



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

环境综合实验

(第二版)

HUANJIING ZONGHE SHIYAN

张仁志 主编

中国环境出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

环境综合实验

(第二版)

张仁志 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

环境综合实验/张仁志主编. —2 版. —北京: 中国环境出版社, 2015.2

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5111-2246-9

I. ①环… II. ①张… III. ①环境监测—实验—高等职业教育—教材 IV. ①X83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 023775 号

出 版 人 王新程
责任编辑 沈 建 董蓓蓓
责任校对 尹 芳
封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (教材图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 4 月第 2 版
印 次 2015 年 4 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 20.25
字 数 488 千字
定 价 39.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环境综合实验》(第二版)

编写组

主 编 张仁志

编委成员 姚淑霞 张尊举 孙 蕾 金泥沙 金 伟

郝冬亮 楼 静 伦海波 董亚荣 王晓娜

赵 育 刘 芳 戴秋香 于成杰

第一版 编者的话

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的,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、对环境数据的运用与把握能力、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、室内空气环境质量监测实验、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,同年被评为国家级精品课。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

第二版 编者的话

《环境综合实验》第一版于2007年1月出版,后经多次修订和印刷,各高校使用反响良好。2013年本教材被教育部确定为“十二五职业教育国家规划教材立项选题”。中国环境管理干部学院以《环境综合实验》为主教材的环境综合实验课程于2006年被评为国家级精品课程,2011年通过国家级精品课程复评,2013年被教育部确定为精品资源共享课立项建设,2014年被确定为国家级精品资源共享课。

我们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、提高动手能力和科研能力、增强学生创新能力和就业能力的必要教学过程,对改变传统的实验教学方式产生了积极的影响。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污染处理研究与实验方法、使用实验仪器设备、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。

环境综合实验在相关高职院校的环境类专业中开设,普遍受到学生、教师和社会的欢迎,并且在环境专业的情境教学、学中做与做中学、项目驱动和引领的现代高职教育理念、教学方法上都有创新和突破。很多高校将环境综合实验课列为环境工程技术、环境监测等专业必修的专业课,是集实验、实训、实习于一体的学中做、做中学理论与实际相结合的课程,是在真实情境下完成的可提高学生动手能力、工作能力、职业能力的实践课程。

结合环境综合实验课程在各高校教学实践中的经验,我们对原教材进行了全面修订:修改了部分实验,使实验项目更加科学,更符合国家标准规范,更具有开放性;增加了部分实验项目,主要是考虑学生的基本技能训练需要、课

程教学需要以及环境监测中的常规项目需要；删除了部分大型仪器分析实验项目等，主要是由于各高校开设的较少；更新了附录中的各类相关环境标准，以便于查阅和使用。

本教材所选定的实验项目经过充分论证，具有典型代表性，并且经过了十几年的教学实践。学生通过这样一些有限的实验项目，触类旁通，基本可以掌握水、大气、噪声环境监测和水、大气、噪声污染控制的基本技能，达到教育培养的目的。

环境综合实验课程注重学生在实验教学中的主体地位。经过本实验课程的学习，学生可加深对所开设的实验课程基本概念、现象、规律与基本原理的理解，了解相关实验设备的结构性能，熟练掌握实验的一般技能和仪器设备的使用方法，掌握常规环境要素的测定方法，学会通过处理、分析实验数据报告实验结果。

在此，向为本教材提供修改意见的老师、同学、工程技术人员一并表示感谢！

由于环境保护教育工作的深入和发展，环境监测与污染治理技术的进步，学生就业和社会需要不断提高都要求不断地增加和修改教学内容，希望您提出宝贵的意见。

由于编者学识和工作经验不足、水平有限，教材中还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

2014 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 水质监测实验	5
实验一 水样采集.....	5
实验二 pH 值的测定.....	8
实验三 电导率的测定.....	10
实验四 浊度的测定.....	13
实验五 残渣的测定.....	19
实验六 色度的测定.....	23
实验七 溶解氧的测定.....	26
实验八 凯氏氮的测定.....	31
实验九 氨氮的测定.....	34
实验十 亚硝酸盐氮的测定.....	39
实验十一 硝酸盐的测定.....	43
实验十二 总氮的测定.....	46
实验十三 磷的测定.....	49
实验十四 余氯的测定.....	52
实验十五 六价格的测定.....	58
实验十六 化学需氧量 (COD _{Cr}) 的测定.....	61
实验十七 高锰酸盐指数的测定.....	64
实验十八 生化需氧量 (BOD ₅) 的测定.....	67
实验十九 化学需氧量 (COD _{Cr}) 在线自动监测实验.....	73
实验二十 氨氮在线自动监测.....	77

第二部分 污水处理工艺实验	81
实验一 沉淀实验	81
实验二 混凝沉淀	86
实验三 加压溶气气浮工艺	90
实验四 砂滤工艺	94
实验五 活性污泥法好氧生物处理工艺	98
实验六 活性污泥耗氧速率的测定	104
实验七 氧转移速率的测定	106
实验八 SBR 处理工艺	110
实验九 塔式生物滤池工艺	115
实验十 生物接触氧化工艺	120
实验十一 生物转盘工艺	124
实验十二 UCT 生物脱氮除磷工艺	128
实验十三 浸入式 MBR 系统工艺	131
实验十四 UASB 高效厌氧生物处理工艺	134
实验十五 厌氧污泥的产甲烷活性的测定	139
实验十六 超滤工艺	142
实验十七 连续流活性炭吸附工艺	145
实验十八 离子交换工艺	149
实验十九 加氯消毒工艺	153
实验二十 紫外消毒工艺	156
第三部分 空气环境监测实验	159
实验一 空气中二氧化硫 (SO_2) 的监测	159
实验二 空气中氮氧化物 (NO_x) 的监测	165
实验三 空气中总悬浮颗粒物 (TSP) 的监测	170
实验四 空气中 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的监测	173
实验五 空气中可沉降颗粒物的监测	176
第四部分 室内空气质量监测实验	180
实验一 氨的测定	180
实验二 甲醛的测定	183
实验三 苯系物的测定	186

实验四 总挥发有机物的测定.....	189
实验五 氨的测定.....	192
第五部分 噪声监测实验	194
实验一 区域声环境的监测.....	194
实验二 交通噪声的监测.....	197
实验三 工业企业厂界噪声的监测.....	199
实验四 建筑施工场界噪声的监测.....	201
第六部分 环境微生物实验	204
实验一 污水生物处理中生物相的观察.....	204
实验二 微生物的显微直接计数法.....	212
实验三 培养基的配制和灭菌.....	214
实验四 微生物的接种、分离纯化与培养.....	217
实验五 水中细菌总数的测定.....	220
实验六 粪大肠菌群的测定.....	223
第七部分 实验设计与创新实验	227
第一节 工艺实验设计基本原理.....	227
第二节 单因素实验设计.....	230
第三节 双因素实验设计.....	233
第四节 正交实验设计.....	234
第五节 常用正交实验表.....	241
第六节 创新实验.....	249
第八部分 实验数据处理	254
第一节 误差.....	254
第二节 准确度.....	257
第三节 精密度.....	257
第四节 工作曲线中可疑值的检验.....	258
第五节 有效数字修约及运算规则.....	259
第六节 实验数据表示方法.....	262

附 录	268
附录一 生活饮用水卫生标准 (GB 5749—2006) (摘录)	268
附录二 城市污水再生利用 城市杂用水水质 (GB/T 18920—2002) (摘录)	272
附录三 地表水环境质量标准 (GB 3838—2002) (摘录)	273
附录四 地下水质量标准 (GB/T 14848—93) (摘录)	279
附录五 农业灌溉水质标准 (GB 5084—2005) (摘录)	281
附录六 渔业水质标准 (GB 11607—89) (摘录)	282
附录七 污水综合排放标准 (GB 8978—1996) (摘录)	283
附录八 城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918—2002) (摘录)	290
附录九 环境空气质量标准 (GB 3095—2012) (摘录)	291
附录十 大气污染物综合排放标准 (GB 16297—1996) (摘录)	293
附录十一 室内空气质量标准 (GB/T 18883—2002) (摘录)	305
附录十二 声环境质量标准 (GB 3096—2008) (摘录)	306
附录十三 工业企业厂界环境噪声排放标准 (GB 12348—2008) (摘录)	307
附录十四 建筑施工场界环境噪声排放标准 (GB 12523—2011) (摘录)	309
参考文献	310

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分为小综合和大综合。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。大综合是对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，而这样的一个过程需要化学分析、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，提高学生动手和科研能力，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。

各分项实验的目的如下。

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、PM_{2.5}、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性;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;获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

掌握环境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;特别是掌握污水生物处理中微生物镜检的基本技能,能够通过生物种群情况判断生物的活性等;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，必须对数据做科学的整理分析，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进行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。应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 水质监测实验

实验一 水样采集

水样的采集是水质监测分析的重要环节。要想获得准确、全面的水质分析资料，首先必须采用正确的采样方法。如果这个环节没有做好，那么，即使分析化验操作再严格细致、准确无误，其结果也是毫无意义的。甚至会得出错误的结论，耽误工作。

水样采集和保存的主要原则是：首先，采集的样品要能代表水体的质量，即水样要有代表性；其次，采集样品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。

一、实验目的

1. 学会采样点的选择。
2. 学会采样器的使用。
3. 掌握各种水样的采集方法。

二、实验仪器

采样容器：采样桶、采样瓶、自动采样器等。

三、实验步骤

（一）地表水样品的采集

1. 采样点的布设。

采样布点通常应包括两个方面的含义：①在水体系统中选择合适的采样地段（断面）；②在所选地段上的具体采样位置，即采样点。

（1）采样断面的布设。

采样断面是指在河流采样中，实施水样采集的整个剖面。采样断面分为对照断面、控制断面、消减断面、背景断面等。

1) 对照断面。为了解流入监测河段前的水体水质状况而设置。这种断面应设在河流进入城市或工业区以前的地方，避开各种废水、污水流入或回流处。

2) 控制断面。为评价、监测河段两岸污染源对水体水质影响而设置。一般设在排污口下游 500~1 000 m 处。

3) 削减断面。指河流接纳废水和污水后，经稀释扩散和自净作用，使污染物浓度显