

高等学校规划教材

化学工程与工艺 专业实验

HUAXUE GONGCHENG YU GONGYI ZHUANYE SHIYAN

郭军红 包雪梅 主编
杨保平 主审



化学工业出版社

高等学校规划教材

化学工程与工艺 专业实验

HUAXUE GONGCHENG YU GONGYI ZHUANYE SHIYAN

郭军红 包雪梅 主编
杨保平 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共八章,从化学工程与工艺专业实验要求、实验室安全与环保、实验设计与数据处理入手,经过基础数据测试实验、化工分离技术实验、化学反应工程实验、化工工艺实验、化工产品合成实验训练,将培养学生的科研能力、创新能力贯穿实验过程;化工中试及仿真实验的训练,着重培养学生对实际产品生产工艺和实际生产过程的操作与管理能力。相关学校可根据实验条件和教学要求灵活选择实验项目。

本书为高等学校化工及相关专业的本科生教材,也可供科研等相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化学工程与工艺专业实验/郭军红,包雪梅主编. —北京:
化学工业出版社, 2018.7
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-32241-8

I. ①化… II. ①郭…②包… 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112652号

责任编辑:张双进
责任校对:王素芹

文字编辑:孙凤英
装帧设计:王晓宇

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10 字数243千字 2018年9月北京第1版第1次印刷

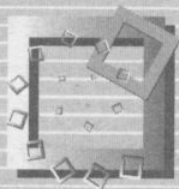
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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: 32.00 元

版权所有 违者必究



前言

本书是按照高等学校化学工程与工艺专业规范、培养方案和课程教学大纲、实验教学大纲的要求，结合校级实验教学改革实践而编写的实验教材。本书从提高学生专业知识素质、创新能力与工程能力的角度出发，在编写内容上以一些联系生产实际的综合性、研究性设计实验、实际化工产品虚拟仿真与中试实训项目为主，尝试从专业实验环节强化上述能力的训练和培养。

全书主要包括三部分。第一部分为实验基础，介绍实验要求、实验室安全与环保、实验设计与数据处理方面的基本知识 with 技能；第二部分为综合性专业实验，主要从基础数据测试实验、化工分离技术实验、化学反应工程实验、化工工艺实验、化工产品合成实验等几个方面培养学生的科研能力、创新能力；第三部分为化工中试与仿真实验，着重培养学生对实际产品生产工艺和实际生产过程的操作与管理能力。

实验过程中，通过以下几个环节培养学生创新、科研、工程能力。

(1) 实验预习。学生应根据实验所列预习思考题，了解每个实验的目的、原理、流程、设备与控制，并对实验步骤、实验数据采集与处理方法有所了解。教师应在动手实验前通过多种方式检查学生的预习情况，并记录在案，作为评分依据之一。

(2) 实验过程。在安排实验方向的基础上，精心调节实验条件，细心观察实验现象，正确记录实验数据。教师在指导时，有责任指导学生正确使用实验仪器，并督促学生严格采集实验数据，养成优良的实事求是的学风。要教育学生不得涂改记录，不得伪造数据。实验过程中教师应重视培养学生根据实验现象提出问题、分析问题的能力。

(3) 实验报告。在实验完成后，学生需认真独立撰写报告。实验报告应做到层次分明、数据完整、计算正确、结论明确、图表规范、讨论深入。要重视实验讨论环节，实验讨论是对学生创新思维的训练。

一个完整的专业实验过程相当于一个小型的科学研究过程，预习大体上相当于查阅文献和开题论证，实验操作相当于试验数据的测定，实验报告就是一篇小型论文。参加一次实验，要视为参加科学研究的初步训练，学生应认真对待和参与专业实验的全过程。而一个完整的仿真及中试实训过程则相当于一个生产过程，通过仿真训练掌握化工产品生产工艺流程，中试实训即是一个化工产品从实验室到工业化生产的必由之路，也是生产工艺与生产管理的结合，可增强学生的工程应用能力和化工过程控制能力。

本书由兰州理工大学化学化工综合实验中心的教师共同编写，郭军红、包雪梅任主编，制定编写大纲和要求。各章节的编写人员如下：郭军红编写第一、第二章，第六章，第八章；包雪梅编写第三章（实验一，实验二），第四章（实验六），第五章，第七章，附录；张秀君编写第三章（实验三），第四章（实验七）；赵秋萍编写第三章（实验四，实验五）。全书由郭军红统稿，包

雪梅为本书的编著做了大量的资料整理工作。本书由兰州理工大学杨保平教授主审，杨保平教授对本书的内容提出了许多修改意见，对提高本书质量有很大帮助。

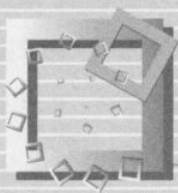
本书可作为高等学校化学工程与工艺专业的实验教材。也可作为高职类工科院校相关专业的实验教学参考书，对从事化工、生物、环境、精细化学品等领域科研工作的技术人员也有一定的参考价值。

本书的编写得到了兰州理工大学实验室管理处和兰州理工大学石油化工学院的大力支持，在此表示衷心的感谢。编写过程中参阅了一些文献资料，也参考、引用了一些教材、手册和网络资料、图片，在此对所有文献、资料的原作者一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平和兰州理工大学实验设备所限，加之编写时间仓促，书中不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2018年5月



目录

第一章 绪论

001

- 一、化学工程与工艺专业实验目的 / 001
- 二、化学工程与工艺专业实验要求 / 002
- 三、化工专业实验室安全与环保 / 005

第二章 实验设计与数据处理

019

- 一、实验设计 / 019
- 二、数据处理 / 024
- 三、实验数据的处理 / 026

第三章 基础数据测试实验

031

- 实验一 二元系统气液平衡数据的测定 / 031
- 实验二 三元系统液液平衡数据的测定 / 037
- 实验三 化学吸收系统气液平衡数据的测定 / 041
- 实验四 双驱动搅拌器气-液传质系数的测定 / 046
- 实验五 圆盘塔二氧化碳吸收的液膜传质系数的测定 / 051

第四章 化工分离技术实验

056

实验六 填料塔分离效率的测定 / 056

实验七 超滤、纳滤、反渗透组合膜分离实验 / 060

第五章 化学反应工程实验

066

实验八 鼓泡反应器中气含率及比表面积的测定 / 066

实验九 管式反应器流动特性的测定 / 069

实验十 单釜与三釜串联返混性能的测定 / 072

第六章 化工工艺实验

076

实验十一 乙苯脱氢制苯乙烯工艺条件的研究 / 076

实验十二 催化反应精馏法制甲缩醛工艺条件的研究 / 079

实验十三 催化反应精馏法制乙酸乙酯工艺条件的研究 / 083

第七章 化工产品合成实验

087

实验十四 生物化工产品——尿囊素的合成 / 087

实验十五 苯丙共聚物的乳液聚合 / 089

实验十六 低分子量环氧树脂的合成 / 093

第八章 化工中试及仿真实验

097

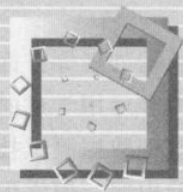
实验十七 装置实训及仿真实验 / 097

实验十八 乙烯裂解半实体装置实训及仿真实验 / 127

附录

139

附录 1 单位换算 / 139



第一章 绪 论

化学工程与工艺专业的实验,是在特定设计的条件、环境下,对基本理论知识体系或工程实践中某些典型环节的再现、重演或模拟。其目的是认识、检验、升华理论和技术的正确性与推广的可行性。化学工程与工艺实验的目的是培养学生掌握化学工程与工艺专业的专业实验技术与实验研究方法,是验证理论和客观标准、发展理论的重要手段。化学工程与工艺专业是实践性极强的应用型专业,支撑本专业的各学科都是随着生产的发展逐步形成、完善的,到今天仍有许多理论还有待进一步接受实践检验与验证。化学工程与工艺专业教学不应该也不可能脱离实验教学。首先,化学工程与工艺专业的理论知识体系来自实践,为实际生产服务、具有实用性质的理论和技术,如果没有必要的教学实验演示其中的某些现象和规律,学生就难以建立必要的特定概念并加深对它的理解;其次,高素质、高技术人才培养的关键,是方法论的教育问题,使学生树立起牢固的实践观点,让他们清楚地认识到化学工程与工艺的实践离不开实验,前人的实验认识可以借鉴,但在具体、特定的环境下运用课本理论和方法时,应具有实验的观点,并且要有自己动手掌握第一手材料的意识,这是其中的重要方面。因而,学习、掌握化学工程与工艺中基本的和必要的实验技术、理论、方法以及大型先进测试设备的应用和操作是非常重要的。实验的作用就是验证既有理论,启发学生思维能力,提高学生实践能力。

一、化学工程与工艺专业实验目的

化学工程与工艺专业是由原化学工程、无机化工、有机化工、煤化工、石油加工、高分子化工、工业催化、电化学工程等专业归并而成的宽口径专业。工程实践能力的培养是本专业的重要任务。作为专业实践性课程,该课程的目的是培养学生掌握化学工程与工艺专业的专业实验技术与实验研究方法。包括化学工程与化学工艺两方面,涉及化工基础数据测试技术、分离技术、反应工程技术、化工工艺、化工产品合成中试仿真实训等实验内容。涵盖了化工热力学、分离工程、化学反应工程、传递工程、精细化工和化学工艺学等学科,集专业实验的工程性、工艺性、典型性和先进性于一体。

(一) 巩固和深化课堂所学的理论

根据全国高校化学工程与工艺专业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,组织化学工程和化学工艺的实验内容。这样,通过实验可进一步学习、掌握和运用学过的基础理论,加深对化工过程的理解,巩固和深化所学的理论知识。涉及化工基础数据测试技术、分离技术、反应工程技术、化工工艺、化工产品合成中试仿真实训等实验内容。使学生进一步了解本专业主要课程的关联性,同时帮助学生理解书本中比较难懂的概念。例如,通过实验比较,理解表面张力对填料精馏塔分离效率的影响,所得结果可进一步指导工程设计。

(二) 培养基本的实验和科研能力

对于化工类专业来说,从教学角度,专业综合实验应为进一步培养和提高学生的实验和科研能力的综合实践过程。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。而专业综合实验内容往往涉及多个课程,更接近工程实际,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和从事科研与开发。

(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,实事求是地得出实验结论,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、浓度等,保证测量值达到所要求的精度,涉及测量技术问题,因此增加常用测试仪器的基本原理和使用方法,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、管网,阀门的切换,高压钢瓶的安全,化学药品和气体的使用和防护措施等。

总之,化工专业综合实验教学的目的着重于实践能力和解决实际问题能力的培养。这种能力的培养是书本学习无法替代的。

二、化学工程与工艺专业实验要求

化工专业综合实验对于学生来说是进一步接触到用工程装置进行实验,涉及多门化工专业的主要课程的内容,信息量大,综合性强,并对课内所学内容有一定的扩展,具有开放性强的特点,学生往往感到有难度,无法下手。有的学生又因为是几个人一组而有依赖心理,为了切实收到教学效果,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, 复习相关课程教材的有关内容。清楚地掌握实验项目要求、实验所依据的原理、实验所用危险化学品的安全说明书、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 safety 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) 具有 CAI——计算机辅助教学手段时, 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、化学品安全说明书、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的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。

设备启动前首先必须检查, 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。安排好测量范围、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, 例如反应器中的返混情况等, 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, 找出原因进行解决, 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, 不要经过计算后再记录, 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 对待实验数据应采取科学态度, 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, 避免涂改的方法, 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, 养成良好的习惯。

(3) 实验结束整理好原始数据, 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) 实验报告的撰写

实验报告是对实验进行的全面总结,实验报告是一份技术文件,是技术部门对实验结果进行评估的文字材料。实验报告的书写是一项重要的基本技能训练,不仅是对每次实验的总结,更重要的是可以培养和训练学生的逻辑归纳能力、综合分析能力和文字表达能力,是科学论文写作的基础。因此,参加实验的每位学生,均应及时、认真地书写实验报告。

实验报告必须数据完整、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。实验报告内容要求实事求是,分析全面具体,文字简练通顺,撰写清楚整洁。编写实验报告的能力也需要经过严格训练,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。

1. 实验报告的特点

(1) 原始性 实验报告记录和表达的实验数据一般比较原始,数据处理的结果通常采用图或表的形式表示,比较直观。

(2) 纪实性 实验报告的内容侧重于实验过程、操作方式、分析方法、实验现象、实验结果的详尽描述,一般不做深入的理论分析。

(3) 试验性 实验报告不强求内容的创新,即使实验未能达到预期效果,甚至失败,也可以撰写实验报告,但必须客观真实。

(4) 格式固定 常使用专用的实验报告单。

2. 实验报告内容与格式

(1) 实验名称、实验目的与要求等。实验目的要明确。在理论上验证定理、公式、算法,并使实验者获得深刻和系统的理解;在实践上,掌握使用实验设备的技能技巧和程序的调试方法。一般要说明是验证型实验还是设计型实验,是创新型实验还是综合型实验。

(2) 学生姓名、学号及同组人员者。

(3) 实验日期(年、月、日)和地点。

(4) 实验原理阐述实验相关的主要原理。阐明实验原理、任务、目的、装置流程。回答预习思考题,设计实验数据记录表。

(5) 实验内容是实验报告极其重要的部分。要抓住重点,可以从理论和实践两方面考虑。这部分要写明依据何种原理、定理、算法或操作方法进行实验。详细列出计算过程。

(6) 实验设备、原料和环境,针对设备写明设备安全操作要求,原料、产物和中间产物属危险化学品的,要写出危险化学品安全使用说明书(MSDS),侧重于健康危害、理化特性与应急处理。

(7) 实验步骤只写主要操作步骤,不要照抄实验指导书上的内容,要简明扼要。还应该画出实验流程图(实验装置的结构示意图),再配以相应的文字说明,这样既可以节省文字,又能使实验报告简明扼要、清楚明白。

(8) 实验结果包括实验现象的描述、实验数据的处理等。原始资料应附在本次实验主要操作者的实验报告上,同组的合作者要复制原始资料。

对于实验结果的表述,一般有三种方法。

① 文字叙述。根据实验目的将原始资料系统化、条理化,用准确的专业术语客观地描述实验现象和结果,要有时间顺序以及各项指标在时间上的关系。

② 图表。用表格或坐标图的方式使实验结果突出、清晰,便于相互比较,尤其适合于

分组较多，且各组观察指标一致的实验，使组间异同一目了然。每一图表应有标题和变量及计量单位，应说明一定的中心问题。

③ 曲线图。在实验报告中，可任选其中一种或几种方法并用，以获得最佳效果。

(9) 根据相关的理论知识对所得到的实验结果进行解释和分析。如果所得到的实验结果和预期的结果一致，那么它可以验证什么理论，实验结果有什么意义，说明了什么问题，这些是实验报告应该讨论的。但是，不能用已知的理论或生活经验硬套在实验结果上，更不能由于所得到的实验结果与预期的结果或理论不符而随意取舍甚至修改实验结果，这时应该分析产生异常的可能原因。如果本次实验失败了，应找出失败的原因及以后实验应注意的事项。不要简单地复述课本上的理论而缺乏自己主动思考的内容。另外，也可以写一些本次实验的心得以及提出一些问题或建议等。

(10) 结论 结论不是具体实验结果的再次罗列，也不是对今后研究的展望，而是针对这一实验所能验证的概念、原则或理论的简明总结，是从实验结果中归纳出的一般性、概括性的判断，要简练、准确、严谨、客观。

(11) 自评 包括实验收获，实验教学、项目的建议等。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。实验报告必须按照指导教师要求的格式编写。报告应在指定时间交给指导老师批阅。

三、化工专业实验室安全与环保

化工实验通常涉及化学药品、带压设备、危险气体、电、煤气等潜在危害因素。这些因素若不加注意，随时可能引发出各种事故，造成环境污染和人体伤害，因此，加强对实验室安全技术和环境保护知识的了解，掌握相关危险情况的处理方法是非常必要的。

本节主要根据化工专业实验中存在的不安全因素，对防火、防爆、防毒、防触电等安全操作知识及防止环境污染等内容做一些基本介绍。

(一) 实验室安全知识

1. 实验室常用危险品的分类

化学工程与工艺专业实验室常有易燃性物质、易爆性物质及有毒物质，归纳起来主要有以下几类。

(1) 可燃气体 遇火、受热或与氧化剂相接触能引起燃烧或爆炸的气体。如：氢气、甲烷、乙烯、煤气、液化石油气、一氧化碳等。

(2) 可燃液体 在常温下呈液态，具有挥发性，闪点低且容易燃烧的物质。如：乙醚、丙酮、汽油、苯、乙醇等。

(3) 可燃性固体 凡遇火、受热、撞击、摩擦或与氧化剂接触能着火的固体。如：木材、涂料、石蜡、合成纤维等，化学药品五硫化磷、三硫化磷等。

(4) 爆炸性物质 在热力学上很不稳定，受到轻微摩擦、撞击、高温等因素的激发而发生激烈的化学变化，在极短时间内放出大量气体和热量，同时伴有热和光等效应发生的物质。如：过氧化物、氮的卤化物、硝基或亚硝基化合物、乙炔类化合物等。

(5) 自燃物质 有些物质在没有任何外界热源的作用下，由于自行发热和向外散热，当热量积蓄升温到一定程度能自行燃烧的物质。如：磁带、胶片、油布、油纸等。

(6) 遇水燃烧物质 有些化学物质当吸收空气中水分或接触了水时，会发生剧烈反应，

并放出大量可燃气体和热量，当达到自燃点而引发燃烧和爆炸。如：活泼金属钾、钠、锂及其氧化物等。

(7) 混合危险性物质 混合后发生燃烧或爆炸的物质称为混合危险性物质。如：强氧化剂（重铬酸盐、氧、发烟硫酸等），还原剂（苯胺、醇类、有机酸、油脂、醛类等）。

(8) 有毒物品 在一定条件下，某些侵入人体后会破坏人体正常生理机能的物质称有毒物质，如：

- ① 窒息性毒物，如氮、氢、一氧化碳等；
- ② 刺激性毒物，如酸类蒸气、氯气等；
- ③ 麻醉性或神经毒物，如芳香类化合物、醇类化合物、苯胺等；
- ④ 其他无机及有机毒物，指对人体作用不能归入上述三类的无机和有机毒物。

2. 危险化学品的安全知识

实验室常用的化学品必须合理地分类存放。易燃物品不能与氧化剂放在一起，以免发生着火燃烧的危险。对不同的危险药品，在为扑救火灾选择灭火剂时，必须针对药品进行选用，否则不仅不能取得预期效果，反而会引起其他的危险。例如，着火处有金属钾、钠存放，不能用水进行灭火，因为水与金属钾、钠等剧烈反应，会发生爆炸，十分危险；轻质油类着火时，不能用水灭火，否则会使火灾蔓延；若着火处有氰化钾，则不能使用泡沫灭火剂，因为灭火剂中的酸与氰化钾反应生成剧毒的氰化氢。因此了解危险品性质与分类十分必要。

3. 危险化学品的安全使用

(1) 实验用的毒品必须按规定手续领用与保管。剧毒品要登记注册，并有专人管理。使用后的废液必须妥善处理，不允许倒入下水道中。

(2) 凡是产生有害气体的实验操作，必须在通风橱内进行。但应注意不使毒品洒落在实验台或地面上，一旦洒落必须彻底清理干净。

(3) 绝不允许以实验室内任何容器作食具，也不准在实验室内吃食品，实验完毕必须多次洗手，确保人身安全。

(4) 对具有污染性质的化学药品不能与一般化学试剂放在一起。对有污染性物质的操作必须在规定的防护装置内进行。违反规程造成他人的人身伤害应负法律责任。

(5) 进入实验室必须佩戴相应的防护措施，如实验服、防护眼镜、防护口罩、防毒面具等。

(6) 对于易燃易爆药品应根据实验的需用量和按照规定数量领取。不能在实验场所存放大量该类物品。

(7) 存放易燃品应严禁明火，远离热源，避免日光直射。有条件的实验室应设专用贮存室或存放柜。

(8) 在实验前必须了解危险化学品的安全说明书，必要的时候应结合具体实验，制定出安全操作规程。

(9) 在进行蒸馏易燃液体、有机物品或在高压釜内进行液相反应时，加料的数量绝不允许超过容器的 $\frac{2}{3}$ 。在加热和实验过程中，实验人员不得离岗，不允许在无操作人员监视下加热。对沸点低的易燃有机物品蒸馏时，不应使用直接明火加热，也不能加热过快，致使急剧汽化而冲开瓶塞，引起火灾或造成爆炸。进行这类实验的操作人员，必须熟悉实验室中灭

火器材存放地点及使用方法。

(10) 各种易燃液体、有机化合物蒸气和易燃气体在空气中含量达到一定浓度时,就能与空气(实际是氧气)构成爆炸性的混合气体。这种混合气体若遇到明火就发生闪燃爆炸。

(11) 任何一种可燃气体在空气中构成爆炸性混合气体时,该气体所占的最低体积分数称爆炸下限;该气体所占的最高体积分数称爆炸上限。在下限与上限之间称爆炸范围。低于爆炸下限或高于爆炸上限的可燃性气体和空气构成的混合气体都不会发生爆炸。但对体积分数超过上限的混合气遇明火会发生燃烧,但不会爆炸。例如甲苯蒸气在空气中的浓度为1.2%~1.7%时就构成爆炸性的混合气体。在这个温度范围遇明火(火红的热表面、火花等各种火源)即发生爆炸。低于1.2%,高于7.1%都不会发生爆炸。当某些可燃性气体或蒸气遇空气混合进行燃烧时,也可能突然发生爆炸。这是由于该气体在空气中所占的体积比逐渐升高或降低,浓度由爆炸限以外进入爆炸限以内所致。反之,爆炸性的混合气体由于成分的变化也可以从爆炸限内逐渐变至爆炸限范围以外,称为非爆炸性气体。这类具有爆炸性的混合气体在使用时应倍加重视,但也并不可怕。若能认真而严格地按照安全规程操作,是不会有危险的。因为构成爆炸应具备两个条件:

- ① 可燃物在空气中的浓度落在爆炸限范围内;
- ② 有明火存在。

故防止方法就是不使浓度进入爆炸极限以内。在配气时,必须严格控制。使用可燃气体时,必须在系统中充氮吹扫空气,同时还必须保证装置严密不漏气。

(12) 实验室要保证有良好通风,并禁止在室内有明火和敞开式的电热设备,也不能让室内有产生火花的必要条件存在等。此外,应注意某些剧烈的放热反应操作,避免引起自燃或爆炸。总之,只要严格掌握和遵守有关安全操作规程就不会发生事故。

4. 危险化学品中毒和化学灼伤防范

(1) 危险化学药品的毒性 危险化学药品除了易燃易爆危险性外,还在于它们具有腐蚀性、刺激性、对人体的毒性(特别是致癌性)。使用不慎会造成中毒或化学灼伤事故。特别应该指出的是,实验室中常用的有机化合物,其中绝大多数对人体都有不同程度的毒害。几种常用的有毒物质的最高允许浓度见表1-1。

表 1-1 几种常用有毒物质的最高允许浓度

单位: mg/m³

物质名称	最高允许浓度	物质名称	最高允许浓度	物质名称	最高允许浓度
一氧化碳	30	二甲苯	100	苯乙烯	40
氯	2	丙酮	400	甲醛	5
氨	30	乙醚	500	四氯化碳	5
氯化氢及盐酸	150	酚	5	溶剂汽油	350
硫酸及硫酸酐	10	乙醇	1500	汞	0.1
苯	500	甲醇	50	二硫化碳	10

(2) 化学中毒和化学灼伤事故的预防 化学中毒主要是由下列原因引起的:

- ① 由呼吸道吸入有毒物质的蒸气。
- ② 有毒药品通过皮肤吸收进入人体。
- ③ 吃进被有毒物质污染的食物或饮料,品尝或误食有毒药品。

化学灼伤则是因为皮肤直接接触强腐蚀性物质、强氧化剂、强还原剂，如浓酸、浓碱、氢氟酸、钠、溴等引起的局部外伤。预防措施主要如下：

① 最重要的是保护好眼睛！在化学实验室里应该一直佩戴护目镜（平光玻璃或有机玻璃眼镜），防止眼睛受刺激性气体熏染，防止任何化学药品特别是强酸、强碱、玻璃屑等异物进入眼内。

② 禁止用手直接取用任何化学药品，使用毒品时除用药匙、量器外必须佩戴橡胶手套，实验后马上清洗仪器用具，立即用肥皂洗手。

③ 尽量避免吸入任何药品和溶剂蒸气。处理具有刺激性的、恶臭的和有毒的化学药品时，如 H_2S 、 NO_2 、 Cl_2 、 Br_2 、 CO 、 SO_2 、 SO_3 、 HCl 、 HF 、浓硝酸、发烟硫酸、浓盐酸、乙酰氯等，必须在通风橱中进行。通风橱开启后，不要把头伸入橱内，并保持实验室通风良好。

④ 严禁在酸性介质中使用氰化物。

⑤ 禁止口吸吸管移取浓酸、浓碱、有毒液体，应该用洗耳球吸取。禁止冒险品尝药品试剂，不得用鼻子直接嗅气体，而是用手向鼻孔扇入少量气体。

⑥ 不要用乙醇等有机溶剂擦洗溅在皮肤上的药品，这种做法反而增加皮肤对药品的吸收速率。

⑦ 实验室里禁止吸烟进食，禁止赤膊穿拖鞋。

(3) 中毒和化学灼伤的急救

① 眼睛灼伤或掉进异物。一旦眼内溅入任何化学药品，立即用大量水缓缓彻底冲洗。实验室内应备有专用洗眼水龙头。洗眼时要保持眼皮张开，可由他人帮助翻开眼睑，持续冲洗 15min。忌用稀酸中和溅入眼内的碱性物质，反之亦然。对因溅入碱金属、溴、磷、浓酸、浓碱或其他刺激性物质的眼睛灼伤者，急救后必须迅速送往医院检查治疗。玻璃屑进入眼睛内是比较危险的。这时要尽量保持平静，绝不可用手揉擦，也不要试图让别人取出碎屑，尽量不要转动眼球，可任其流泪，有时碎屑会随泪水流出。用纱布，轻轻包住眼睛后，将伤者急送医院处理。若是木屑、尘粒等异物进入，可由他人翻开眼睑，用消毒棉签轻轻取出异物，或任其流泪，待异物排出后，再滴入几滴鱼肝油。

② 皮肤灼伤。

a. 酸灼伤。先用大量水冲洗，再用稀 NaHCO_3 溶液或稀氨水浸洗，最后用水洗。

氢氟酸能腐烂指甲、骨头，滴在皮肤上，会形成痛苦的、难以治愈的烧伤。皮肤若被灼烧后，应先用大量水冲洗 20min 以上，再用冰冷的饱和硫酸镁溶液或 70% 酒精浸洗 30min 以上，或用大量水冲洗后，用肥皂水或 2%~5% NaHCO_3 溶液冲洗，用 5% NaHCO_3 溶液湿敷。局部外用可的松软膏或紫草油软膏及硫酸镁糊剂。

b. 碱灼伤。先用大量水冲洗，再用 1% 硼酸或 2% HAc 溶液浸洗，最后用水洗。

c. 溴灼伤。这是很危险的。被溴灼伤后的伤口一般不易愈合，必须严加防范。凡用溴时都必须预先配制好适量的 20% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液备用。一旦有溴沾到皮肤上，立即用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液冲洗，再用大量水冲洗干净，包上消毒纱布后就医。

在受上述灼伤后，若创面起水泡，均不宜把水泡挑破。

③ 中毒急救。实验中若感觉咽喉灼痛、嘴唇脱色或发绀，胃部痉挛或恶心呕吐、心悸头晕等症时，则可能系中毒所致。视中毒原因施，以下述急救后，立即送医院治疗，不得延误。

a. 固体或液体毒物中毒。有毒物质尚在嘴里的立即吐掉，用大量水漱口。误食碱者，先饮大量水再喝些牛奶。误食酸者，先喝水，再服 $Mg(OH)_2$ 乳剂，最后饮些牛奶。不要用催吐药，也不要服用碳酸盐或碳酸氢盐。重金属盐中毒者，喝一杯含有几克 $MgSO_4$ 的水溶液，立即就医。不要服催吐药，以免引起危险或使病情复杂化。砷和汞化物中毒者，必须紧急就医。

b. 吸入气体或蒸气中毒者。立即转移至室外，解开衣领和纽扣，呼吸新鲜空气。对休克者应施以人工呼吸，但不要用力对口法。立即送医院急救。

④ 烫伤、割伤等外伤。在烧熔和加工玻璃物品时最容易被烫伤，在切割玻璃管或向木塞、橡胶塞中插入温度计、玻管等物品时最容易发生割伤。玻璃质脆易碎，对任何玻璃制品都不得用力挤压或造成张力。在将玻管、温度计插入塞中时，塞上的孔径与玻管的粗细要吻合。玻管的锋利切口必须在火中烧圆，管壁上用几滴水或甘油润湿后，用布包住用力部位轻轻旋入，切不可用猛力强行连接。常见的外伤急救方法如下：

a. 割伤。先取出伤口处的玻璃碎屑等异物，用水洗净伤口，挤出一点血，涂上红汞水后用消毒纱布包扎。也可在洗净的伤口上贴上“创口贴”，可立即止血，且易愈合。若严重割伤大量出血时，应先止血，让伤者平卧，抬高出血部位，压住附近动脉，或用绷带盖住伤口直接施压，若绷带被血浸透，不要换掉，再盖上一块施压，立即送医院治疗。

b. 烫伤。一旦被火焰、蒸气、红热的玻璃、铁器等烫伤时，立即将伤处用大量水冲淋或浸泡，以迅速降温避免深度烧伤。若起水泡不宜挑破，用纱布包扎后送医院治疗。对轻微烫伤，可在伤处涂些鱼肝油或烫伤油膏或万花油后包扎。

化学工程与工艺专业实验室应配备用一定量的实验室医药箱，箱内一般有下列急救药品和器具。

① 医用酒精、碘酒、红药水、紫药水、止血粉，创口贴、烫伤油膏（或万花油）、鱼肝油，1%硼酸溶液或2%醋酸溶液，1%碳酸氢钠溶液、20%硫代硫酸钠溶液等。

② 医用镊子、剪刀，纱布，药棉、棉签，绷带等。

③ 医药箱专供急救用，不允许随便挪动，平时不得动用其中器具。

④ 医药箱内的物品应在使用过后及时补充，并按期检查药品等是否在有效期内。

(二) 防火防爆的安全知识

在各类实验室中都不同程度地存在燃烧和爆炸的危险。为了保证教学和科研工作的顺利开展，我们必须对有燃烧和爆炸的危险物质加强管理，采取相应的安全措施，防止火灾和爆炸事故的发生。如果一旦发生，也要具备一定的减少灾害造成的危险措施，把损失降到最低。

1. 火灾、爆炸的预防

有效的防范才是对待事故最积极的态度。安全第一，预防为主，消除可能引起燃烧和爆炸的危险因素，这是最根本的解决办法。使易燃易爆品不处于危险状态，或消除一切火源和安全隐患，就可以预防火灾或爆炸的发生。

(1) 控制可燃物和助燃物 部分可燃气体和蒸气的爆炸极限见表 1-2。化工类实验室防爆，最根本的是对易燃物和易爆物的用量和蒸气浓度进行有效控制。