



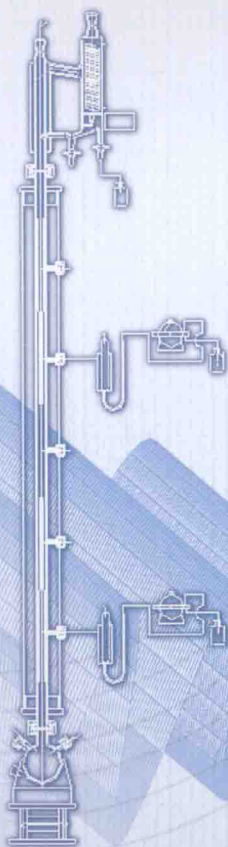
西安交通大学

本科“十二五”规划教材
“985”工程三期重点建设实验系列教材

化学工程实验

主编 郝妙莉

参编 齐随涛 伊春海 沈人杰 刘宗宽



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

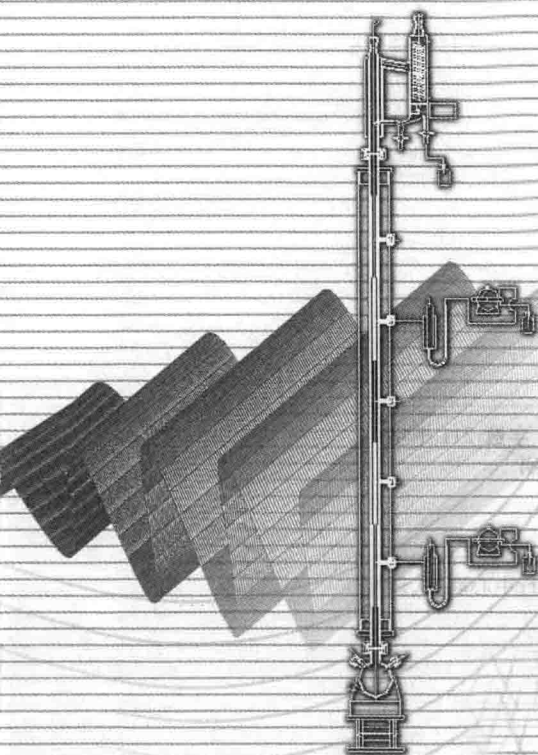


西安交通大学 本科“十二五”规划教材
“985”工程三期重点建设实验系列教材

化学工程实验

主编 郝妙莉

参编 齐随涛 伊春海 沈人杰 刘宗宽



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是在原有化工原理实验讲义和化学工程实验讲义基础上,根据综合性大学化学工程专业专业实验教学大纲内容而编写的。全书共分三大部分,包括理论部分、实验部分和附录。

理论部分主要介绍化学工程实验的基本要求,化工实验数据的测量、处理以及实验室安全等。实验部分包括化学工程专业基础课化工原理的各个单元操作,包括流体阻力实验,流量计实验,离心泵性能实验,填料塔流体力学性能及传质,筛板式精馏塔的操作及塔效率的测定,传热系数的测定,过滤实验,干燥实验,液液萃取实验等;以及化学工程专业的一些专业基础实验和专业综合实验等。

通过完成本书中的各种基础实验和综合实验的实践操作环节,可提高学生的动手能力,加强对课本知识的理解;配合化学工程各专业课程完成实践操作环节,让学生更好地掌握理论知识,熟识实验过程和数据处理方法,学会处理复杂的实际问题 and 工程问题。

本书主要面向综合类大学化学工程及工艺专业本科生,可作为专业实验教材或者教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化学工程实验/郝妙莉主编;齐随涛,伊春海,沈人杰,刘宗宽参编. —西安:西安交通大学出版社,2014.6

ISBN 978-7-5605-6325-1

I. ①化… II. ①郝… ②齐… ③伊… ④沈… ⑤刘… III. ①化学工程—化学实验 IV. ①TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 130589 号

策 划 程光旭 成永红 徐忠锋

书 名 化学工程实验
主 编 郝妙莉
责任编辑 李 文

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西奇彩印务有限责任公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 11.75 字数 211 千字
版次印次 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-6325-1/TQ·15
定 价 23.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

编审委员会

主 任 冯博琴

委 员 （按姓氏笔画排序）

邓建国 何茂刚 张建保 陈雪峰

罗先觉 郑智平 徐忠锋 黄 辰

教育部《关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)第八条“强化实践育人环节”指出,要制定加强高校实践育人工作的办法。《意见》要求高校分类制订实践教学标准;增加实践教学比重,确保各类专业实践教学必要的学分(学时);组织编写一批优秀实验教材;重点建设一批国家级实验教学示范中心、国家大学生校外实践教育基地……。这一被我们习惯称之为“质量30条”的文件,“实践育人”被专门列了一条,意义深远。

目前,我国正处在努力建设人才资源强国的关键时期,高等学校更需具备战略性眼光,从造就强国之才的长远观点出发,重新审视实验教学的定位。事实上,经精心设计的实验教学更适合承担起培养多学科综合素质人才的重任,为培养复合型创新人才服务。

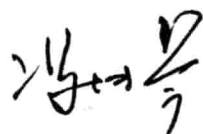
早在1995年,西安交通大学就率先提出创建基础教学实验中心的构想,通过实验中心的建立和完善,将基本知识、基本技能、实验能力训练融为一炉,实现教师资源、设备资源和管理人员一体化管理,突破以课程或专业设置实验室的传统管理模式,向根据学科群组建基础实验和跨学科专业基础实验大平台的模式转变。以此为起点,学校以高素质创新人才培养为核心,相继建成8个国家级、6个省级实验教学示范中心和16个校级实验教学中心,形成了重点学科有布局的国家、省、校三级实验教学中心体系。2012年7月,学校从“985工程”三期重点建设经费中专门划拨经费资助立项系列实验教材,并纳入到“西安交通大学本科‘十二五’规划教材”系列,反映了学校对实验教学的重视。从教材的立项到建设,教师们热情相当高,经过近一年的努力,这批教材已见端倪。

我很高兴地看到这次立项教材有几个优点:一是覆盖面较宽,能确实解决实验教学中的一些问题,系列实验教材涉及全校12个学院和一批重要的课程;二是质量有保证,90%的教材都是在多年使用的讲义的基础上编写而成的,教材的作者大

多是具有丰富教学经验的一线教师,新教材贴近教学实际;三是按西安交大《2010版本本科培养方案》编写,紧密结合学校当前教学方案,符合西安交大人才培养规格和学科特色。

最后,我要向这些作者表示感谢,对他们的奉献表示敬意,并期望这些书能受到学生欢迎,同时希望作者不断改版,形成精品,为中国的高等教育做出贡献。

西安交通大学教授
国家级教学名师

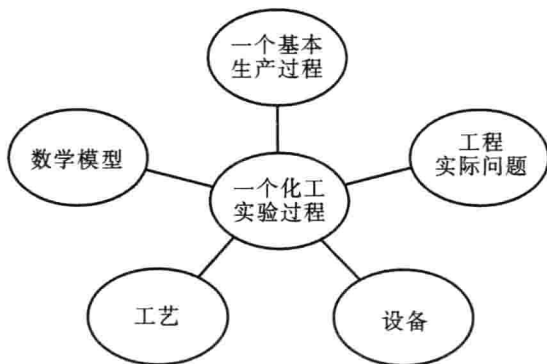


2013年6月1日

Foreword 前言

实验研究是化学工程研究中的主要方法,因此对一个化学工程专业人员而言,如何设计实验和进行实验研究,并能从中得到规律性的东西将是十分重要的,"化学工程实验"就是为完成这一基本训练而设立的一门课程。

化学工程实验包含了化工专业基础课程(化工原理)的实验和化学工程的专业课程(化工热力学,化学反应工程、化工分离工程、化工传递过程)的专业实验内容。化工原理实验,能使学生学到扎实的化工原理知识,了解化工实验设备的结构、特点,学习常用实验仪器仪表的使用,掌握化工实验的基本方法、单元操作的实施过程,并通过实验操作训练学生的实验技能。通过实验数据的分析处理,计算机的应用,编写报告,培养训练学生实际计算和组织能力。化学工程专业实验涉及了化工热力学,化学反应工程、化工分离工程、化工传递过程等内容,它的研究对象小到分子级,大到一个车间乃至全厂。通过化学工程的专业实验学习,进一步提高学生进行工程实验研究的能力,分析问题、解决问题的能力。



正如图上所示,一个化工实验过程,就是一个基本的生产过程,通过实验研究可以解决实际的工程问题,实验中不仅是关于设备的问题,还涉及工艺流程的问题,而一个实验过程又可以归结为一个数学模型。所以实验研究是化工专业学习的重要环节,是理论联系实际桥梁。

对于一名刚刚从那些物理、化学等实验室进入到化工专业实验室的学习者,需从一些玻璃器皿和测试仪器的使用转换到对一个个工艺流程的认识和熟悉。本书作者从事 20 年化工专业实验教学。根据多年教学经验,本书内容安排就是本着从浅到深,从基本到综合的培养思路,从最基本单元操作实验开始,训练学习者的基本实验技能;到逐渐加深到一些综合实验,进一步培养其解决问题的能力。经过全书内容的学习与实践,基本能够达到一个化学工程及工艺专业本科毕业生的专业技能要求。通过化学工程实验的学习和以后的工厂实习、毕业设计等组成完整的化学工程实践教学环节,为学习者以后的的工作奠定必要的实践基础。

本书根据化学工程专业教学大纲编写,紧密结合教学内容,面向化学工程、化工工艺专业本科生,也可用于其他相关专业。本书内容主要由郝妙莉编写整理。同时,齐随涛参与了精馏、吸收实验的编写;刘宗宽参与了干燥、过滤实验的编写;伊春海参与了膜分离实验的编写;沈人杰参与了流体、传热实验的编写。本书编写因作者水平有限而存在的不足之处,敬请各位使用者提出批评指正,以备及时修正补充。

作者

2014 年 3 月

Contents 目录

第 1 章 理论部分	(001)
1.1 化学工程实验的基本要求	(001)
1.2 化工实验数据的测量	(004)
1.3 化工实验数据的处理	(022)
1.4 实验室安全	(025)
第 2 章 实验部分	(027)
实验 1 流体力学实验	(027)
实验 2 离心泵性能测定实验	(034)
实验 3 恒压过滤实验	(040)
实验 4 传热实验	(045)
实验 5 筛板塔精馏实验	(052)
实验 6 吸收(氧解吸)实验	(062)
实验 7 三元液液平衡数据的测定	(071)
实验 8 液液萃取实验	(075)
实验 9 干燥速率测定实验	(083)
实验 10 二氧化碳临界状态观测及 $p-v-t$ 关系	(091)
实验 11 二元汽液相平衡数据的测定	(097)
实验 12 溶液超额摩尔体积测定	(102)
实验 13 多釜串联停留时间分布测定	(107)
实验 14 气固流化床临界流化速度的测定	(111)
实验 15 空气纵掠平板时局部换热系数的测定	(115)
实验 16 固体小球对流传热系数的测定	(120)
实验 17 多功能膜分离实验	(125)
实验 18 中空纤维膜气体分离实验装置	(135)

实验 19	萃取精馏实验	(138)
实验 20	共沸精馏	(142)
实验 21	连续酯化反应精馏	(147)
第 3 章	附录	(154)
附录 A	AI 系列人工智能仪表	(154)
附录 B	阿贝折射仪	(155)
附录 C	乙醇-水溶液物性参数	(159)
附录 D	乙醇-正丙醇溶液物性参数	(162)
附录 E	溶氧仪使用说明	(162)
附录 F	气瓶安全使用基本常识	(166)
附录 G	气体减压器	(170)
附录 H	722S 型可见分光光度计	(172)
附录 I	旋风分离器	(176)
参考文献		(177)

第1章 理论部分

1.1 化学工程实验的基本要求

通过化学工程实验,要使学习者基本的实验技能得到良好的训练,解决问题的能力得到良好的培养,那么对所进行的所有实验过程和结果必须有一定的要求。实验不能走马观花,敷衍了事,那样不仅达不到学习的目的,严重时还会出现安全问题。那么就要从实验预习、实验设备熟悉、实验分工与合作、实验过程操作、实验数据记录、实验结果处理以及实验报告书写等各个环节来严格要求。只有带着科学、严谨、认真的态度来进行化学工程实验,才能达到预期的目的,即培养化工专业人才独立从事科学研究的优秀能力。

一、实验预习

1. 认真预习实验指导教材,结合学习理论内容,明确实验的目的、意义、基本原理和实验的基本要求,特别注意每个实验的注意要点。
2. 根据实验的基本任务和要求,弄明白实验的理论根据和实验的具体操作方法,分析具体有哪些数据需要直接测量,那些数据不需直接测量而通过间接获得,并且根据理论学习知识估计实验数据的变化规律。
3. 认真阅读实验所使用设备仪器仪表等的使用说明和操作方法。
4. 有必要的实验做一份实验预习报告,列出实验内容、原理、方案、步骤、注意事项。

二、实验设备熟悉

1. 到实验室现场,观察实验室整体环境,是否存在不安全因素,在确保安全情况下,先进行实验流程熟悉摸索。
2. 熟悉实验台主要设备构造,测量仪表的种类和安装位置,了解它们的测量内容、测量原理和正确的使用方法;全面考虑实验流程的布置是否合理,各种安装布局是否合理,各种测量仪表的量程、精度是否合适。

3. 检查水、电等条件是否正常。

三、实验分工与合作

1. 因为教学时间、实验条件的因素,本科生化学工程实验教学一般都是多人合作,一般每4~5人一个小组,这就需要在实验开始前进行合理的分工安排,最好每个小组有一位组长负责协调工作,做到既有合作又有分工,既能保证质量,又能获得全面训练。

2. 集体讨论实验方案,合理分工,各组员各司其职,包括实验的操作、读取数据、数据记录、实验现象观察等,适当的时候要进行轮换工作。

四、实验操作与注意事项

1. 根据指导教材和实验方案,严格按照步骤进行,认真操作实验,各种调节工作除了特殊要求应该循序渐进、温和改变,不能粗暴对待仪器设备。

2. 实验操作者,必须密切注意仪表示值的变化,随时根据需要调节,务必使整个实验过程都在规定条件下进行,尽量减少实验操作条件和所规定的条件之间的差距。

3. 操作人员要坚守岗位,不得擅离职守。

4. 实验中注意观察实验现象,判断是否正常,如果发现有不正常现象时,及时分析讨论原因并纠正。

五、实验数据记录采集

1. 准备好原始实验数据记录表格。

2. 凡是影响实验结果的数据,或者数据处理过程中所必需的数据都要求测量并记录。包括室温、大气压、设备相关参数、仪器参数、药品条件等。

3. 实验数据记录一定要先记录各种数据的物理量名称、表示符号和单位,特别是单位,一定要对照仪器设备记录所标注的单位。

4. 当实验现象和数据稳定后才能进行数据的记录工作,当实验条件改变后,应该等待一定时间,等实验数据再次稳定才能读取。这是因为条件的改变破坏了原来的稳定状态,重新建立需要一定的时间,有的实验甚至需要很长的时间才能再次达到稳定。另外,仪表通常都有滞后现象。

5. 注意如果是在某一物理量连续变化范围内进行点数据记录采集,应该在整

个实验量程内根据采集数据点的个数提前安排测量位置,使所得实验点在整个范围内尽量分布均匀,以减少误差。

6. 读取每组数据后,应该立即进行复核,并和前面数据进行比照,分析相互关系是否合理,数据变化趋势是否合理,如果发现有不合理的情况,应该马上讨论分析,以便及时发现问题,即时解决问题。注意相同条件下实验数据的重复性。

7. 实验数据记录应该科学真实,不可随意涂改、捏造;数据的估读到最小刻度后一位。

六、实验数据整理

1. 整理实验数据,根据理论依据或者实验中的具体情况对某些确定不合理数据进行舍弃。

2. 如果数据处理过程复杂,且数据多,一般采用列表整理。

3. 给出数据处理详细过程,计算要列出计算公式和过程,作图要标示出所有实验点,不能直接用线代替,模拟计算结果除外。

4. 数字计算过程中也要根据有效数字的运算规则,舍弃一些没有意义的数字。数字的精确度是由测量仪表本身的精度决定的,绝不会因为计算时位数的增多而提高。

七、实验报告

1. 实验完成后,最后的结果应该由一份完整的实验报告来体现。实验报告是对实验工作的归纳总结,一份优秀的实验报告必须目的明确,理论清楚,数据完整,结论正确,有分析,有讨论,得出的公式或者曲线有明确的使用条件。通过实验报告,实验者在数据处理、作图分析、结论总结等方面得到训练,逐渐提高处理问题的能力。

2. 实验报告的内容一般包括:实验题目,实验日期,实验者姓名,实验目的,实验内容,实验原理,实验装置流程,实验操作步骤,实验数据记录及处理,实验结果及分析,问题讨论。

3. 不建议照实验教材照抄,实验目的、原理、流程描述清楚即可,实验过程必须详细记录,期间发生的各种现象和情况必须详细记录描述,数据处理过程要详细完整,实验结果要分析讨论。

4. 认真回答实验教材提出的各个问题;分析实验误差大小及原因;对实验中发生的现象要进行分析讨论;对实验方法、实验设备有何建议也一并在此提出。

1.2 化工实验数据的测量

化工实验及研究中,测量最多的物理量主要有压力(压强)、流量(流速)和温度等。为了获得一定精度的实验数据,需要选择合适的测量仪表。

一、压力(压强)的测量

垂直作用于流体单位面积上的压力称为流体的压强,以 p 表示,单位为 Pa,俗称压力,表示静压力强度: $p = \frac{dP}{dA}$,当流体作用面上的压强各处相等时,则有 $p = \frac{P}{A}$ 。式中, p 为流体的静压强,Pa; P 为垂直作用于流体表面上的压力,N; A 为作用面的面积, m^2 。

在连续静止的流体内部,压强为位置的连续函数,任一点的压强与作用面垂直,且在各个方向都有相同的数值。

工程上常间接的用液柱高度 h 表示压强,其关系式为 $p = \rho gh$ 。式中, h 为液柱的高度,m; g 为重力加速度, m/s^2 。不同单位之间的换算关系为 $1 \text{ atm} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 760 \text{ mmHg} = 1.0133 \text{ bar} = 1.0133 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

压强以绝对真空为基准——绝对压强,是流体的真实压强。

以大气压强为基准

- 表压强 = 绝对压强 - 大气压强(压力表度量)
- 真空度 = 大气压强 - 绝对压强(真空表度量)

绝对压强,表压强,真空度之间的关系可用图 1-1 表示。

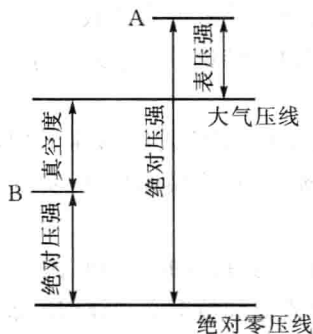


图 1-1 压强的基准和量度

大气压强随温度、湿度和当地海拔高度而变。为了防止混淆,对表压强、真空度应加以标注。压强可以测量,化工实验中常用的有以下几种。

1. U 管压差计

U 管压差计是一根 U 形玻璃管,内装有液体作为指示液。

(1) 指示液的选择依据:

指示液要与被测流体不互溶,不起化学反应,且其密度应大于被测流体的密度。

(2) 压强差($p_1 - p_2$)与压差计读数 R 的关系:

图 1-2 所示的 U 管底部装有指示液 A,其密度为 ρ_A ,U 管两侧臂上部及连接管内均充满待测流体 B,其密度为 ρ_B 。 $(p_1 - p_2)$ 与 R 的关系式,可根据流体静力学基本方程式进行推导。推导的第一步是确定等压面。图中 a, a' 两点都是在连通着的同一种静止流体内,并且在同一水平面上,所以这两点的静压强相等,即 $p_a = p_{a'}$ 。

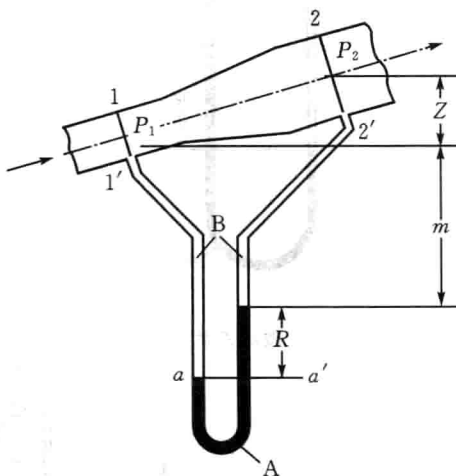


图 1-2 U 型管压差计

根据流体静力学基本方程式可得

$$p_a = p_1 + \rho_B g(m + R) \quad (1-1)$$

$$p_{a'} = p_2 + \rho_B g(Z + m) + \rho_A gR \quad (1-2)$$

于是: $p_1 + \rho_B g(Z + m) + \rho_A gR$

整理上式,得压强差($p_1 - p_2$)的计算式为:

$$p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B)gR + \rho_B gZ \quad (1-3)$$

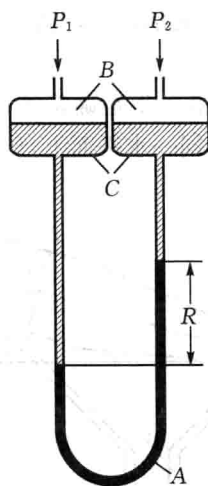
当被测管段水平放置时, $Z=0$, 则上式可简化为:

$$p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B)gR \quad (1-4)$$

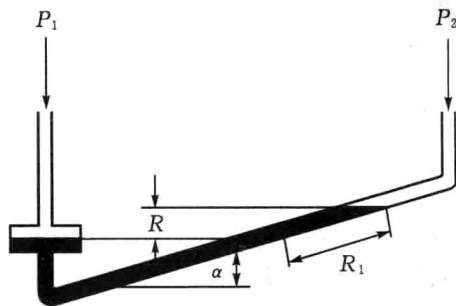
(3) 绝对压强的测量:

若 U 管一端与设备或管道某一截面连接, 另一端与大气相通, 这时读数 R 所反映的是管道中某截面处的绝对压强与大气压强之差, 即为表压强或真空度, 从而可求得该截面的绝压。

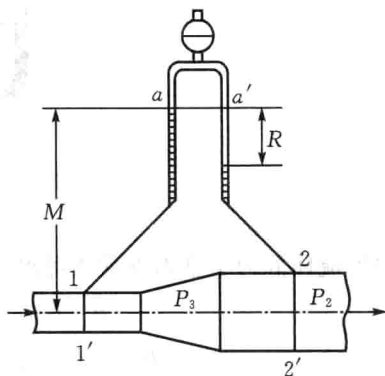
2. 微压差计



(a) 微压差计



(b) 倾斜液柱压差计



(c) 倒置 U 形管压差计

图 1-3 几种微压差计

(1)当被测压强差很小时,为把读数 R 放大,除了在选择指示液时,尽可能地使其密度 ρ_A 与被测流体的密度 ρ_B 相接近外,还可采用如图1-3左边的微差压差计。其特点是:①压差计内装有两种密度相近且不互溶、不起化学作用的指示液A和C,而指示液C与被测流体B亦不互溶。②为了读数方便,使U管的两侧臂顶端各装有扩大室,俗称为“水库”。扩大室的截面积要比U管的截面积大得很多。当 $p_1 \neq p_2$ 时,A指示液的两液面出现高度差 R ,扩大室中指示液C也出现高差 R' 。此时压差和读数的关系为:

$$p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_C)Rg + (\rho_C - \rho_B)R'g \quad (1-5)$$

若工作介质为气体,且 R' 甚小时,式(1-5)可简化为:

$$p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_C)Rg \quad (1-6)$$

(2)图1-3中间所示的倾斜液柱压差计也可使U形管压差计的读数 R 放大一定程度,即 $R_1 = R/\sin\alpha$,式中 α 为倾斜角,其值越小, R_1 值越大。

(3)采用如图1-3(c)所示的倒置U形管压差计(指示液为工作流体)也可测量较小的压强差。

3. 压力传感器(SENSOR)

(1)传感器:国家标准GB7665—87对传感器下的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。它是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的输出,满足信息的传输、存储、显示、记录和控制要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

(2)变送器(transmitter):传感器是能够受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置的总称,通常由敏感元件和转换元件组成。当信号变换器与传感器做成一体,传感器的输出为规定的标准信号时,就称为变送器。根据《中国大百科全书》的定义,变送器——输出为标准信号的传感器。国家标准的定义:使输出为规定标准信号的装置称为变送器。

变送器的概念是将非标准电信号转换为标准电信号的仪器,传感器则是将物理信号转换为电信号的器件,过去常讲物理信号,现在其他信号也有了。一次仪表指现场测量仪表或基地控制表,二次仪表指利用一次表信号完成其他功能:诸如控制,显示等功能的仪表。

传感器和变送器本是热工仪表的概念。传感器是把非电物理量如温度、压力、液位、物料、气体特性等转换成电信号或把物理量如压力、液位等直接送到变送器。变送器则是把传感器采集到的微弱的电信号放大以便转送或启动控制元件,或将传感器输入的非电量转换成电信号同时放大以便供远方测量和控制的信号源。根据需要还可将模拟量变换为数字量。