

高校经典教材同步辅导丛书
配套高教版·沈维道、童钧耕主编

教你用更多的自信面对未来！

一书两用
同步辅导+考研复习

工程热力学

(第四版)

同步辅导及习题全解

主 编 李昭

新版

习题超全解

名师一线经验大汇集，解题步骤超详细，方法技巧最实用



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高校经典教材同步辅导丛书

工程热力学（第四版）同步辅导 及习题全解

主 编 李昭



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是与高等教育出版社出版,沈维道、童钧耕主编的《工程热力学》(第四版)一书配套的同步辅导及习题全解辅导书。

《工程热力学》(第四版)共有13章,分别介绍基本概念及定义、热力学第一定律、气体和蒸汽的性质、气体和蒸汽的基本热力过程、热力学第二定律、实际气体的性质及热力学一般关系式、气体与蒸汽的流动、压气机的热力过程、气体动力循环、蒸汽动力装置循环、制冷循环、理想气体混合物及湿空气、化学热力学基础。本书按教材内容安排全书结构,各章均包括重点与难点解析、习题全解两部分内容。全书按教材内容,针对各章节习题给出详细解答,思路清晰,逻辑性强,循序渐进地帮助读者分析并解决问题,内容详尽,简明易懂。

本书可作为高等院校学生学习“工程热力学”课程的辅导教材,也可作为考研人员复习备考的辅导教材,同时可供教师备课命题作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学(第四版)同步辅导及习题全解 / 李昭
主编. — 北京:中国水利水电出版社,2014.9
(高校经典教材同步辅导丛书)
ISBN 978-7-5170-2558-0

I. ①工… II. ①李… III. ①工程热力学—高等学校—
—教学参考资料 IV. ①TK123

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第226331号

策划编辑:杨庆川

责任编辑:张玉玲

封面设计:李 佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书
作 者	工程热力学(第四版)同步辅导及习题全解
出版发行	主 编 李昭 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 12.75印张 331千字
版 次	2014年11月第1版 2014年11月第1次印刷
印 数	0001—6000册
定 价	19.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

沈维道、童钧耕主编的《工程热力学》以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。为了帮助读者更好地学习这门课程,掌握更多的知识,我们根据多年的教学经验编写了这本与此教材配套的《工程热力学(第四版)同步辅导及习题全解》。本书旨在使广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,进而提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。考虑“工程热力学”这门课程的特点,我们在内容上作了以下安排:

1. 重点与难点解析。每章前面均对本章的知识要点进行了整理。综合众多参考资料,归纳了本章几乎所有的考点,便于读者学习与复习。

2. 习题全解。教材中课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材的课后习题给了详细的解答。

由于时间较仓促,编者水平有限,难免书中有疏漏之处,敬请各位同行和读者给予批评、指正。

编者
2014年8月

目录

contents

第一章 基本概念及定义	1
重点与难点解析	1
习题全解	2
第二章 热力学第一定律	9
重点与难点解析	9
习题全解	10
第三章 气体和蒸汽的性质	19
重点与难点解析	19
习题全解	22
第四章 气体和蒸汽的基本热力过程	38
重点与难点解析	38
习题全解	39
第五章 热力学第二定律	65
重点与难点解析	65
习题全解	67
第六章 实际气体的性质及热力学一般关系	91
重点与难点解析	91
习题全解	92
第七章 气体与蒸汽的流动	104
重点与难点解析	104
习题全解	105

目录

contents

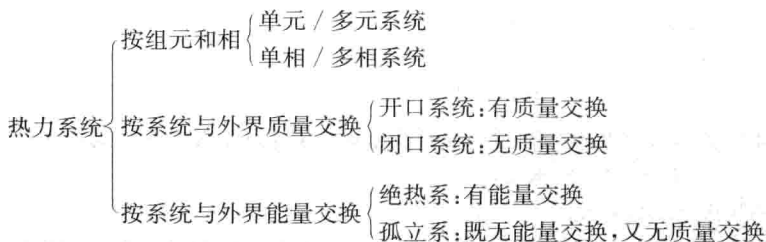
第八章 压气机的热力过程	117
重点与难点解析	117
习题全解	118
第九章 气体动力循环	127
重点与难点解析	127
习题全解	128
第十章 蒸汽动力装置循环	148
重点与难点解析	148
习题全解	150
第十一章 制冷循环	163
重点与难点解析	163
习题全解	164
第十二章 理想气体混合物及湿空气	174
重点与难点解析	174
习题全解	175
第十三章 化学热力学基础	190
重点与难点解析	190
习题全解	190

第一章

基本概念及定义

重点与难点解析

1. 热能动力装置:从燃料燃烧中获得热能,并利用热能得到动力的整套设备。
2. 工质:实现热能和机械能相互转化的媒介物质。对工质的要求有膨胀性、流动性、热容性、稳定性、安全性、环境友好型、价廉易于获得等。
3. 热源:工质从中吸取或向之排出热能的物质系统。
4. 热力系统:人为分割出来,作为热力学研究对象的有限物质系统。



5. 热力学状态:系统宏观物理状况的综合。
6. 状态参数:描述物系所处状态的宏观物理量。状态参数在物理上是与过程无关的量,数学上是微量的全微分。状态参数包括广延量和强度量。
7. 平衡状态:无外界影响系统保持状态参数不随时间而改变的状态。热力平衡的充要条件是同时达到热平衡和力平衡。
8. 准静态过程:若过程进行相对缓慢,工质在平衡被破坏后自动恢复平衡所需的时间,所谓驰豫时间很短,工质有足够的时间来恢复平衡,随时都不致显著偏离平衡状态,那么这样的过程就叫做准静态过程,或准平衡过程。
9. 可逆过程:系统可经原途径返回原来状态而在外界不留下任何变化的过程。
10. 可逆过程 = 准静态过程 + 没有耗散效应。

习题全解

2

工程热力学(第四版)同步辅导及习题全解

1-1 英制系统中采用华氏温标,它规定在标准大气压(101 325 Pa)下纯水的冰点是 32°F ,汽点是 212°F ,试推导华氏温度与摄氏温度的换算关系。

解题过程 由题意可知,纯水的冰点为 0°C ,汽点是 100°C 。

$$\frac{\{t\}_{\text{F}} - 32}{\{t\}_{\text{C}} - 0} = \frac{212 - 32}{100 - 0}$$

$$\{t\}_{\text{F}} = 1.8\{t\}_{\text{C}} + 32$$

1-2 英制系统中,朗肯温度与华氏温度的关系为 $\{T\}_{\text{R}} = \{t\}_{\text{F}} + 459.67$ 。已知热力学绝对温标及朗肯温标在纯水冰点的读数分别是 273.15 K 和 491.67°R ;汽点的读数分别是 373.15 K 和 671.67°R 。

(1) 导出朗肯温度和开尔文温度的关系式;

(2) 开尔文温标上绝对零度在朗肯温标上是多少度?

解题过程 (1) 设任意温度 T 在朗肯温标上读数为 $T(^{\circ}\text{R})$,在热力学绝对温标上读数为 $T(\text{K})$,则由题意可得:

$$\frac{T(^{\circ}\text{R}) - 491.67}{T(\text{K}) - 273.15} = \frac{671.67 - 491.67}{373.15 - 273.15} \Rightarrow T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(\text{K})$$

(2) 由(1)可知,当 $T(\text{K}) = 0$ 时, $T(^{\circ}\text{R}) = 0$

1-3 设一新温标,用符号 $^{\circ}\text{N}$ 表示温度单位(它的绝对温标是用 $^{\circ}\text{Q}$ 表示温度单位)。规定纯水的冰点和汽点分别为 100°N 和 1000°N 。试求:

(1) 该新温标与摄氏温标的关系;

(2) 若该温标的绝对零度与热力学温标零度相同,则该温标读数为 0°N 时,其绝对温标读数是多少 $^{\circ}\text{Q}$?

解题过程 (1) 由题意可知

$$\frac{T(^{\circ}\text{N}) - 100}{T(^{\circ}\text{C}) - 0} = \frac{1000 - 100}{100 - 0}$$

$$T(^{\circ}\text{N}) = 9T(^{\circ}\text{C}) + 100$$

(2) 设 $T(^{\circ}\text{Q}) = T(^{\circ}\text{N}) + C$, C 为常数

$$\begin{aligned} \text{则有 } T(^{\circ}\text{Q}) &= T(^{\circ}\text{N}) + C = 9[T(^{\circ}\text{C}) + 100] + C \\ &= 9[T(\text{K}) - 273.15] + 900 + C \end{aligned}$$

据题设有当 $T(\text{K}) = 0$ 时,有 $T(^{\circ}\text{Q}) = 0$

$$\text{即有 } 0 = 9(0 - 273.15) + 900 + C$$

$$\text{得 } C = 2358.35$$

$$\text{因此有 } T(^{\circ}\text{Q}) = T(^{\circ}\text{N}) + 2358.35$$

$$\text{当 } T(^{\circ}\text{N}) = 0 \text{ 时,有 } T(^{\circ}\text{Q}) = 2358.35^{\circ}\text{Q}$$

1-4 直径为 1 m 的球形刚性容器,抽气后真空度为 752.5 mmHg,若当地大气为 0.101 MPa,求:

(1) 容器内绝对压力为多少 Pa?

(2) 容器表面受力多少 N?

解题过程 (1) 由题意可知 $p = p_b - p_v = 0.101 \times 10^6 - 752.5 \times 133.3 = 691.75 \text{ Pa}$

$$\begin{aligned} (2) F &= A \Delta p = A(p_b - p) = A p_v = 4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot p_v \\ &= 4 \times 3.1416 \times \frac{1}{4} \times 752.5 \times 133.3 = 3.151 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

1-5 用 U 型压力计测量容器中气体的压力,在水银柱上加一段水,测得水柱高 1020 mm,水银柱高 900 mm,如图 1-1 所示,若当地大气压为 755 mmHg,求容器中气体的压力(MPa)。

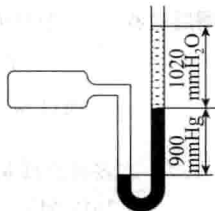


图 1-1

解题过程 由图可知, $p = p_{\text{空}} + p_{\text{水柱}} + p_{\text{水银柱}}$

$$\begin{aligned} &= (755 \times 133.3) + (1020 \times 9.81) + (900 \times 133.3) \\ &= 2.306 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

1-6 容器中的真空度为 $p_v = 600 \text{ mmHg}$,气压计上水银柱高度为 $p_b = 755 \text{ mm}$,求容器中的绝对压力(以 MPa 表示)。如果容器中的绝对压力不变,而气压计上水银柱高度为 $p'_b = 770 \text{ mm}$,求此时真实表上的读数(以 mmHg 表示)是多少?

解题过程 由题意可得绝对压力 $p = p_b - p_v = (755 - 600) \times 133.3 = 0.0207 \text{ MPa} = 155 \text{ mmHg}$
若容器中绝对压力保持不变,而大气压力变为 $p'_b = 770 \text{ mmHg}$
则此时真空表上的读数为 $p'_v = p'_b - p = (770 - 155) \text{ mmHg} = 615 \text{ mmHg}$

1-7 用斜管压力计测量锅炉烟道烟气的真空度(见图 1-2)管子的倾斜角 $\alpha = 30^\circ$,压力计中使用密度 $\rho = 0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的煤油,斜管中液柱长度 $l = 200 \text{ mm}$ 。当地大气压力 $p_v = 745 \text{ mmHg}$ 。求烟气的真空度(以 mmH_2O 表示)及绝对压力(以 Pa 表示)。

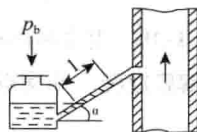


图 1-2

解题过程 由题意可知,倾斜压力计上读数即为烟气的真空度

$$p_v = \frac{F}{A} = \frac{mgs \sin \alpha}{A} = \frac{\rho A g s \sin \alpha}{A} = \rho g s \sin \alpha$$

$$\text{得 } p_v = \rho g s \sin \alpha = 0.8 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-3} \times 9.81 \times 0.5 \text{ Pa} = 80 \times 9.81 \text{ Pa}$$

$$\text{又因为 } 1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ Pa}, \text{ 所以 } p_v = 80 \times 9.81 \text{ Pa} = 80 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{绝对压力 } p = p_b - p_v = (745 \times 133.3) - (80 \times 9.81) = 9.85 \times 10^4 \text{ Pa}$$

1-8 压力锅因其内部压力和温度比普通锅高,而缩短了蒸煮食物的时间。压力锅的盖子密封良好,蒸汽只能从盖子中间的缝隙逸出,在缝隙的上方有一个可移动的小柱塞,所以只有锅内蒸汽的压力超过了柱塞的压力后,蒸汽才能逸出(图 1-3)。蒸汽周期性逸出使锅内压力近似认为恒定,也防止了锅内压力过高产生的危险。若蒸汽逸出时压力锅内压力应达到 201 kPa,压力锅盖缝隙的横截面积为 4 mm^2 ,当地大气压力平均为 101 kPa,试求小柱塞的质量。

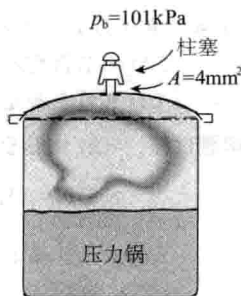


图 1-3

解题过程 由题意可知,蒸汽逸出时压力锅内压力即为柱塞的压力,即有

$$p_{\text{锅}} = p_{\text{柱}} = p_b + mg/A$$

$$\text{所以 } m = \frac{(p_{\text{锅}} - p_b)A}{g} = \frac{(201 - 101) \times 10^3 \times 4 \times 10^{-6}}{9.81} = 0.0408 \text{ kg} = 40.8 \text{ g}$$

1-9 容器被分隔成 AB 两室,如图 1-4 所示,已知当地大气压 $p_b = 0.1013 \text{ MPa}$,气压表 2 读数为 $p_{e2} = 0.04 \text{ MPa}$,气压表 1 的读数为 $p_{e1} = 0.294 \text{ MPa}$,求气压表 3 的读数(用 MPa 表示)。

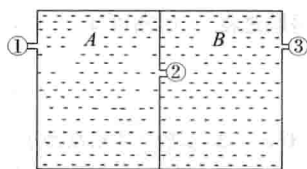


图 1-4

解题过程 由题意可知 $p_A = p_b + p_{e1}$

$$p_B = p_b + p_{e3}$$

$$p_{e2} = |p_A - p_B| = |p_{e1} - p_{e3}|$$

$$\text{所以 } p_{e3} = p_{e1} \pm p_{e2}$$

$$\text{当 } p_A > p_B \text{ 时,有 } p_{e3} = p_{e1} - p_{e2} = 0.294 - 0.04 = 0.254 \text{ MPa}$$

$$\text{当 } p_A < p_B \text{ 时,有 } p_{e3} = p_{e1} + p_{e2} = 0.294 + 0.04 = 0.334 \text{ MPa}$$

1-10 起重机以每秒 2 m 的恒速提升总质量为 450 kg 的水泥块,试求所需功率。

解题过程 由题意可知,当匀速提升总质量为 450 kg 的水泥块时,其功率

$$P = Fv = mgv = 450 \times 9.81 \times 2 = 8826 \text{ W}$$

1-11 电阻加热器的电阻 15Ω ,现在 10 A 的电流流经电阻丝,求功率。

解题过程 $P = UI = I^2 R = 10^2 \times 15 = 1500 \text{ W}$

1-12 气缸中密封有空气,初态为 $p_1 = 0.2 \text{ MPa}$, $V_1 = 0.4 \text{ m}^3$,缓慢胀到 $V_2 = 0.8 \text{ m}^3$ 。

(1) 过程中 pV 保持不变;

(2) 过程中气体先从 $\{p\}_{\text{MPa}} = 0.4 - 0.5\{V\}_{\text{m}^3}$ 膨胀到 $V_a = 0.6 \text{ m}^3$,再维持压力不变,膨胀到 $V_2 = 0.8 \text{ m}^3$ 。分别求出两过程中气体做的膨胀功。

$$\begin{aligned} \text{解题过程} \quad (1) \text{ 由题设可知 } W &= \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{p_1 V_1}{V} dV = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \\ &= 0.2 \times 10^6 \times 0.4 \times \ln \frac{0.8}{0.4} = 5.54 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

(2) 当膨胀到 $V_a = 0.6 \text{ m}^3$ 时,此时的压力 $p_2 = 0.4 - 0.5 \times 0.6 = 0.1 \text{ MPa}$

$$W = W_1 + W_2 = \int_{V_1}^{V_a} p dV + \int_{V_a}^{V_2} p dV$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_{V_1}^{V_2} (0.4 - 0.5 V) dV + \int_{V_2}^{V_3} p_2 dV \\
 &= 0.4 \times (V_2 - V_1) - \frac{0.5}{2} (V_2^2 - V_1^2) + p_2 \times (V_3 - V_2) \\
 &= [0.4 \times (0.6 - 0.4) - 0.25 \times (0.6^2 - 0.4^2) + 0.1 \times (0.8 - 0.6)] \times 10^6 \\
 &= 1.5 \times 10^4 \text{ J}
 \end{aligned}$$

1-13 某种理想气体在其状态变化过程中服从 $pv^n = \text{常数}$ 的规律, 其中 n 是定值, p 是压力, v 是比体积。试据 $W = \int_1^2 p dv$, 导出气体在该过程中做的功为 $W = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$

解题过程

$$\begin{aligned}
 W &= \int_1^2 p dv = \int_1^2 \frac{p_1 v_1^n}{v^n} dv = \frac{p_1 v_1^n}{1-n} (v_2^{1-n} - v_1^{1-n}) \\
 &= \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{n-1} = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left(1 - \frac{p_2 v_2}{p_1 v_1} \right) = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]
 \end{aligned}$$

证毕

1-14 测得某汽油机气缸内燃气的压力与容积对应值如下表所示, 求燃气在该膨胀过程中所做的功。

p/MPa	1.655	1.069	0.724	0.500	0.396	0.317	0.245	0.193	0.103
V/cm^3	114.71	163.87	245.81	327.74	409.68	491.61	573.55	655.48	704.64

解题过程 由表可知, 缸内燃机压力波动较大, 为了简化该过程, 特取两状态之间的平均压力进行近似计算。所以

$$\begin{aligned}
 W &= \int_1^2 p dV = \sum \bar{p} \Delta V \\
 &= \frac{(1.655 + 1.069) \text{ MPa}}{2} \times (63.87 - 114.71) \text{ m}^3 + \frac{1.069 + 0.724 \text{ MPa}}{2} \\
 &\quad \times (245.81 - 163.87) \text{ m}^3 + \frac{(0.724 + 0.500) \text{ MPa}}{2} \times (327.74 - 245.81) \text{ m}^3 \\
 &\quad + \frac{(0.500 + 0.396) \text{ MPa}}{2} \times (409.68 - 327.74) \text{ m}^3 + \frac{(0.396 + 0.317) \text{ MPa}}{2} \\
 &\quad \times (491.61 - 409.68) \text{ m}^3 + \frac{(0.317 + 0.245) \text{ MPa}}{2} \times (573.55 - 491.61) \text{ m}^3 \\
 &\quad + \frac{(0.245 + 0.193) \text{ MPa}}{2} \times (655.48 - 573.55) \text{ m}^3 + \frac{(0.193 + 0.103) \text{ MPa}}{2} \\
 &\quad \times (704.64 - 655.48) \text{ m}^3 \\
 &= 304.7 \text{ J}
 \end{aligned}$$

1-15 有一绝对真空的钢瓶, 当阀门打开时, 在大气压 $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的作用下, 有体积为 0.1 m^3 的空气被输入钢瓶, 求大气对输入钢瓶的空气所做的功为多少?

解题过程 由题意可知 $W = p_0 V = 1.013 \times 10^5 \times 0.1 = 1.013 \times 10^4 \text{ J}$

1-16 某种气体在气缸中进行一缓慢膨胀过程。其体积由 0.1 m^3 增加到 0.25 m^3 。过程中气体压力循 $\{p\}_{\text{MPa}} = 0.24 - 0.4\{V\}_{\text{m}^3}$ 变化。若过程中气缸与活塞的摩擦保持为 1200 N ；当地大气压力为 0.1 MPa ；气缸截面积为 0.1 m^2 。试求：

- (1) 气体所作的膨胀功 W ；
- (2) 系统输出的有用功 W_u ；
- (3) 若活塞与气缸无摩擦，系统输出的有用功 $W_{u,r}$ 。

解题过程 (1) 由题意可知

$$\begin{aligned} W &= \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} (0.24 - 0.4V) dV = 0.24(V_2 - V_1) - \frac{0.4}{2} \times (V_2^2 - V_1^2) \\ &= 0.24 \times (0.25 - 0.1) \times 10^6 - 0.2 \times (0.25^2 - 0.1^2) \times 10^6 \\ &= 0.0255 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

(2) 气体膨胀排斥大气的消耗功 W_1

$$W_1 = p_b(V_2 - V_1) = 0.1 \times (0.25 - 0.1) \times 10^6 = 0.015 \times 10^6 \text{ J}$$

摩擦力消耗的功 W_2

$$W_2 = FL = F \frac{V_2 - V_1}{A} = 1200 \times \frac{0.2 - 0.1}{0.1} = 1800 \text{ J}$$

所以 $W_u = W - W_1 - W_2 = 0.0255 \times 10^6 - 0.015 \times 10^6 - 1800 = 8700 \text{ J}$

(3) 若活塞与气缸无摩擦，则有用功 $W_{u,r}$

$$W_{u,r} = W - W_1 = 0.0255 \times 10^6 - 0.015 \times 10^6 = 10500 \text{ J}$$

1-17 某蒸汽动力厂加入锅炉的每 1 MW 能量要从冷凝器排出 0.58 MW 能量，同时水泵消耗 0.02 MW 的功，求汽轮机输出功率和电厂的热效率。

解题过程 由题意可知，汽轮机的输出功率 $P_{\text{出}}$

$$P_{\text{出}} = P_{\text{产}} - P_{\text{水泵}} - P_{\text{冷}} = 1 - 0.02 - 0.58 = 0.4 \text{ MW}$$

$$\text{电厂的效率为 } \eta = 1 - \frac{P_{\text{冷}}}{P_{\text{产}}} = 1 - \frac{0.58}{1} = 0.42$$

1-18 汽车发动机的热效率为 35% ，车内空调器的工作性能系数为 3 ，求每从车内排除 1 kJ 热量消耗燃油的能量。

解题过程 由题意可知，设汽车发动机输出循环净功为 W

$$\text{则有 } W = Q_1 \eta = \frac{Q_c}{\epsilon}$$

$$\text{所以 } Q_1 = \frac{Q_c}{\eta \epsilon} = \frac{1 \times 10^3}{0.35 \times 3} = 952 \text{ J}$$

1-19 据统计资料，某地各发电厂平均发 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的电耗标煤 372 g ，若标煤的热值是 29308 kJ/kg ，试求电厂平均热效率 η_r 是多少？

解题过程 由题意可知， $\eta_r = \frac{W_{\text{net}}}{Q_1} = \frac{3600 \text{ kJ}}{0.372 \times 29308 \text{ kJ}} = 33\%$

1-20 某空调器输入功率 1.5 kW 需向环境介质输出热量 5.1 kW ，求空调器的制冷系数。

解题过程 由题意可得，制冷量 $\Phi_2 = \Phi_1 - P_c = 5.1 - 1.5 = 3.6 \text{ kW}$

$$\text{所以得制冷系数 } \epsilon = \frac{\Phi_2}{W} = \frac{\Phi_2}{P_C} = \frac{3.6}{1.5} = 2.4$$

1-21 某房间冬季通过墙壁和窗子向外散热 70 000 kJ/h, 房内有两只 40 W 电灯照明, 其他家电耗电约 100 W, 为维持房内温度不变, 房主购买供暖系数为 5 的热泵, 求热泵最小功率。

解题过程 由题意可知, 热泵产生的热量 Q_1 等于向外散热量 70000 kJ/h 与灯泡和其他家电产热量之差

$$Q_1 = \frac{70000 \text{ kJ/h}}{3600 \text{ s/h}} - (2 \times 40 + 100) \times 10^{-3} = 19.26 \text{ kW}$$

由供暖系数 $\epsilon' = 5$ 可知, 热泵最小功率 $W = \frac{Q_1}{\epsilon'}$

$$\text{即 } W = \frac{Q_1}{\epsilon'} = \frac{19.26}{5} = 3.85 \text{ kW}$$

1-22 一所房子利用供暖系数为 2.1 的热泵供暖维持 20 °C, 据估算, 室外大气温度每低于房内温度 1 °C, 房子向外散热为 0.8 kW, 若室外温度为 -10 °C, 求驱动热泵所需的功率。

解题过程 由题意可知, 为利用供暖系数为 2.1 的热泵供暖维持温为 20 °C, 必须使热泵供暖的热量

$$Q_1 = 0.8 \text{ kW/}^\circ\text{C} \times [25 - (-10)]^\circ\text{C} = 24 \text{ kW}$$

由 $\epsilon' = \frac{Q_1}{P}$ 可得, 所需热泵功率 $P = \frac{Q_1}{\epsilon'} = \frac{24 \text{ kW}}{2.1} = 11.43 \text{ kW}$

1-23 若某种气体的状态方程为 $p v = R_g T$, 现取质量 1 kg 的该种气体分别作两次循环, 如图 1-5 中循环 1-2-3-1 和循环 4-5-6-4 所示, 设过程 1-2 和过程 4-5 中温度不变, 都等于 T_a , 过程 2-3 和 5-6 中压力不变, 过程 3-1 和 4-6 中体积不变。又设状态 3 和状态 6 温度相等, 都等于 T_b 。试证明两个循环中, 1 kg 气体对外界所做的循环净功相同。

解题过程 由题意可知, 过程 3-1 和 4-6 中体积不变

所以有 $W_{3-1} = W_{4-6} = 0 \text{ J}$

过程 2-3 和 5-6 中压力不变

所以有 $W_{2-3} = P_2(v_3 - v_2) = R_g(T_b - T_a)$

$$W_{5-6} = P_5(v_6 - v_5) = R_g(T_b - T_a)$$

故 $W_{2-3} = W_{5-6} = R_g(T_b - T_a)$

过程 1-2 和 4-5 中温度不变, 即 $P v = R_g T_a$

$$\text{所以有 } W_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{R_g T_a}{v} dv = R_g T_a \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$W_{4-5} = \int_{v_4}^{v_5} p dv = \int_{v_4}^{v_5} \frac{R_g T_a}{v} dv = R_g T_a \ln \frac{v_5}{v_4}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_2}{v_3} = \frac{R_g T_a}{P_2} \cdot \frac{P_3}{R_g T_b} = \frac{T_a}{T_b} \cdot \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_a}{T_b}$$

$$\frac{v_5}{v_4} = \frac{v_5}{v_6} = \frac{R_g T_a}{P_5} \cdot \frac{P_6}{R_g T_b} = \frac{T_a}{T_b} \cdot \frac{P_6}{P_5} = \frac{T_a}{T_b}$$

因此有 $\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_5}{v_4}$, 即 $W_{1-2} = W_{4-5} = R_g T_a \ln \frac{T_a}{T_b}$

循环 1-2-3-1 的循环净功 $W_1 = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-1} = R_g T_a \ln \frac{T_a}{T_b} + R_g(T_b - T_a)$

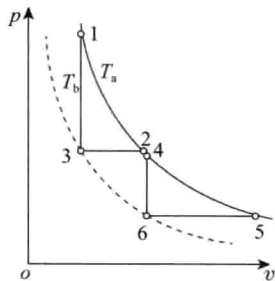


图 1-5

循环 4-5-6-4 的循环净功

$$W_2 = W_{4-5} + W_{5-6} + W_{6-4} = RgT_a \ln \frac{T_a}{T_b} + Rg(T_b - T_a) = W_1$$

因此两个循环由 1 kg 气体对外所做的循环净功相同。

第二章

热力学第一定律

重点与难点解析

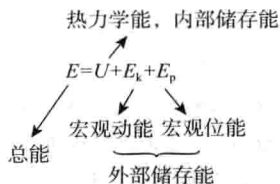
1. 热力学第一定律:自然界中的一切物质都具有能量,能量不可能被创造,也不可能被消灭,但可以从一种形态转变为另一种形态,在能量转换过程中,能量的总量保持不变。

2. 热力学第一定律的实质:能量守恒。

3. 热力学能:用字母 U 表示,为状态参数。

$$U = \begin{cases} u_{ch} \\ u_{ma} \\ \begin{cases} U_k \begin{cases} \text{平移动能} \\ \text{转动动能} \\ \text{振动动能} \end{cases} f_1(T) \\ U_p - f_2(T, v) \end{cases} \end{cases} U = U(T, v)$$

4. 总能:用字母 E 表示。



5. 热力学第一定律的基本方程

闭口系统能量方程	$Q = \Delta U + W$ $q = \Delta u + w$
开口系统能量方程	$\delta Q = dE_{CV} + \sum_j \left(h + \frac{c_j^2}{2} + gz \right)_{out} \delta m_{out} - \sum_i \left(h + \frac{c_i^2}{2} + gz \right)_{in} \delta m_{in} + \delta W_i$ $\Phi = \frac{dE_{CV}}{d\tau} + \sum_j \left(h + \frac{c_j^2}{2} + gz \right)_{out} q_{m,out} - \sum_i \left(h + \frac{c_i^2}{2} + gz \right)_{in} q_{m,in} + P_i$
稳定流动能量方程	$q = \Delta h + \frac{1}{2} \Delta c_f^2 + g \Delta z + w_i$

6. 焓:用符号 H 表示,即 $H = U + pV$ 。

习题全解

- 2-1 一辆汽车 1 小时消耗汽油 34.1 升, 已知汽油发热量为 44 000 kJ/kg, 汽油密度 0.75 g/cm³。测得该车通过车轮放出的功率为 64 kW, 试求汽车通过排气、水箱散热等各种途径所放出的热量。

解题过程 由题意可得, 汽车燃烧汽油总发热量 Q

$$Q = 34.1 \times 10^{-3} \times 750 \times 44000 = 1125300 \text{ kJ/h}$$

设汽车通过各种途径的散热量为 Q_{out}

$$\text{则有 } Q_{\text{out}} = Q - W = (1125300 - 64 \times 3600) = 894900 \text{ kJ/h}$$

- 2-2 质量为 1 275 kg 的汽车在以 60 000 m/h 速度行驶时被踩刹车制动, 速度降至 20 000 m/h, 假定刹车过程中 0.5 kg 的刹车带和 4 kg 钢刹车鼓均匀加热, 但与外界没有传热, 已知刹车带和钢刹车鼓的比热容分别是 1.1 kJ/(kg · K) 和 0.46 kJ/(kg · K), 求刹车带和刹车鼓的温升。

解题过程 汽车刹车制动, 速度由 $v_1 = 60 \text{ km/h} = 16.67 \text{ m/s}$ 下降到 $v_2 = 20 \text{ km/h} = 5.56 \text{ m/s}$, 此过程中只考虑汽车的动能转化为刹车带和刹车鼓的热力学能, 因此有

$$\frac{m_{\text{车}}(v_2^2 - v_1^2)}{2} + (U_2 - U_1) = \Delta E \quad (1)$$

由于与外界没有传热和做功, 有 $\Delta E = 0$

$$\text{假设刹车带与刹车鼓的温升均为 } \Delta t, \text{ 则有 } U_2 - U_1 = m_{\text{车带}} c_{\text{车带}} \Delta t + m_{\text{车鼓}} c_{\text{车鼓}} \Delta t \quad (3)$$

由(1)、(2)、(3) 式得

$$\begin{aligned} \Delta t &= -\frac{m_{\text{车}}(v_2^2 - v_1^2)}{2(m_{\text{车带}} c_{\text{车带}} + m_{\text{车鼓}} c_{\text{车鼓}})} \\ &= -\frac{1275 \times (5.56^2 - 16.67^2)}{2 \times (0.5 \times 1.1 + 4 \times 0.46)} = 65.9 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- 2-3 1kg 氧气置于图 2-1 所示气缸内, 缸壁能充分导热, 且活塞与缸壁无摩擦。初始时氧气压力为 0.5 MPa, 温度为 27 °C, 若气缸长度 2l, 活塞质量为 10 kg。试计算拔除钉后, 活塞可能达到最大速度。

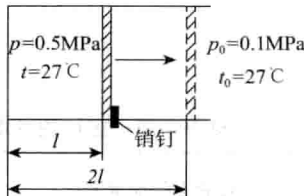


图 2-1

解题过程 由题意可知, 当缸壁能充分导热时, 即可认为该过程为等温过程, 又活塞—缸壁无摩擦, 故该过程为可逆过程, 所以有

$$\begin{aligned} W &= R_g T \ln \frac{V_2}{V_1} = R_g T \ln \frac{A \times 2l}{A \times l} \\ &= 0.26 \times (273.15 + 27) \times \ln 2 \text{ kJ/kg} \\ &= 54.09 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$W = W_{\text{大气}} + \frac{m}{2}(c_2^2 - c_1^2) = W_{\text{大气}} + \frac{m}{2}c_2^2 = p_b(v_2 - v_1) + \frac{m}{2}c_2^2 \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{m_2 R_g T}{p_1} = \frac{1 \times 260 \times 300.15}{0.5 \times 10^6} = 0.1561 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 2v_1 = 0.3122 \text{ m}^3$$

代入(1)式得

$$c_2 = \sqrt{\frac{2 \times 54.09 \times 1 \times 10^3 - 0.1 \times 10^6 \times 0.1561}{10}} = 87.7 \text{ m/s}$$

2-4 气体某一过程中吸收了 50 J 的热量,同时,热力学能增加 84 J,问此过程是膨胀过程还是压缩过程?对外做功是多少 J?

解题过程 取气体为系统,由 $Q = \Delta U + W$ 可知

$$W = Q - \Delta U = 50 - 84 = -34 \text{ J} < 0 \text{ J}$$

所以该过程为压缩过程,外界对气体做功 34 J。

2-5 在冬季,工厂车间每小时经过墙壁和玻璃等处损失热量 $3 \times 10^6 \text{ kJ}$,车间中各种机房的总功率是 375 kW,且最终全部变成热能,另外,室内经常点着 50 盏 100 W 的电灯,若使该车间温度保持不变,问每小时需另外加入多少热量?

解题过程 要使车间温度保持不变,必须使车间内每小时产生的热量等于散失的热量,即

$$Q_{\text{散}} = Q_{\text{产}} = Q_{\text{机床}} + Q_{\text{灯}} + Q_{\text{另}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{机床}} = 375 \times 3600 = 1.35 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (2)$$

$$Q_{\text{灯}} = 50 \times 100 \times 3600 \times 10^{-3} = 1.8 \times 10^4 \text{ kJ} \quad (3)$$

由式(1)、(2)、(3)可得

$$Q_{\text{另}} = Q_{\text{散}} - Q_{\text{机床}} - Q_{\text{灯}} = 3 \times 10^6 - 1.35 \times 10^6 - 0.018 \times 10^6 = 1.632 \times 10^6 \text{ kJ}$$

2-6 夏日为避免阳光直射,密闭门窗,用电扇取凉,若假定房间内初温为 28°C ,压力为 0.1 MPa ,电扇的功率为 0.06 kW 。太阳直射传入的热量为 0.1 kW 。若室内有三人,每人每小时向环境散发的热量为 418.7 kJ ,通过墙壁向外散热 1800 kJ/h ,试求面积为 15 m^2 、高度为 3.0 m 的室内空气每小时温度的升高值,已知空气的热力学能与温度关系为 $\Delta u = 0.72 \{\Delta T\}_{\text{K}} \text{ kJ/kg}$ 。

解题过程 取气体为系统,由 $Q = \Delta U + W$ 可知

$$\Delta U = Q - W = Q = m\Delta u = 0.72 m\Delta T$$

由 $pV = mR_g T$ 可知

$$m = \frac{pV}{R_g T} = \frac{0.1 \times 10^6 \times 15 \times 3}{287 \times (273.15 + 28)} = 52.06 \text{ kg}$$

代入上式得

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{0.72 m} = \frac{0.1 \times 3600 + 0.06 \times 3600 + 418.7 \times 3 - 1800}{0.72 m} \\ &= 0.86^\circ\text{C} = 0.86 \text{ K} \end{aligned}$$