



“十三五”普通高等教育本科规划教材

热工基础习题详解

张晓东 李 季 合编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育

热工基础习题详解

张晓东 李 季 合编
王修彦 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材《热工基础（第二版）》的配套思考题与习题解答。本书共十二章，章节安排与《热工基础（第二版）》一一对应，每章按照思考题参考答案和习题参考答案两部分编排，针对每章后的思考题和习题进行了详尽的解答，部分思考题和习题附有图表，便于读者理解和掌握。

本书可作为使用《热工基础》教材的教学参考书，也可作为非能源动力类专业本科 48~64 学时热工基础课程或工程热力学与传热学课程的教学参考书，也可供参加热工基础考试的同学以及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工基础习题详解/张晓东, 李季编. —北京: 中国电力出版社, 2016. 8

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-9513-8

I. ①热… II. ①张… ②李… III. ①热工学-高等学校-题解 IV. ①TK122-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 149378 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 246 千字

定价 25.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是普通高等教育“十二五”规划教材《热工基础（第二版）》（由王修彦、张晓东编，中国电力出版社2013年5月出版）的配套习题解答，书中提到的主教材均指该书。

完成一定量的课后习题是“热工基础”课程学习的必要环节，对于理解课堂讲授的基本概念、基本原理和方法具有十分重要的作用，同时也是利用基本理论解决实际问题的一个训练过程。我们在教学中发现，很多同学完成课后习题之后，特别是对于把握不准或做错的习题，需要比较详细的讲解和指导，而课堂和批改作业的容量有限，因此迫切需要一本习题详解，帮助读者答疑解惑，提高学习效果。教材与习题解答相结合，也是同学在复习备考时的有利工具。当然，一本习题解答也可能变成“抄作业”的工具，这种做法是我们不愿意看到的。希望读者在自己思考的基础上，利用本书进一步提高解决问题的能力。此外，很多热力学和传热学的问题可能有多种思考方法和求解途径，本书对于思考题和习题给出的解答只是参考答案，而不是标准答案。非常欢迎您将不同的解题方法发送给我们，邮箱为 zxxd@yeah.net。

本书可作为使用《热工基础》教材的教学参考书，也可作为其他非能源动力类专业大学本科48~64学时热工基础课程或工程热力学与传热学课程的教学参考书，也可供参加热工基础考试的读者以及相关工程技术人员参考。

本书由华北电力大学张晓东副教授和李季副教授合编。张晓东编写了约80%的内容，李季编写了约20%的内容。华北电力大学王修彦副教授对本书的内容进行了审阅。

由于编者水平所限，难免有疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2016年7月

目 录

前言	
第一章 基本概念	1
思考题参考答案	1
习题参考答案	3
第二章 热力学基本定律	7
思考题参考答案	7
习题参考答案	10
第三章 理想气体的性质和热力过程	24
思考题参考答案	24
习题参考答案	26
第四章 水蒸气和湿空气	40
思考题参考答案	40
习题参考答案	43
第五章 气体和蒸汽的流动	60
思考题参考答案	60
习题参考答案	61
第六章 动力装置循环	76
思考题参考答案	76
习题参考答案	78
第七章 制冷与热泵循环	93
思考题参考答案	93
习题参考答案	93
第八章 传热学概述	97
思考题参考答案	97
习题参考答案	99
第九章 导热	102
思考题参考答案	102
习题参考答案	103

第十章 对流换热.....	115
思考题参考答案.....	115
习题参考答案.....	118
第十一章 热辐射和辐射换热.....	133
思考题参考答案.....	133
习题参考答案.....	134
第十二章 传热过程与换热器.....	150
思考题参考答案.....	150
习题参考答案.....	151

第一章 基 本 概 念

思考题参考答案

1-1 什么是热力学系统？闭口系统和开口系统的区别在什么地方？

答：热力学系统是工程热力学作为研究对象所选取的特定的物质或空间，也称为系统、热力系或热力系统。热力学系统通过其边界与“外界”相区别。闭口系是封闭的“控制质量系统”，与外界没有质量交换，其边界、体积、形状都可能随时间变化，但质量不变，与外界可以有能量的交换；开口系是开放的“控制容积系统”，其边界、体积、形状不随时间变化，与外界可以有质量和能量的交换。

1-2 表压力（或真空度）与绝对压力有何区别与联系？为什么表压力和真空度不能作为状态参数？

答：表压力（或真空度）是压力表（或真空表）的读数，是绝对压力与大气压的差值。表压力和真空度都不是工质的实际压力，而是绝对压力与参照系的压差，因此不能作为状态参数。

1-3 状态参数具有哪些特性？

答：状态参数描述热力系统物理状态的宏观物理量。状态参数的数学特征如下：

(1) 它的环量为 0，即如果 ϕ 为状态参数，则 $\oint d\phi = 0$ 。

(2) $\int_{1-a-2} d\phi = \int_{1-b-2} d\phi$ ，也就是从状态 1 到状态 2，状态参数的变化量只与这两个状态点有关，而与热力系统或工质如何从状态 1 变化到状态 2 的路径无关。

(3) 如果 ϕ 是状态参数，则 $d\phi$ 是全微分；如果 ϕ 是状态参数 x 和 y 的函数，则 $\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)$ 。

例如，对于理想气体， $p = \rho R_g T$ ，则有 $\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) = \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right) = R_g$ ；如果热力系统从一个状态变化到另一个状态，那么状态参数的变化量只与这两个状态有关，而与变化的过程无关。

想一想

常用的状态参数是温度、压力、比体积或密度、热力学能、焓和熵，这些状态参数的单位是什么？

1-4 平衡和稳定有什么关系？平衡和均匀有什么关系？

答：平衡状态是一种稳定状态，但稳定状态不一定是平衡状态。平衡状态是指在不受外界影响的条件下，系统的宏观性质不随时间变化，所以是不受外界影响条件下的稳定状态。而在外界影响条件下的稳定状态，比如考虑重力作用的空气，具有垂直方向的压力梯度，或者电饭煲里处于保温状态下的粥，底部被加热，周边散热，理想条件下可以处于稳定状态，但却不是平衡状态。

平衡状态是在不受外界影响的条件下，系统状态不随时间变化。均匀则是系统内参数的分布不随空间变化。平衡未必均匀，如汽水混合物，密度不均匀，但可以处于平衡状态；均匀也未必平衡，当处于平衡状态的汽水混合物被加热，液态水会转化为蒸汽，此时液态水和蒸汽分别处于均匀状态，但液态水不断吸热汽化，不是平衡状态。

1-5 工质经历一不可逆过程后，能否恢复至初始状态？

答：工质经历任何过程都是可以恢复至初始状态的。如果经历的是可逆过程，则不仅工质可以恢复至初始状态，外界环境也可以恢复至初始状态。如果工质经历的是不可逆过程，则工质可恢复至初始状态，但外界环境不能恢复至初始状态。

1-6 使系统实现可逆过程的条件是什么？

答：(1) 过程中工质内部保持平衡，即准静态过程。

(2) 过程中工质与外界无耗散效应，耗散效应包括工质和壁面的摩擦，以及工质内部的湍流耗散（内部摩擦）。

1-7 实际上可逆过程是不存在的，但为什么还要研究可逆过程呢？

答：(1) 可逆过程是一种科学抽象，利用可逆过程，便于抓住问题的主要矛盾，用来揭示热功转换的本质规律。

(2) 实际发生的热力过程都是不可逆的，研究可逆过程的目的在于：可逆过程建立了理想化的标杆，实际过程与可逆过程的接近程度可以作为评价实际过程优劣的指标；对可逆过程的结果进行修正，可以得到实际过程的结果。

1-8 为什么说 Δs 的正负可以表示可逆过程中工质的吸热和放热？温度的变化 ΔT 不行吗？

答：对于可逆过程，根据熵的定义式， $ds = \frac{\delta q_R}{T}$ ，有 $\delta q_P = Tds$ ，其中热力学温度 $T > 0$ ，

可见，可逆过程中工质的比熵增加或减少只与工质吸热或者放热有关。日常生活中，工质和外界往往没有功的交换，一般的物体经常表现为吸热温度升高，放热温度降低，但是当有功的输入或输出时，则不一定这样。如果理想气体工质吸热的同时对外做功，当做功量等于吸热量的时候，工质的温度不变；如果对外做功多于工质吸收的热量，则温度会降低。

1-9 气体膨胀一定对外做功吗？为什么？

答：不一定。气体向真空膨胀，则不对外做功。气体可逆膨胀一定对外做膨胀功。

1-10 “工质吸热温度升高，放热温度降低”，这种说法对吗？

答：不对。参考思考题 1-8 的答案。

1-11 经过一个不可逆循环后，工质又恢复到起始状态，那么，它的不可逆性表现在什么地方？

答：不可逆性表现为外界环境不能恢复到原来的状态。与可逆循环相比，对于正向循环，从高温热源吸收同样的热量时，不可逆循环对外做功减少；对于逆向循环，从低温热源提取同样的热量时，不可逆循环耗功更多。

比如工质从环境吸收一定的热量，环境温度比工质温度高 10°C ，工质若沿着原来的路径恢复到原来的状态，需要把热量释放给环境，但要把热量传递到温度更高的环境，需要额外做功，最后总的效果是，环境中有一部分功变成了热量。

习题参考答案

1-1 为了环保，燃煤电厂锅炉通常采用负压运行方式。现采用图 1-1 所示的斜管式微压计来测量炉膛内烟气的真空度，已知斜管倾角 $\alpha=30^{\circ}$ ，微压计中使用密度 $\rho=1000\text{kg/m}^3$ 的水，斜管中液柱的长度 $l=220\text{mm}$ ，若当地大气压力 $p_b=98.85\text{kPa}$ ，则烟气的绝对压力为多少？

解：斜管式微压计测量得到的是两个液面之间的压力差，锅炉炉膛内的压力低于外界环境大气压。列出已知参数：

$$p_b=98.85\text{kPa}, \rho=1000\text{kg/m}^3$$

$$\alpha=\frac{30}{360}\times 2\times\pi=0.523\text{rad}$$

$$l=0.22\text{m}$$

两个液面的压力差为 gh ，其中 $h=l\sin\alpha$ ，为此需要给出重力加速度 g 。

$$g=9.81\text{N/kg}$$

$$h=l\sin\alpha=0.22\times\sin 0.523=0.11\text{m}$$

锅炉炉膛内的真空度为

$$p_v=\rho gh=1000\times 9.81\times 0.22=1079\text{Pa}$$

绝对压力为

$$p=p_b-p_v=9.777\times 10^4\text{Pa}$$

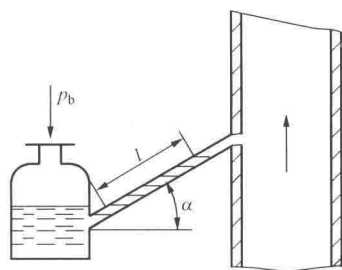


图 1-1 习题 1-1 附图

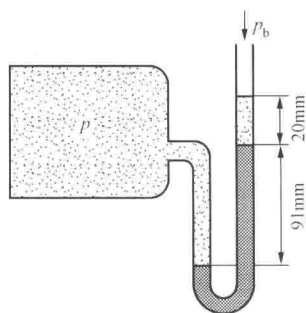


图 1-2 习题 1-2 附图

1-2 利用水银压力计测量容器中气体的压力时，为了避免水银蒸发，有时需在水银柱上加一段水，如图 1-2 所示。现测得水银柱高 91mm ，水柱高 20mm ，已知当地大气压力 $p_b=0.1\text{MPa}$ 。问容器内的绝对压力为多少？

解：由于气体的密度较小，气柱产生的压力差可以忽略不计，容器内的气体的表压力为左侧水银液面和右侧水面之间的压力差。在没有给定当地重力加速度的条件下，使用标准重力加速度进行计算。

$$p_{\text{Hg}} = 91 \times 133.3 = 121\,303 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 20 \times 9.81 = 196.2 \text{ Pa}$$

容器内气体的表压力为

$$p_g = p_{\text{Hg}} + p_{\text{H}_2\text{O}} = 1.233 \times 10^4 \text{ Pa}$$

当地大气压力为

$$p_b = 0.1 \times 10^6 \text{ Pa}$$

容器内的绝对压力为

$$p = p_b + p_g = 1.123 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.112\,3 \text{ MPa}$$

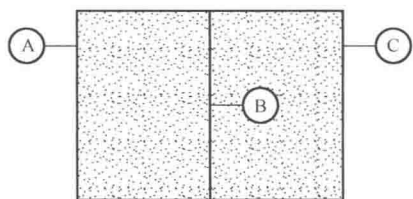


图 1-3 习题 1-3 附图

1-3 某容器被一刚性隔板分为两部分，在容器的不同部位安装有压力计，其中压力计 B 放在右侧环境中用来测量左侧气体的压力，如图 1-3 所示。已知压力计 B 的读数为 80 kPa，压力计 A 的读数 0.12 MPa，且用气压表测得当地的大气压力为 99 kPa，试确定表 C 的读数及容器内两部分气体的绝对压力（以 kPa 表示）。如果 B 为真空表，且读数仍为 80 kPa，表 C 的读数又为多少？

解：每个压力计测量得到的都是被测容器内与压力计所在环境的压力差。已知参数如下：

环境大气压力 $p_b = 99 \text{ kPa}$

压力计 B $p_B = 80 \text{ kPa}$

压力计 A $p_A = 120 \text{ kPa}$

压力计 B 测量的是压力计 A 与 C 的差值，即

$$p_C = p_A - p_B = 4.0 \times 10^4 \text{ Pa} = 40 \text{ kPa}$$

如果 B 是真空表，则右侧的压力高于左侧的压力， $p_C - p_A = p_B$ ，则

$$p_C = p_A + p_B = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa} = 200 \text{ kPa}$$

1-4 凝汽器的真空度为 710 mmHg，气压计的读数为 750 mmHg，求凝汽器内的绝对压力为多少？若凝汽器内的绝对压力不变，大气压力变为 760 mmHg，此时真空表的读数有变化吗？若有，变为多少？

解：

大气压力为 $p_b = 750 \times 133.3 \text{ Pa}$

凝汽器的真空度 $p_v = 710 \times 133.3 \text{ Pa}$

凝汽器内的绝对压力 $p = p_b - p_v = 5332 \text{ Pa} = 5.332 \text{ kPa}$

若大气压变为 $p_b = 760 \times 133.3 \text{ Pa}$

则凝汽器的真空度变为 $p_v = p_b - p = 9.598 \times 10^4 \text{ Pa} = \frac{9.598 \times 10^4}{133.3} \text{ mmHg} = 720.0 \text{ mmHg}$

1-5 有些国家和地区的人们习惯于用华氏温度 ($^{\circ}\text{F}$) 表示气温和体温。某人测得自己的体温为 100°F , 那么该人的体温为多少 $^{\circ}\text{C}$?

解:

$$t_{\text{F}} = 100^{\circ}\text{F}$$

$$t = \frac{(t_{\text{F}} - 32) \times 5}{9} = 37.78^{\circ}\text{C}$$

1-6 气体初始状态为 $p_1 = 0.4\text{MPa}$, $V_1 = 1.5\text{m}^3$, 气体经过可逆定压过程膨胀到 $V_2 = 5\text{m}^3$, 求气体膨胀所做的功。

解: 可逆过程的膨胀功可以通过压力与体积进行计算得出。

状态点 1 的压力 $p_1 = 0.4 \times 10^6\text{Pa}$

容积 $V_1 = 1.5\text{m}^3$

状态点 2 的压力 $p_2 = p_1 = 4.0 \times 10^5\text{Pa}$

容积 $V_2 = 5\text{m}^3$

膨胀功 $W = \int_1^2 p dV = p_1(V_2 - V_1) = 1.4 \times 10^6\text{J} = 1400\text{kJ}$

1-7 气体从 $p_1 = 0.1\text{MPa}$, $V_1 = 0.3\text{m}^3$ 压缩到 $p_2 = 0.4\text{MPa}$ 。压缩过程中维持下列关系: $p = aV + b$, 其中 $a = -1.5\text{MPa/m}^3$ 。试计算过程中所需的功, 并将过程表示在 p - V 图上。

解: 若未特别指明, 按可逆过程计算。

已知 $V = 0.3\text{m}^3$, $p_1 = 0.1 \times 10^6\text{Pa}$, $p_2 = 0.4 \times 10^6\text{Pa}$

参数 $a = -1.5 \times 10^6\text{Pa/m}^3$

则有 $b = p_1 - a \times V_1 = 5.5 \times 10^5\text{Pa}$, $V_2 = \frac{p_2 - b}{a}$
 $= 0.1\text{m}^3$

过程功 $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} (aV + b) dV$

得出 $W = \frac{1}{2}a(V_2^2 - V_1^2) + b(V_2 - V_1) = -5.0 \times 10^4$

J, 即外界耗功 50kJ。

过程的 p - V 图如图 1-4 所示。

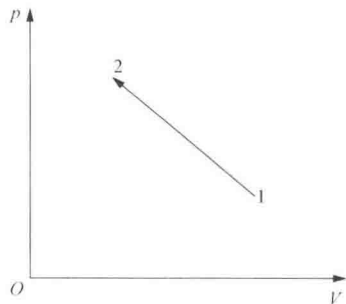


图 1-4 习题 1-7 附图

1-8 两个直角三角形循环的 T - s 图如图 1-5 所示, 其中 $T_1 = 600\text{K}$, $T_2 = T_3 = 300\text{K}$, $T_4 = T_5 = 300\text{K}$, $T_6 = 260\text{K}$ 。

求: (1) 循环 1—2—3—1 的热效率; (2) 循环 4—5—6—4 的制冷系数。

解: (1) 求可逆循环的热量效率。 T - s 图中, 曲线下面的面积表示过程的热量, 循环 1—2—3—1 中, 3—1 过程系统熵增加, 为吸热过程, 吸热量 q_1 等于面积 31ba3; 过程 1—2 熵不变, 为绝热过程; 过程 2—3 系统熵减小, 为放热过程, 放热量 q_2 等于面积 23ab2, 则

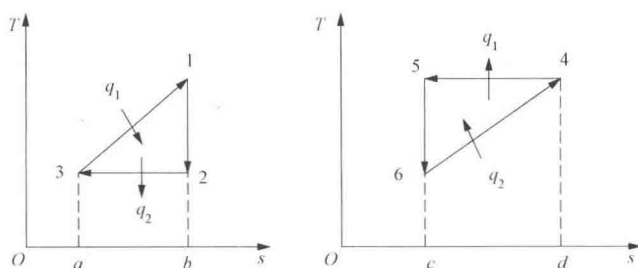


图 1-5 习题 1-8 附图

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2 \Delta s}{\frac{1}{2}(T_3 + T_1) \Delta s} = 1 - \frac{300}{\frac{1}{2}(300 + 600)} = 0.333 \ 3$$

(2) 求制冷系数。4—5—6—4 为逆向循环，6—4 过程系统熵增大，为吸热过程，从低温热源吸收的热量等于面积 64dc6；4—5 过程系统熵减小，为放热过程，向高温热源放出的热量等于面积 45cd4；5—6 过程系统熵不变，为绝热过程，则

$$\varepsilon_c = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{\frac{1}{2}(T_4 + T_6) \Delta s}{T_4 \Delta s - \frac{1}{2}(T_4 + T_6) \Delta s} = \frac{\frac{300 + 260}{2}}{300 - \frac{300 + 260}{2}} = 14.0$$

第二章 热力学基本定律

思考题参考答案

2-1 制冷系数或供热系数均可大于 1，这是否违反热力学第一定律？

答：制冷系数或供热系数大于 1，只说明逆向循环从低温热源吸收的热量或者向高温热源放出的热量大于循环净功，但均满足 $q_1 = w + q_2$ ，并不违反热力学第一定律。

2-2 “热水里含有的热量多，冷水里含的热量少”，这种说法对吗？

答：不对。热量是过程量，只能说工质放出或吸收多少热量，不能说工质含有多少热量。热力学能是状态量，在质量相同的条件下，可以说热水里含有的热力学能多，冰水里含有的热力学能少。

2-3 某绝热的静止气缸内装有无摩擦不可压缩流体。试问：

(1) 气缸中的活塞能否对流体做功？

答：由 $w = \int_1^2 p dV$ ，流体不可压缩，体积 V 不变，活塞不能对气缸中的流体做膨胀功（压缩功）。

(2) 流体的压力会改变吗？

答：流体的压力可以改变。

(3) 假定使流体压力从 0.2MPa 提高到 4MPa，那么流体的热力学能和焓有无变化？

答：由热力学第一定律， $q = \Delta u + w$ ， $\Delta u = q - w = 0$ ，流体的热力学能不变；由焓的定义式， $h = u + pv$ ，热力学能不变，比体积不变，压力增大，因此焓增大。

2-4 某一工质在相同的初态 1 和终态 2 之间分别经历两个热力过程，一为可逆过程，另一为不可逆过程。试比较这两个过程中相应外界的熵的变化量哪一个大？为什么？

答：工质经历不可逆过程时，外界的熵变化量大。取工质和外界一起作为孤立系统，若工质经历可逆过程，孤立系的熵不变，若工质经历不可逆过程，孤立系的熵增大。

2-5 微分形式的热力学第一定律解析式和焓的定义式为 $\delta q = du + p dv$ ， $dh = du + d(pv)$ 。二者形式非常相似，为什么 q 是过程量，而 h 却是状态量？

答：如图 2-1 所示。

(1) $\delta q = du + p dv$ ，经过循环，系统和外界的热量交换为

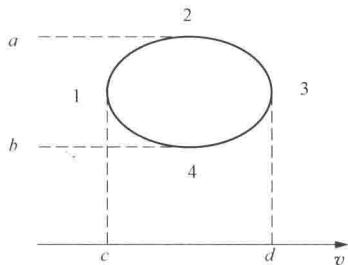


图 2-1 思考题 2-5 附图

$$\oint \delta q = \oint du + \oint p dv = 0 + \int_{1-2-3} p dv + \int_{3-4-1} p dv$$

$$= (\text{面积 } 123dc1) - (\text{面积 } 341cd3)$$

$$= \text{面积 } 12341 \neq 0$$

即热量的环量积分与过程有关。

(2) $dh = du + d(pv) = du + p dv + v dp$, 经过循环, 焓的变化量为

$$\oint dh = \oint du + \oint p dv + \oint v dp = 0 + \int_{1-2-3} p dv + \int_{3-4-1} p dv + \int_{2-3-4} v dp + \int_{4-1-2} v dp$$

$$= (\text{面积 } 12341) - (\text{面积 } 12341) = 0$$

即焓的环量积分总是等于 0, 因此状态坐标图上任意一点的焓值只与状态参数 p 、 v 有关, 焓是状态参数。

2-6 地球上水的含量非常丰富, 通过电解水可以获得大量的氢气和氧气, 利用氢气和氧气可以进行热力发电, 或者可以利用氢-氧燃料电池发电。因此有人认为人类不会有能源危机。这种想法对吗? 为什么?

答: 这种想法是不正确的。按照热力学第一定律, 用电电解水制氢和氧后再利用氢和氧发电, 发电量最多也只能达到消耗的电量。按照热力学第二定律, 实际发电量将少于所消耗的电量。

2-7 孤立系熵增原理是否可以表述为“过程进行总的结果是孤立系统内各部分熵都增加”?

答: 孤立系内经历不可逆过程, 孤立系内的熵增加, 但不一定是各部分的熵都增加。例如, 孤立系内经历一个不可逆的传热过程, 热量从高温热源传递到低温热源, 高温热源的熵减少, 低温热源的熵增加, 但是低温热源熵增加量大于高温热源的熵减少量。

2-8 闭口系进行一放热过程, 其熵是否一定减少, 为什么? 闭口系进行一放热过程, 其做功能力是否一定减少, 为什么?

答: 闭口系进行一个可逆的放热过程, 其熵一定减少。但如果闭口系进行的是不可逆的放热过程, 则闭口系因为放热引起的熵减少量, 有可能低于不可逆熵增 (熵产), 也就是闭口系放热后熵也有可能增加。

闭口系进行一个放热过程, 其做功能力不一定减少。例如, 如果闭口系经历一个压缩放热过程, 并且外界对系统做功大于系统对外放热量, 则闭口系的做功能力也可能增加。

2-9 平均吸热温度和平均放热温度的计算可以用在不可逆循环中吗? 为什么?

答: 对于可逆吸热或者放热过程, 有 $q = \int_1^2 T ds$, 可以定义过程平均温度为 $\bar{T} = \frac{\int_1^2 T ds}{\Delta s}$, 对于不可逆循环, 温度 T 是不可用单一数值描述的, 则没有该关系式, 因此不能使用平均吸热温度和平均放热温度的概念。

2-10 正向循环热效率的两个计算式为 $\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1}$ 和 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ，这两个公式有何区别？

各适用于什么场合？

答： $\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1}$ 对于任何正向循环都适用，是循环热效率的定义式。

$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 只适用于温度分别为 T_1 和 T_2 的两个热源之间的可逆循环。

2-11 下列说法是否正确，为什么？

(1) 熵增大的过程必为不可逆过程。

答：不正确。孤立系熵增大的过程一定是不可逆过程。

(2) 熵增大的过程必为吸热过程。

答：不正确。依据克劳修斯不等式， $ds \geq \frac{\delta q}{T}$ ，不吸热的不可逆过程也可能使系统的熵增加。

(3) 不可逆过程的熵差 Δs 无法计算。

答：不正确。熵是状态参数，只要过程的起始状态和终了状态确定了，熵差也就确定了，与过程是否可逆无关。

(4) 系统的熵只能增大，不能减小。

答：不正确。孤立系的熵只能增加或者不变，不能减少。

(5) 若从某一初态经可逆与不可逆两条途径到达同一终态，则不可逆途径的熵变 Δs 必大于可逆途径的熵变 Δs 。

答：不正确。初终态相同，熵变也相同，与过程是否可逆无关。

(6) 工质经不可逆循环， $\Delta s > 0$ 。

答：不正确。工质经历任何循环，均有 $\Delta s = 0$ 。

(7) 工质经过不可逆循环，由于 $\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$ ，所以 $\oint ds < 0$ 。

答：不正确。 $\oint ds = 0$ 。

(8) 可逆绝热过程为定熵过程，定熵过程就是可逆绝热过程。

答：正确。可逆绝热过程就是定熵过程，定熵过程也是可逆绝热过程。对于不可逆过程，其中间状态无法用确切的参数来描述（对于非平衡状态的系统，需要用“场”来描述其具体状态），当然也谈不上“定熵”，因此“定熵”过程首先是可逆过程，加之熵不变，因此一定是绝热过程。

2-12 举例说明热力学第二定律比热力学第一定律能更加科学地指引节能的方向。

答：例 1，绝热节流。绝热节流是典型的不可逆过程，但从热力学第一定律来看，节流前后焓不变，过程绝热，从数量上看没有能量损失；从热力学第二定律来看，节流过程系统产生不可逆熵增，工质的做功能力下降了，可用能减少了。因此设法减少节流过程或降低绝热节流过程的不可逆熵增，可以降低工质的做功能力损失，实现节能。

例 2, 理想气体绝热自由膨胀也是典型的不可逆过程。理想气体绝热自由膨胀后, 系统的热力学能、焓、温度不变, 对外做功为 0, 从热力学第一定律来看, 系统没有能量损失。但实际上理想气体绝热自由膨胀后, 对外做功的能力下降了; 从热力学第二定律来看, 其损失的做功能力可用过程产生的不可逆熵增与环境温度的乘积来描述。

例 3, 换热器传热温差。从热力学第一定律来看, 换热器的传热温差增大不会带来能量的损失, 因此对节能没有影响; 从热力学第二定律来看, 换热器传热温差增大, 则过程的孤立系熵增增大, 会带来热量的做功能力损失, 从而科学地指明, 减小换热器的传热温差可以实现节能。

例 4, 火电厂的热力循环。从热力学第一定律来看, 燃煤燃烧产生的热量中, 没有转变成轴功的部分是凝汽器的散热量 q_2 , 因此提高循环热效率应该设法降低凝汽器散热量; 从热力学第二定律来看, 火电厂热力循环中能量做功能力损失最大的环节在于锅炉内的传热温差, 传热温差越大, 过程的不可逆熵增就越大, 热量的做功能力损失也越大, 因此要想提高火电厂的热效率, 采用提高工质的吸热平均温度、减小锅炉传热温差等方法才是关键。

2-13 某报纸刊登了一则标题为“涡流技术真奇妙, 冷水变热不用烧”的广告, 其主要内容是: “公司引进国外发明专利技术生产的液体动力加热器, 是一种全新概念的供热设备, 无须任何加热元件, 依靠电机带动水泵使高速运动的液体经过热能发生器形成空化现象, 利用产生微颗粒气泡破裂释能机理, 实现高效热能转化。产品的特点如下: 对加热水质无特殊要求, 不结垢, 不需要任何水处理及化验设备; 彻底实现水电隔离, 产品安全可靠; 环境无污染, 自动控制, 无须专人操作, 一经设定即可长期安全使用; 热效率达 94% 以上, 长期使用, 热效率不衰减。”

请利用所学的热力学知识, 从能量转化的角度, 对这个广告进行评价。

答: 这种加热器既不违反热力学第一定律, 也不违反热力学第二定律, 是可以实现的。但是, 从能量转化的角度看, 电能转化为热能是可以自发进行、100% 转化的, 通过把电能转化为流体的运动动能再经过空化、破碎等机制进一步转化为热能, 徒增了中间环节, 不会带来能量的增加。因此这种发明是将简单的问题复杂化, 意义不大。从热力学的角度看, 将高品质的电能直接用于供暖或加热液体是不经济的, 如果采用供暖循环(热泵)供热, 则单位电力消耗往往可以实现数倍的供热量, 可以实现节能的效果。

2-14 某学术期刊上有一篇名为“论 DZF 循环是又一个第二类永动机”的学术论文, 请通过互联网上找到这篇文章, 研读后发表自己的观点。

答: 第二类永动机是不可制造的。

习题参考答案

2-1 定量工质, 经历了表 2-1 所列的 4 个过程组成的循环, 根据热力学第一定律和状态参数的特性填充表中空缺的数据。

解:

表 2-1 循环过程参数

过 程	Q (kJ)	W (kJ)	ΔU (kJ)
1—2	0	100	-100
2—3	-110	80	-190
3—4	300	90	210
4—1	20	-60	80

分析:

过程 1—2

$Q_1=0\text{J}, W_1=100\times10^3\text{J}, \Delta U_1=Q_1-W_1=-1.0\times10^5\text{J}=-100\text{kJ}$

过程 2—3

$\Delta U_2=-190\times10^3\text{J}, W_2=80\times10^3\text{J}, Q_2=\Delta U_2+W_2=-1.1\times10^5\text{J}=-110\text{kJ}$

过程 4—1

$\Delta U_4=80\times10^3\text{J}, Q_4=20\times10^3\text{J}, W_4=Q_4-\Delta U_4=-6.0\times10^4\text{J}=-60\text{kJ}$

过程 3—4

由于过程是循环，最终恢复到原来的状态，热力学能的总的变化量为 0，则有

$\Delta U_3=0-\Delta U_1-\Delta U_2-\Delta U_4=2.1\times10^5\text{J}=210\text{kJ}$

$Q_3=300\times10^3\text{J}, W_3=Q_3-\Delta U_3=9.0\times10^4\text{J}=90\text{kJ}$

2-2 一闭口系统从状态 1 沿过程 1—2—3 到状态 3，对外放出 47.5kJ 的热量，对外做功为 30kJ，如图 2-2 所示。

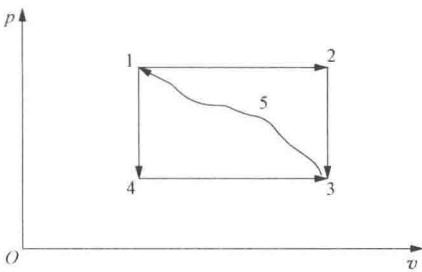


图 2-2 习题 2-2 附图

(1) 若沿途径 1—4—3 变化时，系统对外做功为 6kJ，求过程中系统与外界交换的热量；

(2) 若系统由状态 3 沿 3—5—1 途径到达状态 1，外界对系统做功为 15kJ，求该过程与外界交换的热量；

(3) 若 $U_2=175\text{kJ}, U_3=87.5\text{kJ}$ ，求过程 23 传递的热量及状态 1 的热力学能 U_1 。

解:

对于过程 1—2—3，有 $Q_{123}=-47.5\text{kJ}, W_{123}=30\text{kJ}$

由 $Q=\Delta U+W$ ，状态点 3 与状态点 1 的热力学能差为： $\Delta U_{13}=Q_{123}-W_{123}=-77.5\text{kJ}$ ，即热力学能减少 77.5kJ。

(1) 过程 1—4—3，若 $W_{143}=6\times10^3\text{J}$ ，则 $Q_{143}=\Delta U_{13}+W_{143}=-71.5\text{kJ}$ ，即系统对外放热 71.5kJ。

(2) 过程 3—5—1，此时热力学能变化量为 $\Delta U_{31}=-\Delta U_{13}=77.5\text{kJ}$ ，即热力学能增加 77.5kJ，同时对外做功 $W_{351}=-15\times10^3\text{J}$ ，则 $Q_{351}=\Delta U_{31}+W_{351}=62.5\text{kJ}$ ，即外界对系统加热 62.5kJ。

(3) 过程 2—3 为定容过程， $dV=0$ ，所以膨胀功 $W_{23}=0\text{J}$ 。

热力学能 $U_2=175\text{kJ}, U_3=87.5\text{kJ}$ 。

热力学能增量为 $\Delta U_{23}=U_3-U_2=-87.5\text{kJ}, Q_{23}=dU_{23}=-87.5\text{kJ}$ ，即系统对外放热