

文章编号:1671-251X(2024)S2-0023-04

基于 BIM+GIS 的矿山灾害信息的智能评估系统设计

刘艳

(长治职业技术学院, 山西 长治 046000)

摘要:利用 BIM、GIS 等先进技术,结合智能化灾害信息评估算法,设计了一套基于 BIM+GIS 的矿山灾害信息的智能评估系统,提高了矿山灾害信息的采集、处理和分析能力,实现了灾害风险的智能评估。采用层次分析法构建矿山地质灾害危险性评估指标体系,将煤层岩性、地形坡度、斜坡结构和采掘强度作为评估因子,将矿山灾害危险程度划分为高危险区域、中度危险区域、低危险区域。从系统架构设计和系统实现 2 个方面详细描述了系统设计方案,为评价矿山地质灾害发展趋势和指导防灾减灾工作提供了科学依据。

关键词:矿山灾害;智能评估;BIM;GIS;层次分析法

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Design of intelligent assessment system for mine disaster information based on BIM+GIS

LIU Yan

(Changzhi Vocational and Technical College, Changzhi 046000, China)

0 引言

近年来,滑坡、泥石流、地面塌陷等矿山地质灾害频发,给矿山安全生产带来了严峻的挑战^[1-2]。因此,如何有效评估矿山灾害风险,及时采取防灾减灾措施,成为矿业领域亟待解决的关键问题^[3]。BIM 与 GIS 等先进技术逐渐被应用到矿山灾害评估领域。BIM 技术以其强大的信息集成与可视化能力,为矿山灾害信息的采集与处理提供了全新的视角^[4],GIS 技术则凭借其卓越的地理空间分析与数据管理能力,为矿山灾害风险的评估与预测提供了有力的支持^[5]。将 BIM 与 GIS 技术相结合,不仅能够实现矿山灾害信息的精准采集与高效处理,更能够通过对灾害风险的智能评估,为防灾减灾工作提供科学依据^[6-7]。

基于此,本文提出了一种基于 BIM+GIS 的矿山灾害信息的智能评估系统设计方案。该系统充分利用 BIM 与 GIS 技术的优势,提高了矿山灾害信息的采集、处理和分析能力,实现了灾害风险的智能评估。通过构建矿山地质灾害危险性评估指标体系,将煤层岩性、地形坡度、斜坡结构和采掘强度等关键评估因子纳入考量,系统能够对矿山灾害危险程度进行科学合理的划分,为矿山安全生产提供有力的技术支撑。从系统架构设计、系统实现 2 个方面入

手,详细阐述该智能评估系统的设计思路与实现过程。

1 矿山地质灾害危险性评估方法

1.1 评估模型建立

结合 X 煤矿地质灾害的特点,利用层次分析法对矿山灾害进行危险性评估。其基本思想是将复杂的问题分解成若干层次和若干影响因素,对不同层的影响因素赋予不同的重要程度,然后在影响因素间进行比较、判断和计算,求得影响因素的值。基于层次分析法的矿山地质灾害危险性评估模型如图 1 所示。模型第 2 层为影响煤矿地质灾害类型的 4 种指标,第 3 层为小分类指标。

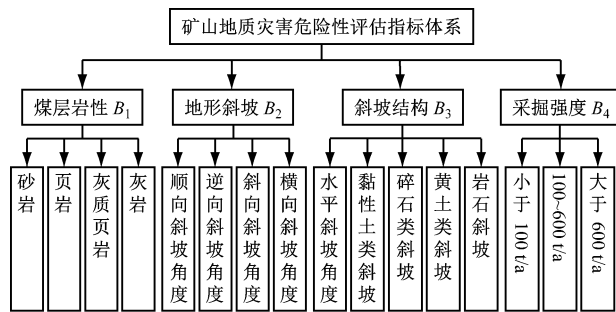


图 1 基于层次分析法的矿山地质灾害危险性评估模型

1.2 构建影响因素判断矩阵

建立灾害危险性评估模型后,需要对每层影响因素进行赋值,决定每种影响因素对评估结果的贡

收稿日期:2024-12-09;责任编辑:胡娟。

作者简介:刘艳(1984—),女,山西神池人,讲师,硕士,研究方向为土木工程、BIM,E-mail:missliuyan1924@163.com。

献度,影响因素判断矩阵为

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nm} \end{bmatrix}$$

(1)

式中 c_{ij} 为影响因素 i 对影响因素 j 的相对重要度。
影响因素标度值见表 1。

表 1 影响因素标度值	
标度值	意义
1	2 个影响因素重要性相当
3	前一个影响因素重要性稍高于后一个
5	前一个影响因素重要性明显高于后一个
7	前一个影响因素重要性特别高于后一个
9	前一个影响因素重要性极度高于后一个
2,4,6,8	标度值的中间水平
倒数	影响因素 i 对于影响因素 j 的重要性的倒数为 影响因素 j 对于影响因素 i 的重要性

判断影响因素的重要性时,需要计算判断矩阵的特征根和特征向量。对式(1)进行归一化处理,得

$$\bar{c}_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n c_{st}} \quad i, j = 1, 2, \cdots, n$$

(2)

对式(2)逐行求和,得

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij}$$

(3)

将 $\bar{W}_t=[\bar{W}_1 \quad \bar{W}_2 \quad \cdots \quad \bar{W}_n]^T$ 作为特征向量,得

$$\boldsymbol{W} = \frac{\bar{\boldsymbol{W}}_t}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_i}$$

(4)

根据式(4)得到矩阵最大特征根:

$$\gamma_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\boldsymbol{C}\boldsymbol{W}}{\bar{W}_i}$$

(5)

用 CO 定义判断矩阵的一致性:

$$\text{CO} = \frac{\gamma_{\max} - n}{n - 1}$$

(6)

当 CO=0 时,判断矩阵的一致性最高,CO 值越大,判断矩阵的一致性越差。为了定量描述判断矩阵的一致性,可以将 CO 与一致性评价指标 RI 进行比较。不同个数影响因素一致性评价指标 RI 值见表 2。

表 2 不同个数影响因素一致性评价值											
影响因素数量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
RI		0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.48

利用一致性比例系数 CO/RI 评价判断矩阵一致性,若 CO/RI<0.10,则认为判断矩阵能够使用,若 CO/RI>0.10 则判断矩阵应当进行修正。

1.3 影响因素权重计算

基于调查区域内的地质灾害展现的特性、影响因素、稳定状态、活动模式、受灾体及形成机制,在评估区域中选定了坡度、煤层岩性及斜坡结构作为 3 个关键指标,用以评估煤矿滑坡灾害和崩塌风险程度。依据调查区域内地质灾害的发育特点、影响因素、稳定性状况、运动规律、潜在受灾对象及其成因机制,选定地下开采强度与地层特征作为地面塌陷易发性评估的主要指标。

基于野外调查所得的数据和 X 煤矿灾害历史数据,归纳总结了评估区域内各个影响因素的权重。各影响因子的权重和分值见表 3—表 5。

表 3 地面塌陷灾害影响因素量化评分				
影响因素	权重	分项	得分	等级
煤层岩性	0.6	砂岩、页岩	1	低危险
		灰质页岩	4	中度危险
		灰岩	8	高危险
掘进强度	0.4	≤100 t/a	1	低危险
		>100 t/a 且 ≤600 t/a	4	中度危险
		>600 t/a	8	高危险

表 4 崩塌灾害影响因素量化评分表				
影响因素	权重	分项	得分	等级
煤层岩性	0.52	砂岩、页岩	1	低危险
		灰质页岩	4	中度危险
		灰岩	8	高危险
地形斜坡	0.23	水平斜坡、横向斜坡	1	低危险
		顺向斜坡、逆向斜坡	4	中度危险
		斜向斜坡	8	高危险
斜坡结构	0.25	岩石类斜坡	1	低危险
		黏土类斜坡	4	中度危险
		碎石、黄土类斜坡	8	高危险

表 5 滑坡灾害影响因素量化评分表				
影响因素	权重	分项	得分	等级
煤层岩性	0.12	砂岩、页岩	1	低危险
		灰质页岩	4	中度危险
		灰岩	8	高危险
地形斜坡	0.45	水平斜坡、横向斜坡	1	低危险
		顺向斜坡、逆向斜坡	4	中度危险
		斜向斜坡	8	高危险
斜坡结构	0.43	岩石类斜坡	1	低危险
		黏土类斜坡	4	中度危险
		碎石、黄土类斜坡	8	高危险

1.4 矿山灾害危险等级确定

根据表 3 数据计算煤矿地质灾害危险值:

$$E_t = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 (a_i b_{ij})$$

(7)

$$E_b = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (a_i b_{ij}) \tag{8}$$

$$E_h = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (a_i b_{ij}) \tag{9}$$

式中: E_t 、 E_b 、 E_h 分别为坍塌危险值、崩塌危险值和滑坡危险值; a_i 为对应危险值的第 i 个影响因素的权重; b_{ij} 为第 i 个影响因素下第 j 个分项的危险等级得分。

当危险值 ≥ 5.0 时,为高危险状态;当 $2.5 \leq$ 危险值 < 5.0 时,为中度危险状态;当危险值 < 2.5 时,为低危险状态。

为了保证矿山地质灾害危险等级的评估的准确性,将保证矿山地质灾害危险等级划分为高危险区、中度危险区和低危险区。为了充分保证煤矿企业的安全运行,规定若坍塌危险值、崩塌危险值、滑坡危险值中任意一个值 ≥ 5.0 ,则将矿山地质灾害危险等级划分为高危险级;当坍塌危险值、崩塌危险值、滑坡危险值全部 < 2.5 ,可将矿山地质灾害危险等级划分为低危险级;其余状况认定为中度危险。

1.5 模型验证

X 矿山地质灾害危险评估结果见表 6。评估结果显示,X 矿山高危险区 2 处,面积为 2.53 km^2 ;中度危险区 7 处,面积为 1.34 km^2 ;低危险区域 3 处,面积为 1.27 km^2 。结合矿山地质灾害历年数据分析发现,2 处地表塌陷、3 次滑坡灾害均发生在高危险区域,评价结果与历史数据吻合。

表 6 X 矿山地质灾害危险评估结果

危险区	危险区数量	面积/ km^2	比例/%
高危险区	2	2.53	49.22
中度危险区	7	1.34	26.07
低危险区	3	1.27	24.71

2 系统设计实现

2.1 系统架构设计

基于 BIM+GIS 的矿山灾害信息智能评估系统采用面向服务的架构设计模式,其整体架构包含基础软硬件支持层、感知采集层、数据管理层、服务提供层、应用功能层及用户界面层,如图 2 所示。

基础软硬件支持层涵盖了系统运行所必需的软件系统与硬件设备,如服务器集群、存储解决方案、安全防护设备、有线及无线网络基础设施、操作系统平台、GIS 专业软件及定制化的监测应用等。感知采集层由一系列专门用于监测地质灾害的感知设备组成,构成了系统实时数据采集的核心网络。数据管理层专注于地质灾害相关数据的组织、管理与存储,涵盖了地理信息数据、BIM 模型数据、地质灾害

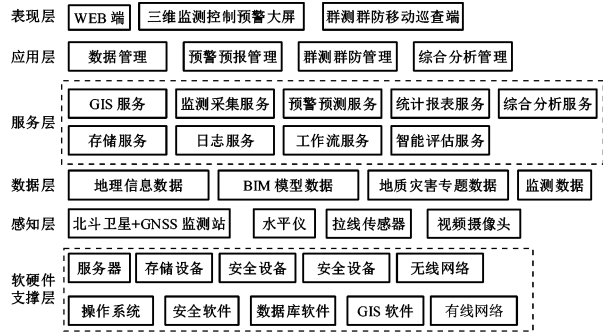


图 2 系统架构

专题数据及实时监测数据等,采用分布式存储与灾难恢复策略,确保数据的保密性、完整性和高可用性。服务提供层为应用功能层提供了一系列具体服务实现,包括但不限于 GIS 服务、监测数据采集与处理服务、预警预测模型服务、智能评价服务、统计分析与报表生成服务、消息通知服务、工作流程管理服务及日志记录与分析服务等。应用功能层面向用户提供了丰富的功能应用,旨在提升地质灾害监测预警的管理效率,包括监测预警大屏展示、预警预报管理系统、综合数据分析平台、群测群防管理机制及数据综合管理平台等。用户界面层为用户提供直观、易用的交互界面与可视化工具,涵盖了 Web 浏览器端、二三维一体化的监测预警大屏展示系统及便于群测群防工作的移动端应用。

2.2 系统实现

为了实现基于 BIM+GIS 的矿山灾害信息的智能评估系统,依据系统建设目标,设计了相应的功能模块。在开发和运行环境的配置上,选用 IDEA、Visual Studio Code 和微信开发者工具作为开发工具,并配置 JDK8.0 及以上版本和 Maven3.6 及以上版本开发环境。同时,引入 SuperMapDesktop 和 SuperMapServer 等第三方开发平台,以强化系统的地理信息处理和分析能力。在系统运行时,采用 Tomcat8.5 和 Nginx1.18 等服务器软件,确保系统的稳定运行,数据库设计方面,选择 MySQL5.7 和 Redis5.0 为系统提供高效的数据存储和检索服务。该系统的核心功能涵盖了监测预警大屏、地质灾害智能评估、预警预报管理、综合分析管理、数据管理等多个方面,功能结构如图 3 所示。

3 结语

通过层次分析法建立了矿山地质灾害危险性评估模型,实现了对矿山地质灾害危险性的科学评估。该模型能够准确划分矿山灾害危险等级,与历史数据高度吻合,证明了其有效性和实用性。设计了基于 BIM+GIS 的矿山灾害信息智能评估系统,通过

(下转第 32 页)

为 9 个类型,将其中 200 组包含各类故障类型的振动频率特征作为训练样本,剩余 249 组作为测试样本。故障诊断结果见表 1。

表 1 故障诊断结果			
故障类型	正确分类/组	错误分类/组	诊断准确率/%
正常	25	3	89.29
不平衡	32	4	88.89
不对中	21	1	95.45
机械松动	40	6	86.96
叶片故障	12	1	92.31
轴承外圈故障	13	1	92.86
轴承内圈故障	33	5	86.84
滚动体故障	15	1	93.75
保持架故障	34	2	94.44

从表 1 可看出,不同类型的故障诊断准确率差别较大,其中不对中故障诊断准确率最高,达 95.45%,轴承内圈故障诊断准确率最低,但也达到了 86.84%,9 类故障类型诊断准确率平均值为 91.20%,说明本文所提系统具有较高的故障诊断准确率,能够有效识别通风机故障。

5 结语

基于神经网络算法的井下通风监测与控制系统

(上接第 25 页)

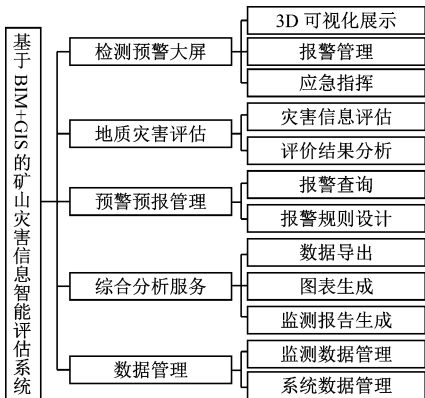


图 3 功能结构

整合 BIM 与 GIS 技术的优势,提高了矿山灾害信息的采集、处理和分析能力,为防灾减灾工作提供了有力的技术支撑。

通过集成基于 SA-BP 的通风机风量控制模型和基于 AGA-BP 的通风机故障识别模型,实现了对井下通风机的精准控制和故障预警。实验结果表明,该系统能够有效降低通风机能耗,提高风量控制精度,同时在通风机故障诊断方面也表现出较高的准确性和可靠性。该系统不仅提高了煤矿企业安全生产水平,还为企业节能降耗、提高经济效益提供了有力支持。

参考文献:

[1] 刘杰. 基于 WIFI 通信技术的矿井通风监测系统设计应用[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(6): 156-158.

[2] 刘思敏. 矿井通风监测系统的设计与应用[J]. 机械管理开发, 2021, 36(8): 231-232, 315.

[3] 虎小龙. 采矿井下通风系统的智能监测与优化控制策略[J]. 冶金与材料, 2024, 44(4): 121-123.

[4] 李伟宏. 雁南煤矿智能通风控制系统研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(增刊 2): 66-70, 74.

[5] 宿敬肖, 江春然, 吕晓华, 等. 基于 GA-BP 神经网络的矿井节能通风控制系统设计[J]. 煤炭技术, 2022, 41(12): 232-234.

[6] 管丽莎, 张恩瑜, 潘越. 基于时间序列和 BP 神经网络的矿井风机故障诊断[J]. 科技创新与应用, 2016(18): 47-48.

参考文献:

[1] 杨瑞峰, 宋林杰. 关于 GIS 技术在矿山灾害信息系统中的应用研究[J]. 矿业装备, 2020(5): 32-33.

[2] 尚可. 基于 BIM+GIS 的煤矿建设项目施工安全风险 管理研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.

[3] 任晓春, 王玮, 周权. 基于 BIM+GIS 的桥梁智慧监测 系统设计[J]. 四川建筑, 2023, 43(5): 72-74.

[4] 臧亚威. 基于 BIM 的煤矿建设工程信息协同管理研究 [D]. 中国矿业大学, 2021.

[5] 杨生德, 朱春辉. 地质灾害在线监测预警系统的设计与 实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(10): 140- 142, 145.

[6] 赵罡. 贵州山区煤矿地表地质灾害危险性评估方法分 析——以金沙县某矿 1 号井为例[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(10): 127-134.

[7] 刘欢. 白银煤矿区矿山地质灾害遥感监测及危险性评 价[D]. 长沙: 中南大学, 2011.