

高等学校教材

专科适用

# 热工基础

沈阳电力高等专科学校 王大振 主编



993440

# 高等学校教材

————— 专 科 适 用 —————

## 热 工 基 础

沈阳电力高等专科学校 王大振 主编

中国电力出版社

## 内 容 提 要

本书由工程热力学和传热学两篇组成。工程热力学主要讲述热力学的基本概念、基本定律、工质的热力性质及热力过程、工质的流动和蒸汽动力装置循环等；传热学主要讲述导热、对流换热、辐射换热、传热过程和换热器。此外本书还附有供查用的有关图表。

本书为三年制高等工程专科学校电厂集控运行专业的专业基础课程教材，亦可供有关专业人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

热工基础/王大振主编.-北京:中国电力出版社,  
1998

高等学校教材:专科适用

ISBN 7-80125-491-0

I. 热… II. 王… III. 热工学-高等学校-教材  
IV. TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 19159 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

1998 年 5 月第一版 1998 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 497 千字

印数 0001—4180 册 定价 20.20 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

## 前 言

本书是根据电力部高等专科学校热动类专业教学委员会集控组 1992 年上海会议及 1993 年北京会议讨论并通过的《热工基础课程教学大纲》及《热工基础课程教材编写大纲》编写的。教学总时数为 100 学时。

本书主要讲述热力学的基本概念、基本定律、工质的热力性质、热力过程、工质的流动、蒸汽动力装置循环、热传递的基本规律、传热过程及换热器等。全书共分十三章，各章均附有小结、例题、思考题和习题。全书采用国家法定计量单位。

编者在本书的编写过程中既注意到内容的科学性和系统性，又考虑到集控运行专业的特点和要求，努力贯彻以必须、够用为度的原则。

本书在编写中考虑到国家在热学领域中名词术语的规范工作正在进行中，为此参照国家标准和全国自然科学名词审定委员会的名词术语作了适当取舍，尽量照顾现行习惯用法，以免造成不必要的混乱。所有与习惯用法不一致的名词，在第一次出现时均以页下注的方式作了说明。

书中标有 \* 号的内容是相对独立的，可根据教学的具体情况删减，并不影响本书的系统性。

本书由沈阳电力高等专科学校王大振编写绪论和第四、五、七、八章；赵宝珠编写第一、二、三、六、十章；太原电力高等专科学校张天荪编写第九、十一、十二、十三章。王大振任主编。

本书由南京电力高等专科学校李笑乐老师和北京电力高等专科学校楼重义老师主审。编者感谢主审人对本书的仔细审阅及提出的宝贵意见。本书在编写过程中还得到沈阳电力高等专科学校王为恩等老师的帮助，编者对他们所提出的宝贵建议，深致谢意。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1997 年 6 月

240900

# 主要符号

## 拉丁字母

$A$	面积	$p_s$	饱和压力
$a$	热扩散率	$Q$	热量
$c$	质量比热	$q$	热流密度
$c_m$	摩尔比热	$R$	气体常量; 热阻; 半径
$D$	蒸汽量; 管径	$R_m$	通用气体常量
$d$	汽耗率; 含湿量; 管径	$r$	汽化潜热; 单位面积热阻; 半径
$E$	辐射力	$S$	熵
$F$	力	$s$	比熵; 管间距; 平均射线行程
$g$	重力加速度	$T$	热力学温度
$H$	焓; 液柱高度	$T_s, (t_s)$	饱和温度
$h$	比焓	$t$	摄氏温度; 时间
$K$	传热系数	$U$	内能; 周长
$k$	火焰减弱系数; 绝热指数	$u$	比内能; 速度
$M$	分子量; 摩尔质量	$V$	体积
$Ma$	马赫数	$V_m$	摩尔体积
$m$	质量	$v$	比体积
$q_m$	质量流量	$W$	膨胀功; 循环净功
$p$	压力	$w$	比膨胀功, 比循环净功; 均方根速度
$P$	功率	$W_t$	技术功
NTU	传热单元数	$w_t$	比技术功
$n$	摩尔数	$x$	干度
$p_s$	绝对压力	$W_i, x_i$	质量分数
$p_{amb}$	大气压力	$x_i$	摩尔分数
$p_g$	表压力	$Z$	位置高度
$p_v$	真空; 水蒸气分压力	$\varphi$	体积分数

## 希腊字母

$\alpha$	对流换热系数; 吸收率	$\eta_{cc}$	卡诺循环热效率
$\beta$	体积膨胀系数; 肋化系数	$\eta_f$	肋片效率
$\beta_m$	分离常数	$\eta_c$	循环热效率; 肋壁总效率
$\gamma_c$	临界压力比	$\eta_{ri}$	相对内效率
$\delta$	壁厚	$\Theta$	无因次过余温度
$\varepsilon$	制冷系数; 辐射率; 黑度; 传热有效度	$\theta$	过余温度
$\varepsilon_n$	供热系数	$\theta_m$	中心平面过余温度
$\eta$	效率	$\lambda$	热导率

$\mu$  动力黏滞系数  
 $\rho$  密度；反射率  
 $\sigma_b$  斯忒藩—波耳兹曼常量

$\phi$  锥角；几何形状因子；角系数  
 $\tau$  时间；穿透率  
 $\Delta t_m$  平均温度

### 角 注 符 号

a 湿空气中干空气  
 c 临界点；卡诺循环  
 D 露点  
 g 气体  
 is 孤立系  
 L 液体

o 标准状态；环境；滞止  
 p 等压过程  
 s 绝热过程；饱和状态  
 v 等体积过程  
 w 水

# 目 录

前 言

主要符号

绪论 ..... 1

## 第一篇 工程热力学

第一章 基本概念.....	5
第一节 热力系 .....	5
第二节 工质的状态参数 .....	6
第三节 平衡状态、状态方程式、参数坐标图 .....	12
第四节 热力过程 .....	14
小结 .....	17
思考题 .....	18
习题 .....	18
第二章 热力学第一定律.....	20
第一节 热量 .....	20
第二节 功 .....	21
第三节 热力学第一定律 .....	23
第四节 闭口系能量方程及其应用 .....	24
第五节 开口系能量方程及其应用 .....	26
小结 .....	32
思考题 .....	33
习题 .....	33
第三章 理想气体 .....	36
第一节 理想气体及其状态方程 .....	36
第二节 理想气体的比热、内能、焓和熵 .....	40
第三节 理想气体混合物 .....	50
第四节 理想气体的热力过程 .....	57
小结 .....	68
思考题 .....	73
习题 .....	73
第四章 热力学第二定律.....	76
第一节 热力循环 .....	76
第二节 热力学第二定律 .....	78
第三节 卡诺循环 .....	79

第四节 孤立系熵增原理 .....	82
*第五节 热力系的做功能力 .....	85
小结 .....	89
思考题 .....	90
习题 .....	90
第五章 水和水蒸气 .....	93
第一节 基本概念 .....	93
第二节 水蒸气的产生过程 .....	95
第三节 水和水蒸气的热力性质 .....	98
第四节 水和水蒸气热力性质表和图 .....	101
第五节 水蒸气的热力过程 .....	104
小结 .....	108
思考题 .....	109
习题 .....	109
第六章 气体和蒸汽的流动 .....	111
第一节 稳定流动的基本方程 .....	111
第二节 气体流动时的基本规律 .....	114
第三节 喷管的计算 .....	118
第四节 绝热节流 .....	130
小结 .....	131
思考题 .....	133
习题 .....	133
第七章 蒸汽动力装置循环 .....	135
第一节 饱和蒸汽的卡诺循环 .....	135
第二节 朗肯循环 .....	136
第三节 蒸汽参数对循环热效率的影响 .....	142
第四节 再热循环 .....	146
第五节 回热循环 .....	149
第六节 热电联产循环 .....	158
小结 .....	160
思考题 .....	160
习题 .....	160
第八章 湿空气 .....	162
第一节 湿空气的概述 .....	162
第二节 湿空气的状态参数 .....	163
第三节 湿空气的焓-含湿量图 .....	167
*第四节 湿空气的热力过程 .....	169
小结 .....	172
思考题 .....	172
习题 .....	173



## 第二篇 传 热 学

概述 .....	174
第九章 稳态导热 .....	177
第一节 导热的基本定律 .....	177
第二节 平壁的稳态导热 .....	179
第三节 圆筒壁的稳态导热 .....	183
第四节 肋片的稳态导热 .....	187
第五节 导热形状因子 .....	193
小结 .....	195
思考题 .....	195
习题 .....	196
第十章 非稳态导热 .....	198
第一节 非稳态导热的概念 .....	198
第二节 数学分析解法 .....	200
小结 .....	208
思考题 .....	209
习题 .....	209
第十一章 对流换热 .....	211
第一节 对流换热的概念 .....	211
第二节 相似理论简介 .....	215
第三节 单相流体的对流换热 .....	223
第四节 流体的相变换热 .....	236
小结 .....	247
思考题 .....	248
习题 .....	248
第十二章 热辐射及辐射换热 .....	251
第一节 热辐射的概念 .....	251
第二节 热辐射的基本定律 .....	254
第三节 物体间的辐射换热 .....	259
第四节 气体辐射 .....	274
小结 .....	279
思考题 .....	281
习题 .....	282
第十三章 传热过程与换热器 .....	284
第一节 传热过程 .....	284
第二节 换热器的形式及平均温差 .....	294
第三节 间壁式换热器的热计算 .....	301
小结 .....	308
思考题 .....	308

习题 .....	309
附录 .....	311
参考文献 .....	341

# 绪 论

## 一、热能及其利用

自然界能源的开发和利用是人类走向繁荣的起点。能源开发和利用的程度又是生产发展的一个重要标志。目前自然界中可被利用的能源主要有风能、水能、太阳能、地热能、燃料的化学能和原子核能等。在这些能源中，除风能和水能是以机械能的形式提供给人类利用外，其他能源往往都需经过能量的转换，以热能形式供人类利用。太阳能以热辐射的形式，地热能以热水和蒸汽的形式直接提供热能。煤、石油、天然气等燃料的化学能通过燃烧反应，原子核能通过裂变或聚变反应转换为热能。人类在生产和生活中主要应用的能源是热能。

热能的应用有两种方式：

(1) 直接应用。如在造纸、纺织、化工、冶金、轻工等生产部门，可将热能直接用于加热、干燥等生产工艺过程中，也可直接应用于人们的生活中。

(2) 间接应用。这是将热能转换为机械能或电能的形式向人们提供动力。如车辆、船舶、飞机等使用的热力发动机，又如火力发电厂将热能最终转换为电能等。

因此，热能的研究和有效利用，对社会生产和人类生活都具有重大的意义，也是关系到国民经济发展的的重要因素，应给予必要的重视。

## 二、热能与机械能或电能的转换过程

目前，热能动力工程中使用的热能，主要是煤、石油、天然气等燃料的化学能在燃烧设备中进行燃烧反应释放（转换）出的热能，热能在热机中转换为机械能，或者再通过发电机将机械能转换为电能供使用。

将燃料的化学能转换为热能，以及将热能转换为机械能的一整套设备称为热能动力装置。热能动力装置可分为内燃动力装置（燃气动力装置）和外燃动力装置（蒸汽动力装置）两大类。内燃动力装置使用的热机为内燃机、燃气轮机、喷气发动机等；外燃动力装置则使用锅炉和蒸汽机、蒸汽轮机等热机。

下面分别介绍两种典型的热能动力装置的工作原理及热能转换为机械能的过程。

### 1. 内燃动力装置

内燃动力装置的热机称为内燃机，如柴油机、汽油机等。

汽油机的主要组成部分如图 0-1 所示。当活塞右行时，进气管中的进气阀开启，排气管中的排气阀关闭，燃料（油）和空气经雾化混合后被吸入气缸内。当活塞左行时，进、排气阀均关闭，气缸内的油气混合物被压缩，随即经电火花点燃而燃烧，燃

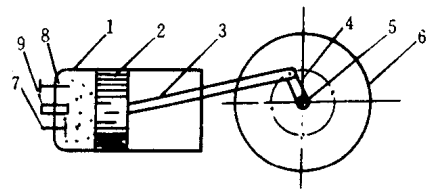


图 0-1 汽油机示意图

1—气缸；2—活塞；3—连杆；4—曲臂；5—轴；6—飞轮；7—进气阀；8—排气阀；9—油管

料的化学能通过燃烧反应转换为燃气的热能，燃气的温度和压力均迅速升高，此过程为气体的吸热过程。缸内的高温高压燃气膨胀推动活塞右行，即将燃气的热能通过膨胀转换为活塞运动的机械能，此过程为气体膨胀做功过程。当活塞再次左行时，排气阀开启，进气阀关闭，将做功后的燃气排出至大气，这部分燃气必然带有部分热量进入大气，此过程为气体的放热过程。从上述可见，汽油机的工作经历了吸气压缩、燃烧吸热、膨胀做功和排气放热四个过程，实现了将燃料化学能通过燃烧产生的热能转换为机械能。新的燃料和空气重新被吸入气缸，同样经历上述四个过程，周而复始地工作，从而获得连续输出的由燃料的化学能转换来的机械能。

## 2. 外燃动力装置

外燃动力装置用得最多的是由锅炉、汽轮机、凝汽器、水泵等设备组成的一整套装置，又称为蒸汽动力装置。如图 0-2 所示。

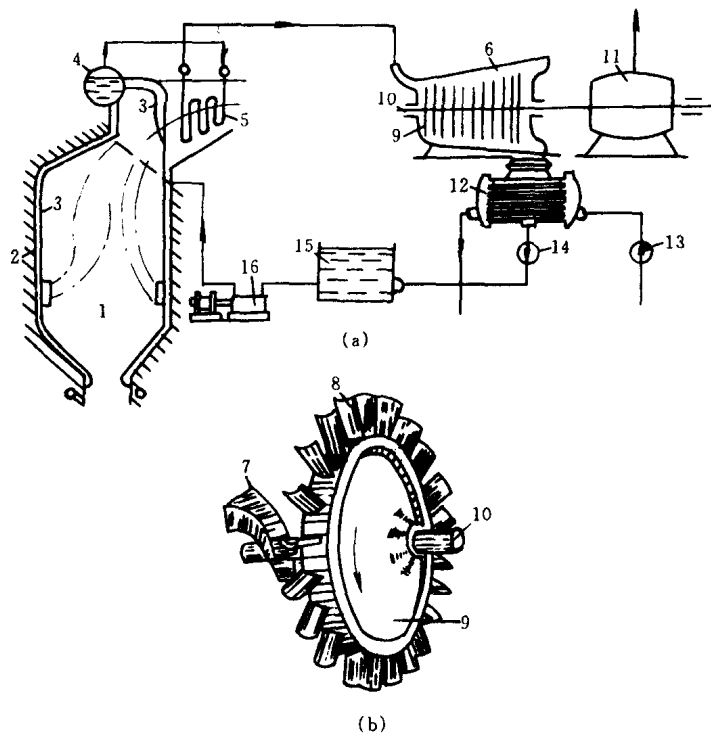


图 0-2 蒸汽动力装置示意图

- 1—锅炉炉膛；2—炉墙；3—水冷壁；4—汽包；5—过热器；  
6—汽轮机；7—喷嘴；8—叶片；9—叶轮；10—轴；11—发  
电机；12—凝汽器；13、14、16—泵；15—水箱

燃料在锅炉炉膛中燃烧产生高温烟气，这是燃料的化学能通过燃烧反应转换为烟气的热能，烟气的热能经过传热过程传递给水冷壁管内的水，使水温升高、沸腾、部分汽化成水蒸气，汽水混合物进入汽包并在其中进行汽水分离，水蒸气被引入过热器再次被烟气加热为过热水蒸气，此过程为水和水蒸气的吸热过程。

在过热器中经过过热的高温高压水蒸气引入汽轮机，水蒸气经过汽轮机的喷嘴而降压

膨胀增速，将水蒸气的热能转换为水蒸气流的动能，高速气流冲击汽轮机叶轮上的叶片，使叶轮和轴转动，获得机械能，此过程为水蒸气膨胀做功过程。转轴带动发电机发电，将机械能转换为电能。

以上是火力发电厂能量转换的全部过程。

在汽轮机中膨胀做功后，温度、压力均下降而排出汽轮机的水蒸气称为乏汽。乏汽进入凝汽器，在凝汽器的铜管外表面被管内流动的循环水冷却而凝结成水，乏汽凝结成水时放出热量，该热量被循环冷却水带走，故此过程为水蒸气凝结放热过程。

从凝汽器出来的凝结水经水泵送入水箱，再经一个水泵（此泵称为给水泵）将水升压送入锅炉，此过程为水的升压过程。

从上述可知，水在蒸汽动力装置中经历了升压、吸热汽化、膨胀做功、凝结放热四个过程。这样周而复始不断循环，可连续不断地将燃料的化学能最终转换为电能。

在上述蒸汽动力装置中和内燃动力装置中，实现能量的转换都需借助于某种媒介物质去实现压缩、吸热、膨胀、放热四个过程，如像汽油机中的燃气，汽轮机中的水蒸气，它们都是实现能量转换的媒介物质，我们把这种媒介物质称为工质。

由于热能转换为机械能是通过气体膨胀来实现的，所以要求工质应具有良好的流动性和膨胀性。在自然界的固态、液态和气态三相物质中，气态物质具有上述特点，因此在热能动力装置中常以气态物质作为工质。

我们将向工质提供热能的高温恒温物体称为高温恒温热源，简称为热源；同样将吸收工质排放热能的低温恒温物体称为低温恒温热源，简称冷源。无论高温恒温热源放出多少热能或低温恒温热源吸收多少热能，皆认为其温度不变。

### 三、热工基础课程研究的主要内容

热工基础课程的内容包括工程热力学和传热学两部分。它们均为工程热物理学的两个分支学科。它们均着重于研究热能的转换和传递在工程上的应用，以期达到有效利用热能和增强（或削弱）传热的目的。

工程热力学是研究热能与机械能相互转换的规律、方法、条件以及工质的热物理性质的学科，目的在于建立热机理论。

热能与机械能的相互转换，必须遵循两个基本规律，即热力学第一定律和热力学第二定律。热力学第一定律说明热能与机械能相互转换的数量关系；热力学第二定律说明热能与机械能的转换存在方向性，或者说热能与机械能存在质的差别。

热能与机械能的相互转换是借助于工质经历压缩、吸热、膨胀、放热这一系列过程才实现的。工质种类不同或同一种工质所经历的过程不同，能量转换的效果不同，因此，还要研究有关工质的热物理性质和各种热力过程。

为结合工程实际，工程热力学部分还要研究工质流动的基本规律和蒸汽动力装置的各种热力循环。

传热学是研究由于存在温度差而引起的热量传递的机理、规律以及计算和测试方法。

传热学还研究不同条件下热传递系统中的温度分布。

研究传热学的目的是掌握传热量的计算和测试方法以及增强或削弱传热的措施，为工

程实践服务。

概括起来说，热工基础这门课程是研究热能与机械能之间的相互转换规律和热能传递基本规律的学科，是从事火电厂集控运行专业人员必须掌握的基本理论知识，是控制运行热能动力设备的基础。

#### 四、热工基础课程的研究方法

工程热力学部分的研究方法是用宏观的方法描述热现象，即对自然界的热现象进行直接观察和实验，总结出热现象的普遍规律。同时又从微观分子运动论的统计观点对热现象加以解释。传热学部分采用理论分析和实验相结合的方法解释和计算热量的传递规律。无论工程热力学部分还是传热学部分都着眼于工程实际的应用。

# 第一篇 工程热力学

## 第一章 基本概念

工程热力学是研究热能与机械能相互转换规律的学科。本章介绍与之有关的基本概念和术语，掌握它们是学好后续内容的前提。

### 第一节 热力系

热能连续不断地转换为机械能是通过热动力装置的工作实现的。

无论是内燃动力装置还是外燃动力装置，在实现热能转换为机械能时，都需借助于某种媒介物质（如燃气、水蒸气）经历压缩，从高温恒温热源吸热、膨胀做功，将热能转换为机械能及排汽向低温恒温热源放热四个过程来实现。我们将这种媒介物质称为工质。

实现热能与机械能转换的设备称为热机。如内燃动力装置中的汽油机、柴油机、燃气轮机等及外燃动力装置中的蒸汽机、蒸汽轮机等。

热力学中，为了明确分析研究的对象，把某种边界所包围的特定物质或空间与周围物体分割开来，这种被人为分割开来的特定物质和空间作为热力学的研究对象称为热力系统，简称热力系；边界以外的周围一切物质称为外界。热力系如同力学中的隔离体一样。

热力系可以是一种物质或几种物质的组合，也可以是空间的一定区域。包围热力系的边界可以是真实的、虚构的，也可以是固定的、移动的。

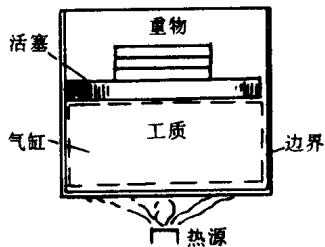


图 1-1 闭口热力系

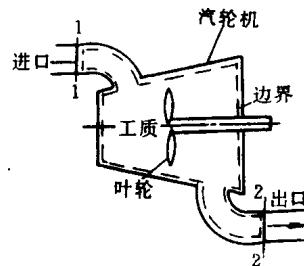


图 1-2 开口热力系

若取气缸中封闭的工质为热力系，则活塞、重物及热源为外界，如图 1-1 所示，气缸和活塞的内壁面是真实的分界面，而活塞却是可以上、下移动的分界面。在汽轮机中取进、出口截面 1-1 与 2-2 之间的气体作为研究对象，如图 1-2 所示，那么进、出口截面 1-1 和 2-2 是假想的，汽轮机壳体的内壁是真实的、固定的分界面。

一般情况下，热力系与外界可以有能量和物质的交换。能量的交换有传热和做功两种形式，而物质的交换是通过工质不断地流进、流出热力系实现的。

根据热力系和外界进行物质和能量交换的特点，可以把热力系分成以下几种类型。

按照热力系与外界有无物质的交换，可以把热力系分为闭口系和开口系。与外界没有任何物质交换的热力系称为闭口系。这时没有任何物质穿越边界流进和流出热力系，热力系的质量保持守恒，所以闭口系又称控制质量系。图 1-1 中取封闭在气缸中的气体为研究对象，这个热力系就是闭口系。闭口系可以与外界有能量交换。与外界有物质交换的热力系称为开口系。由于一般开口系的空间体积<sup>①</sup>取为不变，所以开口系又称为控制体积系。图 1-2 中取汽轮机外壳包围的空间为一个热力系，因为热力系和外界间不断通过进口和出口处的边界交换物质，这个热力系就是开口系。

按照热力系和外界交换能量的情况，把热力系分成绝热系和孤立系。与外界无热量交换的热力系称为绝热系。与外界无任何形式能量（包括功和热量）和物质交换的热力系称为孤立系。自然界中的事物是普遍相互联系的，相互制约的。所以绝对的绝热系和孤立系实际上是不存在的。在某些特殊情况下，可以简化为这两个理想的模型。如热力系与外界交换热量很少，可以作为绝热系，绝热的刚性闭口容器可以看作孤立系。

从热力系本身性质看，我们把热力系中各处性质均匀一致的热力系称为均匀系，反之则称为非均匀系。

热力系的划分应根据分析问题的需要及分析方法上的方便而定。例如：我们可以把整个蒸汽动力装置划作一个热力系，计算它和外界所交换的功和热量，这时整个蒸汽动力装置中工质的质量不变，是闭口系。若只分析其中某个设备如汽轮机的工作过程，取汽轮机内的空间为热力系，这时有工质流进、流出汽轮机，这个热力系就是开口系。

## 第二节 工质的状态参数

工质在热力设备中，必须通过压缩、吸热、膨胀、放热等过程才能完成热能转换为机械能的工作。在实现能量转换的过程中，工质的物理特性随时发生变化，即工质的宏观物理状况总在不断地发生变化，而且不同的变化过程，能量转换的规律也不同。为了描述工质的变化，就需要说明变化过程中工质所经历各点的宏观状况。热力学中把工质在某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为工质的热力学状态，简称为状态。工程热力学中只从宏观上去研究工质所处的状态及其变化规律，而不从微观角度去研究个别粒子的行为和特性，所以我们只能采用宏观量来描述工质所处的状态。用来描述工质所处状态的宏观物理量称为状态参数，如温度、压力等。根据状态参数的定义可知，对应于某个给定的状态，所有状态参数都应有各自确定的数值。因此状态参数是由工质的状态确定的，即状态参数是状态的单值函数。状态参数的变化量，只决定于工质的初始和终了状态，而与工质到达这一状态的途径无关。其数学表达式为

$$\Delta x = \int_1^2 dx = x_2 - x_1 \quad (1-1)$$

① 本书按国家标准用“体积”，不用“容积”。



式中  $x_1, x_2$ ——分别为状态 1 和状态 2 时的状态参数。

若热力系从某一状态出发经历一系列的状态变化过程回到原状态，即工质经历一个状态变化的封闭过程，则其状态参数的变化量必为零，其数学表达式为

$$\oint dx = 0 \quad (1-2)$$

以上所述是状态参数的特征。(1-1) 式 (1-2) 式常作为判断一个参数是不是状态参数的条件。

热力学中采用的主要状态参数有温度、压力、比体积、内能、焓、熵等。前三个状态参数可用仪表直接或间接测量，称它们为基本状态参数；后三个状态参数，不易测量，可用基本状态参数导出，称为导出状态参数。本章将分别介绍以上六个状态参数。

### 一、温度和热力学第零定律

从宏观上看，温度是标志物体的冷热程度的物理量。较热物体具有较高温度，较冷物体具有较低温度。两个冷热程度不同（即温度不同）的物体，当它们相互接触时，它们之间会自发地进行热量交换。在不受外界影响的条件下，由于温差传热，热物体逐渐变冷，温度逐渐下降；冷物体逐渐变热，温度逐渐升高。经过一定时间后，两物体冷热程度相同，即它们的温度相等，热交换停止，两物体的温度不再变化，这就表示它们之间达到了某种共同的平衡，这种平衡称为热平衡。可见，热平衡的条件为物体的温度相等。

从微观上看，温度标志物体分子热运动的激烈程度。对于气体，温度是大量分子平均移动动能的量度。根据分子运动论理论，温度和大量气体分子的平均移动动能之间具有如下的简单关系：

$$\frac{1}{2}mw^2 = BT \quad (1-3)$$

式中  $T$ ——气体的热力学温度；

$B$ ——比例系数；

$w$ ——分子移动的均方根速度；

$\frac{1}{2}mw^2$ ——分子的平均移动动能。

从 (1-3) 式可见，温度高，表示气体分子的平均移动动能大；温度低，表示气体分子的平均移动动能小。两个温度不等的物体相互接触时，通过接触面上分子的互相碰撞，分子平均移动动能较大的高温物体将部分能量传给分子平均移动动能较小的低温物体，直到两个物体的分子平均移动动能相等为止，亦即两个物体的温度相等，达到了热平衡状态。

热平衡是确立温度定义和温度测量的基础，取 A、B、C 三个热力系，把 B 和 C 隔开，但它们同时都与 A 接触，如图 1-3 (a) 所示。一定时间以后，A 与 B 以及 A 与 C 都达到热平衡。这时，如使 B 与 C 接触，如图 1-3 (b) 所示，发现 B 与 C 也处于热平衡中。

由此可见，若两个热力系分别与第三个热力系热平衡时，那么，这两个热力系彼此也处于热平衡。这是热力学的一个基本实验结果，称为热力学第零定律。热力学第零定律，说明一切系统必定有一个共同的表征宏观热状况的状态参数。对于所有处于热平衡的系统，该