

热工学例题集

肖友瑟 段 渭 编译

高等教育出版社

热 工 学 例 题 集

肖友瑟 段 渭 编译

高 等 教 育 出 版 社

本书系根据德意志民主共和国 W. 貝尔蒂斯 (Werner Berties) 著“热工学习题实例”(Übungsbeispiele aus der Wärmelehre) 一书, 1960 年版, 以及 H. 发尔定 (Hans Faltin) 著“工程热学”(Technische Wärmelehre) 一书所附例题集 (Aufgabensammlung zur technischen Wärmelehre) 1956 年版編譯而成, 共有例题 228 題。取材基本上配合国内热工学的教学內容。选题則由淺入深, 联系实际。每题皆有詳解, 每一章节开始有最基本的闡理和必要的公式介紹。书末并附有常用的計算图表和 50 多个放热系数公式, 这些公式較全面地綜合了这方面的科学研究成果。

本书可作为热工学及热工理論基础的教学参考书, 书中所搜集的資料及提供的解題方法, 也可供有关工程技術人員进行設計計算时参考。

热 工 学 例 題 集

肖友瑟 段 涓 編译

北京市书刊出版业营业許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号 K15010 · 1191 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $9 \frac{15}{16}$

字数 233,000 印数 0,001—1,100 定价 (7) ¥1.20

1965 年 11 月第 1 版 1965 年 11 月北京第 1 次印刷

編譯者序

在热工学的教学中,亟须配合有恰当的例题及习题,以巩固理论知识,提高运算技能,加强解决工程问题的基本训练。为此,我们在近年的教学过程中,曾参考了德意志民主共和国 H. 发尔定(Hans Faltin)教授著“工程热学”(Technische Wärmelehre)所附例题集,及 W. 贝尔蒂斯(Werner Berties)工程师著“热工学习题实例”(Übungsbeispiele aus der Wärmelehre)两书,深感他们所搜集的题目,皆能由浅入深,联系实际,是一本较好的教学参考书。鉴于贝尔蒂斯所著一书,在章节开始皆有最基本的原理提示和必需的公式介绍,书末还附有较完整的运算用图表及有关公式的综合表,使全书自成一套体系,单独成册,参考使用较为方便。同时贝尔蒂斯一书的主要参考教材即为发尔定的“工程热学”,某些内容又直接引自该书,因而两书间有着较密切的联系。这样,就便于我们以贝尔蒂斯一书为基础,删去全部未列出运算及个别与国内热工学教学内容不够结合的题目,而补充一些发尔定一书所附例题集中的有关题目。进行了适当加工和合理编排,使之取长补短,编译成了这一本为满足国内热工学教学需要的“热工学例题集”。

书中的一些符号和单位,统一按照贝尔蒂斯的原著。因此,书中有些符号或单位与我国目前习惯上所常用的不完全一致,希望读者予以注意。

本书在编译过程中,得到了高等工业学校热工学课程教材编审委员会和同济大学领导的支持和鼓励。并获得译者的老师陆振国教授的细致审核,得以更好地提高了本书的质量。

由于受到水平的限制,书中错误之处在所难免,热情地欢迎读者给予批评和指正。

编译者

于同济大学热工教研室

一九六五,秋。

本书所用的符号

$A=1/427$	功热当量
b	大气压力计读数[托](Torr)或[毫米水银柱](mmQS)
$b_{\text{有效}}$	燃料消耗量[公斤/马力时](kg/psh)
C	辐射系数[大卡/米 ² 时(°K) ⁴](kcal/m ² h grd)
C_p, C_v	1 米 ³ 气体在定压及定容下的比热[大卡/米 ³ °C] (kcal/m ³ grd)
c_p, c_v	1 公斤气体的比热[大卡/公斤°C](kcal/kg grd)
c	一般的比热[大卡/公斤 °C](kcal/kg grd)
$\mathcal{C}_p, \mathcal{C}_v$	莫尔比热
D, d	直径
$d_{\text{毛}}$	毛蒸发率
$d_{\text{净}}$	净蒸发率
F	面积, 截面
G	重量[公斤*](kp)
$H_{\text{高}}$	燃烧热(高位热值)[大卡/公斤或大卡/米 ³] (kcal/kg, 或 kcal/m ³)
$H_{\text{低}}$	低位热值[大卡/公斤或大卡/米 ³](kcal/kg 或 kcal/m ³)
h	焓降, 高度, 小时(时)。
i	工质为 1 公斤的焓[大卡/公斤](kcal/kg)
i'	液体热[大卡/公斤](kcal/kg)
i''	饱和蒸汽的焓[大卡/公斤](kcal/kg)
k	传热系数[大卡/米 ² 时 °C](kcal/m ² h grd)
l	长度, 过剩空气系数
L	作功的能量, 功[公斤*米](kpm) 长度[米](m)
m	质量[公斤](kg)
N	功率[马力](PS)
n	多变指数, 转数

P	压力[公斤*/米 ²](kp/m ²); [毫米水柱](mmWS) = 10 ⁴ p
p	压力[公斤*/厘米 ²](kp/cm ²)
Q	加入或放出的热量
R	气体常数
r	汽化热[大卡/公斤](kcal/kg)
S	任意工质量下的熵[大卡/°K](kcal/grd)
s	1 公斤下的熵[大卡/公斤 °K](kcal/kg grd); 距离
s', s''	液体, 饱和蒸汽的熵[大卡/公斤 °K](kcal/kg grd)
t, T	温度[°C]或[°K] = 273 + t
$t_{\text{饱}}, T_{\text{饱}}$	饱和(沸腾)温度[°C]或[°K]
U	任意工质量下的内能[大卡](kcal)
u	1 公斤下的内能[大卡/公斤](kcal/kg)
V	容积[米 ³](m ³)
v	比容[米 ³ /公斤](m ³ /kg)
w	速度[米/秒](m/s)
x	绝对含湿量
x, y	每 1 公斤中的蒸汽及水的含量(干度及湿度)
α	放热系数[大卡/米 ² 时°C](kcal/m ² h grd)
δ	壁厚[米](m)
γ	重度[公斤*/米 ³](kp/m ³)
ν	运动粘度[米 ² /秒](m ² /s)
κ	绝热指数
φ	相对湿度
ψ	外汽化热[大卡/公斤](kcal/kg)
ρ	密度[公斤/米 ³](kg/m ³)
ρ_v	内汽化热[大卡/公斤](kcal/kg)
λ	输气系数, 导热系数[大卡/米时 °C](kcal/m h grd)
η	效率, 动力粘度[公斤秒/米 ²](kg s/m ²)
$\eta_{\text{机械}}$	机械效率
$\eta_{\text{优良}}$	优良度
$\eta_{\text{热}}$	热效率

目 录

編譯者序	vii
本书所用的符号	ix
一、气体	1
1. 一般概念	1
2. 盖-吕薩克及波义耳-馬略特定律	2
3. 状态方程式	3
4. 在标准状况下的容积	3
5. 绝对压力	4
例 1—38	
6. 摩尔和摩尔容积	22
例 39—42	
7. 混合气体	25
8. 气体的混合	29
例 43—56	
9. 热力学第一定律	44
二、比热	46
10. 一般概念	46
11. 气体的比热	46
12. 混合气体的比热	47
13. 平均比热	47
例 57—76	
三、一般的热功方程式、内能、容积变化功及状态变化过程	61
14. 一般概念	61
15. 气体的内能	61
16. 气体的热功方程式	61
17. 气体在定容条件下的状态变化过程(定容过程)	62
18. 气体在定压条件下的状态变化过程(定压过程)	62
19. 气体在定温条件下的状态变化过程(定温过程)	63
20. 气体在无热交换条件下的状态变化过程(绝热过程)	64
21. 多变过程	64
22. 按布劳埃尔 (Brauer) 方法繪制多变曲綫	65

例 77—107	
四、循环·熵	89
23. 循环的一般概念及热力学第二定律	89
24. 平均压力	89
25. 卡诺循环	90
26. 熵和热量图	91
27. 气体的熵	92
例 108—116	
28. 压气机循环	102
例 117—121	
29. 多级压气机循环	114
例 122—124	
30. 奥图发动机循环	122
例 125—128	
31. 狄赛尔发动机循环	131
例 129—133	
五、水蒸汽	140
32. 融化和凝固	140
33. 一般概念	140
34. 湿蒸汽	142
35. 过热蒸汽	142
例 134—168	
36. 蒸发率	162
例 169—170	
37. 水蒸汽的熵	164
38. T - s 图	165
39. i - s 图	167
例 171—175	
六、蒸汽机	172
例 176—182	
七、制冷循环	180
例 183—184	
七、完全燃烧	184
40. 气体在完全燃烧时的容积关系	184
例 185	
41. 气体、液体和固体燃料在完全燃烧下的质量比例关系	187

例 186	
42. 由烟气分析计算过剩空气系数	188
例 187—188	
九、热值	190
43. 一般概念	190
44. 固体和气体燃料的热值	190
例 189—193	
十、湿空气	193
45. 一般概念	193
46. 莫里尔 $i-x$ 图	194
47. 湿空气的混合	195
例 194—201	
48. 烟气的露点	210
例 202	
十一、传热	213
49. 通过平壁的传热	213
50. 通过管壁的传热	214
51. 在逆流、顺流和交叉流时的平均温差	215
例 203—212	
52. 放热及其在传热上的应用	224
例 213—222	
53. 热辐射	263
例 223—228	
附录(数据表)	277
1. 气体特性表	277
2. 1 公斤气体的比热表	277
3a. 在定压下的真实莫尔比热表	278
3b. 在定压下 0°C 和 $t^{\circ}\text{C}$ 间的平均容积比热表	278
4. 在定压下 0°C 和 $t^{\circ}\text{C}$ 间的平均比热表	279
5. 水在不同温度下的密度和比容表	280
6a. 莫里尔(Mollier)饱和水蒸汽表	281
6b. 莫里尔(Mollier)饱和水蒸汽表	283
7. 过热水蒸汽的平均比热表	285
8. 在 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 时的饱和水蒸汽表	286
9. 物质的燃烧热和热值表	287
10. 氨的饱和蒸汽表	288

11. 在 $0 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 时, 各种物体表面的辐射系数表	289
12. 温度因数表	290
13. 金属材料在 0° 及 100°C 间的导热系数表	291
14. 在平均温度下绝热材料的导热系数表	292
15. 水和水蒸汽的导热系数表	293
16. 传热过程中所需的物态参数表	294
17. 动力粘度表	296
18. 放热系数的一些常用公式综合表	297
水蒸汽的莫里尔($i-s$)图	插页
湿空气的莫里尔($i-x$)图	插页

一、气 体

1. 一般概念

有关符号及其相互关系如下:

G ——重量[公斤*]^①,

m ——质量[公斤],

V ——容积[米³].

$$\gamma = \frac{G}{V} [\text{公斤}^*/\text{米}^3] \text{——重度(单位容积的重量),}$$

即用 γ 表示 1 米³(也可用 1 升或 1 厘米³) 的重量。

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{公斤}/\text{米}^3] \text{——密度(单位容积的质量),}$$

也可用公斤/升或公斤/厘米³ 为单位。

$$v = \frac{V}{m} [\text{米}^3/\text{公斤}] \text{——比容(单位质量的容积),}$$

即 v 表示 1 公斤物质(固体、液体或气体)所占的容积。

比容和密度之间的关系式为:

$$v = \frac{1}{\rho} [\text{米}^3/\text{公斤}]. \quad (1)$$

t ——温度[°C],

$T = t + 273$ ——绝对温度[°K](凯尔文),

p ——压力[公斤*/厘米²],

$P = 10^4 p$ ——压力[公斤*/米²],

b ——大气压力[托](从前用毫米水银柱),

w ——速度[米/秒],

① 为了区分质量和重量的单位,凡“公斤*”的上角标有*号者均表示重量的单位。

R ——气体常数[公斤*米/公斤 °K]。

表示压力的各因次之间有下列关系:

1 物理大气压 = 760 托 = 1.033 公斤*/厘米²,

1 工程大气压 = 735.5 托 = 1.0 公斤*/厘米² = 10 米水柱,

1 毫米水柱 = 1.0 公斤*/米²。

2. 盖-吕萨克及波义耳-马略特定律

a) 盖-吕萨克定律

当压力不变时, 容积和绝对温度成正比。

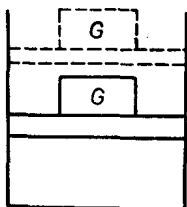


图 1

假设有一个运动时不发生摩擦并具有一定载荷的活塞在充满气体的气缸中运动(图 1)。因 $P = \text{常数}$, 故

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} (\text{定压过程})。 \quad (2)$$

当容积不变时, 压力与绝对温度成正比。

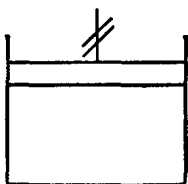


图 2

假设活塞被固定在气缸中, 而对气缸中的气体加热或冷却(图 2), 因 $V = \text{常数}$, 故

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} (\text{定容过程})。 \quad (3)$$

b) 波义耳-马略特定律

当温度不变时, 容积与压力成反比。

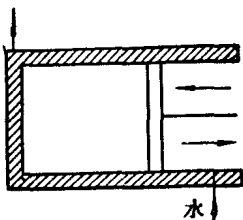


图 3

假设在一气缸中贮有气体, 气缸周围流过恒温冷却水, 以便使活塞运动时气体温度保持不变(图 3)。因 $T = \text{常数}$, 故

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} (\text{定温过程})。 \quad (4)$$

综合 a) 和 b) 两定律, 可得气体的普遍定律:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (5)$$

如将上式中的 V 代以比容 v , 则得

$$\frac{P_1 v_1}{P_2 v_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

即

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} = R = \text{常数}。$$

通常写成:

$$\frac{Pv}{T} = R [\text{公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤} \cdot \text{K}].$$

R 称为气体常数, 其数值等于 1 公斤气体在定压下被加热 1°C 时所作的功。每一种气体都有其固定的 R 值(见表 1)。

3. 状态方程式

$$\text{对 1 公斤气体:} \quad Pv = RT, \quad (6)$$

用 $v = \frac{V}{m}$ 代入后, 则得 m [公斤] 气体的状态方程式:

$$PV = mRT. \quad (7)$$

4. 在标准状态(0°C 及 760 托)下的容积(米^3)

气体的容积常常要换算成标准容积, 其换算式为:

$$V_0 = V \frac{b}{760} \cdot \frac{273}{T} [\text{米}^3]^\text{①}, \quad (8)$$

式中 V_0 ——标准状态下的容积 [米^3],

V ——实际容积 [米^3],

b ——大气压力 [托],

T ——气体的绝对温度 [$^\circ\text{K}$].

① 注脚“0”表示标准状态(0°C 及 760 托)。

5. 绝对压力

压力表所指示的为表压力 $p_{\text{表}}$ [表大气压^①, 公斤*/厘米²]。但是在热工学计算中常是以绝对压力 [大气压] 为标准的并常须用它代入, 它是大气压力与表压力之和。

倘若 b 是当时的大气压力 [托], 则以“大气压” [公斤*/厘米²] 为单位的绝对压力便为:

$$p = \frac{b}{735.5} + p_{\text{表}}, \quad (9a)$$

$$p = \frac{b}{735.5} - p_{\text{真空}}, \quad (9b)$$

式中 $p_{\text{表}}$ —— 表压力, $p_{\text{真空}}$ —— 真空压力。

如果大气压力为未知的话, 当压力较高时, 则通常可将绝对压力表示为:

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + 1[\text{大气压}].$$

例题:

例题 1~8 的求解提示:

例题中的绝对压力都是以公斤*/厘米²为单位的。而表压力、真空压力及大气压力往往用其他因次给出, 其换算如下:

当以毫米水银柱给出时:

$$735.5 \text{ 托} = 1 \text{ 大气压} [\text{公斤}^*/\text{厘米}^2].$$

当用水柱给出时:

$$10000 \text{ 毫米水柱} = 1 \text{ 公斤}^*/\text{厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤}^*/\text{米}^2.$$

1. 蒸汽锅炉上的压力表的读数为 9.2 表大气压。当大气压力为 774 托时, 求锅炉中的绝对压力值。

解: 已知 $p_{\text{表}} = 9.2$ 表大气压, $b = 774$ 托。

① 以后在给定绝对压力和表压力的数值时, 分别注以“大气压”和“表大气压”字样, 这并不是单位不同, 而仅仅表明是绝对压力值或表压力值。

由公式(9a)得

$$p = \frac{b}{735.5} + p_{\text{表}} = \frac{774}{735.5} + 9.2 = 10.252 \text{ 大气压。}$$

2. 在一煤气管道中, 其表压力为 40 毫米水柱, 大气压力为 735.5 托, 求绝对压力值。

解: 已知 $p_{\text{表}} = 40 \text{ 公斤}^*/\text{米}^2$, $b = 735.5 \text{ 托}$ 。

$$\text{即得 } p = \frac{b}{735.5} + p_{\text{表}} = \frac{735.5}{735.5} + \frac{40}{10000} = 1 + 0.004 = 1.004 \text{ 大气压。}$$

3. 在一蒸汽采暖设备中, 其压力为 0.1 表大气压, 求

a) 水封安全器的水位管中的水柱高度。

b) 绝对压力值($b = 750 \text{ 托}$)。

解: 已知 $p_{\text{表}} = 0.1 \text{ 表大气压}$, $b = 750 \text{ 托}$ 。

a) 因 10 米水柱 = 1 表大气压,

故 $h = 0.1 \times 10 = 1 \text{ 米水柱}$,

$$\text{b) } p = \frac{750}{735.5} + 0.1 = 1.12 \text{ 大气压。}$$

4. 在一油泵上, 压力表的读数为 10 表大气压, 求相当于这个压力的油柱高度。

解: 油的密度是, $\rho = 0.901 \text{ 公斤/升}$,

当用水柱来表示时, $h = 10 \times 10 = 100 \text{ 米}$,

用油柱表示时, 则为 $h' = \frac{h}{\rho} = \frac{100}{0.901} = 111 \text{ 米}$,

$$\text{或 } h' = \frac{P}{\rho} = \frac{100000}{901} = 111 \text{ 米。}$$

5. 在一冷凝器中, 其真空压力为 500 托, 大气压力为 730 托, 求:

a) 绝对压力值,

b) 真空度(以 % 表示)为多大?

解: a) 已知 $h=500$ 托, $b=730$ 托。

得
$$p = \frac{b}{735.5} - \frac{h}{735.5} = \frac{b-h}{735.5} = \frac{730-500}{735.5} = \frac{230}{735.5} = 0.313 \text{ 大气压,}$$

b) 真空度 $= \frac{\text{真空压力}}{\text{大气压力}} \times 100\% = \frac{500}{730} \times 100\% = 68.5\%.$

6. 在一条处于超压力 (大于大气压) 的煤气管路上装以水银 U 形管压力计。U 形管之一端指出为 1406 毫米高, 另一端则为 128 毫米。水银的密度在测量温度等于 $t^{\circ}\text{C}$ 时为 $\rho=13.53$ 克/厘米³。大气压力为 748 托。求:

- 煤气管中的表压力为多少托?
- 它等于多少毫米水柱?
- 它等于多少工程大气压?
- 煤气管中的绝对压力为多少公斤*/米²?
- 它等于多少工程大气压?
- 它等于多少物理大气压?

解: 已知 水银柱的高度差 $h=1406-128=1278$ 毫米水银柱, $\rho=13.53$ 克/厘米³, $b=748$ 托。

a) $P_{\text{表}} = h \frac{\rho}{13596} = 1278 \frac{13530}{13596} = 1272$ 托。

b) $P_{\text{表}} = h \cdot \rho = 1.278 \times 13530 = 17300$ 毫米水柱。

c) $p_{\text{表}} = P_{\text{表}} \cdot 10^{-4} = 1.73$ 表大气压。

d) $P = b + P_{\text{表}} = 0.748 \times 13596 + 17300 = 10160 + 17300 = 27460$ 公斤*/米²。

e) $p = P \cdot 10^{-4} = 2.746$ 大气压。

f) $p' = \frac{748+1272}{760} = \frac{2020}{760} = 2.66$ 物理大气压, 或

$$p' = \frac{P}{10330} = \frac{p}{1.033} = \frac{27460}{10330} = \frac{2.746}{1.033} = 2.66 \text{ 物理大气压。}$$