

叶学群 纪传仁 主编



# 热工与 流体力学基础

(修订本)

中国商业出版社

RE GONG YU LIU TI LI XUE JI CHU

21 世纪中等职业教育规划教材

# 热工与流体力学基础

(修订本)

叶学群 主编  
纪传仁

中国商业出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

热工与流体力学基础/叶学群,纪传仁主编.—2版(修订本).—北京:  
中国商业出版社,2006.2

ISBN 7-5044-3496-5

I.热… II.①叶…②纪… III.①热工学—专业学校—教材②流体力学—专业学校—教材 IV.TK122②035

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 007086 号

责任编辑:刘树林

中国商业出版社出版发行

(100053 北京广安门内报国寺1号)

新华书店总店北京发行所经销

中国石油报社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开 12.5印张 300千字

2006年2月第2版 2006年2月第1次印刷

定价:20.00元

\* \* \* \*

(如有印装质量问题可更换)

# 制冷和空调运用与维修 专业教材书目

制冷原理（修订本）

空气调节技术（修订本）

热工与流体力学基础（修订本）

制冷 空调装置安装 操作与

维修（修订本）

制冷压缩机（修订本）

电冰箱与空调器（修订本）

制冷与空调自动化（修订本）

制冷与空调设备（第三版）

制冷工艺设计（第三版）

制冷与空调系统给排水（修订本）

食品冷加工工艺（修订本）

冷库建筑

责任编辑：刘树林  
封面设计：小 戈

## 二 版 说 明

为了贯彻落实国务院关于大力发展职业教育,培养大批技能型、实用型中高级专门人才的指示精神,满足当前制冷和空调行业发展的需要,我们根据教育部颁发的《制冷和空调运用与维修专业教学指导方案》的要求,在原内贸易部部编制冷与空调专业教材的基础上,组织原编写人员以及多年来从事制冷和空调专业一线教学的专家、教授、高级讲师修订、编写了本系列教材。

本系列教材面向 21 世纪,力求体现当前职业技术教育改革创新精神,体现制冷和空调领域的发展趋势,突出应用性和可操作性。读者对象以中职教育为主,兼顾高职高专相关专业使用,也可供各类职工中专、电视中专等选用,还可以做为业务岗位培训和广大企业职工的自学读物。

本系列教材修订、编写过程中,得到了有关院校、相关部门和编审者的大力支持,一些专家、教授提出了许多宝贵意见,在此一并致谢!

由于制冷和空调行业的不断发展以及职业教育改革的持续深入,我们殷切希望各院校在使用过程中不吝赐教,以便于我们不断修改,使本系列教材更臻完善,更具生命力,以适应高等职业教育人才培养的需要。

制冷和空调专业运用与维修专业教材编审委员会

2006 年 1 月

# 前 言

本书根据教育部颁发的《制冷和空调设备运用与维修专业教学指导方案》中主干课程《热工与流体力学基础教学基本要求》(85学时),在第一版基础之上,总结近几年教学经验修订而成的。

本书保持了第一版的基本框架,分三篇讲述了工程热力学、流体力学和传热学的基础知识,经修订后具有如下特点:

1. 理论体系和组织结构强调了学科的基础性和实用性;
2. 结合中等职业教育教学特点,讲授内容和分析问题力求简捷、易懂,降低了引用数学分析的难度;
3. 注意采用了新数据和新的国家标准及法定计量单位;
4. 注意实际精选例题及与后续专业课的衔接;
5. 内容覆盖制冷与空调职业技能鉴定有关部分的知识点;
6. 每章配有一定量的思考题与习题,便于学生复习及提高分析问题和解决问题的能力。

本教材对于选修内容用\*表示,可供任课教师根据教学时数及教学实际情况取舍。

参加本书修订工作的有辽宁阜新高等专科学校叶学群、辽宁工程技术大学纪传仁、浙江理工大学姜守忠,主编叶学群、纪传仁,全书由叶学群定稿。

本书由山东商业职业技术学院匡奕珍教授审稿,并提出了许多宝贵意见。修订过程中有关兄弟院校的专家、教师们也提出了许多中肯的意见,同时提供了一些资料,使本书质量得到进一步提高,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者不吝赐教,以便进一步修订完善。

编者

2005年9月

## 目 录

绪论 .....	( 1 )
----------	-------

## 第一篇 工程热力学基础

<b>第一章 工质与理想气体状态方程 .....</b>	<b>( 3 )</b>
第一节 工质、热力系统 .....	( 3 )
第二节 热力状态及基本状态参数 .....	( 4 )
第三节 理想气体状态方程 .....	( 8 )
思考题与习题 .....	( 11 )
<b>第二章 热力学第一定律 .....</b>	<b>( 12 )</b>
第一节 热力过程的基本概念 .....	( 12 )
第二节 热力学第一定律 .....	( 14 )
第三节 开口系统稳定流动能量方程 .....	( 18 )
第四节 理想气体的比热容及热量计算 .....	( 22 )
第五节 理想气体热力学能、焓、熵的计算 .....	( 26 )
思考题与习题 .....	( 27 )
<b>第三章 理想气体的热力过程 .....</b>	<b>( 29 )</b>
第一节 理想气体的基本热力过程 .....	( 29 )
第二节 多变过程 .....	( 35 )
思考题与习题 .....	( 38 )
<b>第四章 热力学第二定律 .....</b>	<b>( 41 )</b>
第一节 热力循环的基本概念 .....	( 41 )
第二节 热力学第二定律 .....	( 43 )
第三节 卡诺循环与卡诺定理 .....	( 45 )
思考题与习题 .....	( 48 )
<b>第五章 蒸汽性质及蒸汽基本热力过程 .....</b>	<b>( 49 )</b>
第一节 蒸汽的基本概念 .....	( 49 )
第二节 蒸汽的定压产生过程 .....	( 50 )
第三节 蒸汽图表及其使用方法 .....	( 52 )
第四节* 蒸汽基本热力过程 .....	( 57 )
思考题与习题 .....	( 64 )
<b>第六章 混合气体和湿空气 .....</b>	<b>( 66 )</b>
第一节 混合气体的基本概念 .....	( 66 )
第二节 湿空气的热力性质 .....	( 70 )
思考题与习题 .....	( 75 )



## 第二篇 流体力学基础

<b>第七章 流体及其基本性质</b> .....	(77)
第一节 流体的概念 .....	(77)
第二节 流体的主要力学性质 .....	(78)
第三节 作用在流体上的力 .....	(81)
思考题与习题 .....	(82)
<b>第八章 流体静力学基础知识</b> .....	(83)
第一节 流体静压强及其特性 .....	(83)
第二节 流体静压强基本方程 .....	(84)
第三节 静压强基本方程式的应用 .....	(88)
思考题与习题 .....	(92)
<b>第九章 流体动力学基础知识</b> .....	(95)
第一节 流体动力学的基本概念 .....	(95)
第二节 恒定流连续性方程 .....	(99)
第三节 伯努利方程 .....	(100)
思考题与习题 .....	(111)
<b>第十章 流动阻力和管路的水力计算</b> .....	(115)
第一节 流动阻力与能量损失的两种形式 .....	(115)
第二节 流体流动的两种流态 .....	(115)
第三节 沿程损失的计算 .....	(120)
第四节 局部损失的计算 .....	(122)
第五节 减小流动阻力的途径 .....	(126)
第六节* 管路的水力计算 .....	(128)
思考题与习题 .....	(132)

## 第三篇 传热学基础

<b>第十一章 稳态导热</b> .....	(135)
第一节 导热的基本概念 .....	(135)
第二节 通过平壁的稳态导热 .....	(137)
第三节 通过圆筒壁的稳态导热 .....	(140)
思考题与习题 .....	(143)
<b>第十二章 对流换热</b> .....	(144)
第一节 对流换热的基本概念 .....	(144)
第二节 准则和准则方程式 .....	(146)
第三节 凝结与沸腾换热 .....	(153)
思考题与习题 .....	(154)
<b>第十三章 辐射换热</b> .....	(156)
第一节 热辐射的基本概念 .....	(156)

第二节 热辐射的基本定律 .....	(158)
思考题与习题 .....	(160)
第十四章 传热过程与换热器 .....	(162)
第一节 传热过程 .....	(162)
第二节 传热的增强与削弱 .....	(168)
第三节 换热器的基本知识 .....	(170)
思考题与习题 .....	(176)
附表一 未饱和水与过热水蒸气热力性质表 .....	(178)
附表二 饱和水与饱和水蒸气热力性质表(按温度排列) .....	(182)
附表三 饱和水与饱和水蒸气热力性质表(按压力排列) .....	(184)
附表四 R717 饱和热力性质表(按温度排列) .....	(186)
附表五 干空气的物性参数表( $p = 1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$ ) .....	(187)
附表六 饱和水的热物理性质表 .....	(188)
主要参考文献 .....	(189)
附图一 水蒸气的 $h-s$ 图	
附图二 氨(R717)的 $\lg p-h$ 图	
附图三 R22 的 $\lg p-h$ 图	
附图四 R12 的 $\lg p-h$ 图	
附图五 湿空气的 $h-d$ 图( $p = 101325 \text{Pa}$ )	
附图六 湿空气的 $h-d$ 图( $p = 1 \text{bar}$ )	

# 绪 论

## 一、本课程的研究对象及主要内容

《热工与流体力学基础》包括工程热力学、流体力学和传热学三部分基础知识。

工程热力学主要研究热能与其他形式能量(尤其是机械能)之间相互转换的规律、方法以及提高转换效率的途径。作为工程热力学基础,本教材主要讨论热力学基本定律(热力学第一定律、热力学第二定律),常用工质的基本热力性质、热力过程和热力循环等基本内容。

流体力学主要研究流体平衡和运动的规律,以及这些规律在工程技术领域中的应用。结合制冷与空调专业的需要,本教材主要讨论流体的性质、流体静力学和动力学基本方程、流动阻力损失及管路的水利计算等基本内容。

传热学主要研究热量传递的规律。本教材主要介绍导热、对流和热辐射三种基本传热方式的规律,传热过程热量传递的规律,以及运用这些规律分析解决工程中实际问题的方法。

## 二、本课程与制冷空调技术专业的关系及学习要求

本课程与制冷空调技术专业的关系,可从以下两个工程实例中获得梗概了解。

### 1. 蒸汽压缩式制冷系统

蒸汽压缩式制冷系统主要由制冷压缩机、冷凝器、节流器、蒸发器四大基本部件组成,如图 0—1 所示,各设备之间用管路连接,并在系统中加入制冷剂,如氨或氟里昂。制冷系统工作时,首先,压缩机吸入来自蒸发器的低温低压制冷剂蒸汽,经压缩成为高温高压过热蒸汽,然后送至冷凝器,在冷凝器中向冷却水放热,冷凝为常温高压的液态制冷剂,再经节流器降压降温送入蒸发器,在蒸发器中低压液态制冷剂吸收被冷却物体的热量,汽化为低温低压制冷剂蒸汽,再次被压缩机吸入,经压缩、冷凝、节流、蒸发不断循环,使被冷却物体的温度降低,达到制冷的目的。

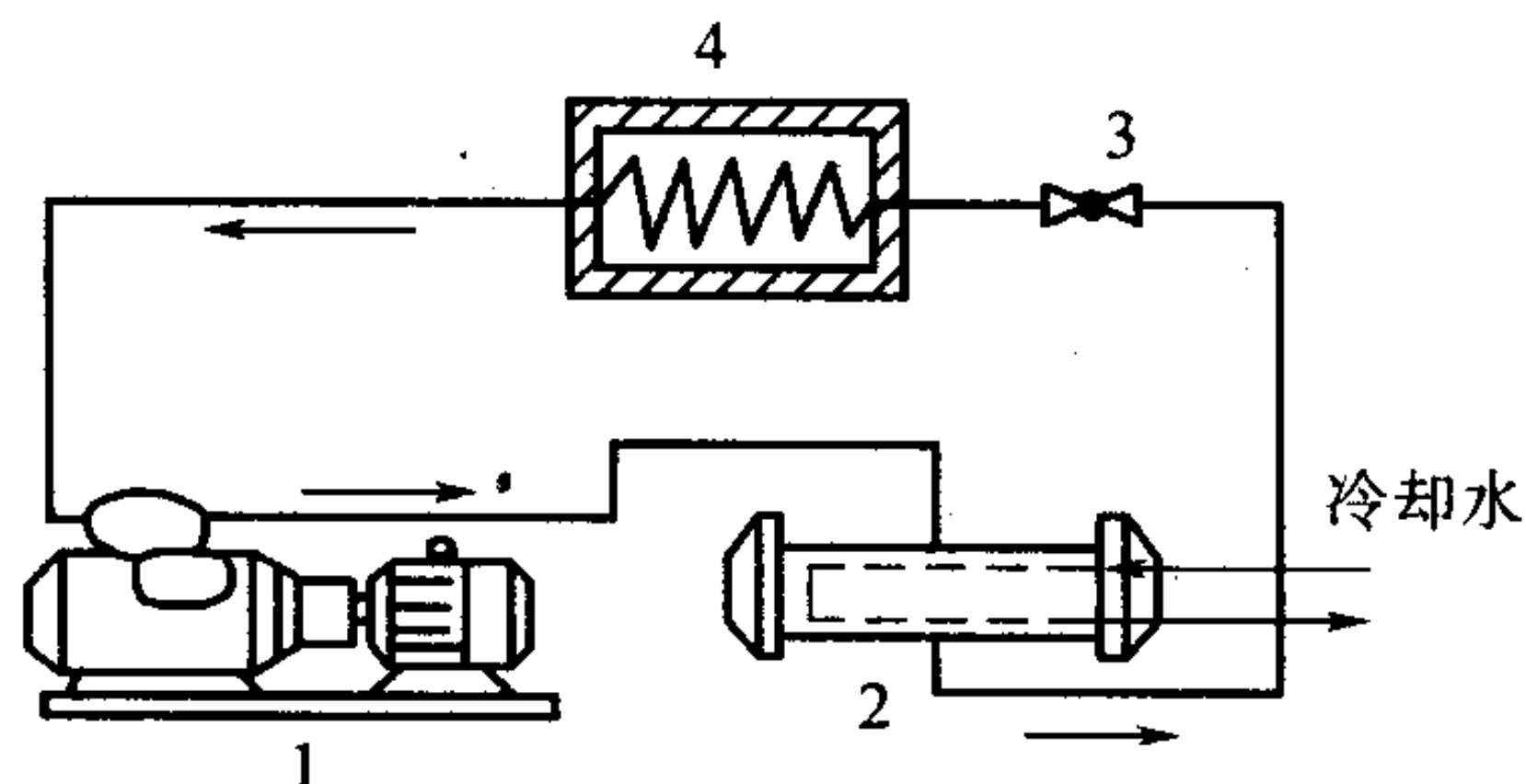


图 0—1 蒸汽压缩制冷系统

1—压缩机;2—冷凝器;3—节流器;4—蒸发器

## 2. 空气调节系统

如图 0—2 所示为一次回风空调系统。为了保证空调房间的温度及湿度,将新风与来自空调房间的回风在混合室中按一定比例混合,接着经空气过滤器流入淋水室,在此受低温水喷淋降温降湿,然后再经档水板进入加热器,使空气加热到送风所需的温度,最后经送风机送入空调房间,使夏季得到冷风。降温所需的低温水大多采用制冷机制备。

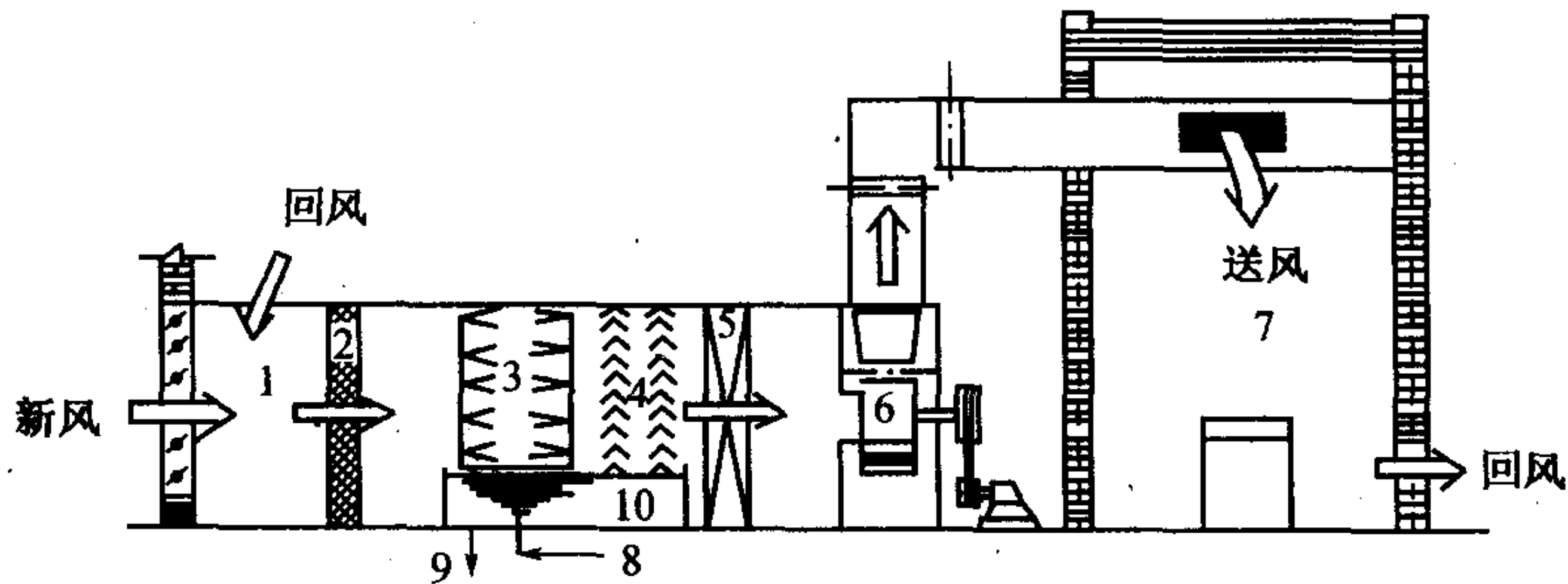


图 0—2 一次回风空调系统

1—混合室;2—空气过滤器;3—淋水室;4—后档水板;5—加热器  
6—送风机;7—空调房间;8—低温水送水管;9—回水排水管;10—盛水池

以上两个系统是制冷与空调工程中的典型实例。系统中的压缩机、冷凝器、节流器、蒸发器等设备称为热工设备,制冷剂、水、空气等工作物质称为工质。工质在系统中不断循环,压力、温度等参数随之发生相应变化,出现了一系列热力现象:如消耗机械能将热量从低温物体传至高温物体、工质的热力状态及物态变化、工质在管路中的强迫流动、工质在换热器中的热量传递等。对于这些现象的解释,以及制冷空调系统中的许多技术问题的解决无不涉及热工与流体力学基础。

《热工与流体力学基础》是制冷与空调技术专业很重要的一门专业基础课。通过学习使学生了解工程热力学、流体力学、传热学的基础知识,掌握制冷与空调技术工作所必需的热工与流体力学的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法,为后续专业课程的学习奠定一定的理论基础。

# 第一篇 工程热力学

## 第一章 工质与理想气体状态方程

### 第一节 工质、热力学系统

#### 一、工质

在热力工程中,完成热能与机械能之间相互转换必须借助的工作介质称为工质。工质在能量转换中起着媒介的作用,即在热力过程和热力循环中,伴随着工质热力状态的不断变化,使得热力系统与外界之间通过界面而发生能量的转换与传递。所以,工质是实现能量转换的内部条件,合理地选用工质可以提高能量转换的效率。在热机循环中,为获得较高的热功转换效率,常选用可压缩、易膨胀的气体——水蒸气、空气、或燃气等作为工质。在制冷循环和热泵循环中,同样为提高从低温热源吸热向高温热源放热的工作效率,常选用被称为制冷剂的易汽化、易液化的水、氨、氟里昂等物质作为工质。

#### 二、热力系统

根据热力学分析的需要,在相互作用的各物体中,选取某一范围内的物体作为热力研究的对象,称为热力系统或热力系,简称系统。将与系统相互作用的周围物体称为外界或环境。热力系统与外界的分界面称为界面或边界。所以说热力系统只是由界面包围着的作为研究对象的物体总和。

热力系统与外界之间的界面可以是真实的,也可以是虚拟的,可以是固定的,也可以是可变的甚至是运动的。边界的确定完全由研究的需要确定。例如研究工质在活塞式压气机中的压缩特性时,以工质为热力系统,与其相关的其他物体就是外界,其分界面就是活塞机的汽缸内壁面、活塞端面以及汽缸盖面所组成的分隔面(图 1—1a)。这个界面是真实有形的,并随着活塞的运动,截面发生周期性的变化。

热力系统只是在研究中为简化讨论而设立的分离体。热力系统的选择方法不同并不影响热力研究的结果,只是决定了研究方法的繁简程度。分析时,根据系统与外界间的能量、质量交换情况的不同,来称谓不同的热力系统。与外界无质量交换的系统称为闭口系统(闭口系或闭系)。由于闭口系统内质量保持恒定,故又称为控制质量系统(c.m.),如图 1—1(a)所示。与外界有质量交换的系统称为开口系统(开口系或开系)。开口系统通常总是取某一相对固定的空间,故又称为控制容积系统(c.v.),如图 1—1(b)所示。与外界无热量交换的系统称为绝热系统(绝热系)。与外界既无质量交换又无热量交换的系统称为孤立系统(孤

立系)。自然界中的物体都是相互联系、相互制约和相互作用的,因此绝对的绝热系统和孤立系统并不存在,只有当系统与外界间的热量、功量、质量的交换无限小或该作用的影响可忽略不计时,才可看作是某一特定条件下的简化系统,以利于热力学的分析。

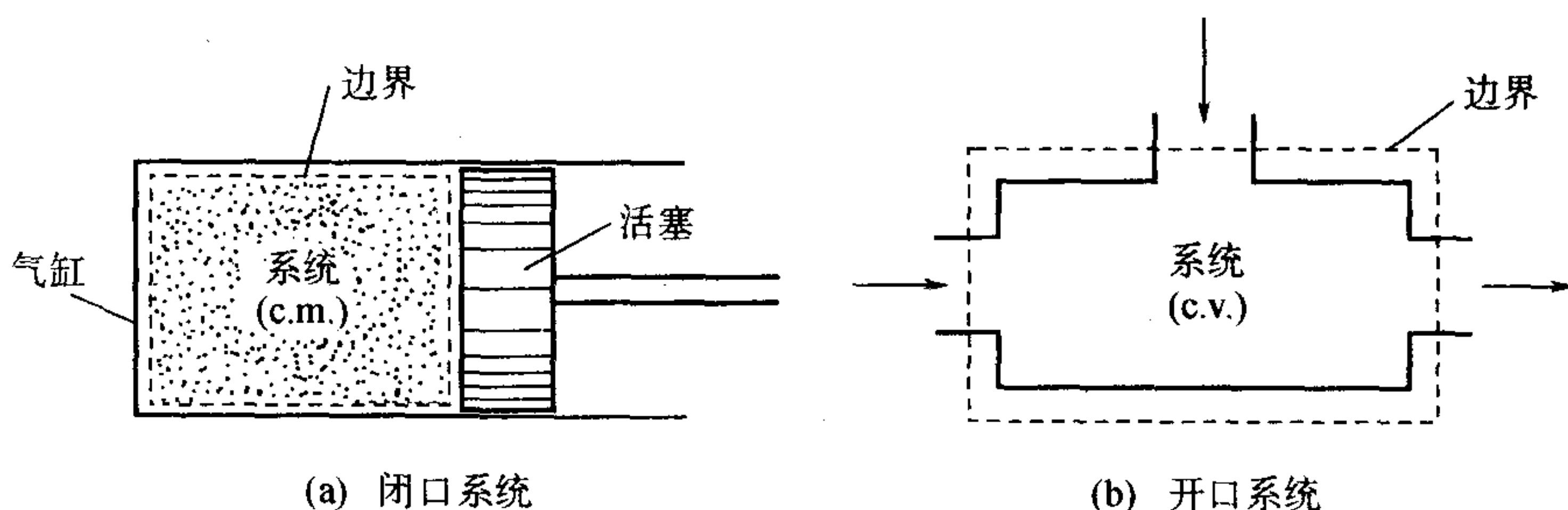


图 1—1 热力系统、外界与边界

根据工质的压缩特性,还常将可压缩流体构成的系统称为可压缩系统。若可压缩系统与外界只有准静容积变化功(膨胀功或压缩功)的交换时,则称该系统为简单可压缩系统。在本教材讨论范围内的热力系统除特殊说明外均为简单可压缩系统。

另外,在热力学分析中还有一些特殊的系统,像具有无限大容量的系统,它们在放出或吸收有限热能时不改变系统自身的温度,被称为热源或热库,例如高温热源、低温热源等。

## 第二节 热力状态及基本状态参数

### 一、热力状态与状态参数

分析热力系统能量转换的前提是描述热力系统的热力状态变化。热力系统在某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为热力状态或状态。描述系统状态的宏观物理量称为热力状态参数或状态参数。状态参数有如下性质:

1. 在任意热力过程中,系统从初态 1 变化至终态 2 时,任意状态参数  $x$  的变化量(增量)只取决于初、终状态参数的差值,与变化的路径无关,即

$$\Delta x_{1-2} = x_2 - x_1 \quad (1-1)$$

2. 当热力系统经历一系列状态变化过程而恢复到初态时,其状态参数的变化量为零,即

$$\Delta x_{1-2-1} = (x_2 - x_1) + (x_1 - x_2) = 0 \quad (1-2)$$

在热力学中常用的状态参数有 6 个,即温度( $T$ )、压力( $p$ )、比体积( $v$ )或密度( $\rho$ )、热力学能( $U$ )、焓( $H$ )和熵( $S$ )。其中,温度( $T$ )、压力( $p$ )、比体积( $v$ )或密度( $\rho$ )可以直接用仪表测量,称为基本状态参数。而其他的状态参数都不能直接测量,必须由基本状态参数导出,所以称为导出状态参数。

### 二、平衡状态

系统在不受外界作用的情况下宏观性质不随时间而变化的状态称为平衡状态。实现平

衡状态的充要条件是：系统内部及系统内外之间的一切不平衡势差(力差、温差等)的消失。当系统内部各部分特性趋于一致时，称为系统的内平衡；系统各处温度相同称为热平衡；系统各处压力相同称为力平衡；系统各处温度和压力都相同时，称为热力平衡。当系统各部分的温度和压力不一致时，各部分将存在着能量的传递和相对位移，其状态将随时间而变化，这种状态称为非平衡状态。非平衡状态如果没有外界影响，最后将过渡到平衡状态。而处于平衡状态的热力系统，各处具有均匀一致的状态参数，在外界条件不变的情况下，将永远保持这种宏观特性。

系统的平衡状态可以用任意 2 个独立状态参数确定，也可以由 2 个独立状态参数构成的二维平面坐标图来描述。显然，不平衡状态由于没有确定的状态参数，无法在状态坐标图中表示。在本教材讨论的范围内，常用的状态坐标图有压容图( $p-v$ )、温熵图( $T-s$ )、焓熵图( $h-s$ )、压焓图( $p-h$ )等。

### 三、基本状态参数

#### 1. 温度

温度是标志物体冷热程度的物理量。从微观上看，温度标志物质分子热运动的激烈程度。对于气体，它是大量分子平均移动动能的量度，温度越高，分子不规则热运动越激烈。

温度的数值表示法称为温标。在国际单位制中采用热力学温标作为基本温标，用热力学温标确定的温度称为热力学温度或绝对温度，以符号  $T$  表示，单位为开尔文(K)。热力学温标选取纯水的三相点(纯水的汽、液、固三相平衡共存的状态点)为基准点，并定义纯水的三相点热力学温度为 273.16K。因此，1K 等于纯水的三相点热力学温度的 1/273.16。

与热力学温标并用的还有热力学摄氏温标，简称摄氏温标。用摄氏温标确定的温度称为摄氏温度，以符号  $t$  表示，单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )，定义为

$$t = T - 273.15\text{K} \quad (1-3a)$$

显然， $0^{\circ}\text{C}$  相当于热力学温度 273.15K。水的三相点摄氏温度为  $0.01^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标的每  $1^{\circ}\text{C}$  与热力学温标的每 1K 完全相等，只是摄氏温标和热力学温标起点不同。两种温标的换算关系在工程上采用下式已足够准确

$$T = t + 273\text{K} \quad (1-3b)$$

#### 2. 压力

热力学中的压力是指单位面积上承受的垂直作用力，即物理学中的压强，以符号  $p$  表示。压力  $p$  的大小等于作用于界面的垂直作用力  $F$  与作用面积  $A$  之比，即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-4)$$

对于气体，压力的实质是系统中大量分子不断地作无规则热运动而撞击容器壁面，在单位面积的容器壁面上所呈现的平均作用力。

在国际单位制中，压力的单位是帕(Pa)， $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。由于单位 Pa 太小，工程上还采用千帕(kPa)和兆帕(MPa)，他们之间的关系是

$$1\text{MPa} = 10^3\text{kPa} = 10^6\text{Pa}$$

工程中还曾采用其他压力单位，如巴(bar)、标准大气压(atm)、工程大气压(at)、毫米汞柱(mmHg)、米水柱( $\text{mH}_2\text{O}$ )等，并有  $1\text{bar} = 10^5\text{Pa} = 0.1\text{Mpa}$  及表 1-1 的换算关系。

表 1-1 压力单位换算表

单位名称	帕斯卡 (Pa)	工程大气压 (at)	标准大气压 (atm)	毫米汞柱 (mmHg)	米水柱 (mH <sub>2</sub> O)
帕斯卡 (Pa)	1	$1.01972 \times 10^{-5}$	$0.98692 \times 10^{-5}$	$750.06 \times 10^{-5}$	$10.1972 \times 10^{-5}$
工程大气压 (at)	$0.980665 \times 10^5$	1	0.96748	735.56	10.000
标准大气压 (atm)	$1.01325 \times 10^5$	1.03323	1	760.00	10.3323
毫米汞柱 (mmHg)	133.3224	$1.3595 \times 10^{-3}$	$1.3158 \times 10^{-3}$	1	$13.595 \times 10^{-3}$
米水柱 (mH <sub>2</sub> O)	9806.65	0.1	0.096784	73.556	1

系统的压力常用压力计(图 1-2)来测量。由于压力计本身通常总是处于大气环境中,因此,由压力计测得的压力只能是系统的绝对压力与当时当地大气压力的差值,它是一个相对压力,并非系统的真实压力。

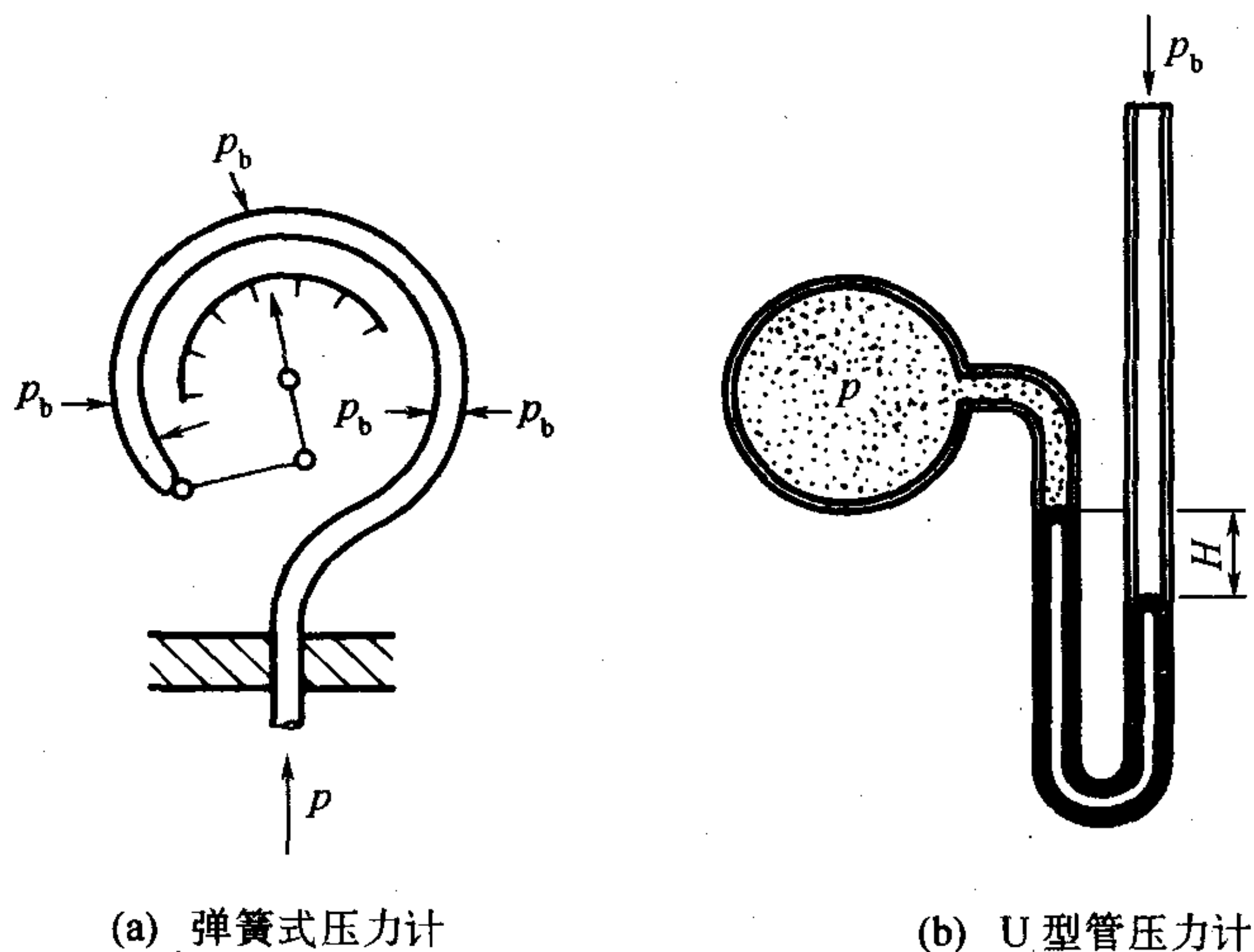


图 1-2 压力计

系统的真实压力称为绝对压力,用符号  $p$  表示。当系统的绝对压力  $p$  大于大气压力  $p_b$  时,压力计上测得的数值称为表压力,用  $p_g$  表示;当系统的绝对压力  $p$  小于大气压力  $p_b$  时压力计上测得的数值称为真空度,用  $p_v$  表示。显然有关系式:

$$p_g = p - p_b \quad (1-5)$$

$$p_v = p_b - p \quad (1-6)$$

$p$ 、 $p_g$ 、 $p_v$  与  $p_b$  之间的关系可通过图 1-3 形象地表示。

大气压力  $p_b$  随地球上的位置及气候条件等因素而变化,可由气压计测得。在绝对压力相同的系统中,由于  $p_b$  的变化,压力计上所测得的  $p_g$  与  $p_v$  是不同

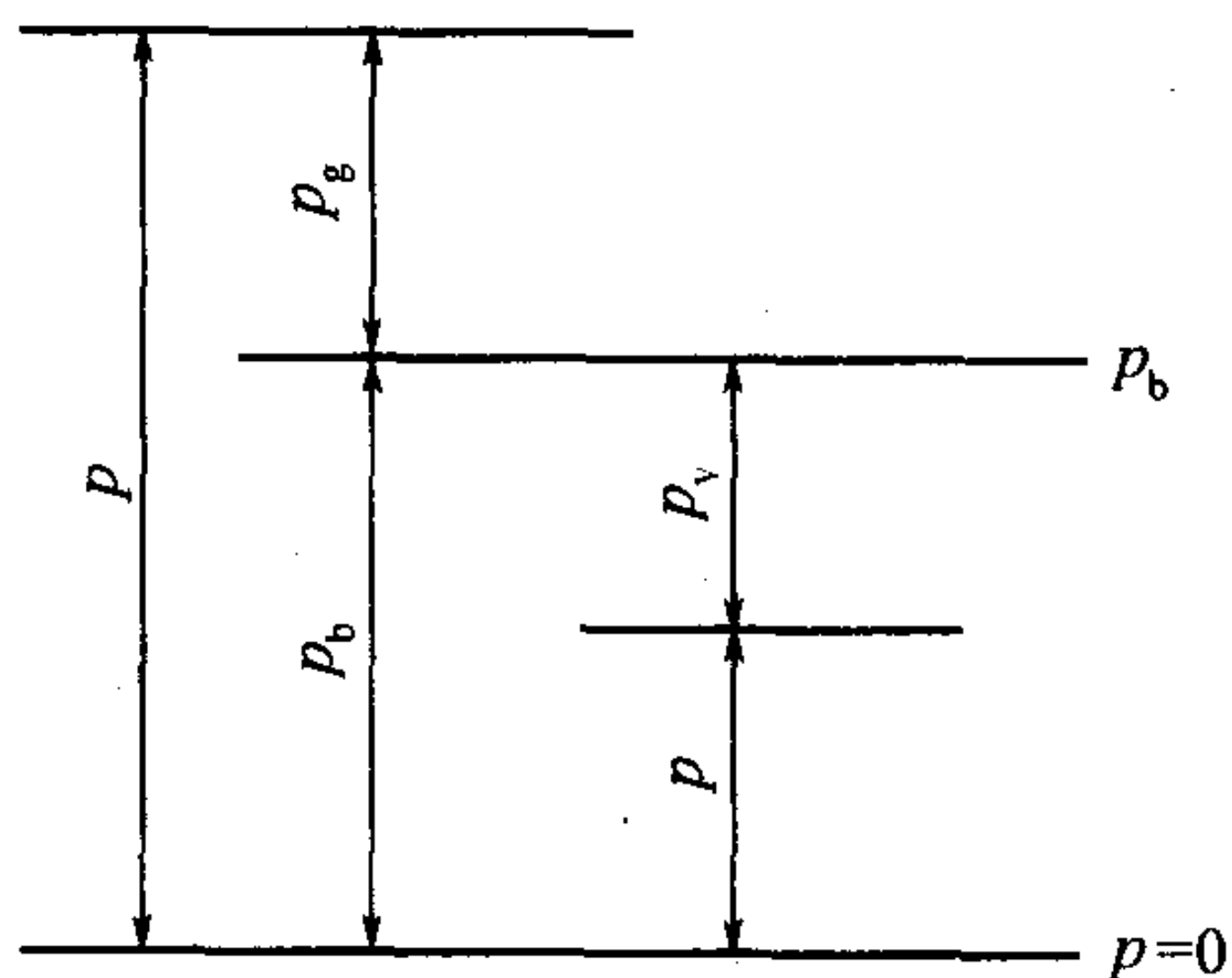


图 1-3  $p$ 、 $p_g$ 、 $p_v$  与  $p_b$  间关系图



的。在热力计算中,须用式(1—5)或(1—6)将表压力  $p_g$  或真空度  $p_v$  转换成绝对压力  $p$ 。只有绝对压力  $p$  才能表征工质所处的状态,才是状态参数。工程中为了简化计算,在被测系统的压力较高,而计算精度要求不高时,可将大气压力视为常数,近似取  $p_b = 0.1\text{MPa}$ 。但在系统压力较低,尤其在计算真空度时,必须采用当时当地大气压力  $p_b$  的数值计算,否则会引起较大的计算误差。

### 3. 比体积与密度

单位质量物质所占有的体积称为比体积,以符号  $v$  表示,即

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-7)$$

式中: $v$  为比体积,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $V$  为物质的体积,  $\text{m}^3$ ;  $m$  为物质的质量,  $\text{kg}$ 。

单位体积物质的质量称为密度,单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,以符号  $\rho$  表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-8)$$

显然,比体积与密度互为倒数,即  $\rho v = 1$ 。因此,比体积与密度不是两个相互独立的状态参数,只有一个( $v$  或  $\rho$ )是独立状态参数。

**【例 1—1】** 测得两系统内表压力分别为  $p_{g1} = 0.015\text{MPa}$  和  $p_{g2} = 1.5\text{MPa}$ ,当时当地气压计读数为  $0.1013\text{MPa}$ ,试计算两系统的绝对压力。

解 根据式(1—5)得两系统的绝对压力分别为

$$p_1 = p_{g1} + p_b = (0.015 + 0.1013)\text{MPa} = 0.1163 \text{ MPa}$$

$$p_2 = p_{g2} + p_b = (1.5 + 0.1013)\text{MPa} = 1.6013 \text{ MPa}$$

若取  $p_b = 0.1\text{MPa}$ ,近似计算得

$$p_1 = p_{g1} + p_b = (0.015 + 0.1)\text{MPa} = 0.115 \text{ MPa}$$

$$p_2 = p_{g2} + p_b = (1.5 + 0.1)\text{MPa} = 1.6 \text{ MPa}$$

计算误差分别为

$$\frac{0.1163 - 0.115}{0.1163} = 1.12\%$$

$$\frac{1.6013 - 1.6}{1.6013} = 0.08\%$$

**【例 1—2】** 测得某系统内气体的真空度为  $93.325\text{kPa}$ ,当时气压计读数为  $760\text{mmHg}$ ,试计算系统内工质的绝对压力。

解 根据式  $p = p_b - p_v$  及  $1\text{mmHg} = 133.3224 \text{ Pa}$  得

$$p = p_b - p_v = (760 \times 133.3224 - 93.325 \times 10^3)\text{Pa} = 8000\text{Pa} = 8 \text{ kPa}$$

若取  $p_b = 0.1\text{MPa} = 100\text{kPa}$ ,近似计算得

$$p = p_b - p_v = (100 - 93.325)\text{kPa} = 6.675 \text{ kPa}$$

计算误差为

$$\frac{8 - 6.675}{8} = 16.56\%$$

由此可见,在真空状态下将大气压近似取  $100\text{kPa}$ ,会引起很大的误差,故不宜近似取用。