

基于全要素风险信息管理的煤矿安全 评估系统研究

Research on Coal Mine Safety Assessment System Based on Comprehensive
Risk Information Management

刘昊霖¹, 赵逸涵¹, 王俊龙¹, 李 蓓², 孙英峰³, 王启飞¹

(1. 北京建筑大学机电与车辆工程学院, 北京 102616; 2. 宁夏回族自治区煤炭地质局, 宁夏 银川 750004; 3. 北京科技大学, 北京 100083)

摘要: 本文旨在分析现有大数据集成分析及预测预警平台的需求、系统架构及实现方法, 设计并构建一种基于 Python 语言的全要素风险信息管理煤矿安全评估系统。该系统通过集成环境、设备、人员等多方面数据, 利用机器学习模型进行煤矿安全风险的动态预警和综合评估。系统的运行结果表明, 该评估系统具备一定的可行性和实用性, 能够为煤矿安全全局化管理提供重要支持, 有助于提高煤矿的安全管理水平和减少事故的发生。

关键词: 全要素; 煤矿安全; 安全评估; 信息管理系统

中图分类号: TD79 文献标志码: A 文章编号: 1672-609X(2024)04-0043-06

Abstract: This study aims to analyze the requirements, system architecture, and implementation methods of existing big data integrated analysis and prediction warning platforms, and to design and construct a coal mine safety assessment system based on comprehensive risk information management using the Python programming language. The system integrates data from various aspects such as the environment, equipment, and personnel, utilizing machine learning models for dynamic early warning and comprehensive assessment of coal mine safety risks. The operational results of the system indicate that it is feasible and practical, providing significant support for holistic management of coal mine safety, helping to improve safety management levels and reduce the occurrence of accidents.

Key words: comprehensive elements; coal mine safety; safety assessment; information management system

1 前言

随着煤矿开采活动的不断深入, 煤矿安全问题日益复杂且严峻。国内外学者在煤矿安全生产预警和防控方面进行了大量研究并建了应用机器学习或人工智能的煤矿瓦斯突出^[1-2]、冲击地压^[3-6]、底板水灾^[7-9]等多种事故的风险评估系统。然而, 现有的煤矿安全风险评估系统仍然存在一些不足之处, 如: 风险评估方法较为分散和独立^[10-11], 处理的风险和数据类型较少^[12-14], 风险预警不及时不能实现真正的风险预警, 且未建立全面的安全生产风险智能预警平台。

为了实现煤矿风险的预控, 需要全面掌握煤矿在某一时间各项风险发生的分布情况及其对煤矿整体安全的影响程度。基于此, 本文提出了一种基于全要素风险信息管理的煤矿安全评估系统。该系统通过整合环境监测、设备监测和人员定位等多方面的数据, 结合大数据分析和机器学习技术, 实现对煤矿安全风险的实时动态评估和预警。通过对矿井中的各种潜在风险进行全面监测和分析, 该系统能够及时发现和预警潜在的安全隐患, 从而为煤矿安全管理提供新的技术支持和管理手段。这不仅有助于提高煤矿的安全管理水平, 还能有效减少事故的发生, 保障矿工的生命安全。

[作者简介] 刘昊霖(2000—), 男, 工业工程硕士, 主要从事煤矿安全方向研究。

[基金项目] 国家自然科学基金(U23A20285); 宁夏自然科学基金项目(2023AAC03778)

[引用格式] 刘昊霖, 赵逸涵, 王俊龙, 等. 基于全要素风险信息管理的煤矿安全评估系统研究[J]. 中国矿山工程, 2024, 53(4): 43-48.

2 通用大数据集成分析及预测预警平台需求分析

鉴于我国现有大数据集成分析平台发展已相对成熟,本研究未考虑全新的平台,而尝试将煤矿安全评估系统集成于现有平台。因此,本节对现有目前大数据集成分析及预测预警平台的需求、系统架构及实现方法等进行梳理。煤矿领域的预测预警平台的基本原理是通过实时采集企业及作业现场中的数

据,并将相关数据有效集成,进行实时预警及反馈。

2.1 功能分析

大数据集成分析及预测预警平台主要的目的是实现动态预警和综合风险评估,现有平台通常有以下功能:(1)数据信息管理。(2)数据统计分析。(3)综合风险评估和动态预警。(4)辅助决策。

2.2 信息需求

煤矿安全领域安全评信息需求见表1。

表1 信息需求及数据采集方式

信息	数据	采集方式
环境监测信息	瓦斯浓度、风量、噪声、有害气体浓度、温度、湿度、烟雾	安全监控系统传感器
	传感器设置数量	安全监控系统
设备监测信息	瓦斯传感器故障次数、非瓦斯传感器故障次数、通风监测传感器故障次数、通风设备故障率、机电设备故障率、人员定位系统故障次数、机电设备定期检测超期次数、机电设备检测不合格率、机电设备检测检验计划制定情况	矿井综合自动化系统
人员定位信息	作业人员数量、作业时间、进入限制区域	人员定位系统
管理信息数据	开采深度、构造复杂程度、煤层稳定性、煤层倾角、工程地质条件、地温、冲击地压、水文地质类型、瓦斯等级、煤尘爆炸性、自燃倾向性、采煤工艺	OA系统(自然环境)
	规章制度、安全管理机构设置情况、安全生产许可证情况、安全投入、安全生产责任制、岗位设置和人员配置、安全教育培训体系和培训情况、应急事故预案和物资储备、日常监督检查情况、隐患排查与整改、出入井登记情况、劳动保护用品佩戴和使用情况、人员定位卡佩戴情况、工作人员持证情况、瓦检员上岗情况、领导带班下井次数、劳动组织和采掘部署、安全技术措施、操作规程、灾害防治措施	OA系统
	非法越界盗采、非法组织生产、假密闭、安全风险管控不到位、数据资料情况、违规使用国家明令禁止的设备或工艺、未进行危险性鉴定、未开展灾害预测预报工作、未按规定报告事故、违反规定“以包代管”	人工录入
视频监控	关停通风机、无人值守通风机等、违规行为、进入限制区域违章车、违章搭乘、空顶作业等、习惯性违规行为未使用劳动保护用品、顶板冒落、电火花或明火、煤层自燃发火、矿车周围障碍物	监控设备

(1)环境监测信息。大数据集成分析及预测预警系统中应当包含瓦斯、通风、水、火、矿压、粉尘、甲烷、有害气体、烟雾、光照、温度、湿度等工作环境监测信息,由传感器采集后传输至安全监控系统进行分析和处理。

(2)设备监测信息。设备监测信息主要包括运输、掘进、通风、开采等设备的故障信息,具体包括煤矿设备率、使用设备的完好率、设备故障率、安全监控设施率、安全装置率、通讯设备率、设备维护保养情况等,主要通过矿井综合自动化系统获取。工作人员定期对煤矿井下机电设备的安装、调试、巡检、维修和故障处理,并录入和传输相关信息至系统进行分析 and 处理。

(3)人员定位信息。人员属性及装备信息包括

进入现场的工作人员的工种、场地准入权限、机械操控资格以及个人防护装备的佩戴情况等,这些数据能够通过定位系统实时获取。员工的个人信息和装备详情可以整合至便于携带和识别的标识牌中,以便在工人出入井以及在现场活动时,由预先设置在场地中的定位卡识别器进行识别和数据阅读,并传输相关信息至系统进行分析 and 处理。

(4)管理信息数据。企业生产管理信息包括安全管理机构设置情况,规章制度不健全或制度未落实,操作规程和安全技术措施,劳动组织和采掘部署,事故应急预案,安全教育培训体系和培训情况,安全投入,岗位设置和人员配置,安全生产许可证信息,日常监督检查,事故隐患排查信息,通常由人工录入办公(OA)系统。开采深度、构造

复杂程度等自然环境条件信息同样由人工录入OA系统。

(5)视频监控信息。煤矿安全风险预警还需要对矿工、设备和工作环境的即时动态进行持续监督。这涉及检查矿工是否有违反安全规定的行为,确保施工设备按标准操作且运行顺畅,以及监测周围环境以识别任何潜在风险。这些数据的收集工作可以通过视频监控系统来完成,该系统会关注工人、设备

的重要部位以及环境变化。

3 大数据集成分析及预测预警系统架构

3.1 系统架构

多数预警系统采用分层架构模式进行设计,通常由数据层、平台层、服务层和应用层组成,总体架构如图1所示。



图1 系统架构

数据层主要为系统提供数据支持,涉及的数据包括物联网接入的实时数据(人员定位系统、安全监控系统、矿井综合自动化系统等),人工定期检测录入的报表数据,安全法律法规、操作规程、事故案例、应急知识等文本数据。

平台层对上传的数据进行集成管理,采用MySQL数据库存储,为服务层各功能模块统一提供原始数据。

服务层是系统的核心,用于煤矿安全风险动态预警所需要的各类功能服务。本研究主要涉及利用机器学习模型实现煤矿安全风险动态预警。

应用层用于实现系统与用户之间的交互通常包含基础数据管理和可视化、煤矿安全风险动态预警等。

从系统架构看,机器学习模型可置于平台服务层,通过调度模型完成相应功能。

3.2 系统模块

系统大多采用模块化设计思想进行功能分割和设计研发,通常包括煤矿安全风险动态预警模块,用于基于环境、设备、人员、生产管理的信息的煤矿安全实时预警,通过自行调用数据层数据运行。

3.3 数据库

至于数据库则常采用 My SQL 数据库、InfluxDB 时序性数据库等存储数据。数据库的选择往往不会影响模型的运行。

综上所述,对现有系统进行一定改造,本研究构建的煤矿安全风险评估模型可置于已有的软件系统。实现综合风险评估。鉴于机器学习模型使用 Python 构建更加遍历,优先考虑对采用 Python 语言

搭建的系统进行改造。

4 全要素风险信息管理煤矿安全评估系统设计及搭建

在分析现有大数据集成分析和预警平台功能、结构的基础上,考虑基于 Python 语言搭建一个简易的全要素煤矿安全风险评估系统,实现风险评估功能,流程如图 2 所示。

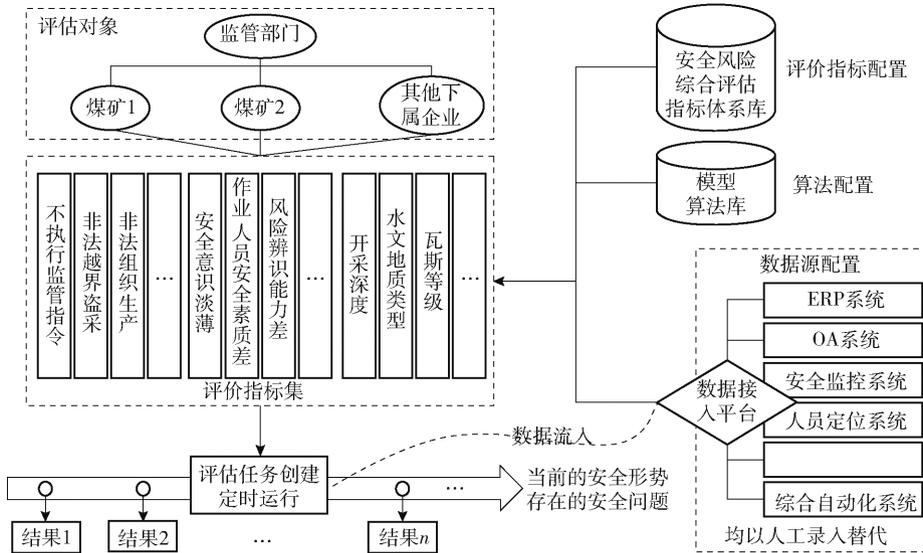


图 2 系统功能流程图

4.1 数据库设计

数据库采用 My SQL 存储数据,主要数据表包括地质与环境条件、人员和设备管理信息和生产管理信息,具体见表 2 至表 4。

表 2 矿井基础信息和地质与环境条件信息表

序号	字段名称	数据类型	长度
1	水文地质类型	char	8
2	瓦斯等级	char	8
3	煤尘爆炸性	char	8
4	自燃倾向性	char	8
5	开采深度	char	8
6	采煤工艺	char	8

4.2 开发技术平台和核心库函数

软件系统设计采用 Python 语言,基于 Python 3.9 进行开发,前端基于 tkinter 库搭建,采用 sklearn 作为计算库。

5 系统运行

打开系统即直接进入功能界面,操作即可进行

表 3 人员和设备管理数据表

序号	字段名称	数据类型	长度
1	机械设备失效	char	8
2	安全意识淡薄	char	8
3	不良的心理状态	char	8
4	作业人员安全素质差	char	8
5	风险辨识能力差	char	8
6	灾害风险认识不足	char	8
7	灾害防范知识不足	char	8
8	操作失误	char	8
9	紧急判断失误	char	8
10	习惯性违规行为	char	8
11	工作前检查不足	char	8
13	未使用劳动防护用品	char	8
14	未携带人员定位卡和自救器	char	8
15	擅自行动	char	8

运算分析,系统功能界面如图 3 所示。

选择某煤矿的调研数据作为输入数据,进行评估,具体数据及系统模拟结果如图 4 所示。其中,地

表4 生产管理数据表

序号	字段名称	数据类型	长度	序号	字段名称	数据类型	长度
1	不执行监管指令	char	8	17	未开展灾害预测预报工作	char	8
2	非法越界盗采	char	8	18	未落实出入井登记制度	char	8
3	非法组织生产	char	8	19	无证上岗	char	8
4	假密闭	char	8	20	安全监控系统不完善(传感器设置数量不足)	char	8
5	安全防护设施缺失	char	8	21	管理和专业技术人员配备不足	char	8
6	安全风险管控不到位	char	8	22	灾害防治措施编制不完善	char	8
7	未建立健全的安全管理机构	char	8	23	灾害防治措施落实不到位	char	8
8	安全技术措施编制不完善	char	8	24	安全教育培训不到位	char	8
9	安全技术措施审批不严	char	8	25	超定员、超强度、超能力生产	char	8
10	安全技术措施落实不到位	char	8	26	撤人制度未落实	char	8
11	安全投入不足	char	8	27	劳动组织不合理	char	8
12	安全主体责任未落实	char	8	28	未落实领导带班下井制度	char	8
13	采掘部署混乱	char	8	29	未安装人员定位系统	char	8
14	数据资料造假	char	8	30	安全隐患排查与整改不到位	char	8
15	违规使用明令禁止的设备或工艺	char	8	31	以包代管	char	8
16	违章指挥	char	8				



图3 系统功能界面

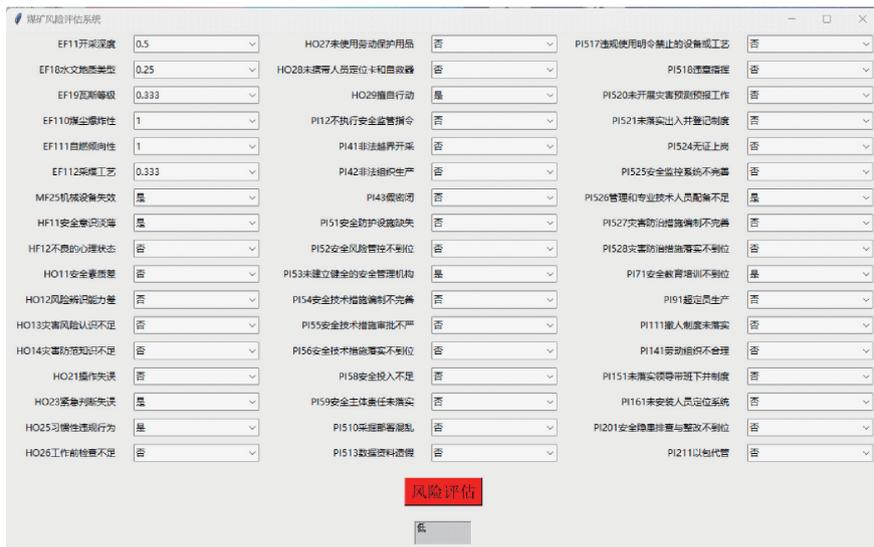


图4 系统模拟数据及结果

质与环境条件指标直接采用量化数据。

6 结论

本文研究并实现了一个基于全要素风险信息管理的煤矿安全评估系统。通过对现有大数据集成分析平台的需求和系统架构进行分析,构建了一个综合性的风险评估系统。实验结果证明,该系统在煤矿安全评估方面具有显著优势,为煤矿安全管理提供了科学依据和技术支持。未来的研究方向主要是进一步优化系统性能,扩展系统功能,以满足更多实际应用需求。

[参考文献]

- [1] 刘鹏泽,尚宇琦,黄家远,等. 基于 AHP-云模型的矿井瓦斯防治系统安全状态评价[J]. 中国矿山工程, 2024, 53(2): 48 - 54.
- [2] 何雨生,丁瑞琦,韩雷. 煤矿安全监控系统自评估方案研究[J]. 煤矿现代化, 2018(6): 126 - 127 + 130.
- [3] 程红林. 注水对煤体瓦斯解吸综合影响的试验研究及分析[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(4): 16 - 20.
- [4] 王苏. 煤矿瓦斯应急预案评估研究及在常村煤矿中的应用[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2017.
- [5] 张小华,张楠楠,卢泰宏. 矿山地压在线监测系统构建研究与实例[J]. 中国矿山工程, 2019, 48(5): 71 - 74.
- [6] 郑万波,胡运兵,王璇,等. 煤矿安全生产机电事故风险管理体系在南桐矿的应用[J]. 能源与环保, 2019, 41(2): 1 - 7 + 13.
- [7] 刘晨君,张丽丽,王聿超. 煤矿顶板安全性、风险度与预案投资效益评估方法研究[J]. 华北科技学院学报, 2023, 20(4): 57 - 66.
- [8] 张翼. 煤矿安全量化管理系统设计[J]. 能源与环保, 2020, 42(1): 51 - 55.
- [9] 刘会景. 基于未确知测度的煤矿瓦斯爆炸应急救援能力综合评估[J]. 煤炭工程, 2023, 55(1): 180 - 186.
- [10] 徐晓建. 煤矿安全风险防控及预警系统设计[J]. 工矿自动化, 2020, 46(3): 105 - 108.
- [11] 李勇,许金,陈运启. 煤矿安全风险管控系统设计与实现[J]. 能源技术与管理, 2021, 46(1): 129 - 131.
- [12] 李爽,李丁炜,犹梦洁. 煤矿安全态势感知预测系统设计及关键技术[J]. 煤矿安全, 2020, 51(5): 244 - 248.
- [13] 徐晓建. 煤矿安全风险防控及预警系统设计[J]. 工矿自动化, 2020, 46(3): 105 - 108.
- [14] 温瑞恒,陈功,张维国,等. 矿山有轨运输无人驾驶信息化系统的方案研究[J]. 有色设备, 2022, 36(6): 13 - 17.