

公益



期刊基本参数: CN 10-1326/TV * 2015 * m * A4 * 84 * zh * P * ¥20.00 * 14000 * 16 * 2022-4

ISSN 2096-0131
CN 10-1326/TV

2022.4
第8卷

水资源开发与 管理

Water Resources Development and Management



水资源开发与 管理

二〇二二年 第八卷 第四期

Vol. 8 No. 4 2022

ISSN 2096-0131



9 772096 013226

中国水利工程协会主管
Directed by China Water Engineering Association
中国水利工程协会主办
Sponsored by China Water Engineering Association

节水专栏约稿（征稿）函

节约用水贯穿着经济社会发展的全过程，涉及农业、工业、服务业等领域，涉及单位、家庭、个人等用水主体，是所有用水者共同的社会责任。为全面贯彻新发展理念，推进实施国家节水行动、科学谋划和扎实促进新阶段水利高质量发展、全面建设社会主义现代化国家提供有力支撑，《水资源开发与管理》期刊开设节水专栏，旨在提升公众节水意识、培养社会节水风尚、促进节水型社会建设、推进水资源节约保护融入经济社会发展和生态文明建设，现特面向各城市水利（水务）部门，水利科学研究单位的领导、专家、技术人员及高校科研人员征稿（约稿），稿件要求如下：

稿件按照学术论文的写作规范，应有两百字左右的摘要和三至五个关键词，正文部分要包含引言和结语。专栏内容可围绕国家节水行动、节水型社会建设、用水定额管理、节约用水规划、节水评价、节水载体建设、节水技术等内容。

水利乡村振兴专栏约稿（征稿）函

水利乡村振兴是巩固拓展脱贫攻坚成果、推进乡村振兴的水利支撑和保障。为扎实推进《“十四五”巩固拓展水利扶贫成果同乡村振兴水利保障有效衔接规划》的实施，促进脱贫地区水利高质量发展，《水资源开发与管理》期刊拟设水利乡村振兴专栏，展现乡村河湖治理的优质成果和脱贫地区重大水利工程建设经验以供其他脱贫乡村水管理部门参考。

稿件需语句通顺，逻辑关系衔接紧密，有可宣传借鉴的实践意义。按照学术论文的写作规范，应有两百字左右的摘要和三至五个关键词，正文部分有引言和结语，且字数不少于4000。正文内容可围绕农村饮水安全、农田灌排工程建设、乡村防洪减灾、水生态环境治理和保护、乡村供水保障等。

期刊背景

《水资源开发与管理》（月刊）是由中国水利工程协会主管主办、公开发行的科技类学术期刊。国际标准连续出版物号 ISSN 2096-0131，国内统一刊号 CN 10-1326/TV。

投稿方式

请作者登陆杂志社官方网站：<http://www.sljsygl.com/> 注册成功后，点击“水资源开发与在线投稿”填写信息并上传稿件。稿件审核后，择优免费刊登。

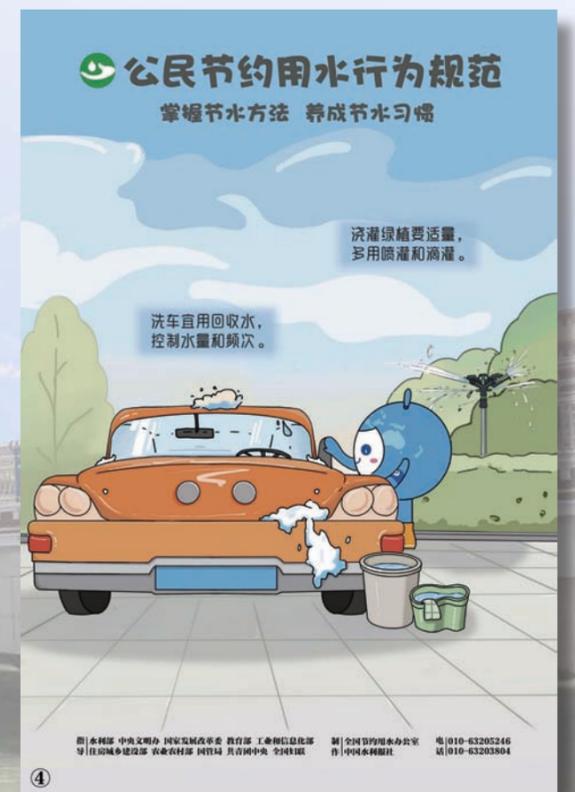
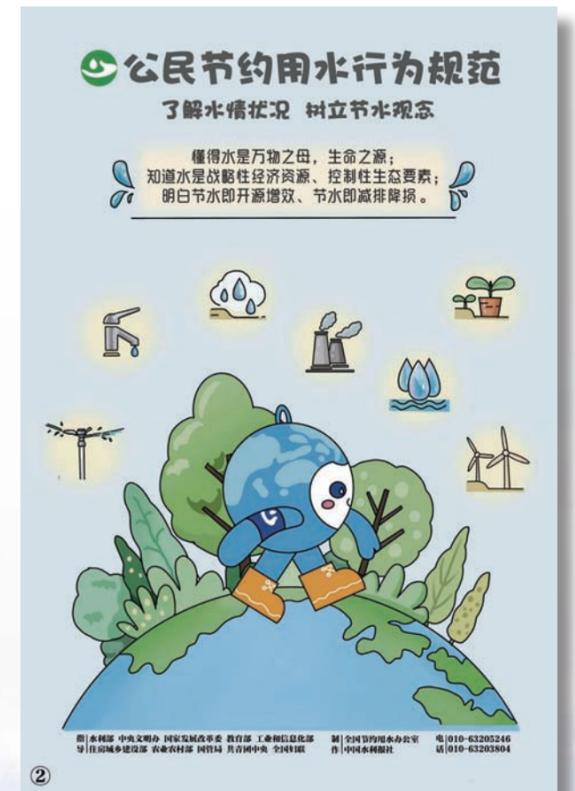
联系方式

联系人：杨燕 王宁昕

地址：北京市西城区南滨河路27号贵都国际中心B座1119室

电话：010-63305216/63305236

邮编：100055



水资源开发与管理

Shuiziyuan Kaifa Yu Guanli

(月刊)

2015 年创刊

2022 年第 8 卷第 4 期

总第 75 期

出版日期: 2022 年 4 月 25 日

主管单位 中国水利工程协会

主办单位 中国水利工程协会

主编 安中仁

副主编 任京梅 吴香菊

编辑部主任 杨燕

编辑 王宁昕 季雪威

编辑出版 《水利建设与管理》杂志社有限公司

通信地址 北京市西城区南滨河路 27 号小区 7 号楼 11 层 1116 号(贵都国际中心 B 座 1116 室编 1105)

邮编 100055

网址 <http://www.sljsygl.com>

在线投稿 <http://szy.sljsygl.com/home/login>

联系电话 010-63305220 (发行)

010-63305233 (投稿)

010-63305258 (广告)

印刷单位 北京博海升彩色印刷有限公司

发行范围 公开发行

国内发行 中国邮政集团公司北京市报刊发行局
本刊发行部

邮发代号 82-389

国外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

国外发行代号 M09525

中国标准连续出版物号 ISSN 2096-0131
CN 10-1326/TV

广告发布登记 京西市监广登字 20170082 号

国内定价 20.00 元



水利建设与管理杂志社官方微信公众账号二维码,欢迎扫描加关注,随时检索协会会刊论文发表情况。

目次

CONTENTS

2022年第4期

◆ 本期特稿

- 1 2022 年河湖管理工作要点
- 4 2022 年水利乡村振兴工作要点

◆ 水资源管理

- 5 漳河水库近 20 年调度运用分析 冯天权 陈祖梅 郑国
- 11 晋州市水资源开发利用形势及对策 赵亚锋 李芳然 赵名彦
- 15 上海原水系统现状及发展规划 于大海

◆ 水文

- 24 悬浮泥沙荷载下水库泥沙淤积变化及流型演变 杨帆 池苗苗
- 30 松滋河河口段泥沙特征及潜在生态风险评价 徐会显 江小青 姜军
- 34 雅砻江流域降水时空变化特征分析 万浩 齐明臣 李红梅
- 43 近 60 年杂木河流域径流长期演变规律及趋势研究 何梅芳

◆ 水生态保护

- 48 基于 LID 理论的透水路面雨洪控制模拟分析 王雷 张杰 王小龙
- 55 不同生物亲和改性剂对绳状人工水草污染物削减率的影响研究 苏苑君
- 61 鞍山市海城河水质演变及主要参数间相关性分析 李雪
- 66 苏州河市郊段底泥重金属分布及其生态风险评价 潘岳 姜铁军 顾小双
- 71 济宁市水生态现状分析与思考 寇珊珊

◆ 智慧水利

- 75 基于 HTML5 的潮白河补水 APP 关键技术研究与应用 李昊 马雪 李晓磊

◆ 水利乡村振兴

80 淮安清江浦区“水美乡村”试点建设分析与思考 赵志豪 王冠依

编 委 会

名誉主任：王 浩

主 任：安中仁

副 主 任：任京梅 董红元

编委会成员（按姓氏笔画排列）

王国庆 王新才 石玉波

杨金春 张文鸽 张淑玲

张新玉 罗益信 姜广田

公益：广告

封一 北海纳瑞气 祥云绕白塔(北京海策工程咨询有限公司;刘文)

封二 节水专栏约稿(征稿)函;水利乡村振兴专栏约稿(征稿)函

封三 《公民节约用水行为规范》宣传海报(I)

封底 《公民节约用水行为规范》宣传海报(II)

版权声明：本刊刊出的内容，未经本刊许可，不得转载。所有在本刊刊发的文字、图片，本刊拥有网络电子版版权。如果作者有异议，请在来稿时向本刊声明。

◆ Special Report

- 1 Key points of rivers and lakes management works in 2022
- 4 Key points of water conservancy and rural revitalization in 2022

◆ Water Resources Management

- 5 Analysis on dispatch and operation of Zhanghe Reservoir in recent 20 years
FENG Tianquan, CHEN Zumei, ZHENG Guo
- 11 Situation and countermeasures of water resources development and utilization in Jinzhou City
ZHAO Yafeng, LI Fangran, ZHAO Mingyan
- 15 Present situation and development planning of raw water system in Shanghai
YU Dahai

◆ Hydrology

- 24 Sediment deposition change of reservoir under suspended sediment load and flow pattern evolution
YANG Fan, CHI Miaomiao
- 30 Sediment characteristics and potential ecological risk assessment of Songzi River estuary
XU Huixian, JIANG Xiaoqing, JIANG jun
- 34 Analysis of temporal and spatial variation characteristics of rainfall in Yalong River basin
WAN Hao, QI Mingchen, LI Hongmei
- 43 Study on long-term evolution law and trend of runoff in Zamu River Basin in recent 60 years
HE Meifang

◆ Water Ecological Protection

- 48 Simulation analysis of rain and flood control of permeable pavement based on LID theory
WANG Lei, ZHANG Jie, WANG Xiaolong
- 55 Effect of different biological affinity modifiers on pollutant reduction rate of rope-like artificial aquatic plants
SU Yuanjun
- 61 Water quality evolution of Haicheng River in Anshan City and correlation analysis of main parameters
LI Xue
- 66 Distribution of heavy metals in sediments in suburb of Suzhou River and environmental ecological risk assessment
PAN Yue, JIANG Tiejun, GU Xiaoshuang
- 71 Analysis and thinking on the present situation of water ecology in Jining City
KOU Shanshan

◆ Hydraulic Intelligence

- 75 Research and application of key technologies of Chaobai River water supplement APP Based on HTML5
LI Hao, MA Xue, LI Xiaolei

Water Conservancy Rural Revitalization

80 Analysis and thinking on the pilot construction of “beautiful countryside with water” in Qingjiangpu District of Huai’an

ZHAO Zhihao, WANG Guanyi

2022 年河湖管理工作要点

2022 年，河湖管理工作以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，深入落实习近平总书记“十六字”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神，贯彻落实党中央、国务院关于完善河湖管理保护机制、强化河湖长制部署，按照全国水利工作会议要求，从河流整体性和流域系统性出发，强化体制机制法治管理，严格河湖水域岸线空间管控和河道采砂管理，纵深推进河湖“清四乱”常态化规范化，推动各级河湖长和相关部门履职尽责，建设健康美丽幸福河湖。

一、强化河湖长制

1. 制定强化河湖长制的指导意见。从履职尽责、监督检查、考核评价、协调联动等方面，指导各地立足新阶段、新形势、新特点、新任务，全面强化河湖长制，提请全面推行河湖长制工作部际联席会议审议通过后印发实施。

2. 强化流域统筹区域协同。7 大流域全面建立省级河湖长联席会议机制，办公室设在各流域管理机构，健全完善流域管理机构与省级河长办协作机制，充分发挥流域管理机构统筹作用，协调上下游、左右岸、干支流联防联控联治。各地要加强跨行政区域河湖的协同管护，变“分段治”为“全域治”。

3. 强化部门联动。报请召集人同意，筹备召开全面推行河湖长制工作部际联席会议暨加强河湖管理保护会议，加强对全国河湖长制工作的统筹协调。各地要完善联席会议机制，充分发挥各部门作用。提高各级河长办组织、协调、分办、督办工作能力。

4. 完善地方河湖长制组织体系。各地要全面检视河湖长制体系建设情况，建立完善河湖长动态调整

机制和河湖长责任递补机制，确保组织体系、制度规定和责任落实到位。在充分发挥河道、堤防管理单位作用的同时，采取政府购买服务、设立巡（护）河员岗位等方式，加强河湖日常巡查管护，打通河湖管护“最后一公里”。指导工程沿线各省份全面建立完善南水北调工程河湖长制体系。

5. 加强河湖长制监督检查。建立健全省、市、县河湖长制及河湖管理保护日常监管体系，明确分级负责的责任要求和目标任务。按程序报经批准后，水利部继续组织各流域管理机构开展以暗访为主的河湖管理监督检查，并选取部分省份进行进驻式检查。

6. 严格河湖长制考核评价。指导各地严格执行河湖长制考核制度，县级以上河湖长要组织对相关部门和下一级河湖长目标任务完成情况进行考核，对河湖长要考核到个人，强化结果运用，发挥考核“指挥棒”作用。落实国务院督查激励机制，继续对河湖长制工作推进力度大、成效明显的地方给予激励。推动出台对省级政府全面推行河湖长制实施绩效的考核办法。

7. 开展幸福河湖建设。各省级河长办要组织开展河湖健康评价，积极推进河湖健康档案建设；滚动编制“一河（湖）一策”，深入推进河湖综合治理、系统治理、源头治理，打造人民群众满意的幸福河湖。持续推动建设一批高质量国家水利风景区。

8. 加强宣传培训。承办中央组织部全面推行河湖长制湖长制网上专题班，专题培训河湖长 5000 名。开展“逐梦幸福河湖”主题实践活动，面向全国基层河湖长寻找“最美河湖卫士”，征集“建设幸福河湖”优秀短视频作品，开展寻找“最美家乡河”活动。

9. 加强法规制度建设。制定加强河湖水域岸线

管控指导意见，加快推进河道采砂管理条例、长江河道采砂管理条例制定修订进程，开展河道管理条例修订前期研究，指导地方加快完善河湖长制与河湖管理保护法规制度。

二、加强河湖水域岸线空间管控

10. 巩固完善河湖管理范围划界成果。对划界成果进行省级复核、流域管理机构抽查，对于不符合要求的划界成果，督促地方及时整改。推进水利普查河湖名录以外河湖管理范围划界。

11. 抓好岸线保护与利用规划编制实施。实施长江、黄河、淮河、海河、珠江、松辽流域重点河段岸线保护与利用规划，推进太湖流域重要河湖岸线保护与利用规划审查批准，指导地方加快省级负责的河湖岸线规划编制报批工作，强化岸线分区管控，确保重要江河湖泊规划岸线保护区、保留区比例总体达到50%以上。

12. 加强河湖水域岸线空间分区分类管控。指导监督流域管理机构、地方水行政主管部门按照审查权限，严格依法依规审批涉河建设项目和活动。

13. 纵深推进河湖“清四乱”常态化规范化。持续清理整治“四乱”问题，坚决遏增量、清存量，将清理整治重点向中小河流、农村河湖延伸。组织开展监督检查，建立台账，指导督促有关地方抓好河湖突出问题整改。

14. 开展妨碍河道行洪突出问题排查整治。将确保河道行洪安全纳入河湖长制目标任务，依法依规严肃处理侵占河道、湖泊等行为，汛前基本完成阻水严重的违法违规建筑物、构筑物等突出问题清理整治。

15. 开展丹江口“守好一库碧水”专项整治行动。依托河湖长制，对丹江口水库水域岸线存在的突出问题进行全面排查，开展清理整治，切实维护南水北调工程安全、供水安全和水质安全。

16. 加强南水北调中线交叉河道妨碍行洪问题清理整治。全面排查、集中整治南水北调中线以倒虹吸、渡槽、暗渠等型式交叉的河道“四乱”问题，

对违法违规、严重妨碍行洪安全的问题集中整治，有效保障工程防汛安全风险隐患处置和供水保障任务。

三、加强河道采砂管理

17. 全面落实采砂管理责任。指导督促各地严格落实河道采砂管理责任制，5月1日前向社会公布重点河段、敏感水域采砂管理河长、水行政主管部门、现场监管和行政执法责任人名单，接受社会监督。研究制定采砂管理责任人履职规范。

18. 规范河道砂石利用管理。制订河道采砂许可证电子证照技术标准，试行河道采砂许可电子化。推进河道砂石规模化、集约化统一开采，指导地方、有关流域管理机构编制完善河道采砂规划，以规划为依据依法开展河道采砂许可，加强事中事后监管。指导督促地方加强河道疏浚砂综合利用管理，合理利用河道、航道整治中产生的砂石资源，禁止以河道整治、航道疏浚为名行非法采砂之实。

19. 开展河道非法采砂专项整治。持续开展全国河道非法采砂专项整治行动，组织流域管理机构开展调研或督导，指导督促地方加强巡查执法，严厉打击非法采砂行为，强化行政执法与刑事司法衔接，及时移交违法犯罪线索，配合有关部门严厉打击“沙霸”及其背后“保护伞”，推动专项行动走深走实。

20. 加强长江、黄河采砂管理。深入落实水利部、公安部、交通运输部长江河道采砂合作机制，加强与工业和信息化部、市场监管总局协调配合，持续治理“三无”“隐形”采砂船舶，巩固长江河道采砂综合整治成果；强化流域统筹，上下游、干支流、左右岸联动，推行长江砂石采运电子管理单，加强砂石“采、运、销”过程管控。深入开展黄河非法采砂专项治理，加强日常巡查监管，高压严打非法采砂行为，维护黄河采砂管理秩序。

21. 强化流域直管河道采砂管理。充分发挥河湖长制作用，督促落实流域管理机构直管河道采砂管理责任，完善流域管理机构与相关地方协作机制，强化协调配合，共同维护直管河道采砂秩序。

四、加强智慧河湖建设

22. 提升河湖监管信息化水平。全面完成第一次全国水利普查名录内河湖划界成果上图,推动全国大江大河岸线功能分区成果和采砂管理规划成果上图,利用“全国水利一张图”完善涉河建设项目和活动审批许可数据,加强涉河建设项目信息化管理,推动流域管理机构直管河道采砂管理信息化建设,提高管理水平,提升管理效能。

23. 开展河湖遥感监管。结合数字孪生流域(河流)建设,完善现有河湖遥感监控平台,推进图斑智能识别、疑似问题预警预判,对侵占河湖问题快速响应,做到早发现、早制止、早处置。

24. 完善河湖管理信息系统。完善全国河湖长制管理信息系统、河湖管理督查 APP,优化完善各省级系统与水利部系统之间互联互通,实现业务协同和数据共享。

五、全面加强党的建设

25. 强化理论武装。深入学习贯彻习近平新时代

中国特色社会主义思想、习近平总书记“十六字”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神,巩固拓展党史学习教育成果,推动党史学习教育常态化、长效化,不断提高政治判断力、政治领悟力、政治执行力,心怀“国之大者”,增强河湖管理工作的使命感、责任感、紧迫感。

26. 加强政治建设。始终把党的政治建设放在首位,扎实开展模范机关、“四强”党支部创建,深入推进党支部标准化规范化建设。严格执行党内政治生活、重大事项请示报告等制度,进一步增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”。

27. 纵深推进全面从严治党。始终贯彻以人民为中心的发展思想,认真落实中央八项规定及其实施细则精神,坚定不移纠“四风”、树新风,深入开展调查研究,认真回应社会关切。全面落实党风廉政建设责任制,坚持“一岗双责”,持续实现党建和业务工作深度融合。加强基层河湖管理队伍建设,不断提高河湖管理能力和水平,推动新阶段水利高质量发展。

(来源:水利部网站 2022 年 2 月 25 日 http://www.mwr.gov.cn/zw/tzgg/tzgs/202202/t20220225_1562998.html)

(上接第 33 页)松滋河河口区域泥沙特征研究提供一定的参考,后续可进一步加强河口区泥沙资源化利用等相关研究。◆

参考文献

- [1] 李景保,何蒙,于丹丹,等.水利工程对长江荆南三口水系结构变化的影响[J].地理科学,2019,39(6):1025-1035.
- [2] 于丹丹,杨波,李景保,等.近 61 年来长江荆南三口水系结构演变特征及其驱动因素分析[J].水资源与水工程学报,2017,28(4):13-20.
- [3] 高辰龙,陆纪腾,刘燕婕.荆江航道疏浚土优先控制污染物筛选研究[J].水运工程,2016(7):26-31,60.
- [4] 胡红兵,吴中乔,高辰龙,等.长江航道疏浚土潜在的健康风险[J].水运工程,2018(1):45-49.
- [5] 杨瑞敏,丁建文,章振宁.高含水率疏浚泥沙堆场的颗粒分

选特性研究[J].泥沙研究,2020,45(1):59-66.

- [6] 段光磊,王国维.河床组成勘测调查技术与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [7] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach [J]. Water research, 1980,14(8):975-1001.
- [8] 臧小平,郭利平,陈宏章,等.长江干流水底沉积物中十二种金属元素的背景值及污染状况的初步探讨[J].环境监测,1992,(4):18-20.
- [9] SL42—2010 河流泥沙颗粒分析规程[S].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [10] 王岚,王亚平,许春雪,等.长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价[J].环境科学,2012,33(8):2599-2606.

2022年水利乡村振兴工作要点

为深入贯彻中央经济工作会议、中央农村工作会议精神及《中共中央国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》，全面落实全国水利工作会议精神，扎实推进《“十四五”巩固拓展水利扶贫成果同乡村振兴水利保障有效衔接规划》实施，近日，水利部印发《2022年水利乡村振兴工作要点》。

2022年，水利乡村振兴工作坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，坚持稳中求进工作总基调，立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展，促进共同富裕，按照实施乡村振兴战略的总体要求，遵循“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，以牢牢守住不发生规模性农村饮水安全问题为底线任务，务实推进水利基础设施建设、水生态治理保护和水利管理服务能力提升，努力完成年度确定的各项目标任务，促进脱贫地区水利高质量发展，夯实乡村振兴水利基础。

一是围绕巩固脱贫攻坚成果，坚决守住农村饮水安全底线。加大对脱贫地区农村饮水安全监测频次，维护已建工程成果，进一步提高水质保障水平。加快农村供水工程建设改造，确保2022年底农村自来水普及率达到85%。

二是围绕产业兴旺和粮食安全，着力推进农田灌排工程建设。推进脱贫地区符合条件的大中型灌区开

展前期工作，加快在建大中型灌区建设。推进大中型灌区续建配套与现代化改造，推动优先将大中型灌区有效灌溉面积建成高标准农田。

三是围绕乡村防洪减灾，加大水旱灾害薄弱环节建设。开展脱贫地区大江大河干流河道整治及堤防达标建设，实施中小河流治理。加快推进控制性枢纽建设，实施病险水库除险加固，加快蓄滞洪区布局优化调整和建设。继续实施重点山洪沟防洪治理，加强水文基础设施建设。

四是围绕乡村生态宜居，开展水生态环境治理和保护。支持脱贫地区实施国家水土保持重点工程和水系连通及水美乡村建设。推进河湖“清四乱”常态化规范化，持续推进地下水超采综合治理。

五是围绕区域发展战略，提升乡村振兴供水保障能力。支持脱贫地区做好150项重大水利工程前期论证工作，加快推进在建重大水利工程建设。加快中小型水库建设。

六是坚持改革创新，提升水利管理服务能力。强化脱贫地区水利工程管理，加强人才培养，实施科技帮扶，抓好水利劳务帮扶工作。

七是落实中央有关要求，做好水利帮扶工作。加大国家乡村振兴重点帮扶县支持力度，开展定点帮扶和对口支援。

(来源:水利部网站 2022年3月14日 http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202203/t20220314_1564668.html)

漳河水库近 20 年调度运用分析

冯天权 陈祖梅 郑 国

(湖北省漳河工程管理局,湖北 荆门 448156)

【摘要】 本文基于漳河水库 2001—2020 年实际调度运用资料,对水库流域、灌区降水量、水库来水量、库容变化及水库供水调度等进行了统计,对水库兴利调度运用管理与调度运用效益进行了分析。结果表明,近 20 年来,漳河水库经过统筹分析、调度,最大限度地满足了各供水部门用水需求,充分发挥了水利工程抗御灾害和综合兴利的作用,取得了显著的社会经济效益,促进了供水区域社会经济的可持续发展。

【关键词】 调度运用;资料分析;效益;漳河水库

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-005-06

Analysis on dispatch and operation of Zhanghe Reservoir in recent 20 years

FENG Tianquan, CHEN Zumei, ZHENG Guo

(Zhanghe Engineering Management Bureau of Hubei Province, Jingmen 448156, China)

Abstract: Based on the actual operation data of Zhanghe Reservoir from 2001 to 2020, this paper makes statistics on reservoir basin, irrigation area precipitation, reservoir inflow, reservoir capacity change and reservoir water supply operation, and analyzes the operation management and operation benefit of the reservoir. The results show that, in the past 20 years, Zhanghe Reservoir has met the water demand of all water supply departments to the maximum extent through overall analysis and operation, fully played the role of water conservancy projects in resisting disasters and promoting comprehensive benefits, and achieved remarkable social and economic benefits, which played a great role in promoting the sustainable development of social economy in water supply areas.

Key words: dispatch and operation; data analysis; benefit; Zhanghe Reservoir

1 概 述

漳河水库位于湖北省江汉平原西北部,总库容 21.13 亿 m^3 ,其中兴利库容 9.24 亿 m^3 ,调洪库容 4.21 亿 m^3 ,设计灌溉面积 17.37 万 hm^2 ,多年平均来水量 7.97 亿 m^3 ,是一座以灌溉为主,兼具防洪、城镇供水、发电、水产、航运、旅游、改善环境等综合效益的大型水利工程。近 20 年来(2001—2020 年),漳河水库流域

来水量偏少,而兴利部门需水要求则在不断增长,且漳河水库灌区出现了历史上有记录资料以来罕见的连续 4 年严重干旱。在可供水量有限的情况下,水库调度人员科学编制调度预案,按批准的计划供水、严格计量,确保农业灌溉、城镇供水、生态补水等用水需求,限制发电供水量,充分发挥了大型水利工程的骨干调节作用,体现了水利工程抗御灾害和综合兴利的显著社

收稿日期: 2021-12-13

作者简介: 冯天权(1968—),男,正高级工程师,硕士,主要从事防汛抗旱、水资源管理、水利信息化工作。

会经济效益^[1]。

2 漳河水库近 20 年来的调度运用分析

2.1 水库流域、灌区降水量与水库来水量、蓄水量变化统计

根据漳河水库调度运用统计资料,漳河水库流域

多年(1963—2020年)平均降水量、来水量分别为973mm、7.97亿m³,近20年(2001—2020年)平均降水量为903mm。水库灌区为跨流域引水,多年(1963—2020年)平均降水量为906mm,近20年(2001—2020年)平均降水量、来水量分别为901mm、7.64亿m³(见表1)。

表1 漳河水库流域、灌区降水量与水库来水量、蓄水量变化统计

年份	水库流域降水量		水库灌区降水量		水库流域来水量		水库蓄水量变化/亿m ³		
	降水量/mm	与多年平均比较/%	降水量/mm	与多年平均比较/%	来水量/亿m ³	与多年平均比较/%	1月1日库容	12月31日库容	库容变化
2001	947	-2.67	602	-33.55	5.85	-26.60	16.430	12.500	-3.930
2002	706	-27.44	1081	19.32	8.87	11.29	12.500	13.950	1.450
2003	840	-13.67	826	-8.83	7.19	-9.79	13.950	13.384	-0.566
2004	816	-16.14	930	2.65	7.52	-5.65	13.390	13.600	0.210
2005	844	-13.26	676	-25.39	7.29	-8.53	13.599	13.930	0.331
2006	806	-17.16	836	-7.73	7.27	-8.78	13.930	13.360	-0.570
2007	1352	38.95	1097	21.08	15.32	92.22	13.360	15.696	2.336
2008	1025	5.34	986	8.83	12.68	59.10	15.683	15.276	-0.407
2009	811	-16.65	896	-1.10	7.98	0.13	15.276	14.172	-1.104
2010	884	-9.15	957	5.63	8.16	2.38	14.168	14.749	0.581
2011	740	-23.95	697	-23.07	5.21	-34.63	14.749	11.758	-2.991
2012	743	-23.64	748	-17.44	4.94	-38.02	11.780	10.411	-1.369
2013	844	-13.26	922	1.77	4.83	-39.40	10.411	9.527	-0.884
2014	764	-21.48	709	-21.74	4.81	-39.65	9.527	9.482	-0.045
2015	843	-13.36	953	5.19	6.48	-18.70	9.482	12.030	2.548
2016	1034	6.27	1151	27.04	8.04	0.88	12.030	14.763	2.733
2017	1105	13.57	972	7.28	9.17	15.06	14.763	15.970	1.207
2018	960	-1.34	936	3.31	6.69	-16.06	15.970	13.969	-2.001
2019	679	-30.22	744	-17.88	2.91	-63.49	13.969	10.798	-3.171
2020	1316	35.25	1297	43.16	11.55	44.92	10.798	15.523	4.725
平均	903	-7.20	901	-0.55	7.64	-4.14			

2.1.1 水库流域降水量

由表1可以看出,与水库流域多年平均值比较,2001—2020年水库流域平均降水量903mm,比多年平均偏少7.20%。近20年来,降水量比多年平均偏少年份为15年,偏多年份为5年,其中2001—2006年,连续6年降水量偏少2.67%~27.44%;2009—2015年,连续7年降水量偏少9.15%~23.95%;尤以2019年最为突出,降水量偏少30.22%。近20年水库流域降水

量不但处于偏少的状态,且呈多年连续偏少状态。

2.1.2 水库灌区降水量

由表1可以看出,2001—2020年水库灌区平均降水量为901mm,与同期水库流域降水量相比,偏少仅0.22%,相差不大;与水库流域多年平均降水量相比,偏少7.4%。说明近20年来,水库灌区与流域降水量相差不大。与灌区多年平均值相比,偏少仅0.55%,说明近20年来,灌区降水量处于正常状态。近20年来

灌区降水比较均匀,连续出现偏少的年份仅 2 年(2 次),即 2005—2006 年,分别偏少 25.39%、7.73%,以及 2011—2012 年,分别偏少 23.07%、17.44%;连续出现偏多的年份有 4 年,即 2015—2018 年,偏多 3.31%~27.04%;尤以 2020 年最为突出,偏多 43.16%。

2.1.3 水库流域来水量

由表 1 可知,2001—2020 年水库流域平均来水量为 7.64 亿 m^3 ,比多年平均偏少 4.14%。近 20 年来,来水量比多年平均值偏少年份为 12 年,偏多年份为 8 年,与降水量变化一样,来水量也存在连续多年偏少的现象,如 2003—2006 年,连续 4 年偏少 5.65%~9.79%;2011—2015 年,连续 5 年偏少 18.70%~39.65%(其中 2011—2014 年,连续 4 年偏少在 34.63%以上);尤以 2019 年最为突出,来水量偏少 63.49%。与降水量不同的是,近 20 年来水库流域出现了连续 4 年大于平均值的现象,如 2007—2010 年,连续 4 年偏多 0.13%~92.22%,尤以 2007 年最为突出,来水量偏多

92.22%。来水量的连续性丰、枯变化,使得水、旱灾害较为频繁。

2.1.4 水库蓄水量变化

由表 1 可知,水库蓄水量变化较大。近 20 年来,年度蓄水量变化在 -3.930 亿~4.725 亿 m^3 之间,年初、年末蓄水量变化在 9.482 亿~16.430 亿 m^3 之间。由此可见,各年中蓄水量变化更大,说明水库兴利调度运用效果明显。2011—2014 年,漳河水库连续 4 年蓄水量呈减少的趋势,尤其是 2014 年,库水位降至 20 年来最低值,仅为 112.09m(2014 年 8 月 22 日),低于死水位 0.91m(死水位为 113.00m)。即使在水库水位处于较低的状态下,当年仍向各用水部门供水 3.94 亿 m^3 ,说明水库多年调节发挥了作用。

2.2 水库供水调度

对水库供水资料进行统计,近 20 年来漳河水库供水统计情况见表 2。为便于比较,将主要部门用水量按连续 5 年计算平均值进行绘图,见图 1。

表 2 近 20 年漳河水库供水统计情况

单位:亿 m^3

年份	农业灌溉	发电用水	城镇供水	泄洪	生态补水	供水小计	蒸发渗漏	合计
2001	3.20	4.37	0.87	0	0	8.44	1.34	9.78
2002	0.14	4.45	0.86	0.33	0.31	6.09	1.32	7.41
2003	0.43	4.93	0.86	0	0.30	6.52	1.23	7.75
2004	1.48	3.45	0.86	0	0.22	6.01	1.31	7.32
2005	2.15	2.50	0.87	0	0.26	5.78	1.18	6.96
2006	1.37	4.18	0.92	0	0.17	6.64	1.20	7.84
2007	0.38	4.42	1.00	5.66	0.24	11.70	1.29	12.99
2008	0.62	6.01	0.97	2.64	0.62	10.86	1.33	12.19
2009	0.54	5.76	0.97	0	0.50	7.77	1.32	9.09
2010	0.42	4.53	0.99	0	0.39	6.33	1.24	7.57
2011	2.59	3.04	0.99	0.04	0.39	7.05	1.16	8.21
2012	2.20	1.90	0.96	0	0.23	5.29	1.02	6.31
2013	1.69	1.60	1.02	0.05	0.32	4.68	1.05	5.73
2014	1.33	1.24	1.06	0	0.31	3.94	0.90	4.84
2015	0.19	1.28	1.10	0	0.26	2.83	1.10	3.93
2016	0.16	2.32	1.15	0	0.39	4.02	1.28	5.30
2017	1.01	4.19	1.19	0	0.23	6.62	1.35	7.97
2018	0.37	5.32	1.23	0	0.42	7.34	1.45	8.79
2019	1.08	1.84	1.36	0	0.61	4.89	1.26	6.15
2020	0.56	3.39	1.36	0	0.31	5.62	1.21	6.83
平均	1.10	3.53	1.03	0.43	0.32	6.41	1.23	7.64

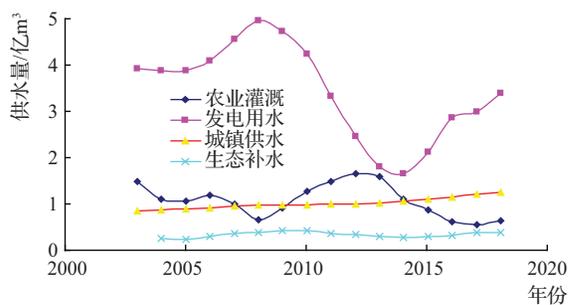


图1 漳河水库连续5年平均供水水量变化情况

从表2、图1可以看出：

a. 农业灌溉用水量变化较大,主要与气象因素有关,如2001年灌区降水量为602mm,比多年平均少33.55%,当年灌溉用水为3.2亿 m^3 ,是多年平均值的2.9倍;2002年灌区降水量为1081mm,比多年平均值多19.32%,当年灌溉用水仅为0.14亿 m^3 ,是多年平均值的12.73%。另外,农业灌溉与发电用水量基本呈对立状况,即农业灌溉用水量较少,则发电用水量较多;反之,农业灌溉用水量较多,则发电用水量大幅度减少。当农业灌溉与发电用水量接近时,则是较大干旱年份,甚至是连续干旱年份。

b. 城镇供水呈现平稳并持续增长的趋势,主要与灌区内社会经济的发展和城市人口持续增加有关。

c. 发电用水起伏波动较大,主要与气象、水库来水量等因素有关。如2007年、2008年水库流域来水量分别为15.32亿 m^3 与12.68亿 m^3 ,分别比多年平均多92.22%与59.10%;而2007年与2008年农业灌溉用水分别为0.38亿 m^3 与0.62亿 m^3 ,分别比多年平均少65.45%与43.64%,因而有较多的水量用于发电,2007年与2008年发电用水分别为4.42亿 m^3 与6.01亿 m^3 ,两年发电用水量占同期来水量的37.25%,2008年

则是近20年来发电用水量最多的年份,是多年平均值的1.7倍。

d. 泄洪主要是受特殊气象条件的影响,近20年来,仅2年时间里出现了较大泄洪,即2007年与2008年,因上游来水量较大,水库蓄水位超过汛限水位而泄洪,泄洪水量为8.3亿 m^3 ,其他年份的泄洪主要是利用溢洪道为下游河道生态环境、农业灌溉、居民生活等补充水源。一般情况下,出现泄洪后的当年及第二年,发电供水量较大。

e. 生态补水也有一定的波动,但波动幅度较小,总体呈逐年增加的趋势。生态补水是为改善灌区中小型河流的生态环境需求而补充水源,在灌区部分中小型河流上建有数座水力发电站,在改善河流生态环境的同时,也为这些水电站补充了一定的水源,因而生态补水为一水多用。

f. 蒸发渗漏为水库水面蒸发、库岸渗漏等损失,主要与水库蓄水量、气象等因素有关,多年来变化值一般不大。

g. 近20年来,水库多年平均来水量为7.64亿 m^3 ,其中蒸发渗漏损失比重为16.10%,可利用水量比重为83.90%。各兴利用水比重见表3,由表3可以看出,在水库多年平均来水量中,农业灌溉比重为14.40%,城镇供水比重为13.48%,发电用水比重为46.20%,泄洪比重为5.63%,生态补水比重为4.19%,蒸发渗漏比重为16.10%。在兴利用水中,农业灌溉比重为17.16%,城镇供水比重为16.07%,发电用水比重为55.07%,泄洪比重为6.71%,生态补水比重为4.99%。由此可以看出,发电用水是兴利用水的大户,其次是农业灌溉与城镇供水。

表3 近20年漳河水库兴利用水比重

平均	农业灌溉	发电用水	城镇供水	泄洪	生态补水	兴利小计	蒸发渗漏	合计
兴利用水平均值/亿 m^3	1.10	3.53	1.03	0.43	0.32	6.41	1.23	7.64
占兴利用水量比重/%	17.16	55.07	16.07	6.71	4.99	100		
占水库来水量比重/%	14.40	46.20	13.48	5.63	4.19	83.9	16.10	100

3 水库兴利调度运用管理与效益分析

3.1 水库兴利调度运用管理

3.1.1 扎实做好防汛、灌溉前的各项准备工作

①健全完善以行政首长负责制为核心的各项责任制,明确职责、责任;②结合新时期防汛抗旱工作要求及漳河水利工程运行情况,完善各类调度方案、应急预案修编,并报上级有关部门批复^[2];③落实应急抢险队伍,开展防汛灌溉前的各项检查工作,组织防汛应急演练,补充部分防汛抗旱物资,确保水旱灾害防御工作有力、有序、有效开展^[3];④水库调度运用以确保供水区域内经济社会持续、稳定、发展为首要目的。

3.1.2 科技保障,精细调度

a. 科学防洪调度,确保工程安全。①严肃值班值守纪律;②加强水情、工情、气象、灌溉调度等实时信息的收集、分析,并及时报送有关部门;③加大工程巡查力度,通过漳河灌区 APP,现场扫描特定水工建筑物识别码,在线填报工情巡查信息及上传巡查照片,做到“巡查留痕,管理有迹”;④开展短期洪水预报,如 2020 年针对水库流域发生的 10 场强降雨过程,利用防洪调度自动化系统,结合多年预报调度经验,及时开展短期洪水预报并进行会商研判,发布水雨汛情简报 16 期,最高水位预报值与实际值仅相差 0.01m,精准预报为调度决策提供了可靠的依据^[4]。

b. 保障灌溉,优质服务灌区群众。①注重旱情调研,各级调度人员深入田间地头,摸清农作物种植结构及生长状况、土地缺墒情况、当地中小型水库及塘堰蓄水情况、农户用水需求及灌溉水源调配情况;②算好水账保障灌溉用水,供水的主次关系必须明确,并不能任意改变;③精心调配水源,按照逐级申报审批模式,采取预调轮灌等方式统筹兼顾渠系工程上下游、左右岸的关系;④充分利用信息化手段管水,利用卫星红外遥感监测灌区温度、湿度及种植结构,结合农作物生长周期及气象部门天气预报,实时预报未来 7 天灌溉预报;⑤注重用水计量,采用 ADCP、流速仪、超声波时差法等设备设施测流,做到“每日 8 时定时测,闸门变动加密

测,监测专班来回测”,为灌溉水量精准调配夯实基础;⑥强化工程巡查,灌溉期间,加大巡渠查险,对险工险段、渠系建筑物等重点部位进行监测,并及时排解用水矛盾,确保用水秩序有条不紊;⑦适时开展漳河灌区灌溉水利用系数测算工作^[5]。

3.2 水库兴利调度运用效益分析

a. 水库多年调节的功能效益显著。从表 1、表 2 可以看出,2001 年水库来水量为 5.85 亿 m^3 ,当年水库实际供水量为 8.44 亿 m^3 ,多年调节库容 2.59 亿 m^3 ,供水量是来水量的 1.44 倍;2010—2011 年,水库总来水量为 10.15 亿 m^3 ,而实际供水量为 12.34 亿 m^3 ,多年调节库容 2.19 亿 m^3 ,供水量是来水量的 1.22 倍;2017—2018 年,水库来水量为 9.60 亿 m^3 ,而实际供水量为 12.23 亿 m^3 ,多年调节库容 2.63 亿 m^3 ,供水量是来水量的 1.27 倍。由此可看出,水库多年调节效益显著。

b. 调度运用主次关系明确。在漳河水库调度运用中,优先满足农业灌溉、城市供水与生态环境用水要求,同时考虑满足水库调节要求后,将多余的水量进行发电供水^[6]。在漳河水库 8 项综合利用功能中,仅发电是经济效益,其他均是社会效益。水库管理单位以小局利益服从大局利益,如 2011—2014 年,连续 4 年水库来水量偏少,水库农业灌溉、城市供水与生态环境用水共 13.09 亿 m^3 ,年均 3.27 亿 m^3 ,是近 20 年平均值(2.45 亿 m^3)的 1.33 倍,而发电供水仅为 7.78 亿 m^3 ,年均 1.945 亿 m^3 ,仅为近 20 年平均值(3.53 亿 m^3)的 55.01%。按 2020 年上级有关部门下达的漳河水库取水计划估算,近 20 年来,为满足社会经济各部门用水需求,减少发电供水量 12.71 亿 m^3 ,减少直接经济收入 1.0 亿元左右。

c. 兴利部门有序用水,促进了水库区域社会稳定和可持续发展。近 20 年来,水库供水按上级部门批准的年度用(取)水计划执行,其中农业灌溉、城镇供水均控制在批准计划内,发电用水、生态补水则根据当年的实际情况进行调整,均超过了批准计划,但基本都控制在年度计划的总额内^[7]。2011—2014 年灌区遭遇了

严重的4年连续干旱,使得灌区内中小型水利设施蓄水严重不足,部分水库及塘堰几近干涸,不但部分稻田无水泡田、插秧,甚至连人畜饮水也出现了困难。为确保水库灌区社会稳定,漳河水库灌区渠道高水位运行,且长时间运行,据统计,渠首流量达到了 $93.1\text{m}^3/\text{s}$,总干渠节制闸水位超历史最高水位 0.05m ,灌溉供水时间跨越了整个水稻生长期,为1980年实行“按田配水、计量收费”政策以来所罕见^[8]。

d. 经济社会各部门与漳河水库关系密切。需水量增多趋势明显,除农业灌溉受气象因素影响变化较大外,其他兴利用水均呈稳定增长的趋势,说明区域内经济社会的发展、进步与漳河水库供水量关系越来越密切^[9]。

e. 社会效益显著。①近20年来,漳河水库供水满足了农业灌溉、城镇供水、生态补水等需水要求,促进了区域内社会经济的发展与持续进步^[10],区域内GDP年均以 10.2% 的速度递增;②有效灌溉面积达 $15.57\text{万}\text{hm}^2$,占设计灌溉面积的 89.6% ,灌溉水有效利用系数高于本省同类型灌区灌溉水有效利用系数平均值 7% ,近20年来水稻平均单产量比前20年(1980—2020年)增长了 19.28% ,说明漳河水库灌区与周边同类型灌区和灌区以往情况相比,灌溉效益呈逐步增长趋势;③2007年、2008年,水库流域出现了9次较大洪水,最大入库洪峰流量为 $3050\text{m}^3/\text{s}$ (下游河道安全流量为 $1200\text{m}^3/\text{s}$),水库最高水位达 123.41m ,超汛限水位 1.41m ,2008年超汛限水位历时67天;水库采取预泄、错峰等调度方式,在安全拦蓄主峰后,再以 $547\text{m}^3/\text{s}$ 最大流量下泄,共泄水 $8.30\text{亿}\text{m}^3$,避免了泄洪影响范围内 16.5万人 、耕地 $1.44\text{万}\text{hm}^2$ 农田遭受洪水损失,据计算,其防洪减灾效益达 17.3亿元 。

4 结 语

近20年来,漳河水库调度运用取得的效益显著,但从调度运用的情况来看,枢纽工程主要存在着工程老化损坏严重,部分建筑物不能按设计要求运行问题,致使汛限水位偏低,水库带“病”运行。在灌区,仍存在用水浪费、工程设施配套不完善等问题,同时,管理中新技术的研究与应用不适应发展的需要,应引起有关部门的重视。◆

参考文献

- [1] 陈祖梅,胡小梅,陈崇德. 多年调节大型水库在连续干旱中的运用与评价[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2015,37(5):26-29.
- [2] 胡小梅,李鹏,李丹,等. 漳河水库在连续多年干旱中的运用及效益[J]. 水资源保护,2015,31(1):110-113.
- [3] 陈祖梅,胡小梅,陈崇德. 漳河水库流域生态环境现状分析[J]. 水资源开发与管理,2018(8):33-37.
- [4] 张士菊,邵陈斌,陈崇德. 漳河水库灌区量测水技术研究[J]. 水利建设与管理,2020,40(7):58-63.
- [5] 樊哲,潘艳群,陈崇德. 大型灌区建设管理年度绩效考评研究[J]. 水电与新能源,2017(8):39-43.
- [6] 王永兵,陈祖梅,胡小梅. 漳河水库生态环境保护的探索[J]. 中国水利,2019(7):46-48.
- [7] 王知晓,周铁军,陈崇德. 漳河水库流域水环境容量分析[J]. 水电与新能源,2019,33(10):74-78.
- [8] 邵陈斌,胡小梅,陈崇德. 漳河水库灌区建设与发展探析[J]. 水利发展研究,2021,21(1):59-63.
- [9] 付浩龙,刘凤丽,李亚龙,等. 降水集中度分析及其在水稻灌溉决策中的应用——以湖北省漳河灌区为例[J]. 水利与建筑工程学报,2020,18(4):35-40.
- [10] 时兆中,武大琴. 安徽省淠史杭灌区建设智慧灌区探索[J]. 水利建设与管理,2016,36(10):46-48.

晋州市水资源开发利用形势及对策

赵亚锋 李芳然 赵名彦

(河北省水利科学研究院,河北 石家庄 050051)

【摘要】 本文从供水工程、供水结构和用水情况等方面分析了晋州市水资源开发利用现状,并结合河北省水资源管理要求,指出地下水超采依然严峻、用水效率仍有较大潜力、水利基础设施建设有待提高等问题,据此提出调整产业结构缓解水资源供需矛盾、创建节水型社会提高用水效率、加强水利基础设施建设优化供水结构的对策和建议,可为实现晋州市水资源可持续利用提供参考。

【关键词】 水资源;开发利用;形势分析;晋州市

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-011-04

Situation and countermeasures of water resources development and utilization in Jinzhou City

ZHAO Yafeng, LI Fangran, ZHAO Mingyan

(Hebei Institute of Water Resources Research, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: This paper analyzes the present situation of water resources development and utilization in Jinzhou City from the aspects of water supply project, water supply structure and water use situation, and points out that groundwater overexploitation is still severe, water use efficiency still has great potential, water conservancy infrastructure construction needs to be improved, etc. Based on this, it puts forward some countermeasures and suggestions to adjust industrial structure to alleviate the contradiction between supply and demand of water resources, create a water-saving society to improve water use efficiency, strengthen water conservancy infrastructure construction and optimize water supply structure, which can provide reference for sustainable utilization of water resources in Jinzhou City.

Key words: water resources; exploitation; situation analysis; Jinzhou City

晋州市地处河北省中南部冀中平原腹地,南水北调中线工程通水前,晋州市供水水源全部为地下水,人均水资源量为 94m^3 ,约为石家庄市的 $1/2$ 、国际公认的极度缺水标准的 $1/5$,属于典型的资源型缺水城市^[1]。随着经济社会的发展,社会用水需求不断增加,水资源供需矛盾日益突出,水资源短缺形势日趋严峻,水环境

约束日益趋紧,水资源已成为经济社会发展的重要制约因素。因此,分析晋州市现状水资源开发利用形势,提出有效的解决对策,优化供用水结构,实现水资源高效利用可持续发展具有十分重要的意义。

1 晋州市水资源开发利用现状

根据2018年《石家庄市水资源调查评价》成果,晋

收稿日期: 2021-12-16

作者简介: 赵亚锋(1988—),男,工程师,主要从事水资源规划和水资源管理工作。

州市多年平均降水量为 442.4mm,境内没有本地地表水可利用资源,地下水可开采量为 8141 万 m³,南水北调年分水指标为 2430 万 m³。

1.1 供水工程及供水结构

a. 地下水工程。2018 年晋州市建成地下水集中供水工程 3 处,分别为东里庄联村水厂、赵位联村水厂和东卓宿联村水厂,实际供水 18 个村、3.43 万人,其余村镇通过自备井供水。根据机井普查数据,2018 年共有机井 14204 眼,其中城镇生活机井 14 眼,农村生活机井 746 眼,工业机井 986 眼,农业机井 12399 眼,地热井 3 眼,水源热泵 56 眼,地下水实际供水量为 14528 万 m³。

b. 南水北调工程。南水北调中线工程通过石津总干渠输水,自紫城节制闸分水后沿二干渠和城北至晋州市绿源地表水厂。绿源地表水厂为南水北调配套水厂,设计规模为 8 万 m³/d,2017 年实现晋州市主城区市政供水管网连通供水。2018 年南水北调工程实际供水量为 972 万 m³,其中 622 万 m³ 用于主城区生活和工业用水,350 万 m³ 用于河道生态补水。

c. 再生水工程。晋州市建有晋州市城市污水处理厂和晋州市第二城市污水处理厂,合计污水处理能力为 12 万 m³/d,污水收集范围为主城区和工业园区,排水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。2018 年污水处理量约为 3 万 m³/d,处理后的污水用于园林绿化、景观水体补水,剩余经退水口排入滹沱河。

1.2 用水情况分析

2014—2018 年晋州市用水量及用水结构见表 1,

表 1 晋州市 2014—2018 年用水量统计情况 单位:万 m³

年份	农业用水	生活用水	工业用水	生态用水	用水总量	
					合计	其中地下水
2014	16713	1322	1140	100	19275	19275
2015	16479	1300	1175	100	19054	19054
2016	15652	1200	1060	100	18012	18012
2017	15100	1200	918	500	17718	17718
2018	12500	1350	900	750	15500	14528
平均	15289	1274	1039	310	17912	17717
占比/%	85.36	7.11	5.80	1.73	100	98.91

年均用水量为 17912 万 m³,其中地下水用水量为 17717 万 m³,占用水总量的 98.91%。农业用水量最大,占用水总量的 85.36%,然后依次为生活、工业和生态用水。

2 现实状况及面临形势分析

a. 地下水超采问题仍然严峻。根据《河北省人民政府关于公布地下水超采区、禁止开采区和限制开采区范围的通知》,晋州市各乡镇为浅层一般超采区,营里镇为深层一般超采区。2014—2018 年通过落实最严格水资源管理制度和地下水超采综合治理,压减地下水开采量 4747 万 m³,地下水水位下降态势得到有效遏制,但距地下水超采治理任务总量目标 10890 万 m³ 仍有差距,地下水超采问题仍然严峻。根据《关于地下水超采综合治理的实施意见》,到 2022 年实现地下水采补平衡,地下水超采治理任务艰巨。

b. 用水效率仍有较大提高潜力。2018 年用水效率指标对比情况见表 2,从表 2 可以看出,晋州市万元 GDP 用水量为 96.92m³,远高于石家庄市和河北省平均水平;万元工业增加值用水量为 18.91m³,工业用水效率偏低;农田灌溉水有效利用系数达到 0.800,农田灌溉用水效率较高,但果园多采用土渠沟灌方式,水利用效率较低。从水资源利用效率角度分析,整体用水效率偏低,工业用水效率仍有较大提高潜力,果园灌溉方式有待调整。

表 2 2018 年用水效率指标对比情况

行政区划	用水效率指标		
	万元 GDP 用水量/m ³	万元工业增加值用水量/m ³	农田灌溉水有效利用系数
晋州市	96.92	18.91	0.800
石家庄市	54.83	17.69	0.673
河北省	50.66	13.93	0.673

c. 水利基础设施建设有待提高。城乡供水是重要的民生问题,“十三五”脱贫攻坚规划和“十四五”乡村振兴战略对保障城乡供水安全提出了新的挑战。受南水北调配套工程供水管网范围限制,晋州市 2018 年南水北调引江水覆盖范围仅为晋州市城区,引江水用

水量仅占分水指标的 26%,农村供水水源全部为地下水,供水方式多为单村集体供水,城乡供水保障程度较低,供水保障体系有待完善。由于缺乏配套再生水深度处理和再生水供水管网工程,现状污水处理厂出水仅部分用于园林绿化、景观水体补水,利用率不到 6%,其余经退水口排至滹沱河。晋州市境内存在部分坑塘,但基本没有采取防渗等工程措施,蓄水功能未能体现,雨洪资源利用效率低。水利基础设施一定程度上限制了晋州市水资源的统筹和高效利用。

3 水资源开发利用对策

3.1 调整产业结构,缓解供需矛盾

晋州市农业种植面积大,由于农业生产耗水量较大、产值相对较低,2018 年晋州市第一产业以 86% 的用水比例,仅贡献 23% 的经济产值,应继续大力发展高效节水农业,有利于增加社会整体用水效率。而晋州市工业实力雄厚,培育形成了纺织、装备制造、装饰建材、化工、农产品加工五大主导产业,对产业结构进行调整可以达到节约工业用水的目的,节水效果显著。产业结构调整应该成为工业经济转型升级的重要手段^[2],传统产业转型和高质量集中发展有利于优化工业结构,提高工业用水水平,大力发展第三产业,做大做强做优经济总量,扩大 GDP 总量。通过产业结构调整,在保证经济发展的同时,降低水资源需求量,缓解水资源供需矛盾。

3.2 创建节水型社会,提高用水效率

a. 农业节水。晋州市农业种植面积大,农业节水仍是节水重点,农业节水率占比较大^[3]。①应重视工程的后期管理,提高节水灌溉技术水平时更应关注农户在农业生产中是否真正使用了节水设施和采用了节水技术,加强现有高效节水工程维护的同时,注重节水宣传和监督管理,保证农业节水推广成果、巩固农业地下水压采成效^[4];②调整农业种植结构,量水生产,引导农民种植低耗水和耐旱作物,替代小麦等高耗水作物,鼓励发展季节性休耕和旱作雨养农业^[5];③实施果园高效灌溉工程,推广果园渗灌、喷灌和滴灌技

术,提高果园灌溉水利用率。

b. 工业节水。④晋州市小型企业众多、位置分散,存在用水管理困难、节水政策难以落实等问题,在注重单个工业企业用水节水工作的基础上,通过政策支持,鼓励分散企业就近搬迁至工业园区,推进园区节水改造,更为全面和系统地统筹规划节水工作,以实现工业用水的低成本和高效利用^[6];⑤要求企业定期进行水平衡测试,依法淘汰小规模、高耗水产业,加强用水定额管理,推进高耗水工业结构调整。

c. 生活节水。影响生活节水的因素主要包括城镇化率的提高、节水器具普及程度、工程节水措施以及管理节水措施的实施^[7]。根据晋州市生活用水情况,应以南水北调配套工程建设为契机,推进供水管网改造,实施分区计量,建立数字化水量检测系统,降低城市供水损耗率;强制公共建筑使用节水型器具,并鼓励居民安装使用节水型器具,逐步淘汰传统用水器具,提高生活用水效率;以行业节水技术规范和节水企业为标杆,严格游泳馆、洗车等高耗水服务业取水许可审批,推广高耗水服务业循环水利用。

3.3 加强水利基础设施建设,优化供水结构

a. 加快城乡供水水源置换工程的实施。加大南水北调水源用量,用足用好引江水,压减地下水开采量^[8],实施城乡供水水源置换工程。依托现有绿源地表水厂和 3 座联村水厂,新建南部新城、马于、槐树、小樵、周家庄、桃园、总十庄、营里供水站 8 座,结合新建配套管网工程和管网连通工程,实现“一市一管网”、市域内生活工业引江水全置换,置换地下水取水量 2430 万 m³。同时于城区西北部建设城区备用水源地,农村采用热备机井作为备用水源,实现城乡供水以引江水为主要水源、地下水补充的“双水源”供水结构,提高供水保证率。

b. 加强非常规水利用。污水资源化是经济发达国家和地区解决水资源不足、提高水环境质量较为常规的措施^[9],晋州市规划建设晋州市城市污水处理提标改造工程和晋州市中水回用工程,对现有污水处理厂出水进行提标改造。晋州市城市污水处理提标改造

工程建设规模为 5 万 m³/d,出水用于城区绿化用水、道路浇洒、水景观补水等市政杂用水,以及新建生态湿地工程——北环湿地,进行生态补水。晋州市中水回用工程建设规模为 1 万 m³/d,供给对水质要求不高的装饰建材、化工、电厂等工业生产用水,项目建成后再生水利用量可达 684 万 m³。根据华北地区雨水利用经验^[10-12],修建以坑塘、水窖为主的小型蓄水工程,积蓄雨洪水回用于农业灌溉,可进一步提高非常规水源利用率。

c. 积极谋划地表水灌溉。晋州市在 20 世纪 80 年代以前属于石津灌区范围,市域内各级灌渠完善,80 年代以后实灌面积逐渐减少,1984 年灌渠停止使用,现各级灌渠被侵占损毁或改造为引江水输水渠,市域无灌溉水指标。现状晋州市农田灌溉用水全部为地下水,随着南水北调中线工程通水,石津灌区水源地岗黄水库的取水指标将逐步增加,积极争取地表水灌溉指标,修缮各级灌渠,置换农业灌溉地下水取水量,对晋州市地下水资源保护有着重要意义。

在保证社会经济发展和人民生活用水需求的前提下,以节水优先、以供定需为原则实施水资源开发利用对策,预计 2022 年晋州市社会节水水平将大幅提高,南水北调引江水生活、工业用水全覆盖,地下水采补平衡,非常规水源能用尽用,多水源供水体系初步建立,形成优先利用引江水、合理开发利用地下水、充分利用非常规水源的供水格局,初步实现水资源可持续利用。

4 结 语

为解决晋州市水资源短缺问题,缓解水资源供需不平衡矛盾,保护水生态环境,提高社会用水效率和供水保障程度,实现区域水资源合理开发可持续,应以节

水为突破口倒逼转型升级和节水农业发展,提高社会用水效率,以水利基础设施建设为抓手,推动外调水资源和非常规水资源充分利用,置换地下水资源,保护水环境,以水安全保障工程建设为契机,统筹外调水、地下水和非常规水资源配置,实现晋州市水资源可持续利用。◆

参考文献

- [1] 刘建峰,何兰超,许继军. 节约用水工作视角下的“严重缺水地区”识别分析[J]. 水资源开发与管理,2020(2):3-8,13.
- [2] 张兵兵,沈满洪. 工业用水与工业经济增长、产业结构变化的关系[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(2):9-14.
- [3] 秦长海,赵勇,李海红,等. 区域节水潜力评估[J]. 南水北调与水利科技,2021,19(1):36-42.
- [4] 赵姜,孟鹤,龚晶. 京津冀地区农业全要素用水效率及影响因素分析[J]. 中国农业大学学报,2017,22(3):76-84.
- [5] 李慧卿,王桂锋,刘鑫融,等. 推广旱作雨养新型节水种植模式试点——小黑麦种植[J]. 农业科技通讯,2018(10):205,208.
- [6] 张宁,张媛媛. 浙江省工业用水的节水潜力及影响因素分析[J]. 给水排水,2011,37(8):62-67.
- [7] 马海良,徐佳,王普查. 中国城镇化进程中的水资源利用研究[J]. 资源科学,2014,36(2):334-341.
- [8] 王军翠. 科学筹谋用足用好引江水[J]. 河北水利,2017(5):30.
- [9] 张春园,赵勇. 实施污水资源化是保障国家高质量发展的需要[J]. 中国水利,2020(1):1-4.
- [10] 张敦强,龚孟建. 我国雨水集蓄利用的实践与探索[J]. 中国农村水利水电,2001(9):4-6.
- [11] 龚孟建. 浅谈西部地区的雨水集蓄利用[J]. 山西水土保持科技,2001(1):2-4.
- [12] 董永立,缪晓涓. 对郑州市雨水资源化利用的思考[J]. 水资源开发与管理,2021(7):19-23.

上海原水系统现状及发展规划

于大海

(上海市供水管理事务中心,上海 200081)

【摘要】 作为长三角城市群的核心城市,上海原水系统的安全供给、有利保障是“十四五”阶段的建设重点。本文基于“两江并举、集中取水、水库供水、一网调度”建设格局,详细介绍了上海集中式水源地运行现状,分析了长期积累的问题和未来潜在风险,通过借鉴国内外超大城市水源地分布特点和保障方式,对上海原水系统新发展阶段下建设规划进行了阐述,该研究可为上海市未来发展规划提供参考。

【关键词】 长江;黄浦江;原水系统;水库

中图分类号: TV52

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-015-09

Present situation and development planning of raw water system in Shanghai

YU Dahai

(Shanghai Water Supply Management Center, Shanghai 200081, China)

Abstract: As the core city of the Yangtze River Delta urban agglomeration, the safe supply and favorable guarantee of Shanghai's raw water system is the focus of construction in the "14th Five-Year Plan" period. Based on the construction pattern of "simultaneous development of two rivers, centralized water intake, reservoir water supply, and one network dispatching". This paper introduces the operation status of centralized water sources in Shanghai in detail, analyzes the long-term accumulated problems and potential risks in the future, and expounds the construction planning of Shanghai raw water system in the new development stage by drawing lessons from the distribution characteristics and guarantee modes of water sources in megacities at home and abroad. This research can provide reference for the future development planning of Shanghai.

Key words: the Yangtze River; Huangpu River; raw water system; reservoir

自20世纪90年代上海启动集中式水源地工程建设至今,城市供水水源逐步从内河向长江口、黄浦江上游集中和转移,目前已基本形成“两江并举、集中取水、水库供水、一网调度”的水源地格局。但在实际运行过程中,也存在一定的安全风险和问题,有待进一步研究

探索。上海水源地发展布局一方面要结合长期运行过程中发现的问题,一方面也要借鉴国内外类似规模城市原水保障建设发展模式,立足长三角一体化新发展阶段,优化现有格局,深化有利保障。

收稿日期: 2022-01-02

作者简介: 于大海(1970—),男,高级工程师,硕士,主要从事城市供水行业管理工作。

1 上海集中式水源地原水系统现状

1.1 建设格局

上海的水厂均沿黄浦江沿岸建造,为提高上海市供水服务质量,上海市政府于1985年投资兴建黄浦江上游引水一期工程,取水头部推移至黄浦江中游临江段,1987年竣工投产,自来水水质明显提高。1994—1998年,上海市政府又续建黄浦江上游引水二期工程,取水头部上移至黄浦江上游松浦大桥附近。为适应可持续发展需要,1993年建成上海第二水源地——长江水源(陈行段)。至1999年底,上海已建成黄浦江上游引水一期、二期工程,长江引水一期、二期工程。“十五”“十一五”期间为控制黄浦江上游的取水规模,重点开发长江口水源地,增加长江原水供应量,完成了长江引水三期工程;特别是“十二五”期间,在推进集约化供水过程中,关闭中小河道取水口和地下水公共供水深井,供水水源向黄浦江上游和长江口集中,长江水源与黄浦江水源供应比例从“十一五”末的3:7调整

为7:3。

目前上海供水水源秉承“两江并举”的发展战略,坚持“集中取水、水库供水、互连互通、一网调度”的总体思路,不断完善黄浦江上游金泽水库、长江青草沙、长江陈行和长江东风西沙四大水源地功能,加强原水系统互连互通,合理保留备用及应急取水口、地下水深井等其他应急供水设施,在长三角一体化的国家战略指引下,开展战略储备水源研究。

1.2 水源地分布

上海共有四大原水系统,其中黄浦江上游金泽、长江青草沙和长江陈行三大原水系统由城投水务(集团)负责运行维护,原水供水总规模为1310.0万 m^3/d ,受水水厂共34座;长江东风西沙原水系统由崇明自来水公司负责运行维护,现有原水供水规模为24.5万 m^3/d ,主要负责对整个崇明岛域4个水厂进行原水供应。金泽、青草沙、陈行原水系统现状示意图见图1,东风西沙水源地示意图见图2。

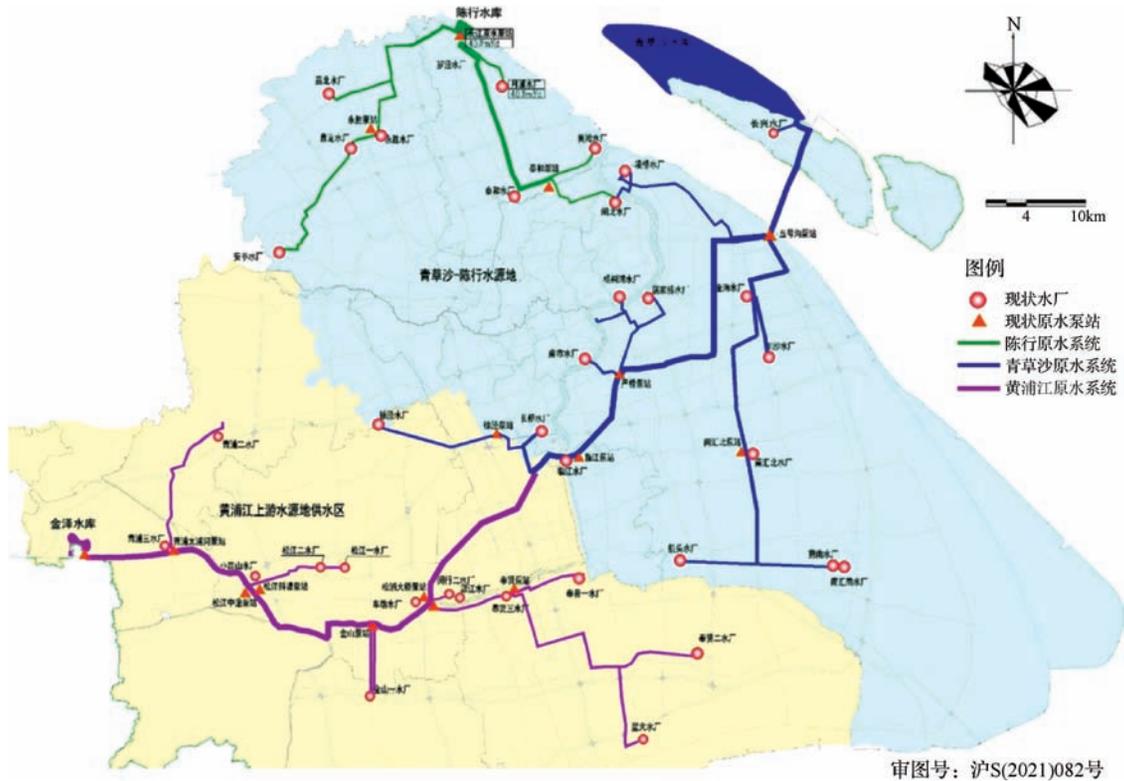


图1 金泽、青草沙、陈行原水系统现状示意图

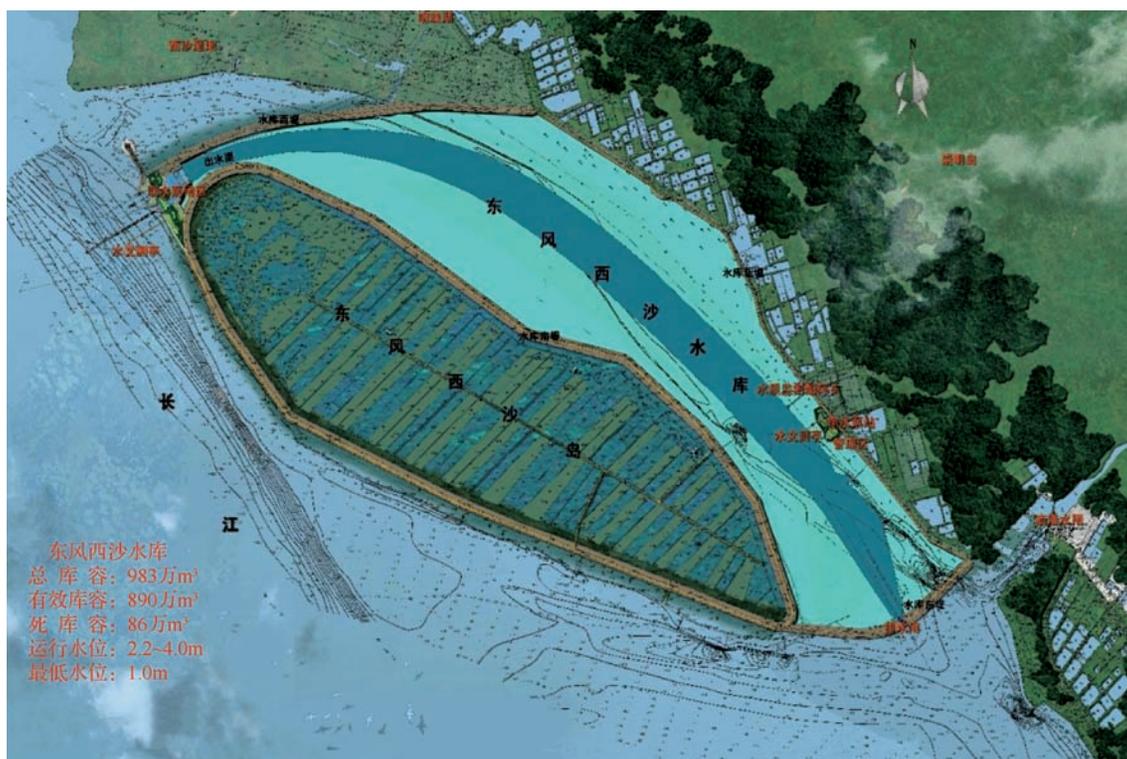


图2 东风西沙水源地示意图

1.2.1 黄浦江上游金泽原水系统

黄浦江上游金泽原水系统由金泽水库、黄浦江上游原水连通管以及各区支线工程构成“一线、二点、三站”原水系统格局。“一线”指连通太浦河金泽至松浦原水厂一条输水主干线,管径为3600~4000mm;“二点”指太浦河金泽和松浦2个集中取水点;“三站”指金泽、松江和松浦3座原水提升泵站,规模分别为351.0万m³/d、230.0万m³/d和500.0万m³/d。金泽水库总库容为910.0万m³,原水供水规模为351.0万m³/d。

1.2.2 长江青草沙原水系统

长江青草沙原水系统由青草沙水库、6座原水泵站及3条支线组成。青草沙水库总库容为5.27亿m³,咸潮期供水保证率为97%,原水供水规模为731.0万m³/d,除供应长兴水厂的原水外,陆域供水规模为708.0万m³/d。青草沙水库向陆域方向出库采用2根外径为5840mm的盾构(内径DN5500)过江管,重力输送原水至浦东五号沟泵站。五号沟泵站为陆域输水枢纽泵站,负责将青草沙原水向凌桥(1根DN2200)、严桥(2根DN3600)以及金海川沙南汇(2根DN2800~

DN1800)3条支线方向输送。其中,严桥支线规模为440.0万m³/d,金海川沙南汇支线规模为208.0万m³/d,凌桥支线规模为60.0万m³/d。

1.2.3 长江陈行原水系统

长江陈行原水系统由陈行水库和输配系统组成,先后分三期建成。陈行水库总库容为962.0万m³,咸潮期供水保证率为92%,原水供水规模228.0万m³/d。目前通过月浦一线、二线和三线的2根DN1200和1根DN1400原水管向月浦水厂供应原水;通过长江引水二期干线的DN2700和长江三期DN2400原水管向泰和水厂供应原水,并在泰和原水泵站提升后通过吴淞支线和闸凌支线向吴淞、闸北和凌桥水厂供应原水;通过罗泾支线2根DN1000原水管向罗泾水厂供应原水;通过嘉定支线2根DN2000的原水管向嘉定4座水厂供应原水。

1.2.4 长江东风西沙原水系统

长江东风西沙原水系统由东风西沙水库及其输配水系统组成。东风西沙水库位于长江口南支上端,崇明岛的西南侧,利用东风西沙岛和崇明岛之间的夹泓,

东西分别新建两条大堤圈围而成,水库总库容为976.2万 m^3 ,现有原水供水规模为24.5万 m^3/d ,远期为40.0万 m^3/d 。原水输水管道分两条主线:崇西方向和城桥方向。崇西方向设2根DN600的输水管道,负责崇西水厂5万 m^3/d 的原水供应;城桥方向设1根DN1400~DN900的输水管道,设计规模为19.5万 m^3/d ,沿途经城桥、堡镇两个增压泵站增压,负责向城桥、堡镇和陈家镇3个水厂供应原水。东风西沙水源地及原水系统现状示意图见图3。

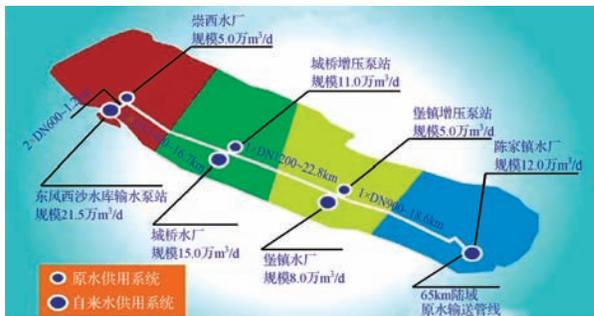


图3 东风西沙水源地及原水系统现状示意图

2 长期集留历史问题

2.1 水库水质风险隐患依然存在

上海位于流域下游,属于遭受水环境污染最严重的城市之一。由于苏州境内水环境治理调水外排,长江陈行水库受浏河排污的影响长期存在,汛期污染影响尤为明显;吴淞江工程、新川沙枢纽工程实施后引起取水口附近区域的水文及水环境变化,可能对陈行水库水质安全产生一定影响;黄浦江上游水源地取水口上移至金泽水库后水质有所改善,但受流域上游来水影响,个别指标仍然超标;青草沙水库库内水体藻类种类复杂多变,对水厂生产运行存在不利影响。

2.2 长江陈行原水系统输水能力不足

长江陈行原水系统现状输水泵站规模与供水需求存在缺口,长期依靠水库高水位状态运行,输水条件存在一定的局限,且陈行水库库容较小,在遭受严重咸潮入侵时,供水缺口更大。因此,陈行原水系统不仅近期供水能力相形见绌,随着未来区域水量的增加,供需矛盾将会愈加突显。

2.3 长江青草沙原水系统输水能力降低

长江青草沙原水系统过江管输水能力下降,供水安全保障风险增加。青草沙原水系统的2根DN5500过江管通水8年,由于初期运行流量较小,管内流速偏低,过量海蛎子附着管壁,引起摩阻系数增加,输水能力受到影响,既有维护方案为过江隧道单管运行,交叉停水维护,但因目前摩阻系数较大,单管运行存在输水能力下降和安全风险双重压力。

2.4 长江东风西沙原水输水系统存在安全风险

长江东风西沙原水系统主要供应崇明本岛原水,与其余三大原水系统隔离,无法实现原水系统之间的互连互通,且目前的原水输水管道为单管运行,存在较大的安全风险。东风西沙水库原供水规模为40.0万 m^3/d ,但受制于输配水系统,目前仅有24.5万 m^3/d 的输水能力,两者之间不匹配。

2.5 三大原水系统互连互通能力不足

金泽、青草沙、陈行三大原水系统之间连通互补能力不足,一旦遭遇重大事故,出现供水缺口,难以通过大规模应急调水予以救援,原水系统连通安全性有待进一步加强。

3 国外超大城市原水系统

3.1 美国纽约

纽约位于美国大西洋海岸的东北部,城市人口约800万,每天大约要消耗420万 m^3 的水。原来纽约对于饮用水安全的关注点主要局限于供水系统本身,即通过供水系统建设不断地从偏远农村地区寻求新的清洁水源。20世纪70年代,具有里程碑意义的SDWA的颁布引发了对集水区保护的关注,纽约市开始将城市饮用水保护工作的重点从水厂拓展至水源地,其核心思想就是将水源地保护视为保证饮用水水质的第一道屏障。在水源地保护方面的努力也使得纽约成为美国仅有的10个获准免于过滤而进行供水的城市之一。纽约城市饮用水供给的历史实际上就是一个由集中的、唯技术论的供水系统向综合的、复杂的集水区管理计划转换的过程^[1]。

目前,纽约市已经发展成为一个多水源地的城市,水源分别来自特拉华、卡茨基尔和克罗顿3个水源地,包含19个水库、3个湖泊,分别向纽约市供应50%、40%和10%的用水。水源地分别通过3条输水管道将水源供给全城,到达城市边界后,通过两条输水隧道向市内供水。1号输水隧道于1917年建成,向曼哈顿大

部分地区供水;2号输水隧道于1936年投入使用,向纽约市的其他地区供水^[2]。自1970年以来,纽约市开始建设3号输水隧道,以期建造一套完整的备用供水设施,从而可以对陈旧的输水管道和隧道进行维修。纽约市水源地及原水系统示意图见图4。

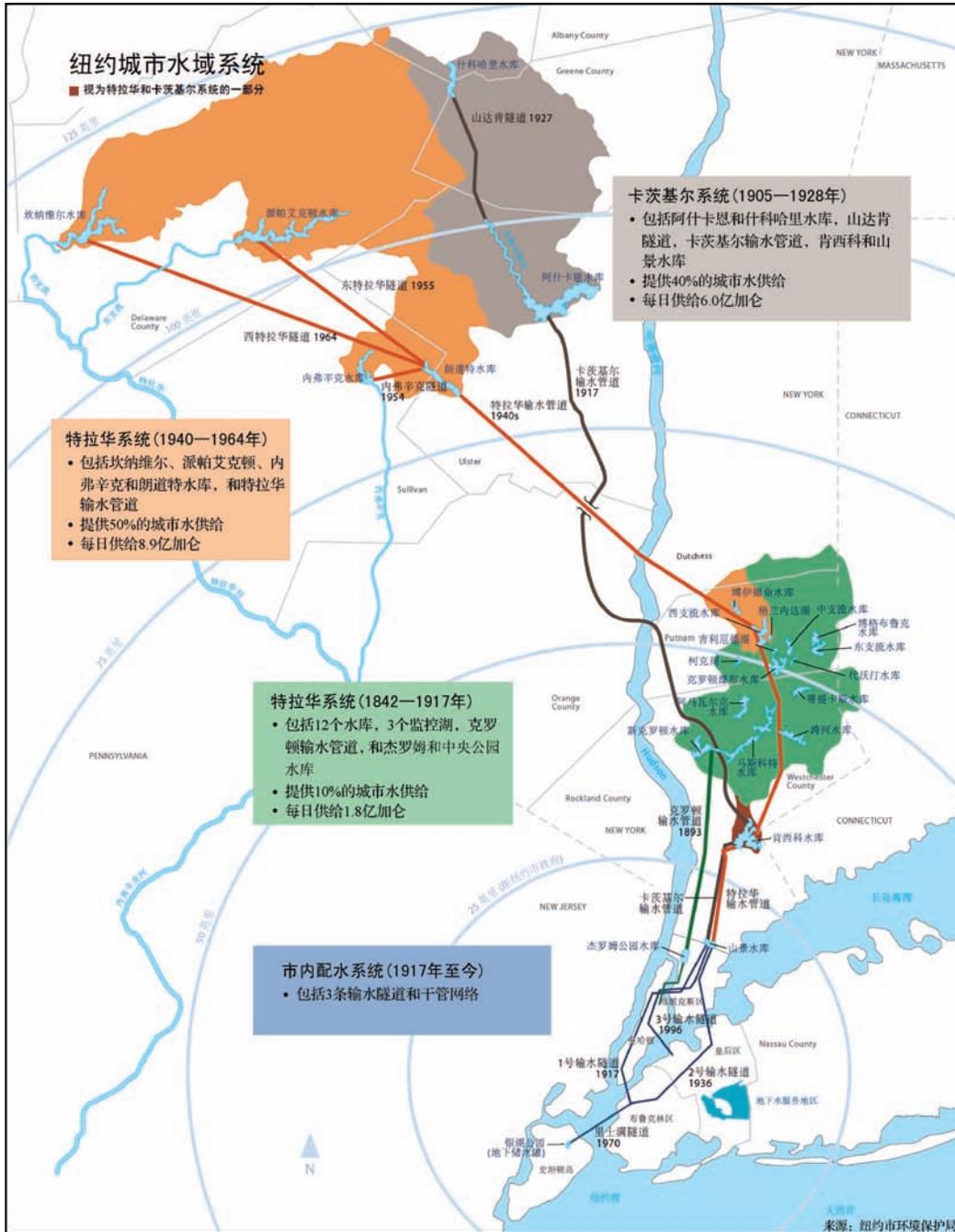


图4 纽约市水源地及原水系统示意图

3.2 日本东京

东京是日本、东亚乃至西太平洋地区的大都市,人口规模接近1200万,供水区域面积为1235km²,供水管道总长度近2.7万km,供水水厂共计11座,供水设施总规模为686.0万m³/d,最大日供水量约463.0万m³。东京也是一个多水源的城市,水源系统分别由利根川水系、荒川水系、多摩川水系构成,水库共16个,库容近9.00亿m³。东京三大水系相对独立,又相互连通,东京水源及原水系统示意图见图5。

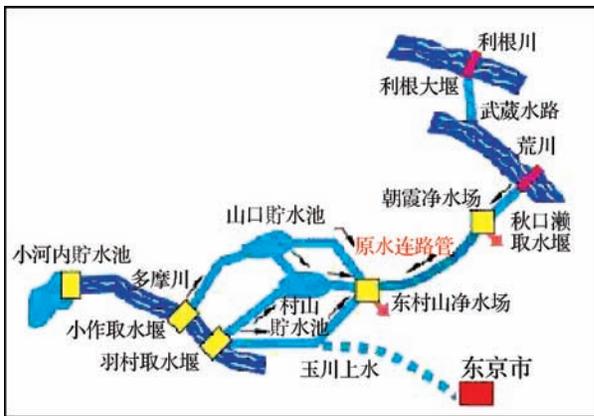


图5 东京水源及原水系统示意图

《东京市供水设施发展总体规划》(2014—2023年)明确了东京供水发展的3个主要方向,即保证供水安全可靠、提升抗震措施以及提供优质饮用水。为此,规划提出了18项具体工程:在保证供水安全可靠方面,包括确保水源、水厂以及供水设备的更新改造、原水管渠的二重化(即备用)、输水管道的二重化、供水泵站的新建与扩建等工程;在提供优质饮用水方面,包括多摩川水源的水质对策、加强水源水库的管理以及促进直接给水方式的替换工程等。

3.3 英国伦敦

伦敦市现有人口860多万,向伦敦供水的主要有4家水务企业,按供水人口比例依次为泰晤士水务、阿弗尼提水务、艾克塞斯-萨福克水务、萨顿-东萨里水务,分别占76.0%、14.0%、6.6%、3.7%。水源地主要是泰晤士河及其主要支流里河。依托泰晤士河布设了西伦敦水库群,依托里河布设了里峡谷水库群(位于东伦敦),两个库群之间布设了原水连通管(双管),以规避重大水污染事故对水源的影响^[3]。伦敦水源、原水系统、供水环线示意图见图6。

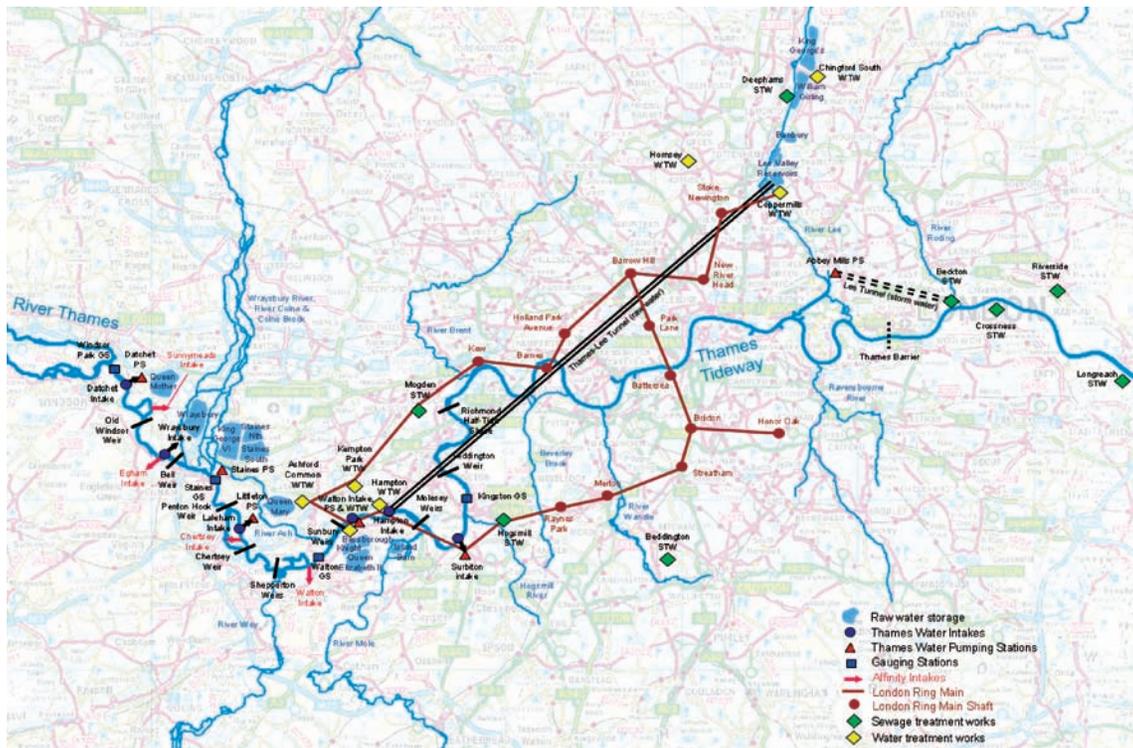


图6 伦敦水源、原水系统、供水环线示意图

伦敦市主要水厂位于主城区外围,为适应城市发展,满足用水量增长与运行管理需求,伦敦建立了总长近 80km、内径 2.54m 的供水环线隧道。如在特殊地点遭遇原水水质问题,伦敦供水环线隧道将为自来水分流提供安全保障。

4 国内超大城市原水系统

4.1 中国北京

北京的地表水水源主要以密云水库、怀柔水库、南水北调水为主;地下水源大部分来自顺义牛栏山、平谷、怀柔应急水源及西郊一带等地下水源。目前北京市的各类水源达 20 余处,其中,南水北调水占 75%,密怀系统占 7%,地下水源井占 8%,应急水源占 10%,未来将依托南水北调工程,形成“双环供水、多源调配”的供水格局。北京市水源及原水系统示意图见图 7。

4.2 中国深圳

深圳市水源分为境外水源和境内水源。其中,境外水源包括东深引水工程(8.7 亿 m³/a)和东部引水工程(7.4 亿 m³/a),境内水源(3.4 亿 m³/a)主要由深圳水库、梅林水库、西丽水库和铁岗水库等组成,境外引水量约占总供水量的 70%。

深圳市配合广东省完成珠江三角洲水资源配置工程,全市水资源应急蓄水量达到 3 个月。建成公明水

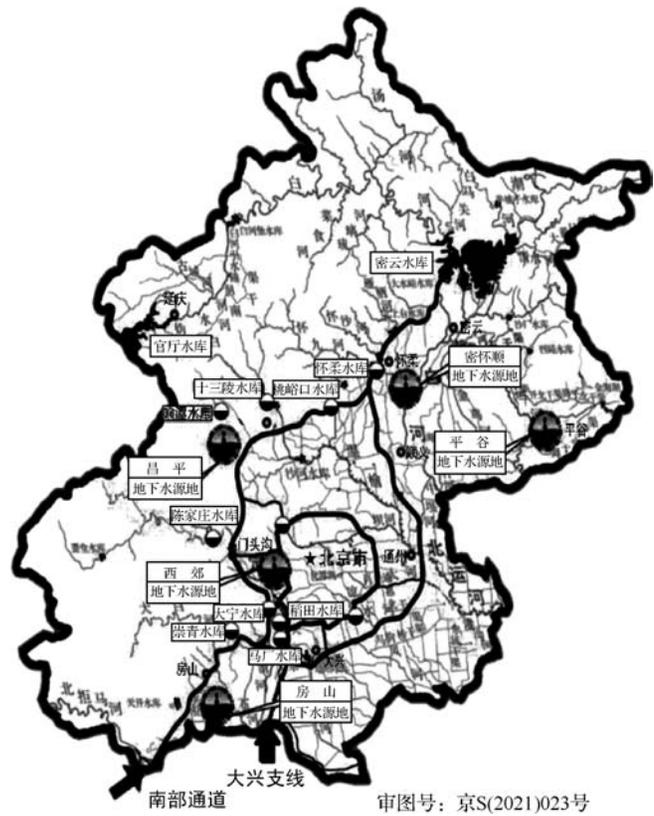


图 7 北京市水源及原水系统示意图

库至清林径水库连通工程、罗田水库至铁岗水库等连通工程,进一步完善了境内水资源配置工程,所有水厂实现双水源供水,全面建成水质和水量可调度的水源“双安全”供水保障系统。深圳市水源及原水系统示意图见图 8。



图 8 深圳市水源及原水系统示意图

5 新发展阶段下上海原水系统建设规划

尽管全市“两江四库”的水源地和原水系统格局已基本形成,但黄浦江上游金泽原水系统水质风险仍然存在,部分指标超标;长江陈行原水系统供水能力不足,时常受到近岸污染带影响;长江青草沙原水系统存在藻类风险和输水系统安全风险;长江东风西沙原水系统单管运行,输水系统存在安全风险;全市各大水源地连通互补性不强,总体安全保障措施仍显薄弱^[4]。通过综合借鉴国内外大城市水源地布局特点和供水方式,立足于上海自然禀赋和发展定位,以问题为导向,

立足新发展阶段,对现有的建设布局进行进一步深化优化,今后发展中主要规划建设原则为:上海供水水源按照“百年大计”的要求,立足上海市域、对接长江和太湖两个流域,秉承“两江并举”的发展战略,在青草沙—陈行区域规划原水需水规模的基础上,充分利用两大原水系统现有设施,构建库库连通、库管连通、原水西线三大连通工程,形成包括青草沙水库、陈行水库和黄浦江上游金泽水库在内的互连互补的原水供应系统,以提高水源地蓄淡避咸、蓄清避污和抗事故风险能力^[5]。上海水源地及原水系统规划布局见图9。

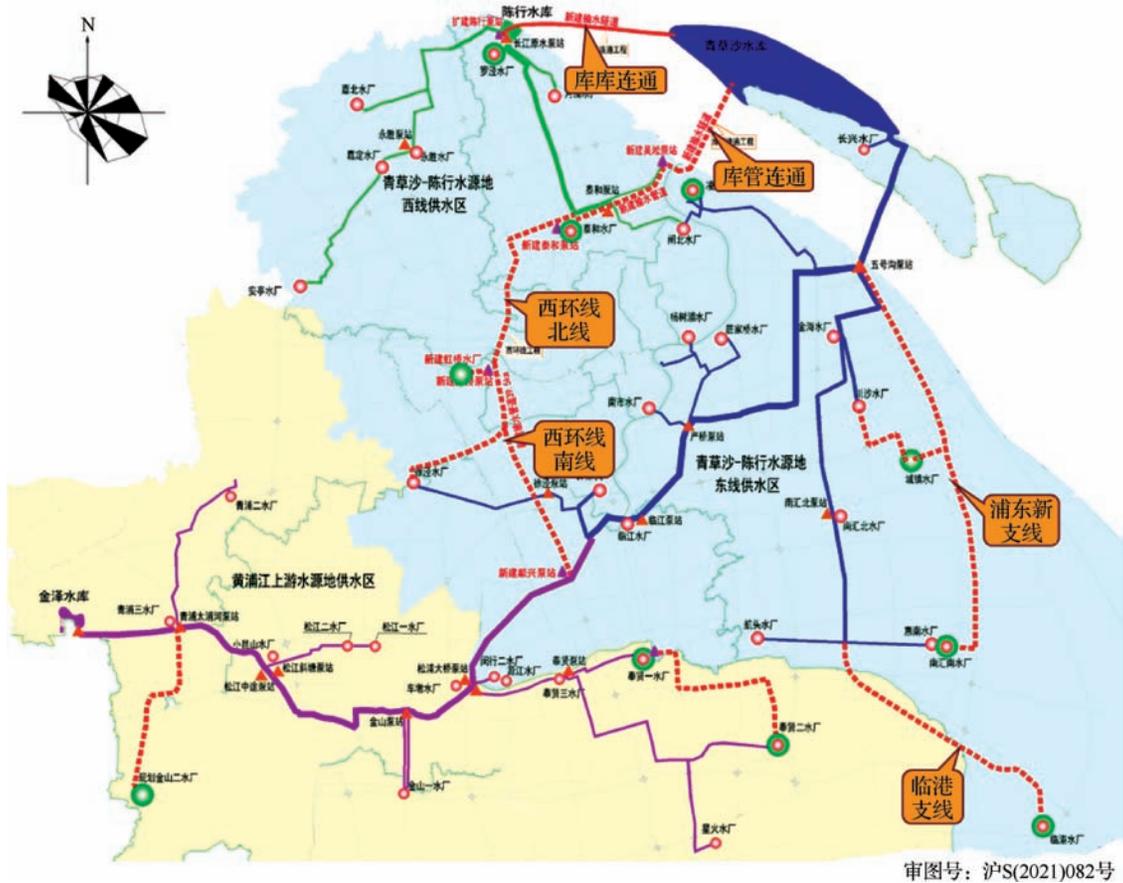


图9 上海水源地及原水系统规划布局

5.1 建设原水西环线工程

西环线工程北起新泰和原水提升站,经新泰和原水提升站提升后,通过 DN3600 ~ DN3300 原水管线沿 S20 ~ S4 一路向南,依次经过宝山、普陀、嘉定、长宁及闵行 5 个行政区,中途经虹桥原水提升站提升后与黄浦江上游引水渠道相接,实现长江水源地与黄浦江上游水源地

连通的双向输水格局。西环线工程原水管线全长约 40.2km,并包含泰和、虹桥等原水提升泵站,该工程在承担规划虹桥水厂(规划规模 80.0 万 m³/d,近期规模 40.0 万 m³/d)的原水供应任务的同时,可实现虹桥、闵行等水厂的双水源保障,全面提升主城片区西部地区供水安全。

5.2 建设原水库管连通工程

建设青草沙水库与陈行原水系统间过江输水管,实现由青草沙水库向陈行原水系统输水功能。青草沙原水通过 DN5500 重力过江输水盾构,由中央沙库区东南端出发,经 7.69km 输送至浦东滨江森林公园登陆点后,采用 DN4000 重力原水管沿江边规划道至外环高速北侧后穿越黄浦江,进入吴淞原水泵站提升后,采用 DN3600 原水压力管沿泰和路一路向西至新泰和原水泵站。

5.3 建设原水库库连通工程

建设青草沙水库与陈行水库库间过江输水管,实现由青草沙水库向陈行水库输水功能。青草沙水库与陈行水库库间过江输水管采用盾构重力输水形式,过江盾构长度约 15.00km。青草沙原水通过输水盾构到达陈行水库附近接收井后,通过新建提升泵站,联合现有陈行长江原水泵站向现状陈行原水系统输水,同时新建一路原水干管自陈行输水泵站至泰和水厂。

5.4 建设青草沙原水系统浦东新支线

统筹考虑浦东新区,特别是临港新片区远期的原水需求(远期需水量为 60.0 万 m^3/d),实施青草沙原水系统新支线工程,拟自五号沟泵站起,于金海川沙南汇支线的东侧选择合适路由,向南敷设 2 根 DN2000 ~ DN1400 原水管至南汇南水厂,沿途向迎宾水厂敷设一路原水管作为该厂的第二路原水水源。

5.5 建设东风西沙原水系统复线工程

考虑崇明本岛东风西沙原水系统与其余三大原水系统无法实现互连互通和单管运行的现状,需加紧实

施东风西沙原水系统复线工程的建设,以充分保障崇明本岛的供水安全。

6 结 语

安全可靠的水源及原水系统是城市生存和发展的命脉。上海是我国经济、交通、科技、工业、金融、贸易、会展和航运中心,正在建设国际金融、航运和科创中心,日益提高的国际地位需要更加安全的水源保障。

上海已经拥有陈行水库、青草沙水库、崇明东风西沙水库和金泽水库四大水源地,基本形成“两江并举、多源互补”的规划战略。完善“两江并举、多源互补”的水源地原水格局,提高原水系统的安全保障能力,增加系统原水供应方式的灵活性,研究青草沙原水系统与陈行、黄浦江上游原水系统间互连互通总体方案,通过原水系统增能建设形成有效联动,以实现长江、黄浦江上游实质意义上的多水源互补互备,进一步提高全市水源地整体供水安全保障能力。◆

参考文献

- [1] 车越,吴阿娜,杨凯. 纽约对城市饮用水源保护的实践及其借鉴[J]. 中国给水排水,2006,22(20):5-8.
- [2] 巩莹,刘伟江,朱倩,等. 美国饮用水水源地保护的启示[J]. 环境保护,2010(12):25-28.
- [3] 李建新. 德国饮用水水源地保护区的建立与保护[J]. 地理科学进展,1998,17(4):88-97.
- [4] 俞红俭. 特大型城市供水水源安全保障体系构建——以上海为例[J]. 净水技术,2018,37(z2):17-20.
- [5] 李国平. 黄浦江上游水源地原水系统通水切换方案[J]. 净水技术,2017,36(11):87-95.
- [6] 潘永琛,李昌烽,侯金亮,等. 沙粒粒径在水平水流中对湍流调制及减阻效应的影响作用[J]. 力学季刊,2013,34(1):88-95.
- [7] 蒋昌波,刘易庄,邓斌. 出渗对大颗粒泥沙周边水流结构及受力影响试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2018,26(3):515-525.
- [8] 周建银. 弯曲河道水流结构及河道演变模拟方法的改进和应用[D]. 北京:清华大学,2015.
- [9] 杨辉,崔鑫,郑昕,等. 管道中湍流强度及湍流积分尺度随时间的变化研究[J]. 安全与环境工程,2013,20(4):102-104,113.
- [10] 陈永杰. 湍流流场中颗粒破碎机理和群体平衡模拟[D]. 上海:上海大学,2020.

(上接第 29 页)

- [4] 白玉川,王令仪,杨树青. 基于阻力规律的床面形态判别方法[J]. 水利学报,2015,46(6):707-713.
- [5] 王令仪. 弯道水流结构及其床面演变试验研究[D]. 天津:天津大学,2014.
- [6] 潘永琛,李昌烽,侯金亮,等. 沙粒粒径在水平水流中对湍流调制及减阻效应的影响作用[J]. 力学季刊,2013,34(1):88-95.
- [7] 蒋昌波,刘易庄,邓斌. 出渗对大颗粒泥沙周边水流结构及

悬浮泥沙荷载下水库泥沙淤积变化及流型演变

杨帆¹ 池苗苗²

- (1. 塔里木河流域希尼尔水库管理局, 新疆 库尔勒 841000;
2. 塔里木河流域干流管理局, 新疆 库尔勒 841000)

【摘要】 本文通过试验以准连续方式测量河床水位变化、悬浮泥沙浓度和流速, 并利用多种测量技术研究矩形浅水库中湍流结构、悬浮颗粒、河床形态和其他不稳定性之间的相互作用关系。结果表明, 与清水流相比, 随着泥沙添加到水流中, 湍流减小, 混合长度减小, 粗糙度增加, 从而导致速度梯度增加; 悬浮泥沙和波纹稳定了水流, 并将流型从与清水不对称改变为与泥沙对称; 厚度达到水深的15%的沉积物和波纹是水流结构变化的直接影响因素; 4.5h后已达到稳定的河床形态, 但想要达到完全形态平衡需要18h以上; 试验18h后, 泥沙淤积体积达到水库总体积的50%, 此时水库达到平衡, 悬移泥沙流入和流出的速率大致相等。研究结果有助于了解泥沙的流动机制和泥沙交换过程。

【关键词】 泥沙淤积; 水流特性; 河床形态; 浅水库; 流型

中图分类号: TV149.2

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2022)04-024-06

Sediment deposition change of reservoir under suspended sediment load and flow pattern evolution

YANG Fan¹, CHI Miaomiao²

- (1. Xinier Reservoir Management Bureau of Tarim River Basin, Korla 841000, China;
2. Tarim River Basin Mainstream Authority, Korla 841000, China)

Abstract: In this paper, the change of riverbed water level, concentration and velocity of suspended sediment are measured by quasi-continuous method through experiments, and the interaction among turbulent structure, suspended particles, riverbed shape and other instabilities in rectangular shallow water reservoir is studied by using various measurement techniques. The results show that, compared with clear water flow, with the addition of sediment to water flow, turbulence decreases, mixing length decreases and roughness increases, which leads to the increase of velocity gradient; Suspended sediment and ripples stabilize the water flow and change the flow pattern from asymmetry with clear water to symmetry with sediment. Sediment and ripples with a thickness of 15% of water depth are the direct influencing factors of flow structure change. After 4.5h hours, it has reached a stable riverbed shape, but it takes more than 18 hours to achieve complete shape balance. After 18 hours of experiment, the siltation volume reached 50% of the total volume of the reservoir. At this time, the reservoir reached equilibrium, and the inflow and outflow rates of suspended sediment were roughly equal. The results are helpful to understand the flow mechanism of sediment and the process of sediment exchange.

Key words: sedimentation; characteristics of water flow; river bed shape; shallow reservoir; stream pattern

收稿日期: 2022-01-19

作者简介: 杨帆(1990—),男,工程师,主要从事工程建设与管理、防汛抗旱、水库水量调度等工作。

水库淤积是一个非常复杂的过程。移动河床上的剪切流会引起泥沙输移和河床形态变化^[1-2],水流和河床之间的相互作用通常会产生不同类型的规律模式^[3],相反,泥沙输移和河床形态也会影响水流,如生成的河床形态会增加流动阻力等^[4-5],研究这些规律模式的发展和演变具有十分重要的意义。预测泥沙输移速率和了解河床形成过程取决于泥沙粒径如何影响水流特性,有研究表明当向水流中添加大颗粒泥沙时,流体湍流可能会增加或保持相对不变^[6-7],周建银^[8]研究发现向水流中添加细颗粒泥沙可能会导致湍流衰减。此外,泥沙浓度、粒度分选和泥沙与流体密度比等因素也会影响湍流机制。然而,也有学者提出流动中颗粒的响应时间与湍流尺度之间的比率可能会影响湍流的衰减或增强^[9-10]。综上所述,目前对水流特性和泥沙输移之间的相互作用关系仍缺乏充分的分析研究。

由于水流紊流的漩涡,大量沉积物悬浮在河床上方,泥沙颗粒浸没重量与流体剪切作用传递的固体法向应力处于动态平衡,在稳定、均匀的流动中,泥沙颗粒可能会在河床、沉积和悬浮之间持续转换,形成一种动态平衡状态。由此,本文通过物理试验来确定水库中存在形态平衡的时间点,进而重点研究浅水库悬浮泥沙的淤积问题。通过设置不同的试验持续时间以确定最佳试验持续时间,从而继续进行其他试验配置。此外,为更好地理解进入水库射流与相关湍流结构之

间泥沙交换过程的控制机制,对悬浮泥沙沉积对流场的影响进行研究。同时,对导致出现对称几何中的不对称流型的主要物理过程进行分析。

1 物理建模

1.1 试验装置设计

试验是在图1所示的封闭结构中进行的,试验装置包括长1.00m、宽0.25m的矩形进水流道,内部尺寸长6.00m、宽4.00m、深0.30m的矩形浅水池和长1.00m、宽0.25m的矩形出水流道。水库水位由出口端宽0.25m、高0.30m的翻板闸门控制。混合槽中的水-泥沙混合物通过重力进入充满水的矩形水池,沿着水池侧壁,安装了一个长4.00m、可移动的铝制框架,用于承载测量仪器。

悬浮泥沙的自动测量是研究泥沙输移的关键,持续时间短、强度高的水流是泥沙运动的主要原因。为此,在入口和出口通道安装了两个传感器用于连续监测悬浮泥沙。悬浮泥沙由破碎的核桃壳模拟,平均粒径 $d_{50} = 50\mu\text{m}$,无黏性。漂浮的白色聚丙烯示踪粒子直径为3.4mm,与深色底部形成鲜明对比,用于显示表面速度场,瞬时速度场由1.3mpixel数码相机PIV算法获得。使用微型回声测深仪(UWS)测量床位变化,测深仪安装在一个可移动的框架上,可扫描整个水池区域。

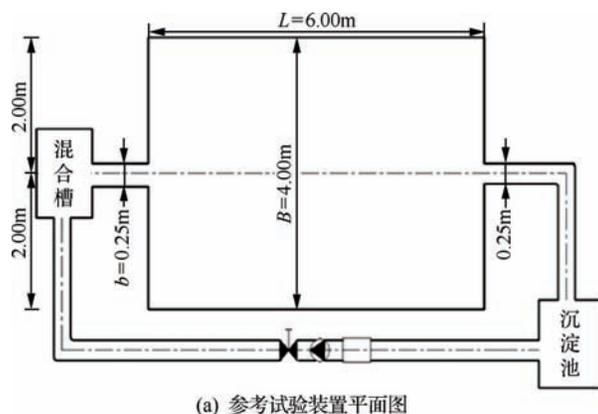


图1 试验装置

1.2 试验过程

为了解释渐进的河床形态演变并验证最终实现的动态平衡,本研究试验时间为18.0h。试验进行了6

次:第1次运行,水流清澈,无泥沙供给,在启动泵稳定输出排放流量1.0h后,进行LSPIV流场测量;第2、第3、第4、第5和第6次运行是在相同的水流条件下进行

的,有泥沙供应,在不同横截面和不同时间点(1.5h、3.0h、4.5h、9.0h和18.0h)测量河床形态。流入的泥沙混合物由浊度计每分钟控制1次,UVP探头测量了一维垂直速度剖面以及局部三维速度,每0.5h进行一次LSPIV流场测量。在所有运行中,流量保持恒定在 $Q=7.0\text{m}^3/\text{s}$,下游水位保持恒定在0.2m。

2 数据分析和结果

2.1 有无悬浮泥沙的大型连贯结构

利用LSPIV流场测量技术对流动特征和大尺度结构进行研究,清水中大型连贯结构的速度场和流型(运行1)见图2。由图2可看出,清水条件下主流倾向于向右侧弯曲发展,直到接触壁并沿着右侧壁流动,当与右壁分离时,主流会产生一个再循环区,在水池中心产生一个主要的大稳定环流,逆时针旋转,且在水池的上游角落形成了两个顺时针旋转的小“三角形”环流。偏转的射流在中心的主环流和上游右角的三角形环流

之间充当涡旋脱落区域。此外,可在主流和两个环流之间观察到左右两个混合层。在试验中,射流总是被吸引到右侧。在主环流和上游左角的小三角形环流之间产生了第2个反向涡旋脱落区,由主回转惯性产生的逆流射流将来流射流推到一边,并在4个特征(主流射流、逆流射流、大主环流、左右角环流)之间形成一个脱落点。

泥沙的加入减小了混合长度或环流大小,在右角环流的再附着长度 L_r 段随着时间的增加,流动也变得更加稳定和对称。图3显示了随着泥沙夹带而形成的第2个水流特征。由于波纹和悬浮泥沙浓度,导致流场完全改变。上游拐角处的环流消失,出现了一种相对于中心线对称的图案,剩下的两个环流与射流相互作用,显示出某种弯曲的趋势。综上所述,与清水流相比,随着泥沙添加到水流中,湍流减小,混合长度减小,再加上粗糙度增加进而导致速度梯度增加。泥沙淤积引起的河床形态或有效粗糙度的变化可以完全改变整个流型。

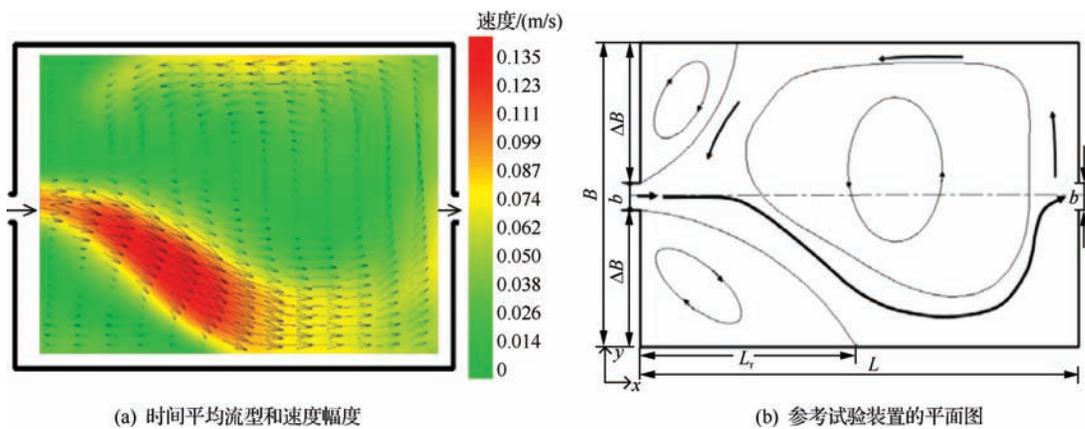


图2 清水中大型连贯结构的速度场和流型

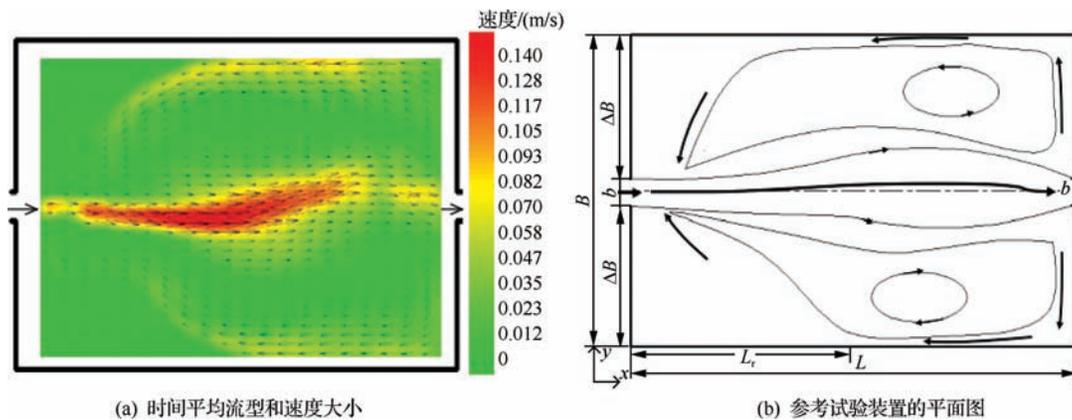


图3 泥沙夹带流条件下中大型连贯结构的速度场和流型

2.2 长期形态演变及相应流场

图4显示了5次不同运行(1.5h、3.0h、4.5h、9.0h、18.0h)下平均流场和相应床层形态,从而比较出储层中的长期床层演变。由图4可以看出,所有测试

运行下均可观察到两个典型特征:首先是泥沙沉积的发展,波纹形成集中在右侧,直到河床厚度沉积达到水深的15%;其次波纹沿中心线集中,在入口通道和射流第一部分附近的坡度相对较陡。

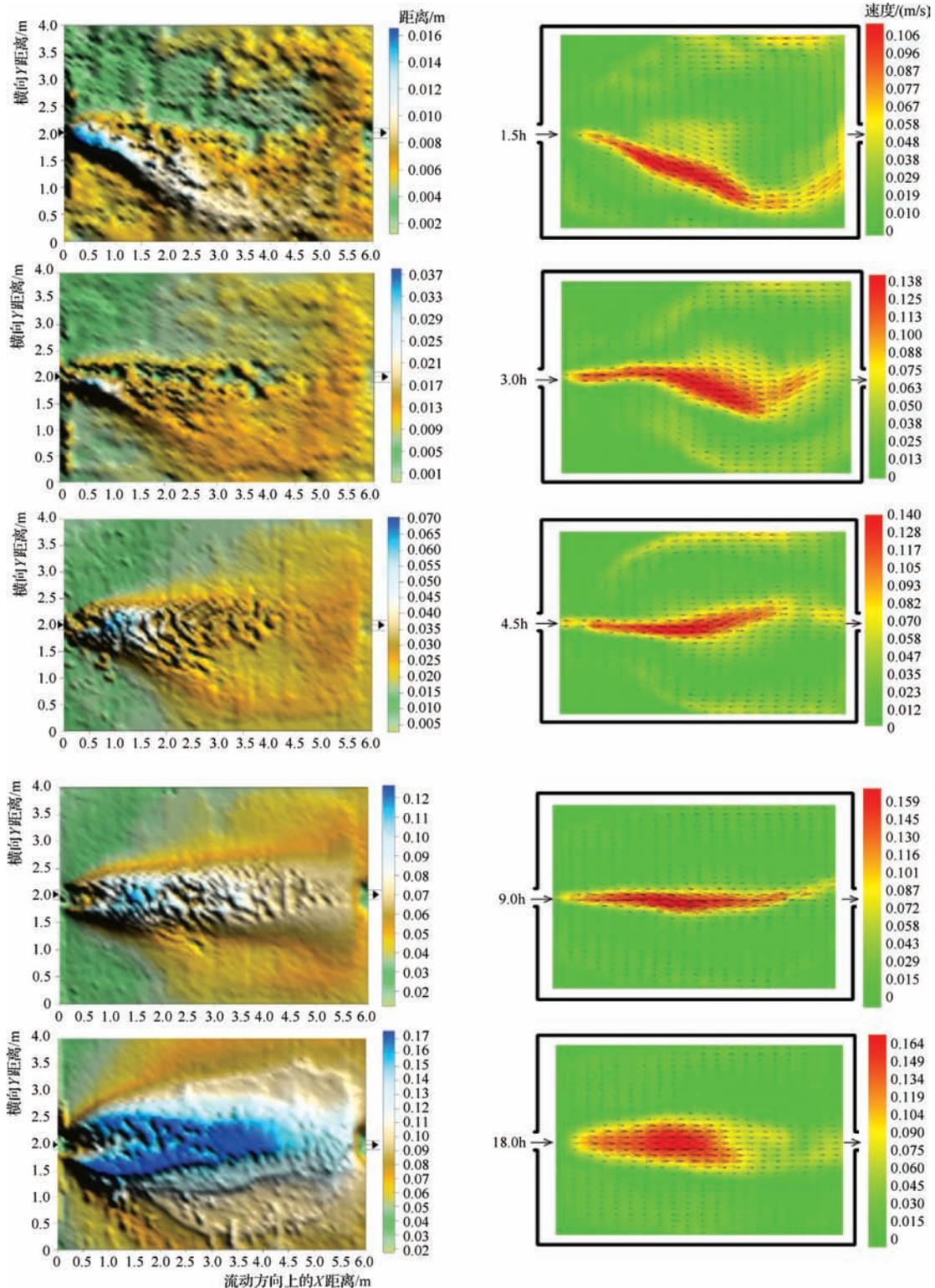


图4 不同运行下的平均流场及相应床层形态

由图4可以看出,射流中心线下方产生的河床高程随着沉积增加而变宽。水池从中心向壁池方向填充,从下游向上游方向填充。随着时间的延长,这些斜坡区域最终将被最细的泥沙填充。上游两个拐角处的沉积量小于其他部分。

开始时,光滑平坦河床上的流动阻力相对较小,随着波纹的形成,流动阻力增加。波纹在边界层流结构与泥沙输移的相互作用中起着重要作用。1.5h(运行2)后在右侧壁附近形成的不对称波纹与流型方向相同。由于悬浮泥沙夹带和相关河床形态的出现导致除了 L_r 尺寸增加和再附着点向下游移动外,观察到的流型与之前的清水流型没有太大差异。然而,与流动沉积物相关的粗糙度高度增加可能导致剪切速度和湍流强度的增加。尽管存在高速流动,但与入口通道相连的主要流线正下方的泥沙浓度和泥沙沉积量较高。3h后(运行3),由于波纹形成和悬浮泥沙浓度增加,流场完全改变。9.0h后中心线上的沉积物逐渐增加,在射

流中心线下方形成一个更宽的河床高程,其宽度约为入口通道的3倍,并沿水池中心线出现舌状沉积,舌片平均厚度为0.16m,位于射流中心线下方,平均宽度约为入口通道的8倍。18.0h(运行6)后发生均匀沉积,沉积物已填满了水池总体积的50%。

不对称流型模式在两侧循环单元的尺寸和强度不同,导致了后续模式的不对称性。4.5h后已达到稳定的河床形态,在水池中达到完全形态平衡需要18.0h以上。

2.3 沉积深度截面比较

图5详细比较了4个不同截面的横向形态发展。在横截面 $X_1 = 1.5\text{m}$ 、 $X_2 = 2.0\text{m}$ 、 $X_3 = 3.0\text{m}$ 和 $X_4 = 4.5\text{m}$ 处的5次运行(1.5h、3.0h、4.5h、9.0h和18.0h)中可以看到沉积物的时间演变。图5(a)显示了在距入口1.5m处的水池横向沉积物,1.5h后(运行2),观察到水池上几乎均匀的沉积物,平均厚度为0.015m;由于3.0h(运行3)后流型完全改变,泥沙沉积厚度略微增加(增加0.005m)。4.5h(运行4)后观察到的床层厚度

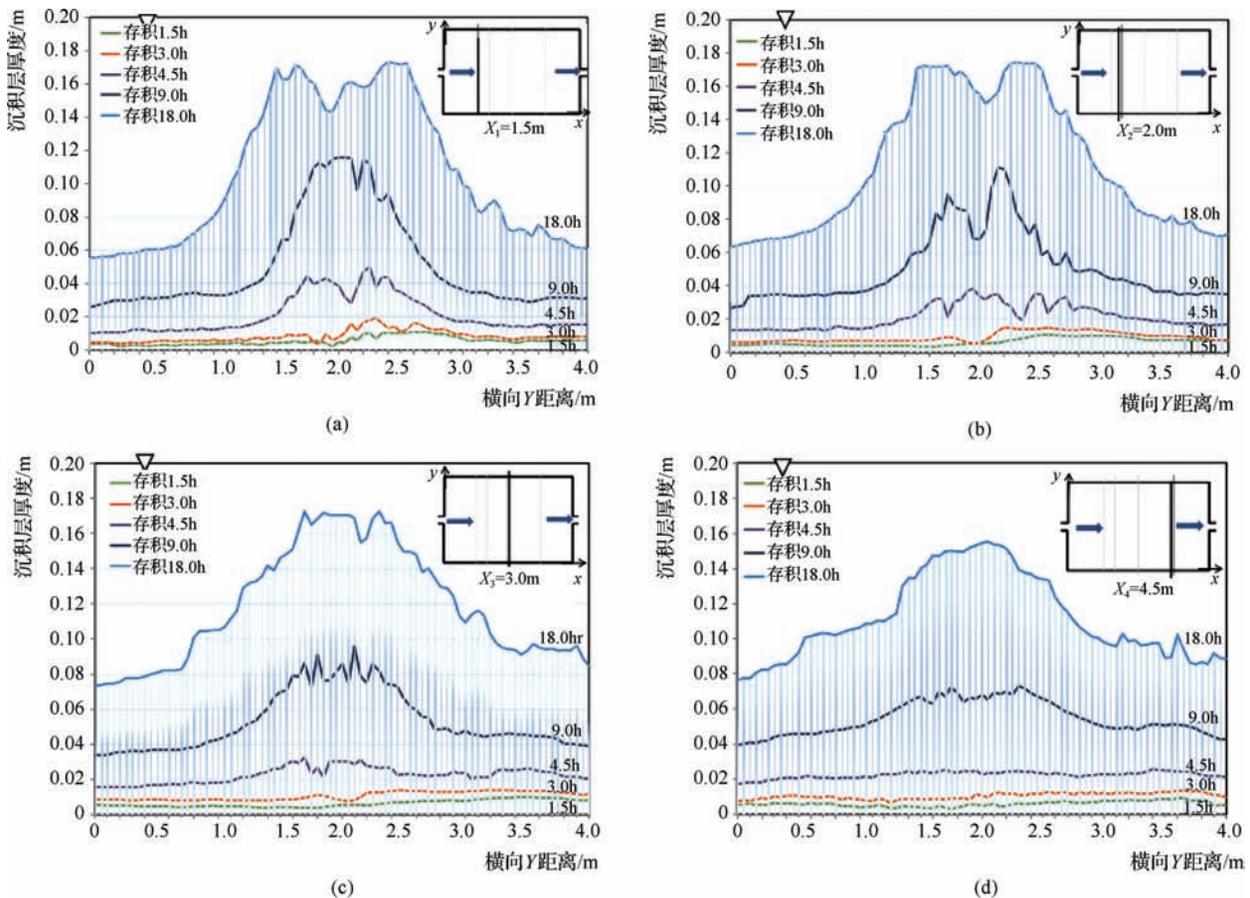


图5 在运行1.5h、3.0h、4.5h、9.0h和18.0h后水池不同横截面的河床剖面比较情况

几乎是3.0h(运行3)后中心的两倍,但左右壁的差异不大,有两个平均向中心倾斜2%的横向缓坡。但9.0h后(运行5),两侧出现陡坡,沿沉积物山丘中心线上形成了通道,宽度为0.75m。在添加悬浮泥沙的9.0h内,可以在中心观察到更多沉积物,18.0h后厚度达到0.170m(运行6)。沿中心线形成了宽度为2.000m的水平沉积河段,上游拐角处沉积物更少。

图5(b)中显示了运行2、运行3和运行4前几个小时内几乎恒定的泥沙沉积,但运行4和5的沉积速率有所增加。1.5h和3.0h后,河床形状几乎均匀,但4.5h后沉积物显示为波浪状河床。9.0h后观察到的床层厚度几乎是4.5h的3倍。在18.0h后水池内已达到稳定的形态,并且几乎达到形态平衡。

由图5(c)可以看出,3.0h后中间横截面河床厚度明显减小,可以清楚地看到流向水池中心线的水流偏差。此外,由于环流漩涡,泥沙沉积在中间并逐渐开始增加。4.5h后,沉积从左壁逐渐增加,在中间部分达到0.030m的峰值,然后在右壁略有下降。18.0h后,呈现了与 $X_2 = 2.0\text{m}$ 时相似的泥沙沉积行为。

由图5(d)可以看出,1.5h、3.0h和4.5h后的沉积层相互平行,两侧几乎达到均匀的沉积速率。但9.0h后,沉积物在中心形成水下山脊,并向两侧倾斜。经过9.0h的测试,两侧的沉积逐渐增加,在射流中心线下方形成更宽的河床高程,宽度约为1.250m。

2.4 悬浮泥沙浓度

通过仪器详细监测了入口和出口通道的悬浮泥沙浓度(SSC),连续数据可能存在虚假性,但可通过扫描数据来确定堵塞期,即SSC突然下降、尽管床形发生显著变化但SSC保持稳定的时期、流动模式发生突然变化。图6显示了每小时从储层中释放的SSC。试验期间,沉积物流入量在 3.0g/L 左右保持恒定。由图6可看出,由于床层形成和内部循环之间的混合交换,运行2、运行3和运行4开始时沉积物释放量较低,在运行5和运行6期间逐渐增加,并在运行6结束时保持相对稳定。运行2开始时由于流型向右偏转,波纹开始在右侧形成,SSC开始减少,3.0h(运行3)后,流型开始从右向中心改变,并在中心形成新的波纹。经过18.0h

后,SSC流入和流出的速率大致相等,此时水池达到平衡。

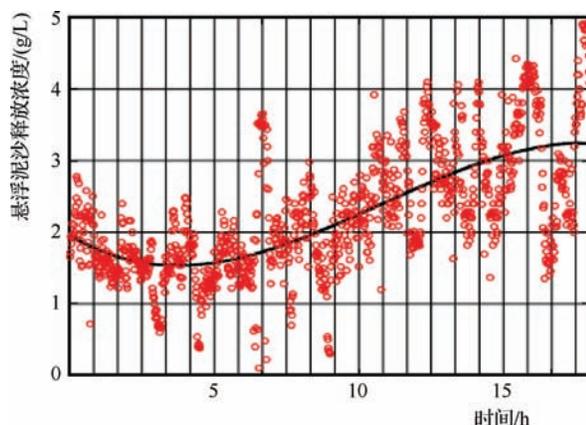


图6 18.0h内水池中释放的悬浮沉积物浓度

3 结语

本文利用多种测量技术在不同横截面和不同时间点上测量河床形态,研究了当悬浮泥沙被添加到浅水池平面河床上方的湍流中时,湍流结构、悬浮颗粒、河床形态和其他不稳定性之间的相互作用关系,研究表明:①与清水流相比,随着泥沙添加到水流中,湍流减小,混合长度减小,粗糙度增加,从而导致速度梯度增加;②悬浮泥沙和波纹稳定了水流,并将流型从与清水不对称改变为与泥沙对称;③厚度达到水深的15%的沉积物和波纹是水流结构变化的直接影响因素;④4.5h后已达到稳定的河床形态,但想要达到完全形态平衡需要18.0h以上;⑤18.0h后,悬浮泥沙流入和流出的速率大致相等,水池达到平衡。泥沙淤积是水库工程设计中必须考虑的问题,特别是浅水库,泥沙淤积对其影响较大,本文研究的泥沙淤积问题可以保障浅水库使用年限,更好地发挥工程效益。

参考文献

- [1] 王强,聂锐华,范念念,等. 来沙条件变化对河床形态及推移质运动的影响研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2016,48(S1):20-24.
- [2] 舒安平,周星,余明辉,等. 岸坡崩塌条件下弯道环流与水流剪切力的变化特征[J]. 水利学报,2018,49(3):271-281.
- [3] 刘飞. 水流泥沙进入浅水层初期的河槽形态演替规律[J]. 科学通报,2016,61(36):3982-3992. (下转第23页)

松滋河河口段泥沙特征及潜在生态风险评价

徐会显 江小青 姜 军

(长江水利委员会 河湖保护与建安中心,湖北 武汉 430010)

【摘要】 本文对松滋河河口段不同区域泥沙进行取样,分析了各河段泥沙粒径、化学组分、重金属含量等指标,进而对泥沙潜在生态风险进行评价。结果表明,河口段泥沙以中细砂为主,松滋河大口下游含沙量高于上游;SiO₂、Al₂O₃和CaO是泥沙的主要化学成分;主要重金属指标均低于国家土壤污染风险筛选值;从潜在生态风险评价来看,总体属于低潜在风险,可以用于农林资源化利用,但需要关注镉污染风险。研究结果可为河口区泥沙资源化利用提供参考。

【关键词】 松滋河;泥沙特征;生态风险评价

中图分类号:TV145+.3

文献标志码:B

文章编号:2096-0131(2022)04-030-04

Sediment characteristics and potential ecological risk assessment of Songzi River estuary

XU Huixian, JIANG Xiaoqing, JIANG jun

(Yangtze River Water Resources Commission, River and Lake Protection and Building Safety Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: In this paper, the sediment in different areas of Songzi River estuary was sampled, and the indexes of sediment particle size, chemical composition, heavy metal content and so on were analyzed, and then the potential ecological risk of sediment was evaluated. The results show that the sediment in the estuary is mainly medium-fine sand, and the sediment concentration in the lower reaches of Songzi River mouth is higher than that in the upper reaches. SiO₂, Al₂O₃ and CaO are the main chemical components of sediment, and the main heavy metal indexes are lower than the national soil pollution risk screening value. From the perspective of potential ecological risk assessment, it is generally low potential risk, which can be used for agricultural and forestry resource utilization, but it is necessary to pay attention to the risk of cadmium pollution. The research results can provide reference for the utilization of sediment resources in estuary area.

Key words: Songzi River; sediment characteristics; ecological risk assessment

荆南三河是荆江与洞庭湖水沙连接的重要通道,松滋河在大口段分东西两支,西支流经新江口,东支流松滋河是荆南三河地区河道最长、分流量最大的支流。经沙道观。受降雨、水文特征、人类活动等因素综合影

收稿日期:2021-12-22

作者简介:徐会显(1991—),男,工程师,硕士,主要从事河湖环境保护及管理咨询工作。

响,荆南三河口断流天数总体呈增加趋势^[1]。有学者研究了1995—2016年长江荆南三河水系结构演变状况,发现松滋河支流结构衰减最为突出,水系复杂度趋于简化,水沙时空输移发生了改变。松滋河口门崩岸产生的泥沙不断输移至宽浅分叉河段沉积,加快了河道淤积^[2],使河口段淤沙情况较为普遍。

长江荆江段历来是长江中游航道维护疏浚的重点地区,根据2019年《长江泥沙公报》,长江干流疏浚砂利用总量约4205万t,其中宜昌以下河道疏浚砂利用量约4157万t。松滋河是荆南三河中唯一的通航河道,近年来,松滋河段航道整治工程及航道疏浚砂试点工作也在逐渐探索及开展中。泥沙特征是影响泥沙资源化利用的重要因素之一,泥沙污染物含量及生态风险评价是开展资源化利用的必要依据。一些学者对荆江干流泥沙以及航道疏浚土开展了相关研究^[3-5],主要

在多污染物优先控制筛选、疏浚土潜在健康风险等方面,指出荆江航道太平口底泥存在砷和镉污染风险。但对荆南三河单个河流的泥沙理化特性研究较少,松滋河河口段泥沙相关研究尚在起步阶段。

因此,本文以松滋河河口段为研究对象,结合2019年5月实地勘测资料,分析了区域泥沙特征,并对潜在生态风险进行了评价,以期为地区泥沙资源化利用等方面提供参考借鉴。

1 材料与方法

1.1 样品采集及处理

对松滋河河口段8个断面表层0.5~1.0m的土质采用挖斗式取样,具体参照《河床组成勘测调查技术与实践》^[6],采样位置点见图1。采集的泥沙样品经过风干处理,先进行物理分析,经研磨、过筛并混合均匀后再进行化学分析。



图1 松滋河采样位置点

1.2 研究指标和分析方法

研究指标主要为物理指标和化学指标。其中物理指标为泥沙颗粒粒径,化学指标包括泥沙化学组分、重金属含量。本研究选取镉(Cd)、铅(Pb)、砷(As)、铬(Cr)、汞(Hg)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)作为重金属主要污染指标。

泥沙颗粒粒径分析采用激光分析法,化学组分分

析采用X射线荧光光谱仪测定,Cd、Pb、Cu、Zn、Ni含量采用电感耦合等离子体原子发射光谱仪测定,As和Hg含量采用原子荧光光谱仪测定,Cr含量采用X射线荧光光谱仪测定。

1.3 评价方法

潜在生态风险评价采用应用比较广泛的潜在生态风险指数法,该方法既可反映单个污染物的影响,也可

反映全部污染物的综合影响。其评价公式^[7]为

$$E_r^i = T_r^i \frac{C_s^i}{C_n^i} \quad (1)$$

$$RI = \sum E_r^i \quad (2)$$

式中： C_s^i 为重金属实测浓度，mg/kg； C_n^i 为背景值（选取枯水期长江干流沉积物中重金属背景值^[8]）； E_r^i 为单因子潜在生态风险系数； T_r^i 为不同污染物生物毒性响应系数，采用 Hakanson 标准化重金属生物毒性响应系数作为评价依据，Hg、Cd、As、Ni、Cu、Pb、Cr 和 Zn 分别取 40、30、10、5、5、5、2 和 1；RI 为多污染物综合潜在生态风险指数。

2 结果与分析

2.1 泥沙颗粒粒径

按照《河流泥沙颗粒分析规程》(SL 42—2010)^[9]，

泥沙可以分为黏粒、粉砂、砂粒、砾石、卵石、漂石 6 类，其中黏粒、粉砂属泥类，砂粒属砂类，砾石、卵石、漂石属石类（粒径小于 0.062mm 的颗粒为泥类，0.062 ~ 2.000mm 为砂类，粒径大于 2.000mm 的颗粒为石类）。按照河段划分，松滋河口至大口、松滋大口至新江口以及松滋大口至沙道观泥沙粒径特征存在一定的差异，见表 1、表 2。由表 1 可看出，从松滋河口至大口段，泥沙粒径总体呈增加趋势，在大口段（松 12 和松 101）泥沙总体为中细砂，粒径在 0.250 ~ 0.500mm 居多，占比达 66.8% ~ 78.1%。此外，大口下游河段 D_{50} 、平均粒径均高于大口上游河段，总体符合河流冲刷规律。由表 2 可看出，泥类主要集中在松滋河口至大口段，含量达 38.51%；松滋河大口至新江口和沙道观绝大多数为砂类，占比可达 94.00% 左右，含泥量仅为 6.60% 和 5.68%。

表 1 不同断面泥沙颗粒粒径特征

序号	河段	断面号	粒径沙重百分数/%					特征粒径/mm		
			0~0.004	0.004~0.062	0.062~0.250	0.250~0.500	0.500~2.000	D_{max}	D_{50}	$D_{(平均粒径)}$
1	松滋河口至大口	松 03	11.56	72.69	14.44	1.26	0.06	0.52	0.02	0.04
2		松 4	6.65	47.58	10.7	30.73	4.35	1.32	0.15	0.16
3		松 5	0.57	7.27	26.57	58.57	7.03	1.77	0.28	0.29
4		松 8	0.61	7.13	36.21	52.41	3.64	1.83	0.25	0.26
5	松滋河大口至新江口	松 12	0	0	21.08	78.1	0.82	2.00	0.29	0.29
6		松 101	0	0.26	31.24	66.8	1.70	1.80	0.28	0.28
7	松滋河大口至沙道观	松 105.1	5.98	20.16	20.08	49.22	4.56	1.48	0.20	0.23
8		松 24	0	0	31.60	66.10	2.30	2.00	0.28	0.29

表 2 不同河段泥沙粒径特征和百分比

河段	粒径沙重百分比/%			特征粒径/mm		泥类/%	砂类/%
	0.062~0.250	0.250~0.500	0.500~2.000	D_{50}	$D_{(平均粒径)}$		
松滋河口至大口	21.98	35.74	3.77	0.17	0.19	38.51	61.49
松滋大口至新江口	26.85	64.78	1.77	0.24	0.25	6.60	93.40
松滋大口至沙道观	30.87	61.77	1.68	0.21	0.21	5.68	94.32

2.2 泥沙化学组分

泥沙化学组分基本为 SiO_2 、 Al_2O_3 、CaO、 Fe_2O_3 、MgO、 K_2O 、 Na_2O ，与一般陆地表层土壤差异不大，与一般航道疏浚泥沙成分类似。各化学组分质量分数见图 2，由图 2 可以看出， SiO_2 质量分数最高，为 63.68%，其

次是 CaO 和 Al_2O_3 ，分别为 6.96% 和 6.74%。

2.3 重金属含量

对泥沙样品中 Cd、Pb、As、Cr、Hg、Cu、Zn、Ni 等指标进行分析，结果见表 3，由表 3 可知，松滋河 Cr 含量为 53.60 μ g/g，Zn 含量为 57.70 μ g/g，Pb 含量为 16.20 μ g/g，

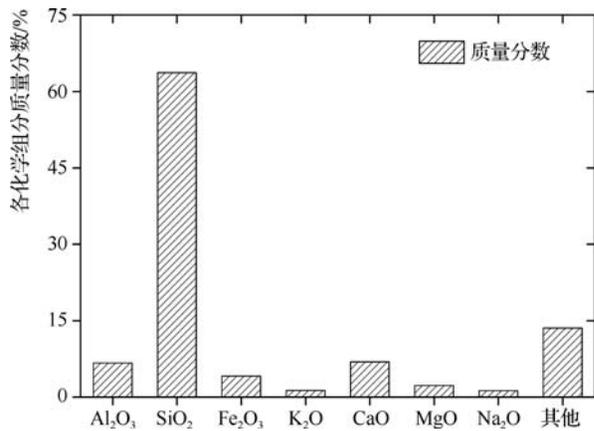


图2 各化学组分质量分数

表3 泥沙重金属含量 单位:μg/g

指标含量	松滋河	长江沉积物背景值 (1992年枯水期)	风险筛选 值 A	风险管制 值 B
As	5.65	5.60~9.60	25.00	100.00
Hg	0.0120	0.0098~0.0705	3.4000	6.0000
Cu	30.1	15.4~67.1	100.0	
Zn	57.70	36.75~107.00	300.00	
Cd	0.241	0.130~0.440	0.600	4.000
Pb	16.2	17.1~33.5	170.0	1000.0
Cr	53.6	47.0~99.0	250.0	1300.0
Ni	20.37	22.40~44.70		

表4 松滋河表层泥沙潜在生态风险评价结果

项目	潜在生态风险因子(E_r^i)								潜在生态风险 指数(RI)
	As	Hg	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	
均值	9.27	11.92	3.65	0.80	25.37	3.21	1.47	2.91	58.59
长江对比值	16.93	24.92	7.19	18.20	11.20	164.00	2.11	2.75	252.00

注 取样值为2019年,对比值为2007年调查值^[10]。

表5 生态风险评价指标及分级

指标	范围	分级	指标	范围	分级
潜在生态 风险系数 (E_r^i)	$E_r^i < 40$	低	多污染物 综合潜在 生态风险 系数(RI)	RI < 150	低
	$40 \leq E_r^i < 80$	中等		$150 \leq RI < 300$	中等
	$80 \leq E_r^i < 160$	相当高		$300 \leq RI < 600$	高
	$160 \leq E_r^i < 320$	高		RI ≥ 600	极高
	$E_r^i \geq 320$	极高			

3 结语

本文以松滋河河口段为例,分析研究了区域泥沙特征及重金属含量,探究了泥沙潜在生态风险。研究

Ni 含量为 20.37 μg/g, As 含量为 5.65 μg/g。与《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)中各污染物的农用地土壤污染风险筛选值($pH > 7.5$)和风险管制值($pH > 7.5$)对比,均低于风险筛选值 A 值,远低于风险管制值 B 值。与 1992 年枯水期长江沉积物中重金属监测值相比,松滋河均低于长江沉积物背景值中最高值含量,说明松滋河河口段重金属含量总体在可控范围。

2.4 潜在生态风险评价

松滋河泥沙潜在生态风险评价结果见表 4,从单个污染物来看, E_r^i 值均小于 40,其中 Cd 的 E_r^i 值相对较高,为 25.37,说明生态风险均处于较低水平;与 2007 年长江表层沉积物调查值相比,除 Ni 外,其余指标均低于长江对比值。潜在生态风险指数(RI)综合反映了泥沙中 As、Hg、Cu、Zn、Cd、Pb、Cr 和 Ni 的污染水平及潜在生态危害性,经计算,RI 为 58.59。根据生态风险分级标准(见表 5)可知,松滋河泥沙属于低污染,具有较低的潜在风险,符合农用地土壤风险管控标准,可以用于农业、林业等其他用途。

发现河口段泥沙粒径主要以中细砂为主,粒径总体介于 0.250~0.500mm 之间。从泥沙特征来看,松滋河河口至大口段泥类含量较多,达 38.51%,大口以下至新江口和沙道观段绝大多数为砂类,含量可达 94.00%左右;从化学成分来看,SiO₂ 含量最高,为 63.68%,其次是 CaO 和 Al₂O₃,分别为 6.96% 和 6.74%;从重金属含量来看,河口段重金属指标值均低于农用地土壤污染风险筛选值和风险管制值,重金属含量总体在可控范围。对其进行进一步潜在生态风险评价研究,结果表明潜在生态风险较低,研究结果可为(下转第 3 页)

雅砻江流域降水时空变化特征分析

万浩 齐明臣 李红梅

(重庆乌江电力有限公司,重庆 409000)

【摘要】 为研究雅砻江流域降水的季节和年变化趋势及周期的时空分布特征,利用1960—2018年雅砻江流域9个气象站点的年季平均降水量,采用Mann-Kendall(M-K)检验和小波分析对降水时间序列进行分析。结果表明:流域降水年、季空间分布不均匀,总体呈现出从西北向东南递增的趋势;1960—2018年流域年降水量呈增长趋势,春季降水呈显著增长趋势,近90%的站点年降水量变化呈增长趋势;雅砻江流域年降水序列突变点出现在1980年,流域的降水变化周期一般为4~8年、10~15年、26~28年。研究可为雅砻江流域的水资源合理规划及利用提供参考。

【关键词】 雅砻江;降雨时空变化;Mann-Kendall;小波分析

中图分类号:TV96

文献标志码:A

文章编号:2096-0131(2022)04-034-09

Analysis of temporal and spatial variation characteristics of rainfall in Yalong River basin

WAN Hao, QI Mingchen, LI Hongmei

(Chongqing Wujiang Electric Power Co., Ltd., Chongqing 409000, China)

Abstract: To study the seasonal and annual variation trend of precipitation in Yalong River basin and the temporal and spatial distribution characteristics of its cycle. Based on the annual and seasonal average rainfall of 9 meteorological stations in the Yalong River basin from 1960 to 2018, Mann-Kendall (MK) test and wavelet analysis were used to analyze the rainfall time series. The results show that the annual and seasonal spatial distribution of rainfall in the basin is uneven, and the overall trend is increasing from northwest to southeast. From 1960 to 2018, the annual rainfall in the river basin showed an increasing trend, and the annual rainfall in spring showed a significant increasing trend, and the annual rainfall of nearly 90% stations showed an increasing trend. The abrupt change point of annual rainfall sequence in Yalong River basin appeared in 1980, and the rainfall change cycle in the basin was generally 4~8a, 10~15a and 26~28a. This will play a guiding role in decision-making for the rational planning and utilization of water resources in Yalong River Basin.

Key words: Yalong River; temporal and spatial variation of rainfall; Mann-Kendall; wavelet analysis

全球气候变化问题日益突出,气候变化引起的一系列问题受到国内外学者的高度关注。气候变化使得水资源的分布、循环以及生态系统发生改变,降水作为

气候变化的重要指标,对生态系统的变化起着重要的作用。陈书军等^[1]采用降雨集中指数、降雨异常指数和夏季长周期旱涝急转指数等参数分析了湖北省区域

收稿日期:2021-11-03

作者简介:万浩(1992—),男,工程师,硕士,主要从事水库调度及水文水资源研究工作。

内旱涝急转特性和降雨时空变化特征,结果表明,湖北省洪涝灾害风险不断增加,尤其是鄂西南最为突出,降雨年代际变化特征明显。莫崇勋等^[2]采用线性趋势、Morlet小波分析和相关函数等方法系统分析了广西桂林市的四季降雨变化趋势、突变及周期特征。李宝等^[3]利用1973—2018年北京市通州区逐日降雨数据,统计了五个等级降雨发生频次和降雨累计值,分析了通州区不同等级降雨空间分布特征。汪飞等^[4]分别采用线性回归法、Mann-Kendall检验研究了澜沧江流域近40年的年平均气温和降水、四季平均气温和降水的时空变化特征和突变特征。

雅砻江流域作为我国十二大水电基地之一,其间分布着诸如锦屏一级、锦屏二级、二滩等大型水电站。对雅砻江流域水文气象变化特征的分析日益受到人们的重视。但现有的研究几乎是都集中在径流趋势特征分析,并没有将雅砻江流域单独作为一个系统对流域的降水变化进行深入的研究^[5-7]。本研究的主要目的是利用1960—2018年的年和季节尺度上的日降水量,研究雅砻江流域降水的时空分布、趋势、突变和周期,同时对降水变化的原因进行了探讨。这样的研究有利于降低灾害风险,减少灾害的发生,合理分配水资源,支持气候变化条件下的水资源管理决策。

1 研究区概况

雅砻江是金沙江的最大支流,全长1571km,总落差3192m,流域面积13.6万km²,河口多年平均流量为1860m³/s。雅砻江流域属川西高原气候区,受高空西风大气环流及西南季风的影响,流域内气候条件十分复杂。雅砻江流域多年平均气温为-4.9~19.7℃,降水量在上游区为600~800mm,中游区1000~1400mm,下游区900~1300mm。由于独特的地质构造及气候条件,雅砻江流量丰沛,全流域水能理论蕴藏量约3840万kW,占长江流域总量的13.8%。流域内已建成大小水电站22座。本文选取了雅砻江流域内9个气象站点数据进行降水特征分析(见图1),9个站点1960—2018年逐日雨量资料来源于中国气象数据网。

2 研究方法

2.1 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall检验法由于其计算简便,不受异常值干扰,现已被广泛应用于时间序列趋势和突变检验中^[8]。

对于具有 n 个样本容量的时间序列 x_1, x_2, \dots, x_n ,检验的统计变量 S 计算为

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (1)$$

其中

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & (x_i > x_j) \\ 0 & (x_i = x_j) \\ -1 & (x_i < x_j) \end{cases}$$

统计变量 Z 通过下式计算:

$$Z = \begin{cases} (S - 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S > 0 \\ (S + 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

在给定的 α 置信水平上,如果 $|Z| \geq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$,表示所检测的时间序列存在明显的变化趋势, Z 的正负代表上升和下降趋势,当 $\alpha=0.05$ 时, $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}=1.96$ 。

在Mann-Kendall检验中,检验单调趋势的斜率 β 计算如下:

$$\beta = \text{media} \left(\frac{x_i - x_j}{i - j} \right) \quad (3)$$

当Mann-Kendall检验进一步用于检验序列突变时,通过构造一秩序列

$$S_k = \sum_{i=1}^k a_i \quad 2 \leq k \leq n \quad (4)$$

其中

$$a_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad 1 \leq j \leq i \leq n \quad (5)$$

定义统计变量:

$$UF_k = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad 1 \leq k \leq n \quad (6)$$

式中: $E(S_k) = k(k+1)/4$; $\text{Var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72$ 。

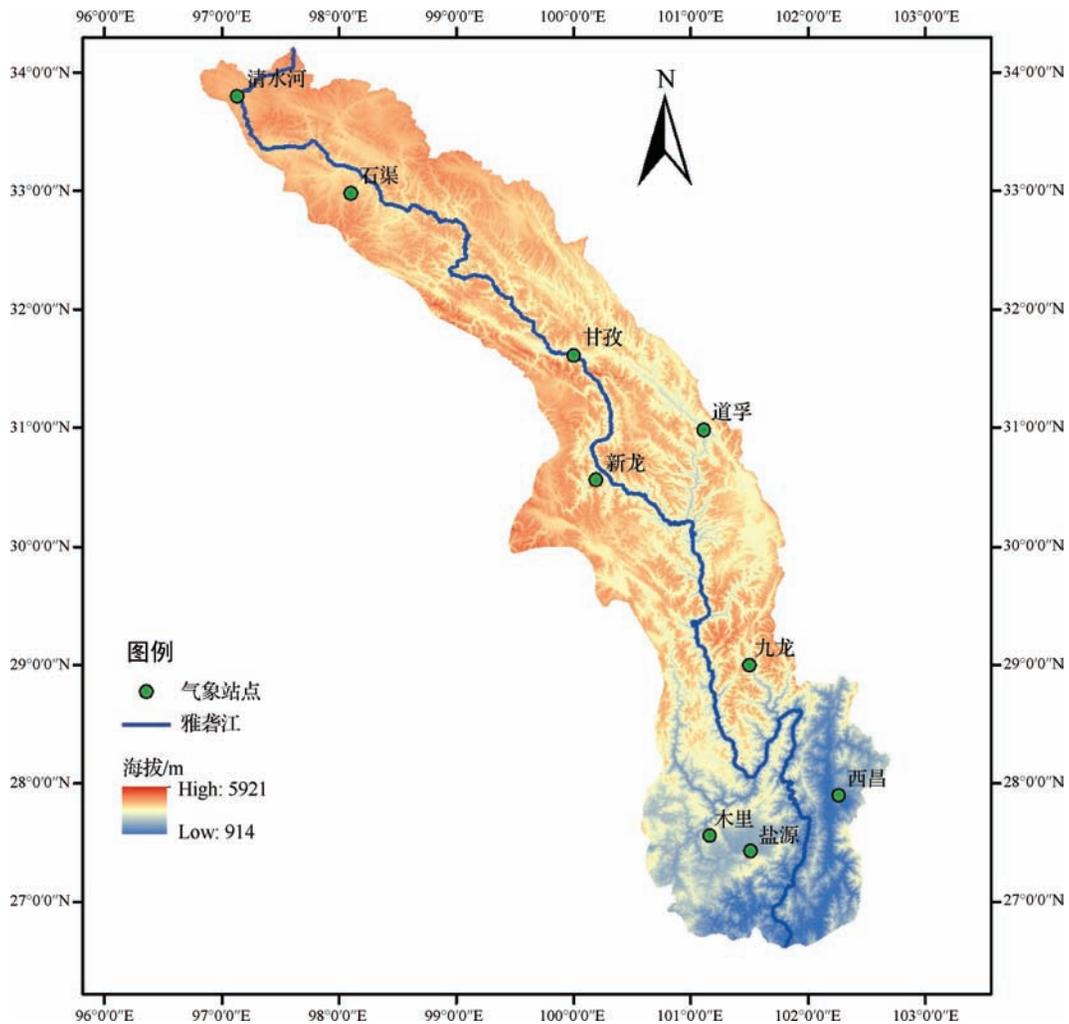


图1 雅砻江流域气象站点分布示意图

将时间序列按逆序排列,重复上述计算过程,并使 $UB_k = -UF_k$, 如果 UF_k 和 UB_k 这两条曲线出现交点, 那么交点对应的时刻就是突变位置。

2.2 小波分析

小波分析作为一种可调时频的分析方法,能对时间序列进行多尺度变化特征分析,得到主要尺度变化过程,最终确定时间序列的周期变化特征。对于时间序列 $f(t)$,连续小波变换计算过程如下^[9]:

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (7)$$

式中: $W_f(a,b)$ 为小波变换系数; $\bar{\psi}$ 为母小波; a 为尺度参数; b 为时间参数。

母小波选用常用的 Morlet 小波,计算方法如下:

$$\psi(t) = e^{ict} e^{-t^2/2} \quad (8)$$

式中: c 为常数,且当 $c \geq 5$ 时 Morlet 小波就能近似满足允许性条件,本文取 $c = 6.2$ 。

2.3 有序聚类分析

有序聚类分析方法作为一种序列突变检验方法,其思想是寻求不同类之间离差平方和最大,同类之间离差平方和最小^[10]。设可能的突变点为 τ ,计算方法如下:

$$S = \min_{2 \leq \tau \leq n-1} \left\{ S_n(\tau) = \sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_{\tau})^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2 \right\} \quad (9)$$

其中

$$\bar{x}_{\tau} = (1/\tau) \sum_{i=1}^{\tau} x_i, \bar{x}_{n-\tau} = (1/n - \tau) \sum_{i=\tau+1}^n x_i$$

当 S 取得最小值时,此时对应的 τ 为最优二分点,

进而可推断为最可能的突变点。

3 结果与分析

3.1 降水特征分析

雅砻江流域 1960—2018 年全年、季平均降水的基本资料,包括平均值、最大值、最小值、变化量和变异系数见表 1。从表 1 中可以看出,雅砻江流域多年平均降水量为 720.98mm,变异系数 C_v 为 0.1(变异系数 C_v 反映序列的相对离散程度),说明流域降水的年际变化较为稳定。

表 1 雅砻江流域 1960—2018 年降水数据

时间	均值/mm	最大值/mm	最小值/mm	变化量/mm	变异系数 C_v
全年	720.98	920.64	585.41	335.24	0.10
春季	107.32	159.72	47.77	111.95	0.23
夏季	434.02	637.11	317.82	319.29	0.14
秋季	168.30	226.70	111.76	114.94	0.16
冬季	11.33	22.96	3.97	18.99	0.38

雅砻江流域月降水分布特征见图 2,可以看出 7 月降水量最大;6—9 月为主要降水时段,降水量占全年的 76.1%;12 月至次年 2 月降水量较少,仅占全年降水量的 1.6%。雅砻江流域 1960—2018 年年平均降水量变化曲线见图 3。结合 5 年滑动平均曲线可以看出,雅砻江流域年平均降水变化经历了 6 个过程:1960—1973 年、1991—1996 年、2003—2011 年处于减少趋势;1973—1991 年、1996—2002 年、2012—2018 年处于增加趋势。雅砻江流域 10 年平均降水量分布见表 2,可以看出雅砻江流域 1960—2019 年降水量整体呈增长

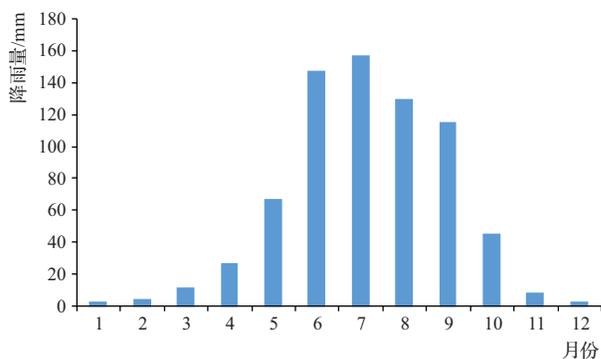


图 2 雅砻江流域月降雨分布

趋势,其中 1960—1979 年降水量最少,流域处于枯水期。

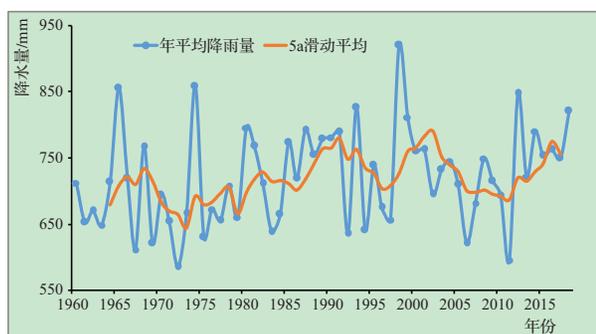


图 3 雅砻江流域 1960—2018 年年平均降水量变化

表 2 雅砻江流域 10 年平均降水量分布 单位:mm

时间	1960—1969 年	1970—1979 年	1980—1989 年	1990—1999 年	2000—2009 年	2010—2019 年
春季	89.25	105.45	100.56	111.23	119.30	121.54
夏季	442.75	391.25	446.26	458.87	430.35	438.46
秋季	155.47	170.16	182.58	163.86	156.88	182.32
冬季	9.63	11.61	10.29	13.75	10.77	12.91
全年	695.46	678.48	739.70	747.70	717.31	748.30

雅砻江流域 9 个气象站点的年、季平均降水量空间分布见图 4。在季节尺度上,9 个站点中有 4 个站点春季平均降水量在 100mm 以上,整体分布从西向东呈逐渐递增趋势。夏季各站点的平均降水量都大于 250mm,下游的 4 个站点夏季平均降水量均大于 500mm,较中上游 4 个站点明显更大。秋季各站点平均降水量均在 150mm 左右,夏秋两季流域降雨空间分布上呈现出从西北向东南逐渐递增趋势。9 个站点中有 4 个站点冬季平均降水量在 10mm 以上,盐源冬季平均降水量最小,只有 7mm,冬季流域平均降水量空间分布显现出从西北向东南逐渐递减趋势。由于近 60% 的年降水量集中在夏季,年降水量与夏季降水具有相似的空间分布,年降水量最高的是西昌站(1004.73mm),最低的是清水河站(475.22mm)。

3.2 降水趋势分析

利用 Mann-Kendall 对雅砻江流域年降水和季节降水变化趋势进行分析,结果见图 5,流域降水在年际分布和季度分布中,都处于增长趋势。其中,年降水、春季

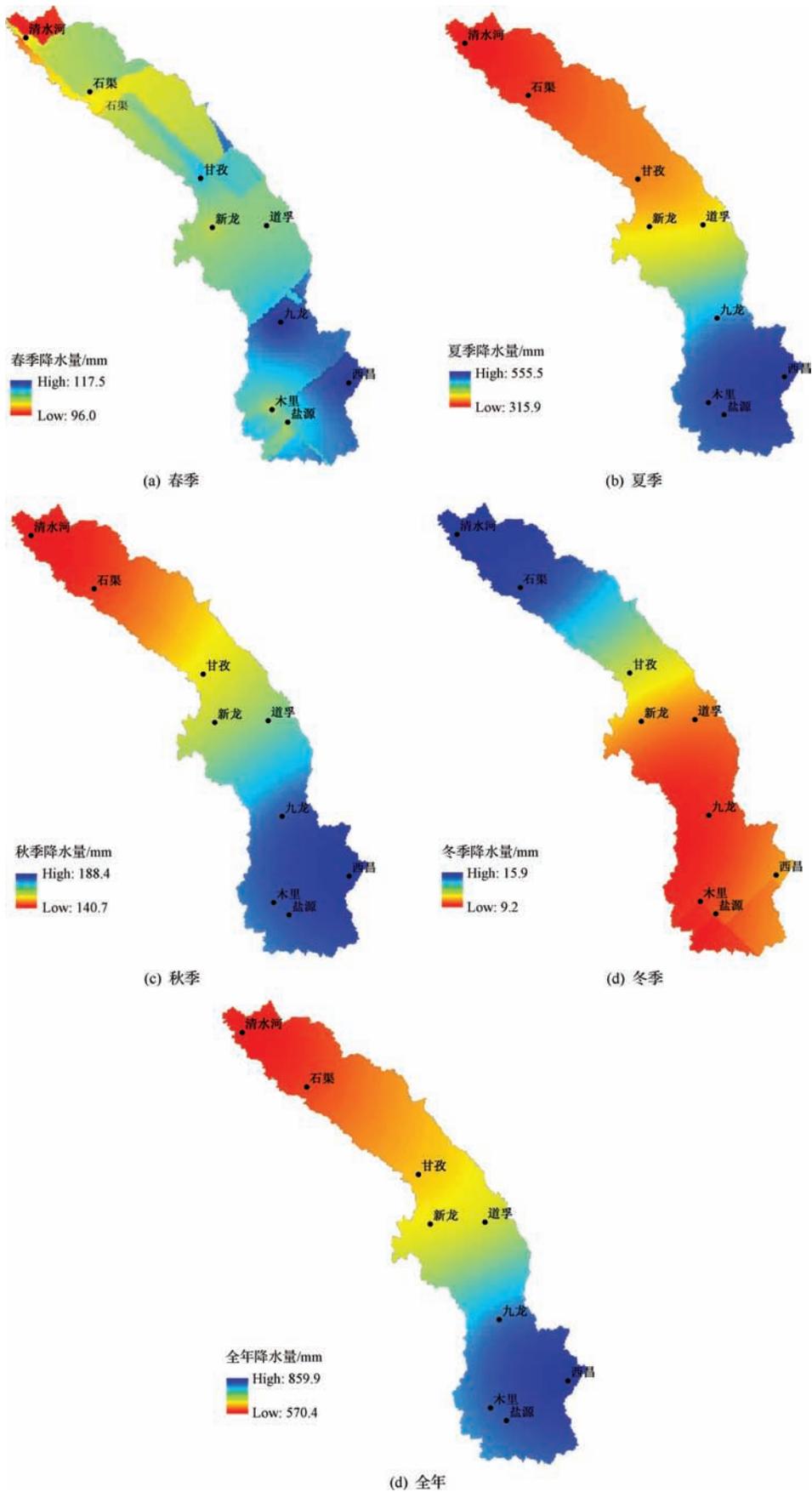
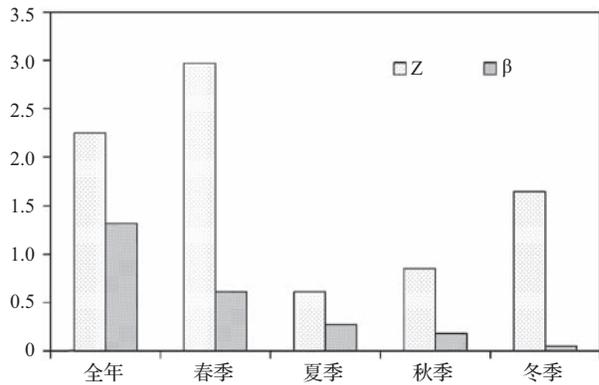


图4 雅砻江流域 1960—2018 年季平均降水量空间分布

图5 Mann-Kendall 检验值 Z 及倾斜度 β 变化

降水处于显著增长趋势,夏季、秋季、冬季降水量增长趋势不明显。计算趋势变化衡量指标 β ,年序列、春季、夏季、秋季、冬季分别为 1.32mm/a、0.61mm/a、

0.27mm/a、0.18mm/a、0.05mm/a,年降水序列增长趋势最为明显,四季中春季降水增长趋势最大。

对 1960—2018 年各气象站平均降水量的变化趋势进行分析(见表 3),流域内 7 个气象站点年降水量呈增长趋势,但只有 2 个站点在 0.05 水平上有显著增长趋势。相比之下,九龙、盐源的年降水量呈减少趋势,但在 0.05 水平上并没有显著趋势。在季节尺度上,所有站点的春季降水量均呈上升趋势,其中清水河、石渠有显著上升趋势,而夏季、秋季、冬季虽有站点降水量呈下降趋势,但仅占站点总数的 1/3,而且下降趋势也无显著性。总体而言,雅砻江流域降水量在各个尺度均表现为增长趋势。

表3 流域测站降水量 Mann-Kendall 趋势分析

时间	参数	清水河	石渠	甘孜	新龙	道孚	九龙	木里	盐源	西昌
春季	Z	4.89*	3.52*	1.90	1.34	2.33*	0.93	3.07*	1.75	1.57
	β	0.86	0.83	0.57	0.30	0.61	0.30	0.97	0.54	0.69
夏季	Z	2.88*	-1.32	0.31	1.24	1.22	1.06	-1.57	-0.54	1.58
	β	1.58	-0.72	0.16	0.89	0.77	0.82	-1.23	-0.44	1.51
秋季	Z	4.63*	1.70	0.43	0.58	1.03	-0.04	-0.56	-1.17	0.07
	β	1.14	0.55	0.18	0.22	0.36	-0.01	-0.22	-0.45	0.04
冬季	Z	1.97*	2.99*	1.97*	-0.32	0.82	-0.13	-0.25	0.19	-1.43
	β	0.12	0.18	0.14	-0.01	0.03	-0.01	-0.01	0.00	-0.11
全年	Z	5.41*	1.25	1.58	1.80	2.21*	1.39	-1.09	-0.23	0.40
	β	3.85	1.02	0.88	1.47	1.75	1.04	-0.94	-0.18	0.33

注 * 表示通过了置信度 95% 的显著性检验。

3.3 降水突变分析

采用 Mann-Kendall 检验法和序列聚类分析两种方法对雅砻江流域的年季降水序列进行突变分析,结果见图 6。春季 UF 和 UB 在 1995 年交汇,而最佳分割点显示为 1998 年,结合降水实测资料分析,1998 年前后,年降水平均增加了约 20mm,相比于 1995 年变化更大,虽然诊断结果不同,但将 1998 年作为突变年更为合理。夏季 UF 和 UB 在 2005 年之后有多处交汇,而最佳分割点为 1979 年,两种方法检测结果时间间隔较大,因此我们认为没有发生突变。秋季 UF 和 UB 也相交于多处,最佳分割点为 1962 年和 2015 年,两种方法

结合分析确定出 1962 年为秋季降水序列突变点。冬季降水量的 UF 和 UB 在 20 世纪 70 年代和 80 年代有多次交汇,最佳分割点是在 1976 年,综合来看,将 1976 年作为冬季降水突变年更为合适。从图 6(e)~图 6(j)分析来看, UF 和 UB 交点为 1980 年和 2008 年,最佳分割点为 1980 年和 1984 年,综合来看,将突变年划分为 1980 年更合适。采用以上两种方法对雅砻江流域内 9 个气象站点进行降水序列的突变分析,结果见表 4,上游站点较下游站点年季降水序列发生突变的情况更多,且上游降水突变主要集中在 20 世纪 80 年代左右,而下游站点突变则集中在 2000 年之后。

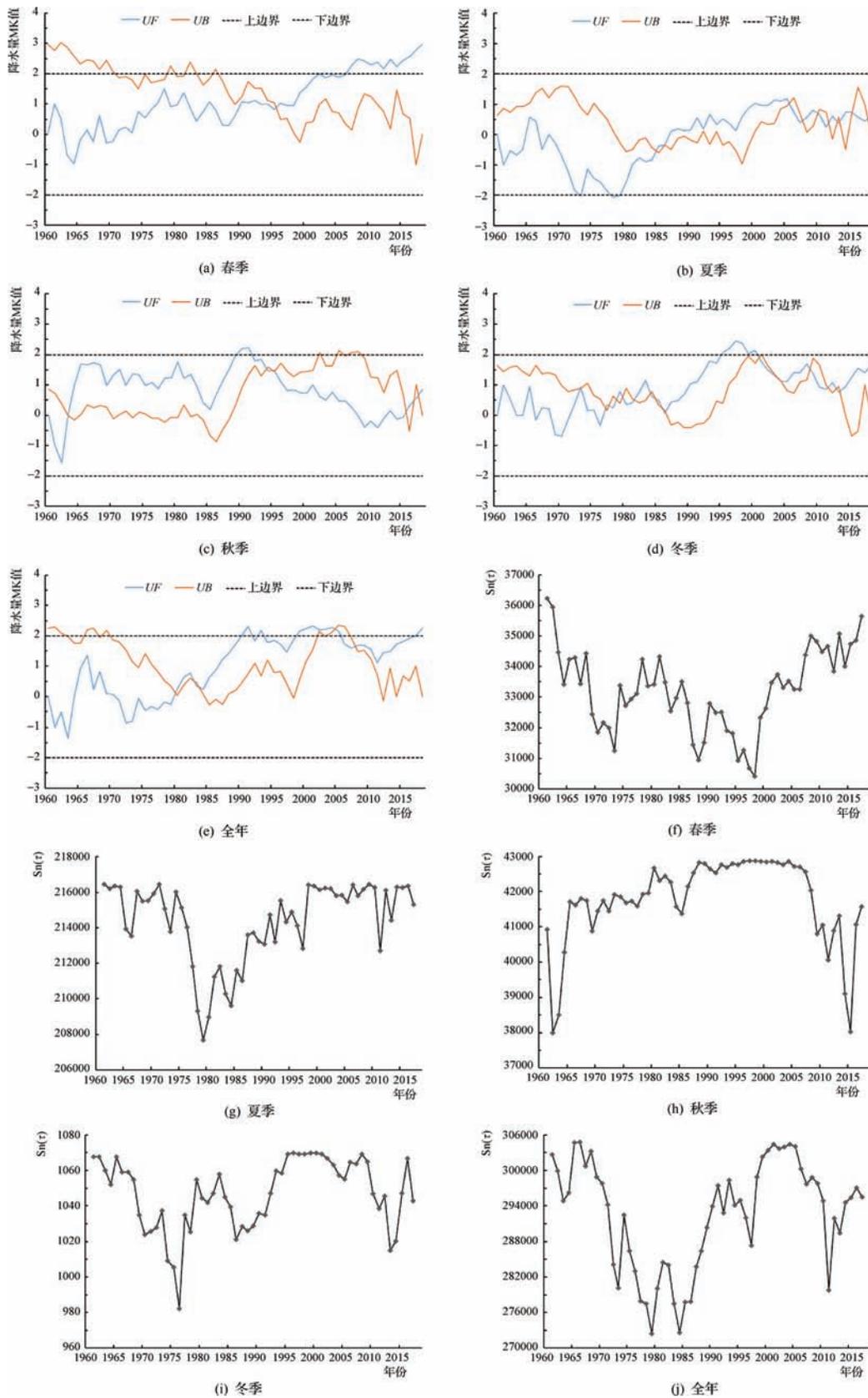


图6 雅砻江流域降水序列的 M-K 检验和序列聚类分析

(注 UF 、 UB 分别为 Mann-Kendall 检验中构建的正序排列和逆序排列的统计量,上、下边界为显著性水平 $\alpha = 0.05$ 条件下的正态分布统计值 $U_{\alpha/2} = \pm 1.96$ 。)

表4 流域测站降水突变所在年份统计

站点	清水河	石渠	甘孜	新龙	道孚	九龙	木里	盐源	西昌
春季	1975	2010	1970	1998	1987	N	1988	1963	1964
夏季	1979	1967	N	2017	2013	N	1966	2002	1983
秋季	1979	2015	2011	1963	2015	1991	1990	1993	N
冬季	1979	1986	2011	2014	2015	N	N	N	2000
全年	1979	2007	2010	1986	2013	1964	2002	2002	1963

注 N 指突变不明显。

3.4 降水变化周期分析

降水的周期变化导致径流的涨落,正确认识降水的周期变化具有重要意义。利用小波分析确定降水序列的周期,雅砻江流域降水的小波变换时频见图7,流

域年降水量的周期分别为28年、15年和8年。春季降水量的周期为28年、22年和5年;夏季降水量的周期为28年和8年;秋季降水量的周期为22年和11年;冬季降水量的周期为28年、9年和3年。流域各站点降

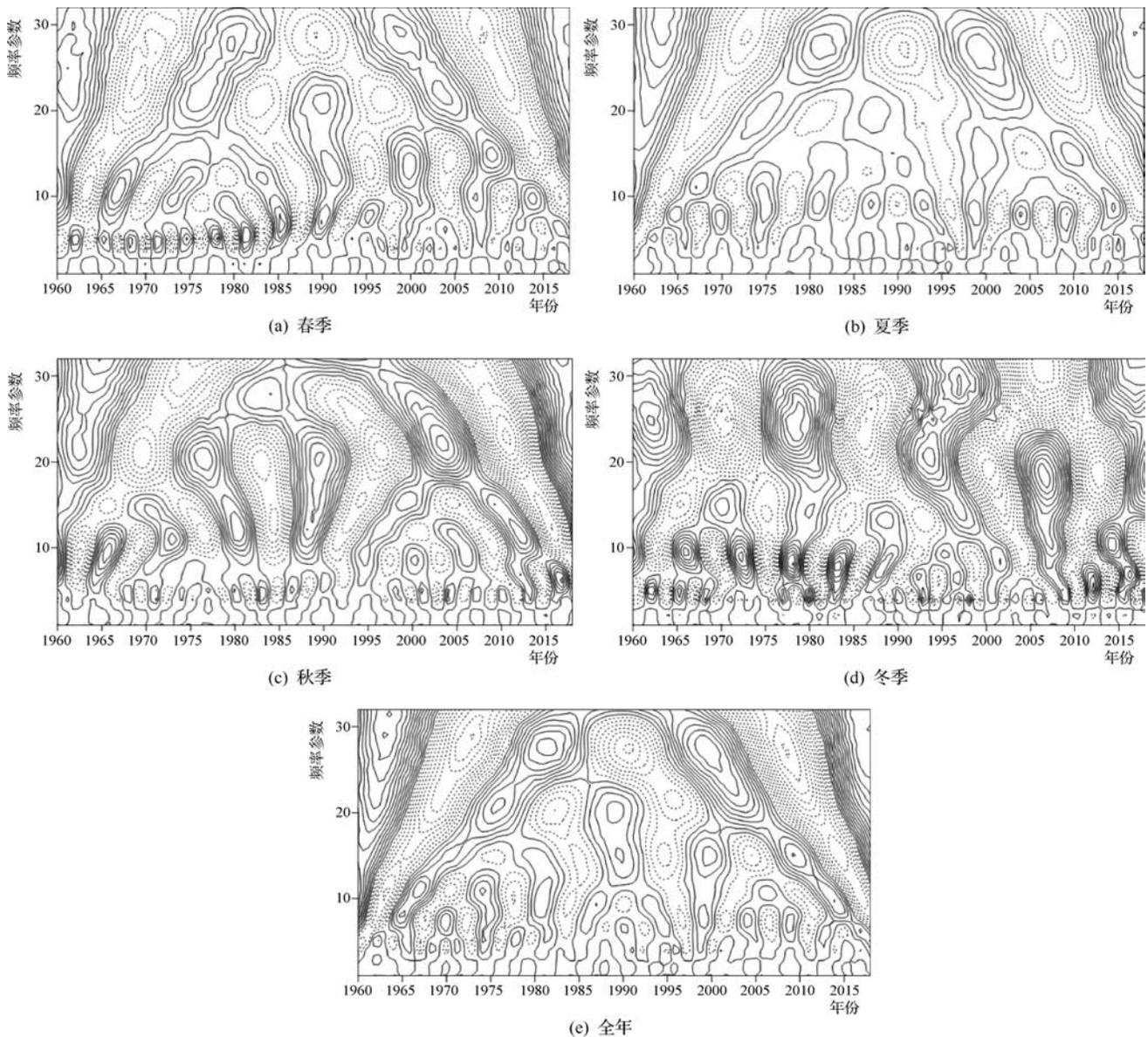


图7 雅砻江流域降雨序列年、季小波变换时频

水年际周期变化统计见表5。从表5可知,流域内各站点年降水的周期集中在28年和8年,春季降水的周期集中在29年和10年,夏季降水的周期集中在28年和8年,秋季降水的周期集中在21年和11年,冬季降水的周期集中在22年和10年。

表5 流域各站点降水年际周期变化统计 单位:年

站 点	春	夏	秋	冬	全 年
清水河	28,6,11	18,9	27,17,12	28,13,5	18,11
石 渠	29,21,11	8	28,12,4	23,9,5	28,11
甘 孜	29,8,5	28,8,4	4	13,5	28,8,4
新 龙	28,10,5	28,22,8	21,11,4	22,7,5	22,8,4
道 孚	29,10,5	28,8,4	21,7	21,11,7	28,8
九 龙	28,11,3	27,8	21,13	21,10	28,8
木 里	20,5	28,11,6	21	19,9,6	28,15,10
盐 源	22,13,9	27	21,12,4	29,10,7	28,15,11
西 昌	28,22,13	27,11,8	22,10,5	26,6	27,11,8

3.5 降水变化原因分析

全球变暖影响了雅砻江流域降水的变化。特别是20世纪90年代以来,大气中二氧化碳浓度的不断增加导致了全球变暖。较高的平均气温会导致较高的蒸发率、较高的水蒸气含量,从而加速水文循环。全球变暖的一个重要后果是大气湿度增加、雷暴活动和大规模风暴活动增加。在全球变暖的背景下,受大气环流和人类活动的影响,雅砻江流域的降水模式发生了变化。

大尺度大气环流导致雅砻江流域降水变化。东亚夏季风的进退在很大程度上决定了降水季节的时间和降水量的大小。其他类似季风的环流,如西太平洋副热带高压、索马里急流和热带气旋,以及在中高纬度的一个阻塞的高、低槽,也对研究区域的降水变化产生了影响^[11]。

另一方面,人类活动对降水也有着重要影响,人类活动不仅改变了地表和大气之间的热、水和动量的交换,而且也改变了城市上空大气的组成。人类活动驱动的土地利用变化影响着当地的水文气象过程,对降水也有显著影响。

4 结 论

本文分析了1960—2018年雅砻江流域年、季降水

序列时空分布特征、趋势、突变和周期变化。根据以上分析,得出以下主要结论:

a. 雅砻江流域降水年、季空间分布不均匀,总体呈现出从西北向东南递增的趋势。10年平均降水量从20世纪60年代开始处于递增趋势。

b. 1960—2018年流域年降水量呈增加趋势,主要原因是春季降水量增加。流域内9个站点中有7个站点年平均降水量呈递增趋势,其中清水河和道孚的年平均降水量呈显著增加趋势,木里和盐源的年平均降水量则呈递减趋势。

c. 雅砻江流域年降水序列突变点出现在1980年,流域的降水变化周期一般为4~8年、10~15年、26~28年。由于各测点的自然地形、地理位置和人为活动的不同,各测点的突变结果和时期结果也不同。

参考文献

- [1] 陈书军,刘毅,姜惠明,等. 湖北省降雨和洪涝特征时空变化规律分析[J]. 排灌机械工程学报,2019,37(3):248-255.
- [2] 莫崇勋,阮俞理,林怡彤,等. 月、季尺度降雨变化特征及未来变化情况分析[J]. 节水灌溉,2018(1):52-57.
- [3] 李宝,于磊,潘兴瑶,等. 北京市通州区降雨时空特征分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2020,56(4):88-94.
- [4] 汪飞,洪林,吐尼亚孜·亚森,等. 澜沧江流域气候时空变化规律[J]. 武汉大学学报(工学版),2020,53(5):394-403.
- [5] 李荣波,魏鹏,纪昌明,等. 雅砻江流域近60a径流趋势特征分析[J]. 人民长江,2017,48(5):38-42.
- [6] 王渤权,王丽萍,李传刚,等. 雅砻江流域径流年内分配特性研究[J]. 中国农村水利水电,2015(11):81-84.
- [7] 杨晓玉,张琳. 雅砻江流域径流特性分析[J]. 黑龙江水利科技,2015,43(7):35-37,67.
- [8] 董旭,梅琨,商栩,等. 基于Mann-Kendall检验和重标极差分析的水质变化趋势[J]. 生态与农村环境学报,2016,32(2):277-282.
- [9] 姜晓艳,刘树华,马明敏,等. 中国东北地区近百年气温序列的小波分析[J]. 气候变化研究进展,2008(2):122-125.
- [10] 陈远中,陆宝宏,张育德,等. 改进的有序聚类分析法提取时间序列转折点[J]. 水文,2011,31(1):41-44.
- [11] B. CHEN, D. X. XU. Spatiotemporal structure of the moisture sources feeding heavy precipitation events over the Sichuan Basin [J]. International Journal of Climatology, 2016, 36(10):3446-3457.

近 60 年杂木河流域径流长期演变规律及趋势研究

何梅芳

(甘肃省武威水文站,甘肃武威 733000)

【摘要】 甘肃河西内陆河流域水资源严重短缺,已成为制约区域经济发展的主要因素,如何规划利用及优化水资源配置、实现最严格监管是目前面临的主要问题。研究径流的变化,掌握其演变规律及趋势,对水资源定量监管具有重要意义。本文采用不均匀系数法、极差分析法、线性回归法、滑动平均法、Kendall 秩次相关法、累积距平法、有序聚类法、Spearman 秩次相关法及 Mann-Kendall 检验法等多种方法对杂木河的径流年内分配、年际变化、丰枯情况、演变趋势、变化显著性作了分析。结果表明:杂木河径流量年内分配极不均匀,极值比在逐渐缩小;年际变化较大、呈逐年减小趋势,减小量平均值为 0.004 亿 m^3/a 。径流丰枯未出现显著的周期性变化;径流序列在 1959 年、2003 年、2005 年、2008—2010 年发生突变且趋势变化显著。本次研究成果可作为杂木河流域农业灌溉、企业生产用水调度的依据,为当地最严格水资源管理提供有力的支撑。

【关键词】 径流量;变化规律;演变趋势

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-043-05

Study on long-term evolution law and trend of runoff in Zamu River Basin in recent 60 years

HE Meifang

(Gansu Wuwei Hydrological Station, Wuwei 733000, China)

Abstract: The serious shortage of water resources in the inland river basin of Hexi in Gansu Province has become the main factor restricting the development of regional economy. How to plan, utilize and optimize the allocation of water resources and realize the strictest supervision is the main problem at present. It is of great significance for quantitative supervision of water resources to study the change of runoff and master its evolution law and trend. In this paper, the annual distribution, interannual variation, flood and dry situation, evolution trend and change significance of Zamu River runoff are analyzed by various methods such as uneven coefficient method, range analysis method, linear regression method, moving average method, Kendall rank correlation method, cumulative anomaly method, ordered clustering method, Spearman rank correlation method and Man-Kendall test method. The results show that the annual distribution of Zamu River runoff is extremely uneven, and the extreme value ratio is gradually decreasing. The annual variation is large, showing a decreasing trend year by year, with an average decrease of 0.004 billion m^3/a . There is no significant periodic change of runoff; Runoff series suddenly changed in 1959, 2003, 2005 and 2008—2010, and the trend changed significantly. The research

收稿日期: 2021-11-04

作者简介: 何梅芳(1974—),女,工程师,学士,主要从事水文水资源勘测与评价、水文资料整编等工作。

results can be used as the basis for agricultural irrigation and enterprise production water dispatching in Zamu River Basin, and provide strong support for the strictest local water resources management.

Key words: runoff; change rule; evolution trend

甘肃省横跨长江、黄河、河西内陆河三大流域。其中,内陆河流域水资源量最为紧缺,已经成为制约当地工农业生产的主要因素。在这种情况下,水资源量如何管理、配置成为当地发展面临的重要的问题。研究表明甘肃省多年平均自产水资源总量 289.40 亿 m^3 , 全省多年平均人均水资源量 1150 m^3 , 是全国平均水平 (2200 m^3) 的一半, 列全国第 20 位; 不足西北五省平均水平 (2680 m^3) 的一半, 位列西北五省第 4 位^[1]。河西内陆河流域水资源总量 61.29 亿 m^3 , 占全省水资源总量的 21.2%。一个流域水资源量丰富与否, 主要显示在径流量的大小与稳定上, 所以, 径流量的变化规律对一个区域的水资源量的优化配置极其重要, 掌握其变化特性及演变趋势就很有必要。

王万祯^[2]利用距平累积曲线 Mann-kendall 检验和突变分析法对石羊河流域主要河流径流演变特征及趋势进行分析; 郭静等^[3]基于小波分析法, 对石羊河流域各支流出山口径流序列进行多时间尺度分析, 确定各河流径流变化的主要周期; 任建民等^[4]研究了人类活动对石羊河流域水资源转化的影响; 杨正华^[5]采用 Mann-Kendall 秩检验等 3 种方法, 对流域各出山径流的长期变化趋势进行显著性检验, 并给出趋势方程, 研究表明, 流域出山口径流多年变化总体呈减少趋势; 王贵忠^[6]研究得出, 石羊河流域未来 20 年出山口径流总量仍将减少。上述研究在石羊河流域径流变化特征上取得了一定的成果, 但对于小流域研究较少, 尤其在支流的径流变化程度及小尺度变化上的研究还显不足。本文在前述文献研究的基础上, 采用杂木寺水文站 1956—2016 年实测径流资料, 对杂木河近 60 年来的径流长期演变规律及趋势作了研究, 掌握其变化规律, 为区域内水资源的合理配置及监管提供有力的技术支撑。

1 研究区域概况

石羊河位于河西走廊的最东端, 流域面积

13.02 km^2 ^[7]。杂木河位于石羊河的最上游, 发源于冷龙岭北侧的牛头山, 出山口以上河长 60 km, 流域面积 851 km^2 , 海拔在 2000 ~ 4881 m 之间, 该流域内年平均降水量 504 mm, 蒸发量 748 mm, 年均气温 7.1 $^{\circ}C$, 降水量年内分配极不均匀, 降水集中在 6—9 月, 且随着海拔降低呈递减趋势。杂木河设有杂木寺水文站, 建于 1948 年, 集水面积 851 km^2 , 断面以上区域植被较好, 比降较大。目前主要的观测项目有降水、蒸发、流量等。

2 数据与方法

本次分析采用杂木寺站 1956—2016 年的逐月、逐年流量实测资料, 采用不均匀系数法、极差分析法对径流的年内变化幅度和分配特性进行分析, 采用线性回归法、滑动平均法及 Kendall 秩次相关法对年际径流变化进行趋势分析, 采用累积距平法对年径流的丰枯情况及周期变化作了分析, 最后采用有序聚类法、Spearman 法及 Mann-Kendall (M-K) 检验法检验序列突变点, 找出径流突变年份, 对其变化显著性进行检验。

2.1 不均匀性

径流的年内分配不均匀性可以用不均匀系数 C_u 来估计, 考虑到径流年内自身调节功能, 可以计算其完全调节系数 C_r ^[8-10]。构造统计量如下:

$$C_u = \sigma / \bar{R} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2} \quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i \quad (3)$$

$$C_r = \sum_{i=1}^{12} \Phi_i (R_i - \bar{R}) / \sum_{i=1}^{12} R_i, \quad \Phi_i = \begin{cases} 0 & (R_i < \bar{R}) \\ 1 & (R_i > \bar{R}) \end{cases} \quad (4)$$

式中: R_i 为逐月径流量, m^3/s ; \bar{R} 为月平均径流量, m^3/s 。

C_u 值越大, 说明径流年内分配越不均匀; C_r 值越大, 说明径流年内分配越集中。

2.2 变化幅度

在计算变化幅度时,采用相对变化幅度算法,先统计出水文序列的极值 R_{\max} 和 R_{\min} ,分别计算二者与平均月径流量的比值,构造统计量如下:

$$C_{\max} = R_{\max} / \bar{R} \quad (5)$$

$$C_{\min} = R_{\min} / \bar{R} \quad (6)$$

式中: R_{\max} 和 R_{\min} 分别是逐月最大、最小径流量, m^3/s 。

2.3 滑动平均法

对一水文序列的几个前期值和后期值进行平均,得出新的水文序列 y_i ,使得原序列光滑化^[12]。统计量为

$$y_i = \frac{1}{2k+1} \sum_{i-k}^k x_i + 1 \quad (7)$$

当 $k=2$ 时,就可以计算出其为 5 年滑动平均。假设原序列具有趋势存在,在处理后的新序列 y_i 中就能清晰地显示出来。

2.4 有序聚类法

有序聚类法以有序分类来估计序列最有可能存在的突变点,本质就是为了找到最优分割点 τ ,使同类之间的离差平方和较小而类与类之间的平方和较大。构造统计量为

$$V_{\tau} = \sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_{\tau})^2 \quad (8)$$

$$V_{n-\tau} = \sum_{i=\tau+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2 \quad (9)$$

$$S = \min_{2 \leq \tau \leq n-1} S_n(\tau) = \min_{2 \leq \tau \leq n-1} (V_{\tau} + V_{n-\tau}) \quad (10)$$

式中: \bar{x}_{τ} 和 $\bar{x}_{n-\tau}$ 分别为分割点 τ 前后的两个平均值,计算时 \min 取极小值。

S 取极小值时对应的 τ 为最优分割点,这个分割点即为序列的突变点。

2.5 Mann-Kendall 法

Mann-Kendall 法简称 M-K 法,是一种非参数统计检验法,主要用于一组序列的变化趋势显著性检验^[13]。但前提条件是假设需要检验的序列变化趋势不显著,则可以构造计算公式如下:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

$$r_k = \begin{cases} 1 & x_k > x_j \\ 0 & x_k \leq x_j \end{cases} \quad (13)$$

$$E(S_k) = \frac{k(k-1)}{4} \quad (14)$$

$$\text{Var}(S_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (15)$$

基于上述计算理论,在本次分析时给定显著性水平 $\alpha=5\%$,来计算杂木河径流量的 UF_k 值,如果 $|UF_k|$ 大于 $U_{\alpha/2}$,则原假设不成立,反之,原假设成立。 $U_{\alpha/2}$ 可在正态分布临界值表查得。

3 径流量演变规律及趋势分析

3.1 年内分配规律分析

统计得杂木河各月径流所占比例。其中最大值 0.461 亿 m^3 出现在每年 7 月,占比为 19.5%;最小值 0.012 亿 m^3 出现在每年 2 月,占比为 0.9%;连续 4 个月最大值集中在 6—9 月,占全年径流量的 67.5%;连续 4 个月最小值集中在 11 月至次年 2 月,占全年径流量的 7.1%。径流各月占比见图 1,可以看出径流量主要集中在 6—9 月,以 7 月、8 月最大。

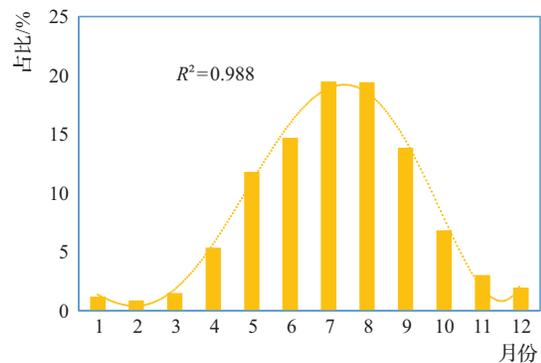


图 1 杂木河径流量年内各月占比分布

对 1956—2016 年的逐月径流量进行多年平均值计算,将逐月径流量带入式(1)~式(6)中计算不均匀系数 C_u 值、完全调节系数 C_r 值, C_{\max} 、 C_{\min} 值,其中 C_u 最大值为 1.23,最小值为 0.70,分别出现在 1958 年、2008 年,极值比为 1.75,多年平均值为 0.87; C_r 最大值为 0.52,最小值为 0.23,平均值 0.34; C_{\max} 最大值 3.78,

最小值 1.94, 多年平均值 2.73; C_{\min} 最大值 0.28, 最小值 0.04, 多年平均值 0.11。将计算的 C_u 、 C_r 、 C_{\max} 、 C_{\min} 值按照年代进行分组, 分别计算各组的平均值, 统计结果见表 1。从表 1 可以看出, 1956—2016 年, C_u 、 C_r 、 C_{\max} 、 C_{\min} 均大于多年平均值, 说明径流量的年内分配不均匀; 径流量变化幅度 C_{\max} 平均值为 $-0.14/10a$, 最大值在 1961—1970 年间, 变化幅度为 $-0.48/10a$; C_{\min} 变化最大值为 $0.03/10a$, 变化幅度平均值为 $0.01/10a$ 。

表 1 径流量年内分配计算统计

时段	C_u	C_r	C_{\max}	C_{\min}
1956—1960 年	1.02	0.41	3.32	0.12
1961—1970 年	0.85	0.32	2.84	0.12
1971—1980 年	0.90	0.35	2.83	0.08
1981—1990 年	0.90	0.35	2.67	0.10
1991—2000 年	0.89	0.33	2.74	0.09
2001—2010 年	0.80	0.30	2.43	0.13
2011—2016 年	0.80	0.32	2.52	0.16
多年平均	0.87	0.34	2.73	0.11

杂木河径流年内分配不均匀, 变化幅度较大。主要原因是该流域处于祁连山脉最东端, 受气流影响, 上游降水分布不均匀, 且该流域径流主要来源于高山冰雪融水, 径流量大小随气温变化较明显。在非汛期(1—4 月、11—12 月)径流均小于年平均径流量, 随着气温逐渐升高, 汛期径流量能得到及时补充。径流量年内 C_u 、 C_r 、 C_{\max} 、 C_{\min} 变化对比见图 2、图 3, 并得出其变化线性回归方程。由图中可以看出, C_u 、 C_r 呈逐年减小趋势, 说明径流年内分配逐渐变得均匀与不集中; C_{\max} 、 C_{\min} 分别呈现逐年减小、增大趋势, 极差逐渐在减小。从而可以得出结论: 杂木河径流量年内分配不均, 逐年变得均匀与不集中, 极值比在逐渐减小。

3.2 年际变化规律及趋势分析

统计得出杂木河实测径流量最大值为 4.95 亿 m^3 , 最小值为 1.39 亿 m^3 , 极值比 3.56, 多年平均值为 2.37 亿 m^3 , 最大、最小模比系数分别为 2.08、0.58, 计算得年径流方差 $\sigma = 0.556$, C_v 值为 0.24, 年际变化较大。为了更直观地分析年际径流的变化, 绘制杂木河年际

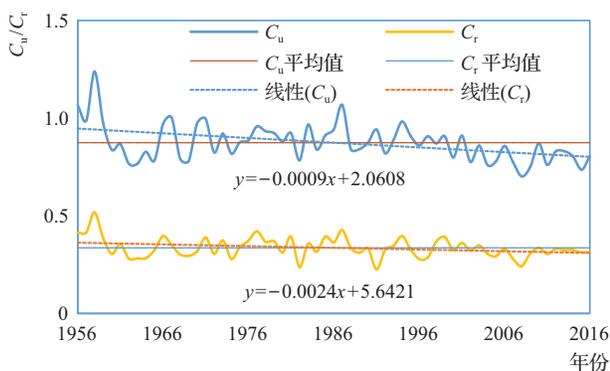


图 2 径流量年内 C_u 、 C_r 变化曲线

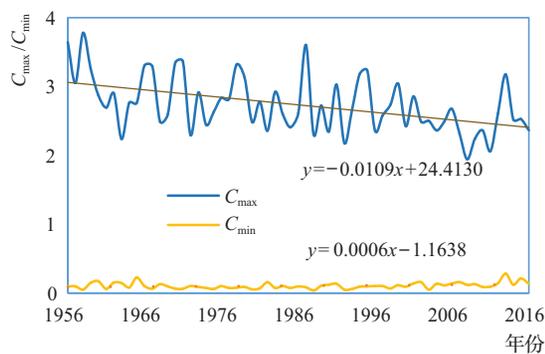


图 3 径流量年内 C_{\max} 、 C_{\min} 变化对比

径流变化曲线(见图 4)。年际径流线性回归方程为 $y = -0.0039x + 10.2$, 随着 x (年份) 的增大, 径流呈减小趋势, 计算得径流减小量平均值为 0.004 亿 m^3/a 。在图 4 中绘制年径流量 5 年滑动曲线, 可以看出, 1956—1958 年径流出现增大趋势; 1959—1966 年出现减小趋势; 1967—1988 年径流变化平稳; 1989—2002 年径流逐年减小; 2003—2006 年径流复又增大; 2007—2016 年逐年减小。采用 Kendall 秩次相关法分析, 发现年径流呈减小趋势, 结论与线性回归法、滑动平均法分析得出的结论一致, 并与前述文献研究的石羊河流

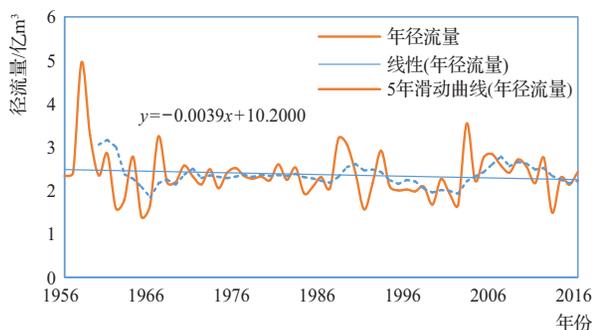


图 4 径流量年际变化趋势及滑动曲线

域径流变化规律一致。

采用累积距平法对径流丰枯情况进行分析,以 10 年为一组,对各组的年径流平均值进行计算,将计算值与多年平均值进行模比计算。结果显示:1956—1965 年为丰水期;1966—1985 年、1996—2005 年处于枯水期;1986—1995 年、2006—2016 年为平水期,变化周期不明显。

表 2 径流量丰枯情况累积距平统计

时 段	径流量/亿 m ³	距平/%	丰枯程度
1956—1965 年	2.572	8.72	丰水年
1966—1975 年	2.326	-1.68	枯水年
1976—1985 年	2.306	-2.52	枯水年
1986—1995 年	2.379	0.55	平水年
1996—2005 年	2.216	-6.36	枯水年
2006—2016 年	2.396	1.27	平水年
多年平均	2.366		

3.3 突变及显著性检验

3.3.1 突变检验

采用上述 3 种检验方法,对径流年际变化显著性进行检验。径流量有序聚类法检验统计曲线见图 5,径流量 Mann-Kendall 法检验统计曲线见图 6。首先采用有序聚类法进行检验,将参数代入,计算得 $\bar{x}_T = 2.366$, $V_T = 18.75$, 经过检验,突变年份出现在 1959 年;用 Mann-Kendall 法检验,突变年份出现在 1959 年、2003 年、2005 年、2008—2010 年。检验结果与有序聚类法有重合年份。

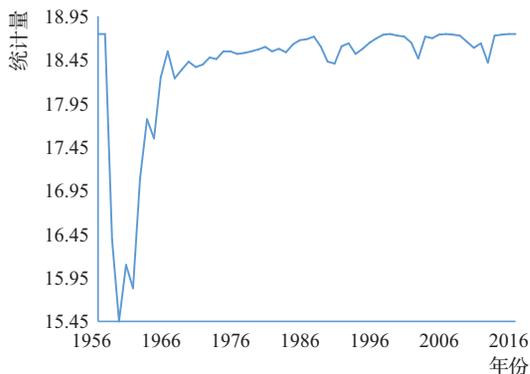


图 5 径流量有序聚类法检验统计曲线

径流序列突变主要发生在 2003 年以后,主要由于

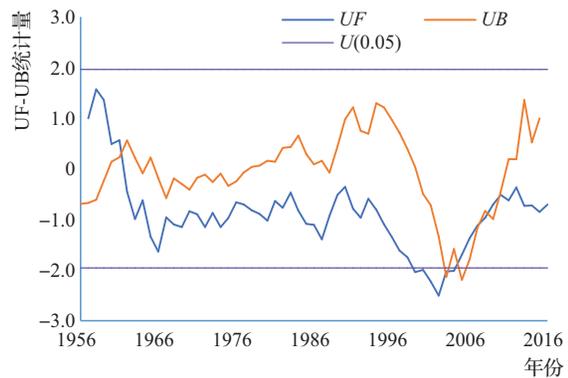


图 6 径流量 Mann-Kendall 法检验统计曲线

在 2000 年以来,上游修建 4 座水电站,均为引水发电,电站前池蓄水及闸门开关对径流量产生较大影响,随后的高标准农田建设,致使灌溉水量加大及不规律,最终导致径流量发生突变。

3.3.2 变化显著性

对其变化显著性进行检验, Mann-Kendall 检验参数为 3.37, Spearman 检验参数为 3.24, 均显示为显著,变化趋势均为减小。年径流变化趋势及显著性检验结果统计见表 3。

表 3 年径流变化趋势及显著性检验结果统计

项 目	Mann-Kendall	Spearman	变化趋势
	$U(a/2) = 1.96$	$T(a/2) = 1.64$	
检验参数	3.37	3.24	减小
显著性	显著	显著	

4 结 论

通过对杂木河近 60 年来径流量演变规律及趋势分析,可以得出以下结论:

a. 受祁连山地形、高山融雪、气温、降水量等影响,杂木河径流量年内分配极不均匀,主要集中在 6—9 月。随着时间后延,径流的年内分配逐渐在均匀化,径流量变化幅度 C_{\max} 平均值为 $-0.14/10a$, 最大值在 1961—1970 年间,变化幅度为 $-0.48/10a$; C_{\min} 变化最大值为 $0.03/10a$, 变化幅度平均值为 $0.01/10a$; 径流量年内分配极值比在逐渐缩小。

b. 径流量年际变化较大,实测径流量最大值为 4.95 亿 m³, 最小值为 1.39 亿 m³, 极值(下转第 54 页)

基于 LID 理论的透水路面雨洪控制模拟分析

王雷^{1,2,3} 张杰^{1,2,3} 王小龙^{1,2,3}

- (1. 河北水利电力学院,河北 沧州 061001;
2. 河北省岩土工程安全与变形控制重点实验室,河北 沧州 061001;
3. 河北省高校水利自动化与信息化应用技术研发中心,河北 沧州 061001)

【摘要】 为评估透水路面对于提高科技园区防洪排涝能力的影响,助力海绵科技园区建设,本文应用低影响开发理论,通过建立沧州中欧绿色产业园 SWMM 模型,研究了透水路面对于研究区域径流量与水质的影响规律。结果表明,设置透水路面后,降雨设计重现期为 1 年时,径流总量、峰值流量以及 TP 和 TN 两种污染物浓度总量和浓度峰值削减率均较高,但是随着设计重现期的提高,径流量及污染物浓度的削减效果逐渐降低;路面阻塞对于透水路面发挥渗透能力有较大影响,研究成果可为透水路面的设计及运维提供理论参考。

【关键词】 低影响开发;透水路面;地面径流;污染物;阻塞因子

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-048-07

Simulation analysis of rain and flood control of permeable pavement based on LID theory

WANG Lei^{1,2,3}, ZHANG Jie^{1,2,3}, WANG Xiaolong^{1,2,3}

- (1. Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, HBWE, Cangzhou 061001, China;
2. Hebei Provincial Key Laboratory of Geotechnical Engineering Safety and Deformation Control, Cangzhou 061001, China;
3. Research and Development Center at Universities of Water Conservancy Automation and Informatization Application Technology in Hebei, Cangzhou 061001, China)

Abstract: In order to evaluate the influence of permeable pavement on improving the flood control and drainage capacity of science and technology park, and to help the construction of sponge science and technology park, this paper applies the low-impact development theory and establishes the SWMM model of Cangzhou Zhongou Green Industrial Park to study the influence law of permeable pavement on runoff quantity and water quality in the study area. The results show that when the design return period of rainfall is one year after setting permeable pavement, the total runoff, peak flow, the total

收稿日期: 2021-12-17

基金项目: 2020 年河北省高等学校自然科学研究青年基金项目(QN2020174);2020 年河北省大学生创新创业训练计划项目“基于低影响开发理论的透水路面雨洪控制效果模拟分析”(S202010085023);2020 年度河北省水利科研与推广计划项目(2020-63);2021 年度河北水利电力学院基本科研业务费项目(SYKY2111)

作者简介: 王雷(1986—),男,副教授,硕士,主要从事海绵城市及低影响开发技术、海绵城市推进政策机制研究。

concentration and peak concentration reduction rate of TP and TN are higher, but with the increase of design return period, the reduction effect of runoff and pollutant concentration gradually decreases. Pavement blockage has a great influence on the permeability of permeable pavement. The research results can provide theoretical reference for the design and operation of permeable pavement.

Key words: low impact development; permeable pavement; surface runoff; contaminants; blocking factor

我国现处于城镇化高速发展时期,不渗透下垫面增加,异常天气频发,降水量明显增多,城市内涝问题严重,传统的“快排式”防洪排涝方法已无法解决日益突出的内涝问题。海绵城市基于低影响开发理论,能够使雨水得到吸纳、蓄渗和缓释,能有效缓解城市内涝,降低非点源污染,具有重要的现实意义^[1-2]。

雨水计算模型是研究雨水管理以及低影响开发技术的一项重要方法。20 世纪 90 年代,我国开始利用计算模型从事雨水管理研究^[3],1993 年岑国平等^[4]开发了我国第一个完整的城市雨水管道计算模型,它兼顾了雨水管道的设计、城市雨洪的控制、污染物的防治等功能。随后,国内其他学者也进行了类似研究,宋耘等^[5]通过构建 SWMM 模型,利用快速推算最大积水深度法很好地模拟了南京“7·18”暴雨积水过程;高曼等^[6]采用边际效益法和成本效益法,研究了山地小区 LID 设施的组合比例规律;向代锋等^[7]采用修正的 Morris 筛选法和互信息法,分析了不同重现期洪峰流量、径流系数对 SWMM 参数的敏感性;周冠南等^[8]建立 SWMM 模型研究了萍乡市西南片区的水文响应和成本效益问题,对海绵城市的建设效果进行了评价。然而,国内专门研究透水路面调控雨水水量与水质问题的成果并不多,更鲜有研究透水路面投入使用后的阻塞问题。因此,本文以沧州中欧绿色产业园为例,构建了 SWMM 模型,模拟计算透水路面对径流总量和两种常见污染物 TP、TN 的削减效果,探究了透水路面受设计降雨重现期和路面阻塞因子影响的变化规律,可为透水路面的设计、建设与管理提供一定理论支撑和技术参考。

1 研究区域概况

研究区域为沧州中欧绿色产业园,地理坐标为东经 117°27'4" ~ 117°27'20",北纬 38°24'11" ~ 38°24'29",

该地区属暖温带大陆季风气候,年平均气温为 12.5℃,年平均降水量 581mm,夏季受太平洋副热带高压影响,极易形成强降雨。研究区域建设总面积约 11hm²,硬化程度较高,其中屋顶面积达到 55.3%,道路和绿地面积占比分别为 22.5% 和 22.2%。

2 SWMM 模型构建

借助研究区域平面布置图,依据园区建筑、道路、场地竖向设计及雨水管线分布情况,按照就近排放原则,将研究区域划分为 55 个子汇水区、106 个节点和 1 个排放口。模拟过程中设置为封闭边界,四周没有入流,排放口边界条件设置为自由出流,初始地表无积水。子汇水区布设情况见图 1。

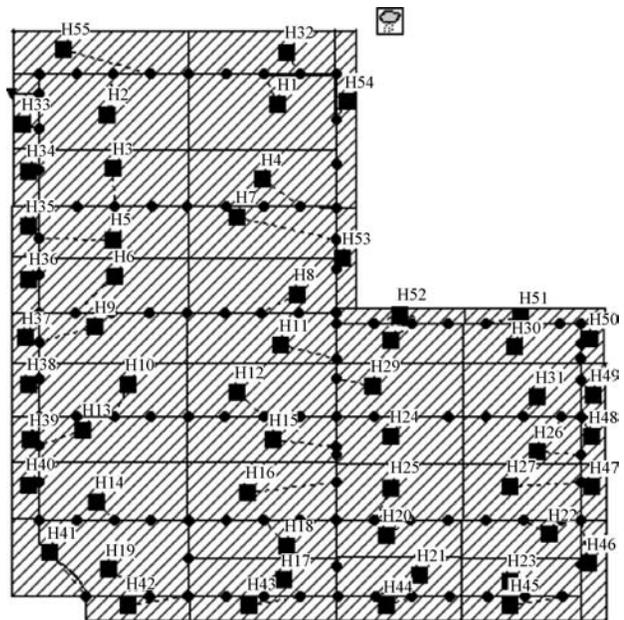


图 1 子汇水区布设情况

2.1 参数输入与率定

本区域在构建模型时,根据项目设计资料、工作手册确定面积、特征宽度等参数,下渗速率、曼宁系数等不确定性参数需通过率定确定。因该科技园区刚建

立,尚无实测监控数据,国内常采用刘兴坡等^[9-10]提出的径流系数法经多次调整迭代校准模型参数。本研究区域不透水面积比例为77.8%,属于城镇建筑密集居住区,综合径流系数为0.6~0.8,见表1。迭代调整后,重现期为1年时的计算径流系数为0.713,在0.6~0.8之间,满足要求。

表1 综合径流系数^[11]

区域情况	不透水面积比例/%	综合径流系数
城镇建筑密集区域	>70	0.6~0.8
城镇建筑较密集区域	50~70	0.5~0.7
城镇建筑比较稀少居住区	30~50	0.4~0.6
城镇建筑稀少居住区	<30	0.3~0.5

为了验证模型在常见重现期下的稳定性,继续选取重现期为2年和3年进行验证,当重现期为2年时,径流系数为0.771;当重现期为3年时,径流系数为0.796,说明本研究采用的参数具有较高的稳定性。研究区域模型参数见表2。

表2 研究区域模型参数

参数类型	参数名称	参数取值	设定依据
霍顿方程	最大下渗速率/(mm/h)	68	率定值
	最小下渗速率/(mm/h)	7.5	率定值
	衰减常数/h	4	率定值
子汇水区	面积/hm ²	0.017~0.446	子汇水区划分
	特征宽度/m	13.19~66.82	子汇水区划分
	平均坡度/%	0.5	图纸资料
	不渗透百分比/%	33.4~63.4	图纸资料
	不渗透性曼宁系数	0.02	率定值
	渗透性曼宁系数	0.24	率定值
	不渗透性洼地蓄/mm	2.5	率定值
	渗透性洼地蓄水/mm	7	率定值
	无洼地蓄水不渗透百分比/%	25	经验值
节点及管段	节点内底标高/m	0.155~1.860	图纸资料
	节点最大深度/m	2.79	图纸资料
	管段最大深度/m	1	图纸资料
	管段长度/m	6.5~25.0	图纸资料
	管段粗糙系数	0.015	率定值

透水路面设置为半透水路面,路面参数取值见表3^[12]。

表3 透水路面设计参数

参数名称	参数取值	设定依据	
表面	表面粗糙率	0.012	工作手册
	表面坡度	1.0	设计资料
路面	厚度/mm	120	设计资料
	孔隙比	0.15	设计资料
	渗透性	95	设计资料
基层(蓄水)	厚度/mm	200	设计资料
	孔隙比	0.50	设计资料
	渗水速率/(mm/s)	300	经验值

2.2 暴雨强度计算

根据相关水文气象资料,沧州市暴雨强度计算公式为

$$q = \frac{2226.663(1 + 0.9971 \lg P)}{(t + 9.596)^{0.731}}$$

式中: q 为设计暴雨强度, $L/(s \cdot m^2)$; t 为降雨历时, min ; P 为重现期,年。

经过查阅相关文献[13],了解到所在地区降雨峰值较为靠前,确定峰值比例 r 为0.4,降雨历时为120min,重现期选用1年、2年和3年,降雨量分别为45.95mm、59.47mm和67.62mm,利用芝加哥雨型建立研究区域降雨过程曲线,见图2。

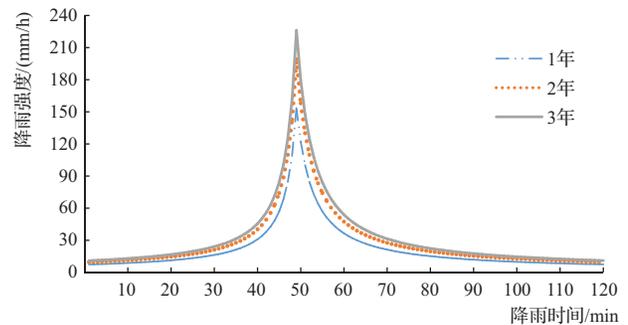


图2 1年、2年、3年重现期降雨过程曲线

3 分析研究

3.1 透水路面对径流的影响

节点和积水点统计情况见表4,由表4可知,透水路面改造前,1年重现期时无积水节点,说明研究区域基本满足1年重现期设计要求;当重现期为2年时,有20个节点发生积水,积水量为21.0万 m^3 ;重现期达到

3 年时,积水节点最多,达到 23 个,积水量达到 45.5 万 m^3 ,说明该区域应对极端降雨能力不足,容易出现区域内涝。设计透水路面后,2 年重现期情况下未出现积水情况,当重现期为 3 年时,有 2 个节点出现积水,积水量为 0.3 万 m^3 ,说明设置透水路面使内涝情况得到明显缓解,能够提高区域防洪能力,但是随着重现期增加,透水路面的削减效果有所减弱,这是因为随着雨量的增大,透水路面蓄水层达到饱和状态,降雨量大于蓄水层外排量,地表开始产生大量径流。

表 4 节点和积水点统计

路面类型	重现期/年	积水点数量/个	总积水量/万 m^3
未设置透水路面	1	0	0
	2	20	21.0
	3	23	45.5
设置透水路面	1	0	0
	2	0	0
	3	2	0.3

在不同重现期条件下,研究区域排放口的径流随时间变化的曲线见图 3,由图 3 可知,1 年重现期时,径流总量削减 39.37%,峰值削减 33.78%,峰现时间延缓 1min;2 年重现期时,径流总量削减 38.18%,峰值削减 31.61%,峰现时间延缓 3min;3 年重现期时,径流总量削减 37.69%,峰值削减 24.27%,峰现时间延缓 5min,说明透水路面在削减径流总量、峰值流量方面具有很好的效果,延缓峰现时间方面表现一般。同时,随着设计重现期的增大,控制效果逐渐降低。

表 5 透水路面改造前后径流控制情况

重现期/年	入渗量/mm		径流量/mm		径流系数		峰现时刻		洪峰流量/(m^3/s)	
	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后
1	11.9	21.7	32.7	19.8	0.713	0.432	降雨后 55min	降雨后 56min	1.48	0.98
2	12.3	26.3	45.9	28.4	0.771	0.477	降雨后 54min	降雨后 57min	1.93	1.32
3	12.5	29.0	53.8	33.5	0.796	0.496	降雨后 52min	降雨后 57min	2.06	1.56

3.2 污染物 TP、TN 浓度的影响分析

本文选取雨前的干旱时间为 5 天,天然雨水中 TN 浓度取值为 1.00mg/L,TP 浓度取值为 0.02mg/L^[14],不同土地利用类型的积累及冲刷参数见表 6^[15-16]。

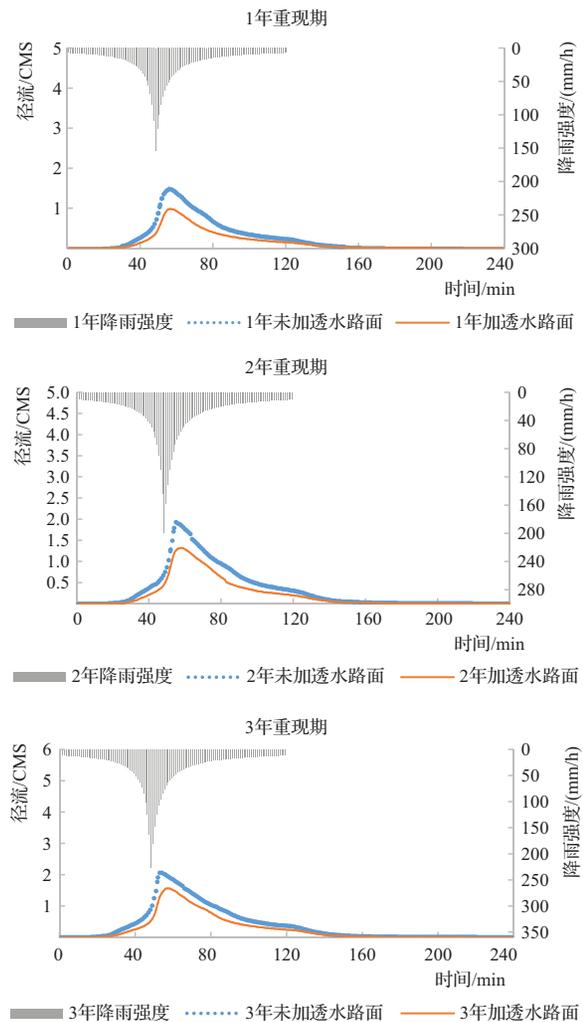


图 3 不同重现期降雨强度及径流时间过程曲线

透水路面改造前后径流控制情况见表 5,由表 5 可以看出,透水路面改造后,研究区域的总体下渗量增加 1 倍,且径流量削减约 40%;加 LID 措施后,径流系数均控制在 0.5 以下。

1 年、2 年、3 年重现期两种污染物浓度变化情况见图 4~图 6,由图 4~图 6 可知,在 1 年、2 年和 3 年重现期设计降雨条件下,透水路面改造前,TP 浓度峰值出现的时刻分别为降雨后 54min、降雨后 55min、降雨

表6 地表物累计及冲刷参数

土地利用类型		TP	TN
屋顶	最大累积量/(kg/hm ²)	0.2	4.0
	半饱和和累计时间/d	10	10
	冲刷系数	0.002	0.004
	冲刷指数	1.7	1.7
路面	最大累积量/(kg/hm ²)	0.2	6.0
	半饱和和累计时间/d	10	10
	冲刷系数	0.002	0.004
	冲刷指数	1.7	1.7
	街道清扫去除率/%	60	60
绿地	最大累积量/(kg/hm ²)	0.6	10.0
	半饱和和累计时间/d	10	10
	冲刷系数	0.001	0.002
	冲刷指数	1.2	1.2
其他	降雨污物本底值/(mg/L)	0.1	0.8
	降解速率常数/d ⁻¹	0.15	0.15

后55min;设置透水路面后,TP浓度峰值出现的时刻分别为降雨后56min、降雨后57min、降雨后57min,污染物TP浓度峰值削减率分别为25.00%、19.23%、14.98%。透水路面改造前,TN浓度峰值出现的时刻分别为降雨后55min、降雨后51min、降雨后53min;设置透水路面后,TN浓度峰值出现的时刻分别为降雨后

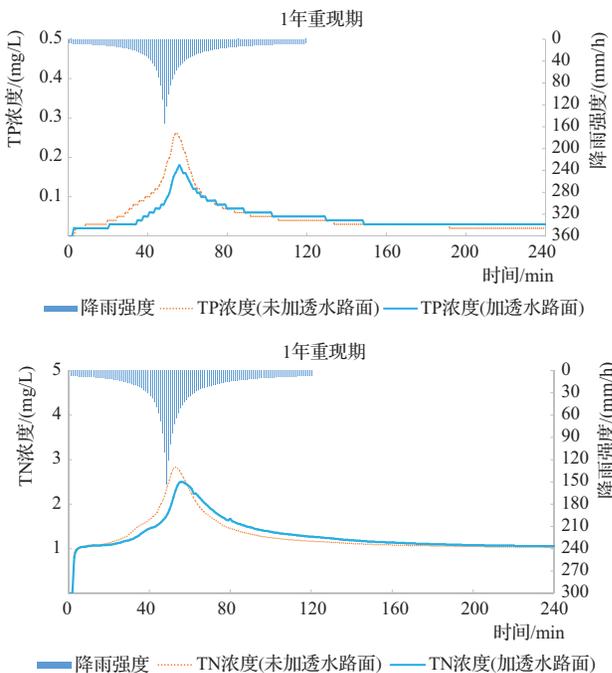


图4 1年重现期两种污染物浓度变化

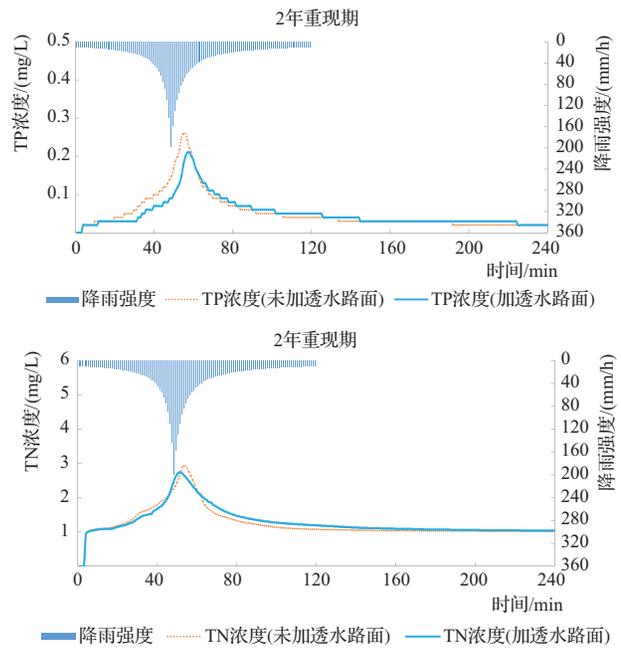


图5 2年重现期两种污染物浓度变化

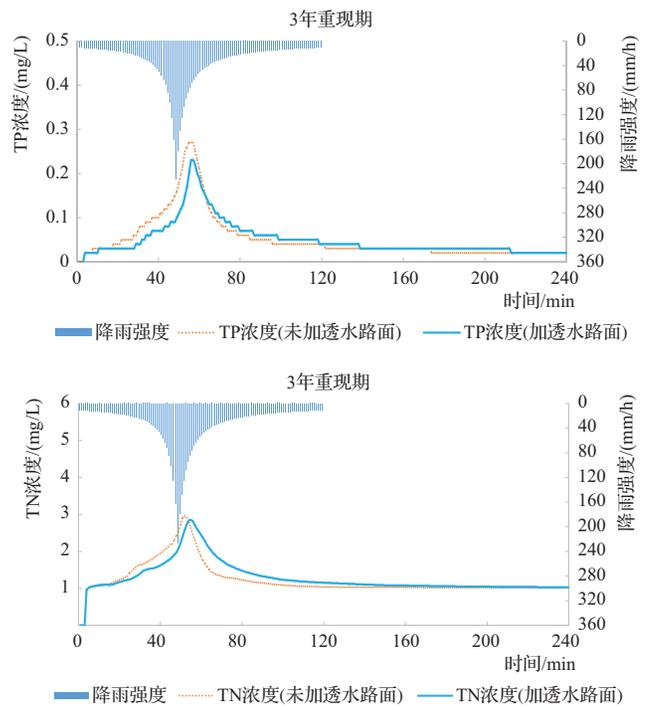


图6 3年重现期两种污染物浓度变化

57min、降雨后53min、降雨后55min,污染物TN浓度峰值削减率分别为11.66%、6.48%、3.39%。由此可见,透水路面对于TP、TN两种污染物浓度峰现时间的影响均不敏感,对削减浓度峰值有较大贡献,对TP的浓度峰值削减率最大达到25.00%,TN最大达到11.66%,

但随着重现期的增大,浓度峰值削减率有较大幅度的降低。

透水路面对于污染物 TP、TN 的影响见表 7,由表 7 可知,设置透水路面后,在 1 年重现期下,排放口中污

染物 TP 总量削减率达到 50.72%,污染物 TN 总量削减率达到 41.60%。透水路面对于两种污染物总量的削减率要优于峰值削减率。

表 7 透水路面对于污染物 TP、TN 的影响

重现期	TP				TN			
	峰现时刻		峰值削减率/%	总量削减率/%	峰现时刻		峰值削减率/%	总量削减率/%
	未设置透水路面	设置透水路面			未设置透水路面	设置透水路面		
1 年	降雨后 54min	降雨后 56min	25.00	50.72	降雨后 55min	降雨后 57min	11.66	41.60
2 年	降雨后 55min	降雨后 57min	19.23	42.33	降雨后 51min	降雨后 53min	6.48	32.05
3 年	降雨后 55min	降雨后 57min	14.98	36.64	降雨后 53min	降雨后 55min	3.39	26.28

3.3 路面阻塞对径流的影响分析

透水路面投入使用后,路面孔隙会被尘土颗粒、垃圾等物质阻塞,随着物质的积累,透水路面的渗水能力

会逐渐降低。本文设置阻塞因子为 200%^[17],模拟透水路面严重阻塞后对研究区域径流量和污染物浓度的影响规律,见表 8。

表 8 阻塞因子对径流系数和污染物削减率 (TP、TN) 的影响

阻塞因子	降雨重现期							
	1 年		10 年		30 年		50 年	
	不阻塞	阻塞	不阻塞	阻塞	不阻塞	阻塞	不阻塞	阻塞
径流系数	0.432	0.432	0.535	0.535	0.559	0.559	0.569	0.575
TP 削减率/%	50.72	50.72	14.55	14.17	9.77	9.71	6.59	6.53
TN 削减率/%	41.60	41.60	18.86	18.77	20.39	20.33	21.37	21.33

由表 8 可以看出,在设置透水路面条件下,在重现期 1~30 年时,路面阻塞对径流系数没有影响,但对大重现期(50 年)降雨的径流控制效果影响明显,径流系数增加 1.1%,这是由于路面渗透速率降低,雨水的下渗减少,路面出现积水。重现期为 1 年时,路面阻塞对 TP、TN 的削减率没有影响;重现期 10 年以后,由于阻塞的影响,TP、TN 的削减率出现下降趋势。为避免以上现象,应定期对路面进行清扫维护,保持路面渗水能力,减少地表径流。

4 结 语

本文构建了沧州中欧绿色产业园区地表径流和非点源污染模型,评估了该研究区域防洪能力,即仅满足 1 年重现期设计,在极端降雨时易出现区域内涝。进行透水路面改造后,透水路面在削减径流总量、峰值流

量方面具有很好的效果,最大削减率分别达到 39.37% 和 33.78%。但是,透水路面延缓峰现时间能力欠佳,随着降雨设计重现期增大,径流削减效果均有所减弱。在处理非点源污染方面,透水路面对于 TP、TN 两种污染物浓度峰现时间的影响均不敏感,对削减浓度峰值、总量有较大贡献,TP 峰值削减率和总量削减率分别达到 25.00% 和 50.72%,TN 达到 11.66% 和 41.60%,随着重现期的增大,浓度洪峰削减率、总量削减率有较大幅度下降。同时,路面阻塞对透水路面发挥渗透能力有较大影响。因此,由于透水路面在延缓峰现时间方面效果较差,在进行海绵化改造时,透水路面应配合其他 LID 设施使用,且应定期清洗和维护。研究成果可为海绵科技园区的推广以及透水路面的设计运维提供一定理论支持。◆

参考文献

[1] 王会. 海绵城市建设过程中水生态系统构建研究[J]. 水资源开发与管理, 2020(2): 47-51, 61.

[2] 王文瀚. 融入海绵城市理念的城市水系统规划[J]. 水资源开发与管理, 2021(6): 38-44, 72.

[3] 张小富. 兼顾功能、环境和效益的 LID 设施配置优化方法研究[J]. 水资源开发与管理, 2020(6): 24-28.

[4] 岑国平, 詹道江, 洪嘉年. 城市雨水管道计算模型[J]. 中国给水排水, 1993(1): 37-40.

[5] 宋耘, 李琼芳, 牛铭媛, 等. 基于 SWMM 模型的南京典型易涝区暴雨内涝模拟[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(6): 56-61.

[6] 高曼, 池勇志, 赵建海, 等. 基于边际效益分析的 LID 设施组合比例研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(9): 127-132, 138.

[7] 向代锋, 程磊, 徐宗学, 等. 基于局部和全局方法的 SWMM 敏感参数识别[J]. 水力发电学报, 2020, 39(11): 71-79.

[8] 周冠南, 梅超, 刘家宏, 等. 萍乡市西门片区海绵城市建设水文响应与成本效益分析[J]. 水利水电技术, 2019, 50(9): 10-17.

[9] 刘兴坡. 基于径流系数的城市降雨径流模型参数校准方法[J]. 给水排水, 2009, 35(11): 213-217.

[10] 刘小壮. 基于 SWMM 建筑小区 LID 方案比选及水量水质的模拟评估[D]. 长沙: 湖南大学, 2018.

[11] 王琳, 王浩程, 卫宝立. 小城镇低影响开发雨洪控制效果模拟[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(2): 99-106.

[12] 宫琪. 基于 LID 的校园雨水利用景观规划研究——以沈阳建筑大学为例[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2017.

[13] 王雷, 杨凤阁, 王诚杰, 等. 基于 SWMM 模型的低影响开发模式在城市雨洪控制中的研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(1): 83-86.

[14] 曹震震. SWMM 模型应用于巢湖市篆池河区域非点源污染模拟研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2018.

[15] 梁芊, 杨艳娜, 冯文凯, 等. 基于 LID 的 SWMM 模型在雨洪控制中的应用[J]. 太原理工大学学报, 2020, 51(3): 380-388.

[16] 陈韬, 夏蒙蒙, 刘云鹏, 等. 基于 SWMM 的海绵改建小区雨水径流调控研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(11): 103-111.

[17] 徐多. 基于 SWMM 的海绵校园径流控制效果评估——以萍乡市北星小学为例[J]. 水利水电技术, 2019, 50(7): 32-39.

(上接第 47 页) 比 3.56, 采用线性回归法、5 年滑动平均法、Kendall 秩次相关法分析得出径流呈减小趋势, 减小量平均值为 0.004 亿 m^3/a 。

c. 该流域丰枯情况为: 1956—1965 年为丰水期; 1966—1985 年、1996—2005 年处于枯水期; 1986—1995 年、2006—2016 年为平水期, 周期性不明显。

d. 受灌溉及水电站建设生产影响, 径流序列在 1959 年、2003 年、2005 年、2008 年、2009 年、2010 年发生突变。

e. 采用 Mann-Kendall 法和 Spearman 法进行径流变化趋势检验, 发现变化显著且逐年减小。◆

参考文献

[1] 甘肃省水利厅. 甘肃省第三次水资源评价报告[R]. 甘肃: 甘肃省水利厅, 2020: 6.

[2] 王万祯. 石羊河流域主要河流径流演变特征及趋势分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2020, 56(7): 11-15.

[3] 郭静, 粟晓玲. 石羊河流域出山口径流序列的多时间尺度

特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(6): 213-220.

[4] 任建民, 仵彦卿, 贡力. 人类活动对内陆河石羊河流域水资源转化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2007(8): 7-11.

[5] 杨正华. 石羊河流域出山径流特征值和变化趋势分析[J]. 地下水, 2016, 38(4): 168-169.

[6] 王贵忠. 近 50a 来石羊河流域出山径流变化趋势分析[J]. 人民黄河, 2010, 32(8): 45-46, 49.

[7] 杨成有, 刘进琪. 甘肃江河地理名录[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2014.

[8] 马正耀. 黑河径流年内分配格局变化趋势研究[J]. 水文, 2011, 31(4): 92-96.

[9] 燕华云, 杨贵林, 汪青春. 长江源区径流年内分配时程变化规律分析[J]. 冰川冻土, 2006(4): 526-529.

[10] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报, 1984(2): 218-227.

[11] 王文圣, 丁晶, 金菊良. 随机水文学(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.

[12] 杨大文, 杨汉波, 雷慧闽. 流域水文学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.

不同生物亲和改性剂对绳状人工水草 污染物削减率的影响研究

苏苑君

(中工武大设计集团有限公司,湖北 武汉 430070)

【摘要】 生物亲和改性可以有效改善涤纶的亲水性能。本文选取白糖、壳聚糖、可溶性淀粉作为生物亲和剂,对绳状人工水草进行改性,测定改性前后绳状人工水草的表征参数,并通过自然挂膜试验,监测其污染物削减效果。结果表明,污染物削减率和挂膜效果呈现同一趋势;绳状人工水草亲水性越好,对污染物削减率越高;亲水官能团与亲水性呈正相关关系,接触角与亲水性在一定情况下呈负相关关系,而粗糙度与亲水性无相关关系,但粗糙度提高有利于更多的微生物附着,在此次生物亲和改性研究中,亲水官能团对污染物削减率的影响明显大于粗糙度。该研究结果可为寻求更好的生物载体挂膜方法提供参考。

【关键词】 绳状人工水草;生物亲和剂;表征参数;污染物削减率

中图分类号: TV41

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2022)04-055-06

Effect of different biological affinity modifiers on pollutant reduction rate of rope-like artificial aquatic plants

SU Yuanjun

(Zhonggong Wuda Design Research Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: Bioaffinity modification can effectively improve the hydrophilicity of polyester fiber. In this paper, white sugar, chitosan and soluble starch were selected as bio-affinity agents to modify rope-like artificial aquatic plants, and the characterization parameters of rope-like artificial aquatic plants before and after modification were measured, and the pollutant reduction effect was monitored by natural film hanging test. The results show that the reduction rate of pollutants and the effect of film formation show the same trend. The better the hydrophilicity of rope-shaped artificial aquatic plants, the higher the reduction rate of pollutants; Hydrophilic functional groups have a positive correlation with hydrophilicity, while contact angle has a negative correlation with hydrophilicity in some cases, while roughness has no correlation with hydrophilicity. However, the increase of roughness is beneficial to the attachment of more microorganisms. In this study of biological affinity modification, the influence of hydrophilic functional groups on pollutant reduction rate is obviously greater than that of roughness. The research results can provide reference for finding a better method of biofilm formation on biological carriers.

Key words: rope-shaped artificial aquatic plants; biological affinity agent; characterization parameters; pollutant reduction rate

收稿日期: 2021-11-24

作者简介: 苏苑君(1989—),女,工程师,硕士,主要从事水环境与水生态技术研发工作。

随着城市生活污水中的污染物浓度和种类的提升,传统的活性污泥法难以匹配污染物削减的需求,而生物膜法处理污水负荷高、建设费用低、耗能少,逐渐在城市污水处理中占据主导地位^[1]。绳状人工水草对污染物的修复技术实质上是生物膜技术,通过耐酸碱、耐污、结构合理的绳状人工水草形成由多种微生物组成的生物膜,有效削减污染物,提升水质^[2]。

绳状人工水草材质主要为涤纶,涤纶纤维因其具有比玻璃纤维、碳纤维和芳纶等更低的密度、更低廉的加工成本而被广泛应用,但是涤纶纤维分子结构对称呈直线型,缺乏极性基团,分子间作用力大,导致其生物亲和性较差^[3]。研究表明有效地改善生物载体生物亲和性,能提高挂膜速度,缩短挂膜启动时间,进而提高污染物削减率^[4]。物理涂覆方式是将功能材料如生物亲和物质采用物理涂覆方式涂覆在涤纶表面,从而提高涤纶生物亲和性等性能^[5-7]。表面整理原理简单、成本低、工艺比较成熟,且能够在基本保持涤纶性能的基础上赋予其生物亲和性能^[8-9]。如胡志文等^[10]采用碱处理工艺对聚酯纤维进行了表面改性研究,改性后纤维的回潮率、透湿性等有了显著的提高;徐旭凡^[11]利用壳聚糖对涤纶纤维进行了表面枝接改性,处理后涤纶的吸湿性、抗静电等性能显著提升;张梁^[12]通过烘焙方法对涤纶进行了丝胶涂覆,结果表明,经丝胶处理后纤维回潮率和透气性均有所增加;郑君红等^[13]先对涤纶织物进行刻蚀,然后将羊毛角蛋白涂在织物上,织物被羊毛角蛋白整理后,最终回潮率增加到原来的3.3倍。以上研究均表明整理确实可以有效提升涤纶织物的物理性能,使其吸湿性、透气性等明显增强。

碳源不仅可作为生物亲和整理剂对涤纶进行生物亲和改性,同时也是微生物所需的能量^[14-15],具有原材料来源广泛、价格低、对环境无污染的特点。其中,壳聚糖作为生物亲和剂对涤纶改性已有很多相关研究^[16-18],而白糖和淀粉作为生物亲和剂对涤纶改性的研究较少。因此,本文采用新方法对白糖、壳聚糖、淀粉进行处理,探索其作为生物亲和整理剂对生物载体污染物削减效果的影响,并通过表征参数的测定找出产生不同结果的原因,以期生物载体改性找到性价

比更高的表面整理剂,为提高生物载体功效奠定基础。

1 试验设置

1.1 改性绳状人工水草制备

1.1.1 生物亲和改性剂制备

试验所用生物亲和改性剂及其来源见表1。由于直接购买的壳聚糖和淀粉不溶于水,因此需先对壳聚糖和淀粉进行可溶解性处理,以备后续实验使用。

表1 亲水改性剂基本信息

编号	改性剂名称	来源
1	白糖	中粮集团
2	壳聚糖	迈瑞尔化学
3	淀粉	阿拉丁试剂

1.1.2 生物亲和改性绳状人工水草制备

绳状人工水草主要材质为涤纶,具体见图1。在绳状人工水草基础上分别对其进行白糖、壳聚糖及可溶性淀粉改性处理,分别得到白糖处理组绳状人工水草、壳聚糖处理组绳状人工水草和可溶性淀粉处理组绳状人工水草。



图1 未改性绳状人工水草

a. 白糖处理组绳状人工水草: 配制质量浓度2%的白砂糖溶液2.5L,将2.5m绳状人工水草浸渍24h,取出脱水,然后置于50℃的真空干燥箱内烘干,得到白糖改性绳状人工水草。

b. 壳聚糖处理组绳状人工水草: 搅拌配制质量浓度2%的壳聚糖溶液2.5L,将2.5m绳状人工水草浸渍整理24h,取出脱水,然后置于50℃的真空干燥箱内烘

干,得到壳聚糖改性绳状人工水草。

c. 可溶性淀粉处理组绳状人工水草:可溶性淀粉在恒温 100℃ 下搅拌 2h 配制成质量浓度 2% 的溶液 2.5L,待其冷却至室温后,将 2.5m 绳状人工水草浸渍 24h,取出脱水,然后置于 50℃ 的真空干燥箱内烘干,得到淀粉改性绳状人工水草。

1.2 试验方案

试验设置 4 个处理组,分别是未改性处理组、白糖处理组、壳聚糖处理组和可溶性淀粉处理组,每个处理组设置 3 个平行组,取其平均值作为各处理组浓度进行削减率计算,最后比较结果。试验用原水模拟高浓

度生物污水;设计 COD 浓度为 500.0mg/L,总氮为 65.0mg/L,总磷为 0.8mg/L;底泥采用市政污泥,采用自然挂膜法^[14]挂膜。试验用透明水箱尺寸为 380mm × 290mm × 240mm,底泥厚度 50mm,水深 150mm,每只水箱中平行放置 2 排绳状人工水草,每排 3 条绳状人工水草,共 6 条绳状人工水草,每条绳状人工水草长度为 10cm。具体布置见图 2。试验开始后,每隔 4 天取一次水样,保持试验水深不变;每天拍照记录各处理组绳状人工水草挂膜情况。试验过程中水温为 22℃ 左右,溶氧 2mg/L 左右。

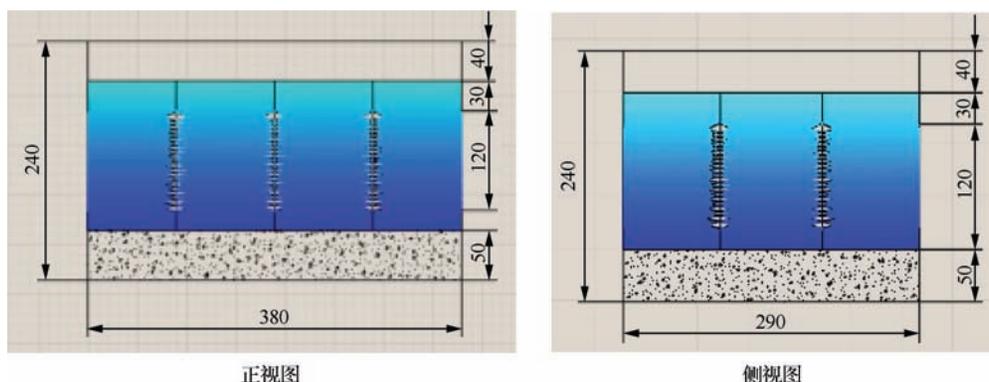


图 2 试验布置

1.3 测试指标及方法

对各处理组绳状人工水草接触角、粗糙度进行测定,并形成纤维表面形貌图和红外光谱图。试验过程中定期取样测定 COD、总磷、总氮等污染物浓度。

试验主要检测项目、分析方法及所用仪器见表 2,水质指标采用《水和废水监测分析方法》(第四版)^[19]中的测试方法进行测定。

表 2 主要检测项目方法及相关仪器

检测项目	方法	仪器
总氮	碱性过硫酸钾消解分光光度法	紫外分光光度计
总磷	钼酸铵分光光度法	紫外分光光度计
COD	重铬酸钾法	COD 消解仪
纤维表面形貌	电子显微镜扫描	电子显微镜
粗糙度	在电子显微镜成像基础上,利用 Photoshop 软件统计分析	电子显微镜
接触角	静滴法	液滴形状分析仪
亲水官能团	红外光谱测试	红外光谱仪

2 结果与分析

2.1 材质性质

2.1.1 接触角

各处理组绳状人工水草接触角见表 3,由表 3 可以看出,经过生物亲和性改性后的绳状人工水草接触角明显变小,其中白糖处理组接触角最小,其次是壳聚糖和可溶性淀粉处理组,分别较未改性处理组降低了 70.32%、50.86% 和 43.59%。

表 3 各处理组绳状人工水草接触角

样品编号	接触角大小/(°)
未改性	52.3
白糖	15.0
可溶性淀粉	29.5
壳聚糖	25.7

2.1.2 粗糙度

由于纤维表面颗粒数和颗粒面积均对纤维的粗糙度有影响,因此取其乘积作为表征纤维表面粗糙度的综合衡量指标,即综合粗糙度,其数值越大,则样品粗糙度越大。

$$W = KS$$

式中: W 为综合粗糙度; K 为纤维表面颗粒数; S 为纤维表面颗粒面积百分比。

各绳状人工水草处理组纤维电子显微成像见图 3,由图 3 可以看出,改性后绳状人工水草纤维表面增

加了各种沟回、褶皱,使得改性后的绳状人工水草明显较未改性处理组纤维表面更粗糙。各绳状人工水草处理粗糙度见表 4,由表 4 可以看出,各改性处理组绳状人工水草不论是纤维表面颗粒面积百分比还是纤维表面颗粒数都较未改性处理组有了明显增大,其中白糖处理组绳状人工水草的综合粗糙度最大,达到 22.438,其次是壳聚糖和可溶性淀粉处理组绳状人工水草,分别为 8.540 和 1.811,相对于未改性处理组综合粗糙度分别增加了 59.32 倍、21.96 倍和 3.87 倍。

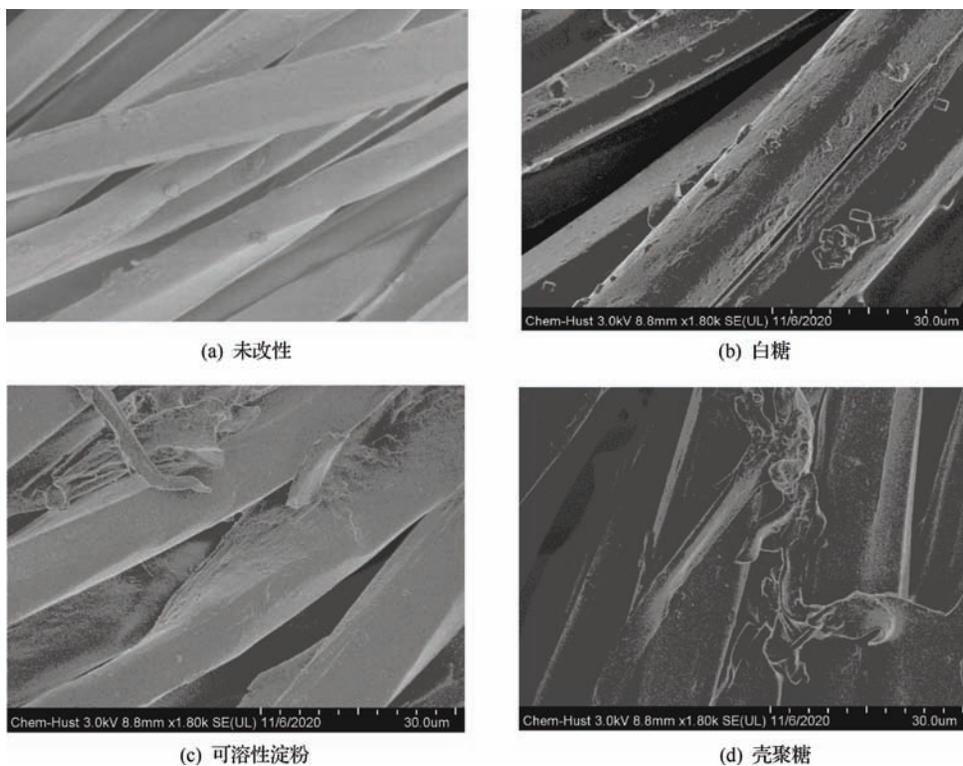


图 3 各绳状人工水草处理组纤维电子显微成像

表 4 各绳状人工水草处理组粗糙度

样品名称	未改性	白糖	可溶性淀粉	壳聚糖
纤维表面颗粒数 (K)/(个/ cm^2)	38.00	200.30	99.03	94.37
纤维表面颗粒面积百分比(S)/%	0.980	11.202	1.906	9.049
综合粗糙度(W)	0.372	22.438	1.811	8.540

2.1.3 红外光谱分析

绳状人工水草各处理组红外光谱分析图见图 4,

由图 4 可以看出,各处理组绳状人工水草均在 3500cm^{-1} 处有羟基的伸缩振动峰,但是伸缩振动幅度存在一定差异,说明亲水性均得到改善,且改善程度不一^[20]。从振动峰的相对大小可以看出,亲水性由好到一般分别为壳聚糖、可溶性淀粉、白糖、未改性处理组,且前两者间差异不明显,但均好于白糖处理组。

2.2 污染物削减率

各绳状人工水草处理组对污染物的削减率见图 5,由图 5(a)可以看出,试验周期内壳聚糖、可溶性淀

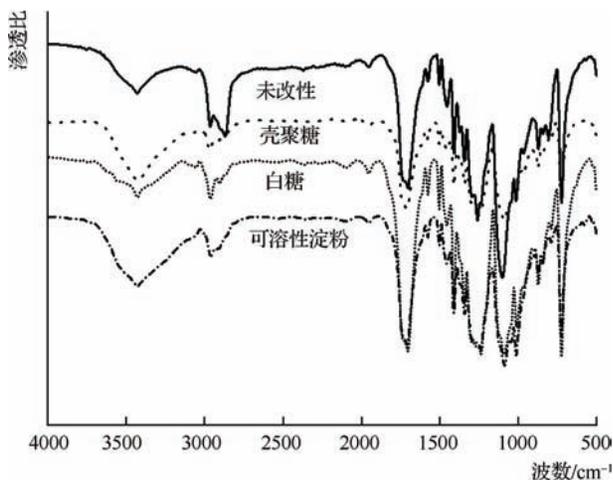


图4 绳状人工水草各处理组红外光谱分析

粉、白糖及未改性处理组对 COD 的削减率分别为 96.39%、95.34%、93.54% 和 86.48%，说明生物亲和改性对提高绳状人工水草对 COD 的削减率效果明显，其中以壳聚糖和可溶性淀粉效果最好。由图 5(b) 可以看出，生物亲和改性后绳状人工水草对总磷的削减率明显增强，壳聚糖和可溶性淀粉处理组尤为明显，试验周期内对总磷的削减率分别为 96.36% 和 92.68%，其次是白糖处理组，对总磷的削减率为 89.78%。由图 5(c) 可以看出，壳聚糖改性处理组对总氮的削减率最大，达到 61.63%，其次是白糖处理组和可溶性淀粉处理组，试验周期内对总氮的削减率分别为 53.81% 和 51.76%，与未改性处理组差异不大。

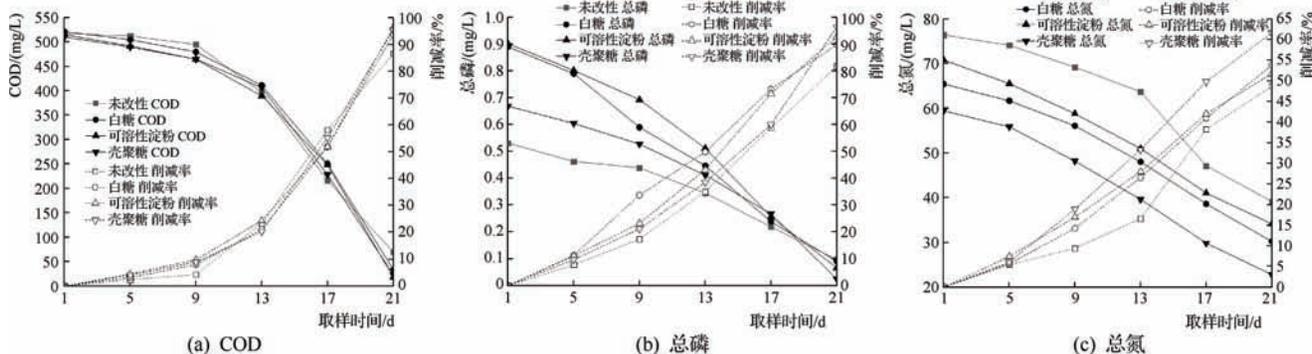


图5 各绳状人工水草处理组对污染物的削减率

2.3 挂膜情况

挂膜数量和质量可以直接反映生物载体生物亲和性、亲水性等^[21]。试验第 12 天各绳状人工水草处理组挂膜情况见图 6，由图 6 可以看出，未改性处理组绳状人工水草挂膜量最少，其次是白糖处理组，可溶性淀粉和壳聚糖处理组几乎未见白色纤维，说明这两个处理组绳状人工水草纤维基本都挂膜了；从颜色上看，可溶性淀粉处理组绳状人工水草呈黄绿色，而壳聚糖处理组绳状人工水草呈深褐色，说明壳聚糖处理组挂膜效果更好。

3 结论

a. 从污染物削减率和挂膜效果来看，生物亲和改性处理组对污染物削减效果明显好于未改性处理组，其中壳聚糖处理组对污染物的削减率最高，其次是可

溶性淀粉处理组，然后是白糖处理组。这与各处理组绳状人工水草挂膜效果相一致，即壳聚糖处理组挂膜量最大，其次是可溶性淀粉处理组，然后是白糖处理组。

b. 从表征参数来看，由于亲水官能团可直接反映纤维亲水性^[22]，亲水官能团增加情况越好，亲水性越好，生物亲和改性后各处理组绳状人工水草亲水官能团均有了不同程度的增加，说明生物亲和改性后绳状人工水草亲水性有了不同程度的提升，其中壳聚糖处理组绳状人工水草亲水性最好，可溶性淀粉处理组稍逊色，白糖处理组亲水性一般。接触角的大小可以部分反映亲水性关系，接触角过小则不遵循接触角越小亲水性越好的规律，这与李磊等人的结论不完全相同，可能是本次纤维接触角更广的原因^[23]。生物亲和改性后，各处理组绳状人工水草粗糙度明显增大，其中白



图6 试验第12天各绳状人工水草处理组挂膜情况

糖处理组综合粗糙度最大,达到22.438,其次是壳聚糖和可溶性淀粉处理组,分别为8.540和1.811,可见粗糙度与亲水性无明显相关关系,但是对微生物挂膜数量和质量有一定影响,因为增加的比表面积可以负载更多的微生物,创造更为多变的生存环境,也更易附着丰度更多的微生物^[24]。

c. 结合污染物削减率、挂膜效果和表征参数来看,亲水性越好,污染物削减率越高,挂膜量越大,挂膜启动时间越早。而所有的改性处理组均能明显提升生物载体粗糙度,有利于丰度更多、数量更大的微生物附着,但是相较于亲水性带来的影响,粗糙度影响力显然更小,因此建议从提升亲水性的角度来选择改性材料和方法。◆

参考文献

[1] 龙源. 生物膜法在城市污水处理中的研究[J]. 中国资源综合利用,2019,37(4):41-43.
 [2] 陈庆锋,杨红艳,马君健,等. 人工水草在重污染河流生态修复中的应用进展[J]. 中国给水排水,2014,30(20):54-58.
 [3] 李鹏飞. 涤纶织物的亲水整理研究[D]. 柳州:广西科技大学,2019.
 [4] 贾光跃. 基于生物亲和性载体连续流 MBBR 的同步硝化反

硝化性能研究[D]. 大连:大连理工大学,2019.

[5] 吴媛媛. 改性壳聚糖/聚丙烯腈纳米纤维膜的制备及其在铜离子检测领域的应用[D]. 上海:东华大学,2020.
 [6] 佟俊莹. 壳聚糖基复合纳米凝胶纤维亲和膜的制备及吸附性能研究[D]. 天津:天津工业大学,2015.
 [7] 赵江惠,王勇,刘志. 涤纶织物表面改性方法研究进展[J]. 棉纺织技术,2021,49(1):81-84.
 [8] 申晓. 涤纶纤维表面改性处理及其复合材料性能研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2017.
 [9] 代国亮,肖红,施楣梧. 涤纶表面亲水改性研究进展及其发展方向[J]. 纺织学报,2015,36(8):156-164.
 [10] 胡智文,傅雅琴,陈文兴. 化学法聚酯纤维表面改性研究[J]. 纺织学报,2001,22(4):57-59.
 [11] 徐旭凡. 壳聚糖对涤纶织物处理的探讨[J]. 纺织学报,2003,24(5):78-80.
 [12] 张梁. 丝胶用于涤纶织物整理探析[J]. 轻纺工业与技术,2019,48(12):4-5,12.
 [13] 郑君红,李亮,刘让同,等. 羊毛角蛋白的制备及其对涤纶织物的整理[J]. 纺织学报,2018,39(3):92-97.
 [14] 王杰,彭永臻,杨雄,等. 不同碳源种类对好氧颗粒污泥合成 PHA 的影响[J]. 中国环境科学,2015,35(8):2360-2366.
 [15] 陈亚松. 综合污水处理厂深度脱氮的优化运行与微生态机理研究[D]. 南京:南京大学,2019. (下转第65页)

鞍山市海城河水质演变及主要参数间相关性分析

李 雪

(辽宁省鞍山水文局, 辽宁 鞍山 114032)

【摘要】 科学评价海城河水质现状和研究水质的演变趋势,对海城河水系污染治理具有十分重要的意义。本文选取海城河上游红土岭监测断面和下游海城监测断面丰水期、平水期和枯水期监测数据进行分析,并通过皮尔森相关系数对水质各参数之间的相关性进行分析。结果表明,海城河主要污染物为总氮,丰水期总氮超标情况要优于平水期和枯水期,在总氮不参评的情况下,水质良好;溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、化学需氧量、总磷、总氮之间以及与水温、水位、流量之间都存在一定的相关性,诠释了不同时期不同条件下的水质演变机理,部分参数受水温影响较大,说明水质好坏也受季节的影响。研究成果可为研究区域性水质长效管理、水质治理提供重要支撑。

【关键词】 海城河;水质参数;变化趋势;相关性分析

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-061-05

Water quality evolution of Haicheng River in Anshan City and correlation analysis of main parameters

LI Xue

(Anshan Hydrology Bureau, Liaoning Province, Anshan 114032, China)

Abstract: It is of great significance for pollution control of Haicheng River system to scientifically evaluate the present situation of water quality and study the evolution trend of water quality. In this paper, the data of flood season, normal season and dry season of Hongtuling Monitoring section in the upper reaches of Haicheng River and Haicheng Monitoring section in the lower reaches are selected for analysis, and the correlation between water quality parameters is analyzed by Pearson correlation coefficient. The results show that the main pollutant of Haicheng River is total nitrogen, which exceeds the standard in the wet season better than in the normal season and dry season, and the water quality is good without total nitrogen. Dissolved oxygen, permanganate index, five-day biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total phosphorus and total nitrogen have certain correlations with water temperature, water level and flow rate, which explains the evolution mechanism of water quality in different periods and under different conditions. Some parameters are greatly influenced by water temperature, indicating that water quality is also affected by seasons. The research results provide important support for the study of regional long-term water quality management and water quality control.

Key words: Haicheng River; water quality parameters; trend; correlation analysis

收稿日期: 2021-11-02

作者简介: 李雪(1988—),女,工程师,硕士,主要从事水文与水资源和水质检测工作。

海城河流域是流经东北平原南部、辽东半岛中部偏北的一条河流,属浑河水系太子河支流,是海城市的母亲河^[1]。河源分为两岔,西岔发源于辽宁省海城市孤山满族镇孙家街西岔,东岔发源于本镇王家堡村石道沟,东西两岔在析木镇汇合^[2],自东南向西北流经海城市区,在牛庄镇北汇入太子河,最终经太子河、浑河在营口市西炮台入辽东湾,干流全长 90.8km^[3],是当地重要的生产生活用水水源。海城河流域位于辽宁老工业基地腹地,背靠鞍本铁矿、海(城)大(石桥)菱镁矿等重要的工业原料基地,流域内人口众多,工业、农业、第三产业聚集,水质状况比较复杂。因此,研究海城河全年丰水期、平水期和枯水期的水质水量现状、水质各个指标之间以及各指标与水温、水位、流量之间的相关性,对河流保护、水资源保障、流域生态安全及生态修复具有重要意义。鉴于此,本文对海城河水质进行评价,研究丰水期、平水期和枯水期海城河水质的变化趋势,并通过 SPSS 中的皮尔森相关性统计学方法对海城河水质各个参数之间进行相关性分析,从而了解水质的变化机理,研究结果可为揭示海城河水质演变及其

驱动机制、水质治理提供支撑。

1 数据来源

为科学评价分析海城河流域的水质现状和演变特征以及各参数之间的相关性,选取丰水期(2020年6—9月)、平水期(2020年10—11月)和枯水期(2020年12月到2021年3月)海城河流域国家重要水质监测断面红土岭监测断面和海城监测断面的监测数据,红土岭监测断面位于海城河上游,海城监测断面位于海城河下游。选取 pH 值、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)、五日生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN)、水温、水位和流量作为研究水质演变机理的指标。

2 水质演变及评价分析

红土岭和海城监测断面的主要指标数据见表1、表2,监测断面水质指标变化趋势见图1、图2。对海城河丰水期、平水期和枯水期进行评价,评价标准执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),见表3。

表1 红土岭监测断面水质指标监测结果

采样时间	pH 值	DO/ (mg/L)	COD _{Mn} / (mg/L)	NH ₃ -N/ (mg/L)	BOD ₅ / (mg/L)	COD/ (mg/L)	TP/ (mg/L)	TN/ (mg/L)	水温/℃	水位/m	流量/ (m ³ /s)
2020-06-01	7.9	8.2	2.6	0.730	1.8	13.3	0.06	6.63	15.5	63.52	1.470
2020-07-12	7.8	7.2	1.5	<0.040	1.2	12.3	<0.01	4.14	26.5	64.37	0.625
2020-08-04	7.8	6.9	2.1	<0.040	1.2	12.3	0.08	6.03	21.5	63.75	0.677
2020-09-01	7.5	6.5	5.9	0.140	2.4	18.9	0.37	7.79	20.5	64.96	17.500
2020-10-13	7.9	9.7	2.2	0.380	0.6	12.7	0.15	11.40	14.5	63.32	0.956
2020-11-04	7.2	11.5	1.6	0.596	1.6	12.2	0.06	11.10	9.1	63.24	0.968
2020-12-02	8.0	12.0	1.2	0.230	1.2	9.2	0.04	15.20	0.5	63.22	0.621
2021-01-05	7.7	14.6	0.5	0.050	<0.5	8.9	0.01	11.40	0	63.19	0.635
2021-02-01	7.8	11.1	1.4	0.080	1.3	9.0	0.03	13.30	0	63.26	0.980
2021-03-02	7.7	12.3	1.8	0.160	1.7	8.5	0.09	8.87	0	63.19	0.966

表2 海城监测断面水质指标监测结果

采样时间	pH 值	DO/ (mg/L)	COD _{Mn} / (mg/L)	NH ₃ -N/ (mg/L)	BOD ₅ / (mg/L)	COD/ (mg/L)	TP/ (mg/L)	TN/ (mg/L)	水温/℃	水位/m	流量/ (m ³ /s)
2020-06-01	8.1	8.0	3.0	0.260	1.0	14.1	<0.01	2.66	17.0	20.32	2.36
2020-07-12	7.6	7.0	2.8	0.090	2.7	13.7	<0.01	1.47	27.0	19.56	1.06
2020-08-04	7.8	6.8	3.6	0.180	3.5	13.0	<0.01	5.72	28.5	20.12	1.45

续表

采样时间	pH 值	DO/ (mg/L)	COD _{Mn} / (mg/L)	NH ₃ -N/ (mg/L)	BOD ₅ / (mg/L)	COD/ (mg/L)	TP/ (mg/L)	TN/ (mg/L)	水温/℃	水位/m	流量/ (m ³ /s)
2020-09-01	7.7	6.9	4.8	0.100	1.2	16.1	0.12	6.10	23.5	22.32	26.50
2020-10-13	7.8	8.6	3.2	0.120	0.5	14.6	0.13	8.32	17.0	20.11	1.66
2020-11-04	7.4	11.3	3.6	0.188	1.9	14.8	0.03	7.76	10.0	19.23	2.37
2020-12-02	7.9	10.4	2.0	0.210	1.7	16.8	0.05	9.96	0.2	19.24	1.03
2021-01-05	7.9	14.1	2.2	0.600	2.2	11.4	<0.01	8.55	0.1	19.29	1.01
2021-02-01	7.9	12.2	2.5	0.130	1.8	14.1	0.04	10.10	0	16.94	1.39
2021-03-02	7.9	13.5	2.3	0.100	2.3	10.8	0.02	8.87	0	19.21	2.01

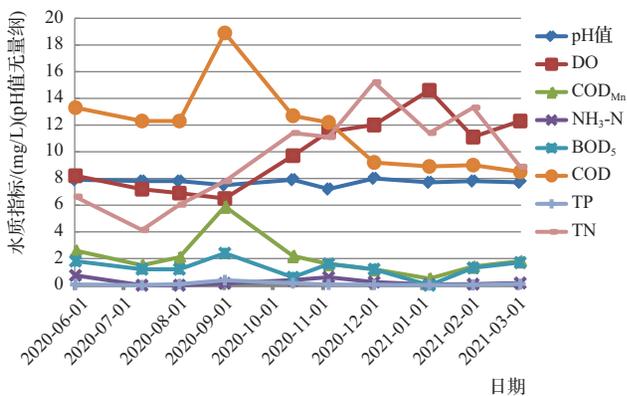


图1 红土岭监测断面水质指标变化趋势

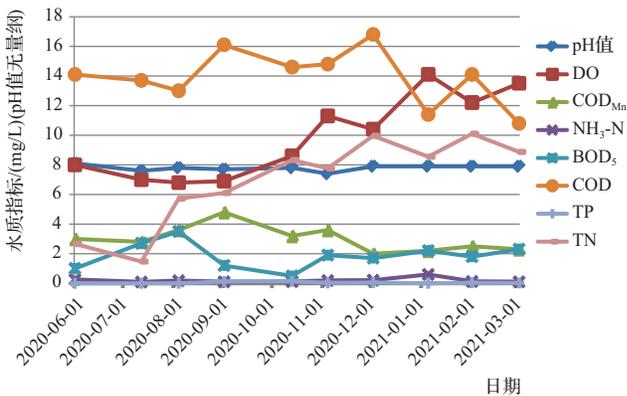


图2 海城监测断面水质指标变化趋势

由表1、图1、表3可以看出,海城河上游红土岭监测断面其主要污染物为总氮,总氮超标严重,但丰水期总氮超标情况要优于平水期和枯水期。在总氮不参评的情况下,通过计算各个时期水质指标的平均浓度,可知红土岭监测断面丰水期和平水期水质为Ⅲ类,枯水期水质为Ⅱ类。由表2、图2、表3可以看出,海城河下游海城监测断面其主要污染物为总氮,同样丰水期总

表3 地表水环境质量标准基本项目标准限值

单位:mg/L

项 目	水 质 级 别				
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
溶解氧, ≥	饱和率 90% (或 7.5)	6.0	5.0	3.0	2.0
高锰酸盐指数, ≤	2	4	6	10	15
氨氮, ≤	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
五日生化需氧量, ≤	3	3	4	6	10
化学需氧量, ≤	15	15	20	30	40
总磷, ≤	0.02	0.10	0.20	0.30	0.40
总氮, ≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0

氮超标情况要优于平水期和枯水期。在总氮不参评的情况下,海城监测断面丰水期、平水期和枯水期水质均为Ⅱ类。

海城河主要污染物为总氮,分析监测断面超标的原因:①八里、牌楼和西柳镇城镇化率高,污水量大,未经任何处理直排入河,尤其西柳镇作为东北主要的服装产销集散地之一,镇内尚存很多小印染、小印花等家庭作坊,废水不经任何处理直排城镇下水道,混入生活污水中直排入河,这是造成断面污染物超标的主要原因;②沿线部分村、镇(区)生活垃圾、畜禽粪污和畜禽尸体随意倾倒并排入河道,以及海城河两岸未全部纳入城镇管网的生活污水溢流^[45];③2015年以来海城河城区段截流严重,下游河水径流量小,自然调节能力差,造成污染物超标。

3 海城河水质演变机理与各参数之间相关性分析

采用 SPSS 中的皮尔森相关性统计学方法^[6-7]分析海城河水质指标与水温、水位和流量的相关性。Pearson 积差相关系数是衡量两个定量变量之间的线性相

关程度的重要指标,是说明有直线关系的两变量间相关关系密切程度和相关方向的统计指标,相关系数的符号(±)表明关系的方向(正相关或负相关),其值的大小表示关系的强弱程度(完全不相相关时为0,完全相关时为1)^[8]。红土岭监测断面和海城监测断面水质指标相关性分析结果见表4、表5。

表4 红土岭监测断面水质指标相关性分析

	pH 值	DO	COD _{Mn}	NH ₃ -N	BOD ₅	COD	TP	TN
pH 值	1.000							
DO	-0.062	1.000						
COD _{Mn}	-0.258	-0.666 *	1.000					
NH ₃ -N	-0.186	0.020	0.088	1.000				
BOD ₅	-0.335	-0.541	0.727 *	0.271	1.000			
COD	-0.320	-0.774 **	0.905 **	0.188	0.574	1.000		
TP	-0.293	-0.469	0.944 **	0.017	0.564	0.813 **	1.000	
TN	0.073	0.721 *	-0.348	0.094	-0.318	-0.484	-0.140	1.000
水温	-0.044	-0.913 **	0.506	-0.015	0.295	0.746 *	0.337	0.810 **
水位	-0.176	-0.787 **	0.778 **	-0.286	0.519	0.830 **	0.647 *	-0.626
流量	-0.351	-0.458	0.930 **	-0.095	0.607	0.815 **	0.922 **	-0.187

注 *表示在0.05水平(双侧)上显著相关,**表示在0.01水平(双侧)上显著相关。

表5 海城监测断面水质指标相关性分析

	pH 值	DO	COD _{Mn}	NH ₃ -N	BOD ₅	COD	TP	TN
pH 值	1.000							
DO	0.166	1.000						
COD _{Mn}	-0.460	-0.641 *	1.000					
NH ₃ -N	0.297	0.475	-0.362	1.000				
BOD ₅	-0.211	0.033	-0.153	0.078	1.000			
COD	-0.224	-0.490	0.374	-0.356	-0.473	1.000		
TP	-0.152	-0.236	0.474	-0.392	-0.693 *	0.557	1.000	
TN	0.104	0.702 *	-0.340	0.147	-0.151	0.011	0.320	1.000
水温	-0.321	-0.925 **	0.704 *	-0.375	0.153	0.204	0.102	-0.779 **
水位	-0.117	-0.631	0.720 *	-0.095	-0.228	0.272	0.402	-0.455
流量	-0.185	-0.374	0.770 **	-0.242	-0.297	0.403	0.582	-0.110

注 *表示在0.05水平(双侧)上显著相关,**表示在0.01水平(双侧)上显著相关。

由表4、表5可以看出,红土岭监测断面溶解氧与高锰酸盐指数呈显著负相关关系,与总氮呈显著正相关关系,与化学需氧量、水温、水位呈极其显著负相关

关系;高锰酸盐指数与五日生化需氧量显著正相关关系,与化学需氧量、总磷、水位、流量呈极其显著正相关关系;化学需氧量与水温呈显著正相关关系,与总磷、

水位、流量呈极其显著正相关关系;总磷与水位呈显著正相关关系,与流量呈极其显著正相关关系;总氮与水温呈极其显著正相关关系。海城监测断面溶解氧与高锰酸盐指数呈显著负相关关系,与总氮呈显著正相关关系,与水温呈极其显著负相关关系;高锰酸盐指数与水温、水位呈显著正相关关系,与流量呈极其显著正相关关系;五日生化需氧量与总磷呈显著负相关关系;总氮与水温呈极其显著负相关关系。可知部分参数受水温影响较大,说明水质好坏也受季节的影响^[9-10]。

4 结 语

本文主要分析了辽宁省鞍山市重要河流海城河的水质现状和水质演变趋势,并采用 SPSS 中的皮尔森相关性统计学方法分析了海城河各水质指标之间以及各指标与水温、水位和流量之间的相关性,从而掌握水质演变机理。结果表明,海城河流域上游红土岭监测断面和下游海城监测断面主要污染物均为总氮,总氮超标严重,但丰水期总氮超标情况要优于平水期和枯水期,在总氮不参评的情况下,水质良好。总氮超标的原因主要是由于工业、生活废水的排放以及河流自净能力差。海城河流域红土岭监测断面和海城监测断面水质中溶解氧都与高锰酸盐指数呈显著负相关关系,与总氮呈显著正相关关系,与水温呈极其显著负相关关系;高锰酸盐指数与水位和流量呈显著正相关关系;总氮与水温呈极其显著相关关系,部分参数受水温影响

较大,说明水质好坏也受季节的影响。因此,政府部门应完善相关的法律法规,根据丰水期、平水期、枯水期以及季节变化调整工业废水的排放量,同时加强监管力度,多措并举,减轻河流的污染负荷,坚持绿水青山就是金山银山的绿色发展理念。◆

参考文献

- [1] 李昊. 海城河生态系统健康评价[J]. 水资源开发与管理, 2019(8):26-30.
- [2] 赵庆营. 海城河生态修复效果研究[J]. 黑龙江水利科技, 2021,49(6):144-147.
- [3] 黄广玲. 河道管理评价指标体系研究——以辽宁省海城河为例[J]. 黑龙江水利科技, 2019,47(10):28-31,206.
- [4] 赵万清. 海城市地表水污染的防治对策[J]. 环境保护与循环经济,2015(2):50-54.
- [5] 赵博. 辽河流域水资源生态足迹及生态承载力时空分析研究[J]. 水资源开发与管理,2021(9):32-37,43.
- [6] 肖艳平,陈清莉,郑森元,等. 临江河江津段主要污染物变化趋势及相关性探讨[J]. 绿色科技,2020(18):98-99.
- [7] 赵秋娜. 变化环境下洋河水库水质及蓄水变量相关性分析[J]. 水资源开发与管理,2019(10):16-19.
- [8] 李子晨,陈俊旭,赵筱青,等. 星云湖岩溶陷盆地湖泊水量水质演变及其相关性分析[J]. 水电能源科学,2021,39(5):75-78.
- [9] 孙丽荣,陈涟,李荣辉. 长江下游扬中河段演变与影响因素分析[J]. 水利建设与管理,2020,40(12):6-12.
- [10] 杨永利. 辽河流域河流水质综合评价[J]. 水资源开发与管理,2021(1):28-32,56.
- [11] 张巧,衷从强,张建,等. 仿生填料对 E-A/O 工艺处理生活污水性能的影响[J]. 水处理技术, 2020, 46(6):107-111.
- [12] 郑凯,张子贤,李晓燕,等. 亲水化改性生物载体聚氨酯泡沫的研究[J]. 应用化工,2020,49(7):1664-1667.
- [13] 李磊,韦朝海,张小璇,等. 亲水性聚合物多孔载体的制备及其性能研究[J]. 中国给水排水,2006,22(19):82-86,90.
- [14] 戚科美. 人工水草对污染河流中氮磷等污染物的去除效果研究[D]. 济南:山东师范大学,2017.
- [15] 严瑛,曹红梅. 利用壳聚糖在涤纶织物进行抗静电处理的探讨[J]. 合成材料老化与应用,2020,49(1):123-124.
- [16] 陈吴健. 等离子/壳聚糖改善涤纶织物舒适性的研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2016.
- [17] 刘雷良,顾伟. 涤纶织物的壳聚糖亲水整理[J]. 印染, 2014,40(2):37-39.
- [18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社出版,2009.
- [19] 付红军. 山苍子油的提取效果及其防腐保鲜研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2017.

(上接第 60 页)

苏州河市郊段底泥重金属分布及其生态风险评价

潘岳 姜铁军 顾小双

(上海山南勘测设计有限公司,上海 200120)

【摘要】 本文为评估苏州河市郊段底泥质量,为后续苏州河底泥疏浚提供数据支撑,通过采集苏州河蕴藻浜—真北路桥段 23.6km 河道 32 个断面底泥柱状样,来分析不同深度处底泥重金属浓度,并采用潜在生态危害指数法进行风险评价。结果表明,底泥中重金属的污染区域主要集中在垂向 0.7~2.1m,苏州河下游长宁区段金属潜在生态危害高于上游和中游,苏州河市郊段重金属关注污染物主要为汞和镉。

【关键词】 苏州河;底泥;重金属;潜在生态危害指数;风险评价

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-066-05

Distribution of heavy metals in sediments in suburb of Suzhou River and environmental ecological risk assessment

PAN Yue, JIANG Tiejun, GU Xiaoshuang

(Shanghai Shannan Investigation & Design Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: In this paper, in order to evaluate the quality of sediment in the suburb of Suzhou River and provide data support for the follow-up dredging of sediment in Suzhou River, we collected the sediment in Suzhou River, from Wenzaobang to Zhenbei Road Bridge section. Column sediment samples from 32 sections of the 23.6 km river channel were used to analyze the concentration of heavy metals at different depths, and the potential ecological risk index was used for risk assessment. The results show that the polluted areas of metals in sediment are mainly concentrated in the vertical direction of 0.7m to 2.1m., the potential ecological harm of metals in Changning section of the lower reaches of Suzhou River is higher than that in the upper and middle reaches, and the major pollutants of metals in the suburbs if Suzhou River are mercury and cadmium.

Key words: Suzhou River; sediment; heavy metals; potential ecological hazard index; risk evaluation

苏州河是上海市重要的自然地表水体,原水质清澈。20 世纪 20 年代,随着上海市的经济发展,河道两岸因水路交通便捷而兴建大量工厂^[1]。20 世纪 50 年代,两岸的工业到了鼎盛时期,苏州河开始出现黑臭现象,至 20 世纪 70 年代,苏州河终年黑臭,鱼虾灭绝,在

外滩的苏州河和黄浦江合流交汇处,形成了黑黄分明的“两夹水”^[2]。苏州河具有坡降小、河道弯曲、水流缓慢的特点,流量平均仅 10m³/s,旱季则接近于 0,导致河道中的污染物在底泥中不断累积,造成污染物浓度升高,其中铜、锌、镍、镉等重金属超标^[3-7]。底泥中

收稿日期: 2021-10-29

作者简介: 潘岳(1991—),男,工程师,硕士,主要从事土壤和底泥等环境介质污染防控研究工作。

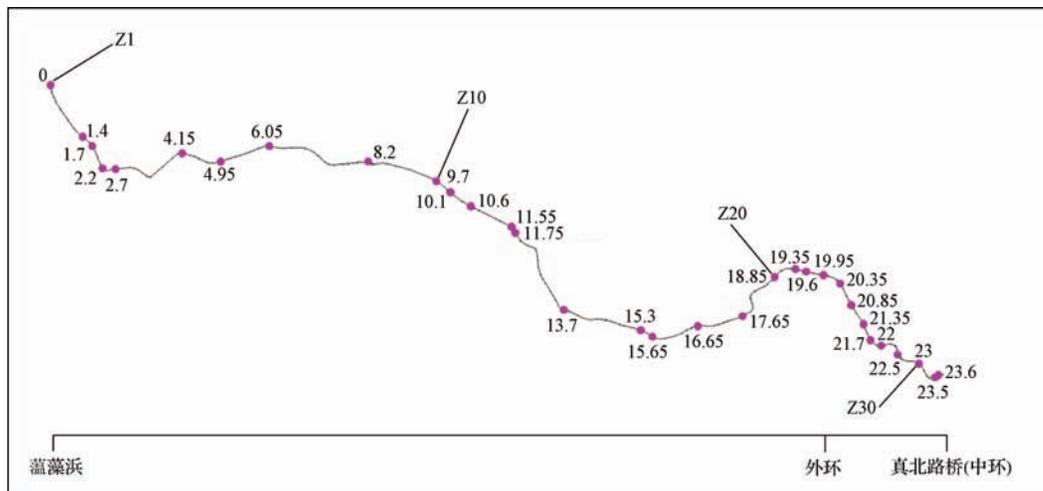
污染物质可以通过水-沉积物的交换反应在固液之间形成动态迁移富集平衡,在一定条件下重新进入水体造成水体的二次污染。

污染底泥疏浚整治是苏州河综合整治工程的重要一环。上海市从1996年开始全面启动苏州河环境综合整治工程,截至目前已完成三期,苏州河水质得到明显改善。本次研究项目依托苏州河环境综合整治四期工程,采集苏州河市郊段(蕹藻浜—真北路桥段)底泥,分析重金属沿程和垂向分布特征及其潜在风险,为后续苏州河(真北路—蕹藻浜)底泥疏浚工程提供数据支撑。

1 内容与方法

1.1 研究区域概况

研究区域为上海市苏州河蕹藻浜—真北路桥段,



(注 数字代表断面点间距离。)

图1 断面位置(单位:km)

1.2 环境风险评价方法

瑞典科学家 Hakanson^[8]于1980年提出了潜在生态危害指数法,在表层沉积物重金属污染评价方面应用较为广泛。该方法不仅反映了某一特定环境下沉积物的污染程度和环境中多种污染物的综合效应,而且定量划分出了潜在生态风险程度,其算式如下:

$$E_i^i = T_r^i C_r^i = T_r^i C_i / C_i \quad (1)$$

式中: E_i^i 为重金属*i*的潜在生态危害系数; T_r^i 为重金属*i*的毒性响应系数; C_r^i 为土壤重金属*i*的富集系数; C_i^i 为表层土壤重金属元素*i*的实际监测含量,mg/kg, C_i

该河段位于上海市西部,途径嘉定、普陀和长宁区,河道途径多为上海市市郊区域。

研究共进行两次样品采集工作。第一次采样工作于2018年3月进行,按照2km的间距在研究区域布置采样孔,共设置13个点位进行底泥采样。第二次采样工作于2018年12月进行,主要根据第一次采样结果,在断面污染相对较为严重的河段区域进行加密采样。采集的底泥样品均为柱状样,并根据不同深度进行分层留样。两次采样共设置32个断面,采集柱状样孔共84个(每个断面采集2~3个柱状样),采样深度为0~2.5m,柱状分层样品共402个,分析样品中汞、砷、铬、铜、锌、镍、镉、铅8种重金属的浓度。断面位置见图1。

为*i*元素的参比值,mg/kg。

本研究中 C_i 采用上海市土壤环境背景值中上海市土壤重金属背景值^[9]。 T_r^i 采用Hakanson制定的标准化重金属毒性响应系数,它主要反映重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度。具体数值见表1。

表1 毒性响应系数

元素	Cr	Cu	Zn	Pb	As	Hg	Cd	Ni
T_r^i	2	5	1	5	10	40	30	5

底泥中多种重金属的综合潜在生态风险程度, Hakanson 则通过潜在生态风险指数 RI 来表征:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

潜在生态危害指数与污染程度级别的对应关系见表 2。

表 2 重金属污染潜在生态危害指数与综合污染程度划分

单种重金属潜在生态危害系数范围	单种重金属潜在生态危害程度	Hakanson 潜在生态危害指数 (RI) 范围	重金属的潜在生态风险程度
<40	1 级, 轻微生态污染	<150	1 极, 低度生态危害
40~80	2 级, 中等生态污染	150~300	2 极, 中度生态危害
80~160	3 级, 强生态污染	300~600	3 极, 重度生态危害
160~320	4 级, 很强生态污染	>600	4 极, 严重生态危害
>320	5 级, 极强生态污染		

2 结果与讨论

2.1 苏州河底泥污染特征

2.1.1 沿程分布特征

根据检测结果, 对各断面底泥中 8 种重金属的均值进行统计分析, 结果见图 2。

由图 2 可以看出, 重金属浓度沿程变化趋势较为相似, 在前 20km 呈现波动状, 20~23km 呈现明显上升趋势, 20km 为长宁区靠近新槎浦支流的汇入点。周立旻等^[10]初步研究了苏州河沉积物的重金属污染特征,

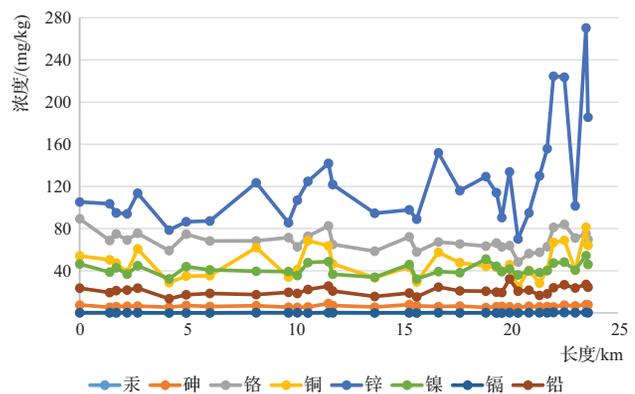


图 2 底泥中各重金属的沿程分布特征

发现底泥中重金属污染物的累积量与上海地区工业化和环境保护进程密切相关。本次调查的下游区域为工业发达的长宁区, 企业密集, 初步分析可能是新槎浦支流和长宁区两岸带来的重金属污染。

为探究底泥中重金属的同源性, 本研究分析了沿程重金属相关性, 典型重金属沿程关系矩阵见表 3, 汞和铬、砷和铅相关关系不显著, 其余典型重金属间呈显著正相关关系, 说明这些重金属之间存在相似的来源, 同时也反映了这些重金属在表层沉积物中含量比具有相对的稳定性^[11]。镉一般可作为农药和化肥等农业活动的标识元素, 汞、砷主要来源于农药和化肥等人类活动, 而水生环境中的铬、铜、锌、镍、铅主要来源于各类工农业废水和船舶运输复合污染^[12-14]。除铬与长度呈负相关外, 汞、砷、铜、锌、镍、镉和铅与长度呈正相关, 污染物浓度水平下游较上游严重。

表 3 重金属沿程相关系数矩阵 ($n = 32$)

项目	距离	汞	砷	铬	铜	锌	镍	镉	铅
距离	1								
汞	0.377 *	1							
砷	0.005	0.525 **	1						
铬	-0.296 *	0.290	0.605 **	1					
铜	0.160	0.588 **	0.507 **	0.706 **	1				
锌	0.505 **	0.743 **	0.419 **	0.504 **	0.808 **	1			
镍	0.169	0.535 **	0.550 **	0.686 **	0.855 **	0.749 **	1		
镉	0.336 *	0.475 **	0.339 *	0.589 **	0.622 **	0.821 **	0.535 **	1	
铅	0.265	0.476 **	0.275	0.507 **	0.706 **	0.668 **	0.555 **	0.609 **	1

注 * 表示在 0.05 水平上显著相关 (双侧); ** 表示在 0.01 水平上显著相关 (双侧)。

2.1.2 垂向分布特征

除沿程分布外,本研究还分析了重金属在底泥中的垂向分布特征,对各个底泥深度中8种金属的平均浓度进行统计分析。从图3可以看出,典型重金属在垂向分布较为相似。0~0.5m在一定范围内波动,浓度较低;0.5~2.1m呈现先上升后波动的趋势,检测浓度较高;而在2.1~2.5m重金属的浓度呈现下降的趋势。这与许世远等^[15]等报道的“三段式”结构相吻合,即苏州河底泥污染主要集中于中部黑泥层(20~300cm厚),顶部流动浮泥层(约20cm厚)和底部灰色自然层污染相对较低。

重金属垂向相关性分析见表4。从表4中可以看

出,重金属间呈极显著正相关关系,说明重金属间在垂向上关系密切,变化规律相似,进一步说明重金属之间有着一定的同源性。

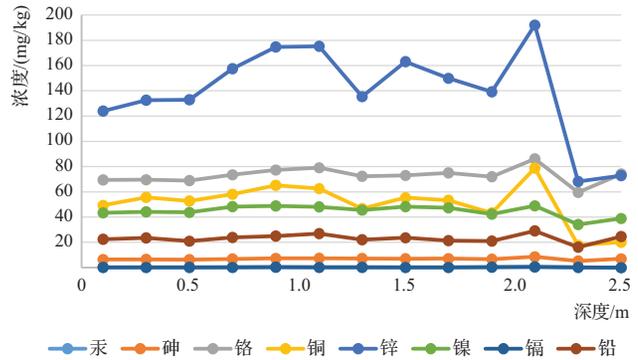


图3 底泥中重金属的垂向分布特征

表4 典型重金属垂向相关矩阵 (n = 32)

项目	汞	砷	铬	铜	锌	镍	镉	铅
汞	1							
砷	0.783 **	1						
铬	0.808 **	0.974 **	1					
铜	0.791 **	0.700 **	0.739 **	1				
锌	0.827 **	0.725 **	0.772 **	0.961 **	1			
镍	0.688 **	0.746 **	0.771 **	0.912 **	0.941 **	1		
镉	0.876 **	0.741 **	0.757 **	0.855 **	0.836 **	0.686 **	1	
铅	0.676 **	0.873 **	0.922 **	0.710 **	0.689 **	0.716 **	0.637 *	1

注 *表示在0.05水平上显著相关(双侧);**表示在0.01水平上显著相关(双侧)。

2.2 环境风险评价

2.2.1 潜在生态危害系数评价

对各个断面不同深度处重金属的检出浓度进行统计,见表5。相比于背景浓度,苏州河底泥中汞的检出浓度较高,平均值为背景值的4.845倍。汞、铜、锌、镉

4种金属变异系数分别为93.363%、35.017%、46.414%、72.013%,表明这4种重金属可能存在点源污染。砷、铬、镍和铅4种重金属变异系数分别为16.938%、13.944%、13.054%、18.549%,表明这4种重金属可能存在面源污染。

表5 重金属检出浓度统计分析

项目	汞	砷	铬	铜	锌	镍	镉	铅
最大值	1.102	9.713	92.042	98.522	321.570	60.261	0.742	30.836
最小值	0.073	5.141	48.563	19.000	58.000	36.000	0.075	12.300
中位数	0.128	6.238	71.371	46.034	105.241	43.363	0.163	21.784
平均值	0.208	6.701	70.369	50.353	128.761	44.120	0.199	21.944
标准偏差	0.194	1.135	9.812	17.632	59.763	5.759	0.143	4.070
变异系数%	93.363	16.938	13.944	35.017	46.414	13.054	72.013	18.549
背景值	0.043	9.000	63.400	24.400	74.700	29.900	0.133	21.000
平均值/背景值	4.845	0.745	1.110	2.064	1.724	1.476	1.495	1.045

计算各重金属的潜在生态危害系数 E_r , 见表 6。从表 6 可以看出, 重金属汞的平均 E_r 值达 193.784, 属于 4 级很强生态污染; 重金属镉的平均 E_r 值达 44.862, 属于 2 级中等生态污染; 其余重金属平均 E_r

值均小于 40.000, 属于轻微生态污染。同时, 注意到部分断面 E_r 值超过 40.000, 该断面主要集中在中游 Z13 断面苏州河和盐浦仓交界处。

表 6 重金属潜在生态危害系数统计汇总

项目	汞	砷	铬	铜	锌	镍	镉	铅
最大值	1024.874	43.168	2.904	20.189	4.305	10.077	167.387	7.342
最小值	67.907	22.849	1.532	3.893	0.776	6.020	16.992	2.929
中位数	119.494	27.723	2.251	9.433	1.409	7.251	36.759	5.187
平均值	193.784	29.784	2.220	10.318	1.724	7.378	44.862	5.225

2.2.2 潜在生态危害指数评价

利用潜在生态危害指数 (RI) 法对苏州河市郊段底泥的环境风险进行评价, 典型重金属 RI 沿程变化趋势见图 4, 垂向变化趋势见图 5。从图 4 中可以看出, 严重风险主要集中于 23.5km 处长宁区采样点位, 其他区域多为中风险。从图 5 中可看出, 苏州河市郊段垂向 0~0.7m、1.3~1.8m 为中风险, 0.9~1.3m 为重风险, 2.1m 附近为严重风险。

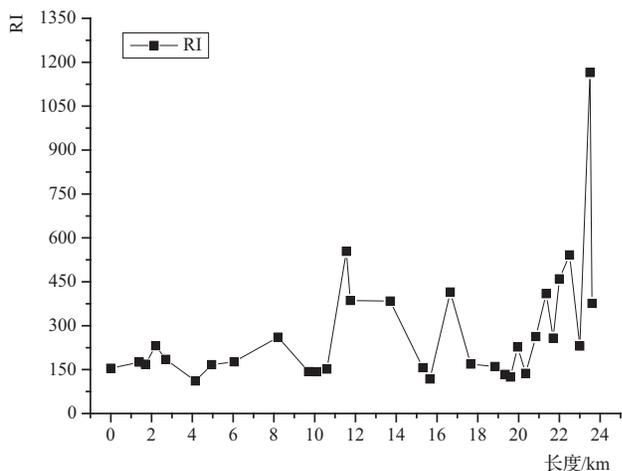


图 4 典型重金属潜在生态危害指数沿程分布

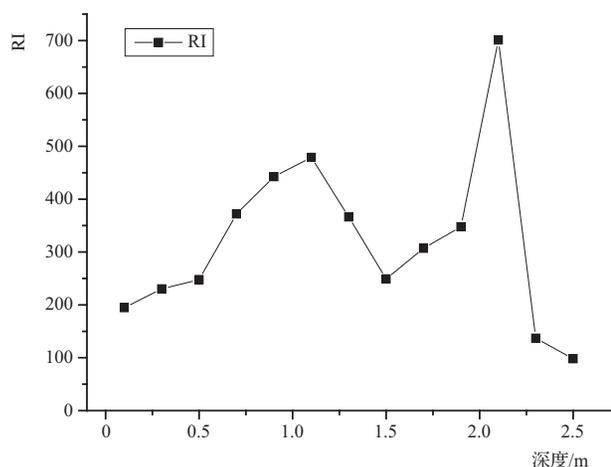


图 5 典型重金属潜在生态危害指数垂向分布

险评价, 得出如下结论:

a. 苏州河市郊底泥重金属浓度沿程呈现 0~20km 波动, 20~23km 上升趋势, 下游长宁段重金属检出浓度较上游嘉定段和普陀段重金属检出浓度高。

b. 苏州河市郊底泥重金属浓度垂向呈现三段式分布, 即 0~0.5m 在一定范围内波动, 浓度较低; 0.5~2.1m 呈现先上升后波动的趋势, 检测浓度较高; 2.1~2.5m 重金属的浓度呈现下降的趋势; 垂向污染主要集中在 0.7~2.1m。

c. 重金属潜生态危害指数 RI 为重风险和严重风险的河段主要位于下游长宁区段, 苏州河 (蕙藻浜—真北路桥段) 多数河段为中风险。苏州河市郊段重金属关注污染物主要为汞和镉。

建议在未来对蕙藻浜—真北路桥段底泥疏浚中, 重点关注中下游长宁段区域, 底泥疏 (下转第 84 页)

3 结 语

本研究以苏州河城乡结合部 (蕙藻浜—真北路桥段) 区域的底泥为研究对象, 对 8 种重金属元素 (汞、砷、铬、铜、锌、镍、镉和铅) 进行研究。通过对样品中的重金属元素进行相关性分析, 评价垂向分布和沿程分布特征, 并运用潜在生态危害指数法对重金属进行风

济宁市水生态现状分析与思考

寇珊珊

(济宁市水利事业发展中心, 山东 济宁 272000)

【摘要】 济宁市地跨黄淮两大流域,水是制约经济社会可持续发展的重要因素。本文通过对济宁市水生态现状中存在的时空分布不均、水生态环境问题突出、极端气候造成旱涝灾害威胁加大、现代水治理体系不完善等问题进行分析探讨,据此从河湖生态保护与修复、水土保持综合治理、地下水超采区治理、农村水系综合整治、农村生活污水治理等几个方面提出相应的措施建议,可为济宁市水生态保护和修复工作提供参考。

【关键词】 水生态;现状;分析思考;济宁

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-071-04

Analysis and thinking on the present situation of water ecology in Jining City

KOU Shanshan

(Jining Water Conservancy Development Center, Jining 272000, China)

Abstract: Jining City straddles the Yellow River basin and the Huaihe River basin, and water is an important factor that restricts the sustainable development of economy and society. This paper analyzes and discusses the problems existing in the present water ecology in Jining City, such as unbalanced spatial-temporal distribution, prominent water ecological environment problems, increased threat of drought and flood caused by extreme climate, and imperfect modern water control system. Then, corresponding measures and suggestions from several aspects are put forward, such as ecological protection and restoration of rivers and lakes, comprehensive management of soil and water conservation, treatment of groundwater over-exploitation areas, comprehensive improvement of rural water system, and treatment of rural domestic sewage. It can provide reference for water ecological protection and restoration in Jining City.

Key words: water; status quo; thinking; Jining City

水利工程是国民经济社会发展的重要基础设施,水是支撑社会经济系统发展不可替代的基础性自然资源和战略资源,事关防洪安全、供水安全、粮食安全、经济安全、生态安全、社会安全。受自然地理和气候条件影响,水资源短缺且时空分布不均是济宁市的先天问

题,随着经济社会发展和气候变化影响加剧,水资源短缺、旱涝灾害、水生态损害、水环境污染等问题成为济宁市经济社会可持续发展的制约因素。因此,本文通过对济宁市水生态现状中存在的问题进行探讨,提出相应的解决措施,为济宁市水生态保护提供参考。

收稿日期: 2021-12-16

作者简介: 寇珊珊(1980—),女,工程师,学士,主要从事水利管理工作。

1 基本情况

济宁市地处鲁西南腹地,东邻临沂,西与菏泽接壤,南临枣庄市和江苏省徐州市,北交泰安市,西北角隔着黄河与聊城市相望。南北长约 167km,东西宽 158km,总面积 10685km²。济宁地处黄淮海平原与鲁中南山地交接地带,以平原洼地为主,地势东高西低,中部洼,地貌多元,属温带季风型气候,多年平均气温为 13.3~14.1℃,多年平均年降水量为 695.3mm,其中 6—9 月降水量占全年的 70% 以上。

济宁市地跨黄淮两大流域,境内有我国大型淡水湖泊之一——南四湖,黄河、大汶河沿境而过,京杭大运河贯穿南北。拥有泗河、洸府河等流域面积 1000km² 以上的大中型骨干河道 12 条,流域面积在 50km² 以上的河流 117 条;建成尼山、西苇、贺庄大型水库 3 座,华村、龙湾套、尹城中型水库 3 座,小型水库 242 座,总库容 60321.58 万 m³;建成大中型水闸 757 座、塘坝 1757 座、泵站 1923 座、机电井 328307 眼、农村集中式供水工程 5303 处。全市水利工程年供水能力达到 29.00 亿 m³。济宁市水资源总量为 46.00 亿 m³,其中地表水 32.40 亿 m³,地下水 17.70 亿 m³(地表水和地下水重复量为 4.10 亿 m³)。人均占有水资源量 558m³,为全省人均占有量的 1.67 倍,但不足全国人均占有量的 1/4,可利用量仍不能满足全市工农业生产需要。

2 水生态现状存在问题

2.1 水资源时空分布不均

在空间分布上,全市年均降水量从东南部的 800mm 依次递减至西北部的 600mm,由于受下垫面的影响更大,年径流分布的不均匀性比年降水量的影响更甚,全市各地多年平均径流深在 50~250mm 之间。在时间分布上,年际年内变化大,全年的降水量约有 3/4 集中在汛期,全年天然径流量的 70%~80% 集中在汛期,特别是 7 月、8 月,占汛期径流量的 60%~70%。由于河、湖、库连通工程和河道调度工程欠缺,水源调蓄控制能力不足,当地雨洪资源得不到充分利

用,工程性缺水问题依然突出。南四湖平均每年外排水量约为 17.00 亿 m³ 以上,上级湖多年平均弃水量为 9.88 亿 m³,大量雨洪水未得到充分利用。部分地区过度开发地下水,地下水超采区达 2194km²。随着城镇化、工业化、农业现代化进程和生态文明建设加快,居民生活用水和生态用水将呈刚性增长,同时气候变化引起的水资源系统不确定性增加。

2.2 水生态环境问题突出

①由于一些地区对水土资源的过度开发,引发了河道断流、地下漏斗、湿地萎缩等一系列生态问题;②作为中小河流的末端,大量农村河道萎缩,功能衰减;③山丘区和风沙区水土流失依然严重;④地下水位不断下降;⑤河道受点源、面源污染,水环境容量有限,纳污能力差,同时受上游区域外来水影响,部分水功能区水质尚不能稳定达标。

2.3 极端气候变化剧烈,旱涝灾害威胁加大

近年来受极端天气事件影响,济宁市旱涝灾害呈现突发频发重发态势,往往旱涝交替、旱涝急转,甚至出现汛期抗旱。虽然全市防洪除涝工程体系已初具规模,但湖东堤韩庄至郯山段 15.3km 未实施,南四湖防洪体系未封闭,仍存在较大威胁;中小河流防洪能力标准仍然明显偏低,区域内除骨干河道及部分中小河道外,较多的中小河道防洪标准达不到 20 年一遇;全市骨干排水沟配套建筑物未治理,涝洼地区除涝标准仍未达到 5 年一遇,不适应经济社会发展和全面建设小康社会的要求。随着济宁市经济总量的不断增加,人口的日益聚集,洪涝干旱风险加大,尤其是近年来极端突发天气事件频发,暴雨洪水的突发性、不可预见性和灾害性大大增加,应对水旱灾害的难度日益加大。

2.4 水利基本公共服务均等化水平有待提高

全市水资源总量不足且时空分布不均,水资源支撑保障能力不足,对经济社会发展的制约仍未消除。欠发达县区水利建设项目配套压力大,水利投资占比高,地方配套资金到位率低,部分水利建设项目推进力度缓慢。农业面源污染、工业废污水、农村生活垃圾及人畜粪便等依然严重威胁饮水水源地安全;农村生活

污水治理欠账多,资金筹措难度大,农村污水处理设施建设、运营体系尚未建立。

2.5 现代水治理体系不完善,监管力度尚需加强

重要河流湖泊水量分配、生态流量管控机制尚不完善;水资源用水计量、监控能力不足;动态性、实时性信息欠缺;节水法规制度不健全;缺乏行之有效、操作性强的节水激励机制,节水内生动力不足;全社会节约用水意识不强。河湖“四乱”问题监管难度大,面临反弹压力,河湖管理保护能力与需求不适应。水利工程管理标准化、规范化程度低,良性运行机制尚不完善。水土保持社会关注度不高,仍然存在“边治理、边破坏”现象。

3 措施建议

以南水北调东线干线、南四湖和省级水网为依托,实施南水北调地方配套工程、河道治理、病险水库水闸除险加固、山洪灾害治理、河道拦蓄、引黄西线、引湖济西、湖水东调工程和尼山世界文明论坛区域水生态修复与治理、大型灌区续建配套与节水改造、农村生活污水治理工程,充分利用采煤塌陷地拦蓄雨洪水,构建济宁市大水网,抓好工程建设与体制建设两个着力点,双向发力,加快建立以供水安全、防洪安全、生态安全为核心的水安全保障体系,为建设新时代现代化强市提供可靠的水资源支撑和保障。

3.1 加强河湖生态保护与修复

强化水系连通,沟通内部湖泊和外部水网,实现不同水系间的水资源调配,打造河湖共生的生态水网。加强河道拦蓄、库河调度,统筹考虑生态用水,综合运用清淤疏浚、截污治污、生态修复、调水引流、控制开发等措施,打造生态河道,保持河道蜿蜒性、连续性和断面多样性的自然形态。实施“清河行动”,坚决查处乱占乱建、乱围乱堵、乱采乱挖、乱倒乱排等违法行为,修复河湖生态环境,恢复广大人民群众休闲娱乐空间,促进生态文明建设。推进尼山世界文明论坛水系修复治理、河湖水系绿化、泗水县龙湾套至尹城水库水系连通等工程建设,建设水利风景区,提升区域河湖生态环境。

3.2 加强水土保持综合治理

强化水土保持预防监督,坚持预防为主、防治结合,坚持与农业综合开发、土地综合整治等相结合,水源涵养、水土拦蓄和生态防护并重,构建与经济社会发展、乡村振兴相适应的水土流失综合防治体系,实施以小流域为单元的水土流失综合治理,因地制宜地推进生态清洁小流域建设,进一步增强蓄水保土能力,改善农业生产生活条件和生态环境。实施曲阜市、邹城市、泗水县小流域综合治理和梁山县黄泛平原风沙区水土保持生态建设工程,计划治理水土流失面积 300km²。

3.3 加强地下水超采区治理

地下水超采区综合整治的主要任务包括控采限量、节水压减、水源置换、修复补源 4 个方面。落实地下水水位总量和用水强度双控制度;巩固提升县市区浅层地下水压采治理,使地下水水位得到回升,改善地下水生态环境;开展自备井专项查处整治,对非法自备井依法关停,对超采区范围内的企业,研究其用水需求计划,促使企业使用地表水,加大地表水利用率,减少地下水开采。实施金乡县、鱼台县深层地下水超采区治理,计划压减地下水水量 2589 万 m³。

3.4 实施农村水系综合整治

按照实施乡村振兴战略的要求,针对农村水系存在的淤塞萎缩、水污染严重、水生态恶化等突出问题,立足乡村河流特点和保护发展需要,以县域为单元、河流为脉络、村庄为节点,通过清淤疏浚、岸坡整治、水系连通、水源涵养与水土保持等多种措施,集中连片推进,水域岸线并治,结合村庄建设和产业发展,实施农村水系综合治理工程,建设“水美乡村”,不断增强人民群众的获得感、幸福感、安全感。

3.5 推进农村生活污水治理

坚持生活污水治理与资源利用相结合、工程措施和生态措施相结合、集中处理与分散治理相结合,根据村庄区位条件、社会经济发展状况、产生污水情况,因地制宜,采用建设污水处理站、纳入城镇市政污水管网、分散拉运集中处理等方式,开展农村生活污水处理设施和配套管网建设,对农村生活污水进行资源化利

用,改善农村人居环境。

3.6 健全一体化水利监测网络体系

围绕水灾害防御、水资源保障、水生态保护、水工程监管等信息化监管需求,遵循生态文明新时代的目标任务,利用卫星遥感、无人机、视频图像 AI 等技术手段,优化调整监测站点布局,建设天空地一体化智能感知体系,实现重点河流湖泊、大中型水利工程感知,年度水土流失动态监测全覆盖和智能分析,为全面提升水利治理能力提供技术支撑。

3.7 积极探索推进流域水生态补偿机制建设

推动建立水生态环境保护建设区域协作机制和流域上下游不同区域生态补偿协商机制,制定和落实与水有关的生态环境保护收费制度,对矿产资源开发等涉水经济活动征收水生态补偿费用,用于已破坏的河湖生态系统及地下水治理修复。建立健全水土保持、建设项目占用水利设施和水域等补偿制度,建立对饮用水水源保护区及河、湖、库上游地区的补偿机制。

3.8 加大水情宣传教育力度

深入宣传引导,将水情教育纳入国民素质教育体系、中小学教育课程体系,并作为国家公务人员教育培训的重要内容。持久开展水利法治宣传教育,凝聚社会共识,提升全民节水、爱水、亲水、护水观念,营造全社会关心水利、支持水利、发展水利的良好社会环境。拓宽公众参与渠道,加强社会舆论监督,形成全社会治水兴水合力。

4 结 语

在新的历史时期,水仍是新发展阶段济宁市经济

社会高质量发展的关键制约因素,治水兴水是事关全市长远发展的根本大计。通过采取一系列有效措施,切实改善提高水生态现状,解决水利面临的突出矛盾和问题,不断优化水资源配置格局,提高水土资源保护能力,才能使水环境风险得到控制,水环境生态系统基本得到修复,实现科学发展、率先发展、跨越发展,为全市经济社会持续健康发展和社会和谐稳定提供坚实的水利支撑和保障。

参考文献

- [1] 胡珊,李纯洁.郑州市地下水资源开发利用现状及对策[J].水资源开发与管理,2020(4):33-37.
- [2] 闫花丹,祝得领,花金祥.济宁市地下水压采及地表水利用规划讨论研究[J].治淮,2021(6):39-39.
- [3] 王献辉,花剑岚,李萍,等.水生态保护与修复工程的评估指标研究[J].江苏水利,2012(8):8-10.
- [4] 赵博.辽河流域水资源生态足迹及生态承载力时空分析研究[J].水资源开发与管理,2021(9):32-37,43.
- [5] 张云昌.浅谈水生态保护与修复的理论和方法[J].中国水利,2019(23):12-14,22.
- [6] 党丽娟.黄河流域水资源开发利用分析与评价[J].水资源开发与管理,2020(7):33-40.
- [7] 李钧.孝感城市河流水生态环境修复实践与探讨[J].水利建设与管理,2011(11):70-73.
- [8] 李恒义,杨毅.北京中心城区水生态保护与修复规划逻辑研究[J].北京规划建设,2021(5):32-35.
- [9] 郭孟卓.试论水资源管控分区划定与政策措施[J].中国水利,2021(15):26-28.
- [10] 李红臣.漯河市水生态文明城市建设实践[J].河南水利与南水北调,2020(10):4-5.

(上接第79页)

- [4] 李扬,颜蔚,汤炜.精细化智慧水利信息平台的应用实践[J].水资源开发与管理,2021(4):55-58,38.
- [5] 王昆仑,吴彦衡,黄祚继.基于多源数据的2020年巢湖流域防洪情况分析[J].水资源开发与管理,2021(9):70-76
- [6] 于平.基于模块化的网页前端开发技术优化策略研究[J].电子元器件与信息技术,2020,4(12):128-129.

- [7] 梁艳玲.基于HTML5的Web前端开发技术研究[J].电子技术与软件工程,2020(24):44-45.
- [8] 邓雯婷.基于Vue.js构建单页面GIS应用的方法研究[J].科技创新与应用,2018(14):5-7,10.
- [9] 谢运佳,钟瑞琼,郑文丰.基于HTTP协议的FLV流媒体的网络视频教学系统的设计[J].电脑与电信,2011(8):38-40.
- [10] 王子毅,张春海.基于ECharts的数据可视化分析组件设计实现[J].微型机与应用,2016,35(14):46-48,51.

基于 HTML5 的潮白河补水 APP 关键技术 研究与应用

李昊 马雪 李晓磊

(北京市智慧水务发展研究院,北京 100036)

【摘要】 移动 APP 借助其高便携性和轻便型等特点,可以随时辅助相关业务人员进行决策和工作部署,成为重要的信息化支撑手段。本文针对潮白河补水期间补水 APP 开发和应用案例,结合前端技术架构和功能设计,分析了水务 APP 开发中的关键技术研究思路和方案,探究了水务地图、视频等要素的应用场景和技术手段,为水务信息化工作提供了有力支撑。

【关键词】 补水信息化;动态配置;视频流;异步加载

中图分类号: TV85

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-075-05

Research and application of key technologies of Chaobai River water supplement APP Based on HTML5

LI Hao, MA Xue, LI Xiaolei

(Beijing Smart Water Development Research Institute, Beijing 100036, China)

Abstract: With its high portability and portability, mobile APP can assist related business personnel to make decisions and work arrangements at any time, and become an important means of information support. In this paper, according to the development and Application case of water replenishment APP in Chaobai River, combined with the front-end technical architecture and functional design, the research ideas and schemes of key technologies in the development of water app are analyzed, and the application scenarios and technical means of water map, video and other elements are explored, which provides strong support for water informatization.

Key words: water supply information; dynamic configuration; video stream; asynchronous loading

按照京津冀协同发展和北京城市总体规划的要求,需进一步修复潮白河流域水生态环境,提升改善潮白河流域密云水库、怀柔水库以下河道水生态和水环境现状,实现多条河道同步恢复水流、地表和地下协同生态修复目标。

根据全市“十四五”水务发展规划和市水务局

2021年重点任务安排,于2021年3月中旬至5月下旬实施春季潮白河试验性生态补水调度工作。本次补水过程涉及区域广、水文要素演变复杂,如何优化补水调度方案、科学量化补水效益成为亟待解决的重要问题。研究表明利用信息化手段解决这些问题,是行之有效的的手段之一。以往补水进展仅借助PC端网页查

收稿日期: 2022-01-19

作者简介: 李昊(1990—),男,工程师,学士,主要从事水利信息化工作。

看,不便于随时便携地获取信息,故通过移动 APP 的形式可更好地支撑补水工作和用户业务部署。本文基于北京水务移动平台对接的规则要求,以及系统快速迭代和组件通用的业务需求,在各类开发架构中,选用了更能满足以上标准的 HTML5 移动开发架构,通过统一样式和丰富的组件引用,结合流媒体播放组件等技术,实现补水 APP 的开发。

1 HTML5 技术概述

HTML5 是互联网的下一代标准,是构建以及呈现互联网内容的一种语言方式,被认为是互联网的核心技术之一,其已经在互联网中得到广泛应用。与传统的技术相比,HTML5 的语法特征更加明显,且支持离线访问、全媒体内容展示、交互式的 2D/3D 图像渲染,提供丰富的 API 以调用移动设备的硬件,相比传统

APP 开发模式,具有更优越的安全性、跨平台访问性。

HTML5 允许程序通过 Web 浏览器运行,并且将视频等目前需要插件以及其他平台才能使用的多媒体内容也纳入其中,这将使浏览器成为一种通用的平台,用户通过浏览器就能完成任务,为用户带来更便捷的体验。HTML5 包括智能表单、绘图画布、多媒体、地理定位、数据存储、多线程等新特性,不仅能够提升 Web 端的操作体验,同时可以支持移动端的页面展示,统一移动端网页标准。

2 潮白河补水 APP 总体设计

2.1 技术架构

本 APP 采用 Vue + Html5 + SpringCloud 的前后端开发架构进行开发,系统形成了数据层、服务层、前端的 3 层架构,见图 1。

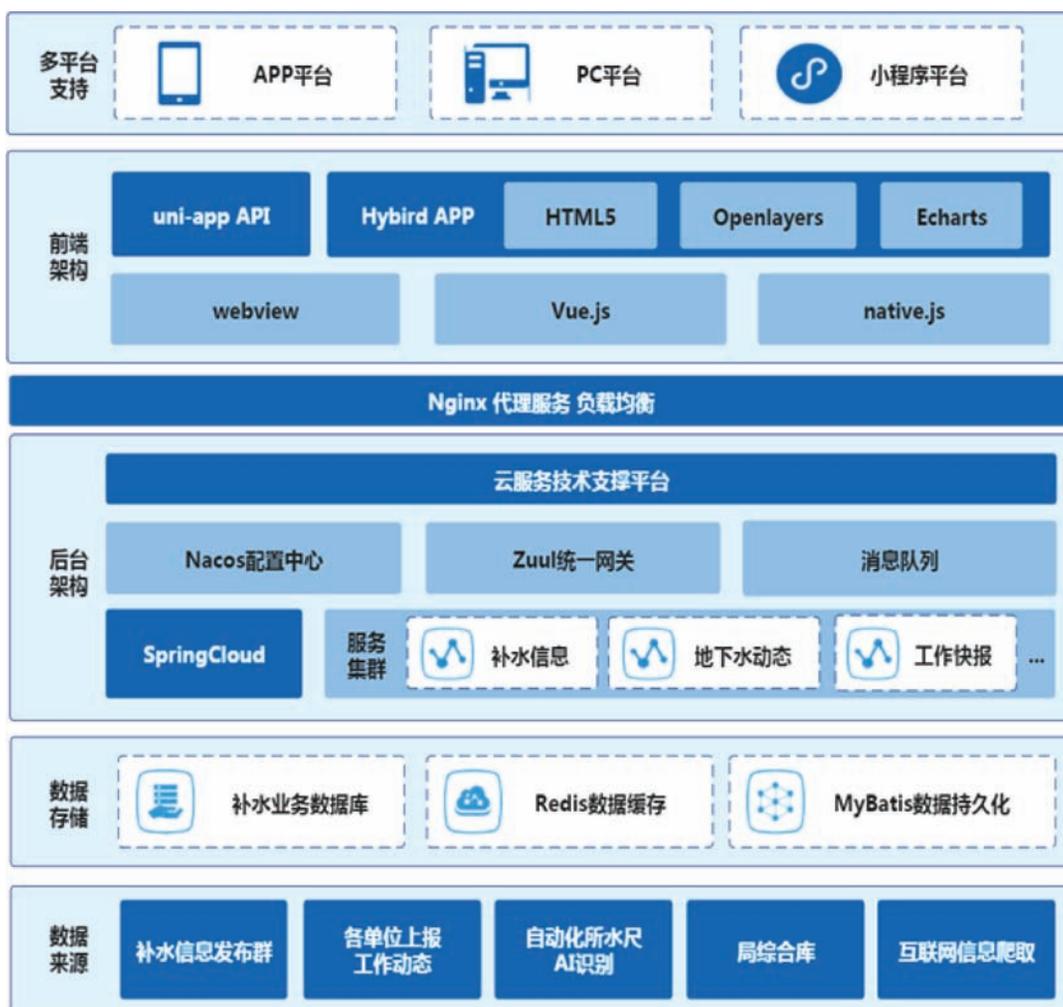


图 1 APP 技术架构

数据层主要是将各个来源的补水相关数据进行本地结构化存储,并通过 redis 和 mybatis 进行数据的缓存和持久化。数据包括水情数据、水头数据、视频数据、日报数据、互联网媒体数据等。

服务层是基于最新的水立方平台搭建的。通过微服务云架构开发框架,实现系统功能的快速开发,并配置成为对应的服务,通过 Nacos 进行服务注册和管理,并结合前后端分离的开发模式,统一联调使用。通过 Nginx 代理后供前端引用。

前端层基于 HTML5 的形式,采用 Vue 为前端框架,结合 Echarts、Openlayers、Vant、flv.js 等前端框架,实现了系统的页面设计、地图渲染、图表展示、视频播放等功能。

2.2 功能设计

结合本次潮白河补水的业务需求和用户使用体验,将 APP 功能主要分为信息总览、计划方案、水情数据、视频图像、信息快报五大模块,见图 2。

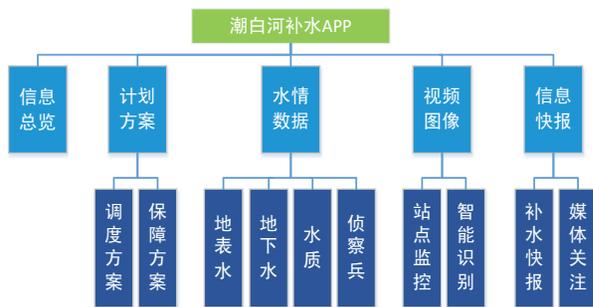


图 2 APP 功能设计

2.2.1 信息总览

信息总览为 APP 打开的默认页面,是补水情况的一个汇总展示,页面包括当前补水情况、水头流经位置、补水重要节点的地理位置、放水时间、溢流时间、补水量、流量、水位、侦察兵 cod 值等信息,以及点击后可打开的关键点位视频和补水动态时间轴。

2.2.2 计划方案

计划方案主要为支撑补水调度工作需求,提供补水调度方案和保障方案的信息查阅,保障方案中联系人通信录的电话快速拨打。

2.2.3 水情数据

水情数据包括补水期间每日地表水重要断面的水

情数据、流域地下水监测点的埋深水位数据、重要水质监测点的水质评价数据、水环境侦察兵实时水质数据。

2.2.4 视频图像

视频图像主要提供补水沿线重要视频监控点的地理分布和在线视频观看,包括潮白河管理处视频、自动化所快速部署站视频和 AI 智能识别水位视频点,提供 AI 智能识别水位和人工校核每日对比和评价信息。

2.2.5 信息快报

信息快报展示补水期间每日补水快报信息、补水相关社交媒体信息等。

3 关键技术研究与应用

3.1 补水页面动态配置渲染

补水过程是一个实时变化过程,相应的监测数据、站点图像、地图信息在不断变化,这就要求系统能够实时跟进补水最新情况,展现最新的补水动态。结合以往补水工作经验和 APP 开发技术积累,本次系统将前端智能化理念应用在更多页面的开发工作中,对相关前端页面进行页面解构和页面配置,实现“可拆卸、可拼装”的页面组成模式,对于需求灵活多变的页面,采用前后端联动配置的形式,见图 3,结合数据库的动态适配,实现“具体模块,具体展示”的页面渲染方式,最大限度地减少了系统的迭代。如信息总览页面,需要根据补水的动态实时更新水头以及地图关键节点的水量、水位、流速等数据,并且根据水头位置控制图层气泡的展示方向,避免彼此遮盖,该系统将这些信息指标都解构为对应的 key-value 键值对,通过数据库对应字段进行存储,页面访问时,通过读取对应键值对,就可随时根据后台配置的字段信息进行页面的重新渲染,实现了“随时说、立刻改、马上变”的迭代效果,如补水水头经过部分水面实时渲染为深色、补水节点的悬浮

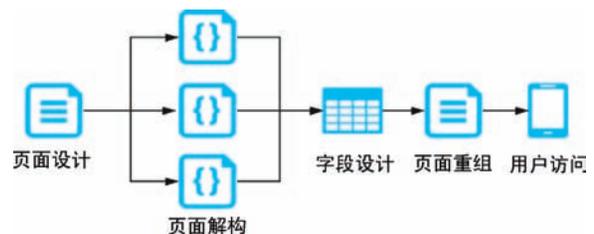


图 3 页面动态配置示意图

窗数据实时变更等。

动态配置技术应用于本次补水工作全流程,补水开始后,各级用户均对补水工作格外关注,由于各级用户关注点不尽相同,所以对于 APP 的内容展示需求也在不断变化,无论是每天页面数据的更新,还是随着补水工作层层递进而进行扩充的水位、水质数据项,以及地图和水头信息的实时更新渲染,均通过动态配置模式实现了用户需求提出后最快速度实现页面迭代,随说随改,免去了等待页面开发和服务器部署的时间,提高了补水信息的更新效率。

3.2 多平台补水视频流整合

本次生态补水 APP 新增多处视频监控站点,在 APP 中可以观看和控制对应站点的视频图像。图像来自多个视频流提供平台,对于部分带有播放页面的平台,可通过 API 接口获取平台中对应视频的 H5 播放页面,通过网页层面接入 APP 中。对于没有播放页面的平台,采用接口获取对应图像的视频流地址,再通过 H5 视频播放插件来播放对应视频流,实现视频的接入。实现多平台多源视频流的整合汇总,最终通过统一接口进行在线播放,见图 4。

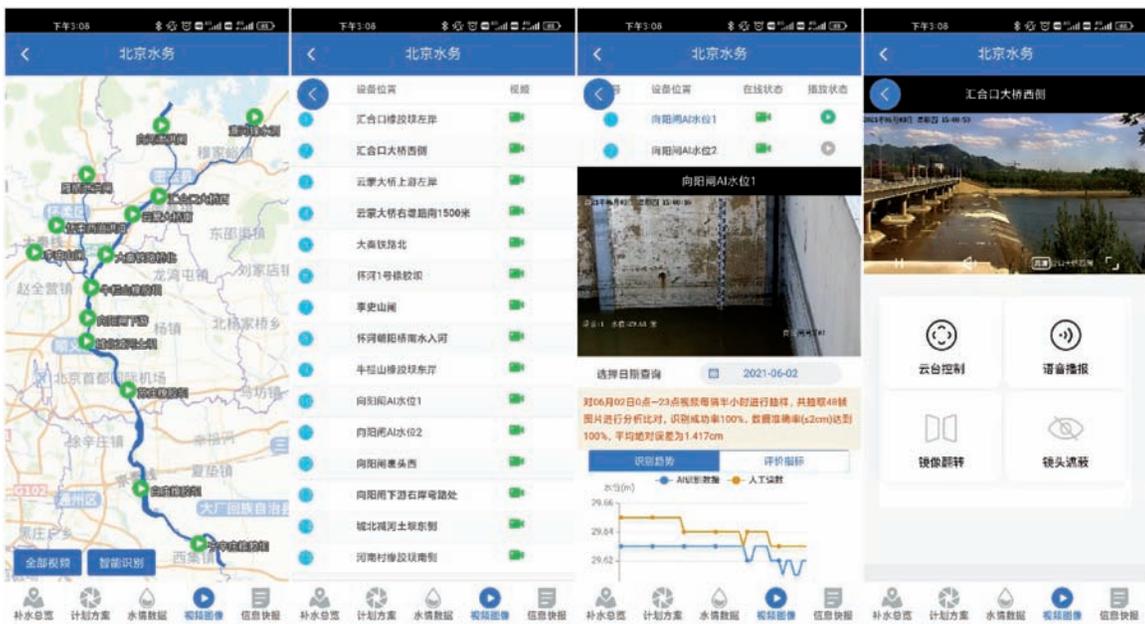


图 4 APP 视频流整合功能示例

当前主要视频流格式分为 hls、flv、rtmp,通过对比后发现,flv 视频流播放时的延迟最低,故在 API 接口中选用 flv 格式视频流,前端页面通过 flv.js 组件实现视频的播放和控制。flv.js 是 HTML5 Flash 视频 (FLV) 播放器,工作原理是将 FLV 文件流转换为 ISO BMFF(分段 MP4) 片段,然后通过媒体源扩展 API 将 MP4 片段提供给 HTML5 元素。其特征是具有 H.264 + AAC/MP3 编解码器播放功能的 FLV 容器,支持多部分分段视频播放、低延迟直播流实时流播放,与 Chrome、FireFox、Safari10、IE11 和 Edge 等浏览器都能很好地兼容。通过 npm 下载后,页面按需引用即可,部分代码示例如下:

```

<script src = "flv.min.js" > </script >
<video id = "videoElement" > </video >
<script >
  if ( flvjs.isSupported() ) {
    var videoElement = document.get Element-
    ById( videoElement );
    var flvPlayer = flvjs.createPlayer( {
      type: flv',
      url: http://example.com/flv/video.flv'
    } );
    flvPlayer.attachMediaElement( videoElement );
    flvPlayer.load();
    flvPlayer.play(); }
</script >

```

通过多平台补水视频流的整合应用,潮白河补水 APP 在补水期间共接入来自多家平台的共计 32 路视频图像,全部实现整合后统一入口访问,并且接入了 AI 水位识别视频流,各级用户通过 APP 的视频播放,可随时、直观地掌握补水关键节点的情况。对于部分无视频站点但比较关注的位置,在业务人员提出相关需求后,结合视频快速部署站的架设,通过视频流统一整合后可快速接入平台,补水期间系统视频功能的稳定性、实时性、直观性保障良好,有力地支撑了补水期间实时监控的调度需求。

3.3 多源补水数据异步加载

基于潮白河补水业务的相关需求,需要用最少的页面来展示最丰富、最清晰、最直观的数据内容。因此在信息总览页面需要接入很多数据信息,包括地图点位、节点放水时间、水量、流量、水质 COD 值、水位、补水动态简介等,同时还要实现对应点位的视频图像点选以及水头信息的实时渲染。

对于多源数据接口获取的页面数据,选择合适的页面加载方式显得尤为重要。传统的页面加载方式是同步加载,即分别读取各类数据信息,都读取之后统一生成页面,这样的好处是页面所有内容展示是同步的,缺点是如果有某类数据接口获取比较慢,页面就需要等待其获取完毕后再渲染。考虑到补水 APP 数据来源复杂,部分数据可能获取较慢,不能保证全部数据同时加载完成,因此采用异步加载页面的技术结合 vue.js 的双向绑定技术,可以很好地实现该需求。

异步加载渲染是基于 MVVM 框架的动态绑定技术实现的,见图 5,它有两个方向:一是将模型转化成视图,即将后端传递的数据转化成所看到的页面,实现的方式是数据绑定;二是将视图转化成模型,即将所看到的页面转化成后端的数据,实现的方式是 DOM 事件

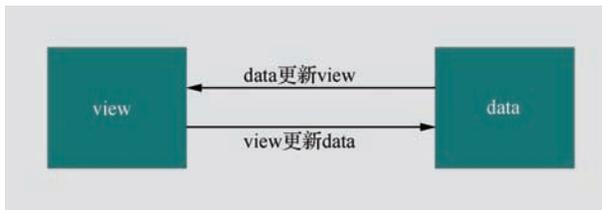


图 5 双向绑定示意图

监听,这两个方向都实现的,称之为数据的双向绑定。

在信息总览页面中,将页面数据根据类别分为不同的数据模块,各模块的接口各自独立,异步执行。对于部分外部共享的数据,待其获取完毕后,再通过动态绑定的方式加载进来,各模块读取后台数据后,通过动态渲染修改本体视图中的数据。对于系统用户来说,访问时不会因为某个接口响应慢而进行等待,优化了用户体验。对于浏览器而言,也免去了页面的多次重载和阻塞,大幅提高了页面加载速度。

4 运行成果

潮白河补水 APP 是北京水务补水调度以来第一次结合补水调度数据、实时监测数据、在线视频流数据、互联网爬取数据等多源异构数据融合,形成的多形式、多角度、多功能的补水调度移动系统。系统自运行以来表现稳定,服务了众多补水业务工作人员,用户反映良好。在潮白河生态补水期间,借助移动端 APP 高便携性和应用轻便等特点,结合 AI 视频智能识别的高效水情信息获取,以更便捷、更直观的方式服务于生态补水各相关单位,为潮白河生态补水工作的调度和决策提供了重要支撑。

5 结 语

潮白河补水 APP 的项目建设提高了潮白河生态补水的工作效率,节省了人力和行政经费支出。通过辅助用户决策,提升生态补水管理精细化水平,减少人民的经济损失。搭建了架构合理、功能完善、标准化、集约化、可扩展的潮白河生态补水信息服务平台,有效避免了系统的重复建设和投资。项目中新技术的应用也获得了良好成效,为后续水务信息化更好地支撑业务工作打下了基础。◆

参考文献

- [1] 黄悦深. 基于 HTML5 的移动 WebApp 开发[J]. 图书馆杂志, 2014(7): 72-77.
- [2] 张小娟, 唐锚, 刘梅, 等. 北京市智慧水务建设构想[J]. 水利信息化, 2014(1): 64-68.
- [3] 张涛, 黄锐, 王妍. 智慧视角下的永定河综合治理与生态修复顶层设计[J]. 水资源开发与管理, (下转第 74 页)

淮安清江浦区“水美乡村”试点建设 分析与思考

赵志豪 王冠依

(江苏致远工程勘测设计有限公司,江苏 淮安 223001)

【摘要】 本文以淮安清江浦区“水美乡村”试点建设为例,通过分析新时期水美乡村建设的机遇与挑战,以及农村水系目前存在的普遍问题,阐述了水美乡村的主要建设方向和拟建设成效,对加快水美乡村建设在全国范围的推广、助力乡村振兴战略实施都具有重要的指导作用和借鉴意义。

【关键词】 水美乡村;乡村振兴;机遇与挑战;淮安市

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)04-080-05

Analysis and thinking on the pilot construction of “beautiful countryside with water” in Qingjiangpu District of Huai'an

ZHAO Zhihao, WANG Guanyi

(Jiangsu Zhiyuan Engineering Survey and Design Co., Ltd., Huai'an 223001, China)

Abstract: Taking the pilot construction of “Shuimei Village” in Qingjiangpu District of Huai'an as an example, by analyzing the opportunities and challenges of Shuimei Village construction in the new period, as well as the common problems existing in rural water system at present. This paper expounds the main construction direction and the proposed construction results of Shuimei Village, which has an important guiding role and reference significance for accelerating the nationwide promotion of Shuimei Village construction and assisting the implementation of rural revitalization strategy.

Key words: beautiful countryside with water; rural revitalization; opportunities and challenges; Huaian City

目前,淮安市城乡河湖工程体系的建设不断完善,农村人居环境综合整治也得到明显改善,但对照当前乡村振兴战略的要求,距实现“水美乡村”生态文明建设还存在一定的差距。河道淤积、生态功能弱化、水体污染、生活垃圾处理不当等都是迫切需要解决的问题。因此需要根据当地情况,通过水系连通、河道清障、清淤疏浚、岸坡整治、水源涵养与水土保持、控污截污、河

湖管护、景观人文建设等措施,增强河湖水系连通、改善生态和人居环境,全面推进淮安水美乡村建设。

1 新时期水美乡村建设的机遇与挑战

1.1 乡村振兴战略对优先发展农村的要求

农村水系是农村水环境的重要载体,也是农村发展和改善人居环境密不可分的关键要素,与农村经济

收稿日期: 2021-11-25

作者简介: 赵志豪(1996—),男,助理工程师,主要从事水利规划、水利设计、水环境治理相关工作。

社会发展及农民生活相互依存、息息相关^[1]。农村建设的问题,一直是关系国计民生的根本性问题,党和国家一直努力通过科学合理的手段助力农村建设、农业生产、农民安康,一直为有效保护农业生态环境、充分利用农村自然资源、弘扬优秀农耕文化、营造宜居乡村生活提供保障,这也是新时期奋力开创乡村振兴新局面的迫切需要。

1.2 保障农村水安全和农业生产的新需求

农村水系连通着农业生产、农村生态和农民生活,是农村经济发展的保障,是农村生态环境的载体,也是农村居民构建美丽家园的重要组成部分。保障农村水安全和农业生产的新需求,就需要提升河湖引排功能,加快洪涝水汇集外排,保障行洪畅通,增强农村应对水灾害的风险管控能力,增加河湖水交换,提高水资源配置能力,提升农村供水、农业灌溉用水保障水平,强化水源涵养与水土保持,构筑生态安全屏障,打造美丽乡村。

1.3 推进生态文明建设,要求提升水环境质量

淮安市生态文明建设规划则提出要通过清淤疏浚、引河调水等措施,提高水系自净能力和水环境容量,提升水环境质量。在省市生态河湖行动方案中,对农村水系治理也提出了明确要求,其中淮安市生态河湖行动方案中也表明要健全农村河道轮浚机制,以“河畅、水清、岸绿、景美”为目标,积极推进水美乡村建设。农村水系治理中贯彻生态文明理念已然成为当下水环境质量提升的必然趋势。

1.4 改善农村人居环境,要求维护河流基本生态功能

农村人居环境整治是广大农民群众最关心的现实问题,而农村水系综合整治是提升农村人居环境、建设水美乡村的重要抓手。维护农村河流基本生态功能,保持健康的农村水系是体现农村人居环境的重要元素和控制因素,是建设美丽宜居乡村的重要组成和基础保障,是全面建成小康社会、实施乡村振兴战略的重点任务。新时期“水美乡村”建设,应当秉持人水和谐、绿色发展理念,加强农村水系综合整治,构建连通绿

廊,注重生态涵养,强化水生态修复,维护河湖生态健康,为农村人居环境整治提供保障^[2]。

1.5 河长制对农村河道管护提出了新要求

自全面实施河长制以来,为因地制宜做好河湖管理保护工作,全国各城区已逐步建成区、乡、村3级河长工作机制,而农村河道治理紧密围绕切合河长制制定的相关内容,与河长制的总体要求、主要任务、治理目标、保障措施等方面高度一致,是推行河长制工作的具体举措,是水美乡村建设的基本保障。

2 农村水系存在的普遍问题

a. 河道淤积,灌排功能退化。一些农村河道因常年无人打理,河内水生植物密集,使河流流动能力变差,有的河面甚至全部被覆盖,灌排功能退化,严重影响农业灌溉。有的河堤上存在被随意开垦、取土的现象,且河堤、河坡内倾倒垃圾现象时有发生。有些坡耕地水土流失较为严重,造成河道淤塞,导致河道的灌排功能退化甚至丧失。

b. 部分河段水系割裂,水体流动性差。农村部分河道的河段由于地形地势、来水量、障碍物等影响,可能造成水系连通不畅、流动性差,加之水利工程老旧失修或设计理念不符合现代农业发展,进而引发河道自净能力降低、水环境承载能力不足、水功能受限、洪涝宣泄障碍等问题。

c. 水质较差,河道生态功能退化。随着农村经济快速发展与农业河道管理意识落后之间的矛盾突显,农村河流的水量 and 水质都出现了问题。部分河道生态用水完全取决于降水的补充,导致河道流动性差,水路不活,与外界无法交换,进而水质变脏、变臭。同时,农村生活废污水偷排入河、农业生产大量化肥农药的流失,都进一步造成了水环境的破坏、水体富营养化,极大地影响了河流生态系统与人民居住体验与健康。

d. 农业生活污水、垃圾处理不当。县城区附近及镇区等人口居住相对集中区域,生活垃圾处理能力不足,存在垃圾直接倾倒入河的现象,且农村居民对于废污水处理和垃圾分类无意识,缺少外界指导和自我认

知。这些行为均造成了农村生态环境的恶化以及农村河道不可逆的破坏,从而直接影响了农村的经济发展,威胁到农业生态系统平衡与人畜健康。

3 水美乡村主要建设方向

3.1 水系连通

淮安市作为“中国运河之都”,古淮河、里运河、大运河、淮河入海水道四水穿城,也是大运河全线水系最为复杂的段落。大小水系连通对于城镇发展、河网生态、水文化保护等都具有至关重要的作用^[3]。为贯彻落实乡村振兴战略,淮安市突出“一廊八片多网”的治理布局,“一廊”指二河生态廊道;“八片”指8个水美乡村片区;“多网”指以柴米河、永济河为主线,其他县乡河道为支线的多个水系连通及生态河道网格。实施全区水系连通,拟拆建水系连通建筑物4座,建设水系连通及生态河道网格40条,总长约174.2km,全面推进清江浦区水美乡村建设。

3.2 河道清障

当河道内生长有树木(护堤岸林除外)、芦苇或高秆作物,杂草丛生时,会影响河道行洪安全。因此,对于河道河面窄小,存在壅水、阻水和危及安全泄洪的桥梁、围堤、围墙、杂草及弃置的垃圾、泥土等的河段,需要及时河道清障。淮安市清江浦区在主要河道沿线集中开展清“四乱”专项行动、“两违三乱”整治,主要包括清除农户临时用房、建筑垃圾、侵占河道泥土、芦苇杂草等,并妥善处置清除的废弃物及垃圾,加强部门协调联动,形成工作合力,逐步退还农村河道生态空间,恢复水系连通。规划清障面积30.9万m²,清理侵占河湖、岸坡废弃物61890m³。

3.3 清淤疏浚

清淤疏浚也是河道整治与活水畅流的关键^[4]。一方面,一些农村河道岸堤(土堤)在受雨水冲刷后,土体易被降雨径流带入河道,造成岸堤破坏、河道淤积。另一方面,由于基础设施建设等因素,造成局部河堤的生态破坏,从而产生水土流失,加速河道淤积。目前全

国都在大力开展河道清淤工作,并结合河道淤积实际情况确定了不同河道清淤标准,根据现状河口宽度确定疏浚底宽,以使清淤后的河道坡降保持自然、平顺,河线保持顺直。但清淤后会产生大量淤泥,需要进行合理的脱水减量处理并对淤泥进行资源化利用,例如农业或园林堆肥利用、土地利用、用作建筑材料等,既减少了环境的污染,又产生了一定的经济效益。

3.4 岸坡整治

加强河道岸坡生态整治,使河道水资源承载力大幅提高,充分发挥河道的防涝泄洪作用,并建立良好的河流自然生态环境^[5]。河道岸坡生态系统是水美乡村建设中“水美”的基本保障,各地应结合区域规划、地理人文、生态健康、经济发展等因素,落实岸坡整治工作,维护河岸生态可持续发展^[6]。淮安市清江浦区以“绿色堤岸”为设计理念,将传统意义上的堤岸线进行生态化处理,自然河岸采用可渗透性护岸,并因地制宜选择岸坡形式,通过“隐形”与周边环境地形相融合,形成统一、美观、丰富有趣的绿色堤岸线。同时与乡镇规划和中心镇、中心村、美丽乡村、特色小镇等建设相结合,选择适宜河段建设岸坡示范段,为群众提供便利和休闲娱乐场所,形成县乡生态河道综合整治亮点,展现乡村郊野绿色生态之美。

3.5 水源涵养与水土保持

在城镇建设大力发展的今天,更需要加强河湖周边水源涵养林建设,对城镇饮用水水源地进行修复保护,增加生态公益林保护面积,提升河岸生态保护带、隔离带的景观绿化效果,提升对降水的拦蓄和对水质的净化,增强其涵养水源的功能,从而对水土流失进行有效的防治^[7]。淮安地势低平,区内水网稠密,水土流失类型以水力侵蚀为主,所以河岸带的水土保持工作显得尤为重要。河道重点段、村庄风光段河岸带净水植物多选用适应气候环境的本地水生、低秆植物,以期用较低的投入获得最优的经济、社会、环境效益。

3.6 防污控污

随着社会越来越重视河道污染治理,城镇工厂企

业产生的污水和垃圾基本得到有效治理。但目前农业生产过程中产生的面源污染及农村生活污水和生活垃圾未能得到有效治理,使得农村河道污染比较严重。因此,在水系连通及水美乡村建设工程基础上做好河道沿线周边村庄的防污控污措施迫在眉睫。④面源污染可通过源头控制,如科学施肥、深施、节水灌溉、合理用药等非工程措施来减少农药化肥进入沟渠水系,也可通过田间净化沟渠、生态拦截沟、生态田埂等工程措施来拦截农田径流污染物,防止氮磷养分进入水体导致富营养化;⑤农村生活垃圾按规范进行分类、收集,并合理布置分类垃圾桶,淮安采用户分类、村收集、镇运输、市处理的运作模式,以70m为半径设置覆盖村庄的分类回收点;⑥对生活污水则在项目村庄范围内实施截污纳管和污水处理系统工程,包括公厕改造、生活污水管线和污水处理系统工程。

3.7 河道管护

科学的河道管护制度,是保障河道生态系统健康,实现绿色发展与水资源优化配置的根本保障^[8]。但这是一项需要社会各部门各机构联合发力的工作,仅仅依靠单一部门很难发挥效果,但多部门工作又很难协调。淮安市积极落实“双河长制”的河道管护理念,建立了区、乡镇、村3级水利工程建后管理服务体系。村民委员会是河道管护的责任主体,他们结合当地实际情况,有针对性地制定管护细则、筹集经费,同时,通过宣传和制度保障,充分调动村民主动参与河道管护的积极性。此外,在信息化高速发展的时代,还应结合智慧水利和智慧农业建设,实现河道管护的数字化、智能化和可视化,全面推进农业现代化管理和自动化检测诊断,提高河道管护的有效性和高效性。

3.8 景观人文

河道景观是水美乡村的亮点工作,人水和谐、水文化建设是水美乡村的精神引领。特色景观的建设不仅要河道水域本身进行考察,还需要结合当地规划与人文,从适宜性、亲水性、自然性和文化性等多方面考虑。文化的融入,需要结合当地的人文特征和历史发

展,挖掘能启发群众对河流治理产生向好感觉的精神,才能更好地体现幸福河湖、水美乡村的内涵,这也是水文化的真正魅力所在。作为中国运河之都,淮安有独特的水文化,其水美乡村建设可借此定位,制定不同的特色景观设计方案。

4 拟建设成效

水美乡村建设力争通过工程和非工程措施,保障完善的水系连通格局,恢复河道基本功能,修复河道生态空间,改善河道水环境质量,保护区域生态多样性,实现水美长效管护。

a. 恢复河道基本功能。通过水系连通、清淤疏浚、岸坡整治等措施,提高农村河道防洪、排涝能力,恢复农村河道供水、灌溉功能,使农村河道防洪、排涝、灌溉、供水、生态等功能得到全面恢复,实现连通有序、活水畅流、河湖健康。

b. 修复河道生态空间。通过岸坡整治、河道清障、清“四乱”“两违三乱”、河道管护等措施,解决河道堵塞、植被破坏、滨岸带破坏等突出问题,实现河湖岸线完整、岸坡稳定整洁、生物多样性、景观多元性,全面保障河流生态系统服务功能。

c. 改善河道水环境质量。水环境是生活生产的必备资源,其质量保障是安居乐业的必要前提。通过水系连通、河道清障、清淤疏浚、水源涵养、水土保持及水美乡村建设等措施,解决水脏、水浑、水流不畅等问题,有效改善农村河湖水环境,明显提升河湖生态服务价值,显著提高农村人居环境。

d. 保护区域生物多样性。水生动植物的生长繁殖与光照、裸露及淹水时间、水位变幅及速率等因素密切相关。虽然不同的生物具有不同的喜好和特性,但从影响物种多样性的角度出发,水质、水量和水位波动是最关键的水文控制因子。“水美乡村”建设对河道生态功能的提升,将明显提高水域生态系统的水体质量,促进河流生态系统物种多样性,提高农业生态系统生产力,提升农村居民生活环境质量。

e. 实现河流水美长效管护。通过河道管护机构

的建立,健全完善管理体制。“官方河长”通过调度各职能部门,实现河湖管理与治理效益最大化,“民间河长”可吸纳更多的民间力量来参与到河流的治理当中,提高公众的环保意识和主动参与意识,真正提高治水效率,并通过现代化科技手段提升管理水平,形成长久高效的管护体系。

5 结 语

水美乡村建设是一项立足于农村水环境治理的综合性、系统性工程,新时代乡村振兴战略、生态文明建设、保障农村水安全、改善农村人居环境、落实农村河长制等指导思想的提出,均对“水美乡村”的发展带来了机遇与挑战。水美乡村需要通过连通水系、清障河道、清淤疏浚、整治岸坡、涵养水源、水土保持、防污控污、河道管护以及人文景观设计等对其进行全方位建设与提升,力争通过工程和非工程措施,保障完善的水系连通格局,恢复河道基本功能,改善河道水环境质量,保护区域生态多样性,实现河道水美长效管护,推

进社会主义新农村建设。◆

参考文献

(上接第70页)浚深度尽可能达到2.5m。◆

参考文献

[1] 姚俊,曾祥福,益建芳. 遥感技术在上海苏州河水污染监测中的应用[J]. 影像技术,2003(2):3-7.

[2] 徐祖信. 上海城市水环境质量改善历程与面临的调整[J]. 环境污染与防治,2009,31(12):9-11.

[3] 张广强,张明旭,韩中豪. 苏州河近20年水质状况研究[J]. 中国环境监测,2009,25(2):39-43.

[4] 赵健,郑祥民,毕春娟,等. 苏州河市郊段底泥重金属污染特征及对河道疏浚的影响[J]. 农业环境保护,2001,20(1):27-30.

[5] 来彦伟. 苏州河底泥污染状况及其治理对策[J]. 上海师范大学学报(自然科学版),2000(2):85-92.

[6] 周立旻,郑祥民,殷效玲. 苏州河沉积物中重金属的污染特征及其评价[J]. 环境化学,2008,27(2):269-270.

[7] 夏德祥,张锦平. 苏州河底泥中重金属的形态分布调查[J]. 上海环境科学,2003(Z1):66-67.

[8] L. HAKANSON. An ecological risk index for aquatic pollution control-A sedimentological approach[J]. Water research,

[1] 李原园,杨晓茹,黄火键,等. 乡村振兴视角下农村水系综合整治思路与对策研究[J]. 中国水利,2019(9):29-32.

[2] 于法稳,侯效敏,郝信波. 新时代农村人居环境整治的现状与对策[J]. 郑州大学学报(哲学社会科学版),2018,51(3):64-68.

[3] 王园欣,左其亭. 我国新时期水利改革发展战略思想与趋势分析[J]. 水利发展研究,2013,13(12):7.

[4] 吴华岗. 浅析上海地区中小河道淤积成因、周期和深度以及防治措施[J]. 水资源开发与管理,2020(6):43-46.

[5] 耿琳. 城镇河道岸坡生态整治的几点思考[J]. 中国新技术新产品,2018(17):113-114.

[6] 朱云仓. 生态护坡技术在河道治理工程中的应用[J]. 水利建设与管理,2021(4):60-65.

[7] 江有成,高庆国. 玛纳斯河河谷水源地保护区技术划分方案分析[J]. 水资源开发与管理,2020(8):1-4.

[8] 裴利计. 水利工程河道治理存在的问题及管理对策[J]. 水电水利,2020,4(4):99-100.

1980,14:975-1001.

[9] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

[10] 周立旻,郑祥民,殷效玲. 苏州河上海段底泥重金属的污染特征[J]. 城市环境与城市生态,2008(2):1-5.

[11] 匡帅,保琦蓓,康得军,等. 典型小型水库表层沉积物重金属分布特征及生态风险[J]. 湖泊科学,2018,30(2):336-348.

[12] R GARCIA,I MAIZ,E MILLAN. Heavy metal contamination analysis of roadsoils and grasses from Gipuzkoa (Spain)[J]. Environmental technology letters,1996,17(7):763-770.

[13] 张翠,陈振楼,毕春娟,等. 黄浦江上游饮用水源地水及沉积物中汞、砷的分布特征[J]. 环境科学学报,2008(7):1455-1462.

[14] 方明,吴友军,刘红,等. 长江口沉积物重金属的分布、来源及潜在生态风险评价[J]. 环境科学学报,2013,33(2):563-569.

[15] 许世远,陈振楼,于立中,等. 苏州河底泥污染与整治[M]. 北京:科学出版社,2003.