

杜丽娟, 陈根发, 柳长顺, 等. 基于 GWAS 模型的灌区水资源优化配置研究: 以淠史杭灌区为例[J]. 水利水电技术, 2020, 51(12): 26-35.

DU Lijuan, CHEN Genfa, LIU Changshun, et al. GWAS model-based optimal allocation of water resources in irrigation district[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(12): 26-35.

基于 GWAS 模型的灌区水资源优化配置研究: 以淠史杭灌区为例

杜丽娟^{1,2}, 陈根发^{1,2}, 柳长顺^{1,2}, 王雪妮³, 刘金林⁴, 汪海伦⁵

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 3. 太原理工大学, 山西 太原 030024; 4. 华北水利水电大学, 河南 郑州 450003; 5. 河北工程大学, 河北 邯郸 056038)

摘要: 针对淠史杭灌区“蓄、引、提、调”相结合的“长藤结瓜”式灌溉系统, 为实现灌区间、上下游的优化联合配置, 采用 GWAS 模型, 通过划分水资源配置子单元和设置调蓄节点, 采用公平性最优和供水缺水率最小作为目标函数, 总量控制、供水能力、分质供水等作为约束条件, 将水资源优化配置问题模拟为生物进化问题, 采用基于精英策略的非支配遗传改进算法求解, 建立了适用于淠史杭灌区的水资源优化配置模型。配置结果表明: 灌区引水量最大, 其次为当地地表水和边界提水站提水, 中水和浅层地下水作为补充。通过序列年水资源配置, 发现相同频率年在处于不同丰枯年份时, 可供水量存在明显差异, 因此在进行区域水资源配置时, 仅分析 50%、80% 或 90% 几个频率年往往不能真实反映供水情况, 需进行长序列调配分析。基准年、2025 年和 2035 年在 50% 和 80% 保证率下基本不缺水, 灌区水资源可实现基本供需平衡。如遇连续干旱年, 90% 保证率下缺水较严重, 可通过合理开发当地水、新增外调水来降低缺水程度。

关键词: 多水源; 多用户; 多目标; 水资源; 优化配置; GWAS 模型; 淠史杭灌区; 径流

doi: 10.13928/j.cnki.wrahe.2020.12.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-0860(2020)12-0026-10



与作者互动
请扫描二维码

GWAS model-based optimal allocation of water resources in irrigation district

DU Lijuan^{1,2}, CHEN Genfa^{1,2}, LIU Changshun^{1,2}, WANG Xueni³, Liu Jinlin⁴, WANG Hailun⁵

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China; 4. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450003, Henan, China; 5. Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)

Abstract: Aiming at the irrigation system of canals combined with reservoirs of Pishihang Irrigation District, an optimal water

收稿日期: 2020-09-07

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFC0406406); 水利基建前期项目(资水利前期 02342001)

作者简介: 杜丽娟(1977—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事农业高效用水研究。E-mail: ljdu@iwhr.com

通信作者: 柳长顺(1975—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水利政策研究。E-mail: liucs@iwhr.com

resources allocation model for the irrigation district is established by means of simulating the optimal water resources allocation as a problem of biological evolution and solving it by the elite strategy-based improved non-dominated genetic algorithm with the GWAS (General Water Allocation and Simulation Software) model through dividing the water resources sub-units and setting regulation and storage nodes as well as taking the optimal fairness and the minimum water supply shortage rate as the objective functions, the total amount control, water supply capacity and dual water supply, etc. as the constraint conditions, so as to realize the optimal combined-allocation among the irrigation areas and between the upstream and downstream areas. The allocation result shows that the amount of water diversion to the irrigation district is the largest, which is followed with the local surface water and the water from the boundary pinging stations and supplemented by the reclaimed water and shallow groundwater. Through the water resources allocation of sequential years, it is found out that obvious differences are there among the available water supply amounts of the years with same frequency in different wet and dry years, thus the actual situation of the available water supply amount cannot be reflected through only analyzing several years with the frequencies of 50%, 80% or 90%, and then a long-term regulation and allocation analysis is necessary to be carried out. Under the guarantee rate of 50% and 80% in the base years, 2025 and 2035, no water shortages are to occur and the basic balance of supply and demand of the water resources within the irrigation can be realized as well. In case of continuous drought years, water shortage is to be serious under the guarantee rate of 90%, however, the degree of water shortage can be reduced through reasonable development of the local water resources and the newly added water diversion from the outside.

Keywords: multi-water resources; multi-user; multi-objective; optimal allocation of water resources; GWAS model; Pishihang Irrigation District; runoff

0 引言

由于降雨时空分布不均,中国的农业发展对灌溉的依赖性很大,大型灌区作为农业灌溉的主要承担者,是我国粮食安全的重要保障,在整个国民经济和社会发展中都具有举足轻重的战略地位^[1-5]。随着社会发展理念的转变和地区经济结构转型升级,灌区的需水结构也发生了根本性变化,灌区将逐步由之前的保障农业生产用水优先向保障生活用水、生产用水和生态用水安全并重转变,需水态势的变化,对灌区水资源优化配置和调度提出了更高要求。

淠史杭灌区是新中国成立以来兴建的最大灌区,是集库、渠、塘、站联合运用和“蓄、引、提、调”相结合的“长藤结瓜”式庞大复杂的灌溉系统。灌区在空间上形成了以合肥都市圈为中心的国家重点开发区和以长江平原区、江淮丘陵区为两翼的国家农产品主产区的经济发展格局,未来需水态势将以优先保障城乡居民生活用水、农业灌溉用水和生态用水为主。区域经济社会发展战略定位的发展变化对灌区水资源配置提出了新的要求,同时灌区也面临着新的机遇和挑战:一是灌区水资源分布存在区域间不匹配、上下游不均衡的问题,随着用水结构变化,水资源供需矛盾进一步加剧。二是引江济淮、江水西调等引调水工程可与灌区引水、当地自产水和尾部提水形成有益互补,构建“三水互济”的水资源配置格局。在新形势下,如何实现

灌区间、上下游的优化联合配置是灌区面临的一个重要难题。

目前,国内外学者在水资源系统模拟和调控方面开展了大量研究,开发了新安江模型、SIMHYD、MIKE、TOPMODEL、ROWAS、VIC、WACM以及WROOM等模型^[6-14],模型方法多采用水循环模型加入取用水过程、水循环模型与配置模型耦合(把配置模型的结果输入水循环模型,即单向传输)等方式,这些方法在不少区域取得较好的效果,但在人类社会活动强烈的灌区效果则不太好,由于水资源配置过程中不能实时响应水资源量动态变化影响,难以反应灌区高强度人类活动下水下的自然-社会水资源互馈及精细调控研究。不少学者也对淠史杭灌区水资源优化调度和配置进行了研究^[15-27],采用的方法包括单目标动态规划、多目标动态规划等数学模型,未考虑三个灌区间、上下游水资源不均衡等问题。

基于此,本文拟根据淠史杭灌区多水源、多用户、多目标的水资源配置需求,通过划分水资源配置子单元区别灌区间、上下游水资源不均衡问题,采用GWAS模型方法^[28-31],建立基于水循环的空间分布式淠史杭灌区水资源优化配置模型,根据水库特征和来水过程、灌区内部来水、下游湖泊补水、外调水、再生水和引排水工程特征以及子单元行业用水特征,进行水资源供需平衡,实现行业用水过程对各水源类型实时反馈,从而影响灌区整个水资源系统的循环过程以及用水单元的配置过程,实现灌区水资源优化

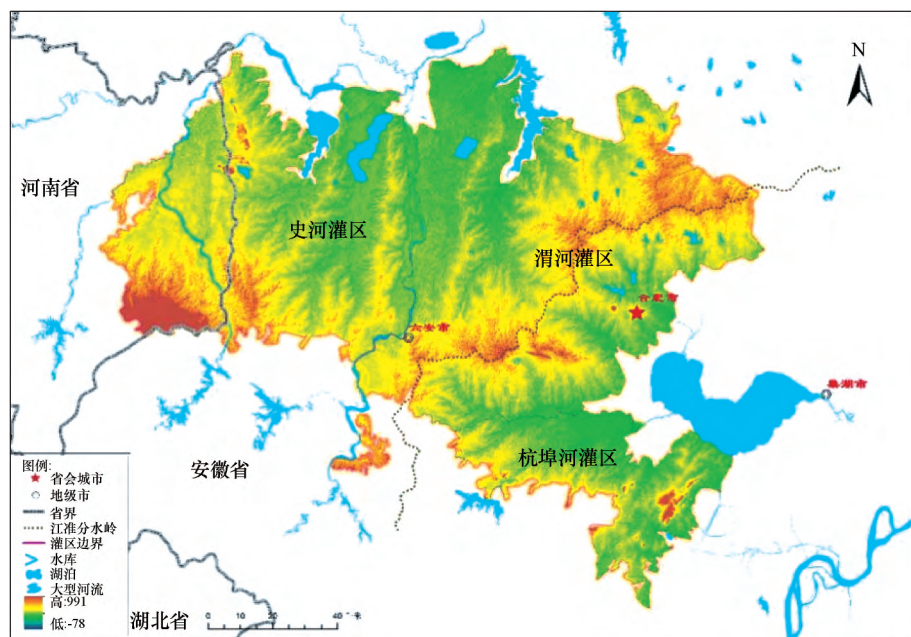


图1 淠史杭灌区

配置; 基于 GIS 的空间拓扑关系构建, 能够真实地反映淠史杭灌区“长藤结瓜”式的灌溉体系; 采用基于人工智能的优化方法, 解决灌区内水源节点、需水节点多的问题; 进行序列年配置, 反映上游 6 大水库的调节能力, 能够剖析同一频率的枯水年处于不同的丰枯序列中供水能力的差异。

1 研究区概况

淠史杭灌区位于安徽省中西部和河南省东南部, 横跨江淮两大流域, 是淠河、史河、杭埠河三个毗邻灌区的总称, 总面积 14 739.7 km²。灌区北以淮河为界, 南靠大别山区, 西接河南省固始县鲇鱼山灌区, 东邻安徽省驷马山灌区, 东南濒临巢湖, 横跨长江、淮河两大流域, 范围涉及皖豫 2 省 4 市 17 个县(区)。灌区地处大别山余脉的丘陵地带, 江淮分水岭将灌区分成两个区域, 北部为淮河流域, 南部为长江流域, 主要河流为淠河、史河、杭埠河, 灌区如图 1 所示。灌区多年平均降水量 909~1 364 mm, 降水在空间分布上, 由北向南递增; 时间分布上, 3—8 月降水量约占全年的 60%~70%, 降水年际变化大。

2 数据来源

本文采用的数据主要包括 1960—2015 年淠史杭灌区降水量和上游 6 大水库来水量、2012—2018 年各渠首引水量和各灌区供水量、2016—2018 年合肥市和六安市水资源公报、水利普查以及统计年鉴等数

据。其中, 降水量数据来源于国家气象信息中心中国气象数据网, 水库来水量、引水和供水量数据来源于安徽省淠史杭灌区管理总局, 水资源公报和水利普查、统计年鉴分别来源于合肥市和六安市水务局和统计局。本文引用数据来自官方部门发布, 具有真实可靠性。

3 水资源配置模型与方法

3.1 需水预测

根据淠史杭灌区分布图及灌区所涉及的行政区域, 基于 GIS 工具将淠史杭灌区划分为 26 个计算单元。将灌区用水户分为农业、生活、工业和生态四大类。

根据灌区 1960—2015 年共计 56

年的降雨资料, 对其进行水文频率分析。分别计算 26 个计算单元上四类用水户在基准年、2025、2035 年不同经济社会规模下的 1960—2015 序列年需水量, 并据此而统计淠史杭灌区 50%、80% 和 90% 三种频率年的需水总量。考虑到生活、工业和生态的需水量受降水的影响较小, 不同系列年的需水量变化不大, 故本研究中未对其进行系列年分析。需水预测以定额预测为基本方法, 经综合分析后提出需水预测成果。

3.2 水资源配置原则

水资源利用方案优先次序: (1) 优先利用灌区引水, 用于农业、城乡生活和生产, 兼顾景观环境; (2) 合理开发当地地表水, 用于农业和生态环境; (3) 充分利用外调水, 替换农业灌溉水作为城市供水, 或作为生态水; (4) 积极开发边界提水, 作为沿河湖和渠系末端农业灌溉用水; (5) 优先保障城乡生活用水和基本生态用水。

用水户用水方案优先次序: (1) 优先保障生活用水、统筹兼顾工业、农业、其他生态用水; (2) 水源供水遵循“优先用足引水、外调水、用好当地地表水”的原则; (3) 居民生活供水水源包括引水、当地水库蓄水; (4) 城市综合用水的供水水源包括引水、当地水库蓄水; 生态环境供水水源主要考虑当地地表水、外调水和再生水; (5) 农业供水水源包括引水、当地地表水和置换的外调水, 部分尾水灌区可考虑适当使用再生水。

3.3 目标函数

水资源供需平衡目标涉及行业用水安全保障、供水公平以及可持续多个目标,采用公平性最优和供水缺水率最小作为水资源优化配置的目标函数,各行业不同单元用水公平性通过行业空间单元缺水率方差指标反应,用水单元内行业用水负荷的满足程度通过缺水率最小指标反应。

公平性最优目标如下

$$\text{Min } F(x) = \sum_{y=1}^{myr} \sum_{n=1}^{12} \sum_{h=1}^{mh} q_h \times GP(X_h) \quad (1)$$

$$GP(X_h) = \sqrt{\frac{1}{mu-1} \times \sum_{u=1}^{mu} |(x_h^u - \bar{x}_h)|} \quad (2)$$

式中, $F(x)$ 为公平目标; $GP(x_h)$ 为公平性函数; q_h 为行业用户惩罚函数; X_h^u 为区域单元 u 中行业用户 h 的缺水率; \bar{x}_h 为区域单元 u 中行业用户 h 的缺水率均值; myr 为计算时段的年数; n 为年内月值; mh 为区域行业用水类型的数目; mu 为区域单元数目。

缺水率最小目标如下

$$\text{Min } Y(x) = \sum_{y=1}^{myr} \sum_{n=1}^{12} \sum_{h=1}^{mh} q_h \times SW(X_h) \quad (3)$$

$$SW(X_h) = \frac{1}{mu} \times \sum_{u=1}^{mu} |(x_h^u - Sob_h^n)| \quad (4)$$

式中, $Y(x)$ 为供水胁迫目标; $SW(x_h)$ 为供水胁迫函数; q_h 为行业用户惩罚函数; X_h^u 为区域单元 u 中行业用户 h 的缺水率; Sob_h^n 为区域行业用户 h 的各月供水胁迫目标理想值; myr 为计算时段的年数; n 为年内月值; mh 为区域行业用水类型的数目; mu 为区域单元数目。

3.4 约束条件

总量控制约束条件如下

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq C_i \quad (5)$$

式中, C_i 表示溧史杭灌区用水总量控制指标中 i 水源的控制量。

供水能力约束条件即水源供水水量应满足水源的可供水资源量约束条件,有

$$W_{m,t} \leq Q_{m,t} \quad (6)$$

式中, $W_{m,t}$ 为水源 m 时段 t 的供水量 (m^3); $Q_{m,t}$ 为水源 m 时段 t 的可供水资源量 (m^3)。

分质供水约束条件即考虑不同用户用水水质要求,水源供水满足分质供水标准约束条件,有

$$q_{m,u} \leq \bar{q}_u \quad (7)$$

式中, $q_{m,u}$ 为水源 m 给用户 u 的供水水质; \bar{q}_u 为用

户的最低水质标准。

变量非负约束条件如下

$$\text{所有变量} \geq 0 \quad (8)$$

3.5 模型求解

模型输入数据包括: (1) 需水数据,如城镇生活、农村生活、农业、工业和生态的需水; (2) 工程参数,如各个地区的供水工程特征参数(库容、供水能力); 调水工程参数(调水量、分水比); (3) 供水工程拓扑关系,如供水工程-用水户供水关系、供水工程-供水工程的弃水关系、用水户-用水户的弃水关系、行业节水或退水的转移对象关系; (4) 其他数据,如污水处理率、污水回用率等。模型求解采用基于精英策略的非支配遗传改进算法求解,以各水源分给各用户的水量作为决策变量,对决策变量进行编码并组成可行解集,通过判断每一个体的满意程度来进行优胜劣汰,从而产生新一代可行解集,如此反复迭代来完成水资源优化配置。

3.6 水资源配置模型

本研究水资源配置采用 GWAS 模型方法(模型介绍详见参考文献 [28-31]),建立了适用于溧史杭灌区的水资源优化配置模型。

3.6.1 计算单元和调蓄节点划分

根据地形地貌、行政区界、灌溉水源、灌溉供水系统等特点,结合灌区灌溉供水实际,按照渠系控制范围,将灌区划分为 26 个水资源配置单元。按照灌区内大中型水库的总库容、兴利库容、兴利水位等数据,在 GWAS 模型中设置了对应的调蓄节点,将每个计算单元内的小型水库和塘坝打包为一个调蓄节点(见图 2)。

将灌区上游六大水库及灌区内各个调蓄节点,按照空间拓扑关系进行有效连接。按照近年溧史杭灌区充库时间、充库流量和各大反调蓄水库的调度运行规则,进行供水模拟,从而模拟灌区长藤结瓜式的灌溉供水系统。

3.6.2 多水源联合调度设置

溧史杭灌区灌溉水源主要来自上游六大水库和灌区内的水库、塘坝以及灌区尾部瓦埠湖、巢湖、城东湖、城西湖的泵站。同时,未来引江济淮、江水西调等调水工程也将作为灌区的应急补充水源。因此,在水资源平衡计算中综合考虑了各类水源工程的合理调度运行,进行联合调节。根据现状供水系统以及考虑未来补充水源,将溧史杭灌区水资源系统网络图概化,如图 3 所示。

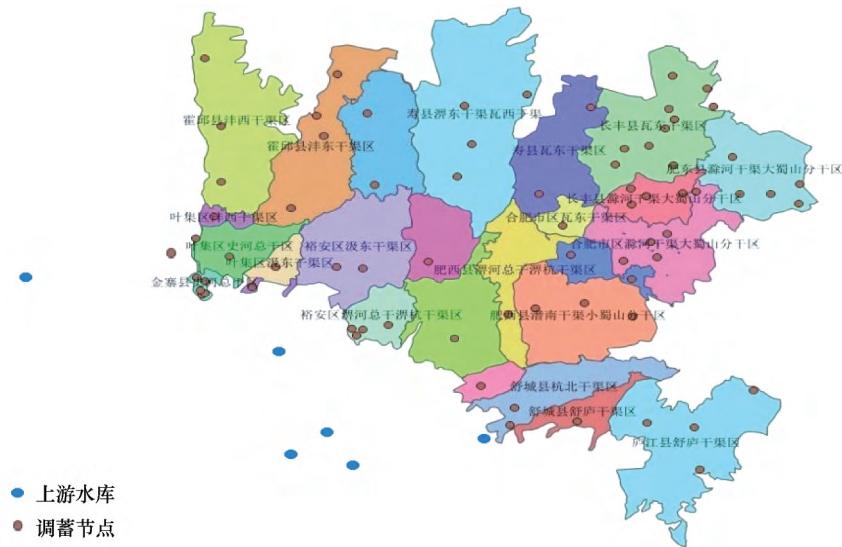


图2 灌区内单元划分和主要调蓄计算节点分布

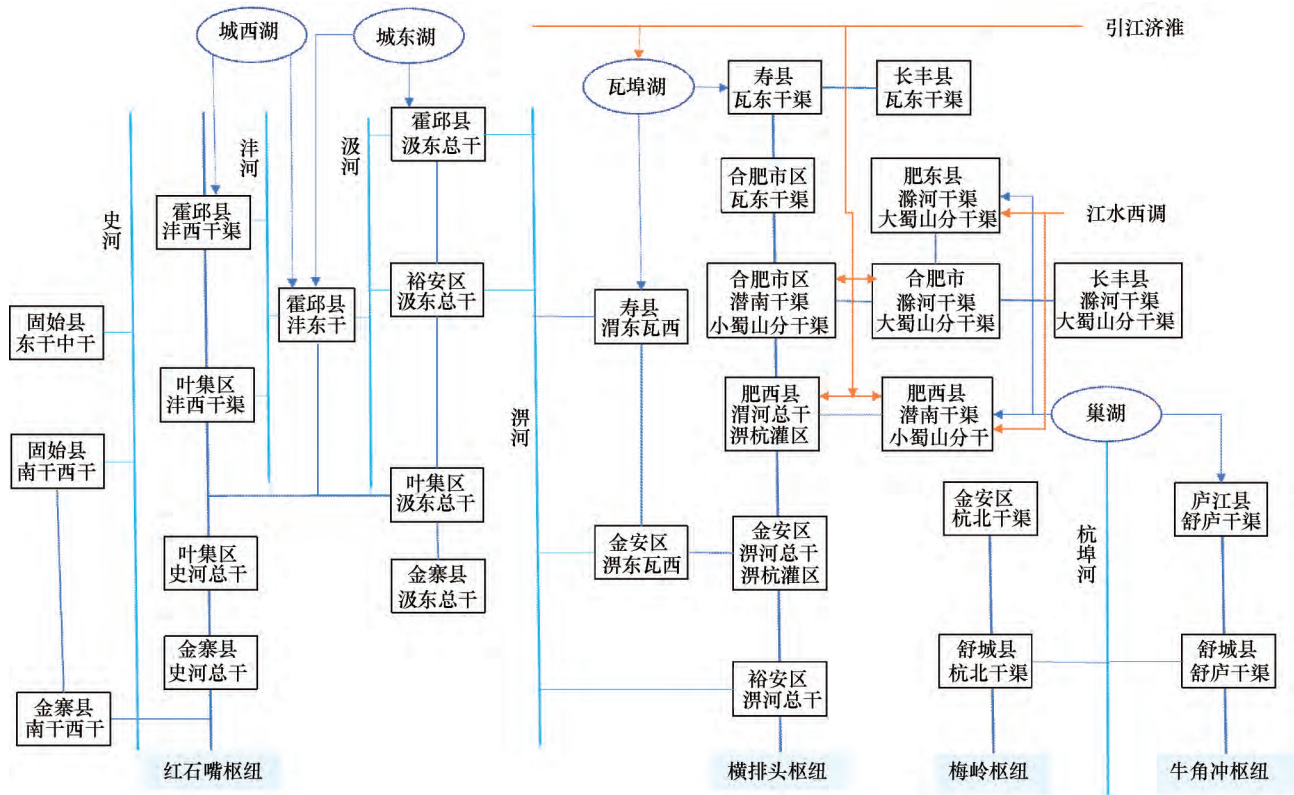


图3 淠史杭灌区水资源系统网络

3.6.3 系列年配置

根据淠史杭灌区实际情况,为体现上游水库在灌区供水中的调度作用,本次规划采用系列年配置的方法,来水量为1960—2015年共56a上游6大水库来水量和灌区内各水库月入库流量序列;根据基准年、2025年、2035年社会经济规模及预测的用水效率指标,计算1960—2015序列年需水量。通过长序列供

需平衡调算,对灌区水资源进行优化配置。

4 配置结果与分析

采用构建的GWAS配置模型,对淠史杭灌区不同水平年的需水进行配置。为充分揭示规划水平年灌区水资源供需平衡态势,采用三次供需平衡的分析方法。根据淠史杭灌区实际情况,为体现上游水库

表 1 不同缺水年份水资源供需配置情况

年份	城市生活			农村生活			工业			农业			河湖生态			合计		
	需水	供给	缺水率	需水	供给	缺水率	需水	供给	缺水率	需水	供给	缺水率	需水	供给	缺水率	需水	供给	缺水率
1961	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	42.4	42.2	0.3	2.3	2.3	0.0	59.5	59.4	0.2
1966	7.2	7.1	1.0	1.5	1.4	2.0	6.2	6.0	2.5	43.3	34.8	19.5	2.3	1.7	0.0	60.4	51.0	15.5
1967	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.6	6.2	5.9	3.5	41.8	30.3	27.5	2.3	1.4	0.0	59.0	46.3	21.4
1968	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	27.0	25.1	7.3	2.3	2.3	0.0	44.2	42.2	4.5
1976	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	46.6	46.5	0.4	2.3	2.3	0.0	63.8	63.6	0.3
1977	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.1	0.5	31.2	31.0	0.5	2.3	2.3	0.0	48.3	48.1	0.4
1978	7.2	7.1	1.2	1.5	1.4	8.1	6.2	5.9	4.8	42.4	37.9	10.6	2.3	1.9	0.0	59.5	54.1	9.2
1979	7.2	7.2	0.5	1.5	1.5	1.8	6.2	6.0	2.3	31.4	31.2	0.6	2.3	2.3	0.0	48.6	48.2	0.8
1992	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	45.3	42.9	5.4	2.3	2.2	0.0	62.4	59.9	4.1
1994	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	39.7	39.6	0.3	2.3	2.3	0.0	56.8	56.7	0.2
1995	7.2	7.1	1.8	1.5	1.4	5.0	6.2	6.0	2.7	48.3	43.1	10.7	2.3	2.1	0.0	65.4	59.6	8.8
1996	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	23.9	23.9	0.1	2.3	2.3	0.0	41.0	41.0	0.0
2000	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	40.6	38.8	4.3	2.3	2.3	0.0	57.7	55.9	3.0
2001	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	46.4	36.6	21.2	2.3	1.9	0.0	63.5	53.3	16.1
2013	7.2	7.2	0.0	1.5	1.5	0.0	6.2	6.2	0.0	36.6	36.4	0.7	2.3	2.3	0.0	53.8	53.5	0.5

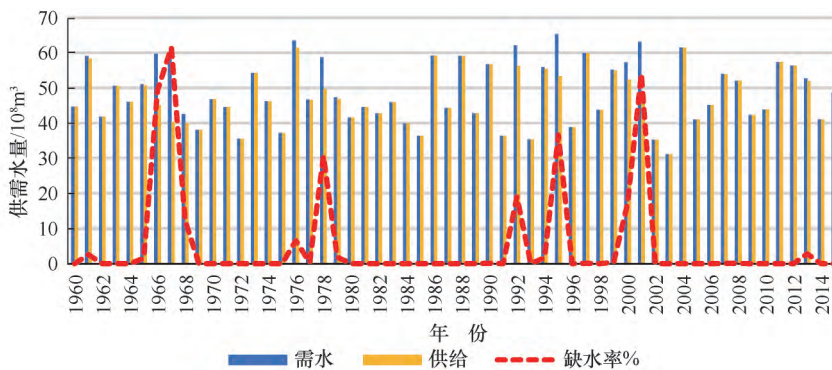


图 4 1960—2015 年水资源供需配置情况

在灌区供水中的调度作用,本次规划采用系列年配置的方法,通过长序列供需平衡调算,对灌区水资源进行优化配置。根据基准年(2018年)、2025年、2035年,社会经济规模及预测的用水效率指标,同时对基准年50%、80%、90%水平年(90%选用了2004年型和1966年型两种典型年)分别进行了水资源配置。

4.1 序列年水资源配置

模型根据计算的1960—2015序列年需水量,进行了水资源配置,结果如图4所示。配置结果显示,56年中有41年水资源供需实现平衡,15年出现不同程度的缺水,如表1所列。由图4和表1可知,总缺水率最高的3个年份依次出现在1967年、2001年和1966年,缺水率分别为21.4%、16.1%和15.5%。由图5可知,从用水户来看,缺水率最高的为农业,其次为农村生活,第三为工业,城市生活和生态缺水率最低。

4.2 不同水平年水资源配置结果

通过分析序列年降雨频率,50%、80%水平年最接近的年份分别为1971年和1999年。由于上游水库不同水平年前后年份的丰枯情况对灌区的引水量影响较大,90%水平年选取了两个典型年,典型年1(2004年)为前1年为丰水年,典型年2(1966年)为处于连续干旱中的枯水年份。灌区用水户水资源配置结果分别如表2所列、图6所示,不同水源配置结果分别如表3

所列、图7—图9所示。

4.2.1 基准年水资源配置

从供水侧来看,各个水平年,灌区引水量最大,其次为当地地表水和边界提水站提水,中水和浅层地下水作为补充;从特枯年的可供水量来看,90%典型年1,由于前一年2003年为丰水年,灌区可引水量

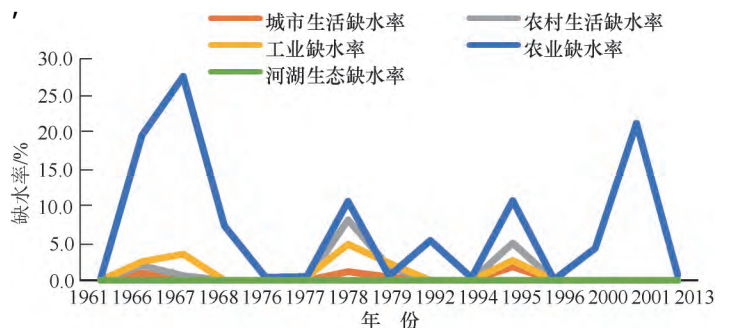


图 5 不同用水户缺水情况

衰减较小; 90%典型年 2, 由于为连续枯水年, 灌区可引水量衰减非常明显。

从用水侧来看, 50%水平年各用水户均不缺水; 80%水平年农业缺水率为 0.26%, 其他用水户不缺水; 90%典型年 1 各用水户均不缺水, 说明典型年 1 类似的 90%水平年, 灌区遇到不连续干旱年, 可保持较强的供水能力, 保证灌区基本不缺水; 90%典型年 2, 综合缺水率为 25.91%, 可见, 典型年 2 类似的 90%水平年, 灌区缺水严重, 说明灌区遇到连续干旱年, 供水会受到严重影响, 特别是史河灌区, 可供水量急剧下降。

4.2.2 2025 年水资源配置

从供水侧来看, 灌区引水量最大, 其次为当地地表水和边界提水站提水, 中水、外调水和浅层地下水作为补充。相比基准年, 再生水回用量逐步增大,

2025 年还考虑了外调水引江济淮工程的供水和灌区尾部新增泵站供水。从可供水量来看, 灌区可引水量和基准年相同, 特枯年主要依靠外调水和尾部泵站补水来缓解缺水程度。

从用水侧来看, 50%、80%、90%典型年 1 水平年各用水户均不缺水; 90%典型年 2 各用水户均存在不同程度的缺水, 综合缺水率为 19.69%。可见, 典型年 2 类似的 90%水平年, 灌区仍然缺水严重, 但 2025 年通过外调水给合肥市生活和史河灌区尾部农业补水, 全流域的缺水率比基准年有一定程度下降, 从 25.91%下降到 19.69%。

4.2.3 2035 年水资源配置

从供水侧来看, 灌区依然是引水量最大, 其次为当地地表水和边界提水站提水, 中水、外调水和浅层地下水作为补充。相比 2025 年, 再生水回用量进一

表 2 水资源配置结果

10⁸ m³

灌区名称	50%			80%			90%典型年 1			90%典型年 2		
	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%
基准年												
合计	44.6	44.6	0.0	55.1	55.0	0.2	61.5	61.5	5.0	59.7	44.3	25.9
史河灌区	11.3	11.3	0.0	13.4	13.3	0.8	14.4	14.4	0.5	17.1	10.7	37.1
淠河灌区	27.4	27.4	0.0	32.9	32.9	0.0	37.2	37.2	4.2	34.1	25.1	26.5
杭埠河灌区	5.9	5.9	0.0	8.8	8.8	0.0	9.8	9.8	0.3	8.5	8.5	1.0
2025 年												
合计	46.5	46.5	0.0	56.0	56.0	0.0	61.9	61.9	0.0	60.4	48.5	19.7
史河灌区	10.2	10.2	0.0	13.1	13.1	0.0	14.0	14.0	0.0	16.5	11.8	28.6
淠河灌区	31.3	31.3	0.0	36.0	36.0	0.0	40.3	40.3	0.0	37.0	29.8	19.4
杭埠河灌区	4.9	4.9	0.0	6.9	6.9	0.0	7.6	7.6	0.0	7.0	7.0	0.0
2035 年												
合计	48.6	48.6	0.0	57.3	57.3	0.0	62.7	62.7	0.0	61.3	50.3	17.8
史河灌区	9.9	9.9	0.0	12.4	12.4	0.0	13.3	13.3	0.0	15.5	12.7	18.3
淠河灌区	33.8	33.8	0.0	38.1	38.1	0.0	41.9	41.9	0.0	38.9	30.8	20.8
杭埠河灌区	4.9	4.9	0.0	6.8	6.8	0.0	7.4	7.4	0.0	6.8	6.8	0.0

表 3 不同水源配置结果

10⁸ m³

典型年	水源结构					
	渠首引水	外调水	当地地表水	地下水	中水	合计
基准年						
50%	29.04	0	14.17	0.53	0.87	44.61
80%	39.06	0	14.56	0.53	0.87	55.01
90%典型年 1	45.78	0	14.27	0.53	0.87	61.45
90%典型年 2	28.72	0.07	14.06	0.53	0.87	44.25
2025 年						
50%	29.46	0	14.97	0.6	1.47	46.5
80%	39.36	0	14.58	0.6	1.47	56.01
90%典型年 1	44.06	1.5	14.29	0.6	1.47	61.93
90%典型年 2	28.53	2.36	15.55	0.6	1.47	48.51
2035 年						
50%	30.91	0	15.07	0.62	2.03	48.63
80%	40.17	0	14.48	0.62	2.03	57.3
90%典型年 1	44.40	0	15.61	0.62	2.03	62.66
90%典型年 2	29.57	2.7	15.41	0.62	2.03	50.33

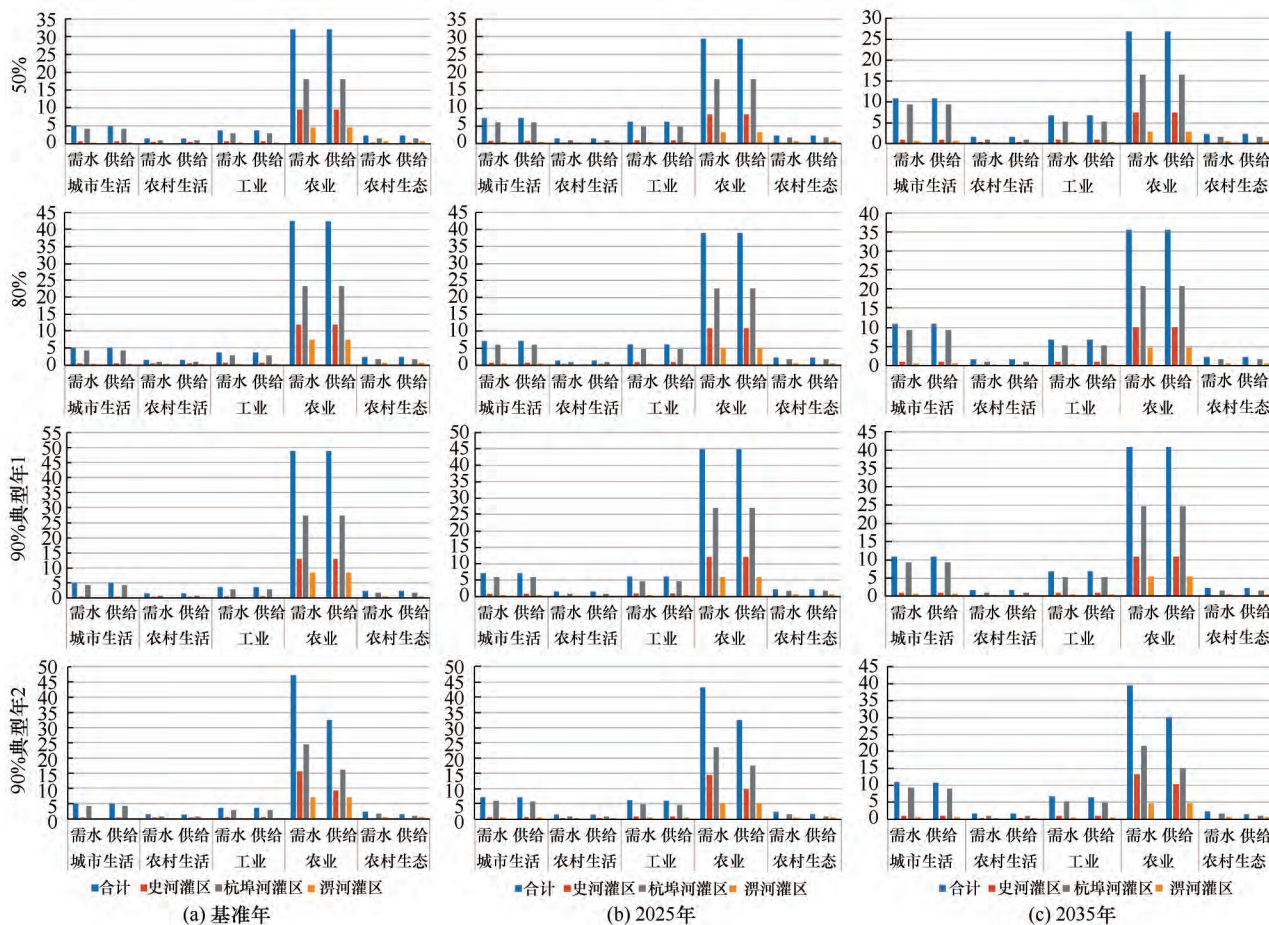


图6 不同水文年型水资源配置结果

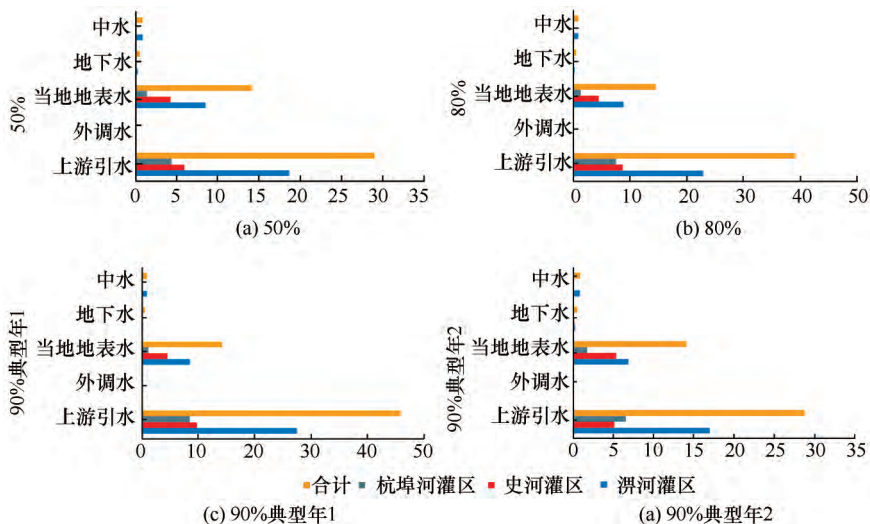


图7 基准年水资源配置结果

步增大,进一步增加了外调水引江济淮工程、江水西调工程的供水和灌区尾部新增泵站供水。从可供水量来看,灌区可引水量和基准年相同,特枯年主要依靠外调水和尾部泵站补水来缓解缺水程度。

从用水侧来看,50%、80%、90%典型年1水平年各用水户均不缺水;可见,灌区遇到典型年1类似的90%水平年,能够保证较好的供水能力。说明灌区遇到不连续干旱年的抗旱能力较强,2035年可以

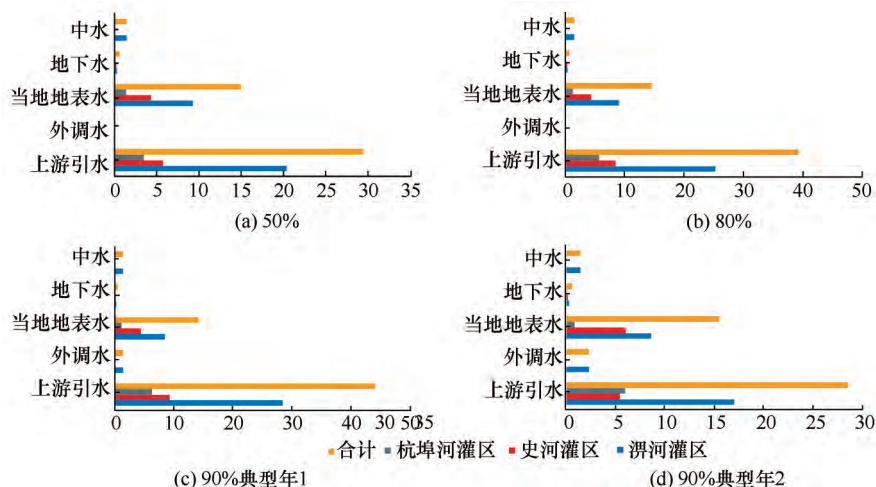


图 8 2025 年水资源配置结果

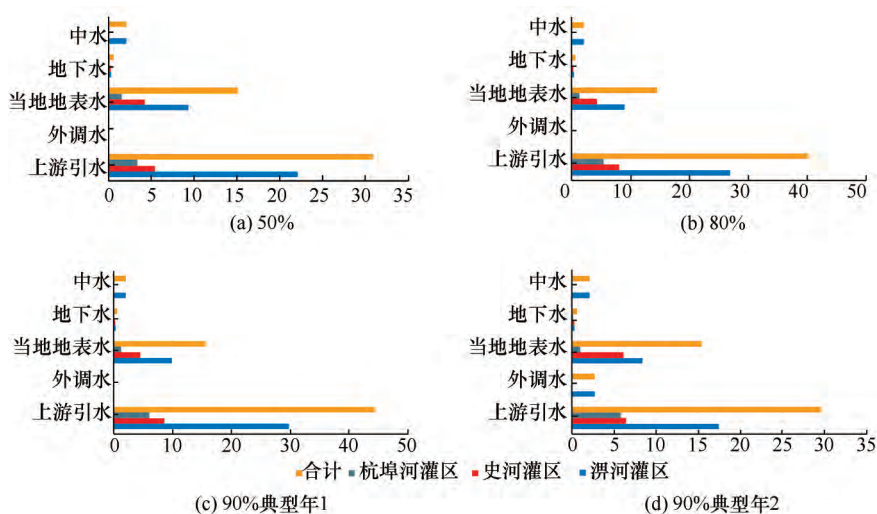


图 9 2035 年水资源配置结果

基本保证不缺水; 90%典型年 2 各用水户均存在不同程度的缺水, 综合缺水率为 17.83%。可见, 典型年 2 类似的 90% 水平年, 灌区仍然缺水, 但 2035 年通过外调水给合肥市生活和淠河灌区、史河灌区尾部农业补水, 全流域的缺水率比 2025 年有一定程度下降, 从 19.69% 下降到 17.83%。

5 结论

(1) 从供水侧来看, 基准年、2025 年和 2035 年各个水平年, 灌区引水量最大, 其次为当地地表水和边界提水站提水, 中水和浅层地下水作为补充。

(2) 采用 GWAS 配置模型, 对淠史杭灌区的不同规划水平年不同保证率的水资源进行了综合配置, 配置结果表明, 基准年、2025 年和 2035 年在 50% 和 80% 保证率下基本不缺水, 灌区内水资源可实现基本

供需平衡。

(3) 如遇不连续干旱年, 90% 保证率也基本不缺水; 如遇连续干旱年, 90% 保证率缺水较严重, 这种情况下, 2025 年和 2035 年通过合理开发当地水、新增外调水, 90% 保证率下灌区缺水率比基准年可分别下降 6.22% 和 8.08%。

(4) 通过序列年水资源供需配置分析, 相同频率年在处于不同丰枯年份时, 可供水量存在明显差异, 因此在进行区域水资源配置时, 仅分析 50%、80% 或 90% 几个频率年往往不能真实反映供水情况, 需进行长序列调配分析。

参考文献:

[1] 谢红梅. 灌区节水改造分析研究[J]. 水能经济, 2017(9): 130-130.

- [2] 孙建秦. 陕西省大型灌区建设管理现状及可持续发展探讨[J]. 地下水, 2016, 38(4): 175-177.
- [3] 黄修桥. 关于我国节水灌溉宏观发展的几点思考[J]. 灌溉排水学报, 1998, 12(4): 54-58.
- [4] 迟俊民. 浙江大型灌区节水改造在效益农业发展中的作用[J]. 节水灌溉, 2006(3): 52-53.
- [5] 张艳. 溧史杭灌区生命之源发展之源小康之源[J]. 中国水利, 2009(18): 160-161.
- [6] 赵人俊, 王佩兰. 新安江模型参数的分析[J]. 水文, 1988(6): 2-9.
- [7] JAKEMAN A J, LITTLEWOOD I G, WHITEHEAD P G. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments[J]. Journal of hydrology, 1990, 117: 275-300.
- [8] COMAS J, POCH M. Decision support systems for integrated water resources management under water scarcity[J]. Water Scarcity in the Mediterranean, 2010, 12: 129-146.
- [9] BEVEN K J, KIRKBY M J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology [J]. Hydrological Science Bulletin, 1979, 24(1): 43-69.
- [10] LIANG X, LETTENMAIER D F, et al. A simple hydrologically based model of land-surface water and energy fluxes for general circulation models [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(D7): 14415-14428.
- [11] MISHRA S K, SINGH V P. Long-term hydrological simulation based on the Soil Conservation curve number [J]. Hydrological Processes, 2004, 18: 1291-1313.
- [12] 赵勇, 陆垂裕, 肖伟华. 广义水资源合理配置研究(II) - 模型[J]. 水利学报, 2007, 38(2): 163-170.
- [13] 雷晓辉, 王旭, 蒋云钟, 等. 通用水资源配置模型 WROOM I: 理论[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 225-231.
- [14] HOEKEMA D J, SRIDHAR V. A system dynamics model for conjunctive management of water resources in the Snake River Basin[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2013, 49(6): 1327-1350.
- [15] 朱红. 溧史杭灌区水资源配置与调度实践[J]. 中国水利, 2019(3): 16-18.
- [16] 马奕旺, 陈来宝. 溧史杭灌区水资源优化配置探讨[J]. 江淮水利科技, 2007(3): 45-47.
- [17] 周银平. 溧史杭灌区 2005 年水资源配置的实践与思考[J]. 江淮水利科技, 2006(1): 33-34.
- [18] 王小飞, 付湘, 黄俊. 溧史杭灌区水资源优化配置研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(11): 48-50.
- [19] 万义周. 谈新形势下溧史杭灌区供水调度措施[C]//中国科学技术协会. 淮河流域综合治理与开发科技论坛论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 2010: 327-330.
- [20] 梁灿忠. 关于溧史杭灌区水资源开发利用的探讨[J]. 治淮, 1999(4): 3-5.
- [21] 查德钊, 胡振福. 溧史杭灌区水资源战略思考[J]. 水利水电技术, 2001(5): 4-6.
- [22] 檀祥云. 浅议溧史杭灌区水资源可持续发展利用[C]//中国水利学会. 中国水利学会 2013 学术年会论文集-51 水资源与水生态. 北京: 中国水利水电出版社, 2013: 21-25.
- [23] 查德钊. 溧史杭灌区水资源优化配置与管理问题的探讨[C]//中国水利学会. 水资源优化配置与可持续发展学术研讨会论文选编. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 48-51.
- [24] 黄义德. 溧史杭灌区水资源优化配置的研究[J]. 安徽农业科学(14): 3554-3557.
- [25] 刘红亮. 灌区水资源优化配置与可持续发展评价研究[D]. 南京: 河海大学, 2002.
- [26] 陈香朋. 溧史杭灌区多水源工程联合调度方案优选[J]. 江淮水利科技, 2017(3): 15-17.
- [27] 查德钊, 胡振福. 溧史杭灌区水资源战略思考[J]. 水利水电技术, 2001, 32(5): 4-6.
- [28] 桑学锋, 赵勇, 翟正丽, 等. 水资源通用配置与模拟软件 GWAS 使用手册与实例教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [29] 桑学锋, 王浩, 王建华, 等. 水资源综合模拟与调配模型 WAS (I): 模型原理与构建[J]. 水利学报, 2018, 49(12): 1451-1459.
- [30] 桑学锋, 赵勇, 翟正丽, 等. 水资源综合模拟与调配模型 WAS (I): 应用[J]. 水利学报, 2019, 50(2): 201-208.
- [31] 常奂宇. WAS 模型研发改进与京津冀水资源配置应用[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2019.

(责任编辑 王海锋)