



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水质工程学

(上册)

谢水波 姜应和 主编
张晓健 陶 涛 主审



免费电子课件

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

D00757404

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水质工程学

(上册)

主 编 谢水波 姜应和
副主编 胡锋平 乔庆云
参 编 张浩江 朱忆鲁
 袁华山 李仕友
 严子春
主 审 张晓健 陶 涛



机械工业出版社

本书为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，是我国第一部以培养给水排水科学与工程应用型专业人才为主的《水质工程学》教材。教材系统地论述了水质工程学科的基本理论、给水与污水处理的主要技术与发展趋势。全书共四篇 24 章分为上、下册。上册：第 1 篇 总论，内容包括水资源、水质与水质标准、水处理方法概论、水的预处理与深度处理。第 2 篇 水的物理、化学及物理化学处理，内容包括凝聚与絮凝、沉淀、气浮、过滤、吸附、氧化还原与消毒、离子交换、膜滤技术、水的冷却、腐蚀与结垢等处理方法。下册：第 3 篇 生物处理理论与应用，内容包括活性污泥法、生物膜法、厌氧生物处理、自然生物处理系统、污泥处理、处置与利用等。第 4 篇 水处理工艺系统与处理厂设计，内容包括常用给水处理、特种水源水处理、城市污水处理、工业废水处理等。

本书可作为给水排水科学与工程、环境工程等专业的的基本教材，也可以供相关领域的科技人员参考。

本书配有电子课件，免费提供给选用本教材的授课教师，需要者请根据书末的“信息反馈表”索取。

图书在版编目 (CIP) 数据

水质工程学. 上册/谢水波, 姜应和主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-28646-2

I. 水… II. ①谢…②姜… III. 水质—水处理—高等学校—教材
IV. TU991.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 217576 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘涛 责任编辑: 刘涛 版式设计: 霍永明

封面设计: 王伟光 责任校对: 陈延翔 责任印制: 洪汉军

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·27.25 印张·546 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-28646-2

定价: 39.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是根据全国高校给水排水科学与工程专业指导委员会关于教材编写与水质工程学课程教学要求编写的。

我国给水排水工程专业设立于 20 世纪 50 年代初,随着工业和城市建设的发
展,已不适应我国当前社会主义市场经济的特点,满足不了水工业以及水资源短缺
对给水排水科学与工程高级应用型人才培养的要求,改革势在必行。

水的循环分为水的自然循环和社会循环。从天然水体取水,经过处理,以满足
工农业或人们生活对水质水量的需求,用过的水经适当处理后回用或者排回天然水
体,称为水的社会循环。水工业就是服务于水的社会循环的新型产业。它与服务于
水的自然循环及其调控的水利工程,构成了水科学与工程的两个方面。我国水污染
问题日趋复杂,水危机形势非常严峻,人均水资源占有量仅为世界平均值的 1/4,
时空分布极不均衡,造成的损失约占 GDP 的 1.5%~3%。水资源短缺和水环境污
染已成为我国社会经济发展的重要制约因素。社会的进步、水环境污染加剧与人们
对饮用水水质要求不断提高的矛盾将日益增大,水质矛盾已上升为当前水工业的主
要矛盾。

我国城市建设快速发展,工农业与城市用水量正在接近我国的水资源的极
限量,但水污染治理相对滞后,建设节水型社会任务繁重。解决水资源危机必须开源
节流,以水资源的可持续利用支持我国社会经济的可持续发展。水是可再生的资
源,水的循环利用是节水的重要方面。水在使用过程中水量并不减少,只是混入了
各种废弃物,使水质发生了变化而丧失或部分丧失了使用功能而成为污、废水。如
果对其进行处理,恢复其使用功能,就可以循环利用。这不仅减少了向天然水体取
水的数量,缓解水资源短缺,也减少了排放污水的数量,降低了对水环境的污染。

产业的发展离不开相关学科专业的强力支持。以生物工程、电子信息、新材料
等为代表的高新技术的发展不断推动水工业的发展。水质工程学是给水排水科学
与工程的主干学科,它以水的社会循环为主要研究对象,以化学和生物学为基础,在
水量和水质两个方面以水质为核心,向水资源和水环境、工农业、建筑业等方向拓
展,以满足水工业发展的需求。

与 50 年前创立的给水排水工程专业相比,现在的给水排水科学与工程专业的
研究对象从作为“城市基础设施”拓展为“水的社会循环”;学科的内涵从以“水
量”为目标转变为兼顾“水质与水量”;把按用途划分的给水和排水统一到水的
社会循环及水的循环利用体系之中,并大量吸收高新技术,学科耳目一新。

专业的发展,需要科学的教材体系。《水质工程学》就是为适应新的学科体系



而编的教材之一，内容涉及物理、化学、物理化学及生物技术，综合性很强。从技术原理上，它可以分为水质“控制技术”、“分离技术”和“转化技术”。水质控制技术是水污染控制的分支，是将污染介质与水环境隔离，以保护水源水质为目的；分离技术是利用污染物或者介质在理化性质上的差异使其从水中分离，提高水的质量；转化技术是利用化学或者生物反应，使杂质或者污染物转化为无害或者易于分离的物质，从而使水得到净化。传统水处理理论教材按水处理的目的是分为“给水工程”、“排水工程”等，在内容安排上存在较多重复。随着水环境污染问题的突出，给水处理与废水处理技术已经相互渗透，其界限已逐渐模糊，一些水处理方法在给水、污废水处理中都有采用。

在编写中，本教材系统分析和归纳了水质科学所涉及的技术原理，提炼出了具有共性的基本原理、现象和过程，改按处理目的分类为按水处理单元方法分类编写，避免内容重复，重点介绍水处理理论与设计的原理和方法。在理论性、实用性和新颖性等方面，加强了理论与实践的衔接，突出基础性，保持实用性，体现以人为本的理念。在编写风格上力求新、实、精；在内容选择上，加强了学科最新的基础理论、前沿动态与工程实践经验、国内外最新技术成果的介绍，采用新规范、吸收新技术，给出了一些工程案例。从内容编排、习题设计等方面强调学生对基础理论的掌握，基本能力的培养，以提高学生独立分析和解决工程实际问题的能力为出发点。

本教材主要面向培养给水排水专业应用型高级专门人才的高校。

本教材分为上、下两册，上册含1~15章，下册含16~24章。第1~4章由南华大学谢水波编写；第5章由辽宁工程技术大学朱忆鲁编写；第6~7章、第21章由华东交通大学胡锋平编写；第8章由扬州大学乔庆云编写；第9~11章由谢水波和湖南大学张浩江编写；第12~13章由兰州交通大学严子春编写；第14章由南华大学袁华山编写；第15章及上册中练习题均由南华大学李仕友编写；第16章由武汉理工大学姜应和、张翔凌编写；第17章由河南城建学院史乐君编写；第18~20章由南华大学王劲松、谢水波编写；第22章由河北工程大学李思敏编写；第23章由史乐君和武汉理工大学吴俊峰编写；第24章由武汉理工大学张少辉编写。全书由谢水波、姜应和任主编，清华大学张晓健教授、华中科技大学陶涛教授主审。

本教材编写中引用了大量文献资料，文献名未一一列出，特此声明，并向这些文献的作者表示感谢。由于作者水平所限，书中不妥和错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编者

目 录

前言

第 1 篇 总 论

第 1 章 绪论	2
1.1 水的循环	2
1.1.1 水的自然循环	2
1.1.2 水的社会循环	2
1.1.3 水的良性社会循环	3
1.2 我国水资源的特点	5
1.2.1 我国水资源分布的特点	5
1.2.2 我国水资源的利用情况	6
1.3 水体污染与危害	7
1.3.1 化学性污染与危害	7
1.3.2 物理性污染及其危害	8
1.3.3 生物性污染及其危害	9
1.3.4 次生污染与危害	9
1.4 应对我国城市水资源危机的策略	10
1.4.1 建设节水型社会.....	10
1.4.2 明晰初始水权, 确定水资源宏观总量与微观定额两套指标体系.....	11
1.4.3 开发新的水资源.....	11
1.4.4 水资源的科学调用.....	12
练习题	13
第 2 章 水质与水质标准	14
2.1 水中的杂质与性质	14
2.1.1 水体中的杂质来源与分类.....	14
2.1.2 几种典型水体的水质特点.....	16
2.2 水体污染与自净	18
2.2.1 水中常见的污染物及其来源.....	18
2.2.2 水体的富营养化.....	19
2.2.3 水体的自净.....	20



2.3 饮用水与健康	21
2.3.1 水生物对人体健康的影响	21
2.3.2 水中的化学物质对人体健康的影响	22
2.3.3 水质与地方病	24
2.4 水质指标与用水水质标准	24
2.4.1 水质指标	24
2.4.2 生活饮用水水质标准	27
2.4.3 其他用水的水质标准	33
2.5 污水的排放标准	34
2.5.1 污水排放标准制定的依据	34
2.5.2 国外的污水排放标准	34
2.5.3 我国的污水排放标准	35
练习题	38
第3章 水处理方法概论	39
3.1 主要单元处理方法	39
3.1.1 水的物理化学处理方法	39
3.1.2 水的生物处理方法	40
3.2 水处理中的反应器	41
3.2.1 反应器的类型	41
3.2.2 物料在反应器内的流动模型	42
3.2.3 物料在反应器内的停留时间与停留时间分布	44
3.2.4 水处理中反应器的应用	49
3.3 水处理基本方法与工艺	51
3.3.1 水处理工艺流程	51
3.3.2 典型给水处理流程	52
3.3.3 典型污水处理流程	52
练习题	54
第4章 水的预处理与深度处理	55
4.1 概述	55
4.2 格栅与筛网	56
4.2.1 格栅	56
4.2.2 格栅维护管理	58
4.2.3 筛网	59
4.2.4 格栅与筛网的设计	59



4.3 水的调节	61
4.3.1 概述.....	61
4.3.2 水量调节.....	62
4.3.3 水质调节.....	63
4.3.4 水量水质调节.....	66
4.4 水的预处理技术	66
4.4.1 氯化预氧化.....	67
4.4.2 吸附预处理.....	67
4.4.3 生物预处理.....	67
4.4.4 强化常规工艺.....	67
4.5 水的深度处理技术	68
4.5.1 臭氧氧化.....	68
4.5.2 活性炭吸附和臭氧活性炭.....	68
4.5.3 膜处理技术.....	68
4.6 几种预处理工艺简介	69
练习题.....	69

第 2 篇 水的物理、化学及物理化学处理

第 5 章 凝聚与絮凝	72
5.1 胶体结构与性质	72
5.1.1 胶体的特性.....	72
5.1.2 胶体结构.....	74
5.1.3 胶体凝聚动力学.....	75
5.2 水的混凝	81
5.2.1 水的混凝特点.....	81
5.2.2 水的混凝机理.....	82
5.2.3 铝、铁盐混凝剂的作用机理.....	84
5.2.4 影响混凝的主要因素.....	86
5.3 混凝剂与助凝剂	87
5.3.1 混凝剂.....	87
5.3.2 助凝剂.....	90
5.4 混合与絮凝反应	90
5.4.1 混凝剂的制备与投加.....	90
5.4.2 混合过程.....	91



5.4.3	絮凝反应过程	92
5.5	混凝试验	93
5.6	混凝设施的设计计算	94
5.6.1	混凝反应设备的类型	94
5.6.2	混凝池设计计算	97
5.6.3	混凝设备设计中的几个问题	99
5.7	混凝过程的运行与管理	100
	练习题	102
第6章	沉淀与澄清	104
6.1	沉淀理论	104
6.1.1	沉淀类型	104
6.1.2	自由沉淀理论	105
6.1.3	沉淀试验及沉淀曲线	108
6.2	理想沉淀池	114
6.2.1	理想沉淀池原理	114
6.2.2	理想沉淀池与实际沉淀池的差别	119
6.3	平流式沉淀池	121
6.3.1	平流式沉淀池的构造	122
6.3.2	平流式沉淀池设计计算	126
6.4	竖流式沉淀池	131
6.4.1	竖流式沉淀池的构造	131
6.4.2	竖流式沉淀池设计计算	132
6.5	辐流式沉淀池	132
6.5.1	辐流式沉淀池的构造	132
6.5.2	辐流式沉淀池设计计算	133
6.6	斜板(管)沉淀池	133
6.6.1	斜板(管)沉淀理论	133
6.6.2	斜板(管)沉淀池设计计算	135
6.7	澄清池	136
6.7.1	泥渣悬浮型澄清池	137
6.7.2	泥渣循环型澄清池	138
6.7.3	澄清池的工艺设计	140
6.8	沉砂池	146
6.8.1	平流式沉砂池	146
6.8.2	曝气沉砂池	150



练习题.....	151
第7章 气浮	156
7.1 气浮法的基本原理	156
7.1.1 水中杂质颗粒与微气泡相粘附的机理	156
7.1.2 药剂对气浮工艺的影响	158
7.2 气浮系统的类型与装置	159
7.2.1 电解气浮法	159
7.2.2 散气气浮法	160
7.2.3 溶气气浮法	163
7.3 气浮装置的设计计算	165
7.3.1 空气饱和设备	165
7.3.2 溶气水的减压释放设备	167
7.3.3 气浮池	167
7.4 气浮法的应用	168
7.4.1 压力溶气气浮法在含藻水处理中的应用	169
7.4.2 压力溶气气浮法在含油废水处理中的应用	169
7.4.3 压力溶气气浮法在强化一级污水处理中的应用	170
7.4.4 涡凹气浮法在废水处理中的应用	170
练习题.....	171
第8章 过滤	172
8.1 过滤概述	172
8.1.1 过滤工艺及其发展	172
8.1.2 快滤池的工艺过程	173
8.2 过滤理论	175
8.2.1 截留机理	175
8.2.2 过滤水力学	179
8.3 滤料与承托层	187
8.3.1 滤料	187
8.3.2 承托层	193
8.4 滤池冲洗	194
8.4.1 概述	194
8.4.2 滤池冲洗的方法	195
8.4.3 高速水流反冲洗水力学	198
8.4.4 滤池的配水系统	201



8.4.5 滤池冲洗的构筑物	213
8.5 几种常用滤池的设计	217
8.5.1 普通快滤池的设计	217
8.5.2 V形滤池	221
8.5.3 无阀滤池	222
8.5.4 虹吸滤池	226
8.5.5 移动冲洗罩滤池	228
练习题	230
第9章 活性炭吸附	235
9.1 吸附的类型与机理	235
9.1.1 吸附的类型及其机理	235
9.1.2 吸附平衡与吸附等温线	239
9.2 影响吸附的因素及操作方式	244
9.2.1 影响吸附的因素	244
9.2.2 吸附操作种类和方式	246
9.3 活性炭及其特性	248
9.4 活性炭的吸附工艺	251
9.4.1 固定床吸附装置的处理性能	251
9.4.2 泄漏曲线和吸附容量的利用	252
9.4.3 活性炭的再生	254
练习题	256
第10章 消毒	257
10.1 概述	257
10.2 氯消毒	258
10.2.1 氯的性质	258
10.2.2 氯的消毒过程	258
10.2.3 加氯点的确定	260
10.2.4 加氯设备、加氯间和氯库	260
10.3 氯胺消毒和漂白粉消毒	261
10.3.1 氯胺消毒	261
10.3.2 漂白粉消毒	262
10.4 二氧化氯消毒	262
10.4.1 二氧化氯的理化性质	262
10.4.2 二氧化氯的消毒作用	263



10.4.3 二氧化氯的制取	264
10.5 臭氧消毒	267
10.5.1 臭氧的理化性质	267
10.5.2 臭氧消毒	268
10.5.3 臭氧的制备	268
10.6 物理消毒法	269
10.6.1 紫外线消毒法	269
10.6.2 辐射消毒法	270
10.6.3 加热消毒法	270
练习题	270
第11章 离子交换	272
11.1 离子交换基本原理	272
11.1.1 离子交换树脂的类型	272
11.1.2 树脂的基本性能	273
11.1.3 离子交换平衡	275
11.1.4 离子交换速度	278
11.1.5 树脂层离子交换过程	280
11.2 离子交换软化方法与系统	281
11.2.1 RNa 交换软化法	281
11.2.2 RH 交换软化法	282
11.2.3 RH—RNa 并联离子交换系统	284
11.2.4 RH—RNa 串联交换系统	285
11.2.5 弱酸树脂的工艺特性及其应用	286
11.2.6 RCl—RNa 交换软化	287
11.3 离子交换软化设备及其计算	288
11.3.1 逆流再生固定床	288
11.3.2 再生附属设备	291
11.3.3 除二氧化碳器	292
11.4 离子交换除盐系统与方法	295
11.4.1 水的纯度概念	295
11.4.2 阴离子交换树脂的特性	296
11.4.3 离子交换除盐方法与系统	299
练习题	305
第12章 氧化还原	307



12.1 药剂氧化还原	307
12.1.1 概述.....	307
12.1.2 药剂氧化法.....	309
12.1.3 药剂还原法.....	312
12.2 电解法	313
12.2.1 基本原理.....	313
12.2.2 电解法的处理功能.....	315
12.2.3 电解槽的结构形式和极板电路.....	316
12.3 电解法应用与实例	317
12.3.1 电解法处理含铬废水.....	317
12.3.2 电解氧化法处理含氰废水.....	320
12.4 高级氧化	321
12.4.1 臭氧氧化法.....	321
12.4.2 过氧化氢氧化法.....	324
12.4.3 高锰酸盐氧化法.....	326
12.4.4 湿式氧化法.....	328
12.4.5 光化学氧化法.....	331
12.4.6 超临界水氧化技术.....	332
12.5 其他氧化方法	334
12.5.1 催化湿式氧化.....	334
12.5.2 助加催化湿式氧化.....	335
12.5.3 催化湿式双氧水氧化.....	335
12.5.4 催化超临界水氧化技术.....	336
练习题	336
第13章 膜法	337
13.1 膜的分类与膜组件	337
13.1.1 膜的分类及膜分离的特点.....	337
13.1.2 膜材料及其性能参数.....	339
13.1.3 膜组件.....	340
13.2 微滤和超滤	342
13.2.1 过滤原理与操作模式.....	343
13.2.2 微滤膜.....	343
13.2.3 超滤膜的结构及操作方式.....	344
13.2.4 浓差极化与膜污染.....	345
13.2.5 超滤的操作参数.....	345

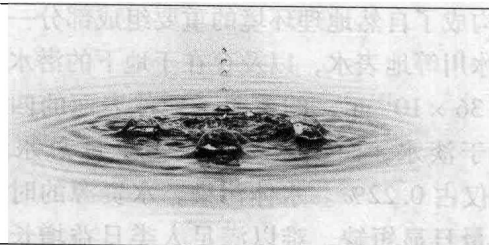


13.3 反渗透	347
13.3.1 渗透与反渗透	347
13.3.2 反渗透原理	348
13.3.3 反渗透装置	348
13.3.4 反渗透工艺流程	349
13.3.5 反渗透膜的分类及制造方法	350
13.3.6 反渗透膜的污染与清洗	350
13.4 电渗析	352
13.4.1 电渗析原理	353
13.4.2 电渗析设备	353
13.4.3 离子交换膜	355
13.4.4 极化	356
13.4.5 电流效率及极限电流密度	357
13.4.6 电渗析的设计与计算	360
13.5 其他膜技术	361
13.5.1 纳滤	362
13.5.2 液膜分离	362
练习题	364
第14章 水的冷却与水质稳定	365
14.1 湿空气的性质	365
14.1.1 湿空气的压力	365
14.1.2 温度、湿度与焓	366
14.1.3 湿空气的焓湿图	369
14.1.4 湿球温度(τ)和水的冷却理论极限	369
14.2 水的冷却原理	370
14.2.1 空气—水的蒸发和接触传热过程	370
14.2.2 传热量的计算	372
14.3 冷却塔的工艺与设计	373
14.3.1 冷却塔的工艺构造	373
14.3.2 冷却塔的设计与计算	375
14.4 循环冷却水水质稳定	383
14.4.1 循环冷却水水质特点和处理要求	384
14.4.2 循环冷却水水质处理	386
14.4.3 循环冷却水的水量损失与补充	392
练习题	396

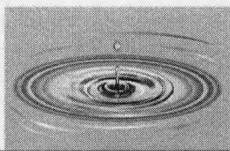


第 15 章 水的其他物理化学处理方法	398
15.1 离心分离	398
15.1.1 离心分离原理	398
15.1.2 离心分离设备	399
15.2 电解	404
15.2.1 基本原理	404
15.2.2 电解过程的影响因素	405
15.2.3 电解槽的结构形式和极板电路	406
15.2.4 电解氧化法处理含氰废水	407
15.2.5 电解氧化法处理含酚废水	407
15.2.6 电絮凝 (气浮) 处理工艺	408
15.3 中和	408
15.3.1 基本原理	409
15.3.2 药剂中和法	409
15.3.3 过滤中和法	411
15.3.4 以废治废中和法	413
15.3.5 利用天然水体及土壤中酸度的中和法	413
15.4 化学沉淀法	414
15.4.1 概述	414
15.4.2 氢氧化物沉淀法	414
15.4.3 其他化学沉淀法	416
练习题	419
参考文献	420

第1篇



总 论



地球上的气态、液态和固态的水，构成了自然地理环境的重要组成部分——水圈和水环境。包括江河、湖泊、海洋与冰川等地表水，以及存在于地下的潜水和承压水等地下水。地球上水的总量约为 $1.36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，约覆盖了地球表面的四分之三。人类的生活、生产活动主要依赖于淡水，而淡水资源仅占全球总水量的 2.53%，能供人类直接取用的淡水资源仅占 0.22%。水体污染，水资源的时空差异，致使地球上可以直接取用的优质水量日显短缺，难以满足人类日益增长的生活、生产活动的需要。保护和珍惜利用水资源是人类共同的责任。

1.1 水的循环

1.1.1 水的自然循环

水的循环可分为水的自然循环和水的社会循环。如图 1-1 所示，水从海洋蒸发，蒸发的水汽被气流输送到大陆，遇冷气流凝结为雨、雪等降水形式落到地面，部分形成地表水，部分则渗入地下成为地下水，部分又重新蒸发返回大气。渗入地下形成地下径流；在地表汇集形成河、湖等地面水，称为地表径流；地下水和地面水相互补给最终又流回海洋，这就是淡水的自然循环。其中海洋—内陆—海洋的循环，称为大循环。那些在小的自然地理区域内的循环，称为小循环。自然循环是水的基本运动方式，对人类最重要的是淡水的自然循环。水的自然循环及其调控，是水文学、水文地质学和水利工程学科研究的范畴。

1.1.2 水的社会循环

水是生命之源，是人类生活、生产不可替代的宝贵资源，是地球上一切生态环境存在的基础。人类为了生活或生产的需要，从天然水体取水，用过的水经适当处理后排放，重新回到天然水体，这就是水的社会循环，如图 1-2 所示。水的社会循环是给水排水科学与工程学科研究的对象。