



基于教研组协同工作模式的OBE课程实践

——《工程热力学》慕课教学

王丽伟

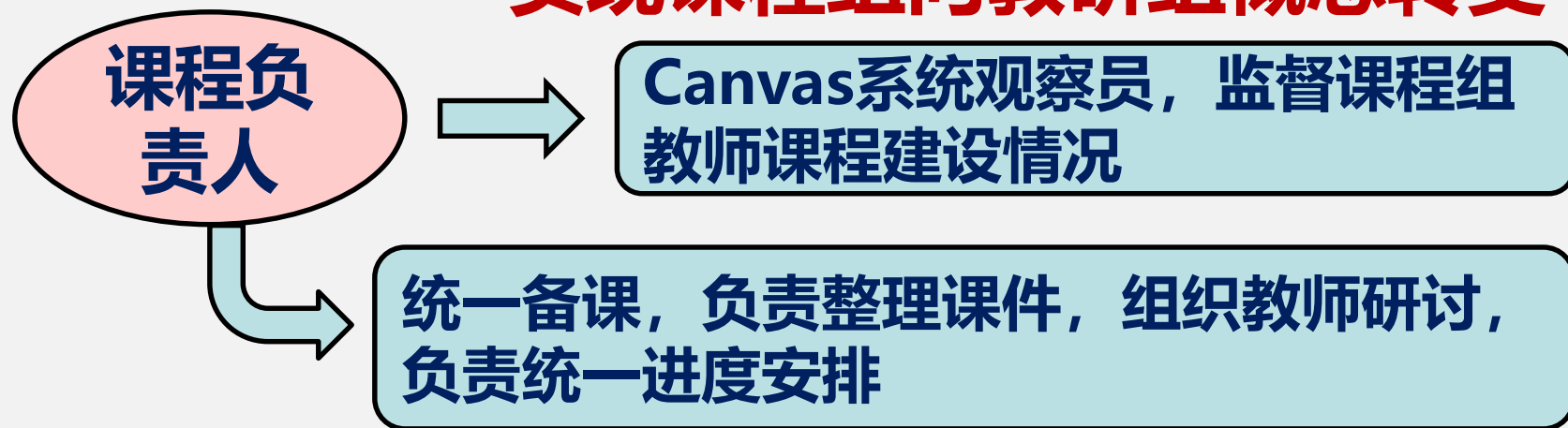
上海交通大学机械与动力工程学院



学校在线课程建设：教学模式选择

- **线上教学方式：**学院以**慕课教学以及研讨教学**为主。部分专业基础课与难度大的选修课为直播教学及录播。
- **原因：**慕课教学与研讨教学是**实现OBE的有效方式**，教学过程中**注重启发式教学与问题导向式教学**，可以关注学生是否认真听课。

实现课程组向教研组概念转变

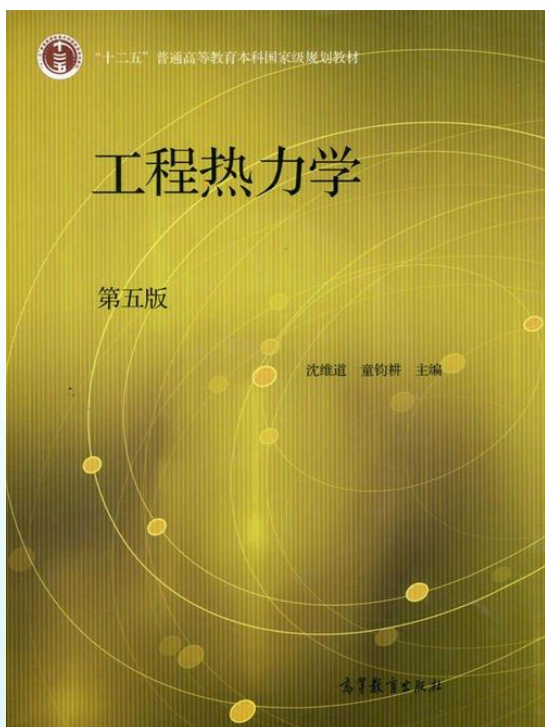


- 不能将“慕课教学”改成直播教学
- 需要以OBE理念引导相关教师授课



2 工程热力学课程组织模式

- 在工程热力学教学方面，上海交通大学有着悠久的历史。20世纪50年代，工程热力学前后有**沈维道与童钧耕教授**带队
- **1965年出版了我国第一本工程热力学教材**，这本教材经过半个多世纪的发展，已经成为**品牌教材**，**全国百余所高校都在使用这本教材**



每年选修课程人数超万人，2020春季学期选修人数现为7938人



工程热力学 国家精品

第5次开课

开课时间：2020年02月03日 ~ 2020年06月28日

学时安排：2-3小时每周

已有7938人参加

已参加，进入学习



2 工程热力学课程组织模式

教研组: **王丽伟, 叶强, 范卫东, 胡国新, 王文, 王玉璋, 吴慧英, 闫晓辉, 于娟**

统一安排教研组工作, 负责整理PPT初稿, 提前发给老师们, 供老师们使用或者作为参考。

共同组织活动, 负责审定与修改PPT, 中间负责组织出题测试与统一安排, 选择课后作业习题, 期末考试组织大家出题。

每人负责2-3次课程的讨论题出题, 每次至少2-3道讨论题。

- **王丽伟:** 将所有任课教师都设置为个人Canvas系统的观察员, 提供Canvas模版给教研组
- **叶强:** 为所有任课教师的观察员, 确认教师系统建设规范、到位。

课次	内容	责任教师
1	第一章1-4节	范卫东
2	第一章 5-7节, 第二章1-2节	
3	第二章 3-5节, 第三章 1节	胡国新
4	第三章2-4节	
5	第三章5-7节, 第四章1-2节	王文
6	第四章3-5节	
7	第五章1-5节 (第5节截止到熵、熵流、熵产的定义)	王玉璋
8	第五章5-7节 (第五章从熵方程开始讲)	
9	第五章第8节, 考试	吴慧英
10	第7章1-2节	
11	第7章3、5节, 及习题课	闫晓辉
12	第8章1-4节	
13	第9章1-3节	于娟
14	第9章4节, 第9章6节, 第10章第一节	
15	第11章1节、3节、6节中部分内容	



3 OBE的教学模式

- 1-1 热能和机械能相互转换过程
- 1-2 热力系统
- 1-3 工质的热力学状态及其基本状态参数
- 1-4 平衡状态、状态方程式、坐标图

预期达到的学习成果

- 通过对一个系统的工作过程进行分析，可以明确指出是否属于热力系统
- 能够准确划分热力系统边界，并分析系统跨越边界与外界转换的能量
- 区分闭口系、开口系、绝热系、孤立系
- 判定一个系统是否处于平衡态
- 针对一个热力系统，能够归纳出热力学状态参数以及关键的过程量——功与热

21

内容开始时：课程中告知学生预期达到的学习成果

预期达到的学习成果自查

- 通过对一个系统的工作过程进行分析，可以明确指出是否属于热力系统
- 能够准确划分热力系统边界，并分析系统跨越

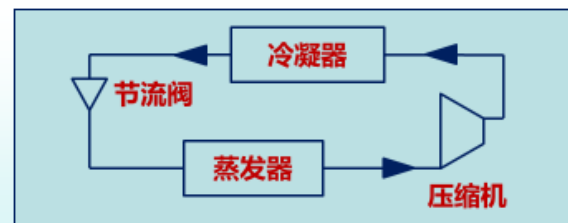
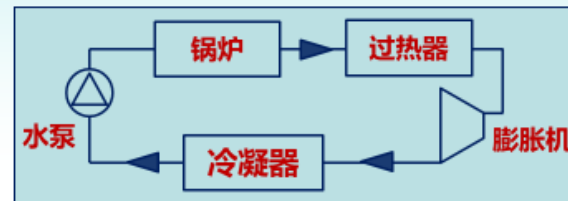
内容结束时：学生进行学习成果自查

- 判定一个系统是否处于平衡态
- 针对一个热力系统，能够归纳出热力学状态参数以及关键的过程量——功与热



上节课的学习成果回顾

1. 通过对一个系统的工作过程进行分析，可以明确指出是否属于热力系统



1

结束

73

第二次课程开始时：进行上一节课学习成果回顾



4 慕课的运用

05 第3周 课前预习作业

作业

01 第1周: 课前预习作业 (3月2日)
已关闭 | 截止时间 3月 2 19:00

02 第1周课后作业
已关闭 | 截止时间 3月 2 19:00

03 第2周 课前预习作业
已关闭 | 截止时间 3月 9 19:00

04 第2周课后作业
可供使用的截止日期 3月 16 19:00

05 第3周 课前预习作业
可供使用的截止日期 3月 23 19:00

06 第3周课后作业
可供使用的截止日期 3月 30 19:00

- (1) 知识点2.1: 热力学第一定律的发展、解析式及闭口系方程中“解析式和闭口系方程”部分
- (2) 知识点2.2: 稳定流动能量方程
- (3) 知识点3.1: 理想气体假设、状态方程及比热容中“理想气体假设、状态方程”部分

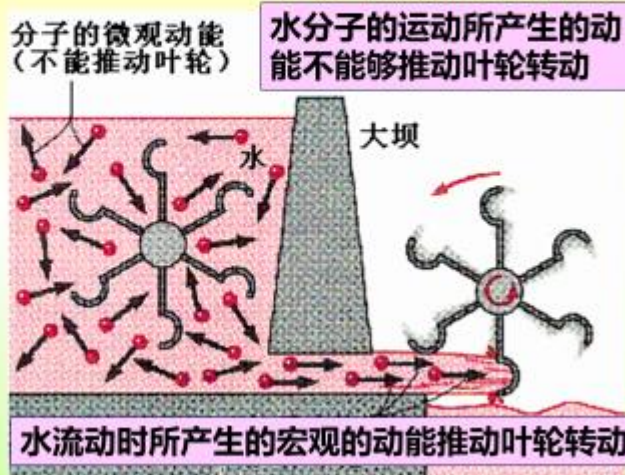
<https://www.icourse163.org/course/SJTU-1002535024>



2-2 热力学能和焓

慕课内容

宏观的力以及微观的分子运动所产生的不同能量的对比



慕课内容

1 系统的总能

k: kinetic (动能); p: potential (势能); ext: extrinsic (外在的); int: intrinsic (内在的)

$$E_{total} = (E_k^{ext} + E_p^{ext})_{macro} + (E_k^{int} + E_p^{int})_{micro}$$

$$E_p^{ext} = (E_{p, gra}^{ext} + E_{p, elec}^{ext} + E_{p, mag}^{ext})_{macro}$$

$$E_k^{ext} = (E_{k, trans}^{ext} + E_{k, rot}^{ext})_{macro}$$

在热力学中这些项可以被忽略

gra: gravitational (重力的); elec: electrostatic (静电的); mag: 静磁的; trans: translational (平移的); rot: rotational (转动的)



5 讨论及作业



上周作业点评

问题1: 粗心

$$= 0.4 \times [V_m - v_1] - \frac{0.5}{2} (V_m^2 - v_1^2) + p_2 \times (V_2 - V_m)$$

$$= [0.4 \times (0.6 - 0.4) - 0.25 \times (0.6^2 - 0.4^2) + 0.1 \times (0.8 - 0.6)] \times 10^6$$

$$= 1.5 \times 10^4 \text{ J} \quad \text{彭XX (过程正确, 答案计算错误)}$$

系统对外输出的作用力

$$F = (P_2 - P_1) \cdot A - F_f = (0.24 - 0.14 \times 10^6 - 0.1) \times 10^6 - 1200$$

$$= (0.14 - 0.14) \times 10^6 - 1200$$

其中 $V = A \cdot x$ (x 为气缸内气体高度)

$$F = (10000 - 0.14 \times 10^6 \times x) \cdot A$$

$$W_u = \int F dx = \int_0^{0.25} (10000 - 0.14 \times 10^6 \times x) \cdot 4 \times 10^{-3} dx = 10000 \times 0.25 - 0.14 \times 10^6 \times \frac{1}{2} \times 0.25^2 \times 4 \times 10^{-3}$$

$$= 2500 - 7000 = -4500 \text{ J}$$

外力做功 $W_f = F_f \cdot x = 1200 \times 0.25 = 300 \text{ J}$

$$W_{u, \text{net}} = W_u + W_f = -4500 + 300 = -4200 \text{ J}$$

上课开始: 归纳同学们上周作业中存在的问题



上周作业点评

物理量单位错误

$$P_{\text{缸}} = \frac{mg}{A} + P_b$$

$$m = \frac{A}{g} (P_{\text{缸}} - P_b) = \frac{4 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{9.8 \text{ N/kg}} (201 - 101) \text{ Pa} = 4.08 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

由题意: 设膨胀功 $W = W_1 + W_2$, 为前后两个过程功

在第一过程中: $p_1 = 0.4 - 0.5 \text{ (V/m}^3)$

$$W_1 = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{0.4}^{0.6} (0.4 - 0.5V) dV \text{ MPa} \cdot \text{m}^3 = 0.03 \text{ MJ}$$

在第二过程中: $p_2 = 0.1$

$$W_2 = p_2 (V_2 - V_1) = 0.1 \times (0.6 - 0.4) \text{ MPa} \cdot \text{m}^3 = 0.02 \text{ MJ}$$



上周作业点评

问题3: 中间过程错误, 但是结果正确

曾XX

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{0.1}^{0.25} (0.24 - 0.4V) dV$$

$$= [0.24(0.25 - 0.1) - 0.2(0.25^2 - 0.1^2)] \text{ MJ}$$

$$= 23.5 \text{ kJ} \quad \text{应为 } 0.2$$

何XX

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



上周作业点评

问题2: 不规范。步骤太简单, 从积分号直接得到结果, 或者不代入数值就得到结果。

(2) $V_1 = 0.6 \text{ m}^3$ $P = 0.4 - 0.5V = 0.4 - 0.5 \times 0.6 = 0.1 \text{ MPa}$

$$W = W_1 + W_2 = \int_{V_1}^{V_2} p dV + \int_{V_2}^{V_3} p dV = \int_{0.6}^{0.8} (0.4 - 0.5V) dV + \int_{0.8}^{1.0} p dV$$

$$= \int_{0.6}^{0.8} (0.4 - 0.5V) dV + \int_{0.8}^{1.0} 0.1 dV = 5 \times 10^4 \text{ J}$$

陈XX

(2) $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} (0.4 - 0.5V) \times 10^6 dV + \int_{V_2}^{V_3} p dV$

$$= \int_{0.4}^{0.6} (0.4 - 0.5V) dV \times 10^6 + \int_{0.6}^{0.8} 0.1 dV \times 10^6$$

$$= 6 \times 10^4 \text{ J}$$

陆XX

李XX

$$W = \int p dV = 2.35 \times 10^4 \text{ J}$$

(2) $S = 0.1 \text{ m}^2$ $\therefore \Delta L = 1.13 \text{ m}$

弹簧功: $W' = F \cdot \Delta L = 1800 \text{ J}$

大气功: $W'' = P_0 S \cdot \Delta L$

$$\therefore W_{u, \text{net}} = W - W' - W'' = 15000 \text{ J}$$

(2) $W_{u, \text{net}} = W - W' = 16500 \text{ J}$



上周作业点评

规范例子: 书写工整、步骤清晰、代入数值, 得数标写单位

1-9 气缸被分成A、B两室, 已知A室初始压强 $P_A = 0.1 \text{ MPa}$ 与B室初始压强 $P_B = 0.04 \text{ MPa}$, B室活塞读数 $P_0 = 0.1 \text{ MPa}$ 求活塞移动距离 (用MPa表示)

$$P_B = P_0 + P_1$$

$$P_A = P_0 + P_2$$

$$P_0 = P_A - P_2 = 0.1 \text{ MPa} - 0.04 \text{ MPa} = 0.06 \text{ MPa}$$

$$P_1 = P_B - P_0 = 0.04 \text{ MPa} - 0.06 \text{ MPa} = -0.02 \text{ MPa}$$

\therefore 活塞移动距离 0.25 m

JXX

姚XX

1-9 气缸被分成A、B两室, 已知A室初始压强 $P_A = 0.1 \text{ MPa}$, B室初始压强 $P_B = 0.04 \text{ MPa}$, B室活塞读数 $P_0 = 0.1 \text{ MPa}$, 求活塞移动距离。

解: A内压强

$$P_A = P_0 + P_1 = 0.1 \text{ MPa} + 0.04 \text{ MPa} = 0.14 \text{ MPa}$$

B内压强

$$P_B = P_0 - P_2 = 0.1 \text{ MPa} - 0.04 \text{ MPa} = 0.06 \text{ MPa}$$

活塞移动距离

$$P_0 = P_A - P_1 = 0.14 \text{ MPa} - 0.04 \text{ MPa} = 0.1 \text{ MPa}$$



5 讨论及作业

思考题和习题 1

- 温度是否可定义为“物体冷热程度标志”？

提示 能否严格定义“冷热”？

思考题和习题 2

- 一杯热水的热量是否有可能大于的热量？

课题中间：加大思考题与习题的难度与体量

思考题和习题 3

正常运行中的电厂蒸汽轮机各截面上几乎不变，试分析蒸汽处于平衡还是稳态？为什么？

课堂练习

上海的早晨温度是 9°C ，然后到中午升到 16°C 。到了傍晚温度又降低到 12°C ，夜里降低到 5°C 。请绘制空气比容 (m^3/mol) 随着温度的变化以及空气比容随着时间的变化关系图。

思考题和习题 4

家用燃气热水器是利用燃气燃烧加热水的家用设备，如图所示，通常（或假设）其表面散热可忽略。



思考题和习题 5

- 倘使容器中气体的压力没有改变，试问安装在该容器上的压力表的读数会改变吗？
- 若压力表读数发生变化一定是容器中气体热力状态发生了变化吗？
- 在表压力和真空度的计算式中，当地大气压是否必定是环境大气压？



5 讨论及作业

课后作业

1-19 据统计资料,某地各发电厂平均每生产 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电消耗标煤 372 g 。若标煤的热值是 $29\,308 \text{ kJ/kg}$,试求电厂的平均热效率 η_0 。

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。

1-21 某房间,冬季通过墙壁和窗子向外散热 $70\,000 \text{ kJ/h}$,房内有 2 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,求热泵的最小功率。



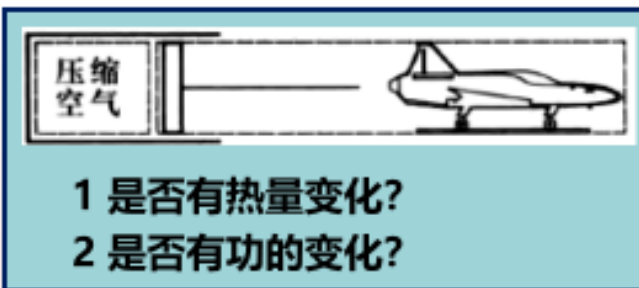
71

注: 本周作业以下内容需要用到公式(下节学习): $Q = \Delta U + W$

2-4 气体在某一过程中吸收了 50 J 的热量,同时热力学能增加了 84 J ,问此过程是膨胀过程还是压缩过程? 对外作功是多少(J)?



2-7 一飞机的弹射装置如图 2-15 所示,气缸内装有压缩空气,初始体积为 0.28 m^3 ,终了体积为 0.99 m^3 ,飞机的发射速度为 61 m/s ,活塞、连杆和飞机的总质量为 $2\,722 \text{ kg}$ 。设发射过程进行很快,压缩空气和外界间无传热现象,若不计摩擦损耗,求发射过程中压缩空气热力学能的变化量。



如何求取?

- 1 体积膨胀功
- 2 动能

72

课程即将结束时: 整理课后习题的解题思路

问题4：以系统与外界交换的能量与质量划分，热力系统可以分为几类？

答案：

有

无

是否传质

开口系

闭口系

是否传热

非绝热系

绝热系

是否传功

非绝功系

绝功系

是否传热、功、质

非孤立系

孤立系

1-2 热力系统

预期学习成果

- 区分闭口系、开口系、绝热系、孤立系



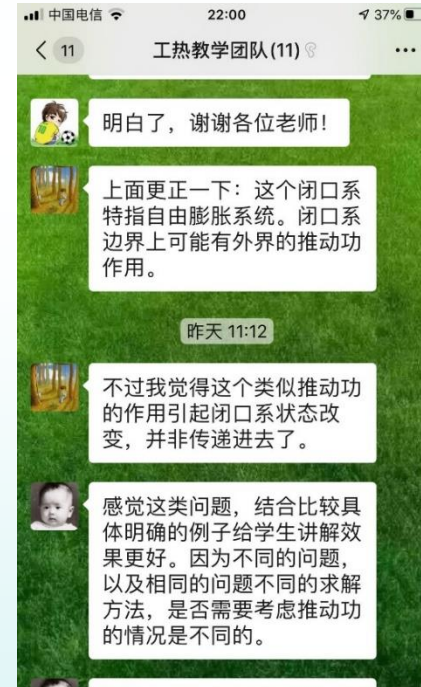
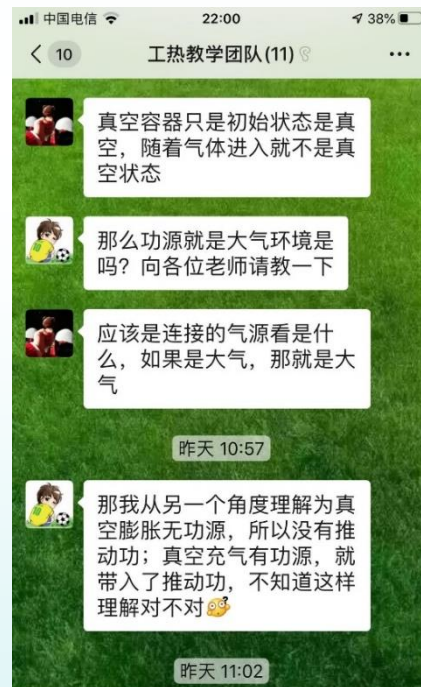
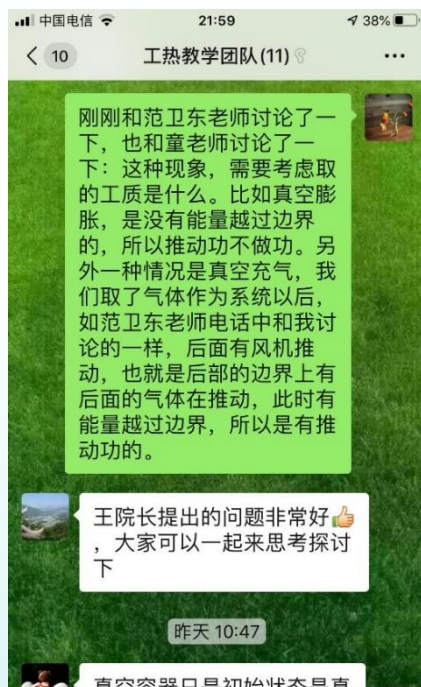
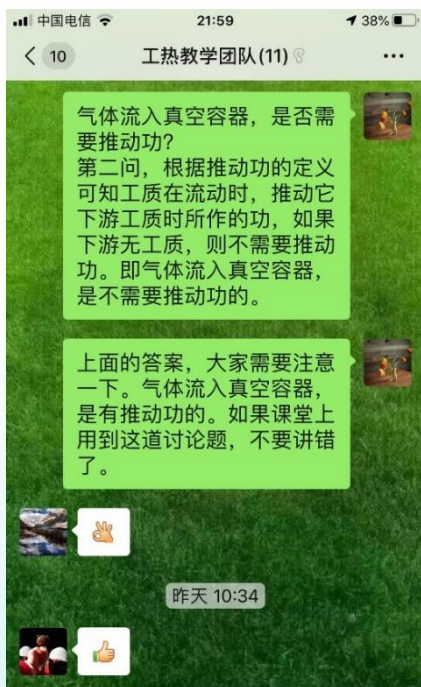
01:26.11



气体流入真空容器，是否需要推动功？

- **范卫东**：根据推动功的定义可知工质在流动时，推动它下游工质时所作的功，如果下游无工质，则不需要推动功。即气体流入真空容器，是不需要推动功的。
- **王玉璋**：真空容器只是初始状态是真空，随着气体进入就不是真空状态
- **闫晓辉**：那我从另一个角度理解为真空膨胀无功源，所以没有推动功；真空充气有功源，就带入了推动功，不知道这样理解对不对
- **于娟**：功还是需要强调越过边界。推动功也一样

➤ **叶强**：感觉这类问题，结合比较具体明确的例子给学生讲解效果更好。因为不同的问题，以及相同的问题不同的求解方法，是否需要考虑推动功的情况是不同的。

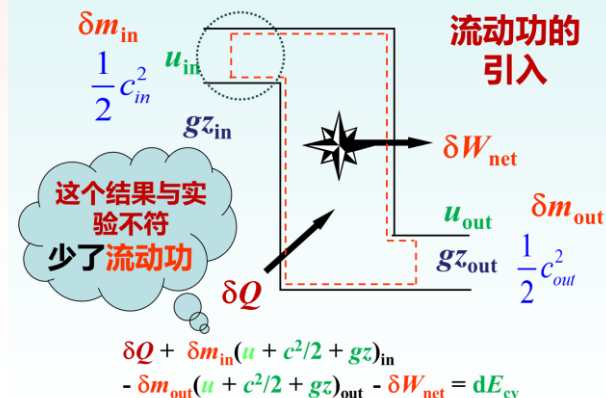


问题 1:热力学能就是热量吗?

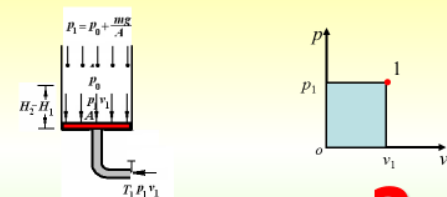
问题 2:推动功与过程有无关系?

问题 3:气体流入真空容器, 是否需要推动功?

知识点: 流动功



1 流动功以及焓的定义



气体流动过程中, 做功, 活塞移动 **功源?** 外部气体
工质在流动过程中, 所产生的功叫做流动功。

$$pA\Delta H = pV \quad 1 \text{ kg 工质: } pv$$

流动功: pV
推动功: $\Delta(pV)$

有关学生对慕课教学的评价

好：质量高	我非常喜欢这种教学模式	综合来看在线教学质量较高，有很强的参与感，老师布置作业，课前会预习，课中会检查	上课内容丰富，老师的讲解详细，课堂中同学们积极发言，课间与同学聊天区探讨问题，学习氛围良好	总体而言，各任课老师都比较好地利用线上教学平台，教学质量和效果都不错。
慕课预习+在线讲解效果不错				

中：需要改进	很多课程慕课跟上课内容重复了	建议协调好慕课预习和讲课之间的关系，目前容易出现预习后上课又上了一遍的情况，不利于提高学习效率	采用慕课+线上教学的老师可以讲得快一点，因为课前已经看过mooc，重复的部分不必多讲。
部分课程，课前要求看的慕课与课上的内容太过重合			

差：任务重	需要大量课前预习（即已经把课堂内容录制为视频）的课程，请缩减在线上课时间。不要让学生重复学习，浪费时间。			
--------------	--	--	--	--



总结

- **慕课教学是实现OBE教学理念非常好的一种方式**
- **高质量的慕课教学所需要的工作量很大，需要教研组协同工作**
- **慕课教学需要加强知识点的练习，同时不能讲重复的内容**

谢 谢!