

三峡库区滑坡综合预报系统的设计与实现

李东山, 黄润秋, 许强, 李彦荣

(成都理工大学 地质灾害防治国家专业实验室, 四川 成都 610051)

摘要: 由于滑坡变形演化过程的复杂性、随机性和不确定性, 大大增加了滑坡预报的难度。文章提出的预报系统是将 20 多种滑坡预报模型集成滑坡预报库, 利用专家系统将定量、定性预报有机结合实现综合预报, 并根据更新的监测资料对预报参数、预报结果进行修正和完善。随着时间的延伸和监测资料不断更新, 预报准确度越来越高, 实现动态追踪预报。整个系统基于 GIS 平台开发, 利用了 GIS 本身所具有的强大空间数据和图形管理功能, 同时还具有数据维护与数据处理等功能。

关键词: 滑坡预报; GIS; 专家系统; 综合预报

文章编号: 1003-8035 (2003) 02-0024-04

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

人们对滑坡的认识是 19 世纪后期从阿尔卑斯山区开始的, 至今, 滑坡研究已有 100 余年的历史。然而, 滑坡的预报研究却起步较晚, 多数学者认为, 日本学者斋藤 (M. Satio) 在 20 世纪 60 年代提出的滑坡预报经验公式, 可以作为滑坡预报研究工作的起点。在此之后, 经过广大学者的苦心探索, 滑坡预报理论和方法有了较大的发展, 经历了从现象预报、经验预报到统计预报、灰色预报再到非线性预报的历程, 目前已进入了系统综合预报和实时跟踪动态预报的阶段。本文提出的综合预报系统是以上各种预报方法的集成, 采用 GIS 系统对滑坡的各类信息进行综合管理, 实现图形可视化, 并采用专家系统的方法将根据理论模型进行定量预报与根据宏观现象进行定性预测和判断这两种方法有机地结合起来, 最终实现综合预报和实时追踪预报^[1]。

滑坡综合预报系统基于 GIS 为平台, 采用面向对象的软件开发技术和可视化计算机语言, 开发界面友好、操作方便、图形显示形象直观、集成化程度高的滑坡实时预报系统。地质灾害是三峡库区移民工程中的重大环境问题, 它不仅关系到移民安置的可持续发展, 也关系到水库的正常运行。库区几乎每个县城都受到滑坡地质灾害的威胁。这一现状迫使我们在库区地质灾害监测和预测预报方面要有所创新, 有所突破^[2,3]。

1 系统的总体设计^[4]

1.1 系统结构

系统采用组件式编程实现, 以 MAPGIS 为基本开发平台, GIS 与 MIS 相结合, 建立滑坡专家知识库, 以适应各种滑坡的预报。系统结构如图 1 所示。

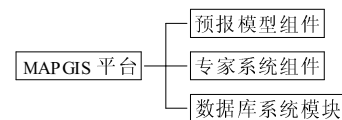


图 1 系统结构图

Fig. 1 Structure of the system

各模块功能如下: (1) MAPGIS 平台: 一个基本的操作平台, 实现图形可视化, 数据的空间查询与分析, 模型的三维动态显示。(2) 预报模型组件: 集成了 20 多种预报模型。(3) 专家系统组件: 定性预报与定量预报的综合分析。(4) 数据库管理系统: 对各类原始信息和成果信息进行综合管理。

1.2 系统的技术路线

系统以 GIS 为中心, 嵌入专业模块, 各模块间的数据流由专门研制的数据库管理模块控制, 系统结构清晰, 具有可移植性、可视性和实用性强等特点。技术路线如图 2 所示:

2 系统的具体设计

2.1 预报模型组件

此组件集成了现有的绝大部分预报模型。包括: 短期及临滑预报: Verhulst 模型, 协同模型, 灰色系统, 突变模型, Verhulst 反函数模型, 斋藤模型, Kawamura 模型, 指数平滑法模型, 二阶回归模型, Pearl 模型, 三阶回归模型, 神经网络模型, 蠕变样

收稿日期: 2002-12-05; 修回日期: 2002-12-20

基金项目: 国土资源部科技司专项研究计划资助项目; 国家自然科学基金资助项目 (编号: 40172096)

作者简介: 李东山 (1977—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事岩土工程、GIS 方面的研究。

条联合模型, 滑体变形功率模型。中期预报: 黄金分割法, 非线性动力学模型, 分形理论, 时序分析理论, 卡尔曼滤波方法, 灾变模型。长期预报: 稳定系数法, 稳定性模型综合评判等。

地结合起来, 最终实现综合预报和实时追踪预报的功能。

专家系统本身也包含了一个定性预报模型, 他将能收集到的所有信息整理成知识库, 这些信息包括宏观定性信息和监测数据、模型计算提供的信息等。通过一定规则进行预报。预报成果为滑坡破坏概率和滑坡所处阶段, 这与一些定性预报模型的结果相同。在专家系统的最高层, 还要根据规则库的相应规则把专家系统的定性预报成果和预报模型库提供的定性预报成果以及综合预报判据结合起来, 得到系统的最终结果。同时, 由于预报模型库将提供多个定量预报成果 (滑坡时间的预报), 专家系统也要根据相应的规则得到最终的滑坡时间。

专家系统最终提供的成果形式为: 滑坡破坏概率; 滑坡所处阶段 (蠕动阶段、匀速变形阶段、加速变形阶段和临滑阶段); 滑坡破坏时间。

2.2.1 专家系统的构成

如图 4 所示, 专家系统基本上是由下列几个部分构成的:

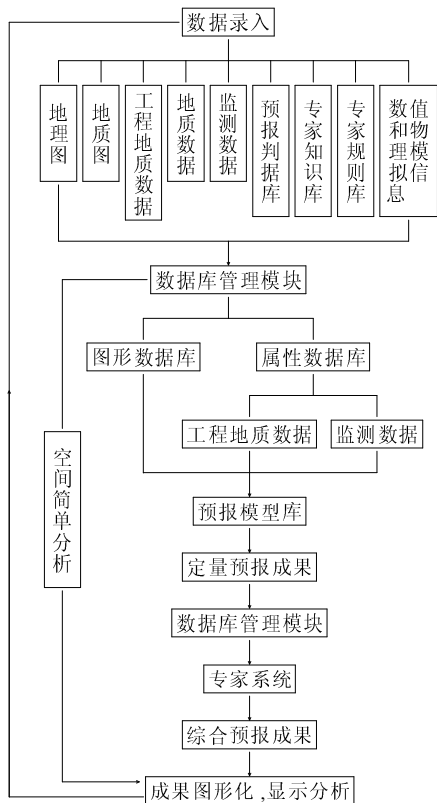


图 2 系统技术路线框图

Fig. 2 Route chart of the system

该模块的流程是: 先对模型进行适用性检验, 适用的模型从数据库得到数据, 再进行数据前处理, 通过计算后, 得到的结果再返回到数据库。对于各模块的计算成果将在专家系统进行综合评价。其流程如图 3 所示。

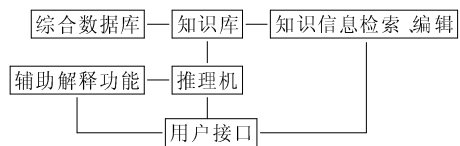


图 4 专家系统基本构成及原理

Fig. 4 Basic structure of the professional system

A 知识库: 系统的知识是以多位滑坡专家的知识、模型计算成果、大量滑坡实例的总结以及国内外大量文献资料进行综合分析整理得到。它是用于存储影响滑坡预报的所有知识和经验。知识库的建立实际上是解决专家知识和经验的表达问题。专家系统中的推理机就是利用知识库中的知识和信息进行推理判断而得出结论的。

B 推理机: 推理机也可称作智能控制系统, 在专家系统中它是一个控制其它知识库运行的超级知识库。推理机利用知识库中的知识和用户提供的信息进行搜索和推理以找到问题的答案。它的推理机制为正反向结合推理。

C 综合数据库: 它是用于存储由用户提供的随机信息以及在系统运行过程中所得出的中间结果和最后结论。

D 用户接口: 它用于系统运行过程中的人机对话, 包括原始信息和数据的输入, 中间和最后结论的输出等。

E 辅助解释功能: 它用于随时向用户提供帮助信息, 回答用户提出的有关问题, 如解释推理过程、要求系统对所提问题进行解释等。该功能为系

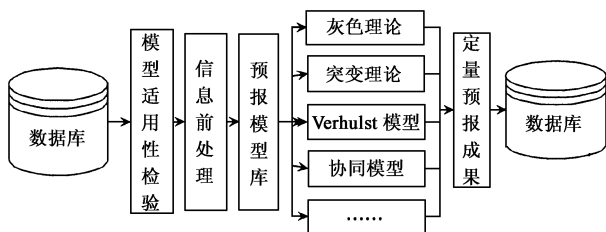


图 3 预报模型结构图

Fig. 3 Structure of forecasting models

2.2 专家系统模块

专家系统^[5]的建立将理论模型的定量预报与根据宏观现象进行的定性预测和判断这两种方法有机

统提供了友好的用户界面，增加了用户对系统使用的信心。

2.2.2 专家系统的流程

(1) 知识库的建立。通过大量实例分析，结果表明斜坡演化过程中的位移、变形速率、声发射以及应力等都是反映斜坡变形演化的本质特征参数，降雨量是诱发滑坡的主要因素。其他因素还有：地下水动态，裂缝的分布演化状况，地表的变形演化状况，地表植被变化状况，地表植被变化状况，地面建筑物的变形破坏状况以及各种滑坡前兆现象等。地震是诱发崩塌、滑坡的决定性因素，当地震烈度大于 7 度时，仅此一项指标，滑坡即可复活，即刻进入临滑阶段。

(2) 知识的表达形式

系统在知识库中采用产生式表示

IF p_1 AND p_2 ...AND p_n THEN e [cf] [gd] [tm]

这里 p_1, p_2, \dots, p_n 为规则前题， e 为规则结论， ph 为滑坡破坏概率， $ph \in [0, 1]$ ， jd 为滑坡的变形阶段，分为蠕动阶段、匀速变形阶段、加速变形阶段和临滑阶段四个阶段。 tm 为滑坡破坏时间。

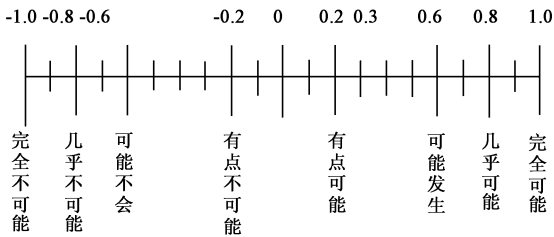


图 5 确定性因素与其语言关系图

Fig. 5 Relation between definite factors and the relevant language

(3) 规则库的建立。对于系统中不确定性因素，系统采用确定性因素法处理，即给不确定的信息赋以确定性因素值。这个因素值的取值范围是 $[-1,$

$+1]$ ，常用图 5 和多位滑坡专家的经验的方式先来确定，再通过预测结果和监测数据的对比分析，调整和修正因素值。

每一个参数都应当考虑可能对滑坡预报不同程度的影响，这些影响在专家系统中就归结为知识库中的规则。同时，专家系统还要处理预报模型的定量和定性预报成果，对每一个预报模型也赋以确定性因素值，从而进行综合预报。该系统共建了 11 个知识库，规则达 200 多条。其整体结构如图 6 所示。

在实际的预报过程中，随时根据最新的监测数据，对预报结果进行修正和完善，使随着时间的延伸和监测资料不断更新，预报准确度越来越高，实现动态追踪预报。同时，还应该随时根据更新的监测数据（现场监测数据或地质力学模拟的监测数据），调整和修正数值模拟模型，使在各个时段计算结果与监测结果都能达到最佳拟合。另一方面，还应通过对各个阶段的监测数据与变形趋势预测模型的预测结果的对比分析，随时修正和完善变形预测模型，使变形预测结果最大程度地逼近实际情况。

2.3 数据库管理模块

由于 MAPGIS 对数据库的管理功能有限，因此采用了外挂数据库的方式，对各种信息进行综合管理。包括对勘察资料、监测资料、预报判据资料、宏观迹象库的输入输出、编辑修改和查询功能。同时还要建立专家系统的知识库，规则库和预报模型成果库，便于用户和专家查询与修改。

2.4 GIS 工作平台

GIS 有两个显著特征：①可以管理空间数据信息；②可以利用各种空间分析的方法，对多种不同的信息进行综合分析，寻求空间实体间的相互关系，分析和处理在一定范围内分布的现象和过程。其研究对象及内容是空间多源数据。滑坡预报数据正是典型的空

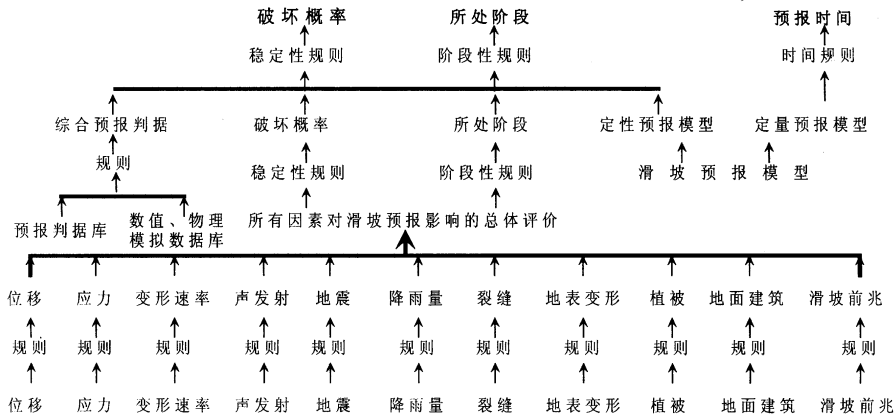


图 6 系统知识的总体结构及推理判断过程图

Fig. 6 General structure and reasoning judgement of the knowledge base in the system

根本上讲是空间分析问题, 因此 GIS 在滑坡预报预测中的应用具有现实性。

GIS 工作平台提供的主要功能包括: 图形处理, 数据空间查询, 数据空间分析, 动态三维显示。结构如图 7 所示。

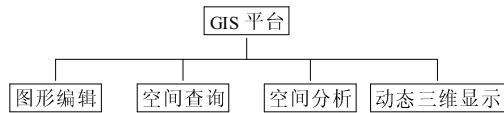


图 7 GIS 平台结构图

Fig. 7 Structure of the GIS platform

①图形处理功能由 MAPGIS 提供的控件可以直接实现。

②数据查询功能提供根据条件由属性查图形与由图形查属性, 由于时间是滑坡预报系统的一个重要因素, 因此还专门提供了历史查询功能。

③利用 MAPGIS 提供的控件实现数字地形模型 (DTM), 由等高线或不规则三角网 (TIN) 产生数字高程模型 (DEM), 可进行高程分析, 地面参数计算 (坡度、坡向辐射度、地面粗糙度等), 三维立体模型多角度方位显示。

④动态显示各曲面形态变化。MAPGIS 不提供三维动态显示, 本系统采用 nurbs 函数拟合曲面, nurbs 函数又是由足够多样本点 (监测点) 数据计算得出, 当样本点数值改变时, 又生成新的 nurbs 曲面, opengl 提供了绘制 nurbs 曲面的函数, 采用帧动画或实时动画技术可将曲面动态显示^[6]。

3.5 系统的集成

MAPGIS 二次开发是以组件式来开发, 大大降低

了编程工作强度, 使系统的可移植性、可视性和实用性都显著增强。对于专业模块的嵌入, 实现无缝连接。

3 结束语

本文详细介绍了单体滑坡综合预报系统的技术路线及设计实现。该系统基于 GIS 平台, 采用面向对象软件开发技术和可视化计算机语言, 是一个开发界面友好、操作方便、图形显示形象直观、集成化程度高的滑坡实时预报系统。由于该系统充分利用了 GIS 本身所具有的强大空间数据和图形管理功能, 使得系统具有强大的数据和图形管理、数据维护、数据与处理等功能。同时, 该系统还将采用专家系统的方法将定量预报与定性预测和判断这两种方法有机地结合起来, 最终实现综合预报和实时追踪预报的功能。

参考文献:

- [1] 沈芳, 黄润秋. 地理信息系统与地质环境评价 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11 (1).
- [2] 许强, 黄润秋. 地质灾害发生时间和空间的预测预报 [J]. 山地学报, 2000, 18 (B02).
- [3] 李天斌, 陈明东. 滑坡预报的几个基本问题 [J]. 工程地质学报, 1999, 7 (3).
- [4] 吴信才. 地理信息系统的设计与实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [5] 傅荣华, 李天斌. 专家系统在确定岩体结构类型中的应用 [J]. 地质灾害与环境保护, 1993, 4 (2).
- [6] 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学 (新版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.

Research and design of landslide integrated prediction system in Three Gorges Reservoir Area

LI Dong-shan, HUANG Run-qiu, XU Qing, LI Yan-run

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610051, China)

Abstract: With the characteristics of complexity, randomness and indeterminacy, landslide enhances the difficulty in prediction. In this article, the prediction system is integrated based on more than twenty kinds of landslide-forecasting models. The synthetic prediction system is brought out in this article by combining quantitative prediction and qualitative prediction and using professional system, and can amend the prediction factors and results according to the newest monitoring data. As a result, the results of prediction become more and more accurate as the monitoring data renew. The system, which can manage data and graph, maintain and handle data, is developed based on the GIS system that contains powerful management ability of special data and graph.

Key words: landslide prediction; GIS; professional system; comprehensive prediction