



GAODENG YUANXIAO GONGKELEI GUIHUA JIAOCAI

高等院校工科类规划教材

化学工程实验 技术与方法

◎ 周旭章 张慧恩 编
蔡艳 滕丽华



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

高等院校理工类规划教材

化学工程实验技术与方法

周旭章 张慧恩 蔡 艳 滕丽华 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化学工程实验技术与方法 / 周旭章等编. —杭州:
浙江大学出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-308-09971-4

I. ①化… II. ①周… III. ①化学工程—化学实验
IV. ①TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 095992 号

化学工程实验技术与方法

周旭章 张慧恩 蔡 艳 滕丽华 编

责任编辑 王元新

封面设计 俞亚彤

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 27

字 数 701 千

版 印 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-09971-4

定 价 59.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

前 言

物理化学实验与化工原理实验分别是化工类及其相关专业的基础课,两者有着十分密切的联系。为了适应卓越工程师培养,突出应用型人才培养特色,将原有的《物理化学实验》、《化工原理实验》有机整合成《化学工程实验技术与方法》,重点围绕生物化工过程与环境工程中的热力学、反应动力学、相变化、热量传递、质量传递、动量传递、分离等知识点设置实验项目,注重结合产业与生活中实际问题组织实验内容,构建特色鲜明的“化学工程实验技术与方法”课程体系。同时,以行业发展趋势为导向,以培养创新与创业能力为目标,以实验技能属性分类与技能组合为主线,构建分层次、多模块的“化学工程实验技术与方法”课程体系。将物理化学实验技术中的热力学实验、动力学实验、表面和胶体化学实验与化工原理中的“三传实验”有机结合,这样既打破了传统的实验课程界限,又不是生搬硬套拼凑起来的,而是按照化学工程基础知识结构与技能结构形成的“化学工程实验技术与方法”课程新体系。对应用型工程人才培养课程建设具有一定的示范作用。

《化学工程实验技术与方法》与《物理化学》、《化工原理》理论课堂讲授、习题课和课程设计等教学环节构成一个有机的整体。《化学工程实验技术与方法》属于工程实验范畴,具有典型的工程特点。将每一个化工单元操作按照其操作所涉及的物理化学实验技术与方法有机结合起来,有助于学生树立起从基础研究到工程应用的整体观念;《化学工程实验技术与方法》中的单元操作所涉及的工艺流程、操作条件和参数变量等都比较接近于工业应用,因此,一个单元操作实验相当于化工生产中的一个基本过程,通过它能让学建立一定的工程观念。随着实践活动的深入开展,学生会遇到大量的工程实际问题与理论问题,对学生来说,可以在所开设的实验课程中更实际、更有效地学到更多的工程研究方面的原理与测试手段,可以看到复杂的真实设备与工艺过程同描述这一过程的数学模型之间的关系。学习和掌握化学工程实验技术及其研究方法,是学生从理论学习到工程应用的一个重要实践过程。

全书分两篇共十章。第一篇化学工程基础知识由绪论、化学工程实验数据表达、实验设计与工程问题的研究方法、化工过程中常见物理量的测定组成;第二篇

化学工程实验技术与方法由化学化工热力学实验、相平衡实验、微观与宏观动力学实验方法、电化学实验方法、表面与胶体化学实验方法、流体力学实验方法组成。第二篇的每一章均从化学工程基础实验技术、化学工程基础与综合性实验、化学工程实验、设计与研究型实验四个部分引导学生从基础实验思维模式向工程实验思维模式方向转变,以适应于卓越工程师培养。本书可作为化学化工、轻工、生物工程、食品科学与工程、环境科学与工程、纺织、医药等本科专业的学习教材,亦可作为从事相关专业研究、设计与生产的工程技术人员的技术参考书。在本书编写过程中,参考了许多作者的专著、教材或论文,本书尽量一一列出,但难免有所疏漏,对此深表欠意,并衷心地感谢大家的文献对本书的无私贡献。由于时间紧迫和编写人员水平有限,本教材必然存在不少缺点和错误,肯请读者批评指正,以便再版时修改。

编 者

于宁波市南高教园区

2012 年 2 月

目 录

第一篇 化学工程基础知识

第一章 绪 论	3
第二章 化学工程实验数据处理与表达	18
第三章 实验设计与工程问题的研究方法	37
第四章 化工过程中常见物理量的测定	63

第二篇 化学工程实验技术与方法

第五章 化学化工热力学实验	101
第一节 量热技术与应用	101
第二节 基础与综合性实验	132
实验一 燃烧热的测定	132
实验二 溶解热的测定	141
实验三 差热分析	146
实验四 温度滴定法测定弱酸离解热	151
第三节 设计与研究性实验	155
实验五 液体燃料燃烧热的测定及尾气分析	155
实验六 稀土氨基酸配合物的合成及其热化学研究	156
实验七 药物稳定性及有效期测定	157
实验八 滴定量热法测定单底物酶促反应的动力学参数	159
第四节 化工热力学实验	160
实验九 套管换热器液——液热交换系数及膜系数的测定	160

实验十 空气——蒸汽对流给热系数测定·····	167
第六章 相平衡实验·····	174
第一节 平衡实验的意义与应用·····	174
第二节 基础与综合性实验·····	183
实验十一 液体饱和蒸气压的测定·····	183
实验十二 二元液系相图的测定·····	187
实验十三 金属相图绘制·····	191
第三节 设计与研究性实验·····	194
实验十四 三组分体系等温相图的绘制·····	194
实验十五 水热法制备 SnO_2 纳米微晶·····	196
实验十六 X 射线多晶衍射法物相分析·····	198
第四节 化工分离工程实验·····	199
实验十七 筛板精馏塔实验·····	199
实验十八 共沸精馏制备无水乙醇·····	205
实验十九 填料吸收塔实验·····	209
实验二十 液液转盘萃取·····	212
实验二十一 洞道干燥特性曲线测定实验·····	216
实验二十二 流化床干燥实验·····	220
实验二十三 恒压过滤常数测定实验·····	225
第七章 微观与宏观动力学实验方法·····	231
第一节 化学动力学实验技术与应用·····	231
第二节 基础与综合性实验·····	246
实验二十四 电导法测定乙酸乙酯皂化反应的速率常数·····	246
实验二十五 蔗糖水解反应速率常数的测定·····	250
实验二十六 一级反应——过氧化氢分解反应速率测定·····	253
实验二十七 BZ 振荡反应·····	256
第三节 设计与研究性实验·····	261
实验二十八 青霉素 G 钾盐水溶液的稳定性试验·····	261
实验二十九 光催化剂 TiO_2 的制备及其光催化性能研究·····	262
实验三十 酵母蔗糖酶的提取及其性质的研究·····	264
第四节 宏观动力学实验·····	266
实验三十一 连续流动反应器停留时间分布函数的测定·····	266
实验三十二 2,6-二氯甲苯氨氧化制备 2,6-二氯苯腈实验·····	272
实验三十三 乙醇气相脱水制乙烯宏观反应速率的测定·····	275
第八章 电化学实验方法·····	279
第一节 电化学测量技术与应用·····	279
第二节 基础与综合性实验·····	304

实验三十四 原电池电动势和电极电势的测定·····	304
实验三十五 原电池电动势及其温度系数的测定·····	309
实验三十六 弱电解质电离常数的测定·····	313
实验三十七 极化曲线的测定·····	316
第三节 设计与研究性试验·····	319
实验三十八 碱性体系中锌电极的可充性研究·····	319
实验三十九 电化学合成聚苯胺·····	322
实验四十 多壁碳纳米管化学修饰电极测定人体尿液中尿酸·····	326
第四节 电化学工程实验·····	328
实验四十一 锌酸盐镀锌工艺的工程设计及实验·····	328
实验四十二 化学镀 Ni-P 实验 ·····	330
实验四十三 金属材料腐蚀与防护实验·····	332
第九章 表面与胶体化学实验方法·····	339
第一节 表面与胶体化学技术与应用·····	339
第二节 基础与综合性实验·····	365
实验四十四 溶液中的吸附作用和表面张力的测定——最大气泡压力法·····	365
实验四十五 溶液吸附法测定比表面积·····	370
实验四十六 溶胶的制备及电泳·····	373
实验四十七 液体在固体表面的接触角测定·····	377
实验四十八 粒度测定·····	379
第三节 设计与研究性实验·····	383
实验四十九 十二烷基硫酸钠表面活性剂的制备及性能研究·····	383
实验五十 壳聚糖丙烯酰胺接枝共聚物合成及其絮凝效果评价·····	385
第四节 表面与胶体化学在工业中应用实验·····	388
实验五十一 离子浮选法处理印染废水中的活性染料·····	388
实验五十二 旋风分离沉降除尘实验·····	391
第十章 流体力学实验方法·····	393
实验五十三 伯努力方程验证实验·····	393
实验五十四 雷诺实验·····	396
实验五十五 孔口与管嘴流量系数实验·····	398
实验五十六 离心泵特性曲线的测定实验·····	400
附 录·····	406
参考文献·····	422

第一篇 化学工程基础知识

第一章

绪 论

《化学工程实验技术与方法》主要研究生产过程中各种单元操作的规律,并利用这些规律解决实际生产中的过程问题。该课程紧密联系实际,实践性很强,是化工、环境工程、生物工程、食品科学与工程等工科专业学生必修的技术基础课。作为一门研究化工生产过程的工程学科,它已形成了完整的教学内容和教学体系。

《化学工程实验技术与方法》着力突出化学工程实验基础地位,体现工程应用型人才培养特色,体现了工程意识,突出了工程实践内容。将原有的《物理化学实验》、《化工原理实验》有机整合成《化学工程实验技术与方法》,重点围绕生物化工过程中的热力学、反应动力学、相变化、热量传递、质量传递、动量传递、分离等知识点设置实验项目,注重结合产业与生活中实际问题组织实验内容,构建特色鲜明的“化学工程实验技术与方法”课程体系。以行业发展趋势为导向,以培养创新与创业能力为目标,以实验技能属性分类与技能组合为主线,构造分层次、多模块的“化学工程实验技术与方法”课程体系。将物理化学实验技术中的热力学实验、动力学实验、表面性质和胶体化学实验与化工原理中的“三传实验”有机结合,这样既打破了传统的实验课程界限,又不是生搬硬套拼凑起来的,而是按照化学工程基础知识结构与技能结构形成的“化学工程实验技术与方法”课程新体系。对应用型工程人才培养课程建设具有一定的示范作用。

《化学工程实验技术与方法》与《物理化学》、《化工原理》理论课堂讲授、习题课和课程设计等教学环节构成一个有机的整体。《化学工程实验技术与方法》属于工程实验范畴,具有典型的工程特点。将每一个化工单元操作按照其操作所涉及的物理化学实验技术与方法有机结合起来,有助于学生树立从基础研究到工程应用的整体观念;《化学工程实验技术与方法》中的单元操作所涉及的工艺流程、操作条件和参数变量等都比较接近于工业应用,因此,一个单元操作实验相当于化工生产中的一个基本过程,通过它能让学建立一定的工程观念。随着实践活动的深入开展,学生会遇到大量的工程实际问题与理论问题,对学生来说,可以在所开设的实验课程中更实际、更有效地学到更多的工程研究方面的原理与测试手段,可以看到复杂的真实设备与工艺过程同描述这一过程的数学模型之间的关系。学习本课程是学生从理论学习过渡到工程应用的一个重要的实践过程。

一、《化学工程实验技术与方法》教学目的

《化学工程实验技术与方法》是继《基础化学实验》之后的一门化学化工实验课程。设置本课程的主要目的是使学生初步了解化学工程的研究方法,掌握化学化工的基本实验技术和技能,熟悉化学化工实验现象的观察和记录、实验条件的判断和选择、实验数据的测量和处理、实验结果的分析和归纳等一套严谨的实验方法,从而加深对化学化工基本理论的理解,增强解决实际化学化工问题的能力。

(一)巩固和深化课堂所学的理论

根据全国高校化工原理教学指导委员会的规定,从实验目的、实验原理、装置流程、数据处理等方面,组织各单元操作的实验内容。这样,通过实验可进一步学习、掌握和运用学过的基础理论,加深对化工单元操作的理解,巩固和深化所学的理论知识。

(二)培养基本的实验和科研能力

对于化工类专业来说,《化学工程实验技术与方法》实验之前有物理、化学、化学分析等基础实验,其后有专业实验和毕业论文环节,从教学角度,应从纵向培养和逐步提高学生的实验和科研能力。所谓实验能力,是指:①为了完成一定的研究课题,设计实验方案的能力;②实验过程中,观察和分析实验现象的能力;③正确选择和使用测量仪表的能力;④利用实验的原始数据进行数据处理以获得实验结果的能力;⑤运用文字表达技术报告的能力。这些能力是科学研究的基础,学生只有反复训练才能掌握。而《化学工程实验技术与方法》课程中的实验往往规模较大,接近工程实际,是多因子影响的综合实验。所以,学生通过实验课打下一定的基础,将来参加实际工作就可以独立地设计新实验及从事科研和开发。

(三)培养严肃认真的科学作风

通过误差分析及数据整理,使学生严肃对待参数测量、取样等各个环节,注意观察实验中的各种现象,运用所学的理论去分析实验装置结构、操作等对测量结果的影响,严格遵守操作规程,集中精力进行观察、记录和思考。掌握数据处理方法,分析和归纳实验数据,据实得出实验结论,通过与理论比较,提出自己的见解,分析误差的性质和影响程度。培养学生严肃认真的学习态度和实事求是的科学态度,为将来从事科学研究和解决工程实践问题打好基础。

(四)丰富化学工程的实际知识

在化工、轻工等工业生产和实验研究中,经常测量的物理量有温度、压力、流量等,而要保证测量值达到所要求的精度,这就涉及测量技术问题。所以,增加了常用测试仪器的基本原理和使用方法,以丰富学生的实践知识。此外,化学工程类实验不同于普通化学实验,为了安全成功地完成实验,除每个实验的特殊要求外,学生必须遵守注意事项和具备一定的安全知识。如泵、风机的启动,高压钢瓶的安全,化学药品和气体的使用及防护措施,等等。

总之,《化学工程实验技术与方法》教学的目的着重于实践能力和解决实际问题能力的培养。

二、《化学工程实验技术与方法》教学要求

在“化学工程实验技术与方法”课上,学生会第一次接触到用精密的仪器设备与工程装置进行实验,往往感到陌生,无法下手。有的学生又因为是几个人一组而有依赖心理,为了切实提高教学效果,要求每个学生必须做到以下几点。

(一) 课前预习

(1)认真阅读实验教材,复习课程教材有关内容。清楚地掌握实验项目要求,实验所依据的原理、实验步骤及所需测量的参数。熟悉实验所用测量仪表的使用方法,掌握其操作规程和安全注意事项。

(2)到实验室现场熟悉实验设备和流程,摸清测试点和控制点位置。确定操作程序、所测参数项目、所测参数单位及所测数据点如何分布等。

(3)可让学生进行计算机仿真练习。通过计算机仿真练习,熟悉各个实验的操作步骤和注意事项,以增强实验效果。

(4)在预习和计算机仿真练习基础上,写出实验预习报告。预习报告内容包括实验目的、原理、流程、操作步骤、注意事项等。准备好原始数据记录表格,并标明各参数的单位。

(5)特别要考虑一下设备的哪些部分或操作中哪个步骤会产生危险,如何防护?以保证实验过程中人身和设备安全。不预习者不准做实验。预习报告经指导教师检查通过后方可进行实验。

(二) 实验中的操作训练

实验开始前,小组成员应根据分工的不同,明确要求,以便实验中协调工作。

设备启动前必须首先检查,调整设备进入启动状态,然后再进行送电、通水或蒸汽等启动操作。

(1)实验操作是动手动脑的重要过程,一定要严格按操作规程进行,合理安排测量范围、测量点数目、测量点的疏密等。

(2)实验进行过程中,操作要平稳、认真、细心。

详细观察所发生的各种现象,记录在记录本上,如精馏实验筛板塔的气液流动状态变化等,有助于对过程的分析 and 理解。对实验的数据要判别其合理性,如果遇到实验数据重复性差或规律性差等情况,应首先分析实验中的问题,找出原因并解决。实验数据要记录在备好的表格内。实验有异常的现象,应及时向指导教师报告。

实验数据的记录应仔细认真、整齐清楚。

① 记录数据应是直接读取原始数据,不要经过计算后在记录,例如 U 形压差计的两端液柱高度差,应分别读取记录,不应读取或记录液柱的差值。

② 对稳定的操作过程,在改变操作条件后,一定要等待达到新的稳定状态,方可读取数据;对于连续的不稳定操作,要在实验前充分熟悉方法并计划好记录的位置或时刻等。

③ 根据测量仪表的精度,正确读取有效数字,最后一位是带有读数误差的估计值,在测量时应进行估计,便于对系统进行合理的误差分析。

④ 对待实验数据应取科学态度,不能凭主观臆测随意修改记录,也不能随意舍弃数据,对

可疑数据,除有明显的原因外(如读错、误记等),一般应在数据处理时检查处理。

⑤ 记录数据应书写清楚,字迹工整。记错的数字应划掉,涂改容易造成误读或看不清。要注意保存原始数据,以便检查核对。

学生应注意培养自己严谨的科学作风和良好的实验习惯。

(3)实验结束后整理好原始数据,将实验设备和仪表恢复原状,切断电源,清扫卫生,经教师允许后方可离开实验室。

(三)实验工作的总结——编写实验报告

实验报告是对实验进行的全面总结,是一份技术文件,是技术部门对实验结果进行评估的文字材料。实验报告必须写得简明、数据完整、结论明确,有讨论、有分析,得出的公式或图线有明确的使用条件。形成良好的编写实验报告能力需要经过严格训练,其也能为今后写好研究报告和科学论文打下基础。因此要求学生各自独立完成这项工作。

实验报告内容包括:

①实验时间、报告人、同组人等。

②实验名称、实验目的与要求等。

③实验基本原理。

④实验装置简介、流程图及主要设备的类型和规格。

⑤实验操作步骤。

⑥原始数据记录表格。

⑦实验数据的整理。实验数据的整理就是把实验数据通过归纳、计算等方法整理出一定的关系(或结论)的过程。应有计算过程举例,即以一组数据为例从头到尾把计算过程一步一步写清楚。

⑧将实验结果用图示法、列表法或方程表示法进行归纳,得出结论。

⑨对实验结果及问题进行分析讨论。

⑩参考文献。

实验报告必须力求简明、书写工整、文字通顺、数据完全、结论明确。图形图表的绘制必须用直尺、曲线板或计算机数据处理。实验报告必须采用学校统一印制的实验报告纸编写。

报告应在指定时间交给指导老师批阅。

三、《化学工程实验技术与方法》教学环节

《化学工程实验技术与方法》课程由下列三个教学环节组成:

(1)课内完成 20~25 个实验的实操训练,提交实验报告;在此基础上学生根据所学的实验操作技能,结合生活实际与行业需求,提出 2~3 个设计性实验项目,利用课外时间,在开放实验室完成实验研究任务,以发表论格式提交实验报告,并同时提交 1 份产品开发技术经济可行性分析报告。

(2)对化学工程实验技术方法和实验技术进行较系统的讲授,可安排 8~10 次讲座,每次 1 学时,讲座内容既包括本实验课程的学习方法、安全防护、数据处理、文献查阅、报告书写和实验设计思想等实验基本要求,同时还应较系统介绍化学工程研究的基本实验方法和实验技术,如温度的测量和控制、真空技术、流动法技术等。

(3)建立以能力考核为重心的实验课程多元化考核新模式。

为了提高实验教学效果,适合应用型人才多方位素质培养的需要,重视对学生学习过程的评价,建立了适合应用型人才培养的多元化的考核方式。如图 1-1 所示。

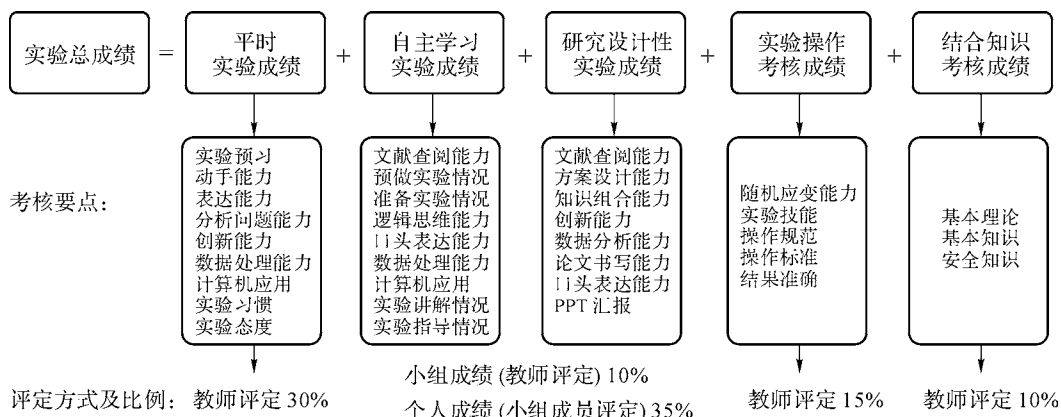


图 1-1 考核方式

具体包括:

实验平时操作成绩(30%),主要对学生实验预习、回答问题、过程操作及实验报告进行评价。

小组学生的自主实验成绩(10%)和研究设计性实验成绩(35%),前者根据预做实验、准备实验、实验讲解和实验指导情况评定,后者根据实验复杂程度、实验方案的合理性、实验结果的处理和评价能力、PPT 汇报予以评定;这两个环节成绩都包括小组总成绩和个人成绩两部分,其中小组总成绩由教师给出,而小组内每个成员的成绩由小组成员共同评定。

实验操作技能考核(15%)和综合知识考核(10%)。其目的是检查学生对基本操作技能和实验基本知识的掌握情况。实验操作技能考查、实验基本知识和实验理论考试的时间均为每人 60 分钟。

四、建立并完善了开放式与自主学习式实验教学模式

(一)优化了课内实验教学,课内与课外相结合,实验教学与素质拓展相结合

加强课内实验教学的基础作用。课内教学与课内学习依然是大学教与学的主要形式之一。为了提高实验课的课内教学质量,要求教师对实验课进行全程指导。每次实验课教师集中讲解 20~25 分钟,集中讲解的主要内容是实验设计思想(即如何从实验原理出发设计实验)与实验操作关键步骤;70%的时间由学生自主进行实验,教师巡回指导,解惑释疑;10%的时间用于教师对学生的实验数据进行分析与讲评。

强化课外补充作用。对于实验课,课外时间要求学生主要做三件事:预习实验内容,并写出预习实验报告;书写正式实验报告;选修拓展性综合实验。

(二)实施开放式实验教学

《化学工程实验技术与方法》实验课实行开放式实验教学运行机制,其具体做法是:在实验

课程开出的学年,化学工程实验室实行全天候开放式教学;其余时间采取项目申报制预约开放,部分积极性高的学生可根据自己的时间来进入实验室进行实验,实现时间上的开放。《化学工程实验技术与方法》课程设置了拓展性实验内容,供学生自主选择。学生根据自己的兴趣,自主选择几个综合性、设计研究性实验项目,由课内延伸至课外,或者由学生通过行业调查、市场调查自主选题,进行开放式实验教学,实现内容上的开放。教师重点指导实验设计思想与实验技能组合方法,适度淡化实验内容与具体实验操作步骤的指导。指导学生从社会调查与市场调查入手,自行选题、自行查阅文献、自行拟就实验方案、自行备齐所需试剂进行实验。允许学生分多次来实验室完成同一个实验项目,允许学生对于同一个实验项目采取不同的实验方法进行实验,允许学生用同一个实验方法解决不同的实验问题,实现教师指导上的开放性。

(三)推行“学生自主学习”的实验教学方法

“学生自主学习”并非撇开教师,学生自己学习。该教学方法的核心是教与学相统一。具体实施方案如下:由全体学生自由组合成若干小组(3~5位),形成助教小组,每个小组负责1个实验项目,首先小组同学必须先接受教师的指导,由学生转型为“助教”,然后在实验课前查阅资料,预做实验,发现并探讨问题,写出预做实验报告。在此基础上,上课时“助教”小组将协助教师指导其他学生完成实验。整个过程中,教师要有高度的责任感,必须全程参与,及时因势利导。这种全新的实验教学方法,既能提高学生实验的兴趣,使学生深入理解实验的设计思路和实验关键,提高每一个实验教学效果,又能培养学生自主学习能力、创新能力以及交流、表达、沟通能力。这种教学模式,深受学生欢迎。

五、化学工程实验的安全防护

安全防护是一个关系到培养良好的实验素质,保证实验顺利进行,保证实验者和国家财产安全的重要问题。化学工程实验技术室,经常遇到高温、低温的实验条件,使用高压(各种高压气瓶)、低气压(各种真空系统)、高电压、高频和带有辐射线(X射线、激光、 γ 射线)的仪器,而且许多精密的自动化设备日益普遍使用。因此,需要实验者具备必要的安全防护知识,懂得应采取的预防措施,以及一旦事故发生后应及时采取的处理方法。

化学是一门实验科学,在先行的化学实验课中,已就化学药品使用的安全防护和实验室用电的安全防护反复作了介绍,所以本书主要结合化学工程实验技术的特点,着重介绍使用受压容器的安全防护和使用辐射源的安全防护,同时对实验者的人身安全防护作必要的补充。

(一)使用受压容器的安全防护

化学工程实验技术室中受压力容器主要指高压储气瓶、真空系统、供气流稳压用的玻璃容器以及盛放液氮的保温瓶等。

1. 高压储气瓶的安全防护

在实验中将用到高压气瓶(又称钢瓶),它是一种储存各种压缩或液化气高压容器。钢瓶一般容积为40~60升,最高压力为150大气压,最低也有6个大气压以上。钢瓶压力很高,有些气体还易燃易爆,所以要正确使用钢瓶,以保证安全。

钢瓶主要由筒体和瓶阀构成。其他附件还有保护瓶阀的安全帽、开启瓶阀的用轮及运输

中防震的橡皮圈。高压储气瓶是由无缝碳素钢或合金钢制成,按其所存储的气体及工作压力分类如表 1-1 所示。

表 1-1 气体钢瓶承受的压力

气瓶型号	用 途	工作压力 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^2$)	试验压力($\text{kg} \cdot \text{cm}^2$)	
			水压试验	气压试验
150	装氢、氧、氩、甲烷、压缩空气	150	225	150
125	装二氧化碳及净水煤气等	125	190	125
30	装氨、氯、光气等	30	60	30
6	装二氧化碳	6	12	6

各类钢瓶的表面都涂有一定颜色,其目的不仅是为了防锈,还主要是为了能从颜色上迅速辨别钢瓶中储放气体的种类,以免混淆。常用气瓶颜色及标志如表 1-2 所示。

表 1-2 常见气体钢瓶的颜色

气体种类	工作压力 (MPa)	水压试验压力 (MPa)	钢瓶颜色	横线颜色	文字	文字颜色	每升容积内 液化气质量(kg/L)
氧	15.20	22.80	浅蓝色	—	氧	黑色	—
氢	15.20	22.80	暗绿色	—	氢	红色	—
氮	15.20	22.80	黑色	棕色	氮	黄色	—
氨	15.20	22.80	棕色	—	氨	白色	—
压缩空气	15.20	22.80	黑色	—	压缩空气	白色	—
二氧化碳	12.6(液)	19.25	黑色	—	二氧化碳	黄色	0.75
氩	3.04(液)	6.08	黄色	—	氩	黑色	0.75
氯	3.04(液)	6.08	草绿色	绿色	氯	白色	1.25
乙炔	3.04(液)	6.08	白色	—	乙炔	红色	—
二氧化硫	0.61(液)	1.22	黑色	黄色	二氧化硫	白色	1.25

劳动部 1966 年颁发了气瓶安全监察规程,规定了各类气瓶的色标,每个气瓶必须在其肩部刻上制造厂和检验单位的钢印标记。

为了使用安全,各类气瓶应定期送检验单位进行技术检查,一般气瓶至少每三年检验一次,充装腐蚀性气体至少每两年检验一次。检验中若发现气瓶的质量损失率或容积增加率超过一定的标准,应降级使用或予以报废。

使用储气瓶必须按正确的操作规程进行。现简述有关注意事项:

(1) 气瓶放置要求:气瓶应存放在阴凉、干燥、远离热源(如夏日避免日晒,冬天与暖气片隔开,平时不要靠近炉火等)的地方。并用固定环将气瓶固定在稳固的支架、实验桌或墙壁上,防止受外来撞击;易燃气体气瓶(如氢气瓶等)的放置房间,原则上不能有明火或电火花产生,确实难以做到时应该采取必要的防护措施。使用时安装减压器(阀),气瓶使用时要通过减压器使气体压力降至实验所需范围(CO_2 、 NH_3 气瓶可不装减压阀)。安装减压器前应确定其连接尺寸规格是否与气瓶接头相一致,接头处需用专用垫圈。一般可燃性气体气瓶接头的螺纹是