

21 世纪高等学校本科实验教学示范教材

环境工程综合实验

Huanjing Gongcheng Zonghe Shiyan

主 编 楼菊青

浙江工商大学出版社
Zhejiang Gongshang University Press

21 世纪高等学校本科实验教学示范教材


环境工程综合实验

Huanjing Gongcheng Zonghe Shiyan

主 编 楼菊青

副主编 施小平 李济吾

吴祖良 宋英琦

 浙江工商大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境工程综合实验 / 楼菊青主编. —杭州:浙江工商大学出版社,2008.12

21世纪高等学校本科实验教学示范教材

ISBN 978-7-81140-047-2

I. 环… II. 楼… III. 环境工程—实验—高等学校—教材 IV. X5—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 210937 号

环境工程综合实验

楼菊青 主编

责任编辑 白小平

责任校对 周敏燕

封面设计 刘 韵

责任印制 汪 俊

出版发行 浙江工商大学出版社

(杭州市教工路 149 号 邮政编码 310012)

(E-mail:zjgsupress@163.com)

(网址: <http://www.zjgsupress.com>)

电话:0571-88823703,88831806(传真)

排 版 杭州朝曦图文设计有限公司

印 刷 杭州广育多莉印刷有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 14

字 数 249 千

版 印 次 2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81140-047-2

定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江工商大学出版社营销部邮购电话 0571-88804227

总 序

21 世纪的高等教育,不仅要使学生掌握丰富的理论知识,更应注重创新能力和综合素质的培养。实验教学作为一种重要的教学手段,对培养学生的创新能力、提高学生的综合素质起到不可替代的重要作用。通过实验教学,可以使学生加深对理论知识的理解和巩固,提高学生的实践动手能力,改善学生单一的思维方式,增加学生发现问题和解决问题的途径,培养学生独立研究和创新思考的意识,从而达到创新人才培养的目标。

如何才能确保实验教学的质量?我们认为教材建设是关键,高质量的实验教学首先要有高质量的实验教材。一本好的实验教材,不但可以让学生易于从中弄懂所学知识,更能引起学生学习的兴趣,引导他们走上理论联系实际之路,培养他们深钻细研之精神。当然,实验教材有自己的特点,因为实验教学在形式上相对独立,在体系上相对灵活。目前,实验教学大致有两种类型:一是独立设课的实验教学,二是课内附设的实验教学。从总体上看,我国本科高等教育的实验教材建设还相对滞后,尤其是课内附设的实验教学通常没有规范的教材,只有一些自编的实验指导书,难以充分体现实验教学对理论教学的支撑作用。针对这种情况,我们在调查研究和反复论证的基础上,组织长期从事实验教学的有关教师编写了一套“21 世纪高等学校本科实验教学示范教材”丛书。我们希望通过这套实验教材的出版,能对实验教学的规范化起到引导作用,对实验教学质量的提高起到推动作用。

本丛书包括:《法律技能综合实训》、《环境工程综合实验》、《现代物流综合实验》、《食品工程综合实验》、“文科类专业综合实验系列”(含《统计基础实验》、《财务会计实验》、《工商管理实验》、《公共管理实验》、《出口贸易实验》、《旅游管理实验》、《金融基础实验》、《现代传播实验》等分册)。本丛书力求将专业理论知识通过实验项目的设计,变为学生可以亲身感受的体会,达到活学活用、提高综合素质的目的。

“21 世纪高等学校本科实验教学示范教材”,是依托我校优势学科和特色专业,在总结多年实验教学经验的基础上,精心设计、编写而成,希望能够起到抛砖引玉的作用。由于水平所限,不足乃至谬误在所难免,敬请读者批评指正,以便再版时予以更正,共同推进实验教材质量不断提高。

李金昌

2008 年 12 月于浙江工商大学

前 言

环境工程专业是一门综合性、工程性学科,具有理论性、技术性、实践性强的特点。环境工程专业实验课教学是理论教学的重要辅助部分,是高等院校培养学生过程中的一个重要环节,通过实验教学不仅可以使学生加深理论知识的学习,还能培养学生的动手能力以及分析问题、解决问题的能力 and 实际工作能力。

本书是在近年来环境工程、环境科学等学科长足发展,新理论、新技术不断涌现,对教学内容和要求不断提高,尤其是实验教学对培养学生动手能力和创新能力提出更高要求的背景下,根据学科发展水平和教学内容组织编写的。

本书分四章,绪论为实验教学的目的与要求,第一章为环境监测实验,第二章为水污染控制工程实验,第三章为大气污染控制工程实验,第四章为固体废物污染控制工程实验。这些实验是在紧密围绕国家重大需求、优化实验课程及实验内容的要求下编写的,增设了综合开放性实验和设计性实验。

本书由浙江工商大学环境科学与工程学院教师编写,参加编写的人员均为具有丰富教学经验,并承担实验教学任务的教师。书中各章的编写人员如下:绪论和第二章的实验一至实验八由楼菊青编写,第一章和第四章由施小平编写,第三章的实验一至实验六由李济吾编写,第三章的实验七至实验十三由吴祖良编写,第二章的实验九至实验十五由宋英琦编写。孙培德院长审阅了书稿,并提出了宝贵意见。全书由楼菊青统稿,并最后定稿。

本书可作为高等院校环境工程专业、环境科学专业以及其他相关专业的实验教学用书,也可供科研、设计及管理人員参考。各校可根据实际情况选用其中的实验项目进行教学与实践。

由于编者水平有限,疏漏和不妥之处在所难免。我们热切希望与有关教师、专家共同探讨和研究,恳切希望读者批评指正。

编 者

2008年10月

目 录

绪 论	1
第一章 环境监测实验	4
实验一 废水色度的测定实验	4
实验二 废水浊度的测定实验	6
实验三 废水悬浮固体的测定实验	8
实验四 高锰酸盐指数的测定实验	10
实验五 水中化学需氧量容量法与库仑滴定法的测定实验	13
实验六 水中溶解氧测定实验	18
实验七 水中生化需氧量测定实验	22
实验八 水中挥发酚测定实验	26
实验九 水中矿物油测定实验	30
实验十 水中氨氮的测定实验	33
实验十一 水样中六价铬与总铬的测定实验	39
实验十二 化工废渣中镉的测定实验	42
实验十三 废水中大肠菌群数的测定实验	44
实验十四 大气中总悬浮颗粒物的测定实验	51
实验十五 大气中二氧化硫的测定实验	52
实验十六 大气中氮氧化物的测定实验	56
实验十七 环境噪声的测量及其数据处理实验	58
实验十八 工业废渣渗沥模型实验	60
第二章 水污染控制工程实验	62
实验一 颗粒自由沉淀实验	62
实验二 化学混凝沉淀实验	68
实验三 加压溶气气浮实验	75

实验四	曝气设备充氧能力的测定实验	80
实验五	污水可生化性测定实验	84
实验六	活性污泥性质的测定实验	91
实验七	好氧生物处理实验	93
实验八	SBR 法计算机自动控制系统实验	95
实验九	化学氧化法在有机废水处理中的应用实验	98
实验十	废水中铜的回收实验	102
实验十一	过滤实验	104
实验十二	活性炭吸附实验	109
实验十三	折点加氯消毒实验	114
实验十四	污泥脱水性能实验	119
实验十五	废水处理单元集成实验	123
第三章	大气污染控制工程实验	130
实验一	粉尘样品分取及安息角的测定实验	130
实验二	颗粒粒径分布测定实验	132
实验三	粉尘浓度测定方法实验	135
实验四	旋风除尘器性能测定实验	140
实验五	电除尘器伏安特性测定实验	146
实验六	电除尘器原理及性能测定实验	149
实验七	袋式除尘器性能测定实验	154
实验八	烟气中 SO ₂ 浓度的测定实验	163
实验九	活性炭脱硫性能实验	167
实验十	湿式氨法脱硫性能实验	171
实验十一	旋流板塔气体净化实验	174
实验十二	选择性催化还原(SCR)脱硝实验	177
实验十三	高压电晕等离子处理废气实验	181
第四章	固体废物污染控制工程实验	188
实验一	固体废物的采样与制样实验	188
实验二	固体废物的水分测定实验	194
实验三	固体废物的灰分测定实验	195
实验四	有机固体废物热值测定实验	196

实验五	固体废物毒性鉴别实验·····	201
实验六	固体废物的易燃性鉴别实验·····	202
实验七	固体废物反应性鉴别实验·····	205
实验八	固体废物腐蚀性鉴别实验·····	207
参考文献	·····	210

绪 论

一、实验教学的目与基本程序

环境工程是建立在实验基础上的学科。许多污染现象的解释,污染治理技术、处理设备的设计参数和操作运行方式的确定,都需要通过实验解决。例如,给水处理中混凝沉淀所用试剂种类的选择和生产运行条件的确定以及采用热解焚烧技术处理固体废物时工艺参数的确定等,都需要通过实验测定才能较合理地进行工程设计。

环境工程实验是环境工程学科的重要组成部分,是科研和工程技术人员解决环境污染治理中各种问题的一个重要手段。通过实验研究,可以解决下述问题:

1. 掌握污染物在自然界的迁移转化规律,为环境保护提供依据。
2. 掌握污染治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。
3. 开发新的污染治理技术和设备。
4. 实现污染治理设备的优化设计和优化控制。
5. 解决污染治理技术开发中的放大问题。

(一)实验的教学目的

实验教学是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的一个重要方面。本课程的教学目的如下:

1. 加深学生对基本概念的理解,巩固新的知识。
2. 使学生了解如何进行实验方案的设计,并初步掌握环境工程实验研究方法和基本测试技术。
3. 通过实验数据的整理,使学生初步掌握数据分析处理技术,包括如何收集实验数据、如何正确地分析和归纳实验数据、如何运用实验成果验证已有的概念和理论等。

(二)实验的基本程序

为了更好地实现教学目标,使学生学好本门课程,下面简单介绍实验工作的一般程序:

1. 提出问题。

根据已经掌握的知识,提出打算验证的基本概念或探索研究的问题。

2. 设计实验方案。

确定实验目标后,要根据人力、设备、药品和技术能力等各方面的具体情况进行实验方案的设计。实验方案应包括实验目的、实验装置、实验步骤、测试项目和测试方法等内容。

3. 实验研究。

(1)根据设计好的实验方案进行实验,按时进行测试。

(2)收集实验数据。

(3)定期整理分析实验数据。

实验数据的可靠性和定期整理分析是实验工作的重要环节,实验者必须经常用已掌握的基本概念分析实验数据。通过数据分析加深对基本概念的理解,并发现实验设备、操作运行、测试方法和实验方向等方面的问题,以便及时解决,使实验工作能较顺利地进行。

4. 实验小结。

通过实验数据的系统分析,对实验结果进行评价。小结的内容包括以下几个方面:

(1)通过实验掌握了哪些新的知识。

(2)是否解决了研究中提出的问题。

(3)是否证明了文献中的某些论点。

(4)实验结果是否可用于改进已有的工艺设备和操作运行条件或设计新的处理设备。

(5)当实验数据不合理时,应分析原因,提出新的实验方案。

二、实验教学要求

(一)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,写出简明的预习提纲。预习提纲包括:

1. 实验目的和主要内容。

2. 需测试项目的测试方法。

3. 实验注意事项。

4. 准备好实验记录表格。

(二) 实验设计

实验设计是实验研究的重要环节,是获得满足要求的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,以达到使学生掌握实验设计方法的目的。

(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,必须对数据进行科学的整理分析,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

编写实验报告是实验教学必不可少的环节,这一环节的训练可为学生今后写好科学论文或科研报告打下基础。实验报告包括下述内容:

1. 实验目的。
2. 实验原理。
3. 实验装置和方法。
4. 实验数据和整理结果。
5. 实验结果讨论。

对于综合开放性实验,要求学生通过查阅有关书籍、文献资料,了解和掌握与课题有关的国内外技术状况、发展动态,并在此基础上,根据实验课题要求和实验室条件,提出具体的实验方案设计,包括实验工艺技术路线、实验条件要求、实验计划进度等。综合开放性实验研究报告的内容应包括:

1. 课题的调研。
2. 实验方案的设计。
3. 实验过程的描述。
4. 实验结果的分析讨论。
5. 实验结论。
6. 参考文献。

第一章 环境监测实验

环境监测实验是环境类专业学生必须掌握的基础实践内容之一,是使学生掌握环境样品及其他样品的测试,获取样品相关成分及其组分含量等的实验操作技术。环境监测实验过程中每一步的实施原理及原则,在具体的监测过程中(采样前的现场调查、布点、采样、样品保存、样品预处理、分析方法的选择及其分析测试)需根据具体情况考虑实际操作过程。要求学生熟悉并掌握环境工程中各种监测手段,包括监测方案的制订、样品的采集及保存、监测数据的处理及其综合评价等知识,这是环境工程实践系列中重要的专业基础环节。

实验一 废水色度的测定实验

一、实验目的

了解水样色度的概念,掌握铂钴比色法和稀释倍数法测定水和废水颜色的方法及不同方法所适用的范围。

二、实验原理

天然和轻度污水用铂钴比色法测定色度,工业有色废水常用稀释倍数法辅以文字描述。

1. 铂钴比色法。

水是无色透明的,当水中存在某些物质时,会呈现出一定的颜色。溶解性的有机物,部分无机离子和有色悬浮微粒均可使水着色。pH 值对色度有较大的影响,在测定色度的同时,应测量溶液的 pH 值。

用氯铂酸钾与氯化钴配成标准色列,与水样进行目视比色。每升水中含有 1mg 铂和 0.5mg 钴时所具有的颜色,称为 1 度,作为标准色度单位。

如水样浑浊,则放置澄清,亦可用离心法或用孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 的滤膜过滤以去除悬浮物,但不能用滤纸过滤,因滤纸可吸附部分溶解于水的颜色。

2. 稀释倍数法。

将有色工业废水用无色水稀释到接近无色时,记录稀释倍数,以此表示该水样的色度。并辅以用文字描述颜色性质,如深蓝色、棕黄色等。

三、实验仪器与试剂

1. 实验仪器。

50ml 具塞比色管,其刻线高度应一致。

2. 实验试剂。

铂钴标准溶液:称取 1.246g 氯铂酸钾(K_2PtCl_6)(相当于 500mg 铂)及 1.000g 氯化钴($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)(相当于 250mg 钴),溶于 100ml 水中,加 100ml 盐酸,用水定容至 1 000ml。此溶液色度为 500 度,保存在密塞玻璃瓶中,存放暗处。

四、实验步骤

1. 铂钴比色法的实验步骤。

(1)标准色列的配制。

向 50ml 比色管中加入 0、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50、3.00、3.50、4.00、4.50、5.00、6.00 及 7.00ml 铂钴标准溶液,用水稀释至标线,混匀。各管的色度依次为 0、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、60 和 70 度。密塞保存。

(2)水样的测定。

①分取 50.0ml 澄清透明水样于比色管中,如水样色度较大,可酌情少取水样,用水稀释至 50.0ml。

②将水样与标准色列进行目视比较。观察时,可将比色管置于白瓷板或白纸上,使光线从管底部向上透过液柱,目光自管口垂直向下观察,记下与水样色度相同的铂钴标准色列的色度。

2. 稀释倍数法的实验步骤。

(1)取 100~150ml 澄清水样置烧杯中,以白色瓷板为背景,观察并描述其颜色种类。

(2)分取澄清的水样,用水稀释成不同倍数,分取 50ml 分别置于 50ml 比色管中,管底部衬一白瓷板,由上向下观察稀释后水样的颜色,并与蒸馏水相比较,直至刚好看不出颜色。

五、实验结果整理

1. 铂钴比色法。

$$\text{色度(度)} = (A \times 50) / B$$

(1-1)

式中： A ——稀释后水样相当于铂钴标准色列的色度；

B ——水样的体积(ml)。

2. 稀释倍数法。

$$\text{颜色倍数(倍)} = A_1 \times A_2 \times \cdots \times A_i \quad (1-2)$$

式中： A_i ——每次稀释水样的倍数。

数据取平均值及其相对误差。

六、注意事项

1. 铂钴比色法的注意事项。

(1) 可用重铬酸钾代替氯铂酸钾配制标准色列。方法是：称取 0.0437g 重铬酸钾和 1.000g 硫酸钴($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)，溶于少量水中，加入 0.50ml 硫酸，用水稀释至 500ml。此溶液的色度为 500 度。不宜久存。

(2) 如果样品中有泥土或其他分散很细的悬浮物，虽经预处理而得不到透明水样时，则只测其表色。

2. 稀释倍数法的注意事项。

如测定水样的真色，应放置澄清，取上清液，或用离心法去除悬浮物后测定；如测定水样的表色，待水样中的大颗粒悬浮物沉降后，取上清液测定。

七、思考题

1. 实验的影响因素主要有哪些？
2. 讨论实验结果在工程实践中的应用。

实验二 废水浊度的测定实验

一、实验目的

了解浊度的基本概念，掌握废水浊度的测定方法。

二、实验原理

浊度是表现水中悬浮物对光线透过时所发生的阻碍程度。水中含有泥土、粉砂、微细有机物、无机物、浮游动物和其他微生物等悬浮物和胶体物都可使水样呈现浊度。水的浊度大小不仅和水中存在颗粒物含量有关，而且和其粒径大小、形

状、颗粒表面对光散射特性有密切关系。

将水样和硅藻土(或白陶土)配制的浊度标准液进行比较。相当于 1mg 一定黏度的硅藻土(白陶土)在 1 000ml 水中所产生的浊度,称为 1 度。

三、实验仪器与试剂

1. 实验仪器。

- (1)100ml 具塞比色管。
- (2)1L 容量瓶。
- (3)250ml 具塞无色玻璃瓶,玻璃质量和直径均需一致。
- (4)1L 量筒。

2. 实验试剂。

- (1)硅藻土。
- (2)氯化汞。

四、实验步骤

1. 配制浊度标准液。

(1)称取 10g 通过 0.1mm 筛孔(150 目)的硅藻土,于研钵中加入少许蒸馏水调成糊状并研细,移至 1 000ml 量筒中,加水至刻度。充分搅拌,静置 24h,用虹吸法仔细将上层 800ml 悬浮液移至第二个 1 000ml 量筒中。向第二个量筒内加水至 1 000ml,充分搅拌后再静置 24h。

用虹吸法吸出上层含较细颗粒的 800ml 悬浮液,弃去。下部沉积物加水稀释至 1 000ml。充分搅拌后贮于具塞玻璃瓶中,作为浑浊度原液。其中含硅藻土颗粒直径大约为 400 μ m 左右。

取上述悬浊液 50ml 置于已恒重的蒸发皿中,在水浴上蒸干。于 105 $^{\circ}$ C 烘箱内烘 2h,置干燥器中冷却 30min,称重。重复以上操作,即烘 1h,冷却,称重,直至恒重。求出每毫升悬浊液中含硅藻土的重量(mg)。

(2)吸取含 250mg 硅藻土的悬浊液,置于 1 000ml 容量瓶中,加水至刻度,摇匀。此溶液浊度为 250 度。

(3)吸取浊度为 250 度的标准液 100ml 置于 250ml 容量瓶中,用水稀释至标线,此溶液浊度为 100 度的标准液。

于上述原液和各标准液中加入 1g 氯化汞,以防菌类生长。

2. 浊度低于 10 度的水样测试。

- (1)吸取浊度为 100 度的标准液 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0

及 10.0ml 于 100ml 比色管中,加水稀释至标线,混匀。其浊度依次为 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0 和 10.0 度的标准液。

(2)取 100ml 摇匀水样置于 100ml 比色管中,与浊度标准液进行比较。可在黑色底板上,由上往下垂直观察。

3. 浊度为 10 度以上的水样测试。

(1)吸取浊度为 250 度的标准液 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90 及 100ml 置于 250ml 的容量瓶中,加水稀释至标线,混匀。即得浊度为 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90 和 100 度的标准液,移入成套的 250ml 具塞玻璃瓶中,每瓶加入 1g 氯化汞,以防菌类生长,密塞保存。

(2)取 250ml 摇匀水样,置于成套的 250ml 具塞玻璃瓶中,瓶后放一有黑线的白纸作为判别标志,从瓶前向后观察,根据目标清晰程度,选出与水样产生视觉效果相近的标准液,记下其浊度值。

(3)水样浊度超过 100 度时,用水稀释后测定。

五、实验结果整理

每个样品需至少测试 3 次。注明水样采集的具体地段与位置,数据取平均值及其相对误差。

六、思考题

1. 实验的影响因素主要有哪些?
2. 浊度的其他测试方法有哪些?

实验三 废水悬浮固体的测定实验

一、实验目的

了解水样悬浮固体的概念,掌握重量法测定废水悬浮固体的方法。

二、实验原理

悬浮固体指剩留在滤料上并于 103℃~105℃烘箱中烘至恒重的固体。测定的方法是将水样通过滤料后,烘干固体残留物及滤料,将所称重量减去滤料重量,即为悬浮固体(总不可滤残渣)。

三、实验仪器与试剂

1. 烘箱。
2. 分析天平。
3. 干燥器,真空泵。
4. 孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜及相应的滤器或中速定量滤纸。
5. 布氏漏斗,抽滤瓶。
6. 内径为 $30\sim 50\text{mm}$ 称量瓶。

四、实验步骤

1. 用无齿扁镊将滤膜放在称量瓶中,打开瓶盖,在 $103^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘 2h,取出冷却后盖好瓶盖称重,直至恒重(两次称量相差不超过 0.0005g)。

2. 去除漂浮物后振荡水样,量取均匀适量水样(使悬浮物大于 2.5mg),通过上面称至恒重的滤膜过滤;用蒸馏水洗残渣 3~5 次。如样品中含油脂,用 10ml 石油醚分两次淋洗残渣。

3. 小心取下滤膜,放入原称量瓶内,在 $103^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 烘箱中,打开瓶盖烘 2h,冷却后盖好盖称重,直至恒重为止。

五、实验结果整理

$$\text{悬浮固体}(\text{mg/L}) = [(A - B) \times 10^6] / V \quad (1-3)$$

式中: A——悬浮固体+滤膜及称量瓶重(g);

B——滤膜及称量瓶重(g);

V——水样体积(ml)。

数据取平均值及其相对误差。

六、注意事项

1. 树叶、木棒、水草等杂质应先从水中除去。
2. 废水黏度高时,可加 2~4 倍蒸馏水稀释,振荡均匀,待沉淀物下降后再过滤。
3. 也可采用石棉坩埚进行过滤。

七、思考题

1. 根据水样悬浮固体与浊度的测定结果,讨论两者的相互关系。
2. 分析水样中固体物质存在的形式。