

降水预测在防洪决策风险分析中的应用

黄振平 朱元生

(淮海大学水文水资源及环境学院 , 江苏 南京 210098)

摘要 根据长江中游防洪决策实际问题 , 运用风险分析的理论和方法 , 提出了一种适用的、操作性强的防洪决策风险分析模型 . 该模型考虑了防洪专家根据经验所作的对未来降雨的预估 , 使专家们的预测信息得以量化并直接参与风险分析 , 开辟了一条开发利用防洪专家经验资源的新途径 .

关键词 防洪决策 ; 风险分析 ; 降雨预测

中图分类号 : TV125 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-1980(2002)03-0007-04

决策问题几乎出现在所有的科学技术、经营管理、日常生活中 , 一个科学的决策方法和理论显得特别重要 . 要作出一个好的决策 , 在环境和事态完全确定的条件下 , 可以通过数学规划、运筹学等知识 , 得到较好解决 . 然而大量的决策问题要求我们在未来环境和事态不确定的条件下事先作出 , 这时决策者必然要承担一定的决策风险 , 即决策错误的风险 . 这类决策称为风险决策 . 为了尽量避免决策失误 , 应充分利用一切可以利用的信息 , 减少未来事态的不确定性 . 决策风险和风险决策最根本的区别在于 : 前者是针对某一特定决策方案而言的 , 后者是针对决策方案集而言的 .

传统的防洪决策方法是以实时预报模型为依据的 . 例如根据实测水文资料 , 辅之以某种预报模型 , 预报出控制断面未来的水位或流量过程及其特征 , 并视预报结果为必然事件 , 分析比较众多防洪决策方案 , 权衡得失 , 从中选出防洪效益最大或洪灾损失最小的防洪决策方案 . 传统的防洪决策方法存在着明显的缺点 , 那就是把预报结果视作必然事件 , 忽略了水文现象本身的随机性 . 实际发生的洪水完全有可能与预报洪水过程相差甚远 , 所以决策者这时根据预报结果所作出的防洪决策 , 那就未必是“最优”决策了^[1] .

基于风险分析的防洪决策方法能克服传统方法所不能克服的缺点 , 它为决策者提供了更为广阔的决策基础 . 该方法能给出产生各种后果可能性大小的定量指标 , 这是传统的防洪决策方法所办不到的 . 决策者可以通过对比分析各防洪决策方案的后果及其风险大小 , 选择出统计意义上的“最优”防洪决策方案 , 保证决策能够适应各种情况的稳健性 , 而且还可以避免造成严重后果的决策失误 . 风险分析技术为全面考虑影响因素、处理复杂的周围环境 , 提供了一条具有广阔前景的途径 . 可以预言 , 随着科学技术水平的发展 , 风险分析技术的进一步完善 , 基于风险分析的防洪决策方法必将扮演一个越来越重要的角色^[2] .

1 防洪决策风险的基本概念

防洪决策是一个随时间不断调整的动态过程 , 它包括决策方案及其内容 . 实施一个防洪决策方案 , 需要一定时间(记作 D) . 如实施启用分蓄洪区决策方案时 , 需要一定的时间来对分蓄洪区内的人员作撤离动员 , 并组织有序撤离洪水淹没区 . 不同的决策方案 , 其实施所需时间也各不相同 . 实施时间愈长 , 受到不确定因素干扰愈多 , 防洪决策达不到预期目标的可能性(风险) 愈大 . 决策内容也是随时间不断变化的 , 如洪水警报的发布 , 分蓄洪区人员、财产的撤离转移 , 开闸或炸堤等 . 不同内容的防洪决策其失误所造成的后果也是不同的 . 在进行风险分析时必须考虑防洪决策的决策时刻、实施决策所需时间、决策失误的风险等 .

以长江干流中游三峡至螺山河段防洪系统为研究对象 . 在决策时刻(t_d) 决策水位(Z_d) 条件下 , 根据分析判断 , 作出未来($t_d + D$ 时刻以后) 分洪或不分洪的选择 . 当洪水位超过分洪控制水位(Z_f) 时 , 作分洪决策 ,

反之,作不分洪决策,防洪决策风险如图 1 所示.方案 A 意味着从 t_d 时刻开始立即着手作实施分洪的各项准备工作,在 $t_d + D$ 时刻后实施分洪;方案 $\bar{A}$ 则指在今后的 D 时段后(即 $t_d + D$ 时刻后)不分洪,因此,无需做分洪的准备工作.

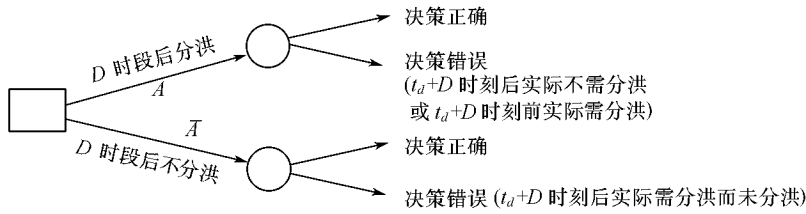


图 1 防洪决策风险示意图

Fig.1 Risk of decision-making in flood-control

决策启用分蓄洪区分洪(主动分洪),而实际上不需要分洪,此时决策失误所造成的损失相对要小一些,当实际需要分洪,因决策失误而未分洪所造成的损失就要大得多.另外作出了 $t_d + D$ 时刻后分洪的决策,但由于洪水发展迅速, $t_d + D$ 时刻前就需分洪,而分蓄洪区人员、财产未能全部撤离,人民生命及财产也将造成严重的损失.因此将风险划分成几种不同类型具有实际意义.分析可知,选择方案 A 时,所承担的风险包括:(a)实际出现的洪水较小,不超过干流的泄洪能力,不必要启用分洪区;(b)实际洪水涨洪过程迅猛,没有足够的实施方案的准备时间,出现强迫提前分洪或自然溃决的情况.选择方案 $\bar{A}$ 时,所承担的风险为实际洪水大于干流的泄洪能力,水位超过分洪控制水位,而不得不强迫分洪或出现堤防溃决的事故.

2 基于降雨预测的防洪决策风险分析方法

控制断面未来某时段 D 内出现的最高水位,不仅与该断面及上游断面的当前及过去的水位有关,而且还与上游及区间面积上在 D 时段内的降雨时空分布有关.所以,如果仅利用水位资料建立预报模型,当预见期较短时,可望获得较好的精度,但随着预见期的增长,预报误差将急剧增大.对于防洪决策而言,如果能增长预见期,就能争取到更多的时间为实施分洪作准备,从而可以大幅度地降低分洪所造成的损失.为此,必须充分利用降雨预报信息,为防洪决策提供依据.

遗憾的是,由于科学水平的限制,目前尚不能作出具有足够精度的中长期降雨定量预报.但是,我们通过总结建国以来长江历次防洪实践经验,发现在几次成功的防洪决策中,防洪专家根据当时的气象条件、卫星云图和环流形势等资料,结合本地区天气演变规律,对未来降雨时空分布作出的估计,都起了重要作用.因此,在进行分洪决策时,有必要充分考虑专家对未来降雨的估计.然而,由于这类估计都具有某种不确定性,因此,在考虑这类估计时,应当进一步分析据此作出的防洪决策的风险.

2.1 分析方法

专家给出的雨量预估通常具有相当程度的模糊性,根据目前的科技水平,专家们对未来降雨只能给出带有经验性的预估,一般形式为:某地区在未来某个时段内,其平均降雨量在 $[R_1, R_2]$ 之间.专家一般还可以对预估成果给出可靠性的模糊评价,例如很可靠、较可靠、一般、仅供参考等.

根据专家们的预测,将降雨量的分布密度概化成如图 2 所示的六边折腰多边形.概化时作 3 个必要的也是比较合理的假定 (a)降雨量的下限值为 0,上限值为 PMP (b)降雨量在 $[R_1, R_2]$ 区间内均匀分布,其概率为 P (c)降雨量在 $(0, R_1)$ 及 (R_2, PMP) 区间内呈三角形分布,概率都为 $(1 - P)/2$.其中 P 值反映了降雨量在 $[R_1, R_2]$ 区间的可能性,可以根据专家对预测成果可靠性的评价信息对其赋以相应的值.例如可以约定“很可靠”相应 $P = 0.90$;“较可靠”相应 $P = 0.80$;“一般”相应 $P = 0.60$;“供参考”相应 $P = 0.50$.

首先将降雨量的概率分布密度离散化,如图 2 所示,再将 $(0, R_1)$ $[R_1, R_2]$ (R_2, PMP) 分别分成 n_1, n_2, n_3 等份,则降雨量为 (a_i, a_{i+1}) 的概率为^[3]

$$P(a_i < W < a_{i+1}) = \frac{S_{i,i+1}}{S_{\triangle OR_1E}} \times \frac{1 - P}{2} \quad (1)$$

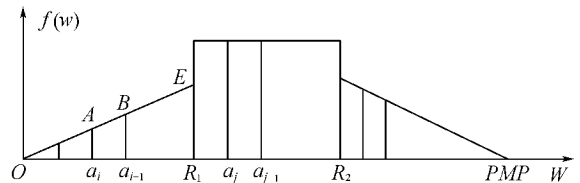


图 2 降雨量概率分布

Fig.2 Probability distribution of precipitation

降雨量为 (a_j, a_{j+1}) 的概率为

$$P(a_j < W < a_{j+1}) = P/n_2$$

(2)

式中: $S_{i,i+1}$ ——四边形 $AB a_i a_{i+1}$ 的面积; $S_{\triangle OR_1 E}$ —— $\triangle OR_1 E$ 的面积.

以各级雨量的均值代表各级降雨区间,例如以 $W_i = (a_i + a_{i+1})/2$ 代表雨量区间 (a_i, a_{i+1}) .再通过产流计算求得各级净雨量及其概率,最后利用汇流和洪水演进计算及水位概率组合,可求得控制断面最高水位的概率分布,据此即可求得决策风险,如图 3 所示.

根据上下边界条件及降雨预测,作出不分洪决策的失误风险为

$$P_1 = \int_{Z_f}^{\infty} f(y) dy$$

(3)

分洪决策的失误风险为

$$P_2 = 1 - P_1 = \int_{-\infty}^{Z_f} f(y) dy$$

(4)

为方便起见,净雨量的计算可采用径流系数法.径流系数的选定也应充分考虑专家们的经验,根据不同的下垫面条件、不同的前期降雨情况,给出相应的径流系数.计算流程如图 4 所示.

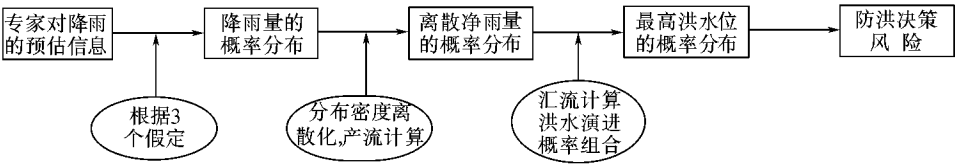


图 4 计算流程

Fig.4 Flow chart of calculation

2.2 计算实例

以长江中游寸滩至城陵矶段为例,计算了基于降水预测的防洪风险,以日作为计算时段,分别研究 1 d, 2 d 和 3 d 的预估.以寸滩的入流为上边界条件,洞庭湖水位为下边界条件,将寸滩和沙市区间分成 2 个子区:三峡区间(寸滩—宜昌)和宜沙区间(宜昌—沙市),如图 5 所示.

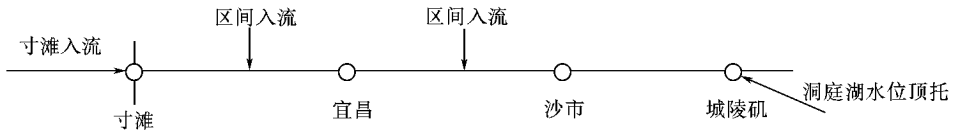


图 5 长江寸滩至城陵矶段区间概化

Fig.5 Generalization of Cuntan-Chenglingji section

求得寸—宜区间及宜—沙区间的各级净雨 $W_{寸宜_i}$ 和 $W_{宜沙_j}$,然后利用概率乘法定理,求两区域各级降水相遭遇的概率,以当时的上下边界的洪水资料为初始条件,通过汇流计算和洪水演进模型,求得沙市站未来某时段相应于 $W_{寸宜_i}$ 与 $W_{宜沙_j}$ 的最高水位 Z_{ij} 和其发生的概率 P_{ij} , $P_{ij} = P(W_{寸宜_i} \cap W_{宜沙_j})$,然后再由概率组合方法统计出沙市站的最高水位的概率分布 $f(y)$,从而求出各类防洪决策失误风险^[31].例如,假定沙市的当前水位为 44.40 m,初始流量为 58 000 m³/s,若根据专家预估的未来 1 d 宜昌至沙市区间的降水量,通过计算求得区间入流在 10 000 ~ 12 000 m³/s 之间的可能性为 90%,则相应的沙市水位超过 45.00 m 的概率为 95%,也就是说,如作出不分洪的抉择,则决策失误的概率预计达 95%;若根据专家给出的未来 1 d 宜昌至沙市区间降水量折合成流量在 3 000 ~ 6 000 m³/s 之间的可能性为 60%,此时,计算得到沙市水位超过 45.00 m 的概率仅为 2.22%.

3 评价与展望

根据专家对未来某时段内的降雨量作出的预估,利用上述 3 个假定,求得降雨量的概率分布密度.将降

雨量分布离散化,再进行产汇流计算,以实时上下边界的洪水资料为初始条件,进行洪水演算,再由概率组合求得控制站的水位分布.这样计算概念清楚,也符合实际情况.

3个假定也是比较合理的,因为在预估的降雨量区间两侧,一般来讲雨量处在靠近估计的雨量区间范围的可能性要大一些,而处在远离估计的雨量区间范围的可能性要小一些,所以,两侧采用三角形分布形式是合理的.另外,因为没有理由说明雨量处在哪一侧的可能性大一些或小一些,所以,假定雨量落在两侧的概率相等也是合理的.

随着科学技术水平的不断提高,卫星云图及雷达测雨资料的进一步增多,专家对降雨的预测将越来越可靠,具体反映在预报值的概率分布更加集中,决策风险值的计算将更正确,这必将大大降低决策失误的风险.

本文研制的风险分析模型,考虑了防洪专家根据经验所作出的降水概率预估,使专家们的预测信息得以量化并直接参与风险分析,为充分利用专家的经验资源作了有益的尝试.长江防洪的历史经验表明,防洪专家的经验对于正确决策常起到决定性的作用.因此,这种尝试具有重要的理论价值和实际意义,具有很广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] 朱元牲,周全林.长江三峡工程防洪效益风险分析研究[J].水科学进展,1995,(1):29~35.
- [2] 黄振平.基于雨洪预报信息的防洪决策风险分析方法研究[J].水科学进展,2001,(4):499~504.
- [3] 王俊德.水文统计[M].北京:水利电力出版社,1993.37~48.

Application of Precipitation Prediction to Risk Analysis for Flood Control Decision-Making

HUANG Zhen-ping, ZHU Yuan-sheng

(College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: In consideration of the current situation in flood control decision-making for the middle Yangtze River, an adaptable model for risk analysis for flood control decision-making is developed by use of the theory and methods of risk analysis. In this model, future precipitation predicted by flood control experts is taken into account, and the information obtained by experts is quantified and used for risk analysis. The development of the model opens up a new way for utilization of experts' experiences. With the development of science and technology, experts' prediction of precipitation will become more and more reliable, thus the present model will be widely used in this area.

Key words: flood control decision-making; risk analysis; precipitation prediction