



2008 年同等学力人员申请硕士学位
学科综合水平全国统一考试

动力工程及工程热物理试卷

第一部分 基础理论（共三组，任选两组）

第二部分 动力工程基本知识（共四题，任选三题）

第三部分 动力机械专业知识（共六组，任选一组）

考生须知

1. 本试卷满分为 100 分，其中第一部分基础理论 60 分，共三组试题，每组 30 分，任选两组作答；第二部分动力工程基础知识 15 分，共四题，每题 5 分，任选三题作答；第三部分动力机械专业知识共六组试题，每组 25 分，任选一组作答。多选者只按前选顺序计分。
2. 请考生务必将本人准考证号最后两位数字填写在本页右上角方框内。
3. 考生一律用蓝色或黑色墨水笔在答题纸指定位置上按规定要求作答，未做在指定位置上的答案一律无效。
4. 监考员收卷时，考生须配合监考员验收，并请监考员在准考证上签字（作为考生交卷的凭据），否则，若发生答卷遗失，责任由考生自负。

第一部分 基础理论

请从下列三组题目中选做两组（每组 30 分，共 60 分）

第一组 高等工程热力学（共 30 分）

1. 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 不可逆循环
- (2) 孤立系统熵增原理

2. 判断下列每个命题是否正确（正确者写“√”，错误者写“×”。每小题 2 分，共 10 分）

- (1) 闭口系统经历一放热过程后，系统的熵一定减少。
- (2) 纯物质处于固、液、蒸气共存的三相态时，其温度、压力、比容（比体积）均为定值。
- (3) 电厂蒸汽动力循环中，水在锅炉中的定压汽化过程为整个循环的不可逆损失最大的过程。
- (4) 采用高压有利于提高合成氨（ $\text{N}_2+3\text{H}_2\rightarrow 2\text{NH}_3$ ）生产过程的氨产量。
- (5) 流体绝热节流后，其温度总会降低。

3. 计算题（10 分）

一体积为 2 m^3 的封闭刚性容器内充满 0.5 MPa 、 250°C 的过热水蒸气，由于保温不良导致系统散热，发现容器内水蒸气温度降至 120°C 。试计算容器散热量 Q 。

附：水及水蒸气性质

$p=0.5\text{ MPa}$ 、 $t=250^\circ\text{C}$ 的过热蒸汽状态参数为：

$$v=0.47432\text{ m}^3/\text{kg}; \quad h=2960.0\text{ kJ/kg}; \quad s=7.2697\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$t=120^\circ\text{C}$ 、 $p_s=0.1984\text{ MPa}$ 的饱和湿蒸汽状态参数为：

$$v'=0.00106\text{ m}^3/\text{kg}; \quad v''=0.892\text{ m}^3/\text{kg}; \quad h'=503.76\text{ kJ/kg};$$

$$h''=2706.18\text{ kJ/kg}; \quad s'=1.5277\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}); \quad s''=7.1297\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

第二组 高等流体力学（共 30 分）

1. 单选题（每小题 5 分，共 10 分）

(1) 已知平面流动的势函数 $\phi = x^2 - y^2 + x$ ，则流速 u 、 v 为：

- A) $u = 2x - 1$, $v = 2y - 1$ B) $u = 2x + 1$, $v = -2y$
C) $u = 2x + 1$, $v = 1 - 2y$ D) $u = 2x$, $v = 2y$

(2) 空气的气体常数 $R_g=287\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，温度 $t=17^\circ\text{C}$ ，则空气中音速 a 为：

- A) 332.71 m/s B) 371.70 m/s
C) 341.35 m/s D) 288.50 m/s

2. 判断下列命题是否正确，并说明理由（5分）

层流边界层内的流动是无旋势流。

3. 计算题（15分）

来流速度为 3 m/s、动力粘度 $\mu = 2.73 \times 10^{-5}$ Pa·s 的气体流经无限大平板。已知层流边界层内的速度为抛物线分布，某处边界层厚度为 17 cm。

求：（1）该处距平板壁面 4 cm 处平行于平板的速度；（2）该处平板壁面剪切应力。

第三组 高等传热学（共 30 分）

1. 问答题（每小题 5 分，共 15 分）

（1）什么是时间常数？用热电偶测量波动着的气流温度时如何提高测量精度？

（2）为什么用普朗特数 Pr 可以定性判断流体外掠平板时的速度边界层和温度边界层的相对厚度？

（3）在太阳能利用中，太阳灶的受热面要做成黑色表面，而在室内供热用的辐射采暖板却不必做成黑色的，为什么？

2. 计算题（15分）

将初始温度为 20°C 的热电偶突然放入温度为 250°C 的气流中，10 秒钟后热电偶的温度为 85°C。试问：热电偶的温度上升到 180°C 需要多长时间？

第二部分 动力工程基本知识

请从下列 4 题中选作 3 题（每题 5 分，共 15 分）

1. 环境保护

请指出下列哪一个是错误的命题

（1）水体中溶解氧可使污染物中一些有机化合物分解掉。

（2）中国北方水资源紧缺，更加重了水体污染物的危害。

（3）中国现在对火力发电大大加强节能减排的力度，其主要对策是上大压小（淘汰中小型火电机组而鼓励大型机组）。

（4）中国尚属于发展中国家，固体废弃物（城市垃圾）的污染不严重。

2. 燃烧

下面列出了煤粉气流燃烧过程大体上要经历的几个阶段。请说明这些阶段出现的先后顺序（答题时仅需按先后顺序排列其序号）

（1）煤焦（或固定碳）的燃烧化学反应；

（2）挥发份析出与其着火燃烧；

（3）煤粉气流受各种方式的加热；

（4）氧气扩散到煤焦表面。

3. 可靠性

何谓抽样寿命截尾试验中的有替换试验和无替换试验？

4. 动力机械测试技术

测量装置的静态特性是什么？一台测量装置的静态特性常用哪些指标来衡量？

第三部分 动力机械专业知识

请在下面六组题目中选作一组（每组 25 分）

第一组 工程热物理二级学科

- （7 分）我们经常看到在热力管道外包裹保温材料以减小散热损失，试问对于任意直径的圆形管道，保温材料是否包裹得越厚越好？
- （8 分）用一根内径为 d 的圆管对其内流动的水进行加热，设加热管内壁具有均匀的热流密度 q ，水的比热容为 c_p ，质量流量为 m ，进口温度为 t_1 ，问需要多长的管子才能将水加热到 t_2 ？
- （10 分）有初温分别为 T_1 和 T_2 ($T_1 > T_2$) 的两种不可压流体各 1 kg，其比热容分别为 c_1 、 c_2 。一可逆热机工作于两种流体之间，直至两种流体的温度相等，均为 T_m 。试求：
 - 终温 T_m ；
 - 可逆热机作出的功。

第二组 热能工程二级学科

- 请指出下列哪一个是错误的命题（5 分）
 - 以煤为原料联产电-蒸汽-煤气的技术适合中国需要。
 - 锅炉的有效能效率比汽轮机的高。
 - 在水电火电并网的系统中，水电较宜于承担尖峰负荷。
 - 传热温差越大则传热越强，但使有效能降低得越厉害。
- 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）
 - 调峰
 - 禁煤区
- 填空题（每小题 5 分，共 10 分）
 - BMS 或 FSSS 是大型火电机组必不可少的保护装置。它对_____进行安全监视和保护，例如，灭火时就进行_____和_____等操作。
 - 锅炉的送风量和引风量平衡时_____稳定不变。燃料量与送、引风量也必须匹配，其目的是_____。

第三组 动力机械及工程二级学科

1. 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 汽油机的点火提前特性
- (2) 反动度

2. 是非题（正确者写“√”，错误者写“×”。每小题 2.5 分，共 5 分）

- (1) 对于压燃式内燃机，喷油始点迟于供油始点，喷油持续时间小于供油持续时间，喷油速率的峰值大于供油速率的峰值。
- (2) 叶栅中的能量损失可分为叶型损失和端部损失，其中前者包括叶型表面附面层中的摩擦损失、附面层分离时的涡流损失与尾迹区中的涡流损失。

3. 填空题（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 内燃机的涡轮增压系统可分为_____和_____两种基本系统。在低增压时，采用_____是较为有利的；而对于高增压，则是_____。
- (2) 对于多级透平，当各级有损失时，全机总的理想焓降_____于各级没有损失时全机配置的理想焓降，并且前一级的损失在后几级中可以部分地利用，这种现象常用_____来描述，它表示_____。

第四组 流体机械及工程二级学科

1. 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 流动效率
- (2) 通用性能曲线

2. 判断下列每个命题是否正确（正确者写“√”，错误者写“×”。每小题 2.5 分，共 5 分）

- (1) 对于离心压气机来说，后面级叶轮叶道容易过窄，损失大增；而前面级叶轮叶道容易偏宽，需采用三元扭曲叶轮。
- (2) 等环量扭曲规律的特点是沿叶高加功和轴向速度不变，级压比较大、效率较低。

3. 填空题（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 流体机械级中的能量损失基本上包括三部分：流动损失、_____和_____，其中，流动损失又可分为_____、_____、_____和_____四部分。
- (2) 当流体机械并联运行时，其总性能曲线为在_____条件下，并联流体机械对应工作点的流量之和。在实际运行中，每个并联流体机械的出口压力应该_____管网的阻力。同时要注意管网阻力_____。

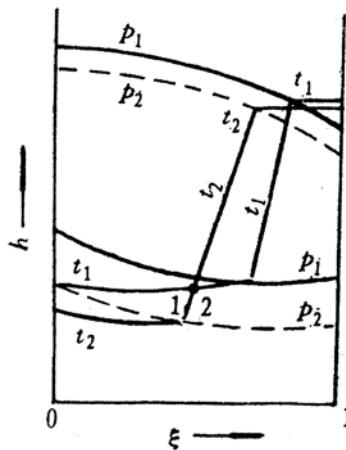
第五组 制冷及低温工程二级学科

1. 填空题（每空 1 分，共 15 分）

- (1) 热电制冷是基于_____效应的一种制冷方法，即当电流通过回路时，由 P 型和 N 型_____构成的热电制冷元件的一个结点变冷，产生_____效应；另一个结点变热，放出_____。热电制冷是通过消耗_____实现制冷的。
- (2) 两级压缩制冷循环按_____方式可分为中间完全冷却循环和中间不完全冷却循环。所谓中间完全冷却循环是指将_____级的排气冷却到_____压力下的_____蒸气状态；如果低压级排气虽经冷却，但仍保持_____蒸气状态则称为中间不完全冷却。
- (3) 采用膨胀机后，空气液化循环的_____和_____增加，循环性能指标明显_____，但进入膨胀机的空气的_____及_____对循环影响很大，要选择好最佳参数。

2. 问答题（共 10 分）

两组份溶液节流时与外界的热交换时间很短，通常作绝热处理。请结合所附的 $h-\xi$ 示意图，试说明两组份溶液节流前（点 1）与节流后（点 2）的焓、浓度、压力、温度、状态及状态点位置的变化。



第六组 化工过程机械二级学科

1. 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 叶片式流体机械的汽蚀现象
- (2) 厚壁容器

2. 判断下列命题是否正确（正确写“√”，错误写“×”。5 分）

对于浮头式换热器，当壳程与管程两种介质的温差较大时，管束与壳体之间不会产生热应力。

3. 问答题（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 离心机的工作原理
- (2) 开孔补强设计中，有哪些补强准则，各自的内容是什么？

2008 年同等学力人员申请硕士学位

学科综合水平全国统一考试

动力工程及工程热物理试卷答案

第一部分 基础理论

请从下列三组题目中选做两组（每组 30 分，共 60 分）

第一组 高等工程热力学（共 30 分）

1. 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 不可逆循环：热力学循环中至少包括一个不可逆过程的循环称为不可逆循环。
(2) 孤立系统熵增原理：孤立系统进行任何过程，系统的熵只会增加或保持不变（对可逆过程），而不会减少。

2. 判断下列说法是否正确（正确者写“√”，错误者写“×”。每小题 2 分，共 10 分）

- (1) × (2) × (3) √ (4) √ (5) ×

3. 计算题（10 分）

解： $p=0.5\text{ MPa}$ 、 $t=250^\circ\text{C}$ 的过热蒸汽， $v_1=0.47432\text{ m}^3/\text{kg}$ ， $h_1=2960.0\text{ kJ/kg}$ ；

则水蒸气质量

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{2}{0.47432} = 4.2166\text{ (kg)} \quad (2\text{ 分})$$

由于 $v'_2 < v_1 < v''_2$ ，因此终态容器内为饱和湿蒸汽。

$$v_1 = xv''_2 + (1-x)v'_2$$

$$0.47432 = 0.892x + 0.00106(1-x) \quad (3\text{ 分})$$

解得： $x = 0.5312$

由热力学第一定律闭口系能量方程：

$$Q = \Delta U = m(xu''_2 + (1-x)u'_2) - mu_1 \\ = m[x(h''_2 - p_2v''_2) + (1-x)(h'_2 - p_2v'_2)] - m(h_1 - p_1v_1)$$

$$\text{代入数据计算可得： } Q = -4820.74\text{ (kJ)} \quad (5\text{ 分})$$

第二组 高等流体力学（共 30 分）

1. 单选题（每小题 5 分，共 10 分）

(1) B) (2) C)

2. 判断下列命题是否正确，并说明理由（5 分）

否。层流边界层内速度梯度很大，涡量非零，为有旋流动，非势流。

3. 计算题（15 分）

解：速度抛物线方程为 $u = a_0 + a_1 y + a_2 y^2$ (1)

$$y=0, u=0, a_0=0$$

$$y=\delta, u=u_\infty$$

$$\text{则 } a_1 = \frac{2u_\infty}{\delta}, a_2 = -\frac{u_\infty}{\delta^2}$$

$$u = \frac{2u_\infty}{\delta} y - \frac{u_\infty}{\delta^2} y^2 \quad (2)$$

将 $\delta = 17, u_\infty = 3$ 代入

(2) 式得

$$u = 35.294y - 103.81y^2 \quad (3) \quad (10 \text{ 分})$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = 2\mu \frac{u_\infty}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right) \quad (4)$$

$$\tau_0 = 2\mu \frac{u_\infty}{\delta} \quad (5) \quad (5 \text{ 分})$$

第三组 高等传热学（共 30 分）

1. 问答题（每小题 5 分，共 15 分）

(1) 时间常数: $\tau_r = \frac{\rho c V}{hA}$

用热电偶测量波动着的气流温度时应尽可能减小时间常数。在热电偶材料一定时，可以增大空气与热电偶的表面传热系数，减小热电偶节点的体积，增大节点的表面积。

评分说明：答对时间常数得 2 分，答对提高测量精度的办法得 3 分。

(2) 普朗特数 $Pr = \frac{\nu}{a}$ ， ν 表征了流体粘性扩散能力，这一能力越大，粘性的影响越大，

速度边界层越厚； a 则表征了热扩散的能力，因此，两者相比，基本上可以反映边界层的相对厚度。

评分说明：答对普朗特数的表达式得 2 分，答对 ν 所代表的意义得 1 分，答对 a 所代表的意义得 1 分，答对两者相比可以反映边界层的相对厚度再得 1 分。答的不理想可酌情扣分。

(3) (A) 太阳辐射能量中 99%集中在 $0.2 \leq \lambda \leq 3\mu\text{m}$ 的波长范围内, 其中可见光部分 ($0.38 \leq \lambda \leq 0.76\mu\text{m}$) 占 43%, 因此太阳灶的受热面要做成黑色的。

(B) 辐射采暖板的表面温度较低, 它的辐射能量主要处于红外波长范围, 它的发射率对白色和黑色基本相同。

评分说明: 回答正确 (A) 2分; (B) 3分

2. 计算题 (15分)

解: 采用集总参数法:

$$mc_p \frac{dt}{d\tau} = hA(t_f - t) \quad (5分)$$

m - 热电偶质量, c_p - 比热, A - 表面积, h - 表面对流换热系数

$$\text{令} \quad hA/mc_p = \beta$$

$$\text{得到:} \quad \frac{dt}{d\tau} = \beta(t_f - t)$$

$$\text{解出:} \quad \frac{t - t_f}{t_0 - t_f} = e^{-\beta\tau} \quad (2分)$$

$$\text{代入数据:} \quad \begin{cases} \frac{85 - 250}{20 - 250} = e^{-\beta \times 10} \\ \frac{180 - 250}{20 - 250} = e^{-\beta\tau} \end{cases} \quad (5分)$$

$$\text{得到:} \quad \tau = 35.8s \quad (3分)$$

第二部分 动力工程基本知识

请从下列 4 题中选做 3 题 (每小题 5 分, 共 15 分)

1. 环境保护

(4)

2. 燃烧

(3) - (2) - (1) - (4)

3. 可靠性

截尾试验可分为有替换和无替换两种。有替换试验是在试验中每发生一个样品失效, 即用同一批中的新样品替换, 使总的试验样品数保持不变 (2.5 分)。反之, 若在试验过程中失效样品撤下后, 不再补充新的, 只对残存样品进行试验, 则称为无替换寿命试验。(2.5 分)

4. 动力机械测试技术

测量装置的静态特性是指被测量量不随时间变化或随时间变化很缓慢时测量仪器的输出特性。(2分)

常用以下指标衡量:

- (1) 灵敏度 指单位输入量所引起的输出量的大小。(1分)
- (2) 线形度 指示标定曲线偏离直线的程度。(1分)
- (3) 变差(滞后) 使用同一仪表对被测参数进行正反行程测量时,在相同的被测参数值时仪表指示值的差异。(0.5分)
- (4) 零漂 表示传感器在零输入状态时输出值的漂移。(0.5分)

第三部分 动力机械基础知识

请在下面六组题目中选作一组(每组25分)

第一组 工程热物理二级学科

1. 不一定,因为对于圆形管道而言,保温材料包裹得越厚,其导热热阻越大,但是也正是由于保温材料厚度的增大导致保温材料的外径增大,散热面积增大,与环境的对流换热热阻减小,两者的综合效果未必就是保温材料越厚散热越小。

评分说明:答出“不一定”得3分,答出原因再得4分。其他情况酌情给分。

2. 质量流量 m 公斤的水从 t_1 加热到 t_2 需的功率为

$$\Phi = mc_p(t_2 - t_1) \quad (1)$$

要提供这样大的功率,需要的管长为

$$\Phi = \pi d L q \quad (2)$$

联合(1)和(2)式有

$$L = \frac{mc_p(t_2 - t_1)}{\pi d q}$$

评分说明:答对(1)得2分,答对(2)得3分,答对(3)得3分,其他情况酌情给分。

3. 解：(1) 求终温，对微元过程，高温流体放出的热量为 $\delta Q_1 = -c_1 dT_1$ ，低温热源吸收的热

量为 $\delta Q_2 = c_2 dT_2$ ，由可逆循环的性质知：

$$\frac{\delta Q_1}{T_1} = \frac{\delta Q_2}{T_2}$$

将以上关系代入有：

$$-\frac{c_1 dT_1}{T_1} = \frac{c_2 dT_2}{T_2}$$

$$\int_{T_1}^{T_m} -\frac{c_1 dT_1}{T_1} = \int_{T_2}^{T_m} \frac{c_2 dT_2}{T_2}$$

积分并整理得： $T_m = T_1^{\frac{c_1}{c_1+c_2}} T_2^{\frac{c_2}{c_1+c_2}}$ (7分)

(2) 求功

由第一定律得：

$$W = Q_1 - Q_2 = c_1(T_1 - T_m) - c_2(T_m - T_2)$$

将 T_m 的求解结果代入，整理得：

$$W = c_1 T_1 + c_2 T_2 - (c_1 + c_2) T_1^{\frac{c_1}{c_1+c_2}} T_2^{\frac{c_2}{c_1+c_2}}$$
 (3分)

第二组 热能工程二级学科

1. 请指出下列哪一个是错误的命题 (5分)

(2)

2. 名词解释 (每小题 5 分，共 10 分)

(1) 调峰—承担尖峰负荷

(2) 禁煤区—中国对城市环境管理所规定的不准燃煤的地区。

3. 填充题 (每小题 5 分，共 10 分)

(1) 炉膛和/或燃烧器

(答出一个就可以。如答“火焰”扣1分)

停供燃料、吹扫以及重新点火

(只要求两个。“吹扫”最重要。)

(2) 炉膛压力 (也可回答负压或真空)

空气与燃料量之比接近最佳值

第三组 动力机械及工程二级学科 (共 25 分)

1. 名词解释 (每小题 5 分, 共 10 分)

- (1) 在汽油机上, 保持节气门开度 (0.5 分)、转速 (0.5 分) 以及混合气浓度 (0.5 分) 一定, 其功率 (0.5 分)、燃油消耗率 (0.5 分)、排气温度 (0.5 分) 等随点火提前角的变化 (2 分) 称为汽油机的点火提前特性。
- (2) 反动度是指动叶所占焓降与整个级焓降之比 (2 分), 它衡量整个级焓降在静叶和动叶间分配比例的大小 (2 分), 反映了气体在动叶中的膨胀程度 (1 分)。

2. 是非题 (正确者写“√”, 错误者写“×”。每小题 2.5 分, 共 5 分)

- (1) ×
(2) √

3. 填充题 (每小题 5 分, 共 10 分)

- (1) 定压涡轮增压 (1 分); 脉冲涡轮增压 (1 分); 脉冲涡轮增压 (1 分); 两种系统同时存在, 各有所长, 应根据实际情况综合考虑 (2 分)。
- (2) 大 (1 分); 重热系数 (1 分); 各级中因有损失而增加的理想焓降的总和与没有损失时全机总理想焓降之比。(3 分)

第四组 流体机械及工程二级学科 (共 25 分)

1. 名词解释 (每小题 5 分, 共 10 分)

- (1) 流动效率是指级的多变压缩功与叶轮所作功的比值 (3 分), 它可以用来评价级中流体流动的情况 (2 分)。
- (2) 通用性能曲线是指利用相似理论 (1 分) 组合而成的无量纲参数 (1 分), 用于表示流体机械的性能曲线 (1 分), 它具有通用的优点, 不受进口条件变化的限制 (2 分)。

2. 是非题 (正确者写“√”, 错误者写“×”。每小题 2.5 分, 共 5 分)

- (1) √
(2) ×

3. 填充题 (每小题 5 分, 共 10 分)

- (1) 轮阻损失 (1 分); 泄漏损失 (1 分); 摩擦损失; 分离损失; 二次流损失; 尾迹损失 (以上四条每回答出 1 条得 1 分, 回答出 3 条及以上得 3 分)。
- (2) 对应压力 (扬程) (2 分); 相等, 且等于 (1 分); 不能超过任一流体机械稳定工况的压力范围 (2 分)。

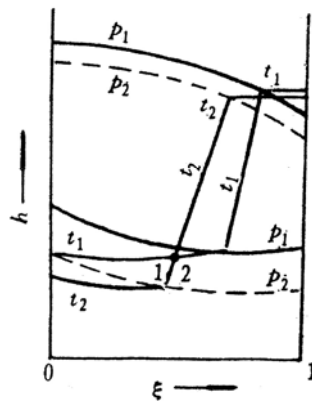
第五组 制冷及低温工程二级学科

1. 填空题（每空 1 分，共 15 分）

- (1) 帕尔帖，半导体，制冷，热量，电能
- (2) 中间冷却，低压，中间，饱和，过热
- (3) 制冷量，温降，提高，温度，流量

2. 问答题（10 分）

溶液节流前后的焓值不变（1 分）、浓度不变（1 分），因而状态点在 h - ξ 图上处于同一位置。
 （2 分） 见图所示，点 1 表示节流前状态，处于压力 p_1 的过冷状态（2 分）；节流后，压力下降到 p_2 （1 分），尽管点 1、点 2 在 h - ξ 图上处于同一位置，但此时点 2 已处于 p_2 饱和液相线的上方，因此为湿蒸气状态（2 分），而且节流后温度 t_2 低于节流前的温度 t_1 （1 分）。



第六组 化工过程机械二级学科

1. 名词解释（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 叶片式流体机械的入口处由于吸入压力低，常会出现叶片入口压力低于输送液体的汽化压力（2 分），造成溶在液体中的气体逸出（2 分），进而聚集并冲击叶片（1 分），致使叶片发生汽蚀。
- (2) 通常是指容器的外径与内径之比 $K = D_o / D_i \geq 1.2$ （3 分）的情况，或容器的壁厚与内径之比 $\delta / D_i \geq 0.1$ 的压力容器（2 分）。

2. 判断下列命题是否正确（正确写“√”，错误写“×”。5 分）

√

3. 问答题（每小题 5 分，共 10 分）

- (1) 将混合物料（1 分）置于一定的离心力场（1 分）中，利用混合物的各个相在离心力场中受到不同的力（2 分）从而得到较大的“相重差”使其分离（1 分）。
- (2) 开孔被强设计有两个准则（1 分）。一是等面积补强准则；二是极限分析补强准则。
- ①等面积补强准则：在有效的补强范围内，壳体除本身承受内压所需截面积外的多余截面积不应少于开孔所减少的有效截面积。（2 分）
- ②极限分析补强准则：以极限载荷为依据，来进行补强结构设计，即以大量的计算可以定出补强结构的尺寸要求，使其具有相同的应力集中系数。（2 分）