

31265502

TK12
27

工程热力学与传热学

黄方谷 韩风华 编



北京航空航天大学出版社



C0081540

(京)新登字 166 号

内 容 简 介

本书根据航空高校飞行器设计及工程力学类专业的工程热力学与传热学教学大纲编写。第一篇工程热力学,第二篇传热学,着重阐述与该学科有关的基本概念、基本理论及工程计算方法,并结合实例分析,各章还配有例题和习题,书后附有必要的图表以备查用。

本书可作为航空高校飞行器设计和工程力学类专业学生的教材,还可供从事能源、动力、环境控制及空调制冷等工程的技术人员参考。

工程热力学与传热学

GONGCHENG RELIXUE YU CHUANREXUE

黄方谷 韩风华 编

责任编辑 赵廷永

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

北京航空航天大学出版社微机室排版

朝阳科普印刷厂印装

850×1168 1/32 印张:15.25 字数:409千字

1993年3月第一版 1993年3月第一次印刷 印数:2500册

ISBN 7-81012-366-1/TK·016 定价:4.70元

前 言

工程热力学与传热学是工程热物理学的两个分支,是工科机械设计类专业的主要技术基础课。

本书共分两篇,第一篇工程热力学中,着重阐述了热力学的基本概念、热力学第一和第二定律、工质的性质、热力过程和热力循环以及气体和蒸汽在喷管或节流装置中作稳定流动时的基本规律和计算方法等。第二篇传热学中主要介绍了热传递的三种基本方式:即导热(包括稳态及非稳态导热)、对流换热(包括无相变的对流换热及沸腾与冷凝换热)及辐射换热(包括固体、气体及太阳辐射换热);最后还阐述了传热及换热器热力计算的有关问题。

为保证基本内容要求并减少篇幅,本书以循序渐进、深入浅出、突出重点、分散难点为原则,在内容安排上与常见同类书比较,本书作了较多的概括和调整,如第一篇中的一、三、六、八、九章和第二篇中的一、五、六、七章。

本书由北京航空航天大学飞行器设计与应用力学系黄方谷教授和韩风华副教授合编,第一篇由韩风华编写,第二篇由黄方谷编写。北京科技大学热能系周筠清教授和汤学忠副教授对本书作了认真的审核并提出了许多宝贵意见,编者在此表示深切的谢意。

限于编者水平,书中必有不妥或错误之处,恳请读者指正。

编 者

1992. 8

主要符号表

工程热力学部分

| | |
|-------|---|
| A | 面积, m^2 |
| a | 音速, m/s ; 抽气率, 无因次; 范德瓦尔常数, 无因次 |
| b | 范德瓦尔常数, 无因次 |
| C | 千摩比热, $\text{kJ/kmol} \cdot \text{K}$ (或 $\text{J/kmol} \cdot \text{K}$) |
| c | 质量比热, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$ (或 $\text{J/kg} \cdot \text{K}$) |
| c' | 容积比热, kJ/Nm^3 (或 J/Nm^3) |
| c_p | 定压质量比热, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| c_v | 定容质量比热, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| c_m | 质量平均比热, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| c_n | 多变比热, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| d | 含湿量, g/kg (干空气) |
| E | 热力系统总储存能, kJ (或 J) |
| E_k | 动能, kJ (或 J) |
| E_p | 位能, kJ (或 J) |
| E_s | 稳定流动开口系统的焓, kJ (或 J) |
| e | 单位质量物质总储存能, kJ/kg (或 J/kg) |
| e_s | 稳定流动开口系统的比焓, kJ/kg (或 J/kg) |
| F | 华氏度; F 、力, N |
| g | 重力加速度 m/s^2 |
| H | 焓, kJ (或 J) |
| h | 比焓, kJ/kg (或 J/kg); 液体高度, mm |
| k | 比热比(绝热指数), 无因次 |
| M | 千摩质量, kg/kmol ; 分子量, 无因次; 马赫数, 无因次 |

| | |
|--------------|---------------------------------|
| m | 质量, kg |
| \dot{m} | 质量流量, kg/s |
| n | 千摩数, 无因次; 多变指数 |
| p | 压力, 绝对压力, Pa (或 bar) |
| Q | 热量, kJ (或 J) |
| q | 比热量, kJ/kg (或 J/kg) |
| \dot{Q} | 热流量, kJ/s (或 J/s) |
| R | 气体常数, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| R_m | 通用气体常数, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| r | 容积成分, 无因次; 气化潜热, kJ/kg (或 J/kg) |
| S | 熵, kJ/K (或 J/K) |
| s | 比熵, kJ/kg K (或 J/kg K) |
| ΔS_f | 熵流, kJ/K (或 J/K) |
| ΔS_g | 熵产, kJ/K (或 J/K) |
| T | 热力学温度, K |
| t | 摄氏温度, °C |
| t_d | 露点, °C |
| U | 内能, kJ (或 J) |
| u | 比内能, kJ/kg (或 J/kg) |
| V | 容积, m ³ |
| V_A | 气缸排量, m ³ |
| V_m | 千摩容积, m ³ /kmol |
| \bar{V} | 速度, m/s |
| v | 比容, m ³ /kg |
| W | 功, kJ (或 J) |
| w | 比功, kJ/kg (或 J/kg) |
| W_c | 压缩功, kJ (或 J) |
| w_c | 比压缩功, kJ/kg (或 J/kg) |

| | |
|--------------|----------------------------------|
| W_L | 作功能量损失, kJ (或 J) |
| W_s | 轴功, kJ (或 J) |
| w_s | 比轴功, kJ/kg (或 J/kg) |
| W_t | 技术功, kJ (或 J) |
| w_t | 比技术功, kJ/kg (或 J/kg) |
| x | 干度, 无因次; 混合气体质量成分, 无因次; 距离, m |
| y | 混合气体摩尔成分, 无因次 |
| Z | 压缩因子, 无因次、离地高度, m |
| α | 角度 |
| ϵ | 压缩比, 无因次 |
| ϵ_c | 制冷系数, 无因次 |
| ϵ_w | 制热系数, 无因次 |
| η_i | 热效率, 无因次 |
| η_o | 热力完善度, 无因次 |
| λ | 升压比, 无因次 |
| ξ | 热利用系数, 无因次 |
| Φ | 闭口热力系统焒, kJ (或 J) |
| φ | 闭口热力系统比焒, kJ/kg (或 J/kg) |
| ψ | 相对湿度, 无因次 |
| ρ | 密度, kg/m ³ , 预胀比, 无因次 |

角标

| | |
|-------|-----------|
| a | 可用的, 干空气的 |
| b | 大气的 |
| c | 临界状态的 |
| cc | 逆卡诺循环制冷 |
| g | 表压的 |
| ir | 不可逆 |
| iso | 孤立系统的 |

| | |
|------|------------------------|
| 0 | 0℃时的,定值的,循环的,未饱和水的,环境的 |
| r | 对比状态的 |
| re | 可逆的 |
| s | 定熵的 |
| T | 定温的 |
| v | 定容的,容积的,真空的,蒸汽的 |
| w | 工质的,水的 |

传热学部分

| | |
|-----------|---|
| A | 面积、截面积, m^2 |
| C | 黑体辐射系数, 无因次; |
| c | 比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$; 音速, m/s |
| D | 直径, m |
| E | 辐射力, W/m^2 ; 总能量, J |
| F | 力, N ; 角系数, 无因次; |
| f | 平壁摩擦系数, 无因次; |
| G | 质量流速, $kg/(m^2 \cdot s)$; 投射辐射, W/m^2 |
| g | 重力加速度, m/s^2 |
| h | 对流换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; 比焓, J/kg |
| I | 定向辐射强度, $W/(m^2 \cdot sr)$ |
| J | 有效辐射, W/m^2 |
| k | 导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$; 绝热指数, 无因次; |
| L | 长度, m |
| Ma | 马赫数, 无因次; |
| m | 质量, kg |
| \dot{m} | 质量流量, kg/s |
| P | 周长, m |
| p | 压力, N/m^2 |

| | |
|------------|--|
| Q | 热流, W |
| q | 热流密度, W/m^2 |
| R | 热阻, $^{\circ}C/W$; 气体常数, $J/kg \cdot K$ |
| r | 半径, m; 恢复系数; 汽化潜热, J/kg |
| S | 管群几何参数, m |
| T | 绝对温度, K |
| t | 温度, $^{\circ}C$ |
| U | 传热系数, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ |
| V | 体积, m^3 |
| v | 比容, m^3/kg |
| W | 热容量(水当量), $J/^{\circ}C$ |
| w | 速度, m/s |
| α | 导温系数, m/s; 吸收率, 无因次; |
| β | 体胀系数, K^{-1} ; 肋化系数, 无因次; |
| γ | 频率, 1/s |
| δ | 边界层、膜层、夹层及肋片的厚度, m |
| ϵ | 换热器效率, 无因次; 表面粗糙度, 无因次; 黑度, 无因次; |
| η | 效率, 无因次; |
| θ | 温度差, $^{\circ}C$; 辐射方向角; 湿润角 |
| λ | 波长, m |
| μ | 动力粘度, $kg/(m \cdot s)$ 或 $N \cdot s/m^2$ |
| ν | 运动粘度, m^2/s |
| ξ | 管内摩擦系数, 无因次; |
| ρ | 密度, kg/m^3 ; 反射率, 无因次; |
| σ | 黑体辐射常数, $W/(m^2 \cdot K^4)$; 表面张力, N/m |
| τ | 时间, s; 切应力, N/m^2 ; 透射率, 无因次; |
| φ | 角度; 物体几何形状类别因素, 无因次; |
| ω | 立体角, sr |
| ψ | 平均温压修正系数, 无因次; |

角标

| | |
|------|----------------|
| a | 大气的 |
| aw | 绝热壁的 |
| b | 底层的, 边界面的, 黑体的 |
| c | 中心的, 接触的, 特征的 |
| cr | 临界的 |
| D | 直径的 |
| e | 有效的, 当量的 |
| f | 流体的, 肋片的 |
| h | 单位对流表面积 |
| hA | 对流总表面积的 |
| i | 内部的, 输入的 |
| k | 单位导热面积 |
| kA | 导热总面积的 |
| L | 单位长度的 |
| l | 液体的 |
| lm | 对数平均的 |
| m | 算术、膜层平均的 |
| n | 法向的 |
| o | 外部的, 输出的, 初始的 |
| p | 定压的 |
| r | 半径的, 辐射的 |
| rA | 辐射总表面积的 |
| s | 饱和的 |
| T | 总的 |
| TA | 总的热传递表面的 |
| U | 传热的 |
| UA | 传热总面积的 |
| v | 蒸气的, 内热源的 |

| | |
|-----------|-----------|
| w | 壁面的 |
| α | 吸收的 |
| β | 浮升的 |
| θ | 定向的 |
| λ | 单色的 |
| ρ | 反射的 |
| τ | 透射的 |
| ∞ | 环境的, 自由流的 |
| φ | 角度的 |
| max | 最大的 |

相似准则

$$Bi = \frac{h(V/A)}{k} \text{——毕渥(Biot)准则}$$

$$Fo = \frac{\alpha\tau}{(V/A)^2} \text{——傅里叶(Fourier)准则}$$

$$Ec = \frac{w_{\infty}^2}{c_p(t-t_{\infty})} \text{——埃克特(Eckert)准则}$$

$$Gr = \frac{\beta g L^3 \Delta t}{\nu^2} \text{——葛拉晓夫(Grashof)准则}$$

$$Nu = \frac{hL}{k} \text{——努谢尔特(Nusselt)准则}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \text{——普朗特(Prandtl)准则}$$

$$Pe = PrRe = \frac{wL}{\alpha} \text{——贝克来(Peclet)准则}$$

$$Ra = GrPr \text{——瑞利(Rayleigh)准则}$$

$$Re = \frac{wL}{\nu} \text{——雷诺 (Reynolds) 准则}$$

$$St = \frac{Nu}{RePr} \text{——斯坦顿 (Stanton) 准则}$$

目 录

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念及状态方程

- 1-1 几种能量转换装置的工作过程简介 (2)
- 1-2 热力系统 (7)
- 1-3 热力系统状态及状态参数 (9)
- 1-4 平衡状态及状态方程式 (13)
- 1-5 气体的状态方程 (15)
- 1-6 热力过程、准静态过程和可逆过程 (21)
- 1-7 气体的比热 (24)

第二章 热力学第一定律

- 2-1 热力系统储存能 (32)
- 2-2 功 (34)
- 2-3 热量和焓 (37)
- 2-4 闭口系统能量方程式 (40)
- 2-5 稳定流动开口系统能量方程及焓 (42)
- 2-6 理想气体内能、焓及熵的计算 (46)
- 2-7 稳定流动能量方程的应用举例 (48)

第三章 理想气体热力过程

- 3-1 定容过程 (57)
- 3-2 定压过程 (59)
- 3-3 定温过程 (60)

| | |
|----------------------------|-------|
| 3-1 绝热过程 | (62) |
| 3-5 多变过程 | (61) |
| 3-6 压气机的压缩过程 | (68) |
| 第四章 热力学第二定律 | |
| 4-1 热力学循环 | (77) |
| 4-2 热力学第二定律的两种描述 | (81) |
| 4-3 卡诺循环 | (84) |
| 4-4 卡诺定理 | (87) |
| 第五章 熵和焓 | |
| 5-1 熵 | (51) |
| 5-2 焓 | (110) |
| 第六章 水蒸汽及蒸汽动力循环 | |
| 6-1 基本概念 | (119) |
| 6-2 水蒸汽的定压发生过程 | (121) |
| 6-3 水蒸汽热力性质表及水蒸汽焓-熵图 | (125) |
| 6-4 水蒸汽的热力过程 | (132) |
| 6-5 水蒸汽的动力循环 | (135) |
| 第七章 气体和蒸汽的流动 | |
| 7-1 概述 | (147) |
| 7-2 稳定流动的基本方程 | (147) |
| 7-3 喷管流动的基本特性 | (151) |
| 7-4 喷管的计算 | (154) |
| 7-5 绝热节流 | (160) |
| 第八章 理想混合气体及湿空气 | |
| 8-1 理想混合气体 | (164) |
| 8-2 湿空气 | (170) |

第九章 气体动力循环及制冷循环

- 9-1 活塞式内燃机的理想循环 (181)
- 9-2 制冷循环 (194)

第二篇 传热学

第十章 概 述

- 10-1 传热学的研究对象 (205)
- 10-2 热传递的基本方式 (205)

第十一章 导热的基本原理

- 11-1 导热的基本概念和定律 (215)
- 11-2 导热微分方程式 (218)
- 11-3 定解条件 (221)

第十二章 稳态导热

- 12-1 一维稳态导热 (225)
- 12-2 多维稳态导热 (246)
- 12-3 多维稳态导热的数值解法 (251)

第十三章 非稳态导热

- 13-1 概述 (260)
- 13-2 影响非稳态导热的因素 (261)
- 13-3 集总参数分析法 (263)
- 13-4 分析解与图算法 (267)
- 13-5 非稳态导热过程的数值计算法 (273)

第十四章 对流换热

- 14-1 基本概念 (278)

| | | |
|------|-----------------------------|-------|
| 14-2 | 影响对流换热的主要因素 | (280) |
| 14-3 | 对流边界层的概念 | (284) |
| 14-4 | 对流换热微分方程式及确定对流换热系数的方法 | (287) |
| 14-5 | 强制对流准则方程式 | (304) |
| 14-6 | 自然对流换热及其准则方程式 | (329) |
| 14-7 | 沸腾与冷凝换热 | (340) |

第十五章 辐射换热

| | | |
|------|-------------------|-------|
| 15-1 | 热辐射的基本概念 | (351) |
| 15-2 | 黑体辐射 | (354) |
| 15-3 | 实际固体辐射、灰体辐射 | (363) |
| 15-4 | 物体之间的辐射换热 | (370) |
| 15-5 | 气体辐射和吸收的特点 | (383) |
| 15-6 | 太阳辐射简介 | (385) |

第十六章 传热过程与换热器

| | | |
|------|------------------|-------|
| 16-1 | 传热过程的分析与计算 | (390) |
| 16-2 | 换热器及其热力计算 | (404) |

附 录

| | | |
|-------|-----------------------------|-------|
| 附表 1 | 常用气体的热力性质 | (429) |
| 附表 2 | 理想气体状态下的定压摩尔热容与温度的关系式 | (429) |
| 附表 3 | 空气的热力性质表 | (430) |
| 附表 4 | 氧的热力性质表 | (435) |
| 附表 5 | 氮的热力性质表 | (437) |
| 附表 6 | 氢的热力性质表 | (438) |
| 附表 7 | 二氧化碳的热力性质表 | (440) |
| 附表 8 | 一氧化碳的热力性质表 | (441) |
| 附表 9 | 水蒸气的热力性质表(理想气体状态) | (443) |
| 附表 10 | 几种材料的密度、导热系数、比热容和热扩散率 | (445) |
| 附表 11 | 气体的物性参数 | (446) |

| | | |
|-------|--|-------|
| 附表 12 | 油类的物性参数 | (448) |
| 附表 13 | 双曲线函数 | (449) |
| 附表 14 | 饱和水的热物理性质 | (451) |
| 附表 15 | 干饱和水蒸气的热物理性质 | (453) |
| 附表 16 | 在大气压力($p=1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$)下 过热水蒸气的热物理性质 | (455) |
| 附表 17 | 在不同温度下各种材料表面的法向黑度 | (456) |
| 附表 18 | 各种单位的换算关系 | (460) |
| 附图一 | 氨(NH_3)的压焓图 | (466) |
| 附图二 | 湿空气 $h-d$ 图 | (467) |
| 附图三 | 压缩性因子 Z | (468) |
| 参考文献 | | (469) |

第一篇

工程热力学