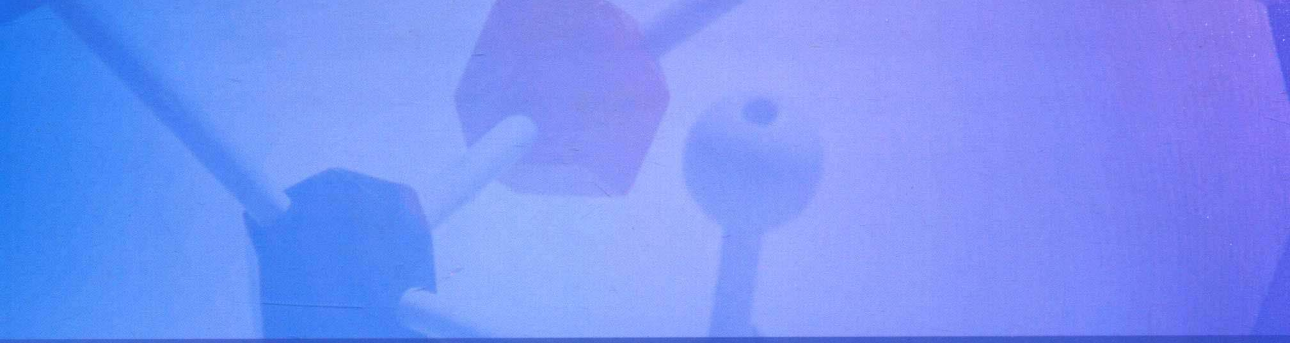


化学工程与技术一流建设学科用书

化工专业基础实验

南京大学化学化工学院
周爱东 主编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

化学工程与技术一流建设学科用书

化工专业基础实验

南京大学化学化工学院
周爱东 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书为南京大学“十三五”重点规划教材，是为适应化学工程与技术一流学科建设，结合近年来南京大学、上海交通大学、天津大学等高校化工专业基础实验教学改革实践编写而成的。全书共8章，包括化工实验基础知识、实验误差分析与实验数据处理、化工数据的采集与控制技术、化工基础实验、化学工程与工艺专业实验、综合实验、化工仿真、化工模拟，书后有附录和主要参考文献。

本书可作为高等院校化学工程与工艺、应用化学、环境工程及相关专业的化工基础实验、化学工程与工艺专业实验课程的教材或参考书，也可供轻工、食品、纺织、制药、生物、海洋等领域从事科研、生产等的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工专业基础实验/周爱东主编. --北京：高等教育出版社，2018.9

ISBN 978-7-04-049896-7

Ⅰ. ①化… Ⅱ. ①周… Ⅲ. ①化学工程-化学实验-高等学校-教材 Ⅳ. ①TQ016

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第117528号

Huagong Zhuanye Jichu Shiyan

策划编辑	李 颖	责任编辑	李 颖	封面设计	张申申	版式设计	马敬茹
插图绘制	于 博	责任校对	刘娟娟	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	山东百润本色印刷有限公司	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	17.5	版 次	2018年9月第1版
字 数	430千字	印 次	2018年9月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	32.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 49896-00

前　言

2017年9月，南京大学、上海交通大学、天津大学入选“双一流”建设高校，三所高校的化学工程与技术学科一同入选“双一流”建设学科。实现“双一流”宏伟目标的关键点是全面深化教育教学改革，着力培养具有国际竞争力的一流人才，课程建设、教材建设是实现“双一流”宏伟目标的重要环节。化工基础实验、化学工程与工艺专业实验是化学工程与技术学科课程体系的专业核心课程，也是化工专业基础实验教学的重要组成部分。

随着科学技术日新月异的发展，实验教学改革持续深入推进，尽管经典化工专业基础实验教学内容变化甚微，但实验仪器、实验方法和教学理念皆有了较大的变化和发展，由科研成果转化并体现学科特色的新实验内容不断涌现，扩充了化工专业基础实验的教学内容。在这些背景下，兄弟院校化工专业基础实验教学团队全面合作，共同打造了这本适应化学工程与技术一流建设学科发展的《化工专业基础实验》教材。

本书从化工专业基础实验研究的共性出发，注重实验教材的实践性和专业的工程特性，在内容的编排取材上注重理论联系实际，紧密结合计算机数据采集技术和 Aspen Plus、Fluent 等软件在化工设计、动态过程模拟等方面的应用，强调工程观点，引导学生运用实验方法解决工程问题，提升专业素养。

本书的特色主要体现在：

（1）在基础知识章节介绍个人防护设备基本要求、急救预案，强调安全操作、规范操作，彰显以人为本。

（2）在化工基础实验、化学工程与工艺专业实验、综合实验章节突出新开发的实验设备、改进的传统装置、科研成果转化的教学内容，强化工程特性，培养学生的工程意识和工程能力，切合大工程观时代特征。

（3）在仿真实验章节引入化工安全应急演练，提高安全和环保意识。

（4）适量增加化工过程模拟在实验教学中的比重，锻炼学生工程设计能力、实践能力和创新能力，提升专业素养。

（5）本书配套数字课程网站。为跟踪学科发展前沿动态，解决丰富和拓展实验内容与教材篇幅之间的矛盾，将部分实验拓展内容、前沿科学发展介绍和部分附录内容放在此网站上，读者可按照书前使用说明登录数字课程网站进行学习。

本书共分8章，由南京大学周爱东、周政、李磊、胡兴邦、张锋、杨国强，上海交通大学顾顺超、周锦鑫、努丽燕娜，天津大学胡彤宇，南京大学金陵学院马少玲、彭璟编写（以上排名不分先后）；周爱东担任主编，李磊、周政、周锦鑫、胡彤宇、顾顺超共同任副主编（以上排名以姓氏笔画为序）。本书的编写分工如下：周政、周爱东共同执笔第1章；马少玲执笔第2章、第6章的实验6.1、第8章的实验8.1、附录2；李磊、胡兴邦、周爱东共同执笔第3章；周锦鑫执笔第4章的实验4.1、4.2、4.4、4.8、4.9；周爱东、周锦鑫共同执笔第4章的实验4.3、4.5—4.7；周爱东执笔第4章

的实验4.10—4.13、第5章的实验5.3、第7章、附录1；顾顺超执笔第5章的实验5.1、5.2、5.4—5.9；努丽燕娜执笔第5章的实验5.10—5.13；李磊执笔第6章的实验6.2；张锋执笔第6章的实验6.3；周政执笔第6章的实验6.4；胡彤宇执笔第6章的实验6.5—6.7；杨国强执笔第8章的实验8.2、附录3；彭璟、周爱东共同承担第4章、第5章、第6章的部分插图绘制工作。

本书初稿承蒙南京大学张志炳教授、天津大学郭翠梨教授审阅，提出了许多宝贵意见；在本书编写和出版过程中，高等教育出版社李颖编辑给予了大力支持；编者参考了国内外兄弟院校的有关资料；本书的出版获得了南京大学化学工程与技术一流建设学科、上海交通大学化学工程与技术一流建设学科、天津大学化学工程与技术一流建设学科的支持；获得江苏高校品牌专业建设工程项目(PPZY2015B111)、江苏省高等教育教改研究项目(2017JSJG089、2013JSJG168)、南京大学“十三五”重点规划教材建设项目、南京大学2016年度重点教改课题(201614B2)资助；获得北京东方仿真软件技术有限公司的产品使用授权；天津大学胡瑞杰老师参与了书稿方案讨论、提供了部分素材。在此一并表示感谢！

书中许多内容都是依据编者的教学经验和认识，在编写过程中难免出现疏漏和不妥之处，恳请读者指正，以助本书日臻完善。

编者

2017年12月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

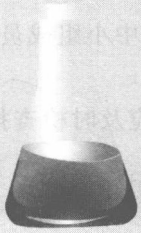
第 1 章　化工实验基础知识 …… 1
1.1　化工实验的目的和要求 …… 1
1.1.1　化工实验的目的 …… 1
1.1.2　化工实验的要求 …… 1
1.2　化工实验室安全常识 …… 3
1.2.1　个人防护设备 …… 3
1.2.2　急救预案 …… 3
1.2.3　危险化学品的安全使用 …… 3
1.2.4　消防安全 …… 4
1.2.5　用电安全 …… 6
1.2.6　高压气瓶的操作 …… 7
1.2.7　实验废弃物的处置 …… 8
1.3　化学工程问题的研究方法 …… 9
第 2 章　实验误差分析与实验数据处理 …… 11
2.1　实验误差分析 …… 11
2.1.1　误差的基本概念 …… 11
2.1.2　误差的基本性质 …… 14
2.1.3　间接测量值的误差估算 …… 15
2.2　实验数据处理 …… 16
2.2.1　有效数字的处理 …… 17
2.2.2　实验结果的数据处理 …… 18
第 3 章　化工数据的采集与控制技术 …… 24
3.1　化工常用测量仪表及控制技术 …… 24
3.1.1　化工常用测量仪表 …… 24
3.1.2　化工常用物理量的控制技术 …… 29
3.2　数据采集与处理技术 …… 30
3.2.1　集散控制系统 …… 30
3.2.2　ForceControl 7.0 组态软件简介 …… 34
第 4 章　化工基础实验 …… 37
4.1　雷诺实验 …… 37
4.1.1　实验目的 …… 37
4.1.2　实验原理 …… 37
4.1.3　实验装置及流程 …… 37
4.1.4　实验方法及步骤 …… 38
4.1.5　数据记录及处理 …… 39
4.1.6　实验结果与讨论 …… 39
4.2　伯努利方程实验 …… 39
4.2.1　实验目的 …… 39
4.2.2　实验原理 …… 39
4.2.3　实验装置及流程 …… 40
4.2.4　实验方法及步骤 …… 40
4.2.5　数据记录及处理 …… 41
4.2.6　实验结果与讨论 …… 41
4.3　流体流动阻力测定实验 …… 41
4.3.1　实验目的 …… 41
4.3.2　实验原理 …… 42
4.3.3　实验装置及流程 …… 43
4.3.4　实验方法及步骤 …… 44
4.3.5　数据记录及处理 …… 45
4.3.6　实验结果与讨论 …… 46
4.4　流量计的校正 …… 47
4.4.1　实验目的 …… 47
4.4.2　实验原理 …… 47
4.4.3　实验装置及流程 …… 49
4.4.4　实验方法及步骤 …… 50
4.4.5　数据记录及处理 …… 50
4.4.6　实验结果与讨论 …… 50
4.5　离心泵特性曲线测定实验 …… 51
4.5.1　实验目的 …… 51
4.5.2　基本原理 …… 51

4.5.3 实验装置及流程 …… 52
4.5.4 实验方法及步骤 …… 53
4.5.5 数据记录及处理 …… 55
4.5.6 实验结果与讨论 …… 56
4.6 过滤常数测定实验 …… 57
4.6.1 实验目的 …… 57
4.6.2 实验原理 …… 57
4.6.3 实验装置及流程 …… 58
4.6.4 实验方法及步骤 …… 59
4.6.5 数据记录及处理 …… 60
4.6.6 实验结果与讨论 …… 61
4.7 总传热系数 K 和给热系数 α 的测定 …… 61
4.7.1 实验目的 …… 61
4.7.2 实验原理 …… 61
4.7.3 实验装置及流程 …… 64
4.7.4 实验方法及步骤 …… 65
4.7.5 数据记录及处理 …… 67
4.7.6 实验结果与讨论 …… 67
4.8 裸管与绝热管传热实验 …… 68
4.8.1 实验目的 …… 68
4.8.2 实验原理 …… 68
4.8.3 实验装置及流程 …… 69
4.8.4 实验方法及步骤 …… 70
4.8.5 数据记录及处理 …… 70
4.8.6 实验结果与讨论 …… 71
4.9 薄膜蒸发实验 …… 71
4.9.1 实验目的 …… 71
4.9.2 实验原理 …… 71
4.9.3 实验装置及流程 …… 72
4.9.4 实验方法及步骤 …… 74
4.9.5 数据记录及处理 …… 74
4.9.6 实验结果与讨论 …… 74
4.10 精馏实验 …… 75
4.10.1 实验目的 …… 75
4.10.2 实验原理 …… 75
4.10.3 实验装置及流程 …… 76
4.10.4 实验方法及步骤 …… 79
4.10.5 数据记录及处理 …… 80
4.10.6 实验结果与讨论 …… 81
4.11 CO_2 吸收与解吸实验 …… 82
4.11.1 实验目的 …… 82
4.11.2 实验原理 …… 82
4.11.3 实验装置及流程 …… 83
4.11.4 实验方法及步骤 …… 85
4.11.5 数据记录及处理 …… 87
4.11.6 实验结果与讨论 …… 89
4.12 液-液萃取实验 …… 89
4.12.1 实验目的 …… 89
4.12.2 实验原理 …… 89
4.12.3 实验装置及流程 …… 91
4.12.4 实验方法及步骤 …… 93
4.12.5 数据记录及处理 …… 94
4.12.6 实验结果与讨论 …… 94
4.13 干燥实验 …… 95
4.13.1 实验目的 …… 95
4.13.2 实验原理 …… 95
4.13.3 实验装置及流程 …… 96
4.13.4 实验方法及步骤 …… 98
4.13.5 数据记录及处理 …… 99
4.13.6 实验结果与讨论 …… 99
第5章 化学工程与工艺专业实验 …… 101
5.1 化学吸收系统气液平衡数据的测定 …… 101
5.1.1 实验目的 …… 101
5.1.2 实验原理 …… 101
5.1.3 实验装置及流程 …… 103
5.1.4 实验方法及步骤 …… 103
5.1.5 数据记录及处理 …… 104
5.1.6 实验结果与讨论 …… 105
5.2 双驱动搅拌吸收器测定气液传质系数 …… 105
5.2.1 实验目的 …… 105
5.2.2 实验原理 …… 105
5.2.3 实验装置及流程 …… 107
5.2.4 实验方法及步骤 …… 108

5.2.5 数据记录及处理 …… 109
5.2.6 实验结果与讨论 …… 109
5.3 连续流动反应器中的返混测定 …… 110
5.3.1 实验目的 …… 110
5.3.2 实验原理 …… 110
5.3.3 实验装置及流程 …… 112
5.3.4 实验方法及步骤 …… 112
5.3.5 数据记录及处理 …… 113
5.3.6 实验结果与讨论 …… 114
5.4 鼓泡反应器中气泡比表面及气含率的测定 …… 115
5.4.1 实验目的 …… 115
5.4.2 实验原理 …… 115
5.4.3 实验装置及流程 …… 116
5.4.4 实验方法及步骤 …… 116
5.4.5 数据记录及处理 …… 117
5.4.6 实验结果与讨论 …… 117
5.5 恒沸精馏 …… 118
5.5.1 实验目的 …… 118
5.5.2 实验原理 …… 118
5.5.3 实验装置及流程 …… 121
5.5.4 实验方法及步骤 …… 121
5.5.5 数据记录及处理 …… 121
5.5.6 实验结果与讨论 …… 122
5.6 填料塔分离效率的测定 …… 122
5.6.1 实验目的 …… 122
5.6.2 实验原理 …… 122
5.6.3 实验装置及流程 …… 124
5.6.4 实验方法与步骤 …… 124
5.6.5 数据记录及处理 …… 125
5.6.6 实验结果与讨论 …… 125
5.7 碳分子筛变压吸附提纯氮气 … 126
5.7.1 实验目的 …… 126
5.7.2 实验原理 …… 126
5.7.3 实验装置及流程 …… 127
5.7.4 实验方法及步骤 …… 128
5.7.5 数据记录及处理 …… 129
5.7.6 实验结果与讨论 …… 130
5.8 一氧化碳中温-低温串联变换反应 …… 130
5.8.1 实验目的 …… 130
5.8.2 实验原理 …… 130
5.8.3 实验装置及流程 …… 133
5.8.4 实验方法及步骤 …… 133
5.8.5 数据记录及处理 …… 134
5.8.6 实验结果与讨论 …… 135
5.9 催化反应精馏法制甲缩醛 …… 135
5.9.1 实验目的 …… 135
5.9.2 实验原理 …… 135
5.9.3 实验装置及流程 …… 136
5.9.4 实验方法及步骤 …… 137
5.9.5 数据记录及处理 …… 139
5.9.6 实验结果与讨论 …… 140
5.10 交流阻抗技术测量聚合物电解质膜的离子电导率 …… 140
5.10.1 实验目的 …… 140
5.10.2 实验原理 …… 140
5.10.3 仪器和试剂 …… 142
5.10.4 实验方法及步骤 …… 142
5.10.5 数据记录及处理 …… 142
5.10.6 实验结果与讨论 …… 143
5.11 循环伏安法测定铁氰化钾的电极反应过程 …… 143
5.11.1 实验目的 …… 143
5.11.2 实验原理 …… 143
5.11.3 仪器和试剂 …… 145
5.11.4 实验方法及步骤 …… 145
5.11.5 数据记录及处理 …… 146
5.11.6 实验结果与讨论 …… 146
5.12 极化曲线的测定及应用 …… 146
5.12.1 实验目的 …… 146
5.12.2 实验原理 …… 146
5.12.3 仪器和试剂 …… 148
5.12.4 实验方法及步骤 …… 148
5.12.5 数据记录及处理 …… 148

5.12.6 实验结果与讨论 …… 149
5.13 锂离子扣式电池制作及其电化学容量充放电曲线的测定 …… 149
5.13.1 实验目的 …… 149
5.13.2 实验原理 …… 149
5.13.3 仪器和试剂 …… 150
5.13.4 实验方法及步骤 …… 150
5.13.5 数据记录及处理 …… 151
5.13.6 实验结果与讨论 …… 151
第6章 综合实验 …… 152
6.1 CO_2 在氨基功能化离子液体中的吸收/解吸实验 …… 152
6.1.1 实验目的 …… 152
6.1.2 实验原理 …… 152
6.1.3 实验装置及流程 …… 153
6.1.4 实验方法及步骤 …… 154
6.1.5 数据记录及处理 …… 155
6.1.6 实验结果与讨论 …… 156
6.2 超滤-纳滤-反渗透组合膜处理大豆乳清废水实验 …… 156
6.2.1 实验目的 …… 156
6.2.2 实验原理 …… 156
6.2.3 实验装置及流程 …… 158
6.2.4 实验方法及步骤 …… 158
6.2.5 数据记录及处理 …… 160
6.2.6 实验结果与讨论 …… 161
6.3 气液循环喷射反应器性能测试实验 …… 162
6.3.1 实验目的 …… 162
6.3.2 实验原理 …… 162
6.3.3 实验装置及流程 …… 162
6.3.4 实验方法及步骤 …… 162
6.3.5 数据记录及处理 …… 164
6.3.6 实验结果与讨论 …… 164
6.4 方形水槽内流场特性的 PIV 分析实验 …… 164
6.4.1 实验目的 …… 164
6.4.2 实验原理 …… 164
6.4.3 流体参数说明 …… 166
6.4.4 实验方法及步骤 …… 166
6.4.5 数据记录及处理 …… 167
6.4.6 实验结果与讨论 …… 168
6.5 管路拆装实训 …… 168
6.5.1 实训目的 …… 168
6.5.2 实训内容 …… 168
6.5.3 实训装置及流程 …… 169
6.5.4 实训方法及步骤 …… 169
6.5.5 数据记录及处理 …… 171
6.5.6 实训结果与讨论 …… 172
6.6 筛板塔拆装实训 …… 172
6.6.1 实训目的 …… 172
6.6.2 实训原理 …… 172
6.6.3 实训装置及流程 …… 174
6.6.4 实训方法及步骤 …… 175
6.6.5 数据记录及处理 …… 176
6.6.6 实训结果与讨论 …… 177
6.7 化工仪表及自动化实训 …… 177
6.7.1 实训目的 …… 177
6.7.2 实训原理 …… 178
6.7.3 实训装置及流程 …… 181
6.7.4 实训方法及步骤 …… 183
6.7.5 数据记录及处理 …… 184
6.7.6 实训结果与讨论 …… 184
第7章 化工仿真 …… 185
7.1 CO_2 压缩机工艺 3D 虚拟现实仿真 …… 185
7.1.1 实验目的 …… 185
7.1.2 工艺流程、设备及主要控制元件 …… 185
7.1.3 实验方法及步骤 …… 187
7.1.4 安全应急演练 …… 192
7.1.5 实验结果与讨论 …… 194
7.2 管式加热炉 3D 虚拟现实仿真 …… 194
7.2.1 实验目的 …… 194

7.2.2 工艺流程、设备及主要控制元件 …… 194
7.2.3 实验方法及步骤 …… 196
7.2.4 安全应急演练 …… 200
7.2.5 实验结果与讨论 …… 203
7.3 精馏塔3D虚拟现实仿真 …… 203
7.3.1 实验目的 …… 203
7.3.2 工艺流程、设备及主要控制元件 …… 203
7.3.3 实验方法及步骤 …… 204
7.3.4 安全应急演练 …… 207
7.3.5 实验结果与讨论 …… 210
7.4 吸收-解吸工艺3D虚拟现实仿真 …… 210
7.4.1 实验目的 …… 210
7.4.2 工艺流程、设备及主要控制元件 …… 210
7.4.3 实验方法及步骤 …… 212
7.4.4 安全应急演练 …… 218
7.4.5 实验结果与讨论 …… 220
第8章 化工模拟 …… 222
8.1 基于Aspen Plus的乙腈-水共沸体系的精馏模拟与优化 …… 222
8.1.1 实验目的 …… 222
8.1.2 实验原理 …… 222
8.1.3 实验流程及设备主要参数 …… 223
8.1.4 实验方法及步骤 …… 224
8.1.5 数据记录及处理 …… 224
8.1.6 实验结果与讨论 …… 225
8.2 冷热水在T形管内的混合过程模拟 …… 226
8.2.1 实验目的 …… 226
8.2.2 实验原理 …… 226
8.2.3 实验方法及步骤 …… 226
8.2.4 数据记录及处理 …… 234
8.2.5 实验结果与讨论 …… 235
附录 …… 236
附录1 3D虚拟现实化工仿真软件操作说明 …… 236
附录2 Aspen Plus软件的简易操作方法 …… 239
附录3 Fluent软件的简易操作方法 …… 255
主要参考文献 …… 266



第1章 化工实验基础知识

1

1.1 化工实验的目的和要求

1.1.1 化工实验的目的

化工实验是学习、掌握和应用化工基础理论知识的重要手段，是从化学、化工基本原理跨入实际应用的重要一环。化工实验与普通化学实验相比，具有明显的工程实验特点，要面对和解决实际的技术问题，是培养学生工程概念与动手操作能力的实践课程。通过化工实验课程的学习应达到如下目的：

（1）强化“三传一反”知识体系理念。

（2）掌握化工单元操作，加深对理论知识的理解与认识。

（3）熟悉各种仪器、仪表和实验设备的结构、性能和操作流程。

（4）提高发现问题、分析问题、解决问题的能力，培养实验技能和科研能力。

（5）理论联系实际，利用化工基础理论知识解决实际生产问题，培养大工程观。

（6）通过实验培养科学、严谨、求实的创新精神。

1.1.2 化工实验的要求

1. 实验前的准备工作

化工实验流程较为复杂，实验装置体型较大且经常配套有各种仪器和仪表。因此，在实验前应认真预习实验流程，复习相关理论知识，了解并掌握实验目的、实验原理、实验设备结构、操作流程、需要测量记录的数据及所需注意的安全事项。

在预习的基础上写出实验预习报告。实验预习报告应包含：实验目的、实验原理、实验装置、操作流程、注意事项等。准备好记录实验数据的表格，表中需注明各参数的单位。

进入实验室后，依据预习报告对照具体实验装置，明确实验装置构造及操作流程、仪表的使用和注意事项。实验前应提前对小组成员进行明确分工，以便协调配合完成实验。

2. 实验的操作与数据记录

实验操作是整个实验中最重要的环节，关系到整个实验的成败，在实验操作中要注意以下事项：

（1）设备启动前应严格检查各设备、控制点和所需仪表的状态是否符合启动要求，如阀门的

需要全本请访问 www.ertongbook.com

闭合，设备、仪表及水电气的连通状态等。

（2）实验操作需要严格按照操作规程认真、细致、平稳地进行。实验过程中小组成员需密切配合，坚守实验岗位。

（3）实验中要仔细观察装置运行状态和仪表显示情况，如出现异常情况应及时检查排除，必要时须按操作步骤进行停车处理。对于无法解决的问题应立刻向教师报告。

实验数据是处理、总结实验结果的依据。实验数据的读取与记录应秉承科学严谨的态度，准确、全面地记录所需数据。实验数据的读取与记录应遵循以下原则：

（1）测取数据时应按照仪表精度准确读取有效数字，在预习时准备好的表格中工整地记录数字和单位，并复核。

（2）不能随意舍弃数据，对于经过分析存在问题的数据，应及时排查，解决问题后重复实验再测取，争取获得准确的原始数据。

（3）对于可能影响实验结果的其他数据也应全面记录，如环境温度、大气压、设备尺寸等。

（4）对于稳态操作过程，待条件改变后应等待新的稳定状态建立，仪表读数稳定后再测取数据。

（5）测取的数据应为直接读取的数据，而非经过现场计算的数据，以免匆忙造成差错，如U形管压力计应分别读取记录两侧液柱高度，不能计算差值后记录。

实验最后检查实验数据的完整性和规律性，检查无误后，结束实验，按规程清洗装置并恢复至实验前状态，切断水电气，打扫实验室卫生后经教师批准方可离开实验室。

3. 实验报告

实验结束后要及时处理数据，书写实验报告。书写实验报告可以促进学生做好实验，加强对理论知识的理解和记忆，锻炼学生能力。因此，学生应认真、独立完成实验报告。实验报告必须写得简单、明了、确切，并且有实验者个人的见解。实验报告一般包含以下内容：

（1）实验题目。

（2）实验目的。

（3）实验基本原理。

（4）实验装置的流程示意图和测试点、控制点位置，主要设备、仪表的名称、型号或尺寸。

（5）实验操作和仪表使用的注意事项。

（6）实验原始数据记录。

（7）实验数据的整理、计算，以图表或公式表示的实验结果。

（8）数据整理计算过程举例（列出一组数据的计算过程，作为计算示例）。

（9）实验结果的分析和讨论。

（10）结论。

4. 其他注意事项

化工实验室中大型设备较多，往往一套设备中各种仪器、装置、仪表连接在一起，牵一发而动全身，任何一部分出现问题都可能会影响到整个实验的顺利进行。同时，由于实验装置投资较大，一般没有备用装置，因此，每个学生应该本着爱护公物和对自己及他人负责的原则，培养严谨、求实的科学作风，严格按照规程操作，爱护设备、装置，坚守实验岗位，出现问题及时报告，以免耽误他人的科研学习和影响正常的实验教学。

1.2 化工实验室安全常识

1.2.1 个人防护设备

美国职业安全与健康管理局(Occupational Safety and Health Administration,OSHA)在实验室安全指导(laboratory safety guidance)中对个人防护设备设有专门的标准,即个人防护设备标准(the personal protective equipment standard)(29 CFR 1910.132)。个人防护设备包括:呼吸器(respirators),面罩(face shields),护目镜(goggles)和一次性手套(disposable gloves)。进入实验室,个人防护设备基本要求包括:长袖/长裤衣服(避免皮肤接触)、安全鞋(防砸、防滴溅)、安全眼镜(预防化学品喷溅)、防化手套(用于手部防护)。

使用个人防护设备应注意:

(1) 基于危害性选择设备。

(2) 正确安装,有时是周期性安装。

(3) 认真正确佩戴。

(4) 根据制造商的说明书,定期维护和更换。

(5) 正确移除和处置,以免污染自身、他人和环境。

(6) 若重复使用,应正确移动、清洗、消毒和储存。

1.2.2 急救预案

实验开始之前,做好应急准备:熟悉最近的火警报警地点,知道报警电话;了解安全设备的放置位置并且知道如何使用,包括洗眼器、喷淋、灭火器、吸附棉等;保持安全出口畅通,安全设备周围无阻挡物。

遇紧急情况时,急救预案的要点:

(1) 在处理泄漏等事故时,确保自己的安全是第一步。

(2) 如遇割伤,首先应清理创口,避免化学品残留,然后再进行包扎处理。

(3) 被热表面烫伤后,先用冷水降温 30 min 以上,再涂抹烫伤膏。

(4) 对于可疑性骨折,在伤情没有进一步恶化的情况下,不要试图移动伤者。

(5) 触电造成的休克,抢救人员需先关闭电源,用绝缘物品将触电者移开,立即进行人工呼吸及心肺复苏。

急救只是防止伤情恶化的暂时方法,及时接受专业医护才是重要的!

1.2.3 危险化学品的安全使用

危险化学品是指具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等特性,对生物、设施、环境具有危害性的剧毒化学品和其他化学品。常见危险化学品可大致分为以下几类:

1. 易燃液体

易燃液体如甲苯、乙醇、乙醚、乙酸乙酯、丙酮等,易挥发,遇明火易燃烧,其蒸气与空气的混

合物达到爆炸极限范围时，遇火会发生猛烈的爆炸。选用红色、铁材质试剂柜存放可燃液体化学品，易燃液体存储和使用时要注意密封、防止倾倒和外溢，存放在阴凉通风处，远离火种（包括易产生电火花的设备、仪器）、热源和氧化剂。

2. 易燃固体

易燃固体如硫黄、红磷、镁粉、铝粉等，燃点低，其蒸气或粉尘在空气中达到一定浓度遇明火或火花会发生激烈燃烧甚至爆炸。与氧化剂接触易导致燃烧或爆炸。易燃固体要存放在阴凉通风处，远离火种、热源和氧化剂。

3. 自燃品

自燃品如白磷（白磷同时又是剧毒品）等，会因与空气接触缓慢氧化而引起自燃。自燃品需存放在盛水的瓶中，白磷全部浸没在水下，加塞，保存于阴凉处。使用时注意不要触碰皮肤，防止体温致使其自燃而造成烧伤。

4. 遇水燃烧物

遇水燃烧物如钾、钠、碳化钙、磷化钙、硅化镁、氢化钠等，在遇水或受潮后会与水激烈反应，产生可燃性气体并放出大量热能。该类物品应存放在密闭容器中，置于阴凉干燥处。少量钾、钠应浸没在加塞的煤油瓶中。

5. 爆炸品

爆炸品如三硝基甲苯、硝化甘油、硝化纤维、重氮盐等，在高温、摩擦、震动、撞击、火源等作用下会发生爆炸。爆炸品要装瓶单独存放在安全处，使用时要避免摩擦、撞击、震动、接触火源、热源。

6. 强氧化剂

氧化剂如高锰酸盐、重铬酸盐、氯酸盐、过氧化物等，在受热、光照或与其他物品作用时会放出氧气助燃造成猛烈燃烧。存储时应注意存放于阴凉通风处，与酸类、易燃物、还原剂分开。使用时要注意其中切勿混入易燃物。

7. 腐蚀性物质

腐蚀性物质如硫酸、盐酸、固态碱或碱溶液、液溴、苯酚等，对衣物、皮肤等都具有腐蚀作用。应选用蓝色、塑料材质试剂柜存放腐蚀性化学品。使用时勿接触衣物、皮肤，严防溅入眼睛中。

8. 有毒化学品

有毒化学品如氰化物、砷化物、汞、汞盐等，摄入人体后，在体内累积到一定的量，会造成某些器官或组织暂时或持久性的病理改变，甚至会危及生命。剧毒品必须存储在安全的专用橱中，专人保管，购进和领用都要有详细明确的记录。一般毒品也要妥善保管，使用时要严防摄入或接触身体。

9. 压缩气体和液化气体

压缩气体和液化气体是指压缩、液化或加压溶解的气体，具有易燃易爆、受热膨胀、腐蚀毒害、窒息性和氧化性等性质。为了便于储存和使用，常将气体用降温加压法压缩或液化后储存于钢瓶内，其存储和使用方法将在高压钢瓶的安全使用一节中再做介绍。

1.2.4　消防安全

化学实验室中存有各种危险化学品，很多药品着火时不适合用水扑灭，因为水会和部分药品

(如钠等)发生剧烈反应,可能加大火势甚至引发爆炸。同时由于大多数有机溶剂不溶于水且比水轻,如用水灭火会使有机溶剂浮在水面上,造成火场扩大。因此,实验者需要对实验室必备的几种灭火器材有一定了解。

1. 消防沙箱

消防沙可以隔绝空气并降低温度,适用于不能用水扑救的火灾,如金属起火等。消防沙箱内需存放足量干燥的沙子备用。使用时将沙子撒在着火处。消防沙箱平常需保持干燥,切勿将纸屑、碎玻璃、垃圾等杂物丢入其中。

2. 泡沫灭火器

泡沫灭火器的作用是在燃烧物表面形成泡沫覆盖层,使燃烧物表面与空气隔绝,破坏燃烧条件,起到窒息灭火的作用。泡沫灭火器适用于扑救一般火灾,但不能扑救水溶性可燃、易燃液体的火灾,如醇、酯、醚、酮等物质的火灾。同时因泡沫能导电,不能用于扑灭电气火灾。泡沫灭火器又分为手提式泡沫灭火器、推车式泡沫灭火器和空气式泡沫灭火器。

手提式泡沫灭火器使用方法:将灭火器直立提到距起火点 10 m 处,一只手握住提环,另一只手抓住筒体的底圈,将灭火器颠倒过来,泡沫即可喷出灭火。灭火时,将喷嘴对准火焰根部,由近而远,左右扫射,并迅速向前推进,直至将全部火焰扑灭。在灭火过程中,灭火器应一直保持倒立、垂直状态,否则,会中断喷射。

推车式泡沫灭火器使用方法:一般需两人操作,使用时将灭火器推拉到距着火点 10 m 处,一人施放喷射软管后双手紧握喷枪并对准燃烧处;另一人先逆时针方向转动手轮将螺杆升到最高处,使瓶盖开足,再将筒体向后倾倒,使拉杆触地,并将阀门手柄旋转 90°,即可喷射泡沫进行灭火。如阀门装在喷枪处,则由负责操作喷枪者打开阀门。

空气式泡沫灭火器使用方法基本上与手提式泡沫灭火器相同,但应注意灭火器使用时始终保持直立状态,切勿倒立或横卧使用,否则喷射有可能中断。

3. 干粉灭火器

干粉灭火剂是由具有灭火功效的无机盐和少量的添加剂经干燥、粉碎、混合而成的微细固体粉末组成。干粉灭火剂首先是通过无机盐分解物抑制、消除燃烧物产生的活性游离子,使燃烧的链反应中断;其次是干粉的粉末在可燃物表面反应形成玻璃状覆盖层,隔绝空气从而灭火。同时干粉遇到高温分解时吸收大量的热,放出蒸汽和二氧化碳,具有冷却和稀释燃烧区空气中氧的作用。干粉灭火器适用于扑救可燃液体、气体、电气设备的初期火灾。

手提式干粉灭火器:使用时将灭火器迅速提到距起火点 5 m 处,放下灭火器。使用前先把灭火器上下颠倒几次,使筒内干粉松动。再撕掉安全铅封,拔掉保险销,然后一只手握住喷射软管前端的喷嘴,另一只手压下压把,干粉便会喷射出来。灭火时,将喷嘴对准火焰根部,由近而远,左右扫射,并迅速向前推进,直至将全部火焰扑灭。

推车式干粉灭火器:一般由两人操作,使用时将灭火器迅速拉到距起火点 10 m 处,一人将灭火器放稳,然后撕下铅封,拔掉保险销,迅速打开气体阀门或开启机构;另一人迅速展开喷射软管,一手握住喷射枪枪管,另一只手扣动扳机,将喷嘴对准燃烧场,扑灭火灾。灭火方法与手提式干粉灭火器的方法一样。

4. 二氧化碳灭火器

二氧化碳灭火器的灭火作用:二氧化碳的密度约为空气的 1.5 倍,灭火时,二氧化碳气体可

以排除空气而包围在燃烧物体的表面或分布于较密闭的空间中，降低可燃物周围或防护空间内氧的浓度，阻止燃烧，从而起灭火作用，同时二氧化碳在喷射灭火过程中由液体迅速汽化成气体，吸收一定的热能，具有一定的冷却作用。二氧化碳灭火器适用于扑救精密仪器、图书、档案、600 V以下电气设备及范围不大的油类、气体的火灾。

手提式二氧化碳灭火器：在距起火点5 m处放下灭火器，拔掉保险销，一手握住喇叭筒根部的手柄，另一只手紧握启闭阀的压把（如没有喷射软管，应把喇叭筒往上扳70°~90°）。灭火时，将喷嘴对准火焰根部，由近而远，左右扫射，并迅速向前推进，直至将全部火焰扑灭。为防止冻伤，使用时不能直接用手抓住喇叭筒外壁或金属连线管。在室外使用时，应选择上风方向喷射；在狭小空间使用时，灭火后应迅速离开，以防窒息。

1.2.5　用电安全

实验室中用到的交流电源分为动力电和照明电两种。动力电也叫三相电，为三条火线一条零线，每条火线和零线之间的电压为220 V，而每两条火线之间的电压为380 V，动力电主要应用于大型机械、搅拌机、电动机等用电。照明电也叫单相电，也是一般的家庭用电，为一条火线一条零线，两线之间的电压为220 V。

低压电力系统保护接地和保护接零是保证安全用电、防止间接触电的重要措施之一。当用电设备发生绝缘损坏，其金属外壳带有危险电压时，保护接地和保护接零能保护人身安全。

保护接零是指把电工设备的金属外壳与电网中的零线可靠连接，以保护人身安全的一种用电安全措施。保护接地是将正常情况下不带电，而在绝缘材料损坏后或其他情况下可能带电的电器金属部分用导线与接地体可靠连接的一种保护接线方式，用以保证当电气设备因绝缘损坏而漏电时产生的对地电压不超过安全范围。

化工实验室中电器设备较多，而且常常连有各种仪表和附加装置，各种线路错综复杂，部分设备电负荷也较大。在实验室中应注意以下事项：

（1）进入实验室，应先了解配电箱（柜）及其中总电源开关和各支路开关的位置，便于出现问题时及时切断电源。

（2）实验室内应使用空气开关并配备必要的漏电保护器，电气设备和大型仪器需良好接地。配电箱内不准堆放杂物，以免触电或燃烧。

（3）实验前，应先检查电源线路、电动机和设备各部分是否良好，如有故障，应排除后再接通电源。实验结束后，先关闭仪器设备开关，再关闭电源。

（4）实验使用电子仪器设备时，应先了解其性能及技术参数，查看其电压、电流、功率等是否符合要求。同时要考虑电线的安全载流量合理配线，不可随意增加负载，以免电线发热造成火灾。

（5）人员长时间离开房间或停电时，要切断电源开关，尤其是要注意切断加热电器设备的电源开关，以免电器损毁。按操作规程操作，若电器设备出现过热现象或有异味时，应立即切断电源。

（6）注意保持线路和电器设备的干燥，防止因线路和设备受潮而漏电。接触或操作电器设备时必须保持手部或手套干燥，以防触电。

（7）电器设备的保险丝烧断时，应先切断电源，查明原因、排除故障后，再按原设备的配型更

换保险丝，不得随意加大或改用其他金属线。

(8) 不得将电线任意放在通道上，以免因绝缘破损造成短路。裸露的线头要用绝缘胶布或绝缘管包好。对老化电线等隐患要定期检查并及时排除，对于实验室中不能排除的故障应及时向老师报告，请专业人员处理。

(9) 要警惕实验室内发生电火花或静电，尤其在使用可能构成爆炸混合物的可燃性气体时，更需注意。如遇电器失火，切勿用水或导电的泡沫灭火器灭火，应切断电源，用消防沙或二氧化碳灭火器灭火。

(10) 有人触电时，应立即切断电源，或用绝缘物体将电线与人体分离后，再实施抢救。

1.2.6 高压气瓶的操作

气瓶属于移动式的可重复充装的压力容器，是用于储存和运输压缩气体、高(低)压液化气体、低温液化气体、溶解气体、吸附气体的瓶式金属或非金属密闭容器。

依据《气瓶安全技术监察规程》(TSG R0006—2014)，瓶装气体的介质分为以下几种：

(1) 压缩气体，是指临界温度(T_c)≤-50 ℃的气体，也称永久气体。

(2) 高(低)压液化气体，-50 ℃<临界温度(T_c)≤65 ℃的高压液化气体和临界温度(T_c)>65 ℃的低压液化气体。

(3) 低温液化气体，是指临界温度(T_c)≤-50 ℃，在运输过程中由于深冷低温部分呈液态的气体，也称为深冷液化气体或者冷冻液化气体。

(4) 溶解气体，在压力下溶解于溶剂中的气体。

(5) 吸附气体，在压力下吸附于吸附剂中的气体。

在气瓶上应印有钢瓶的制造标志和定期检验标志。为避免各种气瓶使用时发生混淆，须将气瓶上按照《气瓶颜色标志》(GB 7144—1999)标准漆上不同颜色，写明瓶内气体名称。

常用高压气瓶颜色及标识如表 1-1 所示。

表 1-1 常用高压气瓶颜色及标识

气体类别	瓶身颜色	字样	字色
氮气	黑	氮	黄
氧气	淡蓝	氧	黑
氢气	淡绿	氢	红
压缩空气	黑	压缩空气	白
液氨	黄	氨	黑
二氧化碳	铝白	二氧化碳	黑
氨气	棕	氨	白
氯气	深绿	氯	白
乙炔	白	乙炔	红
一氧化碳	银灰	一氧化碳	红

高压气瓶的搬运、存放和充装应注意以下事项：

(1) 搬运气瓶时，应装上防震垫圈，旋紧安全帽，以防止开关阀被意外转动或碰撞。

需要全本请访问 www.ertongbook.com