



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



环境工程学

王晓昌 张承中 主编

张承中 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

主编

 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

环境工程学

Huanjing Gongchengxue

王晓昌 张承中 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,系根据教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会制定的“环境科学专业规范”的教学基本要求,结合我国污染控制的实际需要而编写的本科专业教材。

本书共四部分,十七章。第一部分理论导引,包括第一章绪论,第二章相关概念和基础理论。第二部分水环境工程学,包括第三章水环境和水污染,第四章水处理系统概述,第五章物理处理法,第六章物理化学处理法,第七章化学处理法及第八章生物处理法。第三部分空气环境工程学,包括第九章空气环境与空气污染,第十章空气污染净化系统,第十一章颗粒态污染物净化技术,第十二章气态污染物的控制,第十三章机动车污染物的控制及第十四章城市扬尘污染控制。第四部分固体废物管理工程学,包括第十五章固体废物概述,第十六章固体废物的收集、运输和预处理及第十七章固体废物的最终处置和资源化技术。

本书可供高等学校环境科学专业本科教学使用(48~64学时),也可作为从事环境科学工作的科技和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程学/王晓昌,张承中主编. —北京:高等教育出版社,2011.1

ISBN 978-7-04-028984-8

I. ①环… II. ①王… ②张… III. ①环境工程学-高等学校-教材 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 215622 号

策划编辑	陈 文	责任编辑	谭 燕	封面设计	于文燕
责任绘图	尹 莉	版式设计	余 杨	责任校对	王效珍
责任印制	朱宇忠				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭传印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 22.5
字 数 420 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 35.10 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 28984-00

前 言

“环境工程学”是高等学校环境科学专业的核心专业课。根据教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会制定的“环境科学专业规范”的教学基本要求，该课程教学应以学生较完整地掌握水污染治理、空气污染治理、固体废物管理的工程学原理，了解相关工程设计的基本知识为目的。同时，随着我国高等教育的发展和就业市场对环境类专业人才需求的变化，宽口径人才培养成为教育教学改革的方向。在这种形势下，一方面需要教材的内容有较宽的覆盖面，另一方面又要适合48~64学时课程教学的要求。为此，作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，本书在编写过程中充分考虑上述要求，根据我国环境污染控制的实际需要，结合西安建筑科技大学环境类专业30多年的教学经验，并吸收国内外同类教材之所长，经过几年的努力终将正式出版。

本书由理论导引、水环境工程学、空气环境工程学、固体废物管理工程学四部分组成，共包含十七章。理论导引部分除环境工程学概述外，对与后续三部分学习密切相关的反应工程和胶体化学的基础知识进行了概要性阐述。这些基础知识并非环境科学专业已开设的相关专业基础课程内容的重复，而是选择了与工程学应用密切相关的内容。在后续三部分的编写中，水环境工程学部分注重了水污染控制与处理技术的系统性介绍，并以水和废水处理方法学为中心进行内容编排；空气环境工程学部分注重了污染物来源和空气净化系统的介绍，并以各种主要污染物的控制技术为中心进行内容编排；固体废物管理工程学部分注重了固体废物性质和污染途径的介绍，并以固体废物管理流程为重点进行内容编排。鉴于环境工程学所涉及内容的广泛性，虽然本书的编写考虑了环境科学专业学时的限制，尽量缩减了相关内容，但从工程学教材的技术完整性出发，本书的篇幅亦不宜过小。因此，教学中可根据学时数和前期专业基础课程的设置情况，从本书中适度划分课内授课和课外阅读的内容。

全书由西安建筑科技大学王晓昌、张承中主编，清华大学蒋展鹏教授主审。参加本书编写的人员有：王晓昌（第一、二、三、四章）；金鹏康（第五、六、七、八章）；张承中（第九、十章）；黄学敏（第十一、十三章）；刘立忠（第十二、十四章）；杨毅（第十五、十六、十七章）。在本书编写过程中，得到了教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会同仁的鼓励和指导，高等教育出版社陈文副编审、谭燕编辑为本书出版付出了辛勤的劳动，在

此表示衷心感谢。由于环境工程学是一门不断发展的工程科学，加之编者水平有限，本书尚存在许多不足之处，诚挚期待读者提出批评和建议，以便再版时进一步完善。

编 者

2010年7月

目 录

第一部分 理论导引

第一章 绪论	3
1.1 环境工程学的定义	3
1.2 环境工程学的研究范畴	5
1.2.1 水环境工程学	5
1.2.2 空气环境工程学	8
1.2.3 固体废物管理工程学	9
习题	10
第二章 相关概念和基础理论	11
2.1 环境污染控制	11
2.1.1 环境污染及污染物	11
2.1.2 污染物浓度及其度量	12
2.1.3 环境质量标准	13
2.2 环境工程学的反应工程基础	14
2.2.1 物料平衡和质量传递	14
2.2.2 混合和反应	16
2.2.3 反应动力学模型	18
2.3 环境工程学的胶体化学基础	20
2.3.1 胶体和表面	20
2.3.2 胶体的基本性质	21
2.3.3 胶体混凝的基本原理	27
习题	31

第二部分 水环境工程学

第三章 水环境和水污染	35
3.1 水环境	35
3.1.1 地球上的水循环	35
3.1.2 人类聚居区域的水环境代谢	38
3.1.3 水环境标准	41
3.2 水污染	43

3.2.1	污染指标	43
3.2.2	污染源与污染负荷量	48
3.3	水体的自净作用	49
3.3.1	水体对污染物的自净过程	49
3.3.2	复氧过程	51
3.3.3	Streeter-Phelps 方程	51
3.3.4	氧垂曲线	52
	习题	53
第四章	水处理系统概述	55
4.1	给水处理系统	55
4.1.1	过滤技术的发展历史	55
4.1.2	常规快滤处理系统	56
4.1.3	预处理和深度给水处理	57
4.1.4	水中溶解性无机物的去除	58
4.1.5	其他水处理方法	58
4.2	城市污水处理系统	59
4.2.1	污水处理技术的发展历史	59
4.2.2	典型的城市污水处理流程	60
4.2.3	污水深度处理和回用	60
4.3	工业废水处理系统	61
4.3.1	工业废水的分类和水质特点	61
4.3.2	工业废水处理方法	62
4.3.3	废水处理方法的选择	63
	习题	63
第五章	物理处理法	64
5.1	沉淀	64
5.1.1	沉淀原理和沉速公式	64
5.1.2	沉淀池中颗粒的运动规律	65
5.1.3	沉淀效率的提高方法	66
5.1.4	沉淀设备	67
5.2	气浮	71
5.2.1	气浮原理	71
5.2.2	气浮工艺与设备	72
5.3	过滤	75
5.3.1	过滤原理	75

5.3.2 普通快滤池	76
5.3.3 滤池冲洗	78
5.3.4 滤池的各种形式	78
习题	82
第六章 物理化学处理法	83
6.1 混凝	83
6.1.1 混凝机理	83
6.1.2 混凝剂	86
6.1.3 混凝过程	86
6.1.4 混凝设备	87
6.2 吸附	90
6.2.1 吸附原理	90
6.2.2 吸附等温式	91
6.2.3 吸附工艺与设备	93
6.3 离子交换法	95
6.3.1 离子交换原理	95
6.3.2 离子交换平衡	96
6.3.3 离子交换工艺及设备	98
6.4 膜分离	98
6.4.1 膜分离原理	98
6.4.2 常用水处理膜	99
6.4.3 膜处理系统及工艺	100
习题	103
第七章 化学处理法	104
7.1 化学沉淀	104
7.1.1 化学沉淀原理	104
7.1.2 常用的化学沉淀法	105
7.1.3 化学沉淀工艺	108
7.2 氧化还原	108
7.2.1 氧化还原的原理	108
7.2.2 氧化法	109
7.2.3 还原法	112
7.3 消毒	114
7.3.1 消毒的动力学原理	114
7.3.2 消毒方法	115

习题	117
第八章 生物处理法	118
8.1 活性污泥法	118
8.1.1 活性污泥法的基本原理	118
8.1.2 活性污泥反应动力学基础	121
8.1.3 活性污泥法的常见运行方式	123
8.2 生物膜法	125
8.2.1 生物膜法的原理	125
8.2.2 生物膜法的主要特征	126
8.2.3 常见生物膜法处理工艺	126
8.3 厌氧生物处理	128
8.3.1 厌氧消化的原理	128
8.3.2 厌氧消化微生物学	129
8.3.3 厌氧消化工艺设备	131
8.4 生物脱氮除磷技术	134
8.4.1 生物脱氮原理	134
8.4.2 生物除磷原理	136
8.4.3 生物脱氮除磷工艺	136
习题	139

第三部分 空气环境工程学

第九章 空气环境与空气污染	143
9.1 空气环境	143
9.1.1 空气的组成	143
9.1.2 大气圈垂直结构	144
9.2 空气污染	146
9.2.1 空气污染的含义	146
9.2.2 空气污染的影响	146
9.2.3 空气污染的类型	147
9.3 空气污染物	150
9.3.1 气溶胶状态污染物（颗粒态污染物）	150
9.3.2 气体状态污染物	152
9.3.3 室内空气污染物	154
9.4 空气质量控制标准	157
9.4.1 环境空气质量标准	157

9.4.2 工业企业设计卫生标准	157
9.4.3 大气污染物排放标准	158
9.4.4 空气污染指数及报告	158
习题	160
第十章 空气污染净化系统	161
10.1 空气污染净化方法分类	161
10.1.1 气溶胶污染物除尘方法	161
10.1.2 气态污染物净化方法	161
10.2 空气污染净化装置	163
10.2.1 除尘器	163
10.2.2 吸收塔	163
10.2.3 吸附器	164
10.2.4 催化转化装置	164
10.3 净化装置的技术性能指标	165
10.3.1 主要技术性能指标	165
10.3.2 净化效率的表示方法	166
10.3.3 排放浓度及排放速率	167
10.4 净化装置的选择	168
10.4.1 除尘装置的选择	168
10.4.2 吸收装置的选择	169
10.4.3 吸附装置的选择	171
10.4.4 催化转化装置的选择	172
10.5 净化装置的费用	173
10.5.1 设备费	173
10.5.2 运行费	174
10.5.3 总费用	174
习题	175
第十一章 颗粒态污染物净化技术	177
11.1 颗粒态污染物控制原理	177
11.1.1 颗粒物的粒径及粒径分布	177
11.1.2 粉尘的物理性质	178
11.1.3 颗粒物捕集的理论基础	180
11.2 机械式除尘器	182
11.2.1 重力沉降室	182
11.2.2 惯性除尘器	182

11.2.3 旋风除尘器	183
11.3 袋式除尘器	185
11.3.1 概述	185
11.3.2 袋式除尘器的滤料和结构形式	188
11.4 电除尘器	190
11.4.1 概述	190
11.4.2 电晕的发生	191
11.4.3 电场	192
11.4.4 粒子荷电	192
11.4.5 粒子的捕集	193
11.4.6 粉尘比电阻对电除尘器运行的影响	195
11.5 湿式除尘器	196
11.5.1 概述	196
11.5.2 重力喷雾洗涤器	196
11.5.3 旋风洗涤器	197
11.5.4 自激喷雾洗涤器	198
11.5.5 文丘里洗涤器	199
习题	200
第十二章 气态污染物的控制	201
12.1 气态污染物净化原理	201
12.1.1 气体吸收原理	201
12.1.2 气体吸附原理	206
12.2 二氧化硫污染净化技术	210
12.2.1 湿法烟气脱硫技术	210
12.2.2 干法喷钙烟气脱硫技术	213
12.2.3 半干法烟气脱硫技术	214
12.3 氮氧化物污染净化技术	216
12.3.1 干法	217
12.3.2 半干法	218
12.3.3 湿法	219
12.4 温室气体的净化技术	219
12.5 恶臭物质的净化技术	221
习题	223
第十三章 机动车污染物的控制	224
13.1 机动车排气中的主要污染物	224

13.2 汽车污染物排放的控制方法	225
13.2.1 控制汽车燃油蒸发排放	225
13.2.2 汽车尾气排放的机内控制	226
13.2.3 汽车排气净化	229
13.3 在用车污染物排放的控制措施	234
习题	236
第十四章 城市扬尘污染控制	237
14.1 城市扬尘	237
14.1.1 城市扬尘的含义	237
14.1.2 城市扬尘的主要来源	238
14.1.3 城市扬尘贡献率的确定方法	240
14.1.4 城市扬尘污染现状	242
14.2 城市扬尘控制原理与防治措施	243
14.2.1 城市扬尘的影响因子	243
14.2.2 城市扬尘的控制原理	244
14.2.3 城市扬尘的控制措施	245
习题	249
第四部分 固体废物管理工程学	
第十五章 固体废物概述	253
15.1 固体废物的来源及分类	253
15.1.1 固体废物的来源	253
15.1.2 固体废物的分类	254
15.2 固体废物的性质	257
15.2.1 工业固体废物的性质	257
15.2.2 城市生活垃圾的性质	257
15.2.3 危险废物的性质	259
15.3 固体废物的污染途径及其危害	260
15.3.1 固体废物的污染途径	260
15.3.2 固体废物的污染危害	261
15.4 固体废物污染防治的原则	262
15.4.1 固体废物污染防治的“三化”原则	262
15.4.2 全过程管理原则	263
习题	263

第十六章 固体废物的收集、运输和预处理	264
16.1 固体废物的收集和运输	264
16.1.1 工业固体废物的收集和运输	264
16.1.2 城市生活垃圾的收集和运输	264
16.1.3 危险废物的收集、贮存和运输	268
16.2 固体废物的压实技术	269
16.2.1 压实原理	269
16.2.2 压实程度的度量	270
16.2.3 压实设备及其选择	270
16.3 固体废物的破碎技术	271
16.3.1 固体废物破碎原理	271
16.3.2 破碎程度的度量和破碎段	273
16.3.3 破碎工艺流程和设备	273
16.4 固体废物的分选技术	274
16.4.1 分选原理	274
16.4.2 分选效果评价	274
16.4.3 分选方法	274
16.5 固体废物的固化/稳定化处理	278
16.5.1 固体废物固化/稳定化处理的目的是要求	278
16.5.2 固体废物固化/稳定化处理效果的评价指标	279
16.5.3 固体废物固化处理方法	280
16.5.4 固体废物药剂稳定化处理	282
习题	283
第十七章 固体废物的最终处置和资源化技术	284
17.1 固体废物的生物转化技术	284
17.1.1 有机固体废物的好氧堆肥	284
17.1.2 固体废物的厌氧发酵	288
17.2 固体废物的焚烧技术	291
17.2.1 焚烧原理	291
17.2.2 焚烧工艺系统	293
17.3 固体废物的土地填埋技术	295
17.3.1 土地填埋技术分类	295
17.3.2 生活垃圾卫生填埋处置	296
17.3.3 其他土地填埋处置	300
习题	302

参考文献	303
附录	308
附录 1 地表水环境质量标准 (GB 3838—2002)	308
附录 2 污水综合排放标准 (GB 8978—1996)	311
附录 3 城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918—2002)	318
附录 4 环境空气质量标准 (GB 3095—1996)	320
附录 5 大气污染物综合排放标准 (GB 16297—1996)	322
附录 6 生活垃圾填埋场污染控制标准 (GB 16889—2008)	341
附录 7 生活垃圾焚烧污染控制标准 (GB 18485—2001)	345

第一部分

理论导引

环境工程学的研究对象是控制和防治环境污染的工程学方法。进入这门课程的学习,首先需要对其研究范畴有一个全面的了解,同时需要明确与环境污染控制相关的一些通用的基本概念,还需要弄清本门课程涉及的工程学原理与哪些基础科学原理密切相关。基于这样的考虑,本书设置了理论导引部分,包括第一章绪论和第二章相关概念和基础理论。第一章主要从环境工程学的定义出发,较详细地论述了水环境工程学、空气环境工程学、固体废物管理工程学这三个工程学分支的形成历史和发展概况。第二章首先介绍了环境污染及污染物的基本概念,污染物浓度的度量方法,以及与污染控制相关的环境质量标准,然后针对与污染物迁移转化过程关系最为密切的两个基础科学原理,即反应工程原理和胶体化学原理进行了概要性阐述。与专业基础课不同,这里对基础科学原理论述的着眼点是工程学过程中基本理论的应用,舍去了大篇幅理论叙述,尽可能深入浅出,提纲挈领地进行原理和方法的归纳,以便读者在学习后续各个部分时能较快明确各种工程学原理和工程学方法的科学基础。对于环境科学专业的本科生而言,前期专业基础课程的开设可能会因校而异。因此,教学中应根据实际情况,以采取课内讲授和课后阅读相结合的方法为宜。本部分,尤其是第二章的内容也可作为学生在学习后续部分内容时的参考资料。

第一章

绪 论

1.1 环境工程学的定义

通过“环境学”及其他课程的学习，我们已经了解了“环境”的定义。所谓环境（environment），从广义上来说，是指影响生物生存的外部世界（everything that affects an organism during its lifetime）。这里的生物当然包括人类，且主要指的是人类。因此，按照人类中心说（anthropocentric）的理论，环境可以是指以人类为主体的外部世界，即人类赖以生存和发展的物质条件的整体，包括自然环境和社会环境，它既包括天然的自然因素，也包括经过人工改造的自然因素的总体，如大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。

然而，在一个现代的工业化社会中，人们往往会忽视人类生存与自然环境之间的依存关系。其主要原因就是人类通过工程的手段对环境的改造越来越多，所以人们直接接触原本的自然环境的机会越来越少，以至于忘记了一个根本的事实，就是我们所需要的一切实际上都来源于自然。我们生活的地球拥有丰富的资源，进入技术时代（technological age）以来，工程学（engineering）的发展在很多方面都是与资源的开发与利用有关的：矿业工程（mining engineering）旨在勘探、开采、精选矿产资源，以获得人类所需的原料；石油化学工程（petroleum and chemical engineering）旨在从石油和天然气资源中得到可用的燃油、燃气产品；机械电气工程（mechanical and electrical engineering）旨在将天然资源或能量转换为能直接为人类服务的动力或电力；农业工程（agricultural engineering）旨在为人类生产粮食，而其原料实际上来源于太阳能、土壤和肥分中所含的营养物；土木与市政工程（civil and municipal engineering）旨在提供人类居住和生活的服务，它也包含了天然资源或能源的直接