

化工原理

800 例

(第2版)

王 湛 主编
周 翀 武文娟 付 昕 等编



國防工業出版社

National Defense Industry Press

化工原理800例

第2版

王湛 主编

周 翀 武文娟 付 昕 等编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工原理 800 例/王湛主编;周耕,武文娟,付昕等编.

2 版. —北京:国防工业出版社, 2007. 1

ISBN 7-118-03929-2

I. 化... II. ①王...②周...③武...④付...

III. 化工原理 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 128347 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 13% 字数 369 千字

2007 年 1 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

化工原理是高等学校化工专业开设的一门专业基础必修课,是以高等数学、物理、物理化学等为基础的后续课程。在教学计划中,它是一门将理论与实践紧密联系的学科,在自然学科与应用学科之间发挥桥梁纽带作用。学习化工原理的任务是掌握化工生产过程的基本原理、单元操作所用典型设备的计算、选型和优化等基础知识,目的是培养提高学生运用工程观点分析和解决各种化工实际问题的能力。

全书紧扣中华人民共和国教育部最新制定的面向 21 世纪《化工原理》教学大纲和 2004 年制定的注册化工工程师执业资格考试基础考试《化工原理》考试大纲的基本要求,是在国防工业出版社 2005 年出版的《化工原理 800 例》一书的基础上,经修改、增补而成的第 2 版,同第 1 版相比,新增了气液传质设备、膜分离、浸取和搅拌四章。全书由基本知识、填空、计算和公式推导四部分组成,包括流体流动、流体输送机械、流体通过颗粒层的流动、颗粒的沉降和流态化、传热、气体吸收、液体精馏、液液萃取、固体干燥、气液传质设备、膜分离、浸取和搅拌等内容。书中习题是从大量的参考资料中精选而来的,短小精悍,紧扣基本概念、基本知识,可使读者在最短的时间内巩固所学内容,迅速提高解题技巧,达到事半功倍的效果。本书是学习《化工原理》的理想书籍,也是广大读者应对各类测试的重要复习资料。

王湛编写第一章、第二章、第三章、第四章和第九章;周翀编写第六章、第七章和第十一章,并修订全书的答案;武文娟编写第五章、第八章、第十三章、各章的证明题及其解答,并扫描第 1 版书中的图片;姚苗苗编写第十章;储金树编写等十二章;付昕验算了第 1 版中的全部习题。在本书的编写过程中,参考了大量相关书籍和研究成果,在此谨向诸位老师及同仁表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免疏漏和不当之处,敬请广大师生和读者批评指正,请发邮件到 wangzh@bjut.edu.cn。

编 者

2006 年 9 月于平乐园

目 录

第一章 流体流动	1
第二章 流体输送机械	74
第三章 流体通过颗粒层的流动	109
第四章 颗粒的沉降和流态化	133
第五章 传热	154
第六章 气体吸收	226
第七章 液体精馏	276
第八章 液液萃取	327
第九章 固体干燥	355
第十章 气液传质设备	389
第十一章 膜分离	398
第十二章 浸取	419
第十三章 搅拌	428
参考文献	438

第一章 流体流动

一、基本知识

1. 化工原理中的“三传”是指_____。
① 动能传递、势能传递、化学能传递
② 动能传递、内能传递、物质传递
③ 动量传递、能量传递、热量传递
④ 动量传递、热量传递、质量传递
2. 下列单元操作中属于动量传递的有_____。
① 流体输送 ② 蒸发 ③ 气体吸收 ④ 结晶
3. 下列单元操作中属于质量传递的有_____。
① 搅拌 ② 液体精馏 ③ 萃取 ④ 沉降
4. 下列单元操作中属于热量传递的有_____。
① 固体流态化 ② 加热冷却 ③ 搅拌 ④ 沉降
5. 下列单元操作中属于热量、质量同时传递的有_____。
① 过滤 ② 萃取 ③ 搅拌 ④ 干燥
6. 下列各力中属于体积力的是_____。
① 压力 ② 摩擦力 ③ 重力 ④ 离心力
7. 下列各力中属于表面力的是_____。
① 压力 ② 离心力 ③ 剪力 ④ 重力
8. 研究化工流体时所取的最小考察对象为_____。
① 分子 ② 离子 ③ 流体质点 ④ 流体介质
9. 化工原理中的流体质点是指_____。
① 与分子自由程相当尺寸的流体分子
② 比分子自由程尺寸小的流体粒子
③ 与设备尺寸相当的流体微团

- ④ 尺寸远小于设备尺寸,但比分子自由程大得多的含大量分子的流体微团

10. 化工原理中的连续流体是指_____。

- ① 流体的物理性质是连续分布的
- ② 流体的化学性质是连续分布的
- ③ 流体的运动参数在空间上连续分布
- ④ 流体的物理性质及运动参数在空间上做连续分布,可用连续函数来描述

11. 对于流体的流动,通常采用的两种不同的考察方法是_____。

- ① 牛顿法和质量守恒法
- ② 机械能守恒法和动量守恒法
- ③ 质量守恒法和动量守恒法
- ④ 欧拉法和拉格朗日法

12. 拉格朗日法的具体内容为_____;而欧拉法则为_____。

- ① 选定运动空间各点进行考察
- ② 选定几何意义上的点进行考察
- ③ 选定固定位置观察流体质点的运动情况,直接描述各有关运动参数如速度、压强、密度等在指定空间和时间上的变化
- ④ 选定一个流体质点,对其跟踪观察,描述其运动参数(如位移、速度等)与时间的关系

13. 轨线和流线在_____是一致的。

- ① 连续流动时
- ② 非稳态脉动流动时
- ③ 稳态(定态)流动时
- ④ 喷射流动时

14. 黏性的物理本质是_____。

- ① 促进流体流动产生单位速度的剪应力
- ② 流体的物理性质之一,是造成流体内部摩擦的原因
- ③ 影响速度梯度的根由
- ④ 分子间的引力和分子的运动与碰撞,是分子微观运动的一种宏观表现

15. 据牛顿黏性定律,黏度的定义可用数学式表示如下:

21. 流体静力学基本方程式: $p_2 = p_1 + \rho g(Z_1 - Z_2) = p_1 + \rho gh$ 的适用条件是_____。

- ① 重力场中静止流体
- ② 重力场中不可压缩静止流体
- ③ 重力场中不可压缩连续静止流体
- ④ 重力场中不可压缩静止、连通的同一连续流体

22. 如图 1-1 所示的开口容器内盛有油高度为 h_1 和水高度为 h_2 及 h , 则 B 与 B' 点之间压强大小之间的关系为_____ (B 与 B' 点处于同一水平面)。

- ① $p_B > p'_B$
- ② $p_B < p'_B$
- ③ $p_B = p'_B$
- ④ 无法比较

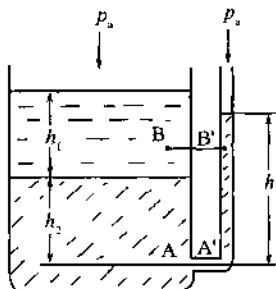


图 1-1

23. 改善测量精度, 减少 U 形压差计测量误差的方法有_____。

- ① 减少被测流体与指示液之间的密度差
- ② 采用倾斜式微压计 (将细管倾斜放置的单杯压强计)
- ③ 双液杯式微压计
- ④ 加大被测流体与指示液之间的密度差

24. 如图 1-2 所示, A、B 两断面分别位于直管段内, 并在两断面装上 U 形管和复式 U 形管压强计。两压强计内指示液相同, 复式 U 形管压强计的中间流体和管内流体相同。则读数 R_1 、 R_2 、 R_3 之间关系为_____。

- ① $R_1 = R_2 + R_3$
- ② $R_3 = R_1 + R_2$
- ③ $R_2 = R_1 + R_3$
- ④ R_1 、 R_2 、 R_3 间无定量关系存在

25. 如图 1-3 所示, 在断面 A 和 B 处接一空气压差计, 其读数为 R , 两测压点间垂直距离为 a , 则 A、B 两点间压差为_____。

- ① $p_A - p_B = gR\rho_{\text{指}}$
- ② $p_A - p_B = gR(\rho_{\text{指}} - \rho_{\text{空}})$
- ③ $p_A - p_B = gR(\rho_{\text{指}} - \rho_{\text{空}}) + \rho_{\text{指}}ga$
- ④ $p_A - p_B = gR\rho_{\text{空}} + \rho_{\text{空}}ga$

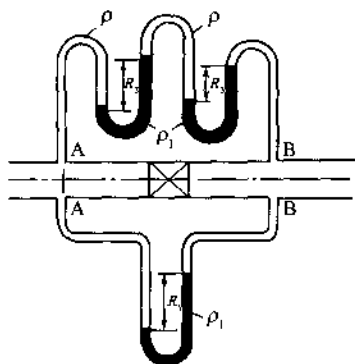


图 1-2

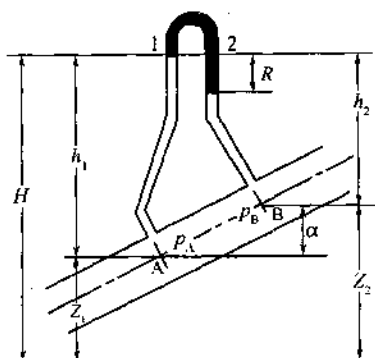


图 1-3

26. 如图 1-4 所示,两容器内盛同一密度液体。当 U 形管接于 A、B 两点时,读数各为 R_1 和 R_2 。现将测压点 A 和压强计一起下移 h ,则 R_1 和 R_2 的变化为_____。

- ① R_1 增大, R_2 不变 ② R_1 不变, R_2 增大
③ R_1 、 R_2 均不变 ④ R_1 、 R_2 均增大
27. 如图 1-5 所示,在盛有密度为 ρ_0 某气体的容器壁两侧分别接一个 U 形管压强计和双杯式微压计, U 形管压强计内指示液密度为 ρ_1 ,微压计使用 ρ_1 和 ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$) 两种指示液。微压计液杯直径为 D , U 形管直径为 d ,则考虑杯内液面变化时, R 、 R_1

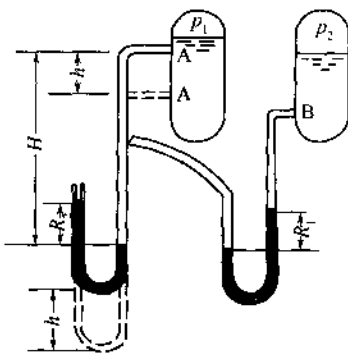


图 1-4

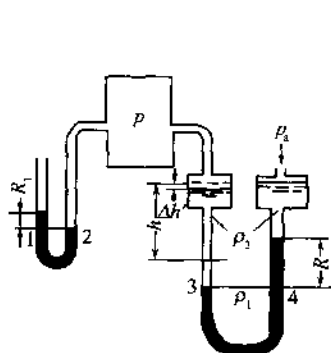


图 1-5

的表示式为_____；不考虑杯内液面变化时， R 、 R_1 的表示式为_____。

$$\textcircled{1} R = \frac{p - p_a}{g(\rho_1 - \rho_2) + \rho_2 g \frac{d^2}{D^2}}, R_1 = \frac{p - p_a}{g(\rho_1 - \rho_0)}$$

$$\textcircled{2} R = \frac{p - p_a}{g(\rho_1 - \rho_2)}, R_1 = \frac{p - p_a}{g(\rho_1 - \rho_0)}$$

$$\textcircled{3} R = \frac{p - p_a}{g(\rho_1 - \rho_0)}, R_1 = \frac{p - p_a}{g(\rho_1 - \rho_0)}$$

28. 今有两种黏度较大相互不混溶的流体甲、乙，被装入如图1-6所示的连通器，自由液面等高且通大气。若图示的 A、B 截面位于同一水平面，下列四组判断中合理的是_____。

$$\textcircled{1} p_A > p_B; \rho_{\text{甲}} < \rho_{\text{乙}}$$

$$\textcircled{2} p_A < p_B; \rho_{\text{甲}} < \rho_{\text{乙}}$$

$$\textcircled{3} p_A = p_B; \rho_{\text{甲}} < \rho_{\text{乙}}$$

$$\textcircled{4} p_A = p_B; \rho_{\text{甲}} = \rho_{\text{乙}}$$

29. 如图1-7所示的 U 形管中，I、II、III 为密度不同的三种液体。A-A'、B-B' 为等高液位面。位于同一水平面上的点 1、点 2 处的静压 p_1 与 p_2 的大小为_____。

$$\textcircled{1} p_1 > p_2$$

$$\textcircled{2} p_1 < p_2$$

$$\textcircled{3} p_1 = p_2$$

$$\textcircled{4} \text{无法比较}$$

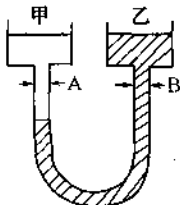


图 1-6

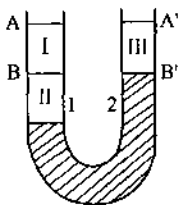


图 1-7

30. 流体流动时遵循的守恒定律有_____。

$$\textcircled{1} \text{质量守恒}$$

$$\textcircled{2} \text{能量守恒}$$

$$\textcircled{3} \text{动量守恒}$$

31. 不可压缩流体在均匀直管内作定态流动时，平均速度沿流动方向的变化为_____。

$$\textcircled{1} \text{增大}$$

$$\textcircled{2} \text{减小}$$

$$\textcircled{3} \text{不变}$$

$$\textcircled{4} \text{无法确定}$$

32. 若不可压缩连续理想流体在重力场中作定态流动且流动微元

在流动过程中与其他微元之间未发生机械能交换,则方程 $gZ + \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} = \text{常数}$, 可用于_____。

- ① 沿轨线的机械能衡算
- ② 沿流线的机械能衡算
- ③ 沿管流任意流段处的机械能衡算
- ④ 沿管流均匀流段处(流线均为平行的直线且与截面垂直)的机械能衡算

33. 将伯努利方程推广应用到实际黏性流体在管道中的流动时, 需要考虑_____。

- ① 不做任何改变
- ② 用截面上的平均动能代替伯努利方程中的动能项
- ③ 必须计入黏性流体流动时因摩擦而导致机械能损耗(阻力损失)
- ④ 同时考虑②、③中所列因素

34. 对动能校正系数 α 做出正确论断的有_____。

- ① 平均动能与按平均速度计算的动能之间的校正系数 α
- ② 校正系数 α 与速度分布形状有关
- ③ 流体在圆管内作层流流动时, 以平均速度计算平均动能时, 校正系数 α 值等于 2.0
- ④ 校正系数 α 与速度分布形状无关

35. 对于不可压缩流体而言, 下列有关动能校正系数 α 各表达式中错误的是_____。

- | | |
|---|--|
| ① $\left(\frac{\bar{u}^2}{2}\right) = \frac{\alpha \bar{u}^2}{2}$ | ② $\alpha = \frac{1}{\bar{u}^3 A} \int_A u^3 dA$ |
| ③ $\alpha = u/\bar{u}$ | ④ $\alpha = \frac{1}{u_{\max} A} \int_A u^3 dA$ |

36. 流体流动的流型包括_____。

- ① 层流(滞流)
- ② 湍流(紊流)
- ③ 过渡流
- ④ 扰动流

37. 根据雷诺数 Re 的大小可将流体的流动区域划分为_____。

- ① 层流区 ② 过渡区 ③ 湍流区 ④ 开放

38. 对湍流概念描述不正确的是_____。

- ① 湍流时流体质点在沿管轴流动的同时还做着随机的脉动
② 湍流的基本特征是出现了速度的脉动。它可用频率和平均振幅两个物理量来粗略描述,而且脉动加速了径向的动量、热量和质量的传递
③ 湍流时,动量的传递不仅起因于分子运动,而且来源于流体质点的脉动速度,故动量的传递不再服从牛顿黏性定律
④ 湍流时,若仍用牛顿黏性定律形式来表示动量的传递,则黏度和湍流黏度均为流体的物理性质

39. 流体在圆形直管中流动时,判断流体流型的准数为_____。

- ① Re ② Nu ③ Pr ④ Fr

40. 在高度湍流条件下,流体的流动区域由_____构成。

- ① 湍流核心 ② 层流内层 ③ 湍流边缘 ④ 过渡层

41. 定态牛顿型流体在圆管内作层流流动时,下列各式中错误的是_____。

- ① $\tau = \pm \mu \frac{du}{dr}$ ② $u = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$
③ $\bar{u} = \frac{1}{2} u_{\max}$ ④ $u = 0.8 u_{\max}$

42. 下面一段话中,A ~ C 代表不同的意义有 1 种 ~ 5 种答案,答案正确的为_____。

“圆形导管内流体流动的摩擦损失,层流时与流速的[A]成正比,湍流时与流速的[B]成正比,其比例系数是雷诺准数和管内壁的粗糙程度的函数。对于光滑管道,雷诺数越大,摩擦系数越[C]。”

[A]

[B]

[C]

①

一次方

二次方

小

- | | | | |
|---|-----|-------|---|
| ② | 一次方 | 二次方 | 大 |
| ③ | 二次方 | 一次方 | 小 |
| ④ | 二次方 | 一次方 | 大 |
| ⑤ | 二次方 | 二分之一方 | 大 |

43. 有一串联管道, 分别由管径为 d_1 与 d_2 的两管段串接而成, $d_1 < d_2$ 。某流体稳定流过该管道。今已知 d_1 管段内流体呈滞流, 则流体在 d_2 管段内的流型为_____。

- ① 湍流 ② 过渡流 ③ 层流 ④ 需计算确定

44. 若已知流体在不等径串联管路的最大管径段刚达湍流, 则在其他较小管径段中流体的流型_____。

- ① 必定也呈湍流 ② 可能呈湍流也可能呈滞流
③ 只能呈滞流 ④ 没有具体数据无法判断

45. 下列对边界层描述正确的是_____。

- ① 流速降为未受边壁影响流速的 99% 以内的区域称为边界层
② 边界层有层流边界层和湍流边界层之分
③ 对于管流而言, 仅在进口附近一段距离内(稳定段)有边界层内外之分, 经稳定段后, 边界层扩大到管心, 汇合时, 若边界层内流动是滞流, 则以后的管流为滞流。若汇合之前边界层内流动为湍流, 则以后的管流为湍流
④ 由于固体表面形状造成边界层分离而引起的能量损耗称为形体阻力
⑤ 流体在圆形直管内稳态流动时, 在稳定段内, 管内各截面上的流速分布和流型保持不变

46. 下面有关直管阻力损失与固体表面间摩擦损失论述中错误的是_____。

- ① 固体摩擦仅发生在接触的外表面, 摩擦力大小与正压力成正比
② 直管阻力损失发生在流体内部, 紧贴管壁的流体层与管壁之间并没有相对滑动

- ③ 实际流体由于具有黏性,其黏性作用引起的直管阻力损失也仅发生在紧贴管壁的流体层上
47. 对于无法用理论解析方法解决的问题,通过实验研究,获得经验计算式的实验研究方法是化工中常用的研究方法,它由下面_____组成。
- ① 对所研究的过程作初步的实验和尽可能的分析以列出影响过程的主要因素
 - ② 通过无因次化减少变量数
 - ③ 采用函数逼近法(常以幂函数逼近待求函数)确定函数形式
 - ④ 采用线性化方法确定参数
48. 下面论述中正确的是_____。
- ① 因次分析法提供了减少变量的有效手段,从而可大大减少实验工作量
 - ② 任何物理方程,等式两边或方程中的每一项均具有相同的因次,因此都可以转化为无因次形式
 - ③ 无因次分析方法的使用使得人们可将小尺寸模型的实验结果应用于大型装置,可将水、空气等的实验结果推广应用于其他流体
 - ④ 使用因次分析法时需对过程机理做深入理解
49. 下面论述中错误的是_____。
- ① 作为基本因次,应具备彼此独立、不能相互导出的特征
 - ② 力学中的基本因次有三个:质量、长度和时间
 - ③ 热学中的基本因次有四个:质量、长度、时间和温度
 - ④ 无因次化时作为初始变量的必须是基本因次的物理量,因为这样才可保证选定初始变量的因次互相独立,彼此间不能组成无因次数群
50. 根据 π 定理可知下列论断中正确的是_____。
- ① 任何物理方程必可转化为无因次形式
 - ② 无因次数群的个数等于原方程的变量总数减去基本因

次数

- ③ 无因次数群的个数等于基本因次数
- ④ 使得无因次数群具有明确的物理意义

51. “因次一致”是“物理方程”的_____。

- ① 必要条件 ② 充分条件
- ③ 充要条件 ④ 两者无关

52. 对于流体在非圆形管中的流动来说,下列论断中错误的是_____。

- ① 雷诺数中的直径用当量直径来代替
- ② 雷诺数中的速度用当量直径求得的速度来代替
- ③ 雷诺数中的速度用流体的真实速度来代替

53. 下列有关局部阻力论断中错误的是_____。

- ① 局部阻力损失是由于流道的急剧变化使边界层分离而引起的
- ② 局部阻力可用局部阻力系数和当量长度两种方法来进行计算
- ③ 在不同两截面之间列机械能衡算式时,若所取截面不同,不会影响到局部阻力的总量

54. 对于城市供水、煤气管线的铺设应尽可能属于_____。

- ① 总管线阻力可略,支管线阻力为主
- ② 总管线阻力为主,支管线阻力可以忽略
- ③ 总管线阻力与支管线阻力势均力敌

55. 根据具体输送任务,设计选取具体管径的步骤包括_____。

- ① 根据总费用最小(每年的操作费用与按使用年限的设备折旧费之和最小)的原则决定最经济合理的管径
- ② 将①中算出的管径根据管道标准进行圆整
- ③ 对小管径还需考虑结构上的限制

56. 据 $\lambda \sim Re - \varepsilon/d$ 曲线图,除阻力平方区(即惯性阻力区)外,下列分析中错误的是_____。

- ① 流动阻力损失占流体动能的比例随雷诺值的增大而下降

- ② 雷诺值增大,摩擦系数下降,流体阻力损失将减小
 ③ 随着雷诺值的增大,管壁粗糙度对流动的影响增强
 ④ 随着雷诺值的增大,流体黏度对流动的影响将相对削弱
57. 流体在圆形直管中流动时,若流动已进入完全湍流区,则摩擦系数 λ 与 Re 的关系为:随 Re 增加, λ _____。
- ① Re 增加, λ 增加 ② Re 增加, λ 减小
 ③ Re 增加, λ 基本不变 ④ Re 增加, λ 先增加后减小
58. 有人希望使管壁光滑些,于是在管道内壁搪上一层石蜡。倘若输送任务不变,且流体呈层流流动,流动的阻力将会_____。
- ① 不变 ② 增大
 ③ 减小 ④ 阻力的变化决定于流体和石蜡浸润情况
59. 图 1-8 中,流体的一次减速,由 u_1 降至 u_2 (b) 与流体的二次减速,由 u_1 降至 u ,再由 u 降至 u_2 (a), _____ 方式局部损耗大。
- ① 由 u_1 一次降到 u_2 局部损耗较大
 ② 由 u_1 经 u 再由 u 降至 u_2 局部损耗大些
 ③ (a)、(b) 情况损耗一样
 ④ 要通过计算方能比较

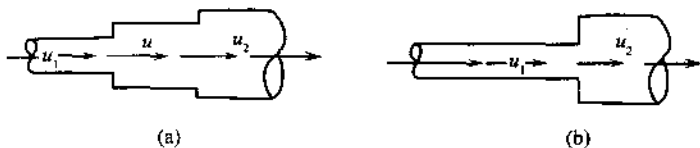


图 1-8

60. 提高流体在直管中的流速,流动的摩擦系数 λ 与沿程阻力损失 h_f 的变化规律为_____。
- ① λ 将减小, h_f 将增大 ② λ 将增大, h_f 将减小
 ③ λ 、 h_f 都将增大 ④ λ 、 h_f 都将减小
61. 计算管路系统突然扩大和突然缩小的局部阻力时,速度 u 值应取_____。
- ① 上游截面处流速 ② 下游截面处流速