

# 北京化工大学硕士研究生入学考试

## 《化工原理》考试大纲

### (Unit Operations of Chemical Engineering)

#### 一、课程名称及对象

名称：化工原理（含实验）

对象：化工类专业硕士研究生入学考试用

#### 二、理论部分

##### 第一章 流体流动

###### 1. 流体流动概述与流体静力学

流体流动及输送问题；流体流动的考察方法；定态流动与非定态流动；流体流动的作用力；牛顿粘性定律；流体的物性；压强特性及表示方法；静力学方程及应用；液柱压差计。

###### 2. 流体流动的守恒原理

流量与流速的定义；流体流动的质量守恒；流体流动的机械能守恒；柏努利方程及应用；动量守恒原理及应用。

###### 3. 流体流动的内部结构与阻力计算

雷诺实验；两种流动型态及判据；层流与湍流的特征；管流剪应力分布和速度分布；边界层概念；边界层分离现象；直管阻力；层流阻力；摩擦系数；湍流阻力——量纲分析法；当量的概念（当量直径，当量长度）；局部阻力；流动总阻力计算。

###### 4. 管路计算与流量测量

简单管路计算：管路设计型计算特点及方法、管路操作型计算特点及方法；复杂管路的特点及计算方法；流动阻力对管内流动的影响；孔板流量计、文丘里流量计及转子流量计的测量原理和计算方法。

##### 第二章 流体输送机械

###### 1. 离心泵

流体输送机械分类；管路特性方程；带泵管路的分析方法——过程分解法；离心泵工作原理与主要部件；气缚现象；理论压头及分析；性能参数与特性曲线；工作点和流量调节；泵组合操作及选择原则；安装高度与汽蚀现象；离心泵操作与选型。

###### 2. 其它类型泵与气体输送机械

正位移泵工作原理与结构、性能参数与流量调节（往复泵、旋转泵等）；旋涡泵的结构、工作原理及流量调节；气体输送机械分类；离心式通风机工作原理、性能参数与计算；罗茨鼓风机、真空泵、离心压缩机与往复压缩机。

##### 第三章 流体通过颗粒层的流动

非均相分离概论；颗粒床层的特性；流体通过颗粒层的压降——数学模型法；过滤原理与设备；过滤速率、推动力和阻力的概念——过滤速率工程处理方法；过滤基本方程及应用；过滤常数；恒压过滤与恒速过滤；板框过滤机性能分析与计算；加压叶滤机性能分析与计算；回转真空过滤机性能分析与计算；加快过滤速率的途径。

## 第四章 颗粒的沉降与流态化

沉降原理；流体对颗粒运动的阻力；球形颗粒的曳力系数与斯托克斯定律；自由沉降过程；重力沉降速度；重力沉降设备（降尘室性能分析）；离心沉降速度；离心沉降设备（旋风分离器性能分析）；固体流态化概念；散式流态化与聚式流态化；流化曲线与流化床特征；起始流化速度与带出速度；流化床操作及其强化。

## 第五章 传热

### 1. 热传导

傅立叶定律；导热系数及影响因素；一维定态热传导计算（单层与多层平壁、单层与多层圆筒壁）。

### 2. 对流传热

对流传热过程分析；牛顿冷却定律；对流传热系数及其影响因素；无相变对流传热系数经验关联式的建立；准数方程与准数的物理意义；管内强制对流传热、管外强制对流传热、自然对流传热、蒸汽冷凝传热、液体沸腾传热。

### 3. 热辐射

物体的辐射能力；斯蒂芬-波尔兹曼定律；克希霍夫定律；两灰体间的辐射传热。

### 4. 传热过程的计算

间壁换热过程；热量衡算式及总传热速率方程；总传热系数计算、热阻及传热平均温度差——传热速率的工程处理方法；污垢热阻；壁温的计算；传热设计型问题的参数选择和计算方法；传热操作型问题的分析和计算方法（传热效率及传热单元数）。

### 5. 换热器

间壁式换热器类型、结构及应用；列管式换热器的设计与选用；换热器的强化及其它类型。

## 第六章 气体吸收

### 1. 气体吸收概述与气液相平衡

吸收依据；吸收目的；吸收过程的工业实施；吸收与解吸的特征；吸收过程的分类；吸收剂的选择；吸收过程的经济性；气体在液体中的溶解度；亨利定律；温度、压力对相平衡的影响；相平衡与吸收过程的关系。

### 2. 扩散与单相传质

分子扩散与费克定律；气相和液相中的分子扩散（等摩尔反向扩散、单向扩散）；扩散系数及其影响因素；涡流扩散与对流传质；相内传质速率方程与传质分系数。

### 3. 相际传质

双膜理论；相际传质速率方程与总传质系数；传质推动力与传质系数的关系——传质速率的工程处理方法；吸收过程传质阻力分析及控制质阻。

### 4. 低浓度气体吸收（解吸）的计算

低浓度气体吸收的假定；物料衡算与操作线方程；传质速率与填料层高度的计算；传质单元数与传质单元高度——过程分解法；传质单元数的计算；吸收塔的设计型计算（吸收过程设计中参数的选择；最小液气比；塔内返混的影响）；吸收塔的操作型计算（计算方法及吸收过程的强化）；吸收与解吸过程的对比分析；板式吸收塔计算。

## 第七章 液体精馏

### 1. 液体蒸馏概述与二元物系的气液相平衡

蒸馏依据；蒸馏目的；蒸馏过程的工业实施；蒸馏操作的经济性；理想溶液的气液相平衡；拉乌尔定律、相图及相平衡曲线；泡点及露点的计算；相对挥发度；非理想溶液的气液平衡。

## 2. 平衡蒸馏与简单蒸馏

平衡蒸馏；简单蒸馏；平衡蒸馏与简单蒸馏的比较。

## 3. 精馏

精馏原理；全塔物料衡算；恒摩尔流假定；理论板及板效率；加料板过程分析；精馏段与提馏段操作方程。

## 4. 双组分精馏的设计型计算和操作型计算

理论塔板的逐板算法及图解法；回流比影响及选择；全回流及最少理论板数；最小回流比；进料热状况影响及选择；双组分精馏过程的其它类型；实际塔板与全塔效率；填料精馏塔计算；操作参数对精馏过程的影响；精馏塔的温度分布与灵敏板。

## 5. 间歇精馏与特殊精馏

间歇精馏的特点；恒回流比操作与恒馏出液组成操作；恒沸精馏的原理及应用；萃取精馏的原理及应用；恒沸精馏与萃取精馏的比较。

# 第八章 气液传质设备

气液传质过程对塔设备的一般要求；塔设备类型及特点；板式塔的设计意图；板式塔的结构；板上气液接触状态；塔板水力学性能和不正常操作现象；塔板负荷性能图；板式塔的效率；评价板式塔的性能指标；常见塔板型式及特点；筛板塔工艺计算内容；填料塔结构；填料种类及特性；气液两相在填料塔内的流动；填料塔压降与空塔气速的关系；最小喷淋密度；填料塔工艺计算方法；填料塔内的传质。

# 第九章 液液萃取

液液萃取过程；三角形相图及性质；物料衡算与杠杆定律；部分互溶物系的相平衡；分配系数与选择性系数；单级萃取；多级错流萃取；多级逆流萃取；萃取设备。

# 第十章 固体干燥

1. 物料的去湿方法；干燥过程的分类；干燥操作的经济性；湿空气的性质及计算；空气的湿度图及应用；湿空气状态的变化过程；水分在气固两相间的平衡（结合水分与非结合水分，平衡水分与自由水分）

## 2.干燥速率与干燥过程的计算

恒定干燥条件下的干燥速率；干燥曲线与干燥速率曲线；干燥机理；间歇干燥过程的计算；连续干燥过程的特点；连续干燥过程的物料衡算、热量衡算及干燥器的热效率。

## 3.干燥设备

工业常用的干燥器；干燥器的性能要求与选型原则。

# 三、实验部分

## 1. 流体流动阻力的测定

## 2. 离心泵性能实验

## 3. 传热膜系数测定实验

## 4. 氧解吸实验

5. 精馏实验
6. 干燥实验

#### 四、参考书

1. 《化工原理》（上、下册）（第三版），陈敏恒等编. 北京：化学工业出版社，2006
2. 《化工原理学习指导》，丁忠伟等编. 北京：化学工业出版社，2006
3. 《化工原理实验》，杨祖荣等编. 北京：化学工业出版社，2004
4. 《化工原理》（第二版），杨祖荣等编. 北京：化学工业出版社，2009
5. 《化工原理》（上、下册），谭天恩等编. 北京：化学工业出版社，1990
6. 《化工原理详解与应用》，丛德滋等编. 北京：化学工业出版社，2002
7. 《化工原理课程学习指导》，柴诚敬等编. 天津：天津大学出版社，2002
8. 《Unit Operations of Chemical Engineering》（第六版，英文影印版），McCabe W. L. 北京：化学工业出版社，2002

**北京化工大学**  
**攻读硕士学位研究生入学考试**  
**化工原理(含实验)样题 (满分 150 分)**

注意事项:

- 1、答案必须写在答题纸上, 写在试题上均不给分。
- 2、答题时可不抄题, 但必须写清题号。
- 3、答题必须用蓝、黑墨水笔或圆珠笔, 用红色笔或铅笔均不给分。

**一、填空题 (每空 1 分, 共计 22 分)**

- 1、用孔板流量计测量流体流量时, 随流量的增加, 孔板前后的压差值将\_\_\_\_\_; 若改用转子流量计, 转子前后压差值将\_\_\_\_\_。
- 2、离心分离因数  $K_C$  是指\_\_\_\_\_。
- 3、当颗粒雷诺数  $Re_p$  小于\_\_\_\_\_时, 颗粒的沉降属于层流区。此时, 颗粒的沉降速度与颗粒直径的\_\_\_\_\_次方成正比。
- 4、一般认为流化床正常操作的流速范围在\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_之间。
- 5、聚式流化床的两种不正常操作现象分别是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 6、对固定管板式列管换热器, 一般采取\_\_\_\_\_方法减小热应力。
- 7、在逆流操作的吸收塔中, 当吸收因数  $A > 1$  时, 若填料层高度  $h_0$  趋于无穷大, 则出塔气体的极限浓度只与\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有关。
- 8、精馏塔设计时, 若将塔釜间接蒸汽加热改为直接蒸汽加热, 而保持  $x_F$ 、 $D/F$ 、 $q$ 、 $R$ 、 $x_D$  不变, 则  $x_W$  将\_\_\_\_\_, 理论板数将\_\_\_\_\_。
- 9、工业生产中筛板上的气液接触状态通常为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 10、在 B-S 部分互溶物系中加入溶质 A 组分, 将使 B-S 的互溶度\_\_\_\_\_; 恰当降低操作温度, B-S 的互溶度将\_\_\_\_\_。
- 11、部分互溶物系单级萃取操作中, 在维持相同萃余相浓度前提下, 用含有少量溶质的萃取剂  $S'$  代替纯溶剂  $S$ , 则所得萃取相量与萃余相量之比将\_\_\_\_\_, 萃取液中溶质 A 的质量分数\_\_\_\_\_。
- 12、在多级逆流萃取中, 欲达到同样的分离程度, 溶剂比愈大则所需理论级数愈\_\_\_\_\_; 当溶剂比为最小值时, 理论级数为\_\_\_\_\_。

**二、简答题 (每小题 3 分, 共计 18 分)**

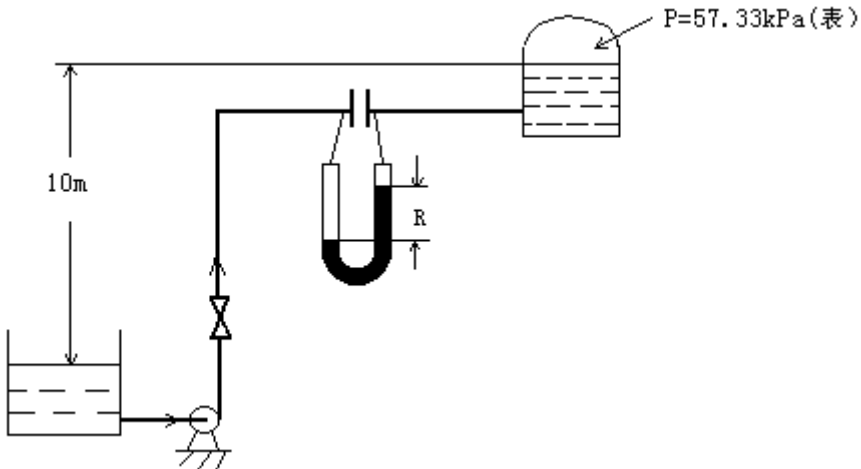
- 1、离心泵启动前应做好哪些准备工作? 为什么?

- 2、影响过滤速率的因素有哪些？
- 3、一包有石棉泥保温层的蒸汽管道，当石棉泥受潮后，其保温效果将如何变化？为什么？
- 4、什么是精馏塔操作的最小回流比？影响最小回流比的主要因素有哪些？
- 5、什么是填料塔的泛点和载点，测得泛点和载点的意义是什么？
- 6、什么是临界含水量？它与哪些因素有关？

### 三、计算题 (25 分)

用离心泵将密度为  $1200\text{kg/m}^3$  的溶液，从一敞口贮槽送至表压为  $57.33\text{ kPa}$  的高位槽中。贮槽与容器的液位恒定。输液量用孔径为  $20\text{mm}$ 、流量系数为  $0.65$  的孔板流量计测量，水银  $U$  型压差计的读数为  $460\text{mm}$ ，水银的密度为  $13600\text{kg/m}^3$ 。已知输送条件下离心泵的特性曲线为  $H=40-0.031Q^2$  ( $Q$  的单位为  $\text{m}^3/\text{h}$ ， $H$  的单位为  $\text{m}$ )。求：

- (1) 离心泵的输液量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )；
- (2) 管路特性曲线；
- (3) 若泵的转速提高  $5\%$ ，此泵的有效功率为多少 ( $\text{kW}$ )？



### 四、计算题 (22 分)

某新安装的列管式换热器(双管程、单壳程)，内有  $\phi 38 \times 2.5\text{mm}$  的无缝钢管 200 根，管外为  $130^\circ\text{C}$  饱和水蒸汽冷凝，将管内的水溶液从  $20^\circ\text{C}$  加热到

80°C，水溶液的流速为 0.8 m/s。已知蒸汽侧对流传热系数为  $10^4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ，管壁热阻及两侧垢阻均可忽略不计。求：

(1) 该换热器的总传热系数；

(2) 运行一年后，由于水侧管壁结垢，水溶液出口温度下降为 70°C。求此时的总传热系数与水侧垢阻（壁阻及蒸汽侧垢阻仍可忽略不计）；

(3) 为尽量维持原水溶液的出口温度，现将换热器的管数增加 20%，新增加钢管及原钢管的水侧结垢情况均与（2）中相同，问此时水溶液的出口温度为多少？

（水溶液在定性温度下的物性参数分别为： $\rho=988.1\text{kg/m}^3$ ；

$C_p=4.174 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ； $\lambda=0.6473\text{W/m}\cdot\text{K}$ ； $\mu=0.549\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ ）

## 五、计算题 (20 分)

在内径为 1m 的填料塔中，用清水逆流吸收低浓度二元气体混合物中的溶质。操作条件下物系的相平衡关系为  $y^*=2x$ ，体积传质分系数  $k_y a = k_x a = 0.12\text{kmol/m}^3\cdot\text{s}$ ，且  $k_y a$  与气量的 0.7 次方成正比。操作液气比为最小液气比的 1.5 倍。已知混合气体的处理量为  $120\text{kmol/h}$ ，要求吸收率达到 90%。求：

(1) 完成上述任务所需的填料层高度；

(2) 若混合气体的处理量增加 20%，此时溶质的吸收率可达多少？

(3) 分析说明当入塔气体溶质含量降低后，其它入塔条件不变，溶质的吸收率及出塔水溶液的浓度有何变化。

## 六、计算题 (23 分)

有一两股进料的连续精馏塔分离苯和甲苯混合液，塔顶采用全凝器，塔釜为间接蒸汽加热。已知  $F_1=F_2=50\text{kmol/h}$ ， $x_{F1}=0.7$ ， $x_{F2}=0.5$ ，要求  $x_D=0.95$ ， $x_W=0.05$ （以上均为摩尔分率），操作回流比  $R=1.0$ ，相对挥发度为 2.47，两股进料均为饱和液体，并且均从各自的适宜位置进料。求：

(1) 塔顶和塔釜的采出量；

(2) 写出两进料之间塔段的操作线方程；

(3) 最小回流比  $R_{\min}$ ；

(4) 如果将两股进料先混合均匀再以单股物料从适宜位置进料，试问所需理论板数及能耗将如何变化？（不必计算分析，只需给出结论）

## 七、计算题 (10 分)

在恒定干燥条件下，将某物料由  $X_1=0.33\text{kg 水/kg 干料}$  干燥至  $X_2=0.09\text{kg 水/kg 干料}$ ，共需 7 小时，问继续干燥至  $0.07\text{kg 水/kg 干料}$  还需多少小时？  
已知临界含水量  $X_C=0.16\text{kg 水/kg 干料}$ ，平衡含水量  $X^*=0.05\text{kg 水/kg 干料}$ 。

## 八、实验题 (10 分)

现设计一个孔径为  $d_0$  的标准孔板流量计，安装在直径为  $d$  的管道中。  
欲建立一套实验装置标定其流量系数与雷诺数的关系曲线。

(1) 说明需测量哪些数据，画出实验装置的流程示意图，并在图上标出主要测量点；

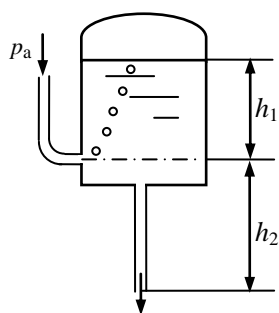
(2) 列出计算公式，说明如何由所测数据整理出  $C_0\text{-Re}$  曲线。



# 北京化工大学“BASF”杯 第一届化工原理学科竞赛试题

## 一、简答题

1. (5 分) 医院输液容器即为一马里奥特恒速装置：如图所示，为了使高位槽底部排出的液体量不随槽中液面的下降而减少，通常可将高位槽上端密封，并于底部设置与大气相通的细管。试说明其恒速原理。



**解答：**由于液体从下管排出而使槽内上方空间形成真空，在大气压力的作用下，A 管中的液面开始下降，降至 A 处时，空气进入槽内补充，从而使槽中 A 截面处的压力始终为大气压力。

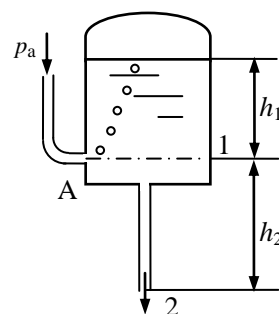
在 1-2 截面列柏努利方程，

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2$$

又  $p_1 = p_2 = p_a$

所以  $u_2 = \sqrt{2z_1 g} = \sqrt{2h_2 g}$

由此可见，只要液面下降不低于 A 处，则  $h_2$  一定，流速一定。一旦 A 处暴露，则  $h_2$  下降，出口流速相应减少。



2. (3 分) 日常生活中存在大量正确利用传热学原理强化或削弱传热过程的实例，试针对导热、对流传热和热辐射三种传热方式各举一例

答：(1) 导热——房屋窗户采用双层玻璃，中间抽成真空

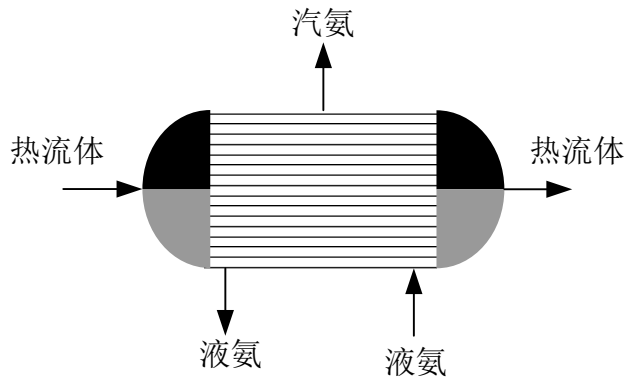
(2) 对流——电风扇

(3) 热辐射——暖壶胆表面涂以银白色，并且光洁度很高

3. (5 分) 生产中有一股热流体需要被降低至一定温度，选用液氨作为冷剂，利用其蒸发达到致冷的目的。

- (1) 试构想出一种合适的换热器，图示其主要结构，并在图中标出其所有相关物流的名称、流向。
- (2) 生产中如果要改变冷却效果，例如，使热流体出口温度更低，试给出一种合理、可行的方法。

答：(1)



(2) 答：在汽氨管线上设置阀门，通过改变阀门的开度调整换热器壳程的压力，从而改变壳程液氨的温度，实现对传热过程的调整。要使热流体出口温度降低，只需开大阀门，降低壳程压力（温度）

4. (8 分) 一逆流吸收塔，气量、液量和塔高不变，气膜控制过程，在气体和吸收剂进口组成不变的情况下，使得吸收温度降低，吸收属于低浓度吸收，且温度对  $k_y$  的影响可忽略，试通过具体分析过程指出吸收效果如何变化？示意性画出平衡线 and 操作线如何变化？定性分析吸收推动力如何变化？

$t \downarrow, m \downarrow$ ，气膜控制过程， $K_y = k_y$

所以， $H_{OG} = V / K_y a$  不变，塔高不变， $N_{OG}$  不变， $S = \frac{m}{L/V} \downarrow$

由吸收因数关联图得  $\frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} \uparrow$ ， $\frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} = c > 0$ ， $y_1 - cy_2 = mx_2(1 - c)$

$y_2 \downarrow$

由  $L(x_1 - x_2) = V(y_1 - y_2)$ ,  $x_1 \uparrow$

见图

因为,  $\Delta y_m = \frac{V}{K_y a} \frac{y_1 - y_2}{H}$

所以, 推动力增加

## 二、计算题 (20 分)

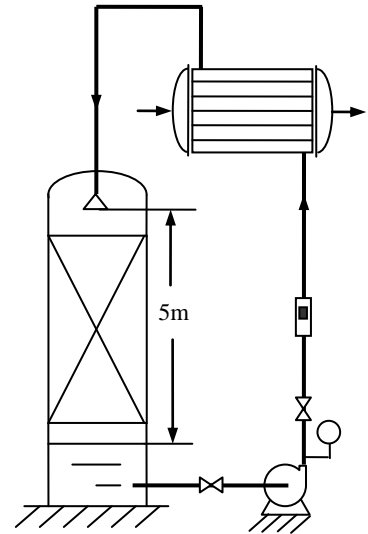
某工厂用离心泵从凉水塔底部向换热器供应冷却水, 如图所示。所有管内径均为 100mm, 总长为 200m。管内流动已进入阻力平方区, 摩擦系数为 0.025。凉水塔常压操作, 冷却水入塔喷头与塔底水面相差 5m。所用离心泵为 IS100-65-200 型, 转速在 2900rpm 下, 其特性可表示为:

压头:  $H = 55 + 0.0333q_V - 8.333 \times 10^{-4} q_V^2$  m

效率:  $\eta = 26 + 0.875q_V - 3.75 \times 10^{-3} q_V^2$  %

式中  $q_V$  的单位为  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

- (1) 夏季冷却水用量为  $90 \text{ m}^3/\text{h}$ , 而冬季冷却水用量比夏季减少 20%, 用阀门来调节流量, 则阀门的局部阻力系数增加多少? 消耗在阀门上的轴功率为多少?
- (2) 原本用阀门调节流量, 现经过技术改造, 将电机更换为变频调速电动机, 则电机转速将调至多少? 一个冬季可节省电费多少元 (设电费为 0.80 元/度, 一季度以 90 天计)?
- (3) 离心泵在夏季操作中, 某日出现了异常情况: 压力表及流量计读数均比正常值小, 甚至出现不稳定状况, 试对此故障进行诊断, 并提出改进措施。



解: (1) 夏季输送量为  $90 \text{ m}^3/\text{h}$  时, 工作点如 A 点所示。

由泵的特性方程, 泵产生的压头为

$$H = 55 + 0.0333q_V - 8.333 \times 10^{-4} q_V^2 = 55 + 0.0333 \times 90 - 8.333 \times 10^{-4} \times 90^2 = 51.25 \text{ m}$$

设此时管路的特性方程为

$$H_e = 5 + BQ^2$$

代入  $51.25 = 5 + B \times 90^2$

所以  $B = \frac{51.25 - 5}{90^2} = 5.71 \times 10^{-3}$

又 
$$B = \left( \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{8}{\pi^2 g d^4} \frac{1}{3600^2}$$

$$= \left( 0.025 \frac{200}{0.1} + \Sigma \zeta \right) \frac{8}{\pi^2 g 0.1^4} \frac{1}{3600^2} = 5.71 \times 10^{-3}$$

所以  $\Sigma \zeta = 39.47$

冬季流量减小为

$$q_V' = 90 \times 0.8 = 72 \text{ m}^3/\text{h}$$

泵产生的压头为

$$H' = 55 + 0.0333q_V - 8.333 \times 10^{-4} q_V^2 = 55 + 0.0333 \times 72 - 8.333 \times 10^{-4} \times 72^2 = 53.1 \text{ m}$$

所以  $B' = \frac{53.1 - 5}{72^2} = 9.28 \times 10^{-3}$

又  $B' = \left( \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{8}{\pi^2 g d^4} \frac{1}{3600^2} = \left( 0.025 \frac{200}{0.1} + \Sigma \zeta \right) \frac{8}{\pi^2 g 0.1^4} \frac{1}{3600^2} = 9.28 \times 10^{-3}$

所以  $\Sigma \zeta' = 95.41$

由于阀门关小引起的局部阻力系数增大为  $(95.41 - 39.47) = 55.94$

阀门原开度时管路 1 中 C 的压头:

$$H_{eC} = 5 + 5.71 \times 10^{-3} q_V^2 = 5 + 5.71 \times 10^{-3} \times 72^2 = 34.6 \text{ m}$$

阀门关小导致压头的增加为:

$$\Delta H = H_B - H_C = 53.1 - 34.6 = 18.5 \text{ m}$$

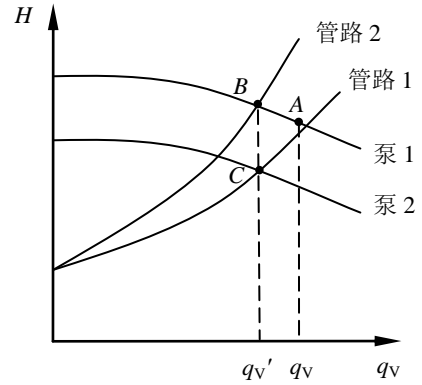
效率:

$$\eta = 26 + 0.875q_V - 3.75 \times 10^{-3} q_V^2 = 26 + 0.875 \times 72 - 3.75 \times 10^{-3} \times 72^2 = 69.56\%$$

轴功率增加为

$$\Delta P = \frac{q_V \Delta H \rho g}{\eta} = \frac{72 / 3600 \times 18.5 \times 1000 \times 9.81}{0.6956} = 5.22 \text{ kW}$$

(2) 关小阀门时,  $q_V' = 72 \text{ m}^3/\text{h}$ , 泵的效率为  $\eta = 69.56\%$



此时泵的轴功率：

$$P = \frac{q_V H \rho g}{\eta} = \frac{72 / 3600 \times 53.1 \times 1000 \times 9.81}{0.6956} = 14.98 \text{ kW}$$

调转速时：降低离心泵转速改变流量，工作点如 C 点所示。此时管路特性方程 1 不变，故该点的压头  $H_C = 34.6 \text{ m}$ 。

求取新转速下泵的特性方程：

设转速减少率小于 20%，由比例定律

$$\frac{q_V'}{q_V} = \frac{n'}{n}, \quad \frac{H'}{H} = \left( \frac{n'}{n} \right)^2$$

得  $q_V = \frac{n}{n'} q_V', \quad H = \left( \frac{n}{n'} \right)^2 H'$

代入原转速下的泵特性方程中

$$H = 55 + 0.0333 q_V - 8.333 \times 10^{-4} q_V^2$$

$$\left( \frac{n}{n'} \right)^2 H' = 55 + 0.0333 \left( \frac{n}{n'} q_V' \right) - 8.333 \times 10^{-4} \left( \frac{n}{n'} q_V' \right)^2$$

得新转速下的泵特性方程

$$H' = 55 \left( \frac{n'}{n} \right)^2 + 0.0333 \left( \frac{n'}{n} \right) q_V' - 8.333 \times 10^{-4} q_V'^2$$

将新工作点 C：  $q_{VC} = 72 \text{ m}^3 / \text{h}$ ,  $H_C = 34.6 \text{ m}$  代入上式

得  $\frac{n'}{n} = 0.820$

即  $n' = 0.82n = 0.82 \times 2900 = 2378 \text{ rpm}$

此时  $\frac{\Delta n}{n} = 0.18 = 18\% < 20\%$ ，比例定律适用。

与新转速  $q_{VC}$  对应的原转速下的等效率点为

$$\frac{q_{VC1}}{q_{VC}} = \frac{n}{n'} = \frac{1}{0.82} \quad q_{VC1} = \frac{q_{VC}}{0.82} = 87.8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

该点下效率为

$$\eta = 26 + 0.875 q_V - 3.75 \times 10^{-3} q_V^2 = 26 + 0.875 \times 87.8 - 3.75 \times 10^{-3} \times 87.8^2 = 73.9\%$$

此时泵的轴功率为

$$P = \frac{q_v H \rho g}{\eta} = \frac{72 / 3600 \times 34.6 \times 1000 \times 9.81}{0.739} = 9.19 \text{ kW}$$

若一个冬季按 90 天计，调频较之关小阀门节省电费：

$$(14.98 - 9.19) \times 90 \times 24 \times 0.8 = 10005 \text{ 元}$$

(3) 出现以上现象的根本原因为泵内有气体。

可能原因：①从塔内液体中带入：凉水塔中水流撞击液面或液位下降，水从液面夹带大量空气直冲泵吸入口，使泵吸入大量空气；②系统不严密引起：吸入管路中各法兰接口以及阀门处发生漏气，填料函、水封密封不严，真空表接头松动；③泵发生汽蚀：如循环回水温度过高或吸入管路阻力增大（吸入阀门未完全打开；吸入管路堵塞或滤器脏污）。

### 三、计算题（17 分）

在传热面积为  $5 \text{ m}^2$  的换热器中用冷却水冷却某溶液。冷却水流量为  $1.5 \text{ kg/s}$ ，入口温度为  $20^\circ\text{C}$ ，比热为  $4.17 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ；溶液的流量为  $1 \text{ kg/s}$ ，入口温度为  $78^\circ\text{C}$ ，比热为  $2.45 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ 。已知溶液与冷却水逆流流动，两流体的对流传热系数均为  $1800 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 。

(1) 试分别求两流体的出口温度？

(2) 现溶液流量增加 30%，欲通过提高冷却水流量的方法使溶液出口温度仍维持原值，试求冷却水流量应达到多少？（设冷却水和溶液的对流传热系数均与各自流量的 0.8 次方成正比，忽略管壁热阻和污垢热阻）（提示，可初估冷却水流量增为原来的 1.5 倍）

解：(1) 总传热系数近似用下式计算： $K = 1 / \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) = 1 / \left( \frac{1}{1800} + \frac{1}{1800} \right) = 900 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} = \ln \frac{78 - t_2}{T_2 - 20} = \frac{KA}{q_{m1} c_{p1}} \left( 1 - \frac{q_{m1} c_{p1}}{q_{m2} c_{p2}} \right) = \frac{900 \times 5}{1 \times 2450} \left( 1 - \frac{1 \times 2450}{1.5 \times 4170} \right) = 1.12 \quad (\text{a})$$

$$\text{热平衡方程: } \frac{q_{m1} c_{p1}}{q_{m2} c_{p2}} = 0.392 = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} = \frac{t_2 - 20}{78 - T_2} \quad (\text{b})$$

(a) 式 (b) 式联立求解得： $T_2 = 33.19^\circ\text{C}$ ； $t_2 = 37.56^\circ\text{C}$

(2) 新工况下的总传热系数：

$$K' = K \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) / \left( \frac{1}{1.3^{0.8} \alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2 (q'_{m2} / q_{m2})^{0.8}} \right) = 2K / \left( \frac{1}{1.3^{0.8}} + \frac{1}{(q'_{m2} / q_{m2})^{0.8}} \right)$$

$$\text{新工况下: } \ln \frac{T_1 - t'_2}{T'_2 - t_1} = \frac{2KA}{\left(1/1.3^{0.8} + 1/(q'_{m2}/q_{m2})^{0.8}\right) q'_{m1} c_{p1}} \left(1 - \frac{q'_{m1} c_{p1}}{(q'_{m2}/q_{m2}) q_{m2} c_{p2}}\right) \quad (*)$$

将已知数据代入上式:

$$\ln \frac{78 - t'_2}{33.19 - 20} = \frac{2 \times 900 \times 5}{\left(1/1.3^{0.8} + 1/(q'_{m2}/q_{m2})^{0.8}\right) \times 1.3 \times 2450} \left(1 - \frac{1.3 \times 2450}{(q'_{m2}/q_{m2}) \times 1.5 \times 4170}\right) \quad (c)$$

新工况下热平衡方程:

$$\frac{q'_{m1} c_{p1}}{(q'_{m2}/q_{m2}) q_{m2} c_{p2}} = \frac{1.3 \times 2450}{(q'_{m2}/q_{m2}) \times 1.5 \times 4170} = \frac{t'_2 - t_1}{T_1 - T'_2} = \frac{t'_2 - 20}{78 - 33.19} \quad (d)$$

试差求解上述关于  $q'_{m2}/q_{m2}$  和  $t'_2$  的方程组, 可得:  $q'_{m2}/q_{m2} = 1.418$ ;  $t'_2 = 36.09^\circ\text{C}$

所以, 冷却水流量需要提高至  $q'_{m2} = 1.418 \times 1.5 = 2.127 \text{kg/s}$

试差过程如下

初估  $q'_{m2}/q_{m2} = 1.5$ , 由平衡方程可得

$$\frac{q'_{m1} c_{p1}}{(q'_{m2}/q_{m2}) q_{m2} c_{p2}} = \frac{1.3 \times 2450}{1.5 \times 1.5 \times 4170} = \frac{t'_2 - t_1}{T_1 - T'_2} = \frac{t''_2 - 20}{78 - T''_2} \quad (e)$$

由 (\*) 式可得

$$\ln \frac{T_1 - t''_2}{T''_2 - t_1} = \frac{2KA}{\left(1/1.3^{0.8} + 1/(1.5)^{0.8}\right) q'_{m1} c_{p1}} \left(1 - \frac{q'_{m1} c_{p1}}{(1.5) q_{m2} c_{p2}}\right) \quad (f)$$

联立求解(e)和(f), 可得  $T''_2 = 32.61^\circ\text{C} < T_2$

故  $q'_{m2}/q_{m2} = 1.5$  比真实值偏高, 下一步试差应下调  $q'_{m2}/q_{m2}$

#### 四、计算题 (17 分)

一逆流吸收塔用洗油吸收煤气中所含的苯蒸汽, 煤气进塔组成 0.025 (摩尔分率, 下同), 吸收剂入塔组成 0.004, 煤气出塔组成 0.001, 液气比为 0.2, 吸收塔内气液平衡关系  $y_e = 0.11x$ , 该体系为气膜控制, 若要求出吸收塔气体中苯蒸汽的组成降为 0.00044 和 0.0004, 在塔高不变的情况下, 应如何调节? 调节的参数是什么? 调到多大?

解:

情况 1  $y'_2 = 0.00044$

$$x_2 = 0.004 \quad y_{2e} = mx_2 = 0.11 \times 0.004 = 0.00044 = y'_2$$

所以，①H 不变，L 为无穷大，才能行。

②L/V 不变， $x_2 \downarrow$

$$\text{HOG 不变, NOG 不变, S 不变, 所以 } \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} = \frac{y_1 - mx'_2}{y'_2 - mx'_2}$$

$$\frac{0.025 - 0.11 \times 0.004}{0.001 - 0.11 \times 0.004} = \frac{0.025 - 0.11x'_2}{0.00044 - 0.11x'_2}$$

$x'_2$  无解， $x_2 \downarrow$  不行

情况 2  $y'_2 = 0.0004$

$$x_2 = 0.004 \quad y_{2e} = mx_2 = 0.11 \times 0.004 = 0.00044 > y'_2$$

所以，H 不变，L 无论多大，都不能行。

L/V 不变， $x_2 \downarrow$

$$\text{HOG 不变, NOG 不变, S 不变, 所以 } \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} = \frac{y_1 - mx'_2}{y'_2 - mx'_2}$$

$$\frac{0.025 - 0.11 \times 0.004}{0.001 - 0.11 \times 0.004} = \frac{0.025 - 0.11x'_2}{0.0004 - 0.11x'_2}$$

$x'_2$  无解，L/V 不变，单独调  $x_2 \downarrow$  不行

所以，L/V $\uparrow$ ，同时  $x_2 \downarrow$

$$x'_2 = 0.002, \quad S' = \frac{m}{L'/V}$$

气膜控制，L/V $\uparrow$ ，HOG 不变

$$S = \frac{m}{L/V} = \frac{0.11}{0.2} = 0.55$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-S} \ln \left[ (1-S) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + S \right] = \frac{1}{1-0.55} \ln \left[ (1-0.55) \frac{0.025 - 0.11 \times 0.004}{0.001 - 0.11 \times 0.004} + 0.55 \right] = 6.69$$

$$N_{OG} = N'_{OG} = \frac{1}{1-S'} \ln \left[ (1-S') \frac{y_1 - mx'_2}{y'_2 - mx'_2} + S' \right]$$

$$6.69 = \frac{1}{1-S'} \ln \left[ (1-S') \frac{0.025 - 0.11x'_2}{0.0004 - 0.11x'_2} + S' \right]$$

试差  $S' = 0.322$ ， $(L/V)' = 0.11/0.322 = 0.3416$



### 五、(10 分) 证明题

在某精馏塔段内，气液平衡关系为  $y = mx$ ，上升蒸汽的摩尔流量为  $V(\text{kmol/h})$ ，下降液体的摩尔流量为  $L(\text{kmol/h})$ ，塔内可视为恒摩尔流动，且塔板上液体混合均匀； $E_{mV}$  与  $E_{mL}$  为塔段内第  $n$  板的气相与液相默弗里板效率。试推导：

(1)  $E_{mV} = f(E_{mL}, \frac{mV}{L})$  的函数表达式；

(2) 试讨论在何情况下， $E_{mV} = E_{mL}$ 。

解：(1) 默弗里效率：  $E_{mV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$        $E_{mL} = \frac{x_{n-1} - x_n}{x_{n-1} - x_n^*}$

相平衡方程：  $y_n^* = mx_n$        $x_n^* = \frac{y_n}{m}$

物料衡算式：  $V(y_n - y_{n+1}) = L(x_{n-1} - x_n) \Rightarrow y_{n+1} = y_n - \frac{L}{V}(x_{n-1} - x_n)$

$$y_{n1} - y_{n+1} = \frac{L}{V}(x_{n-1} - x_n)$$

联立求解：

$$\begin{aligned} E_{mV} &= \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = \frac{\frac{L}{V}(x_{n-1} - x_n)}{mx_n - y_n + \frac{L}{V}(x_{n-1} - x_n)} = \frac{\frac{L}{mV}(x_{n-1} - x_n)}{x_n - \frac{y_n}{m} + \frac{L}{mV}(x_{n-1} - x_n)} \\ &= \frac{\frac{L}{mV}(x_{n-1} - x_n)}{(x_n - x_n^*) + \frac{L}{mV}(x_{n-1} - x_n)} = \frac{\frac{L}{mV}}{\frac{x_n - x_n^*}{x_{n-1} - x_n} + \frac{L}{mV}} = \frac{\frac{L}{mV}}{\frac{x_{n-1} - x_n^*}{x_{n-1} - x_n} - \frac{x_{n-1} - x_n}{x_{n-1} - x_n} + \frac{L}{mV}} \\ &= \frac{\frac{L}{mV}}{\frac{1}{E_{mL}} - 1 + \frac{L}{mV}} = \frac{E_{mL}}{\frac{mV}{L}(1 - E_{mL}) + E_{mL}} \end{aligned}$$

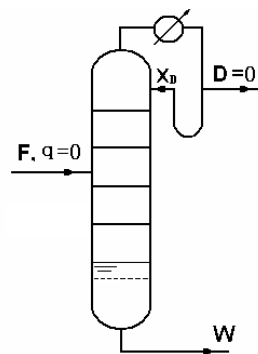
(2) 若  $\frac{mV}{L} = 1$ ，即操作线和平衡线相平行时， $E_{mV} = E_{mL}$ 。

### 六、(15 分) 计算题

某精馏塔共有 5 块理论板（包括塔釜），料液含易挥发组分 25%（摩尔分数），相对挥发度为 2.5，以饱和蒸汽状态从第三块板加入，塔釜的蒸发量与加料量相同。现由于塔顶采出管路堵塞，塔顶料液全部回流，问当该操作达到稳定后，塔顶回流液的组成为多少，并绘出该塔的操作线。

解：精馏段：  $V = V' + F = 2F \Rightarrow y_{n+1} = x_n$

$$L = V = 2F$$



提馏段：  $V' = F$  ,  $W = F \Rightarrow y_{m+1} = 2x_m - 0.25$

$$L' = L = 2F \quad x_m = 0.5y_{m+1} + 0.125$$

逐板计算：

$$x_5 = x_W = y_F = 0.25$$

$$y_5 = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2.5 \times 0.25}{1 + 1.5 \times 0.25} = 0.4545$$

$$x_4 = 0.5 \times 0.4545 + 0.125 = 0.3523$$

$$y_4 = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2.5 \times 0.3523}{1 + 1.5 \times 0.3523} = 0.5672$$

$$x_3 = 0.5 \times 0.5672 + 0.125 = 0.4131$$

$$y_3 = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2.5 \times 0.4131}{1 + 1.5 \times 0.4131} = 0.6376$$

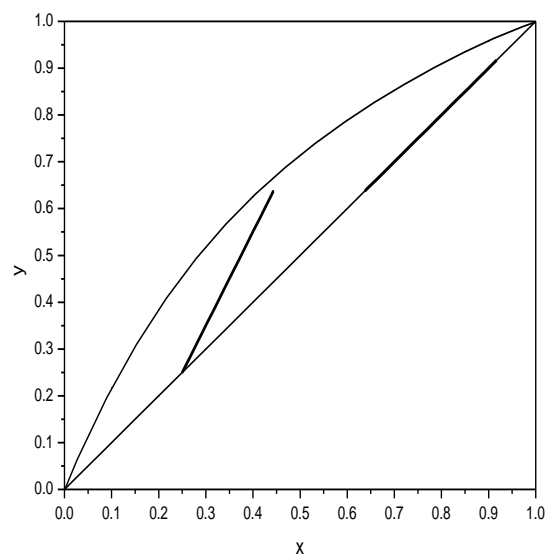
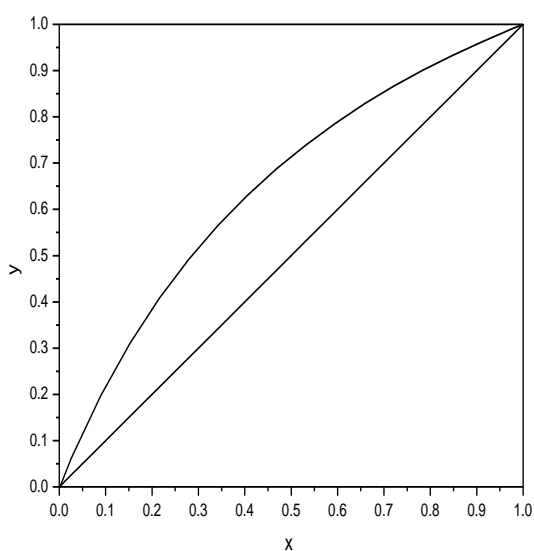
$$x_2 = y_3 = 0.6367$$

$$y_2 = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2.5 \times 0.6367}{1 + 1.5 \times 0.6367} = 0.8184$$

$$x_1 = y_2 = 0.8184$$

$$y_1 = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2.5 \times 0.8184}{1 + 1.5 \times 0.8184} = 0.9167$$

$$x_D = y_1 = 0.9167$$



# 北京化工大学

## 2012 年攻读硕士学位研究生入学考试

### 《化工原理》试题

- 1、答案必须写在答案纸上，写在试题上均不给分。
- 2、答题时可不抄题，但必须写清题号。
- 3、答案必须用蓝、黑墨水笔或圆珠笔，用红色或铅笔均不给分。

#### 一、填空题（每空 1 分，共计 40 分）

- 1、液体在套管式换热器的内管中流过，其湍流程度越高，则层流内层越\_\_，流动阻力越\_\_，传热阻力越\_\_；
- 2、某转子流量计流量为  $q_v$  时，流过流量计的能量损失为  $h_{f1}$ ，若在正常测量范围内使流量增加到  $2q_v$  时，其能量损失为  $h_{f2}$ ，则  $h_{f2}$ \_\_ $h_{f1}$  (>、=、<)。
- 3、离心泵开车前必须先灌泵，是为了\_\_，而后需关闭出口阀再启动，目的是\_\_。
- 4、往复泵的流量取决于\_\_，而压头取决于\_\_。
- 5、在一定压差下用板框恒压过滤悬浮液，过滤面积为  $0.4\text{m}^2$ ，过滤 2h 后得滤液  $35\text{m}^3$ ，过滤介质阻力可忽略。若过滤面积加倍，则 2h 后可得滤液\_\_ $\text{m}^3$ ；若其它条件不变，过滤时间缩短为 1.5h，则可得滤液\_\_ $\text{m}^3$ 。
- 6、若在降尘室里增加几层隔板，如含尘气体的处理量不变，则能去除的最小颗粒直径\_\_；若要求去除的最小颗粒直径不变，则生产能力\_\_。
- 7、气体通过颗粒床层的流动，当床层表观气速大于始流化速度且小于带出速度时，随气速增加，床层孔隙率\_\_，床层压降\_\_。
- 8、圆形管道外包有两层保温材料，外层材料的热导率（导热系数）小于内层材料的热导率，且两层厚度相同。若将两层互换，其它条件不变，则热损失\_\_，两层间的界面温度\_\_。
- 9、在套管式换热器中，用水蒸气冷凝加热空气，空气在换热管内为湍流流动，当空气的流量增加时，则总传热系数\_\_，换热管的壁温\_\_。
- 10、在一卧式列管换热器中，利用水蒸气冷凝加热某种液体，应安排水蒸气走\_\_程，换热器顶部设置排气阀为了\_\_。
- 11、对操作条件一定的填料吸收塔，若填料层增高一些，则塔的  $H_{OG}$  将\_\_， $N_{OG}$  将\_\_。
- 12、对组成一定的二元物系，精馏操作的压力越大，则相对挥发度\_\_，塔操作温度\_\_，对分离\_\_。
- 13、板式塔从总体上看气液两相呈\_\_接触，在板上气液两相呈\_\_接触。
- 14、当填料塔操作气速达到泛点气速时，\_\_充满全塔空隙，并在塔顶形成液体层，因而\_\_急剧升高。
- 15、单级萃取操作中，萃取剂用量减少，则萃取相中溶质 A 的含量将\_\_；萃取相中溶质 A 的含量将\_\_；脱去溶质后萃取液中溶质 A 的含量将\_\_；脱去溶剂后萃取中溶质 A 的含量将\_\_。
- 16、萃取操作时，分配系数定义为\_\_；选择性系数物理意义为\_\_。
- 17、判断正误：
  - (1) 干燥过程中，湿物料表面并不总是保持湿球温度。 ( )
  - (2) 不饱和空气中水蒸汽分压越高，其湿度越小。 ( )
  - (3) 干燥操作中，干燥介质（不饱和湿空气）经预热器后湿度不变，温度提高。 ( )

- (4) 对易龟裂物料的干燥，常采用部分废气循环方法来控制进行干燥器的空气的湿度。  
( )
- (5) 提高温度有利于萃取操作。  
( )

## 二、计算题 (22 分)

用离心泵将密度为  $1200\text{Kg/m}^3$  的碱液从敞口碱液池中送到高位槽，槽中的气相表压为  $98.1\text{KPa}$ ，两液面位差为  $10\text{m}$ ，且液面恒定。管路的尺寸为  $\phi 57 \times 3.5\text{mm}$ ，在出口阀全开的情况下，整个管路系统的总长为  $50\text{m}$ （包括所有局部阻力的当量长度），摩擦系数为  $0.022$ ，且流动已进入完全湍流区。已知该离心泵在转速为  $2900\text{r/min}$  时的特性可近似表示为

$$\text{压头: } H = 38.8 - 0.0436q_v^2$$

$$\text{效率: } \eta = 0.075q_v - 2.49 \times 10^{-3}q_v^2$$

式中， $H$  的单位为  $\text{m}$ ， $q_v$  的单位为  $\text{m}^3/\text{h}$ 。试求：

- (1) 碱液的输送量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；
- (2) 通过计算判断该泵是否在最高效率下工作；若不是，拟通过调节阀门使其在最高效率下工作，则因关小阀门多消耗的轴功率为多少？
- (3) 若碱液的浓度变化而使其密度有所下降，试分析说明碱液输送量及泵的轴功率将如何变化？

## 三、计算题 (24 分)

在某一单管程列管式换热器中，用饱和水蒸气将空气由  $20^\circ\text{C}$  加热到  $90^\circ\text{C}$ 。该换热器由 38 根  $\phi 25 \times 2.5\text{mm}$ 、长  $1.5\text{m}$  的铜管构成，空气在管程流动，其流量为  $740\text{Kg/h}$ ，饱和水蒸气在壳程冷凝。已知操作条件下水蒸气的冷凝给热系数为  $8000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，管壁及污垢热阻忽略不计，空气在平均温度下的物性参数为  $c_p = 1\text{KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ， $\lambda = 2.82 \times 10^{-2}\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ， $\mu = 1.96 \times 10^{-5}\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。试计算：

- (1) 空气的对流给热系数；
- (2) 所需饱和水蒸气的温度
- (3) 若将空气流量增大 25%，在饱和水蒸气温度及空气进口温度均不变的情况下，空气能被加热到多少度？（忽略空气出口温度变化对其物性参数的影响）

## 四、计算题 (21 分)

用一精馏塔连续分离二元理想混合液，塔顶采用全凝器，塔釜为间接蒸汽加热，体系的平均相对挥发度为 2.5。已知混合液处理量为  $100\text{kmol/h}$ ，其中含易挥发组分 A 为 0.45（摩尔分率，下同），泡点进料，且在最佳位置加入。塔顶产品中 A 的回收率为 98%，塔底产品中 B 的回收率为 95%，提馏段的液气比为 1.25。试求：

- (1) 塔顶、塔底产品的组成；
- (2) 最小回流比  $R_{\min}$ ；
- (3) 该塔操作回流比  $R$ ；
- (4) 塔内最下一块理论塔板下降液体组成。

## 五、计算题 (23 分)

在  $101.3\text{kPa}$ 、 $25^\circ\text{C}$  的条件下，于塔截面积为  $1.54\text{m}^2$  的填料塔中，用纯溶剂逆流吸收两股气体混合物中的溶质，一股气体流量为  $50\text{kmol/h}$ ，溶质含量为 0.05（摩尔分率，下同），另一股气体流量为  $50\text{kmol/h}$ ，溶质含量为 0.03，要求溶质总回收率不低于 90%，操作条件下体系亨利系数为  $279\text{kPa}$ ，气体总体积传质为  $30\text{kmol}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ ，且不随气体流量而变化。试求：

- (1) 当两股气体混合后从塔底加入，液气比为最小液气比的 1.5 倍时，出塔吸收液浓度和填料层高度；
- (2) 请分别绘出下列两种情况下的吸收操作线

(a) 两股气体混合后从塔底进入;

(b) 两股气体分别在塔底和塔中部适当位置 (进气组成与塔内气相组成相同) 进入, 且尾气气体组成与 (1) 相同。

(3) 若 (1) 中的填料塔在实际操作中, 两股气体流量分别增加 20%, 而液量维持不变, 则溶液总回收率为多少?

#### 六、计算题 (10 分)

在常压干燥器内干燥某湿物料, 将 100Kg/h 的湿物料从最初含水量 20% 降到 2% (均为湿基)。 $T_0=20^{\circ}\text{C}$ 、 $H_0=0.01\text{Kg 水汽}/(\text{kg 绝干气})$  的空气经预热器升温至  $100^{\circ}\text{C}$  后进入干燥器进行等焓干燥, 废气温度为  $60^{\circ}\text{C}$ 。试计算:

(1) 完成上述干燥任务所需的空气量, kg 绝干气/h;

(2) 空气经预热器获得的热量。

#### 七、实验题

现预测定一台离心泵在一定转速下的特性曲线。

(1) 说明需测量那些数据, 画出实验装置的流程示意图, 并在图上标出主要测量点;

(2) 列出计算公式, 说明如何由所测定数据获得离心泵的特性参数。

# 北京化工大学

## 2013 年攻读硕士学位研究生入学考试

### 《化工原理》试题

- 1、答案必须写在答案纸上，写在试题上均不给分。
- 2、答题时可不抄题，但必须写清题号。
- 3、答案必须用蓝、黑墨水笔或圆珠笔，用红色或铅笔均不给分。

#### 一、填空题（每空 1 分，共计 40 分）

- 1、粘度的物理意义为\_\_。
- 2、如图所示的分支管路，当阀 A 关小时，分支点压力  $P_0$  将\_\_，分支管流量  $q_{vB}$  将\_\_，总管流量  $q_v$  将\_\_。
- 3、用离心泵将敞口槽中的水送到一密闭高压高位槽中。现改为输送密度大于水的某种液体，若其它条件不变，为保证原输送量，则泵出口阀门的开度应\_\_。
- 4、离心泵通风机的全风压是指\_\_。
- 5、含尘气体通过长为 4m、宽为 3m、高为 1m 的除尘室，已知颗粒的沉降速度为 0.03m/s，则该除尘室的生产能力为\_\_ $\text{m}^3/\text{s}$ 。
- 6、在长为 L、高为 H 的降尘室中，颗粒的沉降速度为  $\mu$ ，气体通过降尘室的水平流速为  $\mu$ ，则理论上颗粒能在降尘室内被 100% 分离的必要条件是\_\_。
- 7、从某焙烧炉出来的含尘气体，依次经过一台降尘室和一台旋风分离器进行除尘。若气体流量增加，则降尘室的除尘效率\_\_，旋风分离器的除尘效率\_\_。
- 8、恒压过滤时，恒压过滤方程式表明滤液体积与过滤时间的关系曲线为\_\_形状。
- 9、当洗涤压差与过滤终了时压差相同，洗液粘度与过滤粘度相近时，板框过滤机的洗涤速率  $(dV/dt)_w$  为过滤终了时速率  $(dV/dt)_F$  的\_\_倍。
- 10、恒压过滤实验中，测得过滤时间  $t$  与单位面积滤液量  $q$  之间的关系为： $t=3740q-200$ （式中  $t$ -s， $q$ - $\text{m}^3/\text{m}^2$ ），则过滤常数  $K$ =\_\_，过滤介质的当量滤液量  $q_v$ =\_\_（注明单位）。
- 11、在无相变强制对传热过程中，热阻主要集中在\_\_；在蒸汽冷凝传热过程中，热阻主要集中在\_\_。
- 12、列管换热器制成多管程的目的时\_\_，壳程设置折流挡板的目的是\_\_。
- 13、设置保温层外包一层表面\_\_、颜色\_\_的金属，可使设备的热损失减少。
- 14、等板高度定义为\_\_。
- 15、某连续精馏塔，进料状态  $q=1$ ， $D/F=0.5$ （摩尔流率比）， $X_F=0.4$ （摩尔分率），回流比  $R=2$ ，且知提留段操作线方程的截距为零，则提留段操作线的斜率  $(L'/V')$  =\_\_，馏出液  $X_D$ =\_\_。
- 16、在连续精馏塔中进行全回流操作，已测得相邻实际塔板上液组成分别为  $x_{n-1}=0.7$ 、 $x_n=0.5$ （均为易挥发组分摩尔分率）。已知操作条件下相对挥发度为 3，则  $y_n$ =\_\_，第  $n$  板的液相单板效率  $E_{m1}$ =\_\_。
- 17、影响板式塔液沫夹带量的主要设计尺寸是\_\_和\_\_。
- 18、在多级逆流萃取中，要达到同样的分离程度，溶剂比愈大，则所需理论级数愈\_\_；当溶剂比最小值时，理论级数为\_\_。
- 19、在 B-S 部分互溶物系中加入溶质 A 组分，将使 B-S 互溶度\_\_。
- 20、在萃取设备中，分散相的形成可借助\_\_的作用来达到。
- 21、喷雾干燥器是一种处理\_\_物料，并且直接获得粉状产品的干燥装置。

22、一定湿度  $H$  的气体，当总压  $P$  加大时，露点温度  $t_d$ ；而当气体温度  $t$  升高时，则  $t_d$ 。

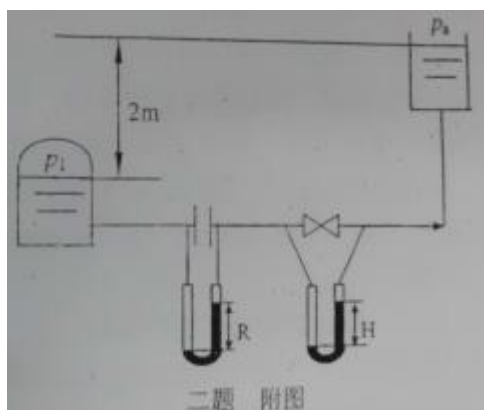
### 23、判断正误：

- (1) 萃取剂加入量应使原料和萃取剂的和点  $M$  位于溶解度曲线之上区。 ( )
- (2) 单级（理论）萃取中，在维持进料组成和萃取相浓度不变的条件下，若用含有少量溶质的萃取剂代替纯溶剂，所得萃余相浓度将减少。 ( )
- (3) 在精馏塔设计中，若  $x_F$ 、 $x_D$ 、 $R$ 、 $q$ 、 $x_w$  相同，则直接蒸汽加热与间接蒸汽加热相比， $N_{T\text{间}}$  大于  $N_{T\text{直}}$ ； $(D/F)$  间大于  $(D/F)$  直。 ( )
- (4) 湿球温度是大量空气与少量水在绝热条件下充分接触时所达到的平衡温度。 ( )
- (5) 在单级萃取操作中  $B-S$  部分互溶，用纯溶剂萃取，已知萃取相浓度  $y_A/y_B=11.5$ ，萃取相浓度  $x_A/x_B=1/3$ ，则选择性系数  $\beta$  为 6.6。 ( )

### 二、计算题（24 分）

如图所示，用压缩空气将密度为  $1100\text{kg/m}^3$  的碱液自低位槽送到高位槽中，两槽液位恒定。管路中装有一个孔板流量计和一个截止阀，已知管子规格为  $\Phi 57 \times 3.5\text{mm}$ ，直管与局部阻力当量长度（不包括截止阀）的总和为  $50\text{m}$ 。孔板流量计的流量系数为  $0.65$ ，孔径为  $30\text{mm}$ 。截止阀某一开度时，测得  $R=0.21\text{m}$ ， $H=0.1\text{m}$ ，U 型压差计的指示数均为汞（密度为  $13600\text{kg/m}^3$ ）。设流动为完全湍流，摩擦系数为  $0.025$ 。求：

- (1) 阀门的局部阻力系数；
- (2) 低位槽中压缩空气的压力；
- (3) 若压缩空气压力不变，而将阀门关小使流速减为原来的  $0.8$  倍，设流动仍未完全湍流，且孔板流量计的流量系数不变，则  $H$  与  $R$  变为多少？



### 三、计算题（20 分）

有一传热（外）面积为  $26\text{m}^2$  的单管程列管式换热器，换热管规格为  $\Phi 25 \times 2.5\text{mm}$ ，其中  $130$  度饱和水蒸汽在壳程冷凝来加热管内的某种溶液，溶液的初始温度为  $20$  度，平均比热容为  $4.18\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。换热器新投入使用时现场中测得：当溶液流量为  $6.8 \times 10^4\text{kg/h}$  时，可将其加热到  $80$  度；当溶液流量增加  $50\%$  时，可将其加热到  $73.5$  度。设流体在管内为湍流流动，换热管壁阻忽略不计，溶液的物性参数为常数。试求：

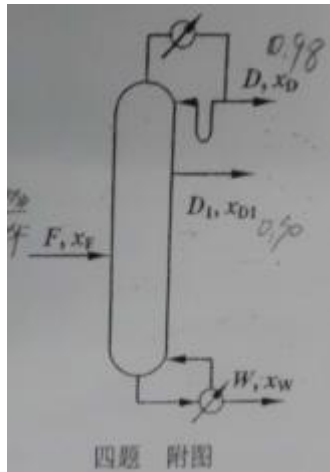
- (1) 两种工况下的传热系数
- (2) 原流量下溶液及水蒸气冷凝的对流给热系数；
- (3) 若该换热器使用一年后，由于溶液结垢，在原流量下其出口温度只能达到  $75$  度，计算污垢热阻值。

### 四、计算题（20 分）

如图所示的苯和甲苯混合液精馏塔，原料量为  $100\text{kmol/h}$  进料组成为  $0.50$ （易挥发组分的摩尔分率，下同），进料为饱和液体状态，塔顶蒸汽采用全凝器，馏出液组成为  $0.98$ 。塔

上部侧线产品为饱和液体，其中易挥发组分的收率为  $1/3$ ，且其组成为  $0.90$ ，釜液组成为  $0.03$ 。物系在操作条件下的相对挥发度为  $2.5$ ，设最佳位置进料。试求：

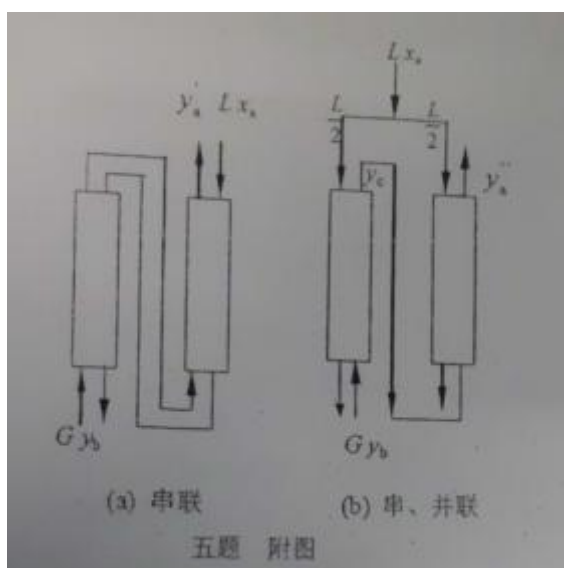
- (1) 塔顶、塔底及侧线抽出产品的流量；
- (2) 用公式等说明最小回流比出现在精馏塔何处，并计算出最小回流比；
- (3) 若操作回流比为最小回流比的  $2.15$  倍，写出塔顶与侧线间以及侧线与进料间的操作线方程。



### 五、计算题（24 分）

在一塔径为  $1\text{m}$  的常压逆流填料塔中用清水吸收某可溶组分，混合气体溶质含量为  $0.05$ （摩尔含量，下同），已知混合气的处理量为  $2800\text{m}^3/\text{h}$ （标准状态），操作条件系数下的平衡关系为  $y^*=1.2x$ ，气体总体积传质系数为  $180\text{kmol}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$ ，吸收剂用量为最小用量的  $1.5$  倍，气体出塔溶质含量为  $0.01$ ，吸收过程为气膜控制。试求：

- (1) 吸收剂出塔浓度；
- (2) 完成上述任务所需的填料层高度；
- (3) 现为提高溶质的吸收率，另加一个完全相同的塔，计算在两种流体入口组成、流量计操作条件不变的前提下，采用如图 (a) 和 (b) 组合流程的吸收率各位多少？并画出两种组合流程时的吸收操作线。



### 六、计算题（12 分）



50kg 某物料在恒定干燥条件下进行干燥，物料的初始含水量 50%(湿基)，与干燥介质（空气）接触的面积为 2m<sup>2</sup>。由实验测得的干燥速率曲线如图所示。试求：

（1）除去物料中 24kg 水所需的干燥时间为多少时；

（2）将空气的质量流速  $G$  增大 1 倍，若临界湿含量不变，则干燥时间缩短为多少？（空气的对流给热系数  $\alpha$  正比于  $G^{0.8}$ ）

### 七、实验题（10 分）

利用一套管式换热器，测定空气-水蒸气换热器系统中空气的对流给热系数，并获得流体在管内强制湍流的对流给热系数关联式。

（1）说明需要测量那些数据，画出实验装置示意图，并在图上标出主要测量点；

（2）列出计算公式，说明如何由所测数据计算出空气的对流给热系数及各准数；

（3）说明在何种坐标纸中标绘准数关系线，以及如何获得准数关联式中的系数与指数。

# 北京化工大学

## 2014 年攻读硕士学位研究生入学考试

### 《化工原理》试题

- 1、答案必须写在答案纸上，写在试题上均不给分。
- 2、答题时可不抄题，但必须写清题号。
- 3、答案必须用蓝、黑墨水笔或圆珠笔，用红色或铅笔均不给分。

#### 一、填空题（每空 1 分，共计 40 分）

- 1、层流与湍流的本质区别在于\_\_。
- 2、一定质量流量的水在圆管内做定态流动，若水温升高，则雷诺数  $Re$ \_\_。
- 3、液体在圆形直管中定态流动，若管径一定而将流量增大一倍，则层流时能量损失是原来的\_\_倍；完全湍流时能量损失是原来的\_\_倍。
- 4、用转子流量计测量流体的流量，当流量增加一倍时，转子流量计的能量损失为原来的\_\_倍。
- 5、现用齿轮泵输送某种液体，采用旁路调节方式，若旁路阀关小。而其它条件保持不变，则齿轮泵提供的压头将\_\_。
- 6、降尘室的生产能力随含尘气体温度的升高而\_\_，原因\_\_。
- 7、离心分离因素是指\_\_。
- 8、恒压过滤某悬浮液，若过滤介质阻力忽略不计，且滤饼为不可压缩，则获得的滤液量与过滤时间的\_\_次方成正比；当过滤压差增大一倍时，同一过滤时间所得滤液量为原来的\_\_倍。
- 9、当洗涤压差与过滤终了时压差相同，洗涤粘度与滤液粘度相近时，叶滤机的洗涤速率与过滤终了时过滤速度的比值为\_\_。
- 10、聚式流化床的两种不正常操作现象分别是\_\_和\_\_。
- 11、一包有石棉泥保温层的高温管道，当石棉泥受潮后，其保温效果将变\_\_，原因\_\_。
- 12、在大容积沸腾时，应控制操作在\_\_阶段，在该阶段，沸腾给热系数随温度差的增加而\_\_。
- 13、在列管式换热器中安排液体的流程时，一般原则为具有腐蚀性、高压的流体是\_\_。被冷却的流体走\_\_。
- 14、对一定操作条件下的填料吸收塔，若增加填料层高度，则填料塔的  $HOG$  将\_\_， $NOG$  将\_\_。
- 15、对于某吸收塔，若所用操作液气比小于设计时的最小液气比，则其操作时的吸收率将\_\_该塔原设计的吸收率。若吸收剂入塔浓度降低。其他操作条件不变，则吸收率将\_\_，出口液相浓度将\_\_。
- 16、精馏塔操作时，若增大系统压强，则其相对挥发度将\_\_，塔顶温度将\_\_，塔釜温度将\_\_。
- 17、精馏塔的塔顶温度总是\_\_塔底温度，其原因之一\_\_，原因之二\_\_。
- 18、板式塔中液面落差 $\Delta$ 表示\_\_，为了减少液面落差，设计时可采取措施：\_\_。
- 19、设计填料塔时，空塔气速一般取\_\_气速的 50%到 80%，取该气速的原因是\_\_。

#### 20、判断正误

- (1) 已知物料的临界含水量为  $0.2\text{kg/kg}$  绝干料，空气的干球温度为  $t$ ，湿球温

度为  $t_w$ ，现将该物料之初始含水量  $X_1=0.45\text{kg 水/kg 绝干料}$  干燥至  $X_2=0.1\text{kg 水/kg 绝干料}$ ，则在干燥总了时物料表面温度  $t_m=t$ 。( )

(2) 选择性系数  $\beta$  = 无穷大存在于 B-S 完全不互溶物系中。( )

(3) 进行萃取操作时应使分配系数大于 1。( )

(4) 在 B-S 部分互溶物系中加入溶质 A 组分，将使 B-S 互溶度增大，恰当降低操作温度，B-S 互溶度增大。( )

(5) 干燥热敏物料时，为提高干燥速率，不宜采取的措施是提高干燥介质的温度。( )

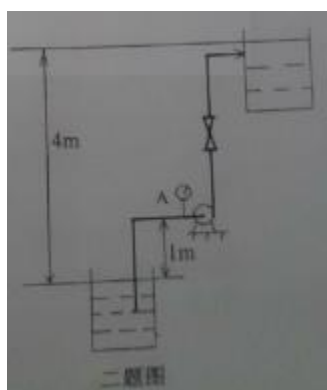
## 二、计算题 (22 分)

在一定的转速下，某离心泵在输送范围内的特性方程为  $H=18-0.046q_v^2$  ( $H-\text{m}$ ,  $q_v-\text{m}^3/\text{h}$ )。现用该泵将密度为  $1200\text{kg}/\text{m}^3$  的溶液从槽送到高位槽，两槽均为敞口，且液面维持恒定。已知输送管路为  $\Phi 45 \times 2.5\text{mm}$ ，泵吸入管路总长为  $20\text{m}$  (包括所有局部阻力的当量长度)，摩擦系数为  $0.022$ 。当调节阀全开时，泵入口处真空表读数  $P_a$  为  $0.028\text{MPa}$ 。试求：

(1) 管路系统的输液量。  $\text{M}^3/\text{h}$ ;

(2) 管路特性方程;

(3) 若操作中将泵的转速提高  $10\%$ ，则输液量变为多少?



## 三、计算题 (22 分)

欲设计一列管式换热器，用  $110^\circ\text{C}$  的饱和水蒸气将  $2100\text{kg}/\text{h}$  的常压空气由  $20^\circ\text{C}$  加热至  $85^\circ\text{C}$ 。设蒸汽冷凝热阻，管壁热阻及两侧污垢均可忽略不计，平均温度下空气的物性为  $\mu = 0.02\text{mpa}\cdot\text{s}$ ,  $c_p = 1.0\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\lambda = 0.029\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。

(1) 若初步选用单管程换热器，空气走管程，管束由  $120$  根  $\Phi 25 \times 2.4$  的钢管组成。试确定所需的管长;

(2) 若在实际生产中将该换热器制成双管程投入使用，设空气流量。进口温度及水蒸气温度均不变，则空气的出口温度将达到多少? (空气的物性可认为近似不变)

## 四、计算题 (20 分)

采用常压连续精馏塔分离二元理想混合液。塔顶蒸汽通过分凝器后， $60\%$  的蒸汽冷凝成液体作为回流液，其组成为  $0.86$ ，其余未凝的蒸汽再经全凝器后全部冷凝，并作为塔顶产品送出，其组成为  $0.90$  (以上均为轻组分的摩尔分数)。若已知操作回流比为最小回流比的  $1.2$  倍。泡点进料，塔顶第一块板以液相组成表示的默弗里板效率为  $0.60$ 。试求：

(1) 精馏板操作线方程;

(2) 由第二块板进入第一块板的气相组成;

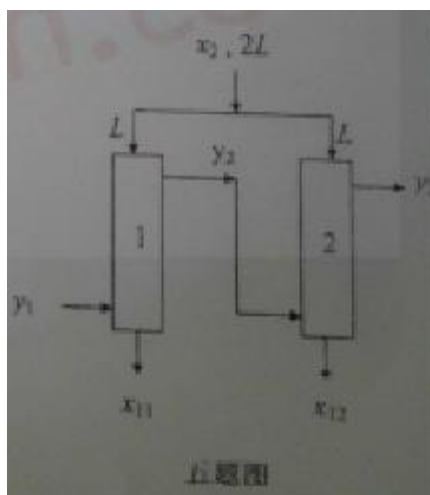
(3) 原料液的组成。

## 五、计算题 (22 分)

如附图所示, 用两个完全相同的填料塔吸收混合气体中的溶质 A, 填料塔的塔径为 1m, 混合气体处理量为 0.4 标准 m<sup>3</sup>/s, 溶质含量为 0.05 (摩尔分数), 每个塔中均用喷淋量为 0.71kmol/s 的清水吸收溶质 A, 要求总吸收率为 99%, 操作条件下的相平衡关系为  $y_e=35x$ ,  $K_{ra}=0.86\text{kmol}/(\text{m}^3\cdot\text{s})$ 。试求:

(1) 两个塔的塔高为多少 m?

(2) 若因故混合气体中溶质浓度提高了, 试用具体的分析过程说明吸收率如何变化?



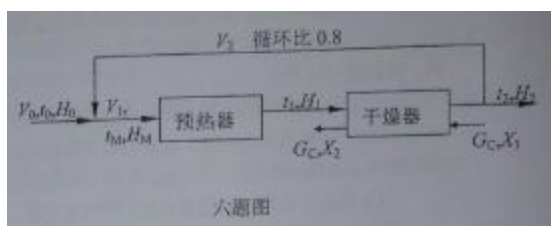
## 六、计算题 (14 分)

在常压连续逆流干燥器中干燥某湿物料, 采用部分废气循环流程, 由干燥器出来的部分废气与新鲜空气混合后进入预热器, 达到一定温度后再送入干燥器。已知新鲜空气的温度为 25 度, 湿度为 0.005kg 水汽/kg 干气, 废气的温度为 40 度、湿度为 0.034kg 水汽/kg 干气, 循环比 (循环废气中绝干空气质量与混合气中绝干气体质量之比) 为 0.8, 湿物料的处理量为 1000kg/h, 湿基含水量由 50% 下降至 3%。干燥过程可视为等焓干燥过程。试求:

(1) 在 L-H 图上定性绘出空气的状态变化过程;

(2) 新鲜空气用量 (kg 湿空气/h)

(3) 若因气体离开干燥器进入管道温度下降 10 度, 判断物料是否会返潮。已知 30 度时水的饱和蒸汽压为 4.25kpa。



## 七、实验题 (10 分)

1、在用空气解吸富氧水中氧的实验中, 测定液相总体积传质系数  $K_{xa}$ 。若空气的流量一定而增加富氧水的流量, 则  $K_{xa}$  如何变化? 若富氧水流量一定而增加空气的流量,  $K_{xa}$  又将如何变化? 为什么?

2、已知乙醇-丙醇混合物系的相平衡数据, 现欲在全回流下测定一精馏塔的全塔效率及某块塔板的液相弗里板效率, 试说明实验中需要测那些数据, 并说明如何所测数据计算出全塔效率及默弗里板效率。