水资源开发与管理

Shuiziyuan Kaifa Yu Guanli

（月刊）

2015 年创刊

2022 年第 8 卷第 5 期

总第 76 期

出版日期：2022 年 5 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　MO9525
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5期

水资源管理

1　水影响评价改革实践研究与工作建议　孙瑞刚　李连香　孔　刚
5　湖北省汉江中下游用水需求研究　马　全　刘照群　常景坤
10　澧水流域山溪性河流生态基流的计算与分析　舒薇薇　高　耶　侯婷娟
16　洞庭湖断流区育乐垸生态需水量研究　徐幸仪　何怀光　袁艳梅
22　泰州市水资源利用与经济发展协调分析　崔冬梅

节水专栏

29　节水型高校建设的实践探索　张海龙
33　叶集区节水工程建设现状与节水改进措施　徐祥友

水生态保护

37　上海市水生态环境控制单元划分的实践与思考　黄　蓉　卢志华　卢士强
43　喀什噶尔河流域灌区土壤盐分空间变异性及影响因素分析　王友年
53　浅析清（雨）污分流在水环境治理中的实践　曾颖委
57　上海自来水厂泥渣处置方式的研究探索　于大海

水文

64　加权马尔可夫链阶数对湖北省年降雨量预测精度的影响研究　周安琪　高　松　喻　丹
72　松花江流域干旱规律研究　原秀红
77　康乐县降水量时空分布及变化特性研究　王晓勇

水市场

82　推进昭鲁灌区农业水价综合改革的思考　　崔汝静

公益：广告

封一　秋日不冻河（摄影：梁树峰）

封二　《公民节约用水规范》

封三　节水专栏、水利乡村振兴专栏征稿函

封底　自由出行 空气因你而新鲜

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

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。

CONTENTS
WATER RESOURCES DEVELOPMENT AND MANAGEMENT
Vol.8 NO.5 2022

Water Resources Management

1 Practice research and suggestions on water impact assessment reform
SUN Ruigang, LI Lianxiang, KONG Gang

5 Study on water demand of the middle and lower reaches of Hanjiang River in Hubei Province
MA Quan, LIU Zhaoqun, CHANG Jingkun

10 Calculation and analysis of ecological base flow of rivers in Lishui River basin
SHU Weiwei, GAO Ye, HOU Tingjuan

16 Study on ecological water demand of embankment in Yule Embankment of Dongting Lake cut-off area
XU Xingyi, HE Huaiguang, YUAN Yanmei

22 Coordinated analysis of water resources utilization and economic development in Taizhou City CUI Dongmei

Water-Saving Special Column

29 Practical exploration of water-saving construction in colleges and universities ZHANG Hailong

33 Present situation of water-saving project construction in Yeji District and water-saving improvement measures suggestion XU Xiangyou

Water Ecological Protection

37 Practice and thoughts on water ecological environment zoning control unit in Shanghai
HUANG Rong, LU Zhihua, LU Shiqiang

43 Spatial variability of soil salinity and its influencing factors in irrigation area of Kashgar River basin
WANG Younian

53 Analysis on the practice of clean (rain) sewage diversion in water environment treatment ZENG Yingwei

57 A study and exploration of waste residue mangement methods in Shanghai waterworks YU Dahai

Hydrology

64 Study on the influence of weighted Markov Chain order on the prediction accuracy of annual rainfall in Hubei Province ZHOU Anqi, GAO Song, YU Dan

72 Study on drought law of Songhua River basin YUAN Xiuhong

77 Study on temporal and spatial distribution and variation characteristics of precipitation in Kangle County
WANG Xiaoyong

Water Market

82 Thoughts on promoting comprehensive reform of agricultural water price in Zhaolu irrigation area CUI Rujing

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.01

水影响评价改革实践研究与工作建议

孙瑞刚[1]　李连香[2]　孔　刚[3]

（1. 中国南水北调集团有限公司，北京　100097；
2. 中国灌溉排水发展中心，北京　100054；
3. 北京市水务局政务服务中心，北京　100161）

【摘　要】 本文从法律要求、事项设定、管理体系三个维度对水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价进行阐述，通过北京市水影响评价的实践论述了三者融合的改革举措。同时，分析了水影响评价在实现综合管控、制度改革、职能转变等方面的重要作用，并从立法固化、扩大范围、综合监管等角度出发提出了相关建议。

【关键词】 水资源论证；水土保持方案；洪水影响评价；审批制度改革；北京市

中图分类号：TV213.4　　**文献标志码：B**　　**文章编号：2096-0131(2022)05-001-04**

Practice research and suggestions on water impact assessment reform

SUN Ruigang[1], LI Lianxiang[2], KONG Gang[3]

(1. *China South-to-North Water Diversion Corporation Limited*, *Beijing* 100097, *China*;
2. *China Irrigation and Drainage Development Center*, *Beijing* 100054, *China*;
3. *Beijing Water Authority Government Affairs Service Center*, *Beijing* 100161, *China*)

Abstract: This paper expounds the demonstration of water resources, water and soil conservation scheme and flood impact assessment from three dimensions: legal requirements, item setting and management system. Through the practice of water impact assessment in Beijing, it discusses the reform measures of the integration of the three. At the same time, it analyzes the important role of water impact assessment in realizing comprehensive management and control, system reform, function transformation, etc., and puts forward relevant suggestions from the perspectives of legislation solidification, scope expansion, comprehensive supervision, etc.

Key words: demonstration of water resources; soil and water conservation plan; flood impact assessment; reform of examination and approval system; Beijing City

近年来，各级水利部门高度重视“放管服”改革、营商环境工作，坚持以便民生、强监管、优审批为工作指导，通过精简事项、压减材料、优化流程等多种举措，促进了国民经济快速发展，推进建设项目及早开工。

本文以北京市水影响评价改革的实践情况为研究对象，系统分析水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价的框架体系，深入论述事项改革举措和改革成效，并提出了改善建议。

收稿日期：2022-02-01

作者简介：孙瑞刚（1988—），男，硕士，主要从事水利行业政策研究、水利工程建设管理等工作。

1 制度框架

伴随着我国改革开放经济社会快速发展，审批作为政府部门参与社会管理的重要手段，在约束引导社会经济活动中大量涌现，并起到了至关重要的作用[1]。水行政主管部门为公平、高效地管理自然资源，积极稳妥保障经济社会安全，相继构建了水资源、水土保持、洪水影响等行政许可制度。

1.1 法律要求

《中华人民共和国水法》对水资源的权属进行了明确，并提出了取水许可和有偿使用制度。直接从江河、湖泊或者地下取用水资源的单位和个人，应进行水资源论证、申请领取取水可证、缴纳水资源税，以获得取水权。

《中华人民共和国水土保持法》从保护、合理利用水土资源出发，对可能造成水土流失的生产建设项目，构建了水土保持方案编制、审批、验收制度。

《中华人民共和国防洪法》明确了洪泛区、蓄滞洪区范围，对区域内的非防洪建设项目，提出了洪水影响评价要求，推行了严格的准入制度。

1.2 事项设定

为全面做好国家水土资源管理保护，贯彻落实《中华人民共和国水法》《中华人民共和国水土保持法》《中华人民共和国防洪法》等要求，给办事企业群众提供方便快捷路径，水行政主管部门依法设立了相关事项，包括：取水许可（水资源论证）、生产建设项目水土保持方案审批、非防洪建设项目洪水影响评价报告审批。

同时，向社会公开了事项的类型、办理流程、申请材料、申请人权利和义务等，按照能放尽放、属地办理的原则划分了职权范围。编制出台技术性导则、标准、规范，明确项目安全生产分析论证内容，给事项办理提供了明确指引。

1.3 管理体系

按照全生命周期闭环管理原则，对于水资源、水土保持、洪水影响等行政审批事项，有针对性地构建了许可证监控管理、监测验收机制、动态跟踪检查等工作体系，有效确保了事项审查内容全面落地生效。

取水许可（水资源论证）推行过程实时监督管理，许可证的有效期为5年，如需延续或变更，可按照程序进行办理；水土保持推行项目定期监测上报工作机制，相关设施实行单独验收程序；在洪泛区或蓄滞洪区建设非防洪建设项目的，建设单位要配合属地水行政主管部门建立信息共享机制，并且汛期要接受统一调度指挥。

2 改革举措

为了持续优化水利营商环境，深入践行“放管服”改革要求，北京等地先后实行水影响评价改革，融合水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价三个事项为水影响评价审查，极大地推动了事项、时间、材料、环节等精简工作[2-4]。

2.1 推行事项融合

北京市在全国范围内首次提出合并水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价一并办理，并将事项作为项目准入的必要条件，实现了水资源、水环境、水空间的严格管控。

围绕最大程度方便办事企业群众的核心目标，融合三个事项的技术审查、专家评审环节一次办理，构建专门的审查队伍、工作机制；大幅融合压减事项申报材料、分析论证文件，综合国家技术、标准、规范出台水影响评价编制指南；统筹优化事项审查过程，大幅压减办理时限，有力地支撑了建设项目快速办理前期手续、快速开工。

2.2 探索规划管控

为进一步提高水要素对国土空间规划的约束引导和服务保障作用，在控制性详细规划、土地开发利用、地块项目规划阶段，北京水行政主管部门与自然资源部门创造性地建立协同审查工作机制，实现具体项目、事务管理逐渐向规划引领、宏观调控转变，为规划水资

源论证、水土保持区域评估、洪水影响大尺度分析提供了有益探索[5]。

规划层面水影响评价，是结合整个街区、地块的规划实施，从水资源、水环境、水生态、水安全出发，分析、预测、评估不同方面影响，提出预防或者减轻的对策、措施，明确水要素指标的管控、服务保障要求，促进区域、地块规划建设与水要素相协调。统筹规划前瞻性与可实施性，科学合理确定水要素约束、服务和指导性指标，与城市规划形成互动、传导、分解机制，可作为行业精细化管理的重要抓手。

2.3 优化审查制度

2.3.1 构建项目分级、分类管理体系

按照年取（用）水量、征占地面积、挖填土石方量等量级大小以及是否涉及洪泛区、蓄滞洪区等关键性因素，将建设项目分析论证文件依次划分为报告书、报告表、登记表，对于水土安全影响小的项目实行报告表、登记表管理，精简论证过程，其中登记表实行备案制度，接件即办。

根据建设项目的基本特点及其实施内容，结合其对水土安全的影响，细分为房屋建设、交通及其附属设施、公共服务、农林及生态环境四类项目。针对项目类型、特点，区别性提出水影响评价分析论证的内容及指标管控要求，按类别出台编制指南文件。

2.3.2 推行规划管控后项目告知承诺

在规划层面已经进行过水影响评价的街区、地块，在取得水行政主管部门意见后，区域范围内的多数项目在办理水影响评价手续时实行告知承诺制办理，接件即办。水行政主管部门公布告知水影响评价的法规文件、办理要求、监管措施、未履约惩戒等，申请人承诺具备办理条件、能够履行承诺，双方签订告知承诺书即完成事项办理。

2.3.3 探索融合水要素综合管控要求

水影响评价在统筹综合水资源、水土保持、洪水影响等内容的基础上，结合水利行业城市管控的着力点，对节水评价、水生态空间、市政配套基础设施均提出了建设性意见，实现了水行政主管部门对项目的综合性审查，有效保障了项目安全实施、城市合理化开发，深入践行了“以水四定”的发展理念。

3 成效分析

目前，北京市水影响评价改革举措已进入平稳运行阶段，水影响评价制度逐渐体现出以下三方面改革效果。

3.1 有力地实现管控目标

面对首都水资源天然禀赋条件不足和人民日益增长美好生活需要的紧张形势，水影响评价融合水资源、水土保持、洪水影响等事项作为水行政主管部门参与城市发展、管控项目准入的重要手段，有效地发挥了行业刚性约束和促进均衡发展的作用，实现了在规划、建设阶段对水资源、水环境、水生态、水安全等影响进行分析、预测、评估的机制，深入践行了“以水四定”的发展理念。

3.2 深入地践行改革要求

融合多个事项一次办理，合并精简申报材料，推行分类分级管理及登记备案制度，试行规划管控后项目告知承诺等举措，大幅精简了事项审查时间、提升了审批效能，从根本上起到了为企业减负的效果，深入践行了“四扇门”审批制度改革要求，营造了“审批有速度、服务有温度、群众企业得到便利度”的水利营商环境。

3.3 积极地探索职能转变

规划阶段严格管控，项目层面有序精简，公开共享区域行业管控指标，有效地推动了水行政主管部门管理制度改革，实现变“单个项目把关”为“规划总体把关”、变“重事前审批”为“重事中事后监管”、变“企业购买服务”为“政府推送服务”，促进水行政主管部门参与社会管理方式的转变。

4 建 议

经过多年的改革实践，水影响评价构建了完善的制度体系，并在全国多地得到了有效的实践，获得了办

事企业群众的广泛认可。鉴于多个许可事项融合涉及面广、影响因素复杂,建议从立法支撑、深度融合、统筹监管等方面,进一步研究完善。

4.1 积极争取立法支撑

《中华人民共和国水法》《中华人民共和国水土保持法》《中华人民共和国防洪法》等法律为水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价构建了明确的许可事项架构。通过深入融合、积极创新,水影响评价有效地实践了水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价的审查要求,并且形成了较为成熟的制度体系,有效地在多个地方进行了实践,得到了办事群众对水利行业审批制度改革的广泛认可。建议在后续国家、地方立法工作中,统筹《中华人民共和国行政许可法》等相关要求,以法规的形式对水影响评价制度进行固化。

4.2 扩大事项融合力度

经过综合分析涉水行政许可事项的关联程度、办理阶段、申报材料等,水影响评价对水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价进行了融合,构建了办多件事进一次门的改革成效。建议各级水行政主管部门在总结水影响评价事项融合经验的基础上,进一步扩宽事项统筹融合的范围,综合考虑河道管理范围内建设项目工程建设方案审批等与建设项目相关事项的融合方案[6],各地亦可结合实际,推进地方法规设定独有事项的融合工作。

4.3 构建综合监管模式

行政许可事项的融合给行业监管提供了更为便捷的实现路径,综合性监管模式更有利于加强监管力度、提升监管覆盖范围。伴随"放管服"改革向纵深发展,减少对建设项目运行管理过程中的打扰也成为营商环境考量的重要指标,组建水行政主管部门的综合监管执法队伍,统筹构建一次检查、全面覆盖、综合执法的监管制度,更有利提升人民群众满意度、促进经济社会快速发展。

5 结 语

水资源论证、水土保持方案、洪水影响评价是水行政主管部门引导和规范经济社会活动科学、合理发展,参与城市规划建设,实现"以水四定"的重要抓手,在法律要求、事项设定、管理体系等方面构建了完善的管理体系。

北京市探索实行水影响评价制度,有效地融合了三者的分析论证要求,实现了在规划大尺度上的约束引导和服务保障,创建了事项体系,试行了告知承诺,扩展了事项管控要求。水影响评价发挥了刚性约束和均衡发展的作用,精简了事项审查时间、提升了审批效能,促进参与社会管理方式转变,形成了较好的探索实践。

为不断巩固提升水影响评价改革成果,建议国家、地方在立法过程中固化水影响评价制度,统筹扩大评价融合的事项范围,着手构建综合监管模式,促进新阶段水利高质量发展。

参考文献

[1] 张康之. 行政审批制度改革:政府从管制走向服务[J]. 理论与改革,2003(6):4.

[2] 柴增凯,骆进军. 非防洪建设项目洪水影响评价审批制度改革实践与思考[J]. 中国水利,2018(3):4.

[3] 李其军. 北京市建设项目水影响评价可持续发展措施分析[J]. 北京水务,2014(4):3.

[4] 刘大根,宁满江. 北京市推行水影响评价审查制度的创新实践及若干建议[J]. 水利发展研究,2014,14(10):31-34.

[5] 蔡莉丽. 厦门:"多规合一"建设项目审批改革从流程再造到制度创新[J]. 建筑,2019(8):34-37.

[6] 王显生. 浅谈河湖管理范围内涉河建设项目审批改革[J]. 治淮,2017(6):42-43.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.02

湖北省汉江中下游用水需求研究

马　全　刘照群　常景坤

（湖北省水利水电规划勘测设计院，湖北 武汉　430070）

【摘　要】 湖北省汉江流域是南水北调中线工程的核心水源区和重要影响区，自南水北调中线工程建成通水以来，北方受水区对北调水的依赖程度不断增加，汉江中下游河道内外用水矛盾日渐凸显。本文以湖北省汉江中下游为研究对象，通过水量演算模型，分析了湖北省汉江中下游的用水需求，得出丹江口水库下泄的水量过程，研究结果可为南水北调中线后续工程建设及丹江口水库水量调度提供技术支撑。

【关键词】 汉江中下游；用水需求；丹江口水库；下泄水量

中图分类号：TV213.4　　文献标志码：B　　文章编号：2096-0131(2022)05-005-05

Study on water demand of the middle and lower reaches of Hanjiang River in Hubei Province

MA Quan, LIU Zhaoqun, CHANG Jingkun

(*Hubei Institute of Water Resources Survey and Design*, *Wuhan* 430070, *China*)

Abstract: Hanjiang River basin in Hubei Province is the core water source area and important influence area of the Middle Route Project of South-to-North Water Transfer. With the completion of the Middle Route Project of South-to-North Water Transfer and the increasing dependence on the North Water Transfer, the contradiction between water use inside and outside the middle and lower reaches of Hanjiang River has become increasingly prominent. In this paper, taking the middle and lower reaches of Hanjiang River in Hubei Province as the research object, the water demand of the middle and lower reaches of Hanjiang River in Hubei Province is analyzed through the water calculation model, and it is concluded that the research results of the water discharge amount of Danjiangkou Reservoir can provide technical support for the follow-up project construction of the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project and the water dispatching of Danjiangkou Reservoir.

Key words: the middle and lower reaches of Hanjiang River; water demand; Danjiangkou Reservoir; discharge amount

湖北省汉江流域是南水北调中线工程的核心水源区和重要影响区，汉江中下游是湖北省经济社会发展的核心区。自南水北调中线一期工程建成通水以来，北方受水区对北调水的依赖程度不断增加，汉江流域水资源的开发利用率也在逐年提高，汉江中下游河道内外用水的矛盾日渐凸显。水利部积极推进引江补汉工程，因此，迫切需要提早提出湖北省汉江中下游的用水需求，为南水北调中线后续工程建设提供技术支撑[1]。

收稿日期：2022-02-18

基金项目：国家自然科学地区联合基金(U20A20317)

作者简介：马全(1988—)，男，硕士，工程师，主要从事水利规划设计工作。

1 汉江中下游基本概况

汉江地处我国中原腹地，是长江中游最大的支流，发源于秦岭南麓，干流流经陕西、湖北两省，至武汉龙王庙汇入长江。汉江干流丹江口以上为上游，丹江口至钟祥为中游，钟祥以下为下游。

汉江中下游干流供水区是指从汉江干流和东荆河取水可以供给的城市及灌区范围，大部分位于汉江中下游干流及东荆河两岸，部分供水区范围延伸至府澴河流域。原南水北调中线工程规划汉江中下游干流供水范围2.35万km^2，包括17个城市和15个灌区。考虑到经济社会发展对汉江水资源需求的新要求、局部行政区划调整以及鄂北地区水资源配置工程建设、引江补汉工程实施后部分地区供水新格局，对原供水区进行适当调整，将荆门市汉江以东区域和长山区由汉江中下游干流供水区调整至清泉沟供水区，调整后汉江中下游干流供水区总的供水范围为2.19万km^2。详见图1。

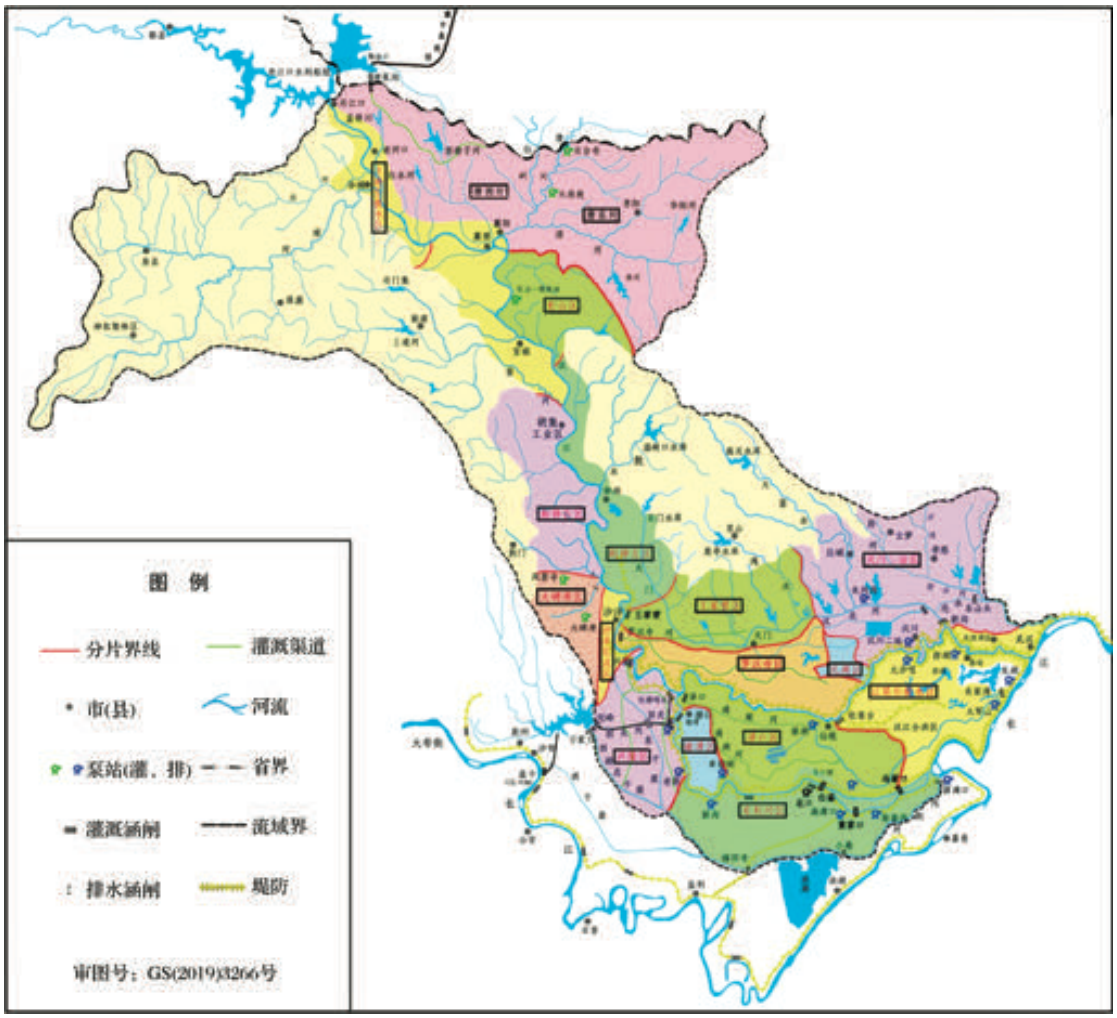

图1 汉江中下游干流供水区分区示意图

《南水北调中线工程规划》确定2030年丹江口水库向清泉沟供水量11.07亿m^3，汉江中下游1956—1998年系列需丹江口水库下泄水量为165.70亿m^3。已实施的鄂北地区水资源配置工程在清泉沟原规划11.07亿m^3供水量基础上，考虑从汉江中下游干流供水区调整2.91亿m^3水量到清泉沟，达到13.98亿m^3，相应汉江中下游干流供水区丹江口下泄水量需调整为162.80亿m^3，延长系列为1956—2018年，汉江中下游

黄家港断面需水量约 163.80 亿 m^3。鄂北地区水资源配置工程建成后,原干流供水区范围内的长山区和荆门汉江以东地区具备了从清泉沟自流引水的条件,考虑将以上区域供水调整至清泉沟。按以供定需的原则,充分利用鄂北工程的富余输水能力,增加清泉沟供水量至 16.80 亿 m^3,较已批复的引水量 13.98 亿 m^3 增加了 2.82 亿 m^3。

而在目前南水北调中线一期工程调水尚未达产的情况下,汉江中下游已出现了一系列的水安全问题,主要表现在:水生态环境脆弱、水华现象频发、时间加长、范围扩大;分流河道生态水量不足、水生态环境恶化,兴隆以下河段河床下切,水位下降远超预期,影响供水和航运安全等[2-8]。此外,近 20 年来,汉江中下游用水结构发生了巨大变化,枯水期河道内、外用水量大幅增加。枯水期为 11 月至次年 4 月,有近 50% 的时段丹江口水库下泄流量为 490.00m^3/s,已不能满足下游用水需要,水资源供需矛盾突出。

2　需求分析

2.1　研究思路

为保障汉江中下游河道外用水和河道内用水需求,需根据汉江河道内外用水,同时考虑区间来水和退水,分析计算汉江中下游 2035 年需丹江口水库下泄水量过程。

对引江济汉工程出口以下河段,汉江河道内、外用水均由引江济汉工程来保证;引江济汉工程出口(兴隆坝下)以上河段河道内、外用水在考虑区间来水和灌区、城市的回归水后,以同时满足河道内、外的需水为目标,分别从兴隆坝下演算至黄家港断面、从皇庄断面演算至黄家港断面、从襄阳断面演算至黄家港断面,最终得到黄家港断面需丹江口水库下泄的水量。

2.2　河道内外用水需求

2.2.1　河道外需水

河道外需水预测按照最严格水资源管理要求进行控制,深入贯彻高质量发展理念,统筹兼顾社会经济各部门发展用水需求,按生活、生产和生态环境需水三大类进行预测[9]。

受益区常住人口 2019—2035 年增长率为 6.2‰,2035 年城镇化率为 75%,2019—2035 年 GDP 增长率为 6.0%。受益区内土地资源利用率较高,考虑到各灌区续建配套和节水改造情况,设计 2035 年灌溉面积为 1226 万亩。在农业、工业、生活等方面均采取节水措施的前提下,汉江中下游 2035 年河道外总需水量为 117.00 亿 m^3。

汉江中下游干流供水区以引提水工程供水为主,少量辅以蓄水工程、地下水和其他供水工程。引提水工程主要以汉江为水源,规模较大的有罗汉寺闸、泽口闸、兴隆闸、谢湾闸、汉川二站、徐鸳口泵站、大碑湾泵站等。地下水以农村安全饮水和工业用水为主。其他供水工程主要为中水回用工程。可供水量仅考虑当地径流供水量。经计算,扣除不合理用水后,汉江中下游当地径流可供水量为 23.20 亿 m^3。

按照河道外需水和供水进行当地供需平衡分析,汉江中下游干流供水区设计水平年河道外多年平均总需水 117.00 亿 m^3,多年平均需引汉江水量 93.80 亿 m^3。

2.2.2　城市河湖及分流河道补水

城市河湖补水重点考虑襄阳、老河口、钟祥、沙洋、潜江等城市湖泊水系,分流河道补水重点考虑天门河、汉北河、通顺河、兴隆河、百里长渠等。

通顺河流域生态需水:根据通顺河河流长度、流向、分叉等情况,选取通顺河河网上有代表性的河流控制断面 9 处,采用《河湖生态环境需水计算规范》(SL/T 712—2021)中的水力学湿周法及生态水力半径法计算河道内基本生态流量,确定通顺河流域各控制断面基本生态流量,结果见表 1。

天门河流域生态需水:根据天门河流域骨干河流长度、流向、发育情况,结合水文监测断面、水功能区控制断面要求等,选取河道上有代表性的河流控制断面 5 处,采用《河湖生态环境需水计算规范》(SL/T 712—2021)的 *Qp* 法、频率曲线法、Tennant 法等水文学方法以及水力学湿周法,计算汉北河河道基本生态流量,确

定天门河各控制断面基本生态流量,结果见表1。

表1 分流河道各控制断面基本生态流量

分流河道	控制断面	基本生态流量/(m^3/s)
通顺河	三伏潭镇	6.44
	袁家口闸	12.37
	通海口镇	4.07
	谢家口	5.32
	通顺河大桥	7.29
	纯良岭	10.79
	黄陵大桥	20.96
	黄林村	2.32
	洪南村	4.77
天门河	黄 潭	15.36
	东罗村	28.95
	净 潭	13.09
	东干渠北	12.04
	东干渠南	7.65

2.2.3 回归水

回归水主要由汉江流域直接汇入汉江干流的各灌区及城市回归水组成。灌区主要考虑上游引提水区、引丹片、长山区、长山供水区、三道河灌区、荆钟左区、荆钟右区、漳河灌区和温峡口灌区的回归水;城市主要考虑宜城市、谷城县、襄阳市、老河口市、丹江口市、钟祥市、沙洋县的回归水。

2.2.4 区间来水

区间来水主要考虑北河、南河、唐白河、莺河、蛮河、熬水、俐河和竹皮河等汉江支流汇入,其他周边小流域均概化到前述支流中。

2.2.5 航运需求

航运为河道内用水,不消耗水量,但需根据航道条件保持一定流量,以维持必要的航深和航宽。以最低通航水深保证率90% ~95%对应的流量作为航运河道内用水基流。根据《汉江干流综合规划》,汉江干流航运控制断面丹江口水库最小下泄流量为490.00m^3/s,泽口以上河段流量不小于500.00m^3/s。

2.2.6 汉江中下游干流河道内生态用水需求

汉江中下游干流河道内生态用水需求主要由4个部分组成,分别为基本生态需求、水功能区水质达标需求、特殊生境保障需求和水华防控需求。

为正常发挥河道各项生态环境功能,以黄家港、襄阳、皇庄、沙洋4个水文站断面为控制断面,采用Tennant法、RVA法、基于水功能区水质达标的数值模拟法、考虑生态调度的水量平衡法、基于水华防控的流量观察法和水文拐点法等方法计算河道内生态需水量,综合取值得到汉江中下游干流河道内生态环境需水量。其中,水华易发区域以水华防控的生态需水为主要控制因素,生态敏感区域主要以区域内的水生态保护对象的产卵期用水过程为主要控制因素,其他区域原则上基于生态水文过程、水华防控、水功能区水质达标等各类生态需水量的外包值来确定区域生态环境需水量,综合考虑航道需求,确定汉江中下游河道内生态环境需水量。各断面需水量计算结果见表2。

表2 各控制断面河道内逐月最小需水流量

断面名称	逐月最小需水流量/(m^3/s)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
黄家港	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00
襄 阳	490.00	490.00	490.00	490.00	517.00	503.00	503.00	503.00	503.00	503.00	490.00	490.00
皇 庄	794.00	698.00	752.00	561.00	639.00	639.00	1089.00	639.00	639.00	639.00	514.00	500.00
沙 洋	850.00	850.00	850.00	621.00	670.00	648.00	648.00	648.00	648.00	648.00	561.00	510.00

2.3 丹江口水库需下泄水量分析

从兴隆枢纽开始,将汉江沿线各城市、灌区的河道外生产、生活、河湖生态等用水以及区间来水、退水逐级推算到丹江口水库坝下,得到2035年丹江口水库需补偿下泄水量为188.40亿m^3,较调整后的原中线规划下泄水量163.80亿m^3增加了24.60亿m^3,其中基本

需水 7.30 亿 m^3、水功能区水质达标 5.20 亿 m^3、梯级生态调度 5.60 亿 m^3、水华防控 6.50 亿 m^3。汉江中下游需求过程见表 3、表 4。

表 3　汉江中下游需丹江口水库逐月下泄流量

频　率	逐月需丹江口水库下泄流量/(m^3/s)												
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年值
多年平均	629.00	595.00	632.00	560.00	600.00	598.00	794.00	559.00	537.00	595.00	562.00	508.00	597.00
85%	680.00	643.00	688.00	638.00	723.00	716.00	1018.00	667.00	647.00	695.00	630.00	539.00	652.00
95%	693.00	655.00	712.00	660.00	786.00	770.00	1104.00	780.00	701.00	760.00	669.00	566.00	678.00

表 4　汉江中下游需丹江口水库下泄水量

满足的功能需求	需丹江口水库下泄水量/亿 m^3	新增水量/亿 m^3	备　注
调整后的原中线规划下泄水量	163.80		
基本需水	171.10	7.30	
基本需水 + 水功能区水质达标	176.30	5.20	新增水量为水功能区水质达标需水
基本需水 + 水功能区水质达标 + 特殊生境保护	181.90	5.60	新增水量为生态调度需水
基本需水 + 水功能区水质达标 + 特殊生境保护 + 水华防控	188.40	6.50	新增水量为水华防控需水
合　计		24.6	

3　结　语

湖北省汉江流域是南水北调中线工程的核心水源区和重要影响区，随着汉江中下游经济社会的高质量发展，用水需求不断增加，解决好河道内、外用水的矛盾至关重要。本文采用水量演算法得出了湖北省汉江中下游的用水需求。

引江补汉工程是南水北调中线工程的后续工程，鉴于南水北调中线一期工程尚未达产，效果和问题显现不充分，在后续工程规划中应充分保障汉江中下游用水需求，为汉江中下游经济社会高质量发展留足空间。

参考文献

[1]　黄会勇，张娜，万蕙，等. 引江补汉工程引江规模初步分析[J]. 人民长江，2018，49(18)：15-19.

[2]　马京久，喻婷，陈燕飞，等. 基于综合水质标识指数法的汉江中下游水质评价[J]. 人民珠江，2020，41(9)：63-69.

[3]　张丹. 湖北汉江中下游梯级枢纽联合生态调度模型研究[J]. 水政水资源，2019(1)：69-70.

[4]　朱烨，李杰，潘红忠. 南水北调中线调水对汉江中下游水文情势的影响[J]. 人民长江，2019，50(1)：79-83.

[5]　张胜，林莉，王珍，等. 汉江中下游丰枯水期水质时空变化特征[J]. 长江科学院院报，2021，38(8)：47-53.

[6]　白亮，许金喜，董炳江. 丹江口水库蓄水以来汉江中下游河床冲淤变化研究[J]. 人民长江，2021，52(12)：15-20.

[7]　李建，尹炜，贾海燕，等. 汉江中下游硅藻水华研究进展与展望[J]. 水生态学杂志，2020，41(5)：136-144.

[8]　朱惇，贾海燕，周琴. 汉江中下游河流健康综合评价研究[J]. 水生态学杂志，2019，40(1)：1-8.

[9]　吕灿翔，常景坤，万伟. 基于节水优先的引江补汉工程受益区需水预测[J]. 水资源开发与管理，2020(4)：21-25.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.03

澧水流域山溪性河流生态基流的计算与分析

舒薇薇[1] 高 耶[2] 侯婷娟[3]

(1. 湖南食品药品职业学院,湖南 长沙 410208;
2. 湖南省水文水资源勘测中心,湖南 长沙 410007;
3. 郴州水文水资源勘测局,湖南 郴州 423000)

【摘 要】 本文采用Tennant法和*Qp*法两种常见水文学方法计算澧水9个水文站点生态基流值,评价枯水期月份生态基流满足程度。计算结果表明:Tennant法计算成果普遍大于*Qp*法计算成果,而且在枯水期月份满足程度较低,山溪性河流生态基流宜采用*Qp*法计算。集水面积与*Qp*法、Tennant法计算的生态基流值之间具有较好线性拟合关系,相关经验公式可用于流域其他断面生态基流的计算。

【关键词】 澧水流域;生态基流;Tennant法;*Qp*法

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-010-06

Calculation and analysis of ecological base flow of rivers in Lishui River basin

SHU Weiwei[1], GAO Ye[2], HOU Tingjuan[3]

(1. *Hunan Food and Drug Vocational College*, *Changsha* 410208, *China*;
2. *Hunan Hydrology and Water Resources Survey Center*, *Changsha* 410007, *China*;
3. *Chenzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau*, *Chenzhou* 423000, *China*)

Abstract: In this paper, Tennant method and *Qp* method are used to calculate the ecological base flow values of 9 hydrological stations in Lishui, and to evaluate the satisfaction degree of ecological base flow in dry season. The calculation results show that the calculation results of Tennant method are generally larger than those of *Qp* method, and the satisfaction degree is low in dry months, so *Qp* method should be adopted to calculate the ecological base flow of mountain rivers. There is a good linear fitting relationship between the catchment area and the ecological base flow value calculated by *Qp* and Tennant methods, and the relevant empirical formula can be used to calculate the ecological base flow in other sections of the basin.

Key words: Lishui River basin; ecological base flow; Tennant method; *Qp* method

收稿日期:2022-02-19

作者简介:舒薇薇(1988—),女,硕士,讲师,主要从事水生态保护研究工作。

生态基流是维持河流、湖泊、沼泽等水生态系统功能不丧失,需要保留的底线流量,是基本生态流量过程的最低值[1]。河道内生态需水的计算方法主要有水文学法、水力学法、生物栖息地模拟法、整体法等[2-3]。水文学方法蕴含生态理论基础,计算成本相对低,应用范围广,比较适合我国国情[4]。其中,Tennant 法作为国内外应用最为广泛的水文学方法,在生态基流研究中起着重要作用[5-7]。山溪性河流指汇水区为山地丘陵的河流,山地丘陵地面陡峻坡度大,降于山坡上的雨水迅速向沟壑、溪流汇集,坡面汇流时间短,河流多呈现季节性水流,汛期河流水源补给丰富,旱季河槽水少甚至干涸[8]。由于山溪性河流径流随季节显著变化,使得 Tennant 法并不适用于径流量年内和年际变化大的河流[9]。本研究以澧水流域典型的山溪性河流为研究对象,采用典型水文学方法计算流域主要水文站监测断面生态基流,重点分析枯水期生态流量可达性,为山溪性河流的生态基流计算提供参考。

1 研究区域概况

澧水流域位于武陵山脉北端东侧向洞庭湖平原过渡地带,介于东经 109°31′ ~ 111°56′、北纬 29°30′ ~ 36°21′ 之间,全长 390km,流域面积 18583km^2。澧水流域属中亚热带季风湿润气候,位于湘西北暴雨高值区内,暴雨多出现在 6—8 月,澧水干流上游与溇水、渫水上游为暴雨中心。澧水是一条典型的雨洪河流,暴雨强度大,流域坡度陡,集流快,洪水陡涨陡落。澧水鱼类资源丰富,对洞庭湖乃至长江水系鱼类资源多样性的维持或补充有着重要作用[10]。

2 数据来源和计算方法

2.1 数据来源

本研究根据澧水流域河流生态基流计算的需求,收集整理流域内各水文站的长时间序列逐日平均流量数据。溇水选择双枫潭水文站、淋溪河水文站和长潭河水文站,控制流域面积分别为 414km^2、2348km^2 和 4913km^2,双枫潭水文站位于支流溇水,淋溪河水文站位于新建成运行的江坪河水电站下游,长潭河水文站位于江垭水库及其反调节水库长潭河水库下游。渫水选择皂市水文站,该站位于皂市水库下游。澧水干流选择凉水口、桑植、张家界、石门和津市 5 个水文站,控制流域面积依次为 877km^2、3114km^2、4627km^2、15307km^2 和 17549km^2,鱼潭水电站位于桑植和张家界两站区间河段。详见图 1。

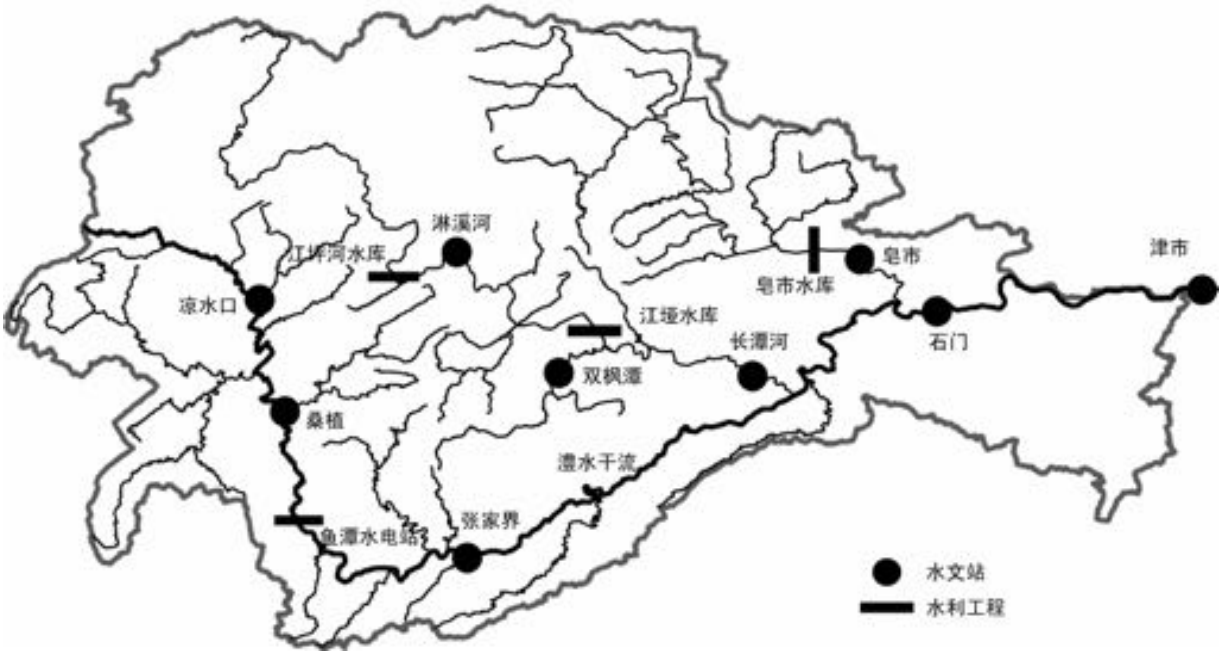

图 1 澧水流域示意图

2.2 计算方法

考虑区域水文水资源特性，采用《河湖生态环境需水计算规范》(SL/T 712—2021)推荐的 *Qp* 法(*p* 取90%)、Tennant 法(取多年平均流量的10%)计算流域主要水文断面生态基流，协调其他来源生态基流成果，进行可达性分析，综合确定澧水流域主要控制断面生态基流指标。*Qp* 法对每年最枯月天然月均流量进行排频，选取90%频率下月均流量作为生态基流；Tennant 法取多年平均流量的10%作为生态基流。由于河湖生态流量计算要采用天然径流系列，鱼潭、皂市、江垭等大型水利工程的修建使得流域水文情势已经发生较大变化，*Qp* 法计算资料为受水利工程调节影响前的水文站整编逐日平均流量资料。

3 结 果

3.1 生态基流成果与可达性分析

澧水流域主要水文站点的生态流量计算成果见表1，明显可见除张家界站以外，其余各站点 *Qp* 法计算成果均明显小于 Tennant 法计算成果值。由于枯水期11月、12月、1月和2月是生态基流保障的重点时期，故以此分析皂市站、长潭河站、张家界站、石门站受水利工程调蓄影响后各月生态基流满足程度。另外，尽管研究期间淋溪河站、凉水口站和桑植站未受大型水利工程调节影响，流域内调节能力有限的众多中小型水利工程对枯水期河道径流仍可能具有明显影响，故分析1995年后淋溪河站、凉水口站和桑植站各月生态基流满足程度。根据生态基流考核要求，对于各月生态基流满足程度低于90%目标值的水文站点，再补充计算受水利工程调节影响前的生态基流满足程度，计算结果见表2。

表1 澧水流域主要水文站点生态流量计算成果 单位：m^3/s

序号	水文站点	Tennant 法成果	*Qp* 法成果	*Qp* 法采用水文资料系列	可达性分析时期
1	双枫潭	1.23	1.21	1959—2015	1996—2015
2	皂 市	9.19	7.67	1959—2006	1959—2006—2015
3	淋溪河	8.64	6.80	1959—2015	1959—1995—2015
4	长潭河	15.92	14.35	1959—1997	1959—1997—2015
5	凉水口	3.99	3.72	1959—2015	1959—1995—2015
6	桑 植	10.21	8.32	1959—2015	1959—1995—2015
7	张家界	14.40	16.09	1959—1995	1959—1995—2019
8	石 门	46.08	44.04	1959—1995	1959—1995—2019
9	津 市	47.03	40.88	1959—1995	1996—2015

表2 澧水流域主要河流控制断面生态流量满足程度统计

序号	水文站点	计算方法	计算成果/(m^3/s)	11月满足比/%	12月满足比/%	1月满足比/%	2月满足比/%
1	双枫潭	*Qp* 法	1.21	99.2	95.7	94.0	97.1
		Tennant 法	1.23	99.1	95.4	93.0	96.7
2	皂 市	*Qp* 法	7.67	95.1	79.9(95.6)	60.2(91.9)	41.4(94.9)
		Tennant 法	9.19	95.3	79.5(90.7)	58.2(81.7)	39.6(91.3)
3	淋溪河	*Qp* 法	6.80	99.2(99.9)	84.2(98.2)	83.9(97.6)	95.1(100.0)
		Tennant 法	8.64	98.9(96.2)	81.7(91.0)	80.1(85.9)	90.9(95.7)
4	长潭河	*Qp* 法	14.35	83.8(98.1)	89.3(93.2)	89.2(94.0)	88.4(99.1)
		Tennant 法	15.92	83.2(94.7)	88.5(89)	88.7(86.6)	87.8(96.5)

续表

序号	水文站点	计算方法	计算成果/(m^3/s)	11 月满足比/%	12 月满足比/%	1 月满足比/%	2 月满足比/%
5	凉水口	*Qp* 法	3.72	99.4	95.3	89.1(92.2)	92.0
		Tennant 法	3.99	98.7	92.3	83.6(87.2)	89.9(96.8)
6	桑　植	*Qp* 法	8.32	93.5(97.2)	84.5(90.9)	77.2(95.1)	85.6(99.9)
		Tennant 法	10.21	88.2(90.7)	81.6(85.1)	70.6(84.2)	82.1(95.9)
7	张家界	*Qp* 法	16.09	84.3(95.1)	75.0(92.7)	60.7(92.1)	80.0(95.0)
		Tennant 法	14.40	84.6(96.7)	77.3(95.5)	63.9(96.3)	81.3(97.2)
8	石　门	*Qp* 法	44.04	98.1	94.4	92.7	94.5
		Tennant 法	46.08	98.0	94.1	92.5	94.3
		《方案》	70.00	94.4	89.8(77.6)	86.7(58.2)	90.2
9	津　市	*Qp* 法	40.88	100.0	95.8	99.0	99.4
		Tennant 法	47.03	99.0	95.0	98.2	98.4

注　括号内数值为受水利工程调蓄影响前的满足比例。

a. 双枫潭。枯水期各月均能满足 *Qp* 法和 Tennant 法两种方法计算的生态基流，生态基流可采用 *Qp* 法计算成果 1.21m^3/s。

b. 皂市。*Qp* 法和 Tennant 法计算生态基流分别为 7.67m^3/s 和 9.19m^3/s。皂市水库运行前枯水期各月均能满足 *Qp* 法生态基流值，但运行后 12 月至次年 2 月生态基流满足程度降低。比较皂市水库 2007 年蓄水运行前后两个时期的特征流量，运行后 12 月至次年 1 月平均流量大幅增长，分别由 23.35m^3/s、19.21m^3/s 大幅增长到 74.94m^3/s、35.33m^3/s，但 2 月平均流量由 35.18m^3/s 减少为 24.76m^3/s，相应年最小 1 日平均流量、3 日和 7 日流量均值由 8.29m^3/s、8.54m^3/s、8.90m^3/s 减少到 0、0、0.06m^3/s。皂市生态基流宜采用 *Qp* 法成果 7.67m^3/s。

c. 淋溪河。*Qp* 法和 Tennant 法计算所得生态基流值分别为 6.80m^3/s 和 8.64m^3/s。1959—1995 年间，*Qp* 法生态基流满足程度较高，但 Tennant 法生态基流 1 月份满足程度低于 90%。1995 年后，枯水期各月生态流量满足程度均下降，其中 12 月和 1 月下降明显。与 1959—1995 年相比，1996—2015 年期间，12 月月均流量由 21.32m^3/s 增长到 23.73m^3/s，1 月月均流量由 16.52m^3/s 下降到 12.13m^3/s。因此，淋溪河站上游调节能力相对较弱的中小型水利工程对枯水期河道径流仍具有明显影响。此外，年际间河道内径流变化也会影响生态基流保证率，淋溪河生态基流宜采用 *Qp* 法计算成果 6.80m^3/s。

d. 长潭河。*Qp* 法和 Tennant 法计算的生态基流值分别为 14.35m^3/s 和 15.92m^3/s。江垭水库运行前的 1959—1997 年间，枯水期各月均能满足 *Qp* 法生态基流值，12 月和 1 月不能满足 Tennant 法生态基流值；1998—2015 年间，各月生态基流满足程度均略低于 90%。受上游江垭水库和长潭河水电站两个梯级水利工程的水力发电调度影响，1998—2015 年间长潭河站 12 月至次年 2 月平均流量由 40.79m^3/s、31.10m^3/s、52.33m^3/s 大幅增长到 85.73m^3/s、84.61m^3/s、98.8m^3/s，但年最小 1 日、3 日和 7 日流量均值却由 15.99m^3/s、16.48m^3/s、16.95m^3/s 大幅减少至 4.15m^3/s、6.86m^3/s、11.07m^3/s。因此，上游调节能力较强的水利工程能够增加枯水期水量，但长蓄短发的发电模式却导致生态基流保障程度下降。长潭河宜采用 *Qp* 法生态基流成果 14.35m^3/s。

e. 凉水口。*Qp* 法和 Tennant 法计算的生态基流值较为接近，1995 年前后两个时期枯水期各月基本能满足 *Qp* 法生态基流值，但 1 月的 Tennant 法生态基流满足程度低于 90%。凉水口宜采用 *Qp* 法生态基流成果 3.72m^3/s。

f. 桑植。*Qp* 法和 Tennant 法计算生态基流值分别为 8.32m³/s 和 10.21m³/s。1996—2015 年间两种生态基流满足程度均较低，但 1959—1995 年间各月基本能满足 *Qp* 法生态基流值。比较 1995 年前后两个时期的特征流量值，11 月至次年 2 月平均流量由 57.15m³/s、25.23m³/s、20.31m³/s、30.07m³/s 分别增长到 70.69m³/s、32.87m³/s、23.49m³/s、45.56m³/s，但年最小 1 日、3 日和 7 日流量均值由 9.17m³/s、9.65m³/s 和 10.20m³/s 分别减少到 3.45m³/s、4.33m³/s 和 5.94m³/s。桑植站上游没有较强调节能力的大型水利工程，但具备日调节能力的贺龙水库等中小型水利工程对枯水期河道径流具有一定调节能力。桑植站宜采用 *Qp* 法生态基流成果 8.32m³/s。

g. 张家界。与其他站点不同，该站 *Qp* 法生态基流计算成果大于 Tennant 法计算成果。1959—1995 年间，均基本满足两种方法所计算的生态基流值，但 1996—2015 年间满足程度均较低。比较 1995 年前后两个时期的特征流量值，11 月至次年 1 月流量均值没有显著变化，仅 2 月流量由 47.45m³/s 增长到 61.70m³/s，但年最小 1 日、3 日和 7 日流量均值由 13.30m³/s、15.69m³/s、17.84m³/s 大幅减少到 1.40m³/s、2.77m³/s、6.38m³/s。因此，受上游鱼潭坝等水利工程调度的显著影响，导致张家界站生态基流满足程度大幅下降。张家界生态基流可采用 14.40m³/s。

h. 石门。*Qp* 法和 Tennant 法计算所得生态基流值分别为 44.04m³/s 和 46.08m³/s，各月均能满足生态基流要求。但对于《湖南省主要河流断面生态流量方案》设置的生态流量指标 70.00m³/s，12 月、1 月两个月的满足程度均低于 90%。石门站生态基流可采用 44.04m³/s。

i. 津市。枯水期各月均能满足 *Qp* 法和 Tennant 法两种方法计算的生态基流，为与石门站生态基流协调一致，津市站生态基流采用 Tennant 法计算成果 47.03m³/s。

3.2 成果比较

比较《澧水流域水量分配方案》《江坪河水电站和淋溪河水电站取水许可》《淋溪河水电站环境影响报告》和《湖南省主要河流控制断面生态流量方案》等中的生态基流成果。见表 3。水量分配方案和《湖南省主要河流控制断面生态流量方案》中，大多断面的生态基流采用多年平均流量的 10%，由于计算所选取资料时间序列不一致，导致断面生态基流值存在细微差异。此外，《湖南省主要河流控制断面生态流量方案》中澧水干流下游石门站生态基流为 70.00m³/s，明显大于多年平均流量 10%，在皂市和江垭等大型水利工程修建前枯水期各月保证程度均较低。

表 3 澧水流域主要河流控制断面生态流量成果 单位：m³/s

序 号	河流名称	断面名称	水量分配方案	环评批复	《方案》	*Qp*(*p*=90%)	多年平均流量 10%
1	澧 水	桑 植				8.32	10.21
2	澧 水	张家界			14.50	16.09	14.40
3	澧 水	石 门			70.00	44.04	46.08
4	澧 水	津 市				40.88	47.03
5	溇 水	淋溪河	8.65	8.65	8.60	6.80	8.64
6	溇 水	长潭河				14.35	15.92
7	渫 水	皂 市	9.22		9.22	7.67	9.19
8	渫 水	双枫潭				1.21	1.23

注 表中空缺表示相关成果中没有该断面生态流量指标。

3.3 其余断面生态基流的插值计算

3.3.1 面积比拟法

非水文站点控制断面生态流量的计算可基于参证水文站点，采用面积比拟法进行计算。但运用面积比拟法具有一定限制条件，控制断面与参证水文站点的面积比例一般不宜低于 80%。对于流域内面积比例

过低的控制断面，可采用经验公式法推算生态流量，同时结合上下游断面生态流量控制指标合理确定生态基流值。

3.3.2 经验公式法

流域典型水文站点集水面积与多年平均流量、*Qp* 法计算的生态基流量的经验公式为 $y = 0.029x + 8.913$、$y = 0.002x + 0.367$，根据断面集水面积推算其余非水文断面的多年平均流量值和 *Qp* 法生态基流成果值，见图 2、图 3。

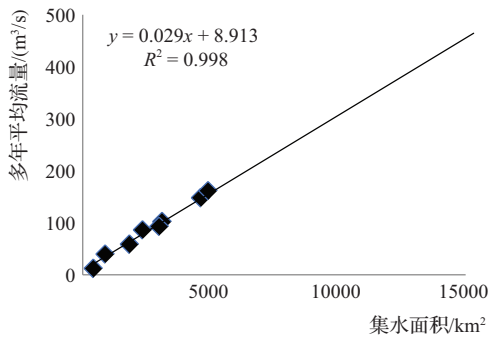

图 2 集水面积与多年平均流量线性关系

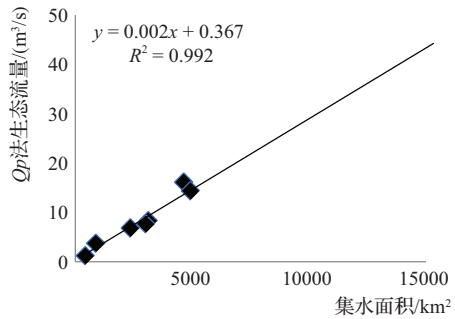

图 3 集水面积与 *Qp* 法生态流量值线性关系

4 结 语

山溪性河流河道内径流丰枯变化相对剧烈，Tennant 法（比例取 10%）计算成果在枯水期月份的满足程度偏低，生态基流指标宜采用 *Qp*（*p* 取 90%）计算。*Qp* 法和 Tennant 法计算的生态基流指标值与流域集水面积间有较好的线性拟合关系，相关经验公式可用于流域其他断面生态基流的计算。

控制性水利工程是保证流域枯水期生态基流的保障主体，流域中小型水利工程调节能力有限，但对枯水期河道径流仍具有显著影响，应切实加强流域水量统一调度，将保障生态流量下泄纳入各级水利工程的日常运行调度规程，作为水资源配置的硬约束。

参考文献

[1] SL/T 712—2021 河湖生态环境需水计算规范[S]. 北京：中国水利水电出版社，2021.

[2] 徐宗学，李鹏，侯昕玥. 河道生态基流理论基础与计算方法研究[J]. 人民黄河，2019，41(10)：119-127.

[3] 任朋，齐进. 基于改进 Tennant 法的南渡江生态基流计算[J]. 中国农村水利水电，2020(9)：182-184，189.

[4] 侯婷娟，高耶. 资水河道内生态需水量研究[J]. 水文，2019，39(5)：40-44，60.

[5] 黄康，李怀恩，成波，等. 基于 Tennant 方法的河流生态基流应用现状及改进思路[J]. 水资源与水工程学报，2019，30(5)：103-110.

[6] 朱俊海. 不同水文学方法计算生态基流成果分析[J]. 四川水利，2021，42(1)：104-106.

[7] 姚云泽，姜翠玲，万福涛. 基于多种水文学方法的滦河典型断面生态基流研究[J]. 南水北调与水利科技(中英文)，2021，19(5)：941-949.

[8] 董慧峪. 山溪性河流污染源控制及原位修复技术研究[D]. 北京：中国科学院大学，2012.

[9] 朱敏翔，杨柳，杨超，等. Tennant 法在河流生态基流计算中的适用性探讨——以福建省东南沿海地区为例[J]. 人民长江，2020，51(4)：59-64.

[10] 刘良国，杨品红，杨春英，等. 湖南境内澧水鱼类资源现状与多样性研究[J]. 长江流域资源与环境，2013，22(9)：1165-1171.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.04

洞庭湖断流区育乐垸生态需水量研究

徐幸仪　何怀光　袁艳梅

(湖南省水利水电科学研究院,湖南 长沙　410007)

【摘　要】 本文结合育乐垸的自然地理条件,采用Tennant法、月保证率法以及最枯月平均流量法分别对育乐垸河道内生态需水量进行计算,通过计算结果可知采用月保证率法所得的结果能够比较全面地适应育乐垸当地的水环境、水生态情况。同时分别对植被生态需水、湖库蒸发补水量与城镇环境需水进行计算可得河道外生态需水量,利用河道内生态需水量以及河道外生态需水量计算出总生态需水量,并对其进行研究。结果表明,通流期内育乐垸的生态需水基本可以得到满足,而在断流期内(11月、12月与1月)会发生较为严重的生态需水缺口。研究结果可为进一步分析洞庭湖区生态需水规律及水资源合理配置提供参考。

【关键词】 洞庭湖;育乐垸;河道内生态需水;河道外生态需水

中图分类号:TV214　　**文献标志码:B**　　**文章编号:2096-0131(2022)05-016-06**

Study on ecological water demand of embankment in Yule Embankment of Dongting Lake cut-off area

XU Xingyi, HE Huaiguang, YUAN Yanmei

(*Hunan Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Changsha* 410007, *China*)

Abstract: In this paper, combined with the natural and geographical conditions of Yule Embankment, Tennant method, monthly guarantee rate method and average discharge method in the driest month are used to calculate the ecological water demand in Yule Embankment, respectively. Through the calculation results, it can be seen that the results obtained by monthly guarantee rate method can fully adapt to the local water environment and water ecology of Yule Embankment. At the same time, the ecological water demand outside the river channel is calculated by water demand of plant, reservoir evaporation capacity and towns environment water demand. and the total ecological water demand is calculated by using the ecological water demand inside and outside the river channel, and it is studied. The results show that the ecological water demand of Yule Embankment can basically be met during the flow period, but a serious ecological water demand gap will occur during the cut-off period (November, December and January). The results can provide reference for further analysis of ecological water demand law and rational allocation of water resources in Dongting Lake area.

Key words: Dongting Lake; Yule Embankment; ecological water demand in river channel; ecological water demand outside river channel

洞庭湖是我国第二大淡水湖,是长江中下游重要　　的调蓄湖泊,是全国最大的淡水湿地之一,生态功能不

收稿日期:2022-01-21

基金项目:湖南水利科技项目(湘水科计〔2015〕245-01,XSKJ2018179-36,XSKJ2021000-10)

作者简介:徐幸仪(1986—),女,工程师,硕士,主要从事水资源管理、节约和保护工作。

可替代[1]。三峡工程运行以来,随着江湖关系的变化,洞庭湖四口河系的堤垸内淤积严重,蓄水和过流能力下降,很多堤垸面临河道断流、湿地萎缩、水质恶化、水生态退化等突出问题,严重威胁到水生态安全[2]。国内外学者针对洞庭湖水资源、水生态与水环境相关的研究较多,但对洞庭湖内断流区生态需水的研究较少。因此,在洞庭湖断流区开展堤垸生态需水量研究十分必要,有助于科学认识洞庭湖区尤其是断流区的水资源演变规律,了解水文情势与生态系统稳定性之间的相互关系。研究可为进一步系统分析洞庭湖区生态需水规律及水资源合理配置提供具体参考,对洞庭湖区生态环境保护具有重要意义。

1 研究区概况

育乐垸是洞庭湖11个重点垸之一,地处洞庭湖腹地(见图1),属环洞庭湖生态经济区中心地带,为湖南省主要商品粮、淡水鱼基地之一,社会经济地位十分重要。堤垸总面积达370.53km^2,年平均降水量为1244.1mm,降水主要集中在夏季,多年平均4—7月降水量占全年降水量的60%。育乐垸水系组成复杂,藕池河东支、沱江与藕池河中支流经该垸东西两侧,南茅运河贯通该垸南北(见图2)。由于藕池河分流量减少及断流时间延长,导致垸内经常出现枯水期水量不足、水质下降,水生态问题突出,洞庭湖断流区生态安全面临严峻考验。

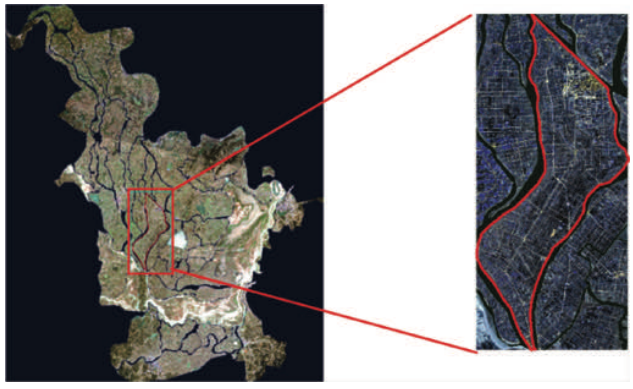

图1 洞庭湖区堤垸、育乐垸卫星图像

(红线包围区域为育乐垸)

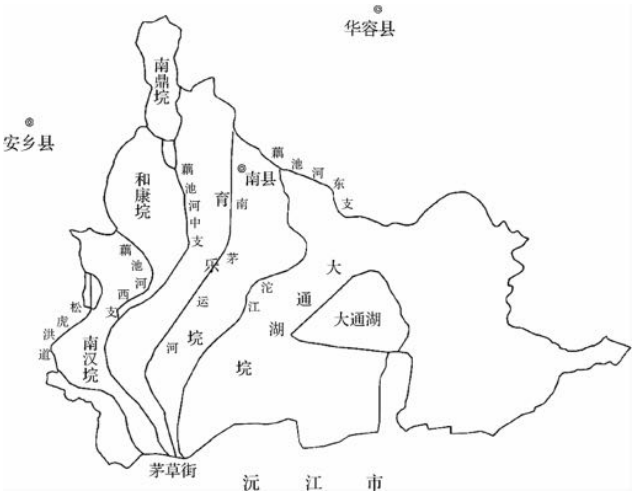

图2 育乐垸所在地区水系

2 育乐垸河道内生态需水估算

根据现场调查,育乐垸内的生产、生活用水均由南茅运河提供,因此本研究的河道内生态需水量主要以南茅运河为研究对象,选用Tennant法[3]、月保证率法[4]、最枯月平均流量法[5]分别对南茅运河的河道内生态需水量进行研究。

以育乐垸境内全部的降水形成的径流都汇聚到运河内为前提,对南茅运河径流量进行推算,依据南县气象站1995—2015年逐日降水数据,结合洞庭湖流域典型径流系数,按照式(1)可得南茅运河流量,结果见图3。

$$Q = \alpha FP \tag{1}$$

式中:Q为径流量,万m^3;α为径流系数;F为汇水区面积,km^2;P为降水量,mm。

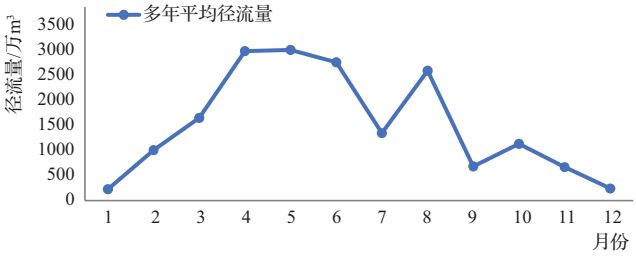

图3 南茅运河年内径流分布

2.1 计算方法

2.1.1 Tennant法

Tennant法基于对多条河流的研究统计经验,给出

河流生态流量占天然状态下年平均流量的百分比与河流生态条件之间的经验关系。为保证研究所得的生态需水具有足够先进性,在标准的选择上选取断流期生态需水占当月平均流量的40%,通流期生态需水占当月平均流量的60%为“很好”这一标准[6]。

2.1.2 月保证率法

月保证率法在传统水文学方法的基础上将保证率与河道生态需水等级相联系,综合考虑研究区域内的气候、径流变化特征以及水体的使用模式等因素确定各月保证率。

根据南茅运河的实际情况,河道平均年内径流分布情况见图3,其主要集中在当地水系通流期(4—11月),约占全年径流总量的80%。由于当地渔业主要以四大家鱼的养殖为主,根据相关研究其产卵期主要集中在每年4—6月,因此这一时期对水量有较高的要求。综合考虑以上情况,在鱼类产卵期(4—6月)计算50%保证率天然流量,在非鱼类产卵期的通流期计算75%保证率下的天然流量,在断流期计算90%保证率下的天然流量。在不同保证率天然流量的基础上设定其60%为理想的生态需水量,并以此作为当月生态需水量的设计值。当设计值小于当月天然流量的10%时,以当月天然流量的10%作为生态需水的设计值。

2.1.3 最枯月平均流量法

使用近10年最枯月平均流量作为河道内生态需水的设计值。因其计算的依据以干旱季节为准,所以导致了计算的流量较其他方法小得多,在实际应用中可以作为其他方法的参考标准。本文认为该方法所求的设计值应为河道内生态需水量的下限。

2.2 计算结果

基于Tennant法、月保证率法、最枯月平均流量法的河道内生态需水计算结果见表1、图4。由表1、图4可以看出,各方法所得的生态需水量均高度集中在通流期(4—11月),均超过全年生态需水总量的80%。此外,Tennant法的计算结果最大,最枯月平均流量法的计算结果最小,约为前者的52%,满足其物理意义。总体而言,各方法的年内变化趋势与各月多年平均径流的变化趋势均比较接近,说明结果对当地年内径流分配的体现都比较到位。

表1 水文学方法计算河道内生态需水量结果汇总

单位:万 m^3

月 份	Tennant 法	月保证率法	最枯月平均流量法
1 月	91.15	88.39	56.25
2 月	404.00	205.63	108.42
3 月	661.55	794.91	723.87
4 月	1792.37	1155.13	915.95
5 月	1807.42	1535.41	1603.91
6 月	1658.33	1175.66	932.77
7 月	809.80	782.63	144.03
8 月	1557.04	866.41	808.90
9 月	410.15	264.38	73.51
10 月	680.63	661.56	195.83
11 月	402.44	347.33	20.45
12 月	96.80	40.18	14.45
总量/亿 m^3	1.037	0.792	0.559

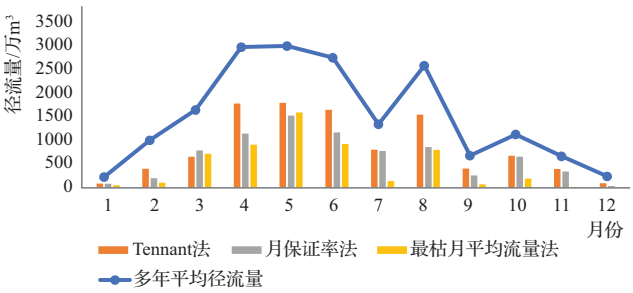

图4 水文学方法计算河道内生态需水量结果曲线

在综合考虑对当地环境的适应性、环境的改善效果、工程调度的便利性以及结果自身的合理性情况下,月保证率法所得的结果能够全面地适应育乐垸当地的水环境、水生态情况。根据该方法得到结果为:南茅运河全年河道内生态需水约为7917.6万 m^3,占多年平均径流量的35%。其中,有接近40%的生态需水集中在来水较为丰富的4—6月,河道流量基本能够满足生态需水量的要求。但存在枯水季节特别是断流季节的天然河道流量难以满足生态需求的问题,需要通过工程措施进行调控,从区域外调水来满足生态需水。

3 育乐垸河道外生态需水估算

河道外生态需水量取自河湖，是消耗性用水。根据育乐垸的自然、社会环境特点，河道外生态需水主要考虑植被生态需水、湖库蒸发补水量与城镇环境需水三部分[7]。

3.1 植被生态需水

根据育乐垸地区纬度情况（以南县气象站纬度值北纬29.37°为参考），采用Penman-Monteith公式[8]计算可得育乐垸地区的参考作物蒸腾量，结果见表2。结合作物系数可以得到植被实际蒸散发量，从而估算当地植被的实际蒸散发量，结果见表2。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

$$ET = cET_0 \quad (3)$$

式中：ET_0为参考作物蒸发腾发量，mm；γ为湿度计常数；U_2为距地面2m处的风速，m/s；e_a为饱和水气压，hPa；e_d为实际水气压，hPa；T为日均温度，℃；Δ为饱和水汽压-温度曲线斜率；R_n为作物表面的净辐射量，MJ/m^3；G为土壤热通量，此处可取0；ET为实际作物蒸发腾发量，mm；c为作物系数。各参数的具体计算方法参考相关文献[9]。

育乐垸的土地利用情况见表3，根据当地土地利用类型统计与计算得出的实际植被蒸腾量，根据下式可得植被总需水量，结果见表2。

$$W_a = \frac{ETA}{10} \quad (4)$$

式中：W_a为植被总需水量，万m^3；A为植被面积，km^2。

在全部植被需水中，可以由天然降水满足其中一部分，而为了确保植被的正常生长过程，降水无法满足的部分需通过浇灌形式进行补充，以满足当地正常的植被生态秩序[10]。因此本文将降水无法满足部分的植被需水视为当地河道外植被生态需水，具体结果见表2。经计算，全年植被生态需水总量为2212.24万m^3。

表2 河道外植被生态需水计算

月 份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
ET_0/mm	61.55	59.50	79.61	98.83	116.53	112.48
ET/mm	67.705	65.450	87.571	108.713	128.183	123.728
植被需水/万m^3	2369.70	2290.80	3065.00	3805.00	4486.40	4330.50
生态需水/万m^3	544.80	356.90	338.03	80.85	0	0
月 份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
ET_0/mm	161.93	136.94	112.58	94.00	79.77	70.20
ET/mm	178.123	150.634	123.750	92.400	87.747	77.220
植被需水/万m^3	6234.30	5272.20	4331.30	3234.00	3071.10	2702.70
生态需水/万m^3	0	0	0	0	353.43	538.23

表3 育乐垸地区土地利用情况

项 目	城镇	旱作田	灌溉田	草地	灌木	森林	湖泊水库
土地面积/km^2	12.2	6.0	161.6	14.3	126.8	39.4	10.2

3.2 湖库蒸发补水量

根据南县气象站的降水、蒸发系列数据，可得育乐垸地区月平均降水、蒸发情况，见表4。根据育乐垸土地利用情况资料，区内的湖泊、水库等水体面积共10.2km^2，利用式(5)可以得到每月湖泊的补水情况，即河道外湖库蒸发补水量，结果见表4。经计算，当地湖泊生态需水为217.49万m^3。

$$W_b = \begin{cases} \frac{A(E-P)}{10} & E \geqslant P \\ 0 & E < P \end{cases} \quad (5)$$

表4 育乐垸地区月平均降水、蒸发及河道外湖库蒸发补水量情况

月份	蒸发/mm	降水/mm	$E-P$/mm	湖库蒸发补水量/万 m^3
1月	47.40	47.62	-0.21	0
2月	50.23	67.62	-17.39	0
3月	70.83	107.18	-36.35	0
4月	96.73	155.83	-59.10	0
5月	128.17	164.45	-36.28	0
6月	137.53	186.30	-48.77	0
7月	193.09	129.58	63.51	64.52
8月	178.21	122.34	55.88	56.77
9月	132.29	70.93	61.36	62.34
10月	98.76	84.15	14.61	14.85
11月	70.59	70.39	0.20	0.21
12月	56.22	37.71	18.51	18.80

式中：W_b 为月补水量，即河道外湖库蒸发补水量，万 m^3；A 为水面面积，km^2；E 为各月平均蒸发量，mm；P 为各月平均降水量，mm。

3.3 城镇环境需水

根据《湖南省用水定额》（DB43/T 388—2020）规定的城镇环境用水定额，即浇洒道路和场地为2L/(m^2·d)，公园、植物园为45L/(m^2·月)，防护绿化为60L/(m^2·月)，结合育乐垸内城镇建成区的土地面积（见表5），可得环境卫生需水，即城镇环境需水，结果见表6。

表5 城镇土地利用情况

土地类型	城市道路用地	公园绿地	防护绿地	广场绿地
土地面积/hm^2	79.57	110.08	66.87	4.74

表6 河道外城镇环境需水

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
生态需水/万 m^3	14.11	13.64	14.11	13.95	14.11	13.95	14.11	14.11	13.95	14.11	13.95	14.11

4 育乐垸生态需水量

育乐垸生态需水量统计情况见表7，据此数据绘制图5。由表7、图5可以看出，年内育乐垸生态需水量峰值出现在5月，需水量达1549.5万 m^3，而后经过一段时间的振荡下降后，于9月达到年内谷底值，为340.7万 m^3，而后将经历一段较为稳定的上升期。不同时期育乐垸的生态需水主要组成部分有所不同，通流期主要由河道内生态需水控制，而断流期主要受河道外生态需水影响。通流期内南茅运河径流量基本可以满足当地的生态需水要求；而在断流期内（11月、12月与1月）会发生较为严重的生态需水缺口，分别为44.2万 m^3、369.3万 m^3 和419.4万 m^3。

表7 育乐垸生态需水量统计 单位：万 m^3

项目		不同月份需水量											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
河道内生态需水量		88.4	205.6	794.9	1155.1	1535.4	1175.7	782.6	866.4	264.4	661.6	347.3	40.2
河道外生态需水量	植被需水量	544.8	356.9	338.0	80.9	0	0	0	0	0	0	353.4	538.2
	湖库蒸发补水量	0	0	0	0	0	0	64.5	56.8	62.3	14.9	0.2	18.8
	城镇环境需水量	14.1	13.6	14.1	14.0	14.1	14.0	14.1	14.1	14.0	14.1	14.0	14.1
	小计	558.9	370.5	352.1	94.9	14.1	14.0	78.6	70.9	76.3	29.0	367.6	571.1
合计		647.3	576.1	1147.0	1250.0	1549.5	1189.7	861.2	937.3	340.7	690.6	714.9	611.3
南茅运河径流量		227.9	1010.0	1653.9	2987.3	3012.4	2763.9	1349.7	2595.1	683.6	1134.4	670.7	242
生态需水缺口		419.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.2	369.3

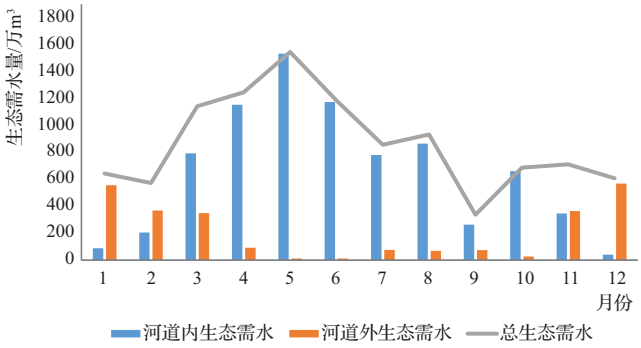

图 5　育乐垸生态需水统计情况

5　结　语

本文采用 Tennant 法、月保证率法以及最枯月平均流量法分别对育乐垸河道内生态需水量进行计算，综合考虑月保证率法所得结果更能全面地适应育乐垸当地的水环境、水生态情况，该方法所得河道内生态需水量为 7917.6 万 m^3；通过分别计算植被生态需水、湖库蒸发补水量、城镇环境需水可得河道外生态需水总量为 2597.9 万 m^3，可知育乐垸生态需水总量约为 10515 万 m^3。以多年平均值计，通流期内南茅运河径流量基本可以满足当地的生态需水要求；而在断流期内（11 月、12 月与 1 月）会发生较为严重的生态需水缺口，分别为 44.2 万 m^3、369.3 万 m^3 和 419.4 万 m^3。研究结果有助于科学认识洞庭湖区尤其是断流区的水资源演变规律，了解水文情势与生态系统稳定性之间的相互反馈关系。根据育乐垸河道外生态需水满足度以及河道内生态需水的评价结果，结合当地的实际情况，建议通过由南茅运河南部茅草街镇船闸从堤垸外提水、扩大垸内蓄存容量的工程措施及闸泵调度的非工程措施等进行调控，以提高生态需水的保障程度。

参考文献

[1] 黄维，王为东. 三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响[J]. 生态学报，2016，36(20)：6345-6352.

[2] 杨伶，邓敏，王金龙，等. 近 40 年来洞庭湖流域土地利用及生态风险时空演变分析[J]. 生态学报，2021，41(10)：3929-3939.

[3] 朱晔，方红远，王铖洁，等. 改进的年内展布法在河流生态需水计算中的应用[J]. 中国农村水利水电，2021(10)：105-109.

[4] 王伟莹，马广玉，王准，等. 伊通河农村段生态需水研究[J]. 东北师大学报(自然科学版)，2020，52(2)：137-142.

[5] 陈朝阳，徐金鹏，管新建，等. 径流变化特征分析及生态需水保证率评估[J]. 水力发电，2021，47(5)：17-22，29.

[6] 刘立军，张扬，郭丽君，等. 基于改进流量历时保证率法的河道生态需水计算[J]. 中国农村水利水电，2020(3)：74-77，82.

[7] 柴媛媛，熊利锋，罗进选，等. 兰州新区土地利用现状调查及生态需水研究[J]. 中国水土保持，2020(5)：36-40.

[8] 赵芬，庞爱萍，李春晖，等. 黄河干流与河口湿地生态需水研究进展[J]. 生态学报，2021，41(15)：6289-6301.

[9] 刘钰，彭致功. 区域蒸散发监测与估算方法研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报，2009，7(2)：96-104.

[10] 许正刚，韩烈保，史正军，等. 深圳市 3 种灌木单株蒸散量及作物系数的研究[J]. 安徽农业科学，2010，38(17)：8913-8914，8916.

（上接第 56 页） 动城市水环境进一步固本强基，由“底线约束”走向“提质增效”，实现较大的转变，在实践过程中，遇到问题及时分析原因、及时整改。

水脉畅则城市兴。落实尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，恢复合流渠箱的自然排洪功能，打开合流渠箱末端的截污闸，疏通河道水脉，有利于进一步提升城市的品质。同时也为更好地打赢打好水污染防治攻坚战、为水环境的长治久清奠定基础。

参考文献

[1] 赵杨，车伍，杨正. 中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析[J]. 中国给水排水，2020，36(14)：18-28.

[2] 张超. 棠景沙涌水体污染分析及整治[J]. 珠江水运，2020(1)：97-98.

[3] 王世林. 广州市排水单元达标创建工作开展策略分析[J]. 建材与装饰，2021，17(8)：54-55.

[4] 严程，潘子豪，宁江，等. 老城区雨污分流制改造方案分析[J]. 净水技术，2021，40(9)：97-103.

[5] 周广宇，龚道孝，莫罹，等. 城市黑臭水体治理中的清污、雨污分流方案研究——以南方某市为例[J]. 建设科技，2021(Z1)：43-46.

[6] 邵宇航，楼少华，唐颖栋，等. 深圳茅洲河流域暗涵雨污分流改造实践[J]. 中国给水排水，2021，37(6)：122-127.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.05

泰州市水资源利用与经济发展协调分析

崔冬梅

(泰州市水资源管理处,江苏 泰州 225300)

【摘 要】 本文基于水生态足迹理论,结合可持续利用评价指标及脱钩指数,从时空角度对2011—2019年泰州市水资源利用状况及其与经济发展的协调关系进行了分析。结果表明,泰州市水生态压力指数和水资源负载指数很高;万元GDP水生态足迹呈逐年下降趋势;水资源利用与经济发展基本处于强脱钩状态;本地水资源开发利用程度很高,处于不可持续状态,水资源利用率逐年提高,水资源利用与经济增长处于协调状态,市区水资源利用与经济发展不太对应。研究成果可为泰州市高质量发展提供决策依据。

【关键词】 水生态足迹;可持续;脱钩指数

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-022-07

Coordinated analysis of water resources utilization and economic development in Taizhou City

CUI Dongmei

(*Taizhou Water Resources Management Office*, *Taizhou* 225300, *China*)

Abstract: Based on the theory of water ecological footprint, combined with the evaluation index of sustainable utilization and decoupling index, this paper analyzes the status of water resources utilization in Taizhou from 2011 to 2019 and its coordination with economic development from the perspective of time and space. The results show that the water ecological pressure index and water resources load index in Taizhou are very high. The water ecological footprint per ten thousand Yuan GDP is decreasing year by year. Water resources utilization and economic development are basically in a strong decoupling state. The development and utilization of local water resources is very high, in an unsustainable state. The utilization rate of water resources is increasing year by year, the utilization of water resources and economic growth are in a coordinated state, and the utilization of water resources in urban areas does not correspond to economic development. The research results can provide decision-making basis for the high-quality development of Taizhou city.

Key words: water ecological footprint; sustainability; decoupling index

水是生命之源、生产之要、生态之基,水资源的可持续利用是经济社会高质量发展的重要前提。水生态足迹是指人类开发和生产生活所消耗水资源的过程和自然环境维持自身不断进化对水的需求过程,是一种衡量人类对水资源利用程度以及水资源为人类提供生命支持服务功能的方法,可操行性强、结果直观、具有可比性,广泛应用于水资源和经济发展可持续发展评价中[1-5]。脱钩模型主要用于研究资源环境和经济发

收稿日期:2021-12-30

作者简介:崔冬梅(1990—),女,工程师,硕士,主要从事水文水资源方面研究工作。

展之间不再互相依赖的程度和方向，随着经济社会高质量发展和生态环境高水平保护协同推进，通过脱钩理论研究水资源利用和经济发展协调关系的案例也日益增多[6-10]。

泰州市地处江淮流域，降水年内集中、年际变化大，当地水资源短缺，随着经济发展对水资源需求的不断提高，水资源可持续利用是迈向高质量发展之路的重要支撑。本文通过定量比较2011—2019年泰州市及市区的水生态足迹和承载力，结合水生态压力指数、水资源负载指数、万元GDP水生态足迹以及脱钩指数等，综合分析水资源利用与经济发展的协调关系，以期为泰州市水资源科学管理以及高质量发展评估提供一定的参考依据。

1 研究区概况

泰州市位于江苏省中部，境内以新通扬运河和老328国道沿线控制建筑物为界，以北属淮河流域，以南属长江流域。下辖靖江市、泰兴市、兴化市3个县级市，城区为海陵区、姜堰区和泰州医药高新区（高港区）。兴化属淮河流域，泰兴和靖江属长江流域，城区以江淮分水线为界分属长江和淮河流域。受东亚季风环流的影响，泰州市雨热同期，降水主要集中在汛期，水域面积占总面积的22.15%，水资源少且时空分布不均。长江横穿全境，13座重点闸站可控制90%以上的引排水量。

2 研究方法

2.1 水生态足迹和水生态承载力

水生态足迹是指一定的人口和经济规模条件下维持水资源消费和消纳水污染所需的生物生产性土地面积，包括淡水资源生态足迹、水产品生态足迹和水污染生态足迹，分别反映人类在生产生活过程中对淡水资源的消费、水产品对水资源的占用、稀释污水对水资源的消耗。因水体同时具备水质净化和水产养殖两种功能，为避免重复计算，选取水产品和水污染中较大值作为共同产生的生态足迹[1]。计算公式为

$$\left.\begin{aligned} F &= F_1 + \max(F_2, F_3) \\ F_1 &= Nf_1 = \frac{r_1 W_1}{a_1} \\ F_2 &= Nf_2 = \frac{r_2 W_2}{a_2} \\ F_3 &= Nf_3 = \frac{r_1 W_3}{a_1} \\ W_3 &= \frac{86400 W_4}{31.536 ij} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

式中：F、F_1、F_2、F_3分别为水生态足迹、淡水资源生态足迹、水产品生态足迹和水污染生态足迹，hm^2；N为人口数，人；f_1、f_2、f_3分别为F_1、F_2、F_3的人均值，hm^2/人；r_1、r_2分别为全球水资源均衡因子、中国平均水域均衡因子，分别取5.19、0.35；W_1为水资源消耗量，m^3；W_2为水产品消费量，t；W_3为水污染稀释净化需水量，m^3；W_4为污染物排放量，t/a；a_1、a_2分别为全球水资源平均生产能力、全球水产品平均生产能力，分别取3140m^3/hm^2、0.18t/hm^2；i为污染物综合降解系数，0.25/d；j为水质目标浓度，mg/L。设定水质目标为Ⅲ类，选取水体污染物为化学需氧量COD，根据《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002），Ⅲ类水质标准的COD含量上限为20mg/L。

水生态承载力是指在维持水生态系统自身及其支持系统健康的前提下，基于一定的生态保护和承载目标，自然水生态系统所能支撑的人类活动的阈值[1]，计算公式为

$$\left.\begin{aligned} C &= Nc = \frac{0.4 r_1 y Q}{a_1} \\ y &= \frac{z}{a_1} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

式中：C为水生态承载力，hm^2；c为人均水生态承载力，hm^2/人；0.4指扣除60%用于维持生态环境系统健康的水资源量后剩余40%的水资源量；y为水资源产量因子；Q为水资源总量，m^3；z为多年平均单位面积产水量，m^3/hm^2。

2.2 可持续利用评价指标

水生态压力指数可衡量社会经济系统对区域水资

源压力强度的相对大小[1]，计算公式为

$$B = \frac{F}{C} = \frac{f}{c} \tag{3}$$

式中：B 为水生态压力指数，$B=1$，水资源供需平衡；$B<1$，水资源开发利用可持续；$B>1$，水资源开发利用不可持续；f 为 F 的人均值，hm^2/人。

水资源负载指数可反映水资源的时空分布、利用程度及水资源开发利用的难易程度[2]，计算公式为

$$u = k\sqrt{\frac{NG}{Q}} \tag{4}$$

$$k = \begin{cases} 1 & R \leqslant 200 \\ \dfrac{1-0.1(R-200)}{200} & 200 < R \leqslant 400 \\ \dfrac{0.9-0.2(R-400)}{400} & 400 < R \leqslant 800 \\ \dfrac{0.7-0.2(R-800)}{800} & 800 < R \leqslant 1600 \\ 0.5 & R > 1600 \end{cases} \tag{5}$$

式中：u 为水资源负载指数，分级指标见表1；k 为与降水有关的系数；R 为降水量，mm；G 为地区生产总值GDP，亿元。

表1 水资源负载指数分级指标

水资源负载指数	水资源利用程度	水资源开发条件
$u>10$	很高，潜力不大	艰巨，需要外来水
$5<u\leqslant10$	高	困难
$2<u\leqslant5$	中等，潜力较大	中等
$1<u\leqslant2$	较低，潜力大	较容易
$u<1$	低，潜力很大	容易，可兴建中小型工程

2.3 水资源利用与经济发展的脱钩关系

万元GDP水生态足迹可反映水资源利用与经济增长的关系[1]，计算公式为

$$D = \frac{F}{G} \tag{6}$$

式中：D 为万元GDP水生态足迹，hm^2/万元。

脱钩指数可刻画脱钩程度和方向，选取水生态足迹和GDP作为衡量水资源利用和经济发展的指标，利用Tapio模型计算水生态足迹对GDP的脱钩指数，脱钩程度可有效反映水资源利用和经济发展的协调关系[11]。计算公式为

$$v = \frac{\Delta F}{\Delta G} \tag{6}$$

式中：v 为水生态足迹对GDP的脱钩指数，分级指标见表2；ΔF 为水生态足迹增长率；ΔG 为GDP增长率。

强脱钩状态是最优状态，指在一定的经济规模、经济结构和技术水平条件下，可用最小的水资源代价实现经济的最优发展；强负脱钩状态是最不利状态，指水资源保障和经济发展同时恶化，经济萎缩时水资源消耗量却增加；其他状态处于强脱钩和强负脱钩之间，表示水资源利用与经济发展处于不充分协调状态。

表2 水资源利用与经济发展的脱钩界定

ΔF	ΔG	v	脱钩状态
$\leqslant0$	>0	$v\leqslant0$	强脱钩
<0	$=0$	—	强脱钩
>0	>0	$0<v<0.8$	弱脱钩
>0	>0	$0.8\leqslant v\leqslant1.2$	扩张连接
>0	>0	$v>1.2$	扩张性负脱钩
<0	<0	$v>1.2$	衰退脱钩
<0	<0	$0.8\leqslant v\leqslant1.2$	衰退连接
<0	<0	$0<v<0.8$	弱负脱钩
$\geqslant0$	<0	$v\leqslant0$	强负脱钩
>0	$=0$	—	强负脱钩

3 结果与分析

本文研究数据中水资源消耗量、水资源总量、降水量等来自2011—2019年《泰州市水资源公报》，多年平均单位面积产水量来自《泰州市水资源调查评价》，水产品消费量、GDP、人口等来自2011—2019年《泰州统计年鉴》，COD排放量来自2011—2019年《泰州市环境状况公报》。

3.1 水生态足迹和水生态承载力分析

根据水资源消耗量、水产品消费量、COD排放量、人口等，通过式(1)计算人均水生态足迹，结果见表3和图1。由表3和图1可知，泰州市人均水生态足迹呈下降趋势，2019年比2011年下降了12.0%，人均水生态足迹均值为1.10hm^2/人。各市区人均水生态足迹

由大到小依次为兴化、泰兴、城区、靖江；除靖江外，各市区均呈波动下降趋势，下降率由大到小依次为泰兴、兴化、城区。泰州市淡水资源生态足迹是水生态足迹的主体部分；淡水资源生态足迹呈下降趋势，与近年来实行最严格水资源管理制度、推进节水型社会有关；水污染生态足迹在水生态足迹中占比最小，呈下降趋势，与近年来打好污染防治攻坚战、实施水污染行动计划、限制污水排放总量、治理黑臭水体等有关；水产品生态足迹呈上升趋势，与水产品产量逐渐增加有关。靖江人均淡水资源生态足迹呈缓慢上升趋势，主要是因为国信靖江发电有限公司 2014 年建成投产后发电量和用水量逐年增加。各市区中城区人均水污染生态足迹

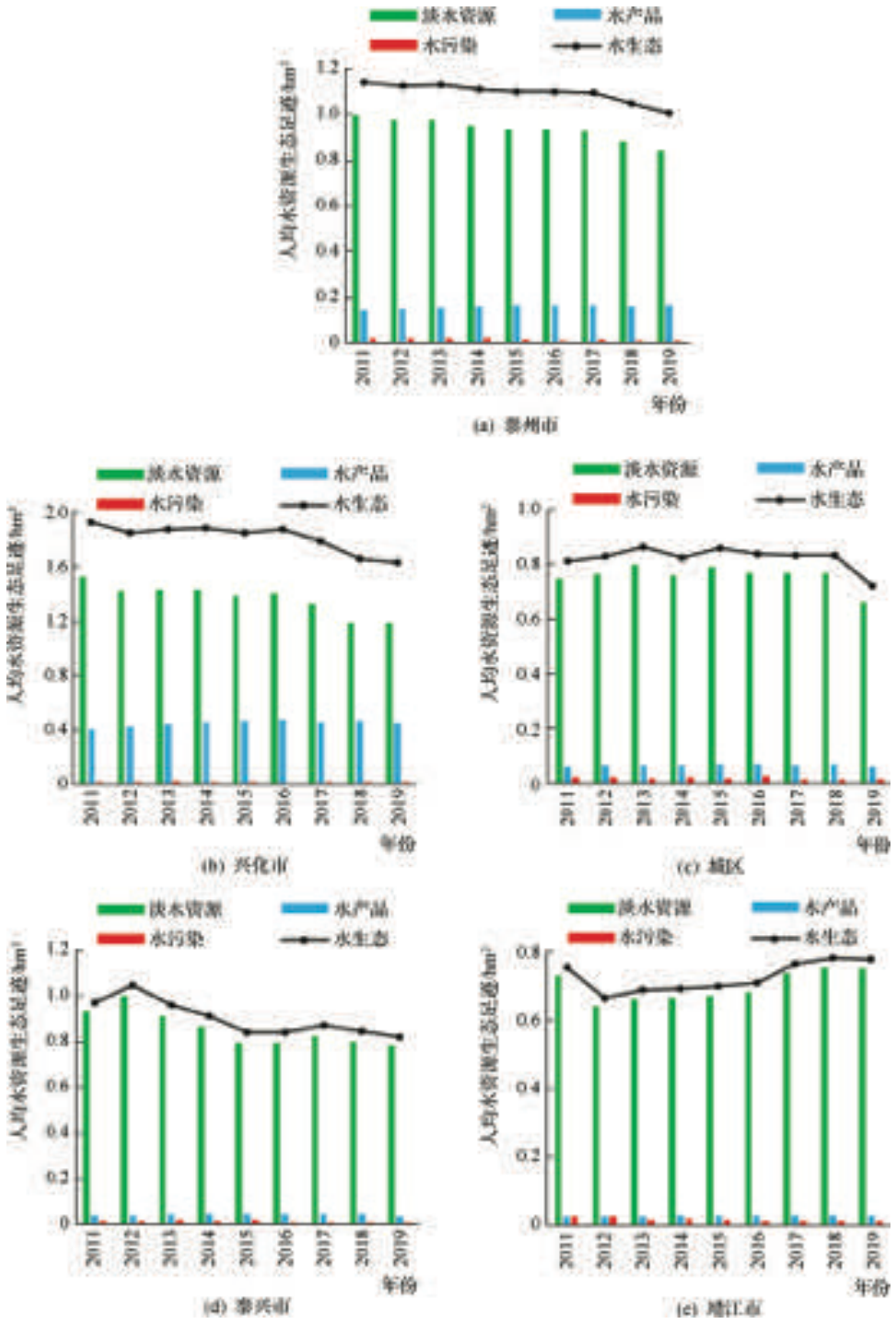

图 1　泰州市人均水资源生态足迹

最大,主要是因为人口密集、工业企业相对较多;兴化人均淡水资源生态足迹和人均水产品生态足迹最大、人均水污染生态足迹最小,主要是因为兴化为重要的农业种植和养殖区,水资源利用方式相对粗放。

表3　泰州市人均水生态足迹和人均水生态承载力均值

单位:hm^2

生态足迹	泰州市	兴化市	城区市	泰兴市	靖江市
人均淡水资源生态足迹	0.936	1.360	0.758	0.859	0.698
人均水产品生态足迹	0.159	0.448	0.066	0.043	0.027
人均水污染生态足迹	0.0158	0.0135	0.0194	0.0150	0.0154
人均水生态足迹	1.100	1.810	0.824	0.902	0.725
人均水生态承载力	0.344	0.465	0.291	0.304	0.311

根据水资源总量、多年平均单位面积产水量、人口等,通过式(2)计算人均水生态承载力,结果见表3和图2。由表3和图2可知,泰州市人均水生态承载力较低,年际波动,均值为0.344hm^2。各市区人均水生态承载力由大到小依次为兴化、靖江、泰兴、城区。兴化人均水生态承载力最高,主要是因为兴化为淮河流域"锅底洼"地区,水域面积占41.8%,水资源禀赋条件好;靖江、泰兴和城区,人均水生态承载力相差不大。

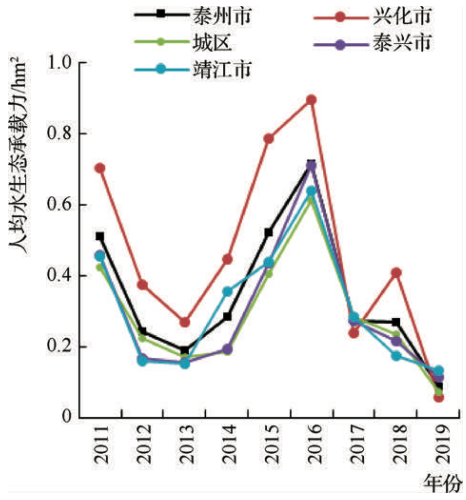

图2　泰州市人均水生态承载力

3.2　水资源可持续利用分析

根据水生态足迹和水生态承载力,通过式(3)计算水生态压力指数,结果见表4和图3。由表4和图3可知,泰州市水生态压力指数很高,年际波动,均值为4.4,说明泰州市的本地水资源不能满足当地用水需求、利用不可持续,受到威胁较大;各市区水生态压力指数由大到小依次为兴化、泰兴、城区、靖江。泰州市本地水资源禀赋与经济发展的冲突形势严峻,本地水资源不足且时空分布不均,水资源消耗量大于供给量,本地水供应再生能力难以支撑经济社会发展所需,用水需要依靠过境水,符合目前泰州饮用水水源地为长江的实际。

表4　泰州市可持续利用评价指标均值

指　标	泰州市	兴化市	城　区	泰兴市	靖江市
水生态压力指数	4.4	7.1	3.9	4.1	3.1
水资源负载指数	52	45	70	50	57

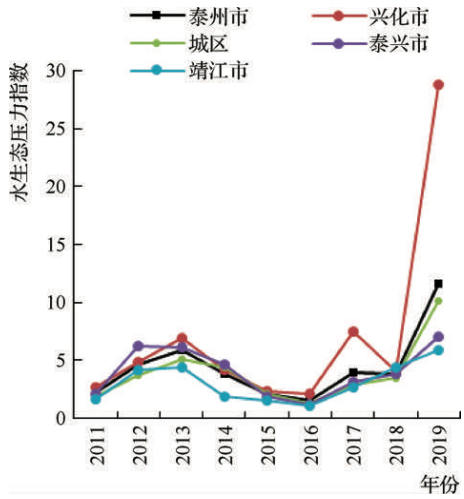

图3　泰州市水生态压力指数

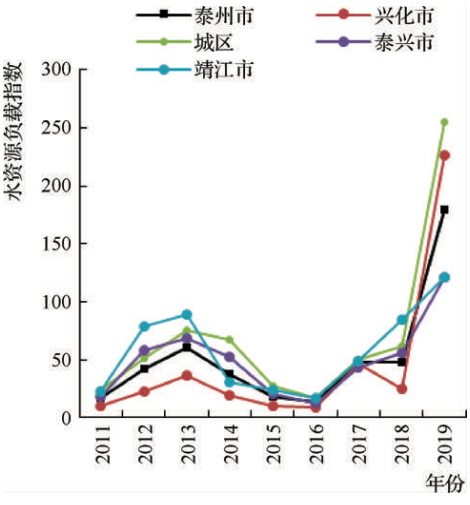

图4　泰州市水资源负载指数

根据降水量、人口、GDP、水资源总量等，通过式(4)、式(5)计算水资源负载指数，结果见表4和图4。由表4和图4可知，泰州市水资源负载指数很高，年际波动，均值为52，说明泰州市本地水资源利用程度很高，以后的开发潜力不大；各市区水资源负载指数由大到小依次为城区、靖江、泰兴、兴化。泰州市水资源开发利用率较高，本地水资源利用不容乐观，以后的开发潜力不大，为保证生产生活正常运行，对引用及利用长江水有较高要求。

3.3 水资源利用与经济发展协调分析

根据GDP和水生态足迹等，通过式(6)计算万元GDP水生态足迹，结果见表5和图5。由表5、图5可知，泰州市万元GDP水生态足迹呈逐年下降趋势，2019年下降到2011年的58%，均值为0.144hm^2，水资源利用率逐步提升。各市区万元GDP水生态足迹由大到小依次为兴化、泰兴、城区、靖江，各市区下降率由大到小依次为泰兴、城区、兴化、靖江。兴化历年值最大，用水效率最低，下降幅度较小；泰兴历年值较大，下降幅度最大，用水效率提高最快；靖江历年值最小，用水效率最高，下降幅度最小。

根据GDP和水生态足迹等，通过式(7)计算脱钩指数，结果见表6。由表6可知，泰州市水资源利用与经济增长基本处于强脱钩状态，水资源利用与经济发展趋于协调状态。各市区水资源利用与经济增长均处于脱钩状态，但协调关系差异明显，由好到差依次为泰兴、城区、兴化、靖江。泰兴基本为强脱钩，水资源利用与经济发展关系趋于协调；城区和兴化为强脱钩和弱脱钩交替出现，水资源利用与经济关系协调关系改善明显；靖江基本为弱脱钩，经济社会发展对水资源有所依赖。2014年靖江出现强负脱钩，主要是因为国信靖江发电有限公司建成后用水量增加，且2014年GDP较2013年略有下降；2019年兴化和靖江出现弱负脱钩，主要是因为泰州市要求减少煤炭消费总量和落后化工产能，钢铁、建材、化工等行业的部分企业限产停产，经济增长速度放缓，GDP增长率平缓降低。

泰州市万元GDP水生态足迹逐年下降、水资源利用率越来越高，主要是因为近年来走资源节约型、环境友好型的生态经济发展新道路：ⓐ积极落实最严格的水资源管理制度并将其列入政府目标绩效考评体系，将用水总量、用水效率、水功能区限制纳污等控制指标作为考核奖惩和责任追究的依据；ⓑ支持传统产业改造、推进产业转型升级，原有化工、钢铁、印染等高水耗、高污染产业向大健康产业、先进制造业、现代服务业等聚力转型，改变粗放用水方式，开展节水型载体和节水型工业园区创建，以水生态足迹的负增长保障了GDP的正增长；ⓒ推行国家节水行动，如泰州市2014年创成全国节水型社会建设示范区、2019年创成全国水生态文明建设试点、2020年创成国家生态文明建设示范市，姜堰、靖江、泰州医药高新区(高港区)、泰兴、兴化均创成江苏省节水型社会示范区，兴化、泰兴、姜堰、泰州医药高新区(高港区)先后创成国家级节水达标县，城区创成国家级节水型城市，进一步提高了水资源利用效率、推动了经济转型发展。泰州市水资源利用与经济发展逐步趋向于强脱钩、协调关系趋向于良好状态发展，经济发展对水资源的依赖程度不断降低。但仍存在水资源地区分布与人口、经济等社会条件不相匹配，经济发展较好的靖江水资源状况较差，水资源条件优越的兴化经济发展较为落后等问题。

表5 泰州市万元GDP水生态足迹均值

指 标	泰州市	兴化市	城 区	泰兴市	靖江市
均值/hm^2	0.144	0.349	0.089	0.137	0.067
下降率/%	58	56	58	62	43

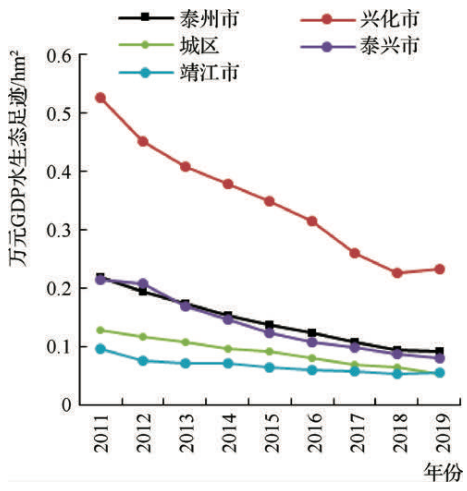

图5 泰州市万元GDP水生态足迹

表6 泰州市水资源利用与经济发展的脱钩关系

年 份	泰州市	兴化市	城区	泰兴市	靖江市
2012	强脱钩	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩
2013	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩
2014	强脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强负脱钩
2015	强脱钩	强脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩
2016	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	弱脱钩
2017	强脱钩	强脱钩	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩
2018	强脱钩	强脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩
2019	强脱钩	弱负脱钩	强脱钩	强脱钩	弱负脱钩

4 结 语

本文基于水生态足迹理论和脱钩指数，分析了2011—2019年泰州市及市区的水资源可持续利用、水资源利用与经济发展协调关系等，研究成果可为泰州市高质量发展提供决策依据，也可为长江、淮河流域及其他地区的水资源可持续利用与经济协调发展提供经验借鉴和参考。

为实现水生态系统和经济社会的可持续发展，泰州市要通过开源节流做好区域水资源统筹调配，优化水资源利用模式，实现城市发展规模、人口规模、产业结构和布局等经济社会发展要素与水资源承载能力相协调。在保障供水需求方面，需加大水利设施建设和维护力度，缓解极端天气造成的水资源生态承载压力，在利用好本地水资源的基础上，合理引用和利用过境长江水，逐步降低本地水资源的开发利用强度。在控制水资源消耗总量和强度方面，要对长江流域和淮河流域建立不同的节水模式，长江流域地区要加强技术交流与合作，推进产业转型升级，引导产业有序转移，打造核心竞争优势，淘汰污染严重企业；淮河流域地区要加大产业结构调整力度，进一步优化农作物和渔业养殖的规模和结构，推广智慧灌溉技术、发展节水农业，减少淡水资源消耗。

参考文献

[1] 封志明，刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报，2006，21(5)：689-699.

[2] 魏俊，张中旺，燕鑫. 基于ESEF的汉江生态经济带水生态承载力评估[J]. 水资源开发与管理，2020(3)：29-34.

[3] 沈玉洁. 基于生态足迹法的河南省水资源可持续利用分析[J]. 水资源开发与管理，2020(6)：47-52，3.

[4] 刘燕，何有华，周建海. 引洮工程对定西市水资源生态承载力的影响研究[J]. 水资源开发与管理，2020(12)：33-36，41.

[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] 吴丹. 中国经济发展与水资源利用脱钩态势评价与展望[J]. 自然资源学报，2014，29(1)：46-54.

[7] 李宁，张建清，王磊. 基于水足迹法的长江中游城市群水资源利用与经济协调发展脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境，2017，27(11)：202-208.

[8] 贾莉，刘彦花，沈怡静. 水资源利用与经济发展脱钩分析——以广西北部湾经济区为例[J]. 人民长江，2018，49(2)：40-45.

[9] 王喜峰，沈大军，李玮. 水资源利用与经济增长脱钩机制、模型及应用研究[J]. 中国人口·资源与环境，2019，29(11)：139-147.

[10] 彭虹，黄攀攀，张万顺，等. 重庆市农业用水量与农业经济发展脱钩程度的时空变化[J]. 水资源保护，2020，36(2)：13-20.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.06

节水型高校建设的实践探索

张海龙

(水利部综合事业局,北京 100053)

【摘 要】 高校是当前我国社会各个用水单元之中的主要用水大户,具有用水人员相对集中,用水效率普遍不高等特点,在全国高校范围内积极推行节水型高校建设具有重要意义。本文简要总结了高校的主要用水特点以及普遍存在的用水问题,以湖北工业大学为例,简要分析其用水现状,提出了节水型高校建设的相应措施建议,可为其他节水型高校建设提供一定的思路及参考。

【关键词】 高校节水;节水型高校建设;节水措施

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-029-04

Practical exploration of water-saving construction in colleges and universities

ZHANG Hailong

(*Bureau of Comprehensive Development Ministry of Water Resources*, *Beijing* 100053, *China*)

Abstract: At present, colleges and universities are the major water users among all water units in our society, with the characteristics of relatively concentrated water users and generally low water efficiency. It is of great significance to actively promote the construction of water-saving colleges and universities in the whole country. This paper briefly summarizes the main characteristics of water use in colleges and universities and the common problems of water use, and taking Hubei University of Technology as an example, briefly analyzes its water use status, and puts forward the corresponding measures and suggestions for the construction of water-saving colleges and universities, providing some ideas and references for other water-saving colleges and universities.

Key words: water saving in colleges and universities; water-saving university construction; water saving measures

高校是培养社会高端人才的摇篮,是经济社会发展和节水型社会建设进程中的重要社会单元,其典型的文化属性赋予其独特的代表性地位。为贯彻落实党的十九大精神和“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水思路,《国家节水行动方案》中提出了到2022年要建成一批具有典型示范意义的节水型高校的具体目标。全国各地高校纷纷响应,不同程度地开始了建设节水型高校的实践探索。

1 当前我国节水型高校建设工作的开展情况

坚决打好节约用水攻坚战,是各级节水管理部门的重要职责和任务。其中一项重要工作内容就是要全面推动节水型高校建设,尽快在全国范围内建设一批节水意识强、节水制度完备、节水器具普及、节水标准先进、监控管理严格的节水型高校。目前,全国已初步建设完成了300多所节水型高校,极大地促进了高校

收稿日期:2022-03-01

作者简介:张海龙(1976—),男,高级工程师,主要从事合同节水相关政策、课题研究及高校、机关等节水项目的建设实施管理工作。

在用水方式上由粗放型向节约集约型转变,提高了这些高校的用水效率。为有效促进全国节水型高校建设工作,水利部相关职能部门先后发布了《关于深入推进高校节约用水工作的通知》等多个重要文件,以及《节水型高校评价标准》《高校合同节水项目实施导则》等多个团体标准。省市各级节水管理部门也纷纷组织高校和节水设计、施工等企业进行典型案例经验交流、先进节水技术推广等活动,积极推进节水型高校建设。

2 高校用水特点及存在的问题分析

2.1 高校用水特点

高校一般是用水大户,用水人员相对比较集中,用水效率普遍不高,人均用水量普遍高于城镇居民人均用水量。高校用水量主要受校园用水人数和校园内各楼宇建筑面积等因素影响,其用水结构按用水区域来划分,主要可分为教学办公用水、宿舍用水、食堂用水、运动场馆用水、绿化及道路冲洗用水等。在高校各用水单元中,学生及教工宿舍用水占的比例最大,约占用水总量的30%~40%,带浴室的学生宿舍用水比例会有所增加;教学办公用水仅次于宿舍用水,约占总用水总量的10%~20%;高校食堂用水量占高校用水总量的5%左右,但随着食堂用水随着食堂管理的规范化和管理水平的提升,以及设施设备的更新换代,用水量呈下降的趋势;高校的绿化用水量,与高校绿化面积以及高校所在区域的降雨量分布等气候条件有关,一般不超过用水总量的2%。当然,这些统计数据会根据学校的规模、性质以及所处的地域位置等条件的不同有所差别。除了上述这些用水单元,在高校用水结构中,相当一部分高校的管网漏损水量占其用水总量很大一部分。不同高校管网漏损水量的多少与其校园管网建成年代和学校管网维护水平等综合因素有关。

2.2 存在的主要问题

我国高校数量众多,相当一部分高校用水管理较为粗放,普遍存在较为严重的用水浪费现象。在推进节水型高校建设过程中,调研发现高校普遍存在的用水问题主要包括:供水系统设施老旧、用水计量措施不完善、节水器具普及率低、节水管理不善、节水意识不高等。

2.2.1 供水系统

a. 供水管网陈旧老化,部分高校供水管网超过其使用年限,相当一部分管材已经被列为应淘汰管材而未淘汰,造成管网漏损严重。

b. 供水加压分区不够合理,部分高校供水泵房及管网布局不合理造成管网负荷不均,一定程度上存在远端压力过低、流量过小,近端压力过高、流量较大等现象。为保证远端压力,一些泵房在运行的过程中加大压力,从而加剧了近端的管网漏损。

2.2.2 用水计量设施

部分学校完全未安装或较少安装二级计量水表。现有的部分一级水表和二级计量水表也是老旧产品,且大部分学校尚未推行分区计量管理,不能满足智能化、精细化用水管理要求,更无法满足在线监控的需要。

2.2.3 终端用水

a. 节水型用水设备尚未全面普及,节水器具配备率普遍不高,一部分高校达不到100%安装使用合格节水产品。

b. 终端用水设备损坏严重。一些高校安装的部分终端用水设备因为质量问题及用水人员的不正确操作,经常出现跑冒滴漏现象,造成用水浪费。

c. 终端用水设备分类选型不够合理。一些高校在安装用水设备时未充分考虑实际用水条件和用水需求,设备分类选型不够合理,导致后期频繁更换节水型器具,增加了节水改造的成本。

2.2.4 非常规水利用

校园内无景观湖或其他水域,目前也未对雨水、中水、灰水、浓水等非常规水采取利用。

2.2.5 节水管理

a. 管理机构设置存在一定的不合理性。一些高校用水管理部门职责划分不明确,部门之间关系沟通不畅,只是依据惯例开展相关工作。

b. 管理制度不完善。大部分高校的用水管理制度体系不健全,普遍存在薄弱环节,特别是普遍缺乏考核机制。日常用水原始记录等资料不健全,用水管理方式比较粗放。

2.2.6 节水宣传

一些高校校园内师生节水意识不高，难以形成主动纠正不文明用水行为的校园节水氛围。这类问题的产生主要是因为校园节水宣传教育力度不大，节水宣传模式缺乏新意，在校师生参与度不高，与产学研结合不够紧密等。

3 湖北工业大学节水型高校建设实例

3.1 学校基本用水概况

湖北工业大学主校区占地面积约为 107 万 m^2，校舍建筑面积约 100 万 m^2，各类建筑约 124 栋，绿化面积约为 43 万 m^2，道路面积约为 21 万 m^2；学校在校师生和教职员工约 32000 人左右，主校区 2019 年用水总量约为 290 万 m^3，人均用水量约为 204L。该校从年用水总量上来看，未超过武汉市节水办下达的高校计划用水量，但校园人均用水量高于湖北省普通高校用水定额（178L）。

经过对湖北工业大学主校区进行用水调查和现状分析，可以发现该校校园供水主要是由市政直供至校园内的二次加压供水泵房。校园内二次加压供水分区总共 9 个。供水管网网络系统结构复杂，自建校投入使用以来，从未进行过大规模的改造。该校在 2000 年以前建成（改造）的管网一般使用的是连续灰口铸铁管或镀锌钢管，部分管网早已超过使用年限，学校后勤部门近两年来每年都能探测出 20 余处管网漏点。尽管该校主校区供水管网重要节点全部安装了二级机械计量水表，但部分二级水表因损坏或环境恶劣早已无法正常计量。主校区终端用水设备约有 39000 个左右，其中节水型器具约占 75%，学校目前未建立用水监管平台，也未在适宜用水区域充分利用雨水、中水、灰水、浓水等非常规水源取代市政供水。在用水管理方面，和其他大部分高校情况类似，由用水用电管理机构具体负责节水工作，但管理方式比较传统粗放，水电管理制度尚不完善。在节水宣传教育工作方面比较重视，校园内会不定期组织开展节水宣传教育活动，积极培养师生节约用水的观念和习惯，认识节约水资源的重要性。

3.2 主要节水措施

湖北工业大学结合自身实际，在全面调查和分析的基础上，研究提出了自身节水型高校建设目标，制定了具体行动建设方案，提出主要从工程措施节水、管理节水、行为节水等以下几方面入手，开展节水型高校建设。

3.2.1 工程措施改造

a. 优化供水管网系统。由专业队伍，以现场探漏方式对校园供水管网进行全面漏损检测，绘制全校供水管网 3D 现状图，并建立地下供水管网渗漏报警平台，对探测出的漏损管网及时进行治理修复。首先，采用开展现场探漏检测。基于学校供水管网漏损现状，采取听音、相关探测、探地雷达等技术对管网漏损进行及时探测。在消火栓、阀口上听测对大范围管线漏损进行检测，在地面听测对漏损点进行定位。经漏水相关探测对可疑区域进行分析，判断漏水原因，并对漏水区域精确定位，记录漏点相关数据。对于可疑区域，通过探地雷达进行巡检，实现管网漏损检测全覆盖。其次，建立地下供水管网渗漏报警平台。在现有用水计量系统上，进一步完善系统的水耗计量硬件设施，建设供水管网信息化管理平台，对供水管网配置压力监测仪表，采集供水压力数据。通过对校区供水管网供水压力进行实时监测，对供水系统进行实时预警和报警，增强对突发性用水安全事故的预先处理能力；确保供水系统稳定和安全，减少人工巡查，实现智能化管理。对供水管网配置压力采集设备并传输至供水管网信息化管理平台实现对校区地下供水管网供水压力和流量的实时监测，以便科学、准确地进行供水调度。最后，进行供水管网修复。对校区管道状况基本完好的漏损区域进行局部常规开挖修复，对不适宜开挖路面的供水管网漏损点通过非开挖修复技术（如：采用内衬法、喷涂法和灌浆法）进行处理。

截至目前，通过现场探漏及建立的地下供水管网渗漏报警平台，坚持日常分析数据并不间断探漏治漏，共定位和维修 27 个漏水点，检测漏损量约 94.5t/h，每月止损水量 2 万余立方米，节水率贡献率约 25.87%。

b. 完善水计量设施。在计量方面，将一级水表、

二级水表全部更换为远传水表，同时加装分区计量水表，且同步建立了监控平台，将全部计量水表与用水监控平台连接，实现了供水管网的长期实时监控管理，全面提升了学校校园节水管理的信息化、自动化、规范化管理水平。综合考虑建设范围、管网布设及学校实际情况，共计加装或更换水表144块，包括一级水表10块，二级水表116块，管网分区计量水表18块。

c. 更换及改造用水终端器具。在用水终端器具方面，学校结合校园实际情况和师生用水需求，通过推广节水新技术，如水龙头加装起泡器、蹲便器节水脚踏阀、安装节水水箱等，淘汰老旧末端用水器具，更换新型节水器具，如水阀、水龙头、淋浴喷头等，进行泵房水压管理。同时，在低楼层超压出流严重的区域进行末端压力控制，更换部分高档节水器具，如脚踏阀更换为节水冲水箱、无水小便器更换等。通过选用一批先进适用的新型终端节水产品完成了部分终端用水器具的节水改造。截至目前，已累计更换安装的各楼栋各类节水水龙头、蹲便器节水脚踏阀等各类阀门、节水手持花洒、感应小便斗及无冲水小便器等，共计更换超过30000件。

此外，通过新建雨水调蓄池收集雨水，用于景观绿化用水、道路冲洗、洗车用水等。

3.2.2 管理能力建设

a. 提升节水管理水平。学校积极完善用水管理机构，成立了节水型高校建设领导小组。在领导小组协调指导下，全面梳理规范用水管理制度，补充和修订了《湖北工业大学用水设施运维管理办法》等多个管理制度。根据新制度进一步规范和加强了办公综合楼用水设施设备和供水管网的日常维护和管理。同时，节水智能监控平台的投入使用，也为提高用水精细化管理水平提供了保障手段。

b. 全面提升节水意识。学校制定了新的节水宣教计划，增加了专门宣传经费，策划并开展了节水讲座和培训、校园节水志愿者、节水公益活动、节水宣传周边产品等系列活动。在校园内逐渐形成了节约用水的良好氛围，极大地提高了在校师生和教职员工的节水意识，也有助于广大师生和教职员工自觉成为建设节水高校的宣传者、推动者和实践者。

c. 加强节水考核。将学校年度用水计划分解到主要用水部门和单位，对各单位用水单元独立计量，实施月通报、年考核。鉴于学校用水现状，建议每栋学生宿舍楼配备节水监督员，对学生宿舍用水情况进行监督，发现不文明用水行为及时提醒、制止，规范宿舍区域用水行为。高校节水领导小组按照确定的年度节水工作任务要求，对管理部门节水工作、各用水部门（用水单元）用水情况进行监督考核，考核结果纳入干部年终考核，并与绩效挂钩。对于学生宿舍用水考核结果可以设立“节水标兵”流动红旗，并给予一定物质奖励。

为推进学校节水工作，湖北工业大学正积极探索新型节水模式，与节水服务企业合作，通过合同节水的方式，由节水服务企业在合同期内负责节水改造项目所涉内容的维护和管理。项目实施内容主要包括：供水管网的智慧监测、管理和控制平台的搭建、供水管道“跑、冒、滴、漏”的勘查和维修、终端用水器具的节水改造、二（三）级计量表的优化和完善、非常规水的利用等综合的节水改造措施以及在合同期内负责节水改造项目所涉内容的维护和管理。项目采用节水效益分享模式，用水单位从节约的水费中分享（支付）节水效益给成交供应商。

3.3 节水成效

目前，湖北工业大学主校区正在全面实施节水改造工作，通过实施校园节水宣教、节水工程建设、节水管理提升、节水特色创新等一系列节水型高校建设行动，将基本实现管网压力合理分布、供水工程达到了节水降耗指标、用水总量持续下降、供水保障能力不断提高的目标。使该校节水器具安装普及率达到了100%，管网漏损率控制在8%以下，二级计量设施的水计量率达到100%，绿化灌溉全用雨水进行替代，人均用水量降至160L左右。

待工程全面实施完成后，不仅供水保障能力会得以提升，还将产生一定的经济、社会及环境效益。改造后，湖北工业大学预计年节水量将达到45万m^3左右，按照当地水价2.47元/m^3计算，预计可节约水费约110万元。同时，由于采用节水器具，减少用水量，可间接减少水泵房加压设备用电能耗，每年可节省15万元左右。（下转第36页）

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.07

叶集区节水工程建设现状与节水改进措施

徐祥友

（安徽省六安市叶集区水利局,安徽 六安 237431）

【摘 要】 节约用水是实现水资源可持续利用最直接有效的途径之一。“十三五”期间,叶集区围绕农业、工业、城镇生活、再生水利用等领域开展了与节水相关的工程建设,并取得了显著的成效。目前,叶集区仍具有较大的节水潜力和节水空间。本文针对各领域节水工作中存在的问题,提出了相应的改进措施,旨在加快推进用水方式由粗放型向节约集约型转变,提高水治理能力,旨在为推进叶集区节水型社会建设提供参考。

【关键词】 节水工程;工程现状;节水措施;叶集区

中图分类号：TV213.4 文献标志码：B 文章编号：2096-0131(2022)05-033-04

Present situation of water-saving project construction in Yeji District and water-saving improvement measures suggestion

XU Xiangyou

(*Anhui Lu'an Water Conservancy Bureau of Yeji District*, *Lu'an* 237431, *China*)

Abstract: Water-saving is one of the most direct and effective ways to realize the sustainable utilization of water resources. During the "13th Five-Year Plan" period, Yeji District carried out water-saving related engineering construction around agriculture, industry, urban life, reclaimed water utilization and other fields, and achieved remarkable results. However, at present, the leaf-gathering area still has great water-saving potential and space. In view of the problems existing in water-saving work in various fields, the corresponding improvement measures are put forward, which can accelerate the transformation of water use mode from extensive to economical and intensive, improve water treatment capacity, and providing reference for promoting the construction of water-saving society in Yeji District.

Key words: water-saving project; engineering status; water saving measures; Yeji District

水资源短缺问题已经成为我国经济社会可持续发展的重要制约因素之一,节约用水则是实现水资源优化配置与可持续利用的前提和关键。近年来,叶集区坚持节水优先,积极推进节水型社会建设,区域节水工作愈加受到关注。本文在介绍叶集区自然地理和节水工程现状的基础上,分析了节水工作中存在的问题,并提出相应的改进对策与措施建议。

1 基本情况

叶集区隶属安徽省六安市,地处豫皖两省,金寨、霍邱、固始三县交界处。全区辖姚李镇、洪集镇、三元

收稿日期：2022-02-25

作者简介：徐祥友(1975—),男,助理工程师,主要从事水资源管理、节约用水管理工作。

镇、孙岗乡、史河街道、平岗街道6个乡镇街道，共有71个行政村和5个社区，区域面积568km^2。叶集区处于北亚热带湿润气候区，全年平均气温15.41℃，年均降水1170mm，多年平均蒸发量826.1mm，多年平均降水量为6.50亿m^3[1]。境内河流属淮河水系，主要有史河、马道河、石龙河等自然河流。

近年来，随着社会经济的不断发展、技术进步及用水管理的逐步加强，叶集区水资源利用水平与效率不断提高，但节水水平尚有较大的提升空间。人均综合用水量和万元GDP用水量是反映一个地区总体用水水平的综合指标，与当地水资源条件、经济发展水平、水资源管理水平等因素密切相关。2020年，叶集区人均综合用水量为471.20m^3，万元GDP用水量为154.00m^3，与六安市其他区县相差不大，但远高于安徽省和全国平均水平，叶集区综合用水水平及城乡居民人均生活用水量较低，农业灌溉率和工业用水循环利用率也不高，不同区域用水水平指标值见表1。

表1　六安市叶集区2020年用水水平指标情况

指　标　分　项	叶集区	六安市	安徽省	全　国
人均用水量/m^3	471.20	480.50	430.40	412.00
万元GDP用水量/m^3	154.00	133.40	69.40	57.20
居民生活人均用水量/(L/d))	39.30	41.60	43.10	44.10
万元工业增加值用水量/m^3	45.90	45.20	29.60	32.90
农业灌溉亩均用水量/m^3	317.60	321.10	235.90	356.00

2　节水工程建设现状

“十三五”期间，叶集区围绕农业节水、工业节水、城镇生活节水、非常规水源利用等领域开展了相关的节水工程建设，通过多年的节水创建工作，已取得了显著的成效。

2.1　农业节水

叶集区依托现有灌溉渠道工程，以渠道水源为主，大力发展渠系防渗节水灌溉，配套众多小型和微型水源工程，完成了沣西干渠渠道续建配套与节水改造工程以及沣东干渠除险加固工程，开展了节水灌溉工程建设，建成了石龙河现代农业示范区，完成了示范区渠道防渗节水建设和喷灌技术推广，灌区水资源利用效率进一步提升，灌溉水利用系数达到0.5206。在农业水价综合改革中，叶集区认真落实农业灌溉用水计量工作，加快了计量设施建设，提高了农业灌溉用水效率，供水计量设施安装情况见表2。

表2　六安市叶集区近几年供水计量设施安装情况

序号	安装年份	乡镇街	计量设备类型		安装数量/套
			种　类	名　称	
1	2019	姚李镇	超声波	流量计	2
2	2020	洪集镇	智能化系统	明渠流量测量系统	1
3	2021	姚李镇	超声波	明渠流量计	7
			雷达	流量计	1
		洪集镇	箱涵式时差超声波	流量计	1
		三元镇	超声波	明渠流量计	1
			雷达	流量计	1
		孙岗乡	超声波	明渠流量计	23
			雷达	流量计	2
		平岗街道	超声波	明渠流量计	7
			超声波	明渠流量计	6
合　计			52		

2.2　工业节水

叶集区切实开展节水型企业建设工作，全面提高叶集区工业企业用水效率，“十三五”期间建成六安南方水泥有限公司、大团结农业有限公司等节水型企业。企业始终把计划用水、节约用水放在重要位置，注重节能减排等方面的技术改造、革新工作。六安南方水泥有限公司实行生产设备冷却用水循环供水，循环水利用率达98%。建造专用管道将原排入雨水管网的水泥磨罐体喷淋冷却水排至循环水池，进行重复利用。大团结农业有限公司安装冷凝水回收装置，对热蒸汽在精炼车间使用后温度降低产生的冷凝水进行回收，有效提高了企业用水效率。

2.3　城镇生活节水

叶集区将节水落实到城市建设、管理等各环节，实现优水优用，构建城镇良性水循环利用系统，推进城镇节水改造。叶集区水利局率先建成水利行业节水机关。洪集水利站高度重视节水工作，全面开展中小学节水教育基地创建工作，共同推进节水型社会建设。针对“跑、冒、滴、漏”和浪费水严重的供水管网，叶集

区投资约2000万元开展城市供水管网改造，改造和新建管网总长约33km，改造户数1200户左右。通过水资源有偿使用制度的实施，加强了对各用水户的水量调控，并实行超定额用水累进加价制度，在很大程度上增强了用水户节水的自觉性。

2.4 非常规水源利用

叶集区支持企业开展节水改造和再生水回用改造，“十三五”期间，投资约8000万元建设污水处理厂并引进先进的污水处理技术。光大生物热电（六安）有限公司通过自建管道的方式，每日从叶集区污水处理厂取中水3000～5000m^3，自制水量1000～2000m^3。所用中水不仅为企业内部提供冷却用水，同时为园区企业提供热力和蒸汽能源。2018—2020年叶集区再生水利用情况见表3。

表3 叶集区2018—2020年再生水利用情况

序号	年份	污水总量/万 m^3	再生水利用量/万 m^3	再生水利用率/%
1	2018	490.00	73.00	14.90
2	2019	481.31	91.25	18.95
3	2020	724.45	127.75	17.63

3 节水工作中存在的问题

叶集区节水工作在水资源可持续利用方面取得了一定的成效，为提高水资源利用效率提供了一定的保障，但目前仍存在着节水制度不健全、节水设施建设尚不到位、民众节水意识较低等问题，与国内外先进的节水地区相比，用水效率还存在着较大的差距。

3.1 节水管理制度尚不健全

叶集区实行最严格水资源管理和节水管理的规章制度尚不健全，关于节水奖励、激励政策等方面的制度也不完善，节水工作存在职责不明、动力不足、监督不力等问题。同时，已有的节水政策法规和制度没有完全得到落实，节水管理仍处于分割状态，节水治污缺乏系统的组织和协调，难以实现水资源的合理开发和有效保护。

3.2 节水设施建设尚不到位

叶集区内老旧管网升级改造、供水管网漏损控制工作尚不到位，供水管网漏损率偏高，需进一步做好管网升级改造工作。医院、图书馆、公共卫生间等场所仍存在使用非节水型器具的现象，节水器具普及率未达到100%。水资源高效利用的工程技术体系不完善，高效节水灌溉技术的推广力度不足。

3.3 社会节水意识有待加强

叶集区境内河流纵横，水资源量相对较丰富，但合理开发和节约水资源的意识不强，水资源开发利用中还存在重建设轻管理、重开发轻保护、重利用轻节约的现象。节约用水和保护水资源等在不同领域、不同部门的认识深度与行为主动性上存在差异，全社会尚未将节水与水资源保护上升为一种文明生活习惯和方式。

4 节水改进措施与对策建议

为大力推进节水型社会建设，叶集区还需全面加大农业、工业、城镇生活等各领域的节水力度，建立全社会、全领域、全方位的立体节水模式。具体节水改进措施与对策建议如下：

a. 加快农业灌溉用水计量设施的安装，2020年叶集区农业灌溉用水计量率仅为5.19%，计划在姚李镇、洪集镇、三元镇、孙岗乡和平岗街道所属河流的49个放水口加装计量设施，预计2022年底灌区渠首计量率达到60%及以上，目前正在开展计量设施的安装。注重深化农业水价综合改革，高效完成农业水价改革任务。需加强农业灌溉用水管理，2020年叶集区灌溉水利用系数为0.5206，为加快推进农业节水改造和灌区节水改造，将开展胜天支渠灌区、下骆山支渠灌区等灌区的续建配套和节水改造工程以及看花楼提水站、林店电灌站技改工程，预计2025年底农田灌溉有效利用系数达到0.5400及以上。远期应注重合理完善农业用水配置，开展林果蔬菜与养殖业的集约化节水建设。

b. 根据叶集区工业产业布局及发展方向，应重点抓好高耗水行业的节水工作，认真落实工业用水计量工作，保证工业用水计量率达到100%。合理调整布局，加快淘汰高耗水、低效率的工艺和设备，严格市场准入及限制高消耗、高排放、低效率行业盲目发展，通过计划用水管理，加强总量控制、系统节水改造及水资源循环利用等措施，减少工业企业产品取水量，控制污

水排放量,提高水资源利用效率。大团结农业股份有限公司已建成节水型企业,节水型社会建设期间,巩固节水型企业的建设工作,保证规模以上重点用水行业节水型企业建成率达到50%,形成典型示范,以点带面,带动区域内企业节水。

c. 城镇节水方面,要强化水资源刚性约束,坚持量水而行,因水制宜,将水资源承载能力作为衡量城镇化发展的重要指标。应重点加强节水管理制度的落实,严格控制高耗水服务业的用水。2020年供水管网漏损率为17.2%,叶集区将加强城镇老旧供水管网的升级改造,改善城镇供水管网漏损情况,预计2022年底公共供水管网漏损率将降低至13%及以下[2]。要全面开展公共机构节水型单位、节水型居民小区以及节水型企业的创建等工作,计划至2022年底,公共机构节水型单位建成率由现状1.8%提升至60%,节水型居民小区建成率提升至20%。目前,叶集区节水型社会建设正稳步推进。

d. 在科学合理开发利用地表水、地下水的同时,积极开发利用再生水、雨洪水等非常规水源,提高叶集区水资源的可持续利用能力;加快实施再生水利用工程,把非常规水源开发利用纳入全区水资源统一配置。2020年,叶集区污水总量724.45万m^3,再生水利用量达到127.75万m^3,占污水总量的17.6%。节水型社会达标建设期间,将重点加强管网改造和雨水集蓄利用。开展叶集区污水处理厂配套管网二期工程、经济开发区易涝点整治工程二期等,优化供水系统与配水管网,推动具备条件的乡镇街建立再生水利用管网和分质供水管网系统。城镇建设应同步配套建设污水收集、处理设施,注重再生水利用设施的配套建设。

5 结 语

近年来,叶集区在工业、农业、城镇生活等领域的节水工作中取得了显著的成效,但当前节水工作中也存在着许多问题。本文针对建设中未能解决的问题,提出了相应的节水改进措对策建议,以期节水工作覆盖全区,建立全社会、全领域、全方位的立体节水模式,从而推进叶集区节水型社会创建。

参考文献

[1] 彭德志. 六安市叶集区再生稻绿色高产高效栽培技术[J]. 现代农业科技,2021(12):29-30,37.

[2] 王丽莎. 浅谈庆阳市马莲河流域节水措施[J]. 南方农业,2021,15(20):220-221.

(上接第32页)

通过节水改造,节水率约达到15%~20%,按每使用1m^3清水产生0.85m^3污水计算,至少可以减少年排污超38万m^3。按照2018年湖北省万元工业增加值用水量63m^3测算,通过项目实施每年可以支撑超8000万元的地区工业增加值。

4 结 语

节水型高校建设工作,在各地各级水利部门的积极配合和广大高校的热烈响应下,逐渐取得愈发明显的成效,也得到社会广泛的关注。大力推进节水型高校建设工作,是一项方兴未艾的具有公益属性的事业,其作用不仅体现在提高高校用水效率,减少用水损失,减少污水排放,降低高校办学成本等方面,更为重要的作用是通过培养大学生群体的水忧患意识和节水意识,可以进一步带动整个社会节约用水的文明消费方式,促进自觉节约水资源、爱护水环境的社会风尚,进而助推节水型社会建设目标早日实现。

参考文献

[1] 水利部 教育部 国家机关事务局关于深入推进高校节约用水工作的通知[J]. 中华人民共和国水利部公报,2019(3):13-14.

[2] 国家发展和改革委员会. 关于推行合同节水管理促进节水服务产业发展的意见[Z]. 2017.

[3] 郭路祥. 我国合同节水管理现状与前景分析[J]. 中国水利,2016(15):10-12.

[4] 郭秀红,杨延龙. 关于实施高校合同节水的几点思考[J]. 中国水利,2019(9):8-10.

[5] 蒋浩然,王明明,韩冲,等. 高校用水特征分析及用水定额制定——以江苏省为例[J]. 水利发展研究,2020,20(12):40-44.

[6] 梁艳清,何立新. 高校节水的样板-河北工程大学合同节水[J]. 河北水利,2019(4):11,27.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.08

上海市水生态环境控制单元划分的实践与思考

黄　蓉　卢志华　卢士强

（上海市环境科学研究院，上海　200233）

【摘　要】“十四五”期间，水环境工作重点也从水环境转向水生态，水生态环境控制单元分区划分是推行流域水生态环境精细化管理的科学、有效的技术手段。本文经过调研上海市水生态环境分区管控的历程，结合上海平原感潮河网的水文、水生态环境的特点，从水利片调度、海陆统筹、流域统筹等方面提出了适用于上海市水生态环境管控制单元划分工作的要点，为“十四五”期间我国平原河网地区划分水生态环境控制单元、落实水生态环境精细化管理提供技术支撑。

【关键词】平原感潮河网区域；水生态环境；分区管控；精细化管理

中图分类号：TV213.4　　文献标志码：B　　文章编号：2096-0131(2022)05-037-06

Practice and thoughts on water ecological environment zoning control unit in Shanghai

HUANG Rong, LU Zhihua, LU Shiqiang

(*Shanghai Academy of Environmental Sciences*, *Shanghai* 200233, *China*)

Abstract: During the 14th Five-Year Plan period, the focus of water environmental work has shifted from water environment to water ecology. Zoning of water ecological control units is a scientific and effective technical means to promote lean management of water ecological environment in river basins. This paper investigates the process of water ecological environment zoning control in Shanghai. Combined with the hydrology and water ecological environment characteristics of tidal river network in Shanghai plain, it puts forward the key points of water conservancy project scheduling, land and sea overall planning, river basin overall planning, etc., which provides technical support for the division of water ecological environment control units and the implementation of lean water ecological environment management in plain river network areas in China during the 14th Five-Year Plan period.

Key words: plain tidal river network area; water environment; zoning control; lean management

2015年国务院发布《水污染防治行动计划》，提出要对全国重点流域实施分流域、分区域、分阶段科学管理。各省市自治区综合考虑控制断面、水体和相应的汇水范围，划分了1748个水环境控制单元，实施水环境精细化管理[1]。“十三五”期末，水环境保护与治理工作取得了显著成绩，根据生态环境部统计：2020年，

收稿日期：2022-02-18

基金项目：上海市生态环境局科研项目（沪环科[2020]第30号），上海市科学技术委员会计划项目（21DZ1202500）

作者简介：黄蓉（1989—），女，工程师，博士，主要从事生态环境保护规划与水污染防治工作。

全国地表水优良水质断面比例达到83.4%，比2015年提升了19.9%[2]。“十四五”重点流域规划工作重点从水污染防治过渡到水生态环境保护，强调“三水”统筹管理[3]。因此，“十四五”期间，要继续将分区管控运用在水生态环境保护中，推进水资源保护、水污染治理、水生态修复“三水共治”，将水生态纳入分区管控的考量范围，在水环境控制单元的基础上，进一步优化调整、划分水生态环境控制单元，实施分区精准管控，努力实现“有河有水、有鱼有草、人水和谐”的生态环境。

上海市位于长江入海口，是典型的平原感潮河网地区，地势平坦、河网稠密、水流往复，受上游径流和潮动力的双重影响，以及水工建筑物的阻断与调控影响，水动力特征复杂[4-6]。同时，上海市是我国重要的经济和科技中心、长三角领头城市，社会经济较为发达，人口众多，生态环境已经成为制约社会经济发展的短板[7]。长三角生态绿色一体化发展示范区、上海自贸试验区新片区、上海虹桥商务区三大重点区域的发展也对水生态提出了新的要求[8]。

平原感潮河网地区的汇水单元划分不同于山区河流，根据DEM数据提取汇水单元的方法不完全适用于上海[5]。本文将回顾上海市水生态环境区划管控体系的历程，结合上海市典型平原感潮河网区域的特点，从河网特色、调度规则以及环境管理角度综合考虑划分水生态控制单元，提出适用于河口平原感潮河网地区的水生态控制单元划分技术要点，为其他地区提供借鉴。

1 研究区域概况

2019年，上海市河道46000多条，长度近3万km，河网密度约4.7km/km^2，湖泊940个，河湖水面率达9.98%[9]。受地形、潮汐、人工闸控等影响，水体往复，流动性差。根据地形和水利特征，上海市划分为14个水利控制片进行管理，并依据《上海市水利控制片水资源调度实施方案》（沪水务〔2020〕74号）对水闸、泵站等调度设施情况进行管理，确保河道防汛安全和水环境质量持续改善。

根据《上海市生态环境状况公报》：2020年，全市Ⅱ～Ⅲ类水质断面占74.1%，Ⅳ类水质断面占24.7%，Ⅴ类水质断面占1.2%，无劣Ⅴ类水质断面[10]。主要河流中，长江口、黄浦江水质为Ⅱ～Ⅲ类，苏州河水质Ⅲ～Ⅳ类。近5年来上海市水环境总体呈改善趋势。

但上海市水生态状况不容乐观，2019年生态环境状况指数（EI）评价等级为“良”，城市生态环境状况指数（CEI）评价等级为“良”；2020年主要水体水质生物学评价总体为“轻—中污染”，水生态系统有所修复；淀山湖水体富营养化水平总体达“轻度—富营养”水平；长江口和杭州湾滩涂生物学评价总体属“轻污染”水平[11]。黄浦江鱼类生物完整性指数（F-IBI）从上游至下游总体呈下降趋势[12]。中小河道经消黑除劣整治后水质明显提升，但部分河道水体较浑浊，透明度低，水生植物覆盖率低，感官效果仍较差，水生态系统有待恢复。

2 上海市水生态环境管控体系划分历程

我国自20世纪90年代开始就开展了水环境区划划分工作[13]。上海市水环境功能区区划起步早，历时长，且具有延续性。

1995年，上海市环保局依据《中华人民共和国水污染物防治法》《上海市环境保护条例》，结合《上海市黄浦江上游水源保护条例》（1987年），组织编制了《上海市水环境功能区划》。

2003年，为适应水环境管理需要，上海市环保局会同市水务局对《上海市水环境功能区划》进行了修订，形成了《上海市水（环境）功能区划（修编）》。该版《上海市水（环境）功能区划（修编）》按照水利部制定的《水功能区划技术大纲》的两级区划体系要求，对全市河网和主要骨干河道进行功能划分，与流域水功能区划和上海市水环境功能区划相协调。

2005年11月，上海市政府批复实施了《崇明三岛总体规划（2005—2020）》。市环保局依据崇明三岛总体规划目标和功能定位，对《上海市水环境功能区划（修编）》中有关崇明岛的环境功能区进行了局部调

整。2011 年 4 月,上海市环保局进一步融合 2004 年水环境功能区划修订成果和 2007 年崇明岛功能区划的调整方案,形成体系完整的《上海市水环境功能区划(2011 年修订版)》,并经市政府批复实施。

2011 年,国务院批复了《全国重要江河湖泊水功能区划(2011—2030 年)》,其中,上海部分划分为 117 个水功能区。

2015 年,根据《水污染防治行动计划》"研究建立流域水生态环境功能分区管理体系",根据原环境保护部"流域、水生态控制区、水环境控制单元"三级水生态环境分区管理体系,上海市共划分为长江流域和太湖流域两个水生态环境二级区,在此基础上,又划分为 5 个水生态环境功能分区和 20 个流域水环境控制单元。"十三五"期间划分控制单元的划分以定性分析和定量分析相结合,首先基于 DEM 和水资源分区划分水文单元,然后通过汇水分析识别汇水单元,最后集合行政区与汇水单元划分控制单元[1]。

尽管上海市对水功能区和水环境功能区这两个体系进行了一定的统一,但这两个体系分别由原水利部和环境保护部管理,两者工作重点和职能分工仍未完全界定清晰明确,且缺乏动态的多元化管理[14]。

以前国内对水环境、水生态的关注较少,随着人民生活水平的提高,对水生态环境的要求也不断提升,需要将水生态功能纳入水生态环境控制单元划分/优化调整,划定水生态环境控制单元对水生态环境进行动态的多元的管理[15-16]。

3　上海市水生态环境控制单元划分的实践思考

"十三五"期间,全国性的水生态环境控制单元划分已经有了比较成熟和规范的方法,划定过程中优先考虑水系的完整性以便于建立污染源排放与水体水质的输入响应关系[1]。为进一步明确地方政府的责任,在操作层面需重点考虑汇水范围与行政区边界的整合。"十四五"期间,上海市要考虑平原感潮河网的特殊属性,基于水文、水质和水生态的现状,提出从水利片水资源调度、海陆统筹、流域统筹等方面考虑水生态控制单元要点。

3.1　基于水利调控的考虑

控制断面是划分水生态环境控制单元的基础,控制断面的选取往往考虑了流域水文特征、污染源分布及社会经济状况等因素[1]。"十四五"期间,上海市选取的 40 个国家考核关键水质控制断面中,5 个位于崇明岛,4 个位于长江口,5 个为省界共考断面。以 40 个国家考核关键水质控制断面为基准,基于上海市 14 个水利控制片(图 1),结合片区河网引排水调度方式和水体功能要求,采用 GIS 耦合技术,通过空间叠图和对比,进行污染控制单元边界的识别,在保证乡镇行政边界完整性的同时,与水(环境)功能区、上海市水源地保护区相衔接。根据最新的调度方案,通过对上海市内的"一河、十一片"重要水闸、泵站的控制运行,确保防汛安全和河道活水畅流。如:黄浦江上游区域,根据水源保护功能要求,在黄浦江上游水源保护区范围内,以水利控制分片和引排水调度方式,识别淀峰、太浦河桥、斜塘口和闵行西界 4 个关键水质控制断面汇水影响区间。同时,与乡镇行政边界进行衔接,将其细化为淀峰、太浦河桥、斜塘口和闵行西界 4 个水生态环境汇水单元。浦东片根据川杨河以北地区为"东引西排",川杨河以南、大治河以北地区为"西引东排",大治河以南地区为"北引南排、西引东排"的调度方式,将其细化为吴淞口控制单元浦东片、三甲港、二团水厂和钱桥 4 个汇水单元。

3.2　基于海陆统筹的考虑

海洋环境保护是践行生态文明的重要内容。在水生态环境控制单元划分过程中,需要考虑近岸海域海陆联防联控要求。上海市城市化开发程度较高,污水以集中收集外排处理为主,基本形成石洞口、竹园、白龙港、杭州湾沿岸、嘉定及黄浦江上游、崇明三岛等集中处理与分散处理相结合的六大污水分片治理格局。由于城镇污水处理厂逐渐集成化和向郊区发展,大量中心城区的生活污水通过管道运输输移到沿海的大型污水处理厂,尾水也排入近岸海域。2019 年,全市共有城镇污水厂 42 座,处理规模 834.3 万 m^3/d,城镇污

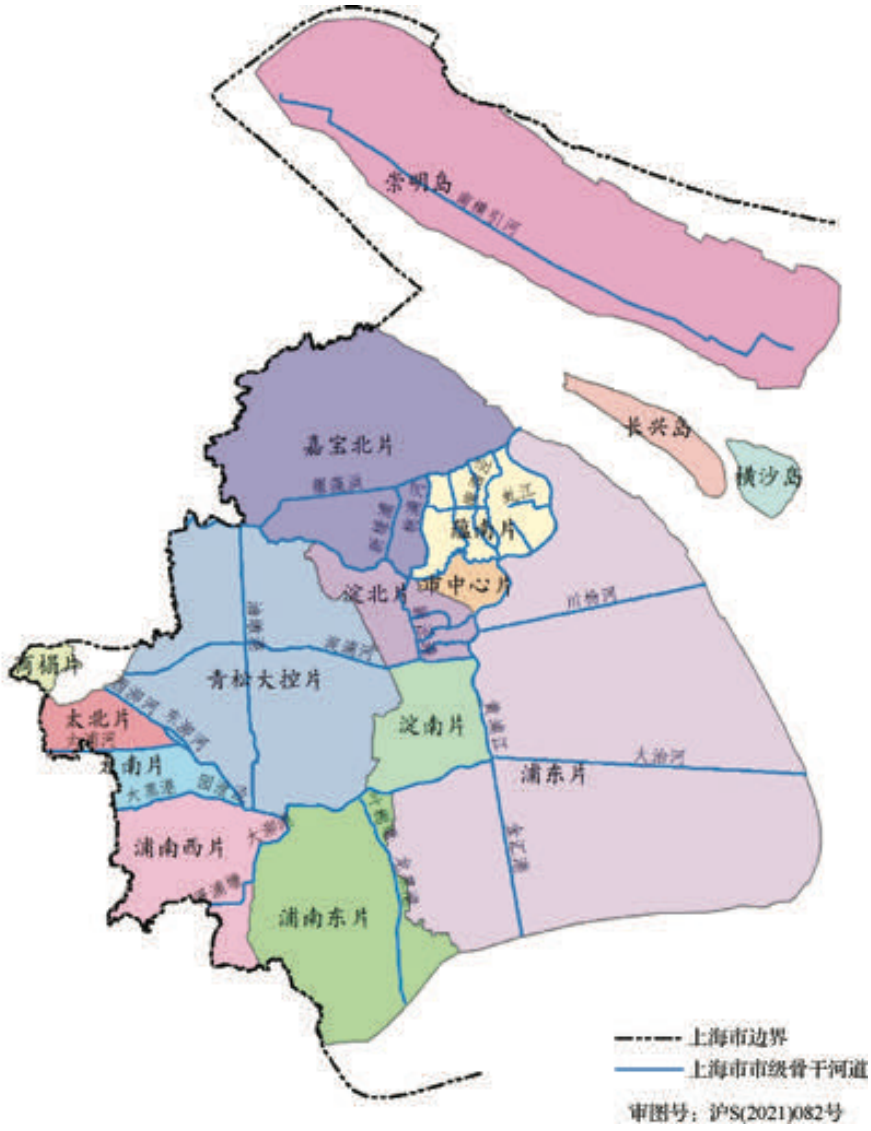

图1　上海市水利分片区划

水处理率96.3%。其中，石洞口、竹园、白龙港和杭州湾沿岸四大片区采取集中外排处理的治理方式，覆盖了主城区、奉贤和临港新城，利用西干线、合流一期、污水二期南线和中线等总管，将污水输送至长江口、杭州湾11座污水厂集中处理，设施规模664万m^3/d，承担全市近80%的污水输送和处理[9]。排向长江口、杭州湾的11大污水处理厂按照长江口及近岸海域水质目标要求实施管控；其他排向内陆河网的污水处理厂，根据其排口分布、水体去向等在水生态环境单元划分过程中一并考虑。

根据断面水质目标要求控制陆域单元内的排口及污染源排污，位于长江口水域上的4个水质断面的汇水范围，划分分别为：青草沙进水口的汇水范围为长兴岛范围，白龙港断面的汇水单元就近划分为横沙岛、曹路镇、高东镇、合庆镇；朝阳农场断面的汇水单元陆上的汇水范围为浦东新区南汇新城镇；崇明东滩断面的汇水范围为崇明区陈家镇。

3.3　基于流域统筹管理的考虑

上海市位于长江流域的最下游，沪苏、沪浙边界有四十余条跨界河湖。“十四五”国控断面中上海市有5个省界共考断面。其中，黄姑塘—卫八路桥、惠高泾—廊桥公路桥、面杖港—明星路桥、浦泽塘—朱枫公路桥为上海市与浙江省共考断面；淀山湖—淀山湖中为上

图 2　上海市排海污水厂分布

海与江苏省共考断面。淀山湖位于上海市青浦区和江苏省昆山市交界，属于典型过水性湖泊，水文水环境同时受上游来水和下游潮水的影响，位于上游的急水港和大朱厍的来水量占总来水量的 80% 左右[17]。因此，要依托长三角一体化和长江大保护两大国家战略，联合开展跨界河湖共同治理和联防联控，扎实推进一体化示范区生态环保建设，确保跨界河湖水质进一步提升。

基于以上考虑，以行政区划的断面汇水范围为最小单位，根据流域汇水特征及地形特征，运用系统观念，合并阈值为三级支流且流域面积大于 2000km^2 的水体，向上合并为最终的水生态环境控制单元[18]。上海市最终合并形成 13 个水生态控制单元，详见图 3。

4　结　语

上海市作为典型的平原感潮河网地区，水动力条件复杂，“十四五”期间对水生态环境保护的要求对上海市的水生态环境管理提出了新的要求。针对上海市水利调度复杂、水质稳步提升、水生态状况不容乐观的特点，回顾上海市水生态环境分区管理的发展历程，综合考虑水利片调度、海陆统筹、流域统筹等方面，根据水利控制分片以及引排水调度方式，识别关键水质控制断面汇水影响区间。根据长江口及近岸海域水质目标要求，将排长江口、杭州湾的污水处理厂排口分布、

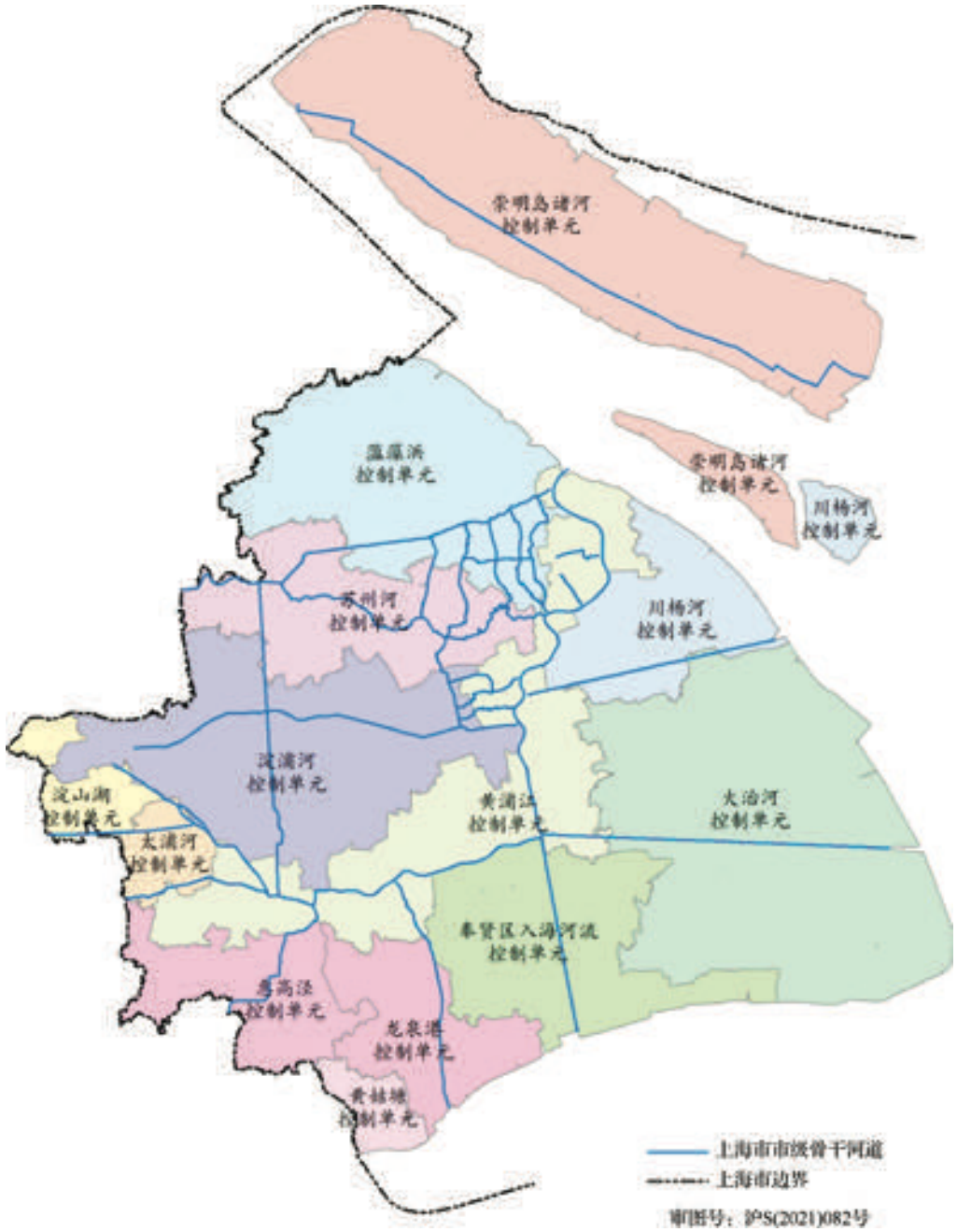

图3　上海市水生态环境控制单元区划

水体去向等纳入水生态环境单元划分考虑范围。同时，联合开展跨界河湖共同治理和联防联控。绘制的上海市水生态环境控制单元区划图可为“十四五”期间我国平原河网地区划分水生态环境控制单元、落实水生态环境精细化管理提供技术支撑。

参考文献

[1] 邓富亮，金陶陶，马乐宽，等. 面向“十三五”流域水环境管理的控制单元划分方法[J]. 水科学进展，2016，27(6)：909-917.

[2] 中国生态环境部. 2020 年中国生态环境状况公报[R]. 2021.

[3] 马乐宽，谢阳村，文宇立，等. 重点流域水生态环境保护“十四五”规划编制思路与重点[J]. 中国环境管理，2020，12(4)：40-44.

[4] 上海市规划和国土资源管理局. 上海市第一次地理国情普查公报[R]. 2017.

（下转第52页）

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.09

喀什噶尔河流域灌区土壤盐分空间变异性及影响因素分析

王友年

(新疆水利水电勘测设计研究院,新疆 乌鲁木齐 830000)

【摘 要】 为研究喀什噶尔河流域灌区土壤盐分空间分布特征。本文通过野外取样及测试,运用传统统计学和地统计学相结合的方法对喀什噶尔河流域灌区土壤盐分的空间分布特征及其影响因素进行分析。结果表明:研究区内不同深度土壤含盐量均属强变异性,其空间变异格局受随机性和结构性因素共同影响,各层土壤含盐量均表现为由西向东先增加后减小,其空间分布特征在喀什三角洲较为复杂,盐渍化影响因素众多,其中地下水对盐渍化的影响较大。

【关键词】 土壤含盐量;空间变异性;影响因素;喀什噶尔河流域

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-043-10

Spatial variability of soil salinity and its influencing factors in irrigation area of Kashgar River basin

WANG Younian

(*Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey Design & Research Institute*, *Urumqi* 830000, *China*)

Abstract: The objectives of this paper were to study the spatial distribution characteristics of soil salinity in the irrigation area of the Kashgar River basin. Through field sampling and testing, this paper analyzes the spatial distribution characteristics and influencing factors of soil salinity in the irrigation area of Kashgar River basin by combining traditional statistics and geostatistics. The results showed that the soil salt content at different depths in the study area was highly variable, and its spatial variation pattern was affected by both randomness and structural factors; The soil salinity of each layer increased first and then decreased from west to east, and its spatial distribution characteristics were complex in Kashgar Delta. There are many influential factors of the salinization, among which groundwater have a greater impact on salinization.

Key words: soil salt content; spatial variability; influencing factors; Kashgar River basin

土壤盐分受各类因素的综合作用具有高度的空间变异性,土壤耕作层与其他层位的盐分具有一定的关系,呈现地域性特点。因此,盐渍化过程与气候、地形、土壤类型、地下水水位埋深及水质等密切相关[1-3]。喀什噶尔河流域天然条件下环境封闭,随水而来的盐分只能积聚在流域之中,土壤盐渍化问题日趋严重。同时,随着农业开发力度加大,灌溉水的蒸发及入渗增加了盐分的积累,次生盐渍化现象也日益彰显,土壤盐渍

收稿日期:2021-11-08

作者简介:王友年(1993—),男,助理工程师,硕士,主要从事水资源规划方面工作。

化已成为农业生产和生态保护面临的主要危害之一。

多年来,土壤盐分空间变异性已成为国内外诸多学者的研究重点,从土壤性质的空间变异性到土壤水分、盐分空间变异性再到土壤水肥盐空间变异性,进而考虑到影响土壤盐渍化空间变异性的驱动因素[4-10]。Panagopoulos et al.[6]引入空间变量实验并利用地统计学对土壤理化性质进行了图形解释及分析。陈星星等[7]研究了南疆干旱地区库尔勒三十一团土壤盐分空间分布和变异特征以及产生土壤盐分空间变异特征的原因;张飞等[11]在新疆精河绿洲对土壤含盐量、pH值、电导率等进行了定量探讨及空间变异性分析;段凯祥[12]以嘉峪关草湖湿地为研究区运用地统计学方法分析了土壤养分、水盐含量和植被覆盖度的空间异质性、自相关关系及其程度;武婕等[13]基于地统计学和GIS技术相结合的方法,研究了南四湖区农田土壤有机质和微量元素的空间分布特征及其影响因素;Schofield et al.[14]得出土壤盐渍化是由于土壤表面或附近可溶性盐的积累而产生的,盐分的积累和迁移主要受灌溉方式、水质和水量的影响;周在明[15]通过在环渤海低平原区研究发现地下水位埋深和矿化度对不同深度土壤含盐量均具有显著影响。

以往针对喀什噶尔河流域土壤盐渍化空间变异特征的研究往往处在较小尺度上,对于该地区土壤盐分的大尺度空间分布研究还存在一定的不足[16]。同时,对于研究区土壤含盐量与影响因素的相关关系分析及使用正态性更好的Box-Cox转换对土壤盐分数据处理的研究同样较少。本文通过野外取样及测试后,运用传统统计学和地统计学相结合的方法对研究区土壤盐分的空间分布特征进行研究,目的在于研究地形地貌、土壤质地和人为因素影响下的地下水位埋深、水质等与土壤含盐量之间的关系。

1 材料及研究方法

1.1 研究区概况

喀什地区位于塔里木盆地西部,地处暖温带大陆性干旱气候带,温差大、降水稀少、蒸发强烈,年均降水量68.4mm,年均蒸发量2236mm,生态环境脆弱,呈现荒漠绿洲、灌溉农业的特点。其地貌形态从北到南、由西向东呈阶梯状递降,北部为高耸的山区,东部是广阔的平原和沙漠。总体地势为西高东低,南、北高中部低。区内地下水资源主要形成于山区,平原区为水资源径流、散失消耗区。地下水的总体流向与地形坡降趋势相似,自西向东由山区向平原区径流。

流域内灌区主要分布在高程3500m以下的区域,为中低山和山前冲积、洪积平原地带,地面坡降0.5‰。灌区内主要种植小麦、玉米、棉花、蔬菜、瓜果等作物,种植制度为一年一熟。平原区得天独厚的气候条件适宜种植红枣、核桃、棉花等作物,山地半农牧区仅能满足牧草麦类作物和林木生长。同时结合灌区的气象水文、水土资源、作物组成、灌区规模及经济效益等因素,灌区灌溉制度(灌溉方式及灌水量)存在一定的差异。农业是喀什地区的基础产业之一,近年来,流域内也在逐步优化农牧业灌溉布局,提升灌溉发展质量,实现传统农业灌溉向集约型现代灌溉农业转变。灌区耕地土壤分布受河流、渠系的影响呈鱼脊形小地貌特点,土壤类型主要为黏质土和砂质土两大类,部分剖面有盐分积累现象。灌区下游地下水位埋深在0.8~4.0m之间,地下水矿化度普遍大于2.0g/L,局部大于10g/L。依格孜牙河灌区下游,克孜河伽师灌区下游,恰克马克河、布谷孜河灌区下游由于土壤颗粒较细、地下水径流条件差、水位埋深浅,盐渍化情况严重。

1.2 取样及测试

根据收集并整理野外取样过程中实测资料,综合研究区地形地貌、土地利用类型、地下水位埋深、农作物类型等因素选取区内具有典型代表性的取样点,其分布见图1。2019年8月,按不同深度(0~30cm、30~50cm、50~80cm)分层取样共69个,取样后土壤含盐量及土壤粒径检测样品用密封袋保存。其中土壤易溶盐按《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)在新疆岩土中心检测;颗粒粒径按国际制土壤粒径分级标准,黏粒(小于0.002mm)、粉粒(0.020~0.002mm)、砂粒(2.000~0.020mm),用Microtrac激光粒度仪测定[15]。

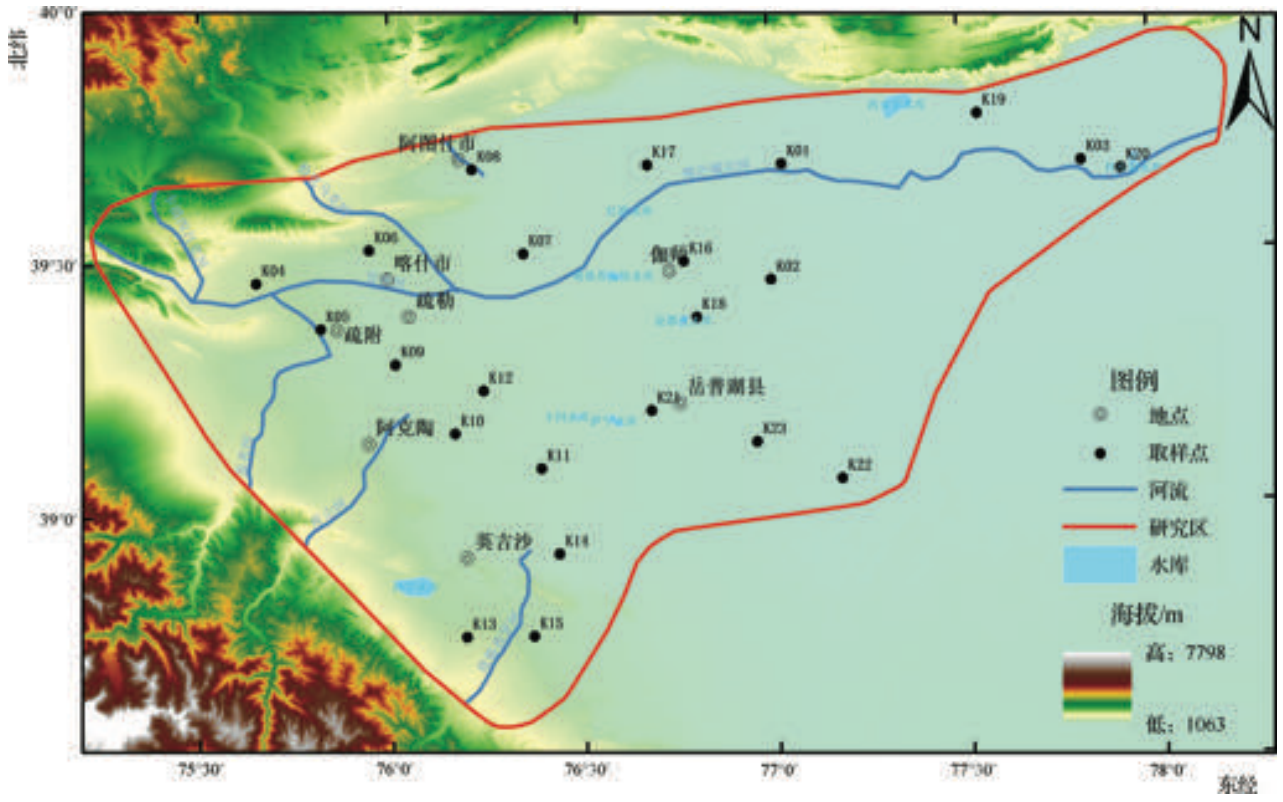

图 1　取样点位置

1.3　研究方法

1.3.1　Box-Cox 转换

由于本文土壤含盐量既不满足正态分布也不满足对数正态分布，故引入正态性更好的 Box-Cox 转换[17]，其公式为

$$S^{\lambda} = \begin{cases} \dfrac{S^{\lambda} - 1}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \ln S & \lambda = 0 \end{cases} \qquad (1)$$

式中：S 为 Box-Cox 转换的一个变换族，由可变参数 λ 决定具体转换的形式，λ 一般可通过最大似然估计得到。

1.3.2　空间变异理论

本文对研究区土壤含盐量进行统计性分析，提取计算空间信息的统计特征，并依据空间变异理论研究土壤盐分空间分布规律[18]。

引入空间变异理论中的区域化变量的变异特征研究土壤盐分的空间分布规律。区域化变量的变异特征是以变异函数为基础，构制变异函数模型而得到的。计算公式为[19]

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \qquad (2)$$

式中：$\gamma(h)$ 为变异函数；h 为滞后距；$N(h)$ 为距离等于 h 的点对数；$Z(x_i)$ 为处于点 x_i 变量处的实测值；$Z(x_i + h)$ 为与点 x_i 距离 h 处变量的实测值。

变异函数模型主要分为有基台值和无基台值模型两大类，本文主要考虑常用的有基台值的理论模型，即球状、指数和高斯模型。3 种模型的一般表达式见表 1。

表 1　变异函数理论模型及表达式

模　型	表　达　式
球状模型	$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + C\left(\frac{3}{2}\frac{h}{a} - \frac{1}{2}\frac{h^3}{a^3}\right) & 0 < h \leqslant a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$
指数模型	$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}})$
高斯模型	$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}})$

注　$C_0 + C$ 为基台值；C_0 为块金值；a 为变程。

2 结果与分析

2.1 统计学分析

统计学分析结果见表2，其均值反映出研究区不同深度的土壤含盐量在0.723%～0.770%之间，含盐量差别不大，但其极值所反映的变化幅度差别较大，由表层至深层各层含盐量变化分别在0.123%～3.733%、0.119%～4.120%和0.082%～3.765%之间。根据王遵亲等[20]对我国干旱、半干旱区盐渍化分级标准中可以看出研究区土壤盐渍化从非盐土（含盐量小于0.1%）到盐土（含盐量大于1%）变化较大。经分析这与各取样点农作物类型、土壤质地、灌溉方式及地下水等因素不同有关，从而导致研究区盐渍化程度差异较大。结合偏度、峰度可以看出灌区各层土壤均呈现正偏态陡峭分布。

采用变异系数 C_v 反映单位均值的离散程度，结果表明：区内各层含盐量变异系数均大于1，属强变异性[21]。经分析是由于受到地质结构、地形、土地利用方式以及灌溉等多重因素影响，研究区土壤盐分空间变异程度比较复杂。通过收集的资料和实际调查发现流域下游的区域由于大面积灌溉造成下游水位普遍升高，地下水位埋深较浅局部区域甚至只有0.5m，灌溉水矿化度高有的地方可达1.2g/L，排水设施的不完善导致排水不畅，盐渍化逐渐加重，使得灌区内局部地区的土壤含盐量较大，含盐量分布不均，变化复杂。

表2 研究区各层土壤含盐量统计

变　量	取样深度/cm	均值	标准差	变化范围	偏度	峰度	变异系数
含盐量/%	0～30	0.723	0.927	0.123～3.733	2.110	4.321	1.283
	30～50	0.751	0.944	0.119～4.120	2.355	6.719	1.257
	50～80	0.770	0.947	0.082～3.765	1.878	3.472	1.229

运用地质统计学研究区域化变量时，所研究的变量均需要服从正态或近似于正态分布，否则可能会存在比例效应。本次利用K-S（Kolmogorov-Smirnova）和S-W（Shapiro-Wilk）检验方法进行正态检验，将不服从正态分布的数据，经转化后使其呈正态分布。检验结果见表3，各层天然含盐量及经对数转换后仍不服从正态分布故引入正态性更好的Box-Cox转换[17]。结果显示：含盐量经Box-Cox转换后显著性均大于0.05，说明含盐量经Box-Cox转换后在95%的置信区间下服从正态分布，可用作变异函数分析。

表3 各层土壤含盐量正态性检验统计

变　量	取样深度/cm	*df*	K-S检测		S-W检测	
			统计量	显著性	统计量	显著性
含盐量/%经Box-Cox转换	0～30	23	0.189	0.103	0.897	0.102
	30～50	23	0.186	0.099	0.899	0.084
	50～80	23	0.167	0.094	0.929	0.103

2.2 空间变异性分析

对含盐量经Box-Cox转换后的数据进行空间变异性分析得到变异函数参数和拟合图，见表4、图2。最优变异函数拟合模型0～30cm、30～50cm均为高斯模型，50～80cm为指数模型。空间变异分析时常用变程 a 来反映变量的影响范围，其表示在以 a 为半径的范围内土壤含盐量都具有一定空间相关性，当两点间距离超过该范围则表明两点间将不存在空间相关性[19]。由表4可知，各层土壤含盐量分别在108772m、100285m、348933m范围内具有空间相关性，对比不同深度的变程数据发现灌区土壤含盐量表层（0～30cm）和亚表层（30～50cm）均小于深层（50～80cm），表明深层含盐量变程大、变异性小，空间相关性强。

在变异函数参数中，C_0 为由试验及取样所产生的随机性因素引起的变异，C 为由非人为的结构性因素引起的变异，本次各层随机性方差 C_0 均较小，表明由试验误差及取样所产生的变异较小。运用块金基台比 $[C_0/(C+C_0)]$ 分析影响土壤含盐量空间变异性的因素，当块金基台比越大则说明由随机性因素影响的空间变异性越强，各层土壤含盐量块金基台比在0.500～

0.517 之间，显示空间相关性属中度相关，表明不同深度含盐量同时受随机性因素（如人类活动、灌溉及土地利用类型）和结构因素（如母质、气候、水文、植被、土壤类型等）共同影响[18-22]。同时，随着深度的增加，各层块金基台比虽差异不大，但整体逐渐变小，说明深层土壤含盐量相比表层和亚表层受结构性因素影响较大。结合取样发现，灌区人类活动和农业耕种等随机性因素易对表层和亚表层 0～50cm 深度内土壤含盐量产生影响。这与变程数据反映的情况一致，也与陈星星等[7]研究结果相同。

表 4　各层土壤含盐量变异函数参数计算

变　量	取样深度/cm	变异函数模型	变程 a/m	块金值 C_0	基台值 $C+C_0$	块金基台比 $C_0/(C+C_0)$	拟合优度 r^2	残差 RSS
含盐量/%经 Box-Cox 转换	0～30	高斯模型	108772	0.406	0.786	0.517	0.727	0.054
	30～50	高斯模型	100285	0.429	0.852	0.504	0.550	0.140
	50～80	指数模型	348900	0.506	1.013	0.500	0.569	0.254

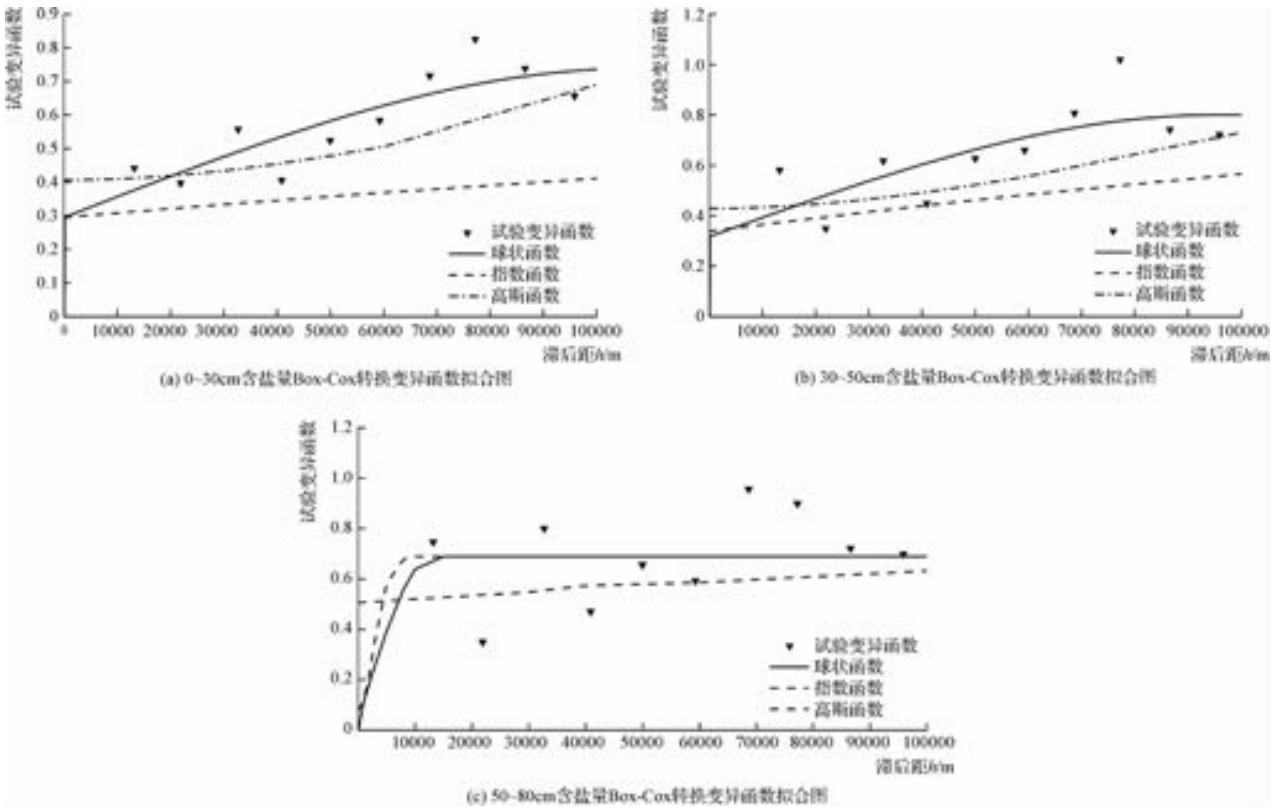

图 2　变异函数与理论模型拟合图

2.3　空间插值分析

利用 Arcgis10.5 软件中克里金最优值理论插值方法研究灌区土壤盐分的空间分布特征，结果见图 3。灌区各层土壤含盐量变化趋势基本一致，均表现为由西向东先增加后减小，总体呈“东高西低”的变化趋势，至伽师总场附近含盐量最高。其空间分布特征西部较东部复杂，尤其在喀什三角洲地区含盐量分布较为离散，呈“斑状”分布。分析其原因是由于伽师总场以东已属于流域冲积扇下游，该区域地下水位埋深小，蒸发强烈，易造成“水走盐留”，从而导致含盐量较高。而喀什、疏附、疏勒等地则由于人类活动频繁、农业发达，导致土壤含盐量在该区域呈现出复杂的变化。

随着深度的增加，土壤盐渍化空间分布的复杂性逐渐减小。结合上述分析，得出结论：表层土壤含盐量的分布易受外界条件及人类活动等因素影响，如地表微地形、气候及人类农业生产等。而在相对较小的范

围内,表层地表微地形起伏较大,在降雨、蒸发和农业灌溉的作用下,表层土壤和地下水中的可溶性盐分积聚于地表低洼处,加上人类农业生产活动的不断干扰,导致表层及亚表层土壤盐分的空间变异性明显强于深层土壤[23]。同时,随着土层深度的增加,地形、降雨和蒸发等因子对盐分空间分布的影响逐渐削弱,人类活动的影响也逐渐减小,导致深层土壤含盐量相差不大,变化较小。

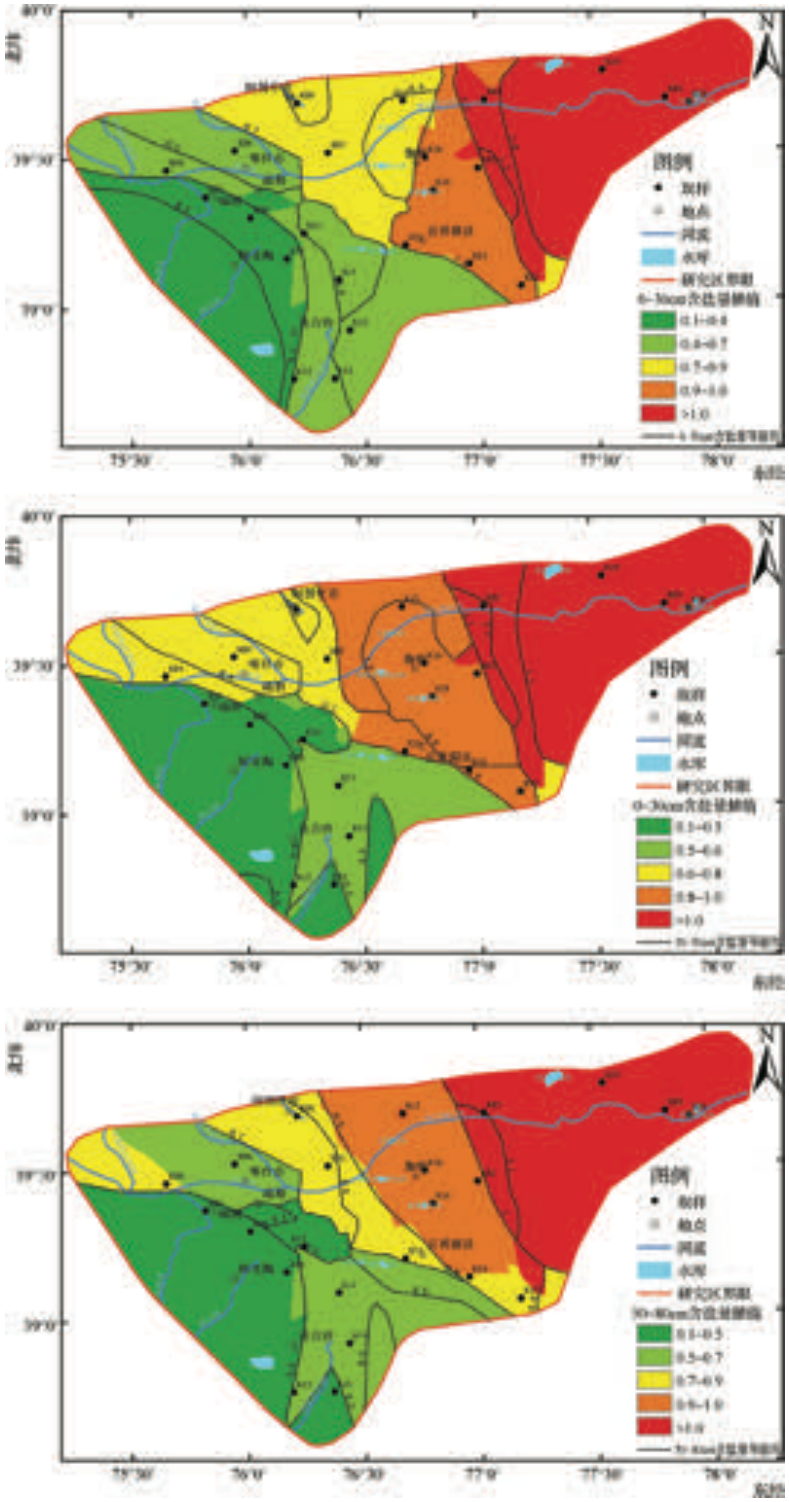

图3 不同深度土壤含盐量分布特征

2.4 土壤含盐量及其影响因素关系研究

研究区盐渍化空间分布特征受到区内自然和人为因素共同影响[24]。已有研究表明,区内特殊的气候条件对土壤盐分在淋溶、迁移和累积过程中会产生显著的影响,从而导致土壤含盐量在时间和空间上存在差异[16]。同时,灌区土壤属性及地下水矿化度等因素也存在空间相关性[9,25]。因此,本文在分析土壤含盐量影响因素时主要探讨含盐量与地形、土壤质地及地下水位埋深、矿化度等因素之间的关系。

2.4.1 土壤含盐量与地形因子之间的关系

有研究表明,受人类活动及农业生产等因素的影响,在一定范围内地形因子(坡度、坡向)差异较大,而在影响土壤机械组成、含水率的同时,还会影响降雨和灌溉水向地下的流动,进而影响盐分在土壤剖面内的运移和重新分布[26]。在一定范围内,当自然因素(如:气候、母质、农作物类型等)基本一致时,地形因素将会成为影响土壤盐渍化的主要因素。因此,为分析研究区地形因子对土壤含盐量的影响,本文对从地理空间数据云网站获取的研究区 GDEMV2 数字高程数据,运用 ArcGIS 软件栅格处理工具进行高程、坡度及坡向数值与土壤含盐量关系的皮尔逊(Pearson)相关性分析,结果见表 5。

表 5 不同深度土壤含盐量与地形因素相关性分析

项 目	0 ~ 30cm			30 ~ 50cm			50 ~ 80cm		
	高程	坡度	坡向	高程	坡度	坡向	高程	坡度	坡向
相关性	-0.390	-0.052	0.219	-0.268	-0.178	0.320	-0.096	-0.029	0.147
显著性	0.065	0.365	0.204	0.216	0.256	0.136	0.504	0.562	0.316

从表 5 可以看出,各层土壤含盐量与地形因子之间并无显著相关性。结合前文空间变异性分析发现,研究区土壤含盐量受结构性和随机性因素共同影响。而本次各取样点处不仅农作物类型有所差异,且取样时间又处于农作物生长旺盛的 8 月。在这一时期,农田管理措施较多,区内农业活动也会造成耕作层内土壤结构在一定程度上发生变化。同时,人类活动(如灌溉及其他田间管理)等随机性因素又势必会影响和掩盖地形因素对土壤含盐量的变化,从而造成区内地形因子与土壤含盐量无显著相关性。这与张芳等[26]在奇台绿洲得出的地形因子对盐碱土空间分布格局起主要作用的结论相悖。但通过对比会发现,该研究是在未开垦的荒地进行取样分析,这就在很大程度上避免了田间管理等对其的影响。这也从侧面说明了人类活动等随机性因素对土壤盐渍化影响较大。

2.4.2 土壤含盐量与土壤质地之间的关系

土壤质地同样对土壤水盐运动具有重要的影响,土壤颗粒会影响土壤水运动的速度与上升高度,从而影响土壤积盐过程[27-28]。因此,在研究不同土壤粒径与土壤盐渍化关系的基础上,还要研究土壤质地对盐渍化的影响程度。按国际制土壤粒径分级标准,对各取样点处样品黏粒、粉粒和砂粒含量进行统计。同时,为消除不同量纲对数据的影响,首先将数据进行标准化处理[29]。然后对土壤含盐量与土壤粒径进行皮尔逊(Pearson)相关性分析,结果见表 6。

表 6 不同深度土壤含盐量与土壤粒径相关性分析

项 目	0 ~ 30cm			30 ~ 50cm			50 ~ 80cm		
	黏粒	粉粒	砂粒	黏粒	粉粒	砂粒	黏粒	粉粒	砂粒
相关性	-0.090	0.179	-0.151	0.916*	0.567	-0.598	0.395	0.509	-0.357
显著性	0.257	0.438	0.515	0.010	0.241	0.210	0.217	0.348	0.434

注 * 表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

从表 6 可以看出:除 30 ~ 50cm 处土壤含盐量与黏粒之间呈显著正相关外,其余各层均无显著相关性;

30～50cm处土壤含盐量随土壤黏粒含量的增加而增加。由于土壤中黏粒的粒径与孔隙小，导致土壤水运移速度缓慢，加之受蒸发作用时间长，易引起水中盐分的滞留，从而导致土壤含盐量增加。而其余各层土壤含盐量与土壤粒径之间均无显著相关性，这与刘庆生等[27]得出的土壤质地对不同程度盐渍化具有指示作用的结论相悖。分析原因与地形因子影响一致，在农作物生长旺盛期，土壤粒径对土壤含盐量的影响被人类活动（如灌溉和其他农业管理）所掩盖，从而造成土壤质地对土壤含盐量基本无影响。

2.4.3 土壤含盐量与地下水位埋深之间的关系

前文得出区内盐渍化程度与地下水位埋深有关，为分析土壤含盐量与地下水位埋深之间的关系，选取区内地下水位埋深5m以内的取样点进行研究，结果见图4。土壤含盐量与地下水位埋深呈幂函数关系，随着地下水位埋深的增加而减小。同时发现当水位埋深在2.5m范围内时土壤含盐量受水位埋深影响较大，而当水位埋深大于2.5m时土壤含盐量受地下水位埋深影响则逐渐减小。表明潜水埋深越深，土壤含盐量越低，潜水埋深越浅，土壤含盐量越高，这与马玉蕾[31]在黄河三角洲的研究结果一致。当地下水位埋深较浅时，土壤受强烈蒸发作用而积盐，随着水位埋深逐渐增加，蒸发作用逐渐减弱，土壤积盐效果也随之减小。结合灌区各农作物含盐量阈值和盐渍化空间分布特征，可依据含盐量与地下水位埋深之间的关系，确定不同区域、不同条件下的地下水位临界深度。

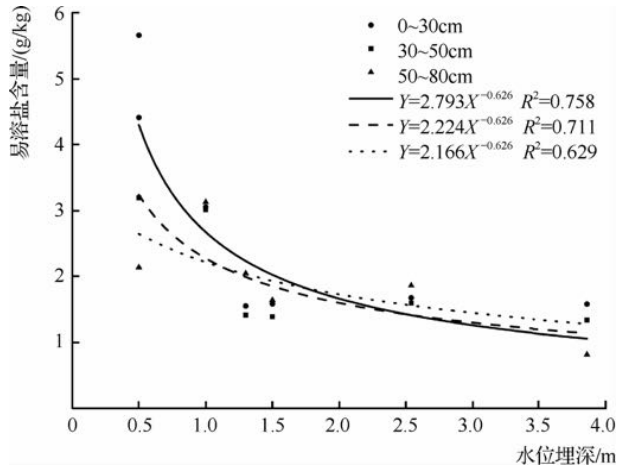

图4 潜水位埋深和土壤含盐量关系

2.4.4 土壤含盐量与地下水矿化度之间的关系

土壤水垂向运移至地下水会造成局部范围内地下水矿化度发生变化。因此，地下水矿化度在一定程度上能较好地反映研究区土壤盐渍化程度。选择区内地下水矿化度在6g/L内的取样点进行研究，拟合结果见图5。土壤含盐量与地下水矿化度呈指数关系，随着地下水矿化度的增加而增加。当地下水矿化度在0～2g/L范围内时，土壤含盐量受地下水矿化度影响较小；而当地下水矿化度大于2g/L时土壤含盐量受地下水矿化度影响较大。表明地下水矿化度越大，土壤含盐量越大，这与周在明[15]在环渤海低平原区的研究结果一致。

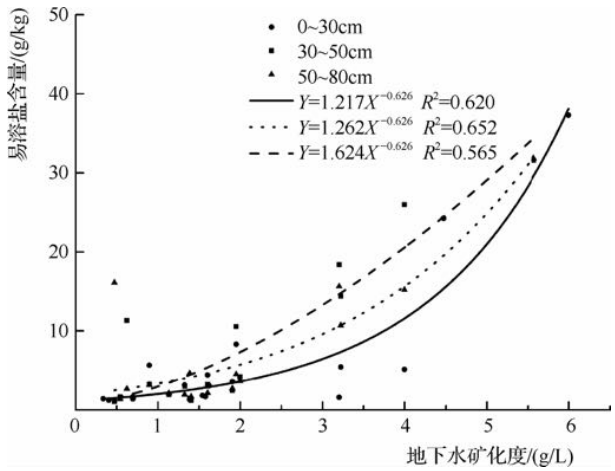

图5 地下水矿化度和土壤含盐量关系

3 讨论分析

喀什噶尔河流域灌区土壤含盐量由于受各类内外因素的共同作用，其空间分布特征复杂，尤其在喀什三角洲地区，土壤含盐量变化最为复杂，灌区灌溉和人类活动对土壤含盐量空间分布特征均有影响。同时，在垂直向上分析发现，随着深度的增加土壤盐渍化空间分布的复杂性逐渐减小，表层土壤含盐量与土壤质地的关系较深层小，说明随着深度的增加人类活动影响逐渐减弱，土壤结构的稳定性不易受人工影响而改变，这与张飞等[11]、段凯祥[12]的研究结果相似。因此，今后研究区土壤盐渍化的研究重点可放在受人为因素影响更多的表层。此外，通过对比变异函数参数计算结

果发现,各层土壤含盐量的变程数值差异较大,其空间相关性未能完美地体现,分析原因可能是由于本次各取样点间距较大,目前取得的相关长度可能被高估。

通过对研究区土壤盐渍化影响因素分析发现,在农作物生长旺盛期,人类活动(如灌溉及田间管理措施等随机性因素)在一定程度上将会掩盖部分因素对盐渍化的影响。因此,要想更准确地研究土壤盐分空间变异性,可选择在土壤盐渍化程度较高且田间管理较少的春季进行。同时,为实现灌区节水控盐总目标,可考虑通过改变其影响因素治理盐渍化。自然因素中气候、地形因子和土壤质地等不易改变,而人为因素的综合影响又集中反映在地下水水位与水质上,且当地灌溉水多为河水或地下水,灌溉水水质也不易改变,因此,对于灌区地下水因素的控制和改变其根本在于地下水位调控及灌区灌溉制度的完善和优化,这与周在明[15]、王卓然[24]、马玉蕾等[30]研究结果相似。为有效判断流域地下水环境变化趋势,正确把握人工调控水盐效果,可根据上述土壤盐分空间分布特征,在不同区域、不同条件下精细化地制定地下水位调控方案,加强动态监测,建立科学合理的地下水水位及水质监测网。可进一步通过试验、物理和数值模拟方法深入研究构建多元化排水方案。还可利用数值模拟优化灌区灌溉制度,制定合理的春、冬灌水水量,以达到"压盐"效果[31]。最终达到灌区水资源合理利用和盐渍化治理的目的。

4 结 论

分析研究区土壤盐分空间变异性和影响因素的结论如下:

a. 各层土壤含盐量均属强变异性且具有明显的差异性;经 Box-Cox 转换后服从正态分布,其含盐量易受到随机性因素(如人类活动、灌溉和土地利用类型)和结构因素(如母质、气候、水文、植被、土壤类型等)共同影响。

b. 插值结果显示灌区土壤含盐量整体表现为由西向东先增加后减小,在伽师总场以东含盐量达到最高,在喀什三角洲地区含盐量分布离散变化最为复杂。

c. 土壤含盐量影响因素较多,但在农作物生长旺盛期,人类活动在一定程度上将会掩盖地形因子和土壤质地等对土壤盐渍化的影响;潜水埋深越浅,矿化度越高,土壤含盐量越高。

参考文献

[1] 张锦新,李慧,郑恺雯,等. 土壤盐碱化的空间变异性研究进展[J]. 粮食科技与经济,2018,43(8):118-119.

[2] 卞京军. 北票地区蔬菜大棚暗管排盐过程的土壤水盐动态分析[J]. 水资源开发与管理,2017(12):5-7,11.

[3] DUNCAN R A,BETHUNE M G,THAYALAKUMARAN T,et al. Management of salt mobilisation in the irrigated landscape-A review of selected irrigation regions[J]. Journal of hydrology,2008,351(1-2):238-252.

[4] GOOVAERTS P. Geostatistics in soil science:state-of-the-art and perspectives[J]. Geoderma,1999,89(1-2):1-45.

[5] 张龙. 近二十年新疆灌区盐碱地变化情况分析和对策研究[J]. 水资源开发与管理,2020(6):72-76.

[6] PANAGOPOULOS T,JESUS J,ANTUNES M D C,et al. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce[J]. European journal of agronomy,2006,24(1):1-10.

[7] 陈星星,张江辉,才仁加甫,等. 南疆干旱地区土壤盐分空间变异特征研究:以库尔勒三十一团为例[J]. 灌溉排水学报,2019,38(9):108-114.

[8] 周英霞. 农田尺度土壤水肥盐时空分布与棉花生长特征研究[D]. 西安:西安理工大学,2019.

[9] 韩丽娜. 北方干旱区取水灌区水盐时空分布特征的遥感数据分析研究[J]. 水利规划与设计,2020(3):117-124.

[10] JORDAN M M,NAVARRO-PEDRENO J,GARCIA-SANCHEZ E,et al. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions:geological and environmental implications[J]. Environmental geology,2004,45(4):448-456.

[11] 张飞,李怡博,王东芳,等. 精河绿洲盐渍土表层土壤盐分因子的空间变异及分布格局[J]. 生态与农村环境学报,2018,34(1):64-73.

[12] 段凯祥. 嘉峪关草湖地区土壤水盐和养分的空间分布格局及其影响因素研究[D]. 兰州:西北师范大学,2019.

[13] 武婕,李玉环,李增兵,等. 南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素[J]. 生态学报,2013,34(6):1596-1605.

[14] SCHOFIELD R, THOMAS D S G, KIRKBY M J. Causal processes of soil salinization in Tunisia, Spain and Hungary [J]. Land degradation & development, 2001, 12(2): 163-181.

[15] 周在明. 环渤海低平原土壤盐分空间变异性及影响机制研究[D]. 北京:中国地质科学院,2012.

[16] 赵锐锋,陈亚宁,洪传勋,等. 塔里木河源流区绿洲土壤含盐量空间变异和格局分析:以岳普湖绿洲为例[J]. 地理研究,2008(1):135-144.

[17] 李运明,封宗超,李小凯,等. Box-Cox 变换及其在 SPSS 软件中的实现[J]. 数理医药学杂志,2009,22(5):569-571.

[18] ROSSI R E, MULLA D J, FRANZ J E H. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial Dependence [J]. Ecological monographs, 1992, 62(2): 277-314.

[19] 介飞龙. 玉龙喀什河河床渗透系数空间变异性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2018.

[20] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.

[21] VIEIRA S R, CASTRO O M D, TOPP G C. Spatial variability of some soil physical properties in three soils of Sao Paulo, Brazil[J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 1992.

[22] 郑佳伟,史海滨,李正中,等. 内蒙古河套灌区解放闸灌域土壤水盐空间变异性研究[J]. 节水灌溉,2010(2):52-55.

[23] 沈浩,吉力力·阿不都外力. 玛纳斯河流域农田土壤水盐空间分布特征及影响因素[J]. 应用生态学报,2015,26(3):769-776.

[24] 王卓然. 黄河三角洲典型地区土壤水盐动态规律、影响因素与预测模型[D]. 泰安:山东农业大学,2017.

[25] 钱鞠,龙训建,杜虎林,等. 塔克拉玛干沙漠区地下水空间信息统计特征与变异性分析[J]. 南水北调与水利科技,2007(5):103-108.

[26] 张芳,熊黑钢,田源,等. 区域尺度地形因素对奇台绿洲土壤盐渍化空间分布的影响[J]. 环境科学研究,2011,24(7):731-739.

[27] 刘庆生,刘高焕,赵军. 土壤类型、质地和土地类型对土壤盐渍化水平的指示[J]. 中国农学通报,2008(1):307-310.

[28] 余世鹏,杨劲松,刘广明. 易盐渍区粘土夹层对土壤水盐运动的影响特征[J]. 水科学进展,2011,22(4):495-501.

[29] 焦立新. 评价指标标准化处理方法的探讨[J]. 安徽农业技术师范学院学报,1999,13(3):7-10.

[30] 马玉蕾,王德,刘俊民,等. 黄河三角洲典型植被与地下水埋深和土壤盐分的关系[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2423-2430.

[31] 李志刚. 少免冬春灌对棉田水盐分布及棉花生长影响的研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2014.

(上接第 42 页)

[5] 吕永鹏,张格,莫祖澜,等. 再谈平原河网地区汇水分区划分[J]. 给水排水,2019,55(9):55-59.

[6] 阮仁良. 平原河网地区水资源调度改善水质的机理和实践研究[D]. 上海:华东师范大学,2003.

[7] 王思如,顾一成,杨大文,等. 长江下游典型平原城市感潮河网水动力提升分析[J]. 水科学进展:2022,33(1):91-101.

[8] 黄浩涛. 关于生态文明建设和城市发展的思考[J]. 三峡大学学报(人文社会科学版),2022,44(1):1-4,11.

[9] 上海市水务局. 2019 年上海市水资源公报[R]. 2020.

[10] 上海市生态环境局. 2020 年上海市生态环境状况公报[R]. 2021.

[11] 上海市生态环境局. 上海市生态环境质量报告书(2016—2020 年)[R]. 2021.

[12] 周天舒,张亚,唐文乔,等. 基于鱼类完整性指数的黄浦江水生态系统评价[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(6):895-903.

[13] 王飞儿,郑思远,杨泓蕊,等. 基于生态系统服务的浙江省水生态环境分区分类管控[J]. 生态学报,2022(2):1-10.

[14] 应力文,刘燕,戴星翼,等. 国内外流域管理体制综述[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(S1):175-179.

[15] 邢剑波,张智渊. 大同市水生态环境功能分区管理体系研究[J]. 环境与可持续发展,2019,44(5):92-95.

[16] 郑思远. 多层级水环境分区分类体系构建——以浙江省为例[D]. 杭州:浙江大学,2019.

[17] 杨漪帆,朱永青,林卫青. 淀山湖蓝藻水华及其控制因子的模型研究[J]. 环境污染与防治,2009,31(6):58-63,88.

[18] 矫勇. 用系统观念考虑江河生态问题[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2021,42(4):1-6.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.10

浅析清(雨)污分流在水环境治理中的实践

曾颖委

(广州市水生态建设中心,广东 广州 510403)

【摘 要】 合流制流域雨季溢流污染河道是水环境整治的主要问题之一,影响着河道的长治久清,开展排水单元达标建设和合流渠箱"开闸"行动,能有效推动水环境治理工作。本文以广州为例,在水污染防治的实践过程中,按照清(雨)污分流原则,进行排水单元达标建设、合流渠箱改造,建立管养机制,并取得了一定的成效。同时,作者针对存在的问题进行了分析并提出建议。

【关键词】 清(雨)污分流;排水单元;合流渠箱;水环境治理

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-053-04

Analysis on the practice of clean (rain) sewage diversion in water environment treatment

ZENG Yingwei

(*Guangzhou Water Ecology Construction Center*, *Guangzhou* 510403, *China*)

Abstract: The overflow pollution of rivers in the confluence basin in rainy season is one of the main problems of water environment improvement, which affects the long-term stability of rivers. The establishment of drainage units up to standard and opening confluence canal boxes can effectively promote the water environment improvement. Taking Guangzhou as an example, in the practice of water pollution prevention and control, according to the principle of water (rain) and sewage diversion, the drainage unit was established up to standard, the confluence canal box was reformed, and the management and maintenance mechanism was established. Some results were achieved, and some problems were found. The existing problems were analyzed and suggestions were put forward.

Key words: water (rain) sewage diversion; drainage unit; confluence box; water environment treatment

排水单元指具有明确的用地红线或相对独立排水管网的区域,按用地性质可划分为住宅类、机关事业单位(含学校)、部队、工商企业类、城中村等类型。合流渠箱指合流制区域内收集、输送污水和排放清水(雨水、山水、绿化水、地下水等)的沟渠、箱涵,末端设置截流设施,旱季将合流水截流至污水系统处理,雨季开启截流设施,合流污水溢流进入河道。

合流渠箱末端的截流设施,雨季若不及时开启,易形成城市内涝,若开启又易造成河道黑臭,成为治水的一大顽疾,这与城市高质量发展和人民群众日益增长

收稿日期:2021-11-30

作者简介:曾颖委(1986—),男,学士,主要从事水生态建设等工作。

的水环境质量需求是矛盾的。为更好地解决此类问题,广州在全市范围内开展排水单元雨污分流达标攻坚行动,实施合流渠箱清污分流改造,恢复渠箱为清水通道,污水进厂、清水入涌,实现源头减量、厂网减压、河道减污,进一步疏通河道水脉、提升城市品质。

1 清(雨)污分流前期部署

1.1 排水单元达标建设前期部署

2018年,广州市结合排水口整治工作,试点实施排水单元达标创建工作,逐步提高城市雨污分流比例。2019年下半年,广州在全市全面开展“排水单元达标”攻坚行动,明确5年内全面完成全市建成区约1293km^{2}排水单元达标建设任务,雨污分流率达到90%以上,形成“排水用户全接管、污水管网全覆盖、污水处理全达标”的污水治理体系。为此,市里制定全面攻坚排水单元达标工作方案:一是明确排水单元攻坚工作责任主体、攻坚方案编制和年度计划、内部雨污分流整改实施主体、配套公共排水管网建设单位和达标验收流程,并建立过程监管和问题协调机制等。二是要求建立健全排水单元设施日常管养长效机制,包含:完善日常监管责任机制、绘制内部管网运行图和建立排水单元设施养护“四人”到位机制等。三是在组织领导、资金保障、项目审批、考核问责和宣传动员等方面提出要求。

1.2 合流渠箱清污分流前期部署

2018年,选取35条黑臭河涌流域内的主要合流渠箱试点,对具备条件、未开展整治工作的黑臭河涌,同步实施流域内合流渠箱的改造。组织各区对中心城区合流渠箱的基本情况进行摸查梳理,分批进行合流渠箱清污分流工程建设方案的编制。2019年上半年,广州市编制合流渠箱清污分流摸查设计、施工、管养等技术指引。2020年下半年,将合流渠箱清污分流工程纳入总河长令攻坚行动清单,部署任务,要求2023年底前完成全市443条合流渠箱改造,实施合流渠箱“开闸”行动。

2 清(雨)污分流组织实施

2.1 排水单元达标建设组织实施

一是发布排水单元相关政策、组建攻坚队伍。市河长办成立工作组,明确各个阶段的攻坚工作总体计划,分若干批次,倒排工期,明确了项目设计方案编制、可研报告批复、挂网招标、开工和完工等时间。市河长办排水单元达标攻坚专项小组对各区排水单元达标攻坚工作进行督办,以攻坚工作总体计划为抓手,压实责任,对攻坚工作进度滞后的单位,依照相关规定启动问责程序。之后各区也陆续依托区河长办成立排水单元达标攻坚组,推进排水单元达标建设工作。2020年上半年,为加快推进水环境综合整治、加大宣传力度、争取市民支持,发布关于开展排水单元达标建设工作的通告,决定在全市范围内开展排水单元达标建设工作,加快推进水环境综合整治。

二是明确排水单元内部达标改造主体、具体组织实施。无人管养(无物业管理单位)的老旧小区,由所在区组织实施。机关事业单位(含学校)、部队、工商业企业类等排水单元内部管网改造工作,由权属单位、设施业主或管理单位承担实施。已纳入城中村截污纳管、合流渠箱清污分流等项目同步实施的排水单元改造,按照获批的项目方案由相关单位组织实施。

三是开展排水单元达标创建验收,由属地街道(镇政府)牵头,会同区水务行政主管部门、市(区)排水公司、排水单元业主代表等组成排水单元达标认定小组,进行现场检查并查阅资料,对已签订排水单元达标攻坚责任书、已办理排水设施接驳核查登记表、已完成雨污分流改造且已绘制内部管网运行图、落实维护管养资金并形成长效管理机制的排水单元,通过验收并授予“达标排水单元”称号;未能通过验收的,限期整改。

2.2 合流渠箱清污分流工程组织实施

在项目前期,相关部门负责将中心城区合流渠箱清污分流项目录入政府投资项目库,组织设计单位编制建设方案、可研报告,并组织招标。在项目建设实施时,各区参与辖区内合流渠箱清污分流建设方案的协同审查,确保方案可行,并作为项目建设管理单位,负责各自辖区内项目施工场地、征地拆迁,并进行施工阶段的代建管理。非中心城区参照中心城区的工作思路,按时间节点要求开展辖区内其他合流渠箱清污分流工程可研报告的审批、招标、开工、完工等工作。在

项目建设管理方面,为确保合流渠箱清污分流工作顺利推进,制定并印发中心城区合流渠箱清污分流工程项目建设管理细则,对项目管理范围、项目参与单位的管理职责、专项工作组和工程项目部的组建要求、项目前期至后期各阶段的具体要求和项目管理的考核方式等进行了明确。在项目建设推进方面,参照排水单元达标攻坚小组的模式,成立合流渠箱清污分流改造攻坚推进小组,负责统筹推进全市合流渠箱清污分流改造相关工作,并委派专班力量加强全市合流渠箱清污分流改造工程的建设管理,包括技术方案优化、工程实施全过程监控、工程竣工后的清污分流效果评价等工作。

3 清(雨)污分流考核评定

3.1 排水单元达标创建考核

为了规范排水单元达标考核工作程序,有效推进排水单元达标攻坚工作,全市编制并印发排水单元达标的考核办法,对考核主体和考核对象、排水单元达标材料、排水单元达标抽查、排水单元达标率计算公式、考核合格的标准、考核时间和组织方式进行了明确。另外,为确保排水单元达标率和达标质量,为完成预期目标提供验收依据,保障排水单元达标攻坚工作持续有效地推进,同时编制并印发了排水单元达标抽查核查工作方案,对排水单元达标工作的实施主体进行抽查与考核,公开招标产生第三方抽查核查单位,以区域(或流域)为单位,按照不低于5%的面积比例,对各区报送的已完成达标认定的排水单元进行随机抽查,抽查内容主要包含排水单元的雨污分流工程、雨污分流效果和长效管理机制建立情况,并将排水单元达标考核结果在全市范围内进行通报。将排水单元达标工作纳入河长制考核体系,对在排水单元达标攻坚行动中成绩突出的给予表彰奖励,对工作不力的依法依规予以追责。

3.2 合流渠箱清污分流效果评定

在提升城市品质方面,为有效推进合流渠箱清污分流改造工作,确保合流渠箱清污分流改造的效果,广州市公开招标产生合流渠箱清污分流效果的评定单位,制定合流渠箱清污分流评定工作方案。根据市总河长令(第9号)要求的渠箱“开闸”时间节点,分批次对2021年底前实施“开闸”的合流渠箱开展评定工作,评定的内容主要包含渠箱总体感观(渠箱出口处气味、渠箱内垃圾或淤泥淤积情况)、渠箱内雨水通道功能恢复情况(渠箱末端设施运行情况、渠箱内雨水和污水系统运行情况、渠箱出口排水情况与感观)和渠箱内水质情况(氨氮浓度、透明度)等,按照评分细则对合流渠箱清污分流效果进行赋分判定。对水质不达标的合流渠箱,将存在问题通报给合流渠箱的区级河长并抄送属地政府,进一步引起区级河长和各责任单位的重视,达到以评促改的目标。后期对根据评定工作的实际情况,对合流渠箱清污分流效果评分细则的部分内容进行调整优化,氨氮浓度、透明度单独赋分。根据评定结果,将对在合流渠箱清污分流改造工作中履职尽责、成效突出的单位、个人给予表彰奖励,对工作不力的工作人员将依照有关规定启动问责程序。

4 清(雨)分流工作成效及存在问题

4.1 清(雨)分流工作成效

截至2021年11月底,全市已完成达标认定的排水单元面积约占全市总排水单元面积的79.78%。全市443条合流渠箱,截至2021年12月初,209条通过第一次评定,达到清污分流改造条件。棠景沙涌已基本实现根除污染源,消除黑臭,呈现水清岸绿、鱼翔浅底的气象,植物园支涌,清污分流未实施前,渠箱口设截污堰 、雨污合流溢流进入河涌、晴天渠口发出臭气,清污分流实施后清水入河,污水进管。如景泰涌,箱涵出口设截流堰,清污混合,雨天溢流,通过在箱涵内敷管,污水纳管、清水出涵,整改拦河(涵)截污,河水污水各行其道。合流渠箱清污分流改造在深涌流域和北降涌的水环境治理中也取得了显著成效,形成了良好的示范效应。

4.2 排水单元雨污分流存在问题

2020年下半年,抽查核查单位共抽查核查各区报送的已达标的排水单元500多个,抽查面积约为2020年应完成达标面积的5%左右。抽查中发现的问题

如下：

a. 在雨污分流工程方面，雨水井和部分排水单元污水井存在错接、混接或漏接；排水单元内部雨污分流，单元外部未分流，污水管道标高不合理而造成满管运行等。

b. 在雨污分流水质方面，部分排水单元污水未接入市政污水管网，造成内部污水井满管满井运行，但外部市政污水系统运行正常，雨水井晴天流水的水质氨氮值大于5mg/L，甚至大于15mg/L等。

c. 在长效管理机制建立情况方面，部分排水单元未绘制管网运行图，或绘制的管网运行图与现场情况不相符，雨污水井井盖错用，长效机制文件未制定等。

4.3 合流渠箱清污分流存在问题

2021年下半年，在开展合流渠箱的评定过程中，发现的主要问题有：渠箱内排水氨氮值较高、水体透明度较低、渠箱末端出口有臭味、渠箱内存在大面积黑臭淤泥、晴天有污水流入渠箱等。存在问题的主要原因有：ⓐ合流渠箱清污分流工程未完工，主要是市政路公共管网未完成建设，污水没有出路，只能继续流入渠箱；ⓑ合流渠箱沿线排水单元未全部雨污分流，排水单元的合流水仍流入渠箱；ⓒ排水单元内部完成雨污分流后，市政路的公共管网不完善，单元分流后的雨水、污水出单元后仍一起接入合流管，下游再汇入渠箱等；ⓓ合流渠箱多年都是合流的通道，黑臭沉积物较多，合流渠箱多数是在城市化进程中将河道、山水通道等加盖形成合流暗涵，结构上不能保证密闭性，污水容易渗入渠箱。以上问题都易造成渠箱内的流水水质不达标。

5 对策与建议

5.1 排水单元达标对策建议

a. 加快问题整改，举一反三，全面排查排水单元管网问题。对于雨污水系统错混漏接，重点排水户（如餐饮业）无污水预处理设施，管道或集水井存在缺陷等问题，要及时发现并组织整改；加大推广海绵城市建设理念，结合排水单元自然条件积极建设雨水花园、下沉式绿地等海绵设施，利用自然地势对雨水进行地面散排，设置植草沟、排水明沟等；进一步落实排水单元内部管网养护资金和各方责任人，定期检查并及时更新排水单元内部管网运行图；同步实施排水单元配套的市政公共排水管网建设，实现排水单元红线内外均雨污分流。

b. 开展“信息化+排水单元”工作。可考虑对已达标的排水单元进行效果监测，为保持排水单元达标效果常态化管理提供依据，促使排水单元日常管养水平提升。通过监测实现对排水单元排水管网运行情况实时监控，主要收集晴天、雨天时雨水接驳井、污水接驳井的水质和水位数据，分析排水单元雨污分流效果，发现问题及时反馈。

c. 建立健全排水单元监督检查和整改工作机制。加强排水单元的日常运维与监督管理，确保单元内管网设施健康运行，定期开展排水单元全覆盖的监督检查，推动排水管网专业化管理向排水单元内部延伸，全面形成发现问题、交办问题、限期整改、复核的全过程、全周期的管理机制，以及形成可追溯、可倒查、可问责的长效管理机制，实现排水单元的闭合管理。

5.2 合流渠箱清污分流对策建议

a. 要加强统筹协调，解决制约合流渠箱清污分流工程建设的施工用地、交通疏解及占道开挖协调难和交叉管线迁改滞后等问题，建设单位加强与相关审批单位的沟通协调，加快推进合流渠箱清污分流工程的建设进度，对渠箱黑臭沉积物进行清理或无害化处理，修复渠箱破损、堵塞、渗漏等结构性的损坏和功能性的缺陷。

b. 加快合流渠箱流域内排水单元的同步达标创建。

c. 参照排水单元的做法，开展“信息化+合流渠箱”工作。

d. 建立健全合流渠箱清污分流改造后的日常运维监督检查及管理养护机制。

6 结 语

在水环境治理中开展排水单元雨污分流达标建设、合流渠箱清污分流改造，有利于推 （下转第21页）

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.11

上海自来水厂泥渣处置方式的研究探索

于大海

(上海市供水管理事务中心,上海 200081)

【摘 要】 自来水厂排泥水经浓缩、离心或板框脱水处理后,产生的泥渣较多,体积依然较大。目前,泥渣处置缺少稳定的出路和相关的标准依据,资源化效益得不到充分发挥。本文围绕泥渣产生、处理和处置的全过程,对不同水源地(青草沙水源地、陈行水库、金泽水库、东风西沙水源)的水厂泥渣性质进行系统性调研,并形成系统完善的自来水厂泥渣的物理、化学和生物指标,对泥渣进行检测、分析和评价。在此基础上,对泥渣处置和资源化利用的方式和途径进行研究探索,研究结果对于供水行业的绿色发展与资源化利用有序规范结合具有非常重要的意义。

【关键词】 排泥水;泥渣;泥渣处理;泥渣处置;资源化

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-057-07

A study and exploration of waste residue mangement methods in Shanghai waterworks

YU Dahai

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

Abstract: After being concentrated, centrifuged or dewatered by plate and frame, the waste residue produced by the tap water waste residue is still large in volume. At present, waste residue disposal lacks a stable outlet and relevant standard basis, and the resource utilization benefits cannot be fully exerted. Focusing on the whole process of waste residue generation, disposal and management, the properties of waste residue from different water sources (Qingcaosha Water Source, Chenhang Reservoir, Jinze Reservoir and Dongfeng Xisha Water Source) were systematically investigated, and the physical, chemical and biological indexes of waste residue from waterworks were formed, and the waste residue was detected, analyzed and evaluated. On this basis, it is of great significance to study and explore the ways and means of waste residue disposal and resource utilization for the green development of water supply industry and the orderly and standardized combination of resource utilization.

Key words: waste residuals; waste residue; waste residue disposal; sludge management; resource utilization

1 泥渣来源

排泥水经浓缩、离心或板框脱水处理后,形成泥渣。泥渣成分主要是原水中的藻类、泥沙、腐殖质、细菌和胶体颗粒等有机或无机的杂质,以及净水处理时加入的混凝剂、凝剂等物质。

1.1 排泥水产生

自来水厂排泥水主要来源于水处理过程中的废水,如沉淀池排泥水、沙滤池反冲洗废水、炭滤池反冲洗废水及初滤水,其水量一般约占水厂总制水量的3% ~8%左右。

收稿日期:2021-11-30

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。

沉淀池的排泥水主要由金属氢氧化合物、泥沙等组成，原水水质的季节变化可能对污泥的量和浓缩、脱水性能产生很大的影响：高浊度原水产生的污泥具有较好的浓缩和脱水性能；低浊度原水产生的污泥浓缩和脱水较困难。一般铁盐混凝形成的污泥较铝盐更易浓缩，投加聚合物或石灰可提高浓缩性能。

滤池（沙滤池和生物活性炭滤池）反冲洗排泥水主要含有悬浮胶体、黏土、有机物及化学药剂残余物等，形成的污泥特性基本上与沉淀池相同。其特点是含泥浓度低，一般含固率仅为0.02%～0.05%。

1.2 泥渣形成

泥渣沉淀池排泥水经调节池后，进入重力浓缩池浓缩，浓缩后约2%～4%含固率的半固态物质进入平衡池暂存后进行机械脱水。滤池反冲洗水由于含固率低，一般会先经过预浓缩处理后再进行浓缩形成半固态物质，然后进行机械脱水处理。机械脱水方式主要是离心脱水和板框脱水。离心脱水机泥渣含固率约25%～30%，板框脱水泥渣含固率约45%～50%[1-3]。上海主要自来水厂泥渣统计详见表1。

表1 上海主要自来水厂泥渣统计

序号	水厂	供水能力/（万 m^3/d）	脱水	平均产泥渣数量/（t/月）	平均含固率/%
1	杨树浦	140.0	离心脱水	349	33.4
2	南市	70.0	离心脱水	665	29.6
3	长桥	140.0	离心脱水	1814	27.5
4	闵行	90.0	离心脱水	3177	28.8
5	泰和	100.0	板框脱水	1454	48.3
6	月浦	40.0	离心脱水	314	39.5
7	闸北	28.0	板框脱水	163	51.3
8	罗泾	10.0	离心脱水	190	36.5
9	徐泾	20.0	离心脱水	446	30.9
10	金山	40.0	离心脱水	694	28.3
11	长兴	10.0	离心脱水	154	41.7
12	临江	60.0	板框脱水	1626	25.6
13	凌桥	40.0	离心脱水	834	25.9
14	金海	80.0	离心脱水	1331	26.3
15	城桥	7.5	离心脱水	373	35.6
16	堡镇	8.0	离心脱水	190	34.6
17	陈家镇	4.0	离心脱水	202	35.7
18	崇西	5.0	离心脱水	183	36.1
19	青浦二	40.0	板框脱水	113	50.8
			离心脱水	221	29.1
20	青浦三	10.0	离心脱水	395	29.1
21	星火中法	10.0	离心脱水	302	31.6

2 泥渣成分分析

泥渣主要成分主要为二氧化硅、氧化铝和氧化铁等无机物质，约占到80%。春夏之交，藻类大量生长时，泥渣中的有机质含量偏高。泥渣的热值以惠南水厂为例：高位热值3.717MJ/kg，低位热值3.099MJ/kg，仅有传统市政污水厂泥渣热值的20%左右，难以焚烧减量。主要控制指标符合《城镇污水处理厂污泥泥质》（GB 24188—2009）和《农用污泥污染物控制标准》（GB 4284—2018）标准要求，同时符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618—2018）。自来水厂泥渣具有较好的环境可接受性。

水源地不同，产生的泥渣也会有所差异，选取不同水源地的6家自来水厂对泥渣性质进行系统性分析比较，见表2。

表2 选取的自来水厂对比

序号	水源地	调研单位	备注
1	青草沙	上海城投水务集团南市水厂	有深度处理工艺
		上海南汇自来水有限公司惠南水厂	无深度处理工艺
2	陈行水库	上海城投水务集团吴淞水厂	无深度处理工艺
		上海市嘉定自来水有限公司北部水厂	有深度处理工艺
3	金泽水库	上海市自来水奉贤有限公司	原水典型净水工艺，有深度处理
4	东风西沙	上海市崇明区自来水公司城桥水厂（6—7月取样为堡镇水厂）	原水典型净化工艺，暂无深度处理工艺

2.1 检测指标选取

经过分析筛选，选取43项检测指标并确定检测频

率，自 2021 年 6 月起开始指标检测，历时 9 个月[5]，详　　见表 3。

表 3　泥渣泥质检测指标

指　　标	检　测　方　法	检测周期	备　　注
含水率/%	CJ/T 221—2005(2)	每月一次	
温度/℃	现场检测	每月一次	
臭　气	GB/T 14675—1993	每月一次	2021 年 9 月开始，每两个月一次
pH 值	CJ/T 221—2005(4)	每月一次	
EC/(S/m)	LY/T 2445—2015	每月一次	
横向剪切强度	GB/T50123	每月一次	2021 年 9 月起新增检测指标
发热量	GB/T 213—2008	每个季度一次	2021 年 12 月、2022 年 5 月检测
有机质/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(1)	每月一次	
可吸附有机卤化物/(mg/L)	GB/T 15959—1995	每月一次	
烧失量/%	HJ 1024—2019	每月一次	
二氧化硅(干基)	HJ 780—2015	每月一次	
三氧化二铝(干基)	HJ 780—2015	每月一次	2021 年 9 月起暂不测
三氧化二铁(干基)	HJ 780—2015	每月一次	2021 年 9 月起暂不测
三氧化硫(干基)	GB/T 176—2017	每月一次	
总镉/(mg/kg)	GB/T 17141—1997	每月一次	
总汞/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(43)	每月一次	
总铅/(mg/kg)	GB/T 17141—1997	每月一次	
总铬/(mg/kg)	HJ 491—2019	每月一次	
总砷/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(45)	每月一次	
总铜/(mg/kg)	HJ 491—2019	每月一次	
总锌/(mg/kg)	HJ 491—2019	每月一次	
总镍/(mg/kg)	HJ 491—2019	每月一次	
总锑/(mg/kg)	HJ 781—2016	每月一次	
矿物油/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(12)	每月一次	
挥发酚/(mg/kg)	HJ 998—2018	每月一次	2021 年 9 月开始，2021 年 11 月和 2022 年 2 月检测
总氰化物/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(10)	每月一次	2021 年 9 月开始，2021 年 11 月和 2022 年 2 月检测
氟化物/(mg/kg)	GB/T 22104—2008	每月一次	
总氮/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(49)	每月一次	
总磷/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(50)	每月一次	
全钾/(mg/kg)	CJ/T 221—2005(52)	每月一次	
钠/(mg/kg)	HJ 781—2016	每月一次	
钙/(mg/kg)	HJ 781—2016	每月一次	
铁/(mg/kg)	HJ 781—2016	每月一次	
镁/(mg/kg)	HJ 781—2016	每月一次	
铝/(mg/kg)	HJ 781—2016	每月一次	

续表

指　　标	检　测　方　法	检测周期	备　　注
苯并(a)芘	HJ 784—2016	每月一次	2021年9月开始,2021年11月和2022年2月检测
多环芳烃	HJ 784—2016	每月一次	2021年9月开始,2021年11月和2022年2月检测
放射性核素(Iγ)	GB 6566—2010	每月一次	
大肠菌群(MPN/g)	CJ/T 221—2005（14）	每月一次	
粪大肠菌群值	GB 7959—2012 附录D	每月一次	
细菌总数(MPN/kg干污泥)	CJ/T 221—2005（13）	每月一次	
蛔虫卵死亡率	GB 7959—2012 附录E	每月一次	
种子发芽指数	CJ/T 340—2016	每月一次	

2.2　主要指标数据分析

2.2.1　有机物

根据《城市污水处理厂污泥检验方法》(CJ/T 221—2005)中重量法检测9个月,有机物含量变化见图1。

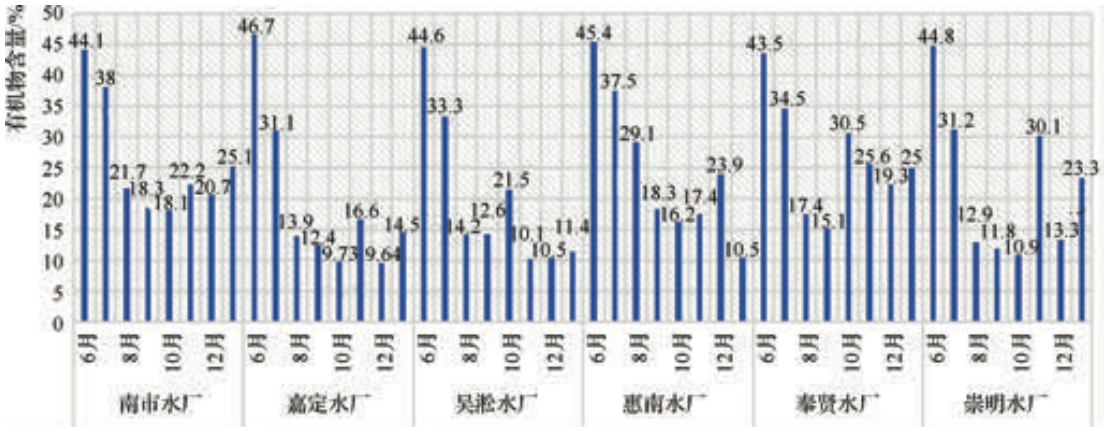

图1　有机物含量变化

2021年6月、7月的样品检测中,6家水厂泥渣的有机物含量均较高;9个月检测指标中,6家水厂均呈现有机物含量随季节变化有明显变化,且使用青草沙水源地原水的水厂有机物含量比其他水厂高;有机质含量的最高值和最低值的差值较大。

2.2.2　重金属

共对12种金属类指标进行检测,重金属指标变化见图2。从中铝、铁、镁含量较高;9次检测结果中,部分指标偏差较大;按照相关监测方法的检测限值,多项指标超限。

2.2.3　砷

根据《城市污水处理厂污泥检验方法》(CJ/T 221—2005)中常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法对砷及其化合物进行测定,检测9个月,检测结果部分高于限值,且青草沙水源地水厂的检测值较高,砷含量变化见图3。需持续关注该检测指标,并研究分析相关原因。

2.2.4　放射性

按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566—2010),水库水源地的水厂泥渣检测9个月,其放射性指标较高,见图4。

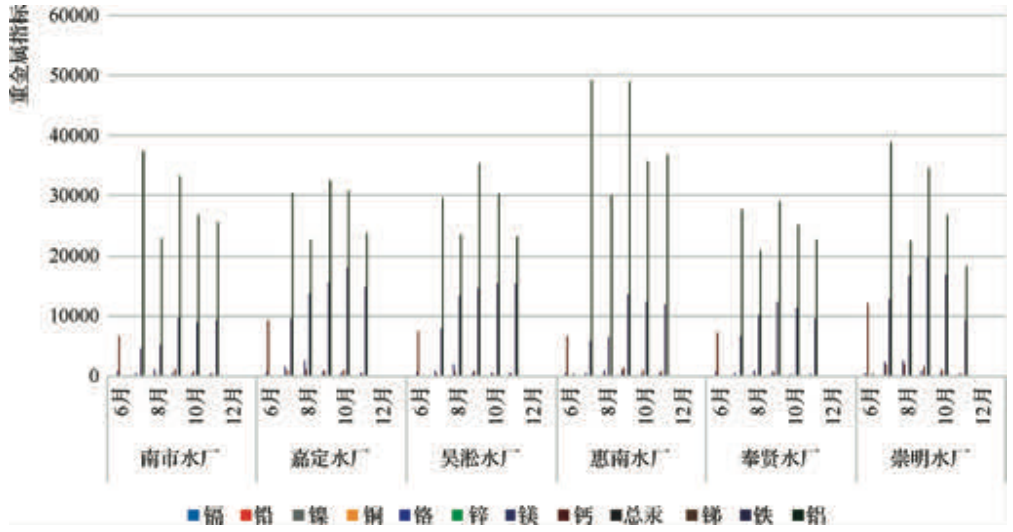

图 2　重金属指标变化

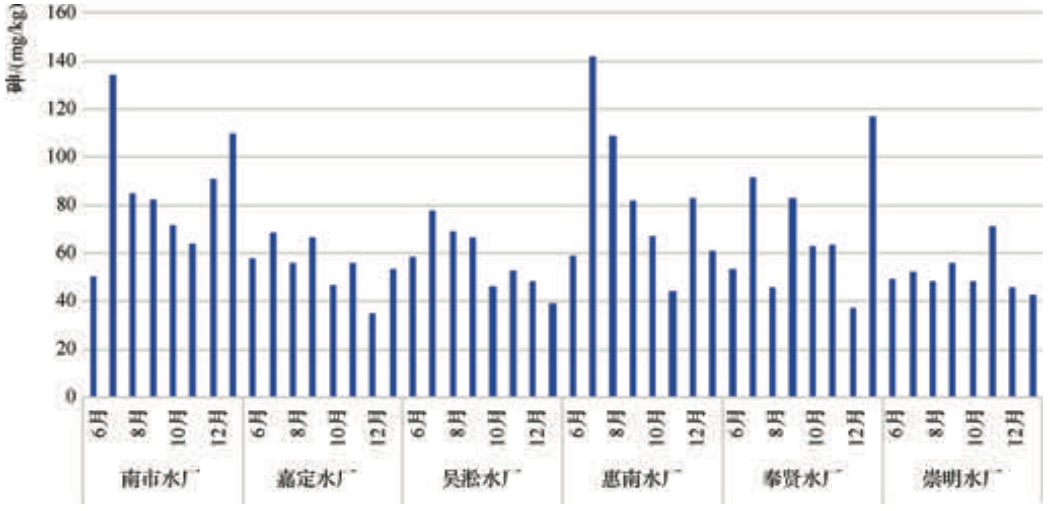

图 3　砷含量变化

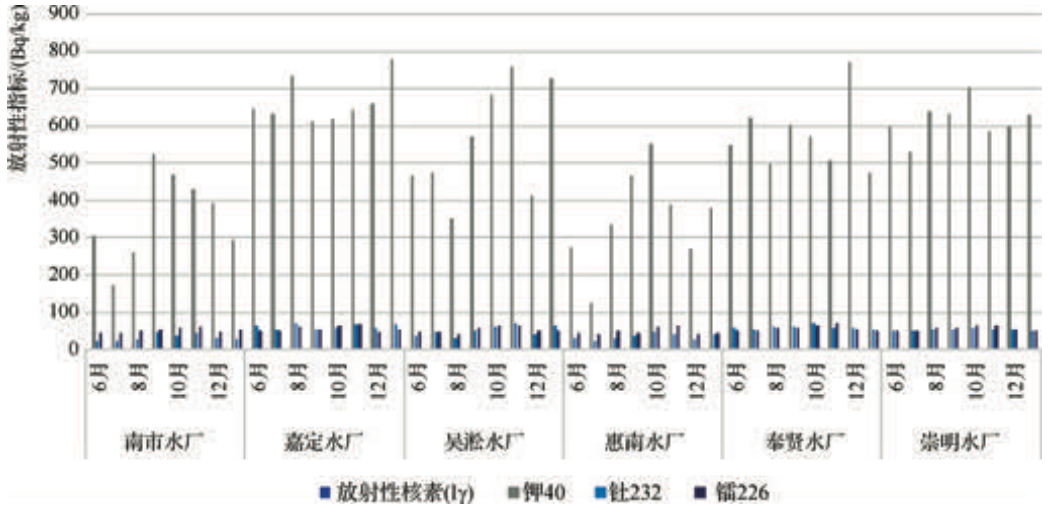

图 4　放射性指标变化

2.2.5 种子发芽指数

根据《绿化种植土壤》(CJ/T 340—2016)检测3个月,种子发芽指数变化见图5。

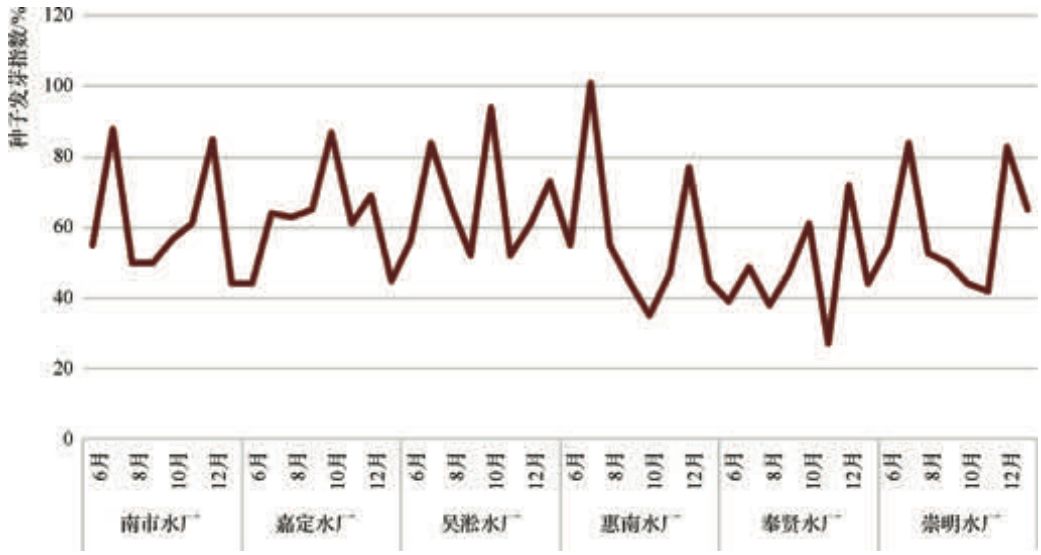

图5 种子发芽指数变化

2.2.6 氟化物

根据《土壤质量 氟化物的测定 离子选择电极法》(GB/T 22104—2008)检测3个月,检测数据部分有异常,氟化物含量变化见图6。

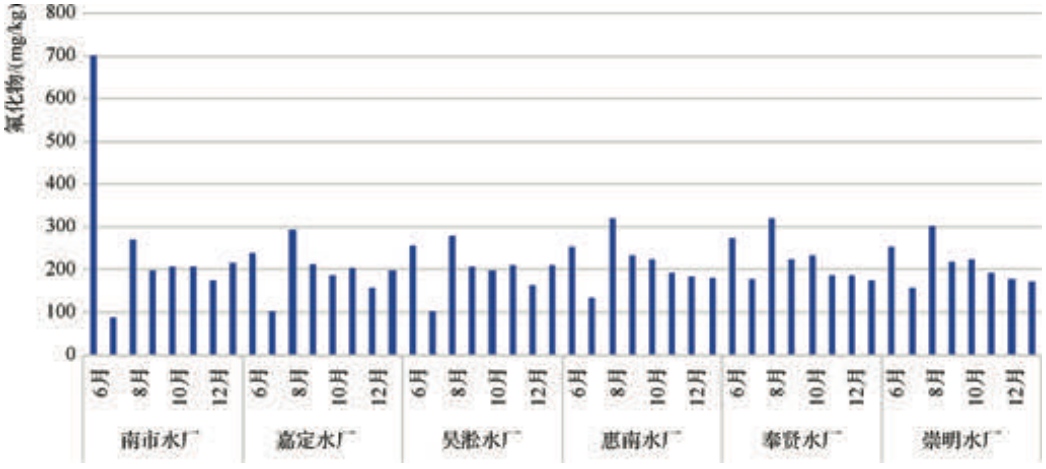

图6 氟化物含量变化

3 泥渣处置现状分析

3.1 缺乏针对性处置标准依据

外运填埋作为目前泥渣处置的主要方式,其运输和处置中均缺乏相关标准依据。随着上海城市化的发展填埋地点选择较难,且存在填埋方式不规范的问题,对周边环境造成不利影响。

3.2 资源化效益得不到充分发挥

泥渣含有的有机质以及植物所需的营养成分,具有一定的园林绿化和农用价值。但在机械脱水时由于加入了高分子絮凝剂改变了物理性质和化学性质,若不经分析处理,贸然进入农田,将造成土壤物理和化学环境的变化,引起土壤“板结”酸化等一系列危害其生态功能的后果。目前,尚缺乏相关标准规范,制约了资源的有效利用和相关产业的发展。

泥渣中的无机质可以作为制砖、路基等建筑材料,但是目前缺少稳定的出路,资源化效益无法充分发挥。

4 泥渣处置探索研究

泥渣是城市废弃物的主要种类之一，应从国家、地方政府层面制定合理的政策导向，以产业化市场运作制定优惠税收政策，将大量的自来水厂泥渣经过科学处理后，实现减量化、稳定化、无害化和资源化，并作为废弃物资源加以利用。这种化害为利、变废为宝的资源综合利用，是保证资源循环利用的有效途径和实现可持续发展战略的重大举措，也是国民经济和社会发展的一项长远战略方针，助力实现上海建设资源节约型、环境友好型城市的目标。

4.1 制定和实施标准和规范

国家已制定与城市污水处理厂污泥有关标准50余项，内容涵盖泥质指标测定与评价、污泥清理设备与技术规范、污泥处理处置规范、污泥资源化利用途径等。但是在自来水厂的污渣处置及资源化利用方面缺乏相关标准规范，制约了资源的有效利用和相关产业的发展。为此要围绕自来水厂污泥处理与利用的全过程，应尽快制定和实施《城镇供水厂泥渣处理处置技术规范》，以有效规范泥渣处置和资源化利用的方式和途径。

4.2 确定资源化和处置途径

4.2.1 开展泥渣评价和评估

泥渣处置前应根据定期检测指标的结果和相关标准，确定处置方向，并实行分级管理；泥渣的某些指标含量存在季节性升高时，应加强监测频次，选择性控制指标，超过限值的泥渣处置前应开展环境影响评价，综合确定处置和资源化途径。

4.2.2 推进泥渣资源化利用

泥渣资源化利用包括土地利用、建材利用和园林绿化等。泥渣优先考虑建材资源化利用，优先采用泥渣协同建筑垃圾再生骨料制备免烧砖，也可用作城市道路底土、建筑物回填土和城市基础设施管道的垫土；当泥渣理化指标、养分指标、生物学指标、污染物控制指标及种子发芽率满足标准《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)时，可用于园林绿化。当泥渣理化指标、养分指标、生物学指标及污染物控制指标满足标准《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》(GB/T 246000—2009)时，可用于土地改良。

4.2.3 焚烧和填埋处置泥渣

不具备资源化利用条件且有机物含量较高时，可采用焚烧处置方式，焚烧处置不宜采用独立焚烧的方式，宜在生活垃圾、电力、工业等行业的炉窑进行协同焚烧。当泥渣不具备资源化利用条件时，且有机物含量较低时，可采用填埋处置方式，泥渣填埋不宜采用单独填埋的方式，宜采用与生活垃圾混合填埋或作为填埋场覆盖土。

5 结 语

上海自来水厂排泥水经脱水处理后，每月产泥渣量因规模不同而不尽相同，从几十吨到上千吨不等。目前主要的处置方式为外运填埋，部分泥渣用作制砖、路基等建筑材料。但由于转运和处置均缺乏相关标准依据，随着城市化的发展填埋地点选择较难，且存在填埋方式不规范的问题，对周边环境造成影响。

水厂泥渣中的无机质可以作为制砖、路基等材料的建筑材料，但是目前缺少稳定的出路，资源化效益无法充分发挥[4]。同时水厂泥渣含有的有机质以及植物所需的营养成分，具有较高的园林绿化和农用价值，资源化潜力突出。

国家在自来水厂的泥渣处理处置及资源化利用方面缺乏相关标准规范，制约了资源的有效利用和相关产业的发展。对自来水厂泥渣在产出、存放、转运以及处理处置环节的安全性和资源利用性进行探索研究和综合评价后，应尽快编制和出台相应的标准和技术规范，指导泥渣的全流程管理，有效规范处置和资源化利用的方式和途径，以此来实现供水行业绿色发展与资源化利用有序规范地结合。

参考文献

[1] 梁璧凝，廖栩辉. 浅议自来水厂污泥处理工程设计[J]. 广东科技，2006(5)：49-50.

[2] 邓军. 武汉地区自来水厂排泥水浓缩试验研究[D]. 武汉：华中科技大学，2006.

[3] 张旭. 自来水厂污泥脱水实验研究[D]. 天津：天津大学，2006.

[4] 刘辉，张玉先. 自来水厂的污泥处置与综合利用[J]. 给水排水，2001，27(11)：15-17.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.12

加权马尔可夫链阶数对湖北省年降雨量预测精度的影响研究

周安琪[1]　高　松[2]　喻　丹[3,4]

(1. 湖北千里目检测技术有限公司,湖北 宜昌　443002;
2. 宜昌市环境保护监测站,湖北 宜昌　443002;
3. 三峡大学水利与环境学院,湖北 宜昌　443002;
4. 水资源安全保障湖北省协同创新中心,湖北 武汉　4300742)

【摘　要】 本文采用加权马尔可夫链结合模糊集理论的方法对湖北省27个气象站的年降雨量进行预测,从气象站点和研究区空间两个方面分析了不同阶数对年降雨量预测精度的影响。结果表明,多阶加权马尔可夫链能够克服传统马尔可夫链中年降雨量状态预测不唯一的缺陷,且预测的年降雨量状态的准确性更高;多阶预测的年降雨量空间分布具有较为一致的趋势,表现为东部和东北部高于实测值,南部和西南部低于实测值,且五阶预测的空间年降雨量与实测最为接近。研究结果可为农业、气象和水利等多个部门的决策制定提供重要的数据支持和科学依据。

【关键词】 加权马尔可夫链;模糊集理论;年降雨量;预测精度;湖北省

中图分类号:TV125　　**文献标志码:B**　　**文章编号:2096-0131(2022)05-064-08**

Study on the influence of weighted Markov Chain order on the prediction accuracy of annual rainfall in Hubei Province

ZHOU Anqi[1], GAO Song[2], YU Dan[3,4]

(1. *Hubei Qianlimu Testing Technology Co., Ltd., Yichang* 443002, *China*;
2. *Yichang Environmental Protection Monitoring Station, Yichang* 443002, *China*;
3. *China Three Gorges University, College of Hydraulic and Environmental Engineering, Yichang* 443002, *China*;
4. *Water Resources Security Hubei Collaborative Innovation Center, Wuhan* 4300742, *China*)

Abstract: In this paper, the method of weighted Markov Chain combined with fuzzy set theory is used to predict the annual rainfall of 27 meteorological stations in Hubei Province, and the influence of different order on the annual rainfall prediction accuracy is analyzed from two aspects of meteorological stations and study area space. The results show that the multilevel weighted Markov Chain can overcome the defect that the traditional Markov Chain is not unique in predicting the annual rainfall state, and the accuracy of the predicted annual rainfall state is higher. The spatial distribution of multi-stage forecast annual rainfall has a relatively consistent trend, which shows that the east and the northeast are higher than the measured

收稿日期:2022-02-08
基金项目:三峡大学高层次人才科研启动基金(博士)(8203002)
作者简介:周安琪(1989—),男,工程师,学士,主要从事水环境污染治理方面的研究工作。

value. While the south and the southwest are lower than the measured value. And the spatial annual rainfall predicted by the fifth stage is the closest to the measured value. The research results can provide important data support and scientific basis for the decision-making of agriculture, meteorology, water conservancy and other departments.

Key words: weighted Markov Chain; fuzzy set theory; annual rainfall; prediction accuracy; Hubei Province

降雨作为一个区域主要的水资源补给,是目前水文和气象研究中非常重要的一个关注项。降雨量的预测能够为农业、气象和水利等多个部门的决策制定提供重要的数据支持和科学依据[1-3]。由于降雨量的多少受到多种气象因素的综合影响,表现出较强的随机性[3],因此很难利用准确的数值计算方法得到某一时段内的降雨量的值。长期以来,国内外众多学者针对降雨量的预测方法开展了大量的研究,主要形成了两大类方法:一类是概率统计的方法,如一元线性回归预测、马尔可夫链模型、时间序列预测等;另一类是时间序列方法,如自回归预测,非线性门限自回归、滑动平均自回归模型等[4-7]。其中,马尔可夫链模型因其原理简单、计算方法简便,且对数据的随机波动规律具有一定的适应性,被广泛应用于降雨量的预测研究中[3-4,8-9]。

马尔可夫过程是研究随机过程中事物状态以及状态之间转移规律的理论,基本原理是结合事物当前的状态和状态转移概率来预测事物将来的变化趋势。马尔可夫过程最基本的特征是“无后效性”(也称之为“马氏性”),即认为事物将来的状态只取决于事物当前的状态,而与过去的状态无关。马尔可夫链是状态和时间都离散的一种特殊的马尔可夫过程,水文要素如降雨、径流的状态序列属于典型的马尔可夫链,同样也具有“无后效性”的特征。加权马尔可夫链是在传统马尔可夫链的基础上发展而来的,其基本思想是,对于一列相依的随机变量,各阶自相关系数刻画了各种滞时的指标值的相关关系的强弱,因此可考虑先分别依其前面若干年的指标值所对应的状态对该时段的状态进行预测,然后按前面各时段与该时段相依关系的强弱对绝对转移概率加权求和。即通过各阶马尔可夫链转移概率与相依随机变量的相关分析,达到充分、合理地利用信息进行预测的目的[9-10]。

目前,关于加权马尔可夫链预测降雨量的研究大多集中在方法的应用上,然而在利用加权马尔可夫链时,阶数的选择会影响各种滞时指标值的权重,从而影响最终的预测结果,现有的研究缺少对不同阶数马尔可夫链预测结果的对比分析。因此,本文以湖北省为研究区,根据中国国家气象局(China Meteorological Administration,CMA)[11]提供的气象站点逐日降雨数据,利用不同阶数的加权马尔可夫链预测年降雨状态,再结合模糊集理论预测对应状态下的年降雨量的值,通过对比研究分析加权马尔可夫的阶数对年降雨量预测精度的影响。

1 年降雨量预测方法

1.1 加权马尔可夫链

加权马尔可夫链预测年降雨量状态的一般步骤如下:

a. 采用均值-均方差分级法对年降雨序列进行分级,计算年降雨序列的样本均值 s,据此建立分级标准,将历年降雨量划分为特旱、干旱、平水、偏丰和丰水共5个状态。

b. 对上一步得到的状态序列进行统计计算,得到不同滞时(阶数)马尔可夫链的转移概率矩阵,这些矩阵决定了降雨量状态转移过程的概率法则。

c. 进行“马氏性”检验。

d. 计算年降雨序列的各阶自相关系数 r_k,计算公式为

$$r_k = \frac{\sum_{l=1}^{n-k}(x_l - \bar{x})(x_{l+k} - \bar{x})}{\sum_{l=1}^{n}(x_l - \bar{x})^2} \tag{1}$$

式中:r_k 为第 k 阶(滞时为 k 年)的降雨序列自相关系数;x_l 为第 l 年的降雨量,mm;$\bar{x}$ 为年降雨量序列的均值,mm;n 为降雨序列的长度。

e. 对各阶自相关系数进行规范化处理,作为各滞时(阶数)的马尔可夫链的权重 w_k,即

$$w_k = \frac{|r_k|}{\sum_{k=1}^{m}|r_k|} \tag{2}$$

式中：m 为最大的阶数。

f. 以预测期前面的各种滞时年的降雨量为初始状态，结合相应的各阶转移概率矩阵即可分别预测出该时段降雨量的各阶状态概率 $P_i^{(k)}$。

g. 预测期降雨量状态的最终概率 $\boldsymbol{P}_i$ 由各阶状态概率 $P_i^{(k)}$ 和权重 w_k 通过加权和综合得到，即

$$\boldsymbol{P}_i = \sum_{k=1}^{m} w_k P_i^{(k)} \tag{3}$$

则矩阵 $\boldsymbol{P}_i$ 中最大概率值所隶属的状态即为预测期的预测降雨量状态。

1.2 模糊集理论

马尔可夫链采用最大概率隶属原则来确定预测对象的状态，主要存在两个方面的不足：ⓐ只考虑最大概率，忽略了其他概率的影响；ⓑ预测结果只能给出预测对象所属的区间，而无法确定具体的预测值[9]。因此，吴林川等[3]、张伟[4]、王艳[10]等学者通过引入模糊集理论中的级别特征值来解决以上两个问题。模糊集理论用于年降雨量预测的基本步骤如下：

a. 首先根据预测年份降雨量的5个状态概率 $\boldsymbol{P}_i$ 矩阵，计算各状态的模糊数 d_i：

$$d_i = \frac{\boldsymbol{P}_i^{\eta}}{\sum_{i=1}^{5} \boldsymbol{P}_i^{\eta}} \tag{4}$$

式中：η 为最大概率作用指数，值越大越能突出最大概率的主导性，一般取值为2或4。

b. 计算级别特征值 H：

$$H = \sum_{i=1}^{5} i d_i \tag{5}$$

c. 降雨量的预测 x 值为

$$x = \begin{cases} \dfrac{T_i H_i}{i + 0.5} & H_i > i \\ \dfrac{B_i H_i}{i - 0.5} & H_i < i \end{cases} \tag{6}$$

式中：i 为预测 $\boldsymbol{P}_i$ 最大概率对应的状态；T_i 和 B_i 分别为该状态的上、下限。

2 实例研究

2.1 研究区概况

本文以湖北省为研究区，见图1。湖北省位于我国内陆腹地长江中游地区，总面积18.59万 km^2。湖北省处于我国地势第二级阶梯向第三级阶梯过渡地带，地势西高东低，地貌类型多样，山地、丘陵岗地和平原兼备，分别占总面积的56%、24%和20%。湖北省地处亚热带，位于典型的季风区内，全省除高山地区外，大部分为亚热带季风性湿润气候，年平均气温为15～17℃。年平均降雨量在800～1600mm之间，降雨空间分布呈由南向北递减的趋势，降雨量表现出明显的年内季节性变化，一般夏季雨量较多，约为300～700mm，

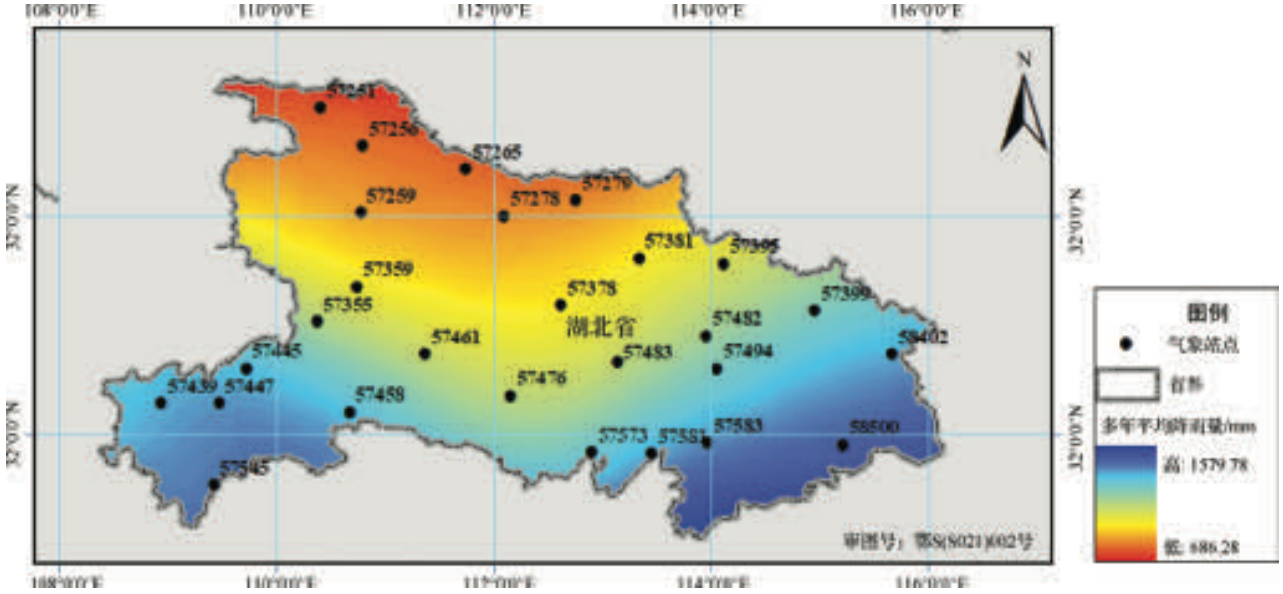

图1 研究区湖北省概况

冬季雨量较少，约为 30～190mm。本研究的日降雨数据来自中国气象数据网，研究区共包含 27 个气象站点，由此得到 1971—2018 年各站的年降雨序列。

2.2 单站点年降雨量预测结果

限于篇幅，本文仅选取一个气象站点（编号 57251）作为代表描述年降雨量预测的方法，其他气象站点的方法均相同，不作赘述。以该气象站点 1971—2017 年的年降雨序列建立马尔可夫链，预测 2018 年的年降雨量，各年实测降雨量见表 1。参考相关文献[1,8,12-13]，以

表 1 气象站点 57251 实测年降雨量

年 份	降雨量/mm	年 份	降雨量/mm
1971	824.9	1995	589.4
1972	664.4	1996	824.5
1973	666.0	1997	812.7
1974	931.2	1998	594.6
1975	734.2	1999	604.4
1976	412.6	2000	919.9
1977	659.9	2001	566.4
1978	518.2	2002	783.5
1979	814.9	2003	1037.5
1980	853.6	2004	842.2
1981	863.2	2005	1070.9
1982	854.5	2006	772.8
1983	912.5	2007	713.8
1984	915.5	2008	788.3
1985	752.1	2009	830.8
1986	637.6	2010	1033.3
1987	754.6	2011	773.0
1988	724.4	2012	704.1
1989	1020.4	2013	677.6
1990	861.0	2014	775.2
1991	669.7	2015	628.2
1992	734.4	2016	665.4
1993	744.2	2017	1186.4
1994	696.8	2018	778.6

$(-\infty,\bar{x}-1.1s]$、$(\bar{x}-1.1s,\bar{x}-0.5s]$、$(\bar{x}-0.5s,\bar{x}+0.5s]$、$(\bar{x}+0.5s,\bar{x}+1.1s]$ 和 $(\bar{x}+1.1s,+\infty)$ 为标准对年降雨序列进行状态划分，该气象站点计算得到的均值 $\bar{x}=774.80$，均方差 $s=151.09$，该站点的年降雨状态划分标准见表 2。

表 2 气象站点 57251 年降雨状态划分标准

状态	级别	区 间
1	特旱	$(-\infty,608.60]$
2	干旱	$(608.60,699.26]$
3	平水	$(699.26,850.35]$
4	偏丰	$(850.35,941.00]$
5	丰水	$(941.00,+\infty)$

再统计该站点 1～5 阶的状态转移概率矩阵，分别表示为 $\boldsymbol{P}^{(1)}$、$\boldsymbol{P}^{(2)}$、$\boldsymbol{P}^{(3)}$、$\boldsymbol{P}^{(4)}$ 和 $\boldsymbol{P}^{(5)}$：

$$\left.\begin{aligned}
\boldsymbol{P}^{(1)}&=\begin{bmatrix}1/6&1/6&3/6&1/6&0\\2/9&2/9&3/9&1/9&1/9\\2/19&5/19&7/19&1/19&4/19\\1/8&1/8&2/8&4/8&0\\0&0&3/4&1/4&0\end{bmatrix}\\
\boldsymbol{P}^{(2)}&=\begin{bmatrix}2/6&0&1/6&2/6&1/6\\0&1/8&5/8&1/8&1/8\\3/19&5/19&7/19&2/19&2/19\\1/8&1/8&3/8&3/8&0\\0&1/4&2/4&0&1/4\end{bmatrix}\\
\boldsymbol{P}^{(3)}&=\begin{bmatrix}2/6&0&3/6&1/6&0\\1/7&2/7&2/7&1/7&1/7\\3/19&2/19&7/19&4/19&3/19\\0&2/8&3/8&2/8&1/8\\0&1/4&3/4&0&0\end{bmatrix}\\
\boldsymbol{P}^{(4)}&=\begin{bmatrix}1/6&0&1/6&2/6&2/6\\3/7&1/7&0&2/7&1/7\\1/18&4/18&9/18&2/18&2/18\\1/8&2/8&4/8&1/8&0\\0&0&1&0&0\end{bmatrix}\\
\boldsymbol{P}^{(5)}&=\begin{bmatrix}0&0&2/6&3/6&1/6\\2/6&2/6&1/6&1/6&0\\3/18&2/18&9/18&3/11&1/18\\1/8&1/8&4/8&0&2/8\\0&2/4&1/4&0&1/4\end{bmatrix}
\end{aligned}\right\}\quad(7)$$

该气象站点年降雨量序列的 1～5 滞时的自相关系数为 $r_k=[0.12,-0.08,0.04,-0.15,-0.07]$，根据式(2)计算得到 1～5 滞时的马尔可夫链权重，见表 3。

表3 气象站点57251年降雨序列1~5滞时的马尔可夫权重

阶数	w_k					Σ
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	
一阶	1.00					1.00
二阶	0.60	0.40				1.00
三阶	0.50	0.33	0.17			1.00
四阶	0.31	0.21	0.10	0.38		1.00
五阶	0.26	0.18	0.08	0.33	0.15	1.00

根据式(3)可得不同阶数的加权马尔可夫链预测的2018年降雨量状态概率矩阵,见表4。由表4可以看出,对于气象站点57251,不同阶数马尔可夫链预测的2018年降雨量均是在状态3(平水)的概率最大,说明对于该气象站点而言,阶数对加权马尔可夫链预测的年降雨状态影响不大。

表4 气象站点57251不同阶数加权马尔可夫链预测2018年降雨量的状态概率结果

阶数	年份	滞时/年	权重	预测状态				
				1	2	3	4	5
一阶	2017	1	1.00	0	0	0.75	0.25	0
	2018	—	—	**0**	**0**	**0.75**	**0.25**	**0**
二阶	2017	1	0.60	0	0	0.75	0.25	0
	2016	2	0.40	0	0.13	0.63	0.13	0.13
	2018	—	—	**0**	**0.05**	**0.70**	**0.20**	**0.05**
三阶	2017	1	0.50	0	0	0.75	0.25	0
	2016	2	0.33	0	0.13	0.63	0.13	0.13
	2015	3	0.17	0.14	0.29	0.29	0.14	0.14
	2018	—	—	**0.02**	**0.09**	**0.63**	**0.19**	**0.07**
四阶	2017	1	0.31	0	0	0.75	0.25	0
	2016	2	0.21	0	0.13	0.63	0.13	0.13
	2015	3	0.10	0.14	0.29	0.29	0.14	0.14
	2014	4	0.38	0.06	0.22	0.50	0.11	0.11
	2018	—	—	**0.04**	**0.14**	**0.58**	**0.16**	**0.08**
五阶	2017	1	0.26	0	0	0.75	0.25	0
	2016	2	0.18	0	0.13	0.63	0.13	0.13
	2015	3	0.08	0.14	0.29	0.29	0.14	0.14
	2014	4	0.33	0.06	0.22	0.50	0.11	0.11
	2013	5	0.15	0.33	0.33	0.17	0.17	0
	2018	—	—	**0.08**	**0.17**	**0.52**	**0.16**	**0.07**

注 表中加粗部分表示对目标年份2018年降雨量状态概率预测结果。

结合表4中的结果和式(4)~式(6),可得预测的2018年降雨量的具体值,见表5。虽然不同阶数马尔可夫链预测的年降雨量状态相同,但经模糊集理论预测出的年降雨量的值是不同的,这说明除了最大概率占主导地位之外,其他状态概率对年降雨量值预测的影响也不容忽视。根据表5中的误差统计结果可以看出,随着加权马尔可夫链阶数的增加,预测的年降雨量的相对误差也逐渐增大。

表5 气象站点57251基于模糊集理论预测的2018年降水量值

阶数	级别特征值 H	预测降雨量/mm	实测降雨量/mm	相对误差/%
一阶	3.10	753.17	778.60	-3.27
二阶	3.07	748.08		-3.92
三阶	3.07	748.26		-3.90
四阶	3.04	739.41		-5.03
五阶	2.98	833.49		7.05

2.3 加权马尔可夫阶数对站点年降雨量预测精度的影响

对研究区内27个气象站点均采用上述的多阶数加权马尔可夫链结合模糊集理论方法进行降雨量预测。首先统计马尔可夫链预测的2018年降雨量状态结果,同时与2018年实测年降雨量状态进行对比,见图2。由图2(a)可以看出,当采用一阶加权马尔可夫链(即传统马尔可夫链)进行预测时,部分气象站点预测的年降雨量状态不唯一,给最终降雨量的数值预测带来了一定的难度。由图2(b)可以看出,二至五阶的加权马尔可夫链预测的各站点年降雨量状态结果相同且具有唯一性,能够有效避免一阶预测中出现的预测状态不唯一的问题。若降雨量的预测状态和实测状态完全吻合,则计为1;若降雨量预测的多个状态之一与实测状态吻合,则计为1/预测状态个数;若降雨量预测的状态全都不与实测状态吻合,则计为0。统计27个气象站点年降雨量状态预测的准确程度,计算可得一阶加权马尔可夫链预测的准确率为38.70%,二至五阶预测的准确率为48.15%。由此可得,多阶马尔可夫链预测年降雨量状态的准确性要明显高于一阶,这也

充分说明了多阶马尔可夫链能够有效利用年降雨序列的自相关性，从而提高预测精度。

站码	状态1	状态2	状态3	状态4	状态5
57251			√		
57256	√		√		
57259	√	√	√	√	
57265	√	√	√	√	√
57278			√		
57279	√	√	√		
57355			√		
57359			√		
57378			√		
57381		√			
57395			√		
57399			√		
57439		√	√		
57445	√		√		
57447		√	√		√
57458			√		
57461			√		
57476			√		
57482			√		
57483				√	
57494		√	√		
57545			√		
57573	√	√		√	
57581				√	
57583	√				
58402			√		
58500		√			

(a) 一阶加权马尔可夫链预测年降雨量状态结果

站码	状态1	状态2	状态3	状态4	状态5
57251			√		
57256			√		
57259			√		
57265			√		
57278			√		
57279			√		
57355			√		
57359			√		
57378			√		
57381			√		
57395			√		
57399			√		
57439			√		
57445			√		
57447			√		
57458			√		
57461			√		
57476			√		
57482			√		
57483		√			
57494			√		
57545			√		
57573			√		
57581				√	
57583	√				
58402			√		
58500		√			

(b) 二阶至五阶加权马尔可夫链预测年降雨量状态结果

√ 预测的年降雨量状态
实测的年降雨量状态

图 2　不同阶数的加权马尔可夫链预测 2018 年降雨量状态结果

由于一阶预测的降雨量状态不唯一，无法根据模糊集理论确定具体的降雨量值。因此，只统计研究区 27 个气象站点多阶数情况下模糊集理论预测的年降雨量数值的相对误差，箱线图结果见图 3。由图 3 可以看出，二阶、三阶和四阶预测的相对误差比较接近，约在 −30% ~40% 之间；当阶数为五阶时，年降水量预测的相对误差最小，除个别极大极小值之外，其余气象站点预测的相对误差在 −10% ~25% 之间，根据箱线图的上下四分位数可以看出有超过一半的气象站点降雨量相对误差在 0 ~20% 之间。因此，从研究区所有气象站点综合来看，五阶加权马尔可夫链能够保证更多的气象站点预测的降雨量结果精度较高。这说明随着马尔可夫阶数的增加，降雨序列各种滞时状态间的相关关系（即 r_k 和 w_k）以及前面若干年份降雨量状态对目标年份降雨量状态的影响被充分、合理地利用，有助于提高降雨量的预测精度。然而，根据单站点 57251

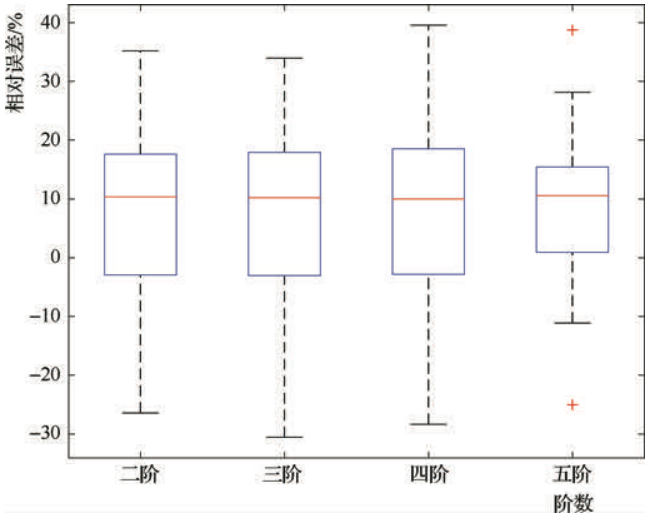

图 3　不同阶数下研究区气象站点预测年降雨量相对误差箱线图

的预测结果（见表 5）来看，随着马尔可夫阶数的增加，该站点的预测精度却逐渐降低，这说明马尔可夫的阶数并不是影响降雨量预测精度的唯一因素。

2.4 加权马尔可夫阶数对空间降雨量预测精度的影响

采用克里金(Kriging)方法将不同阶数预测情况下27个气象站点的年降雨量插值到研究区空间上,并与2018年站点实测降雨量的克里金插值结果进行比较,根据式(8)计算空间年降雨量相对误差,相对误差空间分布见图4。由图4可以看出,整体上年降雨量高估的区域比低估的区域普遍要大,且高估的程度也比低估的程度要大。不同阶数预测的年降雨量相对误差呈现出明显的空间分布趋势,年降雨量的预测值在研究区东部和东北部比实测值要高,而在南部和西南部比实测值要低。在年降雨量的空间表达上,二至四阶预测的空间年降雨量都出现了较大区域的过高和过低估计,五阶预测的年降雨量空间分布与实测情况之间的误差最小。

$$e = \frac{P_{sim} - P_{obs}}{P_{obs}} \times 100\% \tag{8}$$

式中:P_{sim}为预测的降雨量,mm;P_{obs}为实测的降雨量,mm;e为相对误差,%。

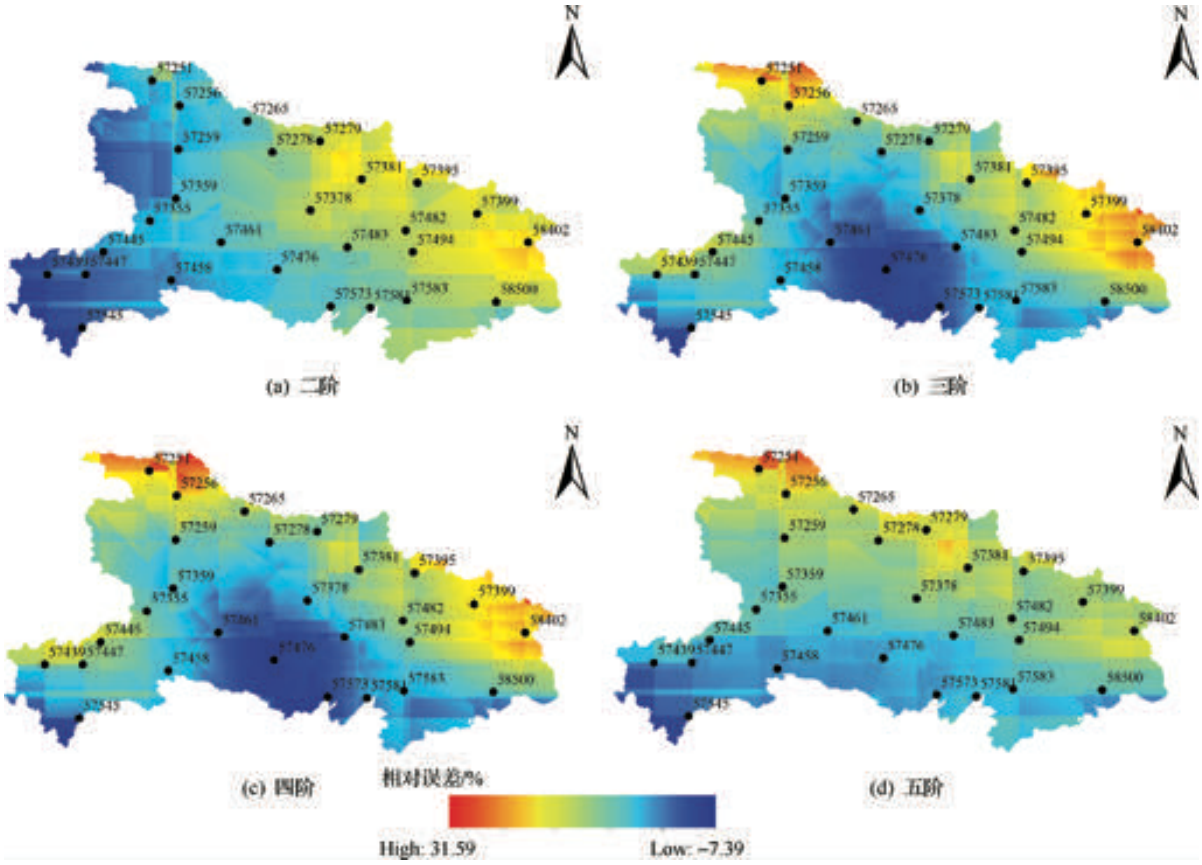

图4 不同阶数预测年降雨量空间差值的相对误差

为了研究年降雨量空间预测相对误差的影响因素,从气象和地形两个方面考虑,分别选择了多年平均降雨量和高程作为影响因子。由于预测的年降雨量相对误差有正有负,故分为负相对误差和正相对误差两种情况,绘制各阶数预测的年降雨量空间相对误差与多年平均降雨量、DEM的散点关系图,见图5,同时统计空间相关系数,见表6。由图5、表6可以看出,除二阶预测的正相对误差与多年平均降雨量之间的相关性没有通过显著性检验之外,不论是各阶数预测的负相对误差还是正相对误差,都与研究区多年平均降雨量呈现负相关,相关系数范围在-0.83 ~ -0.21。多年平均降雨量的大或小表征着区域所处位置降水的丰或枯。由此可以推断,区域自身降水的丰或枯对多阶加权马尔可夫链预测结果偏离实测值的影响是不一致的,表现为多年平均降雨量越大,负相对误差的数值越小、越偏离0,说明过低估计的程度越大、预测精度越

差,而此时正相对误差的数值越小、越接近0,说明过高估计的程度越小、预测精度越好。综合来看,研究区过高估计区域以及程度都比过低估计的要大,从空间整体的预测精度来说,在多年平均降雨量较大(即降水充沛)的区域进行空间降雨量的预测能够获得更高的预测精度。各阶数的预测结果中,五阶预测的年降雨量空间相对误差与多年平均量的相关关系最强,多年平均降雨量与负相对误差的相关系数为-0.80,与正相对误差的相关系数为-0.83。结合图4中得出的五阶预测的空间年降雨量精度最高这一结论,多年平均降雨量相关系数高又进一步说明了多年平均降雨量对加权马尔可夫链预测精度的显著影响。相比之下,高程与预测的降雨量正、负相对误差之间的相关关系较弱,说明高程对加权马尔可夫链预测精度的影响较弱。

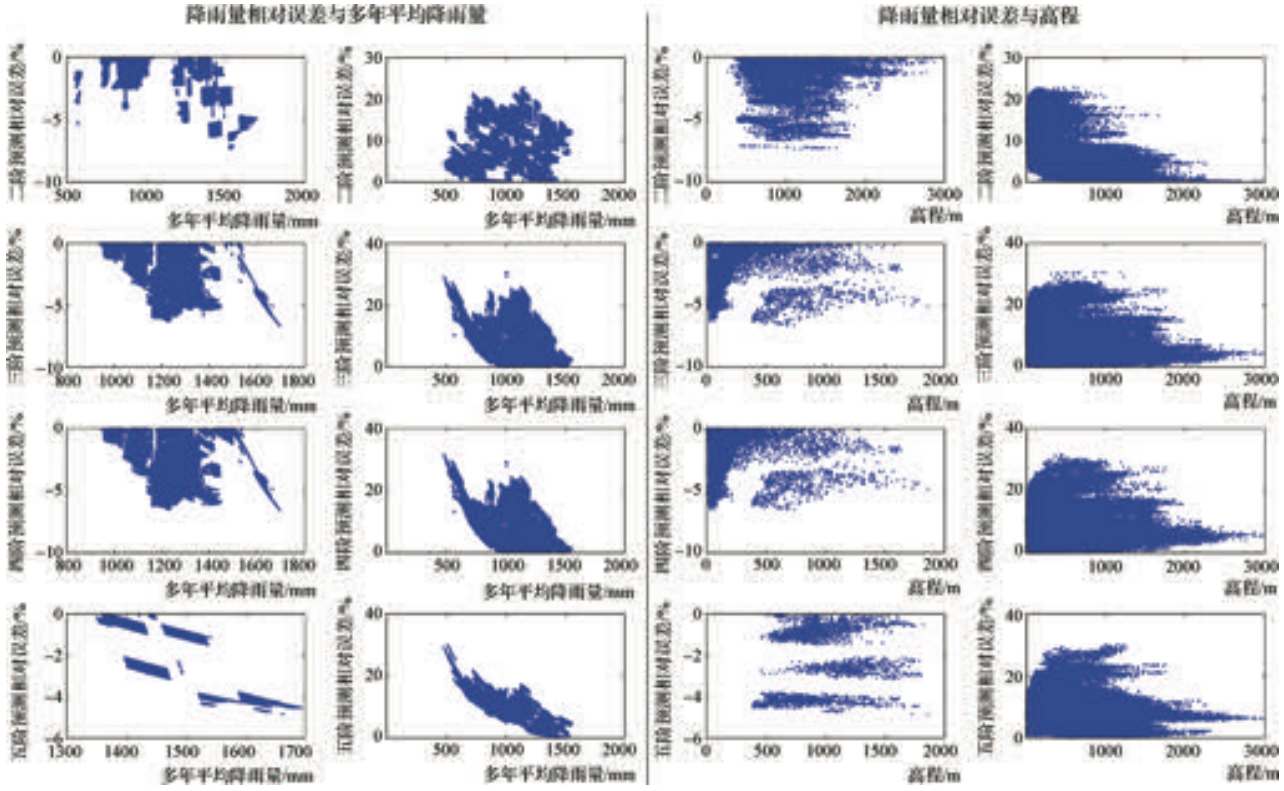

图5 不同阶数预测的年降雨量相对误差与实测降雨量、高程空间散点关系

表6 不同阶数预测的年降雨量相对误差与实测降雨、高程的空间相关系数

阶数	多年平均降雨量		高 程	
	相对误差<0	相对误差≥0	相对误差<0	相对误差≥0
二阶	-0.56	0[a]	0.14	-0.54
三阶	-0.37	-0.38	0.23	-0.18
四阶	-0.21	-0.46	0.23	-0.10
五阶	-0.80	-0.83	0.09	-0.10

注 a表示未通过$P<0.1$的显著性检验。

3 结 语

本文采用加权马尔可夫链结合模糊集理论的方法对湖北省27个气象站的年降雨量进行预测,研究了不同阶数的选择对年降雨量预测精度的影响。研究结果表明:一阶马尔可夫链预测的年降雨量状态易出现不唯一的情况,从而无法预测出具体的降雨数值,而多阶加权马尔可夫链预测的年降雨量状态则比较稳定且一致,年降雨量状态预测的准确性也更高;二至四阶预测的年降雨量数值的相对误差范围比较接近,当阶数增加到五阶时,能够保证更多的气象站点的预测结果落在更小的误差范围内,因此降雨量值的预测精度最高。此外,从年降雨量相对误差的空间分布来看,不同阶数情况下空间趋势较为一致,均表现为研究区东部和东北部高于实测值、南部和西南部低于实测值。在年降雨量的空间表达上,五阶的预测结果 (下转第76页)

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.13

松花江流域干旱规律研究

原秀红

(辽宁省鞍山水文局,辽宁 鞍山 114000)

【摘 要】 本文利用中国气象数据共享网提供的松花江流域38个气象站在1961—2013年的气象资料,基于MATLAB编程计算各站点各月的降水距平百分率Pa、标准化降水指数SPI、综合气象干旱指数CI,并与实际干旱情况相比较,最终选取综合气象干旱指数CI作为评价该流域干旱情况的最优指标,并在此基础上,分析了松花江流域干旱的时空分布规律,结果可为松花江流域防洪抗旱提供参考。

【关键词】 松花江流域;干旱指标;综合气象干旱指数;干旱规律

中图分类号:P333 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-072-05

Study on drought law of Songhua River basin

YUAN Xiuhong

(*Anshan Hydrology Bureau*, *Liaoning Province*, *Anshan* 114000, *China*)

Abstract: In this paper, using the meteorological data of 38 meteorological stations in Songhua River basin from 1961 to 2013 provided by China Meteorological Data Sharing Network, based on MATLAB programming, the precipitation anomaly percentage Pa, standardized precipitation index SPI and comprehensive meteorological drought index CI of each station in each month were calculated, and compared with the actual drought situation, finally, comprehensive meteorological drought index CI was selected as the best index to evaluate the drought situation in this basin. And on this basis, the temporal and spatial distribution law of drought in Songhua River basin was analyzed, and the results could provide reference for flood control and drought resistance in Songhua River basin.

Key words: Songhua River basin; drought index; comprehensive meteorological drought index; drought law

干旱指因水分的收支或供求不平衡所造成的水分不足现象,包括气象干旱、农业干旱、水文干旱、社会经济干旱。干旱是一种不可抗拒的气候灾害,它影响着社会经济发展、居民生活、工农业发展和社会公共安全。

目前,国内外水文工作者使用降水距平百分率(Pa)、降水Z指数、标准化降水指数SPI[1]、帕默尔干旱指标PDSI、综合气象干旱指数CI、综合气象干旱指数DI等指标来衡量不同类型的干旱程度。袁文平等[2]基于我国不同气候区的7个气象站1951—1995年的月降水资料,将SPI指数和降水Z指数进行对比研究,得出在我国的气象干旱研究中,SPI指数较优于Z指数,前者能够较好地反映各个区域和各个时段的旱涝状况;安顺清等[3]利用济南(1919—1980年)、郑州(1951—1980年)两个气象站的逐年逐月气温和降水等基本资料,在修正权重因子时选用北京、青岛等12个气象站的有关资料,对帕默尔旱度模式进行了修

收稿日期:2022-01-11

作者简介:原秀红(1989—),女,高级工程师,硕士,主要从事水文与水资源工作。

正,建立了我国的帕默尔气象旱度模式;邹旭凯等[4]利用综合气象干旱指数 CI 统计分析了全国大江河流域近 60 年的干旱变化情况,从整体来看,近 60 年来中国干旱面积表现出较弱的增加趋势;赵海燕等[5]通过研究我国西南地区的干旱情况,在用加权降水量改进标准化降水指数的基础上,对综合气象干旱指数进行了修正,建立了新的综合气象干旱指数;闫桂霞等[6]通过总结对比已有气象干旱指数,结合 PDSI 和 SPI 的优点,提出了综合气象干旱指数 DI;Ohlsson[7] 提出用 SWSI(Social Water Scarcity Inde x)反映社会经济干旱程度。但松花江流域并未作过基于 MATLAB 编程的干旱研究,因此本文利用松花江流域 38 个气象站在 1961—2013 年的气象资料,基于 MATLAB 编程计算各站点在各月的降水距平百分率 Pa、标准化降水指数 SPI、综合气象干旱指数 CI,并与实际干旱情况相比较,最终选取适合松花江流域的最优干旱指数,在此基础上,分析松花江流域干旱的时空分布规律。

1 干旱指标计算分析

1.1 资料的可靠性分析

本文采用的资料是由中国气象数据共享网提供的松花江流域有代表性的 38 个气象站在 1961—2013 年逐月降水量、月最高气温、月最低气温、月平均气温、月平均相对湿度、月日照时数、10m 处月平均风速,各气象站的纬度、经度及海拔高度,及 1991—2011 年间各气象站的灾害情况,数据具有可靠性、一致性和代表性。

1.2 干旱指标

1.2.1 降水距平百分率 Pa

降水距平百分率 Pa 是指某时段的降水量与常年同期降水量相比的百分率:

$$\mathrm{Pa} = \frac{P - \overline{P}}{\overline{P}} \times 100\% \tag{1}$$

式中:P 为某时段降水量;$\overline{P}$ 为该时段多年平均降水量。

1.2.2 标准化降水指数 SPI

假设某一时段的降水量为 x,则其累积概率可表示为

$$H(x) = q + (1 + q)G(x) \tag{2}$$

式中:q 为降水量为 0 的概率。

$$G(x) = \int_0^x g(x)\,\mathrm{d}x = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}\int_0^x x^{a-1}\mathrm{e}^{-x/\beta}\,\mathrm{d}x$$

$$\left.\begin{aligned}\mathrm{SPI} &= -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad 0 < H(x) \leqslant 0.5\\ \mathrm{SPI} &= \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad 0.5 < H(x) \leqslant 1\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

式中:$g(x)$ 为概率密度函数;β、α 分别为尺度和形状参数,$\beta > 0$,$a > 0$;$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{H(x)^2}\right]}$ 或 $t = \sqrt{\ln\left\{\frac{1}{[1 - H(x)]^2}\right\}}$;常数 $c_0 = 2.515517$;$c_1 = 0.802853$;$c_2 = 0.010328$;$d_1 = 1.432788$;$d_2 = 0.189269$;$d_3 = 0.001308$。由此,基于 MATLAB 编程可计算出降水量序列的 SPI 值。

1.2.3 综合气象指数 CI

综合气象干旱指数 CI 的计算式为

$$\mathrm{CI} = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \tag{4}$$

式中:Z_{30}、Z_{90}分别为近 30 天、90 天的标准化降水指数 SPI;M_{30}为近 30 天相对湿润度指数;a、b、c 平均取值分别为 0.4、0.4、0.8。基于 MATLAB 编程可计算出数列的 CI 值。

1.3 最优指数选取

按照《气象干旱等级》(GB/T 20481—2017)规定的降水距平百分率 Pa、标准化降水指数 SPI 及综合气象干旱指数 CI 的干旱等级划分标准,基于 MATLAB 编程计算 SPI 以及 CI 值,结果见表 1。由表 1 可以看出,Pa 划分等级和实际干旱等级一致的有 3 次,SPI 一致的有 4 次,CI 一致的有 7 次,说明综合气象干旱指数 CI 对于实际干旱情况的描述与其他两种干旱指数相比更贴切一些。

在冬季,松花江流域无农作物生长,干旱对其无影响,实际旱灾中没有冬旱的记录。为统一计算,冬季也选取综合气象干旱指数 CI 作为其干旱指标。综上所述,最终选取综合气象指数 CI 作为评价松花江流域旱情的干旱指标。

表1 各干旱等级对照情况

年份	月份	Pa	SPI	CI	实际	年份	月份	Pa	SPI	CI	实际
1999	6	1	2	3	3	2005	4	1	1	1	2
2000	6	1	1	2	2	2006	5	4	4	4	2
2000	7	1	2	3	3	2006	6	1	1	1	2
2001	6	3	3	4	3	2007	7	3	5	4	2
2002	7	2	3	3	3	2007	8	2	3	4	3
2003	5	3	2	3	3	2008	5	1	1	1	2
2003	6	2	2	3	3	2009	5	3	3	3	3
2004	6	4	5	4	2	2009	6	1	1	1	3

2 干旱规律分析

2.1 干旱时间分布规律分析

2.1.1 年内分布规律

按干旱发生的月份将干旱分为4类:春旱(3—5月)、夏旱(6—8月)、秋旱(9—11月)、冬旱(12至次年2月),每个季节若有1个月份发生干旱(CI等级值>1),则认为此季节出现干旱。统计各站点在1961—2013年间干旱发生的次数及概率,结果见表2。

表2 各站点的春旱、夏旱、秋旱、冬旱的发生次数及频率

站名	春旱		夏旱		秋旱		冬旱		站名	春旱		夏旱		秋旱		冬旱	
	次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%		次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%
大兴安岭	45	85	29	55	38	72	37	70	牡丹江	43	81	33	62	39	74	44	83
嫩　江	42	79	41	77	39	74	42	79	白　城	48	91	35	66	44	83	45	85
北　安	47	89	33	62	35	66	45	85	乾　安	48	91	32	60	47	89	46	87
克　山	46	87	32	60	40	75	41	77	通　榆	45	85	38	72	48	91	45	85
富　裕	45	85	34	64	40	75	46	87	长　岭	45	85	38	72	44	83	46	87
齐齐哈尔	44	83	40	75	40	75	46	87	三岔河	45	85	30	57	40	75	45	85
海　伦	45	85	30	57	39	74	43	81	长　春	45	85	32	60	42	79	44	83
明　水	44	83	33	62	39	74	44	83	蛟　河	42	79	31	58	40	75	45	85
伊　春	40	75	32	60	35	66	43	81	敦　化	41	77	26	49	39	74	49	92
富　锦	47	89	33	62	39	74	42	79	梅河口	44	83	27	51	39	74	49	92
泰　来	43	81	41	77	43	81	44	83	桦　甸	43	81	27	51	40	75	42	79
绥　化	45	85	33	62	39	74	40	75	靖　宇	37	70	29	55	38	72	42	79
安　达	44	83	35	66	40	75	45	85	东　岗	39	74	28	53	33	62	38	72
铁　力	39	74	28	53	36	68	42	79	松　江	42	79	32	60	39	74	48	91
佳木斯	42	79	37	70	38	72	44	83	小二沟	45	85	32	60	39	74	38	72
依　兰	45	85	29	55	40	75	45	85	博克图	44	83	32	60	38	72	43	81
哈尔滨	45	85	35	66	38	72	42	79	扎兰屯	44	83	35	66	38	72	45	85
通　河	44	83	31	58	39	74	41	77	索　伦	45	85	34	64	43	81	47	89
尚　志	45	85	32	60	37	70	36	68	乌兰浩特	44	83	33	62	43	81	47	89

由表2可知,松花江流域各站点春旱和冬旱发生次数最多,多为80%~90%;秋旱次之,一般为70%~80%;夏旱发生次数最少,一般为60%~70%。

2.1.2 年际变化规律

本文采用Mann-kendall趋势检验法分析松花江流域干旱随年份的变化规律,当$k>0$时,CI值呈上升趋势,即干旱随年份有加重的趋势;当$k<0$时,CI值呈下降趋势,即干旱随年份有减弱的趋势。本文选取显著性水平$\alpha=0.05$对其进行显著性检验,当结果Z的绝对值大于1.96时,表示此回归方程是显著的,否则为不显著。

表 3　各月份 $k>0$ 和 $|Z|>1.96$ 的站点个数

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k>0$	34	34	34	37	36	34	17	13	2	20	29	38
$\|Z\|>1.96$	14	11	21	3	0	5	0	3	4	1	1	17

各月份 $k>0$ 和 $|Z|>1.96$ 的站点个数见表 3，由表 3 可知，在 1 月、2 月、3 月、4 月、5 月、6 月、12 月大部分站点为 $k>0$，说明在这几个月份松花江流域的干旱有加重的趋势，但只有 3 月通过显著性检验的站点较多，因此认为松花江流域的干旱情况在 3 月呈现显著加重趋势，在 1 月、2 月、4 月、5 月、6 月、12 月为不显著加重趋势。

7 月没有站点通过显著性检验，共有 17 个站点的 $k>0$，这些站点多集中在松花江流域的北部和东南部，可认为这些地区的干旱情况在 7 月呈现不显著加重趋势，其他地区则呈现不显著减弱趋势；8 月仅有 3 个站点通过显著性检验，共有 13 个站点的 $k>0$，这些站点集中于流域东南部的一小部分，则这些地区的干旱情况在 8 月呈现不显著加重趋势，其他地区呈现不显著减弱趋势；9 月只有 4 个站点通过显著性检验，两个站点的 $k>0$，可认为该流域的干旱情况在 9 月呈现不显著减弱趋势；10 月、11 月各有 1 个站点通过显著性检验，$k>0$ 的站点集中在流域的东部，则该区域的干旱情况在 10 月、11 月呈现不显著加重趋势，其他区域为不显著性减弱趋势。

2.2　干旱空间分布规律分析

在流域站点图的基础上点绘各站点在 1961—2013 年间发生春旱、夏旱、秋旱和冬旱的次数，见图 1。

图 1　各站点发生干旱的次数

由图1(a)可知,在整个流域,各站点在1961—2013年间发生春旱的次数差别不大,说明春旱在整个流域上分布较均匀,没有明显的空间差异。由图1(b)可知,流域夏旱次数由西部向东部递减,其中,流域东南部发生干旱次数最少,说明松花江流域内夏旱由西部向东部减弱,流域东南部夏旱程度最轻。由图1(c)可知,流域西南部发生秋旱次数最多,其他区域发生干旱次数相对偏少,说明松花江流域西南部秋旱最严重,其他区域稍轻。由图1(d)可知,整个流域各站点在1961—2013年间发生冬旱的次数差别不大,说明冬旱在整个流域上分布较均匀,没有明显的空间差异。

3 结 语

本文采用松花江流域38个气象站在1961—2013年间的气象资料,计算各站点在各月份的降水距平百分率Pa、标准化降水指数SPI、综合气象干旱指数CI值,并由此划分干旱等级。综合3个指标划分的干旱等级与流域实际干旱情况进行对比,选取CI作为松花江流域的最优干旱指标。但在最优干旱指标的选取过程中,只考虑了降水距平百分率Pa、标准化降水指数SPI、综合气象干旱指数CI 3个气象干旱指标,没有考虑其他气象干旱指标,且在干旱规律分析时,选用的方法简单,对流域干旱规律分析不够详尽,因此后续有待进行进一步深入的研究。

参考文献

[1] MCKEE T B, DOESKEN N J, KLEIST J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[J]. Eighth Conference on Applied Climatology, 1993(4):179-184.

[2] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与Z指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报,2004,28(4):523-529.

[3] 安顺清,邢久星. 帕默尔旱度模式的修正[J]. 气象科学研究院院刊,1986(1):75-82.

[4] 邹旭恺,任国玉,张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):371-378.

[5] 赵海燕,高歌,张培群,等. 综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性[J]. 应用气象学报,2011,22(6):698-705.

[6] 闫桂霞,陆桂华,吴志勇,等. 基于PDSI和SPI的综合气象干旱指数研究[J]. 水利水电技术,2009,40(4):10-13.

[7] OHLSSON I. Water conflict and social resource cescarcity[J]. Physics and chemistry of the earth (B). 2000,25(3):213-220.

(上接第71页)与实测的年降雨量空间分布之间的误差最小。相关分析显示,多年平均降雨量是影响年降雨量空间预测精度的主要因素,雨量充沛的区域其降雨预测的精度更高。本文的研究结果验证了多阶加权马尔可夫链结合模糊集理论方法在研究区年降雨量状态以及数值预测的适用性,为研究区年降雨量预测提供了科学的方法。然而对于部分气象站点预测误差较大的情况,在未来的研究中可以通过改进降雨数据序列分级、增加降雨数据样本和改进模型等方法,获得更加精确的预测结果。

参考文献

[1] 李绍辉,孙学金. 马尔可夫链在年降水量预测中的应用[J]. 气象水文海洋仪器,2015,32(2):84-86.

[2] 李吉印. 基于BP神经网络马尔可夫模型的黄土丘陵半干旱区降水量预测[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2016.

[3] 吴林川,孙婴婴. 加权马尔可夫链在榆林市降水量预测中的应用[J]. 人民长江,2017(s1):82-84,100.

[4] 张伟. 基于马尔可夫链的郑州地区降雨量预测研究[D]. 郑州:华北水利水电大学,2019.

[5] LENNARTSSON J, BAXEVANI A, CHEN D. Modelling precipitation in Sweden using multiple step markov chains and a composite model[J]. Journal of Hydrology, 2008, 363(1-4):42-59.

[6] Rasmussen, P. F. Multisite precipitation generation using a latent autoregressive model [J]. Water Resources Research, 2013, 49(4):1845-1857.

[7] MOTLAGH MS, Ghasemieh H, Talebi A, et al. Identification and Analysis of Drought Propagation of Groundwater During Past and Future Periods[J]. Water Resources Management, 2017, 31(1):109-125.

[8] 杜懿,麻荣永,赵立亚. 南宁市年降水量的加权马尔可夫链预测研究[J]. 人民珠江,2018,39(2):5-7,13.

[9] 张杰,陶望雄,王青. 加权马尔可夫链在济南市降水量预测中的应用[J]. 人民黄河,2016,38(9):13-16.

[10] 王艳. 基于加权马尔可夫模型的南京市降水量预测[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版),2019,34(3):58-63.

[11] 任芝花,张强,高峰,等. CMA气象数据质量控制体系[J]. 气象科技进展,2018,8(1):54-55.

[12] 王志刚. 加权马尔可夫链对汛期降水量的预测[J]. 东北水利水电,2016,34(4):36-38.

[13] 夏乐天,朱元姓,沈永梅. 加权马尔可夫链在降水状况预测中的应用[J]. 水利水电科技进展,2006,26(6):20-23,27.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.14

康乐县降水量时空分布及变化特性研究

王晓勇

(甘肃省水文站,甘肃 兰州 730000)

【摘 要】 为了研究康乐县降水量时空分布及变化特性,本文收集了康乐县境内9处雨量站1956—2018年共63年的数据,采用P-Ⅲ型曲线、泰森多边形等方法,对康乐县降水量特性、时序变化、空间分布进行了分析计算。结果表明,康乐县年连续4个月最大降水量出现在6—9月,降水量年际变化基本稳定,多年呈减少趋势,趋势不显著;以主要河流将康乐县划分成5个分区,分区间降水量相差不大。该研究对康乐县的水资源开发利用具有重要指导意义。

【关键词】 康乐县;降水量;P-Ⅲ型曲线;泰森多边形

中图分类号:P333.1 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-077-05

Study on temporal and spatial distribution and variation characteristics of precipitation in Kangle County

WANG Xiaoyong

(*Gansu Hydrological Station*, *Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: In order to study the temporal and spatial distribution and variation characteristics of precipitation in Kangle County, this paper collected the data of 9 rainfall stations in Kangle County from 1956 to 2018 for 63 years, and analyzed and calculated the characteristics, time series changes and spatial distribution of precipitation in Kangle County by using the methods of P-Ⅲ curve and Tai Sen polygon. The results show that the maximum annual precipitation in Kangle County for four consecutive months occurs from June to September, and the annual variation of precipitation is basically stable, showing a decreasing trend for many years, and the trend is not significant. Kangle County is divided into five districts by major rivers, and there is little difference in precipitation between districts. This study has important guiding significance for the development and utilization of water resources in Kangle County.

Key words: Kangle County; precipitation; P-Ⅲ curve; tyson polygon

降水量可以用于反映水资源状况,是水文气象表征要素之一,降水量的时空分布,关系着经济社会发展中用水量的规划,部分区域制约着农业生产灌溉,因而对区域降水进行分析计算,对水资源规划利用具有重要意义[1-3]。国内专家学者对辖区内相关河流的降水和径流等方面分析较多,但对区域内降水量分析研究相对较少,在部分项目报告中有所涉及,但分析研究深度不够。鉴于此,本文从时间和空间上对康乐县降水量分布和变化特性进行分析研究,以期为康乐县的水资源开发利用提供参考。

收稿日期:2021-12-24

作者简介:王晓勇(1979—),男,工程师,学士,主要从事水文测量和分析、地下水监测与评价工作。

1 资料的选用

1.1 研究区域概况

康乐县位于甘肃省中南部,临夏回族自治州南端,地理坐标为东经103°24′~103°50′,北纬34°54′~35°27′,南北狭长,相距57.5km,东西宽34.5km,东接临洮县,南接康乐县和卓尼县,西邻和政县,北靠广河县,全县总面积1083km^2。康乐县东北部属陇西黄土高原西侧边缘,西南部是莲花山和白石山,整体地势西南高、东北低,县境内主要河流有洮河、三岔河、倒流河、冶木河。县辖附城、苏集、胭脂、莲麓、景古5个镇,八松、康丰、白王、流川、虎关、鸣鹿、八丹、上湾、草滩和五户10个乡,以及太子山保护区(从八松乡划出)共计16个乡镇行政区域,县党政机关设在附城镇新集村。

图1 康乐县水系及雨量站点分布情况

1.2 资料的收集

通过对康乐县县内及周边雨量站点数据的收集,共收集到9处雨量站点月、年数据,雨量站点分布见图1。资料数据系列是在第三次水资源调查评价的基础上,延长至2018年,即为1956—2018年,共计63年。

1.3 研究方法

1.3.1 P-Ⅲ型曲线(皮尔逊Ⅲ型)

降水量频率曲线的线型一般为P-Ⅲ型曲线[4],它是一条一端有限一端无限的不对称单峰曲线,数学上称为伽马分布,其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)}(x-\alpha_0)^{\alpha-1}e^{-\beta(x-\alpha_0)} \tag{1}$$

式中:$\Gamma(\alpha)$为α的伽玛函数;x为降水量,mm;α、β、α_0分别为分布的形状、尺度和位置参数,$\alpha>0$,$\beta>0$。

α、β、α_0这3个参数与总体的3个统计参数均值$\bar{x}$、变差系数C_v、偏差系数C_s具有下列关系:

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2} \tag{2}$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x}C_vC_s} \tag{3}$$

$$\alpha_0 = \bar{x}\left(1-\frac{2C_v}{C_s}\right) \tag{4}$$

在获得3个统计参数$\bar{x}$、C_v、C_s后,P-Ⅲ型曲线就可确定。实际工作中3个参数的确定方法为

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \tag{6}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{K_i-1}{n-1}} \tag{7}$$

$$K_i = \frac{x_i}{\bar{x}} \tag{8}$$

式中:K_i为模比系数或变率;x_i为第i个时间序列降水量,mm;$\bar{x}$为降水量平均值,mm;n为时间序列长度。

由于实际观测资料的系列长度较短,实践证明用理论公式计算偏差系数误差较大,常用C_v/C_s的倍比关系通过经验频率(点据)与理论频率曲线配合最佳的方法确定,取值范围一般在0.2~4.0之间。

1.3.2 降水丰枯等级的划分标准

根据《水文情报预报规范》(GB/T 22482—2008)对年降水量丰枯情况的划分采用距平百分率表示,其计算公式为

$$w = \frac{x_i-\bar{x}}{\bar{x}}\times 100\% \tag{9}$$

式中:w为距平百分率,%。

标准规定：$w>20\%$ 为丰水年；$10\%<w\leqslant 20\%$ 为偏丰年；$-10\%<w\leqslant 10\%$ 为平水年；$-20\%\leqslant w<-10\%$ 为偏枯年；$w<-20\%$ 为枯水年。

1.3.3 泰森多边形法

泰森多边形法[5]是一种根据离散分布的雨量站点计算面降雨量的方法，即将所有相邻雨量站连成三角形，作这些三角形各边的垂直平分线，将每个三角形3条边的垂直平分线的交点连接起来得到一个多边形。用这个多边形内所包含的唯一一个雨量站的降雨量来表示这个多边形区域内的降雨量，并称这个多边形为泰森多边形。因此，流域面平均降水量 P 计算公式为

$$P=\sum_{i=1}^{n}\frac{a_i p_i}{A} \tag{10}$$

式中：a_i 为各降水量观测站控制面积，km^2；p_i 为各观测站同期降水量，mm；A 为流域总面积，km^2；P 为流域平均降水量，mm。

2 结果与分析

2.1 均值的计算与确定

对经插补延长后具备1956—2018年同步期年降水量系列的站点，系列均值一律采用算数平均值。对选用的9处雨量站的年降水量平均值、最大值、最小值、连续4个月最大值及其出现的年份进行统计，具体见表1。由表1可知，年降水量最大值为吊滩站的1135.5mm，最小值为景古城站的262.2mm，连续4个月最大值为吊滩站的485.4mm，除了冶力关和鸣鹿关2站连续4个月最大值出现在5—8月以外，其他站都出现在6—9月。

表1 雨量站点特征值统计情况 单位：mm

测 站	平均值	最大值	年份	最小值	年份	连续4个月最大	出现月份
冶力关	522.2	921.0	1964	341.0	1975	320.4	5—8
景古城	531.7	892.0	1964	262.2	2014	335.0	6—9
李家村	545.5	921.1	1967	357.6	1997	365.7	6—9
吊 滩	748.9	1135.5	1967	465.9	2001	485.4	6—9
鸣鹿关	651.8	988.5	1967	426.4	1997	385.4	5—8
苏家集	547.9	877.3	1967	319.8	1969	348.8	6—9
康 乐	525.7	720.6	1967	379.0	2015	338.8	6—9
临 洮	522.0	801.5	1979	326.6	1997	352.5	6—9
流 川	544.7	888.3	1967	312.5	1997	343.6	6—9

2.2 不同频率降水的确定

由于9处站点分析数据较多，在部分特性分析时，根据站点空间分布选用景古城、吊滩、鸣鹿关、康乐4处站点作为代表站进行分析，4处站点在空间上具有较好的代表性。

为了明确不同的丰、平、枯所对应的降水量，需分析计算不同频率降水量，用 $P=20\%$、50%、75%、90%、95% 作为设计频率，计算成果见表2。其中，变差系数 C_v 值采用矩法计算确定，再用适线法进行调整。由表2可以看出，康乐县 C_v 值在0.16～0.21之间，C_v/C_s 值在2.5～3.5之间，说明康乐县降水量年际变化相对较稳定，变化幅度较小。

表2 不同频率降水量统计情况

测 站	C_v	C_v/C_s	不同频率降水量/mm				
			20%	50%	75%	90%	95%
景古城	0.21	3.5	619.5	517.9	450.9	400.3	374.7
吊 滩	0.20	2.5	870.2	736.9	642.6	566.2	525.7
鸣鹿关	0.19	3.5	750.1	637.8	562.6	504.8	474.6
康 乐	0.16	3.0	594.0	519.1	466.0	422.9	399.9

将代表站按照年代进行划分并计算年代丰、平、枯状况，计算成果见表3。由表3可以看出，1950—1959年鸣鹿关、流川站为偏丰年，冶力关为偏枯年，其余各

表3 不同年代降水量距平百分率统计情况 单位：%

测 站	1950—1959年	1960—1969年	1970—1979年	1980—1989年	1990—1999年	2000—2009年	2010—2019年
冶力关	-19	11	7	1	-6	-2	-2
景古城	-4	5	7	0	-7	2	-2
李家村	-4	13	12	-2	-6	-7	-10
吊 滩	5	4	16	-1	-6	-5	-5
鸣鹿关	10	7	10	-6	-5	-2	-5
苏家集	8	3	17	0	-9	-5	-7
康 乐	9	4	7	-5	-4	0	-2
临 洮	0	10	14	-4	-7	-6	-9
流 川	15	7	12	-1	-7	-9	-6

站均为平水年;1960—1969 年冶力关、李家村、临洮站为偏丰年,其余各站均为平水年;1970—1979 年李家村、吊滩、苏家集、临洮、流川站为偏丰年,其余各站均为平水年;1980—1989 年、1990—1999 年、2000—2009 年、2010—2019 年康乐县各站均为平水年。

2.3 降水量年内变化

降水量的年内分配因远离东南沿海海洋季风,受西伯利亚冷空气的影响,表现为汛期降水量相对较多且集中,春季雨水少而不稳定,冬季雨雪甚少的特点。各雨量站的降水量年内分配基本相同,连续最大 4 个月的降水量一般在 6—9 月,占年降水量的 65.0% ~ 70.0%;最大月降水量出现在 7 月,占年降水量的 32.1% ~38.4%;最小月降水量出现在 12 月,占年降水量的 0.7% ~1.4%。代表站各月分配情况见图 2。

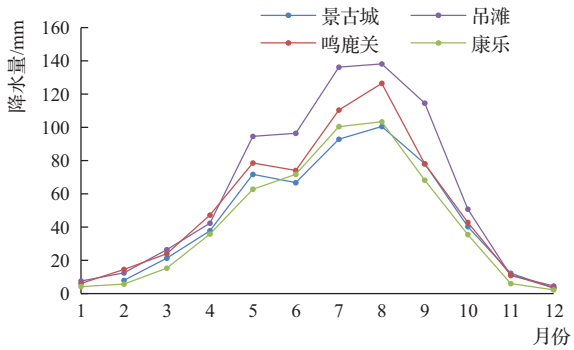

图 2 代表站年内分配

2.4 降水量年际变化及趋势

年降水量极值比(历年年降水量最大值与最小值比值)是表征年降水量多年变化的指标之一,同时变差系数 C_v 值也是反映降水量年际变化特征的重要指标,因此,通过统计极值比和 C_v 值两个特征指标对降水量年际变化进行分析。C_v 值见表 2,极值比见表 4,由表 2、表 4 可以看出,C_v 值在 0.16 ~0.21 之间,极值比在 1.90 ~3.40 之间,说明康乐县年降水量变化基本稳定。

表 4 雨量站极值比和趋势变化统计情况

测 站	极值比	线性回归方程	|U|值	显著性
景古城	3.40	$y=-0.3805x+547.53$	0.127	不显著
吊 滩	2.44	$y=-2.0293x+819.36$	1.923	不显著
鸣鹿关	2.32	$y=-1.5825x+706.54$	2.959	显著
康 乐	1.90	$y=-0.8150x+554.39$	1.657	不显著

利用线性回归法分析其变化趋势(y 为年降水量,x 为年份),采用坎德尔秩次相关法[6]对变化趋势进行显著性分析,选取显著性水平为 95% 的置信度($\alpha=0.05$)对其进行评价,即 $U_{0.05/2}=\pm1.96$,当计算的 U 值大于显著性水平时,为显著,反之为不显著,结果见表 4。据此绘制代表站降水量时序变化图,见图 3。从图 3 中可以看出,所有站点整体呈减少趋势,只有鸣鹿关站减小趋势显著,其他站点均为不显著,说明降水量减少趋势整体为不显著[7-8]。

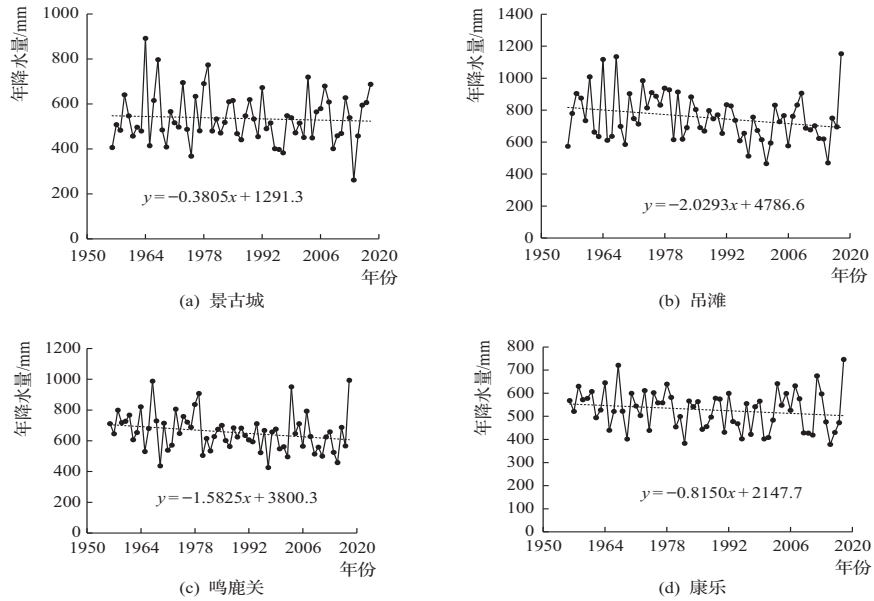

图 3 代表站年际时序变化

2.5 分区降水量成果

根据康乐县内主要河流，即苏家集河、流川河、胭脂河、倒流河、洮河干流，将其分成5个区域，采用1956—2018年降水系列，利用泰森多边形法进行面降水量计算，主要河流分区计算成果见表5。由表5可以看出，康乐县年降水量为563.8mm，折合水量为6.106亿m^3，各分区降水量在550.0～578.9mm之间，各河流降水量相差不大。其中，苏家集河区域年降水量最大，为578.9mm，洮河干流区域和倒流河区域、胭脂河区域相同，年降水量最小，为550.0mm。

表5 主要河流分区面年降水量成果

序号	乡 镇	面积/km^2	降水量/mm	折合水量/亿m^3
1	洮河干流区域	80.81	550.0	0.444
2	苏家集河区域	444.19	578.9	2.571
3	胭脂河区域	249.61	550.0	1.373
4	流川河区域	118.44	570.7	0.676
5	倒流河区域	189.53	550.0	1.042
康乐县		1083.00	563.8	6.106

3 结 论

本文收集了康乐县境内的9处雨量站数据，采用P-Ⅲ型曲线、泰森多边形等水文分析方法，对康乐县降水特性、年内分配、年际变化、空间分布进行了分析，研究成果对区域水文气象、水资源开发利用具有指导意义。但目前仍缺少对周期性[9]、变异性以及对降水影响的气象因素等方面的分析研究[10]，今后可在这些方面进行更进一步的研究。

参考文献

[1] 任宾宾，王平，邱绍柱，等. 基于Co-kriging的呼伦贝尔市2018年降水量空间分布特征模拟及插值精度分析[J]. 西南大学学报(自然科学版)，2021，43(11)：162-171.

[2] 杨磊. 2019年博尔塔拉蒙古自治州水资源情况及其开发利用[J]. 能源与节能，2021(10)：113-114.

[3] 陶攀，杨正. 1981—2016年甘肃省降水量时空变异性的信息熵分析[J]. 水电能源科学，2021，39(11)：15-18，55.

[4] 李庆昕. 皮尔逊Ⅲ型曲线参数优化估计方法对比研究[J]. 水利规划与设计，2018(12)：54-59.

[5] 刘武. 借助Arc GIS软件采用泰森多边形法计算2020年黑龙江省降雨量[J]. 吉林水利，2021(5)：8-11，20.

[6] 王志远，相华，郭禹含，等. 山东济南市小清河黄台桥水文站降水量多年变化特征及趋势分析[J]. 中国防汛抗旱，2020，30(2)：36-41.

[7] 段志勇，凡炳文. 洮河流域降水量的多时间尺度特征及趋势分析[J]. 人民黄河，2015，37(11)：11-14.

[8] 张春林，马艳年，杨志红. 洮河流域降水量变化趋势分析[J]. 甘肃水利水电技术，2011，47(8)：8-10，40.

[9] 王汉卿，王启优，刘红兵，等. 甘肃省夏季降水量多时间尺度变化趋势研究[J]. 地下水，2020，42(5)：190-193.

[10] 刘炜，焦树林，李银久，等. 贵州省1960—2019年不同地貌类型降水时空特征[J]. 水土保持研究，2021，28(5)：159-171.

(上接第84页)

4.5 建立工程管护机制

按照政府主导、市场运作的原则，建立“水利设施产权部门+农民用水专业合作组织+用水户”的管理机制。明晰管理权属，制定工程管护办法，落实管护责任，健全考核办法，落实运行管护经费来源等，做到对水源、干渠(管)、支渠(管)、田间、闸阀、计量设施有人管护，确保工程设施完好，供水保证率达85%以上。

重点是形成稳定的管护经费保障机制。昭鲁两县区财政可通过公共财政预算、政府性资金以及其他水利收入、水价中包含的工程管理及维修养护费用，统筹设立维修基金用于工程维修维护。

5 结 语

推进农业水价综合改革，是解决农业用水效率低下的重要突破口，有利于充分发挥价格杠杆的有效调节作用，激发农业节水的潜力，在农业生产中优化配置和高效利用稀缺的水资源。农业水价改革涉及千万农业用户，为使农业水价综合改革惠及群众。要始终将“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水思路贯穿于改革中，统筹兼顾，稳步推进，保障农田水利工程良性运行，促进农业节水和农业可持续发展。

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.05.15

推进昭鲁灌区农业水价综合改革的思考

崔汝静

(云南昭通市昭鲁大型灌区管理局,云南 昭通 657000)

【摘 要】 本文针对昭鲁灌区田间灌溉方式粗放、水资源利用效率低的现状,分析了灌区在推进农业水价综合改革中存在的主要问题,按照"节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力"的新时期治水思路,提出了在完善供水计量设施的基础上系统建立农业水权分配、合理水价形成、节水奖励和精准补贴、群众参与、工程管护改革的机制,推进农业水价综合改革。

【关键词】 农业水价;综合改革;建立机制;昭鲁灌区

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)05-082-03

Thoughts on promoting comprehensive reform of agricultural water price in Zhaolu irrigation area

CUI Rujing

(*Yunnan Zhaolu Large Irrigation Area Management Bureau, Zhaotong* 657000, *China*)

Abstract: In view of the present situation of extensive field irrigation and low utilization efficiency of water resources in Zhaolu Irrigation District, this paper analyzes the main problems existing in promoting the comprehensive reform of agricultural water price in the irrigation district. According to the water conservancy work policy of "giving priority to water saving, spatial balance, systematic management and two-handed efforts" in the new period, it is proposed to systematically establish the mechanism of agricultural water right distribution, reasonable water price formation, water saving reward and precise subsidy, mass participation and project management and protection reform on the basis of perfecting water supply metering facilities to promote the comprehensive reform of agricultural water price.

Key words: agricultural water price; comprehensive reform; establish a mechanism; Zhaolu irrigation area

农业是用水大户,也是节水潜在户,推进农业节水意义重大。2016年国务院办公厅印发《关于推进农业水价综合改革的意见》,在全国范围内推进农业水价综合改革,目标是因地制宜深化农业水价综合改革,让水价更好地反映市场供求和资源稀缺程度,发挥水价在节水中的杠杆作用,激发农户节水的内生动力,改善农业灌区设施。本文对昭鲁灌区农业水价改革滞后的原因进行分析,就农业水价改革提出建立农业水价形成机制、精准补贴和节水奖励机制、工程管护机制、群众参与的用水管理机制,实现农业节水和农田水利工程设施良性运行的对策和建议,为推进昭鲁灌区农业水价综合改革寻找突破口。

收稿日期:2021-12-30

作者简介:崔汝静(1970—),女,高级工程师,学士,主要从事水库、灌区的运行管理及水资源保护工作。

1 昭鲁灌区的基本情况

昭鲁灌区位于云南省东北部，是全国大型灌区，也是云南省12个大型灌区之一，其行政区划隶属于昭通市昭阳区和鲁甸县，包括昭鲁坝区、洒渔河宽谷、靖安坝区、龙树坝区和小寨河谷区，灌溉规划面积52.9万亩。受昭鲁中心城市发展的影响，现状有效灌溉面积46.5万亩。昭鲁大型灌区现有水利工程（含在建）：大（2）型水库1座（渔洞水库）、中型水库4座（永丰、段家石桥、黑石罗、月亮湾）、小（1）型水库24座、小（2）型水库50座，至“十三五”末灌区改造的成效是显著的，但年久失修的渠系建筑物依然未得到全面处理。抗御旱涝灾害的能力不足以支撑农业产业结构的快速发展，水价形成机制不健全，造成水资源浪费，制约了灌区效益的发挥和农业产业新常态的正常发展。

2 昭鲁灌区农业水价的发展历程及现状

水价改革滞后，价格背离价值，水资源的商品属性得不到应有的体现是灌区的真实写照。昭鲁两县（区）在2004年5月以前执行的水价分别是：昭阳区执行的是1998年政府物价部门批准的水价，收费标准为水稻0.0100元/m^3，旱地0.0100元/m^3，经济作物0.0700元/m^3；鲁甸县执行的是1992年政府核定的农灌水价，自流灌溉0.0170元/m^3，提水灌溉0.0175元/m^3。2004年按照《水利工程供水价格管理办法》的规定：“农业用水价格按补偿供水生产成本、费用的原则核定，不计利润和税金”，测算农灌供水成本水价为0.2020元/m^3，灌区农业用水终端价格为0.0600元/m^3。考虑到昭鲁两县（区）农民的承受能力，市政府决定农业执行水价为0.0300元/m^3。在暂不具备按用水量收费条件之前，可暂按亩收费：旱地最高不超过16.00元/亩，水田最高不超过24.00元/亩。该水价一直沿用至今。

3 灌区影响农业水价改革的主要问题

长期以来昭鲁灌区存在着水资源分布不均衡、灌溉水资源紧张、地方财政困难、运行维护经费缺乏、服务对象和产业弱质、田间灌溉粗放、农业水价形成机制不健全、价格水平总体偏低、水费收取困难等问题，这些问题制约着灌区的可持续发展。

3.1 灌区工程设施现状与水价综合改革配套差距较大

由于灌区的田间灌排沟渠主要由县、区及乡村分级负责管理，缺乏激励机制，不能充分调动群众管水护水的积极性，致使水利工程管护缺位或不到位，灌区灌溉水利用效率低，且计量设施落后状况并未得到根本改善，计量设备不能满足农业综合水价改革的需要。

3.2 农业水权不明晰，水价形成机制不健全

因农业水权未按照用水定额细化分解到用水主体，用水总量未控制，所以灌区用水户缺乏节水意识，大多采取浸灌的传统灌溉方式，常有“上游大水漫灌、下游一直干旱”的情况，造成水事纠纷不断；灌区农灌水价执行标准为0.06元/m^3，仅为运行成本的1/4，还难以收取，造成灌区设施运行维护经费紧张，影响整体效益的发挥。

3.3 农户对改革不理解，水费收取困难

农户未能完全理解水价改革的意义，水利工程是国家投资修建为群众服务的，特别是国家取消农业税的政策实施以后，产生了“农业税取消，水费也应取消”的错误认识。在按照用水量收取水费过程中，由于水费计量的设施和方式不够科学，导致无法精准计算水费征收数额，导致水费按时收缴困难。

3.4 水资源开发利用及运行管理机制亟待改革

灌区的干渠由县、区水务局负责日常运行管理，其余运行管理由乡镇及村组自行负责收取的水费不足以支付管理人员的基本报酬，村组群众处于自由用水状态，水资源流失浪费严重。长期以来，各级管理部门存在工程重建轻管的现象，特别是田间渠系工程处于“农户管不了、集体管不好、国家管不到”的被动状态，工程不配套、不完善、老化失修严重，灌溉面积逐渐减少。

4 推进灌区农业水价改革的对策及建议

在推进灌区农业综合水价改革中，需加强组织领

导,引导群众参与,全面系统建立以农业水权分配机制为基础、水价形成机制为关键、节水奖励和精准补贴机制为辅助、用水合作组织为平台、工程管护责权清晰为保障的五项机制,有条不紊地推进改革,达到预期目标。

4.1 建立农业水权分配机制

农业水权分配应以公平性、科学性、可持续性和以人为本为总体指导方针,坚持依法、依规,尊重现状、兼顾未来,以供定需、高效利用,动态调整、预留空间的原则。

首先确定用水总量控制指标,由昭鲁灌区管理局根据多年实际供用水情况,按照促进节约、适当预留的原则,从上向下将用水总量控制指标分解到昭阳区和鲁甸县;昭鲁两县区按其种植农作物和灌溉定额统计需水量,从下向上汇总上报昭鲁灌区管理局,通过这样的方式反复测算核定合理的灌溉用水指标,按照"就低不就高"原则,确定昭鲁两县区的用水总量控制指标。以此方法逐级向下核定各用水户需水量,即为该户的农业水权。由昭鲁两县区人民政府统一制作颁发农业用水水权证,水权证注明用水总量、用水定额、用水时限和灌溉作物等信息,用水户按该水权证核定的数额购买水量。

用水户已购买而未使用的水量指标,可进入水权交易平台自行交易。水权交易平台设在供水管理单位。未交易的节约水量由供水单位回购,并按节约水量给予用水户一定的奖励。用水户之间需在供水管理单位进行登记后交易。

水权证确定的用水指标,为核定水平年用水户享有的年用水总量控制指标。考虑到各年的来水情况、土壤的墒情和种植结构调整,年度用水指标可由水管单位进行相应的动态调整,并告知用水户。

4.2 建立水价形成机制

为充分反映水资源的稀缺程度和用水户的承受能力,发挥市场机制和价格杠杆在水资源配置、水量需求调节的导向作用,提高水资源的利用率和效益。按照水价改革的要求,按照补偿成本、合理收益、节约用水的原则,先按照全成本费用和运行成本费用科学测算终端水价,再根据成本测算、工程管护实际及各区域用水户承受能力与支付能力,合理确定灌区各区域和各作物的执行水价,并召开水价改革听证会,最后由发改部门对执行水价进行批复。

若超定额用水,则实行累进加价制度。以年为单位,核定每户用水定额,定额内用水按批准价格实行,超定额用水实行累进加价,可按执行水价的1.1倍、1.2倍、1.5倍实行阶梯累进加价。累进加价的收入进入节水奖励基金。

4.3 建立节水奖励和精准补贴机制

逐步建立易于操作、用水户接受的农业用水节水激励机制,以制定合理水价及用水定额为基础,根据水量的不同,实施相应的补偿或惩罚机制,从而达到节约水资源的目的。建立节水激励机制,有助于培养用水户的水商品意识和主动节约用水意识,在促进水资源节约和保护的同时,体现了公平理念和权责对等理念。按照"节奖超罚"原则,对定额内节约用水给予奖励,设立节水奖励和精准补贴基金,基金来源为财政预算安排、超定额累进加价水费收入和社会捐赠等,基金用于节水奖励和基本粮食作物定额内用水补贴。

4.4 建立群众参与的用水管理机制

按照"政府指导、用水户自愿、依法登记、规范运作"的原则,依据《中华人民共和国合作组织法》成立"农民用水专业合作组织"。政府从硬件设施建设、组织建设、制度建设、经费来源等方面给予支持,规范各农民用水专业合作组织建设,为充分发挥农民用水专业合作组织在水利工程管护和灌溉服务中的作用奠定良好基础。

农民用水专业合作组织以用水户为主要服务对象,依法依规为用水户提供用水服务,维护工程设施、征收水费、推广节水技术、协调水事纠纷等。合作组织经费来源:合作组织中的会员缴纳的会费、收取的水费分成、政府的财政扶持补助资金及社会捐赠等。

(下转第81页)