

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.02.009

沙颍河流域水资源配置思路与计算模型

田进宽¹, 郭佳航², 左其亭^{2,3}, 魏钰洁¹, 雪刚¹

(1. 河南省沙颍河流域管理局, 河南 漯河 462000; 2. 郑州大学水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001;
3. 河南省水循环模拟与水环境保护国际联合实验室, 河南 郑州 450001)

摘要:针对沙颍河流域水资源供需矛盾日益突出问题, 根据沙颍河实际情况, 提出了沙颍河流域水资源配置原则及流程, 基于 MIKE BASIN 软件建立了沙颍河流域水资源配置模型, 利用该模型对 2015—2016 年沙颍河流域河南段进行水资源配置计算。结果表明: 水资源配置前, 在生态流量保证率为 100% 的情况下, 除中牟断面以上区间, 其他区间均存在不同程度的缺水情况; 根据模型水量配置结果, 从颍河等处向郑州、开封等缺水城市调水的方案, 可缓解流域河南段整体缺水状况, 说明该模型可有效地进行水资源配置。

关键词:水资源配置; MIKE BASIN 软件; 生态流量; 缺水量; 沙颍河流域

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)02-0062-06

Thoughts and calculation model for water resources allocation in Shaying River Basin // TIAN Jinkuan¹, GUO Jiahang², ZUO Qiting^{2,3}, WEI Yujie¹, XUE Gang¹ (1. Shaying River Basin Administration in Henan Province, Luohe 462000, China; 2. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Henan International Joint Laboratory of Water Cycle Simulation and Environmental Protection, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In view of the increasingly prominent contradiction between supply and demand of water resources in the Shaying River Basin, according to the actual situation of the Shaying River, the principle and process of the water resources allocation in the Shaying River Basin are proposed, and the water resources allocation model is established based on MIKE BASIN software. The model is applied to water resources allocation in Henan section of the Shaying River Basin from 2015 to 2016. The calculation results show that under the ecological flow guarantee rate of 100%, except the upstream area of the Zhongmo control section, there are different degrees of water shortage in the ranges between other control sections before water resources allocation; according to the results of water resources allocation with the model, the scheme of water transfer from the Yinghe River and other rivers and reservoirs to Zhengzhou City, Kaifeng City, and other water-deficient cities can reduce the degree of water shortage in Henan section of the Shaying River Basin, demonstrating that the model is effective for water resources allocation.

Key words: water resources allocation; MIKE BASIN software; ecological flow; water shortage; Shaying River Basin

我国水资源时空分布极不均衡, 部分地区存在水资源短缺现象, 严重制约了社会发展规模^[1]。合理配置水资源, 实施水资源调度可以有效促进水资源可持续利用, 对于缺水地区, 进行流域水资源配置, 制定水资源配置方案, 可以提高水资源利用效率, 有效缓解地区缺水状态, 提高地区发展水平^[2]。

关于水资源优化配置研究, 都金康等^[3]提出了水库群洪水调度模型, 分析下泄流量与控制断面洪

量关系, 采用逐次优化算法研究洪水调度问题; Read 等^[4]提出了基于经济学的权力指数分配法, 对里海地区的水资源优化调配问题进行分析, 得出不同的分配方案; 郭玉雪等^[5]基于多种算法求解典型来水条件下的多目标优化模型, 并提出湖泊群联合优化进行水量分配; 姬志军等^[6]提出了基于动态互馈模拟的半分布式水资源综合模型, 对水资源系统单元进行动态互馈分析, 并对水资源进行配置; 马立亚等^[7]针对汉江流域调度对象多、调度规则复杂的

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC3200201); 河南省水利科技攻关计划项目(GG201816)

作者简介: 田进宽(1966—), 男, 高级工程师, 主要从事水利工程研究。E-mail: 13939572036@163.com

通信作者: 左其亭(1967—), 男, 教授, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

问题,建立了汉江流域引调水工程及水库统一调度模型,将汉江流域概化为多个模块组成的水资源系统,实现水资源调度配置目标;吴云等^[8]针对供水区发电、灌溉等问题,建立了水资源优化配置模型,利用多目标猫群算法研究供水区水资源分配的问题。虽然上述研究均对流域或水库水资源进行配置,但关于水资源配置的理论研究还不够深入,相关研究较少。沙颍河是河南省粮食主产区重要的灌溉用水来源,同时兼顾几个地市的生活用水^[9],但是沙颍河流域处于北温带向亚热带过渡区,属大陆性气候,流域内降水时空差异性显著,流域内部分河道水库存在水量盈余,而郑州等地市存在用水量短缺问题。因此,亟须制定并实施水资源配置方案,以系统协调各地区之间的用水需求。

1 研究区概况

沙颍河流域位于北纬 $32^{\circ}29'$ ~ $34^{\circ}57'$ 、东经 $111^{\circ}56'$ ~ $116^{\circ}31'$ 之间,流域面积 $39\,075.3\text{ km}^2$ ^[10],流域近 90% 位于河南省,沙颍河流域河南段范围包括郑州市、开封市等 9 个省辖市和河南省直管县级市汝州市,如图 1 所示。沙颍河流域多年平均降雨量 760 mm,年内分配很不均匀,呈明显的季节性,丰枯变化显著^[11],汛期降水量约占全年的 60%,旱涝灾害时有发生,对农业生产和社会经济的发展产生负面影响^[12]。沙颍河流域内有北汝河、贾鲁河、颍河、汾泉河等支流,多年平均地表水资源量为 101.59 亿 m^3 ,多年平均用水量 74.09 亿 m^3 。沙颍河流域人类活动强烈,干流存在严重的水质污染,造成水质性缺水等问题^[13]。

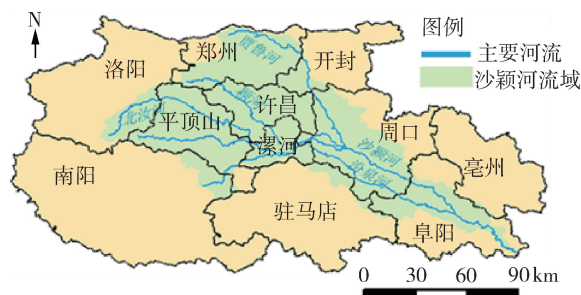


图1 沙颍河流域概况

Fig.1 Overview of Shaying River Basin

2 沙颍河流域水资源配置原则和流程

2.1 水资源配置原则

a. 流域水资源配置要明确水资源总量不变,为流域水资源配置确定总体水量约束。沙颍河流域人类活动强度大,对水环境影响显著,进行水资源配置时要充分考虑流域和区域水资源承载能力,严格控

制取水总量,实现水资源的可持续利用。

b. 沙颍河流域水量受到气候影响,每年流量大小不同,需根据来水丰枯调节水量。根据预报来水,按照同比例丰增枯减原则,制定水资源配置方案。在实时分配中,应优先考虑城乡居民生活用水,其他用水应根据沙颍河实际来水量按比例进行调整。

c. 水资源配置应保证沙颍河流域生态安全,服从防洪原则。沙颍河流域降水年内、年际变化大,出现季节性干旱和洪水,水资源配置要保障防洪安全,确保分配的水资源控制在水利设施的承受范围之内,严禁洪水破坏当地生态条件;水库汛期水位不得高于防洪限制水位,汛期过后,逐步抬高蓄水水位,用于农田灌溉等。

d. 水资源分配以不损害河流生态环境为前提。在保障生态安全的前提下,进行沙颍河流域水资源调度配置,缓解沙颍河流域水质问题,努力提高水资源利用效率,实现水资源合理调配。

e. 水资源配置要保障流域社会经济发展,促进全流域均衡发展。水资源配置要公平合理,兼顾上下游、左右岸的实际情况,充分考虑各行政区域工业和农业发展状况、水资源条件和供用水现状、发展水平等,从实际用水需求出发,最终实现水资源的合理配置。

2.2 水资源配置流程

a. 基本资料收集整理。收集沙颍河流域社会经济、水文气象、水资源开发利用、用水量控制目标、主要水库调度运行方式、来水预报、大型水库调蓄情况、各地市用水量等基础资料,进行准确性、合理性分析。

b. 主要控制断面及水库来水分析。为实现水资源合理配置,保证生态安全,统筹兼顾控制断面上下游用水需求,根据水利工程及水文站分布情况,合理确定流域内控制断面,根据收集到的流域来水预报信息和控制断面多年平均天然月径流量过程,考虑上下游断面关系,分析计算时段内各区间月径流过程。

c. 各控制断面缺水量计算。根据各地市沙颍河流域用水量,各用水行业用水消耗率,计算各地市用水消耗量,将其分解到相应控制断面区间。

d. 水量分配模拟。根据时段内来水量过程、用水量计划等数据,遵循水库调度和沙颍河流域水资源配置原则,利用软件模拟水量调度配置过程。

e. 水量配置方案制定。根据模拟水量配置结果,为各用水对象制定水量调度配置方案,分析水资源配置方案的有效性、合理性。

3 沙颍河流域水资源配置计算方法

本文利用 MIKE BASIN 软件,依据沙颍河流域水资源配置原则,建立水资源配置模型,考虑取水优先顺序及河道生态流量等因素,对流域内各种可利用水源按照取水优先顺序进行用水户水量分配研究,实现水资源合理分配。

MIKE BASIN 软件是对流域或区域不同时间尺度和空间尺度水资源进行综合分析与管理工具,主要通过构建数学模型解决产汇流计算、水资源供需分析、污染物评价分析等具体问题^[14-15]。MIKE BASIN 软件包含对水库优化调度,以及对农业灌溉、城市工业和生活用水进行计划调配等功能模块,可以解决流域缺水地区以优化方式在不同用水者之间进行水资源配置等问题^[16-17]。

水资源配置模型主要包括河网、集水区域、供水户、用水户和水库等要素,通过 MIKE BASIN 软件的内置操作将各个要素联系起来^[18]。构建水资源配置模型包括数字流域处理、计算区域划分、水库模拟、用水户计算和供水计算^[16,19]等步骤,各计算分区间的水资源量按河段进行上下游传递,在模型中通过河道将各分区进行连接。具体步骤如下:

步骤 1 数字流域构建。根据数字高程模型、河流要素、水文气象观测资料以及土地利用分类等数据建立沙颍河流域河网模型。

步骤 2 划分计算区域。利用 MIKE BASIN 软件的两个功能——“河流追踪”与“流域描述”进行分区计算,将沙颍河流域河南段划分成 9 个计算分区,计算区域共构建 10 个用水户、5 个水库。

步骤 3 水库模拟。对水库属性参数资料进行统计,对各个水库进行运行规则的模拟分析,模拟水库运行。

步骤 4 设立水资源配置模型运行规则。沙颍河流域内农业用水量大,因此,本文所构建的模型用水户分为农业用水类型和其他用水类型。模型基于月尺度划分计算时段,遵循“就近配置”的原则,优先配置给居民生活用水,其次配置给煤电等重要工业,最后配置给农业。

步骤 5 设置用水户的需水量。直接从河道取水以及由水库供水是沙颍河流域的主要供水方式,因此,在建立的水资源配置模型中把河道设定为直接取水点,在取水点和用水户之间建立供需水关系时间序列。用水时间序列即为单位时间段内用水户的需水量,供水时间序列即为单位时间段内水库及河道内可供给用水户的水量。

步骤 6 水资源配置模型构建。根据供水节点

和用水节点之间的供需关系,构建适用于水资源配置的网络图,并构建沙颍河流域河南段的水资源配置模型,见图 2。

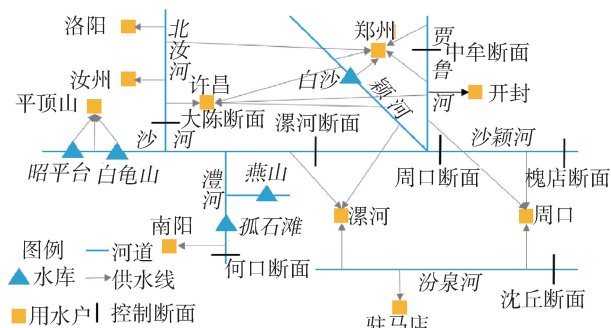


图 2 沙颍河流域河南段水资源配置概化图

Fig. 2 Generalized map of water resources allocation in Henan section of Shaying River Basin

4 结果与分析

根据沙颍河流域水资源配置流程,本文以 2015—2016 年为例对水资源配置模型进行验证,2015—2016 年流域相关数据齐全,且流域降水量为 743 mm,与多年平均降水量相近,具有良好的代表性。主要数据涉及沙颍河流域各地市供水量、用水量、降水量、水库库容等。供水量、用水量数据来源于《河南省水资源公报》。流域降水量、各水库库容等数据来自政府网站和沙颍河流域管理局资料。

4.1 来水量分析

本文使用单因素法^[20]预报沙颍河流域的来水过程。收集 2015 年 11 月至 2016 年 10 月沙颍河各水文站、降雨站观测资料,根据沙颍河实际降雨和径流过程分析其变化趋势,推算 2015 年 11 月至 2016 年 10 月各控制断面的来水趋势,预测沙颍河流域的来水过程。2015 年 11 月至 2016 年 10 月逐月天然径流量过程见表 1,其中,白龟山水库—周口断面的径流量为白龟山水库到周口断面、孤石滩水库到周口断面和燕山水库到周口断面的径流量之和;燕山水库—何口断面的径流量为孤石滩水库到何口断面和燕山水库到何口断面的径流量之和。可见,各区间在汛期 7—10 月径流量较多,占比达到全年的 60% 以上,其中,白沙水库—周口断面年径流量最大,燕山水库—何口断面来水最少。

4.2 用水量统计

水资源配置方案考虑的水库一般有供水对象和可进行调度的大中型水库。沙颍河流域现有大型调蓄水库 5 座,分别为白沙水库、昭平台水库、白龟山水库、孤石滩水库和燕山水库,供水行政区为郑州市

表 1 2015 年 11 月至 2016 年 10 月各区间天然径流量

单位:万 m³

Table 1 Natural runoff of different ranges from November 2015 to October 2016

unit: 10⁴ m³

时间	中牟断面— 周口断面	白沙水库— 周口断面	昭平台水库— 白龟山水库	白龟山水库— 周口断面	燕山水库— 何口断面	周口断面— 槐店断面
2015 年 11 月	864	294	904	401	367	729
2015 年 12 月	592	729	998	395	348	542
2016 年 1 月	434	404	164	114	80	373
2016 年 2 月	616	97	240	77	25	379
2016 年 3 月	844	70	399	48	26	386
2016 年 4 月	988	258	206	213	185	505
2016 年 5 月	880	68	302	397	364	418
2016 年 6 月	1 876	3 186	3 626	569	1 260	2 076
2016 年 7 月	6 706	11 662	7 322	8 666	4 242	6 629
2016 年 8 月	7 580	10 555	6 335	11 581	4 698	6 199
2016 年 9 月	5 106	6 152	4 476	7 607	2 420	3 545
2016 年 10 月	3 094	4 675	2 250	6 728	1 466	2 642

等 9 个地市及省直管市汝州市。5 座大型水库中,孤石滩水库由于来水量偏少,2015 年 11 月至 2016 年 5 月基本没有放水灌溉,2016 年 6—10 月计划用水量也为 0;燕山水库由于运行时间较短、供水配套工程设施不到位,且近几年来水偏少,暂时没有供水用户;白龟山、白沙及昭平台水库有供水用户,因此,本文仅考虑这 3 座水库参与水资源调度。根据水库多年平均兴利调度计划得到的 2015 年 11 月至 2016 年 5 月各水库调度水量及流域内各地市的计划用水量详见表 2。

4.3 各控制断面缺水量计算

按照《水资源规划规范》,综合考虑干支流、上下游控制断面之间的平衡关系,贾鲁河、颍河上游的控制断面最小生态下泄水量按多年平均天然径流量的 6% 计算,北汝河、沙河、澧河的控制断面最小生态下泄水量按多年平均天然径流量的 5.5% 计算,将各地市计划用水量分配到断面区间上,得出各控制断面区间缺水情况。在保证河道生态流量的前提

下,模拟各断面可供水量,发现旱季 11 月至次年 5 月部分断面区间出现缺水情况;在满足各城市用水和河道生态流量要求下,汛期会有大量的水量盈余。各断面区间全年情况见表 3,中牟断面以上区域对应的供水区域为郑州市部分地区,2015 年 11 月至 2016 年 10 月中牟断面以上河段下泄水量大于最小生态下泄水量,在控制断面最小生态流量保证率为 100% 时,其对应的供水区域不存在缺水情况。其余断面区间在控制断面最小生态流量保证率为 100% 时,供水能力有限,其对应的供水地区存在缺水情况。

4.4 配置方案计算

根据控制断面来水量过程、下泄水量、水库调蓄情况和各用水对象用水量,利用水资源配置模型制定水量分配计划。2015 年 11 月至 2016 年 5 月在保证河道生态流量的同时,可以从颍河向郑州市调水,从贾鲁河向开封、许昌市区调水;2015 年 11 月至 2016 年 5 月平顶山市从昭平台水库引水进行农业灌

表 2 2015 年 11 月至 2016 年 10 月各地市计划用水量和各水库调度水量

单位:万 m³

Table 2 Planned water consumption of each city and water resources dispatching of different reservoirs from November 2015 to October 2016

unit: 10⁴ m³

时间	用户计划用水量										水库调度水量		
	郑州	开封	洛阳	平顶山	汝州	许昌	漯河	南阳	周口	驻马店	白龟山	白沙	昭平台
2015 年 11 月	271	252	180	2 106	435	1 501	1 360	43	2 950	120	1 035	110	263
2015 年 12 月	349	252	180	2 106	435	1 459	1 360	243	2 950	120	993	142	261
2016 年 1 月	274	252	180	2 106	435	1 547	1 360	243	2 950	120	1 016	142	188
2016 年 2 月	257	77	180	2 106	435	1 646	1 360	143	2 950	0	1 078	129	103
2016 年 3 月	933	252	480	2 106	435	2 682	1 100	244	2 950	120	1 124	145	127
2016 年 4 月	1 213	77	480	2 226	435	3 108	1 400	45	3 350	0	1 122	149	111
2016 年 5 月	1 367	252	380	2 226	435	1 445	1 760	46	3 350	120	1 331	159	134
2016 年 6 月	1 361	77	250	2 226	435	3 339	1 880	248	3 350	0	1 703	164	250
2016 年 7 月	1 264	77	250	2 226	435	2 493	1 460	348	3 350	0	1 650	170	250
2016 年 8 月	1 263	77	180	2 226	435	1 695	1 410	348	3 350	0	1 650	170	250
2016 年 9 月	1 357	77	180	2 226	435	1 498	1 260	45	3 350	0	1 453	164	250
2016 年 10 月	1 415	77	380	2 274	435	4 372	1 760	244	3 350	0	1 050	170	250

表3 水资源配置前后各区间缺水量和下泄水量

单位:万 m³

Table 3 Water shortage and water discharge of different ranges before and after water resources allocation

unit: 10⁴ m³

区间	水资源配置前				水资源配置后				
	来水量	计划用水量	实际供水量	缺水量	上游下泄水量	引水量	实际供水量	缺水量	下泄水量
中牟断面以上	15 202	814	814	0	0	0	814	0	14 729
中牟断面—周口断面	29 580	8 092	4 548	3 544	14 729	3 544	8 092	0	35 532
颍河源头—白沙水库	9 410	7 172	5 666	1 506	0	0	5 666	1 506	1 054
白沙水库—周口断面	38 149	31 066	20 801	10 265	1 054	3 544	24 345	6 721	27 089
大陈断面以上	71 185	12 701	11 278	1 424	0	307	11 585	1 117	63 821
澧河源头—孤石滩水库	7 541	2 240	1 613	627	0	0	1 613	627	2 025
漯河断面以上	111 914	30 957	30 078	878	83 947	0	30 078	878	156 100
漯河断面—槐店断面	24 436	17 786	8 872	8 914	218 721	3 576	12 448	5 338	231 050
沈丘断面以上	41 539	22 270	15 112	7 148	0	3 576	18 698	3 572	31 565

溉,2016年2—4月从白龟山水库调水;2015年11月至2016年4月驻马店市从汾泉河引水、周口市从沙颍河引水。从颍河、贾鲁河、昭平台水库、白龟山水库、汾泉河、沙颍河等河道和水库的引水量分别为3 544万m³、3 544万m³、201万m³、106万m³、3 576万m³和3 576万m³。进行水资源配置后区间缺水情况见表3,各区间缺水情况反映至各地市后,缺水量见表4。

表4 水资源配置后各城市缺水量 单位:万 m³Table 4 Water shortage of each city after water resources allocation unit: 10⁴ m³

城市	用水申报量		供水量		缺水量
	农业	其他	农业	其他	
郑 州	3 169	8 155	2 558	7 260	1 506
开 封	870	929	870	929	0
洛 阳	1 000	2 300	1 000	2 300	0
平顶山	9 288	16 872	7 974	16 872	1 314
汝 州	2 160	3 060	1 574	3 060	586
许 昌	14 434	12 351	8 493	12 351	5 941
漯 河	6 110	11 360	5 235	11 360	875
南 阳	1 700	540	1 097	516	627
周 口	23 700	14 500	15 075	14 500	8 625
驻马店	600	0	315	0	285

4.5 合理性分析

本文依据沙颍河流域水资源配置原则和流程进行水资源配置,实现优水优用,以有限的水资源来保证居民生活和生产用水。沙颍河流域进行水资源配置后,流域整体缺水量减少,缺水量由34 306万m³减少为19 759万m³,水资源短缺情况得到有效缓解;部分控制断面缺水情况得到控制,其中,中牟断面—周口断面缺水情况减小至0,白沙水库—周口断面、大陈断面以上、漯河断面—槐店断面、沈丘断面以上等4个断面区间缺水量减少。反映到各个地市中,开封市由缺水状态改善为正常用水状态,漯河、南阳等城市生活用水得到保证,但是沙颍河流域水资源整体仍处于缺乏状态,水资源配置后,只能够保

证开封和洛阳市日常用水,其余地市仍存在少量缺水情况。未来需要采取因地制宜的节水策略,提高农业节水灌溉比例,加强工业和生活节水,促进产业升级,从根本上减少水量消耗。

5 结 语

通过分析沙颍河流域实际情况,提出了沙颍河流域水资源配置原则和流程,并以此为依据,利用MIKE BASIN软件设立分水规则,建立水资源配置模型。选取2015年11月至2016年10月数据进行水资源配置研究,得出的水资源配置方案,可使大部分地市日常生活用水得到保证,表明本文提出的水资源配置思路可以指导沙颍河流域水资源配置,未来可以通过实地调研等方式获取供水线路等详细资料,同时考虑枯水年份等情况,对沙颍河流域水资源配置过程进行更好地模拟。

参考文献:

- [1] 左其享,韩春辉,马军霞,等. 水资源空间均衡理论方法及应用研究框架[J]. 人民黄河,2019,41(10):113-118. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia, et al. Theoretical method and applied research framework of water resources spatial equilibrium[J]. Yellow River, 2019,41(10):113-118. (in Chinese))
- [2] 熊雪珍,何新玥,陈星,等. 基于改进TOPSIS法的水资源配置方案评价[J]. 水资源保护,2016,32(2):14-20. (XIONG Xuezen, HE Xinyue, CHEN Xing, et al. Evaluation on water resources allocation schemes based on improved TOPSIS[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2):14-20. (in Chinese))
- [3] 都金康,周广安. 水库群防洪调度的逐次优化方法[J]. 水科学进展,1994,5(2):134-141. (DU Jinkang, ZHOU Guangan. A recursive optimal algorithm for the operation of multireservoir flood control systems[J]. Advances in Water Science, 1994, 5(2):134-141. (in Chinese))

- [4] READ L, MADANI K, INANLOO B. Optimality versus stability in water resource allocation [J]. Journal of Environmental Management, 2014, 133: 343-354.
- [5] 郭玉雪, 张劲松, 郑在洲, 等. 南水北调东线工程江苏段多目标优化调度研究[J]. 水利学报, 2018, 49(11): 1313-1327. (GUO Yuxue, ZHAN Jinsong, ZHENG Zaizhou, et al. Study on multi-objective optimal operation of Jiangsu Section of South-to-North Water Transfer Project[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(11): 1313-1327. (in Chinese))
- [6] 姬志军, 王畅. 基于动态互馈模拟的半分布式水资源综合调度模型[J]. 水利水电技术, 2019, 50(9): 83-88. (JI Zhijun, WANG Chang. Dynamic mutual feedback simulation-based semi-distributed integrated water resources dispatching model[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(9): 83-88. (in Chinese))
- [7] 马立亚, 沈晓钧, 雷静, 等. 汉江流域引调水工程及水库统一调度模型研究[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(2): 116-122. (MA Liya, SHEN Xiaojun, LEI Jing, et al. A integrated water regulation model for water transfer projects and reservoir management of Hanjiang River Basin [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(2): 116-122. (in Chinese))
- [8] 吴云, 苏律文, 仲晓林, 等. 晋中南-长治供水区水资源优化配置模型研究[J]. 水电能源科学, 2019, 37(4): 25-28. (WU Yun, SU Lyuwen, ZHONG Xiaolin, et al. Research of water resources optimal allocation in the South of Jinzhong-Changzhi Water Supply Area [J]. Water Resources and Power, 2019, 37(4): 25-28. (in Chinese))
- [9] 郭金萍, 郭薇. 沙颍河流域季节性干旱的时空分布特征[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(6): 1046-1050. (GUO Jinping, GUO Wei. Spatial and temporal distribution of seasonal drought in Shaying River Basin [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(6): 1046-1050. (in Chinese))
- [10] 左其亭, 罗增良, 石永强, 等. 沙颍河流域主要参数与自然地理特征[J]. 水利水电技术, 2016, 47(12): 66-72. (ZUO Qiting, LUO Zengliang, SHI Yongqiang, et al. Main parameters and physiographic characteristics of Shayinghe River Basin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(12): 66-72. (in Chinese))
- [11] 武心嘉, 葛金金, 戚晓明, 等. 基于 RVA 法的沙颍河周口段水文情势评价[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(5): 71-80. (WU Xinjia, GE Jinjin, QI Xiaoming, et al. Assessment of flow regime of Zhoukou Section based on RVA method [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(5): 71-80. (in Chinese))
- [12] LUO Zengliang, ZUO Qiting, SHAO Quanxi, et al. The impact of socioeconomic system on the river system in a heavily disturbed basin [J]. Science of the Total Environment, 2019, 660: 851-864.
- [13] 高红莉, 李洪涛, 赵风兰. 沙颍河(河南段)水污染的时空分布规律[J]. 水资源保护, 2010, 26(3): 23-26. (GAO Hongli, LI Hongtao, ZHAO Fenglan. Spatial and temporal distribution of water pollution of Shaying River (Henan section) [J]. Water Resources Protection, 2010, 26(3): 23-26. (in Chinese))
- [14] 陈璇, 杨根林, 杨红卫. 基于 MIKE1 模型的秦淮河流域洪水调度方案[J]. 水电能源科学, 2019, 37(1): 70-73. (CHEN Xuan, YANG Genlin, YANG Hongwei. Flood regulation scheme in the Qinhuai River watershed using MIKE11 model [J]. Water Resources and Power, 2019, 37(1): 70-73. (in Chinese))
- [15] 李波, 曹正浩, 毛文耀, 等. 基于生态优先的渝西地区水资源配置研究[J]. 人民长江, 2017, 48(11): 7-10. (LI Bo, CAO Zhenghao, MAO Wenyao, et al. Water resources allocation of western Chongqing based on ecology priority [J]. Yangtze River, 2017, 48(11): 7-10. (in Chinese))
- [16] 孔春梅, 连泽俭. MIKE BASIN 在麻栗坝灌区水资源配置中的应用[J]. 水利经济, 2020, 38(6): 50-53. (KONG Chunmei, LIAN Zejian. Application of MIKE BASIN software in allocation of water resources in Maliba Irrigation District [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2020, 38(6): 50-53. (in Chinese))
- [17] 张旭昇, 单金红. 改进的 MIKE BASIN 在水库调节计算中的应用[J]. 人民黄河, 2019, 41(12): 55-58. (ZHANG Xusheng, SHAN Jinhong. Application of improved MIKE BASIN in reservoir regulation calculation [J]. Yellow River, 2019, 41(12): 55-58. (in Chinese))
- [18] 王旭, 袁亚男, 朱金凤, 等. 有限数据条件下基于 MIKE BASIN 的人工开挖河段独流减河水文模拟[J]. 中国农村水利水电, 2019(2): 60-66. (WANG Xu, YUAN Yanan, ZHU Jinfeng, et al. Hydrological simulation of Duliujian River on the basis of MIKE BASIN coupled with NAM [J]. China Rural Water and Hydropower, 2019(2): 60-66. (in Chinese))
- [19] 戚琳琳, 张博, 赖乔枫, 等. 基于 MIKE BASIN 的水资源合理配置方案对比分析以长吉经济圈为例[J]. 水利水电技术, 2018, 49(5): 16-24. (QI Linlin, ZHANG Bo, LAI Qiaofeng, et al. MIKE BASIN-based comparative analysis on scheme for reasonable allocation of water resources: a case of Changchun-Jilin Economic Circle [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(5): 16-24. (in Chinese))
- [20] 王富强, 霍风霖. 中长期水文预报方法研究综述[J]. 人民黄河, 2010, 32(3): 25-28. (WANG Fuqiang, HUO Fenglin. A review of medium and long term hydrological forecasting methods [J]. Yellow River, 2010, 32(3): 25-28. (in Chinese))

(收稿日期: 2020-12-14 编辑: 施业)