

○ 高职高专系列教材

环境综合实验

HUANJING ZONGHE SHIYAN

张仁志 主编

中国环境科学出版社

高职高专系列教材

环境综合实验

张仁志 主编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

环境综合实验/张仁志主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2007.1

ISBN 978-7-80209-306-5

I.环… II.张… III.环境监测—实验 IV.X83

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第045881号

策 划 宫学栋 耿世刚 沈 建
责任编辑 沈 建 肖 伊
责任校对 扣志红
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2007年1月第一版
印 次 2007年1月第一次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 21
字 数 400千字
定 价 29.00元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

高职高专环境科学系列教材

编写委员会

主 任 胡亨魁

副主任 (按姓氏拼音字母排序)

高红武 宫学栋 谷群广 王红云

徐汝琦 杨仁斌 曾育才 周国强

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

高红武 谷群广 郭 正 胡亨魁 李连山

李志红 梁 红 刘 彬 刘帅霞 刘颖辉

刘晓冰 宋新书 苏少林 苏锡南 汪 翰

王红云 谢炜平 徐汝琦 鄢达成 袁 刚

曾育才 张 波 赵建国 钟 松 周国强

教师反馈卡

尊敬的老师：您好！

感谢您购买本书。为了进一步加强我们与老师之间的联系与沟通，请您协助填妥下表，以便定期向您寄送最新的出版信息，您还有机会获得我们免费寄送的样书及相关的教辅材料；同时我们还会为您的教学工作以及论著或译著的出版提供尽可能的帮助。欢迎您对我们的产品和服务提出宝贵意见，非常感谢您的大力支持与帮助。

姓名：_____ 年龄：_____ 职务：_____ 职称：_____

系别：_____ 学院：_____ 学校：_____

通信地址：_____ 邮编：_____

电话（办）：_____（家）_____ E-mail _____

学历：_____ 毕业学校：_____

国外进修或讲学经历：_____

教授课程	学生水平	学生人数/年	开课时间
1. _____	_____	_____	_____
2. _____	_____	_____	_____
3. _____	_____	_____	_____

您的研究领域：_____

您现在授课使用的教材名称：_____

您使用的教材的出版社：_____

您是否已经采用本书作为教材：☐是；☐没有。

采用人数：_____

您使用的教材的购买渠道：☐教材科；☐出版社；☐书店；☐其他。

您需要以下教辅：☐教师手册；☐学生手册；☐PPT；☐习题集；☐其他_____

（我们将为选择本教材的老师提供现有教辅产品）

您对本书的意见：_____

您是否有翻译意向：☐有；☐没有

您的翻译方向：_____

您是否计划或正在编著专著：☐是；☐没有。

您编著的专著的方向：_____

您还希望获得的服务：_____

填妥后请选择以下任何一种方式将此表返回（如方便请赐名片）：

地址：北京市崇文区广渠门内大街16号 中国环境科学出版社第七图书出版中心

邮编：100062

电话（传真）：（010）67113412

E-mail: shenjian1960@126.com

网址：http://www.cesp.cn

前言

目前,大多数环境类专业的实验课教学仍然采用课程实验的教学模式,按照课程教学的进度,设置基础课、专业基础课和专业课实验教学,其教学要求与课程同步进行,主要目的是让学生加深对所学理论知识的认识。课程实验的目的、要求、内容、过程、结果都具有确定性,学生是按照实验指导书的规定进行实验,多数实验是验证性和演示性的,不利于学生创新能力、设计能力、综合解决问题能力的提高。针对这一问题,许多高校在实验课教学改革中对开放性实验、设计性实验、创新性实验等进行了有益的探索,受到了学生的欢迎,取得了较好的教学效果。各级教育主管部门也提出了减少验证性和演示性实验,增加工艺性、综合性、设计性和创新性实验的要求。

本教材编写组总结多年环境综合实验教学的经验,认为综合实验、工艺实验、设计性实验、创新性实验是提高学生综合运用知识和解决实际问题能力,提高动手和科研能力,增强学生创新能力和就业能力的必要教学环节。例如,本教材中的污水处理工艺实验可以将所有的实验联系在一起,便于学生对水污染控制工程基本原理的理解,培养学生选择和设计水处理研究与实验方案的初步能力,培养学生使用实验仪器和设备、分析和处理实验数据的基本能力。本教材还编写了实验设计与创新性实验的基本原则、思路、方法等内容,便于教师指导学生进行创新性实验。

“环境综合实验”应作为高等学校环境类各专业的必修或选修课程,更是环境工程、环境监测、环境化学等专业教学不可缺少的组成部分,也是环境规划、环境评价、环境管理、环境系统分析等相关专业的选修课。通过综合实验可以提高学生对环境规律的认知能力,对环境数据运用与把握能力,提高制定政策与执行政策的能力,从而提高其工作的创

造性和创新性。

本教材将环境监测、环境工程、环境微生物学、实验设计、数据处理等融为一体,便于在综合实验和工艺实验中组合使用。本教材可以作为环境类本科和专科学生的实验指导书,设计创新实验的参考书,也可以作为环境科学研究人员的应用手册。

本教材内容包括:环境样品的采集、大气环境监测实验、室内空气质量监测实验、噪声监测实验、水质监测实验、污水处理工艺实验、环境微生物实验、实验设计与创新实验、实验数据处理。本教材在编排上采用了独立的部分编写,每个实验项目都具有完整性、实用性、独立性。在进行综合实验和设计性实验时可以根据需要对实验进行组合与应用。

本教材的编写组成员由中国环境管理干部学院“环境综合实验”课程组的部分教师组成,其中前言、绪论、第一部分、第八部分、第九部分由张仁志编写,第二部分由张仁志、金泥沙编写,第三部分由肖曲编写,第四部分由张仁志、孙蕾编写,第五部分由姚淑霞、金伟编写,第六部分由楼静、褚华宁编写,第七部分由郝冬亮、伍洛夫编写。

2006年,中国环境管理干部学院的“环境综合实验”课程被评为河北省精品课,同年被评为国家精品课。课程建立了全面开放的网站(jpk.emcc.cn)。网站上的内容将不断丰富,教学方法将不断改革,教学内容将不断更新,以适应高职高专教学的要求。

由于编者工作经验不足,水平有限,教材中一定存在错误和不妥之处,希望各位老师、同学和读者批评指正,在此表示衷心感谢。

编者

2007年1月

目 录

绪 论	1
第一节 环境综合实验的意义	1
第二节 实验教学目的	1
第三节 实验教学要求	3
第四节 实验教学考核	4
第一部分 环境样品采集	5
第一节 自然水体和污水样品的采集	5
第二节 大气样品的采集	16
第二部分 大气环境监测实验	20
实验一 空气中二氧化硫 (SO_2) 监测	20
实验二 空气中氮氧化物 (NO_x) 监测	28
实验三 空气中总悬浮颗粒物 (TSP) 监测	34
实验四 空气中可吸入颗粒物 (PM_{10}) 监测	38
实验五 空气中可沉降颗粒物监测	40
第三部分 室内环境空气质量监测实验	44
实验一 甲醛的测定	44
实验二 苯系物的测定	48
实验三 氨的测定	51
实验四 总挥发有机物的测定	54
第四部分 噪声监测实验	57
实验一 城市区域环境噪声监测	57
实验二 交通噪声监测	60
实验三 工业企业厂界噪声监测	62
实验四 建筑施工场界噪声监测	64

第五部分 水质监测实验	67
实验一 pH 值的测定	67
实验二 电导率的测定	70
实验三 浊度的测定	74
实验四 残渣的测定	79
实验五 溶解氧的测定	84
实验六 氨氮的测定	88
实验七 亚硝酸盐氮的测定	93
实验八 总氮的测定	98
实验九 磷的测定	102
实验十 余氯的测定	107
实验十一 化学需氧量 (COD_{Cr}) 的测定	111
实验十二 生化需氧量 (BOD_5) 的测定	115
实验十三 苯的测定	121
实验十四 有机氯农药 (六六六、滴滴涕) 的测定	125
实验十五 铜的测定	128
实验十六 砷的测定	131
第六部分 污水处理工艺实验	134
实验一 颗粒自由沉淀	134
实验二 斜板沉淀	140
实验三 混凝沉淀	142
实验四 加压溶气气浮	146
实验五 活性污泥法好氧生物处理	151
附: 活性污泥耗氧速率的测定	155
实验六 SBR 法计算机自动控制系统	157
实验七 塔式生物滤池	164
实验八 生物接触氧化	168
实验九 生物转盘	171
实验十 UCT 生物脱氮除磷处理	176
实验十一 UASB 高效厌氧生物处理	180
实验十二 厌氧污泥的产甲烷活性测定	186
实验十三 侧置式 MBR 系统	189
实验十四 浸入式 MBR 系统	192
实验十五 连续流活性炭吸附脱色	195

实验十六 砂滤	198
实验十七 加氯消毒	202
实验十八 紫外消毒	206
第七部分 环境微生物实验	209
实验一 显微镜的使用及微生物形态的观察	209
实验二 培养基的配制和灭菌	213
实验三 微生物的染色	216
实验四 微生物的显微直接计数法	219
实验五 微生物的接种、分离纯化与培养	222
实验六 纯培养菌种的菌体、菌落形态的观察	227
实验七 大肠杆菌生长曲线的测定	229
实验八 水中细菌总数的测定	232
实验九 显微镜测微技术	235
第八部分 实验设计与创新实验	238
第一节 工艺实验设计基本原理	238
第二节 单因素实验设计	241
第三节 双因素实验设计	244
第四节 正交实验设计	246
第五节 常用正交实验表	253
第六节 创新实验	261
第九部分 实验数据处理	267
第一节 误差	267
第二节 准确度	270
第三节 精密度	271
第四节 工作曲线中可疑值的检验	272
第五节 有效数字修约及运算规则	273
第六节 实验数据表示方法	276
附 录	283
附录一 环境空气质量标准 GB 3095—1996	283
附录二 大气污染物综合排放标准 GB 16297—1996	285
附录三 室内空气质量标准 GB/T 18883—2002	297

附录四	城市区域环境噪声标准 GB 3096—93	298
附录五	工业企业厂界噪声标准 GB 12348—90	299
附录六	建筑施工场界噪声限值 GB 12523—90	300
附录七	生活饮用水卫生标准 GB 5749—85	301
附录八	地表水环境质量标准 GB 3838—2002	302
附录九	地下水质量标准 GB/T 14848—93	310
附录十	渔业水质标准 GB 11607—89	312
附录十一	农田灌溉水质标准 GB 5084—92	313
附录十二	污水综合排放标准 GB 8978—1996	315
附录十三	生活杂用水水质标准 CJ/T 48—1999	324
参考文献		325

绪 论

第一节 环境综合实验的意义

环境类的许多专业或课程都是以实验为基础的。例如，环境监测、环境评价、环境规划、环境管理、污染源控制、环境工程等，而这些专业或课程之间又是相互联系的，单独的某一个课程实验不能将学生所学的知识贯穿起来，不能综合地运用所学的知识，去解决实际的环境问题。因此，在课程设置时要适当减少课程实验，增加综合性实验。

环境综合实验根据实验的内容和范围而分小综合和大综合。小综合是一类实验项目的多个实验综合。例如，进行一个区域环境监测或一个污染源综合监测，涉及水质的、气体的、固体废物的和噪声的综合监测；在进行环境规划或环境评价时，如果由学生进行监测布点、设计监测方案、实施环境监测，对污染源进行调查和监测，再进行规划或评价，这样就需要设计一系列综合性实验，来完成数据的收集与处理。大综合是不同类的实验项目进行综合。例如，对一个污水处理工艺实验需要进行采样、监测、系统运行，而这样的过程需要化学分析、生物监测、数据处理等，还要对工艺运行参数进行大量的实验。因此，环境实验项目中没有完全独立存在的，都是相互联系、相互支持的。

综合实验可以使学生理论联系实际，培养学生观察问题、分析问题和解决问题的能力，提高学生综合运用知识的能力，提高动手和科研能力，增强学生创新能力和就业能力。综合实验课应该在专业课基本完成后进行，较大的综合实验题目，可以让学生结合毕业设计、毕业论文写作等进行。

第二节 实验教学目的

加深对环境化学、环境监测、环境工程、环境微生物学等课程所学理论知识的

理解；掌握常用水质、大气、噪声等环境要素的监测方法；掌握常规采样仪器、分析仪器的原理及使用方法；了解各种指标的意义；掌握监测数据的处理方法；对各类污水处理系统进行操作、管理和维护，通过实验确定工艺参数。

通过工艺性和设计性实验，使学生了解如何进行实验方案的设计，并初步掌握环境实验研究方法和基本测试技术，运用工艺实验数据进行工程设计，为企业提供咨询和服务。掌握实验数据的整理、分析、处理技术，包括如何收集实验数据，如何正确地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。

各分项实验的目的：

一、大气环境监测实验目的

对大气采样布点，设计采样方案，制订采样计划；了解便携式大气采样器的工作原理，仪器结构，操作规程，掌握采样器的使用方法；掌握二氧化硫、氮氧化物的实验室化学分析方法，掌握 TSP、PM₁₀、可沉降颗粒物的质量分析方法；提高现场工作能力和处理问题能力。

二、室内空气环境质量监测实验目的

根据室内气体采样检测规范，制订某建筑物采样方案；正确使用仪器对现场进行检测，采集室内样品，进行实验室内分析，正确书写检测报告。

三、噪声监测实验目的

对区域和交通噪声监测布点，制订噪声监测计划；掌握精密声级计的使用方法，各种声环境的监测方法；对各种噪声量进行计算，达到独立工作的目的。掌握对工业厂界、施工场界噪声监测的基本方法，运用噪声控制的理论和方法进行噪声控制实验。

四、水监测实验目的

对地面水体、地下水、污染源进行布点采样，正确理解和采用瞬时样、混合样、综合样进行样品的监测；掌握现场测试的基本方法，正确选择实验室分析方法；进行实验室质量控制，保证实验数据的准确；对数据进行分析与处理，正确剔除离群数据；提高动手能力和实验研究能力。

五、污水处理工艺实验目的

针对不同的污水以及出水水质的要求，选择适宜的处理技术与工艺；设计处理实验方案，制订实验研究计划；了解各种工艺的优缺点及不同的适用范围，所能达到的出水水质；加深对各种工艺的理论和方法的理解，了解各指标之间的关系及控

制方法；掌握污水处理过程中污染物去除的基本规律，以改进和提高现有的处理技术及设备，开发新的污水处理技术和设备，实现水处理设备的优化设计和优化控制，解决水处理技术开发中的放大问题；取得对污水处理装置运行、管理和维护的经验。

六、环境微生物学实验目的

掌握微生物实验的基本原理与方法，培养基的制备与灭菌操作，微生物接种、分离、纯化与培养；掌握微生物镜检技术；可以为污水、垃圾生物处理进行相关的实验研究。

第三节 实验教学要求

一、实验课前预习

为完成好每个实验，学生在课前必须认真阅读实验教材，清楚地了解实验项目的目的要求、实验原理和实验内容，写出简明的预习报告。预习报告包括：实验目的、实验方法、实验步骤、注意事项、可能出现的问题、预期结果和准备向老师提出的问题。准备好实验记录表格。实验之前要将预习报告提交给指导老师。

二、综合实验设计

对综合性的实验，实验设计是实验研究的重要环节，是获得理想实验结果的基本保障。在实验教学中，宜将此环节的训练放在部分实验项目完成后进行，使学生掌握实验设计的方法。

三、实验操作

学生实验前应仔细检查实验设备、仪器仪表是否完整齐全。实验时要严格按照操作规程认真操作，仔细观察实验现象，精心测定实验数据并详细填写实验记录。实验结束后，要将实验设备和仪器仪表恢复原状，将周围环境整理干净。学生应注意培养自己严谨的科学态度，养成良好的工作学习习惯。

四、实验数据处理

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，去伪存真、去粗取精，以得到正确可靠的结论。

五、编写实验报告

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

环节的训练可为今后写好科学论文或科研报告打下基础。实验报告应独立完成，应包括下述内容：对实验目的和实验原理的认识、实验装置和方法、实验现象的观察与记录、实验数据处理、结果问题讨论与分析。

对于综合性实验或科研论文，最后还要列出参考文献。

对于分小组完成的实验项目，要提交小组实验报告。在实验过程中和全部实验结束后，由小组长主持全组总结、讨论、交流经验，完成小组实验报告。其内容应包括：实验计划、实验日志、观测记录、事故分析、失败原因、计划执行情况评估，对每个学生的评估、实验收获、技能提高等。小组实验报告是锻炼学生团队精神、合作意识，提高综合素质的一个重要而有效的教学环节。

第四节 实验教学考核

实验教学考核是对教学效果进行评估，保证教学质量，不断改革教学内容与方法的重要手段。也是对学生学习效果，知识掌握程度，能力和素质提高程度评估的重要教学环节。而实验课教学考核与其他理论课不同，应针对实验课教学内容、方法与规律，探索实验课的考核方法。其考核的内容应包括：

- (1) 对理论知识的应用能力。
- (2) 动手能力，对实验现象的观察能力，分析问题、解决问题的能力。
- (3) 工作态度、学习态度、团队合作精神，语言交流能力、提出问题能力。
- (4) 实验方法、实验结果表达是否正确，实验预习报告、实验报告的正确性、完整性。

对不同的实验课，单项实验课和综合实验课考核的方法、内容应有所不同。确定一个量化考核评分指标体系，便于更加客观公正地对实验课教学进行考核。

第一部分 环境样品采集

第一节 自然水体和污水样品的采集

为了能够真实反映自然水体、工业企业排放的废水、污水处理设施的进水和出水的质量，除了分析方法标准化和操作规程规范化之外，特别要注意水样的采集和保存。首先，采集的样品要能代表水体的质量。其次，采样后易发生变化的成分应在现场测定，带回实验室的样品，在测试之前要妥善保存，确保样品在保存期间不发生明显的物理、化学、生物变化。

采样的地点、时间和采样频率，应根据监测目的、水质的均一性、水质的变化、采样的难易程度、所采用的分析方法、有关的环境保护法规、条例、规范，以及人力、物力等因素综合考虑。

一、水样的分类

1. 综合水样

把从不同采样点同时采集的各个瞬时水样混合起来所得到的样品称做“综合水样”。综合水样在各点的采样时间虽然不能同步进行，但越接近越好，以便得到可以对比的资料。

综合水样是获得平均浓度的重要方式，有时需要把代表断面上的各点，或几个污水排放口的污水按相对比例流量混合，取其平均浓度。

什么情况下采综合水样，视水体的具体情况和采样目的而定。例如，为几条排污河渠建设综合处理厂，从各河道取单样分析就不如综合水样更为科学合理，因为各股污水的相互反应可能对设施的处理性能及其成分产生显著的影响。不可能对相互作用运用数学预测，取综合水样可能更科学、更准确的数据。相反，有些情况取单样更合理，如湖泊或水库在深度和水平方向常出现组分上的变化，这种情况下，大多数的平均值或总值的变化不显著，局部变化明显，综合水样不能反映空间上的变化规律。

2. 瞬时水样

对于组成较稳定的水体,或水体的组成在相当长的时间和相当大的空间范围内变化不大,采瞬时样品具有很好的代表性。当水体的组成随时间发生变化,则要在适当时间间隔内进行瞬时采样,分别进行分析,测出水质的变化程度、频率和周期。当水体的组成发生空间变化时,就要在各个相应的部位采样。

3. 混合水样

在大多数情况下,所谓混合水样是指在同一采样点上于不同时间所采集的瞬时的混合样,有时用“时间混合样”的名称与其他混合样相区别。

时间混合样在观察平均浓度时非常有用。当不需要测定每个水样而只需要平均值时,混合水样能节省监测分析工作量,减少试剂等的消耗。混合水样不适用于测试成分在水样储存过程中发生明显变化的水样,如挥发酚、油类、硫化物等。

如果污染物在水中的分布随时间而变化,必须采集“流量比例混合样”,即按一定的流量采集适当比例的水样(例如每 10 t 采样 100 ml)混合而成。往往使用流量比例采样器完成水样的采集。

4. 平均污水样

对于排放污水的企业而言,生产的周期性影响着排污的规律性。为了得到具有代表性的污水样(往往要求得到平均浓度),应根据排污情况进行周期性采样。不同的工厂、车间生产周期时间长短不相同,排污的周期性差别也很大。一般地说,应在一个或几个生产排放周期内,按一定的时间间隔分别采样。对于性质稳定的污染物,可对分别采集的样品进行混合后一次测定;对于不稳定的污染物可在分别采样、分别测定后取平均值为代表。

生产的周期性也影响污水的排放量,在排放量不稳定的情况下,可将一个排污口不同时间的污水样,依照流量的大小,按比例混合,可得到称之为平均比例混合的污水样。这是获得平均浓度最常采用的方法,有时需将几个排污口水样按比例混合,用以代表瞬时综合排污浓度。

5. 其他水样

例如为监测洪水期或退水期的水质变化,调查水污染事故的影响等都必须采集相应的水样。

采集这类水样时,须根据污染物进入水系的位置和扩散方向布点并采样,一般采集瞬时水样。

二、地表水和地下水水样的采集

1. 水样的类型

(1) 表层水:在河流、湖泊可以直接汲水的场合,可用适当的容器如水桶采样。从桥上等地方采样时,可将系着绳子的聚乙烯桶或带有坠子的采样瓶投于水中汲