

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20242039

# 基于新安江+马斯京根洪水预报模型的梅汛期 分水江流域应用研究

朱兆晶<sup>1</sup>,冯晓乐<sup>2</sup>,康爱卿<sup>3</sup>

(1. 北京云粒智慧科技有限公司,北京 100037; 2. 北京合源科技有限公司,北京 100086;  
3. 中国水利水电科学研究院,北京 100038)

**摘要:**针对分水江流域梅汛期(6月18~28日)洪水预报精度不足的问题,探讨了“新安江+马斯京根”耦合模型的实际应用效果及改进方法。基于流域实测降雨、水库调度数据,采用相对误差分析法评估洪峰流量、径流深度及峰现时间预报精度,结合确定性系数( $D_{DC}$ )对比实测值与预报值来验证模型的准确性,并通过修正新安江模型产汇流参数与马斯京根模型演进参数优化预报效果。结果表明,参数修正后,模型洪峰流量相对误差降至15%以内,径流深度误差小于40%,峰现时间偏差缩短至2h内,确定性系数提升至0.85以上,但强降雨集中时段预报仍存在滞后现象。修正后的耦合模型显著提升了梅汛期预报精度,可支撑水库调度决策,未来需进一步优化降雨时空分布输入与河道演进参数的动态耦合机制。

**关键词:** 分水江流域; 梅汛期; 新安江+马斯京根模型; 洪水预报; 水库调度

中图分类号: TV122

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2026)01-0001-05

## Application Research on Fenshuijiang River Basin During Plum Rain Season Based on Xin'anjiang + Muskingum Flood Forecasting Model

ZHU Zhao-jing<sup>1</sup>, FENG Xiao-le<sup>2</sup>, KANG Ai-qing<sup>3</sup>

(1. Yunli Intelligent Technology Co., Ltd., Beijing 100037, China; 2. Beijing Heyuan Technology Co., Ltd., Beijing 100086, China; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Addressing the issue of insufficient flood forecasting accuracy during the Meiyu period (June 18-28) in the Fenshuijiang River Basin, this paper investigates the practical application and improvement method of coupled "Xin'anjiang + Muskingum" hydrological model. Based on the observed rainfall and reservoir operation data, the evaluation of forecasting precision for peak discharge, runoff depth, and time-to-peak was conducted through relative error analysis. The accuracy of the model was verified by comparing the measured values with the predicted values in combination with the deterministic coefficient ( $D_{DC}$ ). The forecast effect was optimized by correcting the runoff yield and concentration parameters of the Xin'anjiang model and the flow routing parameters of the Muskingum model. The results show that after parameter adjustment, the peak discharge relative error is below 15%, runoff depth error is low 40%, time-to-peak deviation is within 2 hours, and  $D_{DC}$  values exceeds 0.85; However, there is still a lag in the forecast during the concentrated period of heavy rainfall. The correction coupled model significantly enhances flood forecasting accuracy during the Meiyu season, offering reliable support for reservoir operation decisions. In the future, it is necessary to further optimize the dynamic coupling mechanism between the input of rainfall spatio-temporal distribution and the parameters of river routing parameters.

**Key words:** Fenshuijiang River Basin; plum rain period; Xin'anjiang + Muskingum model; flood forecasting; reservoir operation

收稿日期: 2024-10-30, 修回日期: 2025-04-18, 接受日期: 2025-04-22

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3006503); 浙江省水利科技计划项目(RA2204)

作者简介: 朱兆晶(1997-),女,硕士研究生,研究方向为智慧水利、数字孪生流域及“四预”,E-mail:619589350@qq.com

通讯作者: 康爱卿(1983-),男,博士、正高级工程师,研究方向为流域综合治理信息化及水系调度,E-mail:hydmodels@163.com

## 1 概 况

分水江位于浙江省西北部,为钱塘江一级支流,发源于浙江、安徽交界的绩溪白云岭,是钱塘江干流富春江上最大的支流。分水江干流全长 174 km,其中,安徽省境内长 11.6 km,浙江省境内长 162.4 km,流域面积 3 444.3 km<sup>2</sup>。多年平均年径流量 31.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,自然落差 1 142 m。梅汛期是东亚夏季风推进过程中特有的雨季,对江淮流域的旱涝有直接影响。分水江流域位于典型的暴雨中心区,梅汛期的降水强度大且量多,对流域的洪水形成和水资源管理具有重要影响。梅汛期期间,流域受静止锋控制,暴雨多发生在 6 月下旬,常发生连续数天的大暴雨,其分布范围广,一次暴雨量在 200 mm 以上的笼罩面积可达 4×10<sup>4</sup>~5×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,历时一般 3~5 d。梅汛期期间,流域内大中型水库的防汛能力相对有限,下游区域容易受到富春江电站泄洪及钱塘江潮汐影响,导致流域内水库的泄洪窗口期较短。为此,本文基于分水江流域梅汛期实测降雨量、水库调度数据,采用相对误差分析法评估洪峰流量、径流深度及峰现时间的预报精度,利用确定性系数( $D_{DC}$ )法比较实测值与预报值,通过修正新安江模型产汇流参数与马斯京根模型演进参数优化预报效果。研究结果为梅汛期流域洪水预报提供了理论依据与方法支持,亦为未来洪水预警与水库调度的数字化优化提供了参考。

## 2 研究方法

在梅汛期期间,降水量的增加通常会导致分水江流域内江河水位显著上升,这一时期也是流域年内流量最大的阶段,易引发洪涝灾害。当前,新安江+马斯京根洪水预报模型<sup>[1-3]</sup>主要为防汛部门提供流域洪水预报服务,并强调实际预报结果的可操作性。尽管该模型已在实际中得到应用,但仍需进一步优化和完善<sup>[4]</sup>。本文采用实际降雨数据与预测降雨数据相结合的分析方法,通过对比预报值与实测值来验证模型的准确性,并通过调整模型参数对新安江+马斯京根洪水预报模型进行修正。从水情、雨情、调度情况及误差分析等多个维度深入分析洪水预报与水库调度的关系,重点关注梅汛期洪水预报与水库调度的优化。

### 2.1 相对误差分析法

洪峰流量、径流深、峰现时间采用相对误差分

析方法,其计算公式为:

$$e_r(x) = e^*(x)/x = (x - x^*)/x \quad (1)$$

式中, $e_r(x)$ 为预报值  $x^*$  的相对误差; $x$  为实测值; $x^*$  为实测值  $x$  的近似值; $e^*(x)$  为预报值  $x^*$  的绝对误差。

### 2.2 确定性系数分析法

采用确定性系数分析法对预报的结果进行评价,其计算公式为:

$$D_{DC} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_c(i) - y_o(i)]^2}{\sum_{i=1}^n [y_o(i) - \bar{y}_o]^2} \quad (2)$$

式中, $D_{DC}$  为确定性系数(取两位小数); $n$  为资料序列长度; $y_c(i)$  为预报值; $y_o(i)$  为实测值; $\bar{y}_o$  为实测值的均值。

## 3 研究结果与分析

为实现精确的防洪预报,将分水江流域划分为多个子流域,共 53 个子流域,具体子流域见图 1。

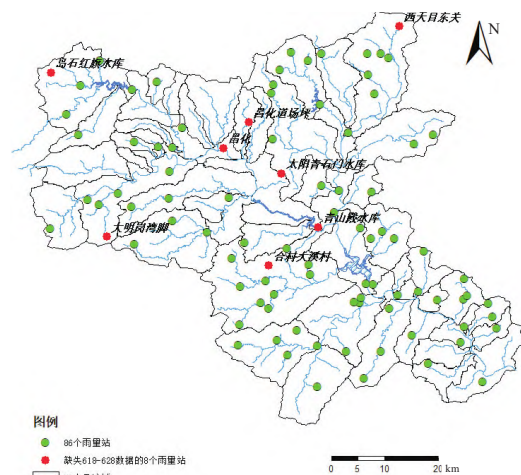


图 1 分水江流域子流域划分及雨量站分布图

Fig. 1 Sub-basin division and rainfall station distribution in the Fenshuijiang River Basin

### 3.1 分水江流域降雨信息

6 月 19 日 8:00~6 月 20 日 8:00,分水江流域的平均面降水量为 50.3 mm。其中,藻溪、竺溪、保安溪、分水江水库区间、凤联溪和九岭溪等子流域的日降水量均超过 100 mm。

### 3.2 水库降雨信息

华光潭水库最高水位于 6 月 23 日 17:00 达到 444.07 m,之后控制下泄流量稳定在 100 m<sup>3</sup>/s。青山殿水库于 6 月 20 日 6:00 水位达到 82.7 m,6 月 23 日 14:00~19:00 期间的最大下泄流量为 3 000 m<sup>3</sup>/s,随后于 6 月 20 日 5:00 水位上升至 84.34 m,并在 6 月 28 日 2:00 达到最

高水位 84.35 m。英公水库最高水位出现在 6 月 23 日 19:00,达到 168.67 m,之后控制下泄流量保持在 400 m<sup>3</sup>/s,并于 6 月 24 日 7:00 降至 280 m<sup>3</sup>/s。分水江水库最高水位于 6 月 26 日 16:00 达到 47.01 m。

### 3.3 调度分析

基于 2024 年青山殿水库实测降雨数据与预测降雨数据(图 2)<sup>[5]</sup>,根据模型预报结果,青山殿水库水位于 6 月 20 日 6:00 达到 82.7 m,并在 6 月 23 日 14:00~19:00 期间出现最大下泄流量 3 000 m<sup>3</sup>/s。水位在 6 月 20 日 5:00 升至 84.34 m,6 月 28 日 2:00 达到最高水位 84.35 m。基于水文模型对梅汛期(6 月 18~28 日)洪水过程的预报,水库及水文站的预报流量过程与实际观测流量过程趋势相符。在 6 月 26~29 日的预报结果中,由于前期降雨影响出现退水现象,从而导致实际基流可能偏大。但青山殿水库预报洪峰流量与实测值之间的误差仍在合理范围内,且流量变化趋势与实际观测一致。然而青山殿水库的预报洪量略显偏低。

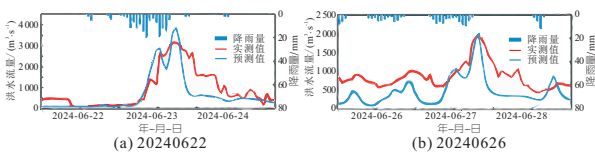


图 2 6 月 18 日~28 日青山殿水库水情预报信息  
Fig. 2 Flood forecast information of Qingshandian Reservoir from June 18 to June 28

表 1 钱塘江 2024 年第 1 号洪水(0625)洪水预报结果

Tab. 1 Flood forecast results of Qiantang River 2024 No. 1 flood (0625)

水库名称	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		洪峰流量误差/%	洪量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		洪量误差/%	预报峰现时间	实测峰现时间
	实测	模拟		实测	模拟			
华光潭水库	1 047.67	766.19	-0.27	4 690.44	2 089.65	-0.55	2024-06-23 10:00	2024-06-23 13:00
英公水库	255.56	145.38	-0.43	659.36	435.94	-0.34	2024-06-23 14:00	2024-06-23 14:00
青山殿水库	3 163.89	2 128.37	-0.33	23 505.52	13 290.02	-0.43	2024-06-23 16:00	2024-06-23 17:00
分水江水库	6 088.11	4 335.07	-0.29	35 315.59	32 726.92	-0.07	2024-06-23 18:00	2024-06-23 16:00

表 2 预报结果分析

Tab. 2 Analysis of forecast results

时间	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		洪峰流量误差/%	径流深/mm		径流深误差/%	预报峰现时间	实测峰现时间	峰现时间误差/h	D <sub>10c</sub>
	实测	模拟		实测	模拟					
6 月 19~22 日	1 486.11	2 616.14	76.04	10.80	10.71	-0.90	2024-06-19 20:00	2024-06-20 14:00	-18	-0.58
6 月 22~25 日	3 163.89	3 843.49	21.48	16.45	12.14	-26.17	2024-06-23 17:00	2024-06-23 17:00	0	0.60
6 月 26~29 日	3 163.89	3 843.49	21.48	16.45	12.14	-26.17	2024-06-23 17:00	2024-06-23 17:00	0	0.60

别为-0.90%、-26.17%、-26.17%;6 月 19~22、22~25、26~29 日峰现时间误差分别为-18、0、0 h。

### 3.4.3 实测降雨、气象降雨数据对比分析

以 6 月 23 日 19:00 气象降雨、实测降雨差异为例,图 4 为气象降雨与实测降雨面平均雨量对

比。通过对青山殿水库出库流量与入库流量(图 3)的分析,6 月 24 日左右水库的入库流量显著高于出库流量。

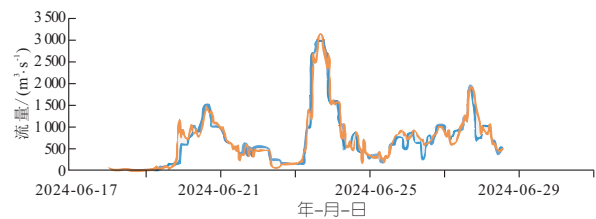


图 3 青山殿水库 6 月 18~28 日实测入库、出库流量过程图  
Fig. 3 Measured inflow and outflow process diagram of Qingshandian Reservoir from June 18 to June 28

### 3.4 误差分析

#### 3.4.1 水文模型预报结果分析

表 1 为钱塘江 2024 年第 1 号洪水(0625)预报结果。由表 1 可知,华光潭水库、英公水库、青山殿水库洪峰流量最小误差分别为 0.27、0.43、0.33,洪水预报计算在青山殿水库上游段,产流较小,预报来水总量较实际偏低,出现这种情况的原因是参数异常问题报错导致。

#### 3.4.2 实时校正模型误差分析

实时校正模型误差受实时数据上报影响,目前仅对河道水文站有明显校正效果,对于水库站点将针对水库实时数据质量进行实时校正。为分析模型预报结果,分别对 6 月 19~22、22~25、26~29 日 3 次进行比较,结果见表 2。由表 2 可知,6 月 19~22、22~25、26~29 日径流深误差分

比。由图 4 可知,预报降雨与气象降雨存在量级误差,需校核降雨数据的一致性。

#### 3.4.4 异常实测数据结果分析

昌化站数据明显缺失,2024 年 6 月 19 日 18:00 起缺失流量数据。图 5 为分水江水库气象降雨与实测降雨面平均雨量对比结果。

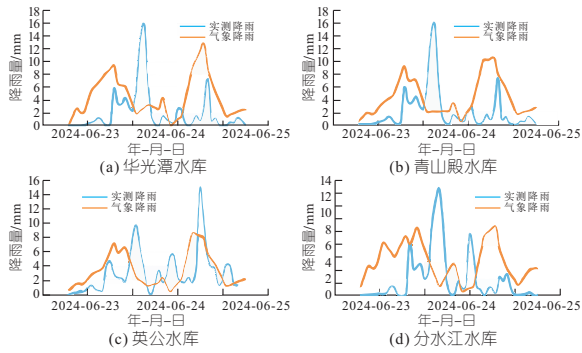


图 4 气象降雨与实测降雨面平均雨量对比

Fig. 4 Comparison of meteorological rainfall and actual measured average rainfall

### 3.5 模型参数优化后洪水预报情况

经分析,得出其中影响的最重要因素是模型参数,经调参计算后,确定新安江模型产流参数见表 3。

表 3 新安江模型产流参数

Tab. 3 Runoff parameters of the Xin'anjiang model

参数 含义	参数 符号	华光潭 一级水库	河桥	华光潭 至昌化	昌化至 青山殿	英公 水库	英公 至於潜	於潜+青 山至西乐	西乐至分 水江水库	蠡湖桥	分水江水库 至分水江站
初始土壤含水量上层	$U_M$	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
初始土壤含水量下层	$L_M$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
初始平均张力水容量	$W_M$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
透水区产流面积比例	$F_R$	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
蒸散发系数	$K$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.83	0.83	0.75	0.75	0.75	0.75
深层蒸散发系数	$C$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
不透水面积占比	$I_{MP}$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
最大土壤含水量上层	$W_{UM}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
最大土壤含水量下层	$W_{LM}$	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
最大土壤含水量深层	$W_{WM}$	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
张力水蓄水量曲线方次	$B$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
表层自由水蓄水量	$S_M$	55.83	55.83	55.83	55.83	55.83	55.83	55.83	55.83	55.83	55.83
表层自由水蓄水量曲线方次	$E_X$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
地下水日流出系数	$K_G$	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365
壤中流日流出系数	$K_1$	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365
河网蓄水消退系数	$C_S$	0.400	0.400	0.400	0.400	0.517	0.400	0.400	0.400	0.400	0.467
地下水消退系数	$C_G$	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
壤中流消退系数	$C_1$	0.565	0.565	0.565	0.565	0.565	0.565	0.565	0.565	0.565	0.565

表 4 为昌化—青山殿马斯京根模型参数值,表 5 为新安江模型产流参数与马斯京根模型参数值参数优化后结果。由表 5 可看出,参数修正后,模型洪峰流量相对误差降至 15% 以内,确定性系数提高至 0.85 以上,显著增强了预报结果的可靠性。

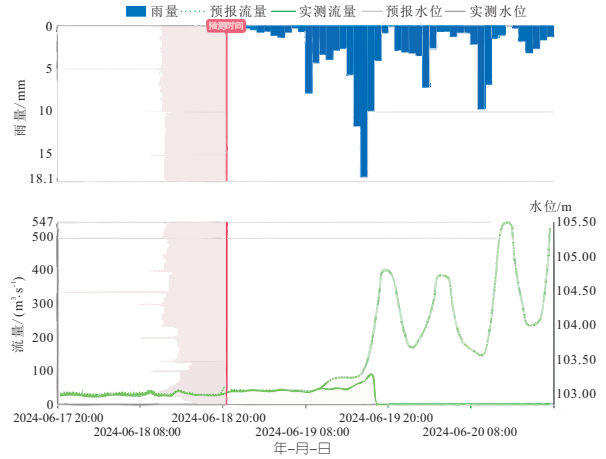


图 5 分水江水库气象降雨与实测降雨面平均雨量对比图

Fig. 5 Comparison of meteorological rainfall at Fenshuijiang Reservoir and the average rainfall over the measured rainfall area

表 4 昌化—青山殿马斯京根模型参数

Tab. 4 Parameter of Changhua-Qingshandian Muskingum model

参数含义	参数符号	参数取值
入流权重系数	$C_0$	0.26
上时段流出权重系数	$C_1$	0.48
上时段入流权重系数	$C_2$	0.26

表 5 参数优化后结果

Tab. 5 Parameter optimization results

水库	流量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )		洪峰流 量误差/%	洪量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )		洪量 误差/%	预报峰 现时间	实测峰 现时间
	实测	模拟		实测	模拟			
华光潭水库	1 047.67	1 135.38	0.08	4 690.44	3 044.85	-0.35	2024-06-23 13:00	2024-06-23 13:00
英公水库	255.56	284.82	0.11	659.36	819.82	0.24	2024-06-23 14:00	2024-06-23 14:00
青山殿水库	3 163.89	2 803.61	-0.11	23 505.52	14 243.05	-0.39	2024-06-23 16:00	2024-06-23 17:00
分水江水库	6 088.11	4 887.07	-0.20	35 315.59	33 092.05	-0.06	2024-06-23 18:00	2024-06-23 16:00

### 4 结论

a. 影响梅汛期洪水预报精度的关键因素包括关联测站数据缺失、西乐站与分水江水库流量数据的不一致性以及模型预热期不足等问题,为改进耦合模型的实际应用提供了明确方向。

b. 通过系统分析实测与预报数据的差异,验证了参数修正对提升模型性能的有效性,其中洪峰流量误差控制至 15% 以内,确定性系数提高至 0.85 以上,显著增强了预报结果的可靠性。

c. 当前模型对强降雨集中时段的滞后响应尚未完全解决,未来需重点优化数据同化机制与延长预热期,以进一步提升复杂降雨条件下的预报时效性。

#### 参考文献:

[1] 姬战生, 刘小勇, 王军, 等. 基于系统聚类的分水江站水位分类预报和区间预报[J]. 水电能源科学, 2023, 41(2): 11-14. (JI Z S, LIU X Y, WANG J, et al. Classification forecast and interval forecast for water level of Fenshuijiang station based on systematic clustering [J]. Water resources and power, 2023, 41(2): 11-14. (in Chinese))



(上接第 41 页)

#### 参考文献:

[1] 朱琴, 许伟, 田晓华. 平原地下水位降落漏斗划定标准研究[J]. 水土保持应用技术, 2023(4): 22-24. (ZHU Q, XU W, TIAN X H. Study on demarcation standard of groundwater level drop funnel in plain[J]. Technology of soil and water conservation, 2023(4): 22-24. (in Chinese))

[2] 李文鹏, 王龙凤, 杨会峰, 等. 华北平原地下水超采状况与治理对策建议[J]. 中国水利, 2020(13): 26-30. (LI W P, WANG L F, YANG H F, et al. The groundwater overexploitation status and countermeasure suggestions of the North China Plain [J]. China water resources, 2020(13): 26-30. (in Chinese))

[3] 王晓光, 郭常来, 何海洋, 等. 地下水降落漏斗分类研究[J]. 地质与资源, 2019, 28(5): 487-492. (WANG X G, GUO C L, HE H Y, et al. Study on the classification of groundwater depression cone [J]. Geology and resources, 2019, 28(5): 487-492. (in Chinese))

[4] 杨会峰, 曹文庚, 支传顺, 等. 近 40 年来华北平原地下水位演变研究及其超采治理建议[J]. 中国地质, 2021, 48(4): 1142-1155. (YANG H F, CAO W G, ZHI C S, et al. Evolution of groundwater level in the North China Plain in the past 40 years and suggestions on its overexploitation treatment[J]. Geology in China, 2021, 48(4): 1142-1155. (in Chinese))

[5] 赵伟玲, 唐立强, 李晓明, 等. 河北省地下水水位降落漏斗划分关键问题分析[J]. 中国水利, 2023(23): 34-37. (ZHAO W L, TANG L Q, LI X M,

[2] 李俊辉, 李俊峰, 马红兵, 等. 基于水安全的渭河流域数字孪生系统应用研究[J]. 水电与新能源, 2024, 38(10): 31-34. (LI J H, LI J F, MA H B, et al. Application of digital twin system in Yunshui River Basin based on water security[J]. Hydropower and new energy, 2024, 38(10): 31-34. (in Chinese))

[3] 张景帅, 胡彩虹. 基于深度学习模型的中小河流洪水模拟[J]. 水电能源科学, 2024, 42(10): 11-15. (ZHANG J S, HU C H. Flood simulation of small and medium-sized rivers based on deep learning model[J]. Water resources and power, 2024, 42(10): 11-15. (in Chinese))

[4] 胡文明, 陈钰, 周璞, 等. 基于水文水动力模型和机器学习模型耦合的河道水位预报方法[J]. 水电能源科学, 2024, 42(10): 29-32. (HU Y M, CHEN Y, ZHOU Y, et al. River water level prediction method using hydrodynamic model and machine learning model[J]. Water resources and power, 2024, 42(10): 29-32. (in Chinese))

[5] 张锦堂, 任明磊, 李京兵, 等. 基于长短时记忆网络的山区中小流域降雨径流模拟[J]. 水电能源科学, 2024, 42(8): 33-37. (ZHANG J T, REN M L, LI J B, et al. Rainfall-runoff simulation in the small and medium-sized catchments using the long short-term memory network [J]. Water resources and power, 2024, 42(8): 33-37. (in Chinese))

et al. Analysis of key issues in delineating groundwater depression cones in Hebei Province[J]. China water resources, 2023(23): 34-37. (in Chinese))

[6] 南天, 曹文庚, 任印国, 等. 京津冀平原浅层地下水漏斗演变规律与影响因素[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(1): 110-121. (NAN T, CAO W G, REN Y G, et al. Evolution and influence factors of shallow groundwater depression cone in Beijing-Tianjin-Hebei Plain [J]. South-to-north water transfers and water science & technology, 2024, 22(1): 110-121. (in Chinese))

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地下水监测工程技术标准: GB/T 51040-2023[S]. 北京: 中国计划出版社, 2024. (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Groundwater monitoring engineering technical standards: GB/T 51040-2023 [S]. Beijing: China Planning Press, 2024. (in Chinese))

[8] 王浩钰, 付国永, 李黎, 等. 一种基于 Xgboost+GWR 算法的中国地区降水量空间插值模型[J]. 水电能源科学, 2021, 39(12): 7-11. (WANG H Y, FU G Y, LI L, et al. A spatial precipitation distribution prediction model for Chinese regions based on Xgboost+GWR algorithm[J]. Water resources and power, 2021, 39(12): 7-11. (in Chinese))

[9] 李蕾. 基于 EEMD-Xgboost 组合模型的渭北流域月径流序列模拟研究[J]. 水电能源科学, 2022, 40(5): 22-25. (LI L. Simulation of monthly runoff sequences in the Weibei Basin using combined EEMD-xgboost model [J]. Water resources and power, 2022, 40(5): 22-25. (in Chinese))