

教育部高职高专规划教材
技能型紧缺人才培养培训系列教材

液压与气动技术基础

杨永平摇主编
杨明亮摇主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

数控技术应用专业系列教材编委会

主任

覃瑶岭

副主任

冯建雨 唐义锋 苑章义

编委

(按姓氏汉语拼音排序)

常红梅 陈粟宋 程时甘 洪凯
黄劲枝 孔杰 龙光涛 麻艳
毛卫秀 孙贵杰 吴新腾 徐建高
杨永平 尹玉珍 赵俊生 钟江鸿

(京)新登字 0262 号

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气动技术基础 杨永平主编 北京: 化学工业出版社, 2002

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

ISBN 7-122-0262-2

Ⅰ.液...Ⅱ.杨...Ⅲ.①液压传动...②气压传动...Ⅳ.①TH137.1②TH137.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 0262 号

教育部高职高专规划教材
技能型紧缺人才培养培训系列教材

液压与气动技术基础

杨永平主编

杨明亮主审

责任编辑: 高瑶钰

文字编辑: 徐卿华

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于瑶兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 邮编 100029)

购书咨询: (010) 67931528

010-67931528

购书传真: (010) 67931528

网址: www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 6.5 插页 2 字数 160千字

2002年 11月第 1版 2002年 11月北京第 1次印刷

ISBN 7-122-0262-2

定价: 12.00元

版权所有 侵权必究

此为试读, 需要完整版请到 www.wjwk.com 购买

前 言

本书根据高等职业教育的特点，以培养技术应用能力为目标，以职业岗位技能要求为出发点，归纳出液压与气动技术的共性与个性；阐述了基本理论、基本内容和基本方法，并提供了相关的背景资料。本书深入浅出，图文并茂，选编了较多的应用实例，并注意与数控技术应用专业的联系，凸显了实用性和技能性。本书内容力求先进，体系力求新颖。既保证了高等教育的规格要求，又力求创新，体现高职特色。本书还编写了课后思考题和习题，有利于学生巩固所学的知识，加深对基本概念的理解，并提高分析、解决实际问题的能力。

本书主要作为高职高专数控技术应用专业及机械、机电类各相关专业的教材，也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书由杨永平主编，王小军、陈学锋任副主编，杨明亮教授主审。参编人员有孟欣、赵永强。全书共分十二章，其中第一章至第六章由杨永平编写，第九章至第十二章由王小军编写，第七章由赵永强编写，第八章和附录由孟欣编写。全书由杨永平、陈学锋统稿。

在编写过程中，尽管我们尽心尽力，但由于水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

二〇一二年 月

目 录

第一章 液压传动概述.....	员
第一节 液压传动及其应用领域.....	员
第二节 液压传动的工作原理.....	员
一、简化模型.....	员
二、液压传动能量的转换及传递.....	圆
三、液压传动系统的主要组成.....	猿
四、液压传动的优点和缺点.....	源
复习思考题.....	源
第二章 液压传动基础知识.....	缘
第一节 液压传动的工作介质.....	缘
一、液压液的主要物理性质.....	缘
二、对液压液的要求.....	怨
三、液压液种类的选择.....	怨
四、液压液的正确使用及维护.....	圆
第二节 静止液体的力学基本规律.....	圆
一、液体静压力及其特性.....	圆
二、重力作用下静力学基本规律.....	圆
三、静压力对固体壁面的总作用力.....	圆
第三节 液体流动时的能量.....	猿
一、理想液体流动时的能量.....	猿
二、实际液体流动时的能量.....	源
三、管路压力损失.....	源
第四节 液体流经小孔和间隙时的流量.....	源
一、液体流经小孔的流量.....	源
二、液体流经间隙的流量.....	缘
第五节 液压冲击.....	缘
一、液压冲击产生的原因.....	缘
二、液压冲击值计算公式.....	缘
三、液压冲击的危害.....	苑
四、减少液压冲击应采取的措施.....	苑
第六节 气穴现象与汽蚀.....	苑
一、气穴现象.....	苑
二、产生气穴现象的原因.....	苑
三、气穴对系统产生的危害.....	苑
四、预防气穴及汽蚀所采取的措施.....	苑
复习思考题.....	愿

第三章摇液压泵和液压马达	源
摇第一节摇液压泵概述	源
摇摇一、液压泵的工作原理	源
摇摇二、常用液压泵种类和图形符号	源
摇摇三、液压泵的性能参数	源
摇第二节摇常用液压泵的工作原理和应用	源
摇摇一、齿轮泵	源
摇摇二、叶片泵	源
摇摇三、柱塞泵	源
摇第三节摇液压泵的选用	源
摇第四节摇液压马达	源
摇摇一、液压马达的分类	源
摇摇二、液压马达的工作原理	源
摇摇三、液压马达的主要参数	源
摇复习思考题	源
第四章摇液压缸	源
摇第一节摇液压缸的分类与工作原理	源
摇摇一、活塞缸	源
摇摇二、柱塞缸	源
摇摇三、摆动液压缸	源
摇摇四、组合液压缸	源
摇第二节摇液压缸的典型结构	源
摇摇一、缸筒组件	源
摇摇二、活塞组件	源
摇摇三、液压缸的密封	源
摇摇四、液压缸的排气装置	源
摇摇五、液压缸的制动和缓冲	源
摇第三节摇液压缸的设计计算	源
摇摇一、液压缸主要参数的确定	源
摇摇二、液压缸主要零部件强度校核	源
摇摇三、液压缸设计与计算应注意的问题	源
摇复习思考题	源
第五章摇液压控制元件及基本回路	源
摇第一节摇液压控制元件的类型和基本要求	源
摇摇一、液压控制元件的作用和分类	源
摇摇二、液压阀的性能要求	源
摇第二节摇方向控制阀及方向控制回路	源
摇摇一、单向阀	源
摇摇二、换向阀	源
摇第三节摇压力控制阀及压力控制回路	源
摇摇一、溢流阀	源

摇摇二、顺序阀	缘远
摇摇三、减压阀	缘远
摇摇四、压力继电器	缘远
摇第四节摇流量控制阀及速度控制回路	缘源
摇摇一、流量控制阀	缘缘
摇摇二、节流调速回路	苑园
摇摇三、容积调速回路	苑圆
摇摇四、容积节流调速回路（联合调速）	苑远
摇第五节摇其他速度控制回路	苑愿
摇摇一、快速运动回路	苑愿
摇摇二、速度转换回路	苑怨
第六章摇液压辅助元件	愿
摇第一节摇蓄能器	愿
摇摇一、蓄能器的功用	愿
摇摇二、蓄能器的类型	愿
摇摇三、滤油器	愿猿
摇第二节摇液压油的污染和过滤	愿猿
摇摇一、液压油污染度等级和污染度等级的测定	愿猿
摇摇二、过滤精度	愿猿
摇第三节摇滤油器	愿源
摇摇一、常用滤油器类型	愿源
摇摇二、滤油器的选用	愿缘
摇摇三、滤油器的安装位置	愿缘
摇第四节摇热交换器	愿远
摇摇一、液压系统的发热和预热	愿远
摇摇二、冷却器的结构与选用	愿苑
摇摇三、加热器的结构和选用	愿愿
摇第五节摇液压油箱	愿愿
摇摇一、开式油箱	愿怨
摇摇二、挠性隔离式油箱	愿怨
摇摇三、油管和管接头	愿怨
摇摇四、胶管总成	怨
摇摇五、快速接头	怨圆
摇摇六、压力表和压力表开关	怨圆
摇第六节摇密封件	怨猿
摇摇一、密封件的作用和分类	怨猿
摇摇二、橡胶密封圈的种类和特点	怨猿
摇摇三、同轴组合密封装置	怨源
摇复习思考题	怨缘
第七章摇典型液压系统	怨远
摇第一节摇数控车床液压系统	怨远

摇第二节摇再制液型动力滑台液压系统	怨
摇摇一、概述	怨
摇摇二、动力滑台液压系统的特点	怨
摇第三节摇机械手液压系统	怨
摇摇一、概述	怨
摇摇二、机械手实例	员园
摇第四节摇汽车转向液压系统	员员
摇第五节摇叉车液压系统	员圆
摇复习思考题	员猿
第八章摇气压传动基本知识	员源
摇摇一、气动技术的应用现状	员源
摇摇二、气动技术的特点	员缘
摇第一节摇空气的主要性质及气体状态方程	员缘
摇摇一、空气的主要性质	员缘
摇摇二、气体状态方程	员远
摇第二节摇气源装置	员愿
摇摇一、空气压缩机	员愿
摇摇二、气源净化装置	员员
摇第三节摇气动三大件	员源
摇摇一、空气过滤器	员源
摇摇二、调压阀	员缘
摇摇三、油雾器	员远
摇复习思考题	员苑
第九章摇气动执行元件	员愿
摇第一节摇气缸	员愿
摇摇一、气缸的分类	员愿
摇摇二、几种特殊气缸的工作原理	员怨
摇摇三、标准化气缸	员员
摇第二节摇气动马达	员圆
摇摇一、气动马达的分类和工作原理	员圆
摇摇二、气动马达的优缺点	员猿
摇摇三、各种气动马达的特点及应用范围	员源
摇复习思考题	员源
第十章摇气动控制阀和气动回路	员缘
摇第一节摇常用气动控制阀及其基本回路	员缘
摇摇一、方向控制阀及其所组成的回路	员缘
摇摇二、压力控制阀及其所组成的回路	员苑
摇摇三、流量控制阀及其所组成的回路	员愿
摇第二节摇其他常用气动回路	员怨
摇摇一、气液联动回路	员怨
摇摇二、延时回路	员圆

摇摇三、往复动作回路.....	员员
摇摇四、安全保护回路.....	员员
摇摇第三节 摇摇气动逻辑元件.....	员员
摇摇一、气动逻辑元件的分类.....	员员
摇摇二、高压截止式逻辑元件.....	员员
摇摇三、逻辑元件应用实例.....	员员
摇摇复习思考题.....	员员
第十一章 摇摇典型气压传动系统.....	员员
摇摇第一节 摇摇阅读气压传动系统图的一般步骤.....	员员
摇摇第二节 摇摇气液动力滑台.....	员员
摇摇一、概述.....	员员
摇摇二、气液动力滑台回路原理图.....	员员
摇摇第三节 摇摇气动机械手.....	员员
摇摇一、概述.....	员员
摇摇二、气动机械手的动作原理.....	员员
摇摇第四节 摇摇公共汽车车门气压传动系统.....	员员
摇摇第五节 摇摇工件夹紧气压传动系统.....	员员
摇摇第六节 摇摇气动系统在机床上的应用.....	员员
摇摇第七节 摇摇气液混合气动程序控制系统.....	员员
摇摇一、程序控制系统的组成.....	员员
摇摇二、可编程程序控制系统.....	员员
摇摇复习思考题.....	员员
第十二章 摇摇故障诊断与对策.....	员员
摇摇第一节 摇摇故障.....	员员
摇摇一、初期故障.....	员员
摇摇二、突发故障.....	员员
摇摇三、老化故障.....	员员
摇摇第二节 摇摇故障诊断方法.....	员员
摇摇一、经验法.....	员员
摇摇二、推理分析法.....	员员
摇摇第三节 摇摇常见故障现象、故障原因及其对策.....	员员
摇摇一、空气过滤器的常见故障与排除方法.....	员员
摇摇二、减压阀的常见故障与排除方法.....	员员
摇摇三、油雾器的常见故障与排除方法.....	员员
摇摇四、溢流阀常见故障与排除方法.....	员员
摇摇五、方向阀常见故障与排除方法.....	员员
摇摇六、气缸常见故障与排除方法.....	员员
附录 摇摇液压气动图形符号.....	员员
摇摇附表 员 摇摇符号要素.....	员员
摇摇附表 圆 摇摇功能要素.....	员员
摇摇附表 猿 摇摇管路、管路接口和接头符号.....	员员

摇附表 源遥控制机构和控制方法符号	员猿
摇附表 缘遥泵和马达的旋转方向、流动方向和控制位置的标注规则符号	员猿
摇附表 远遥液压泵和液压马达符号	员猿
摇附表 苑遥液压缸和特殊能量转换符号	员远
摇附表 愿遥能量储存器(蓄能器、辅助气瓶、气罐)符号	员苑
摇附表 怨遥动力源符号	员苑
摇附表 员园遥具有两个不同位置的阀的一般符号(员园员 员园圆 员园猿 员园肆 员园伍 员园陆 员园柒 员园捌 员园玖)	员苑
摇附表 员壹遥常用控制阀符号(员壹员 员壹圆 员壹叁 员壹肆 员壹伍 员壹陆 员壹柒 员壹捌 员壹玖)	员苑
摇附表 员贰遥油箱符号	员园
摇附表 员叁遥流体调节元件符号	员园
摇附表 员肆遥检测器或指示器符号	员员
摇附表 员伍遥其他元器件符号	员员
摇附表 员陆遥液压气动图形符号的典型组合举例	员员
摇附表 员柒遥国际标准目录	员圆
摇附表 员捌遥我国现行的液压与气动国家标准和行业标准目录	员远
参考文献	员园

第一章 摇液压传动概述

第一节 摇液压传动及其应用领域

一部完整的机器通常是由原动机、传动机构和工作机三部分组成。传动机构是在原动机和工作机间起传递动力作用的中间环节，它包括机械传动、电气传动、流体传动及其组合——复合传动等类型。

流体传动是以流体为工作介质进行能量传递、转换和控制的传动，它包括液体传动和液压传动。液体传动以液体为工作介质，包括液压传动和液力传动。液压传动是利用液体的压力能进行能量传递、转换和控制的一种传动形式。该传动形式具有许多突出的优点，在国民经济中得到了广泛的应用，其应用领域见表 1-1。

表 1-1 摇液压传动在国民经济中的应用

行业名称	应摇用摇领摇域
工程机械	摇液压挖掘机、液压装载机、推土机、全液压振动压路机、液压铲运机等
起重运输机械	摇轮胎吊、岸边(或堆场)集装箱起重机、叉车(或集装箱叉车)、集装箱正面吊运机、带运输机等
矿山机械	摇凿岩机、全断面液压掘进机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	摇打桩机、液压千斤顶、平地机、混凝土泵车、回转窑液压系统等
农业机械	摇联合收割机、拖拉机、农机悬挂系统等
冶金机械	摇电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	摇打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机、浆纱机液压系统等
汽车机械	摇自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	摇折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人(机械手)等
机床工业	摇磨床、车床、龙门刨床、牛头刨床及铣床等
军事工业	摇火炮瞄准系统、坦克火炮控制系统、战略飞行器液压系统等
船舶及海洋工程	摇舰船舵机液压系统、工程船舶(如挖泥船、打桩船)、舱盖启闭液压系统、海洋石油钻探平台等

第二节 摇液压传动的工作原理

在密闭容积内，施加在静止液体边界上的压力，在液体可以向所有方向等值地传递到液体各点，这就是帕斯卡原理。

一、简化模型

液压传动的简化模型如图 1-1 所示。图中两个不同直径的圆筒圆源和活塞员缘分别构成两对圆柱配合副，活塞可以沿圆筒内壁自由滑动，两者的配合间隙很小，假设摩擦力及通过其配合间隙所产生的泄漏不计。圆筒圆源下腔通过管道猿连。由圆筒内壁、活塞与管道构成密闭容积，

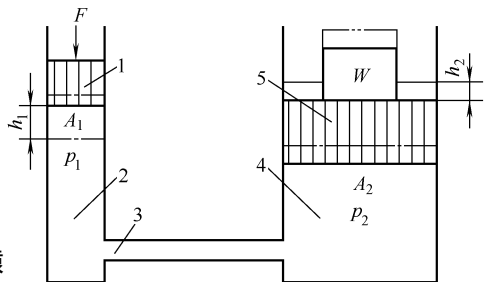


图 1-1 摇液压传动的简化模型

在密闭容积中充满工作介质——工作液体。

二、液压传动能量的转换及传递

液压传动可以传递力

将重物 G 放在活塞 A 缘上, 为了平衡 (或提升) 重物 G , 必须在活塞 B 上施加力 F , 此时, G 是工作负载, F 是主动力。不计活塞重力, 可得活塞 A 缘下腔的压力 $p_A = \frac{G}{A_A}$ (A_A 为活塞 A 缘的面积)。根据帕斯卡原理, 该压力等值地传递作用到活塞 B 上, 即 $p_B = p_A$ (活塞 B 缘下腔的压力 $p_B = \frac{F}{A_B}$, A_B 为活塞 B 缘的面积)。由此作用在活塞 B 上的主动力 F 为

$$F = \frac{A_B}{A_A} G \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可以看出以下几点。

- ① 当给活塞 B 上施加力 $F > \frac{A_B}{A_A} G$ 时, 就能阻止活塞 A 缘上的重物 G 下降, 力是通过密闭容积中的液体传递的。
- ② 当 $F > \frac{A_B}{A_A} G$ 时, $F > G$, 则 $F > G$, 即用一个小的力就可以驱动一个大的负载, 力得到了放大。
- ③ 当 $G = 0$ 时, $p_A = 0$, $F = 0$, 即当外负载为零时, 不可能在密闭容积内形成压力; 只有当 $G \neq 0$ 时, 才可能施加力 F , 并在密闭容积内形成压力 p 。

在不考虑泄漏的条件下, 液压传动中的工作压力取决于外负载。

液压传动可以传递运动

当在活塞 B 上施加一定的力使其下移 s_B 时, 活塞 A 缘将克服负载力并上升 s_A , 由于不存在泄漏及忽略液体的可压缩性, 在 Δt 时间内从圆筒 A 中排出的液体体积 V_A 与通过管道 C 排入圆筒 B 内的体积 V_B 相等, 即

$$V_A = V_B \text{ 或 } A_A s_A = A_B s_B \quad (1-2)$$

式 (1-2) 表明两活塞的位移与其面积成反比。将式 (1-2) 两边同时除以 Δt 得

$$\frac{A_A v_A}{A_B} = \frac{A_B v_B}{A_A} \quad (1-3)$$

即 $v_A = \frac{A_B}{A_A} v_B$ 式中, v_A , v_B 为活塞 A 缘运动的平均速度。

下面介绍一个十分重要的概念: 流量。流量即单位时间内流过某一过流截面的流体的体积, 记作 Q , $Q = \frac{V}{\Delta t}$ 即 $Q = \frac{V}{\Delta t}$ 流量的单位为 m^3/s

在上例中, $Q_A = Q_B$, $Q_A = Q_B$, 因此, 式 (1-3) 可写作 $Q_A = Q_B$ 即

$$Q_A = Q_B \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可见, 液压传动可以传递运动。在液压传动中, 液压执行机构的运动速度取决于输入流量的大小, 而与外负载无关 (在忽略泄漏、液体的压缩性及容器、管路变形的条件下)。

液压传动可以传递动力

在上述简化模型中, 输入的机械功率 $P_1 = F v_B$, 输出的机械功率 $P_2 = G v_A$ 。在不计任何损失时, $P_1 = P_2$, 即

$$F v_B = G v_A \text{ 或 } \frac{F}{G} = \frac{v_A}{v_B} \quad (1-5)$$

不计任何损失时，液压传动中能量的转换及传递过程框图如图 1-1 所示。

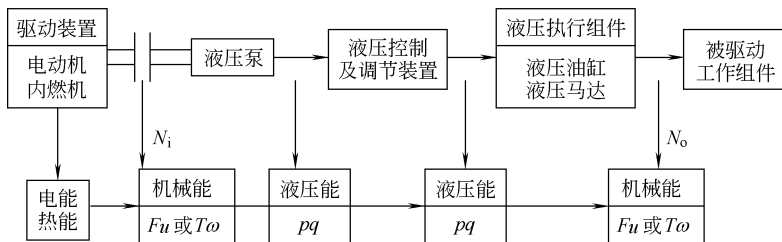


图 1-1 液压传动中能量的转换及传递过程框图

三、液压传动系统的主要组成

1. 往复运动液压传动系统

液压传动系统的基本组成可以用图 1-2 所示磨床工作台往复运动简化液压系统结构原理图加以说明。图中，液压泵 1 由电动机驱动旋转，经过滤器 2 从油箱 1 吸油，向系统提供具有一定流量和压力的液压油。液压缸 7 是一对圆柱配合副，它带动工作台 8 作往复运动。当液压缸左腔进液压油时（此时，液压缸右腔与油箱相通），活塞带动工作台向右运动；反之，活塞带动工作台向左运动。换向阀 5 控制液压泵供给的液压油是进入液压缸的左腔还是右腔，从而控制液压缸的运动方向。改变流量控制阀 4 的开口大小可以改变进入液压缸的流量，从而调节工作台的运动速度。液压泵输出多余的液压油经溢流阀 6 泄油管 9 返回油箱。

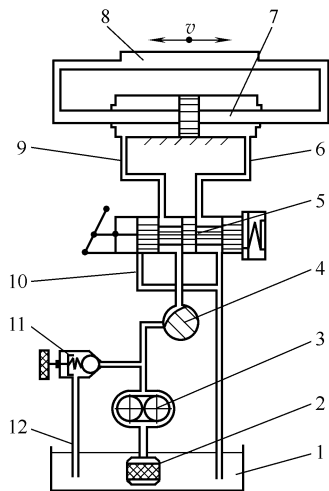


图 1-2 磨床工作台往复运动简化液压系统结构原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—流量控制阀；5—换向阀；6—溢流阀；7—液压缸；8—工作台；9—溢流管

在液压系统中，液压泵的工作压力取决于外负载以及油液流经阀与管道的压力损失之和，液压泵的最大工作压力不会超过溢流阀 6 的调定值。溢流阀 6 对系统起溢流定压或过载保护的作用。

此外，系统还包括存储液压油的油箱 1，连接各组件的管道、管接头，防止杂物进入泵和液压系统的过滤器 2 及蓄能器、检测仪表等辅助组件。

2. 液压传动系统的主要组成

由上述可知，液压传动系统是由若干具有特定功能的液压元件（部件）组成并完成某种具体任务的一个整体。通常一个完整的液压系统由以下 4 个部分组成。

（1）液压动力元件如液压泵等，将原动机的机械能（ $T\omega$ 或 Fv ）转换成液压能（ pq ）。

（2）液压执行元件如液压缸、液压马达等，将液压能转换成机械能。

（3）液压控制元件如各种控制阀，利用这些元件对系统中的液体压力、流量及方向进行控制或调节，以满足工作装置对传动的要求。

（4）液压辅助元件起辅助作用，如油箱、滤油器、管路、管接头及各种控制、检测仪表等。其作用是储存、输送、净化工作液及监控系统等。在有些系统中，为了进一步改善系统性能，还采用了蓄能器、加热器及散热器等辅助元件。

（5）工作介质液压油是动力传递的载体。

液压图形符号

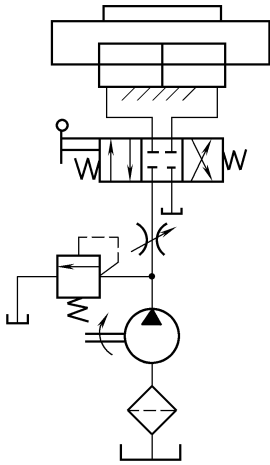


图 磨床工作台
液压系统原理图

在工程实际中，必须采用标准的液压图形符号来绘制液压系统原理图。我国已制定了“气动与液压”图形符号标准。图中各元件的图形符号不表示其具体的结构及参数，只表示元件的职能、操作（控制）方法及外部连接。用标准符号绘制的液压系统图表明组成系统的元件、元件间的相互关系及整个系统的工作原理，并不表示其实际安装位置及布管。

四、液压传动的优点和缺点

液压传动的优点

液压传动之所以在工程实际中应用广泛，是因为它与机械传动等相比，具有许多优点。

① 液压传动可在运行过程中方便地实现大范围的无级调速，调速范围可达。液压传动装置可在极低的速度下输出很大的力。例如，液压马达当转速达时仍具有良好的特性，这是电气传动很难实现的。

② 在输出相同功率的情况下，液压传动装置的体积小、质量轻、结构紧凑、惯性小。由于液压系统中的压力比电枢磁场中单位面积上的磁力大倍，液压传动装置的体积和质量只占相同功率电动机的左右。

③ 液压传动易于实现自动化，特别是采用电液和气液传动时，可实现复杂的自动控制。

④ 液压装置易于实现过载保护。当液压系统超负荷（或系统承受液压冲击）时，液压油可以经溢流阀排回油箱，系统得到过载保护。

⑤ 易于设计、制造。液压元件已实现了标准化、系列化和通用化，液压系统的设计、制造和使用都比较方便，液压元件的排列布置也有很大的灵活性。

液压传动的缺点

① 不能保证严格的传动比。这是由于液压介质的可压缩性和不可避免的泄漏等因素引起的。

② 系统工作时，对温度的变化较为敏感。液压介质的黏性随温度变化而变化，从而使液压系统不易保证在高温和低温下都具有良好的工作稳定性。

③ 在液压传动中，能量需经过两次变换，且液压能在传递过程中有流量和压力损失，所以系统能量损失较大，传输效率较低。

④ 元件的制造精度高、造价高，对其使用和维护提出了较高的要求。

⑤ 出现故障时，比较难以查找和排除，对维修人员的技术水平要求较高。

复习思考题

什么是液压传动？它具有哪些特点？

液压传动系统由哪几部分组成？各组成部分的作用是什么？

液压传动的优点和缺点是什么？

第二章 液 压 传 动 基 础 知 识

液体是液压传动的工作介质，因此，研究、了解液体的主要物理性质，掌握液体平衡和运动的主要力学规律，对于正确理解液压传动原理及合理设计、使用、维护液压系统都是十分重要的。

第一节 液 压 传 动 的 工 作 介 质

液压传动以液体为工作介质传递能量。同时，液体还有润滑、防腐、防锈及冷却作用。工作液性质的不同及品质的优劣会大大影响液压系统的工作性能及工作可靠性。

一、 液 压 液 的 主 要 物 理 性 质

1. 液 压 液 的 密 度

单位体积物质的质量称为该物质的密度 ρ (单位: kg/m^3)，即

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

式中 m ——液体的质量；

V ——液体的体积。

液压液的密度因液体的种类而异，表 2-1 列出几种常用液压液的密度值。液压液的密度随温度的升高而略有减小，随着工作压力的升高而略有增加。通常对这种变化忽略不计，认为矿物油的密度 ρ 随压力略有增加。

表 2-1 液 压 液 的 密 度

种 类	矿物型 液 压 液	水包油 乳 化 液	油包水 乳 化 液	水 酞 二 醇 液 压 液	磷 酸 酯 液 压 液	高 水 基 液 压 液
$\rho / (\text{kg/m}^3)$	800~900	900~950	900~950	950~980	950~980	950

2. 液 压 液 的 可 压 缩 性

液压液的可压缩性是指液体体积随工作压力变化而变化的特性。液体的可压缩性可用体积压缩系数 β 或其倒数——液体的体积弹性模量 K 来表示。

体积压缩系数：

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

体积弹性模量：

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

式中 V ——压力变化前的体积；

Δp ——压力变化值；

ΔV ——在 Δp 的作用下液体体积的变化值。

式中的负号是为了使 β 或 γ 运为正值，因为当 Δp 增大 (压力增加) 时， ΔV 减小 (液体体积减小)。表 1-1 列举了几种常用液压液的体积弹性模量。

表 1-1 常用液压液的体积弹性模量

液压液种类	石油基	乳化液型	水乙二醇型	磷酸酯型
运动黏度	(矿物油) 伊伦 (纯净液体)	伊伦伊伦	伊伦伊伦	伊伦伊伦

由表 1-1 可知，对于石油基液压液，其体积弹性模量是钢 (运动黏度伊伦) 的 $\frac{1}{1000}$ 左右，也就是说，它的可压缩性是钢的 1000 倍。

液压液的体积弹性模量 γ 运与压力、温度等因素有关。当温度升高时， γ 运值将减小；当工作压力增大时， γ 运值会增大。

当液压液中混入气体后，液体的体积弹性模量将大大下降。含气后液压液的综合体积弹性模量为 $\gamma_{混}$ ：

$$\frac{1}{\gamma_{混}} = \frac{V_1}{V} \frac{1}{\gamma_1} + \frac{V_2}{V} \frac{1}{\gamma_2} \quad (1-1)$$

式中 V_1 —— 混入气体的体积；

V_2 —— 纯液体体积；

V —— 混气液体的总体积， $V = V_1 + V_2$ ；

γ_1 —— 气体的体积弹性模量；

γ_2 —— 纯液体的体积弹性模量。

当 $\gamma_1 \ll \gamma_2$ 时， $\gamma_{混} \approx \frac{V_2}{V} \gamma_2$ (体积含气量)，工作压力为 p 时， $\gamma_{混}$ 比纯液体的体积弹性模量下降了近一半。

由于在液压系统中不可避免地存在一定量的游离空气，因此在分析计算时，对矿物基液压液取 $\gamma_{混} \approx \frac{1}{1000} \gamma_2$ 。

在对中低压液压系统进行静态特性分析，对高压系统或对液压系统进行动态特性分析、计算时，必须考虑液压液可压缩性的影响。

1.2 液压液的黏性

流体在外力作用下流动 (或有流动趋势) 时，分子间的内聚力阻止分子间相对运动而产生一种内摩擦力，流体的这种特性称为黏性。黏性的大小可以用黏度来度量。

如图 1-2 所示，两相距 h 的平行平板间充满液体，上平板以速度 u_0 向右运动，下平板静止不动，贴近两平板的液体必黏附在平板上。紧贴于上平板的液体层以与平板相同的速度 u_0 运动，黏附于下平板的液体速度为零，而中间各层液体的运动速度从上到下近似呈线性递减的规律分布。

实验结果表明，液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 成正比，还与液体的种类有关。即

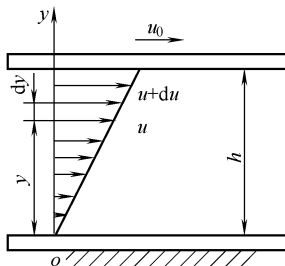


图 1-2 黏性示意图

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{v}{\delta}} \quad (2-1)$$

式中 μ ——动力黏度，其值与液体的种类有关；
 δ ——上平板与液体的接触面积。

由式 (2-1) 可得

$$\mu = \frac{\tau \delta}{v} \quad (2-2)$$

式中， τ 为单位接触面积上的内摩擦力（切应力）， τ 随 v 增大而增大。

动力黏度是一种绝对黏度，它的物理意义是：当速度梯度为 1 时，接触液层间单位面积上的内摩擦力。动力黏度的单位是 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ （泊）或 cP （厘泊）。

液体动力黏度与液体密度的比值称为运动黏度 ν ，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-3)$$

运动黏度的单位是 m^2/s 或 cm^2/s （厘斯， cSt ）。

国产液压油的牌号，就是该液压油在 40°C 时运动黏度 ν 的平均值。如 $\text{L-HL} 32$ 指改善其防锈及抗氧化性的精制矿物油（通用机床液压油），数字 32 表示该液压油在 40°C 时的运动黏度为 32cSt （平均值）。

在工程实际中，常采用先测出液体的相对黏度，然后再换算成绝对黏度的方法来确定工作液的黏度。

相对黏度又叫条件黏度，有恩氏黏度（ E ）、商用雷氏秒（ R ）及通用赛氏秒（ S ）。中国、俄罗斯及德国等国家采用恩氏黏度，美国、英国等国家采用通用赛氏秒及商用雷氏秒。

恩氏黏度 E 的测量方法如下。

将 10mL 被测液体装入底部开有 $\phi 1 \text{mm}$ 小孔的恩氏黏度计的容器内，在保持一特定温度的条件下（常为 20°C ， 30°C ， 50°C ），测定液体在自重作用下流过小孔所需的时间 t_1 ，将其与同体积的蒸馏水在 20°C 时通过同一小孔所需的时间 t_2 相比，其比值就是被测液体在该温度下的恩氏黏度，即

$$\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad \text{或} \quad \text{E} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (2-4)$$

相对黏度与运动黏度可按下列经验公式换算：

$$\nu = \frac{\text{E}}{10} \quad \text{或} \quad \nu = \frac{\text{R}}{10} \quad (2-5)$$

式中， E 为所测液体相对黏度值， E 、 R 、 S 的 E 、 R 、 S 月值见表 2-1 工作压力、温度的变化都会引起工作液黏度发生变化。

表 2-1 恩氏黏度 A、B 值

条件黏度	黏度值	E	R	条件黏度	黏度值	E	R	条件黏度	黏度值	E	R
E	100	100	100	R	100	100	100	S	100	100	100
	10	10	10		10	10	10		10	10	10

当工作压力增大时，工作液分子间的距离减小，黏性增大，其经验公式为

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^n \quad (2-6)$$