

化工原理期末复习辅导

中央电大主讲教师
北京化工学院教授

李云倩

本学期考试内容为《化工原理》上册第一章至第四章,试题有两种类型:一类是填空题,占 40 分,一类是计算题占 60 分。现将各章复习要点分述如下。

第一章 流体流动

流体流动过程是本门课程的基础。通过本章的学习,要求同学们能具有解决工程中简单管路地的计算、流体输送机械所需功率的计算及具有选择测量流体流速和流量装置的能力。为达到上述要求,应重点掌握以下内容。

一、流体的基本性质

流体的密度(纯组分的密度和混合物的密度)的定义、单位和取值方法。

流体粘度的定义、单位、不同单位制之间单位的换算、影响因素及粘度的查取方法。

二、流体静力学基本方程式、连续性方程式和柏努利方程式及其应用

1. 流体静力学基本方程式

流体的压强(压力)的定义、基准(大气压、表压、绝对压力及真空度)、单位及不同单位之间的换算。

流体静力学基本方程式是描述静止流体在重力场中,流体在重力和压力作用下的平衡规律,其表达式为:

$$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + gz_2$$

或

$$p_2 = p_1 + \rho g(z_2 - z_1)$$

应用:计算管路中某截面处的压力、两截面间的压差、远距离测量液位、计算液封高度等。

用 U 形压差计测量压差时要注意使用条件及等压面的选取。

2. 连续性方程式

连续性方程式揭示在稳定流动系统中,管道内任一截面上的流体质量流理均相等这一规律即; $p_1 A_1 u_1 = p_2 A_2 u_2 = \dots = \rho A u = \text{常量}$

应用:计算管路中不同管径截面上的流体流速。

3. 柏努利方程式

实际流体的柏努利方程式是描述稳定流动系统中流体的总能量衡算关系。

柏努利方程式有三种表达形式;

① 以 1kg 质量流体为衡算基准

$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + W_s = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum h_f$$

计算时各物理量用法定单位,各项物理量均为 J/kg。

② 以 1kgf 流体为衡算基准

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + H_s = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum H_f$$

各项单位均为 m(流体柱)

③ 以 1m³ 流体为衡算基准

$$\rho g z_1 + p_1 + \frac{\rho u_1^2}{2} + \rho g H_1 \\ = \rho g z_2 + p_2 + \frac{\rho u_2^2}{2} + \rho g H_2$$

各项单位均为 Pa。

应用:有时需与连续性方程式联合使用,可计算管路中流体的流速、流量,流体输送机械所需功率,管路中流体的压力(或两截面间压差)

及两设备间相对位置等。

用柏努利方程式计算时要注意截面及基准面的选取及截面上物理量的取值。

三、流体在管内的流动阻力

1. 流体的流动类型和雷诺准数

实际流体在管内流动时产生流动阻力的大小与流体的流动类型有关。流体的流动类型有两种:层流和湍流。流动类型的判据是雷诺准数 $Re = \frac{du\rho}{\mu}$, 当 $Re \leq 2000$ 为层流; 当 $Re \geq 4000$ 为湍流; 当 $Re = 2000 \sim 4000$ 为过渡区, 过渡区不是流动类型。

2. 流体在直管中的流动阻力

流体在圆形直管内流动时流动阻力用范宁方程式计算, 即 $h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$

或 $\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho u^2}{2}$

用上式计算的关键是求取摩擦系数 λ 值。

层流时摩擦系数 $\lambda = \frac{64}{Re}$, 或查图(1-28)。

湍流时, $\lambda = f(Re \cdot \frac{e}{d})$, λ 值可查图(1-28), 有些情况可用相应的经验公式计算。

计算流体在非圆形直管内的流动阻力时, 注意用范宁方程式时, 式中的管内径 d 用当量直径 d_e 代替。判断非圆形管内的流体流动类型时, 雷诺准数中的管内径亦应用当量直径 d_e 代替。

3. 局部阻力

计算局部阻力有两种方法:

阻力系数法: $N_f = \zeta \frac{\rho u^2}{2}$

或 $\Delta p' = \zeta \frac{\rho u^2}{2}$

当量长度法: $h_f' = \lambda \frac{L_e}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$

或 $\Delta p'' = \lambda \frac{L_e}{d} \cdot \frac{\rho u^2}{2}$

4. 管路总能量损失的计算

$$\Sigma h_f = \lambda \frac{L + \Sigma L_e}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

四、管路计算

1. 简单管路的设计计算

给定输送任务, 设计一条经济合理的管路。

设计计算的特点是由于已知计算参数不足, 故需进行参数的选择, 设计结果因所选参数不同而异, 最后设计者要择优选定设计方案。

2. 简单管路输送能力核算

核算在某给定条件下管路的输送能力或某项技术指标。这类问题的计算不需进行参数选择, 但因摩擦系数 λ 与雷诺准数 Re 和 e/d 之间通常是非线性, 故有时需用试差法(或其它方法)求解。

五、流体流速和流量的测定

测速管(毕托管)的简单结构、工作原理、计算方法、应用及安装注意事项。

孔板流量计的简单结构、工作原理、计算特点、应用及安装注意事项。

转子流量计的简单结构、工作原理、特点、使用范围及安装注意事项。

六、本章注意以下定义、概念

连续性假定、理想流体与实际流体, 可压缩性流体与不可压缩性流体, 流体的粘性与粘度, 稳定流动与不稳定流动, 流体的流动类型, 层流内层, 边界层的概念, 阻力系数, 当量直径、当量长度, 绝对粗糙度、相对粗糙度等。

第二章 流体输送机械

通过本章的学习要求掌握离心泵和离心式通风机的简单结构、工作原理、主要性能参数、特性曲线、安装及操作要点, 从而能达到正确选用和使用的目的。

一、离心泵

离心泵的简单结构、工作原理、主要性能参数(流量、压头、效率和功率)的单位、定义, 离心泵的特性曲线及其应用, 影响离心泵性能的主要因素(定性了解), 离心泵的安装高度、影响离心泵安装高度的主要因素及其计算。

计算离心泵安装高度有两种方法;

对水泵用允许吸上真空高度 H_s 计算

$$H_s = H_{s0} - \frac{v_1^2}{2g} - H_{f0-1}$$

式中 H_{s0} 由泵样本中查取, 当操作条件与实验条件不同, 或输送的液体与实验时不同时, H_s 需进行校正。

对油泵用汽蚀余量 Δh 计算

$$H_s = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta h - H_{f0-1}$$

式中 Δh 值由油泵样本中查取。

管路特性曲线是管路所需压头与流量的关系曲线,由方程 $H_s = A + BQ^2$ 表示。

离心泵的工作点是泵的特性曲线与管路特性曲线的交点,泵的工作点应以在泵的效率最高区域内为宜。

离心泵的流量调节即改变工作点的位置。流量调节方法有:在离心泵出口管路上装一调节阀,改变泵的转速,车削叶轮外径等方法,其中以在泵出口管路上装一调节阀最为简便、适用。

选择离心泵时,要根据被输送液体的性质和操作条件确定类型;根据流量及管路中所需压头确定型号,有时需要核算轴功率。

二、往复泵

往复泵的简单结构、工作原理、主要性能参数、特性曲线、流量调节特点及其应用(与离心泵对比理解)。

三、离心式通风机

离心式通风机的简单结构、工作原理、特性参数:风量(以风机进口处气体状态计),

$$\text{风压 } p_t = (p_2 - p_1) + \frac{\rho u_2^2}{2}$$

轴功率与效率。

离心式通风机的特性曲线有四条: $p_t - Q$, $(p_2 - p_1) - Q$, $N - Q$ 和 $\eta - Q$ 。

选择离心式通风机时要根据被输送气体的性质、操作条件先定类型,根据实际风量和计算的全风压定型号,并核算风机的轴功率。

四、注意以下定义、概念

气缚现象,汽蚀现象,泵的压头(或称扬程),泵的升扬高度,安装高度,允许吸上真空高度,汽蚀余量,泵的设计点,工作点,离心式通风机的全风压,动风压,静风压,压缩机的容积系数,余隙系数,压缩比等。

第三章 非均相物系的分离

通过本章的学习应掌握以下两方面内容:

1. 重力沉降、离心沉降的基本原理,沉降速

度及其计算,降尘室的工艺计算和旋风分离器的选型。

2. 过滤操作的基本原理,恒压过滤方程式及其应用,过滤常数的测定方法。

一、重力沉降

1. 沉降速度

重力沉降是在重力场中,借连续相和分散相的密度差使两相得以分离的过程。

表面光滑的球形颗粒在静止流体中沉降时,当颗粒所受到的重力、浮力和阻力之和为零时,颗粒的沉降速度为一定值,该速度即为沉降速度(或称终端速度)。

沉降速度 u_t 的计算方法如下:

层流区, $Re_t \leq 1$ (斯托克斯区)

$$u_t = \frac{d^2(\rho_s - \rho)g}{18\mu}$$

过渡区, $Re_t = 1 \sim 10^3$

$$u_t = 0.27 \sqrt{\frac{d(\rho_s - \rho)g}{\rho} Re_t^{0.8}}$$

湍流区, $Re_t = 10^3 \sim 2 \times 10^5$

$$u_t = 1.74 \sqrt{\frac{d(\rho_s - \rho)g}{\rho}}$$

沉降速度 u_t 的计算通常用试差法。

2. 降尘室的生产能力及其计算

$$V_s = u_t L b = u_t A$$

注意温度对沉降速度的影响。

二、离心沉降

1. 离心沉降速度

层流区离心沉降速度用下式计算

$$u_r = \frac{d^2(\rho_s - \rho)}{18\mu} \cdot \frac{u_t^2}{r}$$

与重力沉降速度 u_t 相比,离心沉降速度 u_r 是一个随回转半径 r 的变化而变化的量。

2. 旋风分离器

旋风分离器的构造和操作原理。

旋风分离器的分离性能。

临界直径 d_c , 即旋风分离器能 100% 除去

的最小粒径, $d_c = \sqrt{\frac{q\mu B}{\pi N \rho_s u_t}}$

旋风分离器的压力损失 $\Delta p = \zeta \frac{\rho u_t^2}{2}$

分离效率:总效率 η , 粒级效率 η_r

旋风分离器的选用,选型依据是含尘气体的性质及处理量,要求的分离效率及允许的压力损失等。

三、过滤

1. 过滤操作的基本概念

2. 恒压过滤方程式及其应用

恒压过滤方程式

$$V^2 + 2VV_0 = KA^2\theta$$

或

$$q^2 + 2qq_0 = K\theta$$

恒压过滤方程式是表示恒压条件下滤液量 V 和过滤时间 θ 的关系。

应用:计算为获得一定滤液量 V (或滤饼) 所需的过滤时间 θ 。

3. 过滤常数的测定

过滤常数 K 、 q_0 通常在恒压条件下由实验测定。

四、注意以下定义、概念

均相物系,非均相物系,连续相,分散相,重力沉降,离心沉降,自由沉降,干扰沉降,重力沉降速度,离心沉降速度,降尘室的生产能力,离心分离因数,滤浆,滤饼,滤液,过滤介质,助滤剂,过滤速率与过滤速度,恒压过滤,转筒真空过滤机的生产能力等。

第四章 传 热

传热过程是本课程重点章之一。通过本章的学习,要求达到能进行换热器的工艺计算和列管换热器的选型计算。

一、热传导

热传导的基本原理,傅立叶定律,导热系数的定义、物理意义、影响因素及其查取方法。

单层及多层平壁稳定热传导的计算

$$Q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{b}{\lambda A}\right)_i}$$

单层及多层圆筒壁稳定热传导的计算

$$Q = \frac{2\pi L(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}}$$

导热系数是物性参数,工程计算时通常取平均温度下的导热系数值。

二、对流传热

对流传热的基本原理,牛顿冷却定律,对流传热系数的物理意义、单位,影响对流传热的主要因素,无相变化时对流传热系数关联式及其应用、使用条件与注意事项。

工程上对流传热是指流体与固体之间(或固体与流体之间)的热量交换。对流传热量用牛顿冷却定律进行计算,即

$$Q = \alpha_1 A_1 (T - T_w) = \alpha_2 A_2 (t_w - t)$$

式中对流传热系数 α_1 、 α_2 为对流传热面积 A_1 、 A_2 上的平均值, T 、 t 为热、冷流体的平均温度, T_w 、 t_w 为与热、冷流体接触壁面的平均温度。

用牛顿冷却定律计算的关键是确定对流传热系数 α_1 、 α_2 值。影响对流传热过程的因素很多,主要有流体的物性 (ρ 、 μ 、 C_p 、 λ 、 β 等),流体的状态(气态、液态),流体的流体力学状况(层流,湍流、自然对流、强制对流等)及设备情况。计算对流传热系数用经验关联式,关联式通常由以下几个准数组成:

雷诺准数 $Re = \frac{Lu\rho}{\mu}$

普兰特准数 $Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$

努塞尔准数 $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$

格拉斯霍夫准数 $Gr = \frac{\Delta t \beta g L^3 \rho^2}{\mu^2}$

注意各准数的表达式、物理意义及其计算,计算时准数中各物理量的单位制必须一致。

在诸多的对流传热系数关联式中,要求掌握流体在圆形直管内强制湍流时的 α 计算式,即:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

或 $\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{du\rho}{\mu}\right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{\lambda}\right)^n$

应用范围:(1) $Re > 10^4$

(2) $Pr = 0.7 \sim 160$

(3) $L/d = 50$

(4) 低粘度流体

注意点:(1) 特性尺寸为管内径

(2) 定性温度为流体平均温度

(3) 流体被加热, $n = 0.4$

流体被冷却, $n = 0.3$

其它情况的对流传热系数计算式见教材 P332 表 4-18, 要求能正确选用。

三、热辐射

热辐射的基本概念, 斯蒂芬—波尔兹曼定律, 克希霍夫定律, 两固体间辐射传热量的计算, 设备热损失的计算。

两物体温度不同, 因辐射而传递的热量为

$$Q_{1-2} = C_{1-2} \varphi A \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

四、传热过程计算

传热速率方程式 $Q = KA\Delta t_m$ 是进行传热过程计算的重要方程。

1. 传热速率计算

工程上计算传热速率时, 不计热损失, 并视传热速率在数值上与热负荷值相等, 即

$$Q = KA\Delta t_m = GC_p \Delta t$$

热负荷依热量衡算式计算

无相变化时:

$$Q = G_1 C_{p1} (T_1 - T_2) = G_1 (I_2 - I_1) \\ = G_2 C_{p2} (t_2 - t_1) = G_2 (I'_2 - I'_1)$$

有相变化时: $Q = Gr$

2. 传热平均温度差的计算

恒温传热过程, $\Delta t_m = T - t$

变温传热过程(并流、逆流)

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad (\Delta t_1 > \Delta t_2)$$

当 $\Delta t_1 / \Delta t_2 \leq 2$, $\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}$

变温传热过程(错流、折流)

$$\Delta t_m = e_{\Delta t} \cdot \Delta t_{m\text{逆}}$$

$$e_{\Delta t} = f(R \cdot P)$$

3. 总传热系数

总传热系数 K 可取经验值, 可在工艺条件相仿、设备类型相同的换热器中测定; 可分别计算 α_1 、 α_2 , 选取适宜的污垢热阻 R_{o1} 、 R_{o2} , 最后用下式计算 K (以平壁计的 K 计算式):

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + R_{o1} + \frac{b}{\lambda} + R_{o2} + \frac{1}{\alpha_2}$$

4. 传热面积计算

因计算传热速率 Q 时未考虑热损失, 故计算之传热面积 A 应增加 (10 ~ 20)% 后作为设计面积, 即 $A_{\text{设}} = (1.1 \sim 1.2) A_{\text{计}}$

传热过程的设计是指根据已定的工艺要求传热量, 设计所需传热面积的计算过程。这类计算需要有若干个参数的选择, 因设计者所选参数不同, 设计结果亦不同, 最后择优选择。

传热过程中计算的另一类问题是对已有换热器的核算, 核算内容有多种, 总的来说核算的计算过程中通常要联立以下几个方程, 即

$$Q = KA\Delta t_m \\ = G_1 C_{p1} (T_1 - T_2) = G_2 C_{p2} (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

$$\Delta t_m = e_{\Delta t} \cdot \Delta t_{m\text{逆}}$$

五、了解列管式换热器的结构、列管和挡板的作用、热补偿装置的种类、列管换热器的主要优缺点及应用场合等。

六、注意以下定义、概念

温度场, 等温面, 温度梯度, 稳定热传导, 定性温度, 特性尺寸, 自然对流, 强制对流, 滴状冷凝, 膜状冷凝, 核状沸腾, 膜状沸腾, 黑体, 灰体, 黑度, 辐射能力, 传热速度, 热负荷, 污垢热阻, 恒温传热, 变温传热等。