

环境工程实验 方法与技术

HUANJING GONGCHENG SHIYAN FANGFA YU JISHU

苏敏华 彭燕 黄晓武 等 编著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

《环境工程实验方法与技术》介绍了环境工程专业基本概念和基本理论，系统阐述了环境工程专业相关的实验理论、方法与技术。本书共设置了三篇九章。第一篇为实验基础篇，主要内容包括实验操作基础、实验设计、数据处理与分析等。第二篇为常规实验篇，涵盖水、气、声、固废等典型污染物处理的实验理论和技术。第三篇为设计性实验篇，内容包括工业废水、固废等污染物处理的设计性实验和创新性技术。本书力求从实验教学的角度，促进环境科学与工程专业技术人才的培养。本书可作为环境类专业本专科大学生的实验教材，也可作为环境类专业工程技术人员及大中专院校环境工程专业教师的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程实验方法与技术/苏敏华等编著. --北京:
北京理工大学出版社, 2022. 12
ISBN 978 - 7 - 5763 - 1911 - 8

I. ①环… II. ①苏… III. ①环境工程—实验 IV.
①X5 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 236366 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 14. 25

字 数 / 249 千字

版 次 / 2022 年 12 月第 1 版 2022 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 52. 00 元

责任编辑 / 徐 宁

文案编辑 / 李丁一

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

《环境工程实验方法与技术》 编写委员会

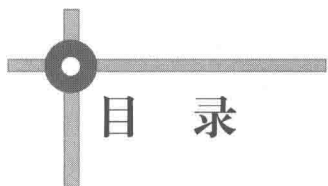
主 编：苏敏华 彭 燕 黄晓武

副主编：张发根 刘永慧 陈镇新

编 委：龚 剑 孔令军 李淑更 罗定贵

庞 博 宋 刚 唐进峰 王伟彤

吴颖娟 肖唐付 张鸿郭



目 录

第一篇 实验基础篇

第一章 环境工程实验的教学目的和要求	3
一、实验的教学目的	3
二、实验的基本流程	3
三、实验的教学要求	4
第二章 实验设计	7
一、实验设计的目的及应用	7
二、实验设计的基本概念	8
三、实验设计的步骤	9
四、实验设计的方法	10
第三章 实验误差与数据处理	18
一、误差的基本概念	18
二、误差的分类	20
三、误差的表示方法	24
四、准确度、精密度、重复性、再现性	26
五、误差理论在质量控制中的应用	27

六、有效数字及其运算	29
七、实验数据表示方法	32

第二篇 常规实验篇

第四章 水处理	41
实验一 自由沉淀实验	41
实验二 混凝沉淀实验	46
实验三 活性炭静态吸附实验	50
实验四 活性炭动态吸附实验	53
实验五 气浮实验	54
实验六 萃取实验	56
实验七 臭氧的氧化脱色实验	58
实验八 污泥特性参数测定实验	62
实验九 废水处理工艺运行效率对比虚拟仿真实验	66
实验十 曝气充氧实验	70
实验十一 完全混合式活性污泥法处理系统的观测和控制运行 实验	74
实验十二 废水特性分析实验	78
实验十三 SBR 法计算机自动控制系统实验	79
第五章 废气处理	84
实验十四 气态污染物净化实验 ——活性炭吸附气体中的 VOCs 实验	84
实验十五 吸收法净化气体中的二氧化硫实验	86
实验十六 旋风除尘器性能测定实验	90
实验十七 袋式除尘器性能测定实验	99
第六章 声污染源监测	105
实验十八 工业设备噪声的测量实验	105
实验十九 城市交通噪声的测量实验	112
实验二十 校园环境噪声水平的测定实验	114

第七章 固废处理处置	117
实验二十一 固体废物分离特性实验	
——城市生活垃圾的特性分析	117
实验二十二 污泥脱水性能实验	123
实验二十三 固体废物热解实验	125
实验二十四 城市生活垃圾的堆肥化实验	126
实验二十五 固体废物厌氧发酵实验	135
实验二十六 危险废物重金属含量及浸出毒性测定实验	138

第三篇 设计性实验篇

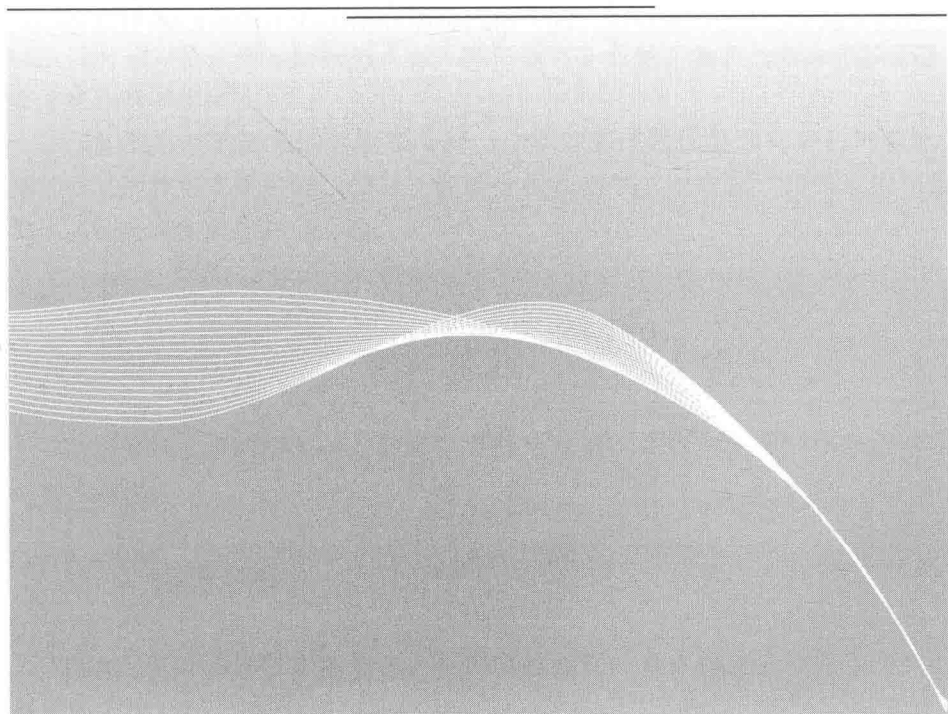
第八章 不同工艺处理印染废水的效果比较	145
实验二十七 聚合氯化铝 (PAC) 和聚丙烯酰胺 (PAM) 处理印染 废水的絮凝实验	145
实验二十八 Fenton 法降解染料实验	146
实验二十九 臭氧氧化法处理印染废水实验	147
实验三十 印染废水活性炭静态吸附实验	148
第九章 固体废物焚烧、热解和特性分离	149
实验三十一 固体废物焚烧与热解实验	149
实验三十二 固体废物特性分离实验	
——城市污泥特性分析	152
参考文献	155

附 录

附录 1 国际单位 (SI) 制基本单位	159
附录 2 水中理化指标测定	160
附录 3 水中溶解氧的测定	
——碘量法	173

附录 4	生化需氧量的测定	
	——稀释接种法	177
附录 5	化学需氧量的测定	
	——重铬酸钾法	182
附录 6	水中氨氮的测定	
	——纳氏试剂光度法	186
附录 7	水中硝酸盐氮的测定	
	——紫外分光光度法	190
附录 8	水中亚硝酸盐氮的测定	
	——N-(1-萘基)乙二胺光度法	193
附录 9	水中挥发酚的测定	
	——4-氨基安替比林直接光度法	198
附录 10	废水中铬的价态分析	203
附录 11	大气中二氧化硫的测定	
	——甲醛吸收—盐酸副玫瑰苯胺分光光度法	208
附录 12	空气中总悬浮颗粒物的测定	
	——重量法	215

第一篇 实验基础篇



第一章 环境工程实验的教学目的和要求

一、实验的教学目的

实验教学主要让学生理论联系实际，培养学生观察、分析和解决问题的能力。教学目的如下：

(1) 加深学生对基本概念的理解，巩固新知识。

(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和分析，让学生掌握数据整理和分析的技术，例如，如何收集实验数据，如何正确地分析和归纳实验数据，如何运用实验结果验证已有的概念和理论等。

二、实验的基本流程

为更好地实现教学目标，使学生更好地掌握本课程，下面简单介绍实验的基本流程。

(一) 提出问题

根据已经学习和掌握的知识，提出实验验证的基本概念或拟探索研究的科学和工程问题。

(二) 设计实验方案

根据所提的问题,确定实验目标,然后设计实验方案。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。

(三) 实验研究

实验研究包括以下内容:

- (1) 根据设计好的实验方案进行实验及测试。
- (2) 收集实验数据。
- (3) 整理和分析实验数据。

实验数据要及时整理和分析,这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和相关专业理论知识分析实验数据。通过分析数据加深对基本概念和研究体系的理解,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,以便及时解决实验过程所遇到的问题,使实验得以顺利进行。

(四) 实验总结

通过实验数据的系统分析,对实验结果进行总结。实验总结包括以下内容:

- (1) 通过实验掌握了哪些新的知识。
- (2) 能否解决提出的科学或工程问题。
- (3) 能否证明文献中的某些论点。
- (4) 实验结果是否可用于改进现有的工艺、技术、运行条件或用于设计新的工艺和设备。
- (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

(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、查阅书籍和文

献,清楚地了解实验项目的要求和目的、实验原理和实验内容,写出清晰明了的预习报告。预习报告包括以下内容:

- (1) 实验目的。
- (2) 实验内容。
- (3) 实验设备及药品。
- (4) 测试对象及测试方法。
- (5) 实验步骤和流程。
- (6) 实验注意事项。
- (7) 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,可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

学生执行实验前应仔细检查实验用具、设备、仪器仪表是否齐全和正常。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表。实验结束后,将实验设备和仪器仪表恢复原状,将实验环境清理干净。学生要注意培养严谨的科学态度,养成良好的工作学习习惯。

(四) 实验数据处理和分析

通过实验获取数据后,学生要及时对数据进行整理,并进行科学分析,去伪存真,去粗取精,以得到正确可靠的结论。

(五) 撰写实验报告

撰写实验报告是实验教学不可或缺的环节,这一环节的训练可为今后撰写科学论文或科研报告打下基础。实验报告包括以下内容:

- (1) 实验目的。
- (2) 实验原理。
- (3) 实验设备及药品。
- (4) 实验步骤及测试方法。
- (5) 实验数据及数据分析。
- (6) 实验结果分析与讨论。
- (7) 实验思考。

对于综合开放设计性实验，要求学生通过查阅有关文献资料，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。实验方案包括实验工艺技术路线、实验条件和要求、实验计划进度等。综合开放设计性实验的研究报告内容包括以下内容：

- (1) 课题调研。
- (2) 实验方案设计。
- (3) 实验过程描述和记录。
- (4) 实验结果分析与讨论。
- (5) 实验结论。
- (6) 参考文献。

第二章 实验设计

一、实验设计的目的及应用

实验设计的目的是选择一种对所研究的特定问题进行最有效的实验安排，以使用最少的人力、物力和时间获得满足要求的实验结果。实验设计包括明确实验目的、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、确定测量精度要求、实验方案设计和数据处理等。科学合理的实验安排应做到以下几点：

(1) 实验次数合理。

(2) 实验数据有效、准确、有说服力。

(3) 通过科学处理和分析实验数据，获得最优实验方案，以便明确下一步的实验方向。

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。如生化需氧量（BOD）的测定时，若预先详细查阅资料或文献，可知20天生化需氧量（ BOD_{20} ）或5天生化需氧量（ BOD_5 ）以及两者的最合适测定次数以获得精确的参考估算值。合理的实验设计，可大大减少人力、物力和时间，提高测量的效率。

实验设计可应用于生产和科学研究中。在生产过程中，人们为达到优质、高产、低能耗等目的，常对相关因素进行优化，从而获得最佳点。在估算数学模型的参数时，通过合理的实验设计，可以获得相关变量的数值及范围，为数学建模提供参考。

二、实验设计的基本概念

(一) 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，或简称为指标。如在进行混凝实验时，为确定最佳投药量和最佳 pH 值，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。

(二) 因素

在科学研究和生产过程中，对实验指标有影响的条件通常称为因素。若在实验中可以人为地加以调节和控制的因素，称为可控因素。如混凝实验中的投药量和 pH 值，是可以人为控制的。若由于技术、设备和自然条件限制，暂时不能人为控制的，则称为不可控因素。如气温、风等对沉淀效率的影响，都属于不可控因素。实验方案设计一般优先考虑可控因素。在实验过程中，需要考察的因素往往不止一个，对于有些因素在长期实践中有较为清晰的认知，可先不考察。若实验过程固定在某一状态，只考察一个因素，则称该实验为单因素实验；若考察因素为 2 个及 2 个以上，这称该实验为多因素实验。

(三) 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，就称为它的几水平因素。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。如在污泥厌氧消化实验时要考察 3 个因素（温度、泥龄、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。

因素的水平有些可用数量表示，有些则不可用数量表示。如混凝实验时，混凝剂的选择可以为硫酸铝或氯化铁等。SO₂ 吸收净化实验时，吸收剂可以为 NaOH 或者 Na₂CO₃。凡是不能用数量表示的水平因素，称为定性因素。在多

因素实验中，有时遇到定性因素。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、实验设计的步骤

(一) 明确实验目的、确定实验指标

研究对象需要解决的问题，一般不止一个。例如，在进行混凝效果的研究时，需要解决的问题有最佳投药量、最佳 pH 值和水流速度梯度等问题。一次实验无法同时解决以上问题，故我们执行实验前，要明确哪个问题是需要优先解决的，然后确定相应的实验指标。

(二) 挑选因素

在明确实验目的和确定实验指标后，要分析研究影响实验指标的因素。在有的实验因素中，要排除那些影响不大或者已经掌握的因素，让它们固定在某一状态，然后挑选那些对实验指标有可能较大影响的因素来进行考察。如进行 SO_2 吸收净化实验时，不同的吸收剂及吸收剂浓度、气流速度、吸收液流量等因素均会影响吸收效果，可以在以往实验的基础上，控制吸收剂浓度和吸收剂流量在一定水平，考察不同种类的吸收剂和气体流速对吸收效果的影响。

(三) 选定实验设计方法

因素选定后，可根据研究对象的具体情况决定选用哪一种实验设计方法。如对于单因素问题，则选用单因素实验设计法；3 个以上因素的问题，则可以选择用正交实验设计法；若要进行模型筛选或确定已知模型的参数估计，则可采用序贯实验设计法。

(四) 实验安排

上述问题都解决后，就可以进行实验点位置安排，开展具体的实验工作。

四、实验设计的方法

(一) 单因素实验设计

单因素实验是指进行只有一个影响因素的实验，或虽有多个影响因素，但在安排实验时只考虑一个对指标影响最大的因素，其他因素尽量保持不变。在生产和科学实验中，人们为了达到优质、高产、低耗的目的，需要对有关因素的最佳点进行选择，这些最佳点选择的问题被称为优选问题。利用数学原理，合理地安排实验点，减少实验次数，从而迅速找到最佳点的一类科学方法被称为优选法。单因素优选法的实验设计包括均分法、对分法、黄金分割法、分数法等。

1. 均分法

均分法是在实验范围内，根据精度要求和实际情况，均匀地安排实验点，在每个实验点上进行实验并相互比较以求得最优点的方法。在对目标函数的性质没有全面掌握的情况下，均分法是最常用的方法，可以作为了解目标函数的前期工作，同时可以确定有效的实验范围。均分法的优点是得到的实验结果可靠、合理，适用于各种实验目的；缺点是实验次数较多，工作量较大，不经济。

2. 对分法

对分法也被称为等分法、平分法，也是一种简单方便、广泛应用的方法。对分法总是在实验范围 $[a, b]$ 的中点 $[x_1 = (a + b)/2]$ 上安排实验，根据实验结果判断下一步的实验范围，并在新范围的中点进行实验。如结果显示 x_1 取大了，则去掉大于 x_1 的一半，第二次实验范围为 $[a, x_1]$ ，实验点在其中点 $[x_2 = (a + x_1)/2]$ 上。重复以上过程，每次实验就可以把查找的目标范围减小一半，这样通过 7 次实验就可以将目标范围缩小到实验范围的 1% 之内，10 次实验就可以将目标范围缩小到实验范围的 1‰ 之内。对分法的优点是每次实验能去掉实验范围的 50%，取点方便，实验次数大大减少；缺点是适用范围较窄，要根据上一次实验结果得到下一次实验范围。