



教育部高职高专规划教材

制药过程原理及 设备学习指导

► 苏建智 主编
冷士良 主审



化学工业出版社

教材出版中心

教育部高职高专规划教材

制药过程原理及设备 学习指导

苏建智 主编

冷士良 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

制药过程原理及设备学习指导/苏建智主编. —北京:
化学工业出版社, 2006.2
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-8083-2

I. 制… II. 苏… III. ①制药工业-化工过程-高等
学校: 技术学院-教学参考资料②制药工业-化工设备-高
等学校: 技术学院-教学参考资料 IV. TQ460.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013124 号

教育部高职高专规划教材 制药过程原理及设备学习指导

苏建智 主编

冷士良 主审

责任编辑: 蔡洪伟 陈有华

责任校对: 于志岩

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京彩桥印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7½ 字数 166 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8083-2

定 价: 13.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

高职高专制药技术类专业规划教材 编审委员会

主任委员 程桂花

副主任委员 曹克广 陈炳和 丁志平 金长义 乔德阳 王爱广
杨宗伟 于兰平 袁红兰

委 员 陈文华 崔一强 丁敬敏 关荐伊 韩忠霄 黄一石
雷和稳 冷士良 李丽娟 李晓华 刘 军 陆 敏
申玉双 苏建智 孙乃有 王炳强 吴晓明 吴英绵
辛述元 薛叙明 杨瑞虹 杨永杰 叶昌伦 于淑萍
于文国 张宏丽 张素萍 张文雯 张雪荣 张正兢
张志华 周长丽 (按姓氏汉语拼音排序)

内 容 提 要

本书与张宏丽、周长丽主编的《制药过程原理及设备》教材（2005年6月化学工业出版社）相配套。能使制药过程原理及设备课程的学习者，通过对本书的阅读，进一步明确重点内容，理解知识点，掌握解题方法和技巧。

本书共七章，包括流体流动、液体输送机械（离心泵）、传热、单效蒸发、蒸馏、吸收和干燥，每章根据教材的内容体系分为若干节，每节分为学习提要和例题分析两部分，侧重于例题分析，并配有测试题和测试题参考答案。学习提要中明确了常用的计算公式和必要的说明；例题分析中列举了较为典型的计算题，例题内容与范围，是在原教材基础上的补充、适当加深和拓宽，并注意选用与生产实际相结合的实例，例题后有分析说明，阐明了例题的解法、使用计算公式的注意事项、过程影响因素和工程应用等。

本书可供制药类专业、化工类专业及相关专业的师生使用，也可作为工程技术人员的学习参考书。

教育部高职高专规划教材

制药技术类专业教材

无机及分析化学	韩忠霄	孙乃有
无机及分析化学实验		辛述元
有机化学 (配光盘)	刘 军	张文雯 申玉双
物理化学	关荐伊	崔一强
物理化学学习指导		吴英绵
制药过程原理及设备	张宏丽	周长丽
生物化学		李晓华
微生物基础		于淑萍
药物合成反应技术与方法		李丽娟
化学制药工艺与反应器		陆 敏
微生物制药工艺及反应器		于文国
药物分离与纯化技术		张雪荣
药物分析与检验技术	王炳强	张正兢
制药企业管理概论		杨永杰
药物制剂技术与设备		杨瑞虹
中药制药工艺与设备		张素萍
制药过程原理及设备学习指导		苏建智

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本教材是在全国化工高职教学指导委员会制药专业委员会指导下,根据教育部有关高职高专教材建设的文件精神,以高职高专制药技术类专业学生的培养目标为依据编写的。本书与张宏丽、周长丽主编的《制药过程原理及设备》教材(2005年6月化学工业出版社)相配套。

本书与教材中各章节相呼应,依据学习目标、重点内容特别是有关重点计算的内容进行编写。目的是使制药过程原理及设备课程的学习者,通过对本书的阅读和学习,进一步明确重点内容、理解知识点、掌握解题方法和技巧。全书包括流体流动、液体输送机械(离心泵)、传热、单效蒸发、蒸馏、吸收和干燥,共七章,每章根据教材的内容体系分为若干节,每节分为学习提要 and 例题分析两部分,侧重于例题分析;另外,本书结合各章内容,选编了测试题。学习提要中明确了常用的计算公式和必要的说明;例题分析中列举了较为典型的计算题,例题内容与范围,是在教材基础上的补充、适当加深和拓宽,并注意选用与生产实际相结合的实例,对解题过程进行了较为详细的说明,有的例题列出了几种解法,并进行比较说明,许多例题后有分析说明,力争阐明例题的解法、使用计算公式的注意事项、过程影响因素、应用扩展和工程应用等。本书中注有“*”号的内容为超过教材学习目标的内容,读者可选读。书中对少数与教材不同或教材中未出现过的符号进行了说明,其他没有说明的符号与教材相同。

本书由四川化工职业技术学院苏建智主编,并编写第五章、第六章、第七章以及测试题和参考答案部分;石家庄职业技术学院张钧编写第一章、第二章;河北工业职业技术学院王春玉编写第三章、第四章。全书由徐州工业职业技术学院冷士良审稿。四川化工职业技术学院蒋广平对第五章~第七章进行了复核。

由于编者水平有限,不当之处在所难免,敬请批评指正。

编者

2005年10月

目 录

第一章 流体流动	1
第一节 流体静力学	1
学习提要	1
例题分析	3
第二节 流体动力学	8
学习提要	8
例题分析	10
第三节 流体阻力	14
学习提要	14
例题分析	15
第二章 液体输送机械（离心泵）	22
学习提要	22
例题分析	23
第三章 传热	29
第一节 传热计算	29
学习提要	29
例题分析	30
第二节 热传导	35
学习提要	35
例题分析	36
第三节 对流传热	38
学习提要	38
例题分析	38
第四节 传热系数	40
学习提要	40
例题分析	41
第四章 单效蒸发	47
学习提要	47
例题分析	47
第五章 蒸馏	51
第一节 气液相平衡关系	51
学习提要	51

例题分析	52
第二节 精馏过程的物料衡算	54
学习提要	54
例题分析	56
第三节 塔板数和回流比的确定	61
学习提要	61
例题分析	62
第六章 吸收	71
第一节 吸收过程的相平衡关系	71
学习提要	71
例题分析	73
第二节 吸收过程计算	77
学习提要	77
例题分析	78
第七章 干燥	85
第一节 湿空气的性质与湿度图	85
学习提要	85
例题分析	86
第二节 干燥过程的物料衡算和热量衡算	88
学习提要	88
例题分析	89
测试题	93
第一部分 填空或选择填空题	93
第二部分 计算题	99
测试题参考答案	106
第一部分 填空或选择填空题	106
第二部分 计算题	107
参考文献	110

第一章 流体流动

第一节 流体静力学

学 习 提 要

一、流体的主要物理量

1. 流体密度

(1) 密度的定义

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

(2) 液体密度 液体密度随压强变化很小, 可忽略不计, 一般根据温度查有关手册可确定。

(3) 气体密度 气体的密度随温度和压强变化而变化, 很多情况下需计算, 当压强不太大, 温度不太低时, 一般气体可按理想气体处理, 其计算式如下。

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{M}{22.4} \times \frac{pT_0}{p_0 T} \quad (1-2)$$

应用式 (1-2) 时应注意, 压强 p 为绝对压强, 单位为 kPa; 温度单位为 K; $R = 8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$; 密度 ρ 的单位为 kg/m^3 。

(4) 气体混合物的密度

$$\rho_m = \rho_1 y_1 + \rho_2 y_2 + \cdots + \rho_n y_n \quad (1-3)$$

或

$$\rho_m = \frac{pM_{\text{均}}}{RT} \quad (1-4)$$

其中

$$M_{\text{均}} = M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_n y_n \quad (1-4a)$$

(5) 液体混合物的密度

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{w_n}{\rho_n} \quad (1-5)$$

2. 相对密度

$$d_4^{20} = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-6)$$

已知相对密度，一般用 $\rho = 1000d_4^{20}$ 计算液体密度。

3. 比体积

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (1-7)$$

二、压强

1. 压强的定义

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-8)$$

压强习惯上又称压力，法定计量单位为 Pa（帕）或 N/m^2 ，习惯上还使用其他一些单位，在应用中应注意各单位之间的换算，常用压强单位之间换算关系为

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 101.3 \text{ kPa} = 1.033 \text{ at (或 kgf/cm}^2\text{)} \\ &= 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

2. 压强表达之间的关系

(1) 绝压与表压之间的关系

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} + p_{\text{表}} \quad (1-9)$$

式中 $p_{\text{绝}}$ ——绝压；

$p_{\text{大}}$ ——当地大气压；

$p_{\text{表}}$ ——表压。

(2) 绝压与真空度之间的关系

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} \quad (1-10)$$

式中 $p_{\text{真}}$ ——真空度。

三、流体静力学基本方程式及应用

1. 流体静力学基本方程式

$$p_2 = p_1 + (z_1 - z_2)\rho g = p_1 + h\rho g \quad (1-11)$$

或

$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} = \text{常数} \quad (1-12)$$

式 (1-11) 和式 (1-12) 是等价的，都称为流体静力学基本方程式，式 (1-12) 中各项的单位为 J/kg。

当截面 1 取在液面时，则式 (1-11) 表达为

$$p_2 = p_0 + h\rho g \quad (1-13)$$

2. 流体静力学基本方程式的应用

(1) 压强差的测定

U 形管压差计

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_{\text{指}} - \rho)Rg \quad (1-14)$$

若被测流体为气体，则

$$\Delta p = p_1 - p_2 \approx \rho_{\text{指}} Rg \quad (1-15)$$

微差压差计

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B) Rg \quad (1-16)$$

(2) 液位的测量 根据流体静力学基本方程式, 可得不同液位测量装置液位高度的计算式。

(3) 液封高度计算 根据流体静力学基本方程式, 可得不同液封装置液封高度的计算式。

例题分析

【例 1-1】 某 10m^3 气柜中, 储有 0.5atm (表压), 温度为 25°C 的某种气体, 试求该气体的质量。已知: 当地大气压为 640mmHg , 该气体的摩尔质量为 28kg/kmol 。

解 根据式 (1-2) 气体质量

$$m = \frac{pVM}{RT}$$

上式中 p 必须是绝对压强, 单位为 kPa , 故由式 (1-9) 计算气柜中的绝压 p

$$p = p_{\text{大}} + p_{\text{表}} = 0.5 \times 101.3 + 640 \times 0.133 = 136\text{kPa}$$

气柜中气体的质量为

$$\begin{aligned} m &= \frac{pVM}{RT} = \frac{136 \times 10 \times 28}{8.314 \times (273 + 25)} \\ &= 15.4\text{kg} \end{aligned}$$

分析说明

应用各种公式进行计算时, 首先应注意各符号的物理意义及所需单位。如式 (1-2) 中的压强 p 必须用绝对压强, 单位为 kPa ; 温度 T 的单位必须为 K ; 相对应的 $R = 8.314\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ 。在具体工程问题中常常会遇到各种单位制并存, 此时各量必须统一到公式中所要求的单位制, 然后再利用公式进行计算, 否则会造成严重错误。读者在使用各种公式进行计算时要注意这个问题。

【例 1-2】 某混合气体, 温度为 397°C 。组成中各气体的体积分数如下: CO 为 8% , CO_2 为 11% , N_2 为 72% , H_2O 为 9% , 求: (1) 该气体在 88kPa 时的密度; (2) 若以上组成为质量分数, 该混合气体的密度为多少?

解 (1) 对于一般气体, 体积分数等于其摩尔分数, 则混合气体的平均摩尔质量为

$$\begin{aligned} M_{\text{均}} &= M_1 y_1 + M_2 y_2 + M_3 y_3 + M_4 y_4 \\ &= 28 \times 0.08 + 44 \times 0.11 + 28 \times 0.72 + 18 \times 0.09 \\ &= 28.86\text{kg/kmol} \end{aligned}$$

则混合气体的密度为

$$\begin{aligned} \rho_m &= \frac{pM_{\text{均}}}{RT} = \frac{88 \times 28.86}{8.314 \times (273 + 397)} \\ &= 0.456\text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

(2) 如果以上组成为质量分数 w_i , 则混合气体的平均摩尔质量为

$$M'_{\text{均}} = \frac{1}{\frac{w_1}{M_1} + \frac{w_2}{M_2} + \frac{w_3}{M_3} + \frac{w_4}{M_4}} = \frac{1}{\frac{0.08}{28} + \frac{0.11}{44} + \frac{0.72}{28} + \frac{0.09}{18}}$$

$$= 27.72 \text{ kg/kmol}$$

则混合气体的密度为

$$\rho_m = \frac{pM'_{\text{均}}}{RT} = \frac{88 \times 27.72}{8.314 \times (273 + 397)} = 0.438 \text{ kg/m}^3$$

分析说明

气体具有可压缩性，因而密度随 p 、 T 变化，一般情况下气体密度应根据系统的 p 、 T 进行计算，这里只介绍了可按理想气体处理时的气体密度计算。气体的密度必须标明状态，否则没有意义。当气体可按理想气体处理时，其摩尔分数等于体积分数。

【例 1-3】 20℃ 时苯、甲苯混合液体中含苯 0.44（摩尔分数），一般实际工程中要考虑 90% 的填充系数，问正常生产时处理 2500kg 混合液体需用多大容器？

解 先求混合液体密度。

已知混合液摩尔分数为

$$x_1 = 0.44, x_2 = 1 - 0.44 = 0.56$$

苯和甲苯的摩尔质量分别为

$$M_1 = 78 \text{ kg/kmol 和 } M_2 = 92 \text{ kg/kmol}$$

则苯和甲苯和质量分数为

$$w_1 = \frac{x_1 M_1}{x_1 M_1 + x_2 M_2} = \frac{0.44 \times 78}{0.44 \times 78 + 0.56 \times 92} = 0.4$$

$$w_2 = 1 - 0.4 = 0.6$$

查得苯和甲苯在 20℃ 时的密度分别为

$$\rho_1 = 879 \text{ kg/m}^3, \rho_2 = 867 \text{ kg/m}^3$$

由式 (1-5) 可得

$$\rho_m = \frac{1}{\frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0.4}{879} + \frac{0.6}{867}} = 871.8 \text{ kg/m}^3$$

2500kg 混合液体的体积为

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2500}{871.8} = 2.87 \text{ m}^3$$

则所需容器体积为：

$$V' = \frac{V}{0.9} = \frac{2.87}{0.9} = 3.19 \text{ m}^3$$

分析说明

计算混合液体密度时应注意已知条件所给的组成表示法，应先换算成公式要求的组成表示后再进行计算。另外，实际设计工作中容器的填充系数是由物料性质和操作条件决定的，这样的计算结果才能保证安全生产。

【例 1-4】 一水平管路如图 1-1 所示，用 U 形管压差计测量两点间的压强差，指示液为

水银。试问：(1) 在 1-2、3-4、5-6、7-8 水平面间，压强均相等吗？(2) 若 U 形管测压点 a、b 间压差 $p_a - p_b = 20\text{kPa}$ ，此时 U 形管压差计读数 R 为多少？

解 (1) U 形管内的流体为相对静止的，所以可用静力学基本方程式进行判断。

1-2 水平面上的压强 $p_1 \neq p_2$ ，虽在同一水平面，但不是被同一流体连续连通，不满足等压面的条件。

同理，3-4 水平面上的压强 $p_3 \neq p_4$ 。

5-6 水平面上的压强 $p_5 = p_6$ ，在 5-6 水平面上 5、6 点是在同一静止连续流体内部，满足等压面的条件。

同理，7-8 水平面上的压强 $p_7 = p_8$ 。

(2) 根据式 (1-14)，U 形管压差计中的读数 R 为

$$R = \frac{p_a - p_b}{(\rho_{\text{指}} - \rho)g} = \frac{20 \times 10^3}{(13600 - 1000) \times 9.81} = 0.162\text{m} = 162\text{mm}$$

分析说明

(1) 应用静力学基本方程式时，等压面的选取非常重要，是解题的基础。等压面的选取必须严格按等压面的条件，即在连通着的同一种连续的静止液体内部，同一水平面上压强相等。

(2) 在解题过程中，若题中流体温度未知，则水的密度取为 1000kg/m^3 ，水银的密度取为 13600kg/m^3 。

【例 1-5】用微压压差计测量气体压强差，在测压前，扩大室内液体处于同一水平面，如果扩大室不够大，则产生一定误差。用如图 1-2 的微差压差计测量 a、b 两点处的压力差，现读数 $R = 400\text{mm}$ ，U 形管直径 $d = 5\text{mm}$ ，扩大室的直径 $D = 50\text{mm}$ 。求实际压差为多少？若不考虑扩大室高差，会产生多大误差？（已知 $\rho_A = 1010\text{kg/m}^3$ ， $\rho_B = 920\text{kg/m}^3$ ）

解 指示液密度为 ρ_A 的压差计读数为 R 时，扩大室会出现高差 Δh ，其计算值为

$$\frac{\pi}{4}d^2R = \frac{\pi}{4}D^2\Delta h$$

$$\Delta h = \left(\frac{d}{D}\right)^2 R = \left(\frac{5}{50}\right)^2 \times 0.4 = 0.004\text{m}$$

取为等压面 1-2，则

$$p_1 = p_2$$

而

$$p_1 = p_a + h_1 \rho_B g$$

$$p_2 = p_b + (\Delta h + h_2) \rho_B g + R \rho_A g$$

$$h_1 = h_2 + R$$

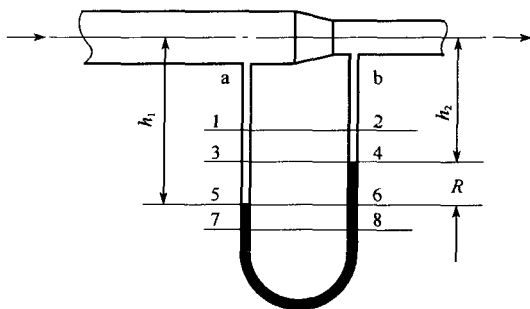


图 1-1 [例 1-4] 附图

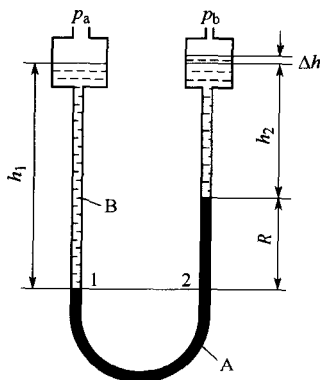


图 1-2 [例 1-5] 附图

整理得

$$\begin{aligned} p_a - p_b &= (\rho_A - \rho_B)gR + \rho_B g \Delta h \\ &= (1010 - 920) \times 9.81 \times 0.4 + 920 \times 9.81 \times 0.004 \\ &= 353.16 + 36.1 = 389.3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

若不考虑扩大室高差, 则按式 (1-16) 计算得

$$\begin{aligned} p_a - p_b &= (\rho_A - \rho_B)gR = (1010 - 920) \times 9.81 \times 0.4 \\ &= 353.2 \text{ Pa} \end{aligned}$$

相对误差为

$$\frac{353.2 - 389.3}{389.3} \times 100\% = -9.3\%$$

分析说明

微压压差计广泛应用于所测压差不大, 但又需精确读数的场所, 但实际上扩大室的液位要发生变化, 为减少误差, 要求扩大室的面积至少是 U 形管的面积的 10 倍。这样的误差才在工程允许的范围之内。

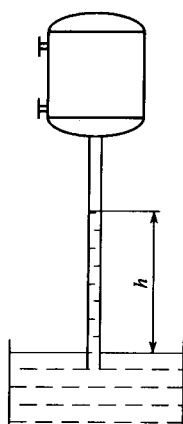


图 1-3 【例 1-6】附图

【例 1-6】 在真空蒸发操作中, 蒸发时产生的二次蒸汽被送入混合冷凝器, 与冷水混合后被冷凝, 然后由冷凝器底部排出。如图 1-3 所示。为保证系统真空度, 需将排水管插入水槽中, 使水面上升, 形成水封 (俗称大气腿)。试问: 如果冷凝器的真空度 $p_{\text{真}}$ 为 80kPa, 大气腿中水面会上升多高?

解 以大气腿内位于水槽水面处与水槽水面为等压面。

若冷凝器内的绝压为 p , 则大气腿内位于水槽水面处的压强即为大气压 $p_{\text{大}}$, 即

$$p_{\text{大}} = p + \rho gh$$

冷凝器中绝压为

$$p = p_{\text{大}} - p_{\text{真}}, \text{ 则}$$

$$p_{\text{大}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} + \rho gh$$

所以大气腿中水面上升的高度为

$$h = \frac{p_{\text{真}}}{\rho g} = \frac{80 \times 10^3}{1000 \times 9.81} = 8.15 \text{ m}$$

分析说明

液封是工厂中最常见的安全装置之一, 当容器内压力超标时, 气体便从液封中逸出。这样保证了容器的安全运行。正常情况下, 液封又能起到密闭作用, 使容器内保持一定的压强。为安全起见, 一般大气腿的设计高于 10m。本例解题关键在于等压面的选取。

【例 1-7】 在酸法生产增塑剂的过程中, 物料进行中和处理后需将废碱液和 DIBP 分开。方法是中和搅拌后, 静置 30min 以上, 油水分层后放掉废碱水得到产品, 如图 1-4。已知:

容器为常压, 设备直径 2.8m, DIBP 与废碱液的体积比为 4 : 1, DIBP 的密度为 $\rho_{\text{油}} = 1044 \text{kg/m}^3$, 废碱液的密度为 $\rho_{\text{水}} = 1200 \text{kg/m}^3$, 液位计指示高度为 $h = 2.2 \text{m}$ 。试问: 碱液层和 DIBP 层的体积各为多少?

解 设容器上半部分的 DIBP 层体积为 V_1 , 深度为 x_1 ; 下半部分碱液的体积为 V_2 , 其深度 x_2 为

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{x_1}{x_2} \text{ 则 } x_2 = \frac{V_2}{V_1} x_1 = \frac{x_1}{4}$$

取容器底部为等压面, 液位计到容器底部产生的压强为 $\rho_{\text{水}} gh + p_0$

由容器内产生的压强为

$$\rho_{\text{油}} gx_1 + \rho_{\text{水}} g \frac{x_1}{4} + p_0$$

由等压面得

$$\rho_{\text{水}} gh + p_0 = \rho_{\text{油}} gx_1 + \rho_{\text{水}} g \frac{x_1}{4} + p_0$$

$$1200 \times 2.2 = 1044x_1 + 1200 \times \frac{x_1}{4}$$

$$x_1 = \frac{1200 \times 2.2}{1044 + \frac{1200}{4}} = 1.96 \text{m}$$

则碱液层的深度

$$x_2 = 1.96/4 = 0.49 \text{m}$$

因此, 碱液层的体积为

$$V_2 = \frac{\pi}{4} D^2 x_2 = \frac{\pi}{4} \times 2.8^2 \times 0.49 = 3.02 \text{m}^3$$

DIBP 层的体积为

$$V_1 = 4 \times 3.02 = 12.08 \text{m}^3$$

分析说明

实际工作中常需要确定料液排放时间以便合理安排生产。利用静力学基本方程式, 便可推断容器内料液的高度和体积。本例是简单的现场液位计监测, 利用液位计读数 h 来计算容器内各液体层的体积。计算时选取容器底部为等压面较方便, 此时, 容器底部压强可由碱液来进行计算, 注意计算高度为 h , 即液位计液面至容器底部的高度。

【例 1-8】 测量地下油罐的储量, 可采用如图 1-5 所示的装置。通入氮气, 控制其流量, 有气泡在观察瓶中逸出即可。若已知水银 U 形管读数 $R = 140 \text{mm}$, 通气管距油罐底 $h = 30 \text{cm}$, 试问: 直径为 2m 的油罐中此时所储油量为多少千克? (已知: $\rho_{\text{油}} = 850 \text{kg/m}^3$, $\rho_{\text{指}} = 13600 \text{kg/m}^3$)

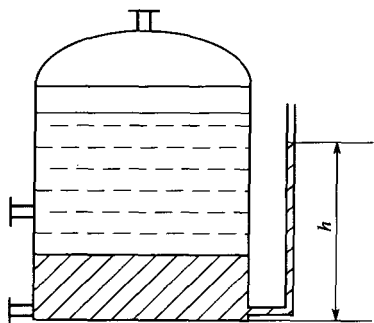


图 1-4 [例 1-7] 附图