

GIS 与 CA 模型在库岸水岩相互作用研究中的初探

孙渝江¹, 刘少军¹, 何政伟^{1,2}, 黄润秋¹, 许 强¹, 吴亚子¹, 王华俊¹

(1. 成都理工大学地质灾害防治与环境保护国家专业实验室, 成都 610059;
2. 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037)

摘 要: 由于库岸水岩相互作用是一个复杂的地理过程, 具有时空动态性, 传统方法对库岸的环境效应预测具有一定的难度。利用 GIS 空间分析与 CA 模型模拟复杂演化过程的优势, 将两者集成来模拟和预测库岸水岩的相互作用, 建立相应的模型来揭示其本质规律, 圈定影响区域, 为其导致的环境效应做出相应的预测。结果表明, GIS 与水岩相互作用 CA 模型结合具有明显的优越性。
关键词: GIS; CA 模型; 水岩相互作用; 库岸
中图分类号: T P79; P342 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005) 01-0105-03

Application of GIS and CA Model to Research on the Interaction of Water and Rock Mass

SUN Yu-jiang¹, LIU Shao-jun¹, HE Zheng-wei^{1,2}, HUANG Run-qiu¹,
XU Qiang¹, WU Ya-zi¹, WANG Hua-jun¹

(1. National Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Beijing Municipal Key Laboratory for Resource and Geographic Information System, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract: The interaction of water and rock mass in reservoir is a complicated geographic progress with spatial dynamic so it is difficult to predict the environmental effects in bank with traditional ways. Using the advantage of GIS in spatial analysis and the CA model in imitating the complex progress to integrate them, CA model was established to imitate and forecast the interaction of water and rock mass, define the area of environmental effects and get the essential regularities to forecast the environmental effects caused by it. It can be concluded that the combination of GIS and the CA model of the interaction of water and rock can be used effectively.
Key words: Geographic Information System; CA model; interaction of water and rock mass; bank

众所周知, 人类工程活动一方面依托于环境地质, 另一方面又影响和改造地质环境; 地质环境的好坏又作用于人类的工程活动。因此在库区稳定性研究中, 了解库岸水岩相互作用将具有十分重大意义。地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 具有强大的多源信息管理和空间分析能力, 由于不同应用领域对数据分析与处理有不同的要求, 将 GIS 与面向特定领域的专业应用模型相结合, 进行有关的数据处理、信息管理、空间分析、反演预测、决策支持等将是 GIS 研究的一个重要方向^[1]。如果将 GIS 与水-岩作用专业模型结合, 既可以充分利用 GIS 的空间数据管理和空间分析功能, 又能应用专业模型对其过程进行模拟达到预测

的目的。本文主要将 GIS 与 CA 模型结合来对库岸水岩相互作用进行分析、预测, 提出了不同于传统方法(有限法模拟位移场变化, 传统的极限平衡法 Sarma 和渗流-应力场耦合的集中参数法评价库岸稳定性)的水-岩作用 CA 模型。

1 CA 模型模拟复杂系统过程的原理

元胞自动机模型(Cellular Automation Model), 简称 CA 模型), 是定义在一个由具有离散、有限状态的元胞组成的元胞空间上并按照一定局部规则, 在离散的时间维上演化的动力学系统^[2]。它由元胞 (cells), 状态 (states), 邻居 (neighbors) 和规则(rules) 四部分组成。用集合的语言可以

¹ 收稿日期: 2004-05-17
基金项目: 国土资源部科技专项计划“三峡库区塌岸预测与防治专题”资助(国地防灾)(2003)合 14 号和首都师范大学“资源环境与地理信息系统北京市重点实验室开发基金与“四川省学术与技术带头人培养基金”(2200319)资助
作者简介: 刘少军(1980-), 男, 湖北天门人, 硕士研究生, 从事地理信息系统与环境地质研究工作。

将 CA 模型描述如下:

$$S_{t+1}=f\left(S_t,N\right)$$

式中: S ——有限集合, 代表细胞状态; N ——代表细胞邻域; t ——时间; f ——局部转换规则。

作为具有时空特征的离散动力学模型, 元胞自动机不仅可以用来模拟和分析一般的复杂系统^[3], 对于具有空间特征的地理复杂系统则更具优势。这主要体现在以下方面:

CA 模型的核心是元胞自动机模型结合复杂系统的特征来构建时空动态模型, 来模拟和预测地理过程。CA 不是一个确定的数理模型方程, 应当说元胞自动机是模型是一种方法框架, 是从系统构成单元的状态和行为入手, 模拟它们的相互作用, 从而模拟复杂系统的整体行为, 采用的是典型的“自下而上”的构模方式^[2], 符合复杂系统源于简单的形成规律及其研究思维方法。

2 CA 扩展模型的建立

标准的 CA 模型是对客观世界高度抽象的结果, 但是在地理时空数据分析中, 尤其是在与不同的专业结合时, 无论是模型的输入数据和输出结果以及状态转换规则都是有着明确地理含义, 因此 CA 地理细胞自动机模型的 4 元组有明确的时间和空间含义, 是对标准 CA 模型的扩展^[3]。由于本文在根据库区水-岩相互作用的特点来建立 CA 扩展模型, 模型的扩展主要从以下 4 个方面进行的扩展:

(1) CA 元胞空间。元胞空间概念可转变为笛卡尔坐标系下的地理空间, 用栅格数据来表示水体与岩体不同区域的特征作为环境影响着元胞的行为变化。即在不同的区域中, 元胞规则随之变化, 即不同位置, 不同性质的岩体与地下水水体影响因素不同, 作用规则不同, 在岩体与水体相互接触的边界元胞形成相互作用, 相互渗透的过渡地带。

(2) CA 邻居定义。元胞自动模型的邻居概念, 在地理上则体现为空间的近邻关系, 由于地理实体相互作用的复杂性, 定义邻居可以相当的灵活, 该 CA 模型以水体为主导前方单元, 与岩体实体为后方单元, 建立一个单向的邻居定义。

(3) CA 演化规则。是 CA 模型的核心, 它决定了动态演化的过程, 体现了空间实体水体与岩体相互作用, 这种相互作用可赋予不同的地理涵义。可通过局部规则相互作用得到某种“突现”; 由于 CA 模型的“自上而下”, “非线性”等研究的原则。水体与岩体间相互作用的规则基于岩体地质工程特征的改变及岸坡应力场, 位移场改变的原则, 根据不同区域, 不同时间, 不同发展阶段而采用不同的规则。

同样, 在模拟水岩相互作用 CA 模型中, 时间是一个抽象的概念, 在确定其相对应的关系中, 采用数据推理法, 以某一年的作为数据起点, 选定适当的种子, 来训练地理元胞机, 确定适当的规则。

3 CA 扩展模型模拟库区水-岩相互作用预测过程

CA 模型与 GIS 的集成则可为水岩相互作用扩展的研究提供一个虚拟环境, 因 CA 可用来模拟不同发展策略下, 岩体形态、应力场、位移场变化以及对环境的影响, 从而可为

库岸稳定及其环境效应的预测提供决策支持。

由于地质环境中岩体和地下水之间的相互作用表现在^[5]: (1) 地下水对岩体之间的机械, 物理和化学相互作用, 即地下水对岩体的化学潜蚀作用和地下水的物理弱化效应。(2) 地下水与岩体发生力学方面的相互作用, 它不断改变作用双方的力学状态与力学特征。

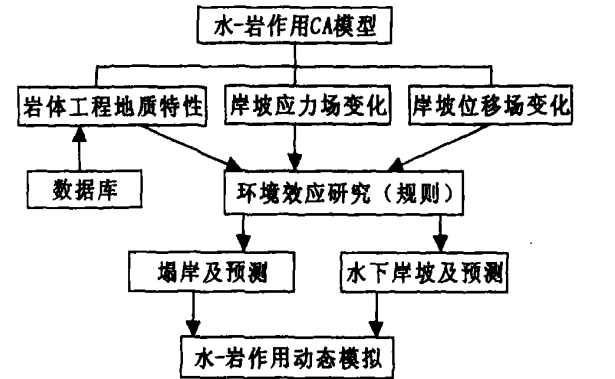


图 1 水-岩作用 CA 模型框架

而在实际的工程应用中, 主要考虑从岩体工程地质特性、岸坡应力场变化、岸坡位移场变化特征来确定和建立岩体和地下水之间的相互作用, 并以此为依据来建立 CA 模型来模拟水岩的相互作用模型(图 1)。

3.1 水岩作用预测原则

在考虑模型是仅考虑岩体工程地质特性、岸坡应力场变化、岸坡位移场变化三个方面的影响因子。模型均需解决的环境效应研究问题均可归结为由证据推断假设的问题, 即:

$$A \xrightarrow{f(B,A)} B$$

式中: A ——三个方面的影响因子; B ——假设或推断环境效应研究结论; $f(B,A)$ ——证据的强度。在典型推论中, $f(B,A)$ 是根据长期观测数据由专业人士提供判断依据, $f(B,A)$ 一般分三个方面取值:

- (1) A 为真时, B 总为真, $f(B,A)$ 的取值
 - (2) A 为假时, B 总为真, $f(B,A)$ 的取值
 - (3) A 为假时, B 总为假, $f(B,A)$ 的取值
- 在图形上可表示为不同的灰度值(图 2)。

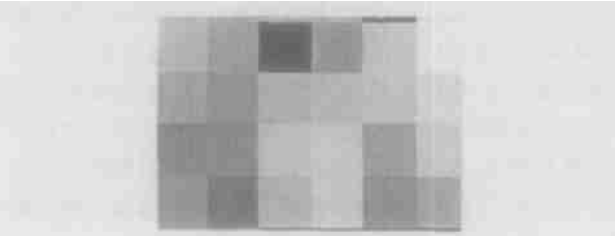


图 2 $f(B,A)$ 取值图

3.2 模型的描述

采用上面的预测方法, 具体推导水岩相互作用的三个方面的影响因子, 得到其产生的环境效应影响区域, 进而达到为下一步塌岸、水下岸坡的预测做准备。为了方便表示, 水岩作用状态环境效应可表示为以下两种: 0 表示无影响区; 1 表示有影响并产生变化。

4 GIS 与 CA 专业模型的集成应用于库岸水-岩作用模拟

GIS 与 CA 专业模型的集成是对库岸水-岩作用模拟高度概括,其简单性决定了它的灵活性和普遍适应性。作为一种建模框架和思路,将 GIS 的一个模块集成到系统中,以增强 GIS 的时空动态模拟能力,这是因为:首先是一个可迭代运算的模型,因而可以模拟地质实体和现象的演化过程,而且动态变化“嵌于”最精细的空间级别—细胞;其次,模型中的细胞通过与邻域内的其他细胞的相互作用关系来模拟动态系统与周围环境之间的交流和反馈;这种相互作用不是固定的,而是随着模拟过程动态变化;再次,通过定义不同 CA 空间上的规则和这些规则的时段变化,可以产生复杂的全局格局,因而可能模拟复杂的地质时空演化现象和过程。

4.1 GIS 与 CA 专业模型结合的方式

目前,空间分析是 GIS 最重要的功能之一,其研究主要集中在以下两方面:^[1] 利用数学理论和方法改进和扩展 GIS 的空间分析模型;④与多种应用模型相结合,形成特定的 GIS 应用模型^[4],GIS 空间分析与专业模型的结合主要有以下 5 种结合方式^{[1]:}① 基于数据传输的松散结合方式;④ 基于共同用户界面的表面无缝结合方式;④ 在 GIS 中嵌入专业模型;^{1/4} 在专业模型中嵌入 GIS 功能模块;^{1/2} 基于组件技术的 GIS 模型库开发。

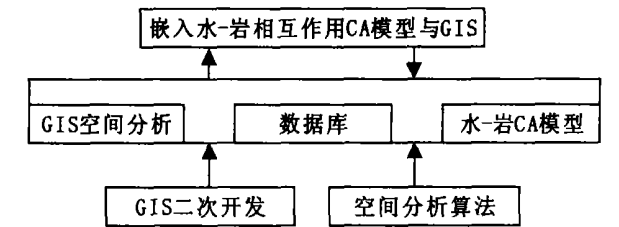


图 3 GIS 中嵌入专业模型的集成方式

4.2 水-岩相互作用 CA 模型与 GIS 集成

CA 从 GIS 中获取栅格格式的空间和属性数据,并利用 GIS 作为 CA 模拟结果的输出接口,在 GIS 的基础上实现 CA 与其他模型的结合,可以增强当前 GIS 软件所缺乏的时空分析与动态建模能力,有效提高 GIS 的分析功能,并为处理时间维提供一个很好的方法,形成一个全新的优势互补的动态系统,用来对复杂时空现象、行为和过程进行动态建模分析^[2~3]。因此在建立水-岩相互作用 CA 模型时与 GIS 集成时选择在 GIS 中嵌入专业模型的方式(图 2)。

在利用 CA 模型与 GIS 集成的方式进行水-岩相互作用的扩展模拟中,要着重考虑以下几个方面的问题:水-岩参考文献:

[1] 杜培军,郭达志,方涛,等. GIS 在开采沉陷领域应用及与专业模型的结合[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(4): 463- 465.

[2] 周成虎,孙战利,谢一春. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[3] 张显峰,崔伟宏. 集成 GIS 与细胞自动机模型进行地理时空过程模拟与预测的新方法[J]. 测绘学报, 2001, 30(2): 148- 155.

[4] 徐冠华,田国良,王超,等. 遥感信息科学的进展和展望[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 385- 397.

[5] 王士天. 大型水域水岩相互作用及其环境效应研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1997, 8(1): 69- 70.

CA 模型元胞空间与变量; 演化规则; 邻居定义, 这些决定系统模型预测的准确性。

5 应用示例

本模型在某水库库岸水-岩相互作用导致环境效应分析中进行了应用, 该模型集成与数据处理在 Arc/Info 的 Grid 环境下, 将运用 AML 和 VB 程序设计语言实现模型的二次开发完成。这种方式以地理元胞模型为核心, 利用 COM 技术, 借助高级语言 VB, VC++ , C++ 等在模型的基础上开发必要的地理信息功能, 支持元胞自动机的运行。

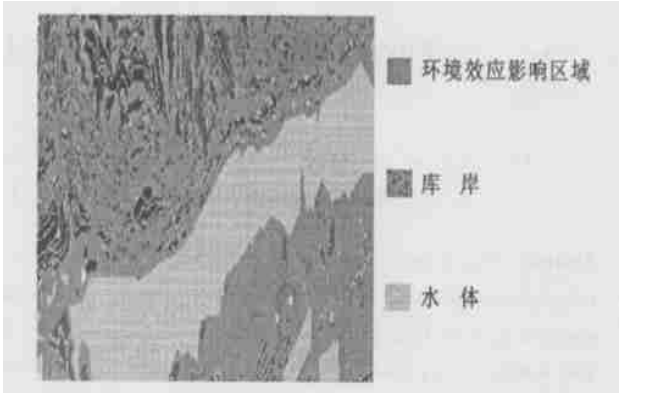


图 4 某水库库岸水-岩相互作用模拟结果

根据连续观测的岩体工程地质特性、岸坡应力场变化、岸坡位移场变化三个方面的数据, 对环境效应影响区进行了模拟, 结果见图 4。根据模拟图形, 圈定了水-岩相互作用产生环境效应研究的区域, 为塌岸及预测, 水下岸坡及预测提供决策依据。

此外, 还需要模型校验, 在水-岩相互作用过程中主要采用历史数据检验, 一是确定模型参数, 二是为将系统时间映射到真实时间, 以供预测库岸水-岩相互作用使用。获得两个或两个时刻以上时间模拟结果进行比较, 从而达到校验模型参数和模型时间的目的。结果表明, 根据本文提出的模型, 对库岸水-岩相互作用进行模拟的结果来确定环境效应区域仍然有一定的误差, 主要体现在模型参数的不确定性导致预测范围有一定的扩大。

6 结 论

由于水岩相互作用是一个复杂的地理过程, 具有时空动态性, 因此用 CA 模型来模拟和预测水岩的相互作用区域, 揭示其本质规律, 对其导致的环境效应作出相应的预测只是一种尝试, 有待进一步的完善。