



21世纪职业院校规划教材

气、液、电 控制技术

21SHIJI ZHIYE YUANXIAO GUIHUA JIAOCAI QI YE DIAN KONGZHI JISHU

陈耿彪 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪职业院校规划教材

气、液、电控制技术

主编 陈耿彪

参编 王才峰



机械工业出版社

本书主要分为液压传动和气压传动两部分,电气控制穿插其中。通过对具体课题的分析和实训了解和掌握液压传动和气压传动的基本知识和相关理论,具体包括液压传动系统认识与 FluidSIM 软件仿真、自动车床主轴驱动液压泵的特性曲线测定、控制锅炉门双作用液压缸运动参数测量、圆周自动进给机床调速阀特性测量、平面磨床微分回路构造、钻床夹紧力调整回路设计、多缸顺序控制回路安装与调试、M1432B 型万能外圆磨床液压系统故障分析、卧式组合机床液压系统设计、双作用气缸的间接控制、记忆回路与气缸的速度控制、塑料元件模压加工的压力控制、多个执行元件的控制回路安装与调试、工件转换站用切换阀消除信息重叠回路设计等 14 个课题,着重培养学生对机械设备中气动和液压传动回路与电气的故障诊断和排除能力。

本书在内容上力求做到理论与实际相结合,符合循序渐进的教学要求,从打好基础入手,突出机电类高职院校生产实习教学的特点。

本书以职业能力为核心,以项目为学习单元,整合了该领域学生所需掌握的基本知识和技能实践,实用性强,适合高职高专机电类及相关专业作为教材使用,同时也适用于技术工人的继续教育和培训。

图书在版编目 (CIP) 数据

气、液、电控制技术/陈耿彪主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 4
21 世纪职业院校规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 33664 - 8

I. ①气… II. ①陈… III. ①气压传动 - 高等职业教育 - 教材②液压传动 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 036603 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 马 晋 责任编辑: 许文超
版式设计: 霍永明 责任校对: 刘秀丽
封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨 曦
北京京丰印刷厂印刷
2011 年 5 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm × 260mm · 9.5 印张 · 234 千字
0 001 — 3 000 册
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 33664 - 8
定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服 务 中 心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,按照科学发展观的要求,国家出台了一系列重大政策措施,旨在通过改革加快职业教育发展,比如,明确了“以服务为宗旨、以就业为导向”的方针;职业教育基础能力建设得到加强,国家启动实施了“职业教育实训基地建设计划”和“国家示范性高等职业院校建设计划”;职业教育持续快速发展,招生规模迅速扩大。伴随我国高等职业教育的蓬勃发展,相应的教学改革也在不断深化,以职业能力为依据组织课程内容逐渐取代了以往的实验和认知课程。

结合高职高专教育的特点与要求以及编者的教学经验,本书在编写过程中力争克服目前其他机电类专业课程教材存在的问题:重复现象严重,相关课程没有进行有效整合;难度、跨度大,过分强调知识的系统性,重基础理论,轻应用技能;缺乏启发性,教材缺少涉及教学方法的设计,陈述性语言过多,缺少形象的图表与文字相配合;针对性不强,没有与国家职业资格证书鉴定的内容衔接。

本书以面向工作过程的“任务驱动、项目导向”法为编写主线,每个课题(即任务)大小合适、相对独立,既符合职业标准要求,又突出实用性。理论部分简明,技能部分具体;信息量大,尽量多用图示和案例;在体例上抛去章节式结构,改用模块式,一个模块就是一个教学单元,逐块教学,逐块训练,逐块测评与过关,充分突出课程的职业性、实践性和开放性。

全书分为14个课题。第1~9个课题为液压传动,第10~14个课题为气压传动,电气控制穿插在每个课题中,使读者对气压传动、液压传动及电气控制的结构和工作原理有较系统的了解和掌握,对相关的系统控制回路能正确连接,对系统的故障能进行准确诊断及排除。

本书由上海工程技术大学陈耿彪主编(第1~9个课题),参加编写的还有王才峰(第10~14个课题)。

本书为机电类专业教材,适用于高等职业院校、高等专科学校和成人高等学校机电类、机械制造类专业使用,也可作为相应的国家职业培训教材,其中的各课题还可作为中等职业学校或企业职工单项职业能力培训或强化训练之教材。

由于编者水平有限,书中错漏和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

课题1 液压传动系统认识与

FluidSIM 软件仿真 1

1.1 基本知识 1

1.1.1 液压传动的工作原理和系统组成 1

1.1.2 液压油 3

1.1.3 液体静力学 5

1.1.4 液体动力学 6

1.1.5 FluidSIM 仿真软件简介 8

1.2 技能实训 8

1.2.1 技能训练要求 8

1.2.2 技能训练内容 8

1.2.3 操作步骤 9

1.2.4 技能评分标准 9

思考练习 9

课题2 自动车床主轴驱动液压泵

的特性曲线测定 10

2.1 基本知识 10

2.1.1 液压传动中的压力损失 10

2.1.2 液体流经小孔及缝隙的流量 11

2.1.3 液压泵 12

2.2 技能实训 15

2.2.1 技能训练要求 15

2.2.2 技能训练内容 16

2.2.3 操作步骤 16

2.2.4 技能评分标准 17

思考练习 17

课题3 控制锅炉门双作用液压缸

运动参数测量 18

3.1 基本知识 18

3.1.1 执行元件 18

3.1.2 控制元件 21

3.1.3 辅助元件 35

3.2 技能实训 40

3.2.1 技能训练要求 40

3.2.2 技能训练内容 40

3.2.3 操作步骤 41

3.2.4 技能评分标准 41

思考练习 41

课题4 圆周自动进给机床调速阀

特性测量 42

4.1 基本知识 42

4.1.1 容积调速回路 42

4.1.2 容积节流调速回路 44

4.2 技能实训 45

4.2.1 技能训练要求 45

4.2.2 技能训练内容 45

4.2.3 操作步骤 46

4.2.4 技能评分标准 46

思考练习 47

课题5 平面磨床微分回路构造 48

5.1 基本知识 48

5.1.1 快速运动回路 48

5.1.2 速度换接回路 49

5.2 技能实训 50

5.2.1 技能训练要求 50

5.2.2 技能训练内容 51

5.2.3 操作步骤 51

5.2.4 技能评分标准 52

思考练习 52

课题6 钻床夹紧力调整回路设计 53

6.1 基本知识 53

6.1.1 调压回路 53

6.1.2 减压回路 54

6.1.3 卸荷回路 55

6.1.4 增压回路 56

6.1.5 保压回路 57

6.1.6 平衡回路 58

6.2 技能实训 58

6.2.1 技能训练要求 58

6.2.2 技能训练内容 59

6.2.3 操作步骤 59

6.2.4 技能评分标准 59

思考练习	60	10.1 基本知识	92
课题7 多缸顺序控制回路安装与		10.1.1 气压传动系统的工作原理	92
调试	61	10.1.2 气压传动系统的组成和特点	93
7.1 基本知识	61	10.1.3 气源装置	94
7.1.1 同步回路	61	10.1.4 气动辅助元件	95
7.1.2 顺序动作回路	62	10.2 技能实训	98
7.1.3 其他回路	63	10.2.1 技能训练要求	98
7.2 技能实训	65	10.2.2 技能训练内容	98
7.2.1 技能训练要求	65	10.2.3 操作步骤	98
7.2.2 技能训练内容	65	10.2.4 技能评分标准	99
7.2.3 操作步骤	65	思考练习	99
7.2.4 技能评分标准	65	课题11 记忆回路与气缸的速度	
思考练习	66	控制	100
课题8 M1432B 型万能外圆磨床		11.1 基本知识	100
液压系统故障分析	67	11.1.1 气缸	100
8.1 基本知识	67	11.1.2 气动马达	105
8.1.1 液压系统发生故障的概率和		11.2 技能实训	106
原因	67	11.2.1 技能训练要求	106
8.1.2 液压系统故障诊断的步骤	67	11.2.2 技能训练内容	106
8.1.3 液压系统故障诊断的方法	68	11.2.3 操作步骤	106
8.1.4 液压系统常见故障及排除	69	11.2.4 技能评分标准	107
8.2 技能实训	79	思考练习	107
8.2.1 技能训练要求	79	课题12 塑料元件模压加工的压力	
8.2.2 技能训练内容	79	控制	108
8.2.3 操作步骤	80	12.1 基本知识	108
8.2.4 技能评分标准	80	12.1.1 方向控制阀	108
思考练习	81	12.1.2 换向回路	114
课题9 卧式组合机床液压系统设计	82	12.1.3 压力控制阀	115
9.1 基本知识	82	12.1.4 压力控制回路	118
9.1.1 液压系统设计的步骤	82	12.2 技能实训	119
9.1.2 明确设计要求并进行工况分析	82	12.2.1 技能训练要求	119
9.1.3 拟定液压系统原理图	85	12.2.2 技能训练内容	119
9.1.4 液压元件的计算和选择	87	12.2.3 操作步骤	119
9.1.5 液压系统的性能验算	88	12.2.4 技能评分标准	120
9.1.6 绘制工作图和编制技术文件	90	思考练习	120
9.2 技能实训	90	课题13 多个执行元件的控制回路	
9.2.1 技能训练要求	90	安装与调试	121
9.2.2 技能训练内容	90	13.1 基本知识	121
9.2.3 操作步骤	90	13.1.1 流量控制阀	121
9.2.4 技能评分标准	91	13.1.2 速度控制回路	122
思考练习	91	13.1.3 其他控制回路	126
课题10 双作用气缸的间接控制	92	13.2 技能实训	132

13.2.1 技能训练要求	132	14.1.4 故障诊断方法	138
13.2.2 技能训练内容	132	14.1.5 气动系统主要元件的常见故障 及排除方法	139
13.2.3 操作步骤	132	14.2 技能实训	144
13.2.4 技能评分标准	133	14.2.1 技能训练要求	144
思考练习	133	14.2.2 技能训练内容	144
课题 14 工件转换站用切换阀消除 信息重叠回路设计	134	14.2.3 操作步骤	144
14.1 基本知识	134	14.2.4 技能评分标准	144
14.1.1 气动系统的安装与调试	134	思考练习	145
14.1.2 压缩空气的污染及防止方法	136	参考文献	146
14.1.3 故障种类	137		

课题 1 液压传动系统认识与 FluidSIM 软件仿真

【教学目的】

初步了解液压系统的工作原理及基本组成，学会使用 FluidSIM 软件绘制液压系统图并进行仿真分析。

1.1 基本知识

1.1.1 液压传动的工作原理和系统组成

1. 液压传动的工作原理

依照图 1-1 所示的液压千斤顶原理图，简述液压传动的工作原理。

假设活塞在缸体内可自由滑动（无摩擦力）又无液体渗漏，液压缸的工作腔与油管都充满油液并与大气隔绝。

当截止阀 11 截止时，提起杠杆手柄 1→小活塞 3 上移→小缸体 2 中的密封容积增大，形成局部真空→单向阀 4 开启，单向阀 7 关闭→液压油通过吸油管 5 吸入小缸体 2；压下杠杆手柄 1→小活塞 3 下行→小缸体 2 中的密封容积压力增大→单向阀 4 关闭，单向阀 7 开启→液压油通过管道 6 压入大缸体 9→大活塞 8 上行→顶起重物 G。

当截止阀 11 开启时，单向阀 7 关闭→液压油通过管道 10 流入通大气式油箱 12→大活塞 8 下行→重物 G 在重力作用下下落。

通过上面的例子可总结出液压传动的工作原理：在密闭的容器内，以液体为传动介质，依靠密封容积的变化传递运动，依靠液体的静压力传递动力。

2. 液压传动的系统组成

图 1-2 所示为简化了的平面磨床工作台液压传动系统图，图示位置的工作过程如下：

电机驱动液压泵 17 通过过滤器 18 从油箱 19 吸油→液压泵 17 输出的压力油经开停换向阀 10 的右位、节流阀 7、换向阀 5 的左位进入液压缸 2 的左腔→活塞 3 带动固定在活塞杆上的工作台 1 右移→液压缸 2 右腔的液压油经换向阀 5 和回油管 6 流回油箱 19。

若将换向阀 5 的换向手柄 4 拉出，则会推动工作台 1 左移。

若将换向阀 10 的开停手柄 9 拉出，则液压泵输出的压力油将经换向阀 10 的左位直接回油箱，系统处于卸荷状态。

液压传动系统的组成及各组成部分的主要作用见表 1-1。

3. 液压传动系统的图形符号

图 1-2 所示的液压传动系统图是一种半结构式的工作原理图，称为结构原理图。这种原理图直观性强、容易理解，当液压系统发生故障时，根据原理图检查十分方便，但其图形绘制起来比较麻烦，当系统复杂、元件数量多时更是如此。为了简化原理图的绘制，系统中各元件可用符号表示。这些符号只表示元件的职能（即功能）、控制方式及外部接口，不表示

元件的具体结构、参数、连接口的实际位置和元件的安装位置。

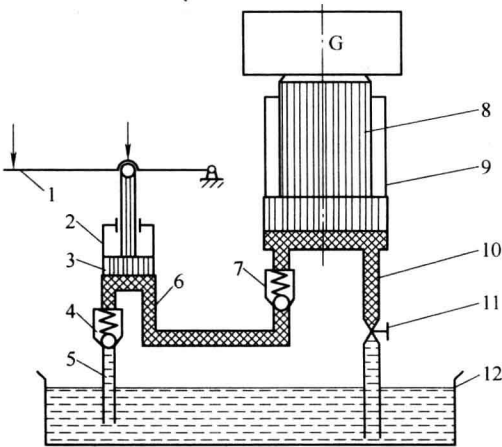


图 1-1 液压千斤顶原理图
1—杠杆手柄 2—小缸体 3—小活塞
4、7—单向阀 5—吸油管 6、10—管道
8—大活塞 9—大缸体 11—截止阀
12—通大气式油箱

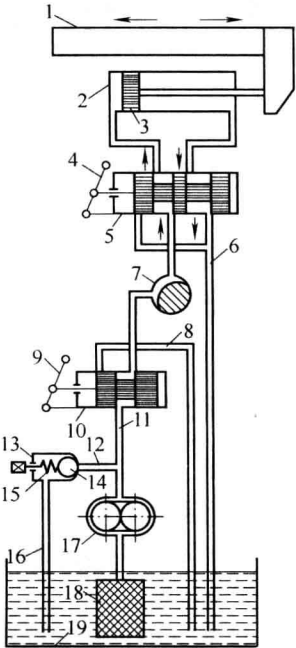


图 1-2 平面磨床工作台
液压系统工作原理图
1—工作台 2—液压缸 3—活塞 4—换向
手柄 5—换向阀 6、8、16—回油管 7—节
流阀 9—开停手柄 10—开停换向阀
11—压力管 12—压力支管 13—溢流阀
14—钢球 15—弹簧 17—液泵
18—过滤器 19—油箱

表 1-1 液压传动系统的组成及各组成部分的主要作用

组成部分	常用元件	作用
动力元件	液压泵	将原动机输入的机械能转换成液体的压力能，向液压系统提供压力油
执行元件	液压缸、液压马达	把液体的压力能转换为机械能，带动机械完成直线往复运动或转动
控制元件	压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀	用来控制和调节液压系统所需的压力、速度和方向
辅助元件	油管、管接头、油箱、过滤器、蓄能器、压力表等	起连接、储油、过滤、储存压力和测量油压等作用
工作介质	液压油	是传递能量的介质，还可起润滑、冷却和防锈作用

常用液压与气动元（辅）件图形符号可参见文献 1。

图 1-3 所示为用图形符号表示的磨床液压系统。

1.1.2 液压油

1. 液压油的用途

液压油主要有以下几种作用：

(1) 传递运动与动力 将液压泵输出的压力能传递给执行元件，但由于液压油本身具有粘性，因而在传递过程中会产生一定的动力损失。

(2) 润滑 液压元件内各移动部位都可受到液压油充分润滑，从而降低元件磨损。

(3) 密封 液压油本身的粘性对细小的间隙有密封的作用。

(4) 冷却 系统损失的能量会变成热能被液压油带出。

2. 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。体积为 V ，质量为 m 的液体的密度 ρ 为

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

矿物油型液压油的密度随温度的上升而有所减少，随压力的提高而稍有增加，但变动值很小，可认为是常量。

我国采用 20℃ 时液压油的密度作为液压油的标准密度，以 ρ_{20} 表示。液压油的密度越大，液压泵的吸入性就越差。

常用液压油和传动液的密度见表 1-2。

(2) 闪火点 油温升高时，部分油会蒸发并与空气混合成油气，此油气所能点火的最低温度称为闪火点。若继续加热，则会持续燃烧，此温度称为燃烧点。

可燃性液体的闪火点和燃烧点表明其发生爆炸或火灾的可能性的 大小，对运输、储存和使用的安全有极大关系。从消防观点来看，液体闪火点就是可能引起火灾的最低温度。闪火点越低，引起火灾的危险性越大。

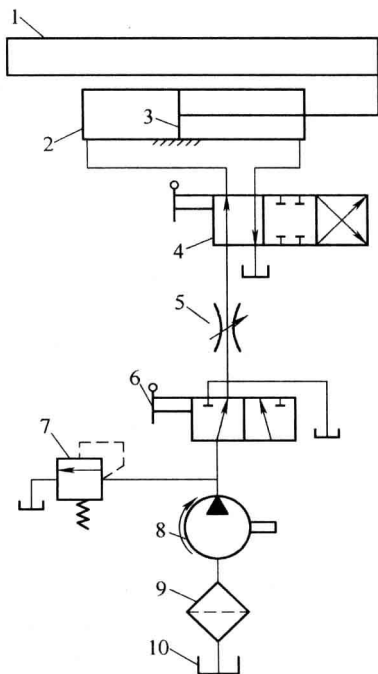


图 1-3 用图形符号表示的磨床液压系统

- 1—工作台 2—液压缸 3—活塞
4—换向阀 5—节流阀 6—开停阀
7—溢流阀 8—液压泵
9—滤油器 10—油箱

表 1-2 常用工作介质的密度

(单位: kg/m^3)

种 类	ρ_{20}	种 类	ρ_{20}
石油基液压油	850 ~ 900	增粘高水基液	1003
水包油乳化液	998	水-乙二醇液	1060
油包水乳化液	932	磷酸酯液	1150

(3) 粘度 液体在外力的作用下流动时，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，这种现象称为液体的粘性。液体只有在流动（或有流动趋势）时才会呈现出粘性，静止液体是不呈现粘性的。

粘度是表征液体流动时内摩擦力大小的量，是衡量液体粘性大小的指标，也是液压油最重要的性质。

我国常用的粘度有 3 种：动力粘度、运动粘度和相对粘度（见表 1-3）。

油液粘度大可以防止泄漏、提高润滑效果，但会使压力损失增大、动作反应变慢、机械效率降低、功率损耗增大；油液粘度低可实现高效率小阻力的动作，但会增加磨损和泄漏，降低容积效率。

表 1-3 我国三种常用粘度比较

粘度类型	换算公式	常用单位换算	特 点
动力粘度	$\tau = \mu \frac{du}{dy}$	1Pa·s（帕·秒）=10P（泊）	当速度梯度等于 1 时，接触液体层间单位面积上的内摩擦力 τ 等于其动力粘度值
运动粘度	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	1m ² /s（平方米每秒）=10 ⁴ St（斯托克斯）	没有明确的物理意义，由于其单位类似于运动学单位，故称为运动粘度
相对粘度	$\nu = \left(7.31^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}} \right) \times 10^{-6}$	—	采用特定的粘度计在规定的条件下测出的液体粘度，各国采用的测量条件各不相同

表中 μ ——动力粘度；
 $\frac{du}{dy}$ ——液层间的速度梯度；
 τ ——单位面积上的摩擦力；
 ρ ——液体密度；
 ν ——运动粘度；
 $^{\circ}\text{E}$ ——中国、德国等国家采用的恩氏粘度。

粘度的主要影响因素见表 1-4。

表 1-4 粘度的主要影响因素

影响因素	定量计算	定性分析
压力	$\nu_p = \nu(1 + \alpha p)$	当液体所受的压力加大时，其分子之间的距离缩小，内聚力增大，粘度也随之增大。在工程实际应用中，当液体压力在低于 50MPa 的情况下，可用左式计算其粘度
温度	—	温度升高时，液体分子间的内聚力减小，其粘度降低。液压油的粘度随温度变化的关系称为液压油的粘温特性，常用粘度指数 VI 表示，VI 值越高，表示粘度随温度变化越小
气泡	$\nu_b = \nu_0(1 + 0.015b)$	液体中混入直径为 0.25 ~ 0.5mm 悬浮状态的气泡时，对液体的粘度有一定的影响，其值可按左式计算

表中 ν_p ——压力为 p 时液体的运动粘度；
 ν ——大气压下液体的运动粘度；
 p ——液体的压力（10⁵Pa）；
 α ——决定于油的粘度及油温的系数，一般取 $\alpha = (0.002 \sim 0.004) \times 10^{-5}$ （1/Pa）；
 b ——混入空气的体积百分数；
 ν_0 ——不含空气时液体的运动粘度；
 ν_b ——混入 $b\%$ 的空气时，液体的运动粘度。

1.1.3 液体静力学

液体静力学主要研究静止液体的平衡规律以及这些规律的应用。静止液体是指内部质点间无相对运动的液体。

1. 液体的静压力及其特性

静止液体在单位面积上所受的力称为静压力。静压力在液压传动中简称压力，在物理学中则称为压强。

静止液体中某点处微小面积 ΔA 上作用有法向力 ΔF ，则该点的压力定义为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-2)$$

若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

我国采用法定计量单位 Pa 来计量压力， $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ ，液压技术中习惯用 MPa (N/mm^2)，在企业中还习惯使用 bar (kgf/cm^2) 作为压力单位，各单位关系为 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa} = 10\text{bar}$ 。

液体静压力有如下两个重要特性：

- 1) 液体静压力垂直于承压面，其方向和该面的内法线方向一致。这是由于液体质点间的内聚力很小，不能受拉只能受压所致。
- 2) 静止液体内任一点所受到的压力在各个方向上都相等。不妨假设某点受到的压力在某个方向上不相等，那么液体就会流动，这就违背了液体静止的条件。

2. 液体静压力的基本方程

假设在静止不动的液体中有图 1-4 所示的一个高度为 h ，底面积为 ΔA 的假想微小液柱。表面上的压力为 p_0 ，试求其在 A 点处的压力。

因这个小液柱在重力及周围液体的压力作用下处于平衡状态，则其在垂直方向上的力平衡关系为

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A \quad (1-4)$$

式中， $\rho gh\Delta A$ 为小液柱的重力， ρ 为液体的密度，上式化简后为

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-5)$$

式 (1-5) 为静压力的基本方程。

此式表明：

- 1) 静止液体中任何一点的静压力为作用在液面的压力 p_0 和液体重力所产生的压力 ρgh 之和。
- 2) 液体中的静压力随着深度 h 的增加而线性增加。
- 3) 在连通器里，静止液体中只要深度 h 相同，其压力就相等。

液体在受外界压力作用的情况下，自重所形成的那部分压力 ρgh 相对甚小，在液压系统

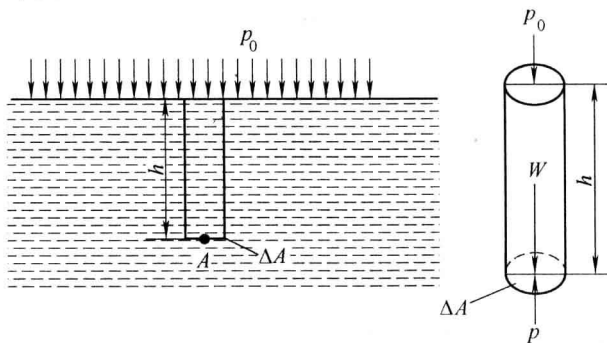


图 1-4 离液面 h 深处的压力

中常可忽略不计,因而可近似认为整个液体内部的压力是相等的。在分析液压系统的压力时,一般都采用这一结论。

3. 压力的表示方法

根据度量方法的不同,有表压力(又称相对压力) p (gauge pressure) 和绝对压力 p_{abs} (absolute pressure) 之分。以当地大气压力 p_{at} (atmosphere) 为基准所表示的压力称为表压力,以绝对零压力作为基准所表示的压力称为绝对压力。

若液体中某点处的绝对压力小于大气压力,则此时该点的绝对压力比大气压力小的那部分压力值,称为真空度。即真空度 = 大气压力 - 绝对压力。

有关表压力、绝对压力和真空度的关系如图 1-5 所示。

注意:如不特别指明,液、气压传动中所提到的压力均为表压力。

4. 压力的传递

如图 1-6 所示,大、小活塞的面积分别为 A_2 、 A_1 ,在小活塞上加一外力 F ,在大活塞上有重物,施加压力 G ,则小液压缸中液体的压力为 $p_1 = F/A_1$ 、大液压缸中液体的压力为 $p_2 = G/A_2$ 。根据帕斯卡原理,在密封容器内,施加于静止液体上的各点压力将以等值同时传递到液体各点,容器内压力方向垂直于内表面,有 $p_1 = p_2$,故容器内的液体各点压力为

$$p = \frac{F}{A_1} = \frac{G}{A_2} \quad (1-6)$$

式(1-6)包含了一个很重要的概念,即在液压传动中工作压力取决于负载,而与流入的流体多少无关。

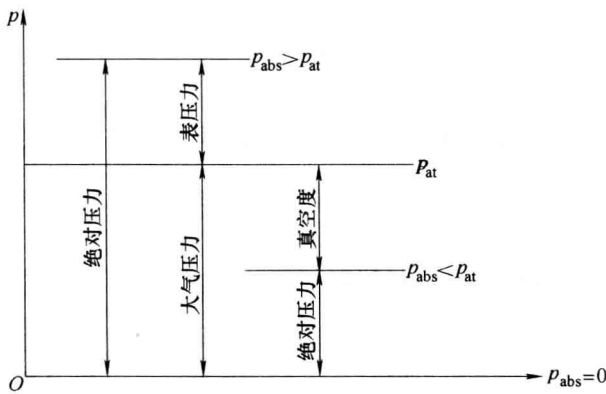


图 1-5 表压力、绝对压力和真空度的关系

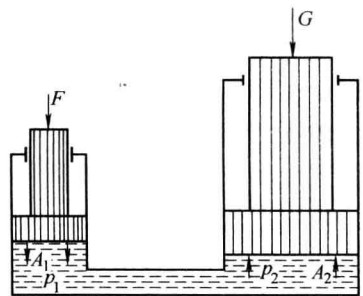


图 1-6 液压传动原理

1.1.4 液体动力学

在液压传动中,液压油总是在不断地流动着,所以必须清楚液体运动时的现象和规律。

1. 基本概念

理想液体指假定的既无粘性又无压缩性的液体。

稳定流动是指液体中任何一点的压力、速度和密度都不随时间而变化的液体流动。

过流断面指垂直于液体流动方向的截面,或称通流截面。

流量就是单位时间内通过某过流断面的液体的体积。

平均流速：实际中液体在管道中流动时的速度分布规律为抛物线，计算较为困难。为了计算方便，假定流速是均匀分布的，称为平均流速。

流动液体的压力由于有惯性和粘性的影响，不像静止液体内任意点处的压力在各个方向都是相等的，其各个方向的压力各不一样，但相差甚微，可近似看作相等。

通过雷诺数判定，液体的流动状态有层流和湍流之分。前者指液体流动时各质点沿直线运动，互不干扰，没有横向运动，各层间液体互不混杂；后者指液体质点除了沿管路运动外，还有横向运动，呈紊乱混杂状态。

2. 流动液体的连续定理

对稳流而言，液体以稳流流动通过管内任一截面的质量必然相等。如图 1-7 所示管内两个流通截面面积为 A_1 和 A_2 ，流速分别为 v_1 和 v_2 ，则通过任一截面的流量 Q 为

$$Q = Av = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{常数} \quad (1-7)$$

流量的单位通常用 L/min 表示，与 m^3/s 的换算式为： $1\text{m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{L}/\text{min}$ 。

式 (1-7) 即为连续定理，由此式可得出另一个重要的基本概念，即流体的运动速度取决于流量，而与其压力无关。

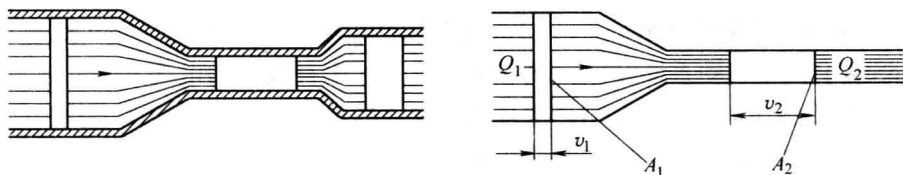


图 1-7 管路中液体流动图

3. 伯努利方程

在没有粘性和不可压缩的稳流中（见图 1-8），依能量守恒定律可得

$$\frac{p}{\rho g} + h + \frac{v^2}{2g} = \text{常数 } H \quad (1-8)$$

式中 p ——压力 (Pa)；
 ρ ——密度 (kg/m^3)；
 v ——流速 (m/s)；
 g ——重力加速度 (m/s^2)；
 h ——水位高度 (m)。

式 (1-8) 称为理想液体的伯努利方程，其物理意义如下：

1) 在密封管道内做稳定流动的理想液体具有三种形式的能量，即压力能、动能和位能，它们之间可以互相转换，并且在管道内任意处的这三种能量总和是一定的，因此也称为能量守恒。

2) 在伯努利方程中， $p/\rho g$ 、 h 和 $v^2/2g$ 都是长度的量纲，一般分别称为压力头、位置头和速度头，三者之和为一常数，用 H 表示。

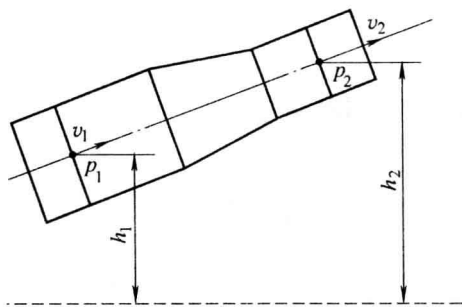


图 1-8 不同截面的液体流动情况示意图

3) 若管道水平放置($h_1 = h_2$), $\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$, 表明液体的流速越高, 它的压力就越低,

即管道截面越细, 流速越高, 压力越低, 反之亦然。

实际液体都具有粘性, 在液体运动时由于粘性摩擦而损失一部分能量, 在伯努利方程中应考虑进去, 其伯努利方程为

$$\frac{p_1}{\rho g} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum H_v \quad (1-9)$$

式中, $\sum H_v$ 表示因粘性而产生的能量损失 (m)。

1.1.5 FluidSIM 仿真软件简介

液压传动在机电一体化系统设计中占有很重要的地位, 如何快速有效地进行液压系统设计, 是机电一体化设计人员所关心的问题。Festo 公司开发的 FluidSIM 软件能对液压系统进行快速有效的设计, 并能对所设计的系统进行仿真, 检验系统的工作过程是否符合设计要求。

FluidSIM 软件由德国 Festo 公司和 Paderborn 大学联合开发, 是专门用于液压、气动及电液、电气回路设计及仿真的软件。它由两个软件组成, 其中 FluidSIM-H 用于液压系统设计, FluidSIM-P 用于气动系统设计。该软件在元件库中有大量的电气元件: 电源、开关、继电器以及各种传感器。使用时, 用户按自己所设计的电控系统在元件库中找出所需元件, 逐个拖拽到作图页面上, 把这些电气元件按自己的设计连接成电气控制系统。电气元件和液动元件之间通过标签建立联系。

在绘图过程中, FluidSIM 软件将检查各元件之间连接是否可行, 可对基于元件物理模型的回路图进行实际仿真, 观察到各元件的物理量值, 如气缸的运动速度、输出力、节流阀的开度、气路的压力等, 这样就能预先了解回路的动态特性, 从而正确地估计回路实际运行时的工作状态。这为分析、研究、设计及优化设计方案提供了有力保证。

完成液压和电气设计后, 在软件中进行电-液回路仿真, 检验设计能否满足设计要求。仿真完成后, 在液压传动实验台上搭建设计回路和控制系统, 通过实验验证所设计系统的可行性。

1.2 技能实训

1.2.1 技能训练要求

- 1) 掌握图 1-2 所示平面磨床工作台液压系统的工作原理、作用。
- 2) 用 FluidSIM 软件进行平面磨床工作台液压系统的绘图与仿真。
- 3) 在综合实训台上正确安装、调试平面磨床工作台的液压系统回路。
- 4) 时间: 40min。

1.2.2 技能训练内容

- 1) 用 FluidSIM 软件绘制平面磨床工作台的液压系统回路图并仿真。

- 2) 在综合实训台上安装、调试平面磨床工作台的液压系统回路。
- 3) 严格遵守安全、文明操作规程。

1.2.3 操作步骤

- 1) 用 FluidSIM 软件绘制液压回路图并仿真。
- 2) 按如图 1-2 所示的液压回路图选择合适的液压元件。
- 3) 牢固安装、连接各元件。
- 4) 自检。
- 5) 检查无误后启动液压系统。
- 6) 切换换向阀手柄，实现其工作要求。

1.2.4 技能评分标准（见表 1-5）

表 1-5 技能评分标准

序号	技能要求	配分	评分标准	得分
1	元件选择	10	选错一件扣 5 分	
2	安装液压系统	20	每错一处扣 5 分	
3	液压缸的动作方向控制	10	运动方向错误一次扣 5 分	
4	液压故障排除	20	一次排除不出扣 10 分	
5	FluidSIM 软件仿真	30	绘图不符合标准每处扣 5 分	
6	安全、文明生产	10	违反安全文明生产规程扣 10 分	
备注	1. 超时 5min 以内，扣得分 15% 2. 超时 5 ~ 10min，扣得分 50% 3. 超时 10min 以上，扣得分 100%			

思考练习

- 1-1 什么是液压传动系统图？什么是元件、回路和系统？
- 1-2 什么是压力与压强？压力的单位是什么？
- 1-3 什么是流动液体的能量方程（伯努利方程）？它的物理意义是什么？在液压传动中为什么只考虑油液的压力能？
- 1-4 液压元件有几大类？各包括哪些元件？

课题2 自动车床主轴驱动液压泵的特性曲线测定

【教学目的】

通过对自动车床主轴驱动液压泵的特性曲线测定，掌握液压泵的结构及工作特点，以及有关压力损失和液体流经小孔流量的计算知识。

2.1 基本知识

2.1.1 液压传动中的压力损失

实际中液体具有粘性，在管道中流动时会产生阻力，这种阻力称为液阻。液体流动克服液阻时存在能量消耗，在液压传动中表现为压力损失，可分为沿程压力损失和局部压力损失两类。

1. 沿程压力损失

液体在直管中流动时，由于液体的粘性作用，在液体分子间、液体与管壁间都存在摩擦阻力，克服这些摩擦阻力而消耗的能量损失称为沿程压力损失。

液体在直管中流动时的沿程压力损失可用如下公式确定：

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

式中 Δp_{λ} ——沿程压力损失 (Pa)；

λ ——管路的沿程阻力系数；

ρ ——液体密度 (kg/m^3)；

v ——液体的平均流速 (m/s)；

l ——液体流经管道长度 (m)；

d ——管道内径 (m)。

沿程阻力系数 λ 与流体状态有关，即与雷诺数有关。湍流流动时的压力损失比层流流动时的压力损失大。因此，在液压系统中应尽可能使液体在管路中作层流运动。

2. 局部压力损失

液压油流经局部障碍时，由于液流的方向和速度突然变化，在局部形成旋涡引起液压油质点间及质点与固体壁面间互相碰撞和剧烈摩擦而产生的能量损失，称为局部压力损失。

局部压力损失一般由试验求得：

$$\Delta p_{\zeta} = \zeta \rho \frac{v^2}{2} \quad (2-2)$$

式中 Δp_{ζ} ——局部压力损失 (Pa)；

ζ ——管路的局部阻力系数，由试验求得；