

环境工程专业实验系列教材

大气污染控制工程实验

耿启金 杨金美 宋明君 主编
王元芳 刘莹 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为四个部分：第一部分是实验准备与安全,让读者对实验课的学习目标和要求有一定了解,以提高读者在实验过程中的安全意识；第二部分为有关大气监测方面的内容,包括不同大气污染物的物理性质、化学性质等监测方法和测试实验的介绍,为大气污染控制技术设计提供基础数据；第三部分是关于大气污染控制实验,包括了不同污染物的控制技术和对比实验情况；第四部分是综合设计实验。通过设计出可行的污染物处理方案,培养学生的综合实验设计能力,提高团队协作能力和执行力,提高理论联系实际、解决实际问题的能力,提高学生创新能力。实验内容包括环境工程专业大气污染监测与污染物测试等基础实验以及大气污染控制技术与设计实验等,共 28 个实验项目。目的在于适应普通高校应用型本科专业建设的需要,致力于提高学生实践能力,培养学生创新精神。另外,本教材不仅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。

版权所有,侵权必究。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制工程实验/耿启金,杨金美,宋明君主编. —北京:清华大学出版社,2023.10
环境工程专业实验系列教材
ISBN 978-7-302-62280-2

I. ①大… II. ①耿… ②杨… ③宋… III. ①空气污染控制—实验—高等学校—教材
IV. ①X510.6-33

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 007098 号

责任编辑:袁琦 王华

封面设计:何凤霞

责任校对:王淑云

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <https://www.tup.com.cn>, <https://www.wqxuetang.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:9.25

字 数:222 千字

版 次:2023 年 10 月第 1 版

印 次:2023 年 10 月第 1 次印刷

定 价:40.00 元

产品编号:098966-01

大气中的挥发性有机物(VOCs),氮氧化物、硫化物以及可吸入颗粒物等污染物,会给大气生态环境带来不同程度的污染。因此,加强大气污染防治对于保护大气生态环境意义重大。党中央、国务院高度重视大气污染防治工作。党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央围绕生态环境保护做出一系列重大决策部署,我国生态环境保护从认识到实践发生了历史性、全局性变化。习近平总书记在党的二十大期间明确提出,我们要加快发展方式绿色转型,实施全面节约战略,发展绿色低碳产业,倡导绿色消费,推动形成绿色低碳的生产方式和生活方式。深入推进污染防治,持续深入打好蓝天、碧水、净土保卫战,基本消除重污染天气,基本消除城市黑臭水体,加强土壤污染源头防控,提升环境基础设施建设水平,推进城乡人居环境整治。大气污染控制工程技术是环境工程中的主要治理技术之一,是环境工程专业学生必须掌握的专业知识,也是高等学校本科环境科学与工程专业的核心课程之一。

本书由潍坊学院环境工程教学科研团队联合兄弟单位,在多年教学和科研经验的基础上编写而成。本书主要介绍了现代新型大气污染控制技术和装备、设计方案、污染物的监测方法等,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、大气气态污染物控制技术实验等,共28个实验项目。其中,设计实验借鉴了目前不同行业的实际工程案例的设计和运行经验,充分体现了新技术开发、探索性实验的先进性。此外,考虑到各个院校在安排教学实验时的差异性,设立了可根据自身条件选择性开设的实验项目。

本书的编写者参考了已有的大气污染实验教材,包括郝吉明、段雷的《大气污染控制工程实验》(2004年),依成武的《大气污染控制实验教程》(2010年),陆建刚的《大气污染控制工程实验》(第一版,2012年;第二版,2016年),许宁的《大气污染控制工程实验》(2018年),陆建刚等的《大气环境监测实验》(2018年)等。

本书由耿启金教授、杨金美博士、宋明君教授主编、统筹、审核、校对。本书主要包括四个部分:第一部分是实验准备与安全,其中,第一节(参编人员:宋明君、杨金美、王梅)是大气样品采集方法;第二节(参编人员:刘莹、徐洲、伊玉)是关于实验室安全的相关介绍,以提高学生在实验过程中的安全意识。第二部分(参编人员:耿启金、陈刚、杨金美、王元芳、张金玉)为有关大气污染物监测方面的内容,包括不同大气污染物的物理性质、化学性质等监测方法和测试实验技术,为大气污染控制技术设计提供基础数据。第三部分(参编人员:

耿启金、杨金美、于清、郑师梅)是大气污染控制实验,包括不同污染物的控制与治理技术。第四部分(参编人员:耿启金、刘莹、徐洲、宫斌)是综合设计实验,通过设计具有可操作性的设备、工程和技术方案,培养学生的综合实验设计能力,提高学生的协作能力、执行力以及创新能力。

本书既有基础实验,又有新技术实验,目的在于适应普通高校应用型本科专业建设的需要,提高学生的实践能力,培养学生的创新精神。本书不仅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。

本书的出版得到了潍坊学院“潍院学者”建设工程项目、潍坊学院化学工程与技术重点学科、潍坊学院绿色催化新材料的分子模拟及合成科研创新团队项目、山东省自然科学基金(ZR2017MB057)的资助,同时获得了清华大学出版社、潍坊学院科研处、潍坊学院教务处、潍坊学院化学化工与环境工程学院、潍坊环境工程职业学院、山东省柠檬生化有限公司、潍坊市大气污染控制工程与技术重点实验室、山东华之源检测有限公司、山东绿景检测有限公司等单位的大力支持和帮助;本书编辑出版期间得到清华大学出版社袁琦等编辑的帮助和支持,也得到潍坊学院 2017 级环境工程专业学生高雅、李亚、邵添情、赵晨和 2018 级化学专业学生刘艳萍等的帮助,在此一并表示感谢。

由于作者学识有限,本书内容难免有欠缺和不妥之处,恳请专家、读者批评指正。

耿启金

2023 年 5 月于潍坊学院至善楼

目 录

CONTENTS

第一部分 实验准备与安全	1
第一节 大气样品的采集方法	1
第二节 实验室的安全问题	6
第二部分 大气污染物的监测实验	11
实验一 室内空气氨含量测定——纳氏试剂比色法(4 学时)	11
实验二 校园环境的噪声监测与评价(4 学时)	16
实验三 校园大气环境二氧化碳的非分散红外法测定(4 学时)	20
实验四 电力行业粉尘粒径分布测定——移液管法(4 学时)	23
实验五 环境空气中 PM _{2.5} 检测及水溶性阴离子测定(4 学时)	28
实验六 分光光度法测定家庭装修甲醛残留含量(6 学时)	32
实验七 室内挥发性有机物快速测定实验(4 学时)	37
实验八 空气中可吸入颗粒物(PM ₁₀)和细颗粒物(PM _{2.5})的测定(4 学时)	40
实验九 空气中氮氧化物的测定(4 学时)	44
实验十 空气中二氧化硫的测定(6 学时)	49
实验十一 颗粒物密度和堆积密度测定(4 学时)	54
实验十二 重量法测定校园环境空气中的降尘(4 学时)	58
第三部分 大气污染控制实验	63
实验十三 吸附法净化气体中的二氧化硫(4 学时)	63
实验十四 填料式吸收塔净化烟气中的二氧化硫(6 学时)	68
实验十五 铸造业粉尘袋式除尘器除尘效率的测定(4 学时)	74
实验十六 射流耦合液膜技术除去微尘实验(6 学时)	77
实验十七 喷淋吸收苯醌去除异味实验(6 学时)	80
实验十八 制金行业酸性尾气回收减排实验(6 学时)	84
实验十九 旋流耦合液膜脱硫实验(6 学时)	86
实验二十 改性粉煤灰的氨吸附作用(4 学时)	89

实验二十一	电除尘装置除尘效率的测定(4 学时)	91
实验二十二	光催化流化床净化甲醛气体实验(8 学时)	96
第四部分 综合设计实验		101
实验二十三	农家用小型沼气池设计实验(8 学时)	101
实验二十四	家庭装修新风系统主体流化床的设计(8 学时)	109
实验二十五	铸造企业制芯车间尾气收集集气罩的设计与实验(6 学时)	115
实验二十六	饲料加工厂锅炉烟气喷淋脱硫塔的设计实验(8 学时)	119
实验二十七	大型热电锅炉尾气喷淋脱硫塔的设计实验(8 学时)	124
实验二十八	液膜耦合旋流除尘器的设计实验(12 学时)	129
附录 I	大气污染控制排放的相关术语与解释	136
附录 II	大气污染排放控制要求的确定	137
附录 III	环境保护税税目税额表与大气污染物污染当量值	139
主要参考文献		140

实验准备与安全

第一节 大气样品的采集方法

一、空气样品的采集及保存

大气(空气)环境样品的采集主要有溶液吸收采样法、吸附管采样法、滤膜采样法、滤膜-吸附剂联用采样法、直接采样法、被动采样法等。

(一) 溶液吸收采样法

溶液吸收采样法适用于二氧化硫、二氧化氮、氮氧化物、臭氧等气态样品的采集。

1. 采样

- (1) 到达采样现场,观测并记录气象参数和天气状况。
- (2) 正确连接采样系统,做好样品标识。注意吸收管(瓶)的进气方向不要接反,防止倒吸。采样过程中有避光、温度控制等要求的项目应按照相关监测方法标准执行。
- (3) 设置采样时间,调节流量至规定值,采集样品。
- (4) 在采样过程中,采样人员应观察采样流量的波动和吸收液的变化,出现异常时要及时停止采样,查找原因。
- (5) 在采样过程中应及时记录采样起止时间、流量,以及气温、气压等参数,记录内容应完整,表达要规范。

2. 样品运输和保存

- (1) 样品采集完成后,应将样品密封后放入样品箱,再将样品箱密封后尽快送至实验室分析,并做好样品交接记录。
- (2) 在运输过程中应防止样品受到撞击或剧烈震动而损坏。
- (3) 在样品运输及保存过程中应避免阳光直射。需要低温保存的样品,在运输过程中应采取相应的冷藏措施,以防止样品变质。
- (4) 样品到达实验室应及时交接,并尽快分析。如不能及时测定,应按各项目监测方法标准的要求妥善保存,并在样品有效期内完成分析。

(二) 吸附管采样法

吸附管采样法适用于汞、挥发性有机物等气态样品的采集。

1. 采样

(1) 到达采样现场,观测并记录气象参数和天气状况。

(2) 正确连接采样系统,做好样品标识。注意吸附管的进气方向不可接反,分段填充的吸附管 2/3 填充物段为进气端。吸附管进气端朝向应符合监测方法标准的规定,垂直放置并进行固定。

(3) 设置采样时间,调节流量至规定要求。在采样过程中,对吸收温度有控制要求的,需采取相应措施。

(4) 在采样过程中应及时记录采样起止时间、流量,以及气温、气压等参数,记录内容应完整,表达要规范。

2. 样品运输和保存

按各项目监测方法标准执行。

(三) 滤膜采样法

滤膜采样法适用于总悬浮颗粒物(total suspended particulate, TSP)、可吸入颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})等大气颗粒物的质量浓度监测及成分分析,以及颗粒物中重金属、苯并[a]芘、氟化物(小时和日均浓度)等物质的样品采集。

1. 采样

(1) 到达采样现场后,观测并记录气象参数和天气状况。

(2) 正确连接采样系统,核查滤膜编号。用镊子将采样滤膜平放在滤膜支撑网上并压紧,滤膜毛面或编号标识面朝进气方向,将滤膜夹正确放入采样器中;设置采样开始时间、结束时间等参数,启动采样器进行采样。

(3) 采样结束后,取下滤膜夹,用镊子轻轻夹住滤膜边缘,取下样品滤膜(如条件允许,应尽量在室内完成装膜、取膜操作),并检查滤膜是否完好或滤膜上尘积面的边缘轮廓是否清晰、完整,否则将该样品作废,重新采样。整膜分析时样品滤膜可平放或向里均匀对折,放入已编号的滤膜盒(袋)中密封;非整膜分析时样品滤膜不可对折,须平放在滤膜盒中。记录采样起止时间、采样流量以及气温、气压等参数。

2. 样品运输和保存

(1) 样品采集后,立即装盒(袋)密封,尽快送至实验室分析,并做好交接记录。

(2) 运输过程中,应避免样品剧烈震动。对于需平放的滤膜,应保持滤膜采集面向上。

(3) 需要低温保存的样品,在运输过程中应有相应的保存措施以防止样品损失。

(4) 样品到达实验室应及时交接,尽快分析。如不能及时称重及分析,应将样品放在 4℃ 条件下冷藏保存,并在监测方法标准要求的时间内完成称量和分析;对分析有机成分的滤膜,采集后应按照监测方法标准要求进行保存至样品处理前,为防止有机物损失,不宜进行称量。

(四) 滤膜-吸附剂联用采样法

滤膜-吸附剂联用采样法适用于多环芳烃类等半挥发性有机物的样品采集。

1. 采样

(1) 根据仪器说明把采样筒放入采样器的采样筒架内,确保密封圈安装正确。

(2) 采样结束后,将采样筒从采样筒架内取出,用洁净的铝箔包裹好,放入样品保存筒中,密封,贴上标签。

(3) 其他要求可参见《环境空气 半挥发性有机物采样技术导则》(HJ 691—2014)。

2. 样品运输和保存(略)

(五) 直接采样法

直接采样法适用于一氧化碳、挥发性有机物、总烃等污染物的样品采集,常用于空气中被测组分浓度较高或所用分析方法灵敏度较高的情况。根据气态污染物的理化特性及分析方法的检出限,选择相应的采样装置,一般采用真空罐(瓶)、气袋、注射器等。

1. 真空罐(瓶)采样

(1) 用真空罐(瓶)采集空气样品可分为瞬时采样和恒流采样两种方式。瞬时采样时在罐进气口处加过滤器,恒流采样时在罐进气口安装限流阀和过滤器。

真空罐采样参见《环境空气 65 种挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法》(HJ 759—2023)。真空瓶是一种用耐压玻璃制成的固定容器。采样前先用抽真空装置将采气瓶内抽至剩余压力达 1.33 kPa 左右,如瓶内预先装入吸收液,可抽至溶液冒泡为止,关闭旋塞。

(2) 样品运输和保存。样品运输和保存参见 HJ 759—2023。

2. 气袋采样

(1) 气袋适用于采集化学性质稳定、不与气袋起化学反应的低沸点气态物质。气袋常用的材质有聚四氟乙烯、聚乙烯、聚氯乙烯和金属衬里(铝箔)等。根据监测方法标准要求和目标污染物性质等选择合适的气袋。

用现场空气清洗气袋 3~5 次后再正式采样,采样后迅速将进气口密封,做好标识,并记录采样时间、地点、气温、气压等参数。

(2) 样品运输和保存。采样后气袋应迅速放入运输箱内,防止阳光直射,并采取措施避免气袋破损;当环境温差较大时,应采取保温措施;样品存放时间不宜过长,应在最短的时间内送至实验室分析。

3. 注射器采样

(1) 注射器通常由玻璃、塑料等材质制成,一般采用 50 mL 或 100 mL 带有惰性密封头的注射器。采样时,移去注射器的密封头,抽吸现场空气 3~5 次,然后抽取一定体积的气样,密封后将注射器进口朝下,垂直放置,使注射器的内压略大于大气压。做好样品标识,记录采样时间、地点、气温、气压等参数。

(2) 样品运输和保存。采样后注射器应迅速放入运输箱内,并保持垂直状态运送;玻璃注射器应小心轻放,防止损坏;将样品保温并避光保存,采样后尽快分析,在监测方法标

准规定的时限内测定完毕。

(六) 被动采样法

被动采样法适用于气态或蒸汽态的有害物质。

(1) 采样时将滤膜毛面向外放入塑料皿中,用塑料垫圈压好边缘;将塑料皿中滤膜面向下,用螺栓固定在塑料皿支架上,并将塑料皿支架固定在距地面高 3~15 m 的支持物上,距基础面的相对高度应大于 1.5 m,记录采样点位、样品编号、放置时间等。

(2) 采样结束后,取出塑料皿,用锋利小刀沿塑料垫圈内缘刻下直径为 5 cm 的样品膜,将滤膜样品面向里对折后放入样品盒(袋)中。记录采样结束时间,并核对样品编号及采样点。

(七) 氟化物采样

空气中长期平均污染水平的氟化物的采样按《环境空气 氟化物的测定 石灰滤纸采样 氟离子选择电极法》(HJ 481—2009)的相关要求进行。

(八) 降尘采样

降尘采样按《环境空气 降尘的测定 重量法》(GB/T 15265—1994)的相关要求进行。

(九) 采样质量保证与质量控制

(1) 每次采样前,应对采样系统的气密性进行检查,符合要求方可采样。

(2) 空白样品数量应按照项目监测方法标准规定执行;如标准中无规定,每个项目在同一批次内至少采集 1 个空白样品。

(3) 平行样的采集及要求按照各项目监测方法标准执行。

(4) 多点采样时,各采样点采样须同步进行,采样时间和采样频率均应相同。

(5) 采样前后的流量偏差应在规定范围内。

(6) 推荐优先使用恒流且具有累计采样体积功能的采样仪器。

(7) 每月至少清洗 1 次采样管路,每月至少对仪器进行 1 次流量检查校准,其误差应在规定范围内。长时间进行连续采样时,至少每周对采样系统进行 1 次流量检查校准。及时更换仪器防尘滤膜和干燥剂,一般干燥器硅胶有 1/2 变色则需更换。

(8) 采样结束后,检查仪器状态是否完好,清理仪器和附件,并填写仪器使用记录。清点样品数量,核对无误后,将样品及时送交实验室分析。

(9) 遇到对监测影响较大的雨雪天气及风速大于 8 m/s 的气象条件时,不宜进行手工采样监测。

其他特殊要求见《环境空气质量手工监测技术规范》(HJ 194—2017)。

二、工业废气的采集

固定污染源烟气(二氧化硫、二氧化氮、颗粒物)排放连续监测参照固定污染源烟气排放连续监测技术规范 and 系统技术要求及检测方法,如《固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范》(HJ 75—2017)、《固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法》(HJ 76—2017)。大气污染物无组织排放监测技术

见《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T 55—2000)。固定污染源废气监测采样、样品保存和质量控制参照《固定源废气监测技术规范》(HJ/T 397—2007)、《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T 16157—1996)、《固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范(试行)》(HJ/T 373—2007)、《排污单位自行监测技术指南 总则》(HJ 819—2017)。在进行固定污染源废气颗粒物监测时需注意的是,颗粒物浓度不大于 20 mg/m^3 时,适用《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》(HJ 836—2017),颗粒物浓度大于 20 mg/m^3 但不超过 50 mg/m^3 时,HJ 836—2017 与 GB/T 16157—1996 均适用。

清华大学出版社

第二节 实验室的安全问题

一、实验室物品及环境的安全

实验室物品及环境可能存在的安全问题有以下几点：

- (1) 操作室与仪器室无温湿度仪,实验环境条件不清楚;
- (2) 无“三废”收集处理装置,对环境造成威胁;
- (3) 实验室墙面脱落,地面粗糙不平,杂物乱放,台面凌乱,有粉尘干扰及污染实验的危险;
- (4) 实验室无通风设备,无防火、防水、防腐和急救设施,存在人身安全风险;
- (5) 废旧和长期停用设备未清出检测现场,有误用风险;
- (6) 检测工作时无环境条件记录,检测结果无法复现;
- (7) 微生物学实验室的物流与人流未分开,一更、二更和三更不规范,有交叉污染风险;
- (8) 致病性微生物实验室无生物安全装置,使操作人员有病菌感染风险;
- (9) 相互有影响的工作空间没有有效隔离,影响检测结果的准确性;
- (10) 办公室、检测室、仪器室混用,存在相互交叉污染,影响实验结果准确性的风险。

二、实验室仪器的安全

为满足检测项目的要求,实验室需配备各种大型的精密仪器。实验室应有应急电力供应系统,防止突然停电造成仪器损坏。实验室内消防应急、仪器防静电接地、排风设施、仪器标志应齐全有效。

实验室仪器的安全风险有:

- (1) 相互有影响的仪器放置在一起,相互干扰,影响实验数据的准确性;
- (2) 仪器长期不校准/检定,准确性无保障;
- (3) 仪器不做期间核查,性能无法掌控;
- (4) 仪器无状态标识或标识混乱,容易错用;
- (5) 仪器无安全保护装备,对操作员有伤害风险;
- (6) 气瓶没有分类储存,无固定和防漏设施,有爆燃隐患;
- (7) 仪器线路交叉杂乱,有火灾隐患;
- (8) 仪器使用无记录,出现异常无法追溯;
- (9) 仪器档案信息不全,对维护造成困扰;
- (10) 仪器无强排风装置,对操作人员有伤害。

三、实验室检验人员的安全

有些实验需要在高温、高压、辐射、强酸碱或有毒气体等条件下进行工作,实验室未配备良好的通风、排气等安全设施,会影响检验人员的身心健康。作为实验室安全防护的责任者,实验室检验人员应随时随地做好安全防护工作,对实验室存在的不安全因素要及时上报,进行整改;实验室需配有应急救助设施。

实验过程中的每一个细节都决定着实验结果的好坏,甚至安全。特别是公共实验安全部分,个人的实验习惯或者不安全操作会直接影响他人,所以对个人的不良实验习惯要足够重视,并积极改正。实验室人员的不良实验习惯包括:

- (1) 取用有刺激性气味和有毒有害药品时,不佩戴防护用品或未在通风橱里进行;
- (2) 取用腐蚀性药品时,不佩戴防护用品;
- (3) 取用化学试剂时,用手直接拿取;
- (4) 药匙使用不规范,一匙多用,药匙用后未及时清洗干净就放回公共区域,药品取用后直接把药匙放在药瓶里;药品取用后未将试剂瓶的两层盖盖紧;实验剩余的药品放回原瓶,或随意丢弃,或直接拿出实验室,未放回指定的容器内;
- (5) 样品散落在天平或者台面上不及时清理;
- (6) 实验室用的抹布随意丢弃;
- (7) 戴着防护手套摸门把手、电梯按钮等公用设施;
- (8) 手里拿着反应容器在实验室到处走动;
- (9) 配置溶液,未在盛药品的容器上贴标签,未注明名称、溶液浓度;
- (10) 向下水道倾倒大量有机液体,导致可燃挥发物充斥下水道,有些有机物还会腐蚀管路;
- (11) 玻璃碎片、微量进样器针头、一次性滴管、离心管等未分类处理,混在生活垃圾内;
- (12) 实验室内随意私接插座,插线板散乱放在地面;
- (13) 随意堆放使用过的化学试剂空瓶,不进行固定;
- (14) 通风橱内大量试剂零乱堆放,阻碍空气流通。将马弗炉放置在通风橱中存在安全隐患。

四、实验室排放物对环境的安全隐患

在实验过程中会产生大量的废液、废气和废物,过期或失效的有机试剂及强酸碱腐蚀药品,这些有毒、有害物质,若不经妥善处理排放到环境(大气、土壤、水)中,容易污染环境,破坏生态平衡和自然资源。实际上实验室已经成为不可忽视的污染源。

五、实验室的水、电安全

实验人员对水和电使用不当而引起火灾的事故常有发生,尤其是存有易燃易爆药品的实验室。分析原因如下:①忘记断水、断电;②仪器操作不慎或使用不当;③供电线路老化、超负荷运行;④烟头引起火灾;⑤防毒、防爆设施不全。

六、常见的危险源和安全防护

(一) 常见危险源

1. 爆炸焚烧类

此类危险常见于化学实验室,主要为化学反应导致直接爆炸,也会因化学气体的泄漏、溢出由外力或温度点爆进而发生火灾。

例如在化学实验室中经常使用到易燃易爆气体,很多非专业的实验室设计单位会将易燃易爆气瓶存放在实验区域,用气瓶柜进行存储,自认为就能达到防爆的效果。但爆炸是能量瞬间聚集到一定程度又突破了外部承受极限的瞬间释放行为,一旦气瓶柜爆炸,常用的铁

皮柜(0.6~1.2 mm 厚)完全无法隔离和泄压,第一个受冲击的肯定是实验区域,受到伤害最大的肯定是实验室内的工作人员。所以,不建议将易燃易爆气体置于实验区域,同时应对存放易燃易爆气体的区域进行防爆、隔爆、泄爆处理,以降低爆炸以及火灾对实验室工作人员的威胁。

2. 腐蚀类

这类危险源会对人体的皮肤、眼睛、呼吸道等造成腐蚀,严重威胁工作人员的健康。

常见的酸碱类物质因为操作过程的不够慎重或防护不够,会对人体造成伤害。例如,因为没有佩戴防护装备导致试剂溅入眼睛里或溅到皮肤上,如果实验区域内没有紧急冲淋装置或冲淋装置距离实验区域太远,就会错过最佳救治时间;或者因为紧急冲淋水压过高,受伤人员的受伤害处已经极其脆弱而导致二次伤害等。

3. 烫伤类

实验室经常会有一些需要高温加热的实验,这些实验对人身有安全威胁。如加热增加反应速度、高温焚烧、高温油浴,都有可能導致高温灼伤和烫伤。

4. 冻伤类

实验室常会有低温冷冻的环节,如液氮温度为 -196°C ,在对液氮进行操作时必须戴防寒手套,否则极易冻伤。除此之外还有一些特殊的制冷剂等,有可能因为操作时稍不注意而冻伤皮肤。

5. 电击类

实验室有大量的用电设备,有些设备的外表就是易导电的金属,如果在潮湿封闭的环境工作,可能会发生触电事故。触电原因一般是导线破损、漏电保护失灵、地线断线、没有接地保护、选择电压为非安全电压等。

人体能够承受的安全电压为 36 V,安全电流为 10 mA。因人体电阻一定,接触的电压越高,通过人体的电流就越大,对人体的损害也就越严重。一般 1 mA 的电流通过时即有感觉,25 mA 以上人体就很难摆脱,50 mA 即有生命危险。

6. 中毒类

实验室一般存有很多有毒有害的物品,中毒的事件也常有发生,基本上是由误食与误接触造成的。如实验室工作人员将食物保存在药品试剂冰箱里,将食物放在实验设备里加热,将水杯带进实验区域等;还有接触性中毒,基本上是操作不规范、防护意识不够、防护用具不到位造成的。

7. 感染类

实验室工作人员是与病毒或细菌近距离接触的人群,稍有不慎就面临被感染的风险。感染是指细菌、病毒、真菌、寄生虫等病原体侵入人体所引起的局部组织和全身性炎症反应,感染类风险通常多见于生物实验室或医学实验室。

常见的感染途径一般有皮肤接触、飞沫传播、体液传播、血液传播、空气传播等。当然不同的病毒或细菌有不同的存活条件,一旦无法满足相应的存活条件或传播途径,病毒或细菌就无法感染人类了。

如果实验室操作人员在规范操作与防护的情况下还是被感染,只能说明实验室的环境

不合格。而实验室的环境合格与否主要取决于以下几点：是否满足实验要求，是否能够有效灭菌，是否能够有效隔离，室内空气温湿度与尘埃粒子是否达标。

8. 慢性疾病

国外有研究表明，实验室工作人员的人均寿命比普通环境下工作的人员少 10 年，很大一部分原因是由各种有毒有害气体、声光电磁以及辐射污染造成的。

慢性疾病的隐患往往不能在短时间看出来，此类安全隐患首先是实验室设计时埋下的，其次才是操作与防护不当。因此，在设计时就应该注意保证实验区域的泄漏率、最低换气次数、防辐射措施等要符合安全标准。在规避已知风险的情况下，尽量提高防护要求。

（二）实验室安全防护

危险源控制可以从以下三个方面进行：技术控制、人的行为控制和管理控制。

（1）技术控制：即采用技术措施对固有危险源进行控制，主要有消除、替代、隔离、通风、防护、监控等。

① 隔离：通过安全储存有害化学品和严格限制有害化学品在工作场所的存放量，可以获得隔离的效果，这种安全存储和限量的方法，特别适用于实验室操作人数不多，而且很难采用其他控制手段的场合，当然提供充足和合适的个体防护用品也是必需的。

② 通风：实验室通风的主要目的是提供安全、舒适的工作环境，减少人员暴露在危险空气下的可能。通风是为了保护在实验环境中实验人员的身体健康。

③ 监控：监控是指使用烟雾报警器、毒气报警器等报警装置。在实验室作业环境中，因存在有害气体泄漏等危害人身安全的隐患，须对现场环境进行有效的监控，包括实验室气体存放区域、实验室作业区域。当有毒有害、易燃易爆气体超过报警值后，发出报警信号，控制中心收到报警信号，进行及时的防护，以确保实验室人员的安全。

（2）人的行为控制：即控制人为失误，减少不正确行为对危险源的触发作用。人为失误主要表现形式有：操作失误、指挥错误、不正确的判断或缺乏判断、无知、粗心大意、遗忘、疲劳、紧张、忙乱、工作没有秩序、疾病或生理缺陷、错误使用防护用品和防护装置等。

（3）管理控制：建立健全危险源管理的规章制度；明确责任、定期检查，加强危险源的日常管理。

清华大学出版社

大气污染物的监测实验

实验一 室内空气氨含量测定——纳氏试剂比色法(4 学时)

氨气是大气中含量最高的碱性气体,也是室内主要的环境污染物之一。它具有强刺激性,短期内大量吸入可引起流泪、咽痛、声音嘶哑,严重者可引起肺水肿、呼吸窘迫综合征、呼吸道刺激等不良后果;氨气的干湿沉降还会影响生态系统。此外,氨气与酸性气体中和后,易生成二次颗粒物,是雾霾形成的重要因素。

室内空气中氨气的来源包括室内装饰材料中的各种添加剂,下水系统中的气体的排逸,人造板材压制成形中使用的黏合剂、稳定剂在常温条件下的释放。同时,建设施工阶段的混凝土防冻剂和膨胀剂都含有氨类物质,大量的氨类物质随着温度、湿度等环境因素变化被还原成氨气释放出来,导致室内空气中氨气浓度不断增加。

我国还未将气态氨排放纳入《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)。但是在《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2022)中,规定了氨的浓度限值和监测方法,氨的1小时平均限值为 0.20 mg/m^3 。《民用建筑工程室内环境污染控制标准》(GB 50325—2020)中也明确了氨是室内空气检测的重要指标之一。根据标准,I类民用建筑工程和II类民用建筑工程室内氨的浓度限量分别为 0.15 mg/m^3 和 0.20 mg/m^3 。

氨气的测定主要包括国家标准方法的纳氏试剂比色法、靛酚蓝分光光度法(GB/T 18204.2—2014)、次氯酸钠-水杨酸分光光度法、离子选择电极法;还包括非国标的乙酰丙酮甲醛分光光度法、茚三酮分光光度法和现场测定法。其中,纳氏试剂比色法作为一种化学分析方法,操作简单,实验时间较短,但选择性略差,更适用于如理发店之类的特定场所及污染大气和水的检测。靛酚蓝分光光度法通过显色反应,根据颜色减弱程度定量,干扰因素小,但是操作条件相对严格,对蒸馏水和试剂的本底值要求较高。次氯酸钠-水杨酸分光光度法检出浓度小,灵敏度高,选择性较好,但是实验较复杂。离子选择电极法仪器简易灵敏,选择性好,但对实验仪器要求高,成本高。本实验采用纳氏试剂比色法。

一、实验目的

- (1) 了解室内空气质量氨监测的基本要求和限值。
- (2) 掌握纳氏试剂比色法测定氨浓度的原理和方法。

二、实验原理

稀硫酸溶液吸收空气中的氨后,与铵离子、纳氏试剂反应生成黄棕色化合物,化合物色度与氨的含量成正比。此颜色在 410~425 nm 波长范围内具有强烈吸收,根据颜色深浅,在波长 420 nm 处,用分光光度法测定。

反应式如下:



三、实验器材及试剂

1. 实验器材

- (1) 气体采样器。
- (2) 玻板吸收瓶 50 mL 或大型气泡吸收瓶(图 1-1)。

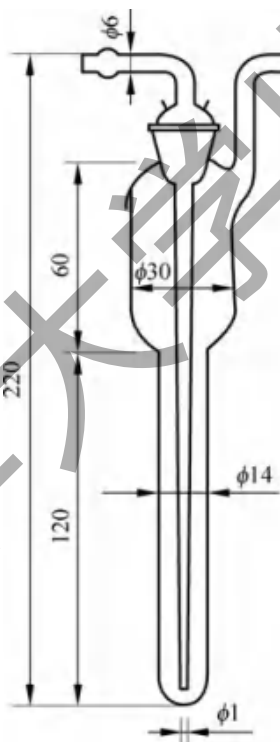


图 1-1 大型气泡吸收瓶

- (3) 10 mL 具塞比色管 10 支。
- (4) T6 分光光度计。
- (5) 容量瓶(100 mL、250 mL)。
- (6) 移液管。

2. 主要试剂

氢氧化钠(NaOH, AR), 氯化汞(HgCl_2 , AR), 碘化钾(KI, AR), 氯化铵(GR), 硫酸

($\rho = 1.84 \text{ g/mL}$)。

(1) 无氨水: 1000 mL 蒸馏水中加入 0.1 mL 硫酸吸收液, 在全玻璃蒸馏装置中重蒸馏, 弃去开始的 50 mL 馏出液, 其余收集在磨口玻璃瓶。

(2) 硫酸吸收液(H_2SO_4 , 0.005 mol/L): 量取 2.8 mL 浓 H_2SO_4 加入无氨水中, 稀释至 1 L。临用时再稀释 10 倍。

(3) 纳氏试剂: 称取 12 g NaOH 溶于 60 mL 水中, 冷却, 记为 A 溶液; 1.7 g HgCl_2 溶于 30 mL 水中; 3.5 g KI 溶于 10 mL 水中, 一边搅拌, 一边将 HgCl_2 溶液慢慢加入 KI 溶液, 直到形成的红色沉淀不再溶解, 记为 B 溶液; 在搅拌条件下, 将 A 溶液缓慢加入 B 溶液, 再加入剩余的 HgCl_2 溶液, 暗处静置 1~2 d, 取上清液存于棕色瓶中, 塞紧备用。

(4) 酒石酸钾钠溶液: 准确称量 50.0 g 四水合酒石酸钾钠($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)置于 100 mL 无氨水中, 加热煮沸, 冷却后定容至 100 mL。

(5) 氨贮备液(1 mg/mL): 称取 1.571 g 干燥后氯化铵, 溶于少量无氨水中, 移入 500 mL 容量瓶中, 定容。

(6) 氨标准溶液(20 $\mu\text{g/mL}$): 吸取 5.0 mL 氨贮备液于 250 mL 容量瓶中定容, 临用前配制。

四、实验步骤

1. 采样

(1) 仪器和流量校正。

(2) 移取 10 mL 硫酸吸收液, 放于多孔玻板吸收瓶中, 将吸收瓶放入采样器中。以 1.0 L/min 的流量采样 20~30 min。

(3) 采样点数设置与室内面积有关。当室内面积 $P < 50 \text{ m}^2$ 时, 检测点数设置 1 个; 当室内面积 P 在 $50 \sim 200 \text{ m}^2$ 之间时, 检测点数可以设置 2 个; 当室内面积 $P > 200 \text{ m}^2$ 时, 检测点数不少于 3 个。

2. 绘制氨的标准曲线

(1) 分别移取 0 mL、1.0 mL、3.0 mL、5.0 mL、7.0 mL、9.0 mL 氨标准溶液置于 0~6 号 10 mL 比色管中, 用硫酸吸收液(0.005 mol/L)稀释到 10 mL 标线, 配成一系列氨标准溶液, 其中比色管中氨含量分别为 0 μg 、2.0 μg 、6.0 μg 、10.0 μg 、14.0 μg 、18.0 μg 。

(2) 在各比色管中分别加入 0.10 mL 酒石酸钾钠溶液, 再分别加入 0.5 mL 纳氏试剂, 摇匀, 静置 10 min (室温低于 20°C 时, 适当延长静置时间), 在波长 420 nm 下, 以水为参比溶液, 测定各管吸光度。以氨含量(μg)为横坐标、各管吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线。以斜率的倒数 B 作为计算因子。

3. 样品测定

(1) 用少量水洗涤比色管, 将样品溶液转移至比色管中, 采用上述步骤(2)的方法测定样品吸光度 A , 测定平行样。

(2) 用 10 mL 未采样的硫酸吸收液作为空白测定吸光度 A_0 。

(3) 如果样品吸光度超过标线范围, 可用硫酸吸收液稀释后再分析, 稀释倍数为 k 。

(4) 根据计算公式计算室内空气中氨含量(C_{NH_3})。

五、实验数据和结果(表 1-1, 表 1-2)

采样地点: _____; 气压: _____; 气温: _____

表 1-1 采样数据记录

布点数	气体采集时间/min	采集流量/(L/min)	气体采集量 V_t /L	标准状态 V/L
-----	------------	--------------	----------------	------------

表 1-2 标准曲线制备和样品测定

管 号	0	1	2	3	4	5	样品 1	样品 2
氨标准溶液/mL	0.0	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0		
硫酸吸收液/mL	10.0	9.9	9.8	9.5	9.3	1.0		
氨含量/ μg	0.0	2.0	4.0	10.0	14.0	18.0		
吸光度								
标准曲线								
样品中氨含量 $C_0/\mu\text{g}$								

计算环境空气中的氨含量 C_{NH_3} (mg/m^3),按式(1-2)计算:

$$C_{\text{NH}_3} = \frac{C_0}{V} = \frac{A - A_0 - a}{V} \times B \times k \tag{1-2}$$

式中: V ——标准状态下采样体积,L;

C_0 ——样品测定中氨含量, μg ;

A ——样品吸光度;

A_0 ——空白样品吸光度;

a ——标准曲线截距;

B ——计算因子, $\mu\text{g}/\text{吸光度}$;

k ——稀释倍数。

标准状态下的采样体积可按式(1-3)换算:

$$V = V_t \times \frac{T_0}{273 + T} \times \frac{p}{p_0} \tag{1-3}$$

式中: V ——标准状态下采样体积,L;

V_t ——实际采样体积,L;

T ——采样点气温, $^{\circ}\text{C}$;

p ——采样点气压,kPa;

T_0 ——标准状态下绝对温度,K;

p_0 ——标准状态下大气压,kPa。

六、注意事项

(1) 样品采集后应尽快分析,在 $2\sim5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下可储存 1 周。

(2) 本实验测定的是空气中氨和颗粒物中铵盐的总量,不能分别测定各自浓度。

(3) 环境空气中氨浓度过高时,需要取部分定量样品稀释后再测定吸光度。

(4) 纳氏试剂毒性较大,取用时须十分小心,接触皮肤时,应立即用水冲洗;含纳氏试剂的溶液,应集中处理。

七、思考题

- (1) 室内氨气测定的采样应注意什么？
- (2) 样品中含有硫化物、有机物干扰测定时，应如何处理样品？
- (3) 实验中加入酒石酸钾钠溶液的作用是什么？
- (4) 制备无氨水的常用方法有哪些？

清华大学出版社

实验二 校园环境的噪声监测与评价(4 学时)

近年来,噪声污染越来越严重,已成为影响城市环境问题的公害之一。《中华人民共和国噪声污染防治法》(2022 年 6 月 5 日起施行)指出,噪声污染是指超过噪声排放标准或者未依法采取防控措施产生噪声,并干扰他人正常生活、工作和学习的现象。噪声污染会对人的心血管系统、神经系统、内分泌系统产生不利影响,影响人们的生活质量。另外,噪声污染对记忆力及语言表达能力也有不良影响。校园作为教学、科研活动的重要场所,对声环境质量要求更加严格。监测和评价校园噪声对美化校园环境、创造更好的学习工作环境尤为重要。

一、实验目的

(1) 以校园作为监测区域主体,根据声环境功能区域的划分类别,明确不同功能区域的区划,明确对应功能区域的环境监测等级标准要求,清楚了解实际监测的布点原则、方式。

(2) 熟悉噪声便携仪器设备的操作,记录分析数据。

(3) 监测校园不同功能区的噪声情况。根据标准,判别目标功能区域的声环境等级与质量。

二、实验原理

1. 等效连续声级 $L_{eq}(A)$

噪声计中有 A、B、C、D 四种特性网络,也称计权网络,是一套滤波器网络,噪声通过时,不同频率成分得到不同程度的衰减或增强。其中,A 网络可将声音的低频部分滤掉,对高频不衰减或稍有放大,测得的噪声值较接近人的听觉,能很好地模拟人的听觉特性。A 网络测的噪声级称为 A 声级(A 计权声级),单位 dB(A)。目前大多采用 A 声级来衡量噪声的强弱,作为卫生评价声级,并为国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)所采用。A 声级越高,人们觉得越吵闹。

对于非稳态噪声,在声场某一点上,将测量时段内各瞬时 A 声级的能量平均值称为等效连续 A 声级,记作 $L_{eq}(A)$,单位 dB(A)。其数学表达式为

$$L_{eq}(A) = 10 \lg \frac{1}{T_1 - T_2} \int_{T_2}^{T_1} 10^{0.1 L_A} dt \quad (2-1)$$

式中: L_A —— t 时刻的瞬时 A 声级, dB(A);

T_2 ——测量起始时刻;

T_1 ——测量终止时刻;

$T_1 - T_2$ ——测量时间段, s。

2. 累积百分声级

累积百分声级是指占测量时段一定比例的累积时间内 A 声级的极小值,用作测量时段

内噪声强度时间统计分布的指标。常用噪声级 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 表示,由这 3 个噪声级可按式(2-2)近似求出测量时段内的等效噪声级 $Leq(A)$ 。

$$Leq(A) \approx L_{50} + d^2/60$$
$$d = L_{10} - L_{90}$$

(2-2)

式中: L_{10} ——测定时间内,10%的时间超过的噪声级,相当于噪声的平均峰值;
 L_{50} ——测量时间内,50%的时间超过的噪声级,相当于噪声平均值;
 L_{90} ——测量时间内,90%的时间超过的噪声级,相当于噪声的平均本底值。
实际工作中将测得的数据按照从大到小的顺序排列, L_{10} 代表总数的第 10% 个数据,其他以此类推。

3. 监测区域功能类型评价标准

(1) 明确监测区域利用类型

I 类: 居住用地、公园绿地、行政办公用地、文化设施用地、教育科研用地、医疗卫生用地、社会福利用地。
II 类: 工业用地、物流仓储用地。

(2) 明确监测区域功能类型

- 0 类: 康复疗养安静区域。
- 1 类: 住宅、科教文卫、行政办公安静区域。
- 2 类: 商贸集市、商业、居住、工业混杂,需维护住宅安静的区域。
- 3 类: 工业生产、仓储物流需防止产生噪声严重影响的区域。
- 4 类: 交通干线两侧需防止噪声严重影响的区域。

(3) 评判标准

社会生活噪声排放源边界噪声不得超过表 2-1 规定的排放限值。

表 2-1 社会生活噪声排放源边界噪声排放限值 单位: dB(A)

边界外声环境功能区类别	时 段	
	昼 间	夜 间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55

三、实验器材

Center-329 型噪声计,电池(5 号): 4 节。
仪器通过标准方法校准,测量时要加防风罩。

校准方法: 在主菜单下,用“光标”键将光标移到“6. Cal”上按“进入”键,进入校准子菜单,用“光标”键,将光标移到第一行,按“进入”键,仪器进入声校准界面。用声校准器套在传声器上,并打开声校准器开关,按下“进入”键,仪器就开始校准过程了,显示屏右下角显示一个 1~9 的数值,当显示 9 后停止,表示校准结束。再按“进入”键,则将当前新校准出的传声

器灵敏度级保存起来。

四、实验步骤

- (1) 布点方法：为了更好地了解学校噪声污染的状况，根据学校功能区的布局将学校划分为教学区、居住区、教研区、运动区等 4 个功能区。每个功能区各选择 2 个有代表性的监测点，进行噪声监测。
- (2) 携带便携噪声计到达指定地点。一般情况下，监测点位距离地面 1.2 m 以上，尽量避开建筑物、障碍物。手持仪器，离身体 0.5 m 左右。
- (3) 记录监测当天的日期和气象状况，包括风速、风压、气温等。
- (4) 传声器要向上，在每个功能区主要噪声来源设置 2 个监测点，每个监测点测定 2 组，每组 20 min，每 2 组间隔 5 min。测定时每隔 15 s 记录噪声计读数，读数的同时记录附近的主要噪声来源。
- (5) 根据公式计算功能区的噪声值。
- (6) 对不同功能区的噪声值进行分析对比。

五、实验记录和结果计算(表 2-2)

实验日期：_____年_____月_____日
天气状况 _____；风速_____；风压_____；气温_____

表 2-2 不同功能区噪声监测记录

监测地点	教学区		居住区		教研区		运动区		备注
	1	2	1	2	1	2	1	2	
15 s									
30 s									
45 s									
60 s									
75 s									
⋮									
20 min									

- (1) 计算每个监测时间段的等效连续 A 声级 $L_{eq}(A)$ 和平均噪声值, dB(A)。
- (2) 根据测量所得结果, 结合《声环境质量标准》(GB 3096—2008)、《环境噪声监测技术规范 城市声环境常规监测》(HJ 640—2012) 判断校园不同功能区的噪声达标情况, 评判校园环境的噪声质量等级。

六、注意事项

- (1) 正确使用监测设备, 保证良好的工作状态, 避免使用前后及使用过程中的非器材质量性损坏。
- (2) 测量应在无雨雪、无雷电天气, 风速为 5 m/s 以下时进行。特殊气象条件下测量时, 应采取必要措施保证测量准确性, 同时注明当时所采取的措施。
- (3) 注意行动安全, 保持分组秩序, 遇到疑难问题及时与带队教师沟通。

七、思考题

- (1) 影响实际监测活动中位点布置、监测效果的因素有哪些？如何优化、改进或避免？
- (2) 从改善生态环境质量的角度讨论哪些措施或者方式可以切实可行地改善不同类型的功能区域声环境质量。
- (3) 分析实际监测地噪声污染的情况及原因。

清华大学出版社

实验三 校园大气环境二氧化碳的非分散 红外法测定(4 学时)

自工业革命以来,由于人类活动排放了大量的二氧化碳等温室气体,使得大气中温室气体的浓度急剧升高,造成温室效应日益增强。据统计,工业化以前全球年均大气二氧化碳浓度为 278 ppm(体积分数,1 ppm 为百万分之一),2012 年全球年均大气二氧化碳浓度为 393.1 ppm,到 2014 年 4 月,北半球大气中月均二氧化碳浓度首次超过 400 ppm。研究表明,空气中二氧化碳浓度低于 2%时,对人没有明显的危害,超过这个浓度则可引起人体呼吸器官损害,即一般情况下二氧化碳并不是有毒物质,但当空气中二氧化碳浓度超过一定浓度时则会使肌体产生中毒现象,高浓度的二氧化碳会让人窒息。动物实验证明:在含氧量正常(20%左右)的空气中,二氧化碳的浓度越高,动物的死亡率也越高。同时,纯二氧化碳引起动物死亡较低氧所致的死亡更为迅速。此外,有人认为,在低氧的情况下,8%~10%浓度的二氧化碳即可在短时间内引起人畜死亡。

一、实验目的

- (1) 掌握空气中二氧化碳的不同测定方法原理和对应仪器设备基本操作。
- (2) 掌握目标空气环境中待测气体样品的采集方式。

二、实验原理

空气环境中二氧化碳的测定方法包括非分散红外法、气相色谱法、定电位电解法。其中,样品空气以恒定的流量通过颗粒物过滤器进入仪器反应室,二氧化碳选择性吸收以波长 $4.7\ \mu\text{m}$ 为中心波段的红外光,在一定的浓度范围内,红外光吸光度与二氧化碳浓度成正比。

三、实验器材与试剂

1. 主要器材

- (1) 进样管路:应采用不与二氧化碳发生化学反应的聚四氟乙烯、氟化聚乙烯丙烯、不锈钢或硼硅酸盐玻璃等材质。
- (2) 颗粒物过滤器:安装在采样总管与仪器进样口之间。过滤器除滤膜外的其他部分应为不与二氧化碳发生化学反应的聚四氟乙烯、氟化聚乙烯丙烯、不锈钢或硼硅酸盐玻璃等材质。仪器如有内置颗粒物过滤器,则不需要外置颗粒物过滤器。
- (3) 二氧化碳检测仪,如图 3-1 所示。

2. 主要试剂

- (1) 零气:零气由零气发生装置产生,也可由零气钢瓶提供(零气中不存在待测目标成分或者小于规定值,其他组分不干扰待测组分的测定)。
- (2) 标准气体:购用市售有证书的标准样。
- (3) 滤膜:聚四氟乙烯,孔径不大于 $5\ \mu\text{m}$ 。



图 3-1 二氧化碳检测仪

四、实验步骤

1. 样品的采集与保存

短时间采样：在气样采集点，用现场空气样品清洗采气袋 5~6 次，然后采集空气样品。采样结束后，立即封闭采气袋的进气阀，将所采集样品保存于清洁容器中，送抵实验室并在 24 h 内完成测定分析。

样品空白：在采样现场采集清洁空气，将其与所采集的待测气样一同保存并运送回实验室分析测定。每批次样品不少于 2 个样品空白。

2. 仪器准备

(1) 仪器使用前检查：根据使用操作手册设置各项参数，进行调试，指标包括零点噪声、最低检出限、量程噪声、示值误差、量程精密度、24 h 零点漂移和 24 h 量程漂移等。仪器运行过程中需要进行零点检查、量程检查和线性检查，根据需要进行仪器的校准。

(2) 仪器校准：仪器量程应根据当地不同季节二氧化碳实际浓度水平确定。当二氧化碳浓度低于量程的 20% 时，应选择更低的量程。

仪器校准主要步骤：

- ① 将零气通入仪器，读数稳定后，调整仪器输出值等于零。
- ② 将浓度为量程 80% 的标准气体通入仪器，读数稳定后，调整仪器输出值等于标准气体浓度值。

3. 样品的测定

(1) 实验室测定：按仪器操作说明，将非分散红外线气体分析仪调节至最佳测定状态。将采气袋中的样品空气通过干燥管送入仪器的气室，待读数稳定后，读取二氧化碳的浓度。

(2) 现场测定：在采样现场使用非分散红外线气体分析仪，按仪器操作使用说明，将分析仪调节至最佳工作状态。直接将空气样品采入仪器内测定，待仪器读数稳定后，读取并记录二氧化碳浓度。

五、实验结果分析

空气样品中二氧化碳质量浓度的换算，可以根据式(3-1)计算得到，即

$$\rho = \frac{44}{22.4} \times \varphi$$

(3-1)

式中： ρ ——空气中二氧化碳的质量浓度， mg/m^3 ；
 φ ——二氧化碳的体积浓度， $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ；
44——二氧化碳的摩尔质量， g/mol ；
22.4——标准状态下的二氧化碳的摩尔体积， L/mol 。

(1) 记录实验基本信息。

实验日期：_____年_____月_____日_____时_____分；
测量地点的经纬度：_____；
环境温度：_____；环境湿度：_____；风力：_____级；
测量人姓名：_____；班级：_____；学号：_____

(2) 将实验数据填入表 3-1。

表 3-1 二氧化碳数据记录表

地 点 名 称	测 量 值	测 量 时 间
教学楼树林		
洪泽湖畔		
交通干道边		
教室		
⋮		

六、注意事项

- (1) 根据监测工作的拟定计划开展监测活动,认真参与、有序实施。
- (2) 注意监测设备使用规范,熟练掌握监测使用程序和细节。
- (3) 监测活动中注意安全,注重团组成员配合,提高工作实效。
- (4) 详细记录各类数据,注重设备使用条件和必要维护,避免设备质量意外的损伤、破坏。
- (5) 遇有疑难问题及时与带队教师沟通,保证监测工作顺利开展。

七、思考题

- (1) 影响实际监测活动当中位点布置、监测效果的各种类型因素或者条件有哪些? 如何优化并有效地避免干扰的产生或者有效将其弱化?
- (2) 结合实际的监测活动、数据分析效果以及对大气污染状况的评估,采取怎样的实际可行的措施可以改善当前的大气环境质量?
- (3) 室内二氧化碳的测定,有哪些因素会影响测试结果?
- (4) 什么是“双碳”战略? 我们可以采取什么措施减少二氧化碳的排放?

实验四 电力行业粉尘粒径分布测定——移液管法(4 学时)

随着《大气污染防治行动计划》(国发〔2013〕37号)、《大气污染防治行动计划实施情况考核办法(试行)》(环发〔2014〕107号)、《中华人民共和国大气污染防治法》(2018年)等相关政策的全面实施,我国大气环境污染状况在一定程度上得到控制,但整体仍不乐观,尤其是PM_{2.5}和PM₁₀的排放。我国能源结构是“富煤、缺油、少气”,未来很长一段时间,仍会以煤炭供能为主,电力行业粉尘污染仍比较严重。粉尘均具有一定的粒度分布。粉尘的分散度不同,对人体健康危害的影响程度和适用的除尘机制也不同。

目前我国电力行业电除尘器应用最多。“十二五”期间,电除尘器市场占有率约占80%,近年来比例有所下降。截至2015年12月,电除尘器总装机容量约为6亿kW,市场占有率约为68.56%。对粉尘的粒径分布进行测定可以为电力行业除尘器的设计、选用及除尘机制的研究提供理论数据支撑。

粉尘在生产过程中产生,主要产生于输煤系统作业场所漂浮的煤尘、锅炉运行中的锅炉尘、脱硫工艺中产生的石灰和石灰石粉尘等。

一、实验目的

- (1) 了解移液管法的测定原理,理解斯托克斯定律。
- (2) 掌握移液管法测定电力行业除尘系统的粉尘粒径分布的过程与步骤。

二、实验原理

移液管法本质是液体重力沉降法,利用不同粒径的尘粒在液体介质中重力沉降速度的不同而使粉尘分级,用以分析除尘系统的粒度分布。

粉尘的沉降速度可以用斯托克斯公式计算:

$$v_t = \frac{(\rho_p - \rho_L)gd_p^2}{18\mu} \quad (4-1)$$

式中: v_t ——粉尘的沉降速度,cm/s;

μ ——液体的动力黏度,g/(cm·s);

ρ_p ——粉尘的真密度,g/cm³;

ρ_L ——液体的真密度,g/cm³;

g ——重力加速度,cm/s²;

d_p ——粉尘直径,cm。

由式(4-1)变形可得

$$d_p = \sqrt{\frac{18\mu v_t}{(\rho_p - \rho_L)g}} \quad (4-2)$$

粉尘的粒径便可以根据其沉降速度求得。但是,直接测定各种粉尘的沉降速度是困难的。沉降速度是沉降高度与沉降时间的比值,可以以此替换沉降速度,推导式(4-2)变为

$$d_P = \sqrt{\frac{18\mu H}{(\rho_P - \rho_L)gt}}$$

或

$$t = \frac{18\mu H}{(\rho_P - \rho_L)gd_P^2} \quad (4-3)$$

式中： H ——粉尘的沉降高度，cm；

t ——粉尘的沉降时间，s。

粉尘在液体介质中的沉降情况可用图 4-1 表示。将尘样放入存有某种液体介质的玻璃瓶内，经搅拌，使尘样均匀地扩散在整个液体中，如图 4-1 中状态甲。经过 t_1 时间后，因重力作用，悬浮体由状态甲变为状态乙。在状态乙中，直径为 d_1 的粉尘全部沉降到虚线以下，由状态甲变到状态乙，所需时间为 t_1 ，根据式(4-3)应为

$$t_1 = \frac{18\mu H}{(\rho_P - \rho_L)gd_1^2} \quad (4-4)$$

同理，粒径为 d_2 的粉尘全部沉降到虚线以下（即达到状态丙）所需时间 t_2 为

$$t_2 = \frac{18\mu H}{(\rho_P - \rho_L)gd_2^2} \quad (4-5)$$

粒径为 d_3 的粉尘全部沉降到虚线以下（即达到状态丁）所需时间 t_3 为

$$t_3 = \frac{18\mu H}{(\rho_P - \rho_L)gd_3^2} \quad (4-6)$$

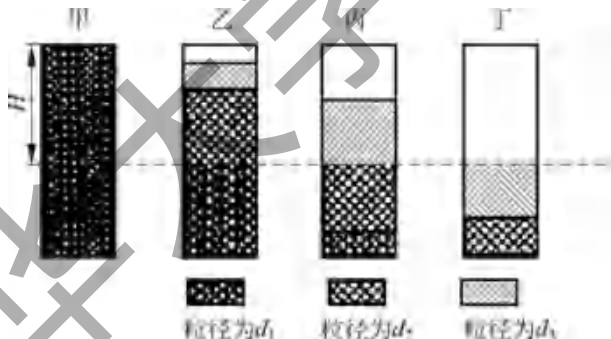


图 4-1 粉尘在液体介质中的沉降过程

三、实验试剂与仪器

(1) 不同粒径的电力行业除尘系统粉尘、六偏磷酸钠。

(2) 分析天平、电烘箱、干燥器、磁力搅拌器、秒表、温度计、注射器、若干称量瓶(30 mL)、烧杯(500 mL)、量筒(1000 mL)、乳胶管、支架及夹子、纱布、搅拌棒、漏斗、直尺等。

(3) 移液管法测定系统主要包括液体重力沉降瓶、移液管、称量瓶、注射器、透明恒温水浴装置等，如图 4-2 所示。

四、实验样品预处理

(1) 取有代表性的粉尘模拟除尘系统粉尘组分，每种粉尘 30~40 g，如有较大颗粒需用 250 目的筛子筛分，放入电烘箱中，在 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的温度下干燥 1 h 至恒重，然后在干燥器