

袁芳菊, 杨胜忠, 吴小璟. 黎平双江电站水库暴雨洪水设计[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(2): 89 - 93.

黎平双江电站水库暴雨洪水设计

袁芳菊¹, 杨胜忠¹, 吴小璟²

(1. 贵州省黔东南苗族侗族自治州气象局, 贵州 凯里 556000; 2. 贵州省施秉县气象局, 贵州 施秉 556200)

摘 要:该文选用参证站资料的方法, 对黎平县双江电站水库 1954—2021 年近 68 a 来逐年最大日降水量采用 Pearson III 型研究方法和贵州省暴雨洪水计算公式进行研究。结果表明: 黎平双江电站水库年最大日降水量年变化呈上升趋势, 2010 年以后上升趋势较显著。暴雨洪水设计以 $H_{1d} = 119.29 \text{ mm}$ 、 $C_v = 0.47$ 、 $C_s/C_v = 3.5$ 作为研究成果, 防洪标准按 50 a 一遇的暴雨洪水设计成果为 $P = 2.0\%$, 日最大降水量 = 277 mm、洪峰流量 = $2509 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 洪水校核按 500 a 一遇的暴雨洪水设计成果为 $P = 0.2\%$, 日最大降水量 = 391 mm、洪峰流量 = $3905 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 消能防冲设计标准按 30 a 一遇的设计成果为 $P = 3.3\%$, 日最大降水量 = 252 mm、洪峰流量 = $2209 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。研究成果对黎平双江电站水库预防灾害性强降水、安全渡汛和水库优化调度、提高产能具有十分重要的决策指导意义。

关键词: 水库; 暴雨; 洪水; Pearson III 型

中图分类号: TV125 **文献标识码:** B

Rainstorm Design of Liping Shuangjiang Hydropower Station

YUAN Fangju¹, YANG Shengzhong¹, WU Xiaojing²

(1. Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture Meteorological Bureau of Guizhou Province, Kaili 556000, China; 2. Shibing Meteorological Bureau of Guizhou Province, Shibing 556200, China)

Abstract: The maximum daily precipitation of Shuangjiang Hydropower Station Reservoir in Liping County from 1954 to 2021 (nearly 68 years) is studied by using the method of reference station data, and the following conclusions are drawn through the Pearson III research method and the calculation formula of heavy rain and flood in Guizhou Province. The results show that the annual change of the maximum daily precipitation in the Reservoir of Liping Shuangjiang Power Station showed an upward trend, and the upward trend was more significant after 2010. The rainstorm flood design takes $H_{1d} = 119.29 \text{ mm}$, $C_v = 0.47$, and $C_s/C_v = 3.5$ as the research results. The flood control standard is a once-in-50 a storm flood design result of $P = 2.0\%$, maximum daily precipitation = 277 mm, flood peak flow = $2509 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; The design result of the flood check is $P = 0.2\%$, the maximum daily precipitation = 391 mm and the flood peak flow = $3905 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; The design standard of energy dissipation and anti-scouring is that the design result is $P = 3.3\%$, the maximum daily precipitation = 252 mm and the flood peak flow = $2209 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. The research results have important decision-making and guiding significance for the prevention of catastrophic heavy precipitation, safe flood crossing, reservoir optimization and scheduling, and improvement of production capacity in Liping Shuangjiang Hydropower Station.

Key words: reservoir; rainstorm; flood; Pearson III

收稿日期: 2022-06-21

第一作者简介: 袁芳菊(1982—), 女, 工程师, 主要从事专业气象服务工作, E-mail: 89309324@qq.com。

通讯作者简介: 杨胜忠(1980—), 男, 高工, 主要从事气象服务工作, E-mail: 544833590@qq.com。

资助项目: 贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2021]11-14号): 强降水对双江电站发电和防汛调度影响研究; 黔东南州科技局项目(黔东南科合J字[2021]76号): 强降水对清水江流域水库调度和水灾隐患点的影响研究。

0 引言

贵州黎平双江电站水库位于黔东南州黎平县双江镇双江村双江河上,属珠江水系,地处黎平、榕江和从江 3 县交界处,距黎平县城 64 km。黎平县双江电站以发电为主,是贵州省第 1 座砼薄拱坝电站。双江电站水库坝址以上流域面积 864 km²,主河道长 54.0 km,平均坡降 7.44‰,多年平均径流量 5.3 亿 m³,多年平均流量 16.8 m³·s⁻¹。总库容 975 万 m³,具有季节调节性能。电站总投资 4678 万元,设计流量 12.04 m³·s⁻¹,装机容量 2×2500 kW。双江电站坝址以上已建有龙王潭电站和设计未修建的曹坪江、江边寨电站。双江电站水库上游地形崎岖,多山地和丘陵,地表植被覆盖良好;下游河段地形起伏较上游平缓,河道两岸由山体逐渐过渡为水田、居民区分布的宽缓地带。

暴雨洪水设计对双江电站水库安全渡汛和水库优化调度、提高产能具有十分重要的意义。国内对中小流域暴雨洪水设计的研究方法较多^[1-7],比较通用且效果较好的主要有 Pearson III 型方法。本文选用黎平、榕江和从江县境内气象监测站降水量资料进行暴雨洪水设计,为黎平双江电站水库提高防洪标准、安全渡汛和优化调度提供科学参考依据。

1 资料和方法

1.1 资料选取

双江电站水库地处黎平、榕江和从江 3 县交界,流域面涉及 3 县边界。从 20 世纪 50 年代开始,3 县相继建立国家级气象站。双江电站水库流域面从 2010 年开始建立雨量监测站,时间序列短,无法应用到气候分析中。在无长时间序列资料的情况下,常用的设计暴雨洪峰流量计算方法主要有参证站法^[8-9]、水文图集查算法^[10]、水文比拟法^[4]和经验公式法^[11]等。双江电站水库距离黎平气象站直线距离 37 km,距离榕江气象站 39 km,距离从江气象站 26 km,而流域面最近点距离榕江县气象站约 9 km,距离黎平气象站 15 km,距离从江气象站 20 km。3 个站距离双江电站水库均较近,具有一定的代表性,因此,研究采用参证站法,选用 3 个县 1954—2021 年降水资料。为最大程度反映暴雨的极端性和危害性,提高设计标准,选取 3 个县逐年日最大降雨量时间序列作为双江电站水库暴雨洪水设计资料。

1.2 研究方法

本文主要采用线性趋势分析检验降水量的趋

势变化。暴雨洪水设计主要采用 Pearson III 型研究方法和贵州省暴雨洪水计算公式^[12-17]进行研究。



图 1 双江电站水库流域及站点信息

Fig. 1 Shuangjiang Power Station
Reservoir Basin and Site Information

Pearson III 型研究方法是气象水文科研广泛应用的概率分布模型。该分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (1)$$

式中: $\alpha = \frac{4}{C_s^2}$ 为该分布的形状参数, $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$ 为参数的伽马函数; $\beta = \frac{2}{\bar{x} C_v C_s}$ 为该分布的尺度参数; $\alpha_0 = \bar{X} (1 - \frac{2C_v}{C_s})$ 为系列起点到坐标原点的距离。

利用 Pearson III 型对降水资料进行拟合时,首先要对参数 α 、 β 、 a_0 作相应的估计。根据样本资料,利用矩估计法,计算得到平均值 ($\bar{x}$)、均方差 (s)、偏差系数 (C_v) 和偏态系数 (C_s),即:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$C_v = s / \bar{x} \quad (4)$$

$$C_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2} \quad (5)$$

C_v 反映了样本之间个体的差异情况,若与平均值差异越大,则 C_v 取值越大,离散程度也越大,反之亦然。 C_s 控制曲线的形态,反映样本在均值两侧的对称性,若 $C_s > 0$,则曲线正偏,反之负偏。当 $C_s \geq 2$ 时,其密度曲线为单调减少凹曲。

为简化计算,令式(1)中 $\beta(x - a_0)$ 等于 t ,得到

变化后的 Pearson III 型积分为:

$$p(x \geq x_p) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_p^\infty t^{-\alpha-1} e^{-t} dt \tag{6}$$

从式中看出,简化后的概率函数仅依赖于参数。因此,当参数确定之后,以 p 为横坐标,相应的样本值为纵坐标,即可得到频率曲线,从而通过拟合曲线进行概率推算。

2 暴雨设计

2.1 时间变化特征

双江电站水库 1954—2021 年近 68 a 年最大日降水量平均值为 119.3 mm,正距平值主要出现在 1994—2000 年和 2009 年以后,时间序列呈上升趋势。2010 年以后,这种上升趋势越加显著。2016 年出现历史最大日降水量 373.4 mm,为黎平县九潮站,最大小时雨强超过 100 mm,降水主要集中在下半夜,周边的气象监测站降水量也在 100 ~ 300 mm 之间,双江河流域水位上涨,电站机房被水淹和冲毁,造成了较大的经济损失。最小值出现在 1981 年 61 mm。降水特别是暴雨对黎平双江电站水库及电站安全渡汛和生产调度起着决定性的重要作用。

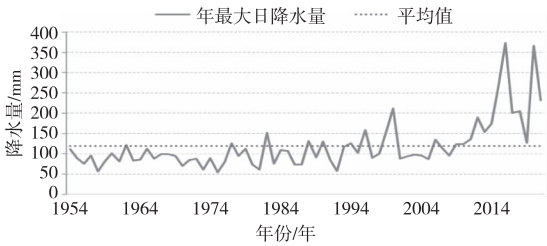


图2 1954—2021 年最大日降水量时间变化特征
Fig.2 Temporal variation characteristics of maximum daily precipitation from 1954 to 2021

2.2 频率分布特征

利用 1954—2021 年近 68 a 年最大日降水量时间序列资料进行 Pearson III 型频率分析计算,其统计参数为: $H_{1d} = 119.29$ mm, $C_v = 0.47$, $C_s = 3.5C_v$, 计算结果见图 3。从图中可以看出, Pearson III 分布具有较好的模拟能力,通过 χ^2 进行检验^[18],显著性水平 $\alpha = 0.05$,查表得临界值为 3.841,检验计算得到 χ^2 值为 2.5,小于 3.841,因此得出:年最大日降水量分布符合 Pearson III 型分布,模拟效果较好,完全通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的 χ^2 检验。

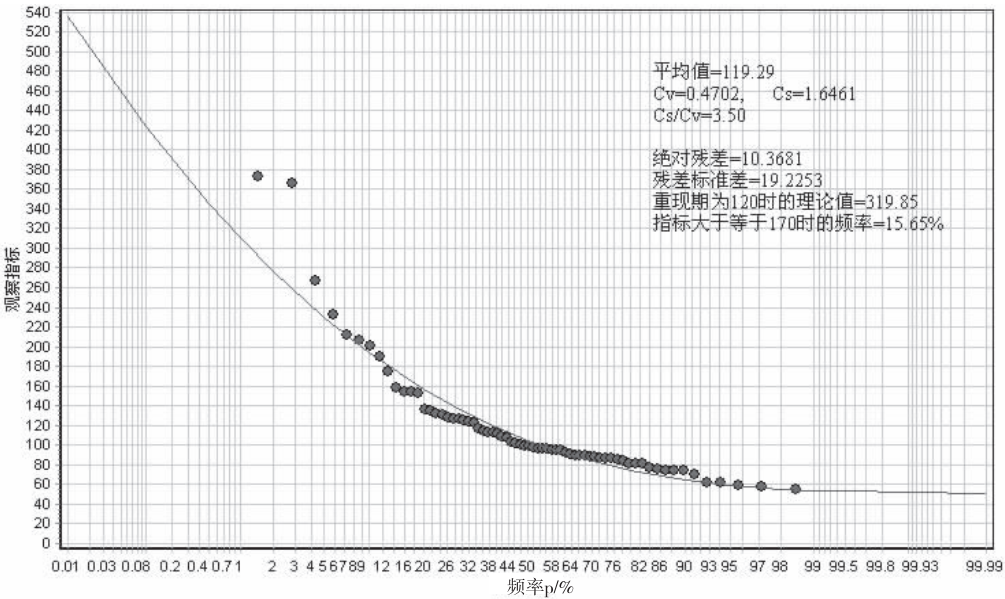


图3 Pearson III 型频率分布图
Fig.3 Frequency distribution of Pearson III

结合文献[13]有关最新的等值线图成果(查“年最大 24 h 点雨量均值等值线图”,设计流域 24 h 点雨量均值为 90 mm 左右,又查“年最大 24 h 点雨量 C_v 值等值线图”,设计流域 24 h 点雨量 C_v 值为 0.45 左右),本次以 $H_{1d} = 119.29$ mm、 $C_v = 0.47$ 、 $C_s/C_v = 3.5$ 作为本次设计暴雨成果,与《贵州省黎平县双江电站续建工程初步设计说明书》(贵州省黔东

南州水利电力勘察设计院,2003.10)中 $H_{24h} = 85.0$ mm、 $C_v = 0.45$ 、 $C_s/C_v = 3.5$ 相比,均值略有增加,与《贵州省黎平县双江乡电流滩电站工程设计复核报告》(贵州省黔东南州水利电力勘察设计院,2013.11)中 $H_{24h} = 90.0$ mm、 $C_v = 0.40$ 、 $C_s/C_v = 3.5$ 相比, C_v 值略有增加,本次分析参证站资料系列更长,取值较大,设计暴雨更具安全性和合理性。经

频率分析计算,求得暴雨成果见表 1。降水量越大,出现的频率越低,当降水量达 391 mm 时,频率仅为 0.2%,发生的可能性很小,当降水量为 157 mm 时,

出现的频率为 20.0%,降水量为平均值 119.29 mm 时,频率为 38.6%。

表 1 暴雨设计成果表

Tab.1 Rain storm design results table

统计参数						不同频率降水量(mm)					
均值	C_v	C_s/C_v	0.2%	0.33%	0.5%	1%	2.0%	3.3%	5%	10%	20%
119.29	0.47	3.5	391	367	347	312	276	252	230	194	157

观察指标为 119.29 时,重现期理论值见表 2,以重现期为 5~500 a 不同间隔分别计算,得到降水出现的理论值,重现期越长,理论值也越大。其中,5 a 一遇的日降水量为 157 mm,10 a 一遇的日降水量为 194 mm,20 a 一遇的日降水量为 230 mm,30 a 一遇的日降水量为 252 mm,50 a 一遇的日降水量为 277 mm,100 a 一遇的日降水量为 312 mm,200 a 一遇的日降水量为 347 mm,300 a 一遇的日降水量为 367 mm,500 a 一遇的日降水量为 391 mm。

3 洪水设计

双江电站水库坝址以上有 1 条较大的支流口江河,因此,在设计洪水时,主要考虑干流上游龙王潭电站下放流量,支流口江河来水量和区间流域来水量 3 个部分。即双江电站水库洪水量 = 龙王潭电站出口流量 + 口江河来水量 + 区间流域来水量。双江电站水库流域面积为 864 km²,其中,龙王潭电站坝址上游集水面积 427 km²,口江河流域面积 335 km²,区间流域面积为 102 km²。

3.1 龙王潭坝址洪峰流量

双江河龙王潭电站坝址以上流域面积为 427 km²,河长 37.62 km,其洪峰流量计算采用贵州省暴雨洪水计算公式计算得出。贵州省暴雨洪水计算公式为:

$$Q_p = 0.674\gamma^{0.922}f^{0.125}j^{0.082}F^{0.723}[CK_p\bar{H}_{24}]^{1.23} \quad (7)$$

式中: Q_p 为洪峰流量(m³·s⁻¹); γ 为汇流系数

取值 0.053; f 为流域形状系数, $f = \frac{F}{L^2}$, L 为主河长;

j 为坡降 0.0118; F 为设计流域汇水面积; C 为洪峰径流系数,其值在 0.747~0.861 之间,本文取 0.747; $\bar{H}_{24}$ 为多年平均最大 24 h 暴雨量均值(mm); K_p 为模比系数。

采用表 1 暴雨设计成果计算龙王潭坝洪峰流量,结果见表 2。

3.2 口江河洪峰流量

口江河作为双江河左岸一级支流,流域面积 335 km²,河长 41 km。通过公式(7)计算口江河不同频率设计洪峰流量见表 2。

3.3 区间流域洪峰流量

区间流域面为双江河龙王潭坝至双江电站区间扣除口江河流域面积后的剩余部分面积,区间面积为 102 km²。本次区间洪峰流量计算采用水文比拟法计算,采用口江河已有的设计洪水按面积比指数法推求区间不同频率洪峰流量。

$$Q_{p\text{设}} = (F_{\text{设}}/F_{\text{参}})n \cdot Q_{p\text{参}} \quad (8)$$

式中: $Q_{p\text{设}}$ 、 $Q_{p\text{参}}$ 为分别为设计及参证站设计洪峰流量(m³·s⁻¹); $F_{\text{设}}$ 为设计河段处集水面积,单位为 km²; $F_{\text{参}}$ 为参证站集水面积,单位为 km²; n 为面积影响指数,取值 0.67。

根据公式(8)计算区间流域洪峰流量结果见表 2。

表 2 洪水设计成果表

Tab.2 Flood design results table

重现期/a	500	300	200	100	50	30	20	10	5
降雨量/mm	391	367	347	312	277	252	230	194	157
龙王潭坝洪峰/(m ³ ·s ⁻¹)	1250	1150	1070	921	774	671	593	468	352
口江河洪峰/(m ³ ·s ⁻¹)	1830	1686	1573	1383	1196	1060	953	774	596
区间流域洪峰/(m ³ ·s ⁻¹)	825	760	709	623	539	478	430	349	268
洪峰流量合计/(m ³ ·s ⁻¹)	3905	3596	3352	2927	2509	2209	1976	1591	1216

由表 2 可知,双江电站水库洪峰流量 5 a 一遇的理论值为 1216 m³·s⁻¹,10 a 一遇的理论值为 1591 m³·s⁻¹,20 a 一遇的理论值为 1976 m³·s⁻¹,

30 a 一遇的理论值为 2209 m³·s⁻¹,50 a 一遇的理论值为 2509 m³·s⁻¹,100 a 一遇的理论值为 2927 m³·s⁻¹,200 a 一遇的理论值为 3352 m³·s⁻¹,300

a 一遇的理论值为 $3596 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 500 a 一遇的理论值为 $3905 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

黎平双江电站水库正常蓄水位 287.00 m, 坝顶高程 288.80 m, 坝底高程 223.00 m, 最大坝高 65.8 m, 总库容 3605 万 m^3 。根据《防洪标准》(GB 50201-2014)、《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252-2017) 的规定, 水库大坝工程为Ⅲ等中型工程, 大坝、泄洪设施等主要建筑物为 3 级, 防洪标准按 50 a 一遇洪水设计, 即 $P=2.0\%$, 日最大降水量 = 277 mm 和洪峰流量 = $2509 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 标准设计。洪水校核按 500 a 一遇设计, 即按 $P=0.2\%$, 日最大降水量 = 391 mm 和洪峰流量 = $3905 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 标准设计; 消能防冲设计标准按 30 a 一遇, 即按 $P=3.3\%$, 日最大降水量 = 252 mm 和洪峰流量 = $2209 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 标准设计。

4 结论与讨论

(1) 黎平双江河属于雨洪式河流, 洪水由暴雨形成, 洪水发生时段与暴雨发生时段相一致, 具有历时短、汇流快、洪峰高的特点。为最大程度地反映极端强降水的危害性, 选用参证站资料的方法对黎平双江电站水库 1954—2021 年逐年最大日降水量进行暴雨洪水设计, 得到防洪指标。研究成果对贵州省黎平双江电站水库提高防洪标准, 预防灾害性强降水, 安全渡汛和水库优化调度, 提高产能具有十分重要的决策指导意义。

(2) 缺少历史气象资料是影响暴雨洪水设计的重要因素之一。随着社会经济不断发展, 气象监测站网建设也得到加密, 双江电站水库流域面内 2010 年以后开始建设区域常规站, 其资料与国家站相比, 在降水量、雨日、暴雨日数、极端降水量等有一定的差异^[19]。在全球各类极端天气事件频发的气候背景下, 近 10 a 来黔东南降水表现出极端性和显著突变增多的趋势^[20-21]。双江电站水库流域面内也同样存在这一特性, 2016 年 6 月 10 日双江河上游九潮气象监测站出现特大暴雨, 造成电站机房进水被淹, 灾后重建电站, 加固大坝, 但 3 个参证站降水均小于九潮站。用其它站资料代替虽然具有一定的代表性, 但无法反映真实情况。从近 10 a 资料来分析, 双江电站水库流域面内降水量与榕江、黎平、从江 3 个国家气象站降水偏多。本文中暴雨洪水设计成果虽然比前人研究有了提高, 但仍与实际有一定的差距, 在作成果应用参考时, 从安全出发可适当提高设计标准。

(3) 暴雨洪水设计计算方法也是影响防洪设计标准的重要因素之一, 计算方法的不同可能会导致

不同的防洪标准。本研究采用的洪峰流量计算方法引用《贵州省暴雨洪水计算实用手册》, 最早出现在著名专家陈家琦 1985 年编著的《小流域暴雨洪水计算》中。该方法为经验计算公式, 随着气象资料的丰富和实际应用河场景不同, 导致计算结果与实际可能会存在一定的误差。

(4) 人为因素也是影响防洪设计标准的重要因素之一。多数暴雨洪水设计计算均考虑自然状态下的河流, 随着水资源的不断开发利用, 双江河流域梯级电站也越来越多, 当出现自然洪峰与上游水库泄洪洪峰叠加时, 可能会出现更大的人为洪峰, 这也是影响大坝安全渡汛的重要因素。

参考文献

- [1] 严方家, 李琼芳, 王燕, 等. 镇江市中长历时设计暴雨计算[J]. 水资源保护, 2021, 27(2): 108-111.
- [2] 刘景文, 张红玉. 小流域暴雨设计的推求[J]. 吉林水利, 2001(7): 41-42.
- [3] 郭华. 罗纹河暴雨洪水特性及设计洪水计算分析[J]. 地下水, 2021, 43(5): 258-259.
- [4] 杨洪泽. 顾洞河设计暴雨洪水计算方法推求[J]. 地下水, 2021, 43(3): 210-211.
- [5] 殷朝阳. 石宝岩水库洪水计算与分析[J]. 陕西水利, 2018, 11(6): 66-68.
- [6] 章四龙. 洪水预报系统关键技术研究与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [7] 齐梅兰. 工程水文学[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2009.
- [8] 李增国, 张楠, 张振杰, 等. 无资料小流域水库设计洪水计算方法分析[J]. 水利水电快报, 2020, 41(5): 24-27.
- [9] 姜芸. 新疆无资料地区洪水估算方法[J]. 地下水, 2014, 36(3): 130-132.
- [10] 栗雪峰, 刘俊萍. 无资料地区设计暴雨计算研究[J]. 人民长江, 2014, 45(17): 23-25.
- [11] 曹筠欣, 关凯. 西藏地区无资料小流域设计洪水计算方法对比分析[J]. 地下水, 2020, 42(4): 186-187.
- [12] 王彬雁, 赵琳娜, 许晖, 等. 四川雨季小时降水的概率分布特征及其降水分区[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(2): 115-123.
- [13] 王继辉. 贵州省暴雨洪水计算实用手册[Z]. 贵州省水利厅, 1983.
- [14] 王继辉, 郭履维, 鹿坤. 贵州特小流域暴雨洪水计算[J]. 贵州水力发电, 1995(3): 54-60.
- [15] 王继辉. 贵州暴雨洪水计算综述[J]. 贵州水力发电, 2000(1): 1-6.
- [16] 刘冬梅, 罗永强, 郭应洁. 贵州省暴雨洪水计算实用手册应用概述[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(2): 4-8.
- [17] 何树杰. 贵州巴拉河流域“2015.5.27”暴雨洪水分析[J]. 中国防汛抗旱, 2015, 25(4): 69-71.
- [18] 杨士恩, 郭晓霞, 衣霞, 等. 聊城市日最大降水量分布特征及其重现期的推算[J]. 山东气象, 2009, 29(4): 28-30.
- [19] 周智辉, 顾欣, 陈杨, 等. 近 10 a 黔东南区域站与国家站降水时空对比分析[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(5): 88-93.
- [20] 杨平, 谢智沛. 黔东南州 2019 年 6—7 月降水异常分析[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(5): 82-87.
- [21] 潘影, 邓世有, 王珏. 黔东南州近 40 a 夏季降水时空分布及异常年环流特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(4): 50-55.