年代才用上了液压传动。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,它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,并随着各种标准的不断制定和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化,而在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。近 30 年来,由于原子能技术、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,再次将液压技术推向前进,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,如工程机械、数控加工中心、冶金自动线等。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。

2. 液压传动的应用

工程实际中都是基于液压传动与控制技术的某种优点而应用的。如液压机是利用液压传动能够输出极大的压制力而应用;金属切削机床是利用液压传动无级调速、频繁启动性、换向快速性和平稳性等应用;工程机械和所有行走机械是利用液压传动结构简单,体积小、质量轻,可执行元件工作的功能得到应用等。

冶金工业中的应用:高炉(炉顶、布料、热风炉)装置液压系统、电弧炉液压系统、方坯连铸液压系统、棒材线材机组液压系统、型材机组液压系统、带钢跑偏液压控制系统等。

石油机械中的应用:石油钻机液压系统、采油机械液压系统、钻井平台桩腿升降机液压系统等。

汽车运输中的应用:汽车助力转向系统、自卸式载货汽车车厢举升液压系统、汽车制动液压系统、汽车变速器液压系统等。

在测试仪器系统中很多都用到了液压系统。

1.1.2 液压传动系统的组成及工作原理

1. 液压传动原理

液压传动是利用静压传递原理来工作的,其传动模型如图 1-1 所示。

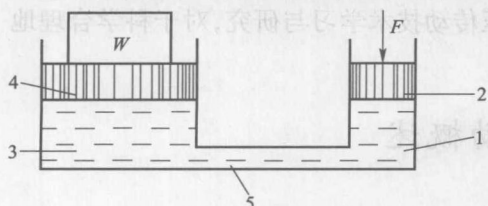


图 1-1 液压传动模型

1、3-缸体;2、4-活塞;5-连通管;W-重物重力;F-作用力

密封容器中盛满液体,当小活塞在作用力 F 足够大时即下压,小缸体内的液体流入大缸体内,依靠液体压力推动大活塞,将重物 W 举升。这种力和运动的传递是通过容器内的液体来实现的。

图 1-2 所示是磨床工作台液压系统工作原理图。

油液由油箱 1 经滤油器 2 被吸入液压泵 3,由液压泵输出的压力油经过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔(或右腔),液压缸的右腔

(或左腔)的油液则经过换向阀后流回油箱,工作台9随液压缸中的活塞8实现向右(或向左)移动,当换向阀处于中位时,工作台停止运动。工作台实现往复运动时,其速度由节流阀5调节,克服负载所需的工作压力则由溢流阀4控制。图1-2中a)、b)、c)分别表示了换向阀处于三个工作位置时,阀口P、T、A、B的接通情况。

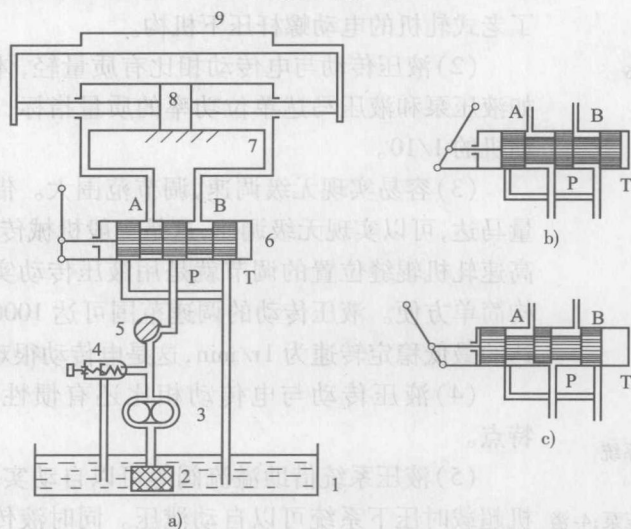


图1-2 液压传动系统工作原理图

1-油箱;2-滤油器;3-液压泵;4-溢流阀;5-节流阀;6-换向阀;7-液压缸;8-活塞;9-工作台

2. 液压传动系统的组成

根据磨床工作台液压系统的工作原理可知,液压传动是以液体为工作介质的,一个完整的液压传动系统还必须由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件几部分组成,见表1-1。

液压传动系统组成

表1-1

组成部分	功用	举例
动力元件	将机械能转换为液体的压力能	液压泵
执行元件	将液体的压力能转化为机械能	液压缸、液压马达
控制元件	控制流体的压力、流量和方向,保证执行元件完成预期的动作要求	方向阀、压力阀、流量阀等
辅助元件	起连接、储油、过滤、测量等作用	接头、油管、油箱、滤油器、空气滤清器、压力表等

图1-2所示的液压系统结构原理图较直观、容易理解,但图形较复杂,难以绘制。在实际工作中,常用图形符号来绘制,如图1-3所示。图形符号不表示元件的具体结构,只表示元件的功能,使系统图简化,原理简单明了,便于阅读、分析、设计和绘制。

1.1.3 液压传动的特点

1. 液压传动与其他传动形式相比具有的优点

(1)借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构,执行元件可以布置得远离原动机,

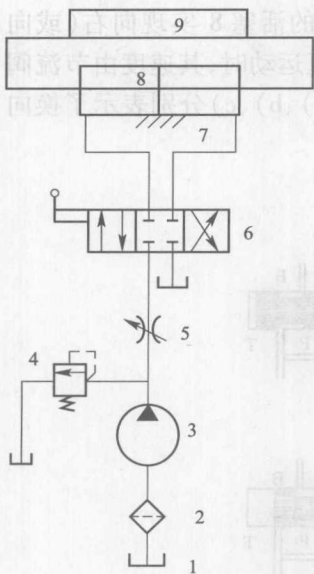


图 1-3 液压传动系统
图形符号

1-油箱;2-滤油器;3-液压泵;4-溢流阀;5-节流阀;6-换向阀;7-液压缸;8-活塞;9-工作台

这是比机械传动优越的地方。比如轧机的压下机构弯辊等液压缸的动力泵站就远离轧机。由于液压缸容易布置,所以使轧机弯辊控制成为可能。又由于液压缸的推力大,压下速度快,操作方便,反应灵敏,而且外形美观大方,体积小,在轧机上已经取代了老式轧机的电动螺杆压下机构。

(2) 液压传动与电传动相比有质量轻,体积小的突出优点。如液压泵和液压马达单位功率的质量指标,目前是发电机及电动机的 1/10。

(3) 容易实现无级调速,调节范围大。借助阀或变量泵,变量马达,可以实现无级调速,这是一般机械传动无法比拟的。如高速轧机辊缝位置的调节就是用液压传动实现无级调节的,结构简单方便。液压传动的调速范围可达 1000:1,柱塞式液压马达的最低稳定转速为 1r/min,这是电传动很难达到的。

(4) 液压传动与电传动相比还有惯性小,响应速度快的特点。

(5) 液压系统借助溢流阀等可以自动实现过载保护。如轧机超载时压下系统可以自动泄压。同时液传动运转平稳,用油作介质时设备和元件有自润滑作用,故使用寿命长。

(6) 液压传动借助各种控制阀,可以实现机器运行的自动化,特别是采用电—液联合控制后,不但可以实现更高层次的自动控制过程,而且可以实现遥控。

2. 液压传动存在的缺点

(1) 由于液体流动阻力损失和泄漏较大,因此,液压传动效率低,一般为 75% ~ 80%。如果管理不当,泄漏不仅污染场地,而且可能引起火灾等事故。

(2) 因为液体的黏度随温度变化而变化,所以温度的变化对液体系统工作性能影响很大,特别是伺服系统。为保证系统正常工作,一般都要设置液压恒温控制。

(3) 液压元件制造精度要求高,尤其对以煤油为基础油的液压元件其精度要求更高,因而价格较贵,使用和维护的技术水平要求更高。

(4) 对油污染敏感。污染的液压油使液压元件磨损和堵塞,甚至损坏,因而要求有较高过滤精度的过滤系统。在液压轧机上伺服系统一般要求不低于 3 μ m。

(5) 液压传动在我国发展历史较短,目前尚存在不少问题,如液压元件质量较差,使用寿命短,液压油的成分及纯度也不能完全满足使用要求等。

1.2 液压传动基础

1.2.1 油液的性质

在液压系统中,使用的工作介质有石油基液压油、难燃型液压油、高水基液和水介质(海水、淡水)等,一般称为液压油。液压油的基本性质和合理选用对液压系统的工作状态影响很大。

1. 液压油的主要性质

1) 液体的密度

液体单位体积内的质量称为密度,通常用 ρ 表示,即

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

式中: m ——液体质量,kg;

V ——液体体积, m^3 。

2) 液体的黏性

液体在外力作用下流动时,由于液体分子间的内聚力而产生一种阻碍液体分子之间进行相对运动的内摩擦力,液体的这种产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。

由于液体具有黏性,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,因而不存在变形的抵抗,只有当运动流体流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。

当液体流动时,由于液体与固体壁面的附着力及液体本身的黏性使流体内各处的速度大小不等,以流体沿图 1-4 所示的平行平板间的流动情况为例,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黏附于上平板上,其速度与上平板相同,紧贴于下平板上的流体黏附于下平板,其速度为零,中间流体的速度按线性分布。把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,两层间由于黏性就产生内摩擦力的作用。

根据实际测定的数据所知,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,而与此二流体层间的距离 dy 成反比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-2)$$

如以 τ 表示切应力,即单位面积上的内摩擦力,则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

式中: μ ——衡量流体黏性的比例系数,称为绝对黏度或动力黏度;

$\frac{du}{dy}$ ——表示流体层间速度差异的程度,称为速度梯度。

上式是液体内摩擦定律的数学表达式。当速度梯度变化时, μ 为不变常数的流体称为牛顿流体, μ 为变数的流体称为非牛顿流体。除高黏性或含有大量特种添加剂的液体外,一般的液压用流体均可看作是牛顿流体。

黏性的大小可用黏度来衡量,黏度是选择液压用流体的主要指标,是影响流动流体的重要物理性质。流体的黏度通常有三种不同的测试单位。

(1)绝对黏度 μ 。绝对黏度又称动力黏度,它直接表示流体的黏性即内摩擦力的大小。动力黏度 μ 在物理意义上讲,是当速度梯度 $du/dy = 1$ 时,单位面积上的内摩擦力的大小,即

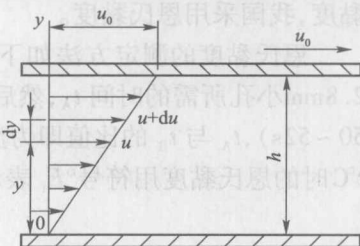


图 1-4 液体黏性示意图



$$\mu = \tau \left(\frac{du}{dy} \right)^{-1} \quad (1-4)$$

动力黏度的国际(SI)计量单位为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度 ν 。运动黏度是绝对黏度 μ 与密度 ρ 的比值,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

运动黏度的 SI 单位为 m^2/s 。还可用 CGS 制单位:斯(托克斯),St 斯的单位太大,应用不便,常用 1% 斯,即 1 厘斯来表示,符号为 cSt,故

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

运动黏度 ν 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,但对 ρ 值相近的流体,例如各种矿物油系液压油之间,还是可用来大致比较它们的黏性。由于在理论分析和计算中常常碰到绝对黏度与密度的比值,为方便起见才采用运动黏度这个单位来代替 μ/ρ 。它之所以被称为运动黏度,是因为在它的量纲中只有运动学的要素长度和时间因次的缘故。机械油的牌号上所标明的号数就是表明以厘斯为单位的,在温度 50°C 时运动黏度 ν 的平均值。例如 10 号机械油指明该油在 50°C 时其运动黏度 ν 的平均值是 10cSt。蒸馏水在 20.2°C 时的运动黏度 ν 恰好等于 1cSt,所以从机械油的牌号即可知道该油的运动黏度。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,工程上采用另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。相对黏度是以相对于蒸馏水的黏性的大小来表示该液体的黏性的。相对黏度又称条件黏度。各国采用的相对黏度单位有所不同。有的用赛氏黏度,有的用雷氏黏度,我国采用恩氏黏度。

恩氏黏度的测定方法如下:测定 200mL 某一温度的被测液体在自重作用下流过直径 2.8mm 小孔所需的时间 t_A ,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_B ($t_B = 50 \sim 52\text{s}$), t_A 与 t_B 的比值即为流体的恩氏黏度值。恩氏黏度用符号 $^\circ E$ 表示。被测液体温度 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度用符号 $^\circ E_t$ 表示。即

$$^\circ E_t = \frac{t_A}{t_B} \quad (1-6)$$

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 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 和 $^\circ E_{100}$ 来表示。

知道恩氏黏度以后,利用下列的经验公式,将恩氏黏度换算成运动黏度:

$$\nu = \left(7.31^\circ E_t - \frac{6.31}{^\circ E_t} \right) \times 10^{-6} \quad (1-7)$$

液体的黏度随液体的压力和温度的变化而变化。对液压油来说,压力增大时,黏度增大;但在一般液压系统使用的压力范围内,增大的数值很小,可以忽略不计。液压油黏度对温度的变化十分敏感,温度升高,黏度下降。这个变化率的大小直接影响液压油的使用,其重要性不亚于黏度本身。

3) 可压缩性

液体受压力后其容积发生变化的性质,称为液体的可压缩性。可压缩性使用体积压缩系数 k 表示,并定义为单位压力变化下的液体体积的相对变化量,即

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1-8)$$

式中： Δp ——压力增大量；

ΔV ——体积减小量；

V_0 ——液体初态的体积。

由于压力增大时，液体的体积减小，因此上式右端加一负号，以使 k 成为正值。

体积压缩系数 k 的单位为 m^2/N 。常用液压油的压缩系数 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

液体的体积压缩系数 k 的倒数称为液体的体积弹性模量，即 $K = 1/k$ 。液压油的体积弹性模量为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{N}/\text{m}^2$ 。

2. 液压介质的种类

液压传动介质按照 GB/T 7631.2—1987（等效采用 ISO 6743/4）进行分类，主要有石油基液压油和难燃液两大类。

1) 石油基液压油

(1) L-HL 液压油（又称普通液压油）：采用精制矿物油作基础油，加入抗氧、抗腐、抗泡、防锈等添加剂调和而成，是当前我国供需量最大的主品种，用于一般液压系统，但只适于 0°C 以上的工作环境。其牌号有：HL-32、HL-46、HL-68。在其代号 L-HL 中，L 代表润滑剂类，H 代表液压油，L 代表防锈、抗氧化型，最后的数字代表运动黏度。

(2) L-HM 液压油（又称抗磨液压油，M 代表抗磨型）：其基础油与普通液压油同，除加有抗氧、防锈剂外，主剂是极压抗磨剂，以减少液压件的磨损。适用于 -15°C 以上的高压、高速工程机械和车辆液压系统。其牌号有：HM-32、HM-46、HM-68、HM-100、HM-150。

(3) L-HG 液压油（又称液压—导轨油）：其基础油与普通液压油同，除普通液压油所具有的全部添加剂外，还加有油性剂，用于导轨润滑时有良好的防爬性能。适用于机床液压和导轨润滑合用的系统。

(4) L-HV 液压油（又称低温液压油、稠化液压油、高黏度指数液压油）：用深度脱蜡的精制矿物油，加抗氧、抗腐、抗磨、抗泡、防锈、降凝和增黏等添加剂调和而成。其黏温特性好，有较好的润滑性，以保证不发生低速爬行和低速不稳定现象。适用于低温地区的户外高压系统及数控精密机床液压系统。

(5) 其他专用液压油：如航空液压油（红油）、炮用液压油、舰用液压油等。

2) 难燃液

难燃液可分为合成型、油水乳化型和高水基型三大类。

(1) 合成型抗燃工作液

① 水—乙二醇液（L-HFC 液液）。这种液体含有 35%~55% 的水，其余为乙二醇及各种添加剂（增稠剂、抗磨剂、抗腐蚀剂等）。其优点是凝点低（ -50°C ），有一定的黏性，而且黏度指数高，抗燃。适用于要求防火的液压系统，使用温度范围为 $-18 \sim 65^\circ\text{C}$ 。其缺点是价格高，润滑性差，只能用于中等压力（20MPa 以下）。这种液体密度大，所以吸入困难。水—乙二醇液能使许多普通油漆和涂料软化或脱离，可换用环氧树脂或乙烯基涂料。

② 磷酸酯液（L-HFDR 液液）。这种液体的优点是，使用的温度范围宽（ $-54 \sim 135^\circ\text{C}$ ），抗燃性好，抗氧化安定性和润滑性都很好。允许使用现有元件在高压下工作。其缺



点是价格昂贵(为液压油的5~8倍);有毒性;与多种密封材料(如丁腈橡胶)的相容性很差,而与丁基胶、乙丙胶、氟橡胶、硅橡胶、聚四氟乙烯等均可相容。

(2)油水乳化型抗燃工作液(L-HFB、L-HFAE 液压液)。油水乳化液是指互不相溶的油和水,使其中的一种液体以极小的液滴均匀地分散在另一种液体中所形成的抗燃液体。分水包油乳化液和油包水乳化液两大类。

(3)高水基型抗燃工作液(L-HFAS 液压液)。这种工作液不是油水乳化液。其主体为水,占95%,其余5%为各种添加剂(抗磨剂、防锈剂、抗腐剂、乳化剂、抗泡剂、极压剂、增黏剂等)。其优点是成本低,抗燃性好,不污染环境。其缺点是黏度低,润滑性差。

3. 液压油的选用

正确而合理地选用液压油,乃是保证液压设备高效率正常运转的前提。

选用液压油时,可根据液压元件生产厂样本和说明书所推荐的品种号数来选用液压油,或者根据液压系统的工作压力、工作温度、液压元件种类及经济性等因素全面考虑,一般是先确定适用的黏度范围,再选择合适的液压油品种。同时还要考虑液压系统工作条件的特殊要求,如在寒冷地区工作的系统则要求油的黏度指数高、低温流动性好、凝固点低;液压系统的精度越高,要求所选用的液压油清洁度也越高,压缩性小,如对有电液伺服阀的闭环液压系统要求用高级HM和HV液压油。高压系统则要求油液抗磨性好。在选用液压油时,黏度是一个重要的参数。黏度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏以及流动时的压力损失、系统的发热温升等。所以,在环境温度较高,工作压力高或运动速度较低时,为减少泄漏,应选用黏度较高的液压油,否则相反。

总之,正确选用和合理使用液压油,对液压设备运行的可靠性,延长系统和元件的使用寿命,保证设备安全,防止事故的发生有着重要的意义。特别是液压系统朝着缩小体积、减轻质量、增大功率、提高效率、增加可靠性和环境友好的方向发展,正确选用液压油显得更为重要。

1.2.2 液压静力学基础

液压传动是以液体作为工作介质进行能量传递的,因此要研究液体处于相对平衡状态下的力学规律及其实际应用。所谓相对平衡是指液体内部各质点间没有相对运动,至于液体本身完全可以和容器一起如同刚体一样做各种运动。因此,液体在相对平衡状态下不呈现黏性,不存在切应力,只有法向的压应力,即静压力。

1. 液体静压力及其特性

作用在液体上的力有两种类型:一种是质量力,另一种是表面力。

质量力作用在液体所有质点上,它的大小与质量成正比,属于这种力的有重力、惯性力等。单位质量液体受到的质量力称为单位质量力,在数值上等于重力加速度。

表面力作用于所研究液体的表面上,如法向力、切向力。表面力可以是其他物体(例如活塞、大气层)作用在液体上的力;也可以是一部分液体间作用在另一部分液体上的力。对于液体整体来说,其他物体作用在液体上的力属于外力,而液体间作用力属于内力。由于理想液体质点间的内聚力很小,液体不能抵抗拉力或切向力,即使是微小的拉力或切向力都会使液体发生流动。因为静止液体不存在质点间的相对运动,也就不存在拉力或切向力,所以