

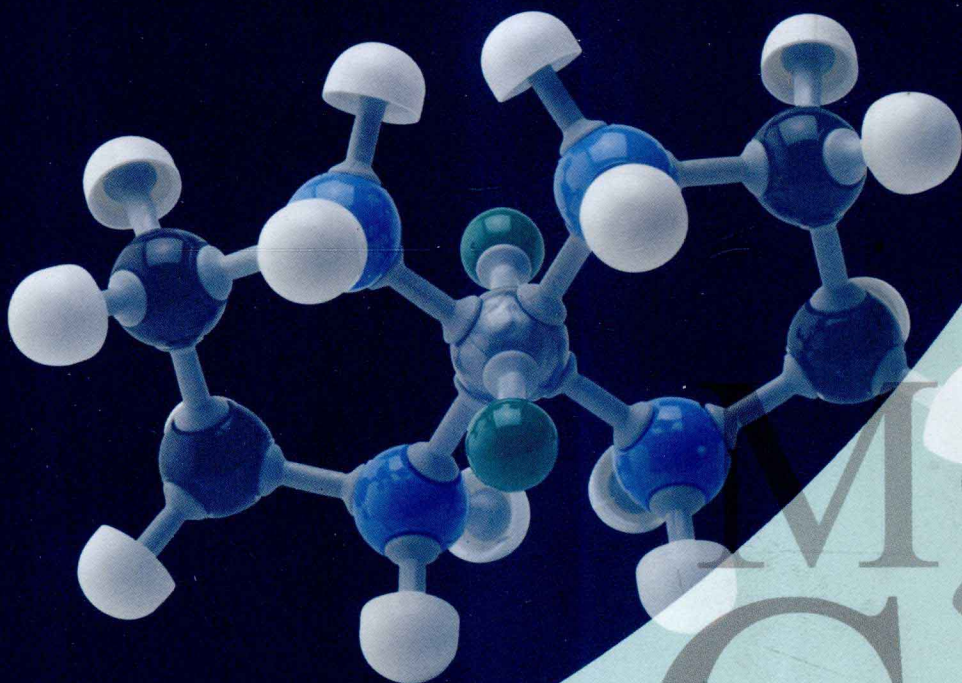


“十二五”化学类专业本科规划教材

HUAGONG YUANLI SHIYAN

化工原理实验

赵俊廷 主编

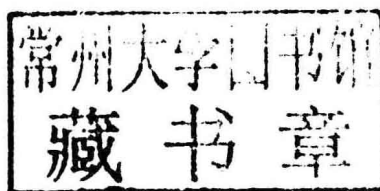


河南科学技术出版社

“十二五”化学类专业本科规划教材

化工原理实验

赵俊廷 主编



河南科学技术出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书共分8章,内容主要包括化工基本参数测控技术与常用仪表、实验研究方法、实验误差的估算与分析、实验数据处理、实验设计和实验项目等内容,考虑到内容的完整性和适用性,具体实验项目包括基本实验和演示与选修实验两部分。

本书可作为普通高等学校化工类相关专业学生化工原理实验课程的配套教材,具体教学内容各学校可根据实际情况选择确定。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/赵俊廷主编. —郑州:河南科学技术出版社, 2011.9
(“十二五”化学类专业本科规划教材)
ISBN 978 - 7 - 5349 - 5202 - 9

I. ①化… II. ①赵… 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 (2011) 第 146768 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65788629 65788613

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 范广红 杨艳霞

责任编辑: 司 芳

责任校对: 杨艳霞

封面设计: 张 伟

版式设计: 栾亚平

责任印制: 张 巍

印 刷: 河南新华印刷集团有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13.75 字数: 332 千字

版 次: 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系调换。

《“十二五”化学类专业本科规划教材》

编审委员会名单

主 任 吴养洁

副主任 王键吉 宋毛平 常俊标 屈凌波
王利亚

委 员 (以姓氏笔画排序)

王利亚	王国庆	王敏灿	王键吉
方少明	尹志刚	石秋芝	卢会杰
吉保明	刘寿长	杜玲枝	李德亮
吴养洁	宋毛平	张继昌	张富捐
卓克垒	屈凌波	赵文献	赵俊廷
贾春晓	贾晓红	徐 琰	徐茂田
徐翠莲	郭彦春	唐明生	黄建华
常俊标	常照荣	渠桂荣	路纯明
缪 娟	潘振良		

《化工原理实验》编写人员名单

主 编 赵俊廷

副主编 李冬光

编 者 (以姓氏笔画排序)

李冬光 张 雷 张宏勋 张艳丽

赵俊廷 黄建平

前言

根据教育部关于高等学校本科面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的精神,为了更好地实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”,促进精品课程建设,河南科学技术出版社组织河南省高校专家、教师编写了“十二五”化学类专业本科规划教材,《化工原理实验》是本套教材之一。

化工原理实验是化工原理课程的重要组成部分,是培养学生工程观念、提高学生综合素质的重要途径,要求学生综合运用已学过的理论知识进行实验设计和实验操作,通过实验验证对应单元操作中所涉及的基本原理、现象和结论,目的是使学生进一步巩固所学的理论知识,了解化学工程领域的基本实验研究和实验数据处理方法,提高实验操作技能和相关仪器仪表的使用能力,培养学生的创新意识和分析解决工程实际问题的能力。

本书是在原河南工业大学《化工原理实验》的基础上,参考相关文献,经进一步修改完善编写而成的。内容主要包括化工基本参数测控技术与常用仪表、实验研究方法、实验误差的估算与分析、实验数据处理、实验设计和实验项目等内容,考虑到内容的完整性和适用性,具体实验项目包括基本实验和演示与选修实验两部分。本教材可作为普通高等学校化工类相关专业学生化工原理实验课程的配套教材,具体教学内容各学校可根据实际情况选择确定。

本书由河南工业大学赵俊廷任主编,河南工业大学李冬光任副主编。具体编写分工如下:第 1 章、第 4 章和附录 1~4 由河南工业大学张艳丽编写,第 2 章由河南工业大学张宏勋、张雷编写,第 3 章由河南工业大学张宏勋编写,第 5 章和第 6 章由河南工业大学李冬光编写,第 7 章和第 8 章由河南工业大学赵俊廷编写,附录 5~10 由安阳工学院黄建平编写。全书由赵俊廷统编、定稿。

编写过程中,河南工业大学的领导和化工系的教师们,在工作上给予了各种协助,为本教材的组织编写和稿件的顺利完成提供了有力的支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,在教材编写方面缺乏经验,书中可能存在错误和缺点,敬请读者提出宝贵意见和建议,以便今后修订改进。

编者
2011 年 7 月

目 录

1 绪论	(1)	2.2.4 压力控制技术 ...	(21)
1.1 化工原理实验的目的和 意义	(1)	2.3 流量测控技术与仪表	(22)
1.2 实验要求	(1)	2.3.1 流量检测方法 ...	(22)
1.2.1 实验前的准备 工作	(1)	2.3.2 流量检测仪表 ...	(23)
1.2.2 实验操作过程	(2)	2.3.3 实验室常用流量 控制技术	(34)
1.2.3 数据处理	(2)	2.4 温度测控技术与仪表	(35)
1.2.4 撰写实验报告	(3)	2.4.1 温度测量方法及测 温仪表分类	(35)
1.3 实验室安全知识	(4)	2.4.2 玻璃管液体 温度计	(35)
1.3.1 防火安全知识	(4)	2.4.3 热电阻温度计 ...	(38)
1.3.2 用电安全知识	(4)	2.4.4 热电偶温度计 ...	(40)
1.3.3 使用汞的安全 知识	(5)	2.4.5 测温仪表的选用与 安装	(42)
1.3.4 使用高压钢瓶的 安全知识	(5)	2.4.6 温度控制	(43)
2 化工基本参数测控技术 与常用仪表	(7)	2.5 物位测控技术与仪表	(46)
2.1 概述	(7)	2.5.1 液位检测方法 ...	(47)
2.1.1 检测过程与 误差	(7)	2.5.2 料位检测方法 ...	(49)
2.1.2 检测仪表的常用 术语及技术性能 指标	(8)	2.5.3 相界面检测 方法	(51)
2.2 压力测控技术与仪表	(11)	2.5.4 物位检测仪表的 选择	(52)
2.2.1 压力检测方法 ...	(11)	2.6 湿度检测技术与仪表	(52)
2.2.2 压力检测仪表 ...	(12)	2.6.1 伸缩法	(52)
2.2.3 压力仪表的选用、 校验与安装	(19)	2.6.2 干湿球法	(52)
		2.6.3 冷凝露点法	(53)
		2.6.4 氯化锂露点法 ...	(54)
		2.6.5 电解法	(54)

2.7 功率检测技术与仪表	(54)	4.3.1 拉依达准则	(84)
2.7.1 功率表	(55)	4.3.2 肖维勒准则	(84)
2.7.2 电动机-天平式 测功仪	(55)	4.3.3 格拉布斯准则 ...	(85)
2.7.3 电阻应变式 转矩仪	(55)	4.4 测量结果的区间估计	(87)
2.8 其他检测仪器	(56)	4.5 间接测量中误差的 估计	(87)
2.8.1 阿贝折光仪	(56)	4.5.1 误差传递的一般 公式	(87)
2.8.2 液体密度测定方法 及仪器	(59)	4.5.2 标准误差的 传递	(89)
3 实验研究方法	(63)	4.6 误差分析应用示例	(90)
3.1 直接实验法	(63)	5 实验数据处理	(92)
3.2 量纲分析法	(64)	5.1 实验数据的列表处理	(92)
3.2.1 基本理论	(64)	5.2 实验数据的图形表示	(93)
3.2.2 举例说明	(69)	5.2.1 坐标系的选择 ...	(93)
3.3 数学模型法	(71)	5.2.2 坐标分度的 选择	(95)
3.3.1 主要步骤	(71)	5.2.3 图形的绘制	(95)
3.3.2 举例说明	(71)	5.3 实验数据的方程表示	(96)
3.4 过程变量分离法	(73)	5.3.1 函数类型的 确定	(96)
3.5 过程分解与组合法	(73)	5.3.2 模型中常数的确定 (1)——图解法 ...	(98)
3.6 参数综合法	(74)	5.3.3 模型中常数的确定 (2)——回归分析 法	(99)
3.7 冷模试验法	(74)	5.4 Origin 在数据处理中的 应用	(108)
4 实验误差的估算与分析	(75)	5.4.1 实验数据的 录入	(108)
4.1 误差的基本概念	(75)	5.4.2 单层二维图形的 绘制与线性拟合 ...	(111)
4.1.1 测量	(75)	5.4.3 多层二维图形的 绘制	(112)
4.1.2 真值	(75)	5.4.4 图形的修饰	(116)
4.1.3 误差的表示 方法	(76)	5.4.5 曲线的拟合	(119)
4.1.4 准确度、精密度与 正确度	(77)	6 实验设计	(121)
4.1.5 误差的来源	(78)	6.1 概述	(121)
4.1.6 误差的分类	(79)	6.1.1 析因实验	(121)
4.1.7 有效数字	(80)		
4.2 随机误差	(82)		
4.2.1 随机误差的 正态分布	(82)		
4.2.2 随机误差的 t 分布	(83)		
4.3 可疑值的判断与处理	(84)		

6.1.2 过程模型参数的确定	实验	(170)
6.2 实验范围选择与实验	布点	(121)
6.3 正交实验设计		(122)
6.3.1 基本概念		(122)
6.3.2 用正交表安排	实验	(126)
6.3.3 实验结果的	分析	(129)
6.4 均匀实验设计		(135)
6.5 序贯实验设计		(135)
7 化工原理基本实验		(136)
7.1 流体阻力测定实验		(136)
7.2 离心泵性能测定实验		(141)
7.3 过滤常数测定实验		(145)
7.4 气 - 汽对流传热实验		(150)
7.5 精馏实验		(154)
7.6 吸收实验		(157)
7.7 干燥实验		(162)
8 化工原理演示与选修实验		(167)
8.1 雷诺实验		(167)
8.2 伯努利方程演示实验		(169)
8.3 离心泵结构与原理		
	实验	(170)
8.4 孔板流量计校核实验		(171)
8.5 旋风分离器性能演示	实验	(173)
8.6 热电偶特性演示实验		(175)
8.7 测温仪表标定实验		(177)
8.8 测压仪表标定实验		(178)
附录		(180)
附录 1 管子、管件的种类、	用途及连接方法	(180)
附录 2 常用正交表		(184)
附录 3 F 分布数值表		(195)
附录 4 饱和水蒸气表		(199)
附录 5 干空气的物理性质	($p = 101.33 \text{ kPa}$)	(201)
附录 6 水的物理性质		(202)
附录 7 镍铬 - 镍硅热电偶	分度表	(204)
附录 8 铂电阻分度表		(206)
附录 9 t 检验系数 $K(\alpha, f)$	值	(207)
附录 10 乙醇 - 水溶液平衡数据	($p = 101.325 \text{ kPa}$)	(208)
参考文献		(209)

1 绪 论

1.1 化工原理实验的目的和意义

化工原理是以化工生产过程为研究对象的课程，是化工、轻工、制药、生物、环境等专业的一门重要技术基础课。化工原理实验则是学习、掌握和运用化工原理基本内容的必要环节，也是训练化工实验研究基本方法和基本技能的必要环节，它与理论教学、习题课和课程设计等教学环节共同构成一个有机的整体。化工原理实验与一般化学实验的不同之处在于其具有明显的工程特点，面对的是工程问题。

通过化工原理实验环节，力求达到以下教学目的：

(1) 配合理论教学，通过实验从实践中进一步学习、掌握和运用学过的基本理论知识，加深对化工原理单元操作的理解。

(2) 熟悉典型化工单元操作实验装置的流程、结构和操作，掌握化工数据的基本测试技术，同时运用化工基本理论分析实验过程中的各种现象，培养和训练学生分析问题和解决问题的能力。

(3) 培养学生设计实验、组织实验的能力，增强工程概念，掌握实验的研究方法。

(4) 提高计算与分析问题的能力，运用计算机软件处理实验数据，以数学方式或图表科学地表达实验结果，并进行必要的分析讨论，编写完整的实验报告。

(5) 通过实验逐步培养学生良好的思想作风和工作作风，以严谨、科学的精神对待实验和研究工作。

1.2 实验要求

实验前的准备、实验操作、数据处理和撰写实验报告是完成化工原理实验的四个必要环节，只有对每个环节都认真对待，才能通过实验真正提高实验技术。

1.2.1 实验前的准备工作

(1) 仔细阅读实验教材，明确本次实验的目的与要求，并结合课程有关章节进行预习，了解实验的方法、理论依据以及应测取的数据。

(2) 了解实验的装置流程、主要设备和构造、仪表种类和安装位置，熟悉它们的启动和使用方法，了解仪表的精度级，以便分析误差来源。

(3) 确定要测取的数据, 以及数据点的分配, 熟悉调节点和测试点的位置, 研究操作参数的调节方法, 然后进一步确定实验方案。

(4) 列出本实验需在实验室得到的全部原始数据和操作现象观察项目的清单, 并画出便于记录的原始数据表格。

(5) 实验前小组成员必须明确分工、协调一致, 做到既有分工, 又有合作。既要保证实验质量, 又要使每个人获得全面训练。对实验方案要做到人人心中有数。

(6) 实验方案要事先和指导教师交换意见, 获得指导老师同意。

1.2.2 实验操作过程

(1) 在充分预习的基础上, 进行实验操作与数据的测取。必须使用事先拟好的记录表格, 不许随使用白纸代替, 以免所记录数据混淆不清, 同时也便于复查。

(2) 按预定方案, 各岗位相互配合, 将装置上的各测量点调节到预定的测量值, 并努力使之保持定常。

(3) 在每一定常条件下, 重复读取各项数据 (每个测点至少读数两次, 如前后差别较大, 应再重复读数), 各测点的读数应尽可能同步进行, 然后改变新的条件, 逐一测取数据。应当注意, 装置越大, 达到定常所需要的时间就越长。

(4) 凡对实验结果有直接或间接影响的数据都必须设法获得或直接测取, 包括大气条件、设备有关尺寸、物料性质、操作条件及仪表精度等。

(5) 读数时应采用正确的读数方法, 并估计读数时可能的误差。数据记录时应注意仪表的精度及有效数字的匹配, 并写明单位。应当注意, 实验中测点示值的脉动往往不可避免, 定常是相对的, 这是化工工程特点的一种反映, 要依据误差理论作出正确的测量。

(6) 在实验中必须密切注意由各观测点所反映出来的各种现象, 并作出记录 (包括正常的与异常的现象), 运用所学知识, 分析这些现象的原因及相互联系。

(7) 记录数据必须实事求是, 只要数据稳定, 都应如实记录, 对不正常现象应在备注栏中注明。

(8) 要及时分析各组数据的可靠性和有效性, 必要时应重复原来条件进行验证。在实验结束时, 也要再一次检查各项数据记录是否完整与正确。

(9) 最后, 按规定进行停车操作, 并使装置与仪表恢复实验前的初始状态。

1.2.3 数据处理

(1) 实验中可在实验室进行数据的预处理, 以实时判断数据的有效性。

(2) 数据处理应由每个学生独立完成。允许数据用计算机处理, 但每人必须手算处理一组数据, 同组人的手算处理数据不应重复。

(3) 计算中除算出各组的目标函数值外, 还应根据误差理论计算出相应的误差范围, 进行坏值剔除, 并进行必要的变量关联。

(4) 数据整理应根据有效数字的运算规则进行, 舍弃不必要的尾数, 以与测量仪表的准确度相一致。化工计算中, 一般取有效数字三到四位。

(5) 各组实验数据应按照实验序号列成表格。原始数据、中间数据和结果数据均应分别列出。

(6) 按照实验教材的要求, 作出有关实验结果的图示, 以说明各种因素的影响趋势, 回归相应的系数或指数, 或表示结果的误差情况。

1.2.4 撰写实验报告

按照一定的格式和要求表达实验过程和结果的文字材料, 称为实验报告。它是实验工作的全面总结和系统概括, 是实验工作不可缺少的一个环节。

撰写实验报告的过程是对所测取的数据加以处理及对所观察的现象加以分析, 从中找出客观规律和内在联系的过程。如果做了实验而不写报告, 就等于有始无终, 半途而废。因此, 进行实验并写出报告, 对于理工科大学生来讲, 是一种必不可少的基础训练, 也可认为是一种正式科技论文书写的训练。本课程的实验报告, 提倡在正式报告前写摘要, 目的是强化书写科技论文的意识, 训练综合分析、概括问题的能力。

完整的实验报告一般应包括以下几方面的内容。

(1) 实验名称: 又称标题, 列在报告的最前面。实验名称应简洁、鲜明、准确。字数要尽量少, 一目了然, 能恰当反映实验的内容。如《传热系数及其准数关联式常数的测定》、《离心泵的操作和性能测定》。

(2) 实验目的: 简明扼要地说明为什么要进行本实验, 实验要解决什么问题。

(3) 实验原理 (实验的理论依据): 简要说明实验所依据的基本原理, 包括实验涉及的主要概念, 实验依据的重要定律、公式及据此推算的重要结果, 要求准确、充分。

(4) 实验装置流程示意图: 简单地画出实验装置流程示意图和测试点的位置及主要设备、仪表的名称, 标出设备、仪器仪表及调节阀等的标号, 在流程图的下面写出图名及与标号相对应的设备仪器等的名称。

(5) 实验操作方法和注意事项: 根据实际操作程序, 按时间的先后划分为几个步骤, 并在前面加上序数词 1、2、3..., 以使条理更为清晰。实验步骤的划分, 一般多以改变某一组因素 (参数) 作为一个步骤。对于操作过程的说明应简单、明了。

对于容易引起危险、损坏仪器仪表或设备以及一些对实验结果影响比较大的操作, 应在注意事项中注明, 以引起注意。

(6) 数据记录: 实验数据是实验过程中从测量仪表所读取的数值, 要根据仪表的精度决定实验数据的有效数字位数。读取数据的方法要正确, 记录数据要准确。通常是将数据先记在原始数据记录表格里。数据较多时, 此表格宜作为附录放在报告的后面。

(7) 数据整理表或作图: 数据整理是实验报告的重点内容之一, 要求将实验数据整理、加工成图或表格的形式。数据整理时应根据有效数字的运算规则进行, 一般将主要的中间计算值和最后计算结果列在数据整理表格中。表格要精心设计, 使其易于显示数据的变化规律及各参数的相关性。为了更直观地表达变量间的相互关系, 有时采用作图法, 即用相对应的各组数据确定出若干坐标点, 然后依点画出相关曲线。实验数据不经重复实验不得修改, 更不得伪造数据。

(8) 数据整理计算过程举例: 数据整理计算是以某一组原始数据为例, 把各项计算过程列出, 以说明数据整理表中的结果是如何得到的。

(9) 实验结果的分析与讨论: 实验结果的分析与讨论十分重要, 是作者理论水平的具体体现, 也是对实验方法和结果进行的综合分析研究。讨论范围应只限于与本实验有关的

内容，其主要内容包括：①从理论上对实验所得结果进行分析和解释，说明其必然性；②对实验中的异常现象进行分析讨论；③分析误差的大小和原因，如何提高测量精度；④本实验结果在生产实践中的价值和意义；⑤由实验结果提出进一步的研究方向或对实验方法及装置提出改进建议等。

有时将（7）、（9）两项合并写为“结果与讨论”，这有两个原因：一是讨论的内容少，无须另列一部分；二是实验的几项结果独立性大，内容多，需要逐项讨论，使条理更清楚。

（10）实验结论：结论是根据实验结果所作出的最后判断，得出的结论要从实际出发，有理论根据。

1.3 实验室安全知识

化工原理实验是一门实践性很强的基础课程，而且在实验过程不免要接触具有易燃、易爆、有腐蚀性和毒性或放射性等物质，同时还会遇到在高压或高真空、高温或低温条件下操作。此外，还要涉及用电和仪表操作等方面的问题，故要想有效地达到实验目的就必须掌握安全知识。

1.3.1 防火安全知识

实验室内应配备一定数量的消防器材，实验操作人员要熟悉消防器材的存放位置和使用方法。

（1）易燃液体（密度小于水）如汽油、苯、丙酮等着火，应该用泡沫灭火剂来灭火，因为泡沫比易燃液体的密度小且比空气的密度大，可覆盖在液体上面隔绝空气。

（2）钠、钾、钙、镁、铝粉、电石、过氧化钠等着火，应采用干沙灭火，此外还可用于不燃性固体粉末灭火。

（3）电气设备或带电系统着火，应用四氯化碳灭火器灭火，但不能用水或二氧化碳泡沫灭火。因为后者导电，这样会造成扑火人触电事故。使用时要站在上风侧，以防四氯化碳中毒。室内灭火后应打开门窗通风。

（4）其他地方着火，可用水来灭火。

一旦发生火情，不要慌乱，迅速报告实验教师，并撤离现场。实验教师要冷静地判断情况，采取措施，迅速找来灭火器和水龙头等进行灭火，并赶快报警。

1.3.2 用电安全知识

（1）实验之前，必须了解室内总电闸与分电闸的位置，便于出现用电事故时及时切断电源。

（2）接触或操作电气设备时，手必须干燥。所有的电气设备在带电时不能用湿布擦拭，更不能有水落于其上。不能用试电笔去试高压电。

（3）电气设备维修时必须停电作业。如接保险丝时，一定要先拉下电闸后再进行操作。

（4）为启动电动机，合闸前先用手转动一下电动机的轴，合上电闸后，立即查看电动

机是否已转动；若不转动，应立即拉闸，否则电动机很容易被烧毁。若电源开关是三相刀闸，合闸时一定要快速地猛合到底，否则易发生“跑单相”，即三相中有一相实际上未接通，这样电动机极易被烧毁。

(5) 电源或电气设备上的保护熔断丝或保险管都应按规定电流标准使用，不能任意加大，更不允许用铜丝或铝丝代替。

(6) 若用电设备是电热器，在通电之前，一定要搞清楚进行电加热所需要的前提条件是否已经具备。比如在精馏塔实验中，在接通塔釜电热器之前，必须搞清釜内液面是否符合要求，塔顶冷凝器的冷却水是否已经打开。干燥实验中，在接通空气预热器的电热器之前，必须先打开空气鼓风机之后，才能给预热器通电。另外电热设备不能直接放在木制实验台上使用，必须垫隔热材料，以防引起火灾。

(7) 所有电气设备的金属外壳应接地线，并定期检查是否连接良好。

(8) 导线的接头应紧密牢固，裸露的部分必须用绝缘胶布包好，或者用塑料绝缘管套好。

(9) 在电源开关与用电器之间若设有电压调节器或电流调节器（其作用是调节用电设备的用电情况），这种情况下，在接通电源开关之前，一定要先检查电压调节器或电流调节器当前所处的状态，并将它置于“零位”状态。否则，在接通电源开关时，用电设备会在较大功率下运行，有可能造成用电设备被损坏。

(10) 在实验过程中，如果发生停电现象，必须切断电闸，以防操作人员离开现场后，因突然供电而导致电气设备在无人监视下运行。

1.3.3 使用汞的安全知识

(1) 汞不能直接暴露于空气中。为此，在装有汞的容器中，务必在汞面上加水或其他液体覆盖，然后再给容器加盖。

(2) 取汞时，一定要缓慢倾斜容器倒出，以免溅出，并在浅搪瓷盘上进行。

(3) 实验操作前应检查用汞仪器安放处或仪器连接处是否牢固，及时更换已老化的橡皮管。橡皮管或塑料管的连接处一律用金属线缚牢，以免在实验时脱落使汞流出。

(4) 当有汞掉在地上、桌上或水槽等地方，应尽可能地用吸汞管将汞珠收集起来，再用金属片（如 Zn, Cu）在汞溅落处多次刮扫，最后用硫黄粉覆盖在有汞溅落的地方，并摩擦之，使汞变为 HgS 。亦可用高锰酸钾（ KMnO_4 ）溶液使汞氧化。擦过汞或汞的滤纸、布块必须放在有水的陶瓷缸内，统一处理掉。

(5) 装有汞的仪器应避免受热，保存汞的地方应远离热源。严禁将有汞的器具放入烘箱。

(6) 用汞的实验室要有良好的通风设备（特别要有通风口在地面附近的下排风口），并与其他实验室分开，经常通风排气。

1.3.4 使用高压钢瓶的安全知识

(1) 使用高压钢瓶的主要危险是钢瓶可能爆炸和漏气。若钢瓶受日光直晒或靠近热源，瓶内气体受热膨胀，以致压力超过钢瓶的耐压强度时，容易引起钢瓶爆炸。另外，可燃性压缩气体的漏气也会造成危险，应尽可能避免氧气钢瓶和可燃性气体钢瓶放在同一房

间使用（如氢气钢瓶和氧气钢瓶），因为两种钢瓶同时漏气时更易引起着火和爆炸。如氢气泄漏时，当氢气与空气混合后体积分数达到 4% ~ 75.2% 时，遇明火会发生爆炸。按规定，可燃性气体钢瓶与明火距离在 10 m 以上。

（2）搬运钢瓶时，应戴好钢瓶帽和橡胶安全圈，并严防钢瓶摔倒或受到撞击，以免发生意外爆炸事故。使用钢瓶时，必须牢靠地固定在架子上、墙上或实验台旁。

（3）绝不可把油或其他易燃性有机物黏附在钢瓶上（特别是出口和气压表处）；也不可用麻、棉等物堵漏，以防燃烧引起事故。

（4）使用钢瓶时，一定要用气压表，而且各种气压表不能混用。一般可燃性气体的钢瓶气门螺纹是反扣的（如 H_2 , C_2H_2 ），不燃性或助燃性气体的钢瓶气门螺纹是正扣的（如 N_2 , O_2 ）。

（5）使用钢瓶时必须连接减压阀或高压调节阀，不经这些部件让系统直接与钢瓶连接是十分危险的。

（6）开启钢瓶阀门及调压时，人不要站在气体出口的前方，头不要在瓶口之上，而应在瓶的侧面，以防万一钢瓶的总阀门或气压表被冲出伤人。

2 化工基本参数测控技术与常用仪表

无论是在工业生产过程还是在实验研究过程中,为了保证安全生产、控制产品质量及获得实验数据,一项重要的工作是准确而迅速地检测出生产或实验研究过程中各种相关过程参数,如压力、流量、温度、物位等。用来检测这些过程参数的技术工具称为检测仪表,检测仪表被广泛地用于化工、粮油、轻工、石油等各种生产和实验过程中。能否正确选择和使用检测仪表直接关系到测量参数信息的准确度的高低,因而,了解检测过程及检测仪表的相关基础知识是很有必要的。本章将主要介绍化工生产与实验中经常遇到的物理参数如压力、流量、温度、物位、湿度及功率等的测控技术及其相关仪表。另外,对阿贝折射仪、液体密度测量仪器作简要说明。

2.1 概述

2.1.1 检测过程与误差

生产或研究过程中需要检测的参数是多种多样的,所采用的检测方法和仪表也各不相同。但是,从检测过程的实质来看,却都有相同之处。检测过程的实质在于利用检测仪表将被测参数经过一次或多次能量形式的转换,然后得到便于测量的信号形式,再与相应的测量单位进行比较,最后以指针位移或数字形式在检测仪表上显示出来。

在测量过程中,由于使用检测仪表不够准确,或者由于观测者的主观性和周围环境的影响,必然会影响到测量结果的准确性。从检测仪表读得的被测参数值与被测参数真值之间存在一定的差距,这一差距就称为测量误差。

测量误差通常有两种表示方法,即绝对误差和相对误差。

绝对误差是指仪表指示值 x_i 和被测量的真值 x_t 之间的差值,可以表示为

$$\Delta = x_i - x_t \quad (2.1)$$

所谓真值,是指被测物理量客观存在的真实数值,它是无法得到的理论值。因此,绝对误差一般指用被校表(精确度较低)和标准表(精确度较高)同时对同一被测物理量进行测量所得到的两个读数之差,可以表示为

$$\Delta = x - x_0 \quad (2.2)$$

式中, Δ ——绝对误差;

x ——被校表的读数值；

x_0 ——标准表的读数值。

应该指出的是，仪表的绝对误差在测量范围内的各点上是不相同的。因此，通常说的“仪表的绝对误差”指的是绝对误差中的最大值，即最大绝对误差。

测量误差还可以用相对误差来表示。相对误差等于某一点的绝对误差与标准表在这一点指示值 x_0 的比，可以表示为

$$y = \frac{\Delta}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0} \quad (2.3)$$

式中， y ——仪表在 x 处的相对误差。

2.1.2 检测仪表的常用术语及技术性能指标

1. 检测仪表的常用术语

(1) 测量范围和量程：

1) 测量范围是指测量仪器的误差处在规定极限内的一组被测量的值，即最小的被测量值（下限）到最大的被测量值（上限）。也就是说，在这个测量范围内（从最小到最大）测量仪表能达到规定的精确度。

2) 量程是指测量范围的上限和下限值的代数差。例如：一台测温仪表，如果测量范围为 $0 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，则其量程为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；若其测量范围为 $20 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，则其量程为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；当其测量范围为 $-20 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，量程为 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 测量仪表的误差：

1) 测量仪表的示值误差：测量仪表的示值就是测量仪表所给出的量值，测量仪表的示值误差定义为“测量仪表的示值与对应输入量的真值之差”。由于真值不能确定，实际上用的是约定真值，即用更高精度级别的仪表的示值作为参考标准来代替真值。此概念主要应用于与参考标准相比较的仪器，就实物量具而言，示值就是赋予它的值。在不易与其他称呼混淆时，也简称为测量仪表的误差。

2) 测量仪表的最大允许误差：根据国际通用计量术语，其定义是“对给定的测量仪表，规范、规程等所允许的误差极限值”。有时也称测量仪表的允许误差限，或简称允许误差。

3) 测量仪表的固有误差：定义是“在参考条件下确定的测量仪器的误差”。此参考条件也称为标准条件，是指为测量仪表的性能试验或为测量结果的相互比较而规定的使用条件，一般包括作用于测量仪表的各影响量的参考值或参考范围。固有误差通常也称为基本误差，是相对于附加误差而言的，它是指测量仪器在参考条件下所确定的测量仪表本身所具有的误差，主要来源于测量仪表自身的缺陷，如仪表的结构、原理、使用条件、安装位置、测量方法等所造成的误差。固有误差的大小直接反映了该测量仪表的准确度，它与前面提及的系统误差有关联。

4) 测量仪表的附加误差：附加误差是指测量仪表在非标准条件下所增加的误差，它是由于影响量超出标准条件规定的范围，即由于外界因素的变化所造成的，并因此增加的误差。检测仪表在实际使用时如果与检定、校准时的环境条件不同，势必会增加误差，如温度附加误差、压力附加误差等。