

液压与气压传动技术

主 编 李绍华 李继财 庞恩泉
副主编 赵训茶 孙永华 姚忠福
主 审 陈福恒 薛彦登

本书是以高等教育特征和课程教学目标为导向,从对行业岗位的实际调研出发,根据职业岗位能力需求确定课程目标、教学模块,取舍教学内容,突出职业能力培养。本书的编写贯彻“能力核心、素质全面、知识够用”的宗旨,以项目为引导、以任务为驱动,对内容的深度和广度进行适当的调整,把职业资格标准融入教材中,按照理论实训一体的原则设计与编写。构建切实符合课程要求、具有鲜明特色的“教学做”一体化教材。

本书共分10个项目,分别是认知液压传动系统、简化的磨床工作台液压系统、液压夹紧装置、黏压机液压系统、钻床液压系统、YT4543型动力滑台液压系统、N40加工中心动力卡盘系统、典型液压系统分析及故障分析、机床气动夹紧系统、典型气动系统分析及维护。每个项目由多个任务组成,相应的理论任务和实训任务让学生掌握液压与气压传动系统的原理与组装技能,将理论知识与实践操作融合一体,使学生在工作中学习,在学习中工作。每个项目教师根据学生学习和实训情况进行总结和评价,最后进行测验考核,考核题目多样,便于学生掌握基本概念,提高分析解决问题的能力。

本书在编写过程中,贯彻少而精和理论实训一体的原则。所选项目均是专业领域一线的典型案例分析,结构由浅入深、循序渐进,符合学生认知规律;突出课程内容的针对性和实用性,兼顾先进性和前瞻性。为方便读者自主学习,本书添加了动画视频资源的二维码链接,读者可以手机扫码进行观看学习。

本书可作为高等院校机电、机械类等相关专业的通用教材,也可作为液压与气压传动的培训教材及工程技术人员学习的参考书。

本书由李绍华、李继财、庞恩泉任主编,赵训茶、孙永华、姚忠福任副主编,付长景、方新、程刚、李国琳、薛珊珊、王进、王其、黄方超参编。具体的编写分工是:项目1、10由李绍华编写;项目2由李继财编写;项目3由付长景、方新编写;项目4由李国琳编写;项目5由孙永华、王进编写;项目6由姚忠福、薛珊珊编写;项目7由庞恩泉编写;项目8由赵训茶、王其编写;项目9由程刚和黄方超编写。

本书由陈福恒教授、薛彦登教授担任主审,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

二〇二〇年三月

项目1 认知液压传动系统 001

- 任务 1.1 液压千斤顶 002
- 任务 1.2 液压油的选用 006
- 任务 1.3 液体静力学 011
- 任务 1.4 液体动力学性能 015
- 任务 1.5 实训: 认知液压试验台 022

项目2 简化的磨床工作台液压系统 027

- 任务 2.1 液压泵 028
- 任务 2.2 实训: 拆装液压泵 044
- 任务 2.3 液压缸 047
- 任务 2.4 实训: 拆装液压缸 057
- 任务 2.5 换向阀 058
- 任务 2.6 实训: 组装简化的磨床工作台液压系统 067

项目3 液压夹紧装置 073

- 任务 3.1 锁紧回路 074
- 任务 3.2 实训: 组装锁紧回路 078
- 任务 3.3 液压辅助元件 080
- 任务 3.4 卸荷回路 092
- 任务 3.5 保压回路 096

项目4 黏压机液压系统 102

- 任务 4.1 溢流阀和调压回路 103
- 任务 4.2 实训: 组装调压回路 107

项目5 钻床液压系统 116

- 任务 5.1 减压阀和减压回路 117
- 任务 5.2 实训: 组装减压回路 121
- 任务 5.3 顺序阀和顺序动作回路 123
- 任务 5.4 实训: 连接顺序动作回路 127
- 任务 5.5 同步及互不干扰动作回路 131

项目6 YT4543 型动力滑台液压系统 137

任务 6.1 流量控制阀	138
任务 6.2 液压马达	143
任务 6.3 调速回路	147
任务 6.4 快速运动回路	157
任务 6.5 速度换接回路	162
任务 6.6 实训: 组装差动连接快速运动回路	166
任务 6.7 YT4543 型动力滑台液压系统	168

项目7 N40 加工中心动力卡盘系统 175

任务 7.1 叠加阀和叠加回路	176
任务 7.2 N40 加工中心动力卡盘液压系统	179
任务 7.3 比例阀及其回路	180
任务 7.4 插装阀及回路	183

项目8 典型液压系统分析及故障分析 189

任务 8.1 M1432A 万能外圆磨床液压系统	190
任务 8.2 压力机液压系统	199
任务 8.3 MJ-50 型数控车床液压系统	202
任务 8.4 YT4543 型动力滑台液压系统维护和故障排除	204

项目9 机床气动夹紧系统 219

任务 9.1 气压传动工作原理和气源装置的认知	220
任务 9.2 气动执行元件	227
任务 9.3 方向控制阀和方向控制回路	233
任务 9.4 实训: 气动换向回路	240
任务 9.5 压力控制阀和压力控制回路	242
任务 9.6 流量控制阀和速度控制回路	246
任务 9.7 其他常见气压回路	250
任务 9.8 实训: 气动顺序动作回路	254

项目10 典型气动系统分析及维护 260

任务 10.1 机械手气动系统	261
任务 10.2 旋转门自动开闭系统	262
任务 10.3 数控加工中心气动换刀系统回路	263
任务 10.4 气动系统的使用与维护	265

参考文献 268

项目1 认知液压传动系统



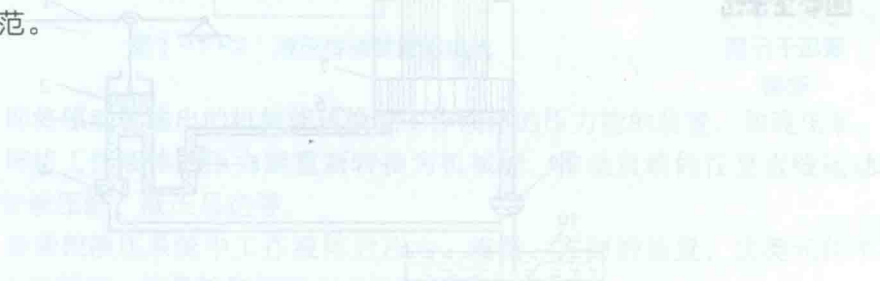
学习目标

1. 熟悉液压试验台上的液压元件。
2. 通过认识液压千斤顶，能理解液压传动工作原理与组成。
3. 能理解液压油的性质，会选择液压油的黏度。
4. 能理解液体静力学方程及静压传递原理。
5. 能理解液压力学基本性能。



工作情境描述

通用液压千斤顶适用于高度不大重物的各种起重作业，一般可顶起 1.6 t 重物（若每位男同学体重为 64 kg，可举起 25 位男同学），它由油室、油泵、储油腔、活塞、摇把、油阀等主要部分组成。工作时，只要往复扳动摇把，使手动油泵不断向油缸内压油，就使油缸内油压不断增高，从而迫使活塞及活塞上面的重物一起向上运动。打开回油阀，油缸内的高压油便流回储油腔，于是重物与活塞也就一起下落。学生接受拆装液压千斤顶任务，制订工作计划，熟练使用拆卸工具，通过参观液压实训室和液压千斤顶，掌握液压传动工作原理及组成，对液压传动的基本概念有一些了解。工作过程中遵循工作现场 7S [整理 (Seiri)、整顿 (Seiton)、清扫 (Seiso)、清洁 (Seiketsu)、素养 (Shitsuke)、安全 (Safety)、节约 (Saving)] 管理规范。



任务 1.1 液压千斤顶



学习目标

1. 掌握液压传动系统的工作原理。
2. 掌握液压传动系统的组成。

学习过程

利用液压千斤顶来展示液压传动系统的工作原理和组成。

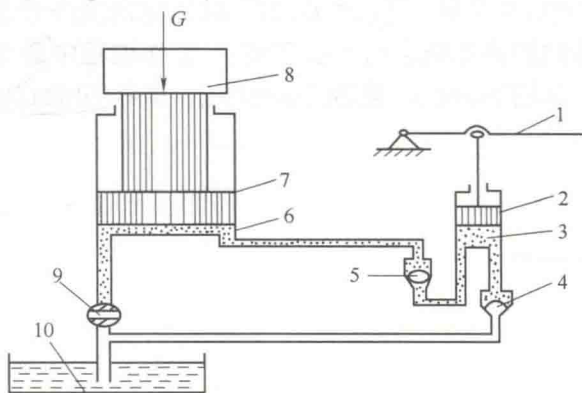
一台功能完整的机器设备一般由动力装置、传动装置、执行装置和控制装置组成。传动装置有机械传动、电力传动、液体传动（液压传动和液力传动）和气压传动等形式。液压传动与气压传动是以流体（液体和气体统称为流体）作为工作介质，利用压力能进行能量传递和控制的传动技术。

1.1.1 液压传动系统的工作原理与组成

液压传动系统以液体为工作介质，气压传动系统则以气体作为工作介质。两种工作介质的不同在于：液体几乎不可压缩，而气体具有明显的可压缩性。液压传动系统与气压传动系统在基本工作原理、元件的结构及回路的组成等方面是极为相似的。现以图 1-1-1 的液压千斤顶为例来介绍液压传动系统的工作原理。



液压千斤顶
动画



1—杠杆；2—小活塞；3、6—液压缸；4、5—单向阀；7—大活塞；8—重物；9—截止阀；10—油箱

图 1-1-1 液压千斤顶

液压缸 3 和 6 的活塞和缸体之间保持良好的配合关系，使得活塞能在缸内滑动，同时配合

面之间又能实现可靠的密封。当向上抬起杠杆1时,小活塞2向上运动,液压缸3下腔容积增大,形成局部真空,此时单向阀5关闭,油箱10中的油液在大气压的作用下通过单向阀4进入液压缸3的下腔,完成一次吸油过程。压下杠杆1时,小活塞2向下移动,液压缸3下腔容积减小,腔内压力升高,这时单向阀4关闭,液压缸3下腔的压力油就打开单向阀5挤入到液压缸6的下腔,推动大活塞7将重物8向上顶起一段距离。如此反复地提压杠杆1,就可以使重物不断上升,达到起重的目的。如果打开截止阀9,液压缸6下腔通油箱10,大活塞7在自重作用下向下移动,迅速下降到原位。

由上可见,液压传动是以液体为工作介质,利用液体的压力能来实现运动和力的传递的一种运动方式。它具有以下特点:

- (1) 以液体为传动介质来传递运动和动力。
- (2) 液压传动必须在密闭的容器内进行。
- (3) 依靠密封容积的变化传递运动。
- (4) 依靠液体的静压力传递动力。

液压传动装置由以下几部分组成,如图1-1-2所示。

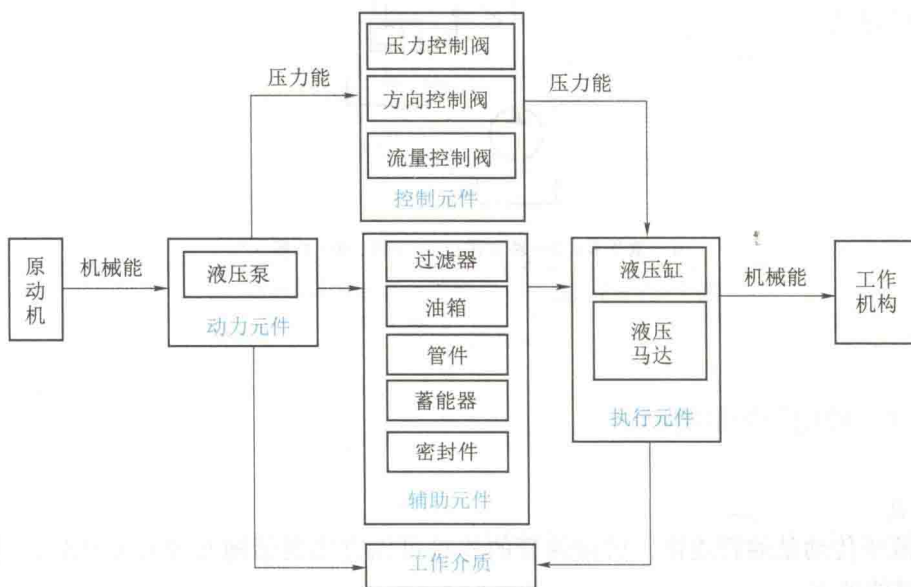


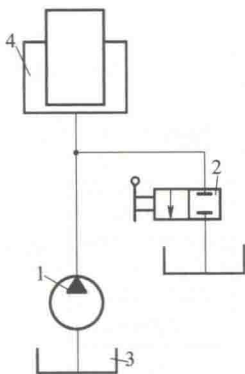
图 1-1-2 液压传动装置的组成

- (1) **动力元件**,即将原动机输出的机械能转换成工作液体的压力能的装置,如液压泵。
- (2) **执行元件**,即将工作液体的压力能重新转换为机械能,推动负载做往复直线运动或回转运动的装置,如液压缸、液压马达等。
- (3) **控制元件**,即调控液压系统中工作液体的压力、流量、方向的装置,这类元件不做能量的转换,如压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。
- (4) **辅助元件**,即上述三种元件之外,保证系统正常工作必不可少的其他元件,在系统中起到输送、储存、加热、冷却、过滤和测量等作用,它们对保证液压系统工作的可靠、稳定起着重大的作用,如管接头、油管、油箱、过滤器、蓄能器、压力表等。
- (5) **工作介质**,即传递能量的流体——液压油,它直接影响液压系统的性能和可靠性。

1.1.2 液压传动的标准图形符号

图 1-1-1 为液压千斤顶的结构原理图，其中的元件用结构（或半结构）式的图形来表示，它直观、容易理解。实际生产应用中，液压系统图的图形较复杂，绘制也较困难。为了简化液压系统的表示方法，往往将结构（或半结构）式的图形简化，采用标准图形符号来绘制液压系统工作原理图。标准图形符号（职能符号）脱离了元件的具体结构，只表示元件的功能、控制方法及外部连接，方便阅读、分析、设计和绘制。我国制定了液压与气压传动图形符号标准 GB/T 786.1—2009。图 1-1-3 为液压千斤顶工作原理的职能符号图。

当有些特殊元件或专用元件无法用职能符号表达时，仍可使用结构示意图。



1—液压泵；2—换向阀；3—油箱；4—柱塞缸

图 1-1-3 液压千斤顶工作原理的职能符号图

1.1.3 液压传动的特点

1. 优点

(1) 液压传动是油管连接，借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构，这是比机械传动优越的地方。

(2) 可在大范围内实现无级调速。

(3) 液压传动装置质量轻、结构紧凑、惯性小。

(4) 传递运动均匀、平稳，负载变化时速度较稳定。

(5) 液压传动容易实现自动化：借助于各种控制阀，特别是液压控制和电气控制结合使用时，能很容易地实现复杂的自动工作循环，而且可以实现遥控。

(6) 液压装置易于实现过载保护（借助于设置溢流阀等），同时液压件能自行润滑，因此使用寿命长。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

2. 缺点

(1) 液压传动以液压油为工作介质，在相对运动表面间不可避免地存在漏油等问题，同时油液又不是绝对不可压缩的，因此使得液压传动不能保证严格的传动比，因而液压传动

不宜应用在传动比要求严格的场合。

(2) 为了减少泄漏, 以及满足某些性能上的要求, 液压元件的配合件制造精度要求较高, 加工工艺较复杂。

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感, 温度变化时, 液体黏性变化, 引起运动特性的变化, 使得工作的稳定性受到影响, 所以它不宜在温度变化很大的环境条件下使用。

(4) 液压系统发生故障时不易检查和排除。

(5) 液压传动要求有单独的能源, 不像电源那样使用方便。

(6) 由于采用油管传输压力油, 距离越长, 沿程压力损失越大, 故不宜远距离输送动力。

1.1.4 液压系统的应用和发展

1. 液压传动的应用

液压传动由于优点很多, 所以在国民经济各部门都得到了广泛的应用。但各部门应用液压传动的出发点不同。工程机械、矿山机械、建筑机械、压力机械采用液压系统的原因是其结构简单、输出力量大; 航空工业采用液压系统的原因是其质量轻、体积小。

液压传动在各个行业中的应用, 见表 1-1-1, 应用举例如图 1-1-4 所示。

表 1-1-1 液压传动在各类机械中的应用

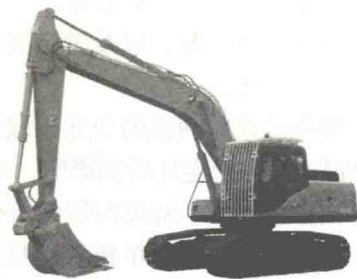
行业名称	应用举例	行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机等	轻工机械	打包机、注塑机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、提升机、液压支架等	灌装机械	食品包装机、真空镀膜机、化肥包装机
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等	汽车工业	高空作业车、自卸式汽车、汽车起重机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉等	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤等	纺织机械	织布、抛砂机、印染机等
机床	磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、组合机床、自动机床、数控机床、加工中心等	起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械等

2. 液压传动技术的发展

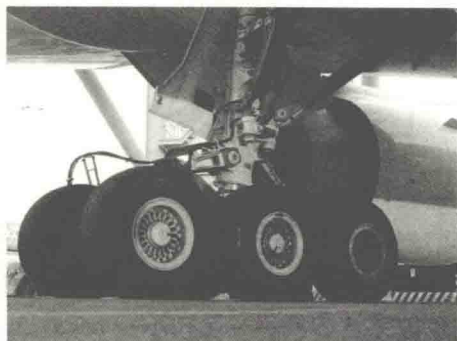
相对于机械传动, 液压传动是一门新的技术。液压传动起源于 1654 年帕斯卡提出的静压传动原理。1795 年, 英国第一台水压机问世, 至今已有一百多年的历史。液压传动的推广应用, 得益于 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业。最早成功应用液压传动装置的是舰艇上的炮塔转位器; 第二次世界大战期间, 军事工业需要反应快、精度高、功率大的液压传动装置, 这又进一步推动了液压技术的发展。第二次世界大战后, 液压技术迅速应用到民用工业, 在机



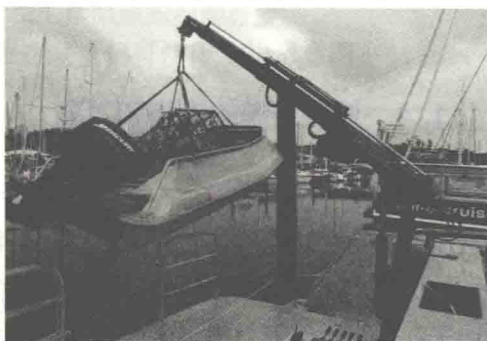
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-1-4 液压传动应用举例

(a) 叉车; (b) 挖掘机; (c) 飞机起落架; (d) 船用起重机液压吊

床、工程机械、农业机械、汽车等行业逐步得到推广。20 世纪 60 年代以来,随着原子能、空间技术、计算机技术的发展,液压技术得到了极大的推广,并渗透到各个工业领域。当前,液压技术正向高压、高速、高效、高寿命、低噪声、大功率、高度集成化方向发展。此外,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(Computer Aid Design, CAD)、计算机辅助测试(Computer Aid Test, CAT)、计算机实时控制技术、机电一体化技术、可靠性技术、计算机仿真和优化设计技术,以及污染控制技术等,也是当前液压传动与控制技术的发展与研究方向。

任务 1.2 液压油的选用



学习目标

1. 掌握液压油的黏性。
2. 会选用液压油。

学习过程

学习网络教学资源,用 PPT (PowerPoint) 演示液压油的性质及选择。

工作介质（液压油）在液压传动中起到传递能量和信号的作用，同时还起到润滑、冷却和防锈的作用。因此在掌握液压系统之前，必须对液压油的物理性质和如何选用做必要的了解。

1.2.1 液压油的性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度，用 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。设液体体积为 V ，单位为 m^3 ；质量为 m ，单位为 kg ，则该液体密度 ρ 为

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

液体密度随温度的升高而减小，随压力的升高而增大。但是温度和压力对密度的影响都很小，因而一般情况下可视液体密度为常数。矿油型液压油的密度 $\rho = 850 \sim 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2. 可压缩性

液体在压力作用下体积减小的性质称为液体的可压缩性，用体积压缩系数 κ 表示，即在单位压力变化下液体体积的相对变化量。设体积为 V 的液体，当压力增大 Δp 时，体积减小了 ΔV ，则体积压缩系数 κ 为

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

式中，负号表示 Δp 与 ΔV 的变化相反，即压力增加时体积减小。

实际应用中，常用体积弹性模量 K 的大小反映液体抵抗压缩的能力。液体的 K 为 κ 的倒数，即

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

式中， K 的单位为 Pa 。

K 表示产生单位体积相对变化量所需的压力增量。常温下，纯净液压油 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{ MPa}$ ，是钢的100~150倍。在一般液压系统中认为液压油是不可压缩的。但是，如果油液中混有游离空气，液体的 K 会显著降低，严重影响液压系统的工作性能。如果油液中混有1%的气体，其 K 只是纯净油液的30%；如果油液中混有4%的气体，其 K 仅为纯净油液的10%。由于油液中气体难以完全排除，实际计算中，常将油液的 K 值取为 $(0.7 \sim 1.0) \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

3. 黏性

1) 黏性的物理意义

液体在外力作用下流动时，分子间的内聚力阻碍其相对运动而产生内摩擦力，这一性质称为液体黏性。

由于液体内部黏性，以及液体与固体壁面间附着力的影响，液体内部各处的速度不相等。如图1-2-1，设两平行平板间充满液体，下平板不动，上平板以速度 u_0 向右平移。由于存在液体黏性，紧靠下平板的液层速度为0，紧贴上平板的液层速度为 u_0 ，而中间各

液层的速度从下到上呈线性递增。

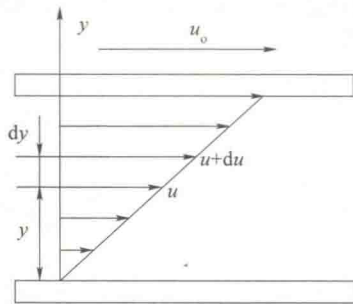


图 1-2-1 液体黏性示意图



液体黏性

实验表明，液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间相对速度 du 成正比，与液层间距离 dy 成反比，即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中 μ ——比例常数，黏性系数或动力黏度；

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度。

若以 τ 表示切应力，则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

τ 即液层间单位面积上的内摩擦力，这就是牛顿液体内摩擦定律。

在静止液体中，因为速度梯度为 0，内摩擦力为 0，所以静止液体不呈现黏性。

2) 黏度的表示方法

(1) **动力黏度**，又称绝对黏度。动力黏度 μ 是指液体在单位速度梯度下流动时单位面积上产生的内摩擦力。

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} \quad (1-6)$$

动力黏度的国际单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ 。

(2) **运动黏度**。动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值称为液体的运动黏度，用 ν 表示，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

运动黏度没有明确的物理意义，由于它的量纲只与长度和时间有关，所以称为运动黏度。运动黏度的国际单位为 m^2/s ，工程中常用 mm^2/s ， $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

国际标准化组织 ISO 规定统一采用运动黏度表示液压油的黏度等级。我国生产的液压油采用 40°C 时的运动黏度 (mm^2/s) 为黏度等级标号。如牌号为 L—HL22 表示普通液压油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $22 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

(3) **相对黏度**，又称条件黏度。相对黏度是在一定测量条件下测定的，中国、德国等都采用恩氏黏度 $^\circ\text{E}$ ，美国用赛氏黏度 SSU，英国用雷氏黏度 R 。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定，将 200 mL 温度为 T 的被测液体装入黏度计，其在自身重

力作用下流过黏度计下部直径为 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 的小孔, 测出液体流尽所需时间 t_1 , t_1 与温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 200 mL 蒸馏水在同一黏度计中流尽所需时间 t_0 (标定值) 之比, 称为恩氏黏度。即

$${}^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_0} \quad (1-8)$$

一般以 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 作为测定液体黏度的标准温度。

恩氏黏度与运动黏度间的换算关系为

$$\nu = \left(7.31 {}^\circ\text{E} - \frac{6.31}{{}^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad (1-9)$$

3) 影响黏度的因素

油液对温度的变化十分敏感, 温度升高, 分子间的内聚力减小, 黏度降低。油液黏度随温度变化的性质称为黏温特性, 液压油黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量。因此, 人们希望黏度随温度的变化越小越好, 即黏温特性好。常采用黏度指数 VI 衡量油液黏温特性好坏, 黏度指数是黏度随温度变化程度与标准油黏度随温度变化程度进行比较所得的相对数值, 黏度指数越大, 表示黏度随温度的变化率越小, 黏温特性越好。一般液压油的 VI 要求在 90 以上。

液体所受压力增大, 黏度增大。但对于一般液压系统, 当压力低于 32 MPa 时, 压力对黏度影响不大, 可以忽略不计。

1.2.2 液压油的种类

液压系统常用液压油主要有三大类: 矿油型、乳化型和合成型。矿油型液压油主要由提炼后的石油制品加入各种添加剂精制而成, 具有品种多、润滑性好、腐蚀性小、化学稳定性好、成本低、使用范围广的优点, 为大多数液压系统所采用。矿油型液压油的主要缺点是易燃。在高温、易燃、易爆的工作环境应使用难燃的液体, 如水包油、油包水乳化液或水-乙二醇液、磷酸酯合成液。

液压油详细分类、代号和用途见表 1-2-1, 其中 L 表示润滑剂和有关产品, H 组表示用于液压系统。

表 1-2-1 液压油分类 (GB 1118.1-2011)

分类	名称	代号	组成和特性	应用
矿油型	精制矿物油	L-HH	浅度精制矿物油, 不含添加剂, 稳定性差, 易氧化、易起泡, 易生成黏胶块, 阻塞元件小孔	主要用于润滑和要求不高的低压系统, 液压代用油
	普通液压油	L-HL	精制矿物油加抗氧化、防锈添加剂, 提高了抗氧化、防锈性能	一般设备的中低压系统
	抗磨液压油	L-HM	L-HL 加抗磨剂、金属钝化剂、消泡剂, 改善抗磨性	适用于工程机械、车辆液压系统

分类	名称	代号	组成和特性	应用
矿油型	低温液压油	L—HV	L—HM 加添加剂, 改善黏温特性	适用于 -40 ~ -20 °C 的高压系统
	高黏度指数液压油	L—HR	L—HL 加黏度指数添加剂, 改善黏温特性, 黏度指数达 175 以上	适用于环境温度变化较大的低压系统、数控机床液压系统
	液压导轨油	L—HG	L—HM 加抗黏滑剂, 良好的防锈、抗氧化、抗磨性, 改善黏滑性能, 低速下防爬行	机床中液压和导轨润滑合用的系统
乳化型	水包油乳化液	L—HFAE	高水基液, 难燃, 黏温特性好, 但润滑性差, 易泄漏	用于有抗燃要求, 用量较大的液压系统
	油包水乳化液	L—HFB	抗磨、防锈、抗燃性能好	有抗燃要求的中压系统
合成型	水-乙二醇液	L—HFC	难燃, 黏温特性好、抗蚀性好, 能在 -30 ~ 60 °C 下使用	有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯合成液	L—HFDR	难燃, 良好的润滑性、抗磨性和抗氧化性, 能在 -54 ~ 135 °C 温度范围内使用, 但有毒	适用于有抗燃要求的高压精密液压系统

1.2.3 液压油的选用

1. 液压油的使用要求

- (1) 黏度适当, 黏温特性好。
- (2) 润滑性好, 防锈能力强。
- (3) 抗氧化稳定性好, 不易变质。
- (4) 热膨胀系数小, 比热容大。
- (5) 燃点高, 凝点低。
- (6) 抗泡沫性、抗乳化性好。

2. 液压油的选用

实际工作中根据液压系统对工作介质的要求选用合适的液压油品种, 参见表 1-2-1。当液压油品种确定后主要考虑液压油的黏度, 进而选择油液的黏度等级及牌号。

选择黏度时主要考虑以下几个因素。

- (1) 工作压力, 为减少泄漏, 工作压力较高的液压系统应选择黏度较大的液压油。
- (2) 运动速度, 为减少摩擦损失, 工作部件运动速度较高时, 宜选用黏度较小的液压油。

(3) 环境温度,为减少泄漏,环境温度较高时,宜选用黏度较大的液压油。

在液压系统所有元件中,液压泵的转速最高、承受压力最大、工作时间最长,且温升高。因此,常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油黏度。各类液压泵适用液压油的黏度范围见表1-2-2。

表1-2-2 各类液压泵适用液压油的黏度范围及推荐用油

液压泵类型	压力	运动黏度 (40 ℃, mm ² /s)		适用品种和黏度等级
		5~40 ℃	40~80 ℃	
叶片泵	7 MPa 以下	30~50	40~75	L-HM, 32、46、68
		50~70	55~90	L-HM, 46、68、100
螺杆泵	—	30~50	40~80	L-HL, 32、46、68
齿轮泵		30~70	95~165	L-HL (中高压用 L-HM), 32、46、68、100、150
径向柱塞泵		30~50	65~240	L-HL (高压用 L-HM), 32、46、68、100、150
轴向柱塞泵		40~75	70~150	

3. 使用液压油的注意事项

(1) 应保持液压油的清洁,防止金属屑和纤维等杂物进入油中。

(2) 油箱内壁一般不允许涂刷油漆,以免油中产生沉淀物质。

(3) 为防止空气进入系统,回油管口应在油箱液面以下,并将管口切成斜面;液压泵和吸油管路应严格密封;液压泵和油管的安装高度应尽量小些,以减少液压泵吸油阻力;必要时在系统的最高处设置放气阀。

(4) 定期检查油液质量和油面高度。

(5) 应保证油箱的温升不超过液压油允许的范围,通常不超过 70 ℃,否则应进行冷却。

任务 1.3 液体静力学



学习目标

1. 掌握压力及其表示方法。
2. 理解帕斯卡原理及其应用。
3. 掌握液体静力学基本性能。

学习过程

学习网络教学资源,用 PPT 演示液体静力学基本性能。

液体静力学主要讨论液体静止时的受力平衡规律及这些规律的应用。所谓“静止”是指液体内部各质点间没有相对位移，也就是不呈现黏性，因此没有剪应力，只有静压力。

1.3.1 液体静压力及其性质

1. 静压力

作用在液体上的力有两种：质量力和表面力。质量力即液体自身重力；表面力可以是其他物体作用于液体上的力，也可以是一部分液体对另一部分液体的作用力。表面力又分法向力和切向力，当液体静止时，液体各质点间没有相对位移，没有切向力，只有法向力。静止液体内某处单位面积上所受的力称为静压力，即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-10)$$

压力的国际单位是 Pa 或 N/m^2 ，工程上常用 MPa、bar、 kgf/cm^2 ， $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ ， $1 \text{ bar} = 1.02 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 0.1 \text{ MPa}$ 。

2. 静压力的特性

- (1) 液体静压力垂直于受压面，方向和该面的内法线方向一致。
- (2) 静止液体内任一点的静压力在各方向上都相等。

1.3.2 液体静力学基本方程

如图 1-3-1，静止液体表面受压力 p_0 ，自液面向下取高度为 h 的微小圆柱体，底面积为 A ，对该圆柱体进行受力分析：上表面受力 p_0A 、自身重力 ρghA 、下表面受力 pA ，各力使圆柱体处于力学平衡状态。在垂直方向列出受力平衡方程式，则

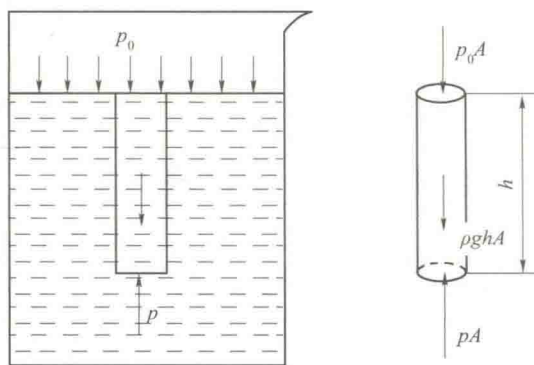


图 1-3-1 重力作用下压力分布

$$pA = p_0A + \rho ghA \quad (1-11)$$

简化后

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-12)$$

可见，静止液体的压力具有以下特征。

- (1) 静止液体内任一点处的压力都由两部分组成。
- (2) 静止液体内压力随深度呈线性规律分布。
- (3) 深度相同的各点组成一水平等压面。

1.3.3 液体压力的表示方法

压力有两种表示方法，一种是以绝对真空为基准所表示的压力，称为绝对压力；一种是以大气压作为基准所表示的压力，称为相对压力。由于大多数测压仪表测得的压力都是相对压力，所以相对压力又称为表压力。

$$\text{相对压力} = \text{绝对压力} - \text{大气压力} \quad (1-13)$$

如果液体中某处绝对压力小于大气压，这时绝对压力比大气压小的那部分数值叫真空度，即

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力} \quad (1-14)$$

绝对压力、大气压力、相对压力、真空度之间的关系如图 1-3-2 所示。

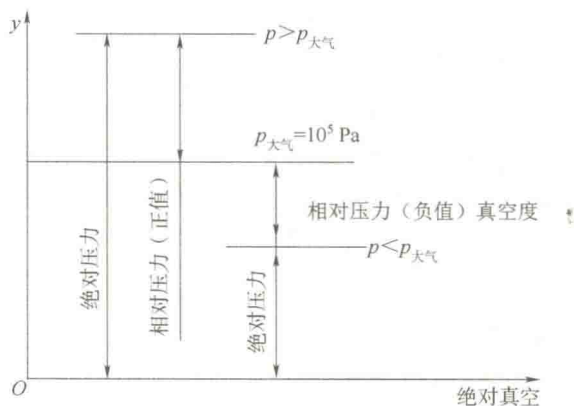


图 1-3-2 绝对压力、大气压力、相对压力、真空度之间的关系

1.3.4 帕斯卡原理

例 1-1 如图 1-3-3，容器内盛有油液。已知油的密度 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ，作用在活塞上的力 $F = 2000 \text{ N}$ ，活塞面积 $A = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。不计活塞质量，求活塞下方 $h = 0.8 \text{ m}$ 处的压力是多少。

解：外力 F 作用在液体表面的压力

$$p_0 = \frac{F}{A} = \frac{2000 \text{ N}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 2 \times 10^6 \text{ Pa}$$

深度为 h 处的液体压力为

$$\begin{aligned} p &= p_0 + \rho gh = 2 \times 10^6 \text{ Pa} + 900 \times 9.8 \times 0.8 \text{ N/m}^2 \\ &= 2.007\ 056 \times 10^6 \text{ Pa} \\ &\approx 2.0 \times 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$