

热力学和传热学基础期中考试评分标准

2021 年 11 月 14 日

一、简要回答下列问题（48 分）

1. （9 分）经典工程热力学也叫可逆热力学，可逆的本质是什么？热力学主要用哪个参数来描述一个过程是可逆还是不可逆？实际的过程都是不可逆的，而工程热力学主要研究可逆过程，你对这个问题有什么看法？

(1) 可逆的本质是准静态且没有能量耗散 (2+2 分)，或者答无做功能力损失

(2) 用熵来描述一个过程是可逆还是不可逆 (2 分)

(3) 热力学研究可逆过程，是为了将实际过程加以简化，便于分析 (3 分)

2. （8 分）试分析容积变化功、技术功、轴功和推进功的含义和相互关系。

容积变化功是指工质因体积变化做的功，微元为 $p dv$

技术功是工程上能被利用的功量，微元为 $-v dp$

轴功是工质通过旋转部件与外界进行交换的功量

推进功是推动工质流动而做的功，微元为 $d(pv)$

相互关联为（从微元表达式理解）：

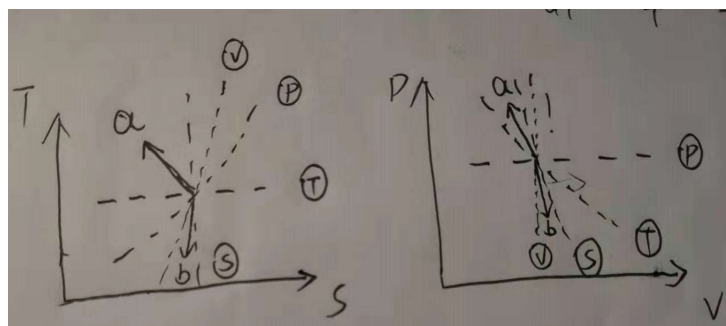
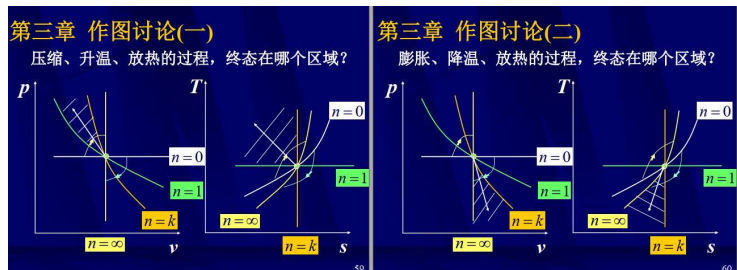
$$\text{做功的根源 } w \left\{ \begin{array}{l} w_t \left\{ \begin{array}{l} \Delta c^2/2 \\ g\Delta z \end{array} \right. \\ w_s \\ \Delta(pv) \end{array} \right.$$

四个功的含义 1*4 分， $p dv$ 、 $-v dp$ 、 $d(pv)$ 三者辨析 2 分；技术功细分 2 分。

3. （6 分）某人声称使用新式热力循环和高技术开发出一种新型节能冷柜，在 30°C 室温下，制冷温度为 -40°C 时，制冷系数可以达到 4，请你判断一下是否可能实现？

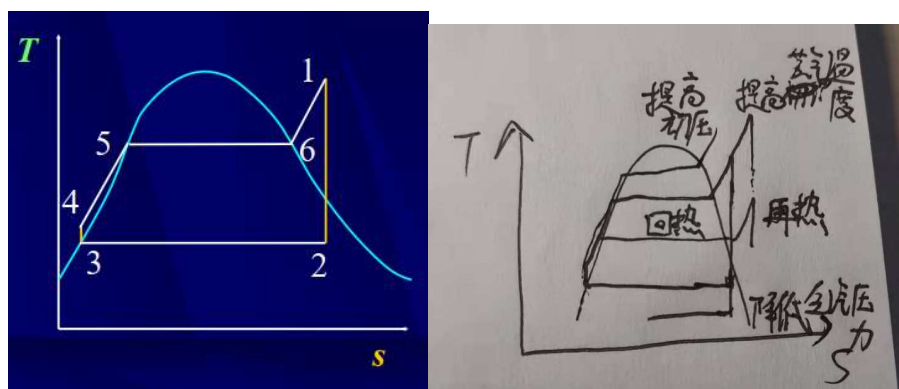
该工作温度区间的卡诺逆循环的制冷效率为 $233/(30+40)=3.3 < 4$ ，假设消耗 1 单位功，搬运了比可逆循环多 0.7 单位的热量，即相当于这 0.7 热量不消耗任何代价从低温热源转移到高温热源，违反了热二律。故不可能。（卡诺逆循环效率计算正确 2 分，必要的分析 3 分，答案正确 1 分）

4. （10 分）在 $p-v$ 图和 $T-s$ 图上画出理想气体等压线、等温线、等熵线和等容线。并在图上表示满足下列要求的多变过程：(a) 工质升压，升温，且放热；(b) 工质膨胀，降温，且放热。



八条辅助线画对 4 分，辅助线标记正确 2 分
两个多变过程表示正确 2*2 分

5. (9 分) 在水的 T-s 相图上画出饱和汽/液线与朗肯循环。并说明水在朗肯循环中依次经历了哪些热力过程(说明 P, V, T 的变化, 例如等压膨胀升温过程)。列举一种提高朗肯循环热效率的方法, 并在图上表示出来。



饱和汽液线正确 1 分，朗肯循环线正确 1 分，热力过程说明正确 4*1 分
1-2 降压降温膨胀 2-3 等压等温收缩
3-4 升压升温收缩 4-5-6-1 等压升温膨胀(可以拆成 3 段，依次升温等温升温)
提高热效率的方法(提出 2 分，画对 1 分):提高蒸汽初压、提高蒸汽初温、降低乏汽压力、再热、回热

6. (6 分) 试用热力学第二定律证明，在 p-v 图上，两条可逆绝热线不可能相交。(提示：反证法，可以在 p-v 图上做辅助线)
若交叉，做等容辅助线构成循环，则该循环经历一个吸热过程和两个做功过程(净功为正，对外做功)，即从单一热源取热而全部转化为功，违反热二律。故不交叉。(画图及做辅助线 3 分，必要的说明 3 分)

也可由热力学微分关系,等熵下求偏导求证(公式及计算 3 分,必要的说明 3 分)

二、计算题 (52 分)

7. (18 分) 有人声称已设计成功一种热工设备,不消耗外功,可将 65°C 的热水中的 20% 提高到 100°C ,而其余的 80% 的 65°C 的热水则降到环境温度 15°C 。

(a) 计算上述设备与环境的总换热量 Q (水的总质量为 m , 比热容为 c)。

(b) 从热力学第二定律分析此设备是否可能?

(c) 试问 65°C 的热水最多有百分之多少能变成 100°C 的水?

(提示: 质量为 m 、比热容为 c 的液态水,温度从 T 变化为 $T+dT$, 其熵变为

$$ds = mc \frac{dT}{T})$$

$$Q = 0.2mc \cdot 35 - 0.8mc \cdot 50 = -33mc, \text{ 即向环境放热 } 33mc$$

孤立系统熵增: 设单位质量的水, 有 x 变成 100°C

$$\Delta S_{\text{iso}} = \Delta S_{\text{mkg}} + \Delta S_{(1-m)\text{kg}} + \Delta S_{\text{环境}}$$

$$= cx \ln \frac{373.15}{338.15} + c(1-x) \ln \frac{288.15}{338.15} + \frac{-[cx(100-65) + c(1-x)(15-65)]}{288.15} = 0$$

$$x = 0.3703$$

(a) 能量守恒式子 3 分, 计算结果 3 分

(b) 水的熵变式子正确 2 分, 环境熵变式子正确 2 分, 计算正确 3 分, 是否可能 1 分

(c) 式子 2 分, 结果 2 分

8. (19 分) 某空气循环由下列三个可逆过程组成: 由状态 1 ($T_1=300\text{ K}, v_1=0.861\text{ m}^3/\text{kg}$) 经定温压缩升压到状态 2 ($p_2=400\text{ kPa}$), 接着定压膨胀到状态 3, 然后定容降压回到状态 1, 工质流量 $q=10\text{ kg/s}$ 。已知空气可视为理想气体, 气体常数 $R=287\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 比热比 $k=1.4$, 定容比热容 $c_v=717.5\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

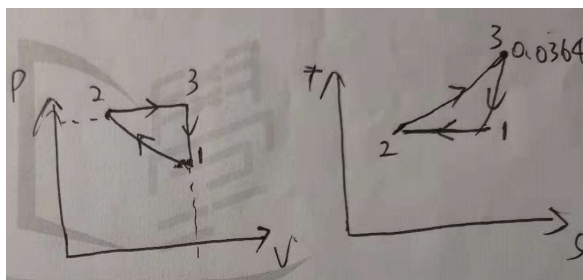
(提示: 对于理想气体, $du = c_v dT$, $k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v}$)

(a) 将状态 1、2、3 及该循环画在 $p-v$ 图和 $T-s$ 图上, 并表示出循环方向;

(b) 计算循环热效率;

(c) 计算循环输出的功率 (单位: kW)。

(1) $p-v$ 图 2 分, $T-s$ 图 3 分



(2) 状态 1: $P_1=100\text{kPa}$, 状态 2: $v_2=0.21525\text{ m}^3/\text{kg}$, 状态 3: $T_3=1200\text{K}$
(3 分)

单位质量工质:

1-2: 做功 -119.4kJ , 放热 119.4kJ ; (2 分)

2-3 做功 258.3kJ , 吸热 903.6kJ ; (2 分)

3-1 做功 0 , 放热 645.3kJ , (2 分)

$\eta=138.9/903.6=0.154$ (2 分)

(3) 功率 1389kW (式子 1 分, 结果 2 分)

9. (15 分) 汽轮机进口参数: $p_1=4.0\text{MPa}$, $t_1=450^\circ\text{C}$; 出口参数: $p_2=5\text{kPa}$; 大气温度: $T_0=298\text{K}$ 。

(a) 理想状态下, 汽轮机中的热力过程视为可逆, 求出口蒸汽干度 x_2 。

(b) 实际汽轮机中的热力过程为不可逆。定义:

$$\text{汽轮机相对热效率} = \frac{\text{实际进出口焓降}}{\text{理想进出口焓降}}$$

若实际出口蒸汽干度为 $x_2'=0.9$, 求汽轮机相对热效率和做工能力损失。

(提示: 孤立系做工能力损失 $\Pi = T_0\Delta S_{\text{iso}}$, T_0 为环境温度, ΔS_{iso} 为体系熵变)

可能用到的水的热力性质如下:

压力 (MPa)	温度 ($^\circ\text{C}$)	比焓 (kJ/kg)		比熵 ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)	
0.005	32.874	饱和水	饱和蒸汽	饱和水	饱和蒸汽
		137.75	2560.7	0.4762	8.3938
4.0	450	3331.2		6.9386	

(a) 进出口比熵相等 (2 分), 列出加权平均求出口干度的式子 (2 分), 干度 $x_2=0.816$ (2 分)

(b) 理想出口焓 2114.9 (1 分), 理想焓差 1216.3 (1 分); 实际出口焓 2318.4 (1 分), 实际焓差 1012.8 (1 分) 相对热效率: 0.833 (1 分); 实际熵增 0.6634 (2 分), 做工能力损失: 197.7kJ/kg (2 分)