DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2025.20242436

三峡水库区间洪水预报误差影响因素定量识别

赵丽平[1,2],任明磊[1,2],郭 率[3],王 刚[1,2],唐 榕[1,2],宁亚伟[1,2]

(1. 中国水利水电科学研究院,北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心(水旱灾害防御中心),北京 100038; 3. 中国长江三峡集团有限公司,湖北 宜昌 443133)

摘要:降雨误差、模型误差、水库调蓄等因素是三峡水库入库洪水预报误差的主要影响因素,误差结果统一反映在预报流量上。为定量评估各类误差影响因素对三峡水库入库洪水预报的影响程度,以寸滩武隆至三峡水库区间流域为例,构建了分布式新安江模型,并采用单变量逆向反馈寻因的方法对误差影响因素进行定量识别和分析。结果表明,模型误差对预报结果的影响相对较小,由模型误差引起的场次洪水平均径流深、洪峰相对误差分别为2.3%、4.1%;而对于预报降雨误差,在1~3 d的预见期内,其对径流深误差、洪峰误差的影响分别平均可控制在4.0%、9.0%以内。研究结果可为进一步优化三峡水库洪水预报精度提供有益的参考和技术依据。

关键词:三峡水库;洪水预报;误差影响因素;定量识别

中图分类号:P338;TV122 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7709(2025)11-0011-05

1 引言

三峡水库具有防洪、抗旱、发电、航运、供水及生态等多方面的综合效益,入库流量预报在全年均发挥着重要作用[1]。洪水预报信息是三峡水库实时调度不可或缺的核心技术支持,为确保调度决策的科学与精准性提供了坚实的基础[2]。然而,洪水预报受自身技术发展理论不足、预报模型输入、输出及其自身的不确定性、水库调蓄等多方面复杂因素影响,导致其最终预报信息含有一定的误差[2-4]。含有误差的预报势必给水库调度带来一定的风险[5]。目前针对洪水预报误差的研究,多是侧重误差分布规律的研究[6]。然而,洪水预报结果误差是多种误差因素共同作用的结果,每种误差因素在洪水预报总体误差中的影响程度是不可知的。为此,本文以三峡水库区间流域为例,构建与三峡水库现有预报方案一致的预报模型,并采用单变量逆向反馈寻因的方法,定量识别和分析每类误差因素对洪水预报结果的影响,从而为如何应对这些误差影响因素,制定有效方案提高三峡水库实时洪水预报精度提供技术支撑和重要依据。

2 研究区概况

由于三峡水库上游流域面积太大,故洪水预报误差影响因素识别研究仅选择寸滩武隆至三峡水库区间流域为例,见图1。寸滩至宜昌的三峡区间干流全长约660 km,区间流域总面积为5.56×10^4 km^2。收集2021~2023年的三峡水库区间小时尺度的降雨径流数据,其中包括寸滩、武隆实测流量数据、三峡水库实际入库流量数据及三峡水库区间的实测和预报降雨数据。从这3年

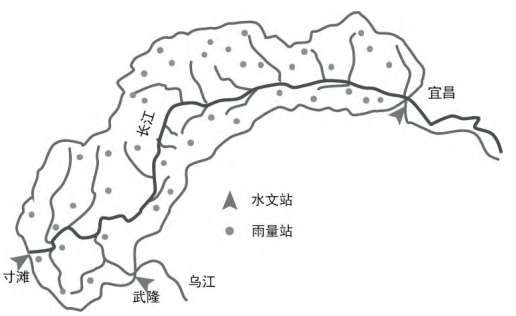


图1 研究范围

Fig. 1 Research area

收稿日期:2024-11-30,**修回日期**:2025-01-15

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3006400,2022YFC3006404);中国长江三峡集团有限公司科研项目(合同编号:0704203)

作者简介:赵丽平(1989-),女,博士、高级工程师,研究方向为水文预报及水文模拟,E-mail:zhaolp@iwhr.com

中国知网 https://www.cnki.net

的降雨径流序列中挑选出 20 场场次洪水，见表 1，利用这 20 场场次洪水进行洪水预报误差因素定量识别分析研究。

表 1 20 场场次洪水数据

Tab. 1 Data of 20 floods

序号	开始时间	结束时间	洪号(以洪峰出现时间命名)
1	2021-06-16 13:00:00	2021-06-23 10:00:00	20210619
2	2021-07-10 18:00:00	2021-07-15 15:00:00	20210713
3	2021-07-16 13:00:00	2021-07-25 04:00:00	20210718
4	2021-08-06 14:00:00	2021-08-16 05:00:00	20210811
5	2021-08-22 14:00:00	2021-09-01 05:00:00	20210829
6	2021-09-04 13:00:00	2021-09-11 09:00:00	20210906
7	2021-09-15 22:00:00	2021-09-23 09:00:00	20210919
8	2021-09-25 08:00:00	2021-10-02 11:00:00	20210929
9	2021-10-04 22:00:00	2021-10-13 02:00:00	20211007
10	2022-03-19 09:00:00	2022-03-23 23:00:00	20220321
11	2022-04-11 23:00:00	2022-04-21 05:00:00	20220418
12	2022-04-24 08:00:00	2022-05-04 05:00:00	20220428
13	2022-05-09 08:00:00	2022-05-19 05:00:00	20220517
14	2022-05-24 13:00:00	2022-06-03 05:00:00	20220531
15	2022-06-18 15:00:00	2022-06-28 05:00:00	20220627
16	2022-08-28 17:00:00	2022-09-04 16:00:00	20220902
17	2022-09-20 08:00:00	2022-09-28 21:00:00	20220922
18	2022-10-03 22:00:00	2022-10-09 23:00:00	20221006
19	2023-05-29 12:00:00	2023-06-08 05:00:00	20230603
20	2023-06-14 08:00:00	2023-06-20 12:00:00	20230618

3 研究方法

3.1 分析方案

三峡水库入库洪水预报结果受到降雨预报误差、模型误差、水库调蓄等人类活动影响，最终的误差影响结果均统一反映在预报流量上。每个误差因素对三峡水库入库洪水预报结果的影响程度是不可知的。由于三峡水库区间无大型水库，洪水预报精度主要受模型误差和降雨预报误差因素影响，因此重点分析这两个因素对三峡水库洪水预报的影响。按照单变量逆向反馈寻因的思路定量识别模型误差和降雨误差在三峡区间洪水预报误差中的占比。

(1)识别模型误差。构建三峡入库洪水预报模型，寸滩和武隆的来水采用实测流量，三峡区间降雨采用实况降雨，这样构建的三峡水库入库洪水预报模型可认为主要含有模型误差。计算入库和实测入库之间的误差可认为是模型误差所致。

(2)识别降雨误差。构建三峡入库洪水预报模型，寸滩和武隆的来水采用实测流量，三峡区间降雨采用预报降雨，这样构建的三峡水库入库洪水预报模型可认为主要含有模型误差和降雨误差。将计算入库和实测入库之间的误差减去上述模型误差，剩余误差可认为是降雨误差所致。为了比较不同预见期预报降雨对洪水误差的影响，对预见期 1、2、3 d 的预报降雨均进行分析研究。

3.2 预报模型

为真实定量评估实际工作中三峡水库区间洪水预报误差影响因素，采用的预报模型、模型参数的设置及子流域划分方案均与三峡水库现有预报方案(来源于三峡梯调中心)中一致。目前三峡水库实际洪水预报工作中其区间预报模型采用的是分布式新安江模型，因此本文构建的预报模型亦为分布式新安江模型[7-8]。模型结构包含蒸散发、产流、水源划分和汇流 4 个层次。蒸散发计算采用三层蒸散发模式，产流计算采用蓄满产流模式，水源划分计算采用三水源自由水蓄水库模式，汇流计算采用马斯京根方法。分布式新安江模型与新安江模型[9]之间的区别在于需要划分子流域，且每个子流域的模型参数各不相同。三峡区间共划分为 54 个子区间，见图 2。

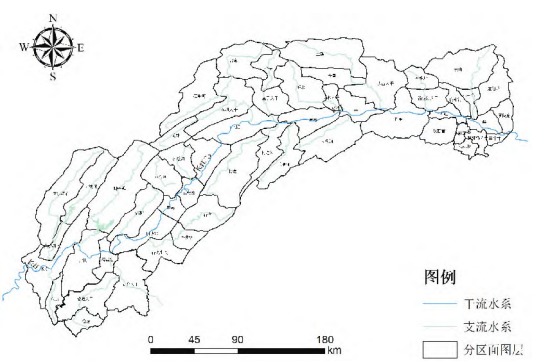


图 2 子流域划分图

Fig. 2 Sub-watershed division map

3.3 分析指标

根据我国《水文情报预报规范》(GB/T22482-2008)[10]，对场次洪水预报精度进行评定。评判要素包括洪峰、洪量、过程；评判指标包括相对误差 E_i、相对误差绝对值 $|E_i|$、相对误差的均值 $\bar{E}$、相对误差绝对值的均值 $\overline{|E|}$、确定性系数 D_C 及合格率 Q_R。其计算公式分别为：

$$E_i=[(R_i^f-R_i^{ob})/R_i^{ob}]\times 100\% \tag{1}$$

$$|E_i|=|[(R_i^f-R_i^{ob})/R_i^{ob}]\times 100\%| \tag{2}$$

$$\bar{E}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}E_i \tag{3}$$

$$\overline{|E|}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}|E_i| \tag{4}$$

$$D_C=1-\frac{\sum_{j=1}^{L}(Q_f(j)-Q_{ob}(j))^2}{\sum_{j=1}^{L}(Q_{ob}(j)-\bar{Q}_{ob})^2} \tag{5}$$

中国知网 https://www.cnki.net

$$Q_R=(n/m)\times 100\% \tag{6}$$

其中

$$\bar{Q}_{ob}=\frac{1}{L}\sum_{j=1}^{L}Q_{ob}(j) \tag{7}$$

式中,R_i^f、R_i^{ob} 分别为预报、实测要素;i 为场次洪水编号,$i=1,2,\cdots,m$;m 为场次洪水总数目;$Q_f(j)$、$Q_{ob}(j)$ 分别为预报、实测流量系列;j 为每场洪水的时间序列编号,$j=1,2,\cdots,L$;L 为每场洪水的时间系列长度;$\bar{Q}_{ob}$ 为实测流量系列的平均流量值;n 为场次洪水合格预报次数。

4　结果与分析

4.1　模型误差识别

寸滩和武隆的来水采用实测流量,三峡区间降雨采用实况降雨,代入三峡水库入库洪水预报模型,得到 20 场场次洪水的模拟精度见表 2。由表 2 可知:①径流深模拟误差。径流深相对误差平均值为−2.0%,径流深相对误差绝对值的平均值为 2.3%,大多数误差基本控制在 5%以内,且径流深相对误差绝大多数为负值,说明现有的模型存在一定的系统性偏差。②洪峰模拟误差。洪峰相对误差平均值为−2.1%,洪峰相对误差绝对值的平均值为 4.1%,大多数误差也基本控制在 5%以内。③确定性系数。平均确定性系数为 0.865,说明模型对洪水过程模拟较好。④合格率。模型模拟的 20 场场次洪水的合格率为 100%。

总体来看,模型误差在洪水预报中的误差占比较小,模型模拟精度较高。

表 2　模型误差识别

Tab. 2　Model error identification

洪号	降雨量/mm	实测径流深/mm	计算径流深/mm	径流深相对误差/%	径流深相对误差绝对值/%	实测洪峰/($m^3\cdot s^{-1}$)	计算洪峰/($m^3\cdot s^{-1}$)	洪峰相对误差/%	洪峰相对误差绝对值/%	确定性系数	合格否
20210619	56.6	185.9	180.0	−3.2	3.2	24 700	24 360	−1.4	1.4	0.935	是
20210713	30.0	250.8	238.4	−5.0	5.0	43 200	42 526	−1.6	1.6	0.900	是
20210718	45.1	403.7	390.5	−3.3	3.3	44 900	45 973	2.4	2.4	0.932	是
20210811	126.7	333.5	333.5	0.0	0.0	30 500	29 018	−4.9	4.9	0.760	是
20210829	174.1	565.8	549.5	−2.9	2.9	49 500	43 483	−12.2	12.2	0.853	是
20210906	46.4	413.8	402.5	−2.7	2.7	60 100	59 771	−0.5	0.5	0.980	是
20210919	66.7	395.5	384.5	−2.8	2.8	46 200	46 834	1.4	1.4	0.947	是
20210929	11.2	300.6	297.2	−1.1	1.1	39 500	36 330	−8.0	8.0	0.981	是
20211007	42.1	333.0	329.2	−1.1	1.1	38 500	38 894	1.0	1.0	0.984	是
20220321	37.4	63.7	62.4	−2.0	2.0	13 800	13 575	−1.6	1.6	0.729	是
20220418	54.3	188.4	185.9	−1.3	1.3	17 000	15 999	−5.9	5.9	0.651	是
20220428	67.9	219.5	209.9	−4.4	4.4	18 200	17 422	−4.3	4.3	0.633	是
20220517	40.4	252.8	248.3	−1.8	1.8	21 900	21 547	−1.6	1.6	0.898	是
20220531	45.5	229.3	217.2	−5.3	5.3	18 900	16 303	−13.7	13.7	0.553	是
20220627	95.4	351.6	350.1	−0.4	0.4	38 100	36 354	−4.6	4.6	0.977	是
20220902	44.3	123.2	125.0	1.5	1.5	15 000	15 508	3.4	3.4	0.943	是
20220922	63.3	147.4	147.0	−0.3	0.3	15 600	16 769	7.5	7.5	0.882	是
20221006	65.2	153.2	155.3	1.4	1.4	26 600	26 917	1.2	1.2	0.979	是
20230603	94.5	239.2	236.5	−1.1	1.1	20 600	20 325	−1.3	1.3	0.873	是
20230618	84.7	104.4	100.8	−3.5	3.5	21 100	21 867	3.6	3.6	0.911	是
平均值	64.6	262.8	257.2	−2.0	2.3	30 195	29 489	−2.1	4.1	0.865	20/20

4.2　降雨误差识别

寸滩和武隆的来水采用实测流量,三峡区间降雨采用不同预见期的预报降雨,代入三峡水库入库洪水预报模型,得到不同预见期的预报降雨模拟精度,见表 3。由表 3 可知:①径流深模拟误差。预见期 1、2、3 d 的平均径流深相对误差分别为−2.1%、−2.4%、−2.5%,径流深相对误差变化区间分别为[−16.8,13.1]、[−16.1,19.0]、[−19.7,6.7]。②洪峰模拟误差。预见期 1、2、3 d 的平均洪峰相对误差分别为−2.7%、−5.0%、−4.0%,洪峰相对误差变化区间分别为[−46.1,28.0]、[−47.1,14.5]、[−49.4,22.6]。③确定性系数。预见期 1、2、3 d 的平均确定性系数分别为 0.718、0.652、0.688。④合格率。预见期 1、2、3 d 的模型模拟的 20 场场次洪水的合格率分别为 65%、85%、80%。

表 3 的模型预报结果除了包含降雨误差外,还包括模型误差。为进一步识别降雨误差占比,将表 3 中的径流深相对误差(第 6 列)和洪峰相对误差(第 9 列)减去表 2 中模型引起的径流深相对误差(第 5 列)和洪峰相对误差(第 9 列),得到降雨误差的影响,对于不同预见期预报降雨对场次洪水径流深及洪峰误差的影响见表 4。由表 4 可知,预见期1、2、3 d预报降雨误差造成的径流深

中国知网　https://www.cnki.net

表 3 预见期 1、2、3 d 的预报降雨模拟精度

Tab. 3 Flood simulation accuracy with the forecast rainfall of 1, 2, 3 day forecast period

预见期/d	洪号	降雨量/mm	实测径流深/mm	计算径流深/mm	径流深相对误差/%	实测洪峰	计算洪峰	洪峰相对误差/%	确定性系数	合格否
1	20210619	56.6	185.9	175.8	−5.4	24 700	24 139	−2.3	0.901	是
	20210713	30.0	250.8	238.3	−5.0	43 200	42 526	−1.6	0.899	是
	20210718	45.1	403.7	388.6	−3.7	44 900	46 424	3.4	0.915	是
	20210811	126.7	333.5	377.3	13.1	30 500	39 033	28.0	−0.113	否
	20210829	174.1	565.8	538.8	−4.8	49 500	43 408	−12.3	0.665	否
	20210906	46.4	413.8	393.7	−4.9	60 100	53 569	−10.9	0.931	否
	20210919	66.7	395.5	400.7	1.3	46 200	56 994	23.4	0.807	否
	20210929	11.2	300.6	298.1	−0.8	39 500	36 482	−7.6	0.981	是
	20211007	42.1	333.0	323.0	−3.0	38 500	37 131	−3.6	0.969	是
	20220321	37.4	63.7	57.6	−9.6	13 800	9 949	−27.9	0.248	否
	20220418	54.3	188.4	185.9	−1.3	17 000	15 999	−5.9	0.650	是
	20220428	67.9	219.5	209.9	−4.4	18 200	17 141	−5.8	0.548	是
	20220517	40.4	252.8	248.1	−1.9	21 900	21 547	−1.6	0.894	是
	20220531	45.5	229.3	217.3	−5.2	18 900	16 318	−13.7	0.555	是
	20220627	95.4	351.6	353.4	0.5	38 100	36 071	−5.3	0.953	是
	20220902	44.3	123.2	125.1	1.5	15 000	15 508	3.4	0.942	是
	20220922	63.3	147.4	148.1	0.5	15 600	16 799	7.7	0.889	是
	20221006	65.2	153.2	157.5	2.8	26 600	27 240	2.4	0.974	是
	20230603	94.5	239.2	248.8	4.0	20 600	25 295	22.8	0.697	否
	20230618	84.7	104.4	86.9	−16.8	21 100	11 364	−46.1	0.046	否
	平均值	64.6	262.8	258.6	−2.1	30 195	29 647	−2.7	0.718	13/20
2	20210619	56.6	185.9	167.0	−10.2	24 700	22 127	−10.4	0.763	是
	20210713	30.0	250.8	236.3	−5.8	43 200	41 778	−3.3	0.876	是
	20210718	45.1	403.7	393.1	−2.6	44 900	47 039	4.8	0.904	是
	20210811	126.7	333.5	340.2	2.0	30 500	31 605	3.6	0.483	是
	20210829	174.1	565.8	537.1	−5.1	49 500	42 998	−13.1	0.592	否
	20210906	46.4	413.8	388.4	−6.1	60 100	50 404	−16.1	0.905	否
	20210919	66.7	395.5	395.4	0.0	46 200	50 948	10.3	0.909	是
	20210929	11.2	300.6	299.8	−0.3	39 500	36 848	−6.7	0.981	是
	20211007	42.1	333.0	319.7	−4.0	38 500	35 579	−7.6	0.953	是
	20220321	37.4	63.7	75.8	19.0	13 800	15 795	14.5	−1.374	是
	20220418	54.3	188.4	185.8	−1.4	17 000	15 981	−6.0	0.652	是
	20220428	67.9	219.5	207.1	−5.6	18 200	16 721	−8.1	0.418	是
	20220517	40.4	252.8	247.9	−1.9	21 900	21 536	−1.7	0.894	是
	20220531	45.5	229.3	217.5	−5.1	18 900	16 373	−13.4	0.559	是
	20220627	95.4	351.6	348.7	−0.8	38 100	34 995	−8.1	0.966	是
	20220902	44.3	123.2	124.7	1.2	15 000	15 468	3.1	0.947	是
	20220922	63.3	147.4	146.7	−0.5	15 600	16 805	7.7	0.882	是
	20221006	65.2	153.2	145.1	−5.3	26 600	24 603	−7.5	0.951	是
	20230603	94.5	239.2	239.2	0.0	20 600	21 709	5.4	0.793	是
	20230618	84.7	104.4	87.6	−16.1	21 100	11 165	−47.1	−0.009	否
	平均值	64.6	262.8	255.2	−2.4	30 195	28 524	−5.0	0.652	17/20
3	20210619	56.6	185.9	176.3	−5.2	24 700	24 426	−1.1	0.839	是
	20210713	30.0	250.8	242.0	−3.5	43 200	43 801	1.4	0.897	是
	20210718	45.1	403.7	388.6	−3.7	44 900	46 965	4.6	0.918	是
	20210811	126.7	333.5	355.8	6.7	30 500	37 381	22.6	−0.320	否
	20210829	174.1	565.8	527.1	−6.8	49 500	41 922	−15.3	0.438	否
	20210906	46.4	413.8	391.9	−5.3	60 100	53 125	−11.6	0.930	否
	20210919	66.7	395.5	404.5	2.3	46 200	48 569	5.1	0.901	是
	20210929	11.2	300.6	298.0	−0.9	39 500	36 438	−7.8	0.981	是
	20211007	42.1	333.0	318.9	−4.2	38 500	34 831	−9.5	0.948	是
	20220321	37.4	63.7	67.3	5.7	13 800	14 874	7.8	0.351	是
	20220418	54.3	188.4	189.6	0.6	17 000	16 197	−4.7	0.619	是
	20220428	67.9	219.5	207.5	−5.5	18 200	16 746	−8.0	0.477	是
	20220517	40.4	252.8	248.8	−1.6	21 900	21 544	−1.6	0.904	是
	20220531	45.5	229.3	219.1	−4.4	18 900	16 800	−11.1	0.607	是
	20220627	95.4	351.6	346.8	−1.4	38 100	34 195	−10.2	0.905	是
	20220902	44.3	123.2	124.3	0.9	15 000	15 494	3.3	0.941	是
	20220922	63.3	147.4	146.5	−0.6	15 600	16 778	7.6	0.886	是
	20221006	65.2	153.2	146.9	−4.1	26 600	24 776	−6.9	0.962	是
	20230603	94.5	239.2	242.0	1.2	20 600	21 624	5.0	0.685	是
	20230618	84.7	104.4	83.8	−19.7	21 100	10 686	−49.4	−0.113	否
	平均值	64.6	262.8	256.3	−2.5	30 195	28 859	−4.0	0.688	16/20

注：实测洪峰、计算洪峰单位均为 m^3/s。

表 4 预见期 1、2、3 d 的预报降雨误差识别

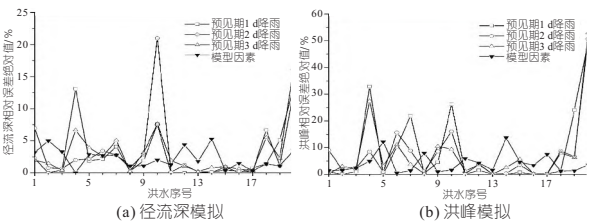
Tab. 4 Forecast rainfall error identification of 1, 2, 3 day forecast period

洪号	径流深相对误差/%			径流深相对误差绝对值/%			洪峰相对误差/%			洪峰相对误差绝对值/%		
	1 d	2 d	3 d	1 d	2 d	3 d	1 d	2 d	3 d	1 d	2 d	3 d
20210619	−2.2	−7.0	−2.0	2.2	7.0	2.0	−0.9	−9.0	0.3	0.9	9.0	0.3
20210713	0.0	−0.8	1.5	0.0	0.8	1.5	0.0	−1.7	3.0	0.0	1.7	3.0
20210718	−0.4	0.7	−0.4	0.4	0.7	0.4	1.0	2.4	2.2	1.0	2.4	2.2
20210811	13.1	2.0	6.7	13.1	2.0	6.7	32.9	8.5	27.5	32.9	8.5	27.5
20210829	−1.9	−2.2	−3.9	1.9	2.2	3.9	−0.1	−0.9	−3.1	0.1	0.9	3.1
20210906	−2.2	−3.4	−2.6	2.2	3.4	2.6	−10.4	−15.6	−11.1	10.4	15.6	11.1
20210919	4.1	2.8	5.1	4.1	2.8	5.1	22.0	8.9	3.7	22.0	8.9	3.7
20210929	0.3	0.8	0.2	0.3	0.8	0.2	0.4	1.3	0.2	0.4	1.3	0.2
20211007	−1.9	−2.9	−3.1	1.9	2.9	3.1	−4.6	−8.6	−10.5	4.6	8.6	10.5
20220321	−7.6	21.0	7.7	7.6	21.0	7.7	−26.3	16.1	9.4	26.3	16.1	9.4
20220418	0.0	−0.1	1.9	0.0	0.1	1.9	0.0	−0.1	1.2	0.0	0.1	1.2
20220428	0.0	−1.2	−1.1	0.0	1.2	1.1	−1.5	−3.8	−3.7	1.5	3.8	3.7
20220517	−0.1	−0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	−0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
20220531	0.1	0.2	0.9	0.1	0.2	0.9	0.0	0.3	2.6	0.0	0.3	2.6
20220627	0.9	−0.4	−1.0	0.9	0.4	1.0	−0.7	−3.5	−5.6	0.7	3.5	5.6
20220902	0.0	−0.3	−0.6	0.0	0.3	0.6	0.0	−0.3	−0.1	0.0	0.3	0.1
20220922	0.8	−0.2	−0.3	0.8	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
20221006	1.4	−6.7	−5.5	1.4	6.7	5.5	1.2	−8.7	−8.1	1.2	8.7	8.1
20230603	5.1	1.1	2.3	5.1	1.1	2.3	24.1	6.7	6.3	24.1	6.7	6.3
20230618	−13.3	−12.6	−16.2	13.3	12.6	16.2	−49.7	−50.7	−53.0	49.7	50.7	53.0
平均值	−0.2	−0.5	−0.5	2.8	3.3	3.2	−0.6	−2.9	−1.9	8.8	7.4	7.6

相对误差绝对值的平均值分别为 2.8%、3.3%、3.2%，径流深相对误差绝对值的变化区间分别为[0.0,13.3]、[0.1,21.0]、[0.2,16.2]；洪峰相对误差绝对值的平均值分别为 8.8%、7.4%、7.6%，洪峰相对误差绝对值的变化区间分别为[0.0,49.7]、[0.1,50.7]、[0.0,53.0]。

中国知网 https://www.cnki.net

图 3 分别为模型误差、预见期 1、2、3 d 降雨误差对每场场次洪水径流深和洪峰模拟精度的影响。由图 3 可知,模型造成的误差影响最小,预见期 1～3 d 的预报降雨误差对洪水预报造成的误差影响要比模型因素造成的误差略大,但未明显地呈现出预见期越短洪水模拟精度越高的趋势,其主要原因在于分析所用的数据量相对有限,且所涉及的洪水量级未能达到足够大的级别。



(a) 径流深模拟　　(b) 洪峰模拟

图 3　不同误差对径流深、洪峰模拟的精度影响对比

Fig. 3　Comparison of the effects of different error types on the accuracy of runoff depth and flood peak simulation

5　结论

a. 选择寸滩武隆至三峡水库区间流域为例,定量识别分析了模型误差和降雨预报误差在三峡水库入库洪水预报误差中的影响。

b. 模型误差影响最小,由模型误差导致的场次洪水平均径流深相对误差为 2.3%,大多数误差基本控制在 5%以内,且径流深相对误差绝大多数为负值,说明模型存在系统性负偏差;由模型误差导致的场次洪水平均洪峰相对误差为 4.1%,大多数误差也基本控制在 5%以内。

c. 整体来看,预见期 1～3 d 的预报降雨误差对径流深误差的影响,平均可控制在 4.0%以内,对洪峰误差的影响平均可控制在 9.0%以内。具体来说,由预见期 1 d 预报降雨误差造成的径流深和洪峰相对误差绝对值的平均值分别为 2.8%和 8.8%;预见期 2 d 预报降雨误差造成的径流深和洪峰相对误差绝对值的平均值分别为 3.3%和 7.4%;预见期 3 d 预报降雨误差造成的径流深和洪峰相对误差绝对值的平均值分别为 3.2%和 7.6%。

d. 通过定量识别三峡水库区间洪水预报误差影响因素,更加精准地明确了模型因素和预报降雨因素对洪水预报结果产生的具体影响。这有助于后续针对性地改进各误差影响因素,从而提高三峡水库入库洪水预报精度。

参考文献:

[1] 纪国良,周曼,胡腾腾,等. 一种改进的合成流量法及其在水文预报中的应用[J]. 水电能源科学,2020,38(2):36-39.

[2] 许银山,李玉荣,闵要武. 三峡水库水文气象预报不确定性及误差分布分析[J]. 人民长江,2015,46(21):27-32,54.

[3] 闫悦新,包为民. 组合预报方法在洪水预报模型中的应用[J]. 水电能源科学,2013,31(10):47-49,73.

[4] 杨兴豪,刘晓阳,赵丽平,等. 集合预报降雨信息在寸滩-三峡区间的精度评价和可利用性评估[J]. 南水北调与水利科技(中英文),2024,22(增刊 1):17-22,40.

[5] 闫宝伟,郭生练. 考虑洪水过程预报误差的水库防洪调度风险分析[J]. 水利学报,2012,43(7):803-807.

[6] 闫宝伟,康爱卿,黄凯旋,等. 洪水预报误差在河道演算中的传递分析 [J]. 水电能源科学,2015,33(7):62-65.

[7] 赵丽平,包为民,张坤. 新安江模型参数的线性化率定[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2014,44(1):301-309.

[8] 赵丽平,邢西刚,宋君,等. 分布式新安江模型在横锦水库洪水预报中的应用[J]. 中国防汛抗旱,2022,32(7):72-76.

[9] 王佩兰. 三水源新安江流域模型的应用经验[J]. 水文,1982(5):24-32.

[10] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 水文情报预报规范:GB/T 22482-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

Quantitative Identification of Influencing Factors of Flood Forecasting Error in Three Gorges Reservoir Area

ZHAO Li-ping[1,2], REN Ming-lei[1,2], GUO Shuai[3], WANG Gang[1,2], TANG Rong[1,2], NING Ya-wei[1,2]

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;
2. Research Center on Flood and Drought Disaster Prevention and Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China; 3. China Three Gorges Corporation, Yichang 443133, China)

Abstract: Rainfall error, model error, reservoir regulation and storage are the main factors affecting the flood forecasting error of the Three Gorges Reservoir. The error results are reflected in the forecast flow. In order to quantitatively evaluate the impact of various error influencing factors on the inflow flood forecasting in the Three Gorges Reservoir, this paper focused on the watershed from Cuntan Wulong to the Three Gorges Reservoir. A distributed Xin'anjiang model was established. The univariate reverse feedback method was used to quantitatively identify the error influencing factors. The results show that the model error has a relatively small impact on the prediction results. The relative errors of the average runoff depth and flood peak caused by the model error are 2.3% and 4.1%, respectively. For the rainfall forecast error, in the forecast period of 1 to 3 days, its impact on runoff depth error and flood peak error can be controlled within 4.0% and 9.0%, respectively. This study can provide useful reference and technical basis for further improving the flood forecasting accuracy of the Three Gorges Reservoir.

Key words: Three Gorges Reservoir; flood forecasting; error factors; quantitative identification

中国知网　https://www.cnki.net