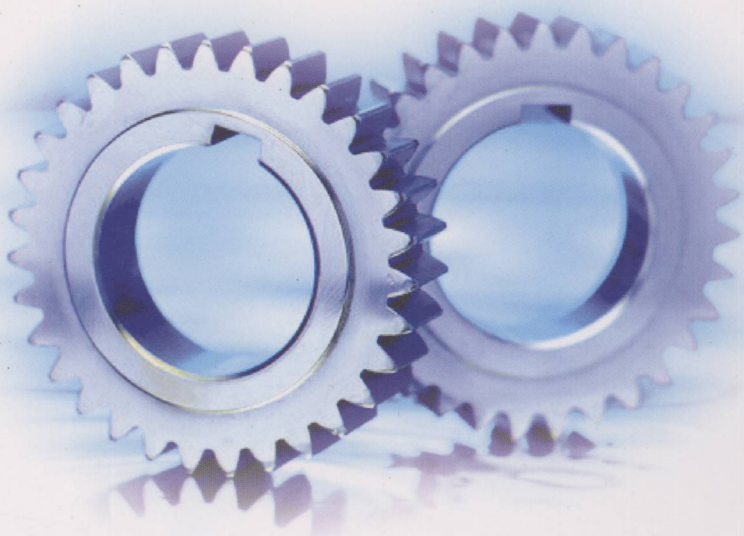


Technology  
实用技术

机 电 一 体 化 技 术

# 液压与气动技术

刘 建 编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

机电一体化技术

# 液压与气动技术

刘 建 编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是“机电一体化技术”丛书之一。本书的主要内容为液压传动与气压传动两部分,其中第1章是液压与气压传动的基本概念,第2~7章为液压传动部分,第8~10章为气压传动部分。本书尽量以简洁的语言,丰富的图表来介绍液压与气压传动的相关知识,包括基本概念、元器件的结构及工作原理、常用基本回路的组成及特点、液压及气压传动系统实例分析等。

本书以液压与气动技术的应用为出发点编写,可作为高等院校机械电子工程(机电一体化)专业教材,也可作为各机械类相关专业教学用书及相关工程技术人员参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/刘建编. —北京:科学出版社,2008

(机电一体化技术)

ISBN 978-7-03-022902-1

I. 液… II. 刘… III. ①液压传动②气压传动 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 140040 号

责任编辑:孙力维 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008年11月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008年11月第一次印刷 印张: 12

印数: 1 - 4 000 字数: 223 000

定 价: 27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

# 机电一体化技术丛书 编委会名单

主 编 方 新

委 员 (以姓氏笔画为序):

王淑芳 田宏宇 刘晓彤

刘长青 刘 建 赵林惠

郭洪红 席 巍

# 前 言

本书的主要内容为液压传动与气压传动两部分,其中第1章是液压与气压传动的基本概念,第2~7章为液压传动部分,第8~10章为气压传动部分。本书尽量以简洁的语言,丰富的图表来介绍液压与气压传动的相关知识,包括基本概念、元器件的结构及工作原理、常用基本回路的组成及特点、液压及气动系统实例分析等。

在编写过程中,本书以介绍液压气动技术的应用为出发点,结合编者多年的教学活动以及和企业单位的合作经验,注重实用性。编者认为,本专科应用型人才的培养,应摆脱过去那种只注重理论知识的深度和广度而忽视实用性的要求,应转化为力求实用,强调以技能培养为主。因此在本书的基础理论部分,注重说明概念的物理含义,而省略了大量的公式推导,尽力做到让读者知结果而能实用。

本书可作为应用型机械电子工程(机电一体化)专业、机械专业和电机类专业的教学用书,也可作为各类工程技术人员的参考书目。

本书由北京联合大学刘建主编。编写期间得到了北京联合大学方新教授、毛智勇教授和黄迷梅教授的大力支持和指导,并提出了许多宝贵意见和建议,在此深表感谢。同时,也从诸多参考文献中得到了很多启发,对编写本书起到了很大的帮助,为此编者衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

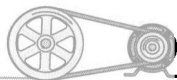
编 者

# 目 录

<b>第 1 章 液压与气压传动的基本概念</b> .....	1
1.1 液压与气压传动概述 .....	1
1.1.1 引 言 .....	1
1.1.2 组成及应用实例 .....	2
1.1.3 图形符号 .....	3
1.1.4 优缺点 .....	3
1.2 液压流体的基础知识 .....	4
1.2.1 油液的性质及选用 .....	4
1.2.2 液压流体力学基础知识 .....	6
1.3 气压流体的基础知识 .....	15
1.3.1 干空气与湿空气 .....	15
1.3.2 压缩空气的污染 .....	15
1.3.3 空气的质量等级及空气的净化处理 .....	16
思考与练习 .....	17
<b>第 2 章 液压系统的能源装置</b> .....	19
2.1 液压系统能源装置的种类 .....	19
2.1.1 引 言 .....	19
2.1.2 液压泵的基本特点及分类 .....	20
2.1.3 液压泵的性能参数 .....	21
2.2 齿轮泵 .....	23
2.2.1 外啮合齿轮泵 .....	23
2.2.2 内啮合齿轮泵 .....	27

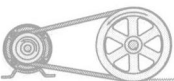


2.3 叶片泵 .....	27
2.3.1 双作用叶片泵 .....	28
2.3.2 单作用叶片泵 .....	29
2.3.3 限压式变量叶片泵 .....	30
2.4 柱塞泵 .....	31
2.4.1 轴向柱塞泵 .....	32
2.4.2 径向柱塞泵 .....	35
思考与练习 .....	36
<b>第 3 章 液压系统的执行元件</b> .....	<b>39</b>
3.1 常见液压缸的特点及应用 .....	40
3.1.1 活塞式液压缸 .....	40
3.1.2 其他液压缸 .....	44
3.1.3 液压缸的安装方式 .....	46
3.2 常用液压马达的特点及应用 .....	48
3.2.1 液压马达的性能参数 .....	48
3.2.2 叶片马达 .....	49
3.2.3 柱塞马达 .....	50
思考与练习 .....	51
<b>第 4 章 液压系统的控制元件</b> .....	<b>53</b>
4.1 液压系统控制元件的种类 .....	53
4.1.1 液压阀的作用 .....	53
4.1.2 液压阀的分类及基本要求 .....	53
4.2 方向控制阀 .....	55
4.2.1 单向阀 .....	55
4.2.2 换向阀 .....	57
4.3 压力控制阀 .....	64
4.3.1 溢流阀 .....	64
4.3.2 减压阀 .....	68
4.3.3 顺序阀 .....	70

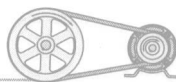


4.3.4 压力继电器 .....	71
4.4 流量控制阀 .....	71
4.4.1 节流阀 .....	71
4.4.2 调速阀 .....	72
4.5 其他控制阀 .....	74
思考与练习 .....	77
<b>第 5 章 液压系统的辅助装置 .....</b>	<b>79</b>
5.1 蓄能器 .....	79
5.1.1 蓄能器的功用和分类 .....	79
5.1.2 蓄能器的安装 .....	80
5.2 过滤器 .....	81
5.2.1 过滤器的功用和类型 .....	81
5.2.2 过滤器的选用 .....	83
5.2.3 过滤器的安装 .....	83
5.3 油箱 .....	84
5.3.1 油箱的功用和结构 .....	84
5.3.2 设计时的注意事项 .....	85
5.4 热交换器 .....	86
5.5 管件 .....	87
5.5.1 油管 .....	87
5.5.2 接头 .....	87
5.6 密封装置 .....	88
5.6.1 对密封装置的要求 .....	88
5.6.2 密封装置的类型和特点 .....	89
思考与练习 .....	90
<b>第 6 章 液压基本回路 .....</b>	<b>91</b>
6.1 压力控制回路 .....	91
6.1.1 调压回路 .....	91
6.1.2 减压回路 .....	93

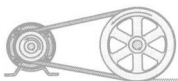




6.1.3	卸荷回路	94
6.1.4	保压回路	95
6.1.5	平衡回路	96
6.2	速度控制回路	97
6.2.1	节流调速回路	98
6.2.2	容积调速回路	104
6.2.3	调速回路的比较及选用	108
6.3	快速运动回路	109
6.3.1	差动连接快速运动回路	109
6.3.2	双泵供油的快速运动回路	110
6.4	速度换接回路	110
6.4.1	快速运动和工作进给运动的换接回路	110
6.4.2	两种工作进给速度的换接回路	111
6.5	方向控制回路	112
6.5.1	换向回路	112
6.5.2	锁紧回路	114
6.6	多缸动作回路	114
6.6.1	顺序动作回路	114
6.6.2	同步回路	116
6.6.3	多缸快慢速互不干涉回路	118
	思考与练习	119
<b>第 7 章</b>	<b>液压系统实例分析</b>	<b>123</b>
7.1	钻探机液压系统	123
7.1.1	钻探机液压系统工作原理	123
7.1.2	钻探机液压系统特点	125
7.2	磁力起重机的吊臂控制	125
7.2.1	磁力起重机吊臂液压系统工作原理	125
7.2.2	磁力起重机吊臂液压系统特点	126
7.3	动力滑台液压系统	127
7.3.1	动力滑台液压系统的工作原理	127



7.3.2 动力滑台液压系统的主要特点 .....	130
7.4 液压压力机液压系统 .....	130
7.4.1 液压压力机的工作原理 .....	130
7.4.2 液压机液压系统的主要特点 .....	133
思考与练习 .....	133
<b>第 8 章 气动元件</b> .....	<b>135</b>
8.1 气源装置及气动附件 .....	135
8.1.1 气源装置 .....	135
8.1.2 净化装置 .....	136
8.2 气动执行元件 .....	139
8.2.1 普通气缸 .....	139
8.2.2 磁性气缸 .....	140
8.2.3 带阀气缸 .....	141
8.2.4 气-液阻尼缸 .....	141
8.2.5 膜片式气缸 .....	142
8.2.6 摆动气缸 .....	142
8.3 气动控制元件 .....	143
8.3.1 压力控制阀 .....	143
8.3.2 方向控制阀 .....	146
8.3.3 流量控制阀 .....	153
思考与练习 .....	154
<b>第 9 章 气动基本回路</b> .....	<b>157</b>
9.1 压力控制回路 .....	157
9.1.1 气源压力控制回路 .....	157
9.1.2 工作压力控制回路 .....	158
9.1.3 高低压转换回路 .....	158
9.1.4 增压回路 .....	159
9.2 方向控制回路 .....	159
9.2.1 单作用气缸换向回路 .....	159



9.2.2 双作用气缸换向回路 .....	159
9.3 速度控制回路 .....	161
9.3.1 单作用气缸速度控制回路 .....	161
9.3.2 双作用气缸速度控制回路 .....	162
9.3.3 利用行程开关的速度换接回路 .....	162
9.3.4 缓冲回路 .....	162
9.4 其他常用基本回路 .....	163
9.4.1 安全保护回路 .....	163
9.4.2 位置控制回路 .....	164
9.4.3 延时控制回路 .....	164
思考与练习 .....	165
<b>第 10 章 气动系统实例分析</b> .....	167
10.1 油漆桶振动器 .....	167
10.2 垃圾集装压实机 .....	169
10.3 传送带提升设备 .....	170
10.4 热塑板焊接机 .....	171
参考文献 .....	173
附 录 .....	175

## 液压与气压传动的基本概念

### 1.1 液压与气压传动概述

#### 1.1.1 引言

人们对液压和气压传动产品的第一次直观接触,一般都来自日常生活场景。比如建筑工地上常常看到的液压汽车起重机,以及公交车上的气动车门。实际上,液压和气压传动产品一直被广泛地应用在工业领域中,比如液压传动广泛应用于工程机械、冶金、汽车、航空制造等行业中,而气压传动也已广泛应用在电子、轻工、纺织、食品、汽车等行业里。

这里简单地介绍一下液压传动及气压传动的构成。

首先它一定要有一个动力源,即产生动力的东西。对于液压,术语是液压泵;对于气压,通常称为空气压缩机(或气泵)。那么这个动力源的作用是什么呢?无论是液压传动系统,还是气压传动系统,它们都是一个传导装置,即把动力传导到输出装置,来实现人们对该设备的需求。比如,液压汽车起重机实现的是人们对重物提升转移的需求,公交车门实现的是人们对自动开启和关闭车门的需求,而这些都必须通过动力来实现。因此必须要有一个能够产生动力(能量)的装置,这就是动力源。

液压泵是把电机或其他原动机的机械能转换为液体压力,以压力能的形式输出,它产生的是液压动力,即液压能。空气压缩机是把机械能转换为气体压力,也以压力能的形式输出,产生的是气压动力,即气压能。

接下来如何把这个动力传导到输出装置呢?显然液压和气压传动是通过流体(液体或气体)为介质来传递动力的,因此必须通过管路来输送它们。



还有一个问题,即如何控制流体的压力、流速和流动方向,这关系到输出装置能否实现正常工作要求。这类元件我们称之为控制元件。最后就是输出装置或执行装置,用于实现动力和速度的输出。此外,还有一些辅助装置,比如,清洁流体的滤油器、分水滤气器、油箱等。

通过以上介绍可知,所谓液压与气压传动,是以流体为工作介质进行能量传递和控制的一种传动方式,如图 1.1 所示。

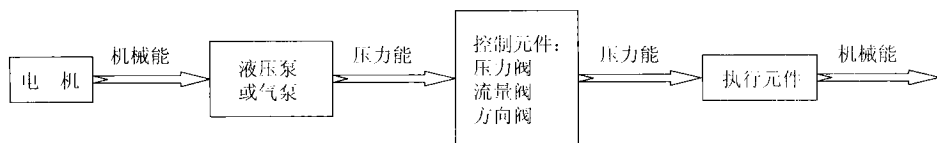


图 1.1 液压与气压传动系统能量转换示意图

### 1.1.2 组成及应用实例

以图 1.2 所示机床工作台液压传动系统为例,来说明液压和气压传动系统的组成。从图中可清晰地看出,液压和气压传动系统由四个部分组成。

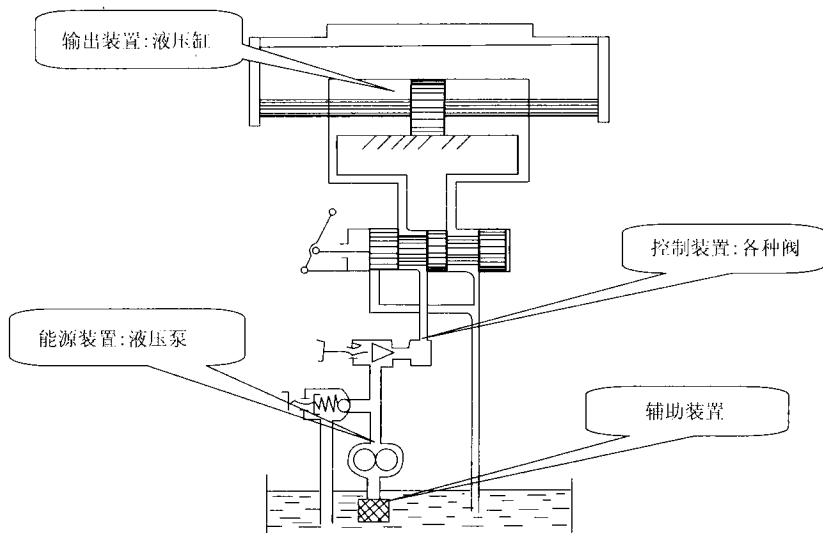


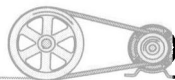
图 1.2 典型液压传动系统

#### 1) 能源装置

将机械能转换成流体的压力能,常见的是液压泵或空气压缩机。

#### 2) 执行装置

将流体的压力能转换成机械能的装置,一般指作直线运动的液(气)压压力缸、



作回转运动的液(气)压马达等。

### 3) 控制调节装置

对液(气)压系统中流体的压力、流速和流动方向进行控制和调节的装置。例如溢流阀、节流阀、换向阀等。

### 4) 辅助装置

指除以上三种以外的其他装置,如油箱、过滤器、分水滤气器、油雾器、蓄能器等。它们为液(气)压系统可靠、稳定地工作提供必要的保障。

## 1.1.3 图形符号

图 1.3 所示是采用图形符号绘制的液压系统原理图。这些图形符号既便于绘制,又把液(气)压系统的组成、功能和原理简单明了地表现出来,因此是液压与气压传动行业的会话语言。

我国制定了气动与液压图形符号标准 GB/T786.1—1993,详见附录。

## 1.1.4 优缺点

### 1. 液(气)压传动与其他传动方式的比较

主要优点:

① 易实现较大范围内的无级调速,传动比达 100 : 1~2000 : 1。

② 易实现复杂的顺序动作和远程控制。

③ 运动均匀、平稳、速度快、冲击小,便于频繁换向。

④ 体积小、重量轻、结构紧凑。

⑤ 操作简单,便于实现自动化。

⑥ 元件易于实现系统化、标准化和通用化。

主要缺点:

① 传动介质易泄漏,可压缩性无法保证严格的传动比。

② 由于传递过程中的压力损失和泄漏会使传动效率降低。

③ 温度影响比较敏感不宜高温操作。

④ 系统出现故障时不易找出原因。

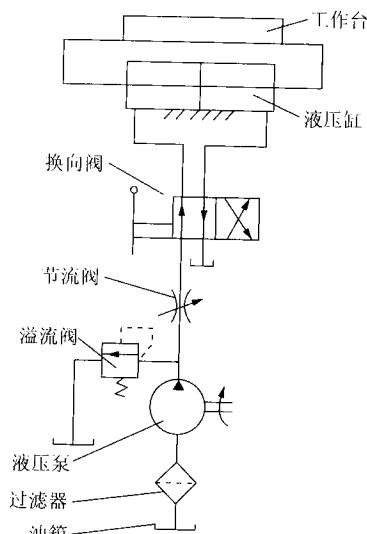
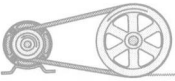


图 1.3 用图形符号表示的  
液压系统原理图



## 2. 液压传动与气压传动的比较

- ① 液压传动传递动力大,传动效率较气压要高。
- ② 因为油液压缩性较空气压缩小,故液压传动比气压传动运动更平稳。
- ③ 由于油液黏性大,阻力损失大,故液压传动不如气压传动更易于远程传输与控制。
- ④ 液压与气压传动中都存在泄漏,但液压油液泄漏会污染环境。
- ⑤ 由于气压系统简单、安全,使其更适合多个行业如食品、卫生等。

## 1.2 液压流体的基础知识

### 1.2.1 油液的性质及选用

液压传动是以液体作为工作介质来进行能量传递的,最常见的工作介质是液压油,因此研究液压系统首先要了解液压油的基本性质。

#### 1. 液压油的主要性质

液压油的主要性质包括密度、可压缩性和黏度,其中又以黏度对液压系统的性能影响最大,接下来我们一一介绍。

##### 1) 密度

物体单位体积的质量称为密度,一般液压油的密度为  $900\text{kg}/\text{m}^3$ 。通常用“ $\rho$ ”来表示。其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中, $m$  为液体的质量,单位为  $\text{kg}$ ;  $V$  为液体的体积单位为  $\text{m}^3$ 。

值得注意的是,液压油的密度随液体压力的增大而增大,随温度升高而减少,但这种变化量通常不大,可以忽略不计。

##### 2) 可压缩性

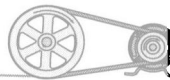
液体受压力作用而体积缩小的性质,称为液体的可压缩性。

可压缩性用体积压缩系数  $\kappa$  表示,其表达式为

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} = \frac{\Delta V}{V} \quad (1.2)$$

式中, $V$  为液体的体积,单位为  $\text{m}^3$ ;  $\Delta V$  为液体体积变化量,单位为  $\text{m}^3$ ;  $\Delta p$  为压力变化量,单位为  $\text{Pa}$ 。

一般而言,液体的可压缩性很小,在很多情况下可以忽略不计。当受压液体体



积较大或进行液压系统动态分析时,必须考虑液体的可压缩性。

常用液压油的压缩系数  $\kappa = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

### 3) 黏性

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力会阻止它们之间的相对运动,因而产生一种内摩擦力,这一特性称为液体的黏性。黏性是液体重要的物理性质,也是选择液压用油的主要依据之一。因为液体黏性的大小是影响液压系统损耗、泄漏等问题的主要因素之一。

液体黏性的大小用黏度来表示,常用的黏度有三种,即动力黏度、运动黏度和条件黏度。其中,运动黏度  $\nu$  是工程实际中经常用到的物理量。

动力黏度  $\nu$  一般通过查表求得,其并无物理意义。运动黏度的法定计量单位是  $\text{m}^2/\text{s}$ ,它与以前沿用的非法定计量单位 cSt(厘斯)之间的关系是:

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 106 \text{ mm}^2/\text{s} = 106 \text{ cSt}$$

我国液压油采用  $40^\circ\text{C}$  时的运动黏度值 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) 为其黏度等级标号,即油的牌号。例如,牌号 L-HL22 的普通液压油,就是指这种油在  $40^\circ\text{C}$  时运动黏度平均值为  $22 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

液体黏度随液体压力和温度变化而变化。当液体压力增大时,其黏度也增大。但增大的数值很小,可以忽略不计。温度变化对液体的黏度影响较大,液体的温度升高其黏度显著下降。液体黏度随温度变化的性质称为黏温特性。

一般选择液压油时,常根据其运动黏度选择。一般液压系统用油运动黏度为  $(15 \sim 68) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

### 4) 其他性质

液压油还有其他一些物理及化学性质,如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、相容性(主要是指对密封材料不侵蚀、不膨胀的性质)以及纯净性等,都对液压系统工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油,这些性质的指标也有不同,具体可查阅油类产品手册。

## 2. 液压油的选用

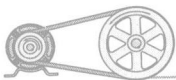
### 1) 液压油的分类

液压油的品种很多,主要分为矿油型、乳化型和合成型三大类。

### 2) 液压油的使用要求

- ① 合适的黏度和良好的黏温特性。
- ② 润滑性能好。
- ③ 纯净度好,杂质少。





- ④ 对热、氧化、水解都有良好的稳定性,使用寿命长。
- ⑤ 对金属及密封件材料等有良好的相容性。
- ⑥ 抗泡沫性、抗乳化性和防锈性好,腐蚀性小。
- ⑦ 比热和传热系数大,体积膨胀系数小。
- ⑧ 闪点和燃点高,流动点和凝固点低。

### 3) 液压油的选用

选用液压油时,首先是液压油品种的选择。一般根据液压系统的使用性能和工作环境等因素来确定液压油的品种。品种确定之后,就要选择油的黏度等级。在液压系统中选择油液黏度是关键,应注意以下几方面的影响:

- ① 工作压力。工作压力较高的系统宜选用黏度较大的液压油,以减少泄漏。
- ② 运动速度。当液压系统的工作部件运动速度较高时,宜选用黏度较小的液压油,以减轻液流的摩擦损失。
- ③ 环境温度。环境温度较高时宜选用黏度较大的液压油。

在液压系统的所有元件中,尤以液压泵对液压油的性能最为敏感,它的温升高,工作压力也最高。因此实际选用时,常常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油的黏度。

## 1.2.2 液压流体力学基础知识

### 1. 流体静力学基础知识

#### 1) 液体的静压力

静止液体单位面积上所受的力称为液体的静压力,在液压传动中习惯称为压力,用  $p$  表示。若法向力均匀作用在面积  $A$  上,则压力  $p$  可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1.3)$$

式中,  $p$  为液体单位面积上所受的力,即压力,单位为 Pa 或 MPa。

液体静压力的特性:

- ① 液体静压力垂直于受压表面,且方向与该面的内法线方向一致。
- ② 静止液体内任意一点的压力在各个方向上都相等。

例如,图 1.4 所示密闭容器内的液体,根据帕斯卡原理,容器内液体所受的液力  $p$  与负载  $F$  (液体面积  $A$  上所受的力) 之间的关系为  $p = \frac{F}{A}$ 。

显然,当负载  $F$  变化引起压力  $p$  发生变化时,液体内任一点的压力将发生同