

三江顶托下乐山城区设计水面线计算探讨

沙 松^{1*}, 周 星¹, 何清慧¹, 陈大安¹, 赵 宁¹, 李立平²

¹长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉

²长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年12月25日; 录用日期: 2025年1月10日; 发布日期: 2025年2月27日

摘 要

同频率地区组成法和典型年法广泛地应用于干支流交汇地区设计洪水计算中, 但两种方法均有各自的局限性, 目前对于两种方法的适用性比较研究还很少。本文以乐山市中心城区设计水面线计算为例, 探讨了同频率地区组成法和典型年法在三江相互顶托下的适用性。结果表明, 相对于同频率组成法, 典型年法以实际发生的洪水组成作为样本进行洪水分配, 方法简单易行, 多个典型年能更加全面反映区域的洪水组成特点, 在乐山区域更加适用。但典型年的代表性需要结合地区暴雨洪水特点以及地区实际合理确定。

关键词

设计洪水, 水面线, 回水顶托, 同频率地区组成法, 典型年法, 乐山市

Discussion on Design Water Surface Profile Calculation under Backwater Influence of the Three Rivers in Leshan City

Song Sha^{1*}, Xing Zhou¹, Qinghui He¹, Da'an Chen¹, Ning Zhao¹, Liping Li²

¹Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan Hubei

²Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

Received: Dec. 25th, 2024; accepted: Jan. 10th, 2025; published: Feb. 27th, 2025

Abstract

The equivalent frequency regional composition (EFRC) method and the typical year method are widely used in the design flood calculation in the area of confluence of main streams and tributaries. However, there are few comparative studies on the limitations and applicability of these two methods. Taking the

作者简介: 沙松(1992-), 男, 博士, 工程师, 主要从事水工结构设计及水文水资源研究等工作。Email: shasongmusa@163.com

文章引用: 沙松, 周星, 何清慧, 陈大安, 赵宁, 李立平. 三江顶托下乐山城区设计水面线计算探讨[J]. 水资源研究, 2025, 14(1): 88-97. DOI: 10.12677/jwrr.2025.141010

calculation of the design water surface profile in the central area of Leshan City as an example. The application of the EFRC method and the typical year method under the backwater influence of three rivers is discussed in this paper. The results demonstrate that the typical year method utilizes the actual flood composition as a sample for flood allocation, which is more straightforward and readily implementable in comparison with the EFRC method. In addition, multiple typical years can more comprehensively reflect the regional flood composition, which is more applicable in Leshan City. However, the representativeness of the typical year needs to be appropriately determined by the characteristics of the regional storm floods, as well as the actual situation in the region.

Keywords

Design Flood, Water Surface Profile, Backwater Influence, Equivalent Frequency Regional Composition Method, Typical Year Method, Leshan City

Copyright © 2025 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. 引言

干支流相互顶托下的设计洪水水面线计算是河道、堤防工程设计的核心与难点，其结果直接影响工程的安全性和经济性[1][2]。我国现行的《水利工程水利计算规范》(SL 104-2015)、《河道整治设计规范》(GB 50707-2011)等均规定“在干支流、河湖等洪水相互顶托的河段应研究洪水组合和遭遇规律，并应根据设计条件推算不同组合情况下的水面线”。研究洪水遭遇组合本质上是确定设计洪水的地区组成，国内外学者就此开展了大量的研究，提出了地区组合法、频率组合法、随机模拟法等传统方法[3]-[5]。近些年，一些学者还提出了 JC 法[6][7]和 Copula 函数法[8]-[10]，但将这些方法应用于工程实践中还存在一定的困难。

地区组合法又分为同频率洪水组合法和典型洪水组合法，是当前工程中最常用的方法。同频率洪水组合法的特征是指定某一分区发生与设计断面同频率的洪水，其余分区发生相应洪水，即“上下同频，区间相应”。若忽略河道的槽蓄作用，同频率法只需要对选定的各个分区的年最大洪峰流量序列开展独立的频率分析计算，再进行简单的组合，因此应用非常广泛[11]-[15]。然而，同频率地区组合法假定下游断面与上游来水或区间来水同频率，没有考虑洪水的空间相关性。此外，如果来水分区较多，拟定的方案数量会呈指数增加，进一步带来较大的不确定性。典型洪水组合法是从实测资料中选择有代表性的大洪水作为典型，按设计断面洪峰或洪量的倍比放大各区典型洪水过程线，应用简便。尤其是在需要考虑上游调蓄工程对洪水过程调蓄影响时或者干流水系复杂时应用较多，如李立平等采用典型年份洪水推算了嘉陵江流域的整体设计洪水[16]，谢雨祚等采用此方法推求了三峡水库的洪水地区组成[17]。总体而言，同频率组合法和典型洪水组合法的研究和应用已经较为成熟，各有优缺点，但对于两者适用性的比较研究还较少，且仅局限在设计洪水本身之间的比较[18]-[20]，缺乏对设计洪水方法不同带来设计水面线结果不同的次生影响研究。

本次以乐山市中心城区设计洪水水面线计算为例，系统地比较了同频率组合法和典型年组合法在设计洪水及后续设计水面线计算结果上的差异，探讨了不同方法的适用性，并提出了推荐方法，以期为相似地区的水面线计算做参考。

2. 研究区域及数据

2.1. 研究区域概况

乐山市地处四川盆地西南部、成都平原南部，是成都平原中心城市之一、国家历史文化名城、全国著名旅

游城市。乐山市中心城区位于岷江、大渡河、青衣江三江交汇处。岷江是长江的一级支流，流域面积 135,387 km²，其中大渡河汇入口以上流域面积 33,887 km²，干流河道全长 735 km，平均比降 4.84‰。大渡河是岷江最大的支流，在乐山市中心城区肖公嘴处汇入岷江，流域面积 902,737 km²，干流河道全长 1062 km，平均比降 1.20‰。青衣江又名雅河，系大渡河左岸一级支流，在乐山城区北部草鞋渡注入大渡河，流域面积 12,842 km²，干流全长 289 km，平均比降 2.18‰。乐山市水系分布图如图 1 所示。

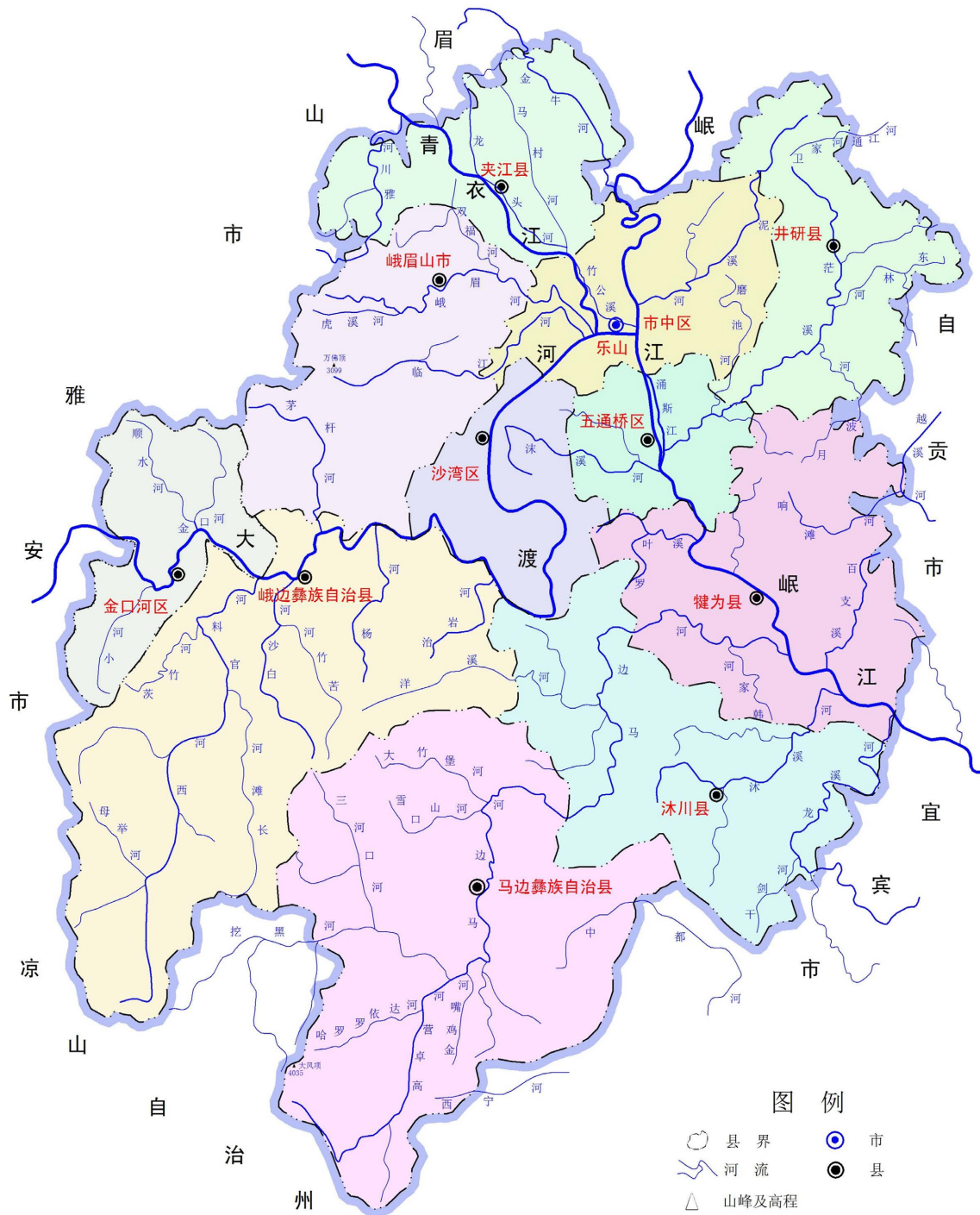


图 1. 乐山市水系分布图

根据《乐山市城市总体规划(2011~2030)》《四川岷江中下游(眉山、乐山段)防洪规划报告》《长江流域防洪规划》等相关规划,乐山市主城区防洪标准为 50 年一遇。乐山市中心城区防洪控制河段为青衣江乐雅高速桥上游附近虎头山至大渡河汇入口左岸、大渡河青衣江汇入口以下至大渡河岷江汇入口肖公咀左岸、岷江通悦园至大渡河汇口肖公咀右岸。目前临河临江侧堤防均已建成,基本形成了完整的防洪保护圈,但堤防的防洪标准尚未达标,需要进行加固整治。

2.2. 研究数据

结合区域位置及流域水文站网分布,本次采用岷江干流彭山站、五通桥站,大渡河干流沙湾(福禄镇)水文站,青衣江夹江水文站作为设计洪水计算的依据站,其中五通桥站为三江汇合后的下游控制站。河道大断面地形数据采用 2023 年实测资料。

3. 研究方法

3.1. 设计洪水

由实测洪水系列与历史调查洪水组成不连序洪水系列,通过 P-III 频率分析计算得到各站设计洪水成果。将沙湾站及夹江站的实测洪水分别演算到大渡河青衣江汇口,相加得到大渡河青衣江汇口以下河段,即草鞋渡河段的洪水系列,并计算得到草鞋渡断面设计洪水成果。计算结果如表 1 所示。

表 1. 代表站设计洪水成果表

河流	站名/断面	设计值/ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$				
		1%	2%	5%	10%	20%
岷江干流	彭山	14,900	13,500	11,600	10,100	8440
	五通桥	47,500	41,800	34,300	28,600	23,000
大渡河	沙湾	10,900	10,100	9070	8220	7310
青衣江	夹江	19,100	17,400	15,100	13,300	11,300
大渡河	草鞋渡(沙湾 + 夹江)	28,500	25,600	21,900	18,900	15,900

3.2. 设计水面线

设计水面线采用丹麦水资源及水环境研究所(DHI)开发的软件 MIKE 11 软件,该软件广泛应用于河流、水库、灌溉系统等水文学与水利工程领域。本次采用恒定流模式,模型计算范围为乐山市防洪控制河段~五通桥站,包括青衣江、大渡河和岷江。上边界条件采用流量边界,即各计算方案下岷江、青衣江、大渡河的流量,下边界条件为水位边界,即五通桥站设计流量对应的水位。糙率采用 2020 年 8.18 洪水实测资料率定。经率定,大渡河糙率取值为 0.042~0.055,青衣江糙率取值为 0.038。

4. 计算方案

4.1. 同频率地区组合法

选定五通桥作为下游控制断面,五通桥来水(记为 q_w)由岷江大渡河汇口以上区间来水(以下简称岷江来水,记为 q_m)和大渡河(含青衣江)区间来水组成(记为 q_c)组成,控制断面分别为彭山和草鞋渡;大渡河来水由青衣江汇口以上区间来水(以下简称大渡河来水,记为 q_d)和青衣江区间来水(以下简称青衣江来水,记为 q_q)组成,控制断面分别为沙湾站和夹江站。由于涉及到四个断面、三个区间来水,因此采用两层次同频率地区组合法拟定

组合方案。

第一层次为五通桥来水同频率分配，具体计算如下：

① 五通桥断面与彭山断面发生同为设计频率(P_1)洪水，大渡河草鞋渡断面发生相应洪水，即 $q_w = Q_w(P_1)$ ， $q_m = Q_p(P_1)$ ， $q_y = q_w - q_m$ ，其中 $Q_w(P_1)$ 、 $Q_p(P_1)$ 分别代表五通桥断面和岷江区间对应 P_1 的频率洪水，同时依据草鞋渡断面洪水成果反算 q_y 相对应的频率，记为 P_2 ；

② 五通桥断面与草鞋渡断面发生同为设计频率(P_1)洪水，彭山断面发生相应洪水，即 $q_y = Q_y(P_1)$ ， $q_m = q_w - q_y$ 。

第二层次为草鞋渡断面来水同频率分配，具体计算如下：

① 沙湾断面与草鞋渡断面发生同频率洪水、夹江断面发生相应洪水，即 $q_d = Q_d(P(q_y))$ ， $q_q = q_y - q_d$ ， $P(q_y) = P_1$ 或 P_2 ；

② 夹江断面与草鞋渡断面发生同为设计频率洪水、沙湾断面发生相应洪水， $q_q = Q_d(P(q_y))$ ， $q_d = q_y - q_q$ ， $P(q_y) = P_1$ 或 P_2 。

按照上述两层次同频率地区组成法拟定了设计频率为 2% 的 4 种设计洪水组成方案，具体结果如表 2 所示。

表 2. 同频率地区组成法设计洪水成果表

区间	组合一		组合二		组合三		组合四	
	流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	对应频率(%)	流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	对应频率(%)	流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	对应频率(%)	流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	对应频率(%)
五通桥	43,600	2.00	43,600	2.00	43,600	2.00	43,600	2.00
岷江来水	13,700	2.00	13,700	2.00	18,000	0.20	18,000	0.20
大渡河(含青衣江)来水	29,900	0.70	29,900	0.70	25,600	2.00	25,600	2.00
青衣江来水	19,900	0.70	18,740	1.14	17,400	2.00	15,640	4.03
大渡河来水	10,000	1.93	11,160	0.70	8200	9.04	9960	2.00

4.2. 典型年地区组成法

选择 1955、1959、1966、1981、2020 等 5 个排序靠前的洪水年份作为典型年，如表 3 所示。2020 年和 1966 年均均为三江同时遭遇大水的典型年，2020 年五通桥洪峰流量为 $43,800 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为实测第一位，洪水频率为 50 年一遇，彭山站最大洪峰流量为 $13,500 \text{ m}^3/\text{s}$ (约 50 年一遇)，沙湾站最大洪峰流量为 $10,700 \text{ m}^3/\text{s}$ (约 100 年一遇)，夹江站最大洪峰流量为 $19,700 \text{ m}^3/\text{s}$ (实测系列中排第一位，超 100 年一遇)。1966 年五通桥站最大洪峰流量为 $25,200 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为实测洪峰第六位，夹江站、彭山站、沙湾站来水也较大，最大洪峰分别为 $12,800 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $7530 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $6200 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1955 年为青衣江和大渡河来水为主典型，五通桥站最大洪峰流量为 $35,300 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为实测洪峰第三位，约 20 年一遇。青衣江和大渡河干流均出现较大洪水，沙湾站最大洪峰流量为 $8280 \text{ m}^3/\text{s}$ (实测系列中排第三位，略大于 10 年一遇)，夹江站最大洪峰流量为 $16,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (实测系列中排第二位，约 30 年一遇)，彭山站洪水较小，为 $4850 \text{ m}^3/\text{s}$ ，不到 2 年一遇。

1981 年为岷江干流来水为主典型，五通桥站最大洪峰流量为 $26,300 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为实测洪峰第四位，岷江干流彭山站、青衣江夹江站和大渡河干流沙湾站洪峰流量分别为 $8730 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $7960 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $5900 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1959 年为青衣江和岷江干流来水为主，青衣江和岷江洪水遭遇典型。五通桥站最大洪峰流量为 $25,700 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为实测洪峰第五位。岷江干流彭山站来水较大，洪峰流量为 $10,900 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为实测系列第四位，青衣江夹江站和大渡河干流沙湾站洪峰流量分别为 $12,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4650 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

表 3. 典型年控制站洪水组成

典型年	项目	五通桥断面	岷江来水	青衣江来水	大渡河来水	大渡河 + 青衣江	三江合计
1966	流量(m ³ ·s ⁻¹)	25,200	7530	12,800	6200	19,000	26,530
	对应频率(%)	18.04	32.03	11.94	39.69	9.81	/
	所占五通桥比例(%)	100	29.88	50.79	24.60	75.40	105.28
1959	流量(m ³ ·s ⁻¹)	27,500	10,900	12,000	4650	16,650	27,550
	对应频率(%)	13.66	7.63	15.93	86.52	16.87	/
	所占五通桥比例(%)	100	42.41	46.69	18.09	64.79	107.2
1981	流量(m ³ ·s ⁻¹)	26,300	8730	7960	5900	13,860	22,590
	对应频率(%)	15.79	19.87	56.33	47.8	31.34	/
	所占五通桥比例(%)	100	33.19	30.27	22.43	53	85.89
1955	流量(m ³ ·s ⁻¹)	35,300	4850	16,000	8280	24,280	29,130
	对应频率(%)	5.37	74.64	3.5	8.47	2.79	/
	所占五通桥比例(%)	100	13.74	45.33	23.46	68.78	82.52
2020	流量(m ³ ·s ⁻¹)	43,800	13,500	19,700	10,700	30,400	43,900
	对应频率(%)	1.95	2.18	0.76	1.03	0.62	/
	所占五通桥比例(%)	100	30.82	44.98	24.43	69.41	100.23

按照上述选定的 1955、1959、1966、1981 和 2020 等 5 个典型年，对五通桥来水进行分配。由于沙湾站、彭山站、夹江站的控制面积略小于五通桥站控制流域面积，加之各站洪峰演进到五通桥站的时间略有差距，三站典型年下实测洪峰流量之和与五通桥有所差距。为保障水量平衡，以五通桥设计洪峰流量作为总量，按照典型年下沙湾、彭山和夹江三站各自所占比例进行分配。按照上述方案拟定了 5 个典型年下的洪水分配方案，具体如表 4 所示。

表 4. 典型年地区组成法设计洪水成果表

典型年	项目	五通桥断面	岷江来水	青衣江来水	大渡河来水	大渡河 + 青衣江
1955	流量(m ³ ·s ⁻¹)	43,600	7259	23,949	12,391	36,341
	对应频率(%)	2	35.43	0.12	0.21	0.14
1959	流量(m ³ ·s ⁻¹)	43,600	17,248	18,992	7360	26,352
	对应频率(%)	2	0.31	1.03	17.53	1.68
1966	流量(m ³ ·s ⁻¹)	43,600	12,374	21,037	10,189	31,226
	对应频率(%)	2	3.79	0.43	1.63	0.50
1981	流量(m ³ ·s ⁻¹)	43,600	16,851	15,365	11,388	26,753
	对应频率(%)	2	0.39	4.50	0.54	1.52
2020	流量(m ³ ·s ⁻¹)	43,600	13,407	19,563	10,625	30,189
	对应频率(%)	2	2.28	0.81	1.10	0.65

5. 结果及讨论

采用上述确定的计算方案，分别计算乐山城区青衣江~大渡河段、岷江段水面线，计算结果如图 2 所示。

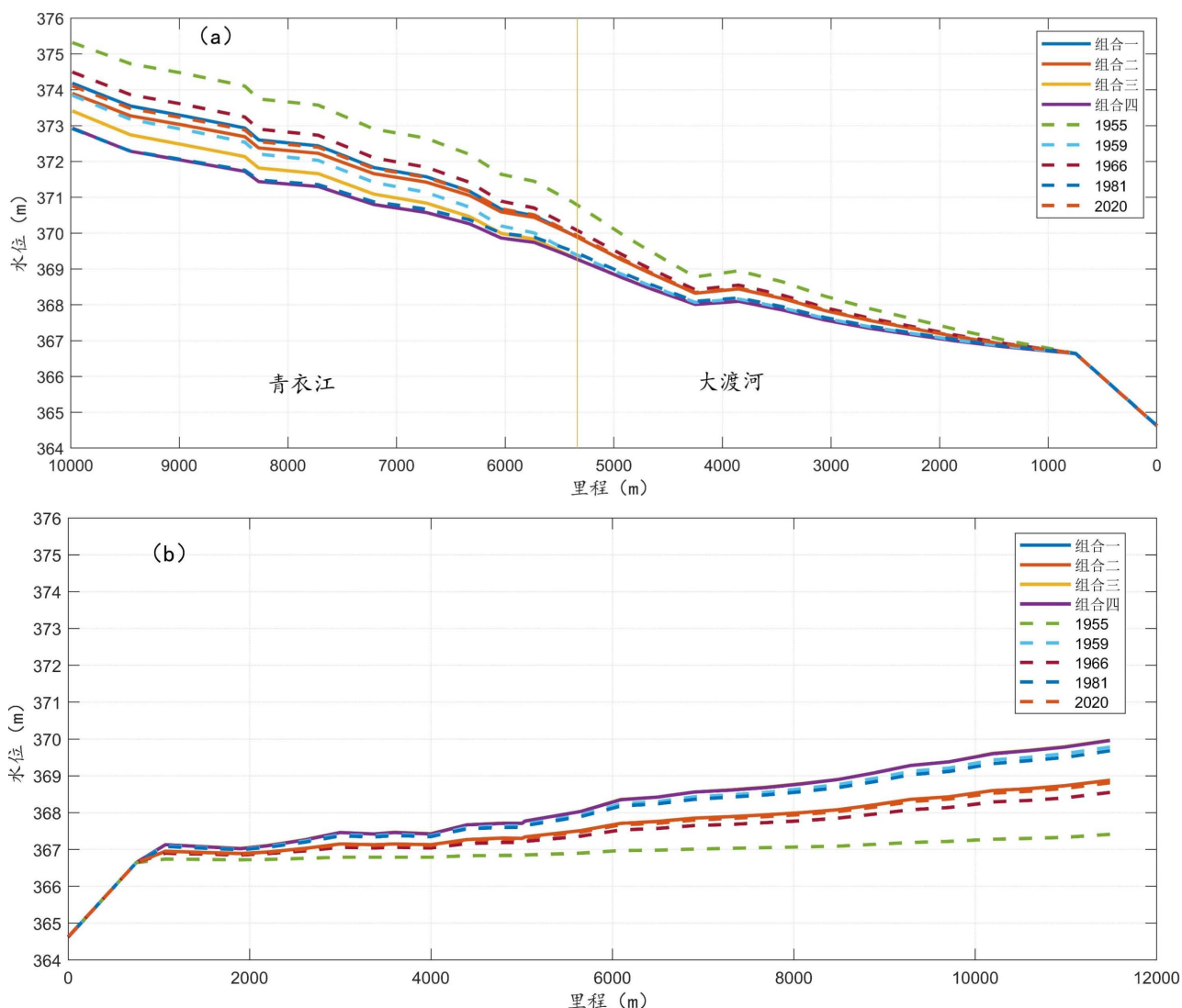


图 2. 乐山城区青衣江~大渡河段(a)和岷江段(b)水面线

5.1. 同频率法地区组合法结果分析

如图 2 所示, 不同方案计算结果区别明显, 呈现出水位随流量增大而增高的趋势, 并且越往上游不同方案间水位区别越大。岷江肖公嘴以上河段最小流量对应的水面线为 366.95~368.88 m, 最大流量对应的水面线为 367.13~369.97 m, 最高水面线跟最低水面线两者相差 0.18~1.09 m; 大渡河草鞋渡河段最小流量对应的水面线为 366.83~369.32 m, 最大流量对应的水面线为 366.90~369.95 m, 两者相差 0.07~0.63 m; 青衣江四种组合下最小流量对应的水面线为 369.32~372.93 m, 最大流量对应的水面线为 369.95~374.18 m, 两者相差 0.63~1.25 m。

从上述结果来看, 每个河段的最高水位对应的流量均是最大流量所在的组合。岷江为组合三、四, 大渡河草鞋渡段为组合一、二, 青衣江为组合一, 对应的重现期分别为 500 年、142 年和 142 年, 均远超设计重现期 50 年。出现这种情况的原因是在多条支流入汇的情况下, 洪水过程是既不独立, 又不完全相关的多个随机变量, 夹江站和沙湾站洪水频率的不同步造成各自对应的 50 年洪峰流量之和 $27,360 \text{ m}^3/\text{s}$ 大于夹江站和沙湾站合成后排频对应的 50 年一遇洪峰流量 $25,600 \text{ m}^3/\text{s}$, 根据夹江站和沙湾站合成流量排频结果, $27,360 \text{ m}^3/\text{s}$ 对应的重现期为 76 年。彭山站和大渡河洪水频率的不同步造成各自对应的 50 年一遇洪峰流量之和 $39,300 \text{ m}^3/\text{s}$ 明显小于下游

五通桥 50 年一遇的洪峰流量 $43,600 \text{ m}^3/\text{s}$ ，根据五通桥站排频结果， $39,300 \text{ m}^3/\text{s}$ 对应的重现期为 30 年。

5.2. 典型年地区组成法结果分析

与同频率法类似，典型年法不同方案下水位随流量增大而增高，每个河段的最高水位对应的流量均是最大流量所在的典型年。岷江肖公嘴以上河段最小流量对应的典型年为 1955 年，水面线为 $366.72\sim 367.41 \text{ m}$ ，最大流量对应的典型年为 1959 年，水面线为 $367.03\sim 369.97 \text{ m}$ ，相差 $0.31\sim 2.56 \text{ m}$ ；大渡河草鞋渡河段最小流量对应的典型年为 1959 年，水面线为 $366.73\sim 369.44 \text{ m}$ ，最大流量对应的典型年为 1955 年，水面线为 $366.82\sim 370.86 \text{ m}$ ，相差 $0.09\sim 1.42 \text{ m}$ ；青衣江最小流量对应的典型年为 1981 年，水面线为 $369.50\sim 372.91 \text{ m}$ ，最大流量对应的典型年为 1955 年，水面线为 $370.86\sim 375.32 \text{ m}$ ，两者相差 $1.36\sim 2.41 \text{ m}$ 。

典型年法与同频率法计算的水位存在非常显著的差异，且典型年法计算结果变化范围更大。大渡河 - 青衣江段水位整体相对同频率法较高，1955 典型年的水面线最高，且显著地高于同频法的上包线；1966 典型年的水位次之，略高于同频率法的上包线；2020 典型年结果与同频率法上包线基本一致；1981 典型年的结果与同频率法的下包线基本一致；1955 典型年结果处于同频率法上包线和下包线之间。对于岷江段而言，规律与大渡河 - 青衣江段相反，1966 和 1959 典型年水面线结果相近，略小于同频率法上包线；2020 典型年结果与同频率法的下包线基本一致；1981 典型年水面线略低于同频率法的下包线；1955 典型年的水面线显著低于同频率法下包线。

5.3. 讨论

设计流量是设计水位的决定性因子，从结果来看，设计水位的变化规律与设计流量的分配是一致的。同频率地区组成法和典型年地区组成法本质上是对选定断面的设计流量进行干支流分配，但两种方法的分配差异显著。同频率法假定某一河段与下游断面同频率，概念明确，流量分配方案固定。在本算例中，岷江来水的比例 $31.42\%\sim 41.28\%$ ，变幅为 9.86% ；青衣江来水比例 $35.87\%\sim 45.64\%$ ，变幅为 9.77% ；大渡河来水比例 $18.81\%\sim 25.60\%$ ，变幅为 6.79% 。典型年法以实际大水年份的洪水组成来进行分配。在本算例中，岷江来水的比例为 $16.65\%\sim 39.56\%$ ，变幅为 22.91% ；青衣江来水比例为 $35.24\%\sim 54.93\%$ ，变幅为 19.69% ；大渡河来水比例为 $16.88\%\sim 28.42\%$ ，变幅为 11.54% 。可以看出，相对于同频率法，典型年法流量分配组合更多，相应地各河段分配比例变幅也更大。

选择两种方法的上包线作为堤防的设计水位无疑是最为安全的，然而堤防过度建设不仅会造成工程投资、土地征迁增加，还会对沿岸滨江景观以及市民游客的亲水需求造成影响，尤其是对于乐山而言，三江交汇景观是其重要的旅游资源优势。因此在具体的工程设计中，需要科学合理地选择计算方案。

同频率地区组成法假定下游断面与上游来水或区间来水同频率具有一定的随意性，未考虑五通桥洪水组成的规律。典型年法是以实际发生的洪水作为样本进行洪水分配，并且更多的典型年更全面地反应了区域的洪水组成特点，因此计算结果相对更合理。然而典型年并不是越多越好，其代表性也十分重要。一般而言，特大洪水、大洪水、一般洪水等不同量级的洪水的成因和组成不尽相同，若选定的典型年不够合理，也容易造成设计水面线偏高或偏低。受观测资料的限制，小频率洪水的样本十分有限，在本次计算中，虽然选择了 5 个排序靠前的 5 年大水年份作为典型年，然而只有 2020 年五通桥断面洪水达到了 50 年一遇，1955 年只达到了 20 年一遇，其余 3 个典型年都达不到 10 年一遇。

洪水的发生与暴雨密不可分，从流域暴雨特点上看，青衣江中下游的雅安市、眉山市洪雅县和乐山市夹江县、峨眉山市是四川暴雨最多、暴雨范围和强度最大的区域。根据五通桥水文桥站历年最大洪峰流量三江洪水组成情况分析，如表 5 所示，彭山站控制面积占比为 24.23% ，洪水占五通桥站洪水的比例在 $9.5\%\sim 64.3\%$ 之间，平均为 28.94% ；沙湾站控制面积占五通桥控制面积的 60.58% ，洪水占比在 $12.3\%\sim 38.3\%$ ，平均为 21.11% ；夹江站控制面积占比为 9.95% ，洪水占比在 $11.1\%\sim 57.1\%$ ，平均为 40.12% 。由此可见，五通桥站的洪水组成主

要以青衣江来水为主，其次为岷江干流彭山站上游来水，大渡河干流沙湾站以上及未控区间来水相对较少。

表 5. 五通桥洪水组成情况表

站名		岷江	大渡河	青衣江	岷江	未控区间
		五通桥	沙湾	夹江	彭山	
控制面积	(km ²)	126,478	76,622	12,588	30,650	6618
	(%)	100.00	60.58	9.95	24.23	5.23
洪峰	均值(m ³ ·s ⁻¹)	22,118	4669	8874	6400	2175
	组成(%)	100.00	21.11	40.12	28.94	9.83

典型年份中，大渡河来水的比例变幅较小，均在多年平均占比附近波动，正负偏离为-3.02%~3.49%；岷江来水比例变幅较大，1955 典型年占比为 13.74%，远小于多年平均占比，其余三个典型年占比与平均占比接近。因此从偏安全角度考虑，1955 年典型年岷江来水偏小且实际洪峰流量明显小于 50 年一遇设计流量，不宜选为典型年；青衣江来水占比变幅最大，1981 年占比为 30.27%，远小于平均占比，1966 年典型年占比为 50.79%，明显高于平均占比，其余 3 个典型年占比均在 45%左右，略高于平均占比。从偏安全角度考虑，1981 年实际洪峰流量远低于 50 年一遇设计流量且青衣江来水偏小，不宜选为典型年。

根据历史调查洪水，如表 6 所示，五通桥共发生过三次 50 年一遇及以上的洪水，洪水量级从大到小依次为 1917 年、1931 年和 2020 年。从有限的调查资料分析，彭山站 1917 年和 2020 年洪峰所占比例较为接近，分别为 27.96 和 30%左右，与多年平均值相近；夹江站 1917 年、1931 年五通桥洪峰的占比分别为 34.63%和 35.76%，略小于多年平均占比，2020 年所占比例为 44.98%，略大于多年平均占比。

综合多年来洪水组成分析和历史调查洪水的组成分析，2020 年洪水发生时间距今最近，实测洪峰流量达到 50 年一遇，且洪水的组成合理，且对于乐山市防洪相对不利，因此综合考虑选定 2020 年典型年洪水作为乐山市中心城区设计洪水水面线计算的典型年。

表 6. 历史洪水调查表

时间	五通桥		彭山		沙湾		夹江	
	洪峰流量(m ³ /s)	重现期	洪峰流量(m ³ /s)	比例	洪峰流量(m ³ /s)	重现期	洪峰流量(m ³ /s)	重现期
1917.7.22 (调查)	54,000	209	15,100	27.96%	20,200	37.41%	18,700	34.63%
1931.8.19 (调查)	43,900	53	/	/	/	/	15,700	35.76%
2020.8.18 (实测)	43,800	35	13,500	30.82%	10,700	24.43%	19,700	44.98%

6. 结论

本文以乐山市中心城区设计洪水水面计算为例，研究了干支流相互顶托情况下，同频率法和典型年法等不同洪水地区组合法对于设计水面的影响，主要结论如下：

1) 同频率地区组合法假定下游断面与上游来水或区间来水同频率，概念明确，但由于没有考虑洪水的空间相关性，很容易造成一方偏大、另一方偏小的现象。此外，如果来水分区较多，同频率地区组合法需拟定的方案数呈指数增加，带来较大的不确定性。

2) 典型年法以实际发生的洪水组成作为样本进行洪水分配，方法简单易行，多个典型年可更加全面地反映区域的洪水组成特点。但典型年的代表性不易判断，也容易造成设计水面线偏高或偏低。

3) 综合多年来洪水组成分析和历史调查洪水的组成分析, 2020 年洪水发生时间距今最近, 实测洪峰流量达到 50 年一遇, 且洪水的组成较为合理, 对于乐山市防洪相对不利, 因此综合考虑选定 2020 年典型年洪水作为乐山市中心城区设计洪水水面线计算的典型年。

参考文献

- [1] 李冬宁, 李建坤. 干支流汇合口处支流设计洪水水面线组合计算方法[J]. 湖南水利水电, 2021(6): 10-11, 25.
- [2] 王云帆, 白桦, 桂发亮, 等. 信江白塔河柏泉站河段干流对支流顶托响应分析[J]. 南昌工程学院学报, 2024, 43(1): 8-15.
- [3] 郭生练, 刘章君, 熊立华. 设计洪水计算方法研究进展与评价[J]. 水利学报, 2016, 47(3): 302-314.
- [4] 李天元, 郭生练, 李妍清, 等. 梯级水库设计洪水方法及研究进展[J]. 水资源研究, 2012, 1(2): 14-20.
- [5] XIONG, F., GUO, S., YIN, J., et al. Comparative study of flood regional composition methods for design flood estimation in cascade reservoir system. Journal of Hydrology, 2020, 590(6): 125530. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125530>
- [6] 陈炯宏, 郭生练, 刘攀, 等. 基于可靠度理论的设计洪水计算方法研究[J]. 人民长江, 2008, 39(18): 1-3.
- [7] HUANG, L., LI, S. and SI, Z. Research on designing for flood risk based on advanced checking-point (JC) method. Environmental Engineering & Management Journal, 2014, 13(8): 2119-2124. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.234>
- [8] ZHONG, S., HE, Y., GUO, S., et al. Design flood estimation of cascade reservoirs based on vine-copula flood regional composition. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2024, 56: 102071. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102071>
- [9] 李天元, 郭生练, 刘章君, 等. 梯级水库下游设计洪水计算方法研究[J]. 水利学报, 2014(6): 641-648.
- [10] 刘章君, 郭生练, 李天元, 等. 设计洪水地区组成的区间估计方法研究[J]. 水利学报, 2015(5): 543-550.
- [11] HUANG, Y., LIANG, Z., HU, Y., et al. Theoretical derivation for the exceedance probability of corresponding flood volume of the equivalent frequency regional composition method in hydrology. Hydrology Research, 2020, 51(6): 1274-1292. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.027>
- [12] 夏建荣, 李廷华. 糯扎渡水电站设计洪水地区组成研究[J]. 水力发电, 2005, 31(5): 17-19.
- [13] 黄一昕, 梁忠民, 胡义明, 等. 关于水文同频率地区组成法中相应洪量频率的探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(3): 189-193.
- [14] 谢蕾. 同频率地区组成法在区间洪水计算中的应用[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(5): 442-447.
- [15] 陈甜, 董增川, 贾本有, 等. 考虑上游梯级水库群调度的小南海水电站坝址设计洪水分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, 42(6): 476-480.
- [16] 谢雨祚, 熊丰, 郭生练, 等. 金沙江下游梯级与三峡水库防洪库容互补等效关系研究[J]. 水利学报, 2023, 54(2): 139-147.
- [17] 李立平, 高玉磊, 李妍清. 嘉陵江流域整体设计洪水研究[J]. 人民长江, 2021, 52(2): 72-77.
- [18] 陈华, 栗飞, 王金星, 等. 湘江流域设计洪水地区组成方法研究[J]. 水文, 2014, 34(2): 55-59.
- [19] 温得平, 赵兴明, 伍云华, 等. 大通河干流设计洪水分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 424-428.
- [20] 高诚, 车敏娜. 万泉河流域设计洪水分析[J]. 海河水利, 2024(5): 57-60, 70.