

潇水流域设计洪水分析

徐幸仪¹, 鲍一凡², 盛东¹, 何怀光¹, 袁艳梅¹

¹湖南省水利水电科学研究院, 湖南 长沙

²武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年7月3日; 录用日期: 2023年8月15日; 发布日期: 2023年8月31日

摘要

针对潇水流域洪水特性选取干流七个控制站, 采用洪峰同倍比放大方法计算单站设计洪水过程线。同时运用同频率地区组成法对潇水流域的流域洪水组合进行分析。研究成果可为潇水流域涔天河水库、双牌水库防洪联合优化调度提供可靠的数据支持, 对减少洪涝灾害, 避免潇水洪水与湘江干流洪水遭遇, 有着重要现实意义。

关键词

潇水流域, 设计洪水, 洪水特性, 涔天河水库

Design Flood Analysis of Xiaoshui River Basin

Xingyi Xu¹, Yifan Bao², Dong Sheng¹, Huaiguang He¹, Yanmei Yuan¹

¹Hunan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Changsha Hunan

²School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan Hubei

Received: Jul. 3rd, 2023; accepted: Aug. 15th, 2023; published: Aug. 31st, 2023

Abstract

In response to the flood characteristics of the Xiaoshui River basin, this article selected seven control stations at the main stream and used the peak-to-peak ratio amplification method to calculate the design flood hydrographs. The same frequency region composition method was used to analyze the flood combination in the Xiaoshui River basin. The research results can provide reliable data support for the joint

作者简介: 徐幸仪(1986-), 女, 湖南常德人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水资源研究, Email: 461416807@qq.com

文章引用: 徐幸仪, 鲍一凡, 盛东, 何怀光, 袁艳梅. 潇水流域设计洪水分析[J]. 水资源研究, 2023, 12(4): 386-395.

DOI: 10.12677/jwrr.2023.124043

optimization and operation of flood control in the Centianhe and Shuangpai reservoirs, and have important practical significance in reducing flood disasters and avoiding the encounter of Xiaoshui flood and Xiangjiang main stream flood.

Keywords

Xiaoshui River Basin, Design Flood, Flood Characteristics, Centianhe Reservoir

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究区概况

潇水为湘江的主源,发源于湖南省蓝山县子良乡九嶷山脉的野狗岭南麓,蓝山县往下游至永州萍岛河段一般称为潇水,永州萍岛以下称为湘江。潇水干流全长 354 km,流域面积 12,099 km²,其中湖南境内 11,924 km²,占总流域面积的 98.55%,平均坡降 0.76‰。2022 年,潇水流域遭遇 10 次强降雨、8 次流域性洪水过程,江永县永明河、江华县冯河发生超历史洪水过程。涔天河水库出现建库以来最大入库流量 4410 m³/s,流域内部分地区遭受了严重洪涝灾害损失。潇水流域位于湘江的上游河段,潇水流域洪水不仅直接影响潇水沿岸人民的生活,同时对湘江流域的防洪影响巨大。研究潇水流域洪水,可为潇水流域水库群防洪联合优化调度提供可靠的数据支持,对减少洪涝灾害,避免潇水洪水与湘江干流洪水遭遇,有着重要现实意义[1]。

2. 洪水特性及洪峰 P-III 型频率曲线

2.1. 洪水特性分析

潇水流域洪水主要由暴雨产生,流域内雨量较充沛,洪水主要来源于暴雨。潇水流域洪水主要发生在 4~9 月,根据对流域内各水文站建站至今的实测资料统计分析,年最大洪水多发生在 4~7 月,占全年的 85%;以 5、6 月发生次数最多,5、6 月份出现年最大洪水的几率超过 55% [2]。

自五十年代以来,有关设计单位先后多次在潇水流域进行历史洪水调查与考证,调查到的主要洪水年份有:1974 年、1877 年、1906 年、1914 年、1915 年、1934 年。涔天河以上流域以 1877 年洪水为首大,1915 年洪水为次大,1934 年洪水位第三位。涔天河以下则以 1915 年洪水为首大,次大洪水沿程有变化,其中双牌以上 1914 年为次大,而以下则以 1974 年为次大,1906 年为第三位。

2.2. 汛期及其划分

根据已有的潇水流域的实测降雨和洪水资料,将每年 4 月到 9 月划分为汛期,10 月到次年 3 月为非汛期,参考相关研究和潇水流域所处的地理位置,划分汛期与非汛期进一步精准。根据对流域内各水文站建站至今的实测资料统计分析,年最大洪水多发生在 4 月至 7 月,占全年的 85%;以 5、6 月发生次数最多。

以图 1 所示老埠头站部分年份逐日流量为例:2017、2015、2013 年来水较大,多数汛期洪水发生在 4 月份之后,8 月份之前,个别年份最大洪水发生在 10 月之后。

2.3. 洪峰流量配线

部分站点已有洪峰流量设计成果,据此可直接进行 P-III 型曲线[3]参数求取,已有设计洪水成果见表 1 和表 2。

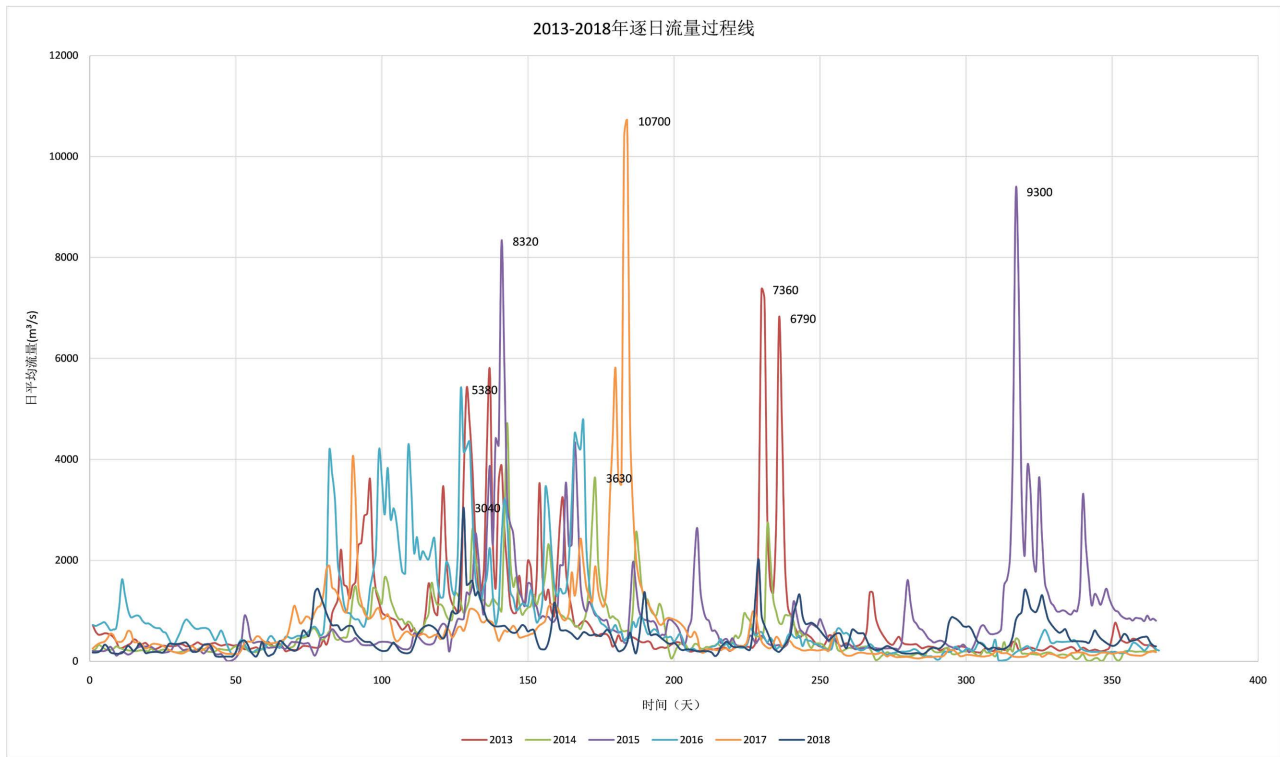


Figure 1. Daily flow discharge hydrograph of Laobutou Station from 2013 to 2018

图 1. 老埠头站 2013~2018 年逐日流量过程线

Table 1. Existing design floods results at the Xiaoshui River (Unit: m³/s)

表 1. 潇水已有设计洪水成果(单位: m³/s)

站点	1%洪峰	2%洪峰	5%洪峰	10%洪峰	20%洪峰
涔天河	/	4560	3720	3070	2410
大路铺	/	1480	1200	990	760
江华县	/	5560	4540	3750	2950
道县	/	7410	6060	5020	3950
双牌入库	12,600	11,200	9290	/	6370
老埠头	15,900	14,600	12,900	/	11,500

Table 2. Each station controlled catchment area in the Xiaoshui River (Unit: km²)

表 2. 潇水各站控制集水面积(单位: km²)

江华站	涔天河	萌渚水	大路铺	涔江区间	江华县	蚣坝河	永明河	涔道区间
2158	2466	889	612	986	3452	509	1216	3147
道县	沅水	濂溪	宁远河	涔双区间	双牌站	贤水	南津渡	老埠头
5613	943	203	2623	8133	10,594	473	12,099	21,341

无设计成果的站点按照实测径流数据配线。年最大洪峰系列的适线结果如图 2~6 所示。

3. 设计洪水

3.1. 单站设计洪水

参照《涇天河水库扩建工程任务和规模》，选取 1968 年 6 月实测洪水为全潇水流域典型洪水。涇天河入库、双牌入库、老埠头站、道县、江华、大路铺等站点有部分设计洪峰设成果，其余站点无设计成果。对于有设计成果的站点，不同频率的洪峰洪量设计值采用设计成果，对于无设计成果的站点，综合考虑控制站集水面积关系与当地实测资料排频配线成果，进行设计洪峰与设计洪量的推求。

对老埠头、南津渡、双牌入库、道县、江华县、江华站、大路铺七个控制站点的七个频率的单站设计洪水，共 49 场次，对应频率分别为 100 年一遇、50 年一遇、20 年一遇、10 年一遇、5 年一遇、3 年一遇、2 年一遇。

对于无设计成果的站点，采用临近有设计成果的站点设计值，根据测站控制面积进行放大或者缩小，获得

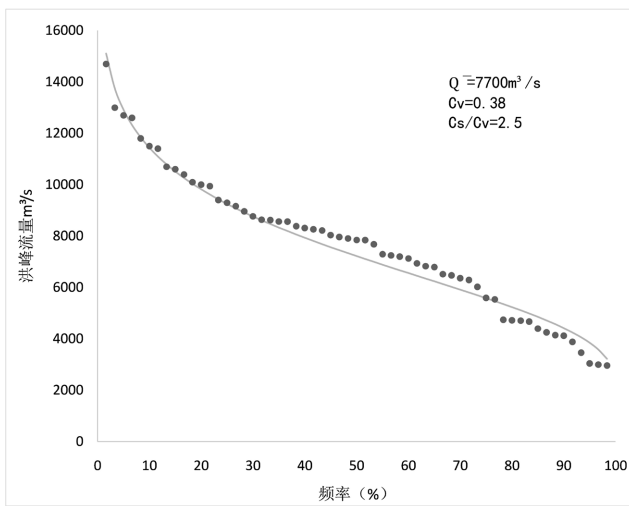


Figure 2. P-III distribution curve of annual maximum flood peak at Laobutou Station

图 2. 老埠头站年最大洪峰 P-III 型曲线

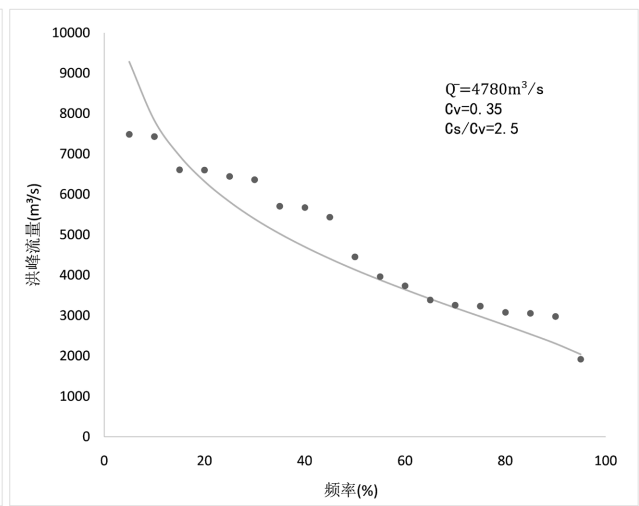


Figure 3. P-III distribution curve of annual maximum inflow peak at Shuanpai Reservoir

图 3. 双牌入库年最大洪峰 P-III 型曲线配线

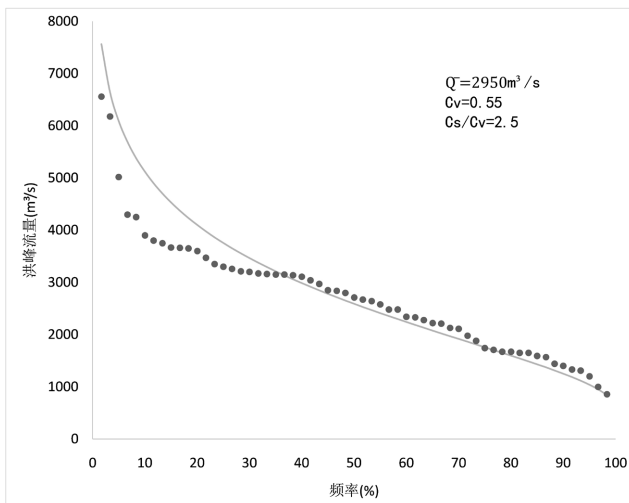


Figure 4. P-III distribution curve of annual maximum flood peak at Daoxian Station

图 4. 道县站年最大洪峰 P-III 型曲线配线

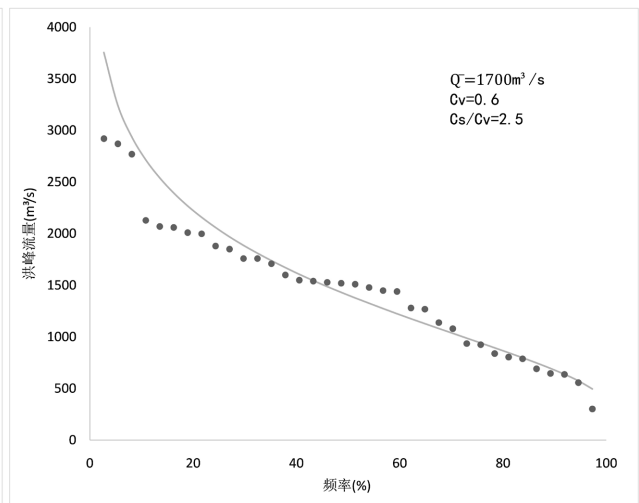


Figure 5. P-III distribution curve of annual maximum flood peak at Jianghua Station

图 5. 江华站年最大洪峰 P-III 型曲线配线

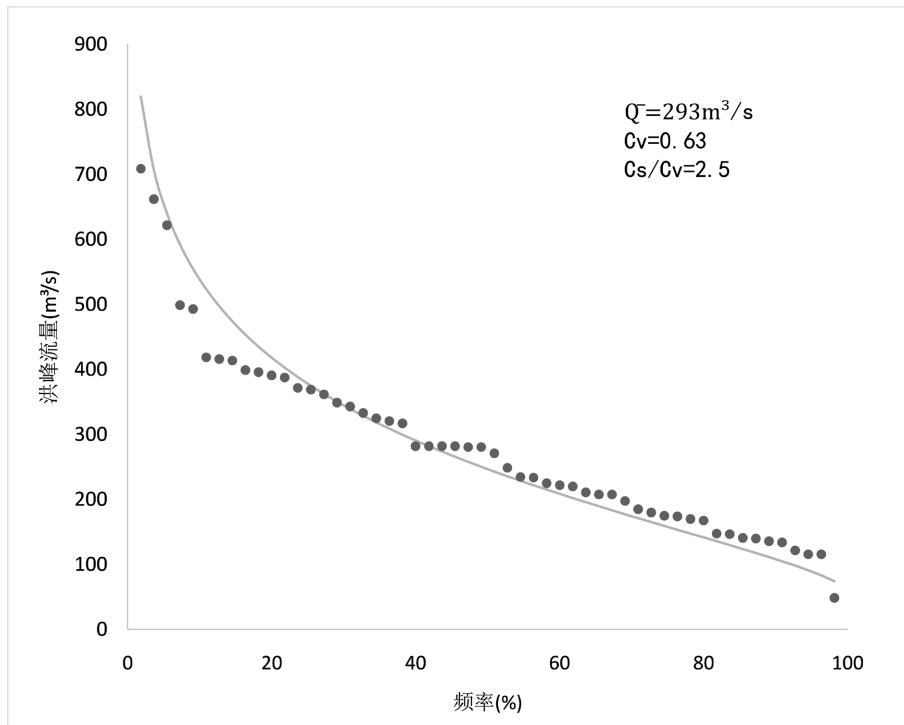


Figure 6. P-III distribution curve of annual maximum flood peak at Dalupu Station
图 6. 大路铺站年最大洪峰 P-III型曲线配线

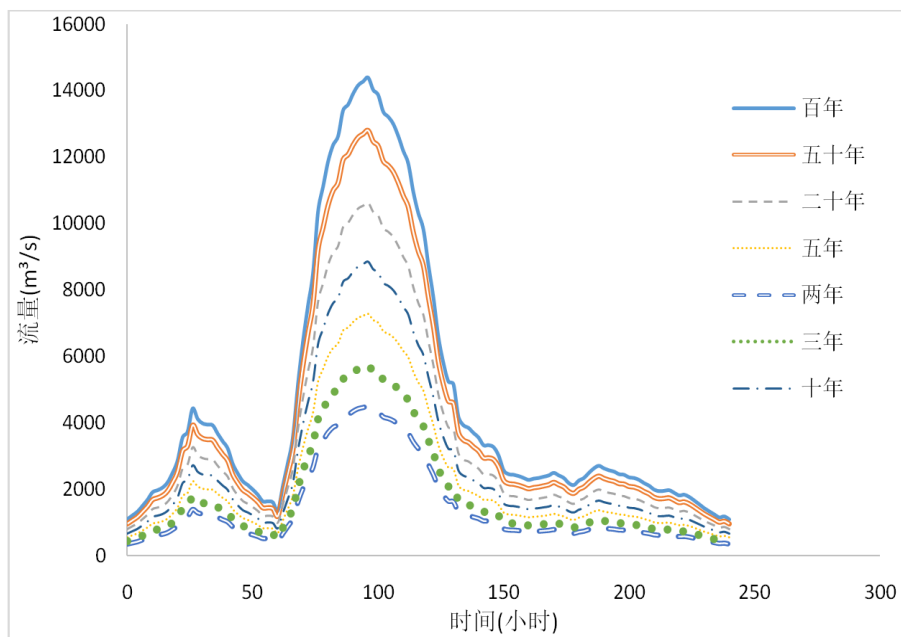


Figure 7. Design flood hydrograph of Nanjindu Station
图 7. 南津渡站设计洪水过程线

此类站点的洪峰设计值。设计考虑山区性河流，因此本项目洪水放大统一采用洪峰流量同倍比放大进行。单站设计洪水成果以南津渡站为例展示，设计洪水过程线如表 3 和图 7 所示。

设计成果汇总：

Table 3. Summary of design flood results for Nanjindu Station
表 3. 南津渡站设计洪水成果汇总

频率	1%	2%	5%	20%	50%	33.3%	10%
洪峰流量(m ³ /s)	14,390	12,790	10,610	7275	4478	5693	8850
洪量(亿 m ³)	40.240	35.765	29.669	20.343	12.522	15.919	24.748

3.2. 区间典型洪水与设计洪水

利用搬家指数法[4]，可求得两控制站之间的区间洪峰或者洪量情况。搬家指数法如下定义：搬家指数 n_p 即两个测站(控制断面)河道特征值对数之差与控制面积对数之差的比值。具体为：

1 测站和 2 测站之间的区间在 1% 频率下洪峰流量 Q 的搬家指数：

$$n_{1\%Q}(1,2) = (\log Q_{1\%1} - \log Q_{1\%2}) / (\log F_1 - \log F_2) \quad (3.1)$$

1 测站和 2 测站之间的区间在 5% 频率下最大 3 d 洪量 W_{3d} 的搬家指数：

$$n_{5\%W_3}(1,2) = (\log W_{3_{5\%1}} - \log W_{3_{5\%2}}) / (\log F_1 - \log F_2) \quad (3.2)$$

式中： n 为搬家指数，下标明确了上下测站、设计频率以及设计指标， F 为不同测站的控制集水面积。

利用搬家指数，可实现上下游两站的设计洪水推求区间设计洪水，即可以计算缺少径流资料系列支流区间的设计洪水(假设 1、2 测站之间的区间来水包括支流来水加区间来水)。

区间或者无设计资料测站设计洪峰的计算按照如下公式：

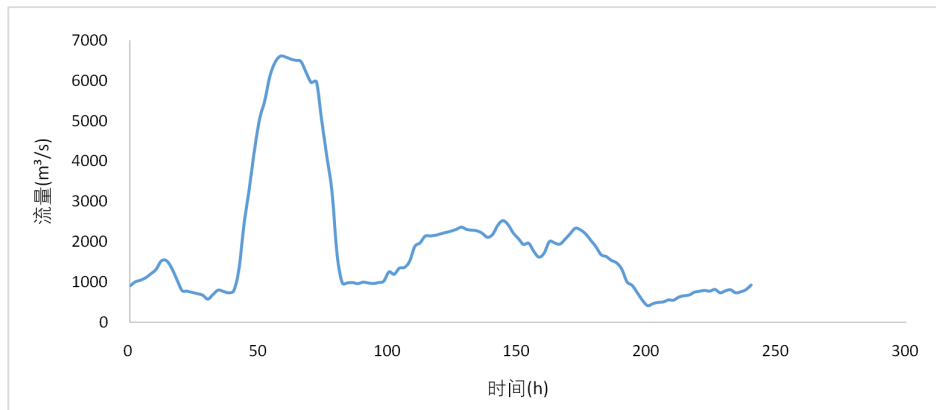


Figure 8. Typical flood hydrograph of Xiangjiang River
图 8. 湘江典型洪水过程线

$$Q_{1\%} = Q_{1\%2} \times (F/F_2)^{n_{1\%Q}(1,2)} \quad (3.3)$$

式中： $Q_{1\%}$ 为待求设计洪峰， F 为待求区间或测站的控制集水面积。

根据以上方法求得各个区间不同频率的设计洪峰，同样考虑山区型河流特性，将各个区间典型洪水过程按照洪峰同倍比放大得到各个频率的区间设计洪水过程[5]。各个区间的典型洪水过程则同样使用规定的 1968 年 6 月实测洪水作为典型过程。区间典型洪水过程以南津渡 - 老埠头区间(湘江)区间为例展示，典型洪水如图 8 所示。

3.3. 流域设计洪水

技术路线：按照设计洪水地区组成的思路，提出流域设计洪水组合方案 - 推求各区间设计洪水 - 洪水组合

方案比较 - 得出特定需求下的流域设计洪水[6]。

同时考虑河流以山区河流为主，且洪水多暴雨成因，设计中进行如下假设：单站设计洪水时段洪量符合相应频率；设计洪水的历时内包括上游涨水与下游落水的全过程；某段区间来水和此区间内支流来水概化为同一个入口汇入。潇水流域概化示意图见图 9。

1) 组合洪水分析是以相邻两控制点与其区间构成的整体为单位进行的，分析时，以下游控制断面的某一设计频率的设计洪水为基础，得到甲乙两种组合洪水。甲种洪水：上下游发生设计频率洪水、区间发生相应洪水，以上游来水为主；乙种洪水：下游与区间发生设计频率洪水，上游发生相应洪水，以区间来水为主。自上游向下游进行上述分析，总共形成 $2^5 = 32$ 种洪水组合方案。

2) 根据每种方案下区间洪水的洪量，对区间典型洪水或不同频率设计洪水按照总洪量同倍比缩放，由此得到潇水流域以下四个区域的区间来水：江华县 - 道县区间、道县 - 双牌区间、双牌 - 南津渡区间、南津渡 - 老埠头区间。这些区间设计洪水成果，应用于步骤 3 中，当发生区间来水为主时，区间设计频率洪水过程的推求。

3) 结合步骤 1)和 2)，得出不同频率下不同洪水遭遇组合方案的源头与 5 个区间来水情况。为了模拟效率和实际需求，还要人为对各个洪水组合方案进行筛选，剔除无意义方案，突出对于某些防洪保护对象极为不利的方案。由于当洪水以支流来水为主时，干流的水库调蓄作用被缩小，相应的为了保护防洪对象，对水库的调控能力需要提出更高的要求，因此选择支流来水为主的洪水模式相较于上游干流来水的模式，更具备极端性，是风险更高的洪水情景。

因此按照“下游与区间发生设计频率洪水，上游发生相应洪水”为不利的原则，筛选出具有代表性的对重点保护对象不利的组合洪水方案。

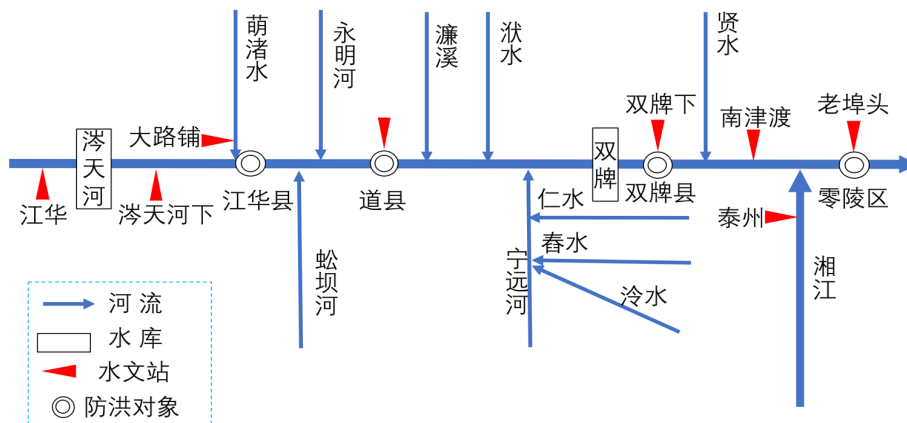


Figure 9. Sketch map of the Xiaoshui Basin

图 9. 潇水流域概化示意图

最终选择了五种情景，分别为四种支流来水为主的情况，以及一种上游河源为主的情况，共计五种洪水组合方案，作为案例，进行流域洪水设计。

以 1 号洪水为具体案例，同时比较 1 至 5 号洪水设计成果，具体阐述设计步骤与设计成果：

1) 首先确定潇水流域全流域本场次设计洪水的设计频率为 2 年一遇。

2) 根据上一章节单站设计洪水成果中的最下游控制站——老埠头站的单站设计洪水成果，确定全流域发生 2 年一遇洪水时流域出口控制站总洪量。

3) 老埠头主要洪水来源选取确定为上游干流，则南津渡控制断面洪量为 2 年一遇频率设计洪水洪量，根据水量平衡得到湘江及其区间相应洪量。利用搬家指数方法求得湘江及其区间的各频率设计洪水后，依据湘江的相应洪量对设计成果进行总洪量的同倍比缩放。

4) 根据上一步确定的南津渡洪水洪量，将南津渡洪水主要来源确定为上游干流，那么双牌控制断面洪量为2年一遇，则双牌-南津渡区间洪水洪量按照水量平衡得到。类似于湘江洪水过程的求取可得到双牌-南津渡区间洪水过程。

5) 根据上一步确定的双牌洪水洪量，将双牌洪水主要来源确定为上游干流，那么道县控制断面洪量为2年一遇，则道县-双牌区间洪水洪量按照水量平衡得到。类似的也可以求得道县-双牌区间洪水过程。

6) 根据上一步确定的道县洪水洪量，将道县洪水主要来源确定为江华-道县区间，即江华-道县区间发生2年一遇洪水，江华县即上游干流洪量为水量平衡的相应洪量。类似的，得到江华-道县区间洪水过程。

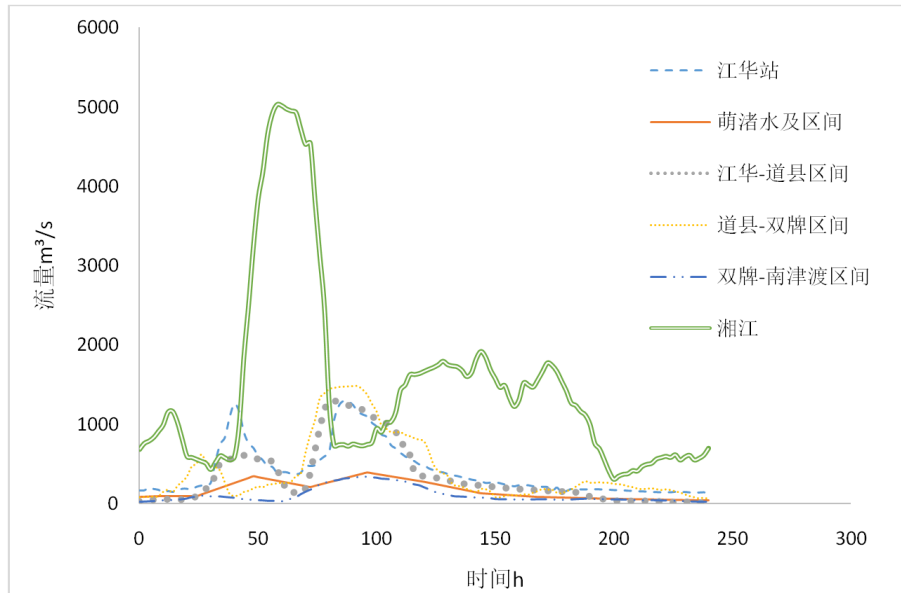


Figure 10. Design results of No. 1 flood in each tributary and section

图 10. 各支流与区间 1 号洪水设计成果

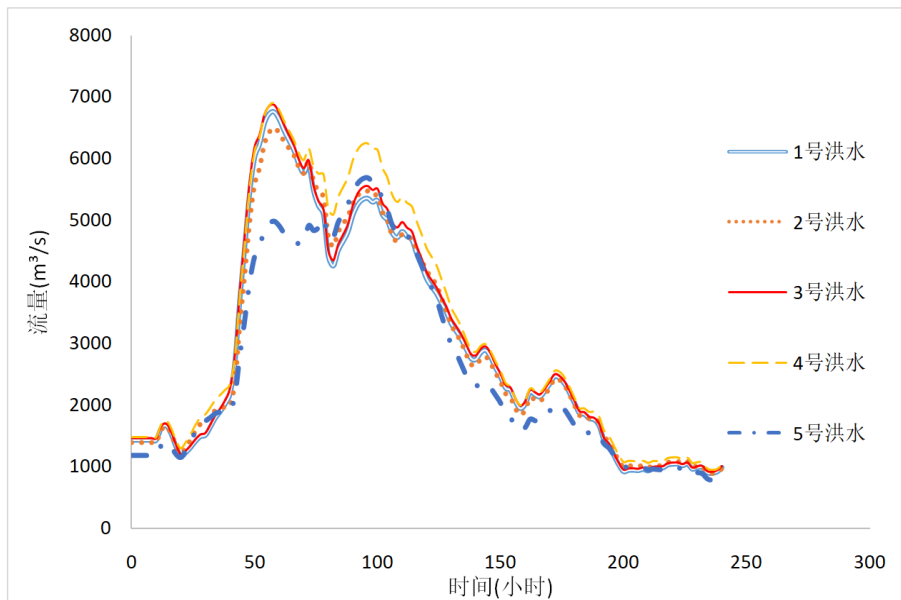


Figure 11. Flood hydrographs for No. 1 to No. 5

图 11. 1 至 5 号洪水过程线

7) 根据上一步确定的江华县洪水洪量, 将江华县洪水主要来源确定为萌渚水及其区间。这时, 由于江华县洪水洪量频率不是 2 年一遇, 萌渚水在作为洪水主源的情况下洪水频率也不会达到 2 年一遇。因此假设江华县为 2 年一遇洪量, 类似于前几步可以确定在这一假设条件下萌渚水及其区间的洪水洪量于上游干流的洪水洪量, 由此确定了萌渚水作为洪水主源时洪量占江华县总洪量的比率。根据江华县实际洪量与江华县 2 年一遇洪量的比值, 进一步对萌渚水及其区间设计洪水进行缩小, 得到萌渚水及其区间的洪水过程, 同理得到干流源头即江华站洪水过程。

8) 在完成以上全部步骤后, 得到的设计成果包括: 干流源头以及流域全部支流和区间的洪水过程, 即潇水流域的一场设计洪水过程。将干流源头与支流区间来水过程进行河道洪水演进, 即可得到未经调度的流域出口的洪水过程。共设计流域洪水 25 场次, 以 1 号洪水为例, 源头及各个支流与区间来水设计成果如图 10 所示; 1 号洪水至 5 号洪水在未经调度调洪情况下演进至流域出口的洪水过程线如图 11 所示。

4. 结论与展望

本文以潇水流域为研究对象, 分析了流域各测站五十多年的年最大洪峰流量系列, 并基于皮尔逊 III 型曲线利用总偏差最小和目估配线法进行洪水频率计算, 通过峰比放大和搬家指数与同频率法进行洪水设计, 主要得出以下结论:

1) 潇水流域老埠头等七个测站的历史径流数据满足代表性与一致性要求, 具备明显的丰平枯变化与周期性, 同时在 95% 置信程度, 满足一致性要求。潇水流域内洪水主要由暴雨产生, 根据对流域内各水文站建站至今的实测资料统计分析, 年最大洪水多发生在 4~7 月, 占全年的 85%; 以 5、6 月发生次数最多, 5、6 月份出现年最大洪水的几率超过 55%。

2) 确定流域干流主要控制断面的典型洪水过程与大部分区间和支流典型洪水过程。在已有流域各站设计成果的基础上, 进行了干流 7 个控制站的单站设计洪水设计, 补充了相关控制断面各个频率下的设计洪水成果共计 49 场次, 同时对四个区间和支流也进行了洪水设计。

3) 在同频率流域洪水组合分析的基础上, 设计了多场次流域组合洪水情景共计 25 场次。为潇水干流部分测站的历史径流数据整理工作提供一定参考, 对于流域水情水势分析提供部分支撑, 更补充了潇水流域的洪水资料数据库, 一定程度上满足了流域关键节点防洪保障与全流域联合防洪规划的数据要求。

但本文洪水设计成果也存在一些不足以待改进:

流域的洪水组合情景是人为进行的主观设计和选择, 对于特定需求比如防洪模拟调洪演算等适用性较高, 但对于流域洪水分析存在局限性。

全流域选取同一场洪水作为典型是依据相关文件进行的, 但典型过程是否符合气候变化条件下的现实情况有待考证。

潇水流域一场洪水持续时间一般不超过一周, 因此洪水设计历时选择 10 天长度, 可以保证涨水落水阶段的完整性, 同时保证了总洪量在频率上的对应性和水量平衡, 而小时段内则因考虑河道的蓄水作用和洪水波的演进而未进行过程线修正。

基金项目

国家重点研发计划资助(项目编号: 2022YFC3800700); 湖南水利科技重大项目(XSKJ2019081-08)。

参考文献

- [1] 肖立军. 潇水流域梯级电站群联合调度及效益优化探析[J]. 湖南水利水电, 2013(2): 51-54.
XIAO Lijun. Analysis of joint dispatching and benefit optimization of cascade power stations in the Xiaoshui River Basin. Hunan Water Resources and Hydropower, 2013(2): 51-54. (in Chinese)

-
- [2] 聂红胜, 何江波. 潇水流域水文特性分析[J]. 湖南水利水电, 2003(6): 20-22.
NIE Hongsheng, HE Jiangbo. Analysis of hydrological characteristics in the Xiaoshui Basin. Hunan Water Resources and Hydropower, 2003(6): 20-22. (in Chinese)
- [3] 许义和, 魏晓妹. 基于 Matlab 的 P-III型曲线绘制软件的研发与应用[J]. 水电能源科学, 2010(7): 15-17.
XU Yihe, WEI Xiaomei. Development and application of P-III curve drawing software based on Matlab. Hydroelectric Energy Science, 2010(7): 15-17. (in Chinese)
- [4] 朱汝雄, 刘霞, 潘玉敏. 黄冈大堤设计洪水推算浅谈[J]. 甘肃水利水电技术, 2006, 42(3): 253-254.
ZHU Ruxiong, LIU Xia and PAN Yumin. Preliminary discussion on flood calculation for Huanggang Dam design. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2006, 42(3): 253-254. (in Chinese)
- [5] 侯凯, 陈天虹, 陈恒吉. 山区河道的地区洪水组成法探索与研究[J]. 地下水, 2023(3): 212-213+216.
HOU Kai, CHEN Tianhong and CHEN Hengji. Exploration and research on regional flood composition method for mountainous river channels. Groundwater, 2023(3): 212-213+216. (in Chinese)
- [6] 刘章君, 成静清, 温天福, 等. 基于频率组合的区间流域设计洪水计算方法[J]. 水力发电, 2018, 44(1): 17-22.
LIU Zhangjun, CHENG Jingqing, WEN Tianfu, et al. Calculation method for interval basin design flood based on frequency combination. Hydroelectric Power, 2018, 44(1): 17-22. (in Chinese)