

高人工调控下 典型丘区复杂小流域水环境 模拟预报关键技术研究



蔚辉 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高人工调控下 典型丘区复杂小流域水环境 模拟预报关键技术研究

 蔚辉 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

图书在版编目（C I P）数据

高人工调控下典型丘区复杂小流域水环境模拟预报关键技术研究 / 蔚辉著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2020. 8

ISBN 978-7-5170-8823-3

I. ①高… II. ①蔚… III. ①小流域—水环境—生态环境建设—研究—中国 IV. ①X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第171651号

审图号：川 S [2020] 00017 号

书 名	高人工调控下典型丘区复杂小流域水环境模拟预报关键技术研究 GAO RENGONG TIAOKONG XIA DIANXING QIUQU FUZA XIAO LIUYU SHUI HUANJING MONI YUBAO GUANJIAN JISHU YANJIU
作 者	蔚 辉 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	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	145mm×210mm 32开本 4.25印张 118千字
版 次	2020年8月第1版 2020年8月第1次印刷
定 价	48.00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

前言

水是生命之源，水资源质量的好坏直接决定了人类生存指数。随着城市化的加快进行和经济的大跨步发展，水资源的开发利用与水环境的污染矛盾越来越凸显。由于节水意识淡薄，生产、生活用水粗放，甚至把江河湖泊的水资源认为是取之不尽、用之不竭的，对破坏生态环境产生的危机不够重视，同时将大量处理不达标甚至不处理的废污水就排入我们赖以生存的地表河流中，忽略了对环境资源的可持续利用，导致部分河流干涸断流、污染严重，形成“有河皆干，有水皆污”的现象，河流生态系统受损。为此，协调经济高速发展与水环境质量系统的平衡是当务之急，需要以水定需，量水而行，因水制宜。

本书在充分调研国内外水环境预报、水环境模拟技术的基础上，综合分析了长江典型河段——茫溪河流域的水文循环过程和水环境演进趋势，针对流域特征，系统识别了流域陆域污染源-岸边排放口-水域水体之间的关联关系，将污染物排放与水体水质响应直接对应，构建了流域水文-水动力-水质耦合模型，对流域水环境进行了模拟预报，从而对无资料复杂小流域的水环境预报提供了一种方法。

本书是在前人的研究基础上取得的成果，参考了大量的文献资料，但由于作者水平有限，有些问题还需要

继续深入研究，不断完善。书中难免存在疏漏和不妥之处，还请广大读者多提宝贵意见。

作者

2020 年 4 月

目录

前言

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目标	2
1.3 研究内容	3
1.3.1 茫溪河污染源调查	3
1.3.2 污染特性分析	3
1.3.3 水环境质量特征分析	3
1.3.4 水环境预报模型研发	4
1.3.5 水体水环境质量变化与入河排污量响应关系分析	4
1.4 技术路线	4
2 茫溪河流域概况	6
2.1 流域位置	6
2.2 行政区划	6
2.3 社会经济	7
2.4 地形地貌	8
2.5 河流水系	9
2.6 水文特征	12
2.7 气候气象	12
2.8 植被土壤	12
2.9 水资源开发利用情况	13
3 茫溪河流域污染源调查评价	18
3.1 点源调查	18
3.1.1 工业污染源	18

3.1.2	城镇生活污染源	20
3.1.3	点源汇总	27
3.2	面源调查	27
3.2.1	农村生活污水	28
3.2.2	农田径流	31
3.2.3	畜禽养殖废污水	32
3.2.4	水产养殖	33
3.2.5	面源汇总	35
3.3	流域污染源汇总	39
4	茫溪河流域水环境时空变化特征	45
4.1	茫溪河流域水环境目标确定	45
4.2	茫溪河水环境质量现状	47
4.2.1	监测点位	47
4.2.2	水环境评价方法	49
4.2.3	茫溪河干流水环境状况	52
4.2.4	茫溪河支流水环境状况	68
4.3	茫溪河水环境治理过程	86
4.4	茫溪河水环境问题诊断	90
5	茫溪河水环境预报系统模型研发	93
5.1	茫溪河支流排污口概化	93
5.2	污染物入河量估算研究	94
5.2.1	入河系数研究	94
5.2.2	入河量估算	96
5.3	茫溪河水环境模型构建	97
5.3.1	模型介绍	98
5.3.2	水动力模型构建	102
5.3.3	降雨径流模型构建	106
5.3.4	水动力和降雨径流耦合	114
5.3.5	模型率定验证	115

5.3.6	水质模型构建	121
5.3.7	模拟结果分析	121
6	小结	124
6.1	茫溪河流域基本情况	124
6.2	茫溪河流域水环境问题	124
6.3	茫溪河流域水环境模拟小结	125
	参考文献	127

绪 论

1.1 研究背景

2015 年，国务院颁布了《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号），简称“水十条”，指出要加强水环境监控预警，稳妥处置突发水环境污染事件，建立水资源、水环境承载能力监测评价体系，实行承载能力监测预警。全面加强水生生态环境保护，着力加强水环境预报能力建设，是当前和今后一个时期的重要战略任务，必须下大力气稳步推进。

长江是我国水资源配置的战略水源地、重要的清洁能源战略基地和改善北方生态环境的重要支撑，在我国经济社会发展和生态文明建设中占有十分重要的战略地位，要把修复长江生态环境摆在压倒性位置，共抓大保护、不搞大开发，进一步推进长江流域水生态环境保护工作，打好长江保护修复攻坚战。中共中央国务院印发的《长江经济带发展规划纲要》明确提出了坚持生态优先、绿色发展，着力建设沿江绿色生态廊道，进一步推动长江上中下游协调发展的长江经济带发展总体思路。

茫溪河位于四川省中部长江上游地区，是岷江左岸的一级支流，是乐山市井研县境内主要水系。2017 年 3 月，乐山市出台的《乐山市水污染防治攻坚行动方案》明确要求：到 2020 年，岷江流域国、省控考核断面达标率保持在 75% 以上，岷江干流出境断面稳定达到Ⅲ类水质，茫溪河等主要小流域达到Ⅳ类水质，全面消除城市黑臭水体，县城及以上饮用水水源水质全面达

标, 主要地表水体水质明显改善。完成省下达的化学需氧量、氨氮等水主要污染物削减目标。茫溪河流域人口众多, 农事活动频繁, 是一个典型丘陵地区的农业流域, 区域人均水资源仅 800m^3 , 远低于全省 2800m^3 的平均水平, 缺水严重。茫溪河因资源性缺水严重, 枯水期流量不足 $1\text{m}^3/\text{s}$, 长期呈静流或断流状态, 加之沿河拦河堤坝多、周边乡镇居民生活污水以及农村面源污染问题, 上游无有效的生态用水补充, 导致水体自净能力弱, 一旦气温升高, 河底淤污就会上浮, 水质问题更加突显。

长江上游地区是我国西部大开发的重要区域, 是长江流域重要的生态屏障, 长江上游城市和工业、农牧业的不断发展, 将加剧对该地区环境的不利影响, 进而对流域生态系统产生重大影响。以“水十条”和国家生态环境监测网络建设方案为导向, 开展茫溪河高人工调控下的复杂小流域水环境预报系统研究, 全面掌握影响茫溪河流域水环境质量的各类污染源的数量、行业和地区分布概况, 了解主要污染物产生、排放和处理情况, 建立污染源与水环境质量响应关系, 准确预报水环境质量过程, 是牢固树立和践行“绿水青山就是金山银山”理念, 落实习近平总书记关于长江“共抓大保护”指示精神, 强化科技支撑服务, 打好长江保护修复攻坚战的一项前置条件。本研究工作能够提升长江典型流域水环境预报能力, 为区域环境污染综合治理和环境质量改善提供坚实的技术支撑。同时, 对于准确判断茫溪河流域水生生态环境形势, 制定实施有针对性的经济社会发展和环境保护政策、规划, 加快推进茫溪河流域生态文明建设, 不断改善环境质量, 补齐全面建成小康社会的生态环境短板具有重要意义。

1.2 研究目标

针对长江上游典型流域特点, 以典型河段茫溪河为代表, 全面了解和掌握茫溪河的水环境质量状况及污染源排放特性, 研究各类污染源对入河排污量贡献的估算方法, 构建茫溪河流域降雨

径流、水动力、水质模型，并对水体水环境质量变化与入河排污量的响应关系进行综合分析，探索和实践茫溪河流域水环境质量预报技术方法。

1.3 研究内容

1.3.1 茫溪河污染源调查

对排入茫溪河的重点工业污染源、生活污染源、面污染源及其他污染源进行调查，分析工业污染源的达标状况，确定污染物排放量。从水体上下游关系入手，水陆并进，以水域—入河排污口—陆上汇流区域3个层次，进行污染源、入河排污口、水域的对应关系调查，明确影响水域水质的主要污染源，明确排放去向、排放量，建立流域污染排放源数据集。

1.3.2 污染特性分析

采用文献调研、资料收集和现场调查等多种技术手段，收集环境统计资料中的流域污染源分布统计等基础资料，系统分析茫溪河流域内点源污染情况，匡算面源污染数据，分析污染物排放量的变化趋势，分行业分类别进行污染源评价，识别区域主要污染源。针对不同污染排放情况，归纳总结出不同的入河排污系数。

分行业对点源和非点源污染中各污染指标的入河量进行估算。建立适用于茫溪河的入河量估算方法和污染关键源区和高风险区识别分析方法。分析不同污染源在年度、季度和月尺度的时间变化趋势，研究以日时间尺度为基准对各类污染源进行时间分配的方法。

1.3.3 水环境质量特征分析

以茫溪河流域为基本空间单元，基于环境基础数据收集与整

合,采用水质监测调查等方法对流域水环境现状进行补充调查;基于历史数据和补充调查数据,从水质、水量等角度结合流域社会经济发展状况,全面展开流域水环境质量趋势分析和污染通量分析,包括水质类别及化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH_3-N)、总磷(TP)、总氮(TN)等主要污染物浓度;解析水环境时空变化特征,识别面临的主要问题及主要超标区域和超标因子。

1.3.4 水环境预报模型研发

基于流域特征,建立适合茫溪河流域的降雨径流、水动力、水质概念模型,概化流域水系特征及污染物输入方式,选取适合的边界条件及参数,综合考虑区域人工调控方式,构建茫溪河水环境预报模型。

1.3.5 水体水环境质量变化与入河排污量响应关系分析

通过污染源水陆对应关系以及水污染物排放分类调查,结合流域水质、污染源、水文条件设置不同情景,基于构建的概念模型,模拟分析各污染源输入条件下主要控制断面的水质状况,建立流域水环境质量变化与入河排污量响应关系分析方法,归纳总结茫溪河污染物排放与受纳水体的响应关系,并进行模型验证。

1.4 技术路线

基于所选长江上游典型河段茫溪河,通过现场调查、野外监测、室内外试验、统计分析、构建数学模型等多种方法,以茫溪河水质为目标,研究茫溪河入河污染源排放特性,核算流域内点、面源污染物入河量。通过现场调研、资料分析、补充监测、统计分析等技术手段,诊断典型河段水环境质量时空分布及变化情况。基于茫溪河流域污染源排放的动态性和水质变化的迁移性,以流域水文循环过程与陆域污染物迁移转化过程及水质响应

过程的耦合分析为手段，识别水文条件变化及污染源负荷类型特征与典型河段水质变化特征之间的关联关系，统筹水域水质需求与陆域经济社会发展及控制单元污染源，建立水环境质量—入河排污口（支流口）—污染源对应关系，研究流域水环境质量变化与入河排污量响应关系分析方法，研发选取适合茫溪河流域特征的降雨径流、水动力、水质耦合数值模式对上述结果进行模拟验证，研究分析不同陆域污染物的输入及其在河流中的迁移转化过程，归纳总结茫溪河污染物排放与受纳水体的响应关系，为推进茫溪河流域水环境质量预报技术方法进行探索和实践。本书研究的总体技术路线见图 1-1。

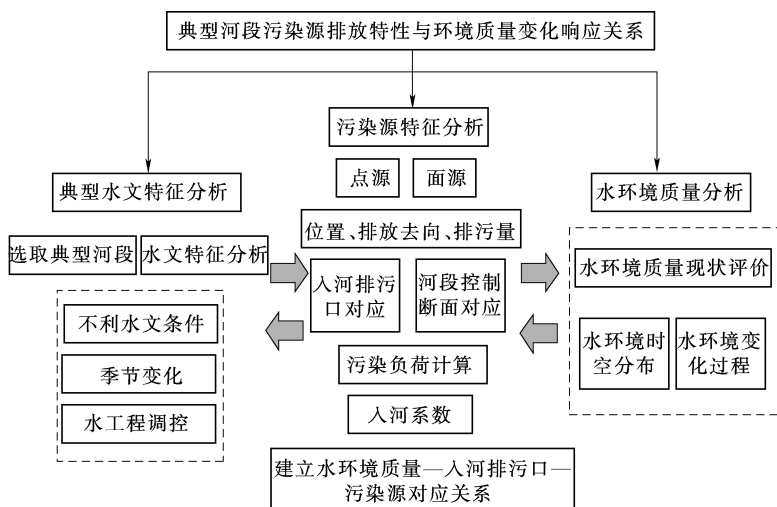


图 1-1 本书研究技术路线框图

茫溪河流域概况

2.1 流域位置

茫溪河流域位于东经 $103^{\circ}52' \sim 104^{\circ}15'$ 、北纬 $29^{\circ}27' \sim 29^{\circ}35'$ ，地处四川省中部，四川盆地西南部。

2.2 行政区划

茫溪河流域涉及 3 市（乐山市、眉山市、自贡市）6 县（区）（市中区、五通桥区、井研县、犍为县、仁寿县、荣县）46 个乡镇（白马镇、石龙乡、青平镇、迎阳乡、九龙乡、普仁乡、茅桥镇、凌云乡、新云乡、牛华镇、金山镇、杨柳镇、辉山镇、竹根镇、敖家镇、南阳乡、罗城镇、寿保乡、大佛乡、金峰乡、纯复乡、集益乡、研经镇、三教乡、研城镇、高滩乡、高凤乡、东林镇、宝五乡、千佛镇、四合乡、门坎乡、三江镇、马踏镇、竹园镇、石牛镇、磨池镇、王村镇、胜泉乡、黄钵乡、松峰乡、复兴乡、来牟镇、于佳乡、观山镇、留佳镇）。茫溪河流域行政区划见表 2-1 和图 2-1。

表 2-1 茫溪河流域所辖行政区划

市	县（区）	乡 镇
乐山市	市中区	白马镇、石龙乡、青平镇、迎阳乡、九龙乡、普仁乡、茅桥镇、凌云乡

续表

市	县(区)	乡 镇
乐山市	五通桥区	新云乡、牛华镇、金山镇、辉山镇、杨柳镇、竹根镇
	犍为县	敖家镇、南阳乡、罗城镇、寿保乡
	井研县	大佛乡、金峰乡、集益乡、纯复乡、研经镇、三教乡、研城镇、高滩乡、东林镇、高凤乡、宝五乡、千佛镇、门坎乡、四合乡、马踏镇、三江镇、石牛镇、竹园镇、磨池镇、王村镇、黄钵乡、胜泉乡
眉山市	仁寿县	松峰乡
自贡市	荣县	复兴乡、来牟镇、于佳乡、观山镇、留佳镇

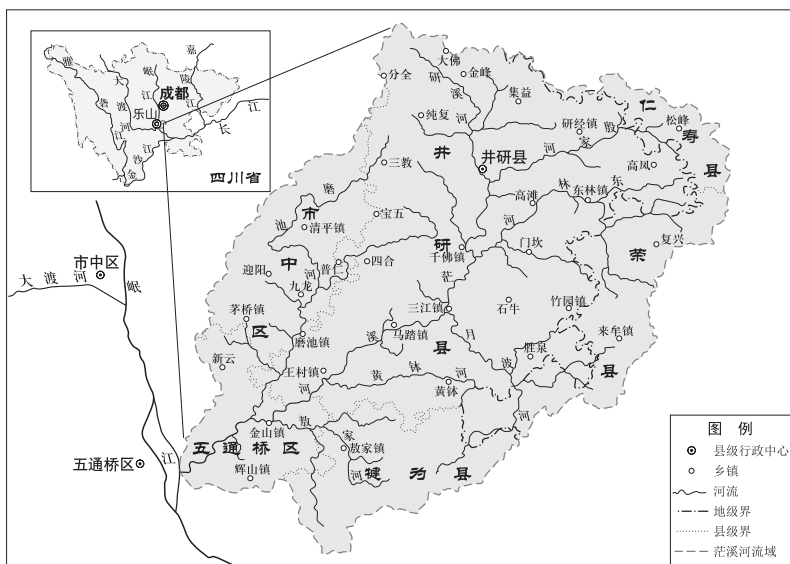


图 2-1 茫溪河流域行政区划图

2.3 社会经济

基于 2018 年茫溪河流域各区县统计年鉴数据，茫溪河流域

的 3 市 6 县 46 个乡镇范围内总人口 973113 人,其中农业人口 570462 人,城镇人口 222661 人,全流域耕地面积 72.79 万亩 ($1 \text{ 亩} \approx 667 \text{ m}^2$)。

茫溪河流域涉及乐山市市中区、五通桥区、井研县、犍为县、仁寿县、荣县 6 个县(区)。乐山市市中区地区生产总值(GDP) 350.17 亿元,其中,第一产业增加值 21.31 亿元,第二产业增加值 123.11 亿元,第三产业增加值 205.75 亿元。人均地区生产总值 50845 元。五通桥区地区生产总值 161.37 亿元,第一产业增加值 13.10 亿元,第二产业增加值 96.90 亿元,第三产业增加值 51.36 亿元,城镇居民人均可支配收入 31435 元。犍为县地区生产总值 159.66 亿元,人均地区生产总值 37505 元。仁寿县地区生产总值 385.78 万元,其中,第一产业增加值 76.60 亿元,第二产业增加值 165.99 亿元,第三产业增加值 143.18 亿元。人均地区生产总值 31970 元。荣县地区生产总值 208.99 亿元,第一产业增加值 50.55 亿元,第二产业增加值 78.86 亿元,第三产业增加值 79.57 亿元。

2.4 地形地貌

流域内地质构造属于扬子准地台西部的四川台坳,次一级构造为威远穹隆构造和龙泉山褶皱断裂。出露的主要地层为中生界侏罗系、白垩系和新生界的第四系。侏罗系以砂岩、长石石英砂岩与黏土岩互层出现,白垩系以砖红色砂岩为主,第四系以黏土和砂质黏土为主。流域内除少量含水岩层灰岩分布于东部外,余皆属于隔水岩层,地下水主要分布于断裂带、破碎带岩石裂隙之中。

流域内地势起伏不大,由北向南倾斜,北高南低。流域全境属于川中丘陵,多为大小不等的方山和浅丘,起伏和缓,西北部和东部边缘多深丘,根据地形起伏可以细分为深丘、中丘和浅丘,沿茫溪河中下游两岸及丘间、河谷区域有少量小块平坝分

布，少数是猪背山和单面山，山脊走向不明显，山顶较平缓。茫溪河流域地形地貌见图 2-2。

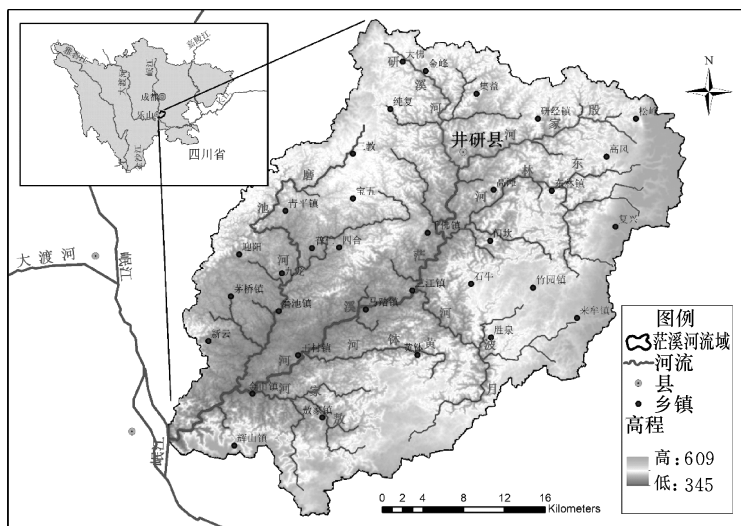


图 2-2 茫溪河流域地形地貌图

2.5 河流水系

茫溪河，古称拥斯茫水、四望溪，是岷江左岸一级支流。上游分东西二源，据清光绪《井研县志》记载，将东源殷家河作为茫溪河的正源；《井研县水利电力志》（1989 年）将西源研溪河定为茫溪河正源；《岷江志》中将殷家河研溪河并称东西二源，见图 2-3。

东源殷家河发源于仁寿县松峰乡大顶山至飞鸿山一带，主峰高程 597.00m，由东北流向西南，经双河水库，至观音村出仁寿县进井研县境。西源研溪河又名中秋河，发源于井研县分全乡大为村老鸦山，主峰高程 513.00m，由西北向东南流 20km，经大佛水库，至东方红村折向南流，沿途经金紫、金峰、长河、研