

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.04-07

赣江栋背水文站历史洪水误差对设计洪水的影响研究

许世超^{1,2}, 许新发², 刘章君²

(1. 南昌大学建筑工程学院, 江西 南昌 330031; 2. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

摘要: 历史洪水一般都来自于调查考证, 存在着一定的误差, 如何评估历史洪水误差对设计洪水计算成果的影响具有重要意义。现有研究通常只考虑了量级或重现期的单独影响, 而对量级和重现期误差的联合影响研究较少。本文基于 P-III 型分布和线性矩法 (LM) 构建 P-III/LM 洪水频率计算模型, 在实测资料基础上加入不同量级、不同重现期和量级与重现期联合扰动的历史洪水, 研究历史洪水误差对设计洪水的影响。赣江栋背水文站的应用结果表明: 历史洪水量级误差对设计洪水的影响比重现期误差更加显著。量级与重现期两者存在交互关系, 当量级与重现期联合扰动时不仅有正向的增强效果, 还有负向抵消减弱的情况, 在量级与重现期联合扰动-20%~20%情况下, 2000 年一遇、1000 年一遇和 100 年一遇洪水设计值最大偏差比例分别为 9.12%、8.53%、6.20%和-5.86%、-5.50%、-4.02%。重现期误差偏大或偏小 20%, 可大致抵消量级误差偏大或者偏小 10% 的影响。

关键词: 历史洪水; 设计洪水; 量级误差; 重现期误差; 联合扰动

中图分类号: TV122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2019)04-0269-06

0 引言

设计洪水计算成果可信度与所用资料的代表性密切相关, 而资料的代表性又主要受到资料系列长短的制约。洪水资料的样本系列越长, 抽样误差越小^[1]。然而, 实测洪水系列长度通常仅有几十年, 用这有限的样本来进行总体参数估计及频率曲线外延, 有时需要外延推求上百年甚至上千年一遇的设计洪水, 所得成果就难免有很大的抽样误差。为了减少抽样误差, 工程中往往会加入历史洪水来扩展考证期以提高设计洪水计算精度^[2-3]。然而, 这些历史洪水大多来自调查考证, 存在着一定的误差。将带着有误差的历史洪水进行频率计算往往会对设计洪水产生影响。若估计的设计洪水数据偏大, 会导致资源的巨大浪费; 若估计的设计洪水数据偏小, 则会导致工程安全性降低, 构成严重的危害。所以研究历史洪水误差对设计洪水的影响具有重

要意义。

已有学者分析探究了历史洪水误差对设计洪水的影响, 费永法^[4]采用统计试验方法, 探讨了加入不同个数、不同重现期误差和不同量级误差的历史洪水对设计洪水的影响。黄振平^[5]等研究了在不同适线准则下历史洪水重现期误差对洪水频率计算成果的影响。黄伟军^[6]等通过统计试验法研究得出即使历史洪水存在不确定性, 但积极作用是主要的。胡瑶^[7]等利用丹江口水库实测资料, 采用适线法和线性矩法估计参数探讨了历史洪水不确定性对设计成果的影响。马顺刚^[8]等采用统计试验方法推导分析出无古洪水资料时洪水设计值比有古洪水资料时偏小 10%~20%。

目前, 针对历史洪水误差研究主要集中在单方面影响, 如加入历史洪水个数不同, 重现期不同, 量级不同等方面, 在量级和重现期联合误差方面, 相关的研究较少, 本文以赣江栋背水文站为例, 采用线性矩法估计参数, 建立 P-III/LM 洪水频率分析模型推求设计洪水,

收稿日期: 2019-06-03

项目来源: 江西省重点研发计划 (20181ACG70018); 江西省水利厅科技项目 (KT201601; KT201704)。

作者简介: 许世超 (1995-), 男, 大学本科。

给历史洪水施加扰动后加入到实测系列进行频率计算,研究探讨历史洪水只有量级误差、重现期误差及量级与重现期的联合扰动误差对设计洪水的影响。

1 区域与数据概况

1.1 测站情况

栋背水文站位于江西省万安县百嘉乡栋背村,控制流域面积 40 231km²。该站 1957 年 1 月由江西省水文总站设立,观测水位、流量、降水量等。栋背水文站作为井冈山航电枢纽和石虎塘航电枢纽分析计算设计洪水的依据站,了解其历史洪水不确定性对设计洪水的影响具有重要意义。

1.2 实测资料系列

由于栋背水文站位于万安水库下游,受万安水库调度影响,洪水过程为水库调节后的成果,因此,本次采用栋背水文站 1957~2017 年还原后的水文资料进行分析。

1.3 历史洪水确定

根据《江西省洪水调查资料》^[9],栋背站 1915 年、1922 年历史洪水洪峰是以棉津站洪峰按照面积比的 2/3 次方进行推算,分别为 22 279m³/s 和 17 292m³/s,重现期分别为 100 年和 50 年。

2 研究方法

本文采用线性矩法估计参数,建立了 P-III/LM 洪水频率分析模型推求设计洪水,给历史洪水施加扰动后加入到实测系列进行频率计算,研究探讨历史洪水不确定性对设计洪水的影响。

2.1 分布线型

根据《水利水电工程设计洪水计算规范》^[10]采用 P-III 型频率曲线来推求设计洪水,其概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - \alpha_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-\alpha_0)} \quad (1)$$

式中: α 、 β 、 α_0 分别为 P-III 型频率曲线的形状、尺度和位置参数。

2.2 L-矩法

Hosking^[11]1990 年定义了线性矩,线性矩法是基于传统矩法发展起来的,是用于估计洪水频率曲线参数的新方法。因估计量具有良好的不偏性,与传统矩法估

计参数相比显得更为客观^[12]。具有历史洪水时 P-III 型分布线性矩法参数推求公式如下^[13]:

设水文样本最大重现期为 N , 历史洪水个数为 a , 实测期历史洪水个数为 l , 实测期样本长度为 n , 且由小至大排列的样本为 $\{x_m, m=1, 2, \dots, n-l+a\}$, 则计算公式为:

$$b_0 = \frac{1}{N} \left[\frac{N-a}{n-l} \sum_{m=1}^{n-l} x_m + \sum_{m=n-l+1}^{n-l+a} x_m \right] \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \left[\frac{N-a}{n-l} \sum_{m=1}^{n-l} \frac{m-1}{n-l-1} \frac{N-a-1}{N-1} x_m + \sum_{m=n-l+1}^{n-l+a} \frac{N-n+l-a+m-1}{N-1} x_m \right] \quad (3)$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \left[\frac{N-a}{n-l} \sum_{m=1}^{n-l} \frac{(m-1)(m-2)}{(n-l-1)(n-l-2)} \frac{(N-a-1)(N-a-2)}{(N-1)(N-2)} x_m + \sum_{m=n-l+1}^{n-l+a} \frac{(N-n+l-a+m-1)(N-n+l-a+m-2)}{(N-1)(N-2)} x_m \right] \quad (4)$$

$$l_1 = b_0 \quad (5)$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0 \quad (6)$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad (7)$$

$$\tau_3 = \frac{l_3}{l_2} \quad (8)$$

再由线性矩与 P-III 型分布曲线参数的关系可以求出 3 个统计特征参数如下:

$$Ex = l_1 \quad (9)$$

$$Cs = 2\alpha^{-\frac{1}{2}} \text{sign}(\tau_3) \quad (10)$$

$$Cv = l_2 \pi^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{1}{2}} \Gamma(\alpha) / \Gamma(\alpha+0.5) / l_1 \quad (11)$$

2.3 误差方案拟定

栋背水文站有 1915 年、1922 年两个历史洪水,因 1922 年历史洪水最大洪峰流量为 17 292m³/s,与实测值相差不大,若给其 -20%~20% 扰动时,则有小于实测资料的情况,故本次扰动仅考虑 1915 年历史洪水的情况,探讨首大历史洪水误差对设计洪水的影响,拟定如下 3 种不同情况:

① 仅考虑历史洪水量级误差的影响,对历史洪水量级施加 -20%~20% 扰动。

② 仅考虑历史洪水量级重现期误差的影响,对历史洪水重现期施加 -20%~20% 扰动。

③ 考虑历史洪水量级与重现期联合扰动的影响,同时给量级和重现期施加 -20%~20% 扰动。

3 结果与讨论

3.1 历史洪水量级误差对设计值的影响

给历史洪水量级施加-20%~20%的扰动带入实测资料进行频率计算其结果见表 1,可以发现,随着量级的不断增大, P-Ⅲ/LM 模型所计算出的设计参数与洪水设计值均在增加。当量级误差从-20%变化到 20%,

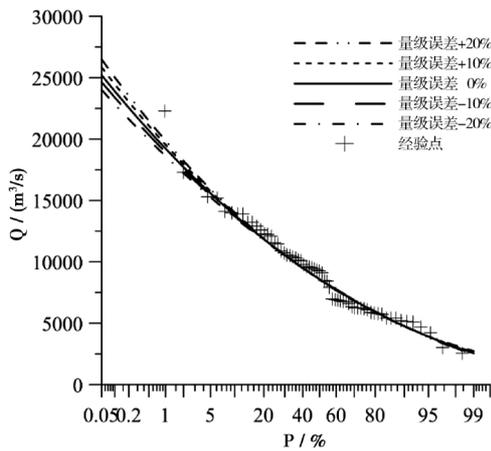


图 1 P-Ⅲ/LM 模型量级误差对设计洪水的影响

P-Ⅲ/LM 模型计算出的设计参数 E_x 、 C_v 和 C_s 从 $8\ 964\text{m}^3/\text{s}$ 、0.391 和 0.6 变化到 $9\ 053\text{m}^3/\text{s}$ 、0.41、0.84, 2000 年一遇洪水设计值从 $24\ 023\text{m}^3/\text{s}$ 增加到 $26\ 448\text{m}^3/\text{s}$ 。相同的量级误差下,设计洪水频率越小,受到扰动的影响就越显著。当误差 20%时, 2000 年一遇、1000 年一遇和 100 年一遇洪水设计值误差百分比分别为 4.9%、4.6%和 3.3%。

图 1 为 P-Ⅲ/LM 模型在不同量级扰动情况下频率曲线的对比,图中可以看出曲线上端差异比较显著,但在实测资料范围内差别不明显。

3.2 历史洪水重现期误差对设计值的影响

历史洪水重现期考证由于受到资料条件的限制和主观判断因素的影响,存在着较大的误差。给历史洪水重现期施加-20%~20%的扰动,其参数与设计值变化结果见表 2。

由表 2 可以看出,随着重现期误差从-20%变化到 20%, P-Ⅲ/LM 模型所计算出的设计参数与设计值均呈现递减趋势。相同的重现期误差扰动下,设计值频率越小所受到的影响也越为显著,当重现期误差为-20%时,2000 年一遇、1000 年一遇和 100 年一遇洪水设计值误差百分比分别为 3.0%、2.8%和 2.2%。

表 1 不同历史洪水量级误差下 P-Ⅲ/LM 模型估计参数和设计值的变化

误差	参数			0.05%		0.10%		1%	
	E_x	C_v	C_s	设计值/(m^3/s)	误差/%	设计值/(m^3/s)	误差/%	设计值/(m^3/s)	误差/%
-20%	8 964	0.391	0.600	24 023	-4.7	22 839	-4.4	18 628	-3.1
-10%	8 987	0.396	0.662	24 623	-2.3	23 370	-2.2	18 934	-1.6
0%	9 009	0.400	0.720	25 209	—	23 889	—	19 233	—
10%	9 031	0.405	0.780	25 835	2.5	24 441	2.3	19 550	1.6
20%	9 053	0.410	0.840	26 448	4.9	24 983	4.6	19 860	3.3

表 2 不同历史洪水重现期误差下 P-Ⅲ/LM 模型估计参数和设计值的变化

误差	参数			0.05%		0.10%		1%	
	E_x	C_v	C_s	设计值/(m^3/s)	误差/%	设计值/(m^3/s)	误差/%	设计值/(m^3/s)	误差/%
-20%	9 064	0.406	0.779	25 968	3.0	24 566	2.8	19 648	2.2
-10%	9 033	0.403	0.747	25 557	1.4	24 199	1.3	19 422	1.0
0%	9 009	0.400	0.720	25 209	—	23 889	—	19 233	—
10%	8 989	0.398	0.700	24 956	-1.0	23 662	-1.0	19 093	-0.7
20%	8 972	0.396	0.682	24 731	-1.9	23 460	-1.8	18 969	-1.4

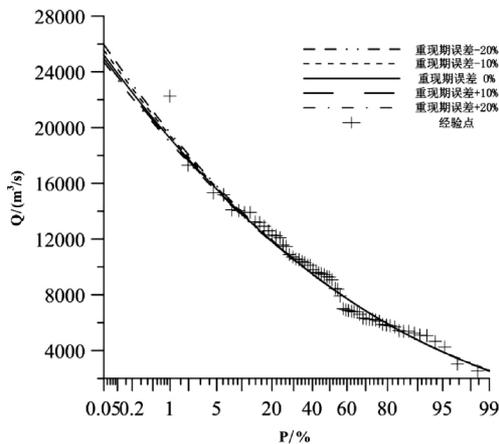


图2 P-III/LM 模型重现期误差对设计洪水的影响

图2为在不同重现期扰动情况下频率曲线的对比,图中可以看出曲线上端差异比较显著,但在实测资料范围内差别不明显。对比图1,可以看出历史洪水量级对设计洪水的影响比重现期更加显著。

3.3 量级与重现期联合扰动对设计值的影响

表3~5分别为量级与重现期联合扰动对2000年一遇、1000年一遇和100年一遇的设计洪水影响成果。

表3 量级与重现期联合扰动对2000年一遇洪水影响成果 %

重现期误差	量级误差				
	-20	-10	0	10	20
-20	-3.18	0.00	3.01	6.05	9.12
-10	-3.94	-1.29	1.38	4.07	6.78
0	-4.70	-2.00	0.00	2.48	4.91
10	-5.34	-3.18	-1.00	1.19	3.39
20	-5.86	-3.89	-1.90	0.10	2.11

表4 量级与重现期联合扰动对1000年一遇洪水影响成果 %

重现期误差	量级误差				
	-20	-10	0	10	20
-20	-2.98	0.03	2.83	5.67	8.53
-10	-3.67	-1.19	1.30	3.81	6.33
0	-4.40	-2.17	0.00	2.31	4.58
10	-4.99	-2.98	-0.95	1.09	3.14
20	-5.50	-3.65	-1.80	0.07	1.95

表5 量级与重现期联合扰动对100年一遇洪水影响成果 %

重现期误差	量级误差				
	-20	-10	0	10	20
-20	-2.18	0.15	2.16	4.17	6.20
-10	-2.56	-0.80	0.98	2.77	4.57
0	-3.15	-1.55	0.00	1.65	3.26
10	-3.62	-2.18	-0.73	0.73	2.19
20	-4.02	-2.70	-1.37	-0.04	1.30

从表3~5中可见,在量级和重现期联合扰动误差下,两者存在交互关系,使得模型计算出的洪水设计值偏差比例有正向叠加增强的效果,在增强效果中,洪水设计值偏差最大为量级偏大20%,重现期偏小20%这种情形。P-III/LM模型计算成果表示,2000年一遇、1000年一遇和100年一遇洪水设计值误差分别为9.12%、8.53%和6.20%。然而量级偏小20%,重现期偏大20%这种情况算出的洪水设计值是最小的,计算得出2000年一遇、1000年一遇和100年一遇洪水误差分别为-5.86%、-5.50%和-4.02%。

当量级与重现期联合扰动时不仅有正向增强的效果,还有负向抵消减弱的情况。当量级变大重现期也变大时,或者当量级变小重现期也同时变小时,会使得其误差影响相互减弱。以设计洪水频率0.05%为例,其影响结果见图3。

从图3中可以看出,当量级偏大10%,重现期偏大20%时,该情况对设计值几乎没有影响,当量级偏小10%,重现期同时也偏小20%时,对设计值影响也十分的小。这说明不论量级偏大或者偏小10%时,只要重现期同时偏大或偏小20%,可以大致抵消其影响。

4 结论

本文运用频率分析方法,在实测资料基础上加入不同量级、不同重现期和量级与重现期联合扰动的历史洪水,构建P-III/LM模型推求设计洪水,研究历史洪水误差对设计洪水的影响。根据赣江栋背水文站实测资料,主要研究结论如下:

(1)相同扰动情况下,历史洪水量级误差对设计洪水的影响比重现期误差更加显著。

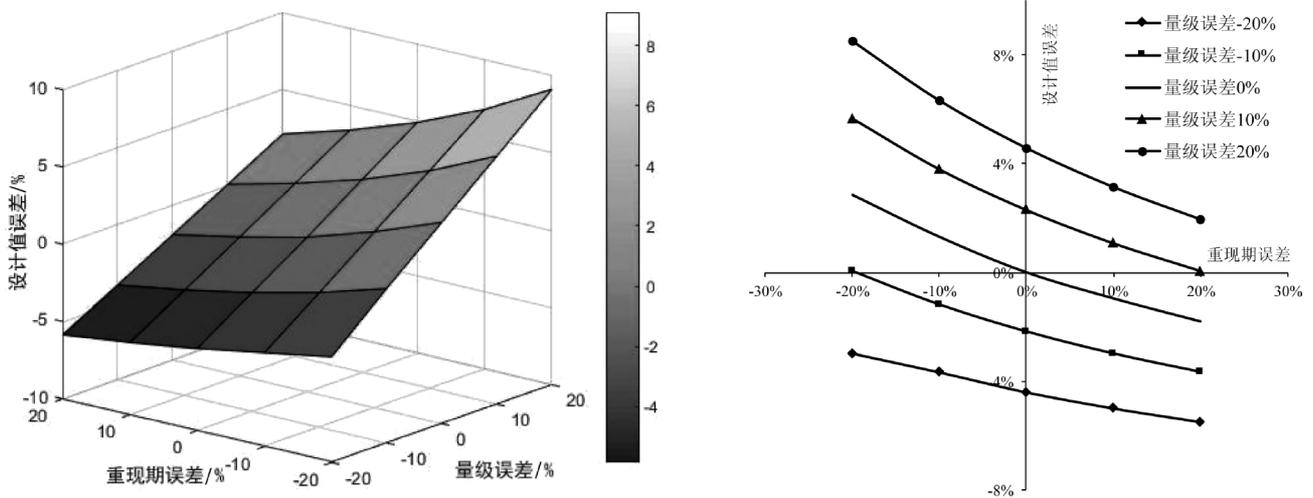


图 3 量级与重现期联合扰动对 2000 年一遇洪水的影响

(2) 在联合扰动情况下,通过 P-III/LM 模型计算出 2000 年一遇、1000 年一遇和 100 年一遇洪水设计值最大偏差比例分别为 9.12%、8.53%、6.20%和-5.86%、-5.50%、-4.02%。

(3) 在联合扰动情况下,当量级误差偏大或者偏小 10%时,只要重现期误差同时偏大或偏小 20%,可以大致抵消其影响。

参考文献:

[1] 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.
 [2] ENGLAND JR., J. F., JARRETT, R. D. and SALAS, J. D. Data-based comparisons of moment estimators using historical and paleo-flood data. Journal of Hydrology,2003(278):172~196.
 [3] Lam D, Thompson C, Croke J, et al. Reducing uncertainty with flood frequency analysis: The contribution of paleoflood and historical flood information[J]. Water Resources Research, 2017, 53(3): 2312~2327.
 [4] 费永法. 历史特大洪水对设计洪水频率曲线参数及设计值的影响[J]. 水力发电学报,1999(4):45~50.

[5] 黄伟军,王文圣,金菊良,等. 历史洪水不确定性对洪水频率计算成果的影响 [J]. 四川大学学报: 工程科学版,2006,38(3):13~16.
 [6] 胡瑶,郭生练,刘章君. 丹江口水库历史洪水不确定性对设计成果的影响研究[J]. 水资源研究,2016(3):255~261.
 [7] 马顺刚,康有,王涛. 古洪水资料对水电工程设计洪水抽样误差的影响[J]. 水电能源科学,2018,36(8):60~63.
 [8] 黄振平,王春霞,马军建. 历史洪水重现期的误差对设计洪水的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2002,30(1):79~82.
 [9] 江西省水利厅. 江西省洪水调查资料 [R]. 南昌:江西水利厅,1983,11.
 [10] 中华人民共和国水利部. SL44~2006 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
 [11] Hosking J R M. L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics[J]. Journal of Royal Statistical Society,1990,52(1):105~124.
 [12] 张静怡,徐小明. 极值分布和 P-III 型分布线性矩法在区域洪水频率分析中的检验[J]. 水文,2002,22(6):36~38.
 [13] 陈元芳,沙志贵,陈剑池,等. 具有历史洪水时 P-III 分布线性矩法的研究 [J]. 河海大学学报:自然科学版,2001,29(4):76~80.

编辑:张绍付

The impact of historical flood error on design flood in Dongbei hydrological station of Ganjiang river

XU Shichao^{1,2}, XU Xinfu², LIU Zhangjun²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 30031, China;

2. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: Historical flood usually comes from investigation and textual research, with errors. How to evaluate the influence of historical flood error on design flood calculation results is of great significance. Existing studies usually only consider the single effect of magnitude or recurrence period, but the combined effect of magnitude and recurrence period error is rarely studied. In this paper, P-III/LM flood frequency calculation model is built based on P-III distribution and L-moment method (LM). Historical floods of different orders of magnitude, different recurrence periods and combined disturbance of magnitude and recurrence period are added on the basis of measured data to study the influence of historical flood error on design flood. The application results of Ganjiang Dongbei hydrological station show that the influence of historical flood magnitude error on design flood is more significant than that of current period error. Magnitude and recurrence interval there is interaction relationship, when disturbance level and return period that not only has positive effect, and negative offset weakening, in magnitude and recurrence interval joint disturbance-20%~20% of cases, once, once in 1000 and 2000 in 100, a flood design value maximum deviation ratio were 9.12%, 8.53%, 6.20% and 5.86%, 5.50%, 4.02%. Large or small error of 20% in the recurrence period can roughly offset the impact of large or small error of 10%.

Key words: Historical flood; Design flood; Magnitude error; Return period error; Joint disturbance

翻译: 许世超