

化工 原理

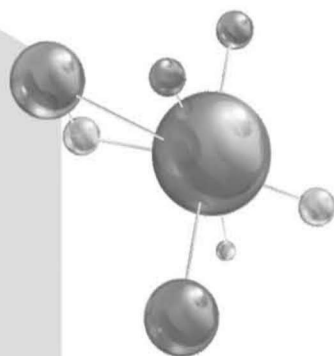
HUAGONG
YUANLI

宋 如 李永霞 / 主编



电子科技大学出版社

化工 原理



HUAGONG
YUANLI

常州大学图书馆
藏书章

宋 如 李永霞 / 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理 / 宋如, 李永霞主编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-5647-5076-3

I. ①化… II. ①宋… ②李… III. ①化工原理—高等学校—教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 214705 号

化 工 原 理

宋 如 李永霞 主编

策划编辑 罗 雅

责任编辑 唐祖琴

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 四川永先数码印刷有限公司

成品尺寸 185mm×260mm

印 张 12.25

字 数 315 千字

版 次 2017 年 9 月第一版

印 次 2017 年 9 月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-5076-3

定 价 36.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是依据高等学校近化工类专业的化工原理教学需要编写的。教材编写以“强化基础、拓宽知识面,注重培养学生工程应用能力”为主导思想,力求在内容和体系上实现科学性和实用性的有机统一。

本书以化工传递过程的基本理论为主线,突出工程学科特点,系统而简明地阐述了典型化工单元操作的基本原理、过程计算方法及典型设备。本书除绪论外,包括流体流动与流体输送、机械分离、传热、蒸发、吸收、蒸馏、干燥等章节。

本书在编写过程中,认真总结了各兄弟院校近化工类专业少学时化工原理课程教学的经验及教育教学改革成果,着重基本概念和基础理论的阐述,注重理论联系实际,力求由浅入深,重点突出,主次分明,适用于高职高专类教学与研究。

限于编者的理论水平和实际开发经验,文中难免存在一些不足之处或者错误,恳望读者和相关专家批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 化工过程与单元操作	1
1.2 化学工程发展四阶段	3
1.3 4个基本概念	3
第2章 流体流动	5
2.1 流体静力学	5
2.2 流体流动的基本方程	11
2.3 流体流动阻力	17
2.4 管路计算	28
2.5 流量测量	30
第3章 流体输送	34
3.1 离心泵及其计算	34
3.2 其他类型化工用泵	42
3.3 气体输送机械	47
第4章 机械分离	57
4.1 颗粒及床层特性	57
4.2 沉降	61
4.3 过滤	75
4.4 气体的其他净制设备	78
4.5 非均相物系分离过程强化与展望	81
第5章 传热	84
5.1 概述	84
5.2 热传导	87
5.3 对流传热	94
5.4 辐射传热	101
5.5 列管式换热器的设计与选用	102



第 6 章 蒸发	106
6.1 概述	106
6.2 单效蒸发与真空蒸发	108
6.3 多效蒸发	113
6.4 蒸发设备	115
第 7 章 吸收	121
7.1 概述	121
7.2 吸收相平衡关系	123
7.3 吸收过程的传质速率	125
7.4 吸收填料层高度计算	138
第 8 章 蒸馏	145
8.1 概述	145
8.2 双组分溶液的气 - 液平衡	145
8.3 简单蒸馏和精馏	151
8.4 双组分连续精馏塔的计算	155
第 9 章 干燥	163
9.1 概述	163
9.2 湿空气的性质和湿度图	165
9.3 固体物料的干燥平衡	175
9.4 干燥速率与干燥时间	178
9.5 干燥设备	183
参考文献	190

第1章 绪 论

1.1 化工过程与单元操作

化学工业是将自然界的各种物质经过化学反应和物理方法处理,制造成生产资料和生活资料的工业。一种产品的生产过程中,从原料到成品往往需要几个或几十个加工过程。其中除了化学反应过程外,还有大量的物理加工过程,统称为化工过程。

化学工业产品种类繁多。各种产品的生产过程中,使用着各种各样的物理加工过程。根据它们的操作原理,可以归纳为应用较广的数个基本操作过程,如流体输送、搅拌、沉降、过滤、热交换、蒸发、结晶、吸收、蒸馏、萃取、吸附以及干燥等。例如,乙醇、乙烯及石油等生产过程中都采用蒸馏操作分离液体混合物,所以蒸馏为一个基本操作过程。又如合成氨、硝酸及硫酸等生产过程中,都采用吸收操作分离气体混合物,所以吸收也是一个基本操作过程。又如尿素、聚氯乙烯及染料等生产过程中,都采用干燥操作以除去固体中的水分,所以干燥也是一个基本操作过程。此外,流体输送和热交换也为基本操作过程,应用更为广泛。这些基本操作过程称为单元操作(unit operation)。任何一种化工产品的生产过程都是由若干单元操作及化学反应过程组合而成的。化学反应在反应器内进行;各个单元操作,也都在相应的设备(apparatus)中进行。例如,蒸馏操作是在蒸馏塔内进行的,吸收操作在吸收塔内进行,干燥操作在干燥器内进行,如图1-1所示。不同的单元操作设备,其结构有很大不同,为相应的单元操作过程提供必要的条件,使过程能有效地进行。在过程进行中,需要进行操作控制,根据规定的操作指标调节物料的进、出口流量以及内部的温度、压力、浓度及流动状态等,使过程能以适当的速率进行,得到所规定流量的合格产品或中间产品。单元操作不仅用在化工生产中,而且在石油、冶金、轻工、制药及原子能等工业及生物工程、环境保护工程中也广泛应用。

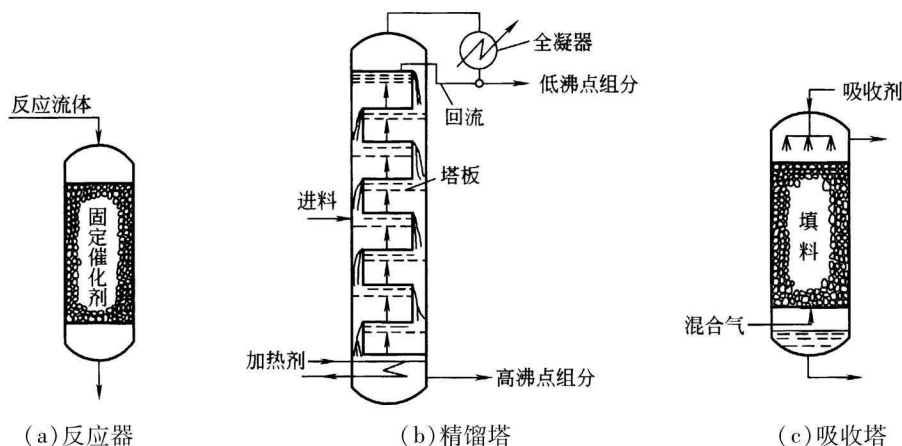


图 1-1 反应器与单元操作设备举例

单元操作按其理论基础可分为下列 3 类。

- (1) 流体流动过程 (fluid flow process)。包括流体输送、搅拌、沉降、过滤等。
- (2) 传热过程 (热量传递过程) (heat transfer process)。包括热交换、蒸发等。
- (3) 传质过程 (质量传递过程) (mass transfer process)。包括吸收、蒸馏、萃取、吸附、干燥、结晶、膜分离等。

流体流动时,流体内部由于流体质点 (或分子) 的速度不同,它们的动量也就不同,在流体质点随机运动和相互碰撞过程中,动量从速度大处向速度小处传递,这称为动量传递。所以流体流动过程也称为动量传递过程 (momentum transfer process)。

动量传递与热量传递和质量传递类似,热量传递是流体内部因温度不同,有热量从高温处向低温处传递,质量传递是因物质在流体内部存在浓度差,物质将从浓度高处向浓度低处传递。流体中的这三种传递现象 (transport phenomena),都是由流体质点 (或分子) 的随机运动所产生的。若流体内部有温度差存在,当有动量传递的同时必有热量传递;同理,若流体内部有浓度差存在时,也会同时有质量传递。若没有动量传递,则热量传递和质量传递主要是因分子的随机运动产生的现象,其传递速率较缓慢。要想增大传递速率,需要对流体施加外力,使它流动起来。

由上述可知流体流动的基本原理不仅是流体输送、搅拌、沉降及过滤的理论基础,也是传热与传质过程中各单元操作的理论基础,因为这些单元操作中的流体都处于流动状态。传热的基本原理不仅是热交换和蒸发的理论基础,也是传质过程中某些单元操作 (例如干燥) 的理论基础。因为干燥操作中不仅有质量传递,而且有热量传递。因此,流体力学、传热及传质的基本原理是各单元操作的理论基础。

人们会注意到上述的单元操作,有许多是用来分离混合物的。沉降与过滤用于非均相物系的分离,包括含尘或含雾的气体、含固体颗粒的悬浮液、由两种不互溶液体组成的乳液等。蒸发用于分离由挥发性溶剂和不挥发的溶质组成的溶液;吸收是利用各组分在液体溶剂中的溶解度不同分离气体混合物;蒸馏是利用各组分的挥发度不同来分离均相液体混合物;萃取是利用各组分在液体萃取剂中的溶解度不同来分离液体混合物或固体混合物;吸



附是利用气体或液体中各组分对固体吸附剂表面分子结合力的不同,使其中一种或几种组分进行吸附分离;干燥是对湿固体物料加热,使其所含水分汽化而得到干固体产品的操作;结晶是利用冷却或溶剂汽化的方法,使溶液达到过饱和而析出晶体的操作。膜分离是利用固体薄膜(有机高分子膜或无机膜)或液体薄膜,对液体或气体混合物的选择性透过分离。

上述分离单元操作中,通常把沉降与过滤归属为机械分离操作,而其余归属为传质分离操作。

1.2 化学工程发展四阶段

化工原理课程,不是教学生如何合成得到新物质、如何提取新物质、如何表征新物质,这是化学家的工作。化学工程研究的是,如何把化学家们的小试研究成果,开发放大为中试,再开发为生产规模。是在科学实验与化工生产之间架桥的工作。目前学术界比较公认的讲法是,化学工程的发展经历了四个阶段,即化学工艺学阶段、化工单元操作阶段、传递过程阶段和“三传一反”阶段。“三传一反”即动量传递、热量传递、质量传递和化学反应工程。化工原理讲的就是化工单元操作。

(1)化学工艺学阶段。在20世纪以前的几百年时间里,出现了不少化学工业,如制糖工业、制碱工业、造纸工业等。介绍每种工业从原料到成品的生产过程,作为一种特殊的知识讲解,这是最早的化学工艺。

(2)化工单元操作阶段。到20世纪初,人们逐渐发现,许多化学工业中,存在共性的操作原理。例如,无论在制糖业还是制碱业,从溶液蒸发得到固体糖或固体碱所遵循的原理是相同的,于是,蒸发成为最早提出的单元操作之一。经不断总结,被称为单元操作的有流体流动与输送、沉降与过滤、固体流态化、传热、蒸发、蒸馏、吸收、吸附、萃取、干燥、结晶、膜分离等。

(3)传递过程阶段。到20世纪50年代,人们又发现,各单元操作之间还存在着共性。例如,传热、蒸发都有热量传递的共性,蒸馏、吸附、吸收、萃取都存在质量传递的共性。于是将单元操作归纳为动量传递、热量传递、质量传递。此即化工传递过程阶段。

(4)“三传一反”阶段。20世纪50年代中期,化学工程中出现了“化学反应工程学”这一新的分支。对化学反应器的研究,不仅要运用化学动力学与热力学原理,而且要运用动量传递、热量传递、质量传递原理。于是“传递过程”与“化学反应”成为当今化学工程学的两大支柱。简称“三传一反”阶段。

1.3 4个基本概念

在研究化工单元操作时,经常用到物料衡算、能量衡算、物系的平衡关系和过程速率4个基本概念,现就其含义作简要说明。



1. 物料衡算

根据质量守恒定律,在任一化工生产过程中,进入该过程的物料质量必等于从该过程输出的物料质量与积累于该过程中的物料质量之和,即

$$\text{输入量} = \text{输出量} + \text{积累量}$$

对于连续稳定的操作过程,过程中不应有物料的积累,则其物料衡算关系式为

$$\text{输入量} = \text{输出量}$$

物料衡算可按下列步骤进行。①根据题意画出各物料的流程示意图,物料的流向用箭头表示,并标上已知数据与待求量。在较复杂的流程示意图上应画出衡算的范围。②在写物料衡算式之前,要选定计算基准,一般选用单位进料或出料量、时间及设备的单位体积等作为计算的基准。③对总物料或其中某一组分列出物料衡算式,进行求解。

2. 能量衡算

能量衡算的依据是能量守恒定律。机械能衡算将在流体力学有关章节中说明;热量衡算的步骤与物料衡算的步骤基本相同,但列热量衡算式时还需注意物料的状态基准,这将在传热、蒸发、蒸馏和干燥等章节中结合具体单元操作详细说明。

3. 物系的平衡关系

平衡状态是自然界中广泛存在的现象。例如,在一定温度下,不饱和的食盐溶液与固体食盐接触时,食盐向溶液中溶解,直到溶液为食盐所饱和,食盐就停止溶解,此时固体食盐表面已与溶液达到动平衡状态。反之,若溶液中食盐浓度大于饱和浓度,则溶液中的食盐会析出,最终达到平衡状态。由此可见,平衡关系可以用来判断过程能否进行,以及进行的方向和能达到的极限。

4. 过程速率

任何一个物系,如果不是处于平衡状态,必然存在一个趋向平衡的过程,而过程的快慢,即过程速率受多方面因素的影响,通常它与过程的推动力成正比,与阻力成反比,即

$$\text{过程速率} = \text{过程推动力} / \text{过程阻力}$$

过程推动力依具体过程而有所不同,它可以是压强差、温度差或浓度差等。过程速率是选定化工设备的重要因素,过程速率大时,设备尺寸就小。增大过程的推动力或减小过程的阻力均可提高过程的速率。

第2章 流体流动

气体和液体统称为流体。在化工生产中所处理的物料有很多是流体,这些流体需要贮存和输送。根据生产要求,往往需要用流体输送机械将这些流体按照生产程序从一个设备输送到另一个设备。化工厂中,管路纵横排列,与各种类型的设备连接,完成着流体输送的任务。除了流体输送外,化工生产中的传热、传质过程以及化学反应大都是在流体流动下进行的。流体流动状态对这些单元操作有着很大影响。为了能深入理解这些单元操作的原理,就必须掌握流体流动的基本原理。因此,流体流动的基本原理是本课程的重要基础。

流体的体积如果不随压力及温度变化,这种流体称为不可压缩流体;如果随压力及温度变化,则称为可压缩流体。实际流体都是可压缩的,但由于液体的体积随压力及温度变化很小,所以一般把它当作不可压缩流体;气体比液体有较大的压缩性,当压力及温度改变时,气体的体积会有很大的变化,属于可压缩流体。但是,如果压力或温度变化率很小时,气体通常也可以当作不可压缩流体处理。

2.1 流体静力学

流体静力学是研究流体在外力作用下的平衡规律,也就是说,研究流体在外力作用下处于静止或相对静止的规律。流体静力学的基本原理在化工生产中有着广泛的应用,例如压力、液面的测量等。

2.1.1 流体的压力

流体垂直作用于单位面积上的力称为流体的压强,习惯上称为流体的压力。作用于整个面积上的力称为总压力。在静止流体中,从各方向作用于某一点的压力大小均相等。

在法定单位制中,压力的单位是 N/m^2 ,称为帕斯卡,以 Pa 表示。1 标准大气压 = 101 325 Pa (760 mmHg)。

压力可以有不同的计量标准。如以绝对真空为基准测得的压力称为绝对压力 (absolute pressure),是流体的真实压力。

如以外界大气压为基准测得的压力则称为表压 (gauge pressure)。工程上用压力表测得的流体压力,就是流体的表压。它是流体的绝对压力与外界大气压力的差值,即

$$\text{表压} = \text{绝对压力} - \text{大气压力}$$



表压为正值时,通常称为正压;为负值时,则称为负压。通常把其负值改为正值,称为真空度(vacuum)。真空度与绝对压力的关系为

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

测量负压的压力表,又称为真空表。

绝对压力、表压和真空度的关系如图 2-1 所示。为了避免混淆,在写流体压力时要注意是绝对压力还是表压或真空度。

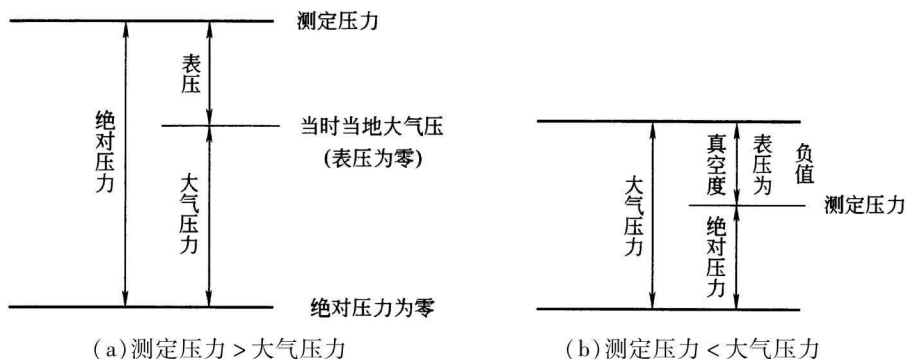


图 2-1 绝对压力、表压和真空度的关系

2.1.2 流体的密度与比体积

1. 密度

单位体积流体的质量称为流体的密度,其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中: ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

液体的密度随压力的变化甚小(极高压力下除外),可忽略其影响,常称液体为不可压缩的流体,而其密度随温度稍有改变。

气体的密度随压力和温度的变化较大。当压力不太高,温度不太低时,气体的密度可近似地按理想气体状态方程式计算,由

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad (2-2)$$

得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (2-3)$$

式中: p ——气体的压力(绝对压力), kPa ;

M ——气体的摩尔质量, kg/kmol ;

T ——气体的热力学温度, K ;

R ——摩尔气体常数, $8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$;



n ——气体的物质的量, kmol。

理想气体的标准状况 ($T^\ominus = 273.15 \text{ K}$, $p^\ominus = 101.325 \text{ kPa}$) 下的摩尔体积为 $V^\ominus = 22.4 \text{ m}^3/\text{kmol}$, 密度为

$$\rho = \frac{M}{22.4} \quad (2-4)$$

已知标准状况下的气体密度 $\rho^\ominus$, 可按式计算出其他温度 T 和压力 p 下该气体的密度, 则

$$\rho = \rho^\ominus \frac{Tp^\ominus}{pT^\ominus} \quad (2-5)$$

生产中遇到的流体常常不是单一组分, 而是由若干组分所构成的混合物。当气体混合物接近理想气体时, 其密度仍可用式(2-3)计算。但式中的气体摩尔质量 M 应以混合气体的平均摩尔质量 M_m 代替。

当气体混合物各组分的密度为已知, 则可用下式计算混合气体的密度。

$$\rho_m = \sum_{i=1}^n (\rho_i y_i) \quad (2-6)$$

式中: ρ_i ——同温同压下组分 i 的密度, kg/m^3 ;

y_i ——为组分 i 的摩尔分数。

液体混合时, 体积往往有所改变。假设混合液为理想溶液, 则其体积等于各组分单独存在时的体积之和。若混合液中各组分的密度为已知, 则以 1 kg 混合液为基准, 混合液的密度 ρ_m 可用下式近似计算。

$$\frac{1}{\rho_m} = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\rho_i} \quad (2-7)$$

式中: ω_i ——混合液中组分 i 的质量分数。

2. 比体积

单位质量流体的体积称为流体的比体积, 用符号 v 表示, 单位为 m^3/kg , 则

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (2-8)$$

2.1.3 流体静力学基本方程式

流体静力学基本方程式是用于描述静止流体内部的压力沿着高度变化的数学表达式。对于不可压缩流体, 密度不随压力变化, 其静力学基本方程可用下述方法推导。

现从静止液体中任意画出一垂直液柱, 如图 2-2 所示。液柱的横截面积为 A , 液体密度为 ρ , 若以容器器底为基准水平面, 则液柱的上、下端与基准水平面的垂直距离分别为 z_1 和 z_2 , 以 p_1 与 p_2 分别表示高度为 z_1 及 z_2 处的压力。

在垂直方向上作用于液柱上的力有以下 3 个。

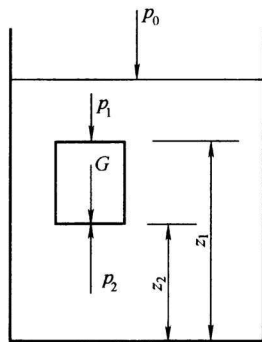


图 2-2 静力学基本方程的推导



①下端面所受的向上的总压力为 p_2A 。

②上端面所受的向下的总压力为 p_1A 。

③整个液柱的重力 $G = \rho g A(z_1 - z_2)$ 。

在静止液体中,上述三力之合力应为零,即

$$p_2A - p_1A - \rho g A(z_1 - z_2) = 0$$

此式中向上的力用正号,向下的力用负号。化简并消去 A ,得

$$p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2) \quad (2-9)$$

如果将液柱的上端面取在液面上,设液面上方的压力为 p_0 ,液柱下端面的压力为 p ,液柱高度为 h ,则上式可改写为

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2-9a)$$

式(2-9)及式(2-9a)称为静力学基本方程式。由上式可知以下3点。

①当液面上方的压力一定时,在静止液体任一点压力的大小与液体本身的密度和该点距液面的深度有关。因此,在静止的、连续的同一液体中,处于同一水平面上的各点,因其深度相同,其压力亦相等。此压力相等的水平面称为等压面。

②当液面的上方压力 p_0 有变化时,必将引起液体内部各点压力发生同样大小的变化。这就是巴斯噶原理。

③式(2-9a)可改写为

$$\frac{p - p_0}{\rho g} = h \quad (2-9b)$$

由上式可知,压力或压力差的大小可用液柱高度来表示,液柱高度与其密度 ρ 大小有关。

虽然静力学基本方程式是用液体进行推导的,液体的密度可视为常数,而气体密度则随压力而改变,但考虑到气体密度随容器高低变化甚微,一般也可视为常数,故静力学基本方程亦适用于气体。

2.1.4 流体静力学基本方程式的应用

在化工生产中,有些化工仪表的操作原理是以流体静力学基本方程式为依据的。下面将介绍该方程式在压力和液面测量方面的应用。

1. 压力测量

(1) U 形管液柱压差计

U 形管液柱压差计(U-tube manometer)的结构如图 2-3 所示,它是一根内装指示液的 U 形玻璃管(称为 U 形管压差计)。指示液必须与被测流体不互溶,不起化学作用,且其密度要大于被测流体的密度。指示液随被测液体的不同而不同。常用的指示液有汞、四氯化碳、水和石蜡液体等。将 U 形管的两端与管路中的两截面相连通,若作用于 U 形管两端的压力 p_1 和 p_2 不等(图中 $p_1 > p_2$),则指示液就在 U 形管两端出现高差 R 。利用 R 的数值,再根据静力学基本方程式,就可算出流体两点之间的压力差。

在图 2-3 中,U 形管下部的液体是密度为 ρ_0 的指示液,上部为被测流体,其密度为 ρ 。



图中 a 、 b 两点的压力是相等的,因为这两点都在同一种静止液体(指示液)的同一水平面上。通过这个关系,便可求出 $(p_1 - p_2)$ 的值。

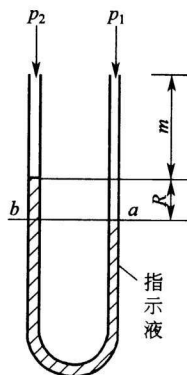


图 2-3 U 形管液柱压差计

根据流体静力学基本方程式,从 U 形管右侧来计算,可得

$$p_a = p_1 + (m + R)\rho g$$

同理,从 U 形管的左侧计算,可得

$$p_b = p_2 + m\rho g + R\rho_0 g$$

因为

$$p_a = p_b$$

所以

$$p_1 + (m + R)\rho g = p_2 + m\rho g + R\rho_0 g$$

$$p_1 - p_2 = R(\rho_0 - \rho)g \quad (2-10)$$

测量气体时,由于气体的密度 ρ 比指示液的密度 ρ_0 小得多,故 $\rho_0 - \rho \approx \rho_0$, 式(2-10)可简化为

$$p_1 - p_2 = R\rho_0 g \quad (2-10a)$$

图 2-4 所示是倒 U 形管压差计。该压差计是利用被测量液体本身作为指示液的。压力差 $p_1 - p_2$ 可根据液柱高度差 R 进行计算。

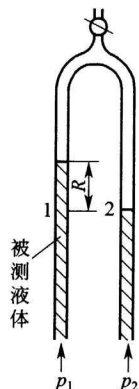


图 2-4 倒 U 形管压差计



(2) 斜管压差计

当被测量的流体压力或压差不大时,读数 R 必然很小,为得到精确的读数,可采用如图 2-5 所示的斜管压差计(inclined manometer)。此时 R' 与 R 的关系为

$$R' = \frac{R}{\sin \alpha} \quad (2-11)$$

式中: α ——倾斜角,其值愈小,则 R 值放大为 R' 的倍数愈大。

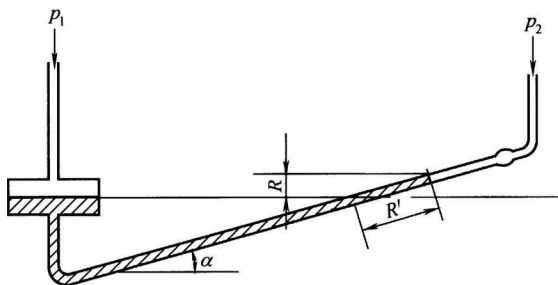


图 2-5 斜管压差计

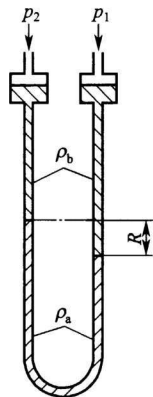


图 2-6 微差压差计

(3) 微差压差计。

若斜管压差计所示的读数仍然很小,则可采用微差压差计(two-liquid manometer),其构造如图 2-6。在 U 形管中放置两种密度不同、互不相溶的指示液,管的上端有扩张室,扩张室有足够大的截面积,当读数 R 变化时,两扩张室中液面不致有明显的变化。

按静力学基本方程式,可推出

$$p_1 - p_2 = \Delta p = Rg(\rho_a - \rho_b) \quad (2-12)$$

式中, ρ_a 、 ρ_b 为重、轻两种指示液的密度, kg/m^3 。

从上式可看出,对于一定的压差, $(\rho_a - \rho_b)$ 愈小则读数 R 愈大,所以应该使用两种密度接近的指示液。

2. 液面测定

化工厂中经常需要了解容器里液体的贮存量,或需要控制设备里液体的液面,因此要对液面进行测定。有些液面的测定方法是以静力学基本方程式为依据的。

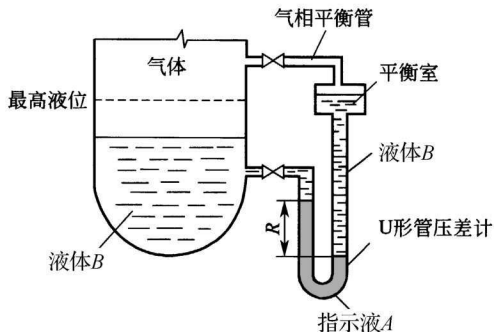


图 2-7 液面测量



图 2-7 为用液柱压差计测量液面的示意图。将一装有指示液 A 的 U 形管压差计的两端,分别与容器底部和平衡室(扩大室)相连,平衡室上方用气相平衡管与容器连接。平衡室中装的液体与容器里的液体 B 相同。所装液体量能使平衡室里液面高度维持在容器液面允许到达的最高液位。压差计的读数 R 指示容器里的液面高度,液面越高,读数越小。当液面达到最高允许液位时,压差计的读数为零。

3. 确定液封高度

在化工生产中,为了控制设备内气体压力不超过规定的数值,常常装有如图 2-8 所示的安全液封(或称为水封)装置。其作用是当设备内压力超过规定值时,气体就从液封管排出,以确保设备操作的安全。若设备要求压力不超过 p (表压),按静力学基本方程式,则水封管插入液面下的深度 h 为

$$h = \frac{p}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}g} \quad (2-13)$$

为了安全起见,实际安装时管子插入液面下的深度应比上式计算值略低。

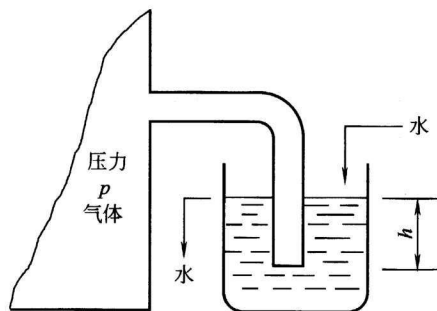


图 2-8 安全液封装置

2.2 流体流动的基本方程

在化工生产中,普遍会遇到流体沿管道以一定流速流动的情况。本节着重讨论管内流体流动的基本方程及其有关问题。

2.2.1 流量与流速

1. 流量

单位时间内流经管道任一截面的流体量,称为流量。流量有两种计量方法。

(1) 体积流量

单位时间内流经管道任一截面的流体的质量,称为质量流量,常以符号 V 表示,其单位为 m^3/s 或 m^3/h 。

(2) 质量流量

单位时间内流经管道任一截面的流体的体积,称为体积流量,常以符号 W 表示,其单位为 kg/s 或 kg/h 。体积流量与质量流量之间的关系为

$$W = V\rho \quad (2-14)$$