

DAXUESHENG ZHI YOU

工程热力学

解疑

科学技术出版社

工程热力学解疑

赵承龙 编

江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书收集了工程热力学理论概念及与实际相联系的有关问题共一百余道，编入基本概念、热力学基本定律、热力过程、工质的热力性质、热力循环以及化学热力学基础等六个部分，并全部作出参考性解答。

本书是一本以回答问题为形式的工程热力学课外读物，可作为理工本科及大专学生学习本课程的辅助资料；也可供讲授及辅导本课程的教师作答疑、质疑的参考；对自学者也有一定的参考价值。

工 程 热 力 学 解 疑

赵 承 龙 编

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：江苏新华印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 3.375 字数 64,000

1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

印数 1—3,000册

书号：13196·221 定价：0.68 元

责任编辑 程增础

出版说明

为了帮助广大理工科大学生，包括电视大学、职工大学、夜大学和函授大学的学生，学好基础课和专业基础课，克服学习过程中遇到的各种困难，把握教材的重点、难点和应注意的地方，加深对定理、概念的理解，提高分析问题和解决问题的能力，我们约请了高等院校一些具有丰富教学经验的教师编撰了这套《大学生之友》丛书。

本丛书根据大纲要求，紧密结合教材内容组织编写。选题大体分为“学习指导”、“解疑”和“解题分析”三个方面，以数理化基础课和专业基础课为主，兼顾其他各专业课。计划在数年内逐步出齐。

我们深信，大学生在学习中能有这样三方面的书结合教材学习参考，必会给学习带来帮助。但愿这套丛书能成为名副其实的“大学生之友”。我们恳切地欢迎读者对每一本书提出宝贵的意见。

江苏科学技术出版社

前 言

工程热力学是动力专业的一门重要技术基础课程，它不仅具有理论性强的特点，而且涉及面较广，学习时要联系思想、联系实际才能真正理解其中道理。不少人在学习这门课程中，往往感到概念比较抽象，难以接受，或者联想到许多问题不能得到解决，从而产生困惑。为了有助于学好本课程，特编写了这本书。

本书所列入的问题，其来源大部分是学生学习时所提出的疑问；还有一部分是教学中作为质疑的问题。全书分六部分：基本概念，热力学基本定律，热力过程，工质的热力性质，热力循环以及化学热力学基础。对这些问题全部作了参考性解答，对有些问题，还列出了参考资料，便于读者进一步了解和深入钻研。考虑到热力图的运用在工程技术上解决实际问题的重要性，本书给予了适当的注意。

本书是一本课外读物，编写时力求能起到活跃思维、联系实际和加深、加宽对某些热力学概念理解的作用。由于编者水平有限，书中难免有不妥或错误之处，请读者批评指正。

赵 承 龙

1985年于南京航空学院

目 录

✓、基本概念

1. 一个系统与外界有能量交换,但保持系统的能量不变,系统中工质的状态能否发生变化? 1
2. 没有任何能量通过边界进入(或排出)系统,系统中工质的状态能否发生变化? 1
3. 绝对真空能看成是绝对温度为零度、绝对压力为零吗?... 1
4. 把水的沸点和冰点之间分为 100 等分,每一等分就是摄氏一度,对吗? 2
5. 有没有负绝对温度? 2
6. 有没有负绝对压力? 3
7. 下列各物理量,哪些是强度量?哪些是广延量?
质量、重量、容积、速度、密度、能量、重度、压力、温度、重力势能。 3
8. 轴向式压气机,其出口截面为何要小于进口截面? 4
9. 气体的速度是否可作为热力状态参数? 4
10. 在无化学反应的系统中,当混合气体(完全气体混合物)的温度或压力有了改变,其组成气体的质量成分、容积成分(或摩尔成分)是否也要发生变化? 4
11. 混合气体中组成气体的折合容积(或分容积)和分压力能否用仪器进行定量测量?..... 5
12. 什么叫贮存能?什么叫传递能? 6
13. 如何区分“内能”和“热量”这两个概念? 7
14. “内能”与“热能”是否含义相同? 7
15. 在分别计算过程中内能及焓的变化时,与选择内能及焓的起算点有无关系?若计算同一状态下系统的内能

- 及焓值,与选择内能及焓的起算点有无关系? 8
16. 热量和功不是状态参数,是否与初、终态完全无关? 8
17. 准静态过程、平衡过程以及可逆过程三者是否可以等同? 9
18. 实际工程中是否存在准静态过程? 10
19. 系统内部不具有平衡的过程,能否采用 $\int_{t_1}^{t_2} c_m dt$ 来计算过程的热量? 10
20. 用平均比热计算热量的公式是

$$q = c_m \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_m \Big|_0^{t_1} \cdot t_1$$

式中 $c_m \Big|_0^t$ 是 $0 \sim t^\circ\text{C}$ 之间的平均比热; t_1, t_2 都是摄氏温度。如果将上式中摄氏温度换成绝对温度 T_1, T_2 , 即

$$q = c_m \Big|_{273}^{T_2} \cdot T_2 - c_m \Big|_{273}^{T_1} \cdot T_1$$

- 其结果与前面计算的结果是否一样? 式中 $T_1 = 273 + t_1$; $T_2 = 273 + t_2$ 。 11
21. 能否计算不具有内部平衡的过程中系统对外所作的容积功? 11
22. 在什么条件下控制体变成控制质量系统? 在什么条件下控制体变成孤立系统? 12

二、热力学基本定律

23. “内能是状态的单值函数”为什么可以看成是热力学第一定律的一种表述? 13
24. 不采用任何加热方式能否使气体的温度升高? 同时放热、同时升高温度是否也可以? 13
25. 有 N, A 两室用阀门 C 联接起来,向 N 室充气,室壁皆对外绝热。如何确定充气后 N 室中气体(完全气体)的温度? 设 (1) N 室为真空, A 室装有某种完全气体。

- (2) N 室原有少量与 A 室相同的气体, A 室装有某种完全气体。(3) N 室为真室, A 室与无限气源相通。
- (4) N 室原来有少量与气源相同的完全气体, A 室与无限气源相通。 14
26. 在完全气体定温膨胀过程中, 有 $Q = W$; 实际气体定温膨胀过程中, Q 与 W 是否也相等? 16
27. 下列各种叙述是否正确?
- (1) 功可以全部变为热, 而热不能全部变为功。
- (2) 低温向高温传热是不可能的。
- (3) 功变热是自发的、无条件的; 而热变功则是非自发的、有条件的。 17
28. 热力学第二定律与第一定律有何区别和联系? 17
29. 将孤立系统熵增加原理用于热机可以得出: 孤立系统(包括热机、热源及冷源)的熵增愈大, 热机热效率愈低。那么, 若将孤立系统熵增加原理用于制冷机, 会得出什么样的结论? 18
30. “熵的单值性”与热力学第二定律有没有联系? 20
31. 试画出热机在三个定温热源之间工作时的循环图。它的热效率与同温度极限范围的卡诺循环相比哪个大? 20
32. 如图 7 所示, 卡诺循环 14321 和定压加热循环 16521 两者的热效率是否相等? 若相等, 是否违反卡诺定理? 设比热为定值。 21
33. 根据热力学第二定律可知, 一个系统进行一个循环, 仅与一个热源交换热量而作出正功是不可能的。那么是否有可能作负功, 或不作功? 22
34. 下列各种情况, 哪些是可能实现的? 哪些是不可能实现的(图 8)? 22
35. 热力学第二定律不能外推到无限的宇宙中应用, 这一结论是否适用于热力学第一定律? 24

36. 能否利用熵判据来判定时间的前、后?25
37. 温度的上升或下降能否用来判断过程热量交换为正、为负? 如果用熵参数的变化能否判断?25
38. 孤立系统的熵达到最大值时, 系统的状态达到平衡。若孤立系统状态处于平衡, 这时孤立系统的熵一定是最大值吗?25
39. 能否从熵方程推出克劳修斯等式及不等式?26
40. 可逆循环的熵变为 0, 不可逆循环中有不可逆性的熵增, 为什么不可逆循环的熵变仍为 0, 而不为正值?27
41. 采用可逆绝热或不可逆绝热方式能否使状态 A 变到状态 B? 设 (a) $S_A < S_B$; (b) $S_A > S_B$; (c) $S_A = S_B$ 。.....28
42. 绝热的管道中有空气流动, 在管道中的 A、B 两点分别测得其气流的静压力及静温度如下:

	A	B
静压力	0.13MPa	0.1MPa
静温度	50℃	13℃

- 试判断上述气流是从 A 流向 B、还是由 B 流向 A?29
43. 系统进行某过程时, 从热源吸入热量 10J, 而作出 20J 的功, 能否采取可逆绝热过程使系统回到初态?29
44. 热力学温标与完全气体温标所表示的温度是否相同?30

三、热力学过程

45. 公式 $q = \int_{S_1}^{S_2} T dS$ 及 $q = \int_{T_1}^{T_2} c dT$ 都能用来计算过程中交换的热量。在选用时这两个公式各有什么特点?32
46. 工程中是否存在多变指数为负值以及多变比热为负值的过程实例?32
47. 现有某已知气体 M 公斤 (设为完全气体), 实测过程曲线为

- 1→2 (见图10), 假定它符合多变过程规律, 如何确定该过程中六个状态参数(压力 p 、比容 v 、温度 T 、比内能 u 、比焓 h 及比熵 s)的变化量? 如何计算过程中交换的热量 Q 和功量 W ?33
48. 气体在管内作多变流动, 若当 (pv) 出口 $\geq (pv)$ 进口时, 其对应的多变指数 n 的范围各如何? 34
49. 在分析叶轮机的热力过程时, 能否用多变过程来代替叶轮机的实际过程?35
50. 完全气体多变过程是否为毫无规律、包罗一切的过程?36
51. 如图 13 所示, 在相邻的两条定容线上有点 A 、 B 及 C , 若 $T_A = T_B$, $S_A = S_C$, 问 A 、 B 两点的斜率是否相等? A 、 C 两点的斜率是否相等? (完全气体).....36
52. 如图 14 所示, 在相邻的两条定熵线上有点 A 、 B 及 C , 若 $p_A = p_B$, $v_B = v_C$, 问 A 、 B 两点的斜率是否相等? B 、 C 两点的斜率是否相等? (完全气体)37
53. (I) $p-v$ 图上, 完全气体的两条定温线之间、定熵线之间的 (1) 水平距离、(2) 竖直距离是否处处相等?
(II) $T-S$ 图上定容线之间、定压线之间的 (1) 水平距离、(2) 竖直距离是否处处相等?38
54. 工质为完全气体, 任意过程中焓和内能的变化 能否在 $p-v$ 及 $T-S$ 图上用面积表示出来?42
55. 完全气体自由膨胀过程能否在 $p-v$ 、 $T-s$ 及 $h-s$ 图上表示出来?45
56. 完全气体由同一初态出发, 分别经历 (a) 定温过程 (b) 定容过程 (c) 定压过程的不同加热过程至各自的终态, 设各过程终态的熵彼此相等, 若分别以 (1) 加热量 (2) 内能变化 (3) 比容之比 $v_{终}/v_{初}$ 来作评价, 问各过程相互关系如何?45
57. 如何理解音速与介质可压缩性之间的联系?46

58. 温度相同的空气及氧气,其音速是否相同? (设 $k_{\text{空气}} = k_{\text{氧气}}$)47
59. 总温必定比静温大吗? 总压必定比静压大吗?
.....47
60. 定熵流动过程有下列关系

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

如果把四个静参数分别调换为总参数,由此组成的关系式能否成立?48

61. 工质为完全气体的任意过程熵变计算公式为

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

当把式中静温、静压分别换成总温、总压,即下式

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2^*}{T_1^*} - R \ln \frac{p_2^*}{p_1^*}$$

能否成立?49

62. 在不可逆、绝能气体流动中, 总压下降为什么意味着“损失”?50
63. 静压和静温能否测量?51
64. 有哪些方法可以改变收缩喷管的气体流量? 流量能否任意增加?51
65. 活塞式压气机压缩过程的多变指数 n 的范围通常认为是 $1 \leq n \leq k$, 而叶轮式压气机压缩过程的多变指数 n 的范围通常认为是 $n > k$, 这是怎样估计出来的?51
66. 涡轮及叶轮式压气机的绝热效率 η 绝能反映过程的“损失”, 另外, 该过程(作为不可逆绝热)中的熵增也能反映过程的“损失”, 那么 η 绝与过程的熵增 Δs 必然有所联系, 试导出这种联系关系式。52

四、工质的热力性质

67. 理想气体和完全气体能否等同? 55

68. 处于高温或低压下的实际气体, 可当作完全气体看待。

这里所谓“高”和“低”是对谁比较而言的? 56

69. 有人将 $c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$ 误写为 $c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_v$, 对完全气

体和实际气体来说后式能否成立? 56

70. 定容比热 c_v 及定压比热 c_p 是状态的函数吗? 57

71. 物性量是否都是状态函数? 57

72. 在以什么状态参数构成的坐标轴的热力图上, c_p 成为该坐标图中曲线的斜率? 这种曲线是什么样过程的曲线? 58

73. 公式 $\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT$ 对水蒸汽的定容加热过程能否适用? 58

74. 湿蒸汽有下列关系:

$$h_g = h''x + (1-x)h'$$

$$v_g = v''x + (1-x)v'$$

模仿上述规律, 对干度为 x 的密度 ρ_g 写为

$$\rho_g = \rho''x + (1-x)\rho'$$

是否成立? 上列式中 h_g 、 v_g 分别是干度为 x 的比焓、比容, 右上角标注“'”及“''”分别表示饱和水及干饱和蒸汽的参数。 59

75. 湿蒸汽能否用 $\Delta h = c_p \Delta T$ 来计算定压过程的焓变? 60

76. 试说明: 凡是 $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p > 0$ 的工质 (如一切气态物质及某些液体), 它在 $p-v$ 图上的定温线分布规律总是朝右

方的定温线的温度愈来愈高；而 $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p < 0$ 的工质

(如水在 $0 \sim 4^\circ\text{C}$ 的性质)，其定温线分布规律与上述恰相反。61

77. 不论何种工质，在 $p-v$ 图上，它的定熵线总是比定温线陡峭一些吗？61
78. 汽、液、固三相的相图如何？62
79. 如图 23 所示，当沿着 adb 绕过临界点 K 进行液 $\rightarrow$ 汽的转变时，有无相变现象出现？63
80. 湿空气的含湿量 d 较大，能否肯定相对湿度 ϕ 也较大？64
81. 在空气潮湿地区进行发动机试车，发现其输出功率要比空气较干燥地区(设其它条件相同)小一些，何故？64
82. 湿空气与湿蒸汽是不是同一种工质？65
83. 下列各式哪些只适用于可逆过程？哪些对可逆或不可逆过程都适用？

(1) $\delta q = du + p dv$

(2) $T ds = du + \delta w$

(3) $\delta q = dh - v dp$

(4) $T ds = du + p dv$

(5) $T ds = dh - v dp$

式中 δq 及 δw 分别是 1 公斤工质的系统与外界交换的热量及功量。 u, p, v, T, s 及 h 分别是工质的比内能、压力、比容、温度、比熵及比焓。66

84. 如何借助于热力学一般关系式求得某种气体的状态方程？67
85. 麦克斯韦(以下简称麦氏)关系式太难记，有无“规律”帮助记忆？67
86. 推导状态参数的偏导表达式较难下手〔例如以 $p, v,$

T 及 c_v 表达的 $(\partial T/\partial v)_u$ 关系式], 有无一些线索可供参考?68

87. 由热力学第一定律解析式 $du = \delta q - p dv$ 可导出下列二式

$$(i) \quad du = T ds - p dv$$

$$(ii) \quad du = c dT - p dv$$

再分别由上列二式的全微分性质可有

$$\begin{aligned} \text{由(i):} \quad T &= \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)_v \\ -p &= \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_s \\ -\left(\frac{\partial p}{\partial s} \right)_v &= \left(\frac{\partial T}{\partial v} \right)_s \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} T &= \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)_v \\ -p &= \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_s \\ -\left(\frac{\partial p}{\partial s} \right)_v &= \left(\frac{\partial T}{\partial v} \right)_s \end{aligned}} \right\} (I)$$

$$\begin{aligned} \text{由(ii)} \quad c &= \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \\ -p &= \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T \\ -\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v &= \left(\frac{\partial c}{\partial v} \right)_T \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} c &= \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \\ -p &= \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T \\ -\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v &= \left(\frac{\partial c}{\partial v} \right)_T \end{aligned}} \right\} (II)$$

这两组结果, 哪一组对? 原因何在?71

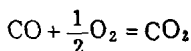
五、热力循环

88. 如图 24(a)所示, 是一个具有分段压缩(每段之间有中间冷却)和分段膨胀(每段之间有加热)的燃气涡轮装置。如何在 $p-v$ 图及 $T-s$ 图上表示出它的理想循环? 假定每级压缩前及压缩后的温度分别是相等的, 每个涡轮膨胀前及膨胀后的温度也分别是相等的。73
89. 在分析、计算任一热力循环时, 为什么要满足: 已知的循环参数(如压缩比、预胀比等)数目等于组成循环的

- 过程数减 2?74
90. 在活塞式定容加热循环中, 定容加热升压比 $\lambda = p_3/p_2$
(图 26) 对循环的热效率是否有影响? 为什么?75
91. 活塞式发动机循环的压缩过程有什么作用?77
92. 一般涡轮喷气发动机由进气道、压气机、燃烧室、涡轮及尾喷管等五个部分组成。问:
(1) 假定没有燃烧室是否可以?
(2) 假定没有压气机是否可以?78
93. 实际热机循环的加热过程是否存在温差换热的不可逆现象?80
94. 如何用能量方程分析冲压式喷气发动机的进气道和燃烧室对产生推力所起的作用?80
95. 采用“回热”必须具备什么温度条件才能实施?81
96. 资料上见到有一种“不完全膨胀”蒸汽循环, 是什么样的循环?81
97. 有人设想把汽缸排出的水蒸气的乏汽直接通往锅炉的进口, 而不经冷凝器, 这岂不是实现了只有一个热源的第二类永动机了吗?82
98. 有无逆向斯特林循环?82
99. 为什么说热泵是一种有效的节能设备?83
100. 为什么说烟是一种评定能量“品质”的参数?84
101. 烟分析法有什么特点?85

六、化学热力学基础

102. 一氧化碳与氧反应生成二氧化碳, 其化学反应方程可写为



或者写为 $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$

上列二式的平衡常数分别为 K_{p1} 及 K_{p2} , 两者是否相等?86

103. 通常把燃烧过程当成是在定温、定容或定温、定压条

件下进行的,有何根据?	86
104. 在用能量方程分析流动的气体燃烧加热过程中,当不考虑工质成分变化的情况时,常采用下列形式:	
$Q = H_{\text{出口}} - H_{\text{进口}} \quad (1)$	
式中 H 是焓, Q 是加热量, 且有 $H_{\text{出口}} > H_{\text{进口}}$ 。而在化学热力学中分析同一问题时 (显然要考虑成分的变化), 则采用下列形式:	
$H_{\text{出口}} = H_{\text{进口}} \quad (2)$	
这里有无矛盾? 设分析时都忽略气流动能的变化。式(2)中 H 是包括化学能在内的焓。.....	87
105. 理论燃烧温度在燃气温度测量上有没有参考价值?	88
106. 如果系统内部没有达到热平衡及力平衡, 能单独实现化学平衡吗?	88
107. 热力学第三定律能否看成是热力学第二定律的一个推论?	88
参考资料	90
本书主要使用符号说明	91

一、基本概念

1. 一个系统与外界有能量交换, 但保持系统的能量不变, 系统中工质的状态能否发生变化?

答: 在这种条件下, 系统中工质的状态仍可以发生变化。

根据状态公理, 对简单系统而言, 确定状态的独立参数有两个, 今设为内能 U 及容积 V , 尽管系统的能量(即内能)不变, 但系统的另一个独立参数 V 仍能变化, 因而能发生状态改变过程。例如完全气体定温过程, 外界向系统加入的热量与系统向外界作的功相等, 系统的内能虽保持不变, 但系统的状态仍能发生变化(因容积可以改变)。

2. 没有任何能量通过边界进入(或排出)系统, 系统中工质的状态能否发生变化?

答: 如果系统中的工质原来就处于平衡态, 则根据热力平衡不自发破坏原理, 工质的状态是不会改变的。

如果系统内部原来就存在着某种不平衡势如温差、压差、浓度差等, 则系统内部会发生状态的改变, 例如内部扩散就是如此(尽管系统与外界之间无任何能量交换)。

3. 绝对真空能看成是绝对温度为零度、绝对压力为零吗?

答: 热力学所研究的对象是大量粒子(如分子等)组成的宏观系统, 系统中的这些由大量粒子组成的物质称为工质。温