

湖北省资源开发与环境保护丛书

河流水生态修复 技术研究

——丹江口库区武当山剑河案例

李兆华 王宇波 主编



科学出版社

湖北省资源开发与环境保护丛书

河流水生态修复技术研究

——丹江口库区武当山剑河案例

李兆华 王宇波 主编

国家科技惠民计划项目
(S2013GMD100042)支持出版

科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

本书针对丹江口库区河流污染问题,介绍了山区河流水生态修复的有关技术。全面阐述了山区河流水生态历史的发展和现状,具体提出了山区河流水生态维护的观点和思路,详细介绍了山区河流水生态修复的方案和技术,并以武当山剑河为例,运用环境科学原理和生态修复技术,设计并分析了武当山剑河水生态修复和水环境治理的具体技术和方案,可为山区河流水生态的维护、修复,以及水污染治理提供有益的启示和参考。

本书可作为环境科学、生态保护、园艺景观,以及相关学科工作者和技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

河流水生态修复技术研究:丹江口库区武当山剑河案例/李兆华,王宇波主编. —北京:科学出版社,2014.8

(湖北省资源开发与环境保护丛书)

ISBN 978-7-03-041592-9

I. ①河… II. ①李… ②王… III. ①河流-水环境-生态恢复-研究-湖北省
IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 182201 号

责任编辑:杨瑰玉 乔艳茹 / 责任校对:蒋 萍

责任印制:高 嵘 / 封面设计:苏 波

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉中远印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:A5(890×1240)

2014 年 9 月第 一 版 印张:9.3/8 插页:4

2014 年 9 月第一次印刷 字数:288 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《河流水生态修复技术研究》编委会

主 编：李兆华 王宇波

副主编：李艳蒿 陈红兵 梅 新 周 勇 周京学

参编人员(以姓氏笔画为序)：

马安宁	王 红	王宇波	王 玲	王海旺
王新生	叶 晶	刘化吉	刘 倩	刘 雪
刘 毅	李兆华	李 昆	李 洁	李艳蒿
陈红兵	张玲玲	张倩丽	余晓妹	苗纪法
周京学	周 勇	孟银萍	赵丽娅	赵 莎
赵锦慧	胡细全	柳 菲	封 瑛	谈成成
梅 新	焦 粟			

前 言

南水北调是中国跨世纪的重大战略工程,丹江口水库是中线工程水源,能否将优质、清洁的水输送到沿线及京津,既关系到工程本身的成败、关系到水源区及沿线地区的民生改善和社会稳定,也关系到我国广大北方地区的生态安全 and 经济社会的长远发展乃至国家的长治久安。为确保南水北调中线工程水源区水质安全,实现“清水入库、清水北送”的目标,2006年2月,国务院批复了《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》(国函[2006]10号)。为进一步落实南水北调中线水污染防治和水土保持工作目标责任,加快《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》的实施,2011年12月,国务院南水北调工程建设委员会办公室、国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)、监察部、环境保护部、住房和城乡建设部、水利部联合印发了《关于印发丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划实施情况考核办法的通知》(国调办环保函[2011]59号),有力地促进了丹江口水库水源保护区的水污染防治项目的实施。

武当山是中国的道教圣地,是著名的旅游风景区。剑河是武当山的母亲河,从武当山天柱峰起源,经武当山城区入丹江口水库,主河道长度为26.5 km,流域面积47.2 km²,目前水质污染十分严重。在剑河实施水生态修复工程,恢复河流生态,确保净水入库,是一项十分紧迫的任务。

为了从根本上解决剑河水环境问题,保障南水北调水源安全,促进剑河流域综合治理目标的实现,依据《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》(2011年修订本)和《湖北省汉江流域水污染防治条例》(1999年),武当山旅游经济特区提出了剑河水生态修复项目。受武当山特区水利局委托,湖北大学和湖北工业大学等单位有关专家组成剑河水生态修复研究课题组。课题组于2011~2012年,对剑河流域污染现状进行了现场调查。第一,设置了49个水质监测点,全面调查剑河水质现状,分析主要水污染因子;第二,进行了全流域的污染源调查,分析水污染产生的原因;第三,详细调查了剑河城区段的排污(水)口,定位剑河纳污现状;第

四,进行工程测量,提出了生态修复方案;第五,走访相关部门,收集资料,征求意见;第六,走访沿岸居民,进行民意调查。本书是在剑河水生态修复的研究报告的基础上编撰而成的,以期对丹江口水库同类河流的生态修复起到参考作用。

鉴于编者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2014年1月

目 录

前言	i
第一章 概述	1
第一节 剑河水环境现状概述	1
一、水环境容量超载	1
二、水污染严重	2
三、水处理设施不足	2
第二节 剑河水生态修复的内容和原则	3
一、剑河水生态修复的主要研究内容	3
二、剑河水生态修复的主要原则	3
第三节 剑河水生态修复的目标和任务	4
一、水生态修复目标概述	4
二、水生态修复任务概述	4
第四节 剑河水生态修复技术及预期效果	5
一、剑河水生态修复技术概述	5
二、剑河水生态修复预期效果	7
第二章 剑河水生态修复的必要性	9
第一节 世界文化遗产保护的需要	9
第二节 国家南水北调工程的需要	12
第三节 湖北省“两圈一带”和“两山一江”建设的需要	14
第四节 区域可持续发展的需要	15
第三章 剑河流域概况	18
第一节 剑河水系	18
第二节 地质地貌	18
一、地层岩性	19
二、土壤植被	19
三、生物多样性	20

第三节 气候气象	21
第四节 经济状况	22
一、区域与人口	22
二、土地利用	22
三、农业	23
四、工业	23
五、旅游业	23
第四章 剑河水环境现状	25
第一节 水污染源调查与分析	25
一、点源污染	26
二、面源污染	27
三、污染源排放负荷分析	31
四、污染分布分析	36
第二节 剑河水质监测与分析	38
一、剑河流域水质现状监测及评价	38
二、水质现状评价	44
三、排污口分析	53
第三节 水环境容量核算	57
一、水环境容量计算方法	57
二、理论水环境容量	63
三、有效水环境容量	64
第四节 水污染物排放量预测	64
一、预测方法	64
二、剑河流域人口增长预测	66
三、剑河流域经济增长预测	67
四、剑河流域污染物排放量预测	68
第五节 水环境容量与污染负荷比对	73
第六节 主要结论	74
一、水污染特征	74
二、水环境现状	76
三、水环境容量负荷	76

第五章 剑河水生态修复背景	78
第一节 剑河水生态修复背景	78
一、剑河的人河关系	78
二、剑河的河道整治	80
第二节 剑河水生态修复制约因素	81
第三节 世界河流生态修复的主流技术路线	82
一、莱茵河治理技术路线	82
二、泰晤士河治理技术路线	83
三、汉江治理技术路线	85
四、基西米河生态修复工程	86
五、北京市转河生态修复技术路线	87
六、成都府南河生态修复技术路线	88
七、成功技术路线对剑河的启示	89
第四节 剑河水生态修复技术路线	89
一、水生态修复目标	89
二、水生态修复思路	91
三、水生态修复任务	94
四、水生态修复任务的技术解析	95
第六章 剑河水生态修复技术方案分析	113
第一节 截污纳管工程技术方案	113
第二节 曝气复氧工程技术方案	115
一、人工曝气复氧技术类型	115
二、河流曝气复氧技术应用实例	118
三、剑河曝气复氧工程技术选择	122
四、剑河曝气复氧工程技术	123
第三节 生物过滤工程技术方案	124
一、生物过滤技术类型	124
二、河流生物过滤技术应用实例	125
三、剑河生物过滤工程技术选择	129
四、剑河生物过滤工程技术	130
第四节 生态护坡工程技术方案	132

一、河流生态护坡技术类型	132
二、剑河生态护坡技术	134
第五节 生物浮岛工程技术方案	137
一、生物浮岛技术背景	137
二、生物浮岛净水机理	140
三、剑河生物浮岛技术选择	145
四、剑河生物浮岛植物选择	147
五、剑河生物浮岛工程技术方案小结	147
第六节 人工湿地工程技术方案	150
一、人工湿地技术类型	150
二、人工湿地基质改造	152
三、人工湿地植物的优选与种植	154
四、剑河人工湿地工程技术方案	154
第七章 剑河水生态修复工程方案分析	156
第一节 剑河水生态修复工程方案概论	157
一、剑河水生态修复工程方案设计原则	157
二、工程方案设计思想	157
三、工程方案总体任务	158
第二节 截污纳管工程方案(J01)	159
一、处理对象	160
二、工程方案	160
三、通神沟污水明渠截污工程设计(J01-A)	162
四、玉带河污水明渠截污工程设计(J01-B)	162
五、剑河上游剑河一路低洼区域污水收集工程设计(J01-C)	163
六、乔家院污水截流工程设计(J01-D)	163
七、截污干管断管衔接设计(J01-E)	166
八、剑河左岸部分城区直排污水截流工程设计(J01-F)	166
九、主要施工技术要求	167
第三节 曝气复氧工程方案(J02)	171
一、处理对象	171
二、处理目标	171

三、需氧量计算	172
四、曝气设备选型	173
五、安装方案	177
六、设备安全防护	178
七、设备运行及维护	179
八、工程数量	180
九、曝气复氧工程小结	180
第四节 生物过滤工程方案(J03)	181
一、处理对象	183
二、处理工艺	183
三、主要参数	184
四、结构设计方案	185
五、平面设计方案	187
六、工程施工验收方案	187
七、工程数量	189
八、环境效益	189
九、工程方案小结	189
第五节 生态滤带工程方案(T01)	190
一、处理目标	190
二、工艺路线	191
三、水位变幅	192
四、植物选择	192
五、工程方案	195
六、工程技术标准	199
七、日常维护	200
八、环境效益	201
九、工程方案小结	201
第六节 人工湿地工程方案(T02)	201
一、处理对象	202
二、出水要求	202
三、处理效率	203

四、工艺流程	204
五、工艺参数	204
六、平面设计方案	206
七、结构设计方案	206
八、植物配置方案	208
九、布水与集水方案	210
十、工程选址方案	210
十一、工程施工验收方案	212
十二、管理方案	214
十三、工程量	215
十四、污染物去除指标	216
十五、工程方案小结	216
第七节 生物浮岛工程方案(T03)	217
一、处理对象	217
二、出水要求	218
三、处理效率	218
四、工艺流程	219
五、生物浮岛面积	220
六、生物浮岛位置	220
七、浮床制作方案	220
八、植物配置方案	221
九、浮床固定方式	230
十、管理方案	230
十一、工程量	232
十二、污染物去除指标	232
十三、工程方案小结	232
第八节 总结	233
一、工程合成	233
二、工程主体方案	234
第八章 剑河水生态修复工程建设效益保障措施	237
第一节 剑河水生态修复工程建设效益分析	237

一、环境效益	237
二、经济效益	239
三、社会效益	240
第二节 工程环境保护措施	241
一、截污纳管工程	241
二、曝气复氧工程	243
三、生物过滤工程	243
四、生态滤带工程	244
五、人工湿地工程	244
六、生物浮岛工程	246
七、工程运营期环境影响分析及防范措施	246
第三节 工程劳动安全与卫生消防措施	247
一、危害因素及危害程度分析	247
二、安全卫生防范措施	251
三、消防措施	253
第四节 工程节能措施	255
一、工艺节能措施	255
二、电气与设备节能	257
三、优化调度,加强管理	258
参考文献	259
附表	272
附图	284

第一章 概述

随着丹江口水库移民的搬迁集聚和区域旅游人口的剧增,以及工农业的发展,剑河流域水污染负荷急剧增加,再加上防洪等水利工程相继实施,剑河的环境净化能力有所降低,致使水环境问题成了制约区域可持续发展的关键问题。一是剑河下游城区段水体已经变成劣Ⅴ类水质,发黑发臭,不仅有损于武当山的旅游形象,也使剑河两岸居民和游客不胜其扰,从民生的角度出发,到了非治不可的地步。二是剑河下游新区段水体闭锁纳污,所接纳的基本上是来自剑河的黑臭污水,透明度小,溶氧量低,沉水植物和其他水生生物的生长受到限制,减弱了物质的循环和交换,使水体自净能力减弱,难以有效降解和消化所有的污染物质,导致河水水质恶化,采用必要的人工干预修复水生态系统的方法势在必行。三是不能把水生态环境问题转嫁给子孙后代。虽然剑河污染比较严重,所幸的是,剑河污染都是近年来的外源污染所致,并没有形成严重的水体内源污染。但随着丹江口水库蓄水和水位上升,丹江口水库的顶托将使剑河的排水更为不畅,污染物质完全有可能变成污染底泥在水体中沉积,形成内源污染。一旦内源污染形成,其治理的代价将会十倍百倍地上升,我们的子孙后代将不堪重负。因此,尽快实施水生态修复工程,阻截剑河内源污染的形成是对子孙后代负责的表现。

第一节 剑河水环境现状概述

一、水环境容量超载

2011年,剑河流域共排放了1114.84 t化学需氧量(COD)、219.43 t总氮(TN)、145.33 t氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)和21.84 t总磷(TP),其中进入剑河的污染物质为439.5 t COD、123.76 t TN、76.38 t $\text{NH}_3\text{-N}$ 和13.91 t TP。与

此同时,剑河的有效水环境容量为:COD 221.37 t/a, TN 68.45 t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 43.3 t/a, TP 7.89 t/a, 即剑河水污染物(COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP)实际入河量分别为环境容量的 198.54%、180.80%、176.40%和 176.30%,水环境已经严重超载。

二、水污染严重

2011 年,科研报告课题组在剑河设置了 49 个监测点,水质监测结果表明,剑河水体 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 全面超标。剑河的水质管理目标为:剑河上、中游地表Ⅲ类,下游城区段Ⅳ类,剑河新区段Ⅲ类。但监测结果显示,49 个点位 TN 全部超标,超标率 100%,下游和剑河新区段全部为劣Ⅴ类水质;其次是 TP 的污染,下游合格率为 64%,剑河新区段合格率为 71%;最后为 COD 的污染,下游城区段和新区段的合格率分别为 64%和 29%。另外,剑河下游城区段和新区段整体上处于重度富营养化状态,N、P 等主要营养物质的含量甚至超过武汉东湖的 2~5 倍。

三、水处理设施不足

随着武当山旅游经济特区的发展和丹江口水库移民的后迁,城市人口快速增长,旅游人数急剧增加,污水排放总量节节攀升。目前位于剑河下游的武当山污水处理厂已经运行,设计日处理量 7000 m^3 (实际运行不到 $2000\text{ m}^3/\text{d}$),处理能力有限,加上管网建设跟不上,每天至少有 1400 m^3 城市生活污水未经处理就排入剑河(按人均日排放量 170 L 计算);农业面源污染基本上没有防控手段,流域内农业种植业规模小,机械化水平低,农药、化肥过量使用普遍,生活污水绝大多数无序排放,垃圾随意乱倒,禽畜粪便未经处理或合理利用直接排放;另外,国家发改委批复的武当山污水处理厂出水一级 B 标准已经过时,2013 年丹江口水库蓄水后,剑河下游新区段将被库水顶托成为半封闭水体,根据环境保护部《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)的要求,必须执行一级 A 排放标准,如果仍以一级 B 标准排放,将对新区段水环境造成极大的压力。

第二节 剑河水生态修复的内容和原则

一、剑河水生态修复的主要研究内容

(1) 进行剑河全流域(面积 47.2 km^2)水污染源调查与评估,确定剑河主要污染物(COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP)的来源及入河量。

(2) 进行剑河水质检测,评估剑河流域的水质及生态系统现状。

(3) 进行剑河环境容量测算,通过污染物入河量与环境容量的比对,确定污染物的削减量及合理的工程规模。

(4) 提出剑河水生态修复的技术路线和总体方案,区域治理程度达到 100%。

(5) 重点解决剑河城区段的黑臭问题和剑河新区段水体的水质净化问题,提出具体的工程方案;论证技术方案和工程方案的可行性。

(6) 对工程的环境、社会和经济效益进行评价。

二、剑河水生态修复的主要原则

(1) 水质优先。以南水北调的水质要求为中心,根据水资源保护的相关法律、法规和方针政策,认真落实《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》的相关水污染防治规划,为武当山的可持续发展提供水环境基础。

(2) 综合治理。从全局出发,兼顾河流源头、上下游、沿岸自然环境和社会发展等各个方面的利益,将剑河生态修复与防洪、桥梁、景观和新区建设等结合起来,优化突出整体利益。

(3) 突出重点。由于河流修复往往需要人力和物力的较大投入,而且完全达到修复目标也往往需要相当长的时间,在具体实施河流修复工程设计时,需要突出重点,将河流按优先顺序划分为不同的河段,将修复内容按紧迫性和重要性进行优先排序,然后根据条件有步骤地逐步实施。

(4) 因地制宜。河流修复工程因地制宜和就地取材,这样做既可以

与河流周围环境相协调,又可以有效地降低修复的投资和成本。净化植物的选择在满足工艺要求并有地域气候适应性的前提下,尽量培育、搭配本地原有植物。

(5) 科学监管。对河流的修复需要进行长期的科学监测,及时掌握河流生态的动态变化过程和趋势,并进而制定科学的管理措施,保证修复的效果。

第三节 剑河水生态修复的目标和任务

一、水生态修复目标概述

(1) 确保一河清水入库。中国南水北调是世界规模最大的调水工程,为保证工程的有效实施,党中央、国务院提出了“三先三后”原则:“先节水后调水,先治污后通水,先环保后用水”。剑河是南水北调中线水源地丹江口水库的水源地之一,剑河水生态修复重中之重的目标就是确保一河清水进入丹江口水库。

(2) 兼顾两岸水景和惠民。武当山属自然景观和人文景观融合的山岳型风景名胜区,被誉为“亘古无双胜境,天下第一仙山”。剑河穿越武当山旅游特区首府(武当山镇),约 5.4 万居民沿水而居,每年超过 200 万游客在此集散。剑河水生态修复必须解决城镇河道的黑臭问题,让游客和近河居民呼吸到清洁的空气、看到干净的水体;必须与城市发展和园林景观有效结合,让人民享受优美的河流景观。

(3) 力争三方利益共赢。剑河作为武当山的重要河流,是国家、湖北省和武当山共同的利益载体。国家“南水北调”工程要求剑河提供清洁的水源,湖北省“两圈一带”和“一江两山”要求武当山成为鄂西旅游的战略支点,地方政府要求实现区域的可持续发展。在剑河的水生态修复中,要协调社会、经济、生态三者效益,兼顾国家、省市、武当山特区三级效益,力争“三赢”。

二、水生态修复任务概述

(1) 水功能达标。剑河上游(剑河水库)为武当山饮用水备用水源