

鄱阳湖流域洪水遭遇规律和危险度初步研究

郭家力¹, 郭生练¹, 徐高洪², 李中平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 430072;

2. 长江水利委员会水文局, 湖北 武汉 430010)

摘要:分析了鄱阳湖流域洪水产生的机理和洪水遭遇情况, 基于灾变度概念建立了2个评价指标, 定量评价鄱阳湖流域洪水遭遇造成的危险程度。结果表明: 洪水遭遇构成的危险程度随研究范围的扩大而增加; 洪水过程遭遇比峰值遭遇会造成更大的危险; 鄱阳湖洪水过程若与长江洪水过程遭遇, 危险度约增加150%。

关键词:鄱阳湖; 洪水遭遇; 灾变度; 危险评价

中图分类号: TV122; X43

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2011)02-0001-05

1 引言

鄱阳湖区自古就是长江中下游洪涝灾害的重灾区和多发区, 频繁的洪涝灾害危及湖区人民生命财产安全, 严重地制约着湖区社会经济的发展。鄱阳湖区河湖关系复杂, “五河七口”洪水之间的组合遭遇问题纷繁错综(见图1), 研究入湖各洪源之间以及鄱阳湖与长江洪水的遭遇问题可为该区域防洪规划的制定提供科学依据。毋庸置疑, 洪水遭遇必然会加重洪水的危害程度。目前围绕洪水遭遇规律以及遭遇风险进行的研究较多, 以期提前应对和人为改变潜在威胁, 但是风险不可避免, 一旦防护措施不及时或者失灵将造成巨大损失。其次, 应对洪水遭遇时的防洪对策、涉及的调度范围和人力物力财力等与洪水未遭遇时均有所不同, 因此需将二者加以区分。

研究洪水遭遇问题, 多采用流量资料^[1]。鄱阳湖入湖洪峰、洪量、湖盆调蓄洪量等水文要素在各控制站实测值之间的量级相差较大。相比较而言, 洪峰水位更具有代表性, 它不仅综合反映了洪水量级、长江洪水顶托程度以及湖盆调蓄过程, 还可以直观地显示洪水对湖泊周围圩堤的危险性大小^[2]。本文采用1958~2007年的逐日平均水位资料分析鄱阳湖流域的洪水遭遇问题, 定量评价洪水危险程度在洪水遭遇年份与未遭遇

年份之间的差别。



图1 鄱阳湖流域示意图

Fig.1 The sketch map of the Poyang Lake basin

收稿日期: 2010-09-15

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC56B02); 水利部公益性行业科研专项(200901001)

作者简介: 郭家力(1984-), 男, 湖北孝感人, 博士研究生, 研究方向为流域水文模拟。E-mail: culture_me@163.com

2 鄱阳湖洪水及其灾害特性

鄱阳湖可用“洪水一片,枯水一线”来形容其奇特的自然景象。湖口水位站达到1998年实测最高水位22.58m时,湖面面积达4070km²,容积320×10⁸m³;枯水季节,水位下降,洲滩出露,湖水归槽,蜿蜒一线,最低水位5.90m时,湖面面积仅为146km²。

鄱阳湖的洪水(指水位)可以概化为单峰和双峰。“五河”(赣江、抚河、信江、修水、饶河)洪水推迟,长江洪水提前,两者遭遇;或“五河”洪水很大长江洪水很小时出现单峰型^[3]。据统计单峰型出现频率约42.5%,且出现单峰时,水位一般较高,年最高水位都在18m以上,超过20m的占52.9%^[4]。鄱阳湖区洪水灾害发生频繁,平均每5年有4年受灾,发生大洪水灾害的年份主要有1954年、1983年、1995年、1998年、1999年、2010年等。同时,鄱阳湖区水位有逐年升高的趋势,造成这一趋势的原因包括:湖盆泥沙淤积;围垦导致湖泊调蓄容积减少;长江河道淤积,泄洪能力降低导致江水倒灌;降雨量增加等^[5]。

在鄱阳湖区和“五河”尾间地区,洪涝灾害的致灾原因分为2个方面:一是河流本身来水过大、水位过高致使洪水漫过圩堤或使溃决,如2010年“6.21”唱凯堤决口即属于这一类型;二是由于鄱阳湖洪水顶托,“五河”尾间长期维持高水位使圩堤内的渍水无法及时排除,圩堤长期在高水位下浸泡致使堤体松软。

3 洪水遭遇及危险度分析

3.1 遭遇标准

针对鄱阳湖流域的地理特征,本文将就以下几组

洪水遭遇情况进行探讨:即饶河的昌江—乐安河支流之间、修水干支流之间、赣江、抚河、信江两两以及三者之间、鄱阳湖—长江之间。按照遭遇标准,洪水遭遇可以分为洪峰遭遇和过程遭遇两种情况^[1]。洪峰遭遇一般是指若干洪源控制站的洪峰水位在同日出现;过程遭遇指洪水过程重叠时间在一半以上。对饶河支流、修水干支流以及赣江、抚河、信江,指7d最高水位过程(即7d滑动平均值最大)有4d及以上重合者;对长江与鄱阳湖之间,指15d最高水位过程有8d及以上重合者。考虑到汛期水流流速快,且控制站点距离水流汇合处相对较近,本文对鄱阳湖流域内的洪水遭遇没有考虑洪水传播时间,均指控制站点实测资料最大值(或过程)的同日出现,并非水流确切的现实汇合。以汉口(武汉关)资料代表长江来水,传播到鄱阳湖出口处约需30h^[6],长江与鄱阳湖的洪水遭遇考虑了1d的洪水传播时间。

表1列出了1958~2007年共50年(其中修水柘林站无1958年资料,长度仅49年)的鄱阳湖流域洪水遭遇次数(峰值遭遇和过程遭遇次数),以及1958~1967年、1968~1977年、1978~1987年、1988~1997年、1998~2007年共5个时期的遭遇次数。

3.2 灾变度

研究区域的洪涝危害程度(或洪涝危险度)主要取决于洪水的大小及其持续时间的长短。洪水大小可以用洪峰水位的高低来表示;洪水持续时间的长短可以用高水位(警戒水位以上的水位)持续天数来表示。灾变度 δ 包含了洪峰水位以及高水位持续天数的变异程度^[2]。

$$\delta = a\delta_{Hm} + b\delta_{NH} \quad (1)$$

表1 鄱阳湖流域洪水遭遇次数
Table1 Flood combination times in the Poyang Lake basin

遭遇对象	类型	1958~1967	1968~1977	1978~1987	1988~1997	1998~2007	总计
昌江-乐安河	峰值遭遇	2	1	2	2	4	11
	过程遭遇	6	6	4	6	6	28
修水-潦河	峰值遭遇	2	0	2	0	2	6
	过程遭遇	5	3	3	3	2	16
抚河-信江	峰值遭遇	3	1	1	1	4	10
	过程遭遇	5	6	6	6	6	29
赣江-信江	峰值遭遇	0	0	1	0	0	1
	过程遭遇	6	5	4	4	3	22
赣江-抚河	峰值遭遇	0	0	0	0	0	0
	过程遭遇	5	6	5	7	6	29
赣江-抚河-信江	峰值遭遇	0	0	0	0	0	0
	过程遭遇	4	4	3	4	3	18
鄱阳湖-长江	峰值遭遇	2	1	1	1	0	5
	过程遭遇	8	8	9	9	9	43

式中: δ_{Hm} 、 δ_{NH} 分别表示洪峰水位和高水位持续天数的变异性; a 、 b 分别为二者的权重。根据文献[2]的建议,鄱阳湖流域取 $a=0.6, b=0.4$ 。

将 δ_{Hm} 、 δ_{NH} 分为 5 个等级,级数越高,说明变异性越强。洪峰水位的变异性 δ_{Hm} 表达式为:

$$\delta_{Hm} = \frac{H_m - H_{m,\min}}{(H_{m,\max} - H_{m,\min})/5} \quad (2)$$

式中: H_m 、 $H_{m,\min}$ 和 $H_{m,\max}$ 分别表示历年的洪峰水位、历年洪峰水位的最小值和最大值。 $H_{m,\min}$ 、 $H_{m,\max}$ 的值见表 2。

高水位持续天数的变异性 δ_{NH} 表达式为:

$$\delta_{NH} = \sum_{i=1}^3 C_i \delta_{NH_i}, \delta_{NH_i} = \frac{N_i - N_{i,\min}}{(N_{i,\max} - N_{i,\min})/5} \quad (3)$$

式中: δ_{NH_i} 表示水位持续在 H_i 以上的灾变度,一般 H_i 取 H_0 、 H_0+1 、 H_0+2 ,分别表示警戒水位、警戒水位以上 1m 和警戒水位以上 2m; C_i 表示权重,且有 $C_1 < C_2 < C_3$, 本文分别取 0.15、0.30、0.55; N_i 、 $N_{i,\min}$ 、 $N_{i,\max}$ 分别表示水位持续在 H_i 以上的天数、历年中的最小天数和最大天数。本文 H_0 的取值见表 2 所列的警戒水位。

3.3 评价指标

评价洪水遭遇危险程度应以洪源汇合后的测站的资料为准,但是由于受条件限制,或者没有汇合后的观测资料,所以先分别计算洪源的灾变度,然后采取适当方式进行组合得到遭遇后的灾变度。究竟洪水遭遇与否造成的危险有何差异,目前还未能定量地评价,为此本文建立以下 2 个评价指标:

(1)平均组合灾变度遭遇比 $\bar{\delta}$ 。平均组合灾变度遭

遇比 $\bar{\delta}$ 计算式为:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta_X}{\delta_{N-X}} = \frac{\frac{1}{X} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^K \alpha_i \beta_j \delta_i^j}{\frac{1}{N-X} \sum_{i=1}^{N-X} \sum_{j=1}^K \alpha_i \beta_j \delta_i^j} \quad (4)$$

式中: N 为统计年数; X 表示发生遭遇的年数; δ_X 、 δ_{N-X} 分别表示遭遇和非遭遇年份的平均组合灾变度; δ_i^j 表示第 j 个洪源在第 i 年的灾变度; α_i 表示灾变度在第 i 年的权重,是对应灾变度的分段函数,如图 2 所示; β_j 表示第 j 个洪源的权重,取值为多年平均径流量贡献率; K 表示洪源个数。 $\bar{\delta} > 1$,说明该地区受洪水遭遇威胁明显; $\bar{\delta}$ 越大,威胁程度越严重。

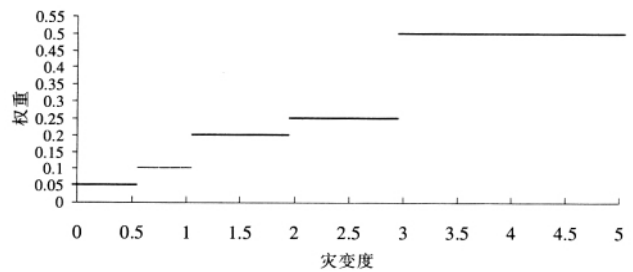


图2 灾变度权重分段函数

Fig.2 The piecewise function of catastrophe degree weights

(2)遭遇次数分布系数 η 。将组合灾变度由小到大排序,检验遭遇年份在此序列中的分布,各年的序号即为该年的秩次,统计遭遇年份的秩次和 R ,例如:修水干支流之间发生峰值遭遇 6 次,按组合灾变度排序后

表2 鄱阳湖各控制站1958~2007年历年洪峰水位的最大、最小值及警戒水位 (m)

Table2 Maximum and minimum of annual peak water levels during 1958~2007 and warning water levels at the Poyang Lake control stations (m)

河名	站名	最大洪峰水位		最小洪峰水位		警戒水位
		出现时间	水位	出现时间	水位	
修水	柘林	1969-7-18	30.41	1979-5-5	21.97	25.7
	虬津	1993-7-5	25.24	1985-4-23	18.94	21.2
	万家埠	2005-9-4	29.07	2006-6-29	24.06	27.0
饶河	虎山	1967-6-20	30.32	1960-8-5	22.8	26.0
	渡峰坑	1998-6-26	33.76	1968-5-8	24.72	28.5
赣江	外洲	1982-6-20	25.56	1963-4-27	19.75	23.5
信江	梅港	1998-6-23	29.72	2007-4-24	22.08	26.0
抚河	李家渡	1998-6-23	32.84	2007-6-16	27.09	30.5
湖区	湖口	1998-7-30	22.53	1972-6-8	15.84	19.0
长江	汉口	1998-8-20	29.43	1972-6-5	22.15	27.3

注:表中柘林站资料起始时间为 1959~1981 年,1982 年撤销柘林并改为虬津站;柘林和虬津站的警戒水位未知,以历年洪峰水位的均值代替。

这6年的顺序为第8、16、23、34、36、42年,则 $R=8+16+23+34+36+42=159$ 。如图3所示,统计长度50a,发生洪水遭遇 X 年。如前 X 年全部发生遭遇,即为最小分布,秩次和为 R_{\min} ;如后 X 年全部发生遭遇,即为最大分布,秩次和为 R_{\max} 。 η 的计算式为:

$$\eta = \frac{R - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \quad (5)$$

η 值在0~1之间, η 越大,说明洪水遭遇对该区域构成严重威胁的可能性越大。

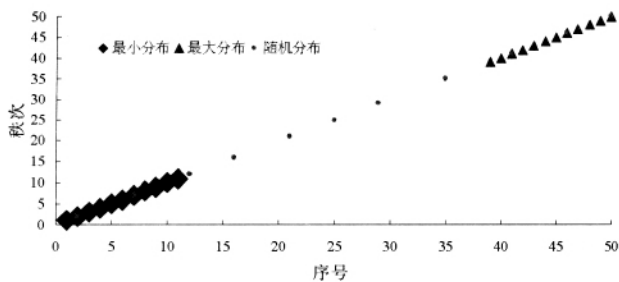


图3 遭遇次数在升序秩次中的分布

Fig.3 The distribution of flood combination times in ascending order ranks

3.4 洪水遭遇分析

(1) 饶河(昌江-乐安河)和修水(修河-潦河)洪水遭遇分析。饶河和修水分列鄱阳湖的东西两侧,二者各占“五河”入湖径流总量的9.3%和9.2%。饶河流域总面积15428km²。两条支流,昌江和乐安河的控制站分别为虎山和渡峰坑(二),控制面积分别为6374km²和5013km²。饶河的洪水遭遇即是这两条支流之间的遭遇。修水流域总面积14700km²。修水中游建有柘林水库,集水面积为9340km²,总库容为79.2×10⁸m³,其下即为干流控制站虬津(1982年以前为柘林站)。水流经柘林之后即进入冲积平原,水流平缓。修水最大的支流为潦河,控制站为万家埠。修水范围内的遭遇即是干支流之间的遭遇。

如表1所示,饶河、修水在各自范围内分别发生峰值遭遇11和6次,过程遭遇28和16次。相对而言,修水遭遇次数较少。如表3所示,4种情况 $\bar{\delta}$ 均在1.1左右,洪水遭遇与否危险程度差异不明显。饶河两支流之间遭遇的 η 值大于修河干支流之间遭遇的 η 值,过程遭遇时偏大2.6%,峰值遭遇时偏大1.9%。分析认为饶河上游为山地和丘陵,水位和流量暴涨暴落,洪水来势凶猛,一旦两支流洪水过程遭遇,就会对下游占流域面积30%的平原滨湖地区的村庄和粮食产区造成严

重危害,而修水尾间地区受洪水遭遇构成较大危险的可能性因干流存在库容约80×10⁸m³的柘林水库的调蓄作用而降低。

(2) 赣、抚、信三河之间洪水遭遇分析。鄱阳湖流域的赣江(控制站为外洲)、抚河(李家渡)和信江(梅港)三条最大的河流约占“五河”入湖总流量的75%~85%,且三者之中以赣江为主,约占“五河”洪水的一半,是鄱阳湖洪水的主要来源。如表1所示,两两之间的峰值遭遇,抚-信10次,赣-信1次,赣-抚未遭遇;两两之间的过程遭遇次数分别为29、22、29,平均每2年就遭遇1次。表3表明,赣、抚、信两两遭遇时 $\bar{\delta}$ 值基本在1.5左右,均大于昌江-乐安河之间、修河-潦河之间的普遍值1.1。赣江、抚河分别为鄱阳湖流域最大和第二大河流,未发生峰值遭遇,过程遭遇发生时 η 值0.330,说明这两条河流发生过程遭遇时对尾间地区造成较大危险程度的可能性均大于另外2种两两遭遇的情况。赣、抚、信三者之间未发生峰值遭遇,过程遭遇18次。平均组合灾变度比和遭遇次数分布系数分别为2.053和0.452,这说明3条河同时遭遇比两两之间遭遇的平均危险程度约增加50%,且对尾间区域形成较大洪水威胁的可能性也进一步增加。

(3) 鄱阳湖-长江洪水遭遇分析。采用湖口站资料代表鄱阳湖洪水,汉口站资料代表长江洪水。如表1所示,鄱阳湖与长江在50年内共发生峰值遭遇5次,过程遭遇43次,其中过程遭遇为所有遭遇情况中最为频繁者。如表3所示,鄱阳湖与长江洪水过程发生遭遇时, $\bar{\delta}$ 值为2.532,即因为洪水过程遭遇而增加了约150%的危害,而在峰值遭遇时,此值仅为1.156,可见鄱阳湖巨大的容积对长江和鄱阳湖流域的削峰能力。 η 值为所有区域中最高,分别为过程遭遇0.495和峰值遭遇0.481,这进一步证实了鄱阳湖流域凡大洪水产生,归因于江湖洪水遭遇的可能性极大。

从表3可知,随着研究范围的扩展,平均组合灾变度比有增大的趋势;在不同的区域无论就评价指标 $\bar{\delta}$ 或是 η 而言,过程遭遇时均比峰值遭遇时的值大,说明鄱阳湖流域内,洪水过程遭遇构成的威胁比峰值遭遇构成的威胁更严重,而且更容易构成较大洪水威胁。

4 结论

本文进行了鄱阳湖流域1958~2007年洪水遭遇规律和危险度分析,建立了平均组合灾变度比和遭遇

表3 鄱阳湖流域洪水遭遇危险度计算结果

Table3 The results of flood combination calculation in the Poyang Lake basin

遭遇对象	过程遭遇		峰值遭遇	
	$\bar{\delta}$	η	$\bar{\delta}$	η
乐安河-昌江	1.252	0.363	1.154	0.285
修河-潦河	1.186	0.337	1.168	0.266
赣江-抚河	1.437	0.330	/	/
赣江-信江	1.654	0.312	1.640	0.214
抚河-信江	1.506	0.321	1.443	0.241
赣江-抚河-信江	2.053	0.452	/	/
鄱阳湖-长江	2.532	0.495	1.156	0.481

次数分布系数两个评价指标,并用于7种情形的洪水过程和峰值遭遇危险程度评价。结果表明:洪水遭遇构成的危险程度随研究范围的扩大而增加,饶河支流之间、修河干支流之间的洪水遭遇与否危险差异不显著,赣江、抚河、信江之间两两遭遇危险程度增加50%左右,三者遭遇约增加100%;洪水过程遭遇比峰值遭遇会造成更大的危险;造成鄱阳湖洪灾的主要原因是长江与鄱阳湖的洪水过程遭遇,危险度约增加150%。

参考文献:

[1] 闫宝伟,郭生练,陈璐,等. 长江和清江洪水遭遇风险分析[J]. 水利学报,2010,41(4):67-73. (YAN Baowei, GUO Shenglian, CHEN Lu, et al. Flood encountering risk analysis for the rivers of Yangtze and Qingjiang [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010,41(4): 67-73. (in Chinese))

[2] 闵騫. 关于建立洪水等级划分模式的初步构思——以鄱阳湖为例[J]. 水文,1996,2:43-47. (MIN Qian. The primary concept of flood grade classification model: a case study of Poyang Lake [J]. Journal of China Hydrology, 1996,2:43-47. (in Chinese))

[3] 《鄱阳湖研究》编委会. 鄱阳湖研究[M]. 上海:科学出版社,1988. (Study on the Poyang Lake Editorial Board. Study on the Poyang Lake [M]. Shanghai: Science Press, 1988. (in Chinese))

[4] 闵騫. 鄱阳湖水位变化规律的研究 [J]. 湖泊科学,1995,7 (3):281-288. (MIN Qian. On the regularities of water level fluctuations in Poyang Lake [J]. Journal of Lake Science, 1995, 7 (3): 281-288. (in Chinese))

[5] 朱海虹,张本. 鄱阳湖[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997. (ZHU Haihong, ZHANG Ben. Poyang Lake [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press. 1997. (in Chinese))

[6] 水利部长江水利委员会. 长江防洪地图集 [M]. 北京:科学出版社,2000. (CWRC, Ministry of Water Resources. Yangtze River Flood Control Atlas [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese))

Preliminary Study on Flood Combination Rules and Hazards in the Poyang Lake Basin

GUO Jiali¹, GUO Shenglian¹, XU Gaohong², LI Zhongping²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
 2. Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: The mechanisms of flooding and flood combinations were discussed in the Poyang Lake basin. Based on the concept of catastrophe degree, two indices were introduced to evaluate quantitatively the hazard caused by flood combinations. The application results show that the flood combination hazards increase with the expansion of investigating area; the flood hydrograph combinations lead a greater hazard than that of flood peak combination; and the hazard degree would increase by 150% if flood hydrograph of the Poyang Lake basin is encountered with the Yangtze River flood hydrograph.

Key words: Poyang Lake; flood combination; catastrophe degree; hazard evaluation

(上接第 34 页)

Application of Excel in Single-line Integration Alignment

CAI Liang

(Qujing Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Yunnan Province, Qujing 655000, China)

Abstract: Application of Excel powerful drawing and function to make single-line graphics and stage-discharge curve fitting in hydrologic data processing has many advantages: reducing the arbitrary results from freehand drawing in integration alignment, decreasing the workload of data processing, improving the efficiency and precision, and the fit curve expressed in function facilitates computer processing. We take the observed discharge data of the Hebian station in 2009 as an example to illustrate the application of Excel in the single-line integration alignment.

Key words: Excel; single line; alignment; fitting