

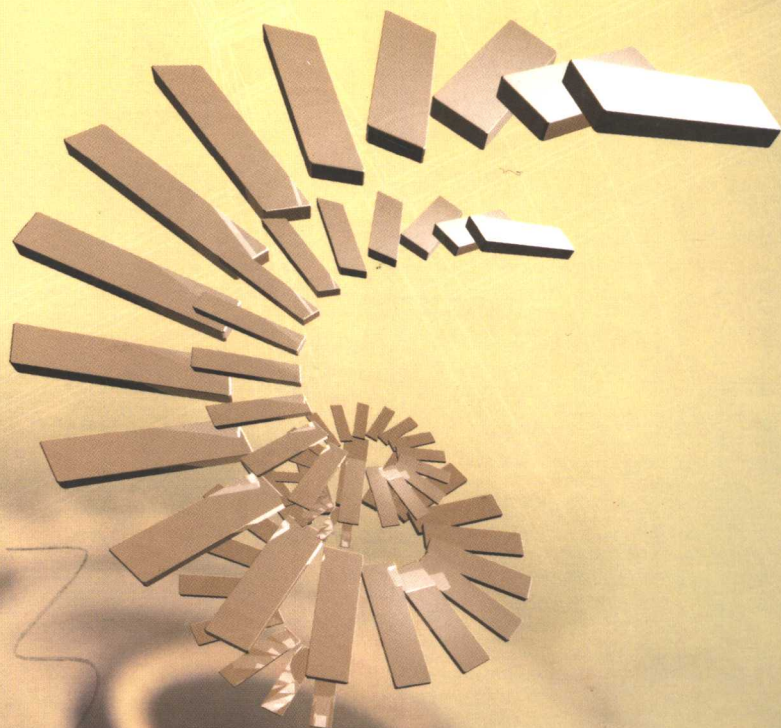


机械设计制造及其自动化专业系列教材

液压传动

主编 王以伦 主审 许耀铭

HYDRAULIC
TRANSMISSION



哈尔滨工程大学出版社

●机械设计制造及其自动化专业系列教材

液 压 传 动

主 编 王以伦

主 审 许耀铭

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/王以伦主编. —哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005
ISBN 7-81073-666-3

I. 液… II. 王… III. 液压传动 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 016646 号

内 容 简 介

本书是机械设计制造及其自动化专业必修的专业技术基础课教材。全书共分 10 章,第 1 章为绪论,第 2 章介绍了液压传动的流体力学基本理论,第 3 章、第 4 章、第 5 章和第 6 章介绍液压技术中常用元件的结构原理、性能和用途,第 7 章和第 8 章介绍液压传动的基本回路和典型系统的应用与分析,第 9 章介绍液压系统的设计步骤和方法。

在编写时,力求理论联系实际,内容简明扼要,方便学生使用,按基本理论—元件—回路—系统的顺序编排,注意传授知识和培养能力并重。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 10.5 字数 250 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

定价:16.00 元

前 言

本书是按照机械设计制造及其自动化专业本科教学计划编写的。主要内容包括液压技术的流体力学基本理论;液压元件的结构、工作原理及特点;液压基本回路及典型系统;液压系统的设计计算方法和步骤等。

在编排上,本书着重考虑了以下几个方面:

1. 为方便学生学习,其基本思路按“基本理论—元件—回路—系统”的顺序编排。
2. 各章节力求详简得当,突出重点。着重讲解基本理论和基本方法,不拘泥于具体繁杂的结构,通过传授基本知识培养学生的实际应用能力。
3. 除个别章节外,每章正文前都有提要式说明,指出学习重点,章后均有小结,对本章主要内容作一归纳。

章末附有自测题解答和思考题与习题,附录给出了习题答案,便于学生复习和巩固课程学习效果。

4. 本书除可作为教材外,还适用于各类成人高校有关专业,并可供从事液压技术的工程技术人员参考。

本书由哈尔滨工程大学王以伦任主编并修改定稿。参加本书编写的有:王以伦(绪论、第3章~第9章)、哈尔滨工业大学王成敏(第2章)。

本书由哈尔滨工业大学许耀铭教授主审,哈尔滨工业大学苏尔皇教授、哈尔滨工程大学孟庆鑫教授参加了本书的审定。专家们对书稿进行了认真仔细的审阅,并提出宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,书中难免出现错误和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2005年3月

目 录

1 绪 论	1
1.1 液压传动的工作原理.....	1
1.2 液压传动系统的组成和表示方法.....	3
1.3 液压传动的优缺点及应用.....	3
本章小结	4
思考题与习题	4
2 液压传动的流体力学基础	5
2.1 液压油的主要性质与选用.....	5
2.2 液体静力学	10
2.3 液体动力学基础	12
2.4 管路压力损失计算	17
2.5 孔口和缝隙流动特性	21
2.6 液压冲击和气穴现象	24
本章小结	26
自测题解答	27
思考题与习题	29
3 液压泵和液压马达	31
3.1 概 述	31
3.2 柱塞泵和柱塞马达	35
3.3 叶片泵	38
3.4 齿轮泵和齿轮马达	41
3.5 液压泵与液压马达的选用	44
本章小结	45
自测题解答	45
思考题与习题	46
4 液压缸	47
4.1 液压缸的类型和工作原理	47
4.2 液压缸结构	51
4.3 液压缸的设计计算	54
本章小结	56
自测题解答	57
思考题与习题	58
5 液压阀	59
5.1 液压阀的分类	59
5.2 方向阀	60

5.3	压力阀	68
5.4	流量阀	73
5.5	比例阀与插装式锥阀	76
	本章小结	82
	自测题解答	83
	思考题与习题	83
6	辅助元件	86
6.1	滤油器	86
6.2	蓄能器	88
6.3	密封装置	91
6.4	油箱与管件	94
	本章小结	97
	自测题解答	97
	思考题与习题	98
7	基本回路	99
7.1	压力控制回路	99
7.2	速度控制回路	104
7.3	方向控制回路	113
7.4	其它基本回路	114
	本章小结	119
	自测题解答	119
	思考题与习题	121
8	典型液压系统	125
8.1	组合机床液压系统	125
8.2	注塑机液压系统	127
8.3	校直机机械手液压系统	130
	本章小结	133
	思考题与习题	133
9	液压系统的设计与计算	136
9.1	液压系统设计的原则与依据	136
9.2	拟定液压系统原理图	139
9.3	计算和选择液压元件	140
9.4	液压系统性能估算	142
9.5	绘制工作图和编写技术文件	143
9.6	液压系统设计计算举例	144
	本章小结	152
附录	液压与气压传动常用图形符号	153
	参考答案	158
	参考文献	160

1 绪 论

液压传动是以流体为工作介质进行能量传递的一种传动形式。虽然液压传动已有较长的历史了,但相对机械传动而言仍是一门较新的技术。在近代工业领域中,液压技术得到了广泛应用。伴随着微电子技术的迅速发展并和液压技术相结合,使液压传动技术的应用领域更加扩展,几乎遍及工业各部门,是提高生产率,实现自动化等的重要技术手段。

1.1 液压传动的工作原理

我们以液压千斤顶为例,说明液压传动的工作原理。如图 1-1 所示,当使手柄 5 向上运动,它将带动小活塞缸内的活塞向上运动,因小活塞缸内的空间是密封容积,当此容积增大时,产生真空,存于油箱 1 中的油液在大气压力作用下,顶开单向阀 2,进入小活塞缸。当手柄 5 向下运动时,使小活塞向下移动,挤压油液使其顶开单向阀 3,排入大活塞缸 7 中,油液被挤压,压力升高。当升高之压力能够克服大活塞上的负载时,负载随手柄向下运动而上升,不断重复上述过程就可以将负载(重物)举起来。打开放油阀 8,可以使大活塞缸与油箱相通,使大活塞复位。此例是最简单的液压系统,通过此例我们可以得到液压传动的一些重要基本概念。

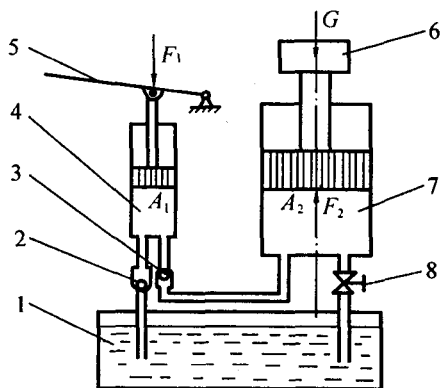


图 1-1 液压千斤顶示意图

1—油箱;2—吸油阀;3—压油阀;4—小活塞缸;
5—手柄;6—负载;7—大活塞缸;8—放油阀

设大、小活塞的面积为 A_2 、 A_1 , 作用于大活塞的负载为 G , 小活塞上的作用力为 F_1 , 根据帕斯卡定律, 大小活塞上的压力(压强)是相等的, 设为 p , 不计活塞运动过程中的摩擦力, 则有

$$p = \frac{G}{A_2} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

或

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

此式说明, 液压系统中的压力 p 取决于负载 G 的大小, 即压力取决于外载, 这是液压传动的一个重要概念。当 $A_2 \gg A_1$ 时, 即使 F_1 很小, 仍然可以产生很大的 F_2 , 这就是力的放大作用。

如设大、小活塞的运动速度分别为 v_2 、 v_1 , 在稳定运动时(不计泄漏)有

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q \quad (1-3)$$

式中, Q 为流量。

可得

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = \frac{Q}{A_2} \quad (1-4)$$

大活塞的运动速度取决于输入的流量(当 A_2 不变时),这也是液压传动中的重要概念。

大活塞运动时,其输出功率为

$$P = F_2 v_2 = p A_2 \cdot \frac{Q}{A_2} = p \cdot Q \quad (1-5)$$

由此可见,液压系统中的功率就是压力与流量的乘积。

下面以磨床工作台液压系统为例,说明其工作原理及液压系统的组成。

如图 1-2 所示,电动机(图中未画出)带动液压泵 4 旋转将油箱 1 中的油液经滤油器 2 吸上来,经油管 10 送入系统。在图示状态下,液压泵输出的油液经开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入工作台液压缸 18 的左腔,推动活塞 17 带工作台 19 向右运动,液压缸右腔的油液经换向阀 15 和油管 14 排回油箱。将换向阀手柄移动,改变换向阀芯位置时,如图 1-2(b) 所示,可使液压泵输出的油液经开停阀、节流阀、换向阀进入工作台液压缸的右腔,推动工作台向左移动,并使左腔回油经换向阀 15、回油管 14 排回油箱。即工作台的往复运动是靠改变换向阀的位置实现的。

工作台移动的速度大小是靠节流阀调节的。节流阀口开大,进入工作台液压缸中的油液增多,工作台速度增大;反之工作台速度减小。

使工作台移动,必须有克服各种阻力足够的推力。这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。阻力越大,缸中油液压力越高。液压泵出口处的压力是由溢流阀 7 调定的。

将开停阀换成如图 1-2(c) 所示的情形时,液压泵输出的油经管 12 流回油箱,不能输入至工作台液压缸。此时,工作台将停止运动,而液压泵的出口与油箱相通,液压泵出口压力降为零。

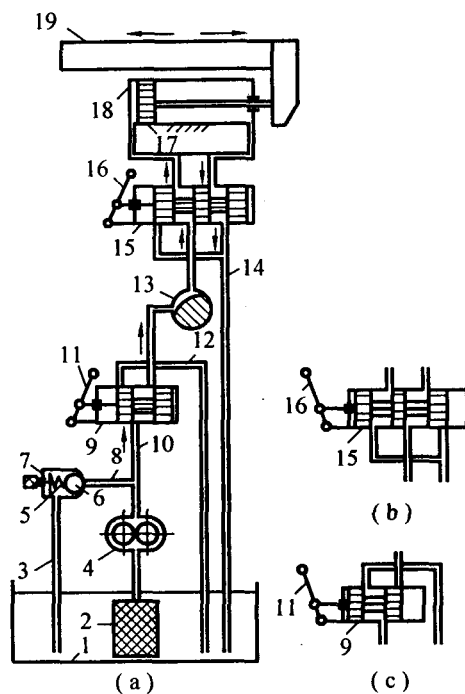


图 1-2 磨床工作台液压系统原理图

- 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—压力油管;
9—开停阀;10—压油管;11—开停手柄;
13—节流阀;15—换向阀;16—手柄;17—活塞;
18—液压缸;19—工作台

1.2 液压传动系统的组成和表示方法

1.2.1 液压系统的组成

由磨床工作台液压系统的分析,可以将液压系统分成四部分。

1. 能源装置

它是将机械能转换成液压能的能量转换装置,即液压系统中的液压泵,为系统提供压力油。

2. 执行元件

它是把液压能转换成机械能的能量转换装置。常有做直线运动的液压缸和实现回转运动的液压马达。

3. 控制调节元件

它是对系统中油液压力、流量进行控制调节,及改变油液流动方向的各种调控元件,统称为阀。主要有压力阀、流量阀、换向阀等。

4. 辅助装置

起辅助作用的其它元件,如油管、油箱、过滤器等。

1.2.2 液压系统中的元件符号

为了分析液压系统的方便起见,系统中所用的元件都可以用图形符号来表示。一般液压系统原理图,都是用符号画出的,这种图形简单易懂,方便绘图,各元件的图形符号,请参阅附录。

1.3 液压传动的优缺点及应用

1.3.1 液压传动的优缺点

1. 优点

(1) 功率质量比大。在同等功率条件下,液压装置质量小、体积小,结构紧凑。如液压马达的质量和体积是同功率电动机的 10% ~ 12% 左右。

(2) 能在大范围内无级调速。

(3) 易实现过载保护,元件自行润滑。

(4) 易于实现自动化。当与电气控制相结合,可实现复杂的顺序动作,也方便远距离调控。

(5) 元件已实现标准化、系列化、通用化,从而方便了系统设计及设备维护。

(6) 实现直线运动,比机械传动简单。

2. 缺点

(1) 液压系统中存在泄漏问题,这会造成能量损失,污染环境。

(2) 对温度变化敏感。由于液压传动中所用介质多为矿物油,当温度变化时,其粘度变化大,故影响工作稳定。

(3) 元件制造精度要求高,造价贵。

(4) 不易查找故障发生的原因。

1.3.2 液压传动技术的应用

工业领域应用液压传动技术,是根据各自的特点,而不尽相同。目前,液压技术在各机械工业部门的应用主要有:

(1) 机 床 内、外圆磨床、平面磨床、仿形车、龙门刨等。

(2) 工程机械 挖掘机、储运机、装载机等。

(3) 农业机械 拖拉机的悬挂装置、联合收割机等。

(4) 汽车工业 自卸卡车、平板车、高空作业车等。

(5) 船舶机械 起货机、锚机、舵机、消摆装置等。

(6) 智能机械 水下机械手、模拟驾驶舱、机器人等。

(7) 航空航天 起落架、尾翼、机翼等。

本章小结

本章提出了液压传动技术的三个重要概念,即压力取决于负载;速度取决于流量;在液压技术中,压力与流量的乘积即为功率。介绍了两个液压传动系统,学习中应了解液压系统的工作原理,应知道液压传动技术的主要优缺点及应用。

思考题与习题

1. 如何理解液压系统中,压力取决于负载这个基本概念。

2. 液压系统由哪些部分组成,各部分的主要作用是什么?

2 液压传动的流体力学基础

本章介绍了液压传动中所涉及到的流体力学基础知识。基本概念多,公式多,理论性强,是学习液压传动技术的理论基础,也是重点和难点较多的一章。要求掌握液压油的特性、静摩擦力公式及静压力基本方程;掌握流动的基本概念和三个重要方程并能正确应用;会判断流态和两种能量损失的计算;熟悉孔口和缝隙流动特性,其它内容可做一般了解。

2.1 液压油的主要性质与选用

2.1.1 液压油的主要性质

1. 密度

单位体积液体所具有的质量叫做该液体的密度,即

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

式中 V ——液体的体积;

m ——液体的质量;

ρ ——液体的密度。

密度是液压油的一个重要参数,密度随压力或温度变化而发生变化,但其变化很小,可以忽略。工程上一般可取液压油的密度为 900 kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体压力增高而发生体积缩小的性质称为可压缩性。若体积为 V 的液体,当压力增大 Δp 时,体积减小 ΔV ,则液体在单位压力下的体积相对变化量为

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

式中, k 为体积压缩系数。当压力增大时,体积减小,故在式前加一负号,以使 k 为正值。

液体体积压缩系数的倒数称为体积弹性模量,以 K 表示

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

液体的体积弹性模量越大表明该液体抵抗压缩能力越强。工程上取液压油的体积弹性模量 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$,其数值很大,一般认为液压油是不可压缩的。但在系统压力很高或分析研究系统的动态特性时,则必须考虑液压油的可压缩性。

由于空气的可压缩性很大,当液压油中混入空气时,其 K 值大大减小,严重影响系统的性能,因此,应力求减少液压油中的含气量及不使液压油中混入空气。由于液压油中的气体不可能完全排除,实际计算中常取液压油的体积弹性模量 $K = (0.7 \sim 1.4) \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

3. 粘性

(1) 粘性的物理本质

液体在外力作用下流动或具有流动趋势时,分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动,从而沿其界面产生内摩擦力,这一特性称为液体的粘性。粘性是液体的重要物理性质,也是选用液压油的主要依据。

现以图 2-1 为例,说明液体的粘性。二平行平板间充满液体,下平板固定,上平板以 u_0 的速度向右运动。由于液体粘性的作用,紧贴下平板的一薄层液体其速度为零,紧贴上平板的一薄层液体以 u_0 的速度与上平板一样向右运动,而中间各层液体速度按线性规律变化。速度快的上层液体会拖带下层液体运动,而速度慢的下层对速度快的上层起阻滞作用。

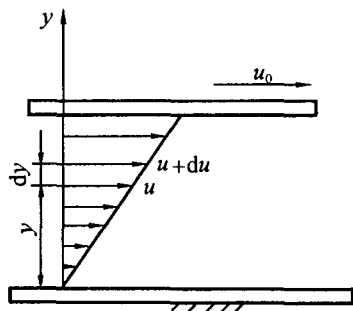


图 2-1 液体的粘性

实验结果表明,流动液体层间的摩擦力 F_f 与液层的接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比,即

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

式中, μ 是比例系数,称为粘性系数或动力粘度。

若以 τ 表示液层间的切应力,即单位面积上的内摩擦力,则式(2-4)可写成

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

这就是牛顿液体内摩擦定律。

由式(2-5)可知,在静止液体中,速度梯度 $du/dy = 0$,故内摩擦力为零,因此,静止液体不呈现粘性,也就是说液体的静摩擦力是不存在的。这是液体与固体的重要区别之一。

(2) 粘度的表示方法及影响因素

常用粘度表示方法有三种,即动力粘度、运动粘度和条件粘度。

① 动力粘度

动力粘度 μ ,由式(2-4)给出。其物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,液层间单位面积上的内摩擦力。

动力粘度的法定计量单位用 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 表示。

② 运动粘度

运动粘度用 ν 表示,它是动力粘度与密度的比值,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-6)$$

运动粘度无物理意义,但却在工程计算时经常使用。运动粘度的法定计量单位是 m^2/s 。

我国采用 40 °C 时液压油的运动粘度值(mm^2/s) 为其粘度等级标号,即油的牌号。例如牌号为 L-HL32 的液压油,其在 40 °C 时的运动粘度平均值为 32 mm^2/s 。

③ 条件粘度

条件粘度是根据不同测定条件得到的相对粘度,我国采用恩氏粘度 °E。恩氏粘度是用恩氏粘度计测定,即将 200 mL 温度为 t °C 的被测液体倒入恩氏粘度计,测量其流经粘度计底部 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 小孔流尽所用的时间 t_1 ,再测相同体积的蒸馏水在 20 °C 时流经相同小孔所用的时间 t_2 ,这两个时间比值即为被测液体在 t °C 下的恩氏粘度,即

$$^{\circ}E = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-7)$$

恩氏粘度与运动粘度之间可用经验公式换算,即

$$\nu = \left(7.31^{\circ}E - \frac{6.31}{^{\circ}E} \right) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (2-8)$$

④ 温度对粘度的影响

液压油对温度变化极敏感,温度升高,粘度降低。这一特性称为粘温特性。图 2-2 所示为几种典型液压油的粘温特性曲线。粘温特性常用粘度指数来度量。粘度指数越大,表示油液粘度随温度的变化越小,即粘温特性好。

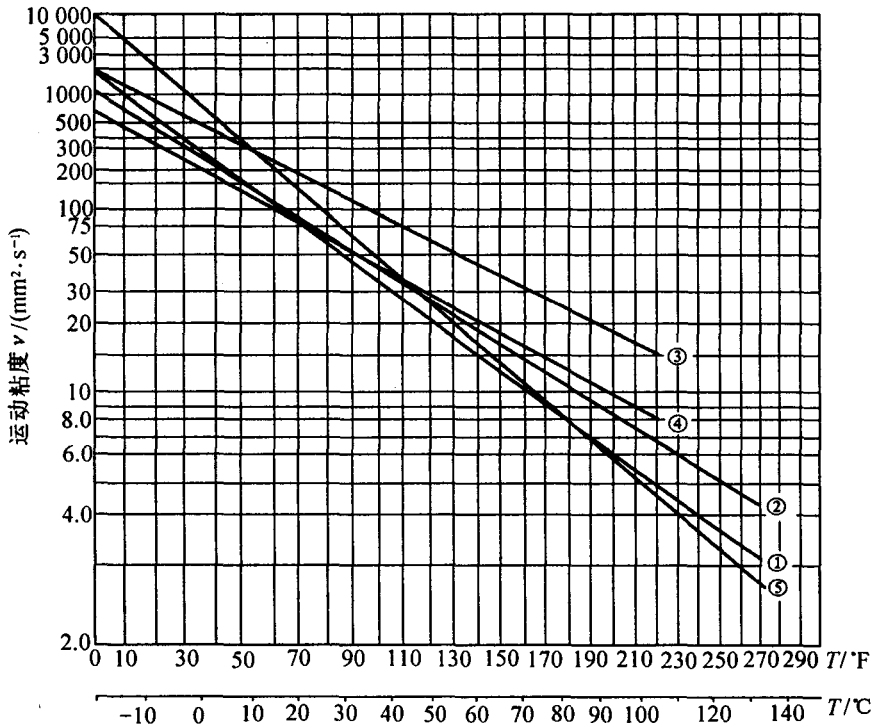


图 2-2 典型液压油的粘温特性曲线

①—矿油型普通液压油;②—矿油型高粘度指数液压油;③—水包油乳化液;
④—水-乙二醇液;⑤—磷酸酯液

⑤ 压力对粘度的影响

一般的中、低压系统压力的变化对油液粘度影响甚小,可以忽略。

2.1.2 液压油的选用

正确选用液压油对于液压系统达到设计要求,提高工作可靠性,延长使用寿命,防止事故发生等有重要的影响。

1. 对液压油的使用要求

液压传动系统所用的油液应满足如下要求:

- (1) 粘度适当,粘温特性好;
- (2) 具有润滑,防锈能力;
- (3) 对金属和密封材料有良好相容性;
- (4) 化学稳定性好,不易变质;
- (5) 燃点高、凝点低;
- (6) 对人体无害。

表 2 - 1 所列是常用的液压油的主要品种及其特性和用途。

表 2 - 1 液压油的主要品种及其特性和用途

类型	名 称	ISO 代号	特 性 和 用 途
矿 油 型	普通液压油	L - HL	精制矿油加添加剂,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 油加添加剂,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 - MV	L - HM 油加添加剂,改善粘温特性,可用于环境温度在 - 20 ~ - 40 ℃ 的高压系统
	高粘度指数液压油	L - HR	L - HL 油加添加剂,改善粘温特性,VI 值达 175 以上,适用于对粘温特性有特殊要求的低压系统,如数控机床液压系统
	液压导轨油	L - HG	L - HM 油加添加剂,改善粘 - 滑性能,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	浅度精制矿油,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、抗泡沫等性能,为汽轮机专用油,可做液压代用油,用于一般液压系统
乳 化 油	水包油乳化液	L - HFA	又称高水基液,特点是难燃、粘温特性好,有一定的防锈能力,润滑性差,易泄漏。适用于有抗燃要求、油液用量大的系统
	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,适用于有抗燃要求的中压系统
合 成 型	水 - 乙二醇液	L - HFC	难燃,粘温特性和抗蚀性好,能在 - 30 ~ 60 ℃ 温度下使用,适用于有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	1 - HFDR	难燃,润滑抗磨性能和抗氧化性能良好,能在 - 54 ~ 135 ℃ 温度范围内使用;缺点是有毒。适用于有抗燃要求的高压精密液压系统

2. 液压油的选用

液压油在选用时,最主要的依据就是粘度,它对液压系统工作的稳定性、可靠性、效率、温升及磨损等均有显著的影响。在工程上常根据液压系统所用的液压泵形式,确定液压油的粘度。表 2 - 2 给出了各种液压泵用油的粘度范围及推荐油品牌号。此外,还应考虑环境温度、系统工作压力、工作部件运动速度及泄漏量等因素。当环境温度高、压力高,执行元件运动速度低时,宜选用高粘度液压油,以减少系统泄漏;当环境温度低、压力低、执行元件高速运动时,宜选用低粘度液压油,以减少液体流动时的能量损失。

表 2-2 液压泵用油的粘度范围及推荐牌号

名 称	运动粘度 $/(10^{-6} \times \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$		工作压力 /MPa	工作温度 /℃	推 荐 用 油
	允 许	最 佳			
叶片泵 1 200 r/min 叶片泵 1 800 r/min	16 ~ 220	26 ~ 54	7	5 ~ 40	L - HH32, L - HH46
				40 ~ 80	L - HH46, L - HH68
	20 ~ 220	25 ~ 54	14 以上	5 ~ 40	L - HL32, L - HL46
				40 ~ 80	L - HL46, L - HL68
齿轮泵	4 ~ 220	25 ~ 54	12.5	5 ~ 40	L - HL32, L - HL46
				40 ~ 80	L - HL46, L - HL68
			10 ~ 20	5 ~ 40	L - HL46, L - HL68
				40 ~ 80	L - HM46, L - HM68
			16 ~ 32	5 ~ 40	L - HM32, L - HM68
				40 ~ 80	L - HM46, L - HM68
径向柱塞泵 轴向柱塞泵	10 ~ 65 4 ~ 76	16 ~ 48 16 ~ 47	14 ~ 35	5 ~ 40	L - HM32, L - HM46
				40 ~ 80	L - HM46, L - HM68
			35 以上	5 ~ 40	L - HM32, L - HM68
				40 ~ 80	L - HM68, L - HM100
螺杆泵	19 ~ 49	19 ~ 49	10.5 以上	5 ~ 40	L - HL32, L - HL46
				40 ~ 80	L - HL46, L - HL68

2.1.3 液压油的污染和防污措施

根据统计,液压系统发生故障的原因有 75% 是由于油液污染造成的,因此,液压油的防污对保证系统正常工作是非常重要的。

1. 污染的危害

液压油被污染是指油中含有水分、空气、微小固体颗粒及胶状生成物等杂质。液压油污染对液压系统造成危害如下。

(1) 堵塞过滤器,使液压泵吸油困难,产生振动和噪声;堵塞小孔或缝隙,造成阀类元件动作失灵。

(2) 固体颗粒会加速零件磨损,擦伤密封件,增大泄漏。

(3) 水分和空气使油液润滑性下降,产生锈蚀;空气使系统出现振动或爬行等现象。

2. 污染原因

液压油被污染的主要原因如下。

(1) 残留的固体颗粒

在液压元件装配、维修等过程中,因洗涤不干净而残留下的固体颗粒,如砂粒、铁屑、磨料、焊渣、棉纱及灰尘等。

(2) 空气中的尘埃

周围环境恶劣,空气中的尘埃,水汽等通过液压缸外伸的活塞杆、油箱的通气孔和注油孔等处侵入油中。

(3) 生成物污染

液压系统工作过程中,因元件相对运动等原因产生金属微粒、密封材料磨损颗粒、涂料剥离片、油氧化变质产生的胶状物等。

3. 防污措施

产生污染原因各异,为保证系统正常工作延长液压元件寿命,应将污染控制在允许的范围之内。工程上常采用如下措施防污。

(1) 防止污物带入系统。在安装、维修液压元件时要认真严格清洗,力求减少外来污染。

(2) 滤除油液中的杂质。在系统中的相关位置设滤油器,清除油中杂质,注意定期检查、清洗和更换滤芯。

(3) 应按设备使用说明书的要求定期更换油液。换油时应清洗油箱及管道等。

2.2 液体静力学

液体静力学是研究静止液体的力学规律以及这些规律的应用。所谓静止液体,是指液体内部质点间无相对运动,而液体整体可以像刚体一样做各种运动。

2.2.1 静压力及其性质

静止液体单位面积作用的法向力称为静压力。它是物理学中的压强,液压技术中称为压力。

若静止液体某点处微元面积 ΔA 上作用有法向力 ΔF ,则该点压力定义为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-9)$$

若法向力 F 均匀作用于面积 A 上,则有

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-10)$$

静压力的法定计量单位是 Pa, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。液压技术中常用 MPa, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

静压力有二个重要性质:

- ① 静压力垂直于承压面,其方向沿内法线方向;
- ② 静止液体内任一点处的压力在各方向上均相等。

2.2.2 静压力基本方程

重力作用下的静止液体,其受力情况如图 2-3 所示。密度为 ρ 的液体在容器内处于静止状态。其受力除重力外,还有液面上的压力。为求出任意深度 h 处的压力 p ,可以从液体内取出一个底面通过 h 处的垂直小液柱。液柱的底面积为 ΔA ,高为 h ,如图 2-3(b) 所示。液柱处于平衡状态,其垂直方向上的力平衡方程为

$$p \cdot \Delta A = p_0 \Delta A + \rho g h \Delta A$$

因此

$$p = p_0 + \rho g h \quad (2-11)$$

式中, $\rho gh\Delta A$ 为液柱的重力。

式(2-11)即为静压力基本方程。由式(2-11)可知重力作用下的静止液体,其压力分布有如下特征。

① 静止液体内任意点处的压力由两部分组成:一是液面上的压力 p_0 ;另一部分是该点以上液体重力所形成的压力 ρgh 。当液面作用为大气压 p_a 时,则液体任意点压力为

$$p = p_a + \rho gh \quad (2-12)$$

② 静止液体内的压力随深度呈线性规律分布。

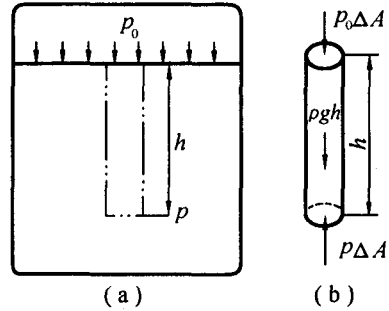


图 2-3 重力作用下的静止液体

③ 同一液体中,离液面深度相同的各点压力相等,由这些点组成的面称为等压面。重力作用下的静止液体的等压面是水平面。

工程技术中,由于 $p_0 \gg \rho gh$,因此计算时常忽略 ρgh 项。

2.2.3 压力的表示方法和单位

液体压力分为绝对压力和相对压力。它是以不同测量基准区分的,如图 2-4 所示。以绝对真空为基准来测量的称为绝对压力;而以大气压为基准测量的称为相对压力。相对压力有正、负之分,正的相对压力称为表压力;负的相对压力其数值称为真空度,即比大气压小的部分数值。所以

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

压力的单位除用 Pa 表示外,还有以前使用的 bar(巴)、工程大气压 at(kgf/cm²)、标准大气压(atm)、水柱高(mmH₂O)等。其换算关系请参阅有关手册。

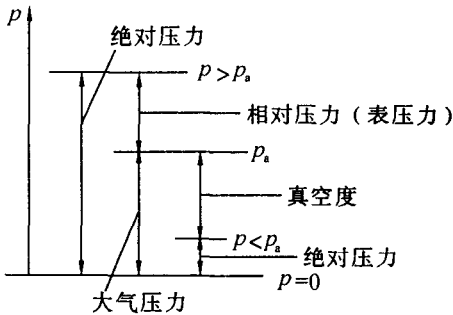


图 2-4 绝对压力、相对压力和真空度

自测题 2-1 如图 2-5 所示 U 形管连通器中存有两种液体,密度为 ρ_1 和 ρ_2 ,高度分别为 h_1 和 h_2 ,管一端通大气,另一端通入球形容器(其内液面以上为气体),求球形容器内气体的绝对压力和真空度。

2.2.4 帕斯卡原理

处于密闭容器内的液体,当外加压力 p_0 变化时,只要液体仍然保持静止状态不变,则液体任一点处的压力均发生相同的变化,即施加于静止液体上的压力以等值传递到液体各点。这就是帕斯卡原理,又称为静压传递原理。帕斯卡原理是液压传动的一个基本原理。

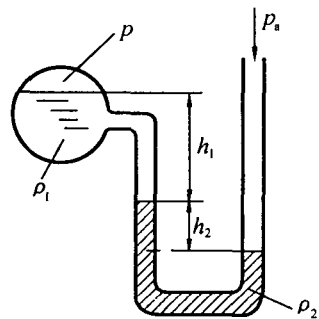


图 2-5 自测题 2-1 图