

斋堂水库“23·7”洪水调度分析

孙冉¹ 宋佳杰² 潘兴瑶² 申阳³ 薛志春⁴

(1 北京市水利工程管理中心 北京 100036; 2 北京市水务应急中心 北京 101117;
3 北京市永定河管理处 北京 100165; 4 北京市水科学技术研究院 北京 100048)

摘要 为分析斋堂水库的作用,以海河流域“23·7”特大洪水为背景,构建MIKE11一维水动力模型,通过模型反演、未建斋堂水库情景下的还原结果与实测对比,分析斋堂水库防洪调度过程,结果表明:山峡流域洪水反演结果的洪峰与实测过程基本一致,平均误差小于2%,雁翅以下三家店、卢沟桥洪峰误差较大,反演洪峰小于实测洪峰约30%;斋堂水库在海河“23·7”流域性特大洪水中发挥了拦蓄和错峰作用。研究成果为流域控制性水库工程的防洪调度提供技术参考。

关键词 防洪调度;模型反演;斋堂水库;永定河流域

DOI: 10.19671/j.1673-4637.2025.01.014

中图分类号 TV122

文献标志码 A

文章编号 1673-4637(2025)01-0077-05

表4 门头沟区、房山区山洪沟道洪痕面积和冲淤量计算结果

序号	山洪沟名称	洪痕面积/万m ²	淤积量(填方量)/万m ³	冲掏量(挖方量)/万m ³	所属区
1	清水河上游	295.91	115.4	111.16	门头沟区
2	刺猬河中游	176.77	9.6	314.12	房山区
3	马鞍沟下游	143.88	61.2	66.33	房山区
4	史家营沟	123.89	73.04	75.27	房山区
5	四马台沟	93.03	28.74	26.07	房山区
合计	—	287.98	592.95	833.48	—

注:表中为洪痕面积最大的前5条山洪沟。

3)门头沟区52条、房山区51条山洪沟道的洪痕面积和冲淤量计算结果显示,房山区洪痕面积大于门头沟区,而淤积量则门头沟区大于房山区;洪痕面积最大的前5条沟分别为:门头沟区的清水河上游沟道、房山区的刺猬河中游、马鞍沟下游、史家营沟及四马台沟,总淤积量、冲掏量分别为287.98万、592.95万m³,总洪痕面积为833.48万m²。

参 考 文 献

- [1] 张建云,王银堂,贺瑞敏,等.中国城市洪涝问题及成因分析[J].水科学进展,2016,27(04):485-491.
- [2] 张启义.北京房山区“23·7”特大暴雨灾害的成因及启示[J].中国防汛抗旱,2023,33(10):43-47.
- [3] 余锡平,单楷越.华北平原极端暴雨洪水事件共性机制探讨及对策建议[J].中国水利,2023(18):24-28.

- [4] 水利部.海河“23·7”洪水判定为流域性特大洪水[EB/OL].(2023-08-12)[2024-10-08].http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202308/t20230812_1678704.html.
- [5] 水利部.水利部召开海河“23·7”流域性特大洪水防御情况新闻发布会[EB/OL].(2023-08-21)[2024-10-08].http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202308/t20230821_1680175.html.
- [6] 刘家宏,梅超,王佳,等.北京市门头沟流域“23·7”特大暴雨洪水过程分析[J].中国防汛抗旱,2023,33(09):50-55.
- [7] 郑艳爽,肖千璐,尚红霞,等.2020年宁蒙河道洪水特点及冲淤变化分析[J].吉林水利,2021(07):37-40.
- [8] 邱颖,王远航,张岑,等.基于防洪安全的北京市城市河道清淤阈值研究[J].中国防汛抗旱,2021,31(06):47-51.
- [9] 袭祥海.基于DEM的河床冲淤量计算与评价[D].青岛:中国石油大学(华东),2014.
- [10] 袁伟.DEM在水库冲刷淤积分析中的应用[J].云南水力发电,2020,36(05):4.
- [11] 左婧,高原,徐丛亮.基于DEM技术的黄河口拦门沙分析[J].人民黄河,2022,44(01):4.
- [12] 汪鹤卫.水库库容淤积DEM图制作与分析[J].江淮水利科技,2022(06):29-32.
- [13] 潘安君.北京“7·21”特大暴雨山洪泥石流灾害应对与反思[J].中国减灾,2013(03):18-19.
- [14] 门头沟区档案史志馆.地理概况[EB/OL].(2023-02-11)[2024-09-28].<http://www.bjmtg.gov.cn/zjmtg/dlgk/>.
- [15] 国家测绘地理信息局.机载激光雷达数据处理技术规范:CH/T 8023—2011[S].北京:中国时代经济出版社,2011.

(责任编辑:陈建刚)

收稿日期:2024-11-12

第一作者简介:孙冉(1990—),女,高级工程师。

Analysis of flood control and allocation for Zhaitang Reservoir in Yongding River in "23·7" heavy flood of the Haihe River Basin

SUN Ran¹ SONG Jiajie² PAN Xingyao² SHEN Yang³ XUE Zhichun⁴

(1 Beijing Water Conservancy Project Management Center, Beijing 100036, China;

2 Beijing Water Emergency Center, Beijing 101117, China;

3 Beijing Yongding River Management Office, Beijing 100165, China;

4 Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China)

Abstract To analyze the function of Zhaitang Reservoir, a one-dimensional hydrodynamic model was developed based on the "23·7" catastrophic flood in the Haihe River Basin. The function of Zhaitang Reservoir in the flood control has been evaluated by comparing measured data with model inversions without this reservoir. The findings indicated that the flood peak in the mountain gorge basin obtained from the model inversion aligned closely with the measured data, with an average error of less than 2%. However, the flood peak errors for Sanjiadian and Lugouqiao downstream of Yanchi were relatively larger, with the model-predicted peak being about 30% lower than the observed flood peak. Zhaitang Reservoir played a crucial role in flood detention and peak shifting during the "23·7" flood in the Haihe River Basin. The research provides technical insights for flood control operations in reservoir-based river basin management.

Keywords flood control dispatch; model inversion; Zhaitang Reservoir; Yongding River Basin

受台风“杜苏芮”减弱低压环流和冷空气共同影响,2023年7月29日20时至8月2日7时,北京市出现特大暴雨,门头沟区平均降雨量586 mm,最大站点位于门头沟区清水1 014.5 mm,最大60 min降雨出现在门头沟区燕家台146.5 mm。斋堂水库是永定河支流清水河的重要控制性工程,对永定河干流洪水影响较大^[1]。此次降雨过程中,斋堂水库上游流域来洪量大,多项数值突破了历史记录。

极端强降雨对斋堂水库防洪功能提出了更高要求。在海河流域“23·7”特大暴雨的背景下,将雨情信息和预报成果运用到斋堂水库防洪调度^[2]中,提高水库精细化调度水平和管理水平^[3],保证了水库工程安全和流域防洪安全。同时,斋堂水库发挥了永定河上中游控制性水库的拦洪和错峰消峰作用,增加了水库防洪效益^[4]。

国内外学者已对水文、水动力模型耦合进行了大量研究与应用^[5-8],实际场景中根据流域或者水库防洪情景,选取合适的水文水动力模型,开展模拟预报和洪水演进工作^[9]。本研究选取斋堂水库下游至雁翅站为研究对象,构建水动力学模型,旨在分析斋堂水库在流域整体调度上发挥的作用,为提高水库防洪能力、促进水库防洪调度业务数字化提供技术支持。

1 研究区概况

斋堂水库位于永定河支流清水河的中下游,水库控制流域面积354 km²,占清水河流域总面积的64%,占官厅山峡流域面积的22%。清水河是永定河官厅山峡段最大的支流,上游有南北两大支流,北支发源于灵山,南支发源于百花山,两支流在塔河口汇合成清水河,主河道长35.4 km,流域面积557 km²,在青白口处汇入永定河干流。清水河为防洪河道,防洪标准为20年一遇。

斋堂水库总库容4 600万m³,防洪库容833万m³,正常蓄水位465 m,汛限水位453 m,多年平均径流量2 480万m³,100年一遇设计和1 000年一遇校核,历史最大入库流量170.6 m³/s(2016年7月20日),历史最高水位461.19 m(1997年4月21日)。水库始建于1970年,2005年完成除险加固,现主要建筑物包括主坝、副坝、溢洪道、泄洪洞和输水洞。水库主要功能为防洪和供水。斋堂水库流域及永定河干流、水文站与雨量站分布见图1。

永定河流域“23·7”特大暴雨主要集中在北京市境内官厅山峡区间,流域平均降雨量约573 mm;斋堂水库流域平均降雨量为651 mm,历时长,雨强较大,其中:官厅、斋堂水库上游降雨由7月29日13时一直持续到8月2日16时,

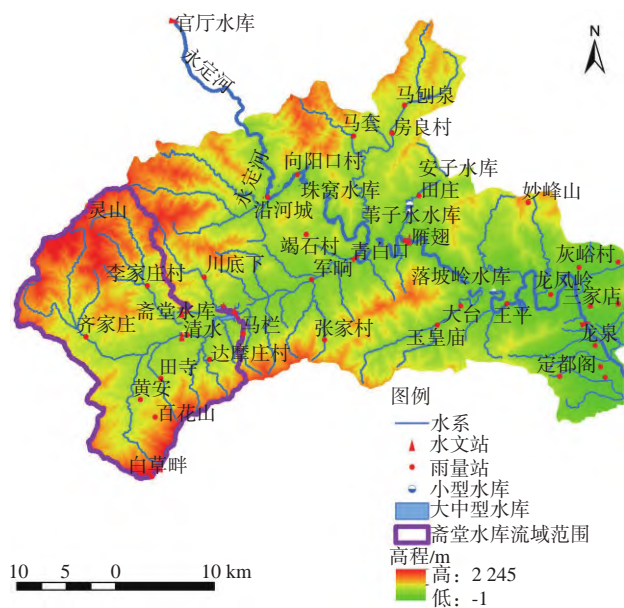


图1 斋堂水库流域示意

历时 99 h, 最大小时雨强约 61 mm, 降雨总量 714.8 mm; 清水河斋堂水库下游降雨由 7 月 29 日 22 时一直持续到 8 月 1 日 22 时, 历时约 72 h, 最大小时雨强约 62.6 mm, 降雨总量 665.6 mm。

2 研究方法

设置清水河流域无斋堂水库情景, 根据产汇流机理, 利用河道一维水动力学模型, 模拟清水河流域来水直接汇入永定河干流, 与干流洪水叠加, 形成更大流量, 与实测对比分析。

2.1 一维水动力模型反演

采用一维水动力控制模型^[10-11], 运用 DHI 开发的 MIKE11^[12] 计算软件, 建立水利计算模型。一维非恒定流动方程组见式(1)~式(2):

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial X} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial X} + Ag \frac{\partial Z}{\partial X} = u^2 \frac{\partial A}{\partial X} - g \frac{Q|Q|}{C^2 R} + q_i(u - u_0) \quad (2)$$

式中: Z 为断面平均水位, m; t 为时间, s; Q 为断面流量, m^3/s ; q 为侧向入流流量, m^3/s ; A 为断面面积, m^2 ; B 为过水断面水面宽, m; X 为沿河道的坐标, m; R 为水力半径, m; u 为断面平均流速, m/s ; u_0 为起始断面流速, m/s ; g 为重力加速度, m/s^2 ; C 为谢才系数; q_i 为单位河长上的支流流量, m^3/s 。定解条件包括水流的初始值和边界值。

水流初始条件: $t=0, Z(x, t)=Z(x, 0), Q(x, t)=Q(x, 0)$ 。

边界条件: 当 $x=0$ 时, $Z(x, t)=Z(0, t), Q(x, t)=Q(0, t)$ 。

结合边界条件, 求解离散后的线性方程, 从而获得网格中每个节点的水位或者流量过程。

2.2 模型边界

降雨过程中, 官厅水库采取全部拦蓄上游洪水的调度方式, 且官厅水库下游至青白口段的一级支流为清水河、湫河和沿河城沟, 均汇入永定河主河道, 选定以永定河河道干流 126 km(官厅水库至卢沟桥拦河闸)和清水河河道 35 km(图 1)为一维水动力模型范围, 官厅水库、斋堂水库为模型上边界, 卢沟桥防洪枢纽为模型下边界。以清水河流域降雨量、永定河干流区间降雨量及清水水文站、青白口水文站、雁翅水文站和卢沟桥水文站的测报数据为初始值, 分析斋堂水库未建情景下的各控制站流量过程。

2.3 模型率定

根据实测暴雨洪水数据率定模型参数。以雁翅水文站“23·7”实测洪峰流量, 对模型参数进行率定, 实测洪峰流量为 $1700 \text{ m}^3/\text{s}$, 模型反演洪峰流量为 $1820 \text{ m}^3/\text{s}$, 误差低于 10%, 用洪峰流量误差来进行模型模拟精度评定。从模拟结果来看, 模型率定结果可很好的应用于后续工况的模拟。

3 分析与讨论

3.1 斋堂水库调度过程

7 月 29 日 20 时, 斋堂水库水位已达到 452.94 m, 接近汛限水位(453 m)。根据气象预报成果, 29 日 20 时至 8 月 1 日 20 时, 北京市内永定河流域降雨量 308 mm(官厅水库上游流域雨量 210 mm, 官厅水库下游流域雨量 350 mm), 开展水文模型预报, 斋堂水库流域预测来水约为 4 200 万 m^3 , 水库将超过汛限水位 13.25 m。为有序、高效发挥水库调蓄作用, 同时保障永定河干流河道行洪畅通和安全, 实现流域多目标水资源调度。经多次会商研判后, 采取如下调度措施: 斋堂水库于 7 月 30 日 9 时, 开展预泄调度, 直至上游入库流量开始超过水库下泄流量, 水库开始转为泄洪, 并随着上游来水, 视水库实时情况和为下游河道错峰行洪等情况, 调整下泄流量, 最大不超过 $800 \text{ m}^3/\text{s}$; 永定河上游官厅水库采取闭闸拦蓄洪水措施, 永定河干流区间产流经由主河道下泄; 卢沟桥分洪枢纽根据来水逐级调整下泄流量, 并适时考虑启用滞洪水库。

根据降雨期间的流域洪水实时动态，多次进行调度调整，结合实际河道行洪情况执行调度指令，得到斋堂水库洪水过程，见图2。

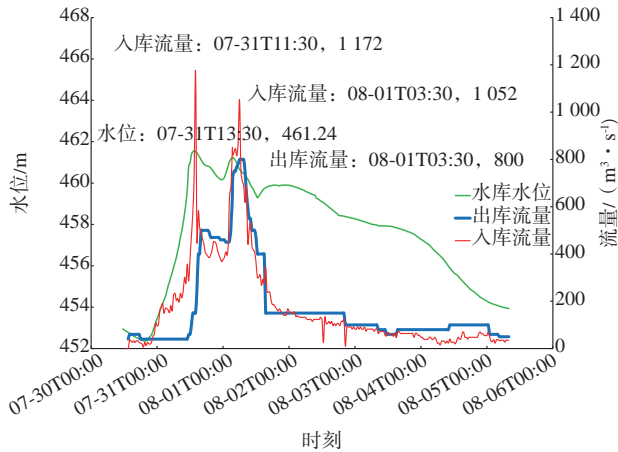


图2 斋堂水库洪水流量过程

经反推后得到：斋堂水库7月31日11时30分出现入库洪峰1172 m³/s；库水位突破历史最高，达到461.56 m(31日13时30分)，8月1日3时30分出现第二入库洪峰1052 m³/s，截至8月5日8时，共计入库洪量8596万 m³。出库流量最大800 m³/s(8月1日3时30分)，削峰率31.7%，错峰时长为16 h，此时，库水位达到第二高峰461.24 m，截至8月5日8时，共计出库6861万 m³。此次出库最大流量远超2016年“7·20”出库最大流量63.2 m³/s。库水位达到最高记录，给下游清水河以及永定河干流河道行洪争取了错峰时间，斋堂水库发挥了“洪水来前预泄、洪水来时消峰、保护下游错峰”水库防洪调度策略。

7月31日强降雨落区和30日高度重叠，加上8月1日门头沟永定河流域仍有较大降雨，导致斋堂水库入库流量出现2次峰值，出库流量过程也随之动态调整。期间，斋堂水库多次依据调度指令，调整水库防洪调度措施，精准把握入库流量和库区水位的涨落，在8月1日12时，将斋堂水库出库降至150 m³/s，错峰支撑永定河干流河道行洪，直至8月11日20时，水库水位降至汛限水位453 m。此次洪水期间，超过汛限水位时间309 h。在下游洪水退去后及时减缓下泄，发挥水库后期拦洪蓄水作用，实现防洪与水资源统筹调度。

3.2 斋堂水库调洪演算分析

根据水文预报，斋堂水库此次洪水将超过20年一遇设计，根据《2023年北京市斋堂水库防御

洪水方案》^[13]，采取分级调度原则：水库起调水位453 m，入库流量超过泄洪洞泄流能力时，控泄流量不超过496 m³/s，持续至水位降至汛限水位，改用泄洪洞平出调度，控泄不超过260 m³/s，直至洪水过程结束。调洪流量过程见图3，最大下泄400 m³/s，并持续21 h，比实际最大下泄流量减小400 m³/s；最高水位达到461.48 m(8月1日11时30分)，比实际情况低0.08 m；超过汛限水位时间为91 h，比实际情况少218 h。

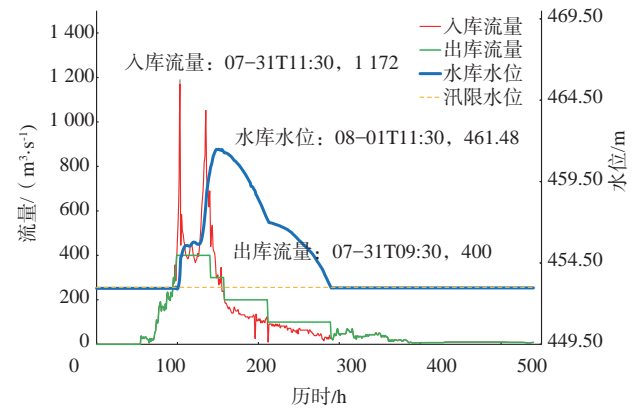


图3 斋堂水库调洪流量过程

2种调度方式的对比分析见表1，实际调度过程中受预报洪水量级较大、下游河道两侧受影响地区、永定河干流行洪及人员转移等多方因素影响，需动态且及时调整调度措施，充分发挥水库拦洪、错峰的作用。与实际应对调度方案相对比，调洪演算调度方案是在基于一定理想状态下呈现出了更好的调度效果；因此，在实际斋堂水库流域防洪调度时，是在防御洪水方案的基础上，考虑到永定河主干道上行洪能力、洪水过境时间和下游防护对象等，全面统筹和衡量，结合水工建筑物的综合利用效益、技术、社会、经济及环境等多目标，实现防洪调度最优化。

表1 2种调度方案对比分析

调度方案	最大下泄流量/(m ³ ·s ⁻¹)	最高水位/m	超汛限水位时长/h	削峰率/%	错峰时间/h	下泄时间/h
实际调度	800	461.56	309	31.7	16	24
调洪演算调度	400	461.48	91	65.9	0	21

3.3 斋堂水库未建情景还原分析

利用实测降雨成果和斋堂水库出库过程，进行模型反演和验证，得出：斋堂水库入库洪峰1130 m³/s，青白口洪峰1210 m³/s，三家店洪峰2650 m³/s，卢沟桥拦河闸3030 m³/s。

若清水河上没有修建斋堂水库,根据模型,得出:雁翅洪峰 2 210 m³/s(图 4),三家店洪峰 3 830 m³/s,卢沟桥洪峰 4 880 m³/s,与实测值相比较,见表 2。

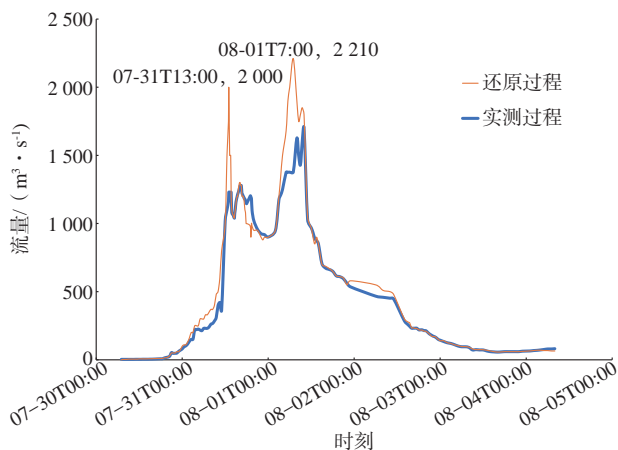


图 4 无斋堂水库情况下雁翅水文站还原流量过程

表 2 模型反演和还原结果与实测对比分析

断面名称	洪峰流量(m ³ ·s ⁻¹)			实测与反演等 洪峰相对 误差/%	实测与还原的 洪峰相对 误差/%
	实测	模型反演	模型还原		
斋堂水库	1 172	1 130	—	-3.4	—
青白口	1 210	1 210	1 890	0	36
雁翅	1 700	1 820	2 210	7.1	23
三家店	3 500	2 650	3 830	-24.3	9
卢沟桥	4 650	3 030	4 880	-34.8	5

无斋堂水库情况下,雁翅站还原过程的 1 号洪峰主要为永定河干流洪水形成,比实测第 1 个洪峰(1 280 m³/s)峰现时间提前了 3 h,洪峰流量增加 720 m³/s;还原过程的 2 号洪峰为斋堂水库最大下泄 800 m³/s 形成,比实测第 2 个洪峰(1 700 m³/s)的洪峰流量增多 510 m³/s。可见,斋堂水库在降雨应对中发挥了拦蓄和错峰下泄作用,缓解永定河干流行洪压力。山峡流域洪水反演结果的洪峰与实测过程基本一致,平均误差小于 2%,雁翅以下三家店、卢沟桥洪峰误差较大,反演洪峰小于实测洪峰约 30%。可能是由于模拟时步长较大,山区洪水汇流较快,出现一定误差,且由于模型对平原区段的下垫面刻画不足,导致洪峰在平原区偏小。

4 结论

1)斋堂水库雨前开展预泄调度,雨中滚动更新预报成果,为流域统筹调度提供支撑;雨中,

斋堂水库错峰时长 16 h,削峰率 31.7%,总超汛限水位 309 h,库水位达到最高记录,发挥了水库的防洪作用。

2)通过实际应对调度方案与调洪演算方案的对比分析,斋堂水库实际调度方案更符合永定河流域防洪目标实际,实现调度最优;即通过控制最大下泄流量 800 m³/s,动态调整下泄流量,错峰时间 16 h,支撑永定河主河道行洪。

3)一维水动力模型反演的结果、未建斋堂水库情景下的还原结果与实测对比分析,山峡流域洪水反演结果的洪峰与实测过程基本一致,平均误差小于 2%,雁翅以下三家店、卢沟桥洪峰误差较大,反演洪峰小于实测洪峰约 30%。

参 考 文 献

- [1] 刘艳,任国飞,苏慧宇,等.斋堂水库 2016 年“7·20”洪水过程分析[J].北京水务,2018(05):35-38.
- [2] 朱迪,周研来,陈华,等.考虑分级防洪目标的梯级水库汛控水位调度模型及应用[J].水利学报,2023,54(04):414-425.
- [3] 虞慧,顾小丽,吴英超.江西省七一水库洪水特点和调度分析[J].中国防汛抗旱,2024,34(02):74-78.
- [4] 汤成锋.水库预报调度模型应用研究[J].水利信息化,2023(03):52-56.
- [5] 张琦.水文-水动力模型及其在暴雨洪水预报中的应用[D].北京:清华大学,2019.
- [6] 陈雾,黄成.台州市温黄平原地区河网水文水动力模型研究及应用[J].工程技术研究,2020,5(22):217-218.
- [7] 王达桦.小流域水文水动力耦合模型的研究及应用[D].郑州:华北水利水电大学,2020.
- [8] 梅超.城市水文水动力耦合模型及其应用研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2019.
- [9] 张文文,徐军杨.水库洪水预报-调度-演进一体化模型研究应用[J].水利信息化,2024(01):89-94.
- [10] 姚力铭,朱京德,余文忠,等.浅谈一维水动力模型在水文分析计算中的应用[J].中国水运,2023(01):89-91.
- [11] 刘新庄,王齐锋,王艳艳,等.基于水动力模型的洪水风险分析研究[J].陕西水利,2021(01):78-82.
- [12] 陈璇,杨根林,杨红卫,等.基于 MIKE11 模型的秦淮河流域洪水调度方案[J].水电能源科学,2019,37(01):70-73.
- [13] 北京市永定河管理处.斋堂水库防御洪水方案[R].北京:北京市永定河管理处,2023.

(责任编辑:陈建刚)