



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材

大气污染控制工程实验

第二版

陆建刚 主 编

陈敏东 张 慧 副主编



化学工业出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材(编号:2014-1-058)

大气污染控制工程实验

第二版

陆建刚 主 编

陈敏东 张 慧 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是作者在多年教学和科研经验的基础上编写而成的实验教材。书中介绍了现代新型仪器、装置和测量方法等,内容包括基本知识、基本操作、基本技术、性能测试实验、大气固态污染物实验、大气气态污染物实验等,共56个实验项目。在新技术开发、探索性研究型实验上具有一定的新颖性。此外,考虑到各个院校在安排教学实验时的差异性,实验设立了可根据自身条件、选择性开设的实验项目。

本书可作为高等院校环境工程及其相关专业的实验用书,也可供从事环境科学研究及管理的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制工程实验/陆建刚主编. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2016. 8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 “十二
五”江苏省高等学校重点教材

ISBN 978-7-122-25880-9

I. 大… II. ①陆… III. ①空气污染控制-实验-高
等学校-教材 IV. ①X510.6-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第299177号

责任编辑: 满悦芝

文字编辑: 荣世芳

责任校对: 王素芹

装帧设计: 刘亚婷

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 装: 三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张14³/₄ 字数392千字 2016年9月北京第2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: 39.00元

版权所有 违者必究

前 言

“大气污染控制工程实验”课程作为环境科学与工程学科的一门重要的专业基础课，一直受到广泛的关注。课程涉及大气污染控制的基本理论、各种控制过程的基本原理、典型控制设备的基本构造等，培养学生分析和解决大气污染控制问题的能力，为学生进行大气污染控制工程的设计、科研及技术管理打下必要的基础。课程的主要目的是通过实验手段培养学生对大气污染控制过程的理解和分析能力，配合理论课程掌握当代大气污染控制技术领域的概念和基本原理，学习与大气污染控制工程相关的常用技术、方法、仪器和设备，学习如何用实验方法判断物质的性能和规律，引导学生了解实验手段在大气污染控制工艺与设备研究、开发过程中所起的作用，使学生获得采用实验技术和方法来研究大气污染控制新工艺、新技术和新设备的独立工作能力，进一步培养学生正确和良好的实验习惯和严谨的工作作风。

随着课程教学改革的不断深入，《大气污染控制工程实验》教材的建设、合理选择与使用显得尤为重要。近年来，由于出版和信息产业的国际化，许多国外关于大气污染控制工程领域的著名教材也被引进和吸纳到国内的课程教学中来，这对国内此领域的教学改革和人才培养起到了积极的促进作用。习惯上，“大气污染控制工程实验”课程与“大气污染控制工程”课程相配套，而“大气污染控制工程”课程是环境工程专业的核心课程。近几年来，随着环境科学与工程学科教学与研究学术梯队的形成和不断发展，取得不少教学和研究成果。为了进一步丰富该课程的教学内容，促进教学质量的提高，以配套和完善“大气污染控制工程”课程的建设和发展，我们编写了《大气污染控制工程实验》教材。教材构建专业基础实验-综合实验-研究型实验的系统化实验教学平台，满足学生进行自主实验设计、发挥其研究潜力和创新能力的要求。

笔者以“市场导向、学科前沿”的观点和“大气-气象”专业特色的原则，确定《大气污染控制工程实验》教材的内容；借鉴国内外著名大学相关课程和教材的经验，形成知识体系完善、内容前沿新颖、手段多样现代、方法开放创新、与“大气污染控制工程”课程相配套的工科教材。本教材坚持研究与开放式内容相结合的方式，鼓励学生参与科研，提高学生的动手能力，培养创新意识。本教材还设置了启发式和开放式课堂实验、研究式专题实验，以学生自由结合的形式，设置实验内容，增强教材的新颖性。

本教材第二版在第一版的基础上，引进 Flash 教程和虚拟仿真实验教程，在第二章“性能测试实验”部分，增加了虚拟仿真实验。在第三章“固态污染物控制实验”部分，增加了 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 检测实验。在第四章“气态污染物控制实验”部分，针对室内空气污染，增加了 VOCs 快速测定和等离子体法净化实验；在新型膜分离技术应用方面，增加了低浓度 VOCs 捕集、恶臭气体净化、烟气中 NO_2 的膜吸收和 SO_2 离子液体捕集实验。另外，在综合性实验方面，增加了硫氮氧化物协同净化实验和吸收与吸附联合净化实验。教材的第二版，在内容上更加丰富，在实验手段上更加多样，在技术应用上涉及的面更广。因此，本教材能够扩展学生的知识面，提供更贴近实际的实验和实践技能。

本教材所提供的实验方法和流程，也可供科研人员和工程设计人员参考。

由于笔者水平有限，缺点与错误在所难免，敬请读者提出批评和建议，以便加以修正，使教材的内容得到进一步提高和完善。

编 者

2016 年 8 月 8 日

第一版前言

“大气污染控制工程实验”课程作为环境科学与工程学科的一门重要的专业基础课，一直受到广泛的关注。课程涉及大气污染控制的基本理论、各种控制过程的基本原理、典型控制设备的基本构造等，培养学生分析和解决大气污染控制问题的能力，为学生进行大气污染控制工程的设计、科研及技术管理打下必要的基础。课程的主要目的是通过实验手段培养学生对大气污染控制过程的理解和分析能力，配合理论课程掌握当代大气污染控制技术领域的基本概念和基本原理，学习与大气污染控制工程相关的常用技术、方法、仪器和设备，学习如何用实验方法判断过程的性能和规律，引导学生了解实验手段在大气污染控制工艺与设备研究、开发过程中所起的作用，使学生获得采用实验技术和方法来研究大气污染控制新工艺、新技术和新设备的独立工作能力，进一步培养学生正确和好的实验习惯和严谨的科学作风。

随着课程教学改革的不深入，《大气污染控制工程实验》教材的建设、合理选择与使用显得尤为重要。近年来，由于出版和信息产业的国际化，许多国外关于大气污染控制工程领域的著名教材也被引进和吸纳到国内的课程教学中来，这对国内此领域的教学改革和人才培养起到了积极的促进作用。习惯上，“大气污染控制工程实验”课程与理论课“大气污染控制工程”课程相配套。“大气污染控制工程”课程是环境工程专业的核心课程，近几年来，随着环境科学与工程学科教学与研究学术梯队的形成和不断发展，取得了不少教学和研究成果。为了进一步丰富该课程的教学内容，促进教学质量的提高，以配套和完善“大气污染控制工程”课程的发展和建设，我们编著了《大气污染控制工程实验》教材。教材呈现专业基础实验-综合实验-研究型实验的系统化实验教学平台，满足学生进行自主实验设计、发挥其研究潜力和创新能力的要求。

教材以“市场导向、学科前沿”的观点和“大气-气象”专业特色的原则，确定《大气污染控制工程实验》教材的内容；借鉴国内外著名大学相关课程和教材的经验，形成知识体系完善、内容前沿新颖、手段多样先进、方法开放创新、与“大气污染控制工程”课程相配套的工科教材。教材坚持研究与开放式内容相结合的方式，体现和鼓励学生参与科研，提高学生动手能力，培养创新意识。采用启发式和开放式课堂实验，研究式专题实验，以学生自由结合的形式，设置实验内容，增强教材的新颖性。

本教材的绪论、第一章和第四章以及附录由陆建刚编著，第二章和第三章由张慧编著，樊璠、花爱春和嵇艳参加了部分章节的编写工作，陈敏东和许正文进行统稿和审稿工作。

由于编者水平有限，缺点与疏漏在所难免，敬请读者提出批评和建议，以便加以修正，使教材的内容得到进一步提高和完善。

编 者

2012 年 1 月

目 录

绪论	1
一、大气污染控制工程实验的目的和要求	1
二、大气污染控制工程实验学习方法	1
三、大气污染控制工程实验成绩的评定	3
四、大气污染控制工程实验规则	4
五、学生实验守则	5
六、实验室意外事故的处理	5
第一章 基本知识、基本操作、基本技术	6
一、实验室常用仪器	6
二、实验基本操作及其过程	10
三、实验结果的处理和表达	21
四、实验误差及其处理	22
五、实验室安全知识	28
六、Flash 实验教程的概念、功能、使用和意义等基础介绍	31
七、虚拟仿真实验课程教程	32
第二章 性能测试实验	33
实验一 系统的压力和真空度的测定	33
实验二 烟气参数(温度、压力、含湿量、密度、流速及流量)的测定	36
实验三 轴流风机性能测试实验	40
实验四 文丘里及孔板流量计流量系数的测定	42
实验五 虚拟仿真实验——填料塔净化二氧化硫性能实验	46
第三章 固态污染物控制实验	51
实验六 区域环境空气中总悬浮颗粒物的测定	51
实验七 大气环境中悬浮颗粒物 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的检测实验	53
实验八 粉尘样品的分取及安息角的测定	55
实验九 烟气含尘浓度的测定	57
实验十 粉尘真密度的测定(真空法)	60
实验十一 光学法测定粉尘粒径	62
实验十二 移液管法测定粉尘粒径分布	65
实验十三 冲击法测定粉尘粒径分布	70
实验十四 粉尘比电阻的测定	75
实验十五 旋风除尘器性能的测定	77
实验十六 袋式除尘器性能的测定	81
实验十七 湿式文丘里除尘器性能的测定	85
实验十八 电除尘器除尘效率的测定	90
实验十九 电除尘器伏安特性测定	93
实验二十 交通源颗粒物排放因子的测定	95

第四章 气态污染物控制实验	98
实验二十一 奥氏气体分析仪测定烟气组分 (CO_2 、 CO 、 O_2 、 N_2)	98
实验二十二 填料塔反应器回收烟气中 CO_2	101
实验二十三 膜吸收法捕集烟气中 CO_2	104
实验二十四 湿壁柱吸收空气中 CO_2	109
实验二十五 鼓泡反应器吸收空气中 CO_2	112
实验二十六 大气环境中 SO_2 浓度的测定	116
实验二十七 大气环境中氮氧化物浓度的测定	119
实验二十八 烟气中二氧化硫污染物的净化	122
实验二十九 吸收法净化烟气中氮氧化物	126
实验三十 吸附法净化气体中的氮氧化物	131
实验三十一 活性炭吸附含苯有机废气	135
实验三十二 高浓度有机废气的净化 (冷凝法)	138
实验三十三 高浓度有机废气的净化 (冷凝-吸收组合法)	141
实验三十四 还原法处理烟气中氮氧化物	143
实验三十五 催化燃烧法净化废气中有机污染物	146
实验三十六 室内空气污染物甲醛含量的测定 (分光光度法)	149
实验三十七 室内空气污染物甲醛含量的测定 (离子色谱法)	152
实验三十八 空气中污染物苯系物含量的测定	154
实验三十九 空气中污染物氨含量的测定	157
实验四十 机动车尾气污染物的检测	159
实验四十一 餐饮业烟气油烟净化器性能测定	162
实验四十二 湿法烟气脱硫 (氧化镁法)	166
实验四十三 生物质型煤成型实验	169
实验四十四 生物质型煤燃烧过程脱硫实验	172
实验四十五 催化转化法去除汽车尾气中氮氧化物	176
实验四十六 光催化氧化法净化 VOCs	179
实验四十七 生物洗涤降解法净化 VOCs	183
实验四十八 脉冲电晕等离子体法脱除烟气中 SO_2 和 NO_x	187
实验四十九 室内空气总 VOCs 的快速测定实验	190
实验五十 等离子体法净化室内空气实验	192
实验五十一 膜基冷凝法捕集低浓度 VOCs 实验	194
实验五十二 膜法净化恶臭气体实验	197
实验五十三 膜吸收法净化烟气中 NO_2 实验	200
实验五十四 膜基离子液体捕集烟气中 SO_2 实验	201
实验五十五 烟气中硫氮氧化物协同净化实验	203
实验五十六 吸收与吸附联合净化实验	206
附录	209
参考文献	228

绪 论

一、大气污染控制工程实验的目的和要求

大气污染控制工程实验课是环境工程专业的一门实践性必修课，是大气污染控制工程的重要组成部分，是环境工程技术人员解决大气污染处理中各种问题的一个重要手段。其基本任务是：通过实验使学生掌握大气污染控制工程的基本实验方法、手段及操作技能，学会正确使用各种测试仪器和实验设备，正确掌握数据处理和曲线绘制等科学方法。培养学生运用所学理论知识进行科学研究、分析问题和解决问题的能力，通过理论与实践的结合，巩固和加深对所学基本原理的理解，并在某些方面得到充实和提高。同时，树立实事求是的科学态度和严谨的工作作风。

1. 大气污染控制工程实验课程的基本要求

① 掌握实验所用仪器设备结构、流程和工作原理以及实验的操作方法，加深对基本概念的理解，巩固新的知识。

② 独立进行实验的全过程，包括装配和调节实验装置，观察实验现象，记录和处理实验数据，综合分析实验结果，做出正确的实验报告，从而正确分析和归纳实验数据、运用实验成果验证已有的概念和理论等。进而了解如何进行实验方案的设计，并初步掌握大气污染控制实验的研究方法和基本测试技术。

③ 学生在实验过程中必须坚持实事求是的科学态度，忠于所观察到的实验现象，并养成严肃、认真、细致、整洁的良好实验习惯。

2. 学生通过实验教学达到的目的和要求

① 通过实验教学进一步掌握、巩固和加深环境工程原理的理论知识，得到将理论应用于实践的训练。

② 根据已经掌握的知识，能够提出验证结论的方法、方案或提出探索研究的问题。

③ 熟悉典型的大气污染物净化与处理过程和处理装置及设备结构的特点。

④ 掌握大气污染控制工程实验的实际操作和基本技能。

⑤ 能够确定实验目标，综合人力、设备、药品和技术能力等方面的具体情况进行实验方案的设计，包括实验目的、装置、步骤、计划、测试项目和测试方法等内容。

⑥ 能够分析实验工作的重要环节，分析实验数据，鉴别和核实实验数据的可靠性。培养观察实验现象、测定实验参数、分析和整理实验数据以及编写工程实验报告的能力，从而提高解决大气污染控制过程中的实际问题的能力。

为了达到上述目的，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，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，完成实验项目。

二、大气污染控制工程实验学习方法

学习本课程、参加大气污染控制工程实验的学生必须按照相应的实验教学程序进行实验。

1. 实验预习

为完成每个实验，学生必须在课前认真阅读实验教材，清楚地了解实验项目的目的和要求、实验原理和实验内容，写出简明的预习提纲。预习能够帮助学生理解实验原理，了解实验内容，熟悉操作步骤，有利于完成实验和达到较好的实验效果。预习实验的具体要求是：

① 了解实验目的、要求以及实验原理；

② 了解实验设备流程、实验操作步骤及有关注意事项；

- ③ 按照实验指导书要求,掌握测取实验数据的方法;
- ④ 拟出原始实验数据记录表格,练习有关操作;
- ⑤ 和配合的同学进行讨论,商讨实验过程中的关键步骤和相互配合等问题。
- ⑥ 实验小组进行适当的分工,明确实验任务。

2. 实验操作

正确地进行实验操作,是实验成功的关键。学生必须认真按照实验程序,按部就班地进行实验操作。具体要求如下所述。

① 实验进行之前,应该检查所需设备、仪器是否齐全和完好,包括固定安装设备和设施、临时安装设备、移动设备等。对于动力设备(如离心泵、压缩机等)进行安全检查,以保证正常运转及人身安全,确保实验的圆满完成。

② 实验操作过程中必须严格遵照操作规程、实验步骤及操作注意事项。若在操作过程中发生故障时,应及时向指导老师及实验室工作人员报告,以便及时进行处理。

③ 在实验操作中,需要分步、分工地测取数据时,每项的实际操作,应当使参与实验的学生在实验小组内进行适当的交换操作,使每位学生均能得到全面的实验操作训练,有利于学生对整个实验过程的全面参与和全面了解。

④ 为了测取正确的实验数据,需要注意数据的准确性和重现性。只有当数据测取准确后,方能改变操作条件,进行另一组数据的测取。

⑤ 实验数据全部测取完,经指导老师检查通过后,方可结束实验,归还所借仪器仪表等,恢复设备原始状态。

3. 实验数据的读取

正确读取实验数据是实验操作的重要步骤,其关系到实验结果正确性。规范地记录实验数据是防止实验数据产生误差的有效方法之一,其步骤及要求如下所述。

① 实验操作开始之前应拟好实验数据记录表格(在预习时已准备),表格中应标明各项物理量的名称、符号及单位。实验记录要求完整、准确、条理清楚。

② 实验数据一定要在实验系统稳定后才可读取记录,条件改变后,应在新的条件稳定后才能读取记录数据。由于测试仪表的滞后现象的缘故,条件改变后往往需要一段时间的稳定过程,不能一改变条件就读取数据,这样会降低所测得的数据的可靠性。

③ 同一条件下至少要读取两次数据,且只有当两次读数相近时,才能改变操作条件继续进行实验。实验测取的数据,应及时进行复核,以免发生读数或记录数据的错误。如读数和记录是两人分头进行的,则记录数据的同时还需往复读数。

④ 数据记录必须真实地反映仪表的精度。一般记录至仪表上最小分度下一位数。根据仪器的精确度,通常记录数据中的末位数是估计数字,例如温度计读数刚好为 10°C 时,则数据应记为 10.0°C ,而不是记为 10°C 。

⑤ 记录数据要以当时的实际读数为准,如规定的水温为 30.0°C ,读数时实际水温为 30.5°C ,就应该读记 30.5°C 。如果数据仍稳定不变时,该数据每次都应记录,不留空格,如果漏记了数据,应该留出相应的空格。

⑥ 实验过程中,如果出现不正常情况以及数据有明显误差时,应在备注栏中加以说明。

⑦ 读取数据后,应该分析其是否合理,如果发现不合理情况时,应立即分析原因,以便及时发现问题并加以处理。

⑧ 不得擅自更改实验测试的原始数据。

4. 实验数据的处理

通过实验取得大量数据以后,必须对数据作科学的整理分析,去粗取精、去伪存真,以得到正确可靠的结论。同时,为求得各物理量间的变化关系,往往需要记录许多组数据,有

时为获得一个准确数据,还得进行多次测量。这样,会给整理数据增加较大的工作量。为此,可采取将每一参数相同条件测定的多次结果求取其平均值。在整理实验数据中,应注意有效数字及误差理论的运用,有效数字要求取到测试仪表最小分度后一位即可。

在实验中,对各种参数进行测量时,无论使用的仪器多么精密、测验方法何等完善、实验者如何认真细心,所测得的数据都不可避免地存在一定的偏差或误差。这些误差通常为:系统误差、偶然误差和过失误差。

5. 实验报告的编写

将实验结果整理编写成一份实验报告,是实验教学必不可少的组成部分。这一环节的训练极为重要,是今后写好科学论文或科研报告的基础。实验报告是一次实验的总结,它能直接反映同学们对实验原理、实验操作技能等方面知识的掌握。通过编写实验报告,可提高分析问题和解决问题的能力。编写实验报告应坚持以科学的态度及实事求是的精神进行编写,编写的实验报告必须依据所有实验数据以及观察到的现象,不能凭臆想推测加以修改。

实验报告一律使用学校规定的报告纸书,编写实验报告的具体要求如下:

- ① 实验题目;
- ② 报告及同组人姓名;
- ③ 实验日期;
- ④ 实验目的;
- ⑤ 实验原理;
- ⑥ 实验装置流程图及设备规格、型号说明;
- ⑦ 实验数据原始记录表(注意表格格式);
- ⑧ 典型计算、公式、图;
- ⑨ 实验数据的整理,包括计算数据及结果;
- ⑩ 实验结果(可用图示法、列表法及经验式表示);
- ⑪ 结论与思考题、问题分析。

实验报告要求参加实验的同学独立完成,每人一份,并以此作为实验考核的主要依据。

三、大气污染控制工程实验成绩的评定

大气污染控制工程实验课程成绩包括:课堂实验过程与操作+实验报告+期末考试。

1. 实验课程总评成绩构成

- ① 实验过程与操作:30%。
- ② 实验报告:20%。
- ③ 期末考试:50%。

2. 实验过程与操作评分内容

- ① 预习准备充分,实验材料齐全,提交预习报告;设计性实验方案基本正确,实验任务明确(10%)。
- ② 实验认真守纪,积极主动,准时进入实验室(10%)。
- ③ 掌握实验原理,操作认真、规范,动作有条不紊;实验过程独立完成,仪器操作娴熟(20%)。
- ④ 自行发现并排除一般性的实验故障,数据记录正确规范(20%)。
- ⑤ 具有较强的协作精神和实事求是的工作作风;与他人协作默契,配合得当(20%)。
- ⑥ 讨论深入细致,见解新颖(20%)。

3. 实验报告

实验报告成绩按四方面内容,给予5个档次成绩。

报告考核内容:

- ① 实验报告一周内递交 (10%);
- ② 实验数据正确完整, 结果分析深入细致 (30%);
- ③ 公式、图表、曲线完整无误 (30%);
- ④ 遵守实验操作规程, 无违章现象发生; 问题回答正确, 思路清晰, 观点有见解 (30%)。

成绩档次:

① 优秀 (90~100 分) 实验报告内容完整、叙述严谨、版面布局合理整洁、原始数据完备、数据处理过程完整正确、实验结论正确; 基本正确回答实验思考题, 实验讨论有一定的见解。

完全符合四方面考核内容。

② 良好 (80~89 分) 实验报告内容完整、条理清晰、版面整洁、原始数据完备、数据处理过程完整、结果基本正确、实验结论明确; 报告有实验讨论的内容。

基本符合四方面考核内容。

③ 中等 (70~79 分) 实验报告内容基本完整、版面整洁、原始数据基本完整、有数据处理过程、实验结论明确。

符合四方面考核内容 3 项。

④ 及格 (60~69 分) 实验报告内容基本完整、原始数据基本完整、有数据处理过程和实验结论。

符合四方面考核内容 2 项。

⑤ 不及格 (<60 分)

有下列情况之一者, 实验项目成绩评为不及格:

- 不能完成最基本的实验操作;
- 实验报告马虎、内容不全、无数据处理过程或数据处理过程不完整、实验无结论等;
- 实验报告有抄袭现象;
- 严重违反实验规章制度并造成不良后果;
- 未做实验, 但模仿指导教师笔迹签字伪造原始数据的;
- 无故缺席或者迟到 30 分钟以上者, 不能补做的;

不符合四方面考核内容。

4. 期末考试 (笔试) 内容

- ① 基本原理和概念;
- ② 实验方法;
- ③ 实验现象分析;
- ④ 实验结果分析;
- ⑤ 本课程总结、体会及建议 (附加分 20%)。

期末考试 (实验考试) 评分办法根据卷面题给定。

四、大气污染控制工程实验规则

实验室是进行科学研究的场所, 大气污染控制工程实验有易燃、易爆、有腐蚀性或有毒的试剂和药品, 在实验前应充分了解实验室规则, 实验时在思想上要十分重视安全问题, 集中注意力, 遵守操作规程, 避免事故的发生。

(1) 进入实验室应保持整洁和安静; 禁止在实验室内大声喧哗、追逐嬉玩和随地吐痰; 禁止赤足、穿拖鞋进入实验室, 实验室内严禁吸烟、吃食品, 遵守实验室的各项规章制度。

(2) 进入实验室首先熟悉水龙头、电闸的位置和操作方法, 以及灭火栓的使用方法。注意节约水、电、气、油以及化学药品等。爱护仪器、实验设备及实验室其他设施。

(3) 启用加热设备时, 要注意被加热物 (如液体等) 是否溅出, 以免受到伤害。嗅闻气体时, 应用手向自己方向轻拂气体。使用电器设备时, 不要用湿手接触电插销, 以防触电。

(4) 浓酸、浓碱具有强腐蚀性,切勿溅在衣服、皮肤上,尤其勿溅到眼睛上。稀释浓硫酸时,应将浓硫酸慢慢倒入水中,而不能将水向浓硫酸中倒,以免迸溅。

(5) 实验室常用的溶剂乙醚、乙醇、丙酮、苯等有机易燃物质,在安放和使用时,必须远离明火,取用完毕后应立即盖紧瓶塞或瓶盖。

(6) 能产生有刺激性或有毒气体的实验,应在通风橱内(或通风处)进行。

(7) 有毒药品(如重铬酸钾、钡盐、铅盐、砷化合物、汞化合物、氰化物等)不得进入口内或接触伤口,不能将有毒药品随便倒入下水管道。

(8) 实验完毕,应洗净双手后,才可离开实验室。

(9) 实验室的仪器和药品未经教师准许,不能带出实验室。因操作不慎等原因,损坏仪器、设备,应上报登记。因违规操作,造成仪器、设备损坏,根据情节的轻重和态度由指导老师会同实验室负责人,按仪器、设备价值的酌情折价赔偿,情节严重、损失较大者,上报学校进行处理。

(10) 有关剧毒药品的领取、使用和保管,按照相关药品管理规定执行。

五、学生实验守则

(1) 实验前应认真做好预习,明确实验目的,了解实验内容及注意事项,写出预习报告。

(2) 做好实验前的准备工作,清点仪器,如发现缺损,应报告指导教师,按规定向实验员从准备室补领。未经指导教师和实验员教师同意,不得随意移动或拿走仪器设备。

(3) 实验时保持肃静,思想集中,认真操作,仔细观察现象,积极思考问题,做好记录。

(4) 保持实验室和台面清洁、整齐,废纸屑、废液、废金属屑等废物应存放于指定的地方,不能随手乱扔,更不能倒在水槽中,以免水槽或下水道堵塞、腐蚀或发生意外。

(5) 爱护国家财物,小心正确地使用仪器和设备,注意安全,节约水、电和药品。使用精密仪器时,必须严格按照操作规程进行,如发现故障,应立即停止使用,并及时报告指导老师。实验药品应按规定取用,取用药品后,应立即盖上瓶塞,以免弄错,沾污药品。放在指定地方的药品不得擅自拿走,自瓶中取出的药品不能再倒回原瓶中。

(6) 实验完毕后将玻璃仪器清洗干净并放回原处,整理好桌面,经指导教师批准后方可离开。

(7) 每次实验后由学生轮流值日,负责整理公用药品、仪器,打扫实验室卫生,清理实验后废物;检查水、电、煤气开关是否已关闭,关好门窗。

(8) 实验室内的一切物品(包括仪器、药品、产物等)不得带离实验室。

六、实验室意外事故的处理

(1) 灭火 若因酒精、苯或乙醚等引起着火,应立即用湿布或沙土等扑灭。若遇电气设备着火,必须先切断电源,再用泡沫式灭火器或四氯化碳灭火器灭火。实验人员衣服着火时,不可慌张跑动,否则会加强气流流动,使燃烧加剧,而应尽快脱下衣服,或在地面上打滚或跳入水池。火被扑灭后,让病人躺下,保暖,并送医院做进一步治疗。

(2) 烫伤 可用高锰酸钾溶液或苦味酸溶液揩洗灼伤处,再搽上烫伤油膏。

(3) 酸伤 若强酸溅到眼睛或皮肤上,应立即用大量水冲洗,然后用饱和碳酸氢钠溶液或者稀氨水冲洗,再用水冲洗。最后涂上医用凡士林,并送医院做进一步治疗。

(4) 碱伤 立即用大量水冲洗,然后用硼酸或醋酸溶液(20g/L)冲洗、水冲洗,最后涂上医用凡士林。

(5) 割伤 伤口不能用水洗,应立即用药棉擦净伤口,伤口内若有玻璃碎片,需先挑出,再涂上紫药水,或红药水、碘酒,但红药水和碘酒不能同时使用,再用止血贴或纱布包扎。

(6) 触电 首先应切断电源,然后在必要时,进行人工呼吸。

(7) 毒气 若吸入溴蒸气、氯化氢、氯等气体,可立即吸入少量酒精蒸气以解毒;若吸入硫化氢气体,会感到不适或头晕,应立即到室外呼吸新鲜空气。

(8) 对伤势较重者,应立即送医院医治,任何延误都可能使治疗变得更加复杂和困难。

第一章 基本知识、基本操作、基本技术

一、实验室常用仪器

1. 实验室常用玻璃仪器

仪器名称	种类和规格	用 途	备 注
试管	(1) 硬质和软质； (2) 普通试管和离心试管； (3) 普通试管有翻口、平口； (4) 有刻度、无刻度； (5) 具塞、无塞； (6) 有刻度的试管和离心试管的规格以容量表示； (7) 无刻度试管的规格以管口外径(mm)×管长(mm)表示	(1) 盛取液体或固体试剂； (2) 加热少量固体或液体； (3) 制取少量气体反应器； (4) 收集少量气体用； (5) 溶解少量气体、液体或固体的溶质	(1) 普通试管可直接用火加热，硬质试管可加热至高温； (2) 加热时应使用试管夹，注意扩大受热面积，防止暴沸或受热不均，使试管破裂，加热后不能骤冷； (3) 离心试管只能在水浴中加热； (4) 装溶液时不超过试管容量的 1/2，加热时不超过试管的 1/3
烧杯	(1) 有刻度和无刻度； (2) 以容积大小表示	(1) 用作反应容器，反应物易混合； (2) 配制溶液； (3) 溶解、结晶、蒸发浓缩或加热溶液； (4) 盛取溶液和药剂的容器	(1) 注入的液体不超过其容积的 2/3； (2) 加热时使用石棉网； (3) 烧杯外部要擦干后再加热
量筒 量杯	规格以刻度所标识的最大容积(mL)表示	用于量取一定体积量的液体	(1) 量取少量的液体时首选量杯，量取大体积的液体时则选用量筒； (2) 不能加热，不能量取热的液体； (3) 不能用作反应容器，不能在其中配制溶液； (4) 操作时应沿内壁加入或倒出液体
容量瓶	(1) 无色和棕色； (2) 规格以刻度所标的容积标度表示	用于配制一定体积准确浓度的标准溶液和准确浓度的溶液	(1) 容量瓶不能做加热溶液的操作； (2) 容量瓶不得放在烘箱中烘烤； (3) 热溶液应冷至室温后再移入容量瓶稀释至标线； (4) 稀释过程中放热的溶液应在稀释至容量总体积的 3/4 时摇匀，并待冷至室温后，再继续稀释至刻度； (5) 容量瓶不能长久储存溶液作试剂瓶用； (6) 使用后的容量瓶应立即冲洗干净。闲置不用时，可在瓶口处垫一小纸条以防黏结
锥形瓶	(1) 无塞和具塞； (2) 规格以容积表示	(1) 滴定分析中作为滴定容器； (2) 加热反应容器	(1) 不能在瓶内配制溶液； (2) 磨口塞要保持原配； (3) 取用溶液前要摇匀，手心对准标签

续表

仪器名称	种类和规格	用 途	备 注
碘量瓶	规格以容积表示	(1)碘量瓶作为碘量法的专用滴定容器; (2)在其他挥发性物质的滴定分析中作滴定容器; (3)用于需严防液体挥发和固体升华的反应容器	(1)瓶和塞要保持原配,不能混用; (2)不能高温加热,在较低温度加热时,要将瓶塞打开,防止瓶塞冲出或瓶子破碎
称量瓶	(1)高型和矮型; (2)规格以外径(mm)×瓶高(mm)表示	盛放需准确称量或少量需干燥后准确称量的固体物质	(1)洗净烘干或已盛有试样的称量瓶除放在干燥器、秤盘上外不得放在其他地方,以免沾污; (2)粘在瓶口上的试样应敲回瓶中
移液管 吸量管	(1)移液管为单刻度,吸量管有分刻度; (2)规格以刻度的最大标度表示	准确移取或量取一定体积的液体	(1)不应在烘箱中烘干; (2)不能移取太热或太冷的溶液; (3)同一实验中应尽可能使用同一支移液管; (4)在使用完毕后,应立即用自来水及蒸馏水冲洗干净,置于移液管架上; (5)移液管和容量瓶常配合使用,因此在使用前常作两者的相对体积校准; (6)在使用吸量管时,为了减少测量误差,每次都应从最上面刻度(0刻度)处为起始点,往下放出所需体积的溶液,而不是需要多少体积就吸取多少体积
滴定管	(1)碱式和酸式; (2)无色和棕色; (3)规格以刻度的最大标度表示	(1)滴定分析; (2)量取一定体积的液体	(1)滴定管下端不能有气泡,快速放液,可赶走酸式滴定管中的气泡;轻轻抬起尖嘴玻璃管,并用手指挤压玻璃球,可赶走碱式滴定管中气泡。 (2)酸式滴定管不得用于装碱性溶液;碱式滴定管不宜装对橡皮管有腐蚀性的溶液,如碘、高锰酸钾和硝酸银等。 (3)滴定管不同于量筒,其读数自上而下由小变大
表面皿	规格以口径(mm)表示	盖在烧杯上,防止液体迸溅或其他用途	不能直接用火加热
漏斗	(1)长颈漏斗、短颈漏斗和波纹漏斗; (2)普通漏斗、热水漏斗、高压漏斗、分液漏斗和安全漏斗; (3)规格以漏斗口径(mm)表示	用于过滤操作,对沉淀进行分离	不能直接用火加热
单口烧瓶	(1)圆底、平底和磨口; (2)规格以容量表示。圆底烧瓶有普通型和标准磨口型。磨口圆底烧瓶还以磨口标号表示其口径的大小	(1)液体和固体或液体间的反应器; (2)装配气体反应发生器(常温、加热); (3)蒸馏或分馏液体(用带支管烧瓶又称蒸馏烧瓶)	(1)注入的液体不超过其容积的2/3; (2)加热时使用石棉网,使均匀受热; (3)蒸馏或分馏要与胶塞、导管、冷凝器等配套使用
多口烧瓶	(1)普通型和标准磨口型; (2)规格以容量表示,标准磨口型以磨口标号表示其口径的大小	同单口烧瓶	同单口烧瓶
比色管	(1)带刻度和无刻度; (2)具塞和不具塞; (3)规格以容量表示	用于比色分析	(1)不能加热,轻拿轻放; (2)同一比色实验中使用同样规格的比色管; (3)清洗时不能用硬毛刷刷洗,以免磨伤管壁影响透光度; (4)比色时一次只拿两支比色管进行比较且光照条件要相同

续表

仪器名称	种类和规格	用 途	备 注
干燥器	(1)普通干燥器和真空干燥器； (2)规格以直径大小表示	内放干燥剂，用于样品的干燥和保存	(1)磨口处涂凡士林； (2)灼烧过的样品应稍冷却后放入干燥器，并在冷却的过程中每隔一定时间打开一下盖子，以调节干燥器内的压力
集气瓶	(1)无塞，瓶口面磨砂，并配有毛玻璃盖片； (2)规格以容量表示	用于气体的收集，或气体燃烧实验	进行固-气燃烧实验时，瓶底应放少量的砂子或水
洗气瓶	规格以容量表示	用于去除杂质气体	(1)安装时应使进气管通入洗涤液中； (2)内装洗涤管的量不能超过洗气瓶高度的1/2，以防洗涤液被气体冲出
干燥管	规格以大小表示	用于气体的干燥	(1)所填装的干燥剂应不与气体反应； (2)颗粒要大小适中，填充时也要松紧适中； (3)填装的干燥剂两端用棉花团填塞，避免气流将干燥粉末带出

2. 实验室常用仪器设备

仪器名称	种类和规格	用 途	备 注
pH 计	(1)笔式(迷你型)、便携式和台式； (2)0.2 级、0.1 级、0.01 级	(1)精密测量液体介质的酸碱度值； (2)配上相应的离子选择电极测量离子电极电位	(1)玻璃电极插座应保持干燥、清洁，严禁接触酸雾、盐雾等有害气体，严禁沾上水溶液，保证仪器的高输入阻抗。 (2)新电极或久置不用的电极在使用前，必须在蒸馏水中浸泡数小时，使电极不对称电位降低达到稳定，降低电极内阻。 (3)测量时，电极球泡应全部浸入被测溶液中。 (4)使用时，应使内参比电极浸在内参比溶液中，不要让内参比溶液倒向电极帽一端，使内参比悬空。 (5)使用时，应拔去参比电极电解液加液口的橡皮塞，以使参比电解液(盐桥)借重力作用维持一定流速渗透并与被测溶液相通。否则，会造成读数漂移。 (6)氯化钾溶液中应该没有气泡，以免使测量回路断开。 (7)应该经常添加氯化钾盐桥溶液，保持液面高于银/氯化银丝
分光光度计	(1)手动、半自动、自动； (2)带扫描、不带扫描； (3)可见光、紫外光、红外光、荧光、原子吸收	对物质进行定性和定量分析	(1)仪器初次使用需检查波长准确度，以确保检测结果的可靠性。 (2)由于光源位置偏移，导致工作电流漂移增大，此时对光源位置进行调整。 (3)每次检测结束后应检查比色池内有否溶液溢出，若有溢出应随时用滤纸吸干，以免引起测量误差或影响仪器使用寿命。 (4)仪器每次使用完毕，应于灯室内放置数袋硅胶(或其他干燥剂)，以免反射镜受潮霉变或沾污，影响仪器使用，同时盖好防尘罩。 (5)仪器室应通常保持洁净干燥，室温以 5~35℃为宜，相对湿度不得超过 85%。有条件者应于室内配备空调机及除湿机，以确保仪器性能稳定。 (6)仪器室不得存放酸、碱、挥发性或腐蚀性等物质，以免损坏仪器。 (7)仪器长时间不用时，应定时通电预热，每周 1 次，每次 30min，以保证仪器处于良好使用状态

续表

仪器名称	种类和规格	用 途	备 注
显微镜	(1)光学显微镜和电子显微镜; (2)工业显微镜、医疗显微镜、高倍显微镜	提取和分析物质表面微观结构信息	(1)微调是显微镜机械装置中较精细而又容易损坏的元件,拧到限位后,决不能强拧。 (2)调焦时,应将微调退回 3~5 圈,重用粗调调焦,待初见物像后,再改用微调。 (3)使用高倍镜观察液体标本时,一定要加盖玻片。 (4)100×油镜使用后,一定要擦拭干净
烘箱	(1)高温烘箱、超高温烘箱、低温烘箱、常温烘箱、真空烘箱、微波烘箱; (2)可编程烘烤箱、精密烘箱充氮烘箱、真空烘箱、防爆烘箱、电热鼓风干燥箱、热风循环烘箱	用作烘干、干燥、保温、固化、烘焙等	(1)放入试样时应注意排列不能太密。 (2)散热板上不应放试样,以免影响热气流向上流动。 (3)禁止烘焙易燃、易爆、易挥发及有腐蚀性的物品。 (4)当需要观察工作室样品情况时,可开启外道箱门,透过玻璃门观察。但箱门以尽量少开为好,以免影响恒温。特别是当工作在 200℃ 以上时,开启箱门有可能使玻璃门骤冷而破裂。 (5)有鼓风的烘箱,在加热和恒温的过程中必须将鼓风机开启,否则影响工作室温度的均匀性和损坏加热元件。 (6)工作完毕后应及时切断电源,确保安全。 (7)温度不要超过烘箱的最高使用温度。 (8)为防止烫伤,取放试样时要用专门工具
台秤	托盘天平、单盘机械秤	常用称重衡器,精确度不高,一般为 0.1g 或 0.2g,最大荷载一般为 200g	(1)不能称量热物品,所称质量不能超过台秤的最大载荷。 (2)称量物不能直接放在秤盘上,应放在已称量的洁净的表面皿、烧杯或光洁的称量纸上。吸湿或有腐蚀性的药品必须放在玻璃容器内。 (3)砝码不能用手拿,要用镊子夹取。 (4)台秤保持清洁,如果不小心把药品撒在秤盘上,必须立即清除。 (5)称量完毕,应将砝码放回砝码盒中,将游码拨到“0”刻度处,并将托盘放在一侧,或用橡皮圈架起,以免台秤摆动。不用时应加塑料罩以防尘土,保持整洁
分析天平	机械分析天平、电子分析天平	精确定量称重衡器,精确度高,一般为 1mg	(1)接通电源,预热 60min 后放开显示器。 (2)所称物先放上称量纸,待显示数字稳定下来并出现质量单位后,可读数,并记录读数数据。 (3)对于电子分析天平,若需清零、去皮重,则需按一下“TAR”键,随即出现全零状态;称量完毕,取下被称物,按一下“OFF”键,再称量时按一下“ON”键就可以继续使用。 (4)使用完毕,应按下电源,盖上防尘罩
水浴锅	简易水浴锅、高级水浴恒温器	用于间接恒温加热	加热时防止锅内水烧干,损坏锅体,用后应将水倒出

续表

仪器名称	种类和规格	用 途	备 注
离心机	(1)低速离心机、高速离心机、超速离心机； (2)制备型离心机和制备分析离心机； (3)台式离心机、多管微量离心机、细胞涂片离心机、血液洗涤离心机、冷冻离心机、自动平衡离心机	用于液体与固体颗粒分离或液体与液体的混合物中各组分分离	(1)必须放置在坚固的水平实验台上且稳固，转轴上的支架要牢固，转轴润滑良好，吊篮应活动自如，保证离心机的正常运转。 (2)仪器必须有良好的接地。 (3)必须平衡样品，对称放入离心机内。离心管盛液不宜过满，避免腐蚀性液体溅出腐蚀离心机，同时造成离心不平衡。 (4)开始前应检查转头是否拧紧。放入离心套筒后应紧盖、锁牢，防止意外事故的发生。 (5)离心完毕应关电门，拔掉电源插头任机自停，在离心机未停稳时，严禁打开离心机盖用手助停，以免伤人损机，使沉淀泛起。样品取出时应缓慢不要摇晃。 (6)离心机使用完毕，要及时清除离心机内水滴、污物及碎玻璃碴，擦净离心腔、转轴、吊环、套筒及机座。经常做好离心机的防潮、防过冷、防过热、防腐蚀药品污染，延长使用寿命。 (7)离心过程若发现异常情况应立即拔下电源插头，然后再进行检查
恒温培养箱	电热式培养箱、隔水式培养箱、特种培养箱	用于培养菌类生成和维持物质的稳定	(1)应由专人负责管理，操作盘上的任何开关和调节旋钮一旦固定后，不要随意扭动，以免影响箱内温度、CO ₂ 、湿度的波动，同时降低机器的灵敏度。 (2)所加入的水必须是蒸馏水或无离子水，防止矿物质储积在水箱内产生腐蚀作用。每年必须换一次水。经常检查箱内水是否够。 (3)箱内应定期用消毒液擦洗消毒，搁板可取出清洗消毒，防止其他微生物污染，导致实验失败。 (4)定期检查超温安全装置，以防超温。方法为按进监测报警按钮，转动固定螺丝，直到超温报警装置响，然后关闭超温安全灯。 (5)在无湿度控制的培养箱内，为保持箱内气氛组成的稳定，要在箱内底层放入一个盛水的容器
超声波清洗器	(1)单槽式超声波清洗器、多槽式超声波清洗器； (2)小型超声波清洗器、大型超声波清洗器、微型超声波清洗器	物件污染物清除，细小孔洞疏通	(1)超声波振子受潮，可以用兆欧表检查与换能器相连接的插头。 (2)换能器振子打火，陶瓷材料碎裂，可以用肉眼和兆欧表结合检查
电加热器	电炉、电加热套、管式炉、马弗炉	用于物质的加热、高温焙烧	(1)按照要求正确选择加热器。 (2)高温加热注意安全，进取样品要带防护套

二、实验基本操作及其过程

1. 玻璃器皿的洗涤

大气污染控制工程实验中，采样、预处理、检测、分析等过程需要使用符合要求的玻璃器皿，这些玻璃器皿需要洗净、干燥。玻璃器皿的洗净应按照规定和要求进行清洗，下面介绍实验室常用的清洗方法。

(1) 去污粉、洗涤剂清洗 实验室中常用的烧杯、锥形瓶、量筒等一般的玻璃器皿，可浸着在去污粉或合成洗涤剂的溶液中，然后用毛刷刷洗。去污粉的组分是碳酸钠、白土、细