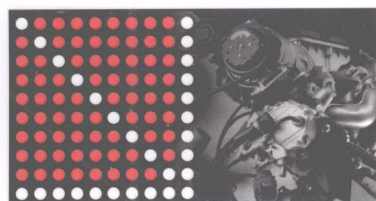


高职高专汽车工程类专业教材



# 汽车 液压、气压 与液力传动

安永东 主编 王强 刘颖 副主编 齐晓杰 主审

CAR



化学工业出版社

高职高专汽车工程类专业教材



# 汽车 液压、气压 与液力传动

安永东 主 编  
王 强 刘 颖 副主编  
齐晓杰 主 审

CAAR



化学工业出版社

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车液压、气压与液力传动/安永东主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 8

高职高专汽车工程类专业教材

ISBN 978-7-122-05923-9

I. 汽… II. 安… III. ①汽车-液压传动-高等学校: 技术学院-教材②汽车-气压传动-高等学校: 技术学院-教材③汽车-液力传动-高等学校: 技术学院-教材 IV. U463. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 094610 号

---

责任编辑: 周 红

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 郑 捷

装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 297 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

液压气压传动技术是机械设备中发展最快的技术之一。近年来,由于汽车在安全、节能、舒适、快捷方面的要求越来越高,液压气压传动技术作为一种重要的传动和控制技术,与电子、计算机技术相结合,在汽车上的应用越来越广泛。如汽车的自动变速、ABS制动、电控悬架、转向助力等装置都应用了液压、气压和液力传动装置。液压、气压和液力传动技术在汽车上的应用具有结构紧凑,多阀组合,与机械、电子、计算机高度结合等特点,其复杂性已超出了其它机械设备液压、气压传动技术的应用。液压、气压和液力传动装置技术含量高,故障难查,维修难度大,是汽车使用与维修中的一大难题。本书是一本专门介绍汽车液压、气压与液力传动技术的教学用书,对全面提高汽车维修技术人员业务水平,加速汽车维修业向高水平发展具有重要意义。

本书由黑龙江工程学院安永东主编,王强、刘颖任副主编,哈尔滨工程大学安少军、罗萌参编,齐晓杰教授主审。在编写过程中,得到了哈尔滨工程大学、吉林工业大学、哈尔滨理工大学和长春汽车工业高等专科学校等多所兄弟院校教师的指导,并参考了一些汽车厂的资料,在此一并表示感谢。

本书可作为高职高专院校汽车工程专业学习汽车液压传动技术课程的教材,也适于广大从事汽车运用、汽车维修工作的工程技术人员使用。

本教材的教学课件和“复习思考题”答案请到 <http://www.cipedu.com.cn> 下载!

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,竭诚希望广大读者提出宝贵意见。

编者

# 目 录

<b>第 1 章 汽车液压传动基础知识</b> .....	1
1.1 汽车液压传动工作原理及系统组成 .....	1
1.1.1 汽车液压传动工作原理 .....	1
1.1.2 汽车液压传动系统组成 .....	1
1.2 汽车用液压油 .....	3
1.2.1 液压油的物理特性 .....	3
1.2.2 汽车用液压油的选用 .....	3
1.3 汽车液压传动基础理论 .....	6
1.3.1 液体静力学基础理论 .....	6
1.3.2 液体动力学基础 .....	7
1.3.3 管路中液体压力损失 .....	9
1.3.4 液体流经小孔及缝隙的流量-压力特性 .....	10
1.4 液压冲击及气穴现象 .....	11
1.4.1 液压冲击 .....	11
1.4.2 气穴现象 .....	12
1.5 汽车液压传动系统特点 .....	12
复习思考题 .....	13
<b>第 2 章 汽车液压元件</b> .....	15
2.1 液动力元件 .....	15
2.1.1 液压泵 .....	15
2.1.2 齿轮泵 .....	17
2.1.3 叶片泵 .....	20
2.1.4 柱塞泵 .....	22
2.2 液压执行元件 .....	24
2.2.1 液压马达 .....	24
2.2.2 液压缸 .....	27
2.3 辅助元件 .....	30
2.3.1 密封元件 .....	31
2.3.2 过滤器 .....	33
2.3.3 热交换器 .....	37
2.3.4 蓄能器 .....	38
2.3.5 油管 and 管接头 .....	38
2.4 液压控制元件 .....	41
2.4.1 方向控制阀 .....	41

2.4.2	压力控制阀	47
2.4.3	流量控制阀	51
2.5	典型汽车液压控制阀	53
2.5.1	自动变速器常用控制阀	53
2.5.2	液压力转向控制阀	58
2.5.3	制动力调节控制阀	61
	复习思考题	66
<b>第3章</b>	<b>典型汽车液压系统分析</b>	69
3.1	液压基本回路	69
3.1.1	方向控制回路	69
3.1.2	压力控制回路	70
3.1.3	速度控制回路	74
3.2	汽车液压力转向系统	81
3.2.1	汽车液压力转向系统的组成	82
3.2.2	汽车液压力转向系统的工作过程	82
3.3	自卸汽车液压系统	83
3.3.1	自卸汽车液压系统组成	83
3.3.2	自卸汽车液压系统工作过程	84
3.4	汽车起重机液压系统	85
3.4.1	QY-8型汽车起重机液压系统工作原理	85
3.4.2	液压系统的主要特点	87
3.5	汽车ABS液压系统	87
3.5.1	汽车ABS的组成	87
3.5.2	汽车ABS液压控制系统组成	88
3.5.3	汽车ABS的工作过程	88
3.6	汽车液压悬架系统	91
3.6.1	汽车电控液压悬架系统	91
3.6.2	车高控制系统	91
3.6.3	自适应悬架系统	92
3.7	自动变速器液压控制系统	93
3.7.1	液压控制系统的组成	93
3.7.2	液压控制系统工作原理	94
	复习思考题	96
<b>第4章</b>	<b>典型汽车气压传动系统分析</b>	98
4.1	气压传动基础知识	98
4.1.1	空气的物理性质	98
4.1.2	气体静力学基础	99
4.1.3	气体动力学基础	100
4.1.4	气体在管道中的流动特性	101
4.2	气源装置及辅助元件	101
4.2.1	气源装置	101

4.2.2	辅助元件	106
4.3	气动元件	108
4.3.1	执行元件	108
4.3.2	控制元件	109
4.3.3	逻辑元件	114
4.3.4	汽车典型气压控制元件	116
4.4	气动基本回路	122
4.4.1	方向控制回路	122
4.4.2	压力控制回路	122
4.4.3	速度控制回路	124
4.4.4	气液联动回路	124
4.4.5	其它回路	126
4.5	气压传动在汽车上的应用	128
4.5.1	汽车气压制动防抱死系统	128
4.5.2	汽车主动空气动力悬架系统	130
4.5.3	公交车车门气动安全操纵系统	132
4.5.4	解放 CA1091 型汽车气压制动系统	133
	复习思考题	134
<b>第 5 章</b>	<b>汽车液力传动</b>	<b>135</b>
5.1	汽车液力传动基础	135
5.1.1	汽车液力传动工作原理	135
5.1.2	汽车液力传动的结构形式	135
5.1.3	汽车液力传动应用特点	136
5.2	液力偶合器	136
5.2.1	液力偶合器组成	136
5.2.2	液力偶合器工作原理	137
5.3	液力变矩器	139
5.3.1	液力变矩器的组成	139
5.3.2	液力变矩器的工作原理	139
5.3.3	液力变矩器的类型	141
5.4	液力变矩器检修	143
5.4.1	液力变矩器的检查	143
5.4.2	液力变矩器机械故障诊断	147
	复习思考题	149
<b>第 6 章</b>	<b>典型汽车液压系统故障诊断与维修</b>	<b>150</b>
6.1	汽车液压系统安装及维护	150
6.1.1	汽车液压系统的安装	150
6.1.2	汽车液压系统的使用维护	150
6.2	汽车起重机液压系统常见故障及排除方法	153
6.2.1	汽车起重机液压系统故障分析及排除	153
6.2.2	QY-8 型汽车起重机液压系统常见故障及排除方法	155

6.3	自动变速器液压系统检修与故障分析 .....	156
6.3.1	液压泵的检修.....	156
6.3.2	阀板的检修.....	157
6.3.3	液压控制系统常见故障分析及排除方法.....	161
6.4	汽车液压制动系统故障分析 .....	162
6.4.1	汽车液压制动系统的故障诊断.....	162
6.4.2	汽车液压制动系统主要传动装置的检验和调整.....	164
6.4.3	汽车 ABS 液压系统主要元件的检修 .....	167
6.4.4	本田雅阁乘用车 ABS 主要液压元件的拆装 .....	169
6.5	液压动力转向系统检修与故障分析 .....	170
6.5.1	液压动力转向装置的检查和调整.....	170
6.5.2	液压动力转向装置的检修.....	174
6.5.3	液压动力转向装置常见故障分析.....	177
6.5.4	北京切诺基汽车动力转向系统检修.....	178
	复习思考题.....	179
<b>附录</b>	<b>常用液压与气压元件图形符号 (GB/T 786.1—2001)</b> .....	<b>180</b>
<b>参考文献</b>	.....	<b>186</b>



# 第 1 章 汽车液压传动基础知识

液压与气压传动和液力技术的发展,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、电脑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。现代汽车正向着驾驶方便、运行平稳、乘用舒适、安全可靠、节能环保的方向发展,液压、气压传动和液力技术特点与之相适应,得以越来越多地被应用。如电控液力自动变速器、电控悬架装置、电控防抱死制动装置、气压式挂车制动装置、液压或气压式转向助力装置、自动倾卸车举升机构及发动机燃料供给、机械润滑系统等。因此,加强针对汽车的液压与气压传动和液力技术的学习与研究,对于科学合理地设计、制造、使用、维护、维修汽车具有重要意义。

## 1.1 汽车液压传动工作原理及系统组成

### 1.1.1 汽车液压传动工作原理

汽车液压传动是利用密闭系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式。图 1-1 所示为汽车车厢举倾机构结构简图。液压缸 6 的活塞杆与汽车车厢铰接。当液压泵 8 运转,换向阀阀芯 4 处于图中所示位置时,车厢举倾机构不工作。即液压泵输出的压力油经单向阀 7,换向阀 5 中的 a 油道及回油管返回油箱。由于液压缸 6 活塞上、下腔均与油箱连通,此时,液压缸处于不工作状态。

在外力作用下,推动换向阀阀芯 4 右移,换向阀 5 中的 a 油道与液压泵供油路关闭。从液压泵输出的压力油经换向阀 5 中的 b 油道进入液压缸活塞下腔,推动液压缸活塞上移,通过活塞杆实现车厢的举升。

为了防止液压系统过载,在液压缸 6 进油路上装有限压阀 3。当系统油压超过一定值时,限压阀开启,一部分压力油通过限压阀返回油箱,系统油压则不再升高。

当外力去除后,在换向阀芯右侧弹簧力的作用下,换向阀阀芯 4 返回到原来位置(图中所示位置)。此时,液压缸活塞下腔通过换向阀与回油路连通。液压缸活塞下腔压力油返回油箱,车厢在自重作用下下降。

由汽车车厢举倾机构的工作过程可知,液压传动是以液体作为工作介质来传动的;它依靠密闭容积的变化传递运动,依靠液体内部的压力(由外界负载所引起)传递动力。液压传动装置本质上是一种能量转换装置,它先将机械能转换为便于输送的液压能,随后又将液压能转换为机械能而做功。

### 1.1.2 汽车液压传动系统组成

通过对汽车车厢举倾机构分析可知,汽车液压系统分为以下五个组成部分。

- ① 动力元件——液压泵。把机械能转换成液体液压能的装置。
- ② 执行元件——液压缸、液压马达。把液体的液压能转换成机械能的装置。
- ③ 控制元件——对系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。例如图 1-1 中的限压阀、换向阀和单向阀等。

如图 1-1 中的限压阀、换向阀和单向阀等。

④ 辅助元件——除上述三个部分以外的其它装置。例如图 1-1 中的油箱、滤油器、油管、管接头及密封件等。

⑤ 工作介质——液压油就是用于液压系统中的工作介质。为保证汽车液压系统正常工作，液压油必须保证其不可压缩性和良好的流动状态。此外，还应具有适宜的黏度和良好的黏温特性、抗磨性、抗乳化性、抗泡沫性、抗氧化性等。

图 1-1 所示的液压系统图是用各液压元件和管路的结构简图表示的一种半结构式的工作原理图。它直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦。图 1-2 所示为用反映各液压元件功能的符号表示、并用通路连接起来组成的同一个液压系统工作原理图，使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，便于绘制。

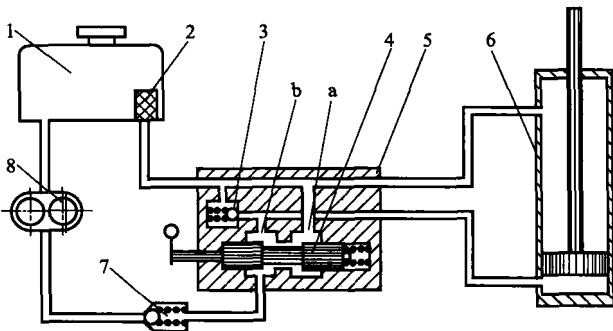


图 1-1 汽车车厢举倾机构结构简图

1—油箱；2—过滤器；3—限压阀；4—换向阀阀芯；5—换向阀；6—液压缸；7—单向阀；8—液压泵；a,b—油道

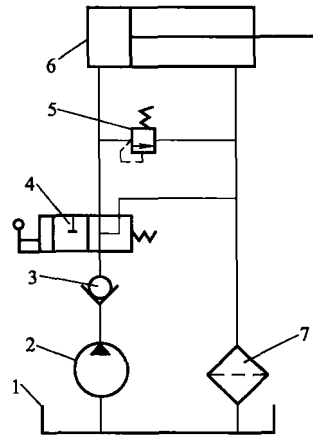


图 1-2 汽车车厢举倾机构液压系统图

1—油箱；2—液压泵；3—单向阀；4—换向阀；5—限压阀；6—液压缸；7—过滤器

液压传动与其它传动形式相比较，有以下特点。

- ① 功率密度（即单位体积所具有的功率）大，结构紧凑，重量轻。
- ② 传动平稳，能实现无级调速，且调速范围大。

③ 液压元件质量轻、惯性矩小，变速性能好。可实现高频率的换向，因而，在汽车电控系统中经常用到与微电子技术结合，组成的性能好、自动化程度高的传动及控制系统。如汽车电控液力自动变速器、汽车制动防抱死系统、汽车制动力分配系统等。且控制、调节简单、省力，操作方便。

④ 传动介质为油液，液压元件具有自润滑作用，有利于延长液压元件的使用寿命。同时液压传动系统也易于实现自动过载保护。

⑤ 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化，有利于组织生产和设计。

但液压传动也有不足，如液压传动效率低、速比不如机械传动准确、工作时受温度影响较大、不宜在很高或很低的温度条件下工作、液压元件的制造精度要求较高、造价较高、液压传动系统出现故障时不易找出原因等。

## 1.2 汽车用液压油

### 1.2.1 液压油的物理特性

#### (1) 液体的密度

液体单位体积内的质量称为密度，通常用“ $\rho$ ”表示。液压油的密度随压力的增加而加大，随温度的升高而减小。一般情况下，由压力和温度引起的这种变化都较小，可将其近似地视为常数。

#### (2) 液体的黏性

液体在外力作用下流动（或有流动趋势）时，分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力，这种现象叫做液体的黏性。液体只有在流动（或有流动趋势）时才会呈现出黏性，静止液体是不呈现黏性的。

流体黏性的大小用黏度来衡量。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

① 动力黏度  $\mu$  液体在单位速度梯度下流动时，液层间单位面积上产生的内摩擦力。动力黏度  $\mu$  又称绝对黏度。动力黏度  $\mu$  的单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）或  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

② 运动黏度  $\nu$  动力黏度  $\mu$  与液体密度  $\rho$  之比称为运动黏度。运动黏度  $\nu$  的单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ 。

运动黏度  $\nu$  没有明确的物理意义。因在理论分析和计算中常遇到运动黏度  $\mu$  与液体密度  $\rho$  的比值，为方便而用  $\nu$  表示。其单位中有长度和时间的量纲，故称为运动黏度。

工程中常用运动黏度  $\nu$  作为液体黏度的标志。机械油的牌号就是用机械油在  $40^\circ\text{C}$  时的运动黏度  $\nu$  的平均值来表示的。如 10 号机械油就是指其在  $40^\circ\text{C}$  时运动黏度  $\nu$  的平均值为  $10\text{cSt}$  ( $1\text{cSt}=10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ )。

③ 相对黏度（条件黏度） 相对黏度是以液体的黏度与蒸馏水的黏度比较的相对值表示的黏度。因测量条件不同，各国采用的相对黏度也各不相同。我国、前苏联、德国等采用恩氏黏度（用  $^\circ\text{E}$  表示），美国采用赛氏黏度  $\text{SSU}$ ，英国采用雷氏黏度  $R$ 。

液压油液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液的使用，其重要性不亚于黏度本身。

#### (3) 可压缩性

液体受压力作用而体积缩小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性用体积压缩系数  $\kappa$  表示，并定义为单位压力变化下的液体体积的相对变化量。

体积压缩系数  $\kappa$  的单位为  $\text{m}^2/\text{N}$ 。常用液压油的压缩系数  $\kappa=(5\sim7)\times 10^{-10}\text{m}^2/\text{N}$ 。

#### (4) 其它性质

液压油液还有其它一些性质，如稳定性（热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、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、涂料等不起作用便是相容性好，否则便是不好）等，都对它的选择和使用有重要影响。

### 1.2.2 汽车用液压油的选用

随着汽车技术的发展，现代汽车上的许多机构，广泛采用了液压传动。如自动变速器、液压制动系统、液压式动力转向系统、液压减振器、自动倾卸机构等均采用液压传动

装置。为保证汽车液压系统的正常工作，必须根据各自机构的工作特点选取不同类型的液压油。

#### (1) 液力传动油

汽车液力传动油又称自动变速器油 (ATF, Automatic Transmission Fluid), 通用型液力传动油呈紫红色, 有些呈淡黄色等。它是汽车自动变速器和动力转向系统中的工作介质。它不仅起到传递力的作用, 而且还起着对齿轮、轴承等摩擦副的润滑、冷却作用。

液力传动油除具有齿轮润滑油的性能外, 还应具有适宜的黏度和良好的黏温性, 良好的热氧化安定性、良好的抗泡沫性、抗磨性、摩擦特性及密封适应性等使用性能。

国外液力传动油的分类是按照 ASTM (美国材料试验学会) 和 API (美国石油学会) 的分类方案, 将液力传动油分为 PTF (Power Transmission Fluid)-1、PTF-2、PTF-3 三类。

我国目前液力传动油尚无国家标准, 现行标准为中国石化总公司的企业标准, 该标准将液力传动油分为 6 号液力传动油和 8 号液力传动油两种。8 号液力传动油具有良好的黏温性、抗磨性和较低摩擦因数, 其接近于 PTF-1 级油, 适用于轿车、轻型卡车的自动变速器。6 号液力传动油比 8 号液力传动油具有更好的抗磨性, 但黏温性稍差, 它接近于 PTF-2 级油, 适用于内燃机车和重型货车的多级变矩器和液力偶合器。液力传动油的分类见表 1-1。

表 1-1 液力传动油分类

国外分类	国内分类	应用
PTF-1	8 号	轿车、轻型货车的自动变速器
PTF-2	6 号	重型货车、履带车、农用车、越野车的自动变速器
PTF-3		农业及建筑机械的液力传动系统

液力传动油的选用必须严格按车辆使用说明书的规定, 选用适合品种的液力传动油。若无说明书的车辆, 轿车、轻型货车应选用 8 号液力传动油; 而重型货车、工程机械的液力传动系统, 则可选用 6 号液力传动油。

液力传动油使用中的注意事项如下。

① 注意保持油温正常。长时间重载低速行驶, 将使油温上升, 加速油的氧化变质, 将形成沉积物和积炭, 阻塞细小的通孔和油液循环管路, 从而影响对零件的润滑和冷却作用。

② 经常检查油平面, 不足时及时添加。如油面下降过快, 可能是由于漏油引起, 应及时查明原因予以排除。

③ 按车辆使用维护说明书的规定更换液力传动油和滤清器或清洗各滤清器芯子及外壳, 并注意有无金属磨屑。每 3~4 月 (约 1000h), 取样检查油的质量, 确定是否需要换油。

④ 液力传动系统工作油的使用寿命一般在 2000h 以上, 使用过程中应定期对油质进行取样分析, 以判断油液是否变质。油质检测的方法很多, 有条件时可以采用检测仪器分析。在无油液检测仪器时, 可采用比较法凭经验对油质进行检验。重点观测黏度变化、泡沫多少及乳化变质情况。观测黏度, 可将被检油和标准油分别装入相同的小瓶内, 摇晃一下, 对比其稀稠情况。机械杂质污染度可用斑痕法或小瓶中沉淀后目测。含水量和酸质也可用小瓶目测, 正常油的颜色应清澈透明。若油的颜色混浊发白, 说明含水分过多, 已乳

化变质；若颜色变成较深的棕色，则说明油液氧化比较严重，酸值增大。

⑤ 检查油面和换油时，注意油液的状况。在手指上蘸少许油液，用手指互相摩擦看是否有渣粒存在，并从油标尺上嗅闻油液气味，通过对油液的外观检查，可反映部分问题。工作油如发现有下列情况之一时，需要换油：

- a. 含水量达到 0.2% 时；
- b. 在 50℃ 黏度比新油高 6mm<sup>2</sup>/s 时；
- c. 总杂质质量（标准状态下不溶解物）达到 0.2% 时；
- d. 有高的酸值或油中含水时；
- e. 总盐基值比新油低 5% 以上时；
- f. 泡沫过多而影响传动功率时（消泡仍无效时）。

⑥ 在使用工作油时要注意不能含有皂脂，否则油中会产生持续泡沫；不能含有溶于水的酸碱类，因为它们将引起零件腐蚀；也不能含有沥青，因为它在高温时会分离沉积在管壁、孔道及阀内部，以致引起阻塞。

⑦ 不能使用任何认为与液力传动油“相当”的油种。工作油不能弄脏，也不能混入其它油种，因为这样的混合油有起泡沫的倾向。

⑧ 新机器或大修后机器的油易脏，需在初次运行 50~100h 和 300~500h 进行第一次和第二次换油。放出的油如变质不严重时，可经过滤后再用，实际工作中经常发生液压泵轴端密封损坏，液压油流入变速器，混合后的油液又流入发动机油底壳的情况，如不换油继续使用这种混合油，极易导致传动系统早期磨损，因此，应及时更换。

### (2) 汽车制动液

汽车制动液也称刹车油，它是一种用于汽车液压制动系统或离合器液压操纵机构中传递压力的工作介质。由于汽车制动系统的可靠性直接影响到行车安全，因此要求制动液必须安全可靠、质量高、性能好，并且要在各种条件下四季通用。对制动液的性能要求还有：优良的高温抗气阻性；良好的低温流动性和黏温性；与橡胶良好的适应性；对金属的低腐蚀性；良好的化学安定性；抗泡沫性等。

制动液按其组成和特性不同，一般分为醇型、矿物油型和合成型制动液三类。其中合成型制动液是目前广泛应用的主要品种，它由基础液、润滑剂和添加剂组成。按其基础液的不同，合成型制动液有醇醚制动液、酯制动液和硅油制动液三种。醇醚制动液基础液的主要成分为二己醚类，其性能稳定，成本低，是目前用量最大的一种制动液。酯制动液因其沸点高，主要用于湿热环境下。硅油制动液具有高性能，其成本较高，目前尚未普及应用，只在军车等车辆上使用。

我国按照国家标准 GB 12981—2003《机动车辆制动液》将汽车用制动液分为 HZY3、HZY4、HTY5 三种产品。

汽车用制动液一般根据使用环境条件和车辆速度性能来选用适合的制动液。环境条件主要是指气温、湿度和道路条件等，在湿热条件下，一般应选用 HZY3 或 HZY4 合成制动液。高速车辆或常在市区行驶的车辆，制动液工作温度较高，应使用级别较高的制动液。

### (3) 其它类型液压油

汽车液压系统使用的液压油如无特殊要求的，可按国家标准规定的润滑剂和有关产品（L 类）中的 H 组（液压系统）分类来选取，汽车液压系统常用的液压油品种主要有：L-HL、L-HM、L-HV 和 L-HR 液压油等。L-HL 是一种精制矿物油，能改善防锈和抗氧化性，常用于低压系统和传动装置中，在 0℃ 以上环境下使用；L-HM 是抗磨型液压油，它

适合于低、中、高压系统,适用的环境温度为 $-5\sim 60^{\circ}\text{C}$ ;L-HV是低温抗磨型液压油,适合用于环境温度变化大或工作条件恶劣的低、中、高压液压系统中,如野外作业的工程车辆、军车等;L-HR也是低温抗磨型液压油,性能与L-HV液压油相似,只是在黏温性能方面略有改善。

## 1.3 汽车液压传动基础理论

### 1.3.1 液体静力学基础理论

#### (1) 液体静压力及其特性

静压力是指液体处于静止状态时,单位面积上所受的內法线方向的法向作用力。静压力在液压传动中简称压力,在物理学中则称为压强。

静止液体中某一微小面积 $\Delta A$ 上作用有法向力 $\Delta F$ ,则该点压力可定义为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

我国法定的压力单位为帕斯卡,简称帕(Pa), $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。工程实际中也采用兆帕(MPa)和巴(bar), $1\text{bar}=10^5\text{Pa}=0.1\text{MPa}$ 。

液压力有两个重要性质:

① 液体静压力垂直于作用面,其方向和该面的內法线方向一致。这是因为液体只能受压,不能受拉所致。

② 静止液体中任何一点受到各个方向的压力都相等。如果液体中某点受到的压力不同,那么液体就要运动,这就破坏了静止的条件。

#### (2) 液体静压力基本方程

① 静压力基本方程 如图1-3所示容器中盛有液体,假设作用在液面上的力为 $p_0$ ,

现在要求液面下深 $h$ 处的液体的压力 $p$ ,可以从液体中取一底面为 $\Delta A$ 的小液柱,其高度为 $h$ ,对其进行受力分析,得垂直方向上的力平衡方程式

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

化简得

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-2)$$

式中  $\rho$ ——液体的密度;

$g$ ——重力加速度。

式(1-2)即为静压力基本方程式。由式(1-2)可知,静止液体內任意点的压力由两部分组成,即液面上的压力 $p_0$ 和液体重力所产生的压力 $\rho gh$ 。静止液体內的压力随着深度 $h$ 的增加线性地增加。静止液体中同一深度的各点压力相等,由压力相等的点组成的面称为等压面。

② 静压力基本方程式的物理意义 如图1-4所示的盛有液体的密闭容器,液面压力为 $p_0$ 。把此容器放到坐标系中,根据静压力基本方程可确定距液面深 $h$ 处A点和深 $h_1$ 处B点的压力 $p_A$ 、 $p_B$ ,即

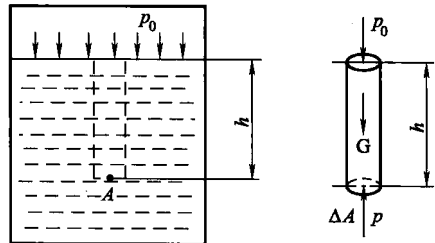


图 1-3 静压力基本方程式计算图

$$p_A = p_0 + \rho gh = p_0 + \rho g(z_0 - z)$$

$$p_B = p_0 + \rho gh_1 = p_0 + \rho g(z_0 - z_1)$$

式中  $z_0$ ——液面在坐标系中的纵坐标；

$z, z_1$ ——A、B点的纵坐标。

整理后可得

$$\frac{p_A}{\rho g} + z = \frac{p_B}{\rho g} + z_1 = \frac{p_0}{\rho g} + z_0 = \text{常数} \quad (1-3)$$

这是静压力基本方程的另一形式。 $z$ 实质上表示了单位重量液体相对于基准平面的位能。 $\frac{p}{\rho g}$ 表示单位重量液体的压力能。静止的液体内部任意点的能量由单位重量液体的位能 $z$ 和单位重量液体的压力能 $\frac{p}{\rho g}$ 组成，两者的和为常数，此常数与液面上所受的压力和坐标系的选取有关。

③ 压力的几种表示方法 压力有两种表示方法：一种是以绝对零压力作为基准所表示的压力，称为绝对压力；另一种是以当地大气压力为基准所表示的压力，称为相对压力，也称表压力。绝对压力为大气压力与相对压力（表压力）之和。当液体的绝对压力小于大气压力时，相对压力为负值，此负值称为真空度，真空度就是大气压力和绝对压力之差。如图1-5所示。

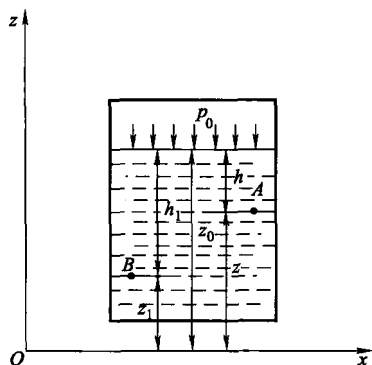


图 1-4 静压力基本方程式的物理意义

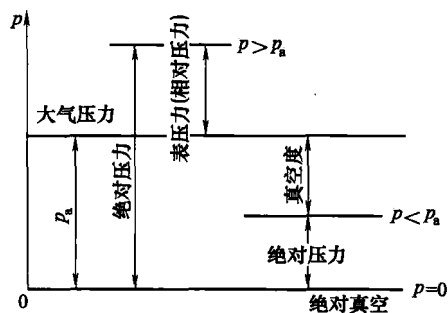


图 1-5 绝对压力、相对压力和真空度的关系

### 1.3.2 液体动力学基础

本节主要讨论液体流动时的运动规律、能量转换和流动液体对固体壁面的作用力等问题，具体要介绍三个基本方程——连续性方程、伯努利方程和动量方程。

#### (1) 基本概念

##### ① 理想液体和恒定流动

a. 理想液体。所谓理想液体是一种假想的无黏性、不可压缩的液体，而把实际上既有黏性又可压缩的液体称为实际液体。

b. 恒定流动。液体流动时，液体中任意点处的压力、流速和密度都不随时间而变化，称为恒定流动；反之，称为非恒定流动。研究液压系统静态性能时，可以认为液体作恒定流动；但在研究其动态性能时，则必须按非恒定流动来考虑。

##### ② 流线、流束和通流截面

a. 流线。流线是表示某一瞬时液流中各处质点运动状态的一条曲线。在此瞬时，流

线上各液体质点速度方向与该点的切线方向重合。

b. 流束。通过某截面  $A$ ，作出其上所有液流质点的流线，则这些流线的集合就构成流束。

c. 通流截面。流束中与所有液流质点流线正交的截面称为通流截面，该截面上每点处的流束都垂直于此面。

### ③ 流量和平均流速

a. 流量。单位时间内流通过流截面的液体的体积称为流量，用  $q$  表示，单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ ，常用的单位为  $\text{L}/\text{min}$ ， $1\text{m}^3/\text{s}=6\times 10^4\text{L}/\text{min}$ 。

b. 平均流速。假设流束内的实际流速为均匀分布的，称为平均流速，用  $v$  来表示。

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-4)$$

### (2) 连续性方程

流动液体的连续性方程是从质量守恒定律中演化出来的。即液体在密封管道内作恒定流动时，设液体不可压缩，则单位时间内流过每一通流截面的液体质量必然相等。如图 1-6 所示，管道内的两个通流面积分别为  $A_1$ 、 $A_2$ ，液体的平均流速分别为  $v_1$ 、 $v_2$ ，液体的密度为  $\rho$ ，则有

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2$$

即

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{常量} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 称为连续性方程，它说明了在同一管路中，无论通流面积怎样变化，只要液体是连续的，即没有空隙，没有泄漏，液体通过任一截面的流量是相等的；同时还说明了同一管路中通流面积大的地方液体流速大，通流面积小的地方则液体流速大。当通流面积一定时，通过液体的流量越大，其流速也越大。

### (3) 伯努利方程

伯努利方程表明了流动液体的能量守恒定律。

① 理想液体的伯努利方程 理想液体没有黏性，它在管内作恒定流动时没有能量损失。根据能量守恒定律，同一管路在各个截面上液体的总能量都是相等的。即在管路中流动的理想液体具有压力能、位能和动能三种形式的能量，在任一截面上这三种能量可以互相转换，但其总和保持不变。如图 1-7 所示，液体在管路中恒定流动时，任意取截面  $A_1$ 、 $A_2$ ，它们的总坐标分别为  $z_1$ 、 $z_2$ ，流速分别为  $v_1$ 、 $v_2$ ，压力分别为  $p_1$ 、 $p_2$ ，根据能量守恒定律得理想液体的伯努利方程为

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1-6)$$

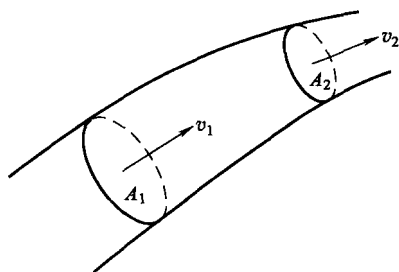


图 1-6 连续性方程计算图

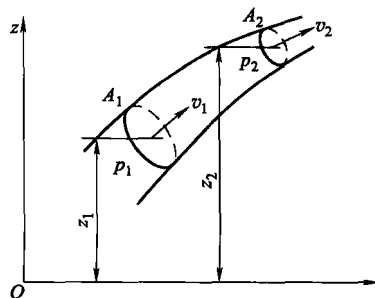


图 1-7 伯努利方程推导简图



由于两截面是任意取的, 所以式(2-7)可写成

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} = \text{常量} \quad (1-7)$$

式(1-7)左端的各项依次为单位重量液体的压力能(比压能)、位能(比位能)、动能(比动能)。静压力基本方程式则是伯努利方程的特例。

② 实际液体的伯努利方程 实际液体具有黏性, 在管路中流动时, 为克服黏性阻力需要消耗能量, 所以实际液体的伯努利方程为

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \quad (1-8)$$

式中  $h_w$ ——单位重量液体流动时的能量损失。

$\alpha_1, \alpha_2$ ——因流速不均匀引起的动能修正系数。经理论推导和实验测定, 对圆管来说,  $\alpha=1\sim 2$ , 紊流时取  $\alpha=1.1$ , 层流时  $\alpha=2$ 。

伯努利方程是流体力学的重要方程。在液压传动中常与连续性方程一起应用来求解系统中的压力和速度问题。

### 1.3.3 管路中液体压力损失

液体在管路中流动时产生的压力损失可以分为两种: 一种是液体在等径直管中流动时因摩擦而产生的压力损失, 称为沿程压力损失; 另一种是由于管路的截面突然变化, 液流方向改变或其它形式的液流阻力(如控制阀阀口)而引起的压力损失, 称为局部压力损失。每一种压力损失都与管路中液体的流动状态有关。

#### (1) 液体的流动状态

① 层流和紊流 层流和紊流是两种不同性质的流态。层流时, 液体流速较低, 质点受黏性制约, 不能随意运动, 黏性力起主导作用; 紊流时, 液体流速较高, 黏性的制约作用减弱, 惯性力起主导作用。

② 雷诺数 液体流动时究竟是层流还是紊流, 需用雷诺数来判别。

实验证明, 液体在圆管中的流动状态不仅与管内的平均流速  $v$  有关, 还和管径  $d$ 、液体的运动黏度  $\nu$  有关。但是真正决定液流状态的, 却是这三个参数所组成的一个无量纲的数, 称为雷诺数  $Re$ , 即

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1-9)$$

这就是说, 液流的雷诺数如相同, 它的流动状态亦相同。

液流由层流转变为紊流时的雷诺数和由紊流转变为层流时的雷诺数是不同的, 后者数值小, 所以一般都用后者作为判别液流状态的依据, 称为临界雷诺数, 记作  $Re_c$ 。当  $Re < Re_c$  时, 液流为层流; 反之, 液流为紊流。

#### (2) 沿程压力损失

油液在直管中流动的压力损失  $\Delta p_f$  可用下式计算

$$\Delta p_f = \lambda \frac{l}{d} \times \frac{\rho v^2}{2} \quad (1-10)$$

式中  $\lambda$ ——沿程阻力系数;

$l$ ——直管长度;

$d$ ——管道内径;

$v$ ——油液的平均流速;