

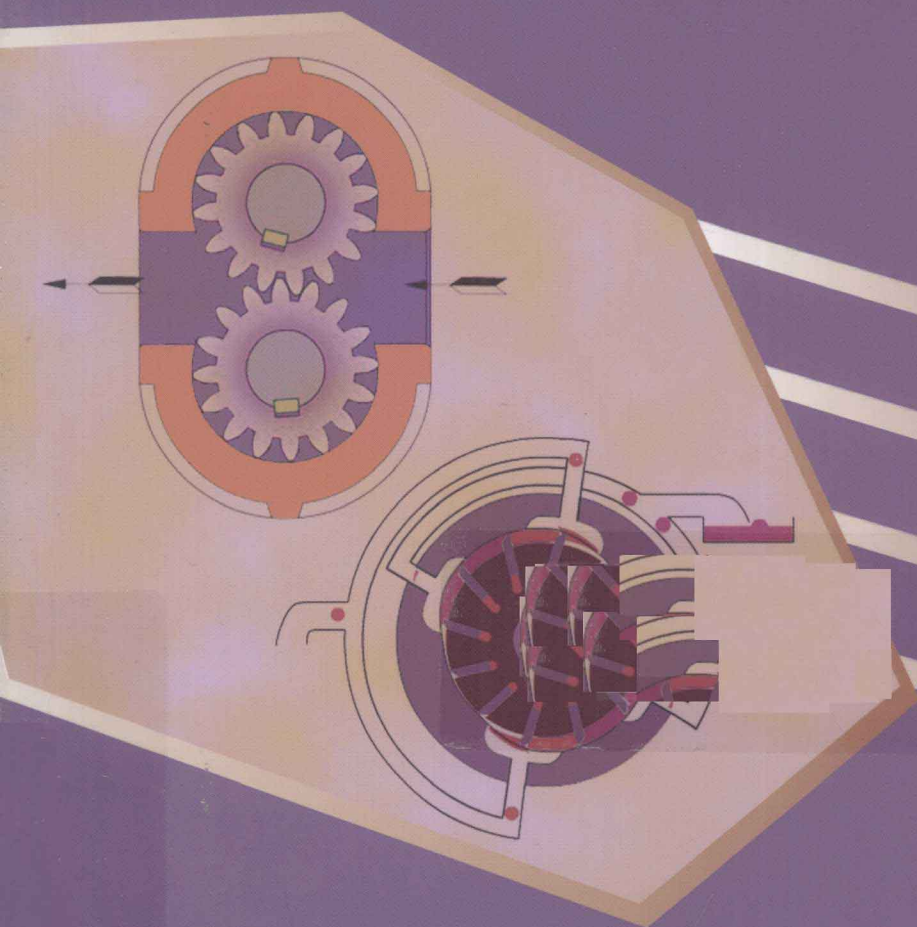


全国高职高专教育“十一五”规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

# 液压与气压传动技术

肖龙主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

机械制造系列

# 液压与气压传动技术

Yeya yu Qiya Chuandong Jishu

肖龙 主编

质检



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书从工程应用的角度结合具体工程案例讲述液压与气压传动的基本原理、特点、使用,液压与气动元件及附件的工作原理、基本结构、特点、使用与维护、常见故障及排除,以及液压及气动系统基本回路及其在典型设备中的应用、常见故障及其排除,在每章后面均给出了相应的思考题和练习题。

基于本课程在技能型人才培养机械类课程专业知识、能力构成中的位置及本门技术的特点,本书在编写时突出了在工程实际中训练和提高学生的综合素质及工程能力的特点,注意教、学、做三结合。

本书可作为高等职业技术教育机械、近机类专业教学用书,也可作为教师或企业生产技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术/肖龙主编. —北京:高等教育出版社,2011.1

ISBN 978-7-04-031144-0

I. ①液… II. ①肖… III. ①液压传动-高等学校:技术学校-教材②气压传动-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 245910 号

策划编辑 查成东 责任编辑 项 杨 封面设计 张而微 责任绘图 尹 莉  
版式设计 马敬茹 责任校对 杨健艺 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京宏信印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 20  
字 数 480 000

购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 1 月第 1 版  
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷  
定 价 30.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31144-00

# 前 言

针对高等职业教育注重实际技术和能力培养的特点,本书在介绍液压和气压传动基础理论的同时,重点强调基本知识和基本技能。

为突出高等职业教育的要求,本书有以下特点:

(1) 在保持系统性和完整性的基础上尽量压缩、简化理论的推导过程,增加一些实用性较强、与生产实际相近的实例,如液压系统在机床中的应用等。

(2) 任务驱动内容体系。以培养学生实际能力为主线,按照加强针对性、突出实用性、体现先进性的原则,构建教材的内容体系。

(3) 由浅入深,突出综合能力的培养。

(4) 为适应高职高专学生的学习需求,各章均列出知识点和训练项目,供学生学习时参考。

本书充分体现了高职高专教育的特点,集理论和应用于一体,注重基础性,保证基础理论以够用为度,强调方法应用,同时突出应用性,注重培养学生分析问题和解决问题的能力。本书叙述简明,概念清楚,知识结构合理,重点突出,内容深入浅出,语言通俗易懂,图文并茂,例题、习题丰富。

本教材由河南职业技术学院肖龙担任主编,负责全书的总体规划和具体实施工作。河南职业技术学院楚雪平、赵玉剑参加了本书的编写工作。具体分工如下:肖龙编写1、7章,赵玉剑编写2、3、4、5、6章,楚雪平编写8、9、10、11、12、13、14章和附录。肖龙负责全书的统稿。

限于作者水平,书中难免存在不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2010年10月

# 目 录

第1章 液压与气压传动概述 .....	1	2.3.2 连续性方程 .....	19
【知识点】 .....	1	2.3.3 伯努利方程 .....	19
【训练项目】 .....	1	2.3.4 动量方程 .....	20
§1.1 液压与气压传动的研究		§2.4 液体流动的压力损失 .....	20
对象 .....	1	2.4.1 沿程压力损失 .....	21
§1.2 液压与气压传动的工作		2.4.2 局部压力损失 .....	21
原理 .....	1	2.4.3 管路中的总压力损失 .....	21
§1.3 液压与气压传动系统的实例		§2.5 液体流经小孔及间隙的	
与组成 .....	4	流量 .....	22
1.3.1 液压与气压传动系统的实例 .....	4	2.5.1 小孔流量 .....	22
1.3.2 液压与气压传动系统的组成 .....	6	2.5.2 液体流经间隙的流量 .....	23
§1.4 液压与气压传动的特点与		§2.6 液压冲击与空穴现象 .....	25
应用 .....	6	2.6.1 液压冲击 .....	25
1.4.1 液压传动的特点 .....	6	2.6.2 空穴现象 .....	26
1.4.2 气压传动的特点 .....	7	【思考题和练习题】 .....	27
1.4.3 液压与气压传动的应用 .....	7	第3章 液压力元件 .....	31
1.4.4 液压与气压传动的发展 .....	8	【知识点】 .....	31
【思考题和练习题】 .....	8	【训练项目】 .....	31
第2章 液压油及液压流体力学基础 .....	9	§3.1 液压泵概述 .....	31
【知识点】 .....	9	3.1.1 液压泵的分类 .....	31
【训练项目】 .....	9	3.1.2 液压泵的工作原理及特点 .....	31
§2.1 液压油 .....	9	3.1.3 液压泵的性能参数 .....	32
2.1.1 液压油的物理性质 .....	9	§3.2 齿轮泵 .....	35
2.1.2 液压油的选用 .....	11	3.2.1 外啮合齿轮泵 .....	36
§2.2 液体静力学基础 .....	12	3.2.2 内啮合齿轮泵 .....	38
2.2.1 液体静压力及其特性 .....	12	§3.3 叶片泵 .....	39
2.2.2 压力的表示方法及单位 .....	13	3.3.1 双作用叶片泵 .....	39
2.2.3 液体静力学基本方程 .....	13	3.3.2 单作用叶片泵 .....	42
2.2.4 液体静压力的传递 .....	14	§3.4 柱塞泵 .....	45
2.2.5 静止液体对容器壁面的		3.4.1 轴向柱塞泵 .....	45
作用力 .....	14	3.4.2 径向柱塞泵 .....	49
§2.3 液体动力学基础 .....	16	§3.5 液压泵的选用 .....	50
2.3.1 基本概念 .....	16	§3.6 液压泵常见故障及其排除	
		方法 .....	51

【思考题和练习题】 .....	55	6.1.1 过滤器的功用和性能 .....	114
<b>第4章 液压执行元件</b> .....	56	6.1.2 过滤器的类型 .....	115
【知识点】 .....	56	6.1.3 过滤器的安装 .....	118
【训练项目】 .....	56	§6.2 蓄能器 .....	119
§4.1 液压马达 .....	56	6.2.1 蓄能器的功用和分类 .....	119
4.1.1 液压马达的特点及分类 .....	56	6.2.2 蓄能器的安装、使用与 容量计算 .....	123
4.1.2 液压马达的工作原理 .....	56	§6.3 油箱及其附件 .....	125
4.1.3 液压马达的主要性能参数 .....	58	6.3.1 油箱的功用与类型 .....	125
§4.2 液压缸 .....	59	6.3.2 油箱的结构 .....	125
4.2.1 液压缸的类型和特点 .....	59	6.3.3 热交换器 .....	127
4.2.2 液压缸的工作原理 .....	59	§6.4 管道与管接头 .....	130
4.2.3 液压缸的典型结构 .....	64	6.4.1 管道 .....	130
4.2.4 液压缸常见故障及排除方法 .....	69	6.4.2 管接头 .....	132
【思考题和练习题】 .....	71	§6.5 密封装置 .....	137
<b>第5章 液压控制元件</b> .....	72	6.5.1 密封装置的功用和分类 .....	137
【知识点】 .....	72	6.5.2 密封圈的种类和特点 .....	137
【训练项目】 .....	72	【思考题和练习题】 .....	140
§5.1 液压控制阀概述 .....	72	<b>第7章 液压基本回路</b> .....	141
5.1.1 对液压控制阀的基本要求 .....	72	【知识点】 .....	141
5.1.2 液压控制阀的类型 .....	72	【训练项目】 .....	141
5.1.3 液压控制阀的参数和职能 符号 .....	73	§7.1 方向控制回路 .....	142
§5.2 方向控制阀 .....	74	7.1.1 换向回路 .....	142
5.2.1 单向阀 .....	74	7.1.2 锁紧回路 .....	146
5.2.2 换向阀 .....	78	§7.2 压力控制回路 .....	148
§5.3 压力控制阀 .....	89	7.2.1 调压回路 .....	148
5.3.1 溢流阀 .....	89	7.2.2 减压回路 .....	150
5.3.2 减压阀 .....	95	7.2.3 增压回路 .....	152
5.3.3 顺序阀 .....	100	7.2.4 卸荷回路 .....	154
5.3.4 压力继电器 .....	103	7.2.5 保压回路 .....	156
§5.4 流量控制阀 .....	105	7.2.6 平衡回路 .....	159
5.4.1 流量控制原理及节流口的 形式 .....	106	§7.3 速度控制回路 .....	160
5.4.2 节流阀 .....	107	7.3.1 调速回路 .....	160
5.4.3 调速阀 .....	109	7.3.2 快速运动回路 .....	165
【思考题和练习题】 .....	112	7.3.3 速度换接回路 .....	167
<b>第6章 液压辅助装置</b> .....	114	§7.4 多缸工作控制回路 .....	169
【知识点】 .....	114	7.4.1 顺序动作控制回路 .....	169
【训练项目】 .....	114	7.4.2 同步动作控制回路 .....	171
§6.1 过滤器 .....	114	7.4.3 多执行元件互不干扰回路 .....	173
		7.4.4 互锁回路 .....	174

【思考题和练习题】 .....	175	要求 .....	218
<b>第 8 章 典型液压系统</b> .....	178	10.1.2 气源装置的组成和布置 .....	219
【知识点】 .....	178	10.1.3 空气压缩机 .....	220
【训练项目】 .....	178	10.1.4 气源装置辅助元件 .....	221
§ 8.1 组合机床 YT4543 型动力滑台液压系统 .....	178	§ 10.2 气动执行元件 .....	225
8.1.1 组合机床动力滑台简介 .....	178	10.2.1 气缸 .....	225
8.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统的原理及特点 .....	179	10.2.2 气动马达 .....	230
§ 8.2 数控机床液压系统 .....	182	§ 10.3 气动控制元件 .....	232
8.2.1 数控机床液压系统实现的功能 .....	182	10.3.1 方向控制阀 .....	232
8.2.2 数控机床典型液压系统 .....	183	10.3.2 压力控制阀 .....	238
§ 8.3 注塑机液压系统 .....	189	10.3.3 流量控制阀 .....	241
8.3.1 概述 .....	189	§ 10.4 气动逻辑元件 .....	242
8.3.2 注塑机液压系统的工作原理及特点 .....	190	§ 10.5 气动辅助元件 .....	245
【思考题和练习题】 .....	196	10.5.1 油雾器 .....	245
<b>第 9 章 液压系统的安装、调试与使用</b> .....	200	10.5.2 气动三联件 .....	246
【知识点】 .....	200	10.5.3 消声器 .....	247
【训练项目】 .....	200	10.5.4 气-液转换器 .....	248
§ 9.1 液压系统的安装与调试 .....	200	10.5.5 管道连接件 .....	249
9.1.1 液压系统的安装 .....	200	【思考题和练习题】 .....	249
9.1.2 液压系统的调试 .....	202	<b>第 11 章 气动基本回路及常用回路</b> .....	250
§ 9.2 液压系统的使用与维护 .....	203	【知识点】 .....	250
9.2.1 液压系统使用中的注意事项 .....	203	【训练项目】 .....	250
9.2.2 液压系统的维护 .....	204	§ 11.1 气动基本回路 .....	250
§ 9.3 液压系统常见故障分析与排除 .....	206	11.1.1 方向控制基本回路 .....	250
9.3.1 液压系统故障诊断的常用方法 .....	206	11.1.2 压力控制基本回路 .....	252
9.3.2 液压系统常见故障及排除方法 .....	209	11.1.3 速度控制基本回路 .....	253
【思考题和练习题】 .....	217	§ 11.2 气动常用回路 .....	257
<b>第 10 章 气压传动元件</b> .....	218	11.2.1 安全保护回路 .....	257
【知识点】 .....	218	11.2.2 往复回路 .....	259
【训练项目】 .....	218	11.2.3 延时控制回路 .....	260
§ 10.1 气源装置及其辅件 .....	218	11.2.4 位置控制回路 .....	261
10.1.1 气动系统对压缩空气的		【思考题和练习题】 .....	262
		<b>第 12 章 气动系统应用实例</b> .....	264
		【知识点】 .....	264
		【训练项目】 .....	264
		§ 12.1 数控加工中心气动换刀系统 .....	264
		§ 12.2 工件夹紧气压传动系统 .....	266
		§ 12.3 车门气动控制系统 .....	267
		【思考题和练习题】 .....	268

第 13 章 气动系统的电气控制 .....	270	14.1.2 气动系统的调试 .....	289
【知识点】 .....	270	§ 14.2 气动系统的使用与维护 .....	290
【训练项目】 .....	270	14.2.1 气动系统使用的注意事项 .....	290
§ 13.1 气动系统的控制方式 .....	270	14.2.2 压缩空气的污染及防止 方法 .....	290
13.1.1 纯气动控制方式 .....	270	14.2.3 气动系统的日常维护 .....	291
13.1.2 电气控制方式 .....	270	14.2.4 气动系统的定期检修 .....	291
§ 13.2 气动系统的电气控制 .....	271	§ 14.3 气动系统的常见故障及排除 方法 .....	292
13.2.1 常用电气元件基本符号 .....	271	14.3.1 压缩空气中的杂质引起气动 系统的常见故障及排除方法 .....	292
13.2.2 电气回路图绘图原则 .....	273	14.3.2 气动控制元件的常见故障及 排除方法 .....	292
13.2.3 基本电气回路 .....	273	14.3.3 气动执行元件的常见故障及 排除方法 .....	295
§ 13.3 电气-气动回路设计 .....	276	14.3.4 气动辅件的常见故障及排除 方法 .....	297
13.3.1 用直觉法(经验法)设计 电气回路 .....	276	【思考题和练习题】 .....	297
13.3.2 用串联法设计电气回路 .....	282	附录 常用液压与气动图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009) .....	298
【思考题和练习题】 .....	287		
第 14 章 气动系统的安装、调试与 使用 .....	288		
【知识点】 .....	288		
【训练项目】 .....	288		
§ 14.1 气动系统的安装与调试 .....	288		
14.1.1 气动系统的安装 .....	288		



# 第1章 液压与气压传动概述

## ◆ 知识点

液气压传动的工作原理,液气压传动中力的关系、运动的关系和功率的关系,液气压传动系统的组成,液气压传动的特点,液气压传动的发展趋势。

## ◆ 训练项目

参观液气压传动实训室,对液气压传动系统有感性认识;观察常见液气压元件的结构。

## 1.1 液压与气压传动的研究对象

液压与气压传动是研究以有压流体(压力油或压缩空气)为能源介质来实现各种机械传动和自动控制的学科。液压传动与气压传动实现传动和控制的方法基本相同,都是根据流体力学的基本原理,利用流体的压力能进行能量的传递和控制各种机械零部件运动。利用各种元件组成所需要的基本回路,再由若干基本回路有机组合成能完成一定控制功能的传动系统,进而实现能量的转换、传递与控制。因此,研究液压与气压传动及其控制技术,就必须首先了解传动介质的基本物理性能及其静力学、运动学和动力学特性,研究各类元件的结构、工作原理和性能以及由此组成的各种基本回路的性能和特点,并在此基础上进行液压与气压传动控制系统的设计。

液压传动所用的工作介质是液体(主要是矿物油),气压传动所用的工作介质为压缩空气。由于这两种流体的性质不同,所以液压传动与气压传动有其各自的特点。由于液体工作压力高(一般可达32 MPa,个别场合更高),所以液压传动传递的动力大、运动平稳,但由于液体粘性较大,在流动过程中阻力损失大,因而不宜作远距离的传动和控制。气压传动由于空气的可压缩性大、工作压力低(一般在1 MPa以下),所以传递的动力较小,运动也不如液压传动平稳,但空气粘性小,流动过程中阻力小、速度快、反应灵敏,因而适于较远距离的传动与控制,且组成气压传动系统的成本较低。实际工作中可根据需要选择使用液压传动或气压传动,也可综合利用两者的优势,采用以压缩空气为动力,以液压油作为控制调节气动执行元件运动速度的介质,气液联合传递运动,可获得既经济又平稳的传动效果。

## 1.2 液压与气压传动的工作原理

以图1-1所示的液压千斤顶为例简要说明液压传动的工作原理。

如图1-1所示,由大缸体9和大活塞8组成举升液压缸。杠杆手柄1、小缸体2、小活塞3、单向阀4和7组成手动液压泵。如提动手柄使小活塞向上移动,小活塞下端油腔容积增大,形成局

部真空,此时油箱 12 中的油液会在大气压力的作用下,经吸油管 5 顶开单向阀 4 进入泵下腔;用力压下手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,下腔内的油液经管道 6 顶开单向阀 7 进入举升液压缸(大缸体 9)的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,举升液压缸下腔的压力油将力图倒流入手动液压泵内,但此时单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。反复上下扳动杠杆手柄,液压油则会不断地进入大缸内,重物就会慢慢升起。手动液压泵停止工作,大活塞便停止运动。打开截止阀 11,举升液压缸下腔的油液在重力的作用下通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物随大活塞一起向下移动并落回原位。下面分析液压千斤顶两活塞之间的力关系、运动关系和功率关系。

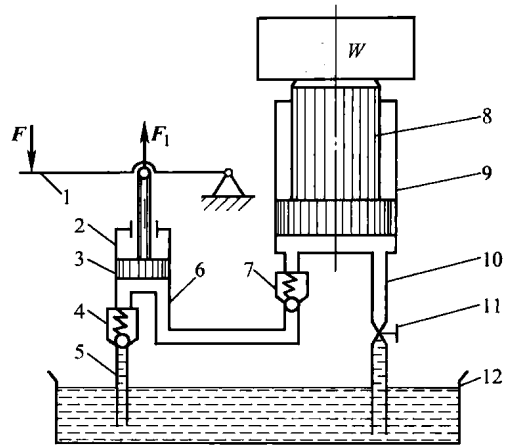


图 1-1 液压千斤顶工作原理  
1—杠杆手柄;2—小缸体;3—小活塞;4、7—单向阀;  
5—吸油管;6、10—管道;8—大活塞;9—大缸体;  
11—截止阀;12—油箱

### 1. 力关系

当大活塞上有重物负载  $W$  时,大活塞下腔的油液将会产生一定的压力  $p$ ,  $p = W/A_2$ ,在大活塞上行的过程中,单向阀 7 开启,大、小活塞下腔连通,若不计任何压力损失,并根据帕斯卡原理“在密闭容器内,施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点”,要顶起大活塞及其重物负载  $W$ ,在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力  $p$ ,即小活塞上必须施加力  $F_1$ ,  $F_1 = pA_1$ ,因而有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$

或

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

式中:  $A_1$ 、 $A_2$ ——小活塞和大活塞的作用面积;

$F_1$ ——杠杆作用在小活塞上的力。

式 (1-1) 是液压与气压传动中力传递的基本公式,由于  $p = W/A_2$ ,所以当负载  $W$  变化时,流体工作压力  $p$  也随之发生变化。如果负载  $W$  增大,则液体工作压力  $p$  也要随之增大,亦即  $F_1$  也要随之增大;反之,若负载  $W$  减小,则液体工作压力  $p$  就降低,亦即  $F_1$  也随之减小。由此可建立一个很重要的基本概念,即“在液压和气压传动中,工作压力取决于负载,而与流入的流体多少无关”。此外,从式 (1-1) 可看出,小小千斤顶之所以能举升重物,是由于存在很大的面积比  $A_2/A_1$  的缘故。

### 2. 运动关系

若不考虑液体的可压缩性、泄漏和缸体、管路的变形,则从图 1-1 中可以看出,被小活塞挤出的油液的体积必然等于大活塞向上升起后大缸扩大的体积,即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-2)$$

式中： $h_1$ 、 $h_2$ ——小活塞和大活塞的位移。

从式(1-2)可知，两活塞的位移和两活塞的面积成反比，将  $A_1 h_1 = A_2 h_2$  两端同除以活塞移动的时间  $t$  得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

即

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-3)$$

式中： $v_1$ 、 $v_2$ ——小活塞和大活塞的运动速度。

从式(1-3)可看出，活塞的运动速度和活塞的作用面积成反比关系。

$Ah/t$  的物理意义是单位时间内液体流过截面面积为  $A$  的某一截面的体积，称为流量  $q$ ，即

$$q = Av$$

因此

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-4)$$

如果已知进入液压缸的流量  $q$ ，则活塞的运动速度为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-5)$$

调节进入液压缸的流量  $q$ ，即可调节活塞的运动速度  $v$ ，这就是液压与气压传动能够实现无级调速的基本原理。从式(1-5)可得到另一个重要的基本概念，即“活塞的运动速度取决于进入液压(气压)缸(马达)的流量，而与流体压力的大小无关”。

### 3. 功率关系

由式(1-1)和式(1-3)可得到

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1-6)$$

式(1-6)左端为输入功率，右端为输出功率，此式说明在不计损失的情况下，输入功率等于输出功率，由式(1-6)还可得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = pq \quad (1-7)$$

由式(1-7)可以看出，液压与气压传动中的功率  $P$  可以用压力  $p$  和流量  $q$  的乘积来表示，压力  $p$  和流量  $q$  是流体传动中最重要、最基本的两个参数，它们相当于机械传动中的速度和力，它们的乘积即为功率。

由上述分析可知，液压与气压传动是以流体为工作介质，利用流体的压力能来传递运动和动力的一种传动方式。它们具有以下基本特征：

- 1) 以流体为传动介质来传递运动和动力。
- 2) 液压与气压传动必须在密闭容器内进行。
- 3) 依靠密闭容器的容积变化传递运动。
- 4) 依靠流体的静压力传递动力。

## 1.3 液压与气压传动系统的实例与组成

### 1.3.1 液压与气压传动系统的实例

图 1-2 所示为平面磨床工作台液压系统结构原理。它由油箱 1、过滤器 2、液压泵 3、溢流阀 4、换向阀 5、节流阀 6、换向阀 7、液压缸 8 以及连接这些元件的油管和管接头等组成。

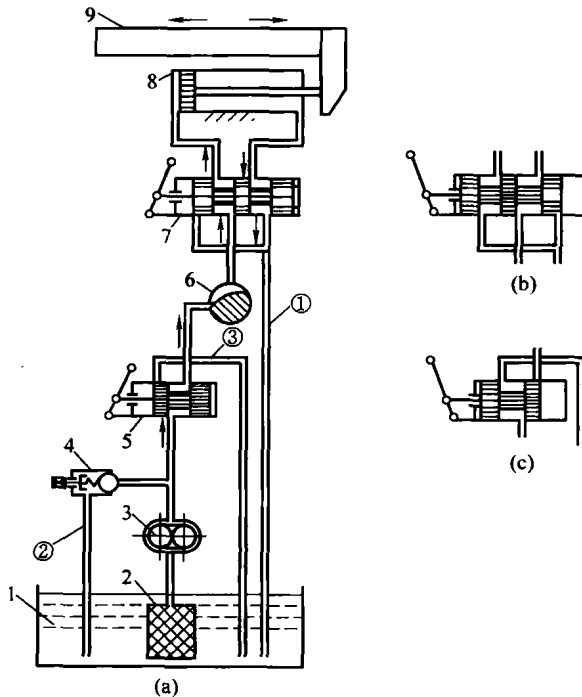


图 1-2 平面磨床工作台液压系统结构原理

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—溢流阀;5—换向阀;  
6—节流阀;7—换向阀;8—液压缸;9—工作台

该系统的工作原理是:液压泵由电动机带动旋转,从油箱中经过滤器吸油,由液压泵输出压力油→换向阀 5→节流阀 6→换向阀 7→液压缸 8 左腔,推动活塞并带动工作台向右移动,此时液压缸右腔的油液→换向阀 7→回油管→油箱。如果将换向阀 7 的手柄位置转换成图 1-2b 所示状态,则经节流阀的压力油→换向阀 7→液压缸 8 右腔,此时液压缸左腔的油液→换向阀 7→回油管→油箱,液压缸中的活塞将带动工作台向左移动。由此可知,换向阀的主要功能是控制和改变液压油的流动方向,进而控制液压缸及工作台的运动方向。当系统中的换向阀 5 处于图 1-2c 所示位置时,则液压泵输出的压力油将经换向阀 5 直接流回油箱,此时系统处于卸荷状态,压力油不能进入液压缸,因此换向阀还有启动、停止功能。

工作台工作时的运动速度是由节流阀6来调节,并与溢流阀配合实现的。改变节流阀的开口大小,可以改变进入液压缸的流量,由此可控制液压缸活塞的运动速度,并使液压泵输出的多余流量经溢流阀流回油箱。节流阀的主要功用是控制进入液压缸的流量,进而控制液压缸活塞的运动速度。

为了克服推动工作台时所受到的各种阻力(如摩擦阻力、切削阻力等),液压缸必然要产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。当阻力增大时,油液压力随之增大;反之,油液压力随之减小。根据工作时阻力的不同,要求液压泵输出的油液压力能够进行调节,这个功能是由溢流阀4实现的。当油液压力对溢流阀阀芯的作用力略大于溢流阀中弹簧对阀芯的作用力时,阀芯才能移动,使阀口打开,油液经溢流阀流回油箱,泵输出的压力将不再升高。由此可知,液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的,它和液压缸中的压力(由负载决定)不一样大。因为液压系统中液压油流经管路及元件时有压力损失,所以液压泵出口处的油液压力值大于液压缸中的压力值,溢流阀在液压系统中的主要功用是调节和稳定系统的最大工作压力。

结构原理图直观形象、易于理解,但图形复杂、不便于绘制,一般常用标准的元件图形符号绘制液压和气压系统图。图1-3所示即为以图形符号绘制的平面磨床工作台液压系统图。常用的液压与气压图形符号见书末附录“常用液压与气动图形符号(GB/T 786.1—2009)”。

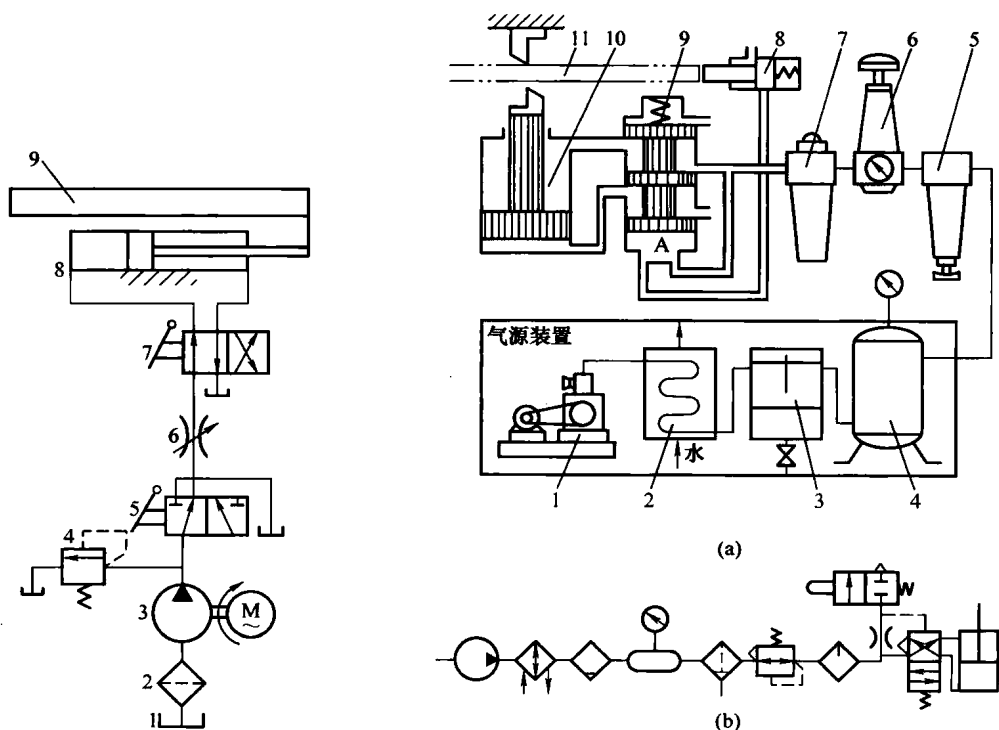


图 1-3 平面磨床工作台液压系统图

图 1-4 气动剪板机的工作原理

- 1—空气压缩机;2—冷却器;3—油水分离器;4—储气罐;  
5—分水滤气器;6—减压阀;7—油雾器;8—行程阀;  
9—空气换向阀;10—气缸;11—坯料

图 1-4 所示为气动剪板机的工作原理。当坯料 11 送入剪板机并到达预定位置时,坯料将推

动行程阀 8 的阀芯向右移动,使空气换向阀 9 的 A 腔经行程阀 8 与大气相通,空气换向阀阀芯在弹簧的作用下移到下位,使气缸 10 上腔与大气连通,下腔与压缩空气连通。气缸活塞杆带动剪刀将坯料切断,并随之松开行程阀 8 的阀芯使之复位,将排气口封死,空气换向阀 9 的 A 腔压力上升,阀芯上移,使气路换向。气缸 10 上腔进压缩空气,下腔排气,活塞带动剪刀向下运动,剪板机再次处于预备工作状态。

### 1.3.2 液压与气压传动系统的组成

从上述两个实例可以看出,液压与气压传动系统主要由以下几部分组成:

1) 能源装置 液压泵或气源装置,其功用是将原动机输出的机械能转换成流体的压力能,为系统提供动力。

2) 执行机构 将流体的压力能转化为机械能。实现这种转化的装置是液压缸(液压马达)或气缸(气动马达),它们的功用是将流体的压力能转换成机械能,输出力和速度(或转矩和转速),驱动工作机构作功,实现直线运动或旋转运动。

3) 控制元件 包括各种阀类元件,其功用是控制和调节系统中流体的压力、流量、流动方向及系统执行机构的动作程序,以保证执行机构按要求工作。

4) 辅助元件 保证系统能正常工作所需的各种辅助装置,如管路、管接头、油箱或储气罐、过滤器、冷却器、消声器、压力表等。

5) 工作介质 传递能量的流体,即液压传动中的液压油或气压传动中的压缩空气。

液压与气压传动系统在工作中的能量转换和传递过程如下:

机械能(电动机)→流体压力能(液压泵、空气压缩机)→机械能[液(气)压缸、液(气)压马达]。

## 1.4 液压与气压传动的特点与应用

液压与气压传动的工作原理基本相似,都是以流体为工作介质进行能量的传递和转换,其系统组成也基本相同,但由于两者的工作介质不同,故两种系统有其各自的特点。

### 1.4.1 液压传动的特点

#### 1. 液压传动的优点

1) 单位功率的重量轻,即在输出同等功率的条件下,液压传动系统的体积小、重量轻、结构紧凑、惯性小、动态特性好。如在相同功率下,液压马达的结构尺寸和重量仅为电动机的 12% 左右。

2) 可在运行过程中实现无级调速,且调速范围一般可达 100 : 1,最高可达 2 000 : 1。

3) 操作控制方便、省力,易于实现自动化,当机、电、液配合使用时,易于实现较复杂的自动工作循环和易于实现较远距离操纵。

4) 液压传动装置工作平稳、反应快、冲击小,能快速启动、制动和频繁换向。

5) 液压传动系统易于实现过载保护,安全性好;采用矿物油为工作介质,自润滑性好,使用

寿命较长。

6) 液压传动易于获得很大的力和力矩,可使传动结构简单。

7) 液压元件已实现了标准化、系列化、通用化,便于液压系统的设计、制造和使用中的液压元件的灵活布置。

## 2. 液压传动的主要缺点

1) 液压系统中存在油液的泄漏,油液的可压缩性、油管的变形都会影响运动传递的准确性,故不宜用于对传动比要求精确的场合。

2) 由于液压油对温度比较敏感,油温变化容易引起液压油工作性能的改变,故液压传动系统不适用于温度变化范围较大的场合。此外,油液对污染较为敏感,故不宜用于环境差、粉尘多的场合。

3) 由于工作过程中有较多的能量损失,如摩擦损失、泄漏损失等,故液压传动的效率不高,不宜用于远距离传动。

4) 为减少泄漏,对液压元件的制造精度要求较高,其制造成本较高。同时,液压系统的故障较难诊断、排除。

## 1.4.2 气压传动的特点

### 1. 气压传动的主要优点

1) 以空气为工作介质,取之不尽,用之不竭,用过的空气可直接排入大气,不会污染环境。

2) 空气的粘度小,流动时阻力损失小,便于集中供气和远距离传输与控制。

3) 与液压、电子、电气控制相比,工作环境适应性好,可在易燃、易爆、粉尘多、污染大、强磁场、辐射及振动等场合工作。

4) 维护简单方便,使用安全可靠,能自动实现过载保护。

### 2. 气压传动的主要缺点

1) 由于空气的可压缩性大,因而气压传动工作速度的稳定性比液压传动差,一般可采用气液联动获得较满意的效果。

2) 因工作压力低(一般低于 1 MPa),一般用于输出动力较小的场合。

3) 排气噪声大,在高速排气时要加消声器。

## 1.4.3 液压与气压传动的应用

工业各个部门应用液压与气压传动技术的出发点是不尽相同的。有的是利用它们在传递动力方面的长处,如工程机械和航空工业中采用液压传动主要是取其结构简单、体积小、重量轻、输出的功率大;有的是利用它们在操纵控制方面的优势,如机床上采用液压传动是取其在工作过程中能实现无级调速、易于实现频繁的换向、易于实现自动化;在采矿、冶炼、化工等行业,采用气压传动是取其以空气作为工作介质对环境适应性好,能防爆、防燃等;在印染、印刷等轻工业和医药、食品行业,是利用气压传动操作方便且无污染的特点。表 1-1 列出了液压与气压传动在各行业中的一般应用。

表 1-1 液压和气压传动的应用

机械名称	应用举例	机械名称	应用举例
工程机械	装载机、推土机、挖掘机等	机械制造	组合机床、剪板机、自动生产线
矿山机械	液压支架、凿岩机、开凿机	筑路机械	压路机、养路机、捣罐机
起重机械	汽车起重机、升降平台、叉车	轻工机械	打包机、自动计量灌装机
冶金机械	轧钢机、转炉、压力机	纺织机械	印染机、织布机、抛纱机
锻压机械	压力机、锻压机、空气锤	气动工具	气镐、气扳机、气动搅拌机

#### 1.4.4 液压与气压传动的发展

随着机电一体化设备自动化程度的不断提高,液压与气压元件在机电设备中的应用越来越广泛。液压元件小型化、系统集成化已是发展的必然趋势。特别是液压技术与传感技术、微电子技术的紧密结合,使得近年来出现了诸多新型元件,如电液比例阀、数字阀、电液伺服阀等。机电一体化的组合元器件使液压技术向着高压、大功率、低噪声、节能高效、集成化方向发展。

气动技术已发展成包括传动、检测与控制在内的自动化技术。气动技术的微型化、节能化、无给油化、位置控制的高精度化及与电子技术、PLC 技术的结合,是当前气动技术的发展特点和方向。

#### 思考题和练习题

- 1-1 什么是液压和气压传动,各自有何传动特点?
- 1-2 液压与气压传动系统的基本组成有哪几部分?
- 1-3 系统的压力取决于什么? 流量取决于什么?
- 1-4 液压与气压传动的基本特征是什么?
- 1-5 试举例说明液压与气压传动系统的工作原理。



## 第 2 章 液压油及液压流体力学基础

### ◆ 知识点

液压油的性质、液体静压力的特性、帕斯卡原理、液体动力学基本概念、伯努利方程、动量方程、管路的压力损失、冲击和空穴现象。

### ◆ 训练项目

验证帕斯卡原理。实验要求：液压元件的选择，液压元件的连接、安装和调试，实验数据的记录和整理。

## 2.1 液 压 油

### 2.1.1 液压油的物理性质

#### 1. 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度，通常用  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 表示

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

式中： $V$ ——液体的体积， $\text{m}^3$ ；

$m$ ——液体的质量， $\text{kg}$ 。

密度是液体的一个重要物理参数。密度的大小随着液体温度或压力的变化而产生一定的变化，但其变化量较小，一般可忽略不计。

#### 2. 粘性

##### (1) 液体粘性的意义

当液体在外力作用下流动时，由于液体本身分子之间内聚力以及与固体壁面的附着力的存在，使液体内部各处的速度产生差异。如图 2-1 所示，液体在管路中流动时速度并不相等，紧贴管壁的液体速度为零，管路中心处的速度最大。可将管中液体的流动看成许多无限薄的同心圆筒形液体层的运动。运动较慢的液体层阻滞运动较快的液体层，而运动较快的液体层又带动运动较慢的液体层。这种液体层之间的相互作用类似于固体之间的摩擦过程，因而在液体之间产生摩擦力。由于这种摩擦力发生在液体内部，所以称为内摩擦力。液体的这种性质称为液体的粘性。液体

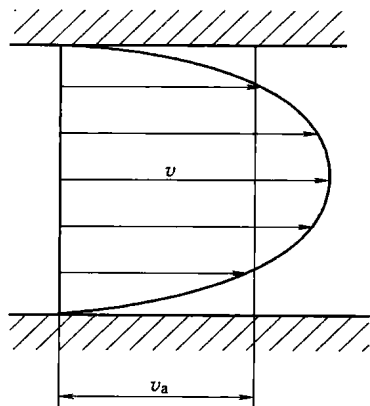


图 2-1 液体在管路内的速度分布图