

三维 GIS 技术支持下的尾矿库溃坝地质灾害 演进过程模拟

——以相思谷尾矿库为例

张明明, 苑振宇, 刘晓龙

(合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流的危险源, 存在溃坝危险, 一旦失事, 容易造成重特大事故。传统GIS技术由于空间表达能力和数据结构上的限制, 不能更好的描述尾矿库的地形、坝体、水文地质等资料, 影响溃坝地质灾害评价与预测的精确度。而铜陵矿集区尾矿库数量多, 可能引起溃坝原因复杂的现状又要求对灾害严重程度、损失精确预测与分析。因此, 本文以铜陵矿集区内相思谷尾矿库为例, 以三维GIS为主要手段建立尾矿库DTM模型, 并在此基础上针对尾矿库可能发生的溃坝地质灾害进行评价、预测。

1 基于正方形网格的相思谷尾矿库三维 GIS 模型的创建

DTM 在形式上主要可以分为: 规则格网 (Grid) 和不规则三角网 (Triangulated irregular network, TIN)。最常见的 DTM 是规则格网 (Grid) 的形式, 又称为基于栅格的数字地形模型 (黄杏元等, 2008), 具有处理简单, 运算速度快的优势。本文采用正方形网格对计算结果进行可视化表达, 并模拟溃坝后矿砂覆盖范围和深度等特征因子。

2 尾矿库溃坝模拟原理

尾矿库溃坝后尾矿砂下泄引起的砂流本质上属于滑坡或泥石流, 而滑坡和泥石流引起的土体流动可以假定为介于“流体”和“散粒体”之间的一种特殊的运动形式, 可以类似于流体流动的动力方程和连续方程来描述。本文采用有限差分方法对二维深度平均方程进行数值模拟, 其具体计算按如下步骤进行:

采用正方形网格, 即 $\Delta x = \Delta y = \Delta S$, 我们可列出 x 方向当时段由 $n\Delta t$ 到 $(n+1/2)\Delta t$ 的前半步中关于求解流速分量 u 和砂流自由表面高程 z 的隐式差分公式为:

$$a_{i-1/2,j} u_{i-1/2,j}^{n+1/2} + b_{i,j} z_{i,j}^{n+1/2} + c_{i+1/2,j} u_{i+1/2,j}^{n+1/2} = d_{i,j} \quad (1-a)$$

$$a_{i,j} z_{i,j}^{n+1/2} + b_{i+1/2,j} u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + c_{i+1/2,j} z_{i+1/2,j}^{n+1/2} = d_{i+1/2,j} \quad (1-b)$$

而 v 的显式差分公式为:

$$v_{i,j+1/2}^{n+1/2} = u_{i,j+1/2}^n - \frac{\Delta t}{8} (u_{i-1/2,j}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j+1}^{n+1/2} + u_{i-1/2,j+1}^{n+1/2}) \quad (2)$$

由上列公式看到, 当应用差分格式 (1-a) 和式 (1-b) 中求解未知量 $u^{n+1/2}$ 和 $z^{n+1/2}$ 各量后, 应用式 (2) 可以逐点计算出 $v^{n+1/2}$ 值, 于是就完成了前半步长的运算。而后将流速分量 u 和 v 的空间节点号 i 和 j 对调,

同时将时间序号 n 换成 $n+1/2$, $n+1/2$ 换成 $n+1$, 便得到后半步长的计算(陈青生等, 1995; 蒋春波等, 2007; Brown et al., 1978; David et al., 2003)。反复应用以上的交替计算的办法, 不难完成对二维浅水方程组的整个过程的计算。

3 相思谷尾矿库溃坝数值模拟结果的三维可视化

通过数值方法计算得到的网格数据可以比较容易的导入的 GIS 软件中, 并生成 DTM, 再借助于 GIS 软件的三维显示功能, 可以直观的将溃坝尾矿砂演进的整个过程表达出来。图 2-图 5 展示了如果相思谷尾矿库大坝发生瞬间全溃(即最终泄砂量等于库容)时 t_1 时刻至最终淹没时刻尾矿砂的淹没过程, 图中显示了各时刻尾矿砂淹没区域。

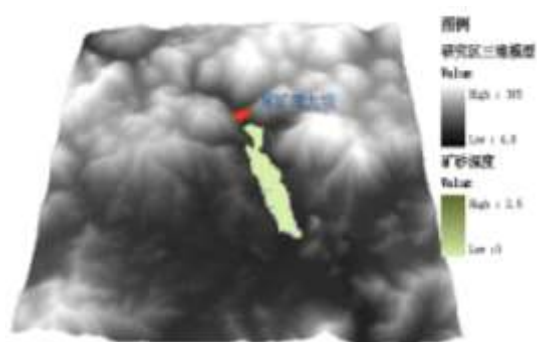


图 2 t_1 时刻尾矿砂淹没范围

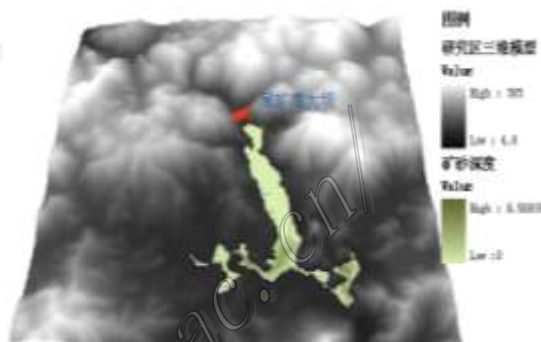


图 3 t_2 时刻尾矿砂淹没范围

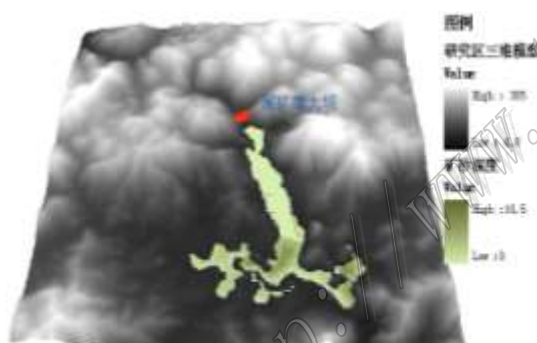


图 4 t_3 时刻尾矿砂淹没范围

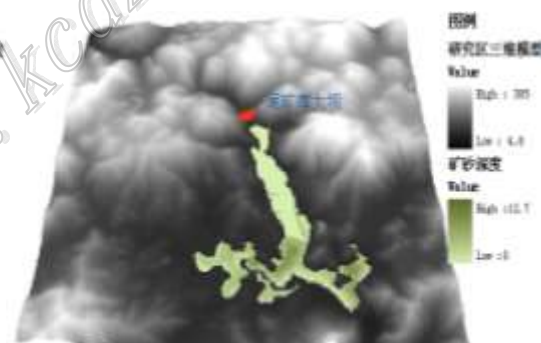


图 5 尾矿砂最终淹没范围

4 结 论

本文在三维 GIS 技术的支持下, 采用有限差分方法对二维深度平均方程进行数值模拟, 完成了对铜陵矿集区内相思谷尾矿库溃坝地质灾害的动态模拟, 可实时获取尾矿砂淹没范围及淹没深度, 对地方政府进行溃坝灾害预警、人口经济损失评估都具有直观的指导意义。

参 考 文 献

- 陈青生, 孙建华. 1995. 矿山尾矿库溃坝砂流的计算模拟[J]. 河海大学学报, 23 (5).
- 黄杏元, 马劲松. 2008. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 蒋春波, 张永良, 丁则平. 2007. 计算流体力学[M]. 北京: 中国电力出版社.
- Brown I and Hung T K. 1978. Computational and experimental investigations of two dimensional peristaltic[J]. J. Fluid Mech.
- David K and Ward C. 2003. Numerical analysis: Mathematics of scientific computing[M]. Beijing: China Machine Press.