

水环境治理与保护丛书

尾水 人工湿地 设计与实践

Design and Practice of
Tailwater
Constructed Wetland

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

魏俊 韩万玉 杜运领 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水环境治理与保护丛书

浙江省科技计划项目

“人工湿地氮磷深度削减集成技术研发和应用”
(2019C03102) 资助

浙江省科技计划项目

“基于新型轻质载体的制备改性及其在水处理中的应用研究”
(2018F10031) 资助

浙江省自然科学基金资助项目

“基于自然通风的生物滤床——人工湿地耦合系统处理生活污水机理及系统优化研究”
(LY18E080005) 资助

尾水 人工湿地 设计与实践

Design and Practice of
Tailwater
Constructed Wetland

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

魏俊 韩万玉 杜运领 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书基于党的十九大提出建设生态文明、十八大提出建设美丽中国、2015年实施水污染防治行动计划即“水十条”及2013年浙江省全面实施“五水共治”等大背景,全面系统地总结了尾水人工湿地的设计、施工和运行经验。通过对人工湿地技术发展的回顾,对尾水人工湿地的工艺设计、景观设计、防渗设计与施工、填料设计与施工、防堵塞设计、植物设计和湿地工程运行管理等进行了分析总结,并介绍了九个各具特点的工程案例。

本书可供从事水污染控制和水资源保护的科研、规划、设计与管理人员参考,也可供高等院校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

尾水人工湿地设计与实践 / 魏俊等编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2019. 8
(水环境治理与保护丛书)
ISBN 978-7-5170-7836-4

I. ①尾… II. ①魏… III. ①人工湿地系统—污水处理工程—设计 IV. ①X703

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第153477号

书 名	水环境治理与保护丛书 尾水人工湿地设计与实践 WEISHUI RENGONG SHIDI SHEJI YU SHIJIAN
作 者	中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 魏俊 韩万玉 杜运领 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京印匠彩色印刷有限公司
规 格	210mm×285mm 16开本 24.25印张 559千字
版 次	2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷
印 数	0001—1600册
定 价	198.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书编委会

顾 问：郭 忠 吴关叶 陈晨宇 章立峰
主 编：魏 俊 韩万玉 杜运领
副 主 编：孔令为 叶红玉 李小艳 杨永兴
主 审：程开宇 徐建强 陶如钧 成水平 徐美福
编 委：赵梦飞 王济来 胡剑东 苏 展 宋凯宇
吕丰锦 刘伟荣 金 诚 肖生明 李 珍
李 宇 严海波 赵 炜 周笑天 郑 亨
斯筱洁 高祝敏 唐颖栋 高全喜 沈昌明
陈文峰 许良峰 温东辉 Gunther Geller
Heribert Rustige 程鹏宇 章粟粲 吕权伟
李天飞 王礼兵 王明铭 杨 彬 李中坚
黄 靖 闫 亮 周 严 王晓敏 孙 健
潘洋洋 汪 洋 傅 睿 吴书鑫 裴毓雯
卢焯彬 杨 东 潘笑文 王 晓 陈 广
杜建强 张 瑛 潘志灏 刘新超 李 春
徐晓颖

主 编 单 位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

副主编单位：浙江省环境保护科学研究院

浙江大学



湿地由于其在水生态中的巨大作用，被誉为“地球之肾”，而人工湿地则是湿地功能经人工强化后用于污水处理的一种方法和技术。对人工湿地技术进行有目的的研究和应用始于20世纪50年代的德国。迄今为止，人工湿地已成为世界上公认的一种环境友好型的“绿色”污水处理技术。由于其成本、能耗较低，管理维护较易且设计应用灵活，人工湿地在世界各地都有成功应用的实例。近年来，人工湿地技术的研究和应用在国际上更是日趋活跃，每年都有人工湿地技术的国际学术交流和研讨会议。国际水协会（International Water Association）设有人工湿地专家委员会，以引领人工湿地技术的发展。

从人工湿地净化污水的原理看，污染物的去除主要是依靠湿地填料、湿地植物和大量附着生长的微生物的物理、化学及生物的协同作用，其净化机理亦相当复杂。在我眼里，人工湿地属于生物膜法的范畴，湿地中的填料是其核心，是污水处理效果的最主要承担者。也就是说，人工湿地技术的成败和研发必须在填料上做文章，而不是湿地植物。然而，湿地植物的作用和价值不可忽视。人工湿地在净化污水的同时，水和植物构成的体系使其兼具了保护生物多样性、调节小气候和提供生物栖息地等功能。这使人工湿地系统有别于其他污水处理系统，成为其特质。不可否认，相对于传统污水处理工艺，人工湿地占地面积往往较大，这成为人工湿地最大的“硬伤”和在实践应用中被否决的最主要的原因，而恰恰是湿地植物独具的景观价值可以弥补湿地占地大的“硬伤”。人工湿地具有景观营造所必需的水和植物两大要素，可以说一旦人工湿地系统在工艺设计的基础上再由景观设计师尽情发挥，必将创造出集污水处理、景观、休闲娱乐、科普教育等多功能于一体的花园式/公园式的“绿色基础设施”，这是目前其他污水处理工艺无法比拟的。本书正是在功能型湿地与景观型湿地的融合方面做了许多有价值的探索和实践。

在中国，随着环境保护越来越重要，水环境的治理也正快速推进，特别是在目前中国开展的“海绵城市”建设、“黑臭水体”治理和污水处理厂的提标改造等方面，人工湿地技术均大有可为。然而，人工湿地尤其是大型人工湿地在尾水提标改造和水环境生态修复领域的应用案例较少，可供借鉴参考的资料缺乏，亟须业界同行将自己的设计和实践经验进行交流沟通。

鉴于此，由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司水环境工程院副院长魏俊

等所著的《尾水人工湿地设计与实践》一书，及时总结了他及其团队在人工湿地技术与工程方面的有益探索成果，特别是景观型尾水人工湿地方面的研究和实践经验，无私地供业界参考交流。此书贯彻理论联系实际的原则，既突出理论知识的应用，又包含了大量的第一手资料和现场图片，具有针对性和实用性，特别是大型人工湿地与景观结合的具体项目实例，体现了作者的设计理念和人工湿地技术与景观营造的理解和认识，对当前污水处理厂的提标改造、“海绵城市”建设和“黑臭水体”治理等都具有很好的借鉴作用和参考价值。全书结构合理、逻辑严谨、行文流畅、风格统一、图文并茂，给人清新之感，具有很强的可读性。

我能为此书作序，感到非常的荣幸。魏俊曾两次参加我在中国组织和举办的“人工湿地污水处理理论、设计及应用高级国际研修班”，并将其学习成果展现在大型人工湿地项目的工程实践中。此书的出版是他本人的思考和总结，无疑也是对人工湿地技术在中国的发展所作的贡献。希望本书能有助于推进中国城市水环境建设和生态修复的伟大事业，也希望本书能为工程技术人员所喜爱。



赵亚乾

于爱尔兰都柏林大学

2019年1月

（赵亚乾，现任西安理工大学全职特聘教授，陕西省“百人计划”特聘教授，国际水协会会士（FIWA），曾任爱尔兰都柏林大学土木工程系水环境实验室主任、教授、博士研究生导师。）



湿地与森林、海洋并称为全球三大生态系统，湿地生物多样性丰富，生产力较高。根据《第二次全国湿地资源调查报告》，我国的湿地面积约 53.6 万 km²。湿地具有调节气候、涵养水源、维持生物多样性、固碳、美化环境等多种功能。人工湿地是湿地的一种，广义上来讲，指由人工参与建设并由人为操作与控制的湿地，包括池塘、稻田、水库、渠道、鱼塘等。本书特指用于水处理的人工湿地。近年来，随着国家“水十条”“海绵城市”“城市双修”等工作的开展，人工湿地项目呈现快速增长的势头，尤其是在城市污水处理厂尾水提标方面，由于其具有景观效果好、环境影响小等优点，得到广泛应用。

我们对尾水人工湿地的认知和实践经历了三个阶段。

第一阶段是 2011—2012 年：认知阶段。此阶段在开展水环境方面的科研课题中，我们系统地调研了国内 20 余处的湿地工程，梳理了国内外有关湿地的研究成果，从工程的角度进行总结，将国内的湿地工程分为三类：第一类是以水处理功能为主的人工湿地；第二类是以景观游憩体验为主的湿地公园；第三类是以自然保护功能为主、兼有小部分景观游憩体验功能的湿地公园。这个阶段，我们关注的重点是第一类，作者认为绝大多数水处理型人工湿地目标过于聚焦于水质处理，且参与的专业单一，使得工程的景观、游憩、科普教育等功能较弱，没有充分发挥湿地工程的优势。随着城市化的发展，对污水处理设施的园林化、景观化呼声越来越高，人工湿地作为一种水处理工艺日渐被广泛应用，人工湿地的景观功能也日益受到重视。打造景观型尾水人工湿地，将是一个重要的发展方向，这是此阶段得到的一个重要结论。

第二阶段是 2013—2016 年：实践阶段。2013 年我们迎来了一个契机，承担了东阳市江滨景观带湿地公园工程的设计施工（EPC）总承包任务（简称“东阳项目”）。该工程列入了 2014 年浙江省“五水共治”重点工程和东阳市 2014 年重点建设工程，项目工期紧张，而参建各方又没有大型潜流人工湿地的施工经验，虽然面临一系列问题和挑战，但通过近半年夜以继日的设计和近一年半的现场建设，项目在原方案的基础上实现了蜕变，我们对人工湿地的认知也发生了飞跃。诚然，现在回过头去看，从最终呈现的景观效果来说，该项目在传统的水处理型人工湿地（1.0 版本）基础上提升到了 2.0 版本，但相比纯景观的湿地公园还有不小差距，很多环节留有不少的遗憾，很多细节有待打磨，我们期望在新的项目中打造 3.0 版本。

第三阶段是2017年至今：总结反思和深入实践阶段。东阳项目完工后，我们又陆续开展了一系列尾水人工湿地工程的咨询、设计和总承包工作。在工作过程中，我们查阅了国内外绝大部分湿地类书籍，总体上可以将其分为三类：第一类是偏景观的湿地公园类的案例或介绍湿地植物的图书；第二类是研究湿地生态系统的学术型著作；第三类是关于水处理人工湿地设计的图书。没有找到由工程设计人员编著的讲述尾水人工湿地设计和实践类的书籍，因此我们希望能系统总结此方面取得的经验和教训，在更大范围内来共享这些经验，谋定而后动，就促成了本书的出版。

本书是“水环境治理与保护丛书”的第二卷。第一卷是《城市水环境治理理论与实践》，主要介绍了杭州市市区河道治理的经验，可认为是河道卷。该书已经由中国水利水电出版社出版。本书则系统总结了污水处理厂尾水人工湿地的设计、建设和运行等，为湿地卷。全书共计21章，分为两部分：第一部分是理论篇，第二部分是案例篇。随着实践工作的开展，我们对人工湿地的认知仍将不断发展，因此，本书的出版不是结束，而是一个新的开始。一切过往，皆为序章！

本书适合从事水环境治理工程的科研、规划、设计、施工、管理、运营等方面的技术人员和管理人员阅读，也可作为高等院校环境科学、环境工程等专业的参考教材。感谢同济大学周琪教授、闻岳教授，浙江大学许良峰博士，中国环境科学研究院张列宇研究员，捷克生命科学大学 Jan Vymazal 教授，西安建筑科技大学杨永哲教授，上海甚致环保科技有限公司高康总经理，华东勘测设计研究院有限公司胡赛华总经济师、李海林主任、徐康安总工程师、徐堃副总建筑师等在项目实施过程、日常工作及本书编写过程中给予的帮助和指导。另外，在编写过程中，参考引用了同行公开发表的有关文献与技术资料，在此一并表示感谢。

由于作者编纂时间有限，限于理论和实践的认知水平，书中难免存在不足甚至是错误，敬请读者批评指正！

作者

2019年1月



植物名称列表

中文名称	拉丁名称	中文名称	拉丁名称
菖蒲	<i>Acorus calamus</i>	落羽杉	<i>Taxodium distichum</i>
池杉	<i>Taxodium ascendens</i>	木槿	<i>Hibiscus syriacus</i>
穿叶眼子菜	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	满江红	<i>Azolla imbricata</i>
茨藻	<i>Najas marina</i>	马来眼子菜	<i>Potamogeton wrightii</i>
大米草	<i>Spartina anglica</i>	美人蕉	<i>Iris tectorum</i>
东南景天	<i>Sedum alfredii</i>	萍蓬草	<i>Nuphar pumilum</i>
大藻	<i>Pistia stratiotes</i>	千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i>
灯芯草	<i>Juncus effusus</i>	芡实	<i>Euryale ferox</i>
风车草	<i>Cyperus alternifolius</i>	睡莲	<i>Nymphaea</i>
浮萍	<i>Lemna minor</i>	莎草	<i>Cyperus rotundus</i>
凤眼莲	<i>Eichhornia crassipes</i>	水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i>
枫杨	<i>Pterocarya stenoptera</i>	水葱	<i>Scirpus validus</i>
虎耳草	<i>Saxifraga stolonifera</i>	水车前	<i>Ottelia alismoides</i>
荷花	<i>Nelumbo nucifera</i>	水韭	<i>Isoetes sinensis</i>
黄花狸藻	<i>Utricularia aurea</i>	水柳	<i>Salix warburgii</i>
红蓼	<i>Polygonum orientale</i>	水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>
旱伞草	<i>Cyperus alternifolius</i>	水芹	<i>Oenanthe benghalensis</i>
狐尾藻	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	水松	<i>Glyptostrobus pensilis</i>
海芋	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	水杉	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>
槐叶萍	<i>Salvinia natans</i>	梭鱼草	<i>Pontederia cordata</i>
花叶芦荻	<i>Arundo donax</i>	王莲	<i>Victoria regia</i>
黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	五月菊	<i>Callistephus chinensis</i>
海州香薷	<i>Elsholtzia splendens</i>	苻菜	<i>Nymphaoides peltatum</i>
菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	香根草	<i>Vetiveria zizanioides</i>
茭白	<i>Zizania latifolia</i>	香蒲	<i>Typha orientalis</i>
姜花	<i>Hedychium coronarium</i>	香石竹	<i>Dianthus caryophyllus</i>
金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	香樟	<i>Cinnamomum camphora</i>
金鱼草	<i>Antirrhinum majus</i>	雨久花	<i>Monochoria korsakowii</i>
金盏菊	<i>Calendula officinalis</i>	伊乐藻	<i>Elodea nuttallii</i>
荇菜	<i>Cyperus malaccensis</i>	鸛尾	<i>Canna indica</i>
夹竹桃	<i>Nerium indicum</i>	眼子菜	<i>Potamogeton distinctus</i>
苦草	<i>Vallisneria natans</i>	亚洲苦草	<i>Vallisneria natans</i>
菱	<i>Trapa bispinosa</i>	再力花	<i>Thalia dealbata</i>
柳杉	<i>Cryptomeria fortunei</i>	纸莎草	<i>Cyperus papyrus</i>
芦苇	<i>Phragmites communis</i>	竹叶眼子菜	<i>Potamogeton malaianus</i>
轮叶黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>		

化学符号名称对照表

化学符号	名 称	化学符号	名 称
BOD ₅	五日生化需氧量	Nb	铌
NH ₃ -N	氨氮	Cs ⁺	铯离子
NO ₂ ⁻	亚硝酸根	K ⁺	钾离子
TP	总磷	Pb ²⁺	铅离子
DO	溶解氧	Ba ²⁺	钡离子
Cl ⁻	氯离子	Sr ²⁺	锶离子
F ⁻	氟离子	Li ⁺	锂离子
PPCPs	药物及个人护理品	Cu ²⁺	铜离子
POPs	持久性有机污染物	SiO ₂	二氧化硅
As	砷	Al ₂ O ₃	三氧化二铝
Cr	铬	FeO	氧化铁
Se	硒	MgO	氧化镁
Cd	镉	Na ₂ O	氧化钠
Hg	汞	H ₂ O	水
COD	化学需氧量	Zr	锆
NO ₃ ⁻	硝酸根	P	磷
TN	总氮	Sn	锡
SS	悬浮物	V	钒
Cr ⁶⁺	六价铬	Y	钇
SO ₄ ²⁻	硫酸根	La	镧
TCN ⁻	总氰化物	Rb ⁺	铷离子
EDCs	内分泌干扰物	NH ₄ ⁺	铵根离子
Mn	锰	Ag ⁺	银离子
Pb	铅	Na ⁺	钠离子
Cu	铜	Ca ²⁺	钙离子
Fe	铁	Cd ²⁺	镉离子
Zn	锌	Zn ²⁺	锌离子
Be	铍	TiO ₂	二氧化钛
Ni	镍	Fe ₂ O ₃	三氧化二铁
Mo	钼	MnO	氧化锰
Ga	镓	CaO	氧化钙
Yb	镱	K ₂ O	氧化钾

目 录

序

前言

植物名称列表

化学符号名称对照表

理 论 篇

1 湿地概论	2
1.1 湿地定义	2
1.2 湿地分布	3
1.3 湿地功能	4
2 人工湿地的现状与发展	16
2.1 人工湿地定义	16
2.2 污染物去除机理	17
2.3 国外发展及应用	21
2.4 国内发展及应用	23
2.5 新型人工湿地	24
3 污水处理厂进出水特征分析	29
3.1 我国的水环境现状	29
3.2 污水处理厂进水水质特征	31
3.3 污水处理厂排放标准	35
3.4 污水处理厂出水(尾水)水质特征	36
3.5 污水处理厂提标改造技术路线	40
4 尾水人工湿地的现状与发展	42
4.1 应用情况	42
4.2 工艺流派	42
4.3 案例分析	44
5 工艺设计	53
5.1 氧化塘	53

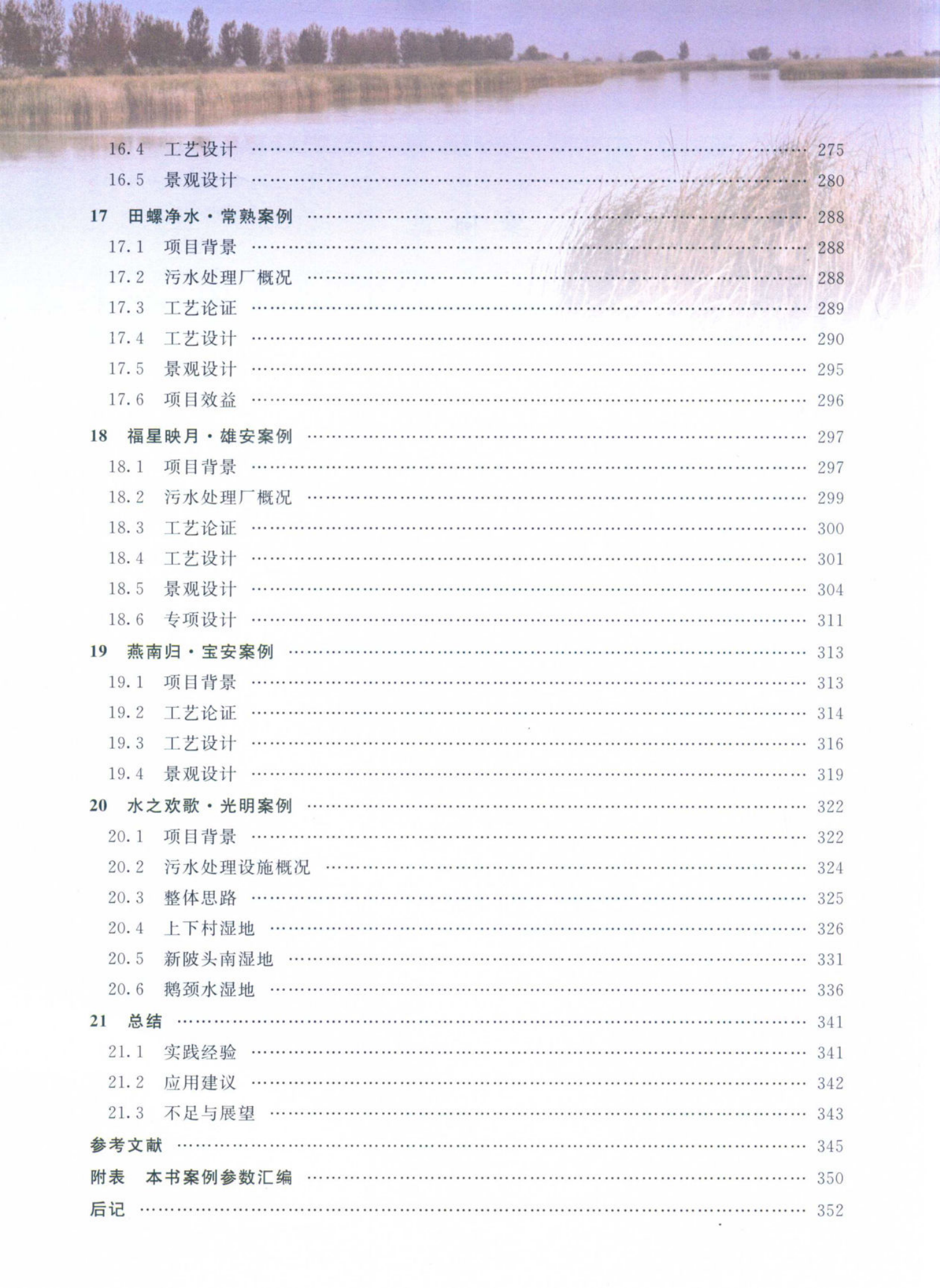


5.2	强化预处理单元	55
5.3	生态砾石床	56
5.4	砾间接触氧化法	61
5.5	人工湿地	63
5.6	浮动湿地	72
5.7	人工填料	83
6	景观设计	90
6.1	景观理念	90
6.2	湿地景观	92
6.3	设计依据	95
6.4	湿地公园现状	96
6.5	湿地公园案例	100
6.6	设计原则	104
6.7	设计细则	114
7	防渗设计与施工	127
7.1	防渗设计	127
7.2	防渗施工	129
8	填料设计与施工	136
8.1	填料设计	136
8.2	填料施工	139
8.3	特殊填料的应用	142
9	防堵塞设计	156
9.1	堵塞问题	156
9.2	成因分析	156
9.3	防堵措施	157
10	植物设计	163
10.1	植物功能	163
10.2	植物应用	165
10.3	植物选择	172
11	运行管理	181
11.1	系统运行	181
11.2	生物控制	184
11.3	HSE 管理	190
11.4	系统监测	192

11.5	应急管理	192
11.6	成本分析	193

案例篇

12	返璞归真·义乌案例	196
12.1	项目背景	196
12.2	污水处理厂概况	196
12.3	工艺论证	197
12.4	工艺设计	198
12.5	景观设计	202
13	水景博览园·大同案例	205
13.1	项目背景	205
13.2	整体思路	206
13.3	污水处理厂概况	207
13.4	工艺论证	207
13.5	工艺设计	210
13.6	景观设计	216
13.7	水利设计	221
14	绿洲白鹭·嘉兴案例	222
14.1	项目背景	222
14.2	污水处理厂概况	223
14.3	工艺论证	223
14.4	工艺设计	224
14.5	景观设计	227
15	师法自然·东阳案例	232
15.1	项目背景	232
15.2	污水处理厂概况	237
15.3	工艺论证	238
15.4	工艺设计	244
15.5	景观设计	251
15.6	专项设计	265
16	化茧成蝶·仙居案例	271
16.1	项目背景	271
16.2	污水处理厂概况	272
16.3	工艺论证	274



16.4	工艺设计	275
16.5	景观设计	280
17	田螺净水·常熟案例	288
17.1	项目背景	288
17.2	污水处理厂概况	288
17.3	工艺论证	289
17.4	工艺设计	290
17.5	景观设计	295
17.6	项目效益	296
18	福星映月·雄安案例	297
18.1	项目背景	297
18.2	污水处理厂概况	299
18.3	工艺论证	300
18.4	工艺设计	301
18.5	景观设计	304
18.6	专项设计	311
19	燕南归·宝安案例	313
19.1	项目背景	313
19.2	工艺论证	314
19.3	工艺设计	316
19.4	景观设计	319
20	水之欢歌·光明案例	322
20.1	项目背景	322
20.2	污水处理设施概况	324
20.3	整体思路	325
20.4	上下村湿地	326
20.5	新陂头南湿地	331
20.6	鹅颈水湿地	336
21	总结	341
21.1	实践经验	341
21.2	应用建议	342
21.3	不足与展望	343
	参考文献	345
	附表 本书案例参数汇编	350
	后记	352

CONTENT

Preface

Foreword

List of Plant Names

Chemistry Symbol Contrast Table

Theory

1 Introduction	2
1.1 Definition of Wetland	2
1.2 Distribution of Wetland	3
1.3 Function of Wetland	4
2 Current Situation and Development of Constructed Wetland	16
2.1 Definition of Constructed Wetland	16
2.2 Pollutants Removal Mechanisms	17
2.3 Foreign Situation	21
2.4 Chinese Situation	23
2.5 New-type Constructed Wetland	24
3 Characteristic Analysis of WWTP Inflow and Effluent	29
3.1 Water Environment Situation in China	29
3.2 Characteristic of WWTP Inflow	31
3.3 WWTP Discharge Standard	35
3.4 Characteristic of WWTP Effluent	36
3.5 Route for Improving	40
4 Constructed Wetland for Tailwater Treatment	42
4.1 Application	42
4.2 Technology	42
4.3 Cases Study	44
5 Process Design	53
5.1 Oxidation Pond	53

5.2	Enhanced Pretreatment	55
5.3	Ecological Gravel Bed	56
5.4	Gravel Contact Oxidation Process	61
5.5	Constructed Wetland	63
5.6	Floating Wetland	72
5.7	Filler	83
6	Landscape Design	90
6.1	Concept	90
6.2	Wetland Landscape	92
6.3	Design Consideration	95
6.4	Current Situation of Wetland Park	96
6.5	Cases of Wetland Park	100
6.6	Design Principle	104
6.7	Design Content	114
7	Anti-seepage	127
7.1	Design	127
7.2	Construction	129
8	Filler	136
8.1	Design	136
8.2	Construction	139
8.3	Application of Special Fillers	142
9	Anti-blocking	156
9.1	Blocking	156
9.2	Reasons	156
9.3	Measures	157
10	Wetland Plants	163
10.1	Function	163
10.2	Application	165
10.3	Selection	172
11	Operation and Management	181
11.1	System Operation	181
11.2	Biological Control	184
11.3	HSE Management	190
11.4	System Monitoring	192