

Effect of Historical Flood Uncertainty on Design Floods in the Danjiangkou Reservoir

Yao Hu^{1,2}, Shenglian Guo^{1,2}, Zhangjun Liu^{1,2}

¹State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan Hubei

²Hubei Provincial Collaborative Innovation Center for Water Resource Security, Wuhan Hubei

Email: yaohu1103@foxmail.com

Received: May 12th, 2016; accepted: May 31st, 2016; published: Jun. 3rd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

The historical floods always have some errors in terms of the magnitude and the return period due to many complex factors. Analyzing these uncertainty effects can improve the quality of design flood estimation. The P-III/CF and P-III/LM frequency analysis models in which P-III distribution couples with Curve-Fitting (CF) and L-Moment (LM) parameter estimation methods are used to evaluate the uncertainty of historical floods in the Danjiangkou Reservoir. The results show that the historical flood magnitude errors have more significant influence on design floods than the return period errors. The effects of historical flood on design floods estimated by P-III/CF model are larger than those by P-III/LM model.

Keywords

Historical Flood, Uncertainty, Magnitude Error, Return Period Error, Frequency Analysis Model

丹江口水库历史洪水不确定性对设计成果的影响研究

胡瑶^{1,2}, 郭生练^{1,2}, 刘章君^{1,2}

¹武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉

²水资源安全保障湖北省协同创新中心, 湖北 武汉

Email: yaohu1103@foxmail.com

作者简介: 胡瑶(1990-), 女, 安徽池州人, 硕士研究生, 研究方向为水文分析计算。

收稿日期：2016年5月12日；录用日期：2016年5月31日；发布日期：2016年6月3日

摘要

因资料条件等原因，所考证到的历史洪水在量级和重现期方面总存在一定的误差。研究这种不确定性对设计成果的影响，对提高设计成果质量有重要的意义。以丹江口水库为实例，分别采用适线法(CF)和线型矩法(LM)估计P-III型分布参数，建立了P-III/CF, P-III/LM两种洪水频率分析模型推求设计洪水，研究探讨了历史洪水不确定性对设计成果的影响。结果表明：历史洪水量级误差和重现期误差对设计成果均有一定的影响，但量级误差对设计成果的影响比重现期误差显著得多。P-III/CF模型计算的影响要大于P-III/LM模型。

关键词

历史洪水，不确定性，量级误差，重现期误差，频率分析模型

1. 引言

设计洪水计算成果的可信度与所用资料的代表性密切相关，洪水资料的样本系列越长，抽样误差越小[1]。然而实测资料往往有限，不能满足推算重要的水利工程设计洪水的要求。考虑历史洪水的设计成果计算能使洪水的考证期大为扩展，可用有限的样本来进行总体参数估计及频率曲线外延，有助于提高设计洪水计算精度[2]-[6]。

考虑将历史洪水加入实测系列中进行频率计算，已引起水文学家和工程师们广泛的兴趣和关注，国内外已取得了一系列的研究成果[7]-[11]。实践表明在洪水频率计算中考虑历史洪水的作用，对减少抽样误差，使计算成果趋于比较合理和相对稳定的效果是明显的[12]-[14]。

历史洪水因发生年代久远，要通过实地调查、分析、测量和计算才能得到定量估值。在对历史时期发生的特大洪水最高水位的调查和最大流量的估算等方面都包含有许多不可忽略的误差，无论是历史洪水本身的量值，还是相应的重现期，都存在着不确定性和误差。因此，研究历史洪水的不确定性对频率计算成果的影响，对提高设计成果质量有重要的意义。

2. 丹江口水库概况

丹江口水库是汉江中下游防洪和水资源开发的关键性水利枢纽工程，也是南水北调中线工程的水源工程。丹江口水库流域面积 9.52 万 km²，约占汉江集水面积的 60%，多年平均来水量约 363 亿 m³。

汉江两岸人口稠密，城镇大多背山面水而建，对灾害性的洪水，历来十分重视，因此在汉江两岸有关洪水的碑记、洪痕刻字和当地县志材料较多，易于搜集大量宝贵的洪水资料；设计过程中搜集了大量宝贵洪水资料，组织开展了大规模的调查，基本上可以理清近百年来的历次大洪水。本次研究采用丹江口水库的历史调查洪水和 1929~2014(共 86 年)的实测洪峰系列资料，其中 1935 年做特大值处理。历史调查洪峰系列为 1583 年、1867 年、1852 年、1832 年、1693 年和 1921 年，最大调查考证期为 432 年。

采用 P-III/CF, P-III/LM(选择 P-III 线型分布，分别采用适线法(CF)和线性矩(LM)法估计参数)两种洪水频率分析模型，计算考虑历史洪水不确定性对设计成果的影响。实测洪水系列中加入不同量级或不同重现期的历史洪水，对设计洪水的影响也是不相同的。本文从历史洪水量级误差及重现期误差两个方面，研究探讨历史洪水不确定性对设计成果的影响。

3. 历史洪水量级误差对设计成果的影响

因资料条件等原因，考证到的历史洪水总存在一定的误差。一般地，历史洪水值误差越大，对设计洪水的

影响也越大。费永法[12]研究了历史洪水量级估计误差对统计参数和设计洪水的影响,结果显示:当历史洪水误差为 $\pm 10\%$ 时,千年一遇设计值的误差分别为 5.8%和-5.2%;当历史洪水误差为 $\pm 20\%$ 时,设计值的误差分别为 28.2%和-19.5%。历史洪水值的误差对设计洪水值的均方差的影响也比较显著,并且不管是正误差还是负误差,都将加大设计值的均方差。比较发现,即使历史洪水值的误差高达 $\pm 50\%$,其千年一遇的洪水设计值的均方差还要小于实测系列估计设计值的均方差。

分别采用 P-III/CF, P-III/LM 两种洪水频率分析模型,计算考虑历史洪水不同量级误差对设计成果的影响,结果见表 1 和表 2,图 1 绘出不同量级误差的频率曲线对比。

由表 1 和表 2 可知,随着历史洪水量级误差的增大,统计参数和设计洪水值随之增大。历史洪水量级的误差对设计洪水值的影响较大,在相同的误差条件下,重现期越大的设计洪水值影响更显著,如 P-III/LM 模型计算设计成果时,当历史洪水值的误差为 50%时,百年一遇、千年一遇和万年一遇设计洪水值的误差分别为 8.4%, 11.4%和 13.6%。

在相同的量级误差条件下,采用 P-III/CF 模型计算的均值, C_v 、 C_s 的值均大于用 P-III/LM 模型。如当误差为-50%时, P-III/CF 模型计算的均值, C_v 和 C_s 的值分别为 $14,929 \text{ m}^3/\text{s}$, 0.53 和 1.07;而 P-III/LM 模型计算的结果分别为 $14,847 \text{ m}^3/\text{s}$, 0.50 和 0.32;采用 P-III/CF 模型计算得出的洪水设计值误差基本大于 P-III/LM 模型,如当量级误差为 50%时, P-III/CF 模型计算的万年一遇的设计值误差为 61.2%,而 P-III/LM 模型计算的万年一遇的设计值误差为 13.6%。

Table 1. Effect of flood magnitude errors on parameters and design floods estimated by P-III/CF model

表 1. 历史洪水量级误差对 P-III/CF 模型估计参数及设计值的影响

量级误差(%)	统计参数				0.01%		0.10%		1%	
	E_x	C_v	C_s	C_s/C_v	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)
50%	16,009	0.82	2.23	2.7	130,271	61.2	97,401	52.6	64,810	39.7
20%	15,817	0.70	1.77	2.5	101,135	25.1	77,879	22.0	54,397	17.3
10%	15,753	0.65	1.63	2.5	91,306	13.0	71,123	11.5	50,600	9.1
0%	15,688	0.59	1.48	2.5	80,818	—	63,812	—	46,379	—
-10%	15,623	0.57	1.24	2.2	73,499	-9.1	58,979	-7.6	43,880	-5.4
-20%	15,523	0.55	1.15	2.1	69,261	-14.3	56,005	-12.2	42,135	-9.2
-50%	14,929	0.53	1.07	2.0	63,324	-21.6	51,569	-19.2	39,200	-15.5

Table 2. Effect of flood magnitude errors on parameters and design floods estimated by P-III/LM model

表 2. 历史洪水量级误差对 P-III/LM 模型估计参数及设计值的影响

量级误差(%)	统计参数			0.01%		0.10%		1%	
	E_x	C_v	C_s	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)
50%	15,832	0.58	1.08	72,824	13.6	58,948	11.4	44,359	8.4
20%	15,682	0.57	0.94	67,548	5.4	55,306	4.5	42,285	3.3
10%	15,632	0.56	0.89	65,819	2.7	54,110	2.2	41,601	1.7
0%	15,582	0.56	0.84	64,116	—	52,930	—	40,924	—
-10%	15,532	0.55	0.78	62,394	-2.7	51,735	-2.3	40,237	-1.7
-20%	15,443	0.54	0.69	59,550	-7.1	49,755	-6	39,091	-4.5
-50%	14,847	0.50	0.32	47,672	-25.6	41,225	-22.1	33,857	-17.3

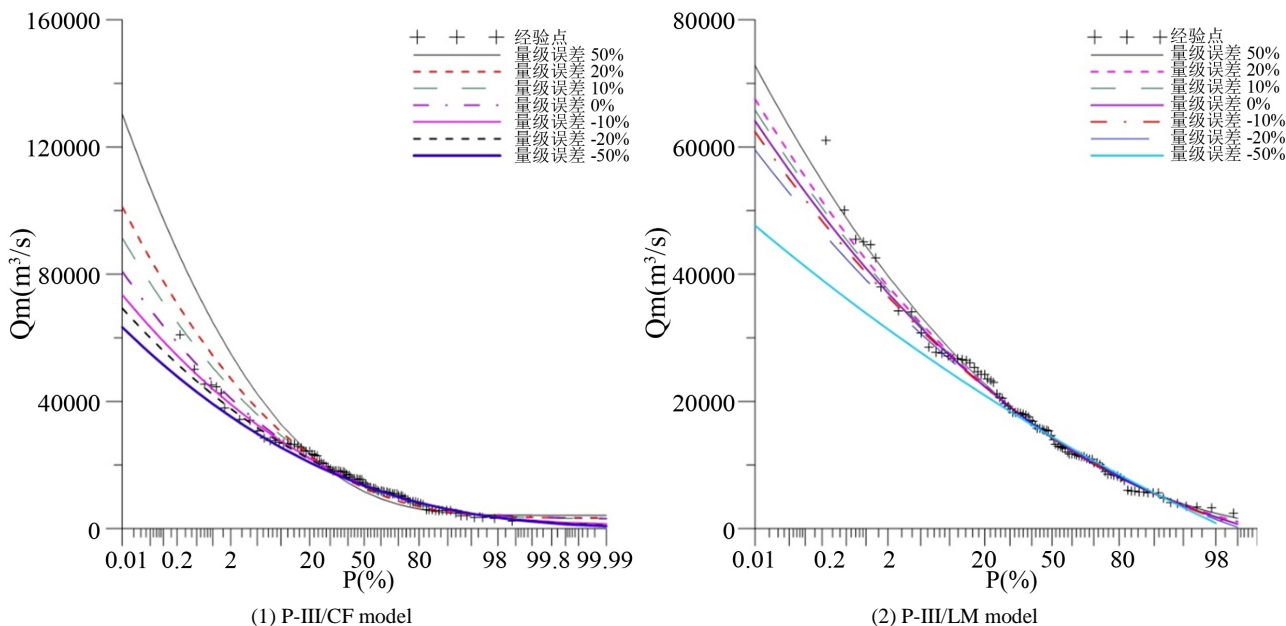


Figure 1. Effect of historical flood magnitude errors on design floods

图 1. 历史洪水不同量级误差对设计成果的影响

由图 1 的历史洪水量级误差对设计成果的影响对比图可知,采用 P-III/CF 和 P-III/LM 模型计算的设计成果,量级误差的影响在频率曲线的上端表现得较显著,而在实测资料的范围内差别不大。

4. 历史洪水重现期误差对设计成果的影响

历史洪水资料多从调查考证中获得,其数量和重现期的确定很困难,可能存在相当大的误差,历史洪水重现期误差也会对设计洪水造成一定的影响。

Hirsch [4]对历史洪水的重现期的确定进行了讨论,并分析了不正确的假设“历史洪水重现期等于已知的首场历史洪水发生以来的时间”所导致的误差。这一假设在洪水频率分析中广泛应用,有可能使频率估计值或设计值产生严重偏差。费永法[12]运用统计实验分析方法,研究不同重现期的历史洪水和历史洪水重现期估计误差对设计洪水的影响。结果表明:加入的历史洪水重现期越长,则设计洪水成果的稳定性越好,精度越高;尽管历史洪水重现期有一定误差,但仍能有效地提高设计洪水成果的稳定性;历史洪水值的误差对设计洪水的影响比历史洪水重现期误差对设计洪水的影响大得多。黄振平[13]探讨了历史洪水及其重现期的误差对洪水频率计算成果的影响及不同适线准则下计算结果的差别,得出结论:历史洪水重现期越长,设计洪水成果的稳定性越好,精度越高;历史洪水重现期的误差对设计值的影响相对较小,并且历史洪水重现期越长,其影响就越小。

分别采用 P-III/CF, P-III/LM 模型,计算考虑不同历史洪水重现期误差对统计参数和设计成果的影响,结果见表 3 和表 4,频率曲线对比图如图 2 所示。

由表 3 和表 4 可知,随着历史洪水重现期误差的增大,统计参数和设计洪水值逐渐减小。历史洪水重现期的误差对设计值的影响相对量级误差来说没有那么显著,对设计洪水值的影响随着重现期的增大而增大,如采用 P-III/LM 模型计算设计洪水时,当历史洪水重现期的偏大 50%时,百年一遇、千年一遇和万年一遇设计洪水值分别偏小 2.5%, 3.2%和 3.7%。

在相同的重现期误差条件下,采用 P-III/CF 模型计算的均值, C_v 、 C_s 值和洪水设计值均大于用 P-III/LM 模型。如当误差为-50%时, P-III/CF 模型计算的均值, C_v 和 C_s 的值分别为 16,199 m^3/s , 0.66 和 1.72; 而 P-III/LM 模型计算的结果分别为 15,987 m^3/s , 0.58 和 0.99; P-III/CF 模型计算的万年一遇设计值误差为 20.3%; 而 P-III/LM

Table 3. Effect of return period errors on parameters and design floods estimated by P-III/CF model
表 3. 历史洪水重现期误差对 P-III/CF 模型估计参数及设计值的影响

重现期误差(%)	统计参数				0.01%		0.10%		1%	
	E_x	Cv	Cs	Cs/Cv	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)
50%	15518	0.58	1.34	2.3	76016	-5.9	60574	-5.1	44616	-3.8
20%	15604	0.59	1.42	2.4	79153	-2.1	62714	-1.7	45808	-1.2
10%	15642	0.59	1.48	2.5	80601	-0.3	63636	-0.3	46248	-0.3
0%	15688	0.59	1.48	2.5	80818	—	63812	—	46379	—
-10%	15745	0.6	1.52	2.5	83091	2.8	65394	2.5	47295	2.0
-20%	15815	0.62	1.56	2.5	86602	7.2	67888	6.4	48789	5.2
-50%	16199	0.66	1.72	2.6	97223	20.3	75307	18.0	53118	14.5

Table 4. Effect of return period errors on parameters and design floods estimated by P-III/LM model
表 4. 历史洪水重现期误差对 P-III/LM 模型估计参数及设计值的影响

重现期误差(%)	统计参数			0.01%		0.10%		1%	
	E_x	Cv	Cs	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)	设计值	误差(%)
50%	15448	0.55	0.77	61722	-3.7	51220	-3.2	39882	-2.5
20%	15515	0.55	0.81	62928	-1.9	52082	-1.6	40407	-1.3
10%	15546	0.56	0.82	63470	-1	52468	-0.9	40643	-0.7
0%	15582	0.56	0.84	64116	—	52930	—	40924	—
-10%	15627	0.56	0.86	64901	1.2	53491	1.1	41266	0.8
-20%	15683	0.56	0.88	65875	2.7	54186	2.4	41690	1.9
-50%	15987	0.58	0.99	71050	10.8	57886	9.4	43951	7.4

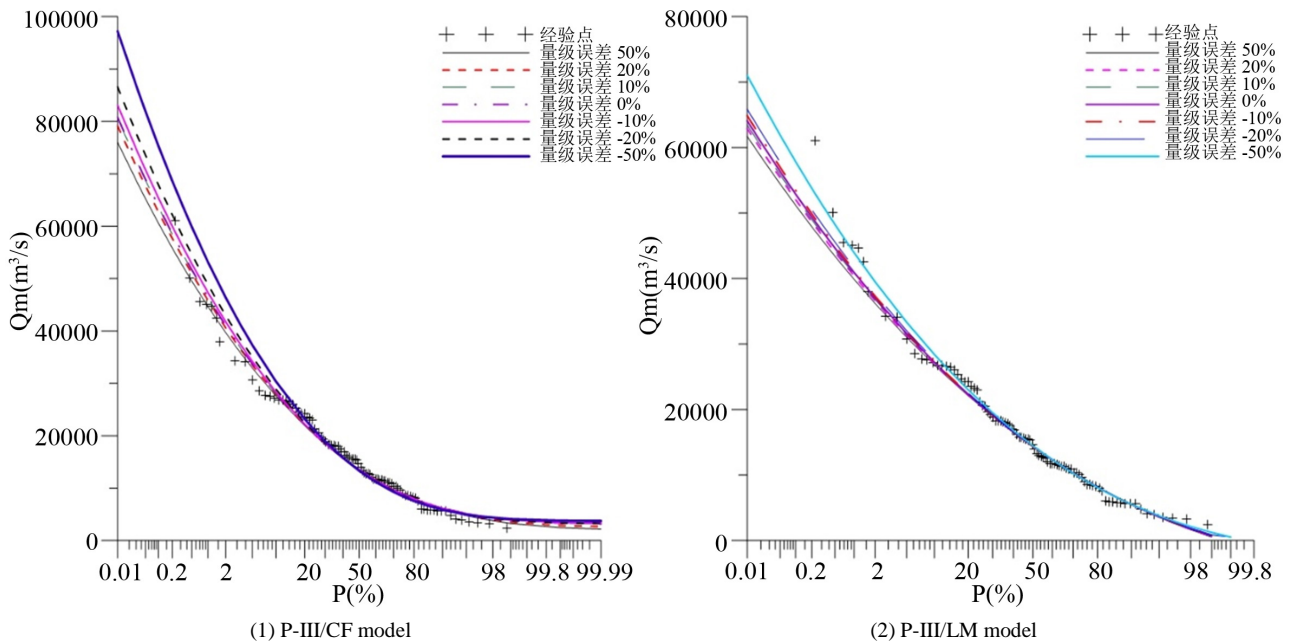


Figure 2. Effect of historical flood return period errors on design floods
图 2. 历史洪水重现期误差对设计成果的影响

模型的万年一遇设计值的误差为 10.8%。

由图 2 的历史洪水重现期误差对设计成果的影响对比图可知, 采用 P-III/CF 和 P-III/LM 模型计算的设计成果, 重现期误差的影响在频率曲线的上端表现得较明显一些, 而在实测资料的范围内差别不大, 且 P-III/CF 模型的计算结果重现期误差影响要比 P-III/LM 模型稍明显。

5. 结论

本文采用 P-III/CF 和 P-III/LM 模型, 分析研究了历史洪水的量级误差和重现期误差对统计参数和洪水频率计算结果的影响, 得出以下结论:

1) 历史洪水量级和重现期误差对设计成果均有一定的影响, 在相同的误差下, 重现期越大对设计洪水值影响也增大, 量级误差对设计成果的影响比重现期误差要显著得多。

2) P-III/CF 模型计算的影响程度基本都大于 P-III/LM 模型。说明线性矩法是一种性能比较稳健的参数估计方法, 建议在实际工作中加以采用。

3) 研究丹江口水库历史洪水不确定性对设计成果的影响, 对正确认识和处理历史洪水资料, 提高设计洪水成果质量具有积极的意义。

基金项目

国家自然科学基金重点项目(51539009)资助。

参考文献 (References)

- [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.
GUO Shenglian, LIU Zhangjun and XIONG Lihua. Advances and assessment on design flood estimation methods. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(3): 302-314. (in Chinese)
- [2] HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. The value of historical data in flood frequency analysis. Water Resources Research, 1986, 22(11): 1606-1612. <http://dx.doi.org/10.1029/WR022i011p01606>
- [3] STEDINGER, J. R., COHN, T. A. Flood frequency analysis with historical and paleoflood information. Water Resources Research, 1986, 22(5): 273-286. <http://dx.doi.org/10.1029/WR022i005p00785>
- [4] HIRSCH, R. M., STEDINGER, J. R. Plotting positions for historical floods and their precision. Water Resources Research, 1987, 23(4): 715-727. <http://dx.doi.org/10.1029/WR023i004p00715>
- [5] 费永法. 浅析历史特大洪水在设计洪水中的作用[J]. 水文, 1998(6): 6-10.
FEI Yongfa. Analysis of effects of historical extraordinary flood events on design flood. Hydrology, 1998(6): 6-10. (in Chinese)
- [6] 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00141-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00141-0)
- [7] GUO, S. L. Nonparametric variable kernel estimation with historical floods and paleoflood information. Water Resources Research, 1991, 27(1): 91-98. <http://dx.doi.org/10.1029/90WR01972>
- [8] FRANCES, F., SALAS, J. D. and BOES, D. C. Flood frequency analysis with systematic and historical or paleoflood data based on the two-parameter general extreme value models. Water Resources Research, 1994, 30(6): 1653-1664. <http://dx.doi.org/10.1029/94WR00154>
- [9] WILLIAMS, A., ARCHER, D. The use of historical flood information in the English midlands to improve risk assessment. Hydrological Sciences Journal, 2002, 47(1): 67-76. <http://dx.doi.org/10.1080/02626660209492908>
- [10] 郭生练. 考虑历史洪水资料的频率计算方法[J]. 武汉水利电力学院学报, 1988(1): 15-21.
GUO Shenglian. Flood frequency analysis with historical information. Journal of the Wuhan Institute of Hydraulic and Electric Engineering, 1988(1): 15-21. (in Chinese)
- [11] 熊立华, 郭生练. 频率分析中不定量历史洪水的影响研究[J]. 水力发电, 2003, 29(9): 7-10.
XIONG Lihua, GUO Shenglian. Study on the impact of the non-quantitative historical floods in frequency analysis. Water Power, 2003, 29(9): 7-10. (in Chinese)
- [12] 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.
FEI Yongfa. The effect of historical flood events on design flood. Journal of Hydroelectric Engineering, 1999(4): 45-50. (in

Chinese)

- [13] 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. HUANG Zhenping, WANG Chunxia and MA Junjian. Effect of estimation error of historical flood recurrence interval on design flood. Journal of Hohai University, 2002, 30(1): 79-82. (in Chinese)
- [14] 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. HUANG Weijun, WANG Wensheng and JIN Juliang. Influence of uncertainty from large historical flood upon frequency analysis. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2006, 38(3): 13-16. (in Chinese)