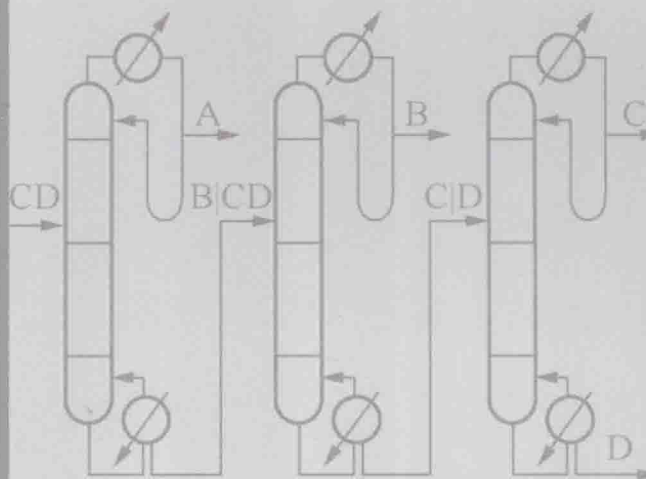


高职高专系列教材



化工生产及安全概论

张满效 杜韦辰 主编 ■

HUAGONG SHENGCHAN

JI ANQUAN GAILUN

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高职高专系列教材

化工生产及安全概论

张满效 杜韦辰 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书简单全面地介绍了化工生产的基础知识,主要内容分为三篇,第一篇介绍化工单元操作,内容包括流体流动与输送、传热、非均相物系与均相物系的分离过程,简要系统地介绍了各过程的原理、计算方法、设备及操作。第二篇介绍典型的能源化工工艺,包括石油加工、石油化工、煤化工、天然气化工的原料、产品、工艺原理、工艺流程、特征设备、发展方向等。第三篇介绍安全生产与职业卫生知识。

本书适合作为高职高专非化工专业学生的教材,也是一本普及性的化学工业读物,可供石油化工、煤化工、炼油企业的生产管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工生产及安全概论 / 张满效, 杜韦辰主编. —北京:
中国石化出版社, 2014. 3
高职高专系列教材
ISBN 978 - 7 - 5114 - 2664 - 2

I. ①化… II. ①张… ②杜… III. ①化工生产 - 安全技术 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TQ086

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 028567 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 17.25 印张 434 千字

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

化工是化学工业、化学工程、化学工艺、化工单元操作等术语的简称，这些术语出现于不同历史时期，各有不同涵义，却又关系密切，互相渗透。化工这个词习惯上已成为一个总的知识门类和事业的代名词，它对国民经济的可持续发展，特别是对材料、生物、能源、环境和资源等新领域的发展具有极其重要的支撑作用，是现代科学技术中发展最迅速、应用最广泛的学科之一。近代化工始于20世纪初，百余年来化工行业激发了人们广泛的兴趣，吸引着成千上万的人为之献出毕生精力。但化工生产同时具有易燃、易爆、易中毒，高温、高压、有腐蚀等特点，较其他工业部门有更大的危险性，安全生产在化工行业尤为重要。化工生产中，不可避免地要接触有毒有害的化学物质，化工行业职业病发生率明显高于其他行业，化工职业病的预防是每个从事化工生产人员必须掌握的知识。

在知识经济快速发展的21世纪，对于非化工类专业的高校毕业生来说，有必要了解一些化工生产的原料及产品、主要生产原理及工艺流程、主要生产设各、工艺发展方向等知识，这样既培养了非化工类专业学生纵观现代化学工业的全局及其科技创新的能力，又能为他们增加就业机会、提高就业质量。

化工专业体系严密且庞杂，为了使非化工类专业的高校学生在较短的时间段内学习到基本、必要、能够反映出化工专业体系的知识，急需有一本知识面广、通俗易懂，概要介绍化工单元生产及设备、主要工艺的原理及运行过程，以及化工安全生产与职业卫生保健方面的书籍。

本书的主要内容分为三篇，第一篇介绍化工单元操作，内容包括流体流动与输送、传热、物系的分离过程，简要系统地介绍了各单元的原理、计算方法、设备运行及操作注意事项。第二篇介绍典型的化工工艺，包括石油加工、石油化工、煤化工、天然气化工，涉及各工艺过程的原料、产品、工艺原理、工艺流程、特征设备、发展方向等。第三篇介绍化工安全与卫生保健知识。

本书力图完整、系统地介绍化学工业的基础知识和能源产业链的概貌，目的是使学生更加深刻地认识化学工业在国民经济和社会发展中的重要作用，达到“学化工、懂化工、热爱化工事业”的目的，使化工类高校的化工文化特色更加浓厚。

本书由兰州石化职业技术学院张满效、杜韦辰共同编写，全书由张满效统稿。

本书涉猎面广，试图将主要化工单元过程及设备等基础知识与几大能源化工工艺和化工安全生产等知识有机融合在一起，在编写过程中参阅了大量书籍、文献与网络资源，在此一并致谢，所列参考文献中若有疏漏之处，敬请谅解！由于编者能力所限，书中会有一些错误和不足，恳请专家和读者批评指正！

目 录

| | |
|----------|-------|
| 绪论 | (1) |
|----------|-------|

第一篇 化工单元操作及设备

| | |
|---------------------|--------|
| 第一章 流体输送原理及设备 | (5) |
| 第一节 流体静力学 | (5) |
| 第二节 流体动力学 | (11) |
| 第三节 流体流动时的阻力 | (20) |
| 第四节 化工管路与阀门 | (23) |
| 第五节 流体输送设备 | (27) |
| 第二章 化工传热过程及设备 | (35) |
| 第一节 化工传热概述 | (35) |
| 第二节 传热计算 | (37) |
| 第三节 换热设备 | (49) |
| 第四节 加热设备 | (57) |
| 第三章 化工分离过程及设备 | (63) |
| 第一节 非均相物系的分离 | (63) |
| 第二节 均相物系的分离 | (68) |

第二篇 化工工艺

| | |
|----------------------|---------|
| 第四章 石油加工工艺 | (87) |
| 第一节 石油的一般性状与组成 | (87) |
| 第二节 主要石油产品 | (91) |
| 第三节 主要炼油过程 | (96) |
| 第五章 石油化工工艺 | (115) |
| 第一节 乙烯装置 | (115) |
| 第二节 丁二烯装置 | (134) |
| 第三节 裂解汽油加氢装置 | (136) |
| 第四节 化工产品简介 | (137) |
| 第五节 高分子化工工艺 | (146) |
| 第六节 天然气及其加工利用 | (162) |
| 第六章 煤化工工艺 | (165) |
| 第一节 概述 | (165) |
| 第二节 煤炭焦化 | (170) |

| | | |
|-----|------------------------|-------|
| 第三节 | 煤炭气化 | (173) |
| 第四节 | 煤炭液化 | (178) |
| 第五节 | MTO/MTP/MTG 生产技术 | (185) |

第三篇 化工安全与职业保健

| | | |
|------|------------------------|-------|
| 第七章 | 化工安全生产技术 | (212) |
| 第一节 | 化工行业生产特点 | (212) |
| 第二节 | 化学危险物质 | (214) |
| 第三节 | 防火防爆技术 | (216) |
| 第四节 | 化工用电安全 | (230) |
| 第八章 | 化工职业病防治 | (234) |
| 第一节 | 职业危害与职业病 | (234) |
| 第二节 | 化工职业中毒及防护 | (237) |
| 第三节 | 化学烧伤及防护 | (245) |
| 第四节 | 物理性损伤及防护 | (247) |
| 第五节 | 生产现场应急事件的自救与互救 | (252) |
| 第六节 | 煤化工安全、环保与卫生 | (257) |
| 第七节 | 石油化工主要职业病危害因素及分布 | (263) |
| 参考文献 | | (267) |

绪 论

一、化工生产简介

在现代汉语中，化学工艺、化学工业、化学工程都简称为化工。

凡运用化学方法改变物质组成或结构、或合成新物质的，都属于化学生产技术，也就是化学工艺，所得产品被称为化学品或化工产品。起初生产这类产品的是手工作坊，后来演变为工厂，并逐渐形成了一个特定的生产部门，即化学工业。伴随大规模石油炼制工业和石油化工蓬勃发展，兴起了一门研究化学工业和其他过程工业生产中所进行的化学过程和物理过程共同规律的一门工程学科，即化学工程。

化学工业是从 19 世纪初开始形成，是发展较快的一个工业部门，是国民经济的重要组成部分，其产值不仅在国民经济中占举足轻重的地位，其数以千万的产品与工农业、国防、科研，尤其人类生产生活都有密切关系。

在化学工业的范围中，如果着眼于化工产品，则通常包括无机化学工业(无机化工)、有机化学工业(有机化工)、高分子化学工业(高分子化工)和精细化学工业(精细化工)。

如果考虑到原料来源和加工特点，还可分为石油化工、煤化工、天然气化工，这三种化工统称为燃料化工。在本书第二篇将较为详细地介绍石油化工、煤化工、天然气化工知识。下面简要介绍无机化工、有机化工、高分子化工、精细化工。

1. 无机化工

无机化工是无机化学工业的简称，是以天然资源和工业副产物为原料生产“三酸”(硫酸、盐酸、硝酸)、“两碱”(烧碱、纯碱)、无机盐、合成氨、化肥以及稀有元素等化工产品的工业。包括硫酸工业、纯碱工业、氯碱工业、合成氨工业、化肥工业和无机盐工业等。广义上也包括无机非金属材料 and 精细无机化学品，如陶瓷、无机颜料等的生产。

2. 有机化工

有机化工是基本有机化学工业的简称，也称基本有机合成工业，是以石油、天然气、煤等为基础原料，主要生产各种有机原料的工业。

(1) 基本有机化工原料

基本有机化工原料包括三烯(乙烯、丙烯、丁烯)、三苯(苯、甲苯、二甲苯)、一炔(乙炔)和一萘(萘)，俗称八大原料，现在合成气在有机化工生产中占有越来越重要的地位，被称为第九大原料，其他重要的基本有机原料还有甲烷、甲醇等。

生产基本有机原料的过程叫基本有机原料生产工艺学。

(2) 有机原料

用基本有机原料三烯、三苯、乙炔、萘、合成气，通过各种合成步骤可以制得醇、醛、酮、酸、酯、醚、腈类等有机原料。

按所用的基本有机原料划分有机原料可分为：①合成气系产品；②甲烷系产品；③乙烯系产品；④丙烯系产品；⑤丁二烯系产品；⑥芳烃系产品。由每一类原料都可制得一系列产品。

有机原料的用途可概括为三个主要方面：①生产合成橡胶、合成纤维、塑料和其他高分子化工产品的原料，即聚合反应的单体；②其他有机化学工业，包括精细化工产品的原料；③按产品所具有的性质用于某些直接消费，例如用作溶剂、冷冻剂、防冻剂、载热体、气体吸收剂，以及直接用于医药的麻醉剂、消毒剂等。

由上可以看出有机化工的重要性，它是发展各种有机化学品生产的基础，是现代工业结构中的主要组成部分。

这里介绍的有机原料如果站在基本有机原料生产的角度，也可以称为基本有机化工产品，所以是原料还是产品要辩证地看。

3. 高分子化工

高分子化工是高分子化学工业的简称，为高分子化合物(简称高分子)及以其为基础的复合或共混材料的制备和成品制造业。主要生产三大合成材料(合成纤维、合成橡胶、合成树脂)。由于原料来源丰富、制造方便、加工简易、品种多并具有为天然产物所无或比天然产物更为卓越的性能，高分子化工已成为发展速度最快的化学工业部门之一。

4. 精细化工

精细化工是精细化学工业的简称。精细化学品是指那些具有特定的应用功能，技术密集，商品性强，产品附加值较高的化工产品。中国精细化工产品包括农药、染料、涂料(包括油漆和油墨)、颜料、试剂和高纯物质、信息用化学品(包括感光材料、磁性材料等能接受电磁波的化学品)、食品和饲料添加剂、黏合剂、催化剂和各种助剂、化学药品(原料药)和日用化学品、高分子聚合物中的功能高分子材料(包括功能膜、偏光材料等)11类。

二、化工生产特点

化工生产具有易燃、易爆、易中毒，高温、高压、有腐蚀等特点，因而较其他工业部门有更大的危险性。化工生产有四个特点：

① 化工生产使用的原料、半成品和成品种类繁多，绝大部分是易燃、易爆、有毒害、有腐蚀的危险化学品，给生产中的这些原材料、燃料、中间产品和成品的储存和运输都提出了特殊的要求。

② 化工生产要求的工艺条件苛刻。有些化学反应在高温、高压下进行，有的要在低温、高真空度下进行。如由轻柴油裂解制乙烯进而生产聚乙烯的生产过程中，轻柴油在裂解炉中的裂解温度为 800°C ；裂解气要在深冷(-96°C)条件下进行分离；纯度为99.99%的乙烯气体要在294kPa压力下聚合，制取聚乙烯树脂。

③ 生产规模大型化。近几十年来，国际上化工生产采用大型生产装置是一个明显的趋势。采用大型装置可以明显降低单位产品的建设投资和生产成本，提高劳动生产能力，降低能耗。因此，世界各国都积极发展大型化工生产装置。但大型化会带来重大的潜在危险性。

④ 生产方式的高度自动化与连续化。化工生产已经从过去落后的手工操作、间断生产转变为高度自动化、连续化生产；生产设备由敞开式变为密闭式；生产装置从室内走向室外；生产操作由分散控制变为集中控制，同时，也由人工手动操作变为仪表自动操作，进而又发展为计算机控制。连续化与自动生产是大型化的必然结果，但控制设备也有一定的故障率。据美国石油保险协会统计，控制系统发生故障而造成的事故占炼油厂火灾爆炸事故的6.1%。

正因为化工生产具有以上特点，安全生产在化工行业就更为重要。一些发达国家的统计

资料表明，在工业企业发生的爆炸事故中，化工企业占了1/3。此外化工生产中，不可避免地要接触有毒有害的化学物质，化工行业职业病发生率明显高于其他行业。

三、本书主要内容

化工生产技术是指将原料物质主要经过化学反应转化为产品的方法和过程，包括实现这种转变的全部化学的和物理的措施。

化工生产的三个主要步骤是原料处理、反应和产品精制。

原料处理指经净化、提浓、混合、乳化或粉碎(对固体原料)等手段，使原料符合要求；反应是生产的关键步骤，达到要求的反应转化率和收率，获得目的产物或其混合物必须通过反应过程。

产品精制是除去产物中的副产物或杂质的过程。

以上除反应外其他过程均是物理过程，化工生产过程中的物理过程称为单元操作。

本书的主要内容分为化工单元操作、典型化工工艺、化工安全、化工原料及产品的介绍。

单元操作过程有流体流动与输送、传热、非均相物系的分离、均相物系的分离，通过学习掌握或了解其基本原理、计算方法、典型设备及操作注意事项。

典型的化工工艺主要介绍石油化工、煤化工的工艺流程、特征设备。

化工安全与职业卫生部分介绍化工生产中的各种事故和职业性危害产生的原因，以及应该采取哪些措施消除各种危害或改善劳动条件。

化工原料及产品知识介绍常用石油产品、有机化工原料、高分子材料等知识。

第一篇 化工单元操作及设备

化工生产是从石油、天然气、煤、空气、水和粮食等基本原料出发，借助化学过程和物理过程，改变物质的组成、性质和状态，使之成为多种价值较高的产品，如化肥、汽油、合成纤维、塑料、合成橡胶等。化学过程是指物质发生变化的反应过程，而物理过程则是指物质不经化学反应而发生的组成、性质、状态和能量变化过程。在种类繁多的各种加工过程中，除化学反应外，对原料进行预处理和对产品的后处理，均可归纳为若干种基本的物理过程，称为单元操作。

单元操作是对化学工业和其他过程工业中进行的物料粉碎、输送、加热、冷却、混合和分离等一系列使物料发生预期物理变化的基本操作的总称。对这些操作的研究，是化学工程的一个重要分支。

在化工生产中化学反应过程固然非常重要，但进行物理过程的设备在数量上远远超过反应设备，因此，单元操作在化工生产中占据很重要的地位。对单元操作着重研究实现各单元操作的过程和设备。

本篇重点介绍流体输送的原理及设备、化工传热过程及设备、化工分离过程及设备，经过短时间学习即可掌握流体输送、设备选型、管路安装、传热控制、分离操作等知识点。

第一章 流体输送原理及设备

化工生产中所处理的物料无论是原料、中间产物还是最终产品，大多都是流体。如合成氨工业中的原料(氢气、氮气)，合成后的氨气及冷冻后的液氨等都是流体；催化裂化中的重质原料(减压馏分油、常压重油、减压渣油等)、产品(干气、液化气、汽油、柴油、渣油等)也都是流体。除此之外，在现代生产中为了强化生产和实行连续操作，往往将固体采用流态化技术，使其在流动状态下操作，比如催化裂化装置中催化剂的输送过程。

化工生产中的流体，按工艺要求需输送到指定的设备内进行处理，反应制得的产品需送到储藏设备中储存，整个过程进行的好坏、动力消耗及设备投资等都与流体的流动状态密切相关。

研究流体的流动和输送，主要解决以下几方面的问题：

(1) 确定输送流体所需的能量和设备

设备之间用管路连接，若想把流体按规定的条件从一个设备送到另一个设备，首先要根据输送流体的具体条件，计算输送过程中需要输入的能量，根据需输入能量的大小，确定输送设备类型及其功率。

(2) 选择输送流体所需的管径

化工生产中的大多数流体是通过管路输送的，管径选取是否合适，直接影响到经济效益。管径选择过小，流体流动过程阻力增大，能量消耗大，操作费用高；管径选择过大，设备费用提高。掌握流体流动的基本规律，可正确选取管径，经济合理地满足生产要求。

(3) 压强、流速和流量的测量和控制

为了解和控制生产过程，使生产稳定地进行，需对管路或设备内的压强、流速和流量等一系列参数进行测量和控制，因此需选用可靠、准确的测量和控制仪表，这些仪表的测量原理多属于流体力学研究的范畴，以流体静力学和流体流动基本规律为依据。

(4) 研究流体的流动形态和条件，作为强化设备和操作的依据

流体流动的形态，除了直接影响流体输送所需的能量等因素外，还对传热、传质、流态化和化学反应等有明显的影响，有些新技术和新设备的发展都与流体的流动有密切的关系。通过改变流体的流动形态，可以起到强化操作的目的。

第一节 流体静力学

一、基本概念

1. 密度

单位体积流体的质量，称为流体的密度，其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V}$$

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 。

影响液体密度的因素有压力和温度。但压力的变化对液体密度的影响很小(压力极高时除外), 故液体常被称作不可压缩性流体, 工程上常忽略压力对液体密度的影响。温度变化时, 绝大多数液体的密度会有所变化, 温度升高时, 液体密度略有下降。例如, 4°C 时纯水的密度是 $1000\text{kg}/m^3$, 20°C 时是 $998.2\text{kg}/m^3$, 100°C 时是 $958.4\text{kg}/m^3$ 。因此, 在选取密度时, 一定要注意是在哪个温度下的密度。

为方便比较密度, 避免不同单位间的换算或混淆, 常采用相对密度。流体在某温度 t 下的密度与水在 4°C 时密度之比, 称为该流体在某温度下的相对密度, 用符号 d_4^t 表示。相对密度是两个单位相同的物理量的比值, 所以没有单位。

影响气体密度的因素有温度和压力, 气体密度随压力的增大而增大, 随温度的增高而减小。

2. 压强

(1) 压强的表示方法

流体垂直作用于单位面积上的力, 称为流体的静压强, 简称压强。用 p 表示, 在 SI 单位中, 压强的单位是 N/m^2 , 称为帕斯卡, 以 Pa 表示。常用单位有 atm、mmHg 等。

为了区别在不同物系下对压强不同的表述, 在工程上有表压、真空度、残压及绝对压强等概念。

若以 p_0 表示外界大气压, 以 p 表示容器内的压强, 当 $p \geq p_0$ 时, 即容器内的压强高于或等于外界大气压, 为正压, 可用压力表测压, 表上的读数称为表压, 表示容器内实际压强比外界大气压高出的数值。

$$P_{\text{表}} = P_{\text{绝(正)}} - P_0$$

$$P_{\text{绝(正)}} = P_{\text{表}} + P_0$$

特别注意: 当表压为零时, 其容器内的压强并不为零, 而是等于当地大气压。

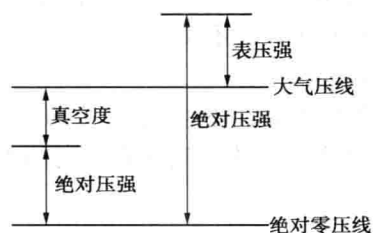


图 1-1 绝对压强与表压、真空度的关系

当 $p < p_0$ 时, 即容器内的压强低于外界大气压, 为负压, 需用真空表来测量。真空表上的读数称之为真空度, 其物理意义是它所测得的是容器内实际压强比外界大气压低了多少的数值。

$$P_{\text{真}} = P_0 - P_{\text{绝(残压)}}$$

$$P_{\text{绝}} < p_0 \text{ 时, } P_{\text{绝(残压)}} = P_0 - P_{\text{真}}$$

残压是指大气压减去真空度的数值。

综上所述, 表压、真空度、残压与绝对压强的关系如图 1-1 所示。

应当注意, 大气压强数值是随所在地的海拔高度和气温、湿度的不同而变化。因此, 引用大气压时应以当时当地气压计上的读数为准。

【例 1-1】若建在天津和兰州的两座苯乙烯真空精馏塔的塔顶均要求维持 5.3kPa 的绝对压强, 试计算两地苯乙烯精馏塔顶的真空度(天津和兰州的大气压强分别为 101.33kPa 和 85.3kPa)。

解: 真空度 = 大气压强 - 绝对压强

天津 真空度 = $101.33 - 5.3 = 96.03(\text{kPa})$

兰州 真空度 = 85.3 - 5.3 = 80 (kPa)

(2) 压强的测量

在化工生产中, 压力通常是由仪表来测量得到的, 通常所用的有压力表、真空表、压力真空表等, 如图 1-2 所示。

图 1-2(a) 是一种指针式压力表, 除此之外, 还有数字式压力表, 可以将压力的大小以数字的形式直接反映出来。测量压力时, 要将仪表安装在所要测量的设备或管道上, 直接读取表盘面上的读数即可。

一般压力表、真空表、压力真空表均以大气压力为基准, 压力表上显示的数据为表压, 真空表上读出的是真空度。测量大于大气压力的情况选择压力表, 测量小于大气压力的情况选择真空表, 而大于或小于大气压力的情况均可用压力真空表测量。



图 1-2 几种常见的测压仪表

二、流体静力学方程式及其应用

1. 流体静力学方程式

流体静力学方程式为:

$$p_A = p_0 + \rho gh \quad (1-1)$$

p_A ——测压点处的压强, Pa;

p_0 ——大气压强, Pa;

h ——测压仪器的液面高度, m;

ρ ——所测流体的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 。

流体静力学基本方程说明在重力场作用下静止流体内部压强的变化规律。流体静力学基本方程表明:

① 在静止的、连续的同种流体中, 处于同一水平面上各点的压强处处相等。压强相等的面称为等压面。

② 压强具有传递性: 当作用于流体面上方的压强变化时, 流体内部各点的压强也将发生同样的变化。

③ 式(1-1)可改写为:

$$h = \frac{p_A - p_0}{\rho g}$$

说明压强差也可用液柱高度表示，但需注明液体的种类。

2. 流体静力学方程式的应用

静力学基本方程主要应用于压强、压强差、液位、液封高度等的测量。

(1) 压强测量

最简单的测压管如图 1-3(a) 所示。A 点为测压口，测压口与一玻璃管连接，玻璃管的另一端与大气相通（大气压强为 p_0 ）。玻璃管中液面高度为 R ，根据流体静力学方程得：

$$p_A = p_0 + \rho g R$$

A 点的表压强为：

$$p_A - p_0 = \rho g R$$

显然，这样的简单装置只适用于高于大气压的液体压强的测定，不适用于气体。如被测压强 p_A 很大，读数 R 也将很大，测压很不方便。反之，如被测压强与大气压过于接近，读数 R 将很小，使测量误差增大。

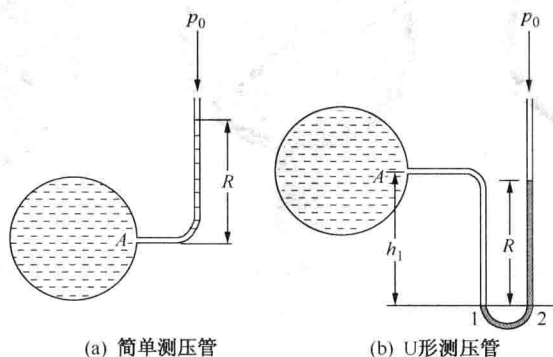


图 1-3 压强测量

图 1-3(b) 表示用 U 形测压管测量容器中 A 点的压强，在 U 形管内放有某种液体作为指示液，指示液必须与被测流体不发生化学反应且不互溶，其密度大于被测流体的密度。

常用的指示液有水银、四氯化碳、水和液体石蜡等，应根据被测流体的种类和测量范围合理选择指示液。

根据流体静力学原理可知图 1-3(b) 中 1、2 两点的压强 $p_1 = p_2$ ，而 p_1 、 p_2 可用下两式计算：

$$p_1 = p_A + \rho g h_1 \qquad p_2 = p_0 + \rho_i g R \qquad (\rho_i \text{——指示液的密度})$$

$$\text{由此得 A 点的压强为：} \quad p_A = p_0 + \rho_i g R - \rho g h_1 \qquad (\rho \text{——被测流体的密度})$$

$$\text{A 点的表压为：} \quad p_A - p_0 = \rho_i g R - \rho g h_1$$

若容器内为气体，则由气柱 h_1 造成的压强可忽略，得

$$p_A - p_0 = \rho_i g R$$

(2) 压差测量

如果 U 形测压管的两端分别与两个测压口相连，则可以测得两测压点之间的压差，故称为压差计。图 1-4(a) 表示用 U 形压差计测量 A、B 两点的压差，因 U 形管内的指示液处于静止状态，故位于同一水平面 1、2 两点的压强相等，即

$$p_1 = p_2$$

因为

$$p_1 = p_A + \rho g h_1$$

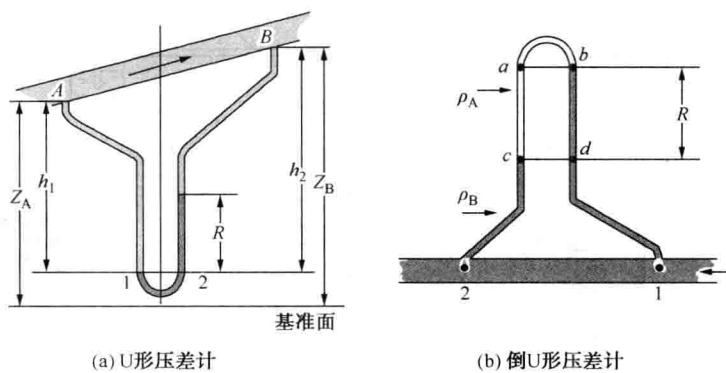


图 1-4 压差测量

$$p_2 = p_B + \rho g(h_2 - R) + \rho_i gR$$

$$(p_A + \rho g h_1) - (p_B + \rho g h_2) = (\rho_i - \rho) gR$$

加上 1、2 截面与基准面之间的距离故有

$$(p_A + \rho g Z_A) - (p_B + \rho g Z_B) = (\rho_i - \rho) gR$$

整理得

$$p_A - p_B = (\rho_i - \rho) gR + \rho g(Z_B - Z_A)$$

当两测压口处于等高面上, $Z_A = Z_B$ (即被测管道水平放置) 时, U 形压差计直接测得两点的压差为:

$$p_A - p_B = (\rho_i - \rho) gR$$

若被测流体是气体, 由于气体的密度远小于指示液的密度, 即 $\rho_i - \rho \approx \rho_i$, 则上式可简化为:

$$p_A - p_B = \rho_i gR$$

若被测流体为液体, 也可选用比其密度小的流体(液体或气体)作为指示液(剂), 最常用的倒 U 形管压差计是以空气作为指示剂, 采用如图 1-4(b) 所示的倒 U 形管压差计形式。

设倒 U 形管上方气体的压强为 p , ρ_A 和 ρ_B 分别表示指示剂及被测流体的密度, 单位为 kg/m^3 。

$$p_c = p + \rho_A gR \quad p_d = p + \rho_B gR$$

$$p_d - p_c = p_1 - p_2 = (\rho_B - \rho_A) Rg \approx \rho_B Rg$$

(3) 液位的测量

在化工生产中, 经常要了解容器内液体的储存量, 或对设备内的液位进行控制, 因此, 常常需要测量液位。测量液位的装置较多, 大多数遵循流体静力学基本原理。

【例 1-2】图 1-5(a) 所示的容器内存有密度为 $780 \text{kg}/\text{m}^3$ 的煤油, U 形管压差计中的指示液为水银, 读数为 150mm , 求容器内尚存多少 kg 煤油(容器为直径 2m 的圆柱形)?

解: 设容器内油面上方气体的压强为 p_0 , 油面高度为 h 。根据静力学基本方程式, 列出等压面 1、2 两点的压强计算式:

$$p_1 = p_0 + \rho_{\text{油}} gh \quad p_2 = p_0 + \rho_{\text{Hg}} gR$$

$$\rho_{\text{油}} gh = \rho_{\text{Hg}} gR$$

$$h = R \times \frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{油}}} = 0.15 \times \frac{13.6 \times 10^3}{780} = 2.62 \text{ (m)}$$

$$m_{\text{油}} = \frac{\pi}{4} d^2 h \rho_{\text{油}} = 0.785 \times 2^2 \times 2.62 \times 780 = 6417 \text{ (kg)}$$

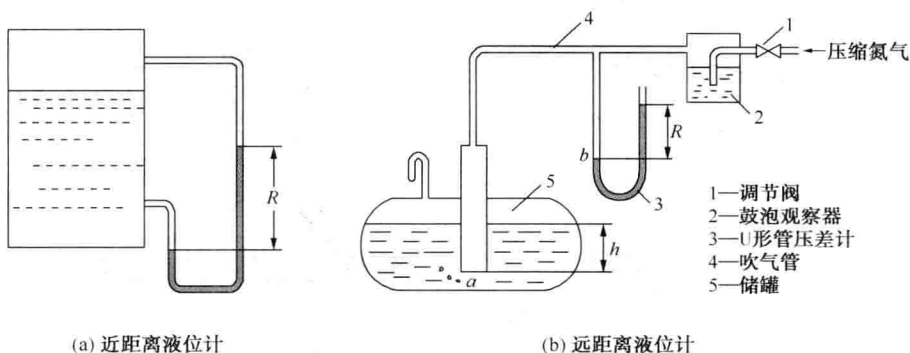


图 1-5 液位测量

远距离液位计[如图 1-5(b)所示]实际上也是一种液柱压强液面计,只是它可以用来观测远距离容器里的液面高低。

【例 1-3】如图 1-5(b)所示,用鼓泡式测量装置来测量储罐内对硝基氯苯的液位,压缩氮气经调节阀 1 调节后进入鼓泡观察器 2。管路中氮气的流速控制得很小,只要在鼓泡观察器 2 内看出有气泡缓慢逸出即可。因此气体通过吹气管 4 的流动阻力可以忽略不计。吹气管某截面处的压力用 U 形管压差计 3 来测量。压差计读数 R 的大小,即反映储罐 5 内液面的高度。

现已知 U 形管压差计的指示液为水银,其读数 $R = 160\text{mm}$,罐内对硝基氯苯的密度为 1250kg/m^3 ,储罐上方与大气相通。试求储罐中液面离吹气管出口的距离 h 为多少?

解:由于吹气管内氮气的流速很低,且管内不能存有液体,故可认为管出口 a 处与 U 形管压差计 b 处的压力近似相等,即 $p_a \approx p_b$ 。

若 p_a 与 p_b 均用表压力表示,根据流体静力学平衡方程,得

$$p_a = \rho gh \quad p_b = \rho_{\text{Hg}} g R$$

故:
$$h = \frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho} \times R = \frac{13600}{1250} \times 0.16 = 1.741 \text{ (m)}$$

(4) 液封高度的确定

在化工生产中常遇到设备的液封问题。设备内操作条件不同,采用液封的目的也就不同,液封作用主要为:

- ① 当设备内压强超过规定值时,气体则从水封管排出,以确保设备操作的安全。
- ② 防止低压下外界气体漏入设备。

例如,乙炔发生炉为了维持一定压强,炉外需装安全液封;混合冷凝器为了维持操作的真空度以防止外界空气进入器内,在排出管(又称气压管)出口也需液封。

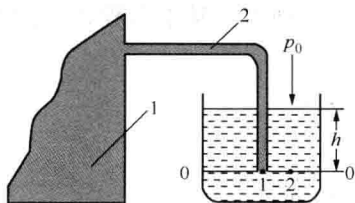


图 1-6 液封高度测量

【例 1-4】如图 1-6 所示,某厂为了控制乙炔发生炉 1 内的压强不超过 14.7kPa (表压),需在炉外装有安全液封(又称水封)装置,液封的作用是当炉内压力超过规定值时,气体便从液封管 2 中排出。试求此炉的安全液封管应插入槽内水面下的深度 h 。

解:当炉内压强超过规定值时,气体将由液封管排出,故先按炉内允许的最高压强计算液封管插入槽内水面下的深度。