维普资讯 http://www.cqvip.com

第17卷 第4期
2006年12月

中国地质灾害与防治学报
The Chinese Journal of Geological Hazard and Control

Vol.17 No.4
Dec.2006

山区公路地质灾害减灾决策支持系统
——以西藏古乡沟泥石流为例

李发斌[1]，韦方强[2]，胡凯衡[2]

（1. 四川省国土勘测规划研究院，四川 成都 610031；
2. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所；四川 成都 610041）

摘要：由于复杂地形条件和地质条件以及降雨、地下水等因素的影响，山区公路易受到泥石流、滑坡、崩塌、溜砂坡等地质灾害的危害。文章在对山区公路地质灾害模型研究和分析的基础上，建立了滑坡稳定性分析、泥石流活动性分析、泥石流危险范围预测与危险性分区、滑坡区公路整治方案优选、拦砂坝优化设计等灾害分析模型和减灾决策模型，通过数据库、分析模型和决策模型的集成，建立了基于组件式GIS的山区公路地质灾害减灾决策支持系统。作为系统应用的实例，文章最后讨论了系统在古乡沟泥石流危险范围预测的应用，预测了一定条件下泥石流堆积扇上的泥深，泥石流运动过程中出现的最大泥深、最大速率、最大动量和最大动能，为古乡沟泥石流的预防和治理提供了科学依据。

关键词：山区道路；减灾；决策支持系统；地质灾害；西藏古乡沟

文章编号：1003-8035(2006)04-0052-05　　**中图分类号**：P642.23　　**文献标识码**：A

0 前言

减灾决策支持系统是灾害信息管理系统的延伸和发展，是非工程减灾措施的一种高度集成形式。我国在地震、洪水和旱灾等领域的减灾决策支持系统方面研究较多，有的城市已经建立了地震减灾决策支持系统[1~3]。台湾针对岛上自然灾害频率高和强度大的特点，建立了灾害管理决策支持系统[4]。国内已经建立了多个针对山地灾害的信息系统[5,6]。但对泥石流、滑坡等特定山地灾害的减灾决策支持系统的研究尚处于探索阶段[7]。

危害山区交通线路的灾害有一定的特殊性。体现在单个灾害点的危害范围和强度相对比较小，但灾害的分布范围广，而且一个点发生灾害，就可能造成全线交通陷入瘫痪。因此山区公路的减灾模式与其它灾害有较大的不同。我们对川藏公路帕隆藏布地段灾害进行了深入调查和研究，并在此基础上开发了道路工程病害减灾决策支持系统。该系统的建立，不但可以填补国内在道路减灾决策支持系统领域研究和开发的空白，而且能够辅助交通部门和决策者制定科学的减灾对策，进行合理的减灾规划，为进一步的减灾工程设计打下了基础。

1 系统目标

山区公路地质灾害减灾决策支持系统的目标是在地质灾害减灾理论的指导下，根据山区公路泥石流、滑坡等灾害及防治工程的特点，以地理信息系统、遥感和数据库等技术为支撑，形成道路沿线工程病害管理的基础地理信息系统，提高减灾的信息获取和处理水平，为政府部门提供基础地理信息系统精确的数字化管理支持手段，为科学研究人员和工程技术人员提供全方位的减灾空间信息服务，最终建立能适应多种条件或状态的公路沿线灾害评价与决策计算机集成系统。首先，要求系统具有一般的事务处理功能，即数据、实例、知识等的查询、输入、删除、修改、备份、建库、显示、报表输出等功能，这样就随着实践及实例、知识的积累使系统得到不断的补充与完善。其次，要求系统具有多种定性与定量的评价与决策方法。

2 系统集成开发环境

系统的GIS支撑软件选用SuperMap 2000。之所以选用SuperMap，是因为ActiveX控件是当今可视化程序设计中应用最为广泛的标准组件，而SuperMap是国内功能最强大的、以COM/ActiveX技术规范为基础的全组件式GIS(COMGIS)开发工具。使用组件式

收稿日期：2005-08-18；**修回日期**：2005-11-23

作者简介：李发斌(1970—)，男，四川邻水人，博士，副研究员，主要从事"3S"在防灾减灾中的应用研究。

维普资讯 http://www.cqvip.com

GIS开发系统具有开发和应用成本较低、可扩展性好、组件资源丰富等优点。

数据库管理系统采用Microsoft Access 2000,主要进行空间数据的属性以及非空间数据的存储管理,其特点是易于实现,数据并发控制方便。

由于采用了SuperMap作为GIS平台,可以选用任何支持ActivX控件的开发语言,这样既可减轻开发者的负担,又增强了系统的可扩展性。本系统的主要开发语言为Delphi 5.0[8]。部分模型则分别用Visual Fortran 6.5和MATLAB 6.5编写,以保证计算结果更加精确。系统开发环境的紧密集成方案见图1。

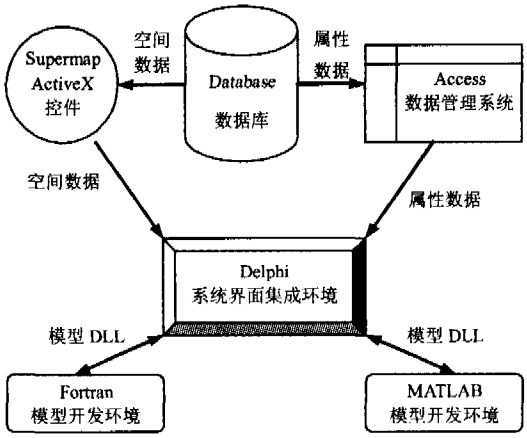


图1　系统开发环境的紧密集成方案

Fig.1　Compact integration schema of system developing environment

3　系统结构

决策支持系统(DSS)能将模型和分析技术与数据存取和检索功能结合起来,具有较强的适应性和灵活性。但是不能直观、精确而灵活地描述组织对象的空间分布等地理信息,也不能描述组织对象所处的自然环境和社会环境信息。道路工程病害的减灾决策很大程度上都要依赖于地理信息,因此,针对工程病害减灾的特点,将GIS和DSS结合起来,辅助决策是至关重要的。

DSS与GIS的结合有3种模式:集成开发模式、GIS内部建模模式和模型与GIS之间文件连接模式[9]。在这3种模式中,集成开发模式是功能全面、决策支持效果好的开发模式,但开发周期长,难度也大。综合考虑各种因素后,本系统采用了最后一种模式。使开发难度大大降低,而且由于采用了组件GIS技术,使系统的统一性和耦合度也有很大的提高。

系统的总体逻辑结构(图2)是以数据库作为基本信息支撑,以模型作为系统的核心,通过总控程序构筑减灾决策支持系统的运行环境,辅以友好的人机界面和人机对话过程,有效地实现信息查询和和辅助减灾决策两大操作功能。

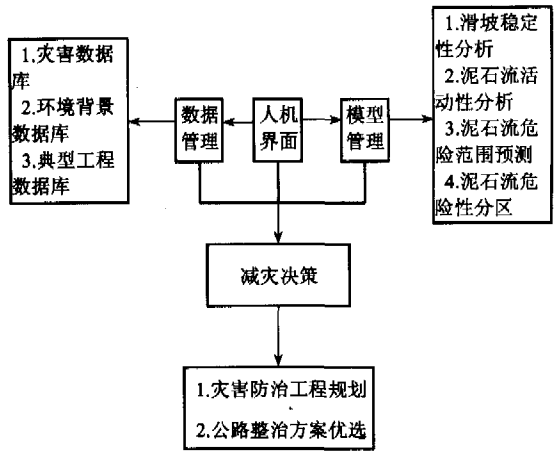


图2　山区公路地质灾害减灾决策支持系统的结构

Fig.2　Structure of DSS for mitigating geological disasters along highways in Mountainous area

4　系统功能

整个系统由基本模块、数据库、空间分析、模型管理等4个模块组成。

4.1　基本模块

基本模块主要完成数据编辑、数据组织、符号管理和地图制作及输出等功能。

4.2　数据库管理模块

提供基本的数据对象以完成数据的定义和操作。如数据定义、存储、检索、修改、删除和插入以及显示、打印等;提供有关数据的安全性检查等措施;建立数据字典;建立数据交互机制,以实现系统内部信息的交互。

4.3　空间分析模块

提供一组空间分析工具,完成GIS一般的空间分析功能,包括几何分析、缓冲区分析、数字高程模型的生成和三维显示、坡度图和坡向图的生成、挖(填)方计算、三维切割、淹没模拟、飞越模拟和叠加分析等功能。

4.4　模型管理模块

本系统的模型采用源代码方式和可执行程序方

维普资讯 http://www.cqvip.com

式进行集成。对于以源代码方式集成的模型,包括泥石流危险范围预测和分区模型和灾害防治工程规划模型,模型程序用 Delphi 5.0 编写。对于用可执行程序方式集成的模型分别采用 Visual Fortran(滑坡稳定性分析模型和公路整治方案优选模型)或 MATLAB(泥石流活动性分析模型)编写,模型调试完毕后将程序编译成动态链接库,运行时从系统调用即可。模型参数设置与模型运行是分步进行的,故将参数设置写入一约定的文件中,模型运行时,由模型程序从约定文件中读取此运行参数。模型运行时需要的数据直接从文件或数据库中读取,或者通过模型和数据库之间的接口读取。模型运行完后,结果以约定的存贮格式存入数据文件或数据库中。

4.5 系统应用

将系统应用到川藏公路帕龙藏布流域地段的减灾实践中,建立了该地段的灾害数据库、环境背景数据库以及典型工程数据库;利用建立的模型分析 102# 滑坡的稳定性、多条冰川泥石流沟的活动性;预测了一定条件下古乡沟泥石流的危险范围并进行堆积扇的危险性分区;进行拦砂坝的优化设计以及 102# 滑坡地段公路整治方案的优选决策。

5 实例—古乡沟泥石流危险范围预测

古乡沟位于西藏东南波密县古乡村境内,川藏公路 K4035 处。东距波密县城 40km 左右,属帕隆藏布江中下游右岸的一级支流,流域面积 25.2km^2,主沟长 8.7km,主沟床平均比降为 256.1‰。流域最高海拔 6303m,最低海拔 2560m,相对高差 3743m,流域平均坡度 36.9°[10]。

西藏古乡沟泥石流自爆发到目前的 40 多年中,间隔爆发大、中、小规模不等的泥石流近 1000 次。古乡沟早期以粘性泥石流为主,中期为粘性向稀性泥石流过渡,晚期以稀性泥石流或水石流为主。古乡沟泥石流的体积质量值一般在(1.5 ~ 2.0)t/m^3 之间。粘性泥石流的最大体积质量可达 2.43t/m^3。其物质和颗粒组成受到补给物质的限制。泥石流的粘度值可达 7Pa,屈服应力可达 2.4kN/cm^2,泥石流运动速度可达 4 ~ 8m/s,流量变化极大,从几十 m^3/s 至 24000m^3/s 以上。

图 3 为泥石流堆积扇的 DEM。根据古乡沟的这些特征,按表 1 列出的条件预测泥石流发生时的危险范围。

表 1 西藏古乡沟泥石流危险范围预测计算条件和参数

Table 1 Conditions and factors for predicting dangerous area of Guxianggou debris flow

流体参数				计算控制参数			流量条件		
底床糙率系数	重度 (t/m^3)	粘性系数 (N·s/m^2)	屈服应力 (N/m^2)	沟底平均坡降 (‰)	时间步长 (s)	流团大小 (m^3)	峰值流量 (m^3/s)	持续时间 (s)	峰值时刻 (s)
0.25	2.1	0.086	55.2	90	0.2	10	1260	100	300

注:流量条件为给定峰值流量,峰值流量为 50a 一遇的流量。

泥石流运动方程是一组非线性的微分方程。系统借鉴了流团模型的思想和算法,把泥石流体看成为许多泥石流颗粒的集合体。并将整个计算区域划分成 20m × 20m 大小的正方形网格,将泥石流运动方程和运动介质都离散化。通过对流团模型进行部分修改后对古乡沟泥石流的扩散过程进行了模拟,获得了较好的结果。泥石流危险范围预测的程序实现主要包括 4 个步骤,即:初始计算位置的判识、初始断面速度和泥深的计算、计算方向的调整和运动模型方程的计算。模拟预测的结果见图 4 ~ 8。

6 结论与讨论

6.1 山区公路的地质灾害类型多样、分布范围广、爆发频率高。在当前灾害的防治技术和防治现状下,建立针对地质病害的减灾决策支持系统是有效减轻灾害、保障道路通畅的重要手段之一。减灾决策支持系统的建立,使山区公路减灾的工程措施和非工程措施能够相辅相成、相得益彰。

6.2 系统建立了山区公路典型路段的灾害数据库、环境背景数据库和典型工程数据库,实现了各种减灾决策所需的实时、历史、预测的地图空间数据和社会经济数据等信息的管理和数据更新。系统集成了滑坡稳定性分析模型,建立了泥石流活动性分析的 BP 神经网络模型、基于泥石流运动方程、流团模型和 GIS 技术的泥石流危险范围预测和危险性分区模型、基于 GIS 的泥石流拦砂坝优化设计模型以及滑坡区公路整治方案的灰色关联度优选模型。通过对这些重要的灾害分析与决策模型的有效存储和管理,能够

维普资讯 http://www.cqvip.com

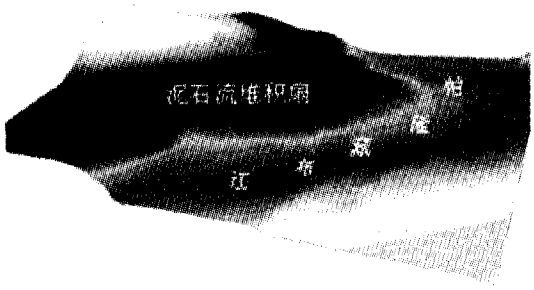


图 3　西藏古乡沟泥石流堆积扇的 DEM(根据实测地形图制作,堆积扇前方为帕隆藏布江)

Fig.3　DEM of deposit fan of Guxianggou debris flow

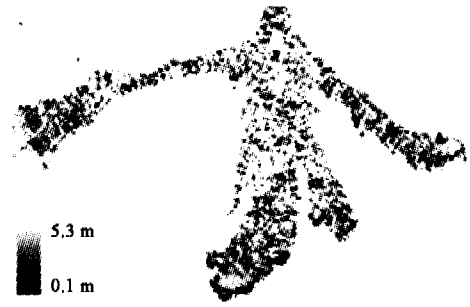


图 4　泥石流堆积扇泥深分布预测(泥石流停止后堆积扇上各处堆积的泥深)

Fig.4　Predicted deposit depth of debris flow

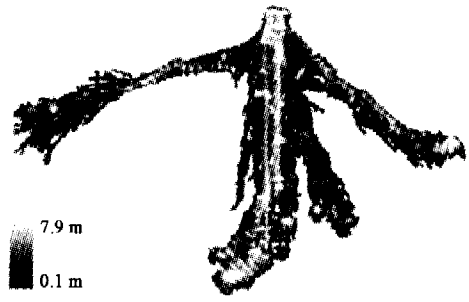


图 5　泥石流最大泥深分布预测(整个泥石流运动过程中堆积扇各处曾经出现的最大泥深)

Fig.5　Predicted maximum mud depth during debris flow movement

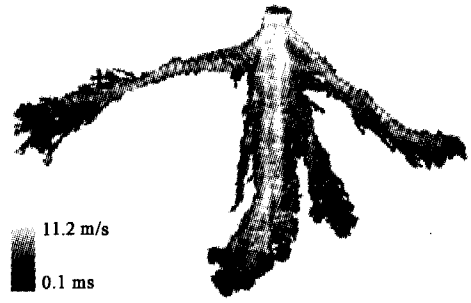


图 6　泥石流最大速率分布预测(整个泥石流运动过程中堆积扇各处曾经出现的最大速率)

Fig.6　Predicted maximum velocity distribution during debris flow movement

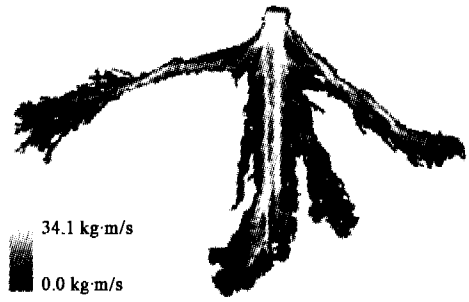


图 7　泥石流最大动量分布预测(整个泥石流运动过程中堆积扇各处曾经出现的最大动量)

Fig.7　Predicted maximum momentum distribution during debris flow movement

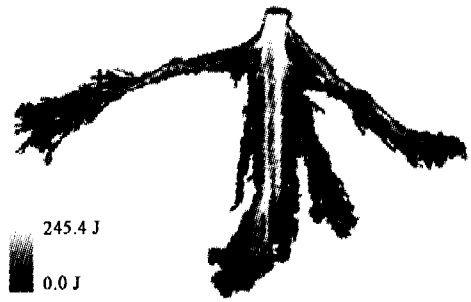


图 8　泥石流最大动能分布预测(整个泥石流运动过程中堆积扇各处曾经出现的最大动能)

Fig.8　Predicted maximum kinetic energy distribution during debris flow movement

辅助决策者进行科学决策,达到了系统设计时提出的目标。

6.3　在道路减灾决策支持系统的开发中,涉及数据组织、空间数据库和属性数据库的建立、多种空间分析模型的建立和组织等多方面的内容,需要使用多种软件和技术。在本系统中,使用 Delphi 开发系统界面、数据库和简单的模型,并在 Delphi 环境下进行系统集成,而 Visual Fortran 6.5 和 MATLAB 6.5 则用来开发专门的工程数学模型。最后通过动态链接库在统一界面下实现了 Fortran 和 MATLAB 强大的数学建模、计算和图形输出等功能。采用多种软件平台界面和功能集成的开发技术,不但开发效率得到很大提

维普资讯 http://www.cqvip.com

高,而且系统的可靠性和稳定性都能得到充分保障,在软件工程方面具有重要意义。

6.4 山区公路地质灾害减灾决策支持系统的建立,是将空间决策支持系统与道路减灾相结合的一种尝试和探索。通过在川藏公路帕隆藏布地段工程病害减灾中的实际应用,证明该系统具有结构合理、界面友好、实用性强、可靠性高、扩充性好的特点,能够为管理、科研和工程技术人员提供有效的辅助决策服务。系统的建立也为其它山区线性工程减灾决策支持系统提供了可资借鉴的经验。系统经过一定的改造,即可应用于其它山区线性工程的辅助减灾决策。

参考文献:

[1] 宋俊高,朱元清,火恩杰,等. 上海市防震减灾应急决策信息系统[J]. 地震学报, 2000, 22(4): 424-432.

[2] 翟宜峰,尚志宏,李彦军. 黑龙江省防洪决策支持系统研究与设计[J]. 东北水利水电, 1999, 20(4): 13-15.

[3] 刘俊,徐向阳,黄林楠. 江苏省防汛防旱决策支持系统研究[J]. 河海大学学报, 2000, 28(1): 116-118.

[4] 孙志鸿,阮中信,吴上煜,等. 灾害管理决策支持系统之发展建置[J]. 地理信息世界, 2003, 1(3): 40-44.

[5] 史同广,李月臣. 城市地质灾害信息管理系统设计[J]. 曲阜师范大学学报, 2002, 28(1): 89-92.

[6] 韦京莲. 地质灾害信息系统的数据准备及数据库设计[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(1): 30-32.

[7] 韦方强,胡凯衡,崔鹏. 山区城镇泥石流减灾决策支持系统[J]. 自然灾害学报. 2002, 11(2): 31-36.

[8] 王华,梁志刚. Delphi 5 编程实例与技巧[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.

[9] 王桥,吴纪桃. 空间决策支持系统中的模型标准化问题研究[J]. 测绘学报, 1999, 28(2): 172-176.

[10] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,西藏自治区交通科学研究所. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999. 25-29.

Decision support system for mitigating geological disaster along highway in mountainous area ——A case study in Guxiang Gully, Tibet

LI Fa-bin[1], WEI Fang-qiang[2], HU Kai-heng[2]

(1. Sichuan Institute of Land Survey and Planning Research, Chengdu 610031, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: Owing to such contributing factors as rough terrain, rainfall and underground water, part of Tibetan highways are easy to be damaged by geological hazards such as debris flow, landslide, rock collapse and sand-slide slope. In this paper, based on the study and analysis of models of geo-hazards along mountainous highways, the models of disaster analysis and disaster reduction decision including landslide stability analysis, debris flow activity analysis, prediction and zoning of dangerous area of debris flow, selection of optimal highway rebuilding scheme in landslide region, and optimized design of disaster control engineering are established. Through the integration of database, analysis models and decision models, the disaster reduction decision support system against disasters along highways in mountainous area, which is based on COMGIS, is set up. Finally, as an example of system application, the prediction of endangered area of Guxianggou debris flow is discussed and some factors including deposit depth, maximum mud depth, maximum momentum and maximum kinetic energy during debris flow movement are predicted.

Key words: highway in mountainous area; disaster mitigation; decision support system; geological hazard; Guxiang Gully in Tibet