

二维溃坝洪水计算方法在洪水风险图编制中的应用

唐永祥¹, 夏雨丰²

(1. 余姚市防汛防旱指挥部办公室, 浙江 余姚 315400;

2. 余姚市水文站, 浙江 余姚 315400)

摘 要: 洪水风险图是防汛保安的非工程措施。对建有水库地区采用二维溃坝洪水计算方法进行流场仿真计算, 对其影响范围及程度进行预测, 并在此基础上制作洪水风险图, 更为科学、合理。

关键词: 洪水风险图; 二维溃坝洪水; 水情模拟

中图分类号: TV122

文献标识码: B

文章编号: 1008-701X (2004)03-0032-02

水库作为重要的防洪保安设施在历来的防汛减灾中起到了重要作用。但水库一旦发生溃坝, 其水头高、破坏力大, 水库蓄水和上游入库洪水经决口下泄可形成骤发性的洪水, 给下游人民的生命财产带来严重危害。目前, 对溃坝洪水计算常用的一维模型虽然简单, 但不能给出溃坝洪水的水深、流量、流速平面分布, 难以满足溃坝洪水影响预测评价要求, 影响建有水库地区洪水风险图的质量。为此, 采用二维模型进行溃坝洪水流场模拟, 对溃坝的影响范围及程度进行预测评价, 收到了比较好的效果。

1 二维溃坝洪水计算方法

一个世纪以来, 溃坝洪水计算理论和方法都有很大发展, 许多国家作了大量的试验研究工作, 法国在这方面有丰富经验; 美国在 20 世纪 70 年代后期, 开展了溃坝洪水预报业务的研究, 20 世纪 80 年代初已着手编制“确定溃坝洪水危害带规范”工作; 我国对溃坝洪水的研究也十分重视, 特别是“75.8”特大洪水以后, 许多单位做了大量试验研究工作, 总结出了计算溃坝洪水的简化方法及适用范围。在工程设计中水库溃坝洪水的演算一般采用物理模型和数学模型。对一般水库, 在工作实践中常采用一维模型推算水面线的方法等, 但这种方法不能给出整个流场, 难以满足洪水风险图的精度。为此, 在余姚市洪水风险图的实际制作工作中, 根据有关文献采用二维溃坝洪水模拟技术对水库溃坝洪水进行仿真计算, 并对其影响范围及程度进行了预测和评价。

1.1 基本方程和计算方法

1.1.1 基本方程

收稿日期: 2004-02-16

作者简介: 唐永祥 (1951-), 中专, 助理工程师, 主要从事防汛防旱工作。

连续方程:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) - q = 0 \quad (1)$$

动力方程:

$$\frac{\partial(uH)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u^2 H) + gH \frac{\partial}{\partial x}(H + z) + \frac{\partial}{\partial y}(uVH) + gu \frac{(u^2 + V^2)^{1/2}}{K^2 H^{1/3}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(uH)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(V^2 H) + gH \frac{\partial}{\partial y}(H + z) + \frac{\partial}{\partial x}(uVH) + gV \frac{(u^2 + V^2)^{1/2}}{K^2 H^{1/3}} = 0 \quad (3)$$

上述方程忽略了风应力、科氏力和涡动粘滞项。

考虑到水库下游地形平坦, 惯性项影响较小, 且区间入流与溃坝流量相比很小, 可以进一步简化

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) = 0 \quad (4)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x}(H + Z) = \frac{u^2}{K^2 H^3} \quad (5)$$

$$-\frac{\partial}{\partial y}(H + Z) = \frac{v^2}{K^2 H^3} \quad (6)$$

式中: t —时间, s; H —水深, m; x 、 y —座标; u 、 v —与 x 、 y 相应的垂线平均流速, m/s; Z —地面高程, m; $K = 1/n$, n —糙率系数。

根据有关文献, 采用显式差分格式进行离散化处理得

$$H_{i,j}^{n+1} = H_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{2} \left\{ \frac{1}{\Delta x} [(H_{i+1,j}^n + H_{i,j}^n) u_{i+1,j}^n - (H_{i,j}^n + H_{i-1,j}^n) u_{i,j}^n] + \frac{1}{\Delta y} [(H_{i,j+1}^n + H_{i,j}^n) v_{i,j+1}^n - (H_{i,j}^n + H_{i,j-1}^n) v_{i,j}^n] \right\} \quad (7)$$

$$u_{i,j}^n = \left[\frac{H_{i-1,j}^n + Z_{i-1,j} - H_{i,j}^n - Z_{i,j}}{\Delta x} \right]^{1/2} \left[\frac{K_{i,j} + K_{i-1,j}}{2} \right] \times \left[\frac{H_{i-1,j}^n + H_{i,j}^n}{2} \right]^{2/3} \quad (8)$$

$$v_{i,j}^n = \left[\frac{H_{i,j-1}^n + Z_{i,j-1} - H_{i,j}^n - Z_{i,j}}{\Delta y} \right]^{1/2} \left[\frac{K_{i,j} + K_{i,j-1}}{2} \right] \times \left[\frac{H_{i,j-1}^n + H_{i,j}^n}{2} \right]^{2/3} \quad (9)$$

计算网络 1 000 m × 1 000 m, 时间步长为 10 s。

1.1.2 定解条件

初始条件: $H = 0, u = V = 0$

糙率在河道部分采用 0.035, 滩地用 0.07。

由于溃坝情况是未知的, 对可能溃坝时的水库蓄水状态, 溃坝形式及口门尺寸无法确定, 故在计算时, 选水库校核水位和设计水位 2 种蓄水状态进行; 可能溃坝形式按瞬间全垮和局部溃坝 2 种情况考虑。

2 溃坝洪水流场模拟及实例

2.1 洪水流场

采用二维溃坝洪水计算方法对余姚市的四明湖、陆埠、梁辉、向家弄和穴湖等 5 座水库都进行了水库溃坝洪水分析计算, 其中梁辉水库在 1993 年计算的基础上, 于 1998 年又作了进一步的计算, 并对溃坝的影响范围及影响程度进行了分析。现以某水库为计算实例进行模拟计算。

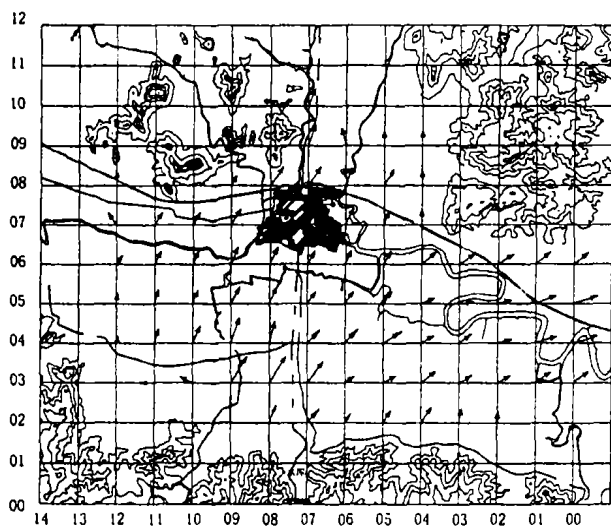


图 1 溃坝洪水流场图

2.2 实例

边界条件。根据地震及人防等因素, 溃坝口门为 123.3m, 约为坝的 1/3, 最大下泄流量 26 670 m³/s, 与次口门相应的水深为 33.45 m, 库容为 3 080 万 m³。坝址溃坝洪水通过一维公式演算到距坝址 1 000 m 处, 此后, 由于地势平坦开阔, 水流的二维特征明显, 采用二维非恒定流理论方法进行模拟计算。

该评价进行了 3 000 多个时段的模拟计算, 从流场模拟结果看 (图 1), 溃坝洪水出谷以后, 向四周扩散, 特别是向地势低洼的东北方向迅速发展, 主要动力轴线呈“Y”型。影响范围大致为东西方向 16 km, 南北方向 12 km。市

区最大水深 1.20 m (图 2, 起始水位为 1.8 m), 最大流速 0.42 m/s (图 3), 洪水到达城关的时间仅为 1h 左右, 而距水库更近的某街道, 洪水到达时间仅为 100 s, 最大水深为 3.33 m, 相应的流速为 1.3 m/s, 工业开发区 A 区的水深可达 1.3 m 左右。

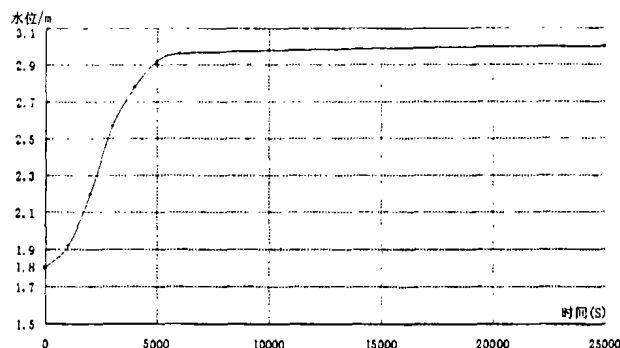


图 2 溃坝洪水市区水位过程线图

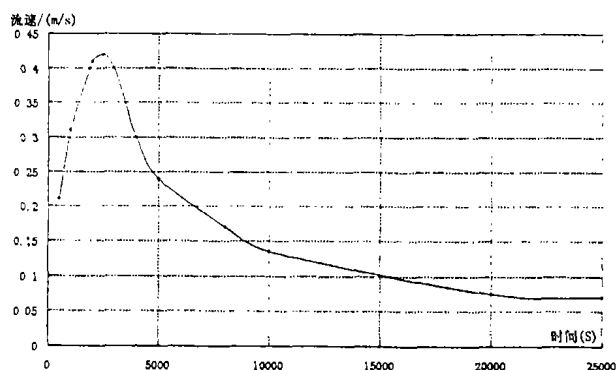


图 3 溃坝洪水市区流速过程线图

据初步估算, 水库一旦失事, 受淹农田可能超过 0.8 万 hm², 受淹民房 400 万 m², 受灾人口可达 15 万左右, 高速公路和铁路等将受到严重损失。损失可达 50 亿元以上。所以必须高度重视水库安全工作。

3 结 语

根据近年来的工作实践, 体会到把二维溃坝洪水分析计算应用到洪水风险图编制工作中, 提高了建有水库地区的洪水风险图的编制质量, 使水情模拟更加全面、深入, 风险损失估算更为准确, 防汛方案措施更为科学、合理, 在防灾减灾和经济建设中发挥更大的作用。

