



清华大学
Tsinghua University



《热力学与传热学基础》大作业

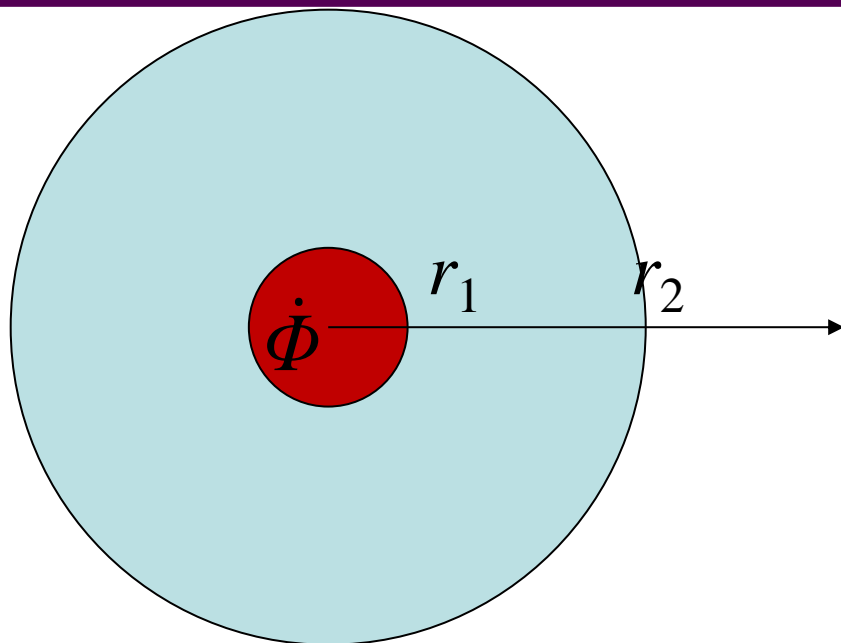
传热学部分

祝银海

清华大学能动系

2024年12月

1. 导热问题



无限大同心球 ($\lambda=10 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$)，红色区域 ($r_1=1\text{m}$) 有内热源 ($1000 + 10N \text{ W/m}^3$)，求球体在以下边界条件下的温度分布。(N为学号最后一位)

- ① 外侧 ($r_2=3\text{m}$) 为第一类边界 ($100 \text{ }^\circ\text{C}$)
- ② 外侧 ($r_2=3\text{m}$) 为第三类边界 ($t_f=20^\circ\text{C}$, $10 \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$)

2. 高速对流换热问题

在风洞中放置一块长为1.2 m，宽为1 m的平板，主流流动为 $Ma_\infty = 3$ ， $p_\infty = 1/20 \text{ atm}$ ， $T_\infty = -N^\circ\text{C}$ 。为了使平板温度维持在 30°C ，应当需要多大的冷却量？(N为学号后两位)

超声速主流滞止温度、静温关系式为 $\frac{T_0}{T_\infty} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma_\infty^2$ ，式中 T_0 为滞止温度、 T_∞ 为主流静温， Ma_∞ 为主流马赫数；
对于实际边界层流动，由于粘性不可逆作用，并非全部动能转换为热能，定义恢复系数 $r = \frac{T_{aw} - T_\infty}{T_0 - T_\infty}$ ，式中 T_{aw} 为绝热壁温（恢复温度）；

由于高速边界层中显著的温度梯度，流体选取参考温度 T^* 时的常物性进行计算，参考温度表达式为
 $T^* = T_\infty + 0.50(T_w - T_\infty) + 0.22(T_{aw} - T_\infty)$ $p^* = p_\infty$ 所需物性请用REFPROP进行查询。
流体为空气可视作理想气体， $\gamma=1.4$ ， $R_g=287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ ，标准状态下空气密度为 1.29 kg/m^3

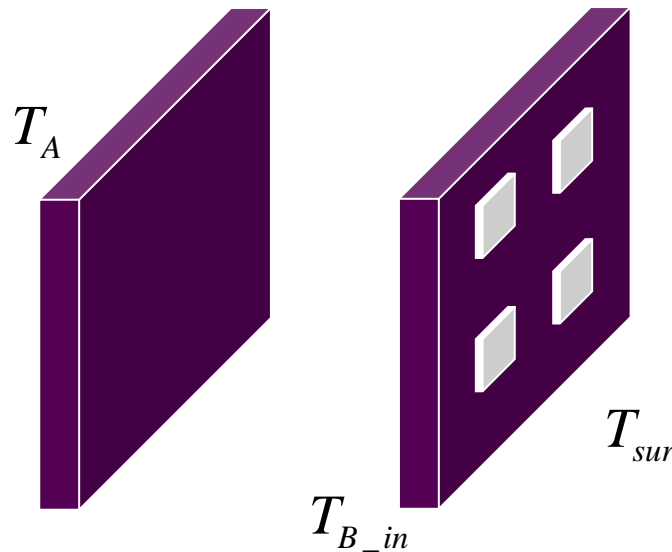
已知层流： $r = \text{Pr}^{*1/2}$ $\text{Nu}_x^* = 0.332 \text{Re}_x^{*1/2} \text{Pr}^{*1/3}$

湍流： $r = \text{Pr}^{*1/3}$ $\text{Nu}_x^* = 0.0296 \text{Re}_x^{*4/5} \text{Pr}^{*1/3}$

Re^* 、 Pr^* 、 Nu^* 按参考温度 T^* 时的物性计算

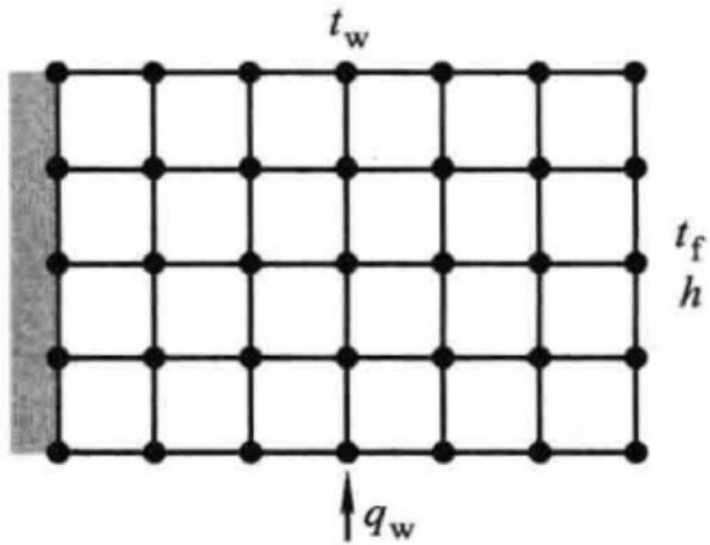
3. 辐射、对流、导热耦合问题

墙壁B面前水平放置一具有内热源的板A，板A的温度保持 30°C 不变，墙壁B长 10m ，高 4m ，导热热阻为 $2\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 。墙壁上有 $N+1$ （ N 为学号最后一位）扇窗，每个窗的尺寸为 1m 宽、 1m 高， 5mm 厚，窗的热导率为 $1.4\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 。墙壁外侧温度为 0°C ，对流换热系数为 $15\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ；试求稳态时通过墙壁损失多少 W 的热量？（板A与板B尺寸相同，均可视为黑体，两板之间距离为 $(N+1)\text{ m}$ （ N 为学号最后一位））



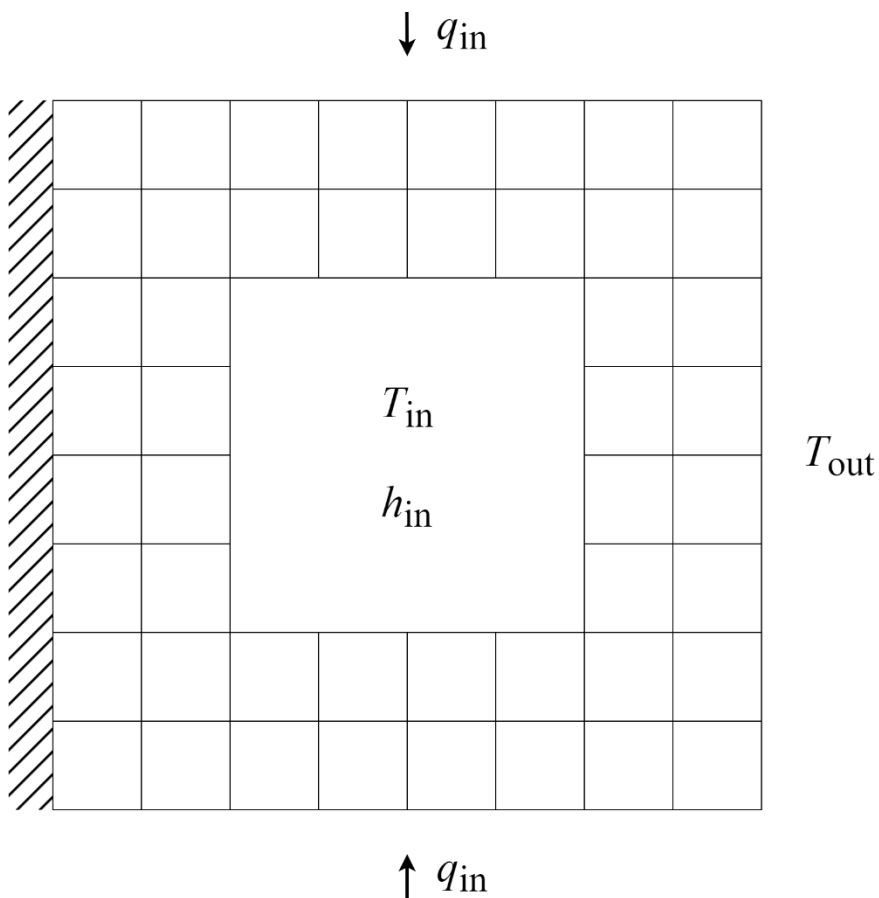
4. 二维稳态问题1

如图所示, 一个横截面尺寸为 $200\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 的二维导热物体, 边界条件分别为: 左边绝热; 右边与接触的流体对流传热, 表面传热系数 $h=50\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 流体温度 $t_f=20^\circ\text{C}$; 上边维持均匀的温度 $t_w=400^\circ\text{C}$; 下边被常热流加热, 热流密度 $q_w = (1500+10N)\text{ W}/\text{m}^2$ 。已知该物体的热导率为 $45\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。采用均匀网格, $\Delta x=\Delta y=50\text{ mm}$, 试用数值方法计算该物体的温度分布。 (N为学号最后一位)



5. 二维稳态问题2

参考：传热学大作业-数值计算参考材料
其中的稳态导热部分

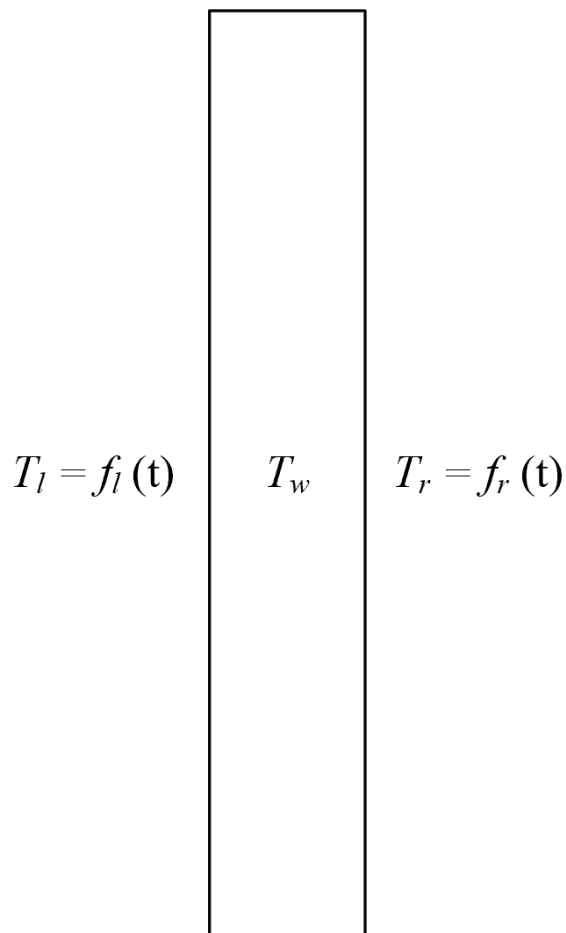


一个横截面尺寸为 800×800 mm 的无限长矩形管道，内部通道的横截面尺寸为 400×400 mm，管道的热导率为 $\lambda = 45$ W/(m·K)，边界条件分别为：内部与接触的流体对流换热，表面传热系数为 $h_{in} = 50$ W/(m·K)，流体温度为 $T_{in} = 20$ °C；左侧绝热；右侧维持均匀的温度 $T_{out} = 400$ °C；上下侧均被热流密度为 $q_{in} = 1500$ W/m² 的常热流加热。

试用数值方法求解该物体的温度分布。求解过程包括但不限于：网格划分示意图、编程中的变量标志符说明、程序框图、程序源代码（含必要的温度分布曲线）、运算结果，并绘制相应的温度分布曲线。

6. 一维瞬态问题

参考：传热学大作业-数值计算参考材料
其中的一维瞬态导热部分



一个厚度为10 mm 的无限长壁面，热扩散率为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ，壁面内部温度初始为 300°C ，左右两侧壁面的温度在 20s 时间内随时间发生变化，分别为 $T_l = f_l(t) = 300 - 5t \text{ }^\circ\text{C}$ 与 $T_r = f_r(t) = 300 + 5t \text{ }^\circ\text{C}$ 。

该物体的温度分布随时间变化直到接近稳态，试用数值方法进行求解。求解过程包括但不限于：网格划分示意图、编程中的变量标志符说明、程序框图、程序源代码（含必要的温度分布曲线）、运算结果，并绘制相应的温度随时间变化曲线。



清华大学
Tsinghua University



热力学大作业

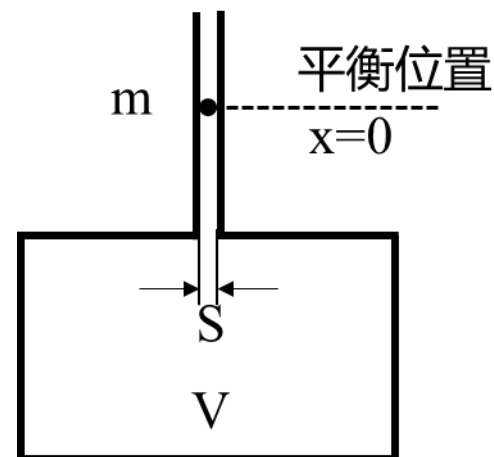
2024年10月

1. 理论计算

一定量的刚性双原子分子理想气体储于一容器中，容器延伸出一根细管，细管截面积为 S 。现有质量为 m 的光滑小球置于细管中，球和管气密接触，形成一个小活塞。当小球处于平衡位置时，容积为 V 。外部的大气压为 P_0 。若将小球稍微偏离平衡位置，则球在平衡位置附近进行振动(设容器隔热良好，振动时瓶内气体系统可视为准静态过程)。($P_0=101\text{ kPa}$, $g=9.8\text{ m/s}^2$, 学号最后三位为 abc , $m=(10+a)\text{ g}$, $S=(1+b/10)\text{ cm}^2$, $V=(1+c)\text{ L}$, 例如学号2023012691, $a=6$, $b=9$, $c=1$)

(1)求小球的振动周期？(请先列出表达式，再求解)

(2)如果将双原子分子理想气体换成单原子分子的理想气体，其他条件不变，问此时的小球的振动周期为多少？

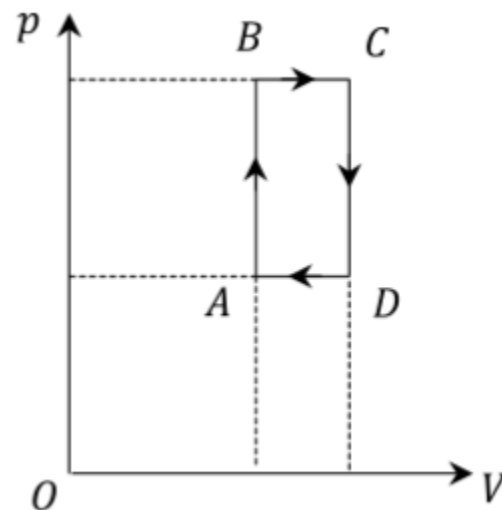


2. 理论计算

(学号最后一位 n) 如图所示循环, 工质为氢气, A点温度为 T_0 , B点温度为 $2T_0$, C点温度为 $(n/30+3) T_0$ 。

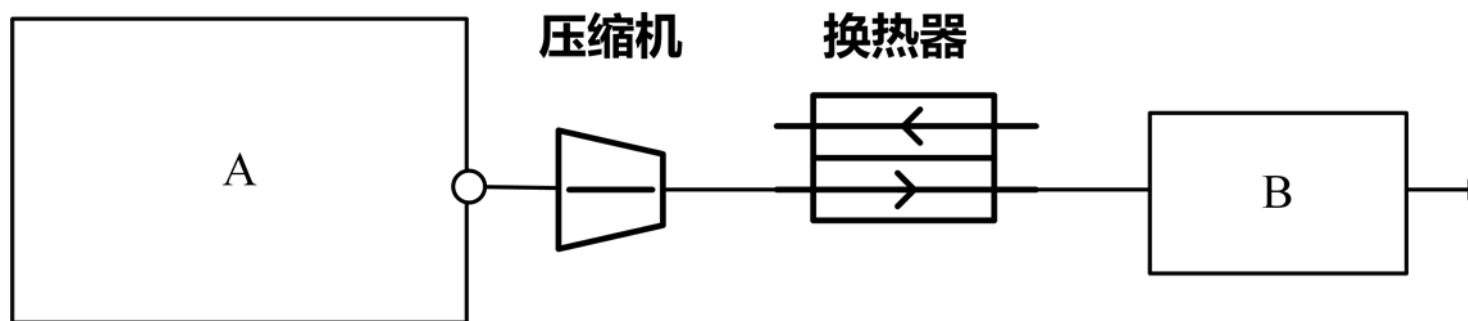
该气体在 $T = 2T_0$ 时吸收热量, 分子自由度升高, 除该时刻外都可将其视为理想气体

- (1) 画出循环过程中气体内能 U 随温度 T 的变化曲线
- (2) 计算循环效率 η 。
- (3) 请给出几条措施来提高循环效率?



注: $U = nC_{mV}T$, $C_{mV} = \begin{cases} \frac{5}{2}R, & T < 2T_0 \\ \frac{7}{2}R, & T \geq 2T_0 \end{cases}$ (C_{mV} 为定容比热容)

3. 理论计算



容器A：刚性，体积为 $V_A = \text{学号的后两位m}^3$ （例如2022011778，则体积为78m³），内有低压气体N₂，初始压力 $P_A = 2\text{MPa}$ ，初始温度 $T_A = 20^\circ\text{C}$ 。

容器B：刚性，体积为 $V_B = 30\text{m}^3$ ，内有高压气体N₂，初始压力 $P_B = 15\text{MPa}$ ，初始温度 $T_B = 70^\circ\text{C}$ ，以 $\dot{M} = 20\text{kg/s}$ 的恒定质量流量出流。

压缩机：以 $\dot{V} = 1\text{m}^3/\text{s}$ 的容积流量吸入容器A中气体，等熵地将压力提升至 $P_C = 15\text{MPa}$ 。

换热器：将压缩机出口的气体等压地换热为 $T_C = 70^\circ\text{C}$ 。

汽轮机与换热器与管道的体积可忽略。需要保证流出容器B的气体压力高于压力 $P_D = 6\text{MPa}$ 。

N₂可作为理想气体考虑，摩尔质量 $M = 28.02 \times 10^{-3}\text{kg/mol}$ ，摩尔气体常数 R 取 $8.314\text{J}/(\text{mol K})$ 。

问题1：经过多长时间流出容器B的气体压力达到 P_D ？

问题2：容器A与容器B内的压力与温度值如何变化？请绘制出对应曲线。

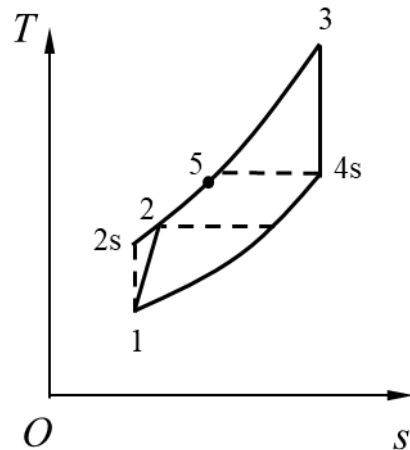
问题3：流出容器B的气体压力达到 P_D 时，汽轮机总计做了多少功？

问题4：流出容器B的气体压力达到 P_D 时，换热器总计交换了多少热量？

4. 数值模拟

已知一个以燃气轮机装置为主的发电机组，循环简图如图所示，循环的最低温度为 300K，最高为 1600K，循环的最低压力为 100kPa、最高压力为 1000kPa，向发电机输出的功率为25MW，同时循环中设一回热器（回热过程仅示意，其进出口条件与实际相关）。在实际情况中各部件均存在一定损失，已知回热器回热度 σ ，压气机绝热效率 $\eta_{C,s}$ ，燃气轮机的相对内效率为 η_T 。（学号最后三位为abc， $\sigma = (70+a)/100$ ， $\eta_{C,s} = (80+b)/100$ ， $\eta_T = (80+c)/100$ ，例如学号2023012691， $a=6$ ， $b=9$ ， $c=1$ ）

- (1) 试画出实际循环T-s图；
- (2) 试求燃气轮机输出功率、压气机消耗功率和循环热效率；
- (3) 假设循环中工质向1800K 的高温热源吸热，向 300K 的低温热源放热，求每一过程的不可逆损失（做功能力损失）；
- (4) 若和环境 T_0 下利用热量 Q （由热源 T 放出）所能获得的最大有用功，称作热量 Q 的做功能力，亦称为热流焓，以符号 $E_{x,Q}$ 表示， $E_{x,Q} = Q(1 - \frac{T_0}{T})$ 。试验证该循环中 $E_{x,Q} = W + \sum I$ ， W 为发电机输出功， I 为做功能力损失。



5. 数值模拟

(学号最后一位 n) 10kg/s 、 20 MPa 的过冷水定压加热到 $400\text{ }^\circ\text{C}$ ，然后在透平中以 0.7 的等熵效率膨胀到 a 点， a 点压力为 $(n/3+12)\text{ MPa}$ ，接着等压加热到 $400\text{ }^\circ\text{C}$ ，随后等熵膨胀至饱和气，然后在凝汽器中放热至饱和水，最后以 0.6 的等熵效率在压缩机中加压至 20 MPa ，形成一个正循环。将水蒸气在凝汽器中放出的热量令 3 MPa 的氨吸收，随后以 0.6 的等熵效率在压缩机中至 9 MPa ，然后在冷凝器中等压放热至饱和水，最后经过节流阀降至 3 MPa 的初始状态。

1) 若要使实现最充分的换热，热泵循环的流量应为多少？此时朗肯循环发电量、效率以及热泵循环制热量、耗电量、效率分别为多少？

2) 不可忽略水泵的耗功，请将两个循环真实的 T - s 图绘制在一张图上。

注：换热过程最小传热温差取为 150 K ；水蒸气和氨的物性使用Refprop软件调用真实物性。

