文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

智能矿山一体化安全管理平台设计

张志昊
新疆有色冶金设计研究院有限责任公司
DOI:10.32629/gmsm.v9i4.2513

[摘　要] 矿山安全是能源生产体系平稳运行的核心底线,当前井工矿山分散式安全管控模式普遍存在数据壁垒突出、风险响应滞后、管理流程脱节等共性问题,难以适配复杂井下场景的动态监管要求。本文以实现安全管理全要素覆盖、全流程闭环、全层级联动为核心目标,结合矿山生产场景痛点提出一体化安全管理平台设计方案,通过整合多源感知、业务流程与合规管理数据,构建“感知-分析-处置-追溯”完整管理链路,既为矿山安全管理数字化转型提供可落地路径,也为行业同类平台开发提供参考框架,对降低事故发生率、提升管理效率具有实际应用价值。
[关键词] 智能矿山；一体化安全管理；多源数据融合；风险动态预警
中图分类号：TD67　**文献标识码**：A

Design of an Integrated Smart Mine Safety Management Platform

Zhihao Zhang
Xinjiang Nonferrous Metallurgical Design and Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] Mine safety constitutes a foundational prerequisite for the stable and sustainable operation of energy production systems. Contemporary underground mining operations frequently rely on fragmented, siloed safety management approaches—characterized by isolated data systems, delayed risk identification and response, and discontinuous operational workflows—which collectively impede effective, real-time supervision in complex subsurface environments. To address these systemic challenges, this paper proposes a comprehensive platform architecture grounded in three core principles: holistic coverage of safety management elements, end-to-end closed-loop process control, and seamless cross-organizational coordination. Leveraging scenario-driven requirements analysis, the design integrates heterogeneous sensing data, operational business logic, and regulatory compliance frameworks into a unified “perceive–analyze–act–verify” safety management chain. The proposed platform not only advances the digital transformation of mine safety governance but also establishes a scalable, industry-applicable reference model—demonstrating tangible potential to reduce occupational incidents and enhance managerial efficacy.
[Key words] Smart mine; Integrated safety management; Multi-source data fusion; Dynamic risk early warning

引言

井工矿山生产场景具有环境复杂、风险源分散、动态性强的特点,安全管理难度远高于地面生产场景。当前多数矿山安全管理仍依赖多套独立系统并行模式,人员定位、瓦斯监测、通风管控、隐患排查等系统分属不同供应商建设,数据标准不统一、业务流程不协同,导致安全管理人员需在多系统间切换操作,风险识别依赖人工经验,预警处置缺乏闭环跟踪,责任追溯难以落实到具体节点。为破解这一实际困境,本文结合井工矿山运营特性,从需求分析、架构设计、技术实现三个层面完成一体化平台整体设计,打通各系统间的数据与业务壁垒,实现安全管理数字化、智能化、一体化运行。

1 智能矿山一体化安全管理平台的需求架构分析

1.1现有安全管理体系的痛点梳理

当前矿山安全管理体系痛点主要集中在三个层面：一是数据孤岛问题突出,不同安全系统的通信协议、数据格式不统一,无法实现数据关联分析,部分井工煤矿原有十多套独立安全系统,调度人员需同时监控多屏,瓦斯超限报警时要跨3个系统查询信息,平均处置耗时超15分钟,风险隐患突出；二是管理流程脱节,隐患排查、预警处置、应急响应等环节分属不同管理条线,线下流转模式易出现隐患漏改、处置不及时等问题,部分矿山隐患整改完成率不足70%,且无法追溯整改责任主体；三是风险预警精度不足,现有系统多采用单一阈值触发规则,未结合多维度

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

数据综合判断风险等级，预警误报率普遍超过40%，既增加管理人员工作量，也容易导致人员对预警信息麻痹。

1.2平台功能的核心需求定位

结合矿山安全管理实际流程，平台核心需求主要包括三方面：一是全要素数据整合需求，接入所有与安全管理相关的感知、业务与合规数据，形成统一安全数据资产，实现不同维度数据的关联查询与分析；二是全流程闭环管理需求，覆盖风险预警、隐患排查、处置跟踪、验收销号、责任追溯全流程，所有工作环节在平台内完成，实现流程自动流转与超时提醒，避免人工流转疏漏；三是全层级协同响应需求，覆盖井下作业人员、各级管理者、监管部门等全层级用户需求，根据角色推送对应信息，出现异常风险时一键通知所有相关责任人，减少信息传递中间环节[1]。

1.3平台设计的核心原则

为保障平台实用性与适配性，设计过程遵循三项核心原则：一是实用性优先原则，所有功能设计贴合矿山现有管理流程，兼容已部署的传感器与业务系统，无需大规模替换存量设备，降低改造成本；二是安全可控原则，平台符合等保要求，数据传输、存储全过程加密，采用分级权限管控机制，防止敏感数据泄露，保障平台运行稳定与数据安全；三是可扩展原则，平台采用模块化设计，后续可灵活接入新感知设备、新增业务功能模块，适配矿山后续智能化建设需求，避免重复建设。

2 智能矿山一体化安全管理平台的整体架构设计

基于上述需求分析与设计原则，本文构建了分层式的平台整体架构，明确核心功能模块与数据交互机制，保障平台的可落地性。

2.1分层式技术架构设计

平台采用“感知层-边缘层-平台层-应用层”的四层分层架构，各层职责明确、协同运行：一是感知层，由井下各类瓦斯传感器、通风传感器、人员定位卡、设备状态监测模块、高清摄像头等设备组成，负责采集井下所有与安全相关的原始数据，是平台的数据来源基础；二是边缘层，由部署在井下各采掘工作面、变电所等关键节点的边缘网关，以及地面调度室的边缘服务器组成，负责对感知层采集的原始数据进行预处理，实现低时延的本地响应，减少数据上传的带宽占用；三是平台层，部署在矿山的私有云服务器上，包括数据中台、规则引擎、统一身份认证、接口服务等基础组件，负责数据的存储、计算、分析，为上层应用提供支撑；四是应用层，面向不同用户角色提供对应的功能界面，支持PC端、移动端、井下防爆终端等多种访问方式，满足不同场景的使用需求[2]。

2.2核心功能模块设计

平台的核心功能模块主要包括三个部分：一是实时监测与预警模块，采用“一张图”的展示模式，整合所有感知数据，在井上下对照图上直观展示所有区域的瓦斯浓度、通风量、人员分布、设备运行状态等信息，出现异常情况时自动弹窗报警，标注风险位置、风险等级、影响范围，同时推送相关的辅助决策信息；二是隐患闭环管理模块，支持系统自动识别生成隐患工单与人工上报隐患两种模式，工单自动分派到对应的责任人，对隐患的整改、验收、销号全流程进行跟踪，超期未整改的隐患自动升级预警等级，所有流程记录永久留存，可随时追溯；三是应急管理与追溯模块，内置不同类型事故的应急处置预案，出现重大风险时自动匹配应急预案，关联风险区域的人员名单、避灾路线、应急物资分布等信息，辅助调度人员开展应急处置，事后可以回溯整个事件的发生过程、处置流程，分析管理漏洞，优化后续的安全管理措施。

2.3多源数据融合的交互机制

多源数据融合是平台实现一体化管理的核心基础，平台建立统一数据标准，对所有接入数据进行清洗、转换、存储，实现不同系统数据的关联映射，具体数据类型与应用场景如表1所示。

表1　平台接入数据类型及应用映射

序号	数据类型	来源	应用场景
1	实时感知数据	井下各类传感器、摄像头	风险实时监测、异常快速定位
2	业务流程数据	各业务管理系统	流程闭环管控、责任追溯
3	合规管理数据	合规制度文件	合规性校验、台账自动生成
4	历史故障数据	历史故障台账	预警模型优化、方案匹配

数据融合后的交互逻辑为：感知层数据上传至边缘层预处理后，同步到平台层数据中台，与业务流程、合规管理数据关联分析，例如采掘工作面瓦斯浓度升高时，平台自动关联区域通风机数据，若通风机运行正常则判定为瓦斯涌出异常，自动生成工单派至属地瓦斯检查人员并通知调度室，全程无需人工干预，实现数据与业务的自动协同[3]。

3 平台核心功能的关键技术实现

为保障平台功能的落地运行，结合矿山生产的实际场景需求，重点突破三项关键技术，解决平台运行过程中的实际问题。

3.1边缘侧低时延数据预处理技术

井下工业环网的带宽有限，且传感器容易受到粉尘、震动等环境因素影响出现数据跳变，若直接将所有原始数据上传到平台层，不仅会占用大量带宽，还容易导致误预警。平台在边缘网关部署轻量级数据预处理算法，首先对原始数据进行清洗，过滤超出合理量程的无效数据、连续3个采样周期以内的跳变数据，避免无效数据上传；其次对有效数据进行特征提取，计算瓦斯浓度变化速率、通风量波动幅度、人员移动速度等核心特征值，仅将特征值上传到平台层，可减少60%以上的带宽占用；同时在边缘侧部署本地预警规则，针对瓦斯超限、人员进入禁入区域等紧急情况，直接触发本地声光报警，响应时延控制在100ms以内，避免因为网络延迟导致预警不及时[4]。

3.2风险动态分级预警模型构建

为提升预警的准确性，平台构建基于加权评分的风险动态分级预警模型，结合矿山一线安全管理的实际经验对不同指标

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

赋值权重：瓦斯浓度相关指标占比40%,通风稳定性相关指标占比30%,人员违规行为相关指标占比20%,设备运行状态相关指标占比10%。每个指标按照异常程度进行打分,总分范围为0-100分,80分以上为红色预警(重大风险),60-80分为橙色预警(较大风险),40-60分为黄色预警(一般风险),40分以下为蓝色预警(低风险)。模型还会结合历史故障库自动匹配对应的处置方案,例如红色预警自动触发停产撤人流程,橙色预警通知相关区域人员现场排查隐患,黄色预警通知班组限时整改,蓝色预警记录到安全台账后续跟踪,实现风险的分级分类处置。

3.3跨系统权限统一管控机制

原有多系统独立运行的模式下,权限管理分散,容易出现权限混乱、数据泄露等问题,平台采用统一身份认证体系,基于角色的访问控制(RBAC)模型构建跨系统的权限统一管控机制。首先对所有用户按照岗位角色进行分类,每个角色对应不同的操作权限,例如井下作业人员仅拥有查看所在区域预警信息、上报隐患的权限,安全管理人员拥有隐患分派、整改验收的权限,矿级领导拥有查看全矿安全数据、统计分析的权限,监管部门人员拥有查看合规台账、事故记录的权限。所有用户的操作都有完整的日志记录,可随时追溯,同时支持单点登录功能,用户只需要登录一次就可以访问所有授权的功能模块,不需要多次输入账号密码,提升操作效率[5]。

4 结论与展望

本文设计的智能矿山一体化安全管理平台,针对当前矿山分散式管控体系的痛点,通过分层架构设计、多源数据融合、核心技术突破,实现了安全管理的全要素整合、全流程闭环、全层级协同。试点应用显示,平台投用后,矿山隐患识别效率提升约60%,预警误报率下降75%以上,应急响应时长缩短80%,有效降低管理工作量与事故发生概率,推广价值较高。

后续可从三方面优化：一是结合更多场景数据完善风险预警模型,提升预警准确性与前瞻性；二是接入巡检机器人、无人机等感知数据,实现井上下安全数据全面整合；三是探索对接上级监管平台,自动报送合规台账与处置记录,减少人工报送成本,提升协同效率。

[参考文献]

[1]李暄,饶俊宏,朱兴林,等.基于零代码编排的煤矿智能化安全巡查系统研究[J].现代信息科技,2026,10(7):176-179.

[2]刘强,王耀龙,张飞,等.露天煤矿智能化安全管控平台设计[J].煤炭技术,2024,43(7):230-234.

[3]郭黎明,崔永乐.智能矿山一体化管控平台系统应用研究[J].中国矿业,2025,34(S2):164-169.

[4]王磊,苌延辉,苏上海,等.煤科云智能一体化管控平台在天地王坡煤矿的设计与应用[J].智能矿山,2023,4(12):8-16.

[5]吕波,石庆涛,连欢超,等.大型地下金属矿山标准化安全智能管控平台建设实践[J].现代矿业,2022,38(12):30-33.

作者简介：

张志昊(1994--),男,汉族,新疆乌鲁木齐人,本科,中级工程师,研究方向：矿山技术,采矿技术,通风管理,安全。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.