

高等学校教材

Environmental engineering

环境工程

experiments

实验

章非娟 徐竟成 主编




高等教育出版社

高等学校教材

环境工程实验

章非娟 徐竞成 主编

 高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据近年来国内外环境工程的研究成果、发展趋势与教学要求编写而成。

全书由三篇组成,第一篇是实验设计、误差与数据处理、样本的采集与保存等;第二篇是实验教学篇,包括水污染控制工程、固体废弃物处理与资源化、大气污染控制和环境噪声控制、环境化学实验,该篇详细介绍了42个实验项目;第三篇体现了当前高等教育教学改革和数字模拟技术对实验的进一步要求,内容包括综合开放性实验、数字模拟技术在实验教学中的应用与发展,以从实验教学的角度更好地培养学生的创新能力,使实验教学手段与当今科技发展趋势相一致。

本书可作为高等院校环境工程专业、环境科学专业、给水排水专业以及其他相关专业的实验教学用书,也可供科研、设计及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程实验/章非娟,徐竟成主编. —北京:高等教育出版社,2006.1

ISBN 7-04-017781-1

I.环... II.①章...②徐... 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(2005)第 136039 号

策划编辑 陈文 责任编辑 陈海柳 封面设计 张申申 责任绘图 朱静
版式设计 史新薇 责任校对 杨雪莲 责任印制 孔源

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	化学工业出版社印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006年1月第1版
印 张	22.5	印 次	2006年1月第1次印刷
字 数	410 000	定 价	25.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17781-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

本书是在近年来环境科学、环境工程、给水排水等学科长足发展,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。编写过程中,对部分新开设的实验项目进行了教学实践并改进完善,历经近两年时间完成。

全书分为三篇,第一篇是实验设计、误差与数据处理、样本的采集与保存等。第二篇是实验教学篇,其中水污染控制工程实验项目根据长期的教学实践经验进行了重新改写,摒弃个别陈旧的实验项目,新增了与水污染控制工程教学内容发展相一致的新项目。同时,新编了固体废物处理与资源化实验、大气污染控制实验、环境噪声控制实验和环境化学实验,使本书内容齐全,能满足环境工程、给水排水、环境科学的专业实验教学要求。本篇保持了《水污染控制工程实验》在实验装置和实验方法等方面的特色,力求做到简单易行,但又不失实验项目实用性、正确性和科学性的特点,编入的42个实验项目,内容包括实验目的、实验原理、实验装置、实验步骤、实验结果整理及实验结果讨论等。根据当前高等教育教学改革的发展趋势和对大学生创新能力培养的要求,本书设置了第三篇——创新与发展篇,内容包括综合开放性实验、数字模拟技术在实验教学中的应用与发展,力求以从实验教学角度,促进大学生自主创新能力的培养,也使实验教学手段与当今科技发展趋势相一致。

书中各章的编写人员如下:第一、二、三、四章、附录由章非娟、黄翔峰编写;第五章实验三、四、六、七、九、十、十八由章非娟、俞庭康编写,实验一、二、五、十三、十六由张玉先、丁根娣编写,实验八、十一、十五由俞庭康编写,实验十二、十四、十七、十九由丁根娣编写,实验二十由黄翔峰编写;第六章实验一、二、三由赵由才、柴晓利编写,实验四、五、六由赵由才、牛冬杰编写;第七章由羌宁编写;第八章由毛东兴编写;第九章由张冰如、丁根娣编写;第十章第一节、第二节由徐竟成编写,第三节示例一由徐竟成编写,示例二由何品晶编写,示例三由羌宁编写,示例四由王士芬编写,示例五由蒋大和编写;第十一章由徐竟成、许重华编写。

本书可作为高等院校环境工程专业、环境科学专业、给水排水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,尤其是新编实验和创新实验
还需不断实践与完善提高,恳切希望读者批评指正。

编 者

2005年6月于同济大学

目 录

第一篇 总 论 篇

第一章 环境工程实验的教学目的和要求	3
第二章 实验设计	6
第一节 实验设计简介	6
第二节 单因素实验设计	10
第三节 双因素实验设计	15
第四节 正交实验设计	16
第三章 误差与实验数据处理	24
第一节 误差的基本概念	24
第二节 实验数据整理	33
第三节 实验数据的方差分析	35
第四节 实验数据的表示法	40
第四章 实验样本的采集与保存	55
第一节 水样的采集与保存	55
第二节 固体样本的采集与保存	65
第三节 气体样本的采集与保存	70

第二篇 实 验 篇

第五章 水处理实验	81
实验一 混凝实验	81
实验二 自由沉淀实验	89
实验三 成层沉淀实验	95
实验四 压力溶气气浮实验	101
实验五 过滤实验	108
实验六 处理设备流动特性测定	114
实验七 曝气设备充氧性能的测定	126
实验八 活性污泥评价指标实验	135
实验九 工业污水可生化性实验	138
实验十 厌氧消化实验	145
实验十一 污泥比阻的测定	153
实验十二 活性炭吸附实验	160

实验十三	离子交换实验	167
实验十四	膜分离实验	174
实验十五	离子交换膜隔膜电解法实验	178
实验十六	消毒实验	184
实验十七	化学氧化法在有机废水处理中的应用	188
实验十八	酸性废水过滤中和实验	192
实验十九	废水中铜的回收	196
实验二十	活性污泥法动力学系数的测定	198
第六章	固体废物处理与资源化实验	208
实验一	风力分选实验	208
实验二	垃圾中有机质含量的测定	213
实验三	矿化垃圾阳离子交换容量的测定	215
实验四	危险废物鉴别——浸出毒性鉴别实验	219
实验五	热解焚烧条件实验	220
实验六	好氧堆肥模拟实验	223
第七章	大气污染控制实验	227
实验一	粉尘真密度测定	227
实验二	粉尘质量分散度测定	230
实验三	旋风除尘器性能测定	236
实验四	吸收法净化气体中的二氧化硫	245
实验五	活性炭吸附净化气体中的二氧化硫	250
第八章	环境噪声控制实验	255
实验一	城市区域环境噪声测量	255
实验二	城市道路交通噪声测量	259
实验三	工业企业噪声排放测量	262
实验四	设备辐射噪声频谱的现场测量	265
实验五	材料吸声性能的实验室测量	268
第九章	环境化学实验	274
实验一	水中氯化物的测定与评价	274
实验二	废水中铬的形态分布及其去除方法	276
实验三	磷在环境中的形态分析	279
实验四	天然水中油类的测定	283
实验五	苯酚在水溶液中的光化学氧化	287
实验六	重金属在土壤-植物体系中的迁移转化	290

第三篇 创新与发展篇

第十章	综合开放性实验	297
第一节	实验特点与创新	297

第二节	培养方式与要求	297
第三节	参考项目与示例	299
示例一	工业废水深度处理技术与资源化研究实验指南	300
示例二	易腐生活废弃物生物代谢稳定工艺研究实验指南	303
示例三	气态挥发性有机物污染控制研究实验指南	307
示例四	环境微生物高效降解细菌的分离、纯化和筛选实验指南	310
示例五	环境信息技术应用和开发实验指南	313
第十一章	数字模拟技术在实验教学中的应用与发展	316
第一节	数字模拟技术与实验教学	316
第二节	仿真实验及示例	319
附录	328
一、	国际单位制(SI)及单位换算	328
二、	重要元素相对原子质量	331
三、	几种酸和氨水的近似相对密度与浓度	332
四、	各种压力和温度下水中溶解氧饱和浓度	332
五、	常用正交实验表	334
六、	格拉布斯(Grubbs)检验临界值 T_{α} 表	343
七、	F 分布表	344
八、	相关系数检验表	346
参考文献	347

第一篇

总论篇

第一章 环境工程实验的教学 目的和要求

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药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、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) 是否解决了提出研究的问题。

(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。

三、实验的教学要求

1. 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。

2. 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。

3. 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。

4. 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。

5. 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) 实验数据和数据整理结果。
- (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) 参考文献等。

第二章 实验设计

第一节 实验设计简介

一、实验设计的目的

实验设计的目的是选择一种对所研究的特定问题最有效的实验安排,以使用最少的人力、物力和时间获得满足要求的实验结果。广义地说,它包括明确实验目的、确定测定参数、确定需要控制或改变的条件、选择实验方法和测试仪器、确定量测精度要求、实验方案设计和数据处理步骤等。科学合理的安排实验应做到以下几点:

(1) 实验次数尽可能少。

(2) 实验的数据要便于分析和处理。

(3) 通过实验结果的计算、分析和处理,寻找出最优方案,以便确定进一步实验的方向。

(4) 实验结果要令人满意、信服。

实验设计是实验研究过程的重要环节,通过实验设计,可以使我们的实验安排在最有效的范围内,以保证通过较少的实验步骤得到预期的实验结果。例如,在进行生化需氧量(BOD)的测定时,为了能全面地描述废水有机污染的情况,往往需要估计最终生化需氧量(BOD_0 或 L_0)和生化反应速率常数 k_1 ,完成这一实验需对 BOD 进行大量的、较长时间的(约 20 d)测定,既费时又费钱,此时如有较合理的实验设计,就可能以较少的时间得到较正确的结果。表 2-1 是 3 种不同的实验设计得到的结果。图 2-1 和图 2-2 是实验得到的 BOD 曲线。从上述图、表中可以看出,30 个测点的一组实验设计是不合适的,它不能给出满意的参数估算值,原因在于 BOD 是一级反应模型。因此,如果要使实验曲线与实测数据拟合得好些,就要同时调整 k_1 和 L_0 。由图 2-2 可以看到,如果只调整 k_1 ,会使 L_0 变化很大,但模型对前 30 个数据的拟合情况却无显著差异,也就是说,两组截然不同的参数,前 30 个点的拟合情况差别不大。可见在这种实验设计条件下,在一定的实验误差范围内,虽然两个实验者所得的结果都是对的,但结论可能相差很大。20 d、59 次观测的结果虽然好,但需要大量人力与物力;而 20 d、12 次观测的实验安排(表 2-1 中第 4 天 6 个点,第 20 天 6 个点)测试次数最少,且

其参数估算值结果与 59 次观测所得结果相接近。这个例子说明,只要实验设计合理,不必进行大量观测便可得到精确的参数估算值,使实验的工作量显著减少。如果实验点安排不好(如全部安排在早期),虽然得到的参数估算值高度相关,但实验不能达到预期目的。此外,即使实验观测的次数完全相同,如果实验点的安排不同,所得结果也可能截然不同。因此,正确的实验设计不仅可以节省人力、物力和时间,并且是得到可信的实验结果的重要保证。

表 2-1 3 种 BOD 实验设计所得结果

实验安排	参数估算值		参数的协方差
	k_1/d^{-1}	$L_u/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	
20 d, 59 次观测	0.22	10 100	-0.85
0~5 d, 30 次观测	0.19	11 440	-0.998 9
第 4 天 6 次, 第 20 天 6 次	0.22	10 190	-0.63

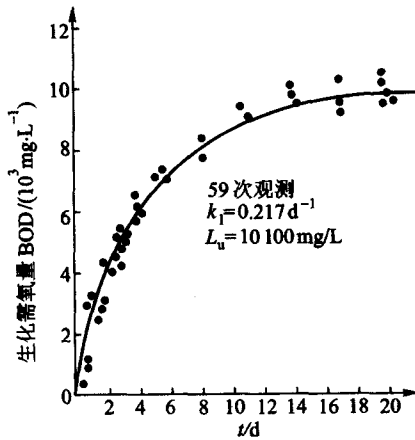


图 2-1 20 d, 59 次观测的 BOD 曲线

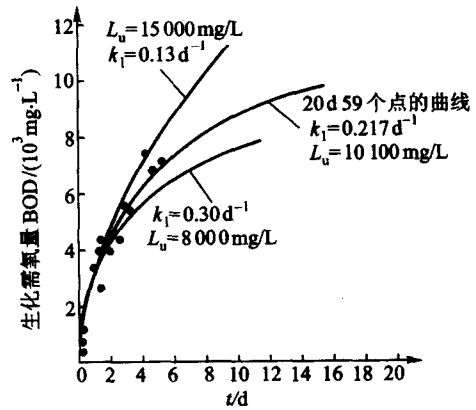


图 2-2 5 d, 30 次观测的 BOD 曲线

二、实验设计的几个基本概念

1. 指标

在实验设计中用来衡量实验效果好坏所采用的标准称为实验指标,或简称指标。例如,在进行地面水的混凝实验时,为了确定最佳投药量和最佳 pH,选定浊度作为评定比较各次实验效果好坏的标准,即浊度是混凝实验的指标。

2. 因素

在生产过程和科学研究中,对实验指标有影响的条件通常称为因素。有一类因素,在实验中可以人为地加以调节和控制,称为可控因素。例如,固体废弃物的风力分选实验中风速的大小,可通过调节风机速率来实现;混凝实验中的投药量和 pH 也是可以人为控制的,属于可控因素。另一类因素,由于技术、设备和自然条件的限制,暂时还不能人为控制,称为不可控因素。例如,气温、风对沉淀效率的影响都是不可控因素。实验方案设计一般只适用于可控因素。下面说到的因素,凡是没有特别说明的,都是指可控因素。在实验中,影响因素通常不止一个,但我们往往不是对所有的因素都加以考察。有的因素在长期实践中已经比较清楚,可暂时不考察。固定在某一状态上,只考察一个因素,这种考察一个因素的实验,称为单因素实验;考察两个因素的实验称为双因素实验;考察两个以上因素的实验称为多因素实验。

3. 水平

因素变化的各种状态称为因素的水平。某个因素在实验中需要考察它的几种状态,就称它是几水平的因素。因素在实验中所处状态(即水平)的变化,可能引起指标发生变化。例如,在污泥厌氧消化实验时要考察 3 个因素——温度、泥龄和负荷率,温度因素选择为 25℃、30℃、35℃,这里的 25℃、30℃、35℃就是温度因素的 3 个水平。

因素的水平有的能用数量表示(如温度),有的则不能用数量表示。例如,在采用不同混凝剂进行印染废水脱色实验时,要研究哪种混凝剂较好,在这里各种混凝剂就表示混凝剂这个因素的各个水平,不能用数量表示。再如,吸收法净化气体中 SO₂ 的实验中,可以采用 NaOH 或 Na₂CO₃ 溶液为吸收剂,这时 NaOH 和 Na₂CO₃ 就分别为吸收剂这一因素的两个水平。凡是不能用数量表示水平的因素,称为定性因素。在多因素实验中,有时会遇到定性因素。对于定性因素,只要对每个水平规定具体含义,就可与定量因素一样对待。

三、实验设计的应用

在生产和科学研究中,实验设计方法已得到广泛应用。概括地说,包括三方面的应用:

(1) 在生产过程中,人们为了达到优质、高产、低耗等目的,常需要对有关因素的最佳点进行选择,一般是通过实验来寻找这个最佳点。实验的方法很多,为能迅速地找到最佳点,这就需要通过实验设计,合理安排实验点,才能最迅速找到最佳点。例如,混凝剂是水污染控制常用的化学药剂,其投加量因具体情况不同而异,因此,常需要多次实验确定最佳投药量,此时便可以通过实验设计来减少实验的工作量。

(2) 估算数学模型中的参数时,在实验前,若通过实验设计合理安排实验