

铁路职业教育铁道部规划教材

液压与气动

| 朱鹏超◎主编 易春阳◎副主编 |

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI
YEYA YU QIDONG

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

液压与气动

朱鹏超 主 编

易春阳 副主编

中国铁道出版社

2007年·北京

内 容 简 介

本书为铁路职业教育铁道部规划教材。全书共十四章,主要包括:液压传动的基本知识、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压传动系统、气压传动基础知识、气源装置和气动辅助元件、气动执行元件、气动控制元件、气动基本回路、典型气动系统等。

本书可作为职业教育教材,也可作为复退军人学历教育用教材,还可以作为职工培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动/朱鹏超主编. —北京:中国铁道出版社,
2007.8

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-08247-5

I. 液… II. 朱… III. ①液压传动-职业教育-教材
②气压传动-职业教育-教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 135162 号

书 名: 液压与气动

作 者: 朱鹏超 主编 易春阳 副主编

责任编辑: 程东海 电话: 010-51873135

封面设计: 陈东山

责任印制: 金洪泽

出版发行: 中国铁道出版社

地 址: 北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054

网 址: www.tdpress.com

电子信箱: 发行部 ywk@tdpress.com

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

总编办 zbb@tdpress.com

版 次: 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 10.5 字数: 253 千

书 号: ISBN 978-7-113-08247-5/TH·131

定 价: 20.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者发行部调换。

电 话: 市电 (010) 63549495 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504 路电 (021) 73187

前 言

本书是根据铁路职业教育各专业教学指导委员会于 2007 年工作会议审定的“液压与气动”教学大纲和编写提纲而编写的。

全书共十四章，主要内容包括液压和气压传动基础知识，液压和气压元件，液压和气压基本回路，液压和气压典型系统的工作原理及故障分析。

本书在编写过程中，以职业岗位技能要求为出发点，以液压为主线，力求理论联系实际，在讲清基本概念和原理的同时，突出理论知识的应用，加强针对性和实用性。编写中力求体现以下特点：

1. 着重介绍液压与气压基础知识与应用，满足铁路各专业对液压与气压知识的需求。
2. 本着“适度、够用”的原则，对各部分内容进行了适当筛选，对理论性较深的推导过程予以省略，尽可能满足实用的需要。
3. 采用简明易懂的插图，便于学生对教材内容的分析与理解。
4. 所采用的物理量单位及图形符号均使用新的国家标准。

本书的第一章、第九章～第十三章由湖南铁道职业技术学院朱鹏超编写，第二章～第七章由湖南铁道职业技术学院易春阳编写，第八章和第十四章由湖南铁路科技职业技术学院陈祖让编写。本教材由朱鹏超主编。

本书的编写得到了各院校领导的高度重视和大力支持，也得到了工厂领导和工程技术人员的帮助，在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编写的时间仓促，加之编者水平所限，教材中难免有不足之处，衷心欢迎广大读者为本教材提出宝贵意见，以便不断改进。

编 者
2007 年 7 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 液压与气压传动研究的对象	1
第二节 液压传动的工作原理和组成	1
第三节 气压传动的工作原理和组成	2
第四节 液压与气压传动的特点	3
第五节 液压与气压传动的应用及发展	4
第二章 液压传动的基本知识	6
第一节 液体的性质	6
第二节 液体的力学基础	9
复习思考题	14
第三章 液压动力元件	16
第一节 齿 轮 泵	16
第二节 叶 片 泵	19
第三节 柱 塞 泵	24
第四节 液压泵的选用	26
复习思考题	27
第四章 液压执行元件	29
第一节 液压马达	29
第二节 液 压 缸	30
复习思考题	34
第五章 液压控制元件	35
第一节 方 向 阀	35
第二节 压 力 阀	41
第三节 流 量 阀	47
第四节 液压控制元件的选择与应用	49
复习思考题	54
第六章 液压辅助元件	55
第一节 滤 油 器	55
第二节 蓄 能 器	56
第三节 压力计及压力开关	57
第四节 油管 and 管接头	57
第五节 阀类连接板	58

第六节 油 箱	59
复习思考题	60
第七章 液压基本回路	61
第一节 压力控制回路	61
第二节 速度控制回路	63
第三节 多缸控制回路	68
复习思考题	70
第八章 典型液压传动系统	73
第一节 典型液压传动系统分析	73
第二节 液压系统的安装与调试	82
第三节 液压系统的使用与维护	84
第四节 液压系统常见故障与处理	85
复习思考题	88
第九章 气压传动基础知识	89
第一节 空气的性质	89
第二节 气体状态方程	91
第三节 气体流动规律	93
复习思考题	95
第十章 气源装置和气动辅助元件	97
第一节 气源装置	97
第二节 气动辅助元件	102
第三节 管件及管路系统	108
复习思考题	109
第十一章 气动执行元件	110
第一节 气 缸	110
第二节 气马达	113
复习思考题	116
第十二章 气动控制元件	117
第一节 压力控制阀	117
第二节 流量控制阀	121
第三节 方向控制阀	123
第四节 气动逻辑元件	131
复习思考题	134
第十三章 气动基本回路	135
第一节 压力控制回路	135
第二节 速度控制回路	136
第三节 换向回路	137
第四节 延时控制回路和同步动作回路	139
第五节 往复动作回路	140
第六节 气动基本逻辑回路	140

复习思考题	142
第十四章 典型气动系统	143
第一节 典型气动系统分析	143
第二节 气动系统的安装与调试	145
第三节 气动系统的使用与维护	146
第四节 气动系统常见故障分析与处理	147
复习思考题	150
附录 常用液压与气动元（辅）件图形符号（摘自 GB/T 786.1—1993）	151
参考文献	158

第一章

绪 论

第一节 液压与气压传动研究的对象

液压与气压传动是研究用有压流体(压力油或压缩空气)为能源介质,来实现各种机械的传动和自动控制。液压传动与气压传动实现传动和控制的方法是基本相同的,它们都是利用各种元件组成所需要的各种控制回路,再由若干回路有机组合并能完成一定控制功能的传动系统来进行能量的传递、转换与控制。

液压传动所用的工作介质为液压油或其他合成液体,气压传动所用的工作介质为空气,由于这两种流体的性质不同,所以液压传动和气压传动又各有其特点。液压传动的传递动力大,运动平稳,但由于液体黏性大,在流动过程中阻力损失大,因而不宜作远距离传动和控制;而气压传动由于空气的可压缩性大,且工作压力低(通常在 1.0 MPa 以下),所以传递动力不大,运动也不如液压传动平稳,但空气黏性小,传递过程中阻力小、速度快、反应灵敏,因而气压传动能用于远距离的传动和控制。

第二节 液压传动的工作原理和组成

图 1-1 是常见的液压千斤顶的工作原理图。大、小两个液压缸 6 和 3 的内部分别装有活

塞 7 和 2,活塞与缸体之间保持一种良好的配合关系,不仅活塞能在缸体内滑动,而且配合面之间又能实现可靠的密封。当向上提起杆 1 时,小活塞 2 就被带动上升,于是小缸 3 下腔的密封工作容积便增大。这时,由于单向阀 4 和 5 分别关闭了它们各自所在的油路,所以在小缸的下腔形成了部分真空,油池 10 中的油液就在大气压的作用下推开单向阀 4 沿吸油孔道进入小缸的下腔,完成一次吸油动作。接着,压下杆 1,小活塞向下移,小缸下腔的工作容积减小,便把其中的油液挤出,推开单向阀 5(此时单向阀 4 自动关闭了通往油池的油路),油液便经两缸之间的连通孔道进入大缸 6 的下腔。由于大缸下腔也是一个密封

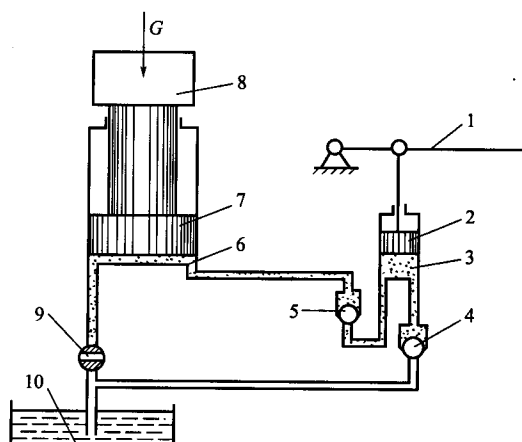


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆;2、7—活塞;3、6—液压缸;4、5—单向阀;
8—重物;9—放油阀;10—油箱

的工作容积,所以进入的油液因受挤压而产生的作用力就推动大活塞 7 上升,并将重物 8 向上顶起一段距离。这样反复提、压杠杆 1,就可以使重物不断上升,达到起重的目的。

若将放油阀 9 旋转 90° ,则在重物 8 的重力 G 作用下,大液压缸 6 中的油液流回油箱 10,活塞就下降到原位。

从上述例子可以看出:液压千斤顶是一个简单的液压传动装置。分析液压千斤顶的工作过程,可知液压传动是以液体为工作介质来传动的一种传动方式,它依靠密封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。

上述实例所示液压系统原理图中的液压元件是用半结构式图形画出来的,故称为结构原

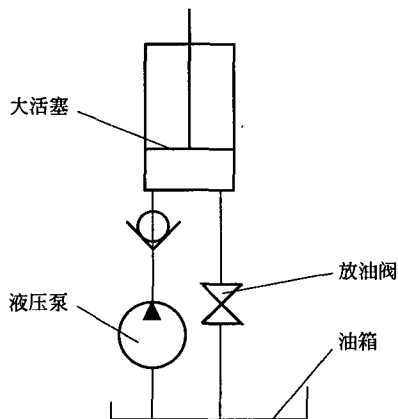


图 1-2 液压千斤顶工作原理简图

理图。该图易于理解但绘制复杂,若将各种液压元件用规定的简化符号表示各种职能元件,则上述系统可画成图 1-2 所示的情况。我国制定了此种图形符号的国家标准,即常用液压及气动图形符号(GB/T 786.1—1993),常用符号见附录。

对于 GB/T 786.1—1993 中的规定作如下说明:

(1) 液压系统的图形符号,只表示零件的职能、连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,也不表示系统管路的具体位置及零件的安装位置。

(2) 符号表示的是元件的静止位置或零位置,当系统另有说明时,可作例外。

(3) 符号在系统图中的布置,除有方向性的元件符号(如油箱、仪表等)外,根据具体情况可水平或垂直绘制。

直绘制。

(4) 元件的名称、型号和参数,一般在系统图的零件表中说明,必要时可以标注在元件符号旁边。

从上述例子可以看出,整个液压系统由以下几个部分组成:

(1) 动力元件——液压泵。其作用是将原动机的机械能转换成液体的压力能,是一种能量转换装置。

(2) 执行元件——液压缸或液压马达。其作用是将液压泵输出的液体压力能转换成工作部件运动的机械能,也是一种能量转换装置。

(3) 控制元件——各种液压阀。其作用是控制和调节油液的压力、流量及流动方向,以满足液压系统的工作需要。

(4) 辅助元件——油箱、油管、滤油器、密封件和压力表等。其作用是保证液压系统能正常工作。

(5) 工作介质——液压油(通常为矿物油)。其作用是传递能量。

第三节 气压传动的工作原理和组成

图 1-3 为气动剪切机的气动系统工作原理示意图,图示位置为工料被剪前的情况。当工料 12 由上料装置(图中未画出)送入剪切机并到达规定位置时,机动阀 9 的顶杆受压而使阀内

通路打开,气控换向阀 10 的控制腔便与大气相通,阀芯受弹簧力作用而下移,由空气压缩机 1 产生并经过初次净化处理后储藏在气罐 4 中的压缩空气,经空气干燥器 5、空气过滤器 6、减压阀 7 和油雾器 8 及气控换向阀 10,进入气缸 11 的下腔;气缸上腔的压缩空气通过气控换向阀 10 排入大气。此时,气缸活塞向上运动,带动剪刀刀将工料 12 切断。工料剪下后,即与机动阀脱开,机动阀复位,所在的排气通道被封死,气控换向阀 10 的控制腔气压升高,迫使阀芯上移,气路换向,气缸活塞带动剪刀刀复位,准备第二次下料。由此可以看出,剪切机构克服阻力切断工料的机械能是由压缩空气的压力能转换后得到的;同时,由于换向阀的控制作用使压缩空气的通路不断改变,气缸活塞方可带动剪切机构频繁地实现剪切与复位的动作循环。图 1-3(a)所示为剪切机气动系统的结构原理,图 1-3(b)为该系统的图形符号。可以看出,气动图形符号和液压图形符号的表示有很明显的一致性和相似性,但也存在不少重大区别之处,例如气动元件向大气排气,就不同于液压元件回油接入油箱的表示方法。常用气动元件的图形符号见本书附录附表。

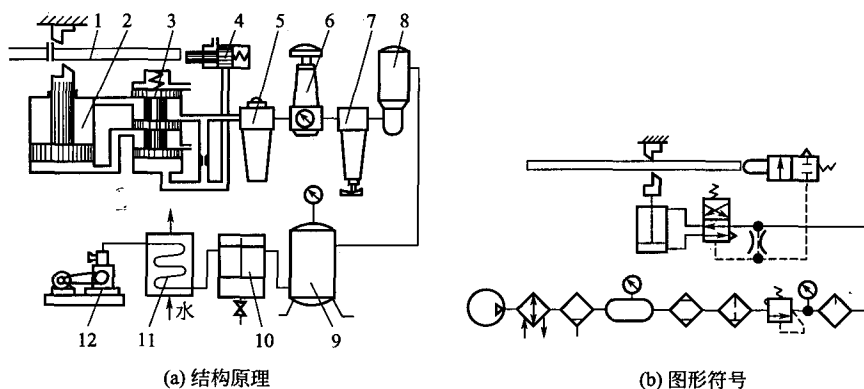


图 1-3 剪切机气动系统工作原理示意图

1—空气压缩机;2—冷却器;3—分水排水器;4—气罐;5—空气干燥器;6—空气过滤器;7—减压阀;
8—油雾器;9—机动阀;10—气控换向阀;11—气缸;12—工料

由上例可见,气压传动系统也由四个部分组成:

(1) 气源装置。其主体部分是空气压缩机。它将原动机(如电动机)供给的机械能转变为气体的压力能,为各类气动设备提供动力。

(2) 执行元件。包括各种气缸和气马达。它的功用是将气体的压力能转变为机械能,输给工作部件。

(3) 控制元件。包括各种阀类,如各种压力阀、流量阀、方向阀、逻辑元件等,用以控制压缩空气的压力、流量和流动方向以及执行元件的工作程序,以便使执行元件完成预定的运动规律。

(4) 辅助元件。是使压缩空气净化、润滑、消声以及用于元件间连接所需的装置,如各种过滤器、干燥器、油雾器、消声器及管件等。

第四节 液压与气压传动的特点

1. 液压传动的特点

液压传动与其他传动形式相比较,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,质量轻。
- (2) 能无级调速,调速范围大。
- (3) 由于液压元件质量小,惯性矩小,故变速性能好。
- (4) 运转平稳可靠,能自行润滑,使用寿命较长。
- (5) 操纵方便、省力,特别是与电气组合应用时。
- (6) 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化,有利于生产与设计。

液压传动也有其不足,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、制造精度要求较高、成本较高等。

2. 气压传动的特点

气压传动与机械、电气、液压传动相比,有以下优缺点:

(1) 以空气为工作介质,不仅易于取得,而且用后可直接排入大气,处理方便,也不污染环境。

(2) 因空气的黏度很小(约为油的万分之一),在管道中流动时的能量损失很小,因而便于集中供气 and 远距离输送。

(3) 气动动作迅速,调节方便,维护简单,不存在介质变质及补充等问题。

(4) 工作环境适应性好,无论在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣环境中,还是在食品加工、轻工、纺织、印刷、精密检测等高净化、无污染场合,都具有良好的适应性,且工作安全可靠,过载时能自动保护。

(5) 气动元件结构简单,成本低,寿命长,易于实现标准化、系列化和通用化。

(6) 由于空气具有较大的可压缩性,因而运动平稳性较差。

(7) 因工作压力低(一般 $0.3 \sim 1 \text{ MPa}$),不易获得较大的输出力或力矩。

(8) 有较大的排气噪声。

第五节 液压与气压传动的应用及发展

在工业生产的各个部门应用液压与气压传动技术的出发点是不完全相同的。例如,汽车工业、工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业中采用液压传动的主要原因是结构简单、体积小、重量轻、输出力大;机床上采用液压传动是能在工作过程中方便地实现无级调速,容易实现频繁的换向和实现自动化;在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等方面应用气压传动主要是操作方便,且无油、无污染的特点。表 1-1 是液压与气压传动在各类机械行业中的应用举例。

表 1-1 液压与气压传动在各类机械中的应用

行业名称	应 用 举 例	行业名称	应 用 举 例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机	轻工机械	打包机、注塑机
矿山机械	凿石机、开掘机、提升机	灌装机械	物品包装机、真空镀膜机
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机	汽车工业	自卸式汽车、汽车起重机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤	纺织机械	织布机、抛砂机、印染机
机械制造	组合机床、冲床、自动线、气动扳手		

液压与气压传动发展到目前的水平主要是由于液压与气压传动本身的特点所致。当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展，气动技术的应用领域已从汽车、采矿、钢铁、机械等行业迅速扩展到化工、轻工、食品、军事等各行各业。随着原子能、空间技术、计算机技术的发展，液压与气压传动技术必将更加广泛地应用于各个工业领域。

第二章

液压传动的基本知识

第一节 液体的性质

一、液体的密度

液体单位体积内的质量称为密度。液体的密度表示为

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

式中 m ——液体质量(kg);

V ——液体体积(m^3)。

液压油的密度随温度升高而减小,随压力的上升而增大,一般情况下,这种由温度和压力引起的变化都不大,因此可将液压油的密度近似地视为常数。

二、液体的可压缩性

液体在压力作用下而发生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 κ 表示,即单位压力变化下的液体体积相对变化量。设体积为 V_0 的液体,压力增大量为 ΔP 时,体积减小量为 ΔV ,则

$$\kappa = -\frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (2-2)$$

体积压缩系数 κ 的单位为 m^2/N 。由于压力增大时的体积减小,因此上式右边须加负号以使 κ 值为正。液体的可压缩性很小,在多数情况下可以忽略不计。但受压液体体积较大或进行液压系统动态分析时,必须考虑液体的可压缩性。常用液压油的压缩系数 $\kappa = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

液体压缩系数 κ 的倒数称为液体的体积弹性模数,用 K 表示,即

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{\Delta P V_0}{\Delta V} \quad (2-3)$$

常用液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。

三、液体的黏性

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一种内摩擦力,这一特性称为液体的黏性。黏性的大小用黏度表示。黏性是液体重要的物理特性,也是选择液压油的主要依据。

黏性使流动液体内部各液层间的流速不等。如图 2-1 所示,两平行平板间充满液体,下平

板不动,而上平板以速度 v_0 向右平动。由于黏性,紧贴于下平板的液体层速度为零,紧贴于上平板的液体层速度为 v_0 ,而中间各液体层的速度按线性分布。因此,不同速度流层相互制约而产生内摩擦力。

实验结果证明,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 和液层间的相对运动速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即

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

式中 μ ——比例常数,称为黏性系数或黏度;

du/dy ——速度梯度。

如以 τ 表示切应力,即单位面积上的内摩擦力,则

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

这就是牛顿液体内摩擦定律。在液体力学中,把黏度 μ 不随速度梯度的变化而变化的液体称为牛顿液体,反之称为非牛顿液体。除高黏度或含有特殊添加剂的油液外,一般液压油均可视为牛顿液体。

黏度是衡量流体黏性的指标。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

1. 动力黏度 μ

动力黏度可由式(2-5)导出,即

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

由此可知动力黏度的物理意义是: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。动力黏度又称绝对黏度。其单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。

2. 运动黏度 ν

动力黏度与液体密度 ρ 之比称为运动黏度 ν ,即

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

运动黏度的单位是 m^2/s ,工程单位制采用的单位是 cm^2/s ,又称为 St(斯)。 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$ (厘斯)。工程中常用运动黏度 ν 作为液体黏度的标志。机械油的牌号就是用机械油在 40°C 时的运动黏度 ν 的平均值来表示的。例如 22 号机械油就是指其在 40°C 时的运动黏度 ν 的平均值为 22 cSt。

3. 相对黏度 $^\circ\text{E}$

相对黏度又称条件黏度。根据测量条件不同,各国所用的相对粘度的单位也不同。中、俄、德等国采用恩氏黏度($^\circ\text{E}$),英国采用雷氏黏度 R,美国采用赛氏黏度。

恩氏黏度是用恩氏黏度计测定。方法是:将 200 ml 温度为 $t(^{\circ}\text{C})$ 的被测液体装入恩氏黏度计的容器中,经其底部 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 的小孔流出,测出液体流尽所需的时间 t_1 ,再 200 ml 温度为 20°C 的蒸馏水在同一黏度计中流尽所需的时间 t_2 ,这两个时间的比值即为被测液体在温度 t 下的恩氏黏度,即

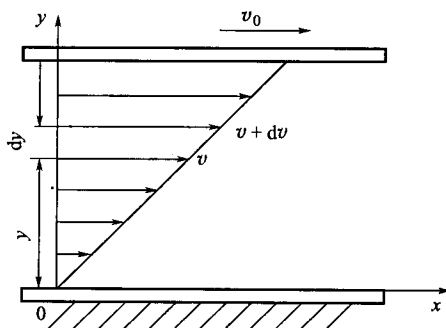


图 2-1 液体黏性示意图

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

工业上常将 20°C 、 50°C 、 100°C 定为测量恩氏黏度的标准温度,其相应的恩氏黏度分别用 $^{\circ}\text{E}_{20}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{50}$ 、 $^{\circ}\text{E}_{100}$ 表示。

恩氏黏度与运动黏度的关系,可用如下经验公式换算:

当 $1.35 < ^{\circ}\text{E} \leq 3.2$ 时

$$\nu = 8^{\circ}\text{E} - \frac{8.64}{^{\circ}\text{E}} \quad (2-9a)$$

当 $^{\circ}\text{E} > 3.2$ 时

$$\nu = 7.6^{\circ}\text{E} - \frac{4}{^{\circ}\text{E}} \quad (2-9b)$$

恩氏黏度与运动黏度的对应数值还可以从有关图表直接查出。

4. 黏度与压力和温度的关系

液体的黏度会随压力和温度的变化而变化。

液体分子间的距离随压力的增加会减小,使内聚力增大,从而黏度随之增高。当压力不高且变化不大时,其对黏度的影响较小,一般可忽略不计。当压力较高(大于 10^7 Pa)或压力变化较大时,就需要考虑这种影响。

温度变化对液体的黏度影响较大,随温度的升高,液体的黏度将下降。液体黏度随温度变化的性质称为黏温特性。几种国产液压油的黏温特性曲线如图 2-2 所示。

四、常用液压油的选用

1. 对液压油的基本要求

为保证液压油很好地传递运动和动力,对其提出以下要求:

- (1) 具有适当的黏度和良好的黏温特性。一般液压系统用油的黏度为 $\nu = (11.5 \sim 41.3) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 或 $(2 \sim 5.8)^{\circ}\text{E}_{50}$;
- (2) 具有良好的热稳定性和高的抗氧化性;
- (3) 具有良好的抗泡沫性和空气释放性,即气泡产生少且易于释放;
- (4) 比热和传热系数大,具有较高的闪点和较低的凝固点;
- (5) 具有良好的防腐、防锈性、抗乳化性及润滑性;
- (6) 纯净度高,杂质、水分、水溶性酸碱等含量少。

2. 液压油的选用

常用的液压油有机械油、精密机床液压油、汽轮机油和变压器油等。在选择液压油的牌号时,要根据系统的工作压力、环境温度及工作部件的运动速度合理选择液压油的黏度。选择时要注意以下几点:

(1) 工作环境。当液压系统工作环境温度较高时,应采用黏度较高的液压油,反之则用低黏度的液压油。

(2) 工作压力。当系统的工作压力较高时,要选用较高黏度的液压油,以减少泄漏;反之则用低黏度的液压油。

(3) 运动速度。当液压系统工作部件的运动速度较高时,为了减少功率损失,宜选用黏度较低的液压油,反之则用高黏度的液压油。

(4) 液压泵的类型。在液压系统中,各种液压泵对润滑的要求不同,选择液压油时应考虑

液压泵的类型及工作环境。

液压油的牌号及其技术性能指标可查阅相关液压手册。

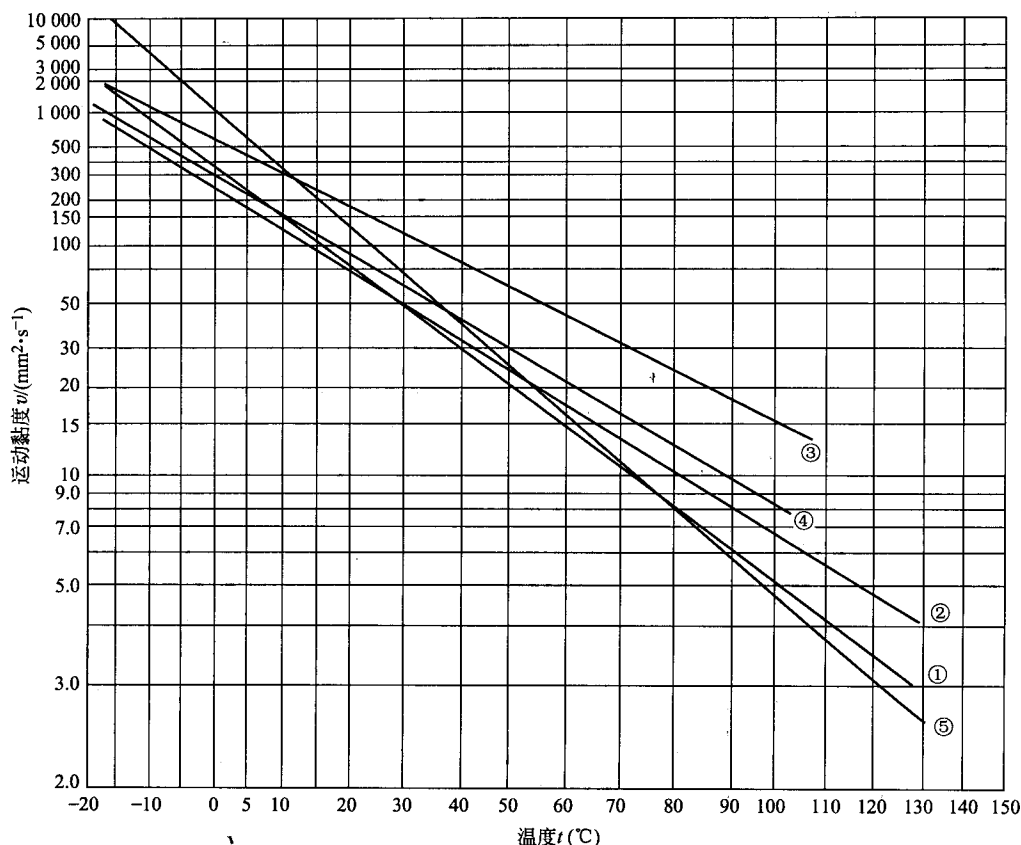


图 2-2 典型液压油的黏度—温度特性曲线

① 石油型普通液压油；② 石油型高黏度指数液压油；③ 抗燃性水包油乳化液；
④ 抗燃性水—乙二醇液；⑤ 抗燃性磷酸酯液

第二节 液体的力学基础

一、液体的静压力

液体在静止状态下,作用在液体上的力有质量力和表面力两种。质量力作用在液体的所有质点上,如重力和惯性力等;表面力作用在液体的表面,它是一种外力。单位面积上作用的表面力称为应力,有切向与法向之分。静止液体的表面只有法向力。液体在单位面积上所受到的内法线方向的力称为压力,用 p 表示。如在 ΔA 面积上作用着法向力 ΔF ,则液体内某点处的压力可表示为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-10)$$

二、压力的传递

密封容器内的静止液体,当外部压力发生变化时,则容器内任意点的压力也将发生相同的

变化。也就是说,在密封容器内作用于静止液体任一点的压力将以等值传到液体的各点。这就是静压传递原理,也称为帕斯卡原理。

在液压传动系统中,通常由外力作用而产生的压力比液体自重所产生的压力大得多,因此由液体自重造成的不同高度液体压力差可忽略,而认为静止液体内部各点的压力是处处相等的。

三、压力的表示方法

压力的表示方法有绝对压力和相对压力(表压力)两种。绝对压力是以绝对真空作为基准进行度量。而相对压力则以大气压为基准进行度量。当液体中某点处的绝对压力小于大气压力时,就会产生真空,并将大气压力与绝对压力的差值称为该点的真空度。

绝对压力、相对压力、大气压力及真空度的关系为

$$\text{绝对压力} = \text{相对压力} + \text{大气压力}$$

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

压力的单位为 N/m^2 (帕斯卡),用 Pa 表示,及 N/mm^2 (兆帕),用 MPa 表示。工程上也用工程大气压。

$$1 \text{ at (工程大气压)} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \approx 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}$$

四、液体静力学方程

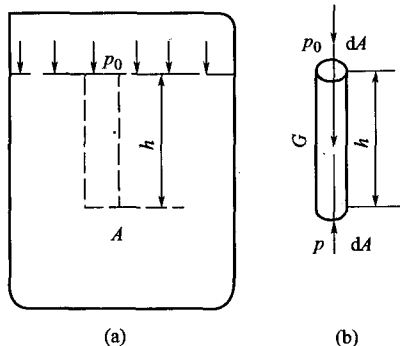


图 2-3 重力作用下的静止液体

在重力作用下,静止液体的受力情况可用图 2-3 表示。在液体中任取一点 A,若要求得液体内部 A 点的压力 p ,可从液体中取出一个底部通过该点的垂直小液柱。设液柱的底面积为 dA ,高度为 h ,如图 2-3(b) 所示。液柱本身重量为 $G = \rho gh dA$,由于液柱处于平衡状态,则平衡方程为

$$\begin{aligned} p dA &= p_0 dA + \rho gh dA \\ p &= p_0 + \rho gh \end{aligned} \quad (2-11)$$

式中 p_0 ——作用在液面上的压力;

ρ ——液体的密度。

五、液体动力学方程

1. 流量与平均流速

单位时间内流过通流截面液体的体积称为流量,用 q 表示。

$$q = \frac{V}{t} \quad (2-12)$$

式中 V ——流过通流截面的液体体积;

t ——通流时间。

假设在通流截面上的液流流速是均匀分布的,称为平均流速,用 v 表示。

$$v = \frac{q}{A} \quad (2-13)$$

式中 q ——流过通流截面的液体流量;