

文章编号: 1001-1749(2016)05-0708-07

基于 ArcEngine 的地震灾害快速评价系统的设计与实现

田恒宇^a, 简季^{a*}, 李为乐^b

(成都理工大学 a. 地学空间信息技术国土资源部重点实验室;
b. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘要: 地震灾害的信息化管理是实现地震灾害预测、预报和预防的基础。为了满足评价过程中对不同模型数据与因子数据的管理需求, 结合 ArcEngine 二次开发技术, 设计、实现了集灾害数据分析、灾害评价模型管理、模型应用与评价结果可视化等功能于一体的地震灾害快速评价系统, 并将其应用于芦山地震滑坡灾害危险性评价过程。测试结果表明, 该系统可以快速稳定完成不同模型下数据的分析与输出, 有效地提高灾害信息提取的工作效率, 为抗灾减灾赢取时间。

关键词: 地震灾害评价; 滑坡; 地理信息系统; ArcEngine; 二次开发

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2016.05.22

0 引言

地震导致的山体滑坡是我国地质灾害中最为严重的一类^[1], 国内外有不少针对其成灾机理及对预测的研究工作, 其评价模型经历了定性模型、半定量模型和定量模型的发展, 定量模型基于控制灾害要素与地质灾害之间的数学表达, 采用二元或多元回归等方法获得地质灾害的评价结果^[2]。法国专家提出的 ZERMOS 理论, 该理论利用两种控制因素建立滑坡危险性分区的数学模型, 并以法国局部山区为例, 进行滑坡危险性分区研究^[3-4]; Finlay P. J. 和 Fell Robin^[5-6]对香港滑坡进行了灾害风险研究, 建立了预测滑坡灾害水平运动距离的多元回归模型; John R Dymond 等^[7]用 GIS 研究了暴雨条件下滑坡灾害发生的概率, 建立了评价模型; 李家存等^[8]建立的用于区域滑坡危险性评价的概率指数模型; 李

为乐等^[9]建立了汶川地震次生地质敏感性评价模型。

数据处理与表达是各种评价模型应用的重要环节, 因此, GIS 和计算机技术的发展为地震地质灾害提供了平台, 可以将 GIS 的空间分析与预测模型相结合, 完成地质灾害各影响因子的空间叠加, 快速进行灾害的危险性预测。GIS 技术作为工具, 主要是利用其空间数据库、空间分析以及可视化等功能, 针对输入的各评价因子的栅格图层作某种函数叠加运算, 从而很方便的得出地质灾害易发性、危险性和损失等方面的评价及相应的灾害区划^[10]。

在国内已经有不少城市或地区针对地质灾害建立起了相应的管理信息系统^[11], 但系统的设计实现大多面向于某一特定区域或者某一个模型的应用, 缺少应用区域的扩展性和灾害模型的选择性。作者从地震地质灾害滑坡数据与模型管理角度对系统进行设计, 利用 GIS 技术的图形图像功能, 实现滑坡

收稿日期: 2015-07-13

改回日期: 2016-03-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(41202210)

作者简介: 田恒宇(1989-), 男, 硕士, 研究方向为地图制图与地理信息工程, E-mail: hengyu_hengyu@163.com。

* 通信作者: 简季(1972-), 男, 教授, 研究方向为高光谱遥感和地理信息工程, E-mail: jianji@21cn.com。

预测结果的直观可视化表达,用户可以方便地对不同模型进行编辑保存,完成模型中各种因子数据的管理操作。

1 需求分析

地震灾害评价预测数据处理涉及到空间分析操作,根据用户需求,运行速度快、数据处理效率高、使用简洁是系统开发的总体要求。结合系统用例模型图(图 1),总结归纳出该系统需要实现的主要功能包括:

- 1) 因子数据读取。其中涉及多种格式单波段栅格数据,以及用户对栅格值的区间划分,新值的输入等,数据的显示以及操作以表格的方式呈现。
- 2) 因子数据重分类。系统需要能够依照用户输入的表格及输出路径等参数完成重分类工作。
- 3) 不同影响因子的空间叠加。用户可以自由选择因子图层,将其添加到评价模型式中,并根据模型公式完成致灾因子叠加运算得到评价结果。
- 4) 灾害模型的选择、编辑、存储。用户在进行区域地震灾害评价过程中可能会用到多种灾害模型,不同模型会产生不同的评价结果,系统应该满足用户对于多种灾害模型的选择要求,并能使其完成模型公式的自定义。
- 5) 地图显示、浏览、渲染、输出。系统应提供地图显示以及放大、缩小、平移等浏览功能,还有根据栅格颜色显示自定义等数据渲染及输出功能。

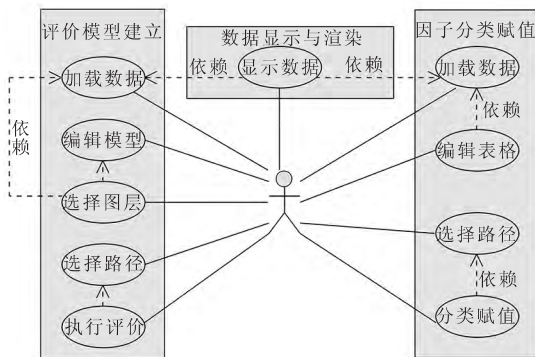


图 1 地震灾害快速评价系统用例模型图
Fig. 1 The use case diagram of rapid earthquake disaster evaluation system

2 系统设计

基于 ArcEngine 的地震灾害快速评价系统属于空间型信息系统,其总体设计目标是以地理信息系

统技术为核心,使用 C# 语言在 ArcEngine 及 Microsoft Visual Studio 2010 平台上进行二次开发,紧密结合地震灾害评价模型,实现滑坡等地质灾害的快速评价预测,并结合地图可视化方案呈现地理信息评价结果,为决策人员提供决策支持。

2.1 系统结构设计

地震灾害快速评价系统设计用于滑坡等灾害模型的管理及应用,利用 ArcEngine 中封装的各种功能组件作为软件的开发工具,灾害评价模型可以被写入系统代码中实现计算分析,帮助地震灾害评估预测。系统整体框架(图 2)分为三层:①基于栅格、矢量数据及模型数据的数据库层;②系统功能层;③用户层。

系统不同部分的交互可以描述为:功能组件从空间数据库中读取模型文档,用户对读取的数学模型进行编辑操作,根据模型因子再从数据库中选择因子数据,执行后面的一系列基于模型的操作,包括因子分类赋值、评价模型建立。结果数据包括参数修改后的模型文档、栅格数据、图片,这些数据都保存在空间数据库中。最终用户通过交互界面实现数据库中地图数据的浏览。

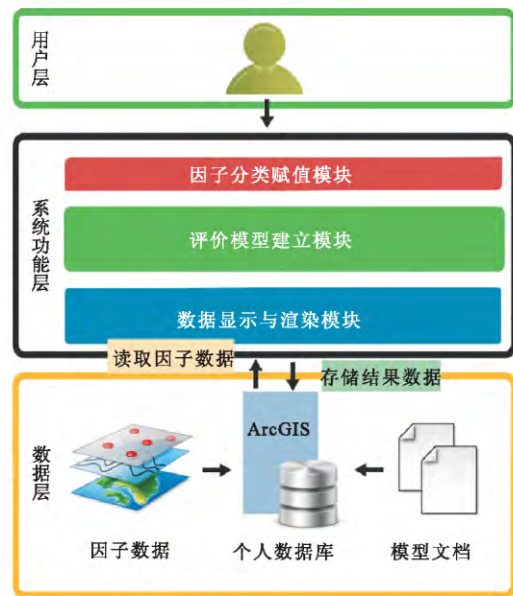


图 2 地震灾害快速评价系统结构图
Fig. 2 The architecture of rapid earthquake disaster evaluation system

2.2 数据库设计

滑坡等地震灾害的评价预测工作涉及多源、多时相数据,主要包括:

- 1) 行政区划、交通、地形地貌等基础地理数据。

- 2) 地层岩性、断层、河流水系等地质水文数据。
- 3) 地震峰值加速度等灾害数据。
- 4) 灾害评价模型数据。

为了便于系统对数据的安全、高效管理,系统数据采用 ESRI 的地理数据模型 Geodatabase 中的个人 Geodatabase 进行管理^[12]。Geodatabase 是一种采用标准关系数据库技术来表现地理信息的数据模型,它可以将空间数据(矢量、栅格、影像、三维地形等)及其相关的属性数据统一存放在工业标准的数

据库管理系统 DBM 中,对于小型的 GIS 项目和工作组来说,个人 Geodatabase 是非常理想的工具。

2.3 系统功能设计

根据系统结构设计所述,本系统功能模块及一系列工具组成,所有工具都被整合进一个图形用户界面(GUI)。在系统 UML 序列图(图 3)描述了用户端与系统各个单元之间的信息交互,功能模块的信息输入包括栅格数据、模型公式。不同单元之间有不同的信息反馈,包括表格、列表、文本、图片。

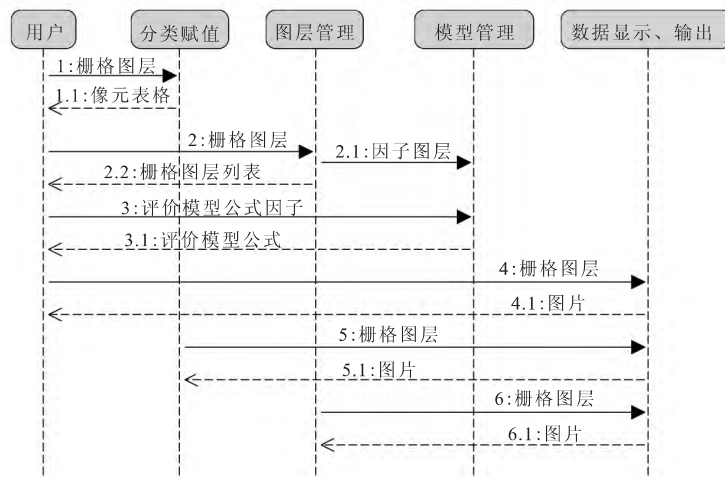


图 3 系统 UML 序列图

Fig. 3 The UML sequence diagram of the system

2.3.1 因子分类赋值模块

因子分类赋值模块主要功能是,参照已有的经验模型对评价因子进行分类赋值。交互界面包括载入因子数据路径、分类属性表格及其功能按钮、因子分类输出路径、因子分类赋值输出功能按钮,根据用户需求,因子分类赋值分为两种模式:①区间赋值;②唯一值赋值。

其组织结构图(图 4)表示了该模块七个单元的相互关系,其中 RasterWorkspaceFactory 与 RasterWorkspace 是 ArcEngine 中用于栅格数据操作的类,RasterWorkspaceFactory 实现了 IRasterWorkspaceFactory 接口,RasterWorkspace 类实现了 IRasterWorkspace 接口,这两个接口定义了用于打开和设置一个数据集对象,CreateRasterDataset 方法用于产生一个新的基于文件的栅格数据集对象,这个数据格式可以为 GRID、TIFF 和 ERDAS Image 之一,读取的数据由 GetGeodataset 单元转换成 ArcEngine 中的 geodataset 类型。RasterStatistics 作为 ArcEngine DataSourceRaster 类库中的普通

类,封装了用于栅格像元值统计的方法,这些方法通过 IRasterStatistics 接口实现,其返回结果临时保存到表文件中,由 DataGridView 单元进行读取并显示。该表文件与 geodataset 类型数据作为方法参数传递给 RasterReclassOp 单元。RasterReclassOp 作为 ArcEngine GeoAnalyst 类库中的普通类,封装了用于栅格数据分析的方法,包括 Lookup、Reclass、ReclassByASCIIFile、ReclassByRemap、Slice,因子分类赋值模块的分类赋值功能由 Reclass 方法实现^[13]。ToolStrip 是用于表格数据编辑的辅助工具集,包括插入行、删除行、清空表格、增加区间数、减少区间数、唯一值赋值、数据显示等工具。

2.3.2 评价模型建立模块

评价模型建立模块包括:①图层;②经验模型;③模型编辑;④评价结果输出与显示四个组成部分。组织结构图(图 5)显示了在程序执行过程中各个单元的连接关系。LayerManager 单元用于因子图层的管理;Calculator 包括数字键和基本运算符;ModelExpressionEditor 是 Visual Studio 2010 中的

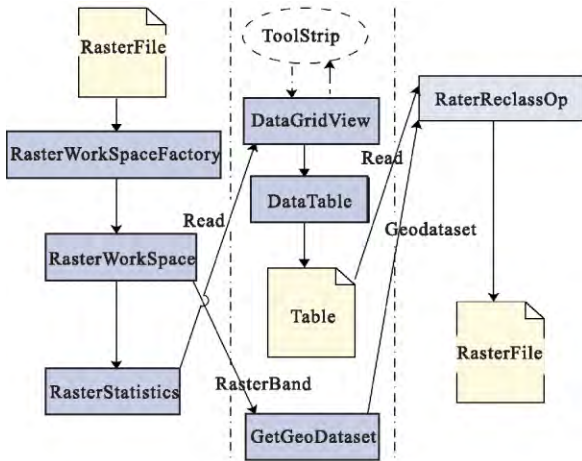


图 4 因子分类赋值模块组织结构图

Fig. 4 The organization chart of factor classification and assignment module

Textbox 控件,此单元可以读取 LayerManager 中的图层名称和 ModelManager 中的模型公式,Tool-Strip 工具为用户提供了添加、删除、显示因子图层按钮;RasterMapAlgebraOp 单元是 ArcEngine SpatialAnalyst 类库中用于栅格运算的组件类,该类封装了 ImapAlgebraOp 接口,接口提供三个方法 BindRaster、Execute、UnbindRaster,当用户执行计算输出时,BindRaster 方法将传递的 Geodataset 绑定到 ModelExpression 的因子名称,然后 Execute 方法读取 ModelExpression 开始运算,并将运算结果保存到指定路径中。

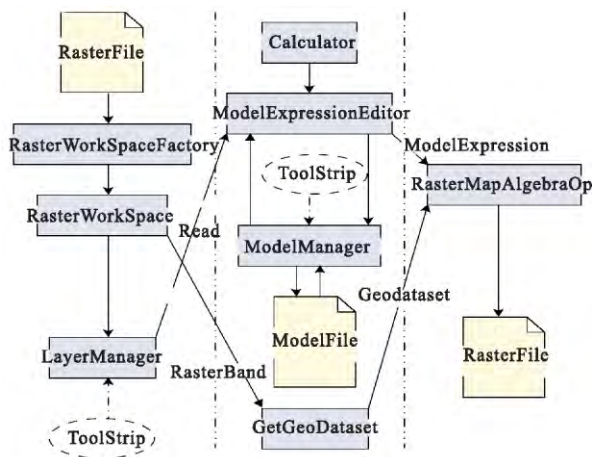


图 5 评价模型建立模块组织结构图

Fig. 5 The organization chart of evaluation model building module

用户可以通过该模块自由灵活的完成模型的新建、修改、删除、保存,实现多模型管理的需求。如图 6 所示,添加模型至经验模型中,可以在模型编辑中

做任意调整修改,此处将该模型公式中的“因子 1”删除,并重新保存修改后的模型公式,命名为“自定义模型”。

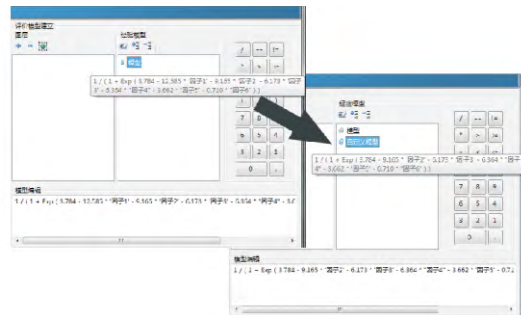


图 6 评价模型管理系统界面图

Fig. 6 The interface of evaluation model management

2.3.3 数据显示与渲染模块

数据显示与渲染窗口为用户提供了图层管理、地图浏览、坐标定位、距离测量、地图渲染、图片导出、地图保存功能。为了让用户快速方便的对因子分类赋值、评价模型建立两个模块中的数据执行显示操作,共设置了五个功能按钮关联数据显示与渲染窗口,分别用于当前载入数据显示、分析结果数据显示。在地图渲染中,用户可以对不同分类区间设置不同颜色以增强差异显示。

3 系统实现与应用

在本文所建立的评价系统中,图层管理在图形数据库的管理中是一主要的特征,此种情况下,图层为空间处理和分析的基本单元。在由 ArcGIS 创建的个人数据库中,把空间数据按照评价因子图层进行划分管理,其中包括过程数据以及最终因子数据,数据类型可以是矢量,也可以是栅格。以汶川地震次生地地质敏感性评价模型为例,由于芦山地震震后灾区影像资料匮乏,为了能大致掌握地震地质灾害可能的分布范围,利用该模型对“4·20”芦山地震地质灾害的空间分布进行快速评价,对应急救援有一定的指示意义。汶川地震地质灾害敏感性多元回归模型公式如下^[9]:

$$L_s = \frac{1}{(1 + e^{3.784 - 12.585d - 9.165a - 6.173L - 6.364r - 3.662h - 0.710A})} \dots \quad (1)$$

式中: L_s 为崩塌滑坡发生可能性,取值范围为 0~1; d 为到发震断层的距离; a 为地形坡度; L 为地层岩性; r 为到水系距离; h 为海拔高度; A 为地震峰值加

速度(PGA)。

在将模型评价因子载入系统前,数据的预处理及建立数据库工作在 ArcGIS 中进行,包括坐标系定义、缓冲区分析、矢量栅格数据转换等。

以地形坡度因子为例^[9],按照分类赋值标准将其值分为六个区间(表 1),执行因子分类输出并将分类结果添加到评价模型建立模块;按照此步骤加载其余五个评价因子数据;选择经验模型管理单元中的汶川模型,模型编辑单元中出现此模型的表达式;在图层单元中双击已添加的地形坡度数据,将其加载到模型表达式中;依次加载其余五个评价因子数据;选择评价结果输出路径并计算输出执行程序;查看分析结果并在数据显示界面中唯一值渲染(图 7)。

表 1 汶川地震次生地质敏感性评价模型中坡度分类赋值表^[9]

Tab. 1 Classification and assignment of the slope gradients in the logistic regression model

坡度/°	分类赋值
[0,15)	4.528
[15,25)	7.392
[25,35)	13.201
[35,45)	20.458
[45,55)	26.083
[55,65)	28.334

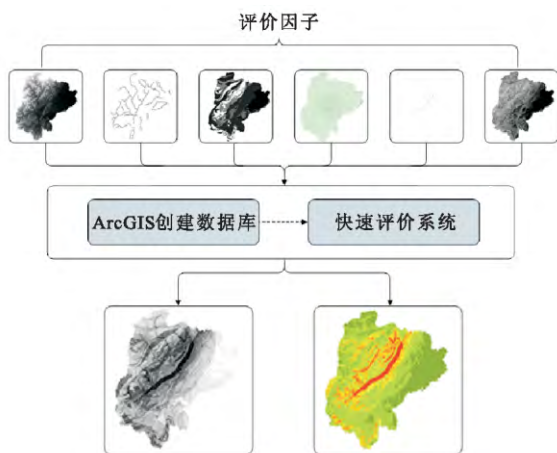


图 7 芦山地震次生地质灾害预测评价流程图 Fig. 7 The flow chart of evaluation process

图 8 为系统操作界面,为了对比系统输出结果,将汶川地震地质灾害敏感性多元回归模型中的地形坡度、海拔高度、到发震断层距离因子做三次参数修

改并保存至经验模型中,分别命名为“自定义模型 1”、“自定义模型 2”、“自定义模型 3”,并计算出三次结果,生成结果渲染图(图 9),其差异反映出三种模型对同一地区不同评价结果。从模型修改、保存到因子分类与叠加再到数据显示与渲染,整个过程系统运行流畅,数据分析准确。

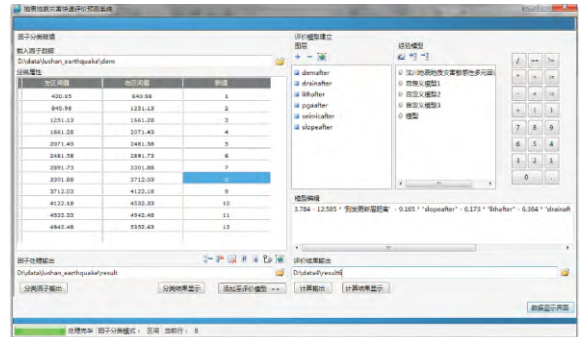


图 8 地震灾害快速评价系统界面图 Fig. 8 The interface of rapid earthquake disaster evaluation system

4 结束语

作者基于 ArcEngine 二次开发,在 Visual Studio2010 平台上利用 C# 语言构建了地震灾害快速评价系统,该系统从地理信息系统角度,将空间数据管理、空间分析模型融入到地震灾害评价中,实现了对不同致灾因子数据和评价模型的管理操作,极大地简化了在评价过程中数据处理流程,为滑坡模型实验研究提供有效依据,能够满足地震灾害评价的应用需求。但其系统框架是初步的,在面向不同地区的灾害风险评估指标体系的建立、评价模型的表达等方面需要不断的完善。

参考文献:

[1] 苏欢, 易武, 孟召平, 等. 基于 MAPGIS 的滑坡时间预测预报系统框架设计 [J]. 灾害与防治工程, 2006 (02): 54-58.
 SU H, YI W, MENG Z P, et al. Frame Design of Time Forecasting and Predicting System for Landslide Based on MAPGIS [J]. Disaster and Control Engineering, 2006(02): 54-58. (In Chinese)

[2] 陈玉, 蔺启忠, 王钦军. 区域地质灾害评价模型综述 [J]. 防灾科技学院学报, 2010(04): 42-45.
 CHEN Y, L Q Z, WANG Q J. Review on evaluation model of the regional geohazards [J]. Journal of Insti-

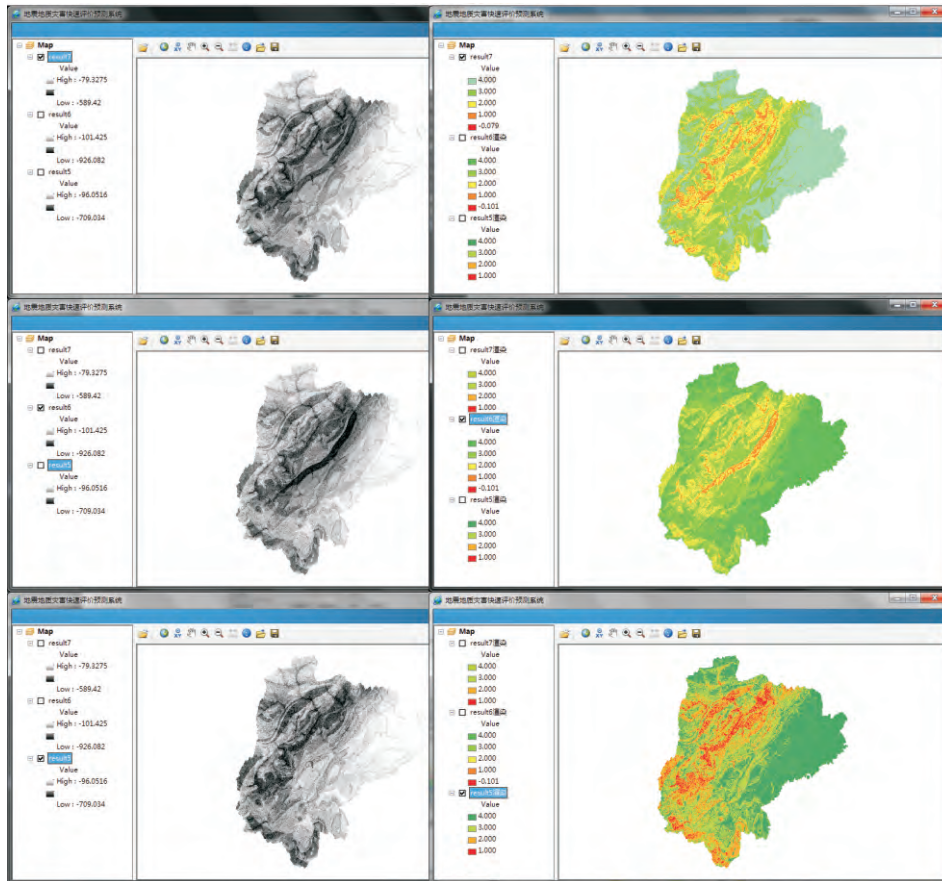


图 8 三种模型输出结果对比图

Fig. 8 Comparison of output results in three models

tute of Disaster Prevention 2010(04): 42—45. (In Chinese)

- [3] 徐为, 胡瑞林, 吴菲, 等. 浅谈我国的地质灾害风险评估 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010(04): 126—129.

XU W, HU R L, WU F, et al. Discussion on some understanding about geo-hazards risk assessment in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010(04): 126—129. (In Chinese)

- [4] LISTO F D L R, CARVALHO VIEIRA B. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil [J]. Geomorphology, 2012, 169-170: 30—44.

- [5] 杨义辉. 滑坡灾害风险评估方法及其应用研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.

YANG Y H. Study on Landslide Hazard Risk Assessment Method and Its Application [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014. (In Chinese).

- [6] FELL R, COROMINAS J, BONNARD C, et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning [J]. Engineering Geology, 2008, 102(3—4): 85—98.

- [7] DYMOND J R, JESSEN M R, LOVELL L R. Computer simulation of shallow landsliding in New Zealand hill country [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 1999, 1(2): 122—31.

- [8] 李家存, 李京, JASMI. 基于概率指数模型的区域滑坡危险性评价 [J]. 中国图象图形学报, 2007(08): 1471—1475.

LI J C, LI J, JASMI. Regional landslide susceptibility assessment based on probability Index model [J]. Journal of Image and Graphics, 2007(08): 1471—1475. (In Chinese)

- [9] 李为乐, 黄润秋, 许强, 等. “4·20”芦山地震次生地质灾害预测评价 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2013(03): 264—274.

LI W L, HUANG R Q, XU Q, et al. Rapid prediction of co-seismic landslides triggered by Lushan earthquake, Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Sci&thnol, 2013(03): 264—274. (In Chinese)

- [10] 牛全福. 基于 GIS 的地质灾害风险评估方法研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2011.

- NIU Q F. Study on the method of geological disaster risk assessment [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011. (In Chinese)
- [11] 张宇明. 基于 GIS 技术的边坡地质灾害预测评价系统的研究及其应用[D]. 大连:大连理工大学, 2005.
ZHANG Y M. application and study of prediction and evaluation system for slope geological hazard based on GIS technology [D]. Dolian: Dalian University of Technology, 2005. (In Chinese)
- [12] 宋丽华, 沈明霞, 何瑞银, 等. 基于 ArcGIS 的林业 GIS 空间数据库建设的研究[J]. 计算机工程与设计, 2008(19): 5117-5118+5122.
SONG L H, SHEN M X, HE R Y, et al. Study on building forestry GIS spatial database based on ArcGIS [J]. Computer Engineering and Design, 2008(19): 5117-5118+5122. (In Chinese)
- [13] ESRI. ArcEngine developer's guide[Z]. 2004.

Design and realization of rapid earthquake hazard evaluation system based on ArcEngine

TIAN Heng-yu^a, JIAN Ji^{a*}, LI Wei-le^b

(Chengdu University of Technology a. Key Laboratory of Geoscience Spatial Information Technology,

Ministry of Land and Resources of the China,

b. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment of Protection, Chengdu 610059, China)

Abstract: The information management of earthquake hazards is the foundation of earthquake prediction, forecasting and prevention. In order to meet the administrative requirements of different models and factor data in the process of evaluation, we designed and implemented a rapid earthquake hazard evaluation system based on ArcEngine, which combined the disaster data analysis with the management and application of disaster models and the visualization of evaluation results. It was then used in the evaluation process of Lushan earthquake geological hazard. The test results prove that the system can complete the analysis and output task using different models fastly and steadily, which greatly improves the efficiency to extracting information from disasters areas.

Key words: geological hazard assessment; landslides; GIS; ArcEngine; secondary development