



华中师范大学出版基金丛书
高校教材系列

化学工程基础 学习指导与习题解答

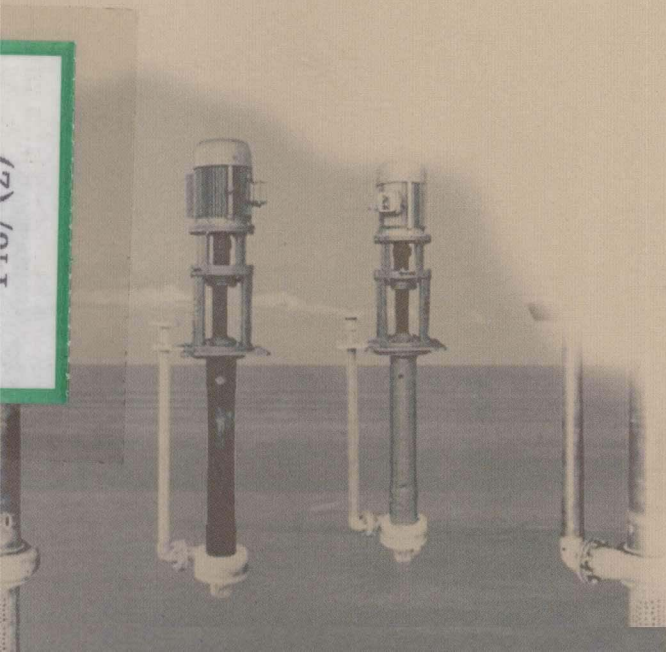
陈义锋 吴正舜 张玉敏 编著

C B J J



华中师范大学

出版社





华中师范大学出版基金丛书
高校教材系列

TQ02
148/(2)



本书由华中师范大学出版社提供的出版基金全额资助

化学工程基础学习指导与习题解答

陈义锋 吴正舜 张玉敏 编著

 华中师范大学出版社

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

化学工程基础学习指导与习题解答/陈义锋,吴正舜,张玉敏编著. —武汉:
华中师范大学出版社,2010.6

ISBN 978-7-5622-4298-7

I. ①化… II. ①陈… ②吴… ③张… III. ①化学工程—高等学校—教学
参考资料 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 089906 号

化学工程基础学习指导与习题解答

© 陈义锋 吴正舜 张玉敏 编著

责任编辑:孙秋香

责任校对:罗 艺

封面设计:罗明波

编辑室:文字编辑室

电话:027-67863220

出版发行:华中师范大学出版社

社址:湖北省武汉市珞喻路 152 号

电话:027-67867076(发行部) 027-67861321(邮购)

传真:027-67863291

网址:<http://www.ccnupress.com>

电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

印刷:武汉理工大印刷厂

督印:章光琼

字数:245 千字

开本:787mm×960mm 1/16

印张:15

版次:2010 年 6 月第 1 版

印次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印数:1-1500

定价:29.00 元

欢迎上网查询、购书

敬告读者:欢迎举报盗版,请打举报电话 027-67861321

内容简介

本书是与化学工业出版社出版、华中师范大学主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《化学工程基础》(第二版)配套的辅导用书,是针对《化学工程基础》书中所讲的主要内容而编写的,其目的在于帮助读者对课程的内容加深理解,并且熟练运用理论知识解决实际问题。

本书包括流体流动过程、传热、蒸发、吸收、精馏、萃取、干燥和化学反应工程学等章。每章均包括知识要点和习题详解内容,其中“知识要点”给出了每一章的基本概念、计算公式及注意事项,对于知识的脉络一目了然。“习题详解”注重分析,解题步骤详细,读者针对这部分内容最好是先将题目自己做一遍,然后对照解答比较解题方法和思路,这样会收到更好的效果。通过这些内容的学习,可以使读者达到巩固基本概念、引导思考、提高分析和解决工程实际问题的能力的目的。为了便于学习、提高解题能力,本书还选编了单元综合测试题及期末考试题。另外由于原教材中有些参数未列入,所以本书后附录中列出了各种参数,方便读者学习时查阅。

本书可作为高等院校应用化学、化工、化学及相关专业学生学习“化工原理”或“化学工程基础”课程的参考书,也可以作为教师教授本课程的参考书,还可以作为从事化工工作的技术人员自学参考书。

前 言

“化学工程基础”是应用化学专业、化学教育专业及相近专业的主干课程。本课程与工程实际联系非常紧密,具有鲜明的工程特性,涉及大量的工程计算问题,要想学好这门课就必须做大量的练习,通过做习题让学生掌握这门课程的基本理论、基本思想和基本方法,树立工程观点,学会用工程观点和方法分析、解决工程实际问题。在多年的教学实践中,我们发现仅仅依靠有限的课堂教学和部分的习题是无法达到这一目标的,为此编写了《化学工程基础学习指导与习题解答》。

本书是与化学工业出版社出版、华中师范大学主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《化学工程基础》(第二版)配套的辅导用书,内容涵盖流体流动过程、传热、蒸发、吸收、精馏、萃取、干燥等单元操作以及化学反应工程学。为了便于自学,对《化学工程基础》教材中各章的习题进行了详细解答,还选编了单元综合测试题并进行了解答,另外编写了四套期末考试试卷。

本书由陈义锋、吴正舜、张玉敏编写,此外,在本书的编写过程中,得到了原教材作者的指导和帮助,本书由路平教授审阅,提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年5月于武汉

目 录

1 流体流动过程	(1)
1.1 知识要点	(1)
1.1.1 流体静力学	(1)
1.1.2 流体流动的基本方程式	(2)
1.1.3 管内流体流动现象	(4)
1.1.4 管内流体流动阻力	(5)
1.1.5 管路计算	(7)
1.1.6 流量的测量	(7)
1.1.7 流体输送机械	(8)
1.2 习题详解	(9)
2 传热	(27)
2.1 知识要点	(27)
2.1.1 热传导	(27)
2.1.2 对流传热	(29)
2.1.3 辐射传热	(31)
2.1.4 传热计算	(32)
2.2 习题详解	(35)
3 蒸发	(48)
3.1 知识要点	(48)
3.1.1 蒸发过程的计算	(48)
3.1.2 单效蒸发的计算	(49)
3.1.3 多效蒸发的计算	(51)
3.2 习题详解	(53)
4 吸收	(57)
4.1 知识要点	(57)
4.1.1 吸收过程的相平衡关系	(57)
4.1.2 菲克定律与双膜理论	(58)

4.1.3	传质速率方程	(60)
4.1.4	填料吸收塔的计算	(62)
4.2	习题详解	(63)
5	精馏	(72)
5.1	知识要点	(72)
5.1.1	双组分溶液的气液相平衡	(72)
5.1.2	简单蒸馏和平衡蒸馏	(73)
5.1.3	双组分连续精馏的计算	(74)
5.1.4	间歇精馏	(77)
5.2	习题详解	(78)
6	萃取	(88)
6.1	知识要点	(88)
6.1.1	三元体系的液-液平衡关系	(88)
6.1.2	单级萃取的计算	(91)
6.1.3	多级错流萃取的计算	(92)
6.1.4	多级逆流萃取的计算	(92)
6.2	习题详解	(96)
7	干燥	(100)
7.1	知识要点	(100)
7.1.1	湿空气的性质及湿度图	(100)
7.1.2	干燥过程的物料衡算和热量衡算	(103)
7.1.3	干燥速率和干燥时间的计算	(105)
7.2	习题详解	(106)
8	化学反应工程学	(112)
8.1	知识要点	(112)
8.1.1	概述	(112)
8.1.2	物料在反应器内的流动模型	(112)
8.1.3	理想均相反应器的计算	(113)
8.1.4	物料在反应器内的停留时间分布	(119)
8.2	习题详解	(121)
9	单元综合测试题及期末考试题选	(132)
附录 1	SI 制与其他单位制的换算关系	(209)
附录 2	某些气体的重要物理性质	(210)

附录 3	某些液体的重要物理性质	(211)
附录 4	干空气的物理性质($p=101.33\text{kPa}$)	(212)
附录 5	水的重要物理性质	(213)
附录 6	饱和水蒸气性质(以温度为准)	(214)
附录 7	饱和水蒸气性质(以压强为准)	(216)
附录 8	常用金属的导热系数	(218)
附录 9	常用非金属的导热系数	(219)
附录 10	无机盐溶液在大气压下的沸点	(220)
附录 11	某些流体在管道内常用流速范围	(221)
附录 12	列管换热器的传热系数的参考值	(222)
附录 13	管子的规格	(223)
附录 14	某些工业管路的绝对粗糙度	(225)
附录 15	泵规格(摘录)	(226)
附录 16	某些气体溶于水时的亨利系数	(228)
附录 17	物质的扩散系数	(229)
附录 18	二元物系气—液平衡组成	(230)
参考文献	(231)

1 流体流动过程

1.1 知识要点

1.1.1 流体静力学

1. 流体的热力学属性

(1) 密度

单位体积流体所具有的质量称为密度,用“ ρ ”表示。 $\rho = \frac{m}{V}$,单位 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。各种流体其密度各不相同,流体的密度都是随压力和温度而变化的, $\rho = f(p, T)$ 。

① 液体混合物

压力对液体的密度影响较小,通常忽略不计, $\rho = f(T)$,即液体常视为不可压缩流体。化工生产中,处理的流体多半是几种组分的混合物。对于混合液体,其平均密度($\bar{\rho}$)的计算式为:

$$\frac{1}{\bar{\rho}} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} + \dots + \frac{w_n}{\rho_n}$$

式中: $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ —液体混合物中各组分的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

w_1, w_2, \dots, w_n —液体混合物中各组分的质量分数。

② 气体混合物

气体具有压缩性和膨胀性,气体的密度随压力和温度的变化较大,即 $\rho = f(p, T)$,称为可压缩性流体。

对于理想气体: $\rho = \frac{pM}{RT}$

对于压力不太高、温度不太低的工程计算,混合气体的密度可近似地按理想气体状态方程计算,但式中气体分子的摩尔质量 M 用混合气体的平均摩尔质量 \bar{M} 代替。

即: $\bar{M} = M_1 y_1 + M_2 y_2 + \dots + M_n y_n$

气体混合物的平均密度也可按下式进行计算: $\bar{\rho} = \rho_1 y_1 + \rho_2 y_2 + \dots$

+ $\rho_n y_n$

式中: M_1, M_2, \dots, M_n —混合物中各组分的摩尔质量, 单位 $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$;

y_1, y_2, \dots, y_n —混合物中各组分的摩尔分数(或体积分数)。

(2) 比体积

单位质量流体的体积称为流体的比体积(比容)

$$v = V/m = 1/\rho \quad \text{它是密度的倒数}$$

(3) 压力

单位面积上所受的流体垂直作用力称为流体的压强, 工程技术上习惯称为压力, 用“ p ”表示, $p = \frac{F}{A}$, 单位 Pa。

按测量基准不同, 压力的表示方式有两种:

① 绝对压力: 以绝对真空为基准测得的压力;

② 表压 / 真空度: 以大气压为基准测得的压力。

绝对压强、表压、真空度间的关系:

表压 = 绝对压强 - 大气压;

真空度 = 大气压 - 绝对压强。

2. 流体静力学方程

在不可压缩流体内, 对于静止流体中的任意两点 1 和 2, 则有:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} = \text{常数}, \text{此式为流体静力学方程, 表明在同一静止流体}$$

中, 处在不同位置流体的位能和静压能虽不相同, 但二者可以相互转换, 且其总和保持不变。此式也可以换算为:

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

3. 液体静力学基本方程的应用

(1) 压力测量: U 形管压差计、“Π”式压差计、单管压差计。

(2) 液位的测量。

(3) 确定液封高度。

1.1.2 流体流动的基本方程式

1. 流体的流动属性

(1) 流量

单位时间内流经管道某一截面的流体量称为经过该截面的流量, 分为质量流量 $q_m (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$ 和体积流量 $q_v (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$, 二者之间的关系为:

$$q_m = \rho q_v$$

(2) 流速

单位时间内,流体在流动方向上所流过的距离称为流速,以 u 表示,单位 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。流量和流速的关系为:

$$u = \frac{q_v}{A} \quad \text{和} \quad q_m = \rho A u$$

单位时间内流体流过管道截面积的质量称为质量流速,以 W 表示,单位 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其与流速及流量的关系为:

$$W = \frac{q_m}{A} = \frac{\rho A u}{A} = \rho u$$

(3) 管径的估算

输送流体管路的直径是根据流量和流速计算的。若以 d 表示管道内径,则:

$$u = \frac{q_v}{A} = \frac{q_v}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4 q_v}{\pi d^2}$$

$$\text{则: } d = \sqrt{\frac{4 q_v}{\pi \cdot 0.785 u}}$$

2. 流体的运动状态

流体在管道中流动时,在空间任何一点上的状态(流量、流速、压力等)不随时间而改变的流动称为定态流动;若各点的状态随时间变化则称为非定态流动。

3. 连续性方程式

定态流动过程中,单位时间内流进和流出管路两截面的流体质量保持恒定,即:

$$q_{m1} = q_{m2} \quad \text{或} \quad u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2$$

对不可压缩流体, ρ 为常数,则: $u_1 A_1 = u_2 A_2$; 或 $\frac{u_1}{u_2} = \frac{A_2}{A_1}$, 即流速与导管截面积成反比。对圆形导管 $\frac{u_1}{u_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$ 。

4. 柏努利方程式(Bernoulli's equation)

理想流体的机械能衡算:对不可压缩的理想流体定态流动,满足柏努利方程:

$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} \quad \text{单位: } \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

实际流体的机械能衡算:实际流体存在阻力损失 h_f ,当流体质点有外加功输入 H_e 时,流体通过管路两截面的总能量衡算式为:

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

单位: $\text{J} \cdot \text{N}^{-1}$ 或 m 。

利用柏努利方程解题时应注意以下几点:

(1) 选基准面

原则上可以任意选,但为了计算方便,一般选较低的液面或截面为基准水平面,其高度为 0。

(2) 截面的选取

所选的截面应与流体流动方向垂直,且为已知条件最多的面,通常两截面选取在进出口两端或贮槽的液面,但也应根据具体情况,以便于解题。如果两截面一个为容器的液面,一个为管子的截面,容器截面较大,其流速相对于管内流体的流速很小,容器液面处的动压头可以忽略不计,即 $u^2/2g = 0$ 。

(3) 方程式中各物理量的单位应一致

方程式两边的 p 可以同时用绝对压强,也可以同时用表压,且方程左、右各项单位应一致。

1.1.3 管内流体流动现象

1. 牛顿黏性定律与流体的黏度

(1) 流体的黏性:流体在运动时呈现内摩擦力的特性,称为流体的黏性。

(2) 牛顿黏性定律:

实验证明,对于一定的流体,内摩擦力 F' 与两流体层间的速度差 du 及两层之间的接触面积 A' 成正比,与两层之间的垂直距离 dy 成反比,若引入比例系数 μ ,则:

$$F' = \mu A' \frac{du}{dy}$$

单位面积上的内摩擦力称为剪应力 τ ,则有:

$$\tau = \frac{F'}{A'} = \mu \frac{du}{dy}, \text{此式称为牛顿黏性定律。}$$

(3) 流体的黏度:黏度是衡量流体黏性大小的物理量。

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy}, \text{单位:Pa} \cdot \text{s}$$

2. 流体流动类型及圆管内的速度分布

(1) 流动的型态

流体流动型态有两种:层流、湍流。可以用雷诺数 $Re = \frac{du\rho}{\mu}$ 作为判据,将流体的流动划分为三个区域: $Re \leq 2000$,为层流区; $Re \geq 4000$,为湍流区; $2000 < Re < 4000$ 为过渡区。

(2) 管内层流与湍流的比较

当管内流体做层流流动时,圆管内层流速度分布为:

$$u = \frac{(p_1 - p_2)}{4\mu l} (R^2 - r^2) = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right], \text{速度分布曲线呈抛物线形,管}$$

中心处速度最大 u_{\max} ,平均速度 u 是最大速度 u_{\max} 的 0.5 倍。

当管内流体做湍流流动时,圆管内层流速度分布为:

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/n}, \text{速度分布曲线前缘比较平坦,靠近管壁处比较陡峭,}$$

不是一条严格的抛物线,平均速度 u 是最大速度 u_{\max} 的 0.8 倍。

(3) 边界层的概念

实际流体在流过固体壁面时,由于壁面的阻滞作用而使流体与壁面接触部分的速度为零,而黏性的存在,又使得临近壁面的流体也将相继受阻而降速。随着流体沿壁面向前流动,从壁面到流体主体流速从零开始逐渐增加,流速受影响的区域也逐渐扩大。通常定义:速度从零到速度等于主体流速 u_0 的 99% 的区域为边界层。流体流过曲面(圆柱面或球面)时,边界层与固体壁面脱离,这种现象称为边界层分离。边界层分离会造成大量的能量损耗,在流体输送过程中应当设法避免或减轻之。

1.1.4 管内流体流动阻力

1. 流体在直管中的流动阻力

流体流经一定直径的直管时,由于内摩擦力而产生的阻力损失。直管阻力计算通式为:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g}, \text{单位:m, 式中 } \lambda \text{ 为摩擦系数。}$$

层流时($Re \leq 2000$), λ 只与 Re 有关, $\lambda = \frac{64}{Re}$ 。

湍流区($Re \geq 4000$ 及虚线以下的区域) λ 与 Re 及 ϵ/d 有关,位于该区域最下面的一条曲线为光滑管的摩擦系数 λ 与 Re 关系曲线,当 $Re = 3 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 时,该曲线近似于直线,可回归为下式:

$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$, 柏拉修斯(Blasius)公式。

通常把玻璃管、塑料管、铜管以及铅管称为光滑管;把钢管和铸铁管称为粗糙管。

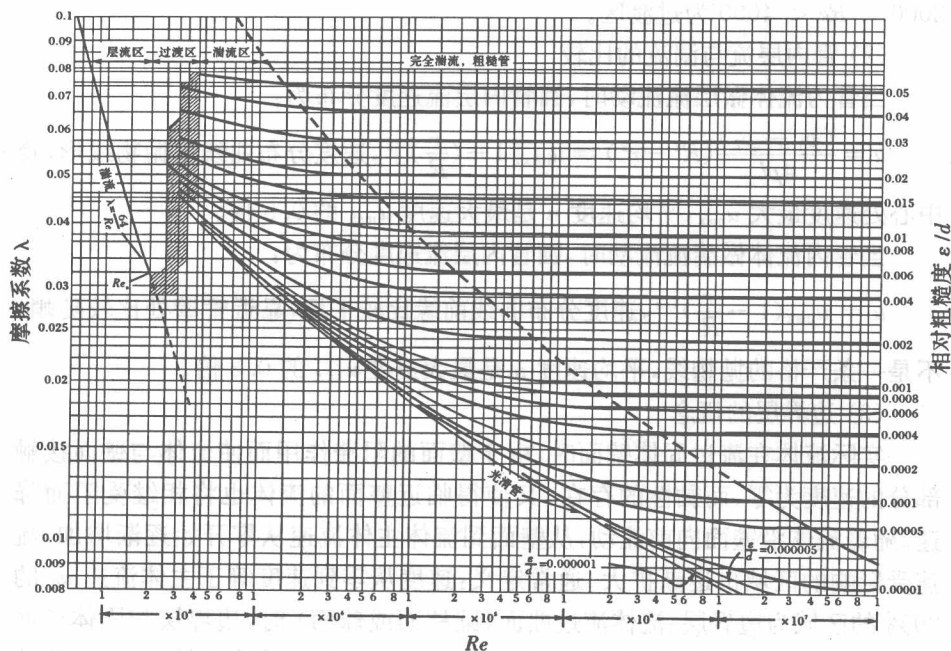


图1 摩擦系数与雷诺准数及相对粗糙度之间的关系

过渡区($2000 < Re < 4000$)在该区域,流体的流动类型易受外界条件的影 响而发生改变,为安全起见,工程上一般按湍流处理,即将湍流区相应的曲线延伸至该区域查取 λ 的值。

湍流区和完全湍流粗糙管区之间的虚线(分界线)的雷诺数为:

$$Re = \frac{3500}{\epsilon/d}$$

完全湍流粗糙管区(图中虚线以上的区域)在该区域, λ 与 Re 的关系曲线几乎成水平线, λ 只取决于 ϵ/d 的值,而与 Re 无关,又称为阻力平方区。该区域的 λ 可以按尼古拉兹(J. Nikuradse)归纳的公式计算。

粗糙管内: $\lambda = (1.74 + 2 \lg \frac{d}{2\epsilon})^{-2}$, 适用范围: $\frac{d/\epsilon}{Re \sqrt{\lambda}} > 0.005$

2. 流体在非圆形管内的流动阻力

计算流体在非圆形管内的流动阻力时,必须用当量直径进行计算。

当量直径: $d_e = 4 \times \text{水力半径} = 4 \times \frac{\text{流通截面积 } A}{\text{润湿周边长度 } \Pi}$

3. 局部阻力

(1) 阻力系数法: $h_l = \zeta \frac{u^2}{2g}$

(2) 当量长度法: $h_l = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{u^2}{2g}$

1.1.5 管路计算

1. 串联管路

串联管路是由直径不同或管道粗糙度不同的若干段管道连接而成的。

特点:(1) 串联管路各管段的流量相等。

$$q_{v1} = q_{v2} = q_{v3} = \cdots = q_{vn}$$

(2) 系统中总阻力损失等于各管段阻力损失之和。

$$\sum h_f = h_{f1} + h_{f2} + \cdots + h_{fn}$$

2. 并联管路

特点:

(1) 并联管路的总流量等于各分管道的流量之和

$$q_v = q_{v1} + q_{v2} + \cdots + q_{vn}$$

流量分配:

$$q_{v1} : q_{v2} : q_{vi} = \sqrt{\frac{d_i^5}{\lambda_1(l + \sum l_e)_1}} : \sqrt{\frac{d_i^5}{\lambda_2(l + \sum l_e)_2}} : \sqrt{\frac{d_i^5}{\lambda_i(l + \sum l_e)_i}}$$

(2) 并联管路的阻力损失与各分管道的阻力损失相等。

$$h_{fAB} = h_{f1} = h_{f2} = h_{f3}$$

1.1.6 流量的测量

1. 孔板流量计: $q_v = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2gR(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$

式中: C_0 — 孔流系数, $C_0 = 0.60 \sim 0.70$ 。

2. 文丘里流量计: $q_v = C_v A_0 \sqrt{\frac{2gR(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$

式中: C_v — 流量系数, $C_v = 0.98 \sim 0.99$ 。

$$3. \text{测速管: } u_1 = \sqrt{\frac{2gR(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$$

$$4. \text{转子流量计: } q_V = C_R A_R \sqrt{\frac{2gV_f(\rho_f - \rho)}{A_f \rho}}$$

1.1.7 流体输送机械

1. 离心泵的主要性能参数

(1) 扬程: 扬程又叫泵的压头, 是指泵对单位重量流体所提供的能量。用“ H_e ”表示, 其单位是“m”。

(2) 流量: 泵在单位时间内排出流体的体积数, 用“ q_V ”表示, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(3) 功率

轴功率: 电动机或其他原动机直接传递给泵轴的功率, 用 P 表示, $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$ 或 W 。

有效功率: 流体从泵上实际得到的功率, 用“ P_e ”表示。

$$P_e = H_e \cdot q_V \cdot \rho \cdot g$$

(4) 效率: 泵的有效功率与轴功率之比 $\eta = \frac{P_e}{P}$ 。

2. 离心泵的特性曲线

(1) $H_e - q_V$ 曲线(扬程曲线)

随着流量的增大, 泵的扬程逐渐降低。

(2) $P - q_V$ 曲线(功率曲线)

$q_V \uparrow, P \uparrow$ 。 $q_V = 0$ 时, 消耗的功率最小, 因此离心泵在启动时, 应将出口阀门关闭, 降低启动功率, 保护电机不至于超负荷而受损。

(3) $\eta - q_V$ 曲线(效率曲线)

随着流量的增加泵的效率增加, 当效率达到顶点时, 再增加流量, 泵的效率反而下降。最高效率点对应的 q_V 、 H_e 、 P 值为最佳工况参数。

3. 离心泵的汽蚀现象和安装高度

(1) 允许吸上真空高度

$$\text{允许吸上真空高度: } H_s = \frac{p_a - p_1}{\rho g}$$

$$\text{安装高度: } H_g = \frac{p_a - p_1}{\rho g} - \frac{u_1^2}{2g} - \sum h_f$$

$$H_g = H_s - \frac{u_1^2}{2g} - \sum h_f$$

操作条件下输送水时的允许吸上真空高度: $H_s' = H_s + (H_a - 10) - (H_v - 0.24)$

H_v ——操作温度下水的饱和蒸气压, m 水柱, 0.24 —— 20°C 水的饱和蒸气压, m 水柱。

(2) 汽蚀余量

$$\text{有效汽蚀余量: } \Delta h_a = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g}$$

$$\text{临界汽蚀余量: } \Delta h_c = \frac{p_{1,\min}}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g}$$

必需汽蚀余量: Δh_r 可以从泵产品样本中查取。

有效汽蚀余量 Δh_a 与安装高度 H_g 的关系:

$$H_g = \frac{p_a - p_v}{\rho g} - \Delta h_a - \sum h_f$$

$$\text{允许安装高度: } H_{g,\text{允许}} = \frac{p_a - p_v}{\rho g} - \Delta h_r - \sum h_f$$

1.2 习题详解

1. 试求温度为 25°C , 压力为 490.3kPa (表压) 的密闭容器中的 CO_2 的密度。

解:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{(101.325 + 490.3) \times 10^3 \times 44}{8.31 \times 298}$$

$$= 10.5 \times 10^3 (\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) = 10.5 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

2. 制造氯乙烯的原料气[可近似认为 HCl , 51% , C_2H_2 , 49% (体积分数)]经混合脱水后, 气体温度为 -15°C , 压力为 0.1bar (表压)。若大气压为 1bar , 试求该气体的密度。

$$\text{解: } p = 1.1\text{bar} = 1.1 \times 10^5 (\text{Pa})$$

HCl 的密度为:

$$\rho_1 = \frac{pM_1}{RT} = \frac{1.1 \times 10^5 \times 36.5}{8.31 \times 258} = 1.87 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

C_2H_2 的密度为: