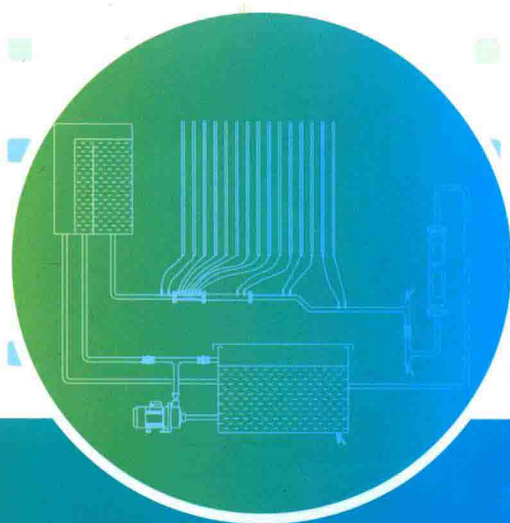


高等学校规划教材

化工原理实验

王桂霞 姚金环 黎 燕 主编

HUAGONG
YUANLI
SHIYAN



化学工业出版社

高等学校规划教材

化工原理实验

王桂霞 姚金环 黎 燕 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《化工原理实验》是配合化工原理理论教学设置的实验课，是教学中的实践环节。本书包括了化工原理所有的基础实验：雷诺现象演示、伯努利方程演示、流量测定与流量计校核、流体流动阻力测定、离心泵特性曲线测定、板框恒压过滤常数测定、传热系数测定、吸收解吸实验、精馏分离实验、萃取分离实验、干燥速率曲线测定等。本书还详细介绍了与设备配套的，由北京欧贝尔软件技术公司开发的化工原理仿真实验。

《化工原理实验》可作为石油、化工、制药、轻工、食品、环境、材料等相关专业的本科生教材，也可供其他相关专业工程技术人员参考。

化工原理实验

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理实验/王桂霞, 姚金环, 黎燕主编. —北京: 化学工业出版社, 2018. 4
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-31434-5

I. ①化… II. ①王… ②姚… ③黎… III. ①化工原理-实验-高等学校-教材 IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 012774 号

责任编辑: 徐雅妮 丁建华
责任校对: 边 涛

文字编辑: 刘志茹
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京京华铭诚工贸有限公司

装 订: 北京瑞隆泰达装订有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 8 $\frac{1}{4}$ 字数 202 千字 2018 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前言

化工原理实验教学是化工原理课程教学的一个重要组成部分,是理论课堂教学的继续、补充和深化,具有直观性、实践性、综合性、探索性和启发性。化工原理实验不仅可以有效地培养和提高学生独立开展科学研究的素质和能力,还能强化学生在化工原理课上所学的基本原理和处理方法,同时也能帮助学生树立工程观点,培养学生分析问题、解决问题的能力。因此化工原理实验在化工类及相关专业的人才培养中有着举足轻重的作用。

化工原理实验属于工程实验范畴,与一般化学实验相比,不同之处在于它具有工程特点。每个实验项目都相当于实际生产中的一个单元操作,通过实验能建立起一定的工程概念。因此,通过化工原理实验课的训练,学生在思维方法和创新能力方面都得到培养和提高,为今后的工作打下坚实基础。

本书在桂林理工大学化工教研室编写的《化工原理实验指导讲义》基础上修订而成。本书包括了化工原理所有的基础实验:雷诺现象演示、伯努利方程演示、流量测定与流量计校核、流体流动阻力测定、离心泵特性曲线测定、板框恒压过滤常数测定、传热系数测定、吸收解吸实验、精馏分离实验、萃取分离实验、干燥速率曲线测定等。根据我校现有的化工原理硬件设备,北京欧贝尔软件技术公司开发了化工原理仿真软件,本书对软件的安装和操作也进行了详细的介绍。

本书第一章、第二章由王桂霞编写;第三章由姚金环、黎燕、吕奕菊、王桂霞编写;第四章由杨文编写;附录由蒋锡福、阮乐整理;全书由桂林理工大学化工教研室老师统一整理校对。书中的部分图表由姚威、宫宏康协助完成。

本书出版得到了桂林理工大学教材建设基金资助,以及广西电磁化学功能物质重点实验室和广西特聘专家团队的资助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请批评指正。

编 者

2018 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
一、化工原理实验教学目的	1
二、化工原理实验教学要求	2
三、化工原理实验注意事项	2
第二章 化工原理实验基础知识	4
第一节 化工原理实验常用仪表	4
一、压力检测及压力仪表	4
二、温度检测及测温仪表	7
三、流量测量及仪表	9
第二节 实验数据记录与处理	11
一、实验数据记录	11
二、实验数据处理	12
第三章 实验内容	14
实验一 雷诺现象演示	14
实验二 伯努利方程演示	17
实验三 化工流体流动综合实验	19
I 流量测定与流量计校核	21
II 流体流动阻力测定	24
III 离心泵特性曲线测定	30
实验四 板框恒压过滤常数测定	32
实验五 冷空气-热蒸汽传热系数测定	37
实验六 筛板精馏塔全回流与部分回流	47
实验七 氧气的吸收与解吸	52
实验八 有机相-水相萃取	61
实验九 洞道式干燥速率曲线测定	67

第四章 化工原理仿真实验 75

第一节 化工原理实验仿真软件简介 75

- 一、仿真软件开发介绍和安装使用环境 75
- 二、化工原理实验仿真软件安装 75
- 三、安装运行平台 80
- 四、仿真软件界面介绍 82

第二节 化工原理实验仿真软件操作 90

- 仿真软件操作 1：雷诺现象演示 90
- 仿真软件操作 2：伯努利方程演示实验 92
- 仿真软件操作 3：板框恒压过滤常数测定 93
- 仿真软件操作 4：冷空气-热蒸汽传热系数的测定 95
- 仿真软件操作 5：筛板精馏塔全回流操作和部分回流分离操作 98
- 仿真软件操作 6：氧气的吸收与解吸实验 101
- 仿真软件操作 7：有机相-水相萃取实验 103
- 仿真软件操作 8：洞道式干燥速率曲线的测定实验 105
- 仿真软件操作 9：化工流体流动综合实验 107

附录 112

- 附录 1 化工原理实验预习报告格式要求 112
- 附录 2 化工原理实验报告格式要求 113
- 附录 3 化工原理实验基础数据 114
- 附录 4 化工原理实验室安全操作规程 117
- 附录 5 阿贝折光仪（型号 WYA-2W） 120
- 附录 6 便携式溶氧测量仪（型号 innoLab 10D） 122

参考文献 126

第一章

绪 论

化工原理教学除了系统地讲授基础理论外,实验教学也是一个必不可少的实践性环节。因此,实验教学在化工原理教学中的作用、地位及其意义,不容忽视。化工原理实验属于工程实验范畴,具有典型的工程特点,担负着由理论到工程、由基础到专业的桥梁作用;对化工类及相关专业学生的工程能力培养起着举足轻重的作用。化工原理实验验证了化工过程中的一些基本理论,是学习、掌握和应用化工原理这门课的必要手段。化工原理实验与其他化学实验相比具有明显的工程特点,与化学工程技术问题紧密结合,对化工单元操作设备的设计等均具有指导意义。

一、化工原理实验教学目标

(1) 通过实验教学,验证化工单元过程的基本理论,运用理论分析实验过程及其现象,让学生进一步掌握、巩固和加深化工原理理论知识,得到将理论应用于实践的训练,巩固和深化理论知识。

(2) 熟悉实验装置流程及常用化工仪器仪表的使用,了解典型化工过程和化工设备结构的特点。用所学的化工原理理论知识去解决实验中遇到的各种实际问题。

(3) 训练实际操作和掌握化工实验的基本技能,培养观察实验现象,测定化工参数,分析、整理实验数据和编写工程实验报告的能力,进而分析、解决化工原理实验问题,得出正确的结论。增强学生的工程观点,培养学生良好的科学实验能力。

(4) 养成实事求是的科学态度、严谨的科学作风,以及爱护实验仪器、设备,热爱劳动的良好品德。培养学生从事科学实验的初步能力。科学实验的能力培养主要包括如下几方面。

- ① 培养设计实验方案的能力。
- ② 培养观察和分析实验现象和解决实验问题的能力。
- ③ 培养正确选择和使用测量仪表的能力。
- ④ 培养实验数据处理以获得实验结果的能力。

为达到上述目的,要求参加实验的学生必须严肃认真地对待实验教学中的每一个环节,认真预习,并按照实验教学的目的和内容,主动、积极、认真地进行实验操作,圆满完成实

验项目。

二、化工原理实验教学要求

1. 实验课前预习

化工原理实验装置及流程较为复杂,测试仪器较多,课前预习尤其重要。要求学生实验课前认真阅读实验教材及理论教材的有关内容,清晰地掌握实验目的和要求、实验内容和实验依据的原理,严格按照要求完成实验预习报告,预习报告格式请参考附录1。

2. 实验课中实际操作

学生进入实验室,得到教师允许后,才能启动设备。在实验过程中,学生要按操作规程认真操作。操作中出现安全事故时,首先应该断电断水,然后报告指导教师。发现仪器仪表有故障,应立即向指导教师报告,不得擅自行事。观察实验现象要认真,测定实验数据要细致,记录数据结果要详尽。全部数据记录完毕,交于指导教师审查可行后,才可结束实验。实验结束,将设备和仪表恢复原状,整理台面,清扫环境。

3. 实验课后实验报告的撰写

实验报告虽以实验数据的准确性和可靠性为基础,但将实验结果整理成一份好的报告,却也是需要经过训练的一种实际工作能力。往往有这样的情况,有一些学生实验技能较好,实验也做得成功,却整理不出一篇科学合理的实验报告。因此,对于学生来说,撰写实验报告也是一项需要经过严格训练的工作,这种训练对今后写好科学论文和研究报告大有裨益。实验报告的具体格式请参考附录2。

三、化工原理实验注意事项

(1) 实验室是进行科学实验的场所,到实验室进行实验时应保持实验室的整洁和安静。实验室内必须以严肃认真的态度进行实验,遵守实验室的各项规章制度。禁止在实验室内大声喧哗、追逐嬉闹和随地吐痰;禁止赤足、穿拖鞋背心进实验室。不得在实验室进食;不得擅自离开操作岗位,室内不得进行与实验无关的事。实验过程中应服从指导教师及实验室工作人员的指导。否则,将视其情节进行批评直至停止实验操作。每位同学应按实验安排表准时到指定地点参加实验,不得无故缺课,未经指导教师许可,不得擅自调换实验项目。

(2) 化工原理实验装置复杂,管道仪表繁多,所以要求爱护一切实验设备与器材,在未弄清仪器设备的使用要求前,不得运转。实验设备易碎易坏难替换且价格昂贵,如果粗心大意或使用不当,不仅会造成国家财产损失,而且会使实验教学中断,使别人失去学习研究机会。爱护仪器、实验设备及实验室其他设施,损坏照价赔偿。在保证完成实验要求下,注意节约水、电、气、油以及化学药品等。

(3) 实验前要认真阅读实验教材和装置仪器说明书,仔细检查实验装置和仪器仪表是否完好。实验完毕,认真整理,恢复装置原状,保持环境整洁。若有损坏,立即报告。有了损坏或隐患不报告,往往会使下一轮从事实验的人员不明真相而操作,从而导致事故,这种行为应该杜绝。实验操作过程中,注意用电、用液化气及使用有害药品的安全,并注意防火、实验室内严禁吸烟、精馏塔等附近不准使用明火,启动电器设备时,防触电,注意电机有无异常声音。高度重视防止触电,高压爆炸,火灾、中毒等安全工作。实验前要了解总电闸、分电闸位置,严禁湿手操作电气开关。

(4) 实验过程中注意保持实验环境的整洁。实验结束后应进行清洁和整理,将仪器设备恢复原状。细心观察记录与思考,严格按操作规程操作,注意培养认真细致的科学作风。实验过程中,因违反操作规程损坏仪器、设备,应根据情节的轻重和态度由指导教师会同实验室负责人商定,按仪器、设备价值酌情折价赔偿,情节严重、损失较大者,上报学校进行处理。

思考题

1. 阐述化工原理实验课程的重要性?
2. 化工原理实验的工程性主要体现在哪些方面,举例说明?
3. 化工原理实验的安全操作主要包括哪些方面,举例说明?

第二章

化工原理实验基础知识

第一节 化工原理实验常用仪表

一、压力检测及压力仪表

压力测量仪表是用来测量气体或液体压力的工业自动化仪表，又称压力表或压力计。压力测量仪表按工作原理分为表 2-1 所示四大类。

表 2-1 测压仪表分类

测量方式	测量原理	常用的形式
液柱式压力计	依据重力与被测压力平衡的原理制成的,可将被测压力转换为液柱的高度差进行测量	U 形管压力计 单管压力计 斜管压力计
弹性式压力计	依据弹性力与被测压力平衡的原理制成,弹性元件变形的多少反映了被测压力的大小	弹簧管压力计 波纹管压力计 膜盒式压力计
电气式压力计	利用物质与压力有关的物理性质进行测压	电阻应变片式、电容式、压电式、电感式、霍尔式
活塞式压力计	根据水压计液体传送压力的原理,将被测压力转换成活塞面积上所加平衡砝码的质量	它普遍地被作为标准仪器,用来校验或刻度弹性式压力计

1. 液柱式压力计

液柱式测压仪表根据流体静力学原理，利用液柱所产生的压力与被测压力的平衡，并根据液柱高度来确定被测压力大小的压力计。所用液体叫做液封，常用的有水、酒精、水银等。液柱式压力计多用于测量低压、负压和压力差。常用的液柱式压力计如图 2-1 所示，其中，(a) U 形管压力计、(b) 单管压力计及 (c) 斜管压力计（测量原理可参考化工原理教材）。化工原理实验设备中最常见的为 U 形管压力计，通过两侧的液位差计算出压力的大小。

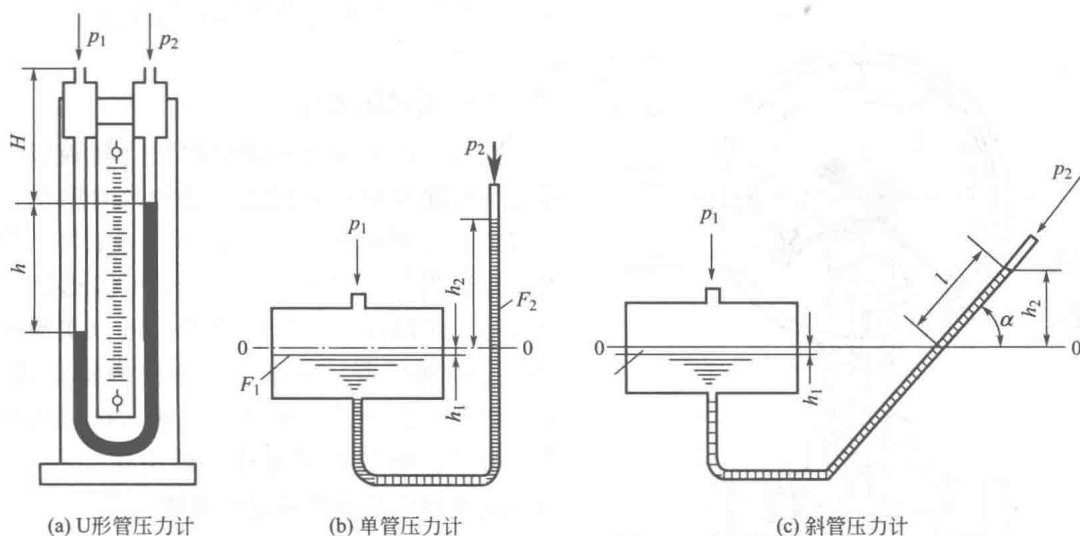


图 2-1 液柱式压力计

p_1, p_2 —测压点压力; h, l, H —液位差; α —液柱与水平面的夹角

2. 弹性式压力计

弹性式压力计是将压力信号转变为弹性元件的机械变形量，以指针偏转的方式输出信号。工业系统中多使用此类压力计。弹性元件根据形状分类有：单圈弹簧管压力表、多圈弹簧管压力表、膜片压力表、膜盒压力表及波纹管压力表。化工原理实验设备中大部分安装的为弹簧管压力表。

弹簧管压力表：又称波登管压力表，一般分为：压力表、压力真空表、真空表和精密压力表。弹簧管在受压或真空作用下，弹簧管产生弹性形变引起管端位移，其位移通过机械传动机构进行放大，传递给指示装置，再由指针在刻有法定计量单位的分度盘上指出被测压力或真空的量值。弹簧管压力表主要适用于测量无爆炸，不结晶，不凝固，对铜和铜合金无腐蚀作用的液体、气体或蒸汽的压力。弹簧管压力表的测量范围一般为 $0.1 \sim 250 \text{ MPa}$ ，不同量程的弹簧管压力表如图 2-2 所示。

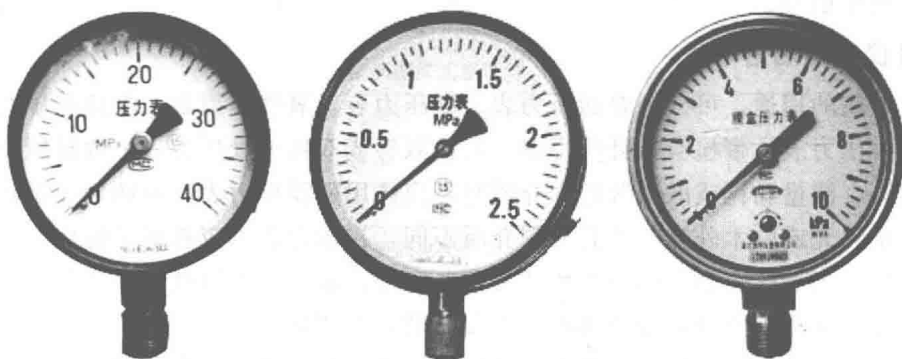


图 2-2 不同量程的弹簧管压力表

弹簧管压力表的心脏为弹簧管，压力加入后发生形变，产生位移，其工作原理如图 2-3 所示。弹簧管的横截面形状做成扁形，一端与支架焊接，另一端封闭后与连杆连接。弹簧管材料应该具有较高的弹性极限，抗疲劳极限和耐腐蚀性，易焊接，加工性能好，化学成分和

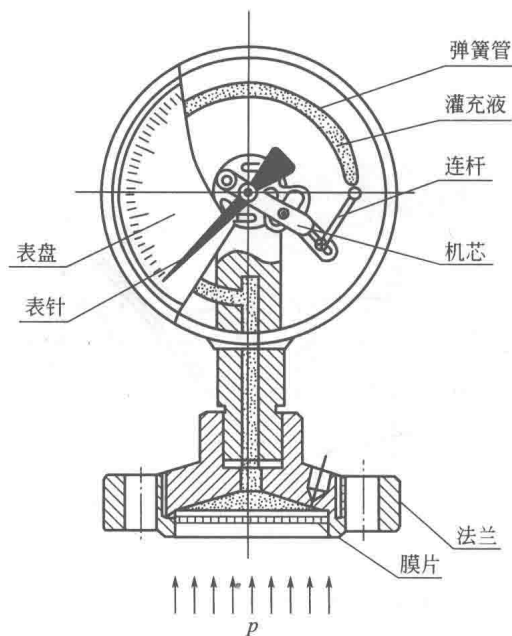


图 2-3 弹簧管压力表工作原理示意

力学性能均一致，常用黄铜、磷青铜、不锈钢、合金钢等。

3. 电气式压力计

电气式压力计是一种能将压力转换成电信号进行传输及显示的仪表。这种仪表的测量范围较广，分别可测量 $7 \times 10^5 \sim 5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 的压力，允许误差可至 0.2%。由于可以远距离传送信号，所以在工业生产过程中可以实现压力自动控制和报警，并可与工业控制机器联用，化工原理实验设备中部分数显测压仪采用电气式压力计。电气式压力计一般由压力传感器、测量电路和信号处理装置所组成。

压力传感器的作用是把压力信号检测出来，并转换成电信号进行输出，当输出的电信号能够被进一步变换为标准信号时，压力传感器又称为压力变送器。从压力转换成电量的途径来看，可分为电阻式、电容式、电

感式等。

(1) 电阻应变片式压力传感器 被测压力作用于弹性敏感元件上，使它产生变形，在其变形的部位粘贴有电阻应变片，电阻应变片能感受被测压力的变化，按照这种原理设计的传感器称为电阻应变片式压力传感器。

(2) 电容式压力变送器 以弹性元件膜片为电容器的可动极板，它与固定极板之间形成一可变电容。随着被测压力的变化，膜片产生位移，使电容器的可动极板与固定极板之间的距离改变，从而改变了电容器的电容量，完成压力信号与电容器之间的变化。

(3) 电感式压力传感器 以电磁感应原理为基础，利用磁性材料和空气的磁导率不同，把弹性元件的位移量转换为电路中电感量的变化或互感量的变化，再通过测量线路转变为相应的电流或电压信号。

4. 压力仪表的选用

根据压力表的用途，可分为普通压力表、氨压力表、氧气压力表、电接点压力表、远传压力表、耐振压力表、带检验指针压力表、双针双管或双针单管压力表、数显压力表、数字精密压力表等。测量黏稠或酸碱等特殊介质时，应选用隔膜压力表、不锈钢弹簧管、不锈钢机芯、不锈钢外壳或胶木外壳。按其所测介质不同，在压力表上应有规定的色标，并注明特殊介质的名称，如氧气表必须标以红色“禁油”字样，氢气用深绿色下横线色标，氨用黄色下横线色标等。在化工原理实验设备中一般安装的为普通压力表。

压力表量程的选择：一般在被测压力较稳定的情况下，最大工作压力不应超过仪表满量程的 $2/3$ ；在被测压力波动较大或脉冲压力时，最大工作压力不应超过仪表量程的 $1/2$ ；为了保证测量准确度，最小工作压力不应低于满量程的 $1/3$ 。当被测压力变化范围大，最小和最大工作压力可能不能同时满足上述要求时，选择仪表量程应首先要满足最大工作压力条件。

二、温度检测及测温仪表

1. 温标的概念

所谓“温标”即衡量物体温度高低的标尺。只有建立精确的温标，才能准确地测取温度。不同的温标表示同一点的温度数值不同。国际通用的有三种温标。

(1) 摄氏温标（也叫百分温标） 利用水银、酒精等物体体积的热胀冷缩的性质建立起来的。标准大气压下，冰的熔点为 0℃，水的沸点为 100℃，0~100℃之间分成 100 等份，每份为 1℃。

(2) 华氏温标 在标准大气压下，冰的熔点为 32°F，水的沸点为 212°F。

摄氏温标与华氏温标之间的关系为：

华氏温度=(1.8t+32)°F

式中，t 代表摄氏温标的温度示值。

注：华氏温标单位在我国不是法定计量单位，但是在欧美国家有广泛的应用。

(3) 热力学温标 热力学温标是以热力学第二定律为基础的温标，它已由国际大会采纳作为国际统一的基本温标。热力学温标又称开氏温标（以符号 K 表示），它规定分子运动停止时的温度为热力学零度（或称最低理论温度）。热力学温标是纯理论的，不能付诸实用。

国际实用温标为摄氏温标：

t=T-273.15

式中，t 为摄氏温度；T 为热力学温度。

2. 测温仪表

测温仪表有很多种分类方法，按使用范围分，有高温计，测量温度在 600℃ 以上；普通温度计，测量温度在 600℃ 以下。按测温原理分，有膨胀式温度计、压力式温度计、热电阻温度计、热电偶高温计、辐射式高温计。按测量方式分，有接触式和非接触式温度计；详细分类可参见表 2-2。

表 2-2 测温仪表分类

方式	接触式温度计		非接触式温度计	
测量原理	膨胀式温度计	固体膨胀式温度计	测量原理	光学高温计
		液体膨胀式温度计		光电高温计
	压力表式温度计	气体压力式温度计		红外测温仪
		液体压力式温度计		
		蒸汽压力式温度计		
	热电阻式温度计	金属热电阻温度计		
		半导体热电阻温度计		
	热电偶式温度计	标准材料热电偶温度计		
		特殊材料热电偶温度计		

(1) 接触式液体膨胀式温度计

接触式液体膨胀式温度计主要有酒精温度计、煤油温度计及水银温度计，见图 2-4。

① 酒精温度计 利用酒精热胀冷缩的性质制成的温度计。在 1atm（1 标准大气压，

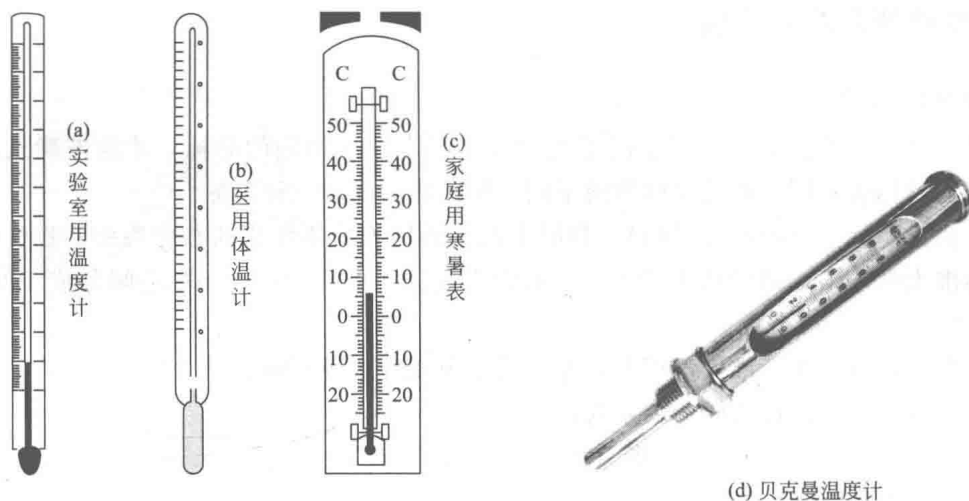


图 2-4 接触式液体膨胀式温度计

1atm=101325Pa) 下, 酒精温度计所能测量的最高温度一般为 78°C 。因为酒精在 1atm 下, 其沸点是 78°C 。但是温度计内压强一般都高于 1atm, 所以有一些酒精温度计的量程大于 78°C 。在北方寒冷的季节, 通常会使用酒精温度计来测量温度, 这是因为水银的凝固点是 -39°C , 在寒冷地区可能会因为气温太低而使水银凝固, 无法进行正常的温度测量, 而酒精的凝固点是 -117°C , 不必担心这个问题。酒精温度计的量程为 $-117\sim 78^{\circ}\text{C}$ 。因为酒精的沸点比较低, 随温度的变化的线性不够好, 现逐渐淘汰。

② 煤油温度计 工作物质是煤油, 它的沸点一般高于 150°C , 凝固点低于 -30°C 。所以煤油温度计的量程为 $-30\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。目前市面上出售的家用气温计多为煤油温度计。它的分度值较大, 多为 1°C , 因此不能作精确的测量, 仅仅适合于精度要求不高的场合。

注: 酒精或者煤油温度计内的液体均为红色液体, 主要原因为了方便观察, 加了红色染料。

③ 水银温度计 一种具有银白色的内部液柱的温度计。水银的体积随着温度的变化基本上呈线性, 在所有可选择的材料中是最理想的, 水银不能对玻璃浸润, 无表面张力的负面影响。水银的凝固点是 -39°C , 沸点是 356.7°C , 测量温度范围是 $-39\sim 357^{\circ}\text{C}$ 。用它来测量温度, 不仅简单直观, 而且还可以避免外部远传温度计的误差。

化工原理实验最常用的具有控温功能的贝克曼温度计, 属于移液式玻璃水银温度计, 主要用于测量温差。贝克曼温度计有两个贮液泡: 感温泡和与之相通的接在毛细管上端构成回纹状的备用泡, 感温泡是温度计的感温部分, 其水银量在不同温度间隔内能作增或减的调整。备用泡用来贮存或补充感温泡内多于或不足的水银量。贝克曼温度计有两个刻度尺: 主刻度尺和备用泡处的副刻度尺。主刻度尺用来测量温差, 其示值范围有 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 或 $0\sim 6^{\circ}\text{C}$, 分度值为 0.01°C ; 副刻度尺表示温度计测量温差的温度范围, 在调整主刻度尺的温度间隔时, 以此作为参考, 其测量范围为 $(-20\sim 120^{\circ}\text{C})$, 分度值为 2°C 。

水银温度计常常发生水银柱断裂的情况, 消除方法有: 冷修法, 将温度计的测温包插入干冰和酒精混合液中 (温度不得超过 -38°C) 进行冷缩, 使毛细管中的水银全部收缩到测温包中为止; 热修法, 将温度计缓慢插入温度略高于测量上限的恒温槽中, 使水银断裂部位与整个水银柱连接起来, 再缓慢取出温度计, 在空气中逐渐冷至室温。

(2) 接触式热电偶和热电阻温度计 化工原理设备中的温度探头主要有热电偶和热电阻两种 (见图 2-5)。

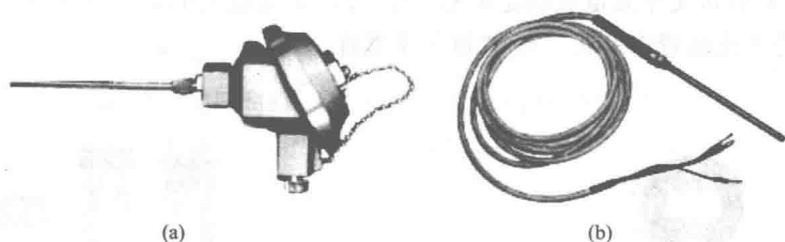


图 2-5 接触式热电偶 (a) 和热电阻温度探头 (b)

① 热电偶 工作原理是两种不同成分的导体两端连接成回路, 如两连接端温度不同, 则在回路内产生热电流的物理现象。热电偶由两根不同导线 (热电极) 组成, 它们的一端是互相焊接的, 形成热电偶的测量端 (也称工作端)。将它插入待测温度的介质中, 而热电偶的另一端 (参比端或自由端) 则与显示仪表相连。如果热电偶的测量端与参比端存在温度差, 则显示仪表将指出热电偶产生的热电动势。

② 热电阻 利用金属导体或半导体有温度变化时本身电阻也随着发生变化的特性来测量温度的, 热电阻的受热部分 (感温元件) 是用细金属丝均匀地绕在绝缘材料作成的骨架上或通过激光溅射工艺在基片上形成。当被测介质有温度梯度时, 则所测得的温度是感温元件所在范围内介质层的平均温度。

根据测温范围选择: 500°C 以上一般选择热电偶, 500°C 以下一般选择热电阻。根据测量精度选择: 对精度要求较高选择热电阻, 对精度要求不高选择热电偶。根据测量范围选择: 热电偶所测量的一般指 “点” 温, 热电阻所测量的一般指空间平均温度。

三、流量测量及仪表

在化工生产过程中, 物料的输送绝大部分是在管道中进行的, 因此, 用于管道流动的流量检测最为常用。由于流量检测条件的多样性和复杂性, 流量的检测方法非常多, 是工业生产过程常见参数中检测方法最多的。

流量测量方法和仪表种类繁多, 其分类方法亦多。按测量对象划分就有封闭管道用和明渠用两大类。按测量目的又可分为总量测量和流量测量, 其仪表分别称作总量表和流量计。按测量原理分为力学原理、热学原理、声学原理、电学原理、原子物理学原理等。按照检测量的不同, 可以分为体积流量检测和质量流量检测。按照检测原理不同, 流量检测方法又可分为速度法、容积法和质量法。

1. 速度法

速度法的原理是以流量测量管道内流体的平均流速, 再乘以管道截面积, 求得流体的体积流量。基于这种检测方法的流量检测仪表有压差式流量计、转子流量计、电磁流量计和超声波流量计等。化工原理实验设备中较常见的是压差式流量计和转子流量计。

(1) 压差式流量计 也称孔板流量计, 利用柏努利方程原理来测量的流量仪器 (见图 2-6)。在气体的流动管道上装有一个节流装置, 其内装有一个孔板, 中心开有一个圆孔, 其孔径比管道内径小, 在孔板前流体稳定地向前流动, 流过孔板时由于孔径变小, 截面积收

缩，使稳定流动状态被打乱，因而流速将发生变化，速度加快，气体的静压随之降低，于是在孔板前后产生压力降落，即差压（孔板前截面大的地方压力大，通过孔板截面小的地方压力小）。差压的大小和气体流量有确定的数值关系，即流量大时，差压就大；流量小时，差压就小。常用的节流装置有孔板、喷嘴和文丘里管。

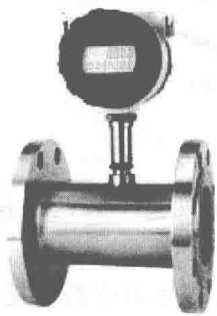


图 2-6 压差流量计

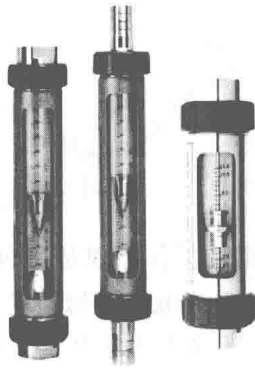


图 2-7 转子流量计

(2) 转子流量计 转子流量计由两个部件组成，一件是从下向上逐渐扩大的锥形管；另一件是置于锥形管中且可以沿管的中心线上下自由移动的转子（见图 2-7）。转子流量计当测量流体的流量时，被测流体从锥形管下端流入，流体的流动冲击着转子，并对它产生一个作用力（这个力的大小随流量大小而变化）；当流量足够大时，所产生的作用力将转子托起，并使之升高。同时，被测流体流经转子与锥形管壁间的环形断面，这时作用在转子上的力有三个：流体对转子的动压力、转子在流体中的浮力和转子自身的重力。流量计垂直安装时，转子重心与锥管管轴会相重合，作用在转子上的三个力都沿平行于管轴的方向。当这三个力达到平衡时，转子就平稳地浮在锥管内某一位置上。对于给定的转子流量计，转子大小和形状已经确定，因此它在流体中的浮力和自身重力都是已知的常量，唯有流体对浮子的动压力是随来流流速的大小而变化的。因此当来流流速变大或变小时，转子将作向上或向下的移动，相应位置的流动截面积也发生变化，直到流速变成平衡时对应的速度，转子就新的位置上稳定。对于一台给定的转子流量计，转子在锥管中的位置与流体流经锥管的流量的大小成对应关系。转子流量计的转子可采用不锈钢、铝、青铜等材料制成。

2. 容积法

容积式流量计，在流量仪表中是精度最高的一类。在单位时间以标准固定体积对流动介质连续不断地进行测量，以排出流体固定容积数来计算流量。在容积式流量计内部具有构成一个标准体积的空间，通常称其为容积式流量计的“计量空间”或“计量室”。容积式流量计的工作原理为：流体通过流量计，就会在流量计进出口之间产生一定的压力差。流量计的转动部件（简称转子）在这个压力差作用下会产生旋转，并将流体由入口排向出口。在这个过程中，流体一次次地充满流量计的“计量空间”，然后又不断地被送往出口。在给定流量计的条件下，该计量空间的体积是确定的，只要测得转子的转动次数，就可以得到通过流量计的流体体积的累积值。常用的有椭圆齿轮流量计和腰轮转子流量计。

该类型的流量计的优点是：计量精度高；安装管道条件对计量精度没有影响；可用于高黏度液体的测量；直读式仪表无需外部能源可直接获得，操作简便。缺点是：结果复杂，体

积庞大；被测介质种类、口径、介质工作状态局限性较大；不适用于高、低温场合；大部分仪表只适用于洁净单相流体；产生噪声及振动。

3. 质量流量

质量流量的检测分为直接法和间接法两种。直接式质量流量计有角动量式、量热式和科氏力式等；间接式质量流量计是同时测出容积流量和流体的密度而自动计算出质量流量的。质量流量计测量精度不受流体的温度、压力和密度等影响，是一种新型的正处于发展中的仪表。

思考题

1. 工程实验中通常需要注意哪些参数的变化？
2. 简述化工原理实验设备中压力表的类型及测量原理。
3. 简述化工原理实验设备中流量计类型及测量原理。
4. 简述化工原理实验设备中温度测量仪表及测量原理，如何尽可能减小测量误差？

第二节 实验数据记录与处理

一、实验数据记录

为了保证实验获得正确的处理结果，实验时应注意正确采集原始数据。除了认真检查实验装置设备，减少系统误差外，应精心操作，认真读取和记录数据，减少人为的过失误差，力求原始数据准确。因此，在实验数据采集和记录过程中，需做到以下几点。

1. 实验记录翔实并清晰可见

实验前应该作好充分准备，理清实验原理、目的、要求以及实验条件和可能产生偏差的因素等。在实验过程中应该准确操作，细心观察，正确地记录有关实验数据，并把实验过程中的异常现象及时记录下来。

实验记录内容需工整，数据记录表格清晰。实验记录本一定按进度及时、真实、客观地记录，要确实做到“实验结果是什么，就记录什么；实验做到哪里，就写到哪里”，不得有先入为主的思想，更不可以凭自己的主观想象随意捏造实验数据。对每一实验的操作、读数、记录都应认真对待，一丝不苟。

所有的记录数字应明晰并且附有相应的计量单位，实验数据的记录误差尽可能限制在小的范围内。进行重复性实验发现有异常现象或结果，需特别注明异常点并尽可能说明原因；若后续实验可证明异常现象的原因，必须将验证结果补列于此次实验报告中。若有笔误，直接用笔划删除即可，不可使用修正液修改，也不可将实验记录本内页撕去；详细记载实验内容包括：条件参数、操作步骤、反应操作时间、反应操作方式、取样方法、分析方法等。

2. 正确地选择测试参数

根据课前预习，对实验要测定的参数要做到了如指掌，懂得哪些参数为已知，哪些参数