

辽宁大学环境与生态应用型专业系列教材

HUANJINGGONGCHENG ZHUANYE ZONGHE

SHEJI YANJIUXING SHIYAN JIAOCHENG

环境工程专业综合设计、 研究性实验教程

HUANJINGGONGCHENG

ZHUANYE ZONGHE SHEJI

YANJIUXING SHIYAN JIAOCHENG

■ 主编 包红旭

辽宁大学出版社

HUANJINGGONGCHENG ZHUANYE ZONGHE

SHEJI YANJIUXING SHIYAN JIAOCHENG

环境工程专业综合设计、 研究性实验教程

HUANJINGGONGCHENG
ZHUANYE ZONGHE SHEJI
YANJIUXING SHIYAN JIAOCHENG

■ 主编 包红旭

辽宁大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程专业综合设计、研究性实验教程/包红旭
主编. —沈阳: 辽宁大学出版社, 2016. 11
辽宁大学环境与生态应用型专业系列教材
ISBN 978-7-5610-8445-8

I. ①环… II. ①包… III. ①环境工程—实验—高等
学校—教材 IV. ①X5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 307617 号

环境工程专业综合设计、研究性实验教程

HUANJING GONGCHENG ZHUANYE ZONGHE SHEJI YANJIU XING SHIYAN JIAOCHENG

出 版 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印 刷 者: 沈阳海世达印务有限公司

发 行 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

幅面尺寸: 170mm×240mm

印 张: 13.5

字 数: 249 千字

出版时间: 2016 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2017 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 张 蕊

封面设计: 高梦琦

责任校对: 齐 悦

书 号: ISBN 978-7-5610-8445-8

定 价: 28.00 元

联系电话: 024-86864613

邮购热线: 024-86830665

网 址: <http://press.lnu.edu.cn>

电子邮件: lnupress@vip.163.com

前 言

《环境工程专业综合设计、研究性实验教程》是根据教育部“综合设计、研究性实验教学改革”文件要求，规范授课内容，统一学习方法等要求编写，力求从工程实验教学角度，结合工程实际应用，促进学生自主创新能力的培养，调动学生动手、动脑、动心的学习积极性，同时使实验教学手段与当今工程技术发展趋势相一致，符合环境工程专业向应用型转型教学改革要求。

本实验教程是以环境工程专业的教学特色和学科特点为出发点，根据作者长期的教学实践经验编写的，确保书中涉及的实验项目具有实用性、正确性和科学性的特点。全书共分为十章，其中第1~4章介绍了实验的设计、数据处理、实验样品的采集与保存及实验室的安全要求和急救措施。第5~10章为具有典型代表性的实验项目，包括废水中典型重金属的特性及治理技术实验、室内空气污染典型污染物、固体废物的污染治理及资源化高值利用处理实验、环境水质检测及水污染控制工程实验、村镇污水小型低成本处理工艺的污水处理厂设计、环境工程典型生物反应器（模型）设计及制作。每个实验项目分为综合设计性实验和研究性试验两部分。内容按照实验目的、实验原理、实验材料、实验步骤、实验结果、注意事项和思考题七方面的一般实验流程编写。涵盖水、气、固废、微生物、工程设计和工艺设计6大部分，并将相关知识进行统编整合。内容齐全能够满足环境工程和环境科学专业综合设计、研究性实验教学的要求。

本书主体部分由辽宁大学包红旭教授执笔完成，由包红旭教授统稿。在撰写过程中，蔡伟伟、江磊、张浩、杨华参加了相关章节的编写工作。

本书可以作为高等院校环境工程、环境科学和微生物等专业研究生和本科生的教材或科研参考书，也可以供环境保护等领域的相关研究人员参考。

由于编者水平有限，书中可能存在错误和疏漏之处，敬请有关专家和广大读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
第 1 节 教学目的	1
1 学科介绍	1
2 教学目的	2
第 2 节 课程体系	3
1 实验内容	3
2 实验形式	4
第 3 节 实验的教学要求	5
1 课前预习	5
2 实验设计	6
3 实验操作	6
4 数据处理	6
5 编写实验报告	6
第 4 节 实验的基本程序	7
1 实验目的	7
2 实验原理	7
3 实验材料	7
4 实验步骤	7
5 实验结果	7
6 注意事项	8
7 思考题	8

第 2 章 实验设计与实验数据处理	9
第 1 节 实验设计的简介	9
1 实验设计概念	9
2 实验设计的目的与原则	10
3 实验设计的步骤	11
第 2 节 实验设计的方法	13
1 单因素实验设计	13
2 双因素实验设计	14
3 多因素实验设计	15
第 3 节 实验误差分析	17
1 真值与平均值	17
2 误差的分类	18
3 精密度、准确度和精确度	19
第 4 节 实验数据的处理	21
1 有效数字	21
2 有效数字运算规则	21
3 列表法	22
4 图解法	22
第 3 章 实验样品的采集与保存	25
第 1 节 水样的采集与保存	25
1 水样的采集	25
2 水样的预处理	27
3 水样的保存	28
第 2 节 气体样品的采集与保存	32
1 气体样品的采集	32
2 气体样品的保存	35
第 3 节 微生物的保存	36
1 保藏方法	36

2 器材	37
3 操作步骤	38
第 4 节 玻璃仪器的使用、清洗及存放	41
1 实验室常用仪器使用	41
2 玻璃仪器的清洗	44
3 玻璃仪器的干燥	45
4 玻璃仪器的存放	46
第 4 章 实验室的安全要求与急救措施	47
第 1 节 化学实验室的一般安全规则	47
1 化学实验室的一般规则	47
2 一般安全操作规程	48
3 一般仪器的安全使用	49
第 2 节 危险废弃物的处理处置	51
1 危险物质	51
2 废弃物质	53
第 3 节 实验室内的事故处理	55
1 化学药品中毒的预防方法	55
2 化学药品中毒的应急处理方法	56
3 其他事故的应急处理	57
4 最重要毒物应急处理	58
第 5 章 废水中典型重金属的特性及治理技术实验	61
第 1 节 综合设计性实验	61
1 重金属污染的特性及处理技术研究	61
2 实验菌株复壮(扩配)	69
3 水质典型重金属国标规范及测量	75
第 2 节 研究性实验	81
1 细菌单因素多水平吸附条件试验	81
2 细菌生长条件优化实验及重金属吸附特性研究	85

第6章 室内空气污染典型污染物

——甲醛的污染防治实验	89
-------------------	----

第1节 综合设计性实验	89
-------------------	----

1 甲醛的污染特性及防治技术研究	89
------------------------	----

2 甲醛定量和定性测定	94
-------------------	----

3 甲醛快速检测系统的测量	97
---------------------	----

第2节 研究性实验	100
-----------------	-----

1 室内典型污染物（甲醛）的污染评价研究	100
----------------------------	-----

2 甲醛常规检测技术的应用和简易、快速检测系统的对比研究	103
------------------------------------	-----

第7章 固体废物的污染治理及资源化高值利用处理实验	106
---------------------------------	-----

第1节 综合设计性实验	106
-------------------	-----

1 固体废物含水率、挥发分和灰分的测定	106
---------------------------	-----

2 微晶纤维素和玉米秸秆降解率的测定	108
--------------------------	-----

3 纤维素预处理实验	111
------------------	-----

第2节 研究性实验	115
-----------------	-----

1 纤维素厌氧发酵产氢实验	115
---------------------	-----

2 纤维素类生物质厌氧发酵产沼气实验	119
--------------------------	-----

3 秸秆在土壤中的降解率测定实验	122
------------------------	-----

第8章 环境水质监测及水污染控制工程实验	125
----------------------------	-----

第1节 综合设计性实验	125
-------------------	-----

1 化学需氧量的测定（重铬酸钾法）	125
-------------------------	-----

2 氨氮的测定（纳氏试剂比色法）	129
------------------------	-----

3 测定粪大肠菌群（滤膜法）	133
----------------------	-----

4 悬浮物（SS）的测定（重量法）	138
-------------------------	-----

第2节 研究性实验	140
-----------------	-----

1 模拟工业废水的厌氧消化实验	140
-----------------------	-----

2 活性污泥评价指标实验	144
--------------------	-----

第 9 章 村镇污水小型低成本处理工艺的污水处理厂设计	149
第 1 节 综合设计性实验	149
1 污水处理厂的工艺选择	149
2 各处理单元的介绍及水解酸化池的设计	155
3 附属构筑物设计和污水处理厂规划	160
第 2 节 研究性实验	164
1 特种野猪养殖示范场养殖废水处理厂工艺设计	164
2 城市污水处理及中水回用技术的研究	167
第 10 章 环境工程典型生物反应器（模型）设计及制作	172
第 1 节 综合设计性实验	172
1 反应器（模型）的参数设计	172
2 MFC 反应器电极的制作与反应器的组装	181
3 UASB 反应器（模型）的启动及运行	184
第 2 节 研究性实验	187
1 小型 CSTR 处理微晶纤维素的运行特性研究	187
2 UASB 处理啤酒废水的运行特性研究	190
3 MEC 反应器处理秸秆发酵废液产氢的运行特性研究	194
参考文献	199

第1章 绪论

第1节 教学目的

1 学科介绍

环境工程学科是一门面向环境问题的应用型学科，必然随着新的环境问题的出现和人类解决环境问题的方式变化而不断发展拓宽自己的领域、发展新的分支学科。中国的环境工程教育始于20世纪70年代末，真正形成规模是在80年代末期，快速发展则处于高校大力扩招的90年代后期。起初，仅有少数工科高校设有环境工程专业，随着社会对环境工程人才需求的增加，环境工程专业逐渐在理、农、医、经、管等类学校出现，设置环境工程专业高校的比例也由1977年0.8%增加到2004年37.9%。截至2004年，全国高校环境工程专业点达到247个。随着我国政府对环境治理和生态保护力度的加大，环境工程专业为不断适应经济发展和环境保护事业需要，不断在探索中发展、壮大、完善，为满足社会发展的需要培养了大批的环境专业人才。随着环境保护事业的不断深入，我国环境保护相关产业经历了从量变到质变的发展过程，在快速发展的同时，加快了产业结构的调整步伐，可持续发展和循环经济战略在国民经济发展中得到加强，环境保护相关产业的发展基本走过了以“三废”治理为主要特征的发展阶段，正在朝着有利于改善经济的环境品质、促进经济增长、提高经济档次的方向发展，这样就对环境专业人才应具备的知识、能力、素质提出了更高的要求。为使环境专业学生能适应可持续发展的环境战略目标，环境工程教育应及时进行课程体系改革，优化课程结构体系，以创新教育理念培养学生的创新能力和创新精神，实现“厚基础、高素质、重实践、强能力、宽适应”的全新的教学内容和课程体系，为拓宽学生专业知识，为培养多样化、

个性化、高素质的创造性人才构建好平台。

环境污染治理实验是环境工程专业的一门实践性必修课，是环境工程专业教学的一个重要环节。其主要任务是：通过实验使学生初步掌握有关水、气、固废处理技术的基本实践方法、手段和操作技能，巩固和加深学生对所学理论知识的理解，培养学生独立思考、分析问题和解决问题的能力，并树立实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风。实验的基本要求是：掌握实验的基本原理和操作方法；能独立进行实验的全过程；实验过程中，要实事求是，严肃认真，细致整洁，爱护仪器设备；初步掌握测试技术及试验数据的分析处理技术，独立完成实验报告。本书的主要针对对象为环境工程专业的本科生及研究生，同时也可作为从事环境行业的从业人员的参考用书。

2 教学目的

本书的选题以高等院校环境工程专业的学生作为主要的编写对象，紧扣环境工程本科教学大纲的要求。实验分为综合设计类和研究型实验两大部分，实验内容涉及水体、大气以及固废等方面的热点污染问题。综合设计类实验可以帮助学生从横向上更为全面地了解该实验的目的及意义，能够将该实验与课堂上学到的专业知识进行很好的结合，锻炼提高学生设计实验验证问题的能力。研究型实验则是属于纵向深入某一实验问题，能够帮助学生更为深入地学会整个实验过程，培养学生自己动手探究问题的能力。教材根据环境工程专业工程类教学、实验进行“综合设计、研究性实验教学改革”、方便学生上课、规范教师授课的要求编写。教材以环境工程专业的教学特色和学科特点为出发点，结合实际应用，以促使学生真正掌握工程类的实验技术，提高实际应用能力，调动学生动手，动脑，动心的积极性，真正为社会培养掌握环境工程技术的人才。教材共分6个部分，分别从水、气、固废、微生物、工程设计和工艺设计进行全方位讲解，使之各具特色，并将相关的知识进行了统编整合。适合环境工程专业开设的“综合设计、研究性实验”课程，同时也适应环境工程专业应用型转型教学教材。

第2节 课程体系

1 实验内容

本书按照环境工程教学大纲的要求,将环境工程核心的专业课程有机地结合起来,主要包括第5章的环境微生物,第6章的大气污染控制工程,第7章的固体废弃物处理处置实验,第8章的环境监测实验,第9章的污水处理厂设计实验以及第10章的水处理反应器设计实验。

第5章的实验内容包括微生物的培养、复壮以及吸附特性的研究。让学生从了解微生物学的基础开始,逐渐扩展到熟悉微生物的应用。在加深学生专业知识背景的同时,促进学生学以致用思维。

第6章以常见的大气污染物甲醛为例,更能贴近学生的生活,激发学生的科研兴趣。首先是甲醛治理的背景知识的介绍,让学生对将要进行的实验有整体上的理解,然后从甲醛的检测开始,比较了不同的甲醛检测方法,其中包括市面上常见到的家用甲醛快速自测管的使用。研究性实验中对不同甲醛检测技术进行了比较,让学生体会到科学研究在生活中的实际运用,更好地将实验与实际相结合。

第7章主要以秸秆作为研究对象。秸秆在我国产量巨大,但是整体利用率偏低,这也是实际中亟待解决的热点问题。本章实验详细介绍了秸秆的成分以及利用的方式。研究性实验中让学生自己动手做厌氧发酵产氢的实验,同时降解率的测定实验则是以秸秆还田作为其实际应用的背景。通过这些实验,学生能够更好地了解实际工程上的秸秆处理,避免了仅仅是理论上的学习。

第8章选取了废水中常见的几种代表性的指标,包括COD的测定、氨氮的测定以及粪大肠杆菌的测定。另外,还介绍了活性污泥指标的测定。这一章的实验内容是后期水处理工程实验的基础,让学生更好地了解各项指标所代表的意义,同时为后期的水处理工程实验打好基础。

第9章则是污水处理厂的设计实验,包括污水处理厂的工艺的选择、处理单元的设计、附属构筑物的规划等。在研究性实验中介绍了特种养殖废水的性质及处理工艺、中水回用的处理工艺及回用方式。让学生自行选取废水,自行设计工艺,在实验室条件允许的情况下进行实验的运行。强化学生对水处理工

艺的了解，更好地面对实际生活中可能遇到的水处理问题。

第 10 章主要以水处理中的典型反应器为主进行实验。以厌氧处理为主，综合设计实验中主要介绍了 CSTR、UASB、MFC 三种反应器的工作原理以及设计参数。研究性实验中则以实际废水作为对象进行反应器的运行实验。其中，MFC 反应器作为现在新兴的一种水处理技术，虽然还没有实际的应用，但是越来越多的人开始进入这一领域进行研究。让本科生参与到这种先进反应器的设计、运行过程中可以很好地激发他们科研的兴趣，开阔眼界。

2 实验形式

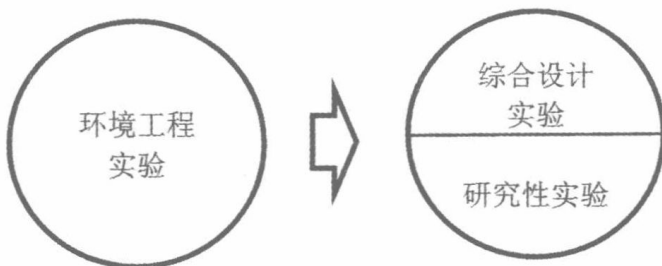


图 1-1 实验形式

本书中将环境工程实验分成综合设计实验与研究性实验两部分。

2.1 综合设计实验

综合设计实验是后面研究性实验的基础，是根据专业人才综合能力培养要求，结合工程实际开设的实验。综合设计实验中，摒弃了之前实验课程中传统的教师演讲、学生模仿的简单技能训练。实验以学生作为主体，充分发挥他们的主动性，更多地强调学生的参与，让学生从实验的背景原理知识当中，进行独立实验设计。实验内容的选取上则更加贴近学生生活，同时实验还带有一定的深度，既提高了学生基础知识掌握的深入程度，又带动学生进行更为深层次的思考。

2.2 研究性实验

研究性实验以实际的应用为主，主要强调了学生如何将综合设计实验中学到的技能应用到实际中去。同时也强调突出了研究性，实验结果不再具有量化的参考标准，如厌氧发酵产氢实验，实验的效果可能会因人而异，这与学生的基础知识、动手能力都有很大关联。学生在这样一种过程中，一是可以增加

他们对科学研究的理解,与一些先进性的实验有所接触;二是可以促进他们对如何将课堂教学中学到的处理技术应用于实际的理解能力的提高,如让学生动手去设计反应器,并且在实验室中以实际废水作为底物运行反应器,除了可以很好地让学生在掌握反应器运行时需要调控的各项参数以外,还能让学生熟悉反应器在工程应用当中所起到的作用。另外,该研究性实验还具有一定的创新性,能够让学生更多地了解前沿的科学进展。

第3节 实验的教学要求

1 课前预习

学生在课前应做到提前预习,了解实验目的与原理,对于较为复杂的实验,还应该提前查阅一些相关文献,做好准备。预习内容应包括以下几个方面:

1.1 实验目的和实验原理

了解本节实验的主要目的,提前预习本节实验的原理,对于不理解的地方可以查阅相关的文献作为参考。

1.2 实验材料与实验中各指标的测定方法

提前阅读实验材料,想一想哪些是自己用过、接触过的,对于那些没有接触过的药品或者仪器,可以提前查阅资料了解一下药品的性质和仪器的工作原理。了解实验过程中需要测定哪些指标,看看自己还会不会测定这些指标,对于之前学过但是忘记的应该及时进行复习,对于新的测定方法应提前查阅资料进行了解。

1.3 实验过程有无危险性及注意事项

仔细阅读实验教材中的实验过程,对于有危险性的实验应当提前做好准备,防止意外情况的发生。实验中需要注意的问题应当提前有所准备,以免实验过程中太过于忙乱而忽略了这些问题。

1.4 准备好实验记录的表格或记录本

根据实验结果的需要，准备好实验结束后记录数据的表格或是实验记录本。

2 实验设计

实验设计是一个实验能否顺利进行的保障，根据实验需要，在时间充足的情况下可以要求学生提前做好实验设计，并在实验课开始时进行讨论修正，然后再进行实验。在实际教学过程中，如果时间受限，也可将实验设计放到实验结束后进行，以达到学生掌握实验设计方法的目的。

3 实验操作

实验操作前学生应当仔细检查实验设备，检查仪器是否完好，仪表是否准确，同时准备好实验所需的材料。在实验过程中要仔细阅读实验教材，按照实验教材上的步骤进行，在操作一些大型仪器的过程中要严格按照各仪器的操作说明，认真观察实验现象，精心测定实验数据，并时刻保持记录。实验结束后应将实验室还原并清理干净。大型仪器应该恢复原样。在这一过程中，学生应注重培养自己严谨的科学态度，养成良好的工作学习习惯。

4 数据处理

实验结束后要及时对数据进行处理，不能拖延数据处理的时间。数据处理过程可以参考本书中数据处理部分的要求与方法。必须实事求是，不能弄虚作假，编造数据。

5 编写实验报告

实验结束后，应及时编写实验报告，并及时上交。实验报告是对学生整个实验工作的总结，因而是必不可少的环节，实验报告的主要内容包括：实验目的、实验原理、实验材料、实验结果、实验讨论。

第4节 实验的基本程序

本书中的综合设计性实验和研究性实验主要包含以下实验过程：

1 实验目的

提出该实验对学生的具体要求，根据实验内容，主要包括需要了解的知识 and 需要掌握的部分。

2 实验原理

介绍实验的背景与原理，其中还包括一些国内外的研究进展，尽可能多地扩展学生的知识面，让学生对实验中所研究的问题有更广泛、更深入的了解。

3 实验材料

详细列出了本实验中所需要的实验材料，主要包括实验试剂和一些实验过程中用到的仪器设备。

4 实验步骤

详细给出了实验操作的过程，学生在实验过程中可以严格地按照该步骤进行操作，也可以根据实验原理，做出适当的调整与创新，但是应该在调整前及时与教师沟通，在合理的情况下进行实验的改进。

5 实验结果

实验结果主要分为数据整理与结果讨论两部分。实验结束后，学生应及时处理数据，并以图表的形式将数据表现出来。小组之间针对各小组的结果进行讨论，探讨结果的差异性以及导致结果差异性的原因，分析各小组在实验操作过程中存在的问题。