

段晨玉, 张以晨, 张继权, 等. 基于 GIS 的地质灾害风险预警系统设计[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 199–204. [DUAN Chenyu, ZHANG Yichen, ZHANG Jiquan, et al. Design of Geological Disaster Risk Early Warning System based on GIS[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 37(1): 199–204. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.01.033.]

基于 GIS 的地质灾害风险预警系统设计*

段晨玉¹, 张以晨², 张继权^{2,3}, 吴晨阳⁴, 何家盛⁴

(1. 长春工程学院 水利与环境工程学院, 吉林 长春 130012; 2. 长春工程学院 吉林应急管理學院, 吉林 长春 130012; 3. 东北师范大学 环境学院, 吉林 长春 130024; 4. 长春工程学院 勘查与测绘工程学院, 吉林 长春 130021)

摘 要: 利用 GIS 软件的二次开发技术, 应用基于风险评价的预警方法建立地质灾害预警模型, 设计地质灾害风险预警系统, 在 Visual Studio 2012. NET 的开发环境下, 以 C# 作为开发语言, 并结合 ArcGIS Engine 研发。最后以通化县作为研究区域, 验证此系统的可行性, 结果表明该系统实现了地质灾害风险预警预报, 具有较高的准确性。通过此系统可以发布地质灾害风险预警信息, 为防灾减灾工作提供依据与帮助, 从而提高当地的防灾治理能力。

关键词: 地质灾害; 风险预警; 风险评价; ArcGIS Engine; 吉林通化

中图分类号: X43; X915.5; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2022)01–0199–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.01.033

地质灾害成因复杂, 具有不可避免性、区域性、周期性和规律性, 所以目前以预防和避让作为主要减灾策略^[1–3], 为防范地质灾害, 学者们也进行了各种研究。张利芹等^[4]利用信息量法对重庆云阳县进行小比例尺地质灾害易发性评价, 研究结果显示易发区主要集中在长江及其支流的两岸; 张以晨等^[5]利用自然灾害理论选取评价指标, 从而建立地质灾害评估模型对吉林省进行灾害风险分区, 该评估模型与野外调查结果基本吻合; 危险性分区仅能知道该区域发生地质灾害的可能性以及灾害带来损失的预测, 并不能实现精确化的预报, 地质灾害发生前经常会有强降雨的来临, 所以许多学者会根据降水量来研究地质灾害预警。如张丽红等^[6]根据天气预报来研究山洪地质灾害风险预警模型, 并根据降水量超过临界水位的多少发布预警等级, 该模型为预防山洪提供了新思路; 王健^[7]根据降雨预报数据结合区域地质环境数据, 经无量纲处理后加权叠加的各指标得到预警结果, 再和历史数据对比后不断优化各指标权重, 从而不断提高预警结果; 李宇梅等^[8]通过计算有效降雨量建立气象风险模型, 并用该模型的评估结果与 2015 年全国地质灾害案例结合分析, 评估结果比较贴合灾害统计情况, 此模型具有良好预报能力; 随着遥感技术的发展, 遥感图像也更多的加入地质灾害预警评估中。在遥感技术的支持下建立 AHP–PPM 模型对中国攀西地区进行

研究^[9], 该模型适当中和了主观和客观因素; 许强等^[10]应用“三查”体系对地质灾害进行早期识别和预警, “三查”体系包含卫星的光学遥感、无人机摄影和地面的相关监测设备, 未来的地质灾害预警将会涉及多领域、多学科, 监测技术也会从多尺度、多维度进行^[11]。地质灾害的发生具有系统性, 为应对地质灾害还需要进行综合灾害管理^[12]和综合减灾^[13]。

由于当今缺少地质灾害风险预警系统的研究与实际应用, 开发地质灾害风险预警系统因此变得尤为重要。本研究以风险评价建立预警模型, 以 ArcGIS 二次开发技术为支撑建立地质灾害风险预警系统。以降雨为主要诱变因素, 提高预警在时间上的精度。当地政府可以根据预警系统的预测结果提前转移人民群众、制订防灾减灾策略, 避免灾害带来的损失, 使地质灾害主动预防成为可能。同时以通化县为研究区域对模型进行实例化验证, 为地质灾害预警技术提供参考依据。

1 基于 GIS 的地质灾害风险预警系统总体设计

1.1 系统结构设计

本系统的开发主要面向地质灾害风险预警任

* 收稿日期: 2021–05–14 修回日期: 2021–06–27

基金项目: 国家重点研究计划课题(2018YFC1508804); 吉林省重点科技攻关项目(20170204035SF; 20180201033SF)

第一作者简介: 段晨玉(1998–), 男, 汉族, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要从事灾害风险模拟与应急决策智慧系统等方面研究。

E-mail: dcy@stu.ccit.edu.cn

通讯作者: 张以晨(1982–), 男, 汉族, 山东单县人, 教授, 硕士生导师, 主要从事自然灾害防治、应急管理理论与方法等研究。

E-mail: 82708694@qq.com

通讯作者: 张继权(1965–), 男, 汉族, 吉林长春人, 教授, 博士生导师, 主要从事综合自然灾害风险理论与方法研究。

E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

务,实现地质灾害的风险评价和风险预警,服务于防灾减灾需求,为管理部门提供实时化和及时性的辅助决策工具。本系统基于 Windows 10、Windows 7 操作系统开发,以 .NET 框架为开发平台,采用 C#作为在 Visual Studio 2012 上进行开发的编程语言,借助 ArcGIS Engine 组件式开发技术进行此系统的界面搭建与二次开发。数据库方面使用空间数据库引擎 ArcSDE 与关系型数据库 SQL Server 2010 相结合来进行数据的调用与存储管理。以灾害风险预警原理和自然灾害风险形成原理等理论依据建立基于风险评价的地质灾害预警模型,该模型易于程序化,所以计算机能根据此模型进行各种操作。本系统开发采用结构化方法和面向对象方法。结构化方法主要是通过自上而下、逐层分化的将系统划分为一个个模块,通过分解将此系统分成若干小问题进行解决,该系统的主要模块有:数据库管理子系统、地图控制子系统、风险预警子系统、辅助决策子系统;各个模块编程时相互独立,但运行时可以相互调用,使代码的利用率得到提高;地质灾害风险预警系统框架如图 1 所示,系统主要分为数据层、逻辑层、应用层、交互层。

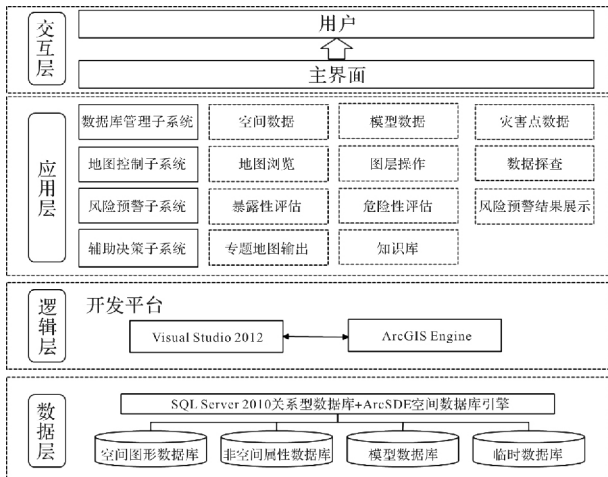


图 1 地质灾害预警系统总体框架

此系统的主要优势为:以地图形式进行预测预报与综合评价,根据地质灾害的发生和发展规律建立预测模型,其结果可以很好的地图上进行动态展示,具有较强的人机交互能力,可以根据加入的气象降雨情况而进行动态的预警,而实现日预警,加大地质灾害在时间上的精确度;系统采用 C/S (Client/Server) 结构,该结构具有较快的反应速度,能充分利用客户端的处理能力,用户可以自己添加、修改数据,维护较为方便。

1.2 数据库设计

地质灾害预警系统主要涉及到空间图形数据和非空间的属性数据,采用 ArcSED 空间数据库引擎与 SQL Server 2010 关系型数据库相结合进行数据的管理与调用。程序运行过程中还会产生大量临时数据,如何将这不同种类、不同来源的数据进行科学有效的处理,将直接影响到该系统的功能实现与系统性能。为了提高系统的运行速度

与保证系统的稳定性,此系统使用 IPropertySet 接口用直接连接的方式加载 SDE 数据库,该方法可以直接在客户端进行数据的操作,最后把结果返回给数据库,有效减少了数据库的读取过程^[14]。

根据数据特征可为其设计如下几个数据库:空间图形数据库、模型数据库、非空间属性数据库、临时数据库。

本系统所设计的 4 个数据库功能如下:

(1)空间图形数据库。主要存储研究区的图像资料,如电子地图、遥感影像,以及经过模型处理后的结果图,如危险性评估图、地质灾害预警等级图等。

(2)模型数据库。用于存储地质灾害风险预警模型数据及相应的指标。

(3)非空间属性数据库。主要存储历史灾情、环境数据、人文经济、救援力量以及相关应急预案等。

(4)临时数据库。用于存储该系统在处理数据时生成的中间数据,中间数据不用向用户展示是隐性的。

2 系统功能设计

根据地质灾害风险预警需求,设计地质灾害风险预警系统功能主要如图 2 所示。

2.1 数据库管理子系统

由于地质灾害影响因素的复杂性,地质灾害风险预警系统需要涉及多种数据,这些数据主要有气象数据、区域经济数据、地质环境数据以及历史灾情数据,而这些具有空间特性的数据对地质灾害预警具有非常重要的作用。GIS 对空间数据的操作、分析、展示具有强大的优势,不仅可以直观的以图文形式展示研究区域,而且方便用户查询历史灾情并以可视化的方式进行显示。该子系统是地质灾害风险预警系统的重要组成部分,主要由空间数据的更新与维护模块、模型数据管理模块和灾情管理模块组成,具体介绍如下:

(1)空间数据的更新与维护模块。即研究区域的基础地理信息的管理,如救援力量分布、行政区划、等高线、土地类型、植物覆盖度等。针对用户系统提供简便、友好、功能全面的数据更新与维护工具,使系统数据能够得到及时维护,从而不影响系统的正常使用。

(2)模型数据管理模块。模型数据记录着预警模型的各项数据,主要用来更新气象数据,根据更新的降水数据进行动态风险预警。气象数据是需要特殊处理的数据,需要把当天的降雨数据经有效处理得到有效降雨等值线图,再进行图层网格化才能使用。

(3)灾情管理模块。主要对研究地区发生过的地质灾害事件进行更新与维护,记录这些历史灾害发生的时间、地点、影响面积以及对社会经济造成的损失。

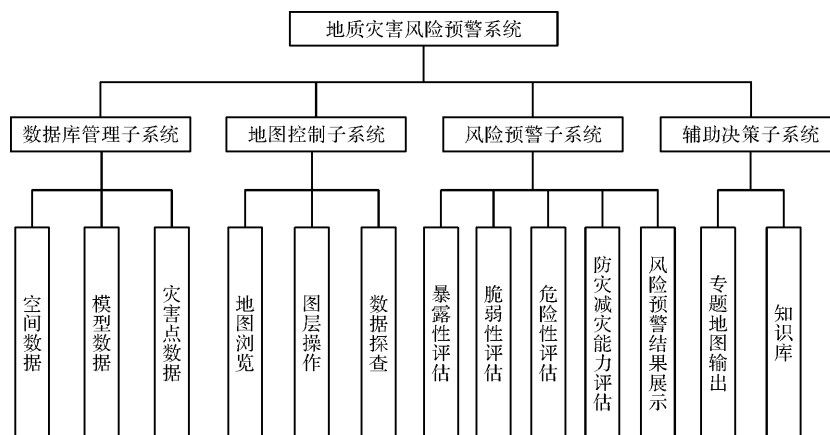


图2 地质灾害风险预警系统功能图

2.2 地图控制子系统

地图控制子系统是本系统的基础模块,可以实现地图浏览、图层操作、数据查询等一些基础操作。主要功能介绍如下:

(1)地图浏览模块。提供 GIS 的浏览功能,主要有视图显示、漫游和大小缩放。利用 ArcGIS Engine 实现这些功能方法不止一种,本系统使用 ArcGIS Engine 内置的 Command 组件与地图显示控件进行交互,Command 组件主要是利用 ControlCommands 名称控件中提供的工具和命令,此方法较为灵活。地图缩放有按键缩放、滚轮缩放和拉框缩放三种缩放方式。系统主界面有鹰眼地图与主地图两部分共同显示,鹰眼地图主要显示当前展示的主地图在整个研究区域中的位置,并实时联动。地图浏览模块还可以选择加载不同的图层,选择研究区域内不同的数据进行显示,如降雨数据、道路信息等。

(2)图层操作模块。地图图层不仅是数据管理的容器还是数据的主要显示载体,加载不同的图层能够显示不同的信息。在 Geodatabase 模型的统一框架中,空间数据被认为存储在一个工作空间中,使用 ArcGIS Engine 中的 IWorkspace 接口进行管理。

(3)数据探查模块。主要是对数据库中记录的灾害点、损失信息进行数据查询,可以分为条件查询、属性查询等。

2.3 风险预警子系统

风险预警子系统是整个系统的核心部分,用于根据建立的预警模型进行空间分析并进行结果展示。地质灾害风险预警是用来减少地质灾害造成损失的主要对策之一,是把地质灾害发生的可能性进行量化。模型的运算主要用到栅格叠加,先使每个图层都引用相同的地理坐标,再对多个图层的像元进行逐个算术运算或布尔运算等操作,使多个图层特征融合到单一图层中去。用不同数值代表各个特征,方便以数学方式进行特征的栅格叠加。叠加算法^[15]主要概括为四个步骤:第一步,确定参加叠加运算的工作空间;第二步,将参加运算的网格顺序读入缓冲区;第三步,叠加运算;第四步,将叠加运算结果写入数

据文件。

根据灾害预警原理,把地质灾害的形成机理概括为内生警兆和外生警兆相互作用的结果,内生警兆是根据气象气候和地质环境计算灾害发生的可能性,外生警兆是根据人口、经济和防灾减灾能力等计算灾害会带来的损失,建立基于栅格的指数模型对外生警兆和内生警兆进行综合加权叠加,得到风险的定量评价,再根据预警模型阈值对灾害进行等级划分。以 GIS 栅格数据空间分析技术为支持,把研究区域分成一系列规则的格网单元,避免过去以行政区域进行划分,提高预警的精确度。

2.4 辅助决策支持子系统

该模块主要用来帮助管理者制订减灾救灾方案,从而最大化减少灾害带来的损失,由知识库和专题地图输出功能两部分组成。

专题地图输出功能是将预警结果电子地图以 BMP、PDF、JPG 等格式输出为图形文件,从而便于预警信息的下达。专题图不仅需要展示预警结果,还得有比例尺、指北针、图例、预警日期等要素,使用户能更快从地图中了解所需要的信息。用 ClsCreatMapSurround 类生产地图的各种元素,类中就包涵了生成图名、比例尺、指北针等的方法。MapSurround 被加入到 MapSurroundFrame 框架元素中,并不是简单的显示图形,如 Map 视图范围改变后,比例尺(ScaleBar)也会随着 Map 的变化自动调整比例,MapSurround 与地图对象直接动态关联。地图输出是用基于栅格的 ExportImage,其子类分别有 ExportBMP、ExportPDF、ExportJPG 等,通过这几个对象可以把地图数据分别生产为 BMP、PDF、JPG 的图形文件。预警信息通过 Class Breaks Renderer 类实现色彩符号化,主要是将空间分析结果根据划定的阈值进行分级,以不同的颜色展示出来,从而直观的展示出不同地区地质灾害威胁度。

知识库主要包含着当地的救援队伍与救援设备分布,还有相关法律法规、历史灾情数据、基于地质灾害制订的相关应急预案与管理对策。当灾害发生时,当地部门可以根据救援力量与资源分布信息选择合适的救援方案与最佳救援路线。

3 基于风险评价的地质灾害风险预警模型设计

风险预警模型是此系统的核心部分,本预警模型研究以通化县为研究区域,基于自然灾害风险形成原理、区域灾害系统理论、地质灾害预警理论,从风险科学、灾害科学等学科观点出发,综合考虑通化县经济因子、人口因子和防灾减灾能力对地质灾害风险预警进行研究。利用 GIS 技术、Logistic 回归等方法确定在不同降雨条件下发生地质灾害的概率;建立地质灾害风险评价模型;确定地质灾害风险预警模型阈值,最后实现通化县地质灾害风险日预警。

3.1 地质灾害风险预警框架

预警是指对某一警素的现状和未来进行测度,预报不正常状态的时空范围和危害程度,在危险发生之前,根据以往总结的规律或观测得到的可能性前兆,向相关部门发出紧急信号,报告危险情况,以避免危害在不知情或准备不足的情况下发生,从而最大程度减低危害所造成的损失的行为。预警的分析流程为:①确定警情;②寻找警源;③分析警兆;④预报警度;⑤决策分析。

根据预警流程首先确定警情,本次研究对象为地质灾害风险预警,主要为泥石流和崩塌、滑坡;然后是寻找警源,即警情产生的根源,在地质灾害风险预警研究中警源为造成地质灾害的发生和影响人民生命财产安全的各种因素;警兆是指警情发生的先兆,是对警源发展变化的反应。风险预警还需考虑致灾因子和承载体的共同作用,即将警兆分为内生警兆和外生警兆。内生警兆是根据当地地质条件和天气变化得出风险发生得概率,外生警兆是根据经济因子、人口因子和防灾减灾能力计算灾害潜在造成的损失,内生警兆和外生警兆共同作用形成风险预警指数;最后根据风险预警模型阈值对灾害风险进行等级划分,为防灾减灾决策提供依据。基于风险评价的地质灾害风险预警概念框架如图3所示。

3.2 预警警源识别

警源识别是预警模型研究中的重要步骤,通过对警源的分析寻找地质灾害风险预警中的重要因子,众多风险因子的共同作用下形成地质灾害风险预警警源。风险预警的警源由内生警源与外生警源组成。内生警源是指系统内部各种影响因素,在本研究中直接决定地质灾害是否会发生,主要影响因素有坡度、地质构造、植物覆盖度、降水等指标;外生警源是指系统外部的各种影响因素,是地质灾害会造成损失的各种因素,主要影响因素有经济因子、人口因子和防灾减灾能力。经济因子是指受到地质灾害威胁的所有财产,主要包括房屋、农田、牲畜等。人口因子是指受地质灾害威胁的所有人口,在历年来的地质灾害中伤亡人员主要来于老人和小孩。防灾减灾能力主要表现为受灾区应对和处理灾害的能力,主要评

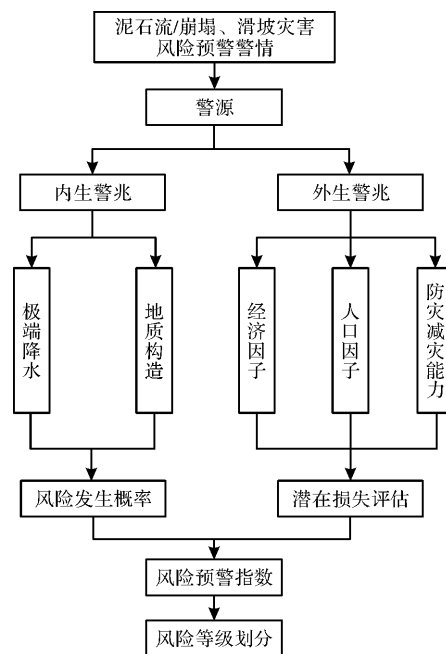


图3 地质灾害风险预警概念框架

价因素有政府防灾资金投入、大型清障设备数量、监测点数量等。

3.3 预警警兆分析

地质灾害风险预警的警兆分析主要依据警源的分析,分别为外生警源产生外生警兆,内生警源产生内生警兆。外生警兆是由外生警源所造成地质灾害潜在损失的综合评价,于人口因子、经济因子、防灾减灾能力因子有密切关系;内生警兆经过 Logistic 回归法得到地质灾害发生得可能性。

3.4 评价模型建立

由于地质灾害的 90% 多由泥石流和崩塌滑坡照成的,主要根据这两种灾害的各自发生机理选取不同的因子,建立不同的权重体系。由对警源、警兆的分析选取评价指标,本研究对因子权重的计算借鉴了前人的研究成果^[16]。

根据地质灾害发生特点,分别建立泥石流风险预警指数(DFWEWI)和崩塌、滑坡风险预警指数(COLSEWI),两者的指标的权重虽然不同,但计算方式相同,都是对外生警兆(D)和内生警兆(P)的综合评价。根据逻辑回归模型计算地质灾害内生警兆(P),得到地质灾害风险概率预测公式,计算公式如(1):

$$P = P_{m/t} = \frac{\exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_kx_k)}{1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_kx_k)} \quad (1)$$

式中: P 为泥石流或崩塌滑坡发生得可能性, $P \in [0, 1]$, P 的值越大灾害发生的可能性越大,当值为 1 时代表灾害百分比发生。 $P_{m/t}$ 为地点 m 在实际 t 发生灾害的概率。 x_k 为内生警兆各项指标, b_k 为计算出的回归系数。

外生警兆(D)为地质灾害会造成的潜在损失。与经济因子(E)和人口因子(P_0)呈正相关,与防灾减灾能力(R)呈负相关;地质灾害外生警兆预警指数公式如下:

$$D = \frac{E(X) \times P_0(X)}{1 + R(X)}; \quad (2)$$

$$E(X) = \sum_{i=1}^n W_{ei} X_{ei}; \quad (3)$$

$$P_0(X) = \sum_{i=1}^n W_{pi} X_{pi}; \quad (4)$$

$$R(X) = \sum_{i=1}^n W_{ri} X_{ri} \circ \quad (5)$$

式中: $E(X)$ 、 $P_0(X)$ 、 $R(X)$ 的值分别对应着经济因子、人口因子和防灾减灾能力。 n 为指标总数, i 表示为第 i 个指标, W_{ei} 、 W_{pi} 、 W_{ri} 分别为利用层次分析法得到得各因子权重, X_{ei} 、 X_{pi} 、 X_{ri} 分别为经济因子、人口因子、防灾减灾能力所对应的警源。

根据泥石流和崩塌、滑坡的内生警兆和外生警兆各自计算的结果, 便可得出各自的风险预警指数。地质灾害风险预警指数 (H) 由泥石流和崩塌、滑坡预警指数相加。

$$COLSEWI = P_c \times D_c; \quad (6)$$

$$DFWEWI = P_d \times D_d; \quad (7)$$

$$H = DFWEWI + COLSEWI. \quad (8)$$

3.5 预警区划

地质灾害风险预警等级分为极低风险、低风险、中等风险、高风险、极高风险五个等级, 分别用深绿色、浅绿色、黄色、橙色、红色表示。预警阈值的划分利用了最优分割法, 使等级内的相似性尽可能大, 等级间的相似尽可能小。

3.6 GIS 在建模中的作用

GIS 能够加工、显示和集成不同来源的数据, 这些数据主要有电子地图、遥感影像、表格和数字高程模型 (DEM) 等, 这些数据在模型的建立、运行、校准和验证过程中都有着重要作用。同时, GIS 也能当作数据库管理工具, 对数据进行修改、增加、删除。对模型数据的加工功能也十分强大, 如进行空间插值、数据可视化和探索性数据分析等。

可以基于矢量数据或栅格数据用 GIS 建立模型, 数据类型的选择主要取决于数据源、算法和模型的本质。在建模过程中也可以利用矢量数据与栅格数据的差异对两种数据进行结合, GIS 软件可以实现栅格数据与矢量数据的相互转换。例如, 如果基于矢量模型需要一副降水量图 (如等雨量图) 作为输入源, 从已知点数据很容易通过空间插值生成一个降水量栅格, 然后从栅格生成降水图层。

4 预警实例分析

基于系统构建理念, 我们选择通化县作为研究区域进行实例化验证。通化县位于吉林省南部, 属于长白山系, 地质环境复杂。此外该地区地质灾害类型多样, 可以作为典型的学习研究区域^[17]。以预警模型计算的某 1 d 预警结果如图 4 至图 6 所示, 其中图 4 为通化县崩塌、滑坡灾害风险预警区划图, 图 5 为通化县泥石流灾害风险预警区划图, 图 6 为综合崩塌、滑坡灾害和泥石流灾害得到的地质灾害风险预警区划图。由预警结果可以得知,

极高风险预警区分布比较零散, 主要集中在通化县中部和南部地区, 庆生村、四平村和新胜村等地; 较低风险预警区主要集中在通化县东北部和北部地区, 朝阳村、长春沟村和三棚村等地。

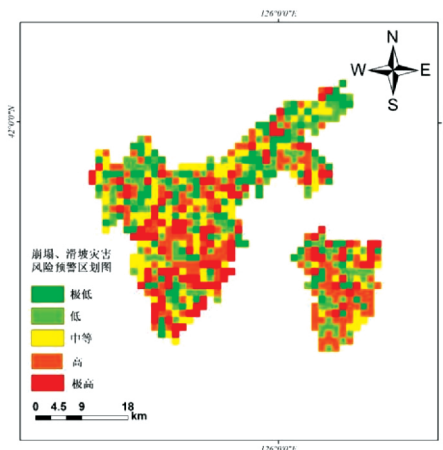


图4 崩塌、滑坡灾害风险预警区划图

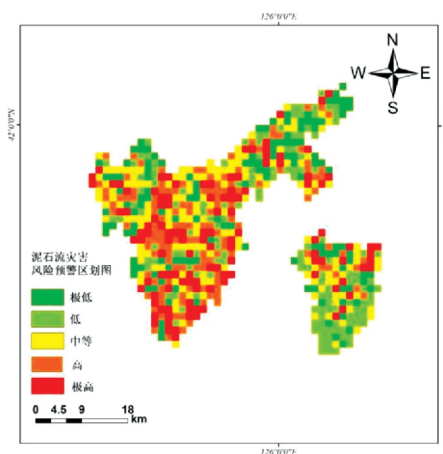


图5 泥石流灾害风险预警区划图

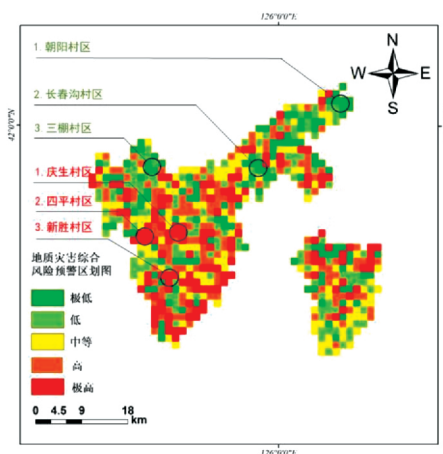


图6 地质灾害综合风险预警区划图

5 结语

本文基于 ArcGIS 的二次开发技术, 结合地质

灾害风险预警模型,设计了地质灾害风险预警系统,并详细介绍了系统结构设计、数据库设计与系统功能模块设计。基于 GIS 的地质灾害风险预警系统主要利用了多学科交叉理论和方法,结合传统研究与现代计算机技术,将灾害风险与风险评价结果相结合预警,不仅实现了对地质灾害危险性的预警,更重要的是实现了对期望损失的预测。在时间尺度上,本系统可以以日为单位预测地质灾害发生的可能性以及造成的损失,更好的为相关部门服务。根据灾害风险预警,使人们提前预知灾害点,能够进行主动预防灾害、减小灾害损失,有助于社会和谐。

随着 GIS 技术的发展,未来的预警结果还应能够实现三维化展示,使预警结果更加直观、精确,更加适合山区的地质灾害风险预警。灾害的发生往往还会伴随着次生灾害,今后的预警系统研发中,预警结果应展示可能产生的灾害链,从而使人们更加充分的准备防灾减灾工作。

参考文献:

- [1] 杨迁,王雁林,马园园. 2001—2019 年中国地质灾害分布规律及引发因素分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2020, 31(4): 43-48.
- [2] 叶铃,胡阳. 四川安县地质灾害特征及发育规律[J]. 四川地质学报, 2020, 40(4): 655-657.
- [3] 王玉超. 地质灾害防治现状及实践对策分析[J]. 科学技术创新, 2020, 25(23): 44-45.
- [4] 张利芹,李浩,顾超,等. 基于信息量法的重庆云阳县(三峡库区)地质灾害易发性评价[J]. 矿产勘查, 2020, 11(12): 2809-2815.
- [5] 张以晨,郎秋玲,陈亚南,等. 基于自然灾害风险评价框架的省级地质灾害风险区划方法探讨——以吉林省为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(6): 104-110.
- [6] 张丽红,张新海,蓝海波,等. 基于气象预报的山洪地质灾害预警技术研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(S1): 16-17.
- [7] 王健. 基于 ArcGIS 的降雨型地质灾害易发性评价模型建构[J]. 水利科技与经济, 2020, 26(11): 17-22.
- [8] 李宇梅,杨寅,狄靖月,等. 全国地质灾害气象风险精细化网格预报方法及其应用[J]. 气象, 2020, 46(10): 1310-1319.
- [9] LAI Fang, SHAO Qiufang, LIN Ying, et al. A method for the hazard assessment of regional geological disasters: a case study of the Panxi area, China[J]. Journal of Spatial Science, 2021, 66(1): 143-162.
- [10] 许强,董秀军,李为乐. 基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(7): 957-966.
- [11] 张凯翔. 基于“3S”技术的地质灾害监测预警系统在我国应用现状[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(6): 1-11.
- [12] 张继权,冈田宪夫,多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理——全面整合的模式与中国的战略选择[J]. 自然灾害学报, 2006, 16(1): 29-37.
- [13] 杨月巧,袁志祥,孔锋,等. 中国综合减灾发展趋势研究[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 139-144.
- [14] 冯天计,张继权,马齐云. 基于 GIS 的北方草原干旱识别可视化系统研究[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 202-207.
- [15] 朱效民,赵红超,方金云. 鲁棒高效的矢量地图叠加分析算法[J]. 遥感学报, 2012, 16(3): 448-466.
- [16] 赵晓东,杲旭日,张泰丽,等. 基于 GIS 的潜势度地质灾害预警预报模型研究——以浙江省温州市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(5): 1-6.
- [17] 刘长空,陈东辉,郭刚,等. 吉林省夏季极端降水事件特征分析[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 102-108.

Design of Geological Disaster Risk Early Warning System based on GIS

DUAN Chenyu¹, ZHANG Yichen², ZHANG Jiquan^{2,3}, WU Chenyang⁴ and HE Jiasheng⁴

(1. Changchun Institute of Technology, School of Water and Environmental Engineering, Changchun 130012, China;

2. Changchun Institute of Technology, School of Jilin Emergency Management, Changchun 130012, China;

3. Northeast Normal University, School of Environment, Changchun 130024, China;

4. Changchun Institute of Technology, School of Survey and Surveying Engineering, Changchun 130021, China)

Abstract: Geological disaster is one of the main disasters that threaten the safety of people's life and property in our country, and how to reduce and avoid the loss caused by geological disaster is also the focus of research, but the research applied to the risk early warning system of geological disaster is still less. In this paper, the secondary development technology of GIS software is used, and the early warning method based on risk assessment is applied to establish the geological disaster early warning model, and the geological disaster risk early warning system is designed. The geological disaster early warning system is developed under the development environment of Visual Studio 2012. NET, using C# as the development language, and combining with ArcGIS Engine. Finally, Tonghua City is taken as the research area to verify the feasibility of the system. The results show that the system has realized the geological disaster risk early warning and prediction with high accuracy. Through this system, the risk early warning information of geological disasters can be issued, which can provide basis and help for disaster prevention and mitigation, thus improving the local disaster prevention and management capacity.

Key words: geological disaster risk early warning; Tonghua city; risk assessment; ArcGIS Engine