



煤矿智能双重预防机制与智能安全管控平台研究

李爽 贺超 鹿乘 许锐 薛广哲

引用本文:

李爽, 贺超, 鹿乘, 等. 煤矿智能双重预防机制与智能安全管控平台研究[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 464–473.

LI Shuang, HE Chao, LU Cheng. Research on intelligent dual prevention mechanism and intelligent security control platform of coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(1): 464–473.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-2155>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

煤矿双重预防机制信息系统研究与应用

Research and application of coal mine double preventive mechanism information system

煤炭科学技术. 2019(5) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/02ab4c64-2b8e-43d2-b0c0-89289865507d>

煤矿安全风险智能分级管控与信息预警系统

Intelligent hierarchical management & control and information pre-warnings system of coal mine safety risk

煤炭科学技术. 2021, 49(10): 136–144 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/3d8d1a22-07dd-43ff-8227-047186e3bac9>

智能化煤矿分类、分级评价指标体系

Specification and classification grading evaluation index system for intelligent coal mine

煤炭科学技术. 2020, 48(3) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/0a458de1-1c11-4358-978f-2a2d1d36745a>

煤矿智能化(初级阶段)研究与实践

Research and practice on intelligent coal mine construction (primary stage)

煤炭科学技术. 2019(8) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/5b99c3d9-9c4b-4625-b473-e32b8b37348f>

智慧煤矿与智能化开采技术的发展方向

Development direction of intelligent coal mine and intelligent mining technology

煤炭科学技术. 2019(1) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/4fc06163-cca2-4ad8-b84e-581af4126882>

基于“云-边-端”协同的煤矿火灾智能化防控体系建设

Construction of intelligent prevention and control of coal mine fire based on “cloud-edge-end” cooperation

煤炭科学技术. 2022, 50(12): 136–143 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021-0488>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



移动扫码阅读

李爽, 贺超, 鹿乘, 等. 煤矿智能双重预防机制与智能安全管控平台研究[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 464–473.

LI Shuang, HE Chao, LU Cheng, *et al.* Research on intelligent dual prevention mechanism and intelligent security control platform of coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(1): 464–473.

煤矿智能双重预防机制与智能安全管控平台研究

李爽^{1,2}, 贺超^{1,2}, 鹿乘^{1,2}, 许锬^{1,2}, 薛广哲^{1,2}

(1. 中国矿业大学 经济管理学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学 安全科学与应急管理研究院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 当前, 我国工业生产正面临智能化的技术革新, 煤炭行业也同样处于智能化建设的浪潮之中。煤矿智能化的技术革新催动着煤矿安全管理迈入智能化, 以安全风险智能管控为方向的煤矿智能化安全是智能煤矿建设的安全前提和安全保障。针对煤矿生产安全风险防控关键问题, 首先明晰了双重预防机制的基本逻辑及存在的不足。双重预防机制是通过超前辨识安全风险, 制定相应管控措施, 并结合隐患排查闭环处理程序来防治严重生产安全事件发生的一套行之有效的安全管理方法。其不足在于未将风险的动态变化特性充分考虑。在分析双重预防机制不足的基础上, 系统阐述了智能化安全管理要求下的智能双重预防机制逻辑及其优点。智能双重预防在原有固有风险分级管控基础上, 实现对剩余风险的动态评估、预测预警, 从而在风险真正失控之前采取相应管控措施, 避免隐患出现。以安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制管理方法为基础, 提出智能双重预防机制及智能安全管控平台, 并论述了其系统架构、运行逻辑及建设基础。对于安全管理工作而言, 智能安全管控平台科学回答了哪个人、什么时候、到哪里、检查什么等一系列问题, 在对各个风险定期全覆盖管控的基础上, 实现了不同风险等级的差异化资源投入和对隐患的及时、超前管控, 在提高安全管理绩效的同时, 使得各项安全管理活动简单化。在管控平台的基础上, 讨论了平台所需的关键技术。包括全面安全数据数字化、采集与传输, 全面安全数据的存储与管理, 基于安全管理场景的智能算法模型, 智能化硬件与管控平台的集成, 以及基于 CPS 或数字孪生的数据可视化展示与远程交互技术。以双重预防机制为基础, 提出智能双重预防机制及智能安全管控平台, 在安全资源精益配置的基础上实现对安全风险的超前管控, 进而从根本上提升企业安全水平, 实现本质安全。

关键词: 煤矿; 智能双重预防; 安全管控; 动态评估; 煤矿

中图分类号: TD76

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2023)01-0464-10

Research on intelligent dual prevention mechanism and intelligent security control platform of coal mine

LI Shuang^{1,2}, HE Chao^{1,2}, LU Cheng^{1,2}, XU Kun^{1,2}, XUE Guangzhe^{1,2}

(1. School of Economics and Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Safety Science and Emergency Management Research Institute, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: At present, China's industrial production is facing intelligent technological innovation, and the coal mining industry is also in the wave of intelligent construction. The technical innovation of coal mine intelligence impels coal mine safety management into intelligence, and intelligent coal mine safety in the direction of intelligent safety risk control is the safety premise and safety guarantee of intelligent coal mine construction. To address the key issues of coal mine production safety risk prevention and control, the basic logic of the dual prevention mechanism and its shortcomings are firstly clarified. Double prevention mechanism is a set of effective safety management methods to prevent and control serious production safety incidents by identifying safety risks in advance, formulating corresponding control measures, and combining with closed-loop treatment procedures for hidden danger investigation. Its shortcoming is that the dynam-

收稿日期: 2022-12-09

责任编辑: 常琛

DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2022-2155

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目 (71972176)

作者简介: 李爽(1981—), 女, 湖南长沙人, 教授, 博士生导师, 博士。E-mail: lishuangchina@cumt.edu.cn

ic change characteristics of risks are not fully considered. Based on the analysis of the shortcomings of the dual prevention mechanism, the logic of the intelligent dual prevention mechanism and its advantages under the requirements of intelligent safety management are systematically elaborated. Based on the inherent risk classification and control, intelligent double prevention realizes dynamic assessment and prediction and early warning of the remaining risks, so that corresponding control measures can be taken to avoid hidden dangers before the risks really get out of control. Based on the management method of double prevention mechanism, the intelligent double prevention mechanism and intelligent safety control platform are proposed, and its system architecture, operation logic and construction basis are discussed. For safety management work, the intelligent safety control platform scientifically answers a series of questions about which person, when, where and what to check. On the basis of regular full-coverage control of each risk, it realizes differentiated resource input for different risk levels and timely and advanced control of hidden dangers, which makes all safety management activities simple while improving safety management performance. On the basis of the control platform, the key technologies required for the platform are discussed. These include digitization, collection and transmission of comprehensive security data, storage and management of comprehensive security data, intelligent algorithm models based on security management scenarios, integration of intelligent hardware with the control platform, and data visualization display and remote interaction technologies based on CPS or digital twin. Based on the double prevention mechanism, the intelligent double prevention mechanism and intelligent safety control platform are proposed. On the basis of lean allocation of safety resources, it realizes the advance control of safety risks, and then fundamentally improves the safety level of the enterprise and realizes the essential safety.

Key words: coal mine; intelligent dual prevention; safety control; dynamic evaluation; coal mine

0 引 言

2018 年 5 月国家标准发布《智慧矿山信息系统通用技术规范》,我国智能化矿山建设开始真正落地^[1]。2020 年 2 月,国家发展改革委、能源局、应急部等 8 部委联合印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》,要求推动智能化技术与煤炭产业融合发展,提升煤矿智能化水平。2022 年 10 月,党的二十大报告又指出,要推进国家安全体系和能力现代化,在大安全大应急框架之下,提高防范化解重大风险能力,推动安全治理模式向事前预防转型。在政策导向下,我国社会生产方式正经历着深刻变革,智能化、无人化已成为高质量发展的主流。紧跟发展潮流、丰富煤矿智能化内涵,形成具有前瞻指导性的煤矿安全智能保障理论与技术体系是时代和党赋予煤炭研究者的历史性任务。我国煤矿智能化建设正处于初级发展阶段^[2],匹配于煤矿智能化生产条件的智能化安全体系研究仍滞后于行业发展需求,存在理念不清、理论不实、技术装备保障不足的问题,亟需通过不断地进行理论开发和技术创新补短板,保障煤矿智能化建设的安全发展^[3]。

煤矿智能化的科学内涵是煤矿主体系统的智能化^[4],即集成涵盖矿山感知、互联、分析、自学习、预测、决策、控制等核心内容的多产业链智能化系统^[5-6]。当前国内众多学者已经对煤矿智能化展开了研究,包括煤矿智能化技术体系及总体架构^[7-9]、矿井时空多源信息感知系统和矿井全时空信息反馈安全闭环管控系统^[10]、智能化煤矿数据模型及复杂巨

系统^[11]、煤矿辅助运输自动驾驶关键技术与装备^[12]等。这些设备和技术极大地提高了煤矿的生产能力,但是煤矿智能化安全保障体系研究较少,安全风险与隐患排查智能化双重预防技术是煤矿智能化安全保障体系的基础^[13],以此展开煤矿智能化安全保障体系的深入研究具有重要的理论意义。

双重预防机制是习近平总书记提出的新时代安全管理创新,坚持预防和事前为主,围绕安全风险分级管控和安全隐患排查治理两个核心,立足于煤矿的特殊生产条件,已构建了成系统的理论、方法、技术和装备体系^[14-15]。安全是煤矿生产的重中之重^[16],是煤矿智能化研究版图不可忽视的有机组成部分^[17],随着物联网、大数据、云计算等现代信息技术的深度应用,煤矿安全生产的数据密度大大增强,也推动着智能双重预防机制向智能化迈进。本文的边际贡献主要在于:以安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制(以下简称“双重预防机制”)管理方法为基础,提出智能双重预防机制及智能安全管控平台,对丰富当前煤矿智能化建设内容,提升煤矿安全生产水平都具有重要意义。

1 双重预防机制及其逻辑

双重预防机制在 2021 年被写入《安全生产法》,所有生产经营单位都应当依法建设自身的双重预防机制,以应对生产安全风险。管控安全风险事件发生的可能性,可以从管理和技术 2 个层面采取措施。从管理角度,主要是提前辨识风险程度,制定有效的风险管控措施,通过明确管控措施、分解管控责任的

方式进行安全管理。风险分级管控与全员安全生产责任制结合,可以将各个风险、管控措施落实到责任单位和责任岗位,通过各种风险管控活动,快速、全面地了解风险的变化情况。在风险管控或隐患排查

中发现某个管控措施未落实,则相应风险的数值有所提升,生产经营单位立刻通过隐患治理工作消除隐患,即使措施重新起效,风险数值再次回落到预期水平。双重预防机制的整个逻辑如图 1 所示。

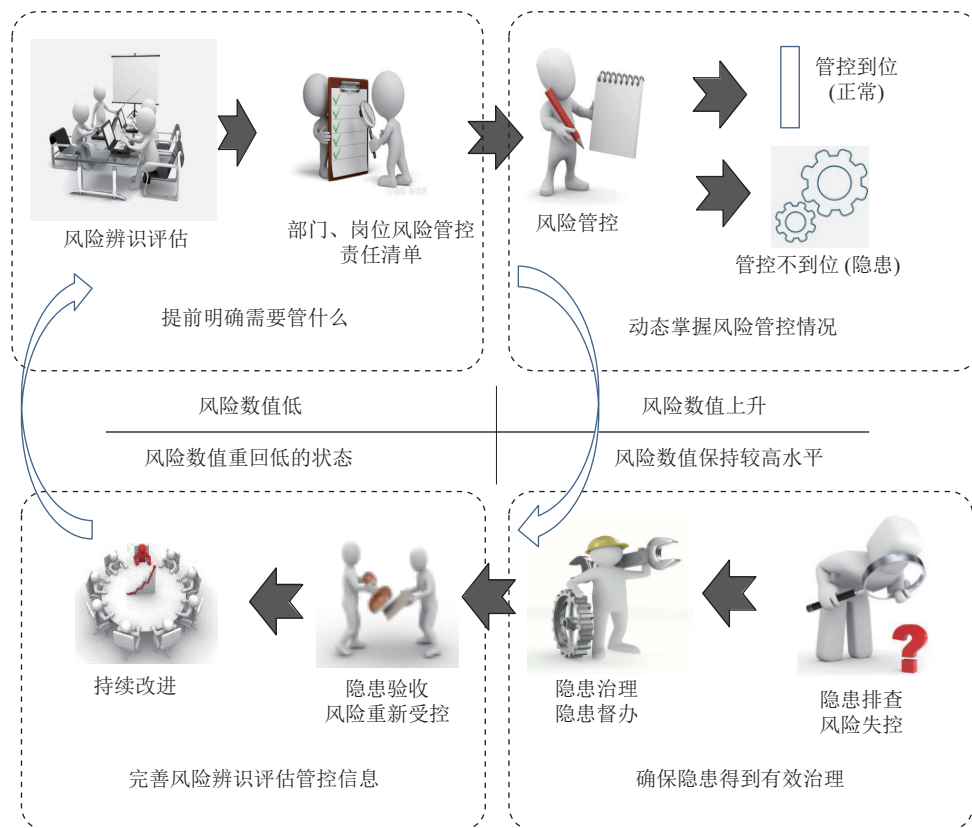


图 1 双重预防机制基本逻辑

Fig.1 Basic logic of dual prevention mechanism

风险得到重新控制后,生产经营单位应定期对风险管控和隐患排查治理数据进行分析,不断完善风险辨识评估结果和风险管控措施,提升下一周期的风险管控水平,推动生产经营单位的安全管理水平不断提升。

双重预防机制对风险的“超前”管控主要体现在对风险的初始辨识上,其目的是为了明确各部门、岗位的风险管控职责,其基本思路是通过夯实各级安全管理责任,提升风险管控水平。双重预防机制所要求辨识的风险是固有风险,不随着生产的推进、环境的变化等而变化,这种风险“超前”管控模式主要通过安全管理工作实现,对于生产经营单位人员素质等要求相对不高,易于在各行业落地、推广。该风险管控模式最关键的不足是没有对风险进行动态评估,无法及时掌握、降低生产经营活动过程中安全风险的不确定性。对于生产经营过程而言,安全风险管控的透明度并不高,无论是风险管控或隐患排查工作,当隐患被发现时,其已经是客观存在,相应风

险的数值已然上升,生产经营单位很难确定和预见隐患出现时间。因此,双重预防机制从一定程度上提升了生产经营单位对风险发生可能性的掌握,但并不能从根本上实现安全生产的透明化,无法实现对风险的真正动态“超前”管控。

2 智能双重预防机制逻辑及其优点

要最大程度消除安全生产的不确定性,降低事件发生的可能性,就需要对生产经营单位安全生产各子系统、要素属性、状态等信息的全面掌握,构建信息物理系统(cyber physical systems)实现安全生产的透明化,并在此基础上进一步实现多层次的安全风险态势评估以及预测预警。安全生产透明化是一个不断发展的过程,随着对各类灾害机理研究的深入,以及各类安全生产子系统的不断建设、要素数据采集的日益丰富,生产经营单位对安全生产情况的掌握就越全面,整个安全生产体系就越呈现透明化,从而为生产经营单位掌握安全生产的主动权提供了可能。

双重预防机制仅关注固有风险的辨识和管控,对于动态变化的风险缺乏有效的评估和管控手段。生产经营单位通常关注各风险的固有风险等级,以明确安全管理重点,但同时更关心的是当前各个风险在现有起作用的管控措施下,其剩余风险大小如何,以及可能会如何变化。所谓剩余风险是采取风险管控措施后的风险,也就是风险当前的大小。剩余风险的评估较固有风险更加复杂,且呈现出

明显的动态化特点。

智能双重预防在固有风险分级管控的基础上可实现对剩余风险的动态评估、预测预警,从而在风险真正失控之前采取相应管控措施,避免隐患出现,从根本上提升企业安全水平,实现本质安全。智能双重预防充分利用物联网和智能化技术的赋能,改变了双重预防机制遏制事故的逻辑,其基本逻辑如图 2 所示。

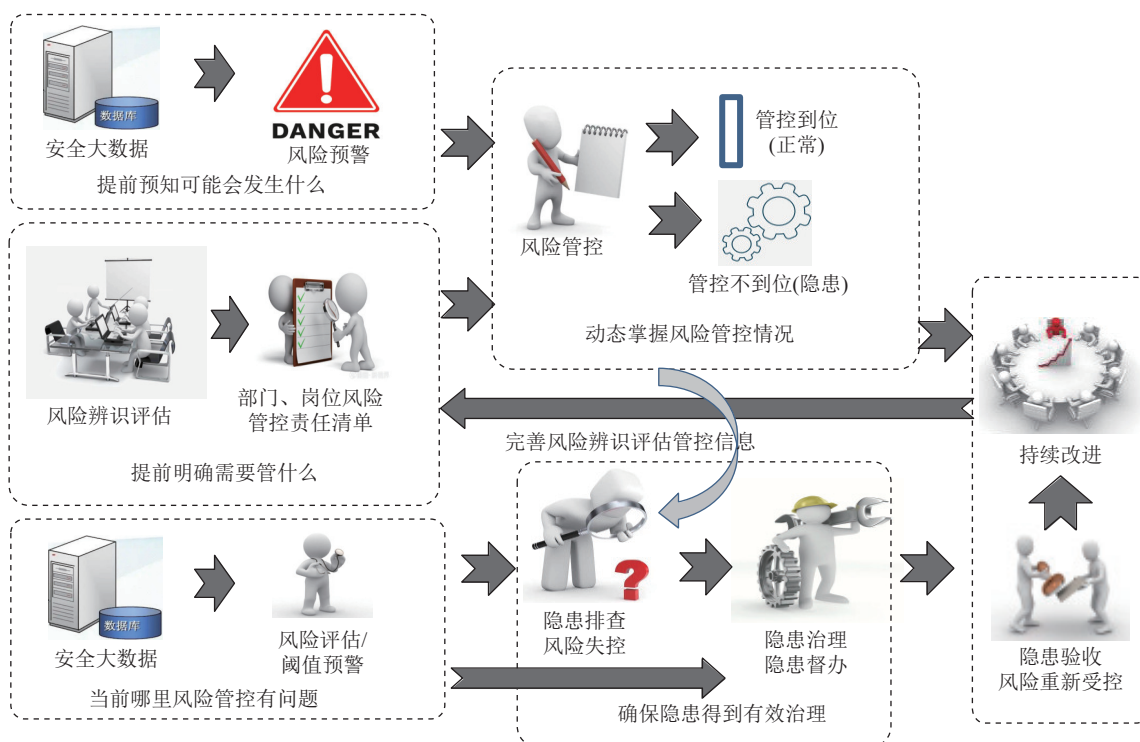


图 2 智能双重预防机制基本逻辑

Fig.2 Basic logic of intelligent dual prevention mechanism

智能双重预防在煤矿人员定位、监测监控、工业视频、设备工况等安全相关数据全面集成基础上,通过智能算法降低安全风险的不确定性,从而提升风险管控能力。从风险管控角度,智能双重预防对各风险的变化趋势进行预测,在风险数值显著上升前进行风险管控,采取必要管控措施,有效降低隐患产生的概率,从而遏制事故发生,实现真正的风险“超前”管控;从隐患排查角度,智能双重预防从各层级对风险进行评估,发现导致风险水平上升的主要问题或根据相关参数与设定阈值的对比,指导隐患排查或直接将其作为隐患下发,及时发现、消除隐患。除了依靠大数据、智能算法更加透彻了解安全生产态势,从而掌握安全生产的主动权外,与其他安全管理方法相比智能双重预防具有以下优点:

1) 根据需要有效配置安全资源,实现安全精益

管理。智能双重预防能够极大降低风险的不确定性,能够较准确掌握风险的变化趋势,从而可以提前有效配置资源,实现安全管理的精益化。

2) 辅助企业开展固有风险智能评估,解决安全管理基础的科学性问题。智能双重预防依靠前期积累的数据,能够更加准确判断企业固有风险的情况,以及经常失控风险的特点,为后续的风险管控措施分解和管控提供了科学依据。

3) 采用智能化技术,实现安全管理的远程化、在线化。通过巡检机器人、机器视觉、无人机、虚拟巡检、智能安全帽等方式,煤矿可以实现更加便捷、方便、高频次的安全管理,减少安全管理工作量的同时,提供更加丰富的数据,为其他智能化功能提供有力支撑。

4) 各部门、岗位安全管理责任场景精准化,极大

降低对安全管理人员的素质需求。作为“互联网+安全”的典型落地方法,智能双重预防能够判断安全管理人员在不同时空所面临的具体场景,通过移动端主动向安全管理人员推动需要完成的工作,极大简化了现场的工作。

煤矿智能化建设是一个不断深化的过程,智能双重预防也是一个不断完善、提升的过程。煤矿中与安全相关的系统、数据众多,企业能够收集、管理、分析的数据越多,虽然煤矿安全透明度就越高,对剩余风险评估、预测预警的准确度也越高,但并不意味着煤矿要等到所有与安全有关系系统建设完成后才考虑智能双重预防建设。任何企业只要具有除安全“管理”有关数据外的“人、机、环”数据,都可以在更丰富的安全数据基础上进行智能双重预防建设,并随着智能化建设的推进,逐步将更多的安全相关数据纳入到智能双重预防中,不断提升其安全评估、

预测预警的准确性,提高企业安全治理能力。

3 基于智能双重预防的智能安全管控平台设计

与双重预防机制一样,智能双重预防在企业的落地需要一个与之配套的智能安全管控平台。随着以物联网、人工智能等为代表的现代信息技术在煤矿的广泛应用,以及对煤矿各主要灾害机理、影响因素的研究日渐深入,煤矿能够在虚拟空间逐渐建立自身的数字孪生。智能安全管控平台以智能双重预防理论和逻辑为核心,充分利用智能化技术的赋能,实现安全管理的智能化。

3.1 智能安全管控平台建设目的及系统架构

智能安全管控平台的目的是为企业智能安全管理提供有力的工具,在安全资源精益配置的基础上实现对安全风险的超前管控,推动煤矿向本质安全方向发展,其系统架构如图 3 所示。

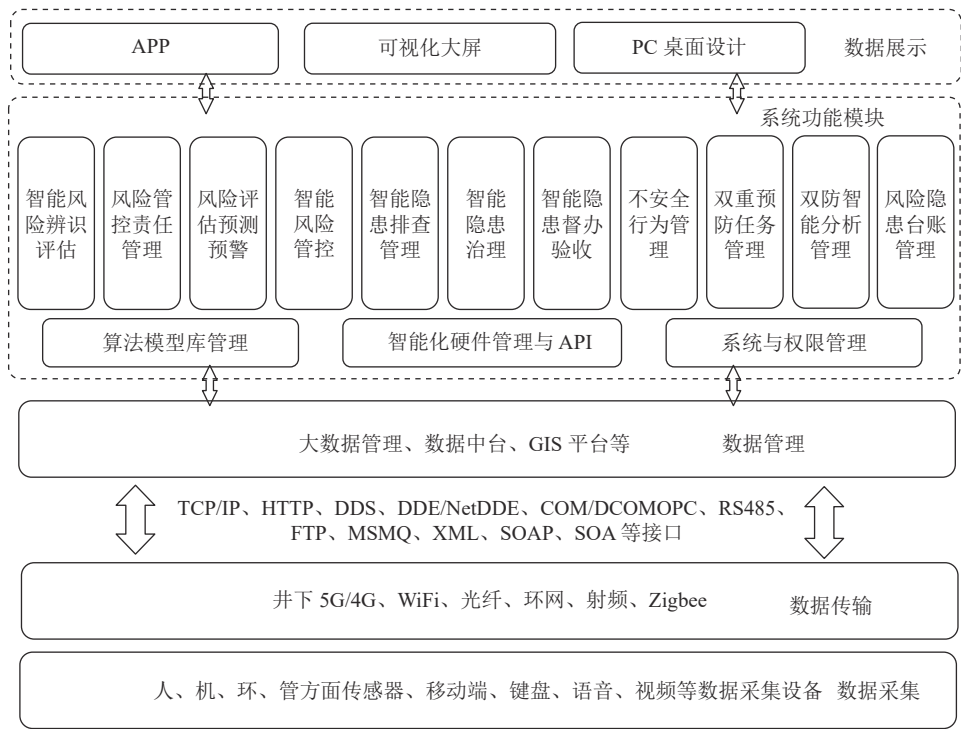


图 3 智能安全管控平台系统架构

Fig.3 Intelligent security control platform system architecture

智能安全管控平台架构中基础是数据采集、传输、管理层,通过现代信息技术,尤其是物联网、无线通信、大数据管理技术,为系统功能模块提供数据来源。系统功能模块涵盖了智能双重预防的各项具体工作,包括:智能风险辨识评估、风险管控责任管理、风险评估预测预警、智能风险管控、智能隐患排查管理、智能隐患治理、智能隐患督办验收、不安全行为

管理、双重预防任务管理、双防智能分析管理和风险隐患台账管理 11 个功能模块和算法模型库管理、智能化硬件管理与 API 和系统与权限管理 3 个应用支持功能。最上层是信息展示层,包括移动端 APP、可视化大屏和 PC 桌面设计 3 个常见途径。

上述功能模块中最重要的是算法模型库管理、风险评估预测预警、智能风险管控和智能隐患排查

4 个核心功能,体现了智能双重预防与一般双重预防最关键的差别。算法模型库为管控平台各个场景提供了安全管理模型和方法,是安全管理科学性的保证;风险评估预测预警对企业多层次、多系统剩余风险动态评估、预测结果,直接指导风险管控责任单位采取对应隐患排查治理和风险管控活动,实现超前管控;智能风险管控则一方面接受风险预测和双重预防任务管理的任务,另一方面通过智能化硬件管理与 API,控制机器人、无人机、工业视频等设备,进行远程风险管控;智能隐患排查一方面接受风险评估、阈值预警和双重预防任务管理的任务,另一方面与智能风险管控一样,开展远程隐患排查。对于安

全管理工作而言,智能安全管控平台科学回答了哪个人、什么时候、到哪里、检查什么的一系列问题,而且在对各个风险定期全覆盖管控的基础上,实现了不同风险等级的差异化资源投入和对隐患的及时、超前管控,在提高安全管理绩效的同时,使得各项安全管理活动简单化。

3.2 智能安全管控平台数据流程逻辑

由于风险管控和隐患排查工作的一体化管理,以及风险评估、阈值预警、预测预警等算法模型的结果能够用于多个不同场景等原因,数据流程在智能安全管控平台中的流动情况与实际业务流程有所不同。智能安全管控平台的数据流程逻辑如图 4 所示。

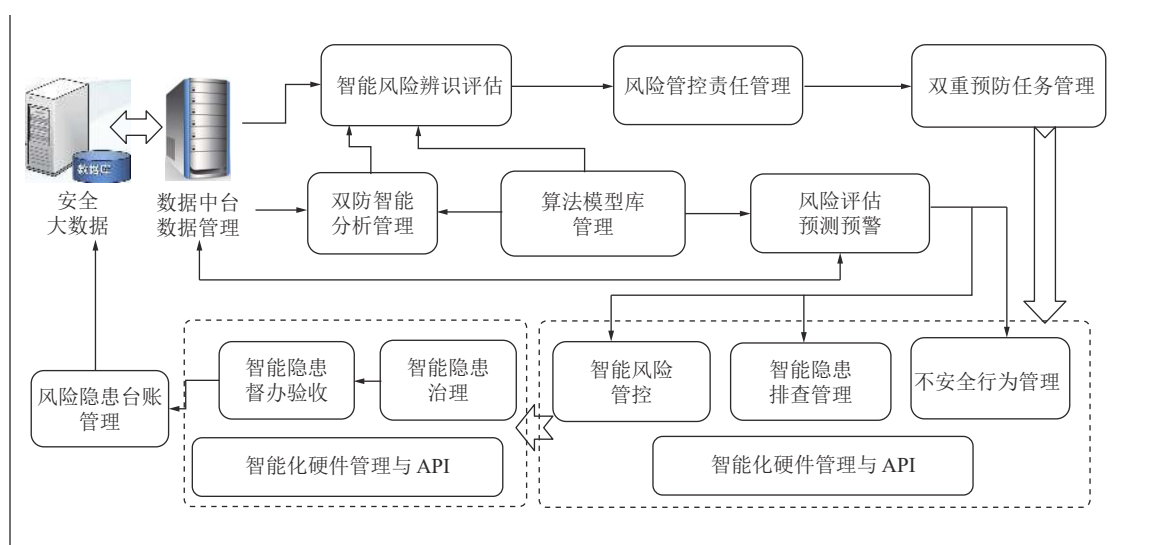


图 4 智能安全管控平台数据逻辑

Fig.4 Intelligent security control platform data logic

智能风险辨识评估主要是面向固有风险的评估,其评估工作分为两种:①通过算法模型库中固有风险评估的算法模型,对企业与安全有关各类数据进行处理,得到初始的固有风险评估结果^[18-20]。②当智能双重预防机制运行一定时间后,通过双防智能分析管理模块调用算法模型库,对新收集的安全大数据进行分析,调整固有风险评估结果。根据当前最新的固有风险评估结果,明确各部门、岗位的风险管控责任,并由此形成各自的双重预防任务。这个双重预防任务包括风险管控、隐患排查和不安全行为管理 3 方面的计划要求,而且其会根据风险评估、预测预警的信息,动态调整双重预防任务。各部门、岗位根据智能安全管控平台要求的任务,开展具体的工作。这些工作既可以采用传统方式进行,也可以采用智能化硬件现场或远程开展。这些工作可能发现隐患或不安全行为,也可能只是确认风险管控

到位,这些数据都传递给风险隐患台账管理模块,同时发现的隐患同步经过智能隐患排查治理、智能隐患排查验收功能实现闭环,并将闭环数据同样记入风险隐患台账管理模块。最后,风险隐患台账管理模块将数据汇入管控平台的大数据模块中,从安全管理角度不断丰富安全数据,形成整个数据流程的闭环。

从上述分析可知,智能安全管控平台中大部分的数据生产、流动都是由平台自身完成,需要安全管理人员参与产生的数据相对较少,而且可以在与智能化硬件的交互中完成。智能安全管控平台承担大部分的数据采集、传输、加工等工作,尽可能减少、简化人员的工作,在极大降低平台使用复杂度,便于平台在日常安全管理中运行之外,还能够最大程度上避免人员录入数据对数据真实性、及时性和全面性的影响。

3.3 智能安全管控平台建设运行基础

智能安全管控平台的建设和运行意味着以智能双重预防的逻辑和流程开展安全管理工作,必然会与企业原有的安全管理思想、流程有一定的不同。从旧有方法、流程向新的方法、流程的转变往往存在较大的难度。企业要实现智能安全管控平台的有效运行,除了平台本身的技术要求外,还需要有其他技术和管理方面的基础条件支持。

1) 集成企业安全类数据的大数据管理平台或数据中台,为智能安全管控平台提供数据支持。智能双重预防和与其相应的智能安全管控平台与原有双重预防机制和信息系统的区别就是凭借更加全面的安全管理数据,能够实现对安全生产的透明化,降低风险管理的不确定性。企业中与安全有关的数据包括“人、机、环、管”多个方面,而不仅限于风险和隐患管理数据。大量与安全有关数据在进入智能安全管控平台前,必须要根据平台需求进行加工,确保其能够满足各相关算法模型的数据要求。为更好使用这些数据,为各应用程序提供强大的数据支持,同时尽可能减少硬件、网络等资源的开销,企业信息管理部门需要从企业整体智能化建设的层面进行全面规划,完善企业数据治理,确保数据的有效供应。

2) 信息系统运维组织、制度与人才。智能安全管控平台虽然大幅度降低了系统使用人员的工作量和复杂性,然而平台本身又提出了运维的要求。与一般的 IT(Information Technology) 运维不同,智能安全管控平台是一个面向专业应用的系统,其核心并不是硬件和网络资源,软件维护的工作量也会随着时间快速减少,但数据维护的工作量却相对稳定,甚至会不断增加。由于智能安全管控平台的基础数据往往与安全生产、地质保障、安全规程等直接相关,企业 IT 部门难以有效承担数据运维的任务。因此,煤矿应在智能安全管控平台建设的同时,应建立相应的制度,明确系统运维的组织 and 人才。

3) 煤矿领导的重视以及平台使用考核。智能安全管控平台虽极大提升了煤矿的安全治理能力,提高了安全管理水平,但也确实与企业现有的安全管理工作存在较大区别。新旧方法的切换易造成员工的不理解甚至抵触。加之当前智能化矿山建设正方兴未艾,各种技术、方法远未成熟,很多煤矿智能化建设过程中,在不同程度上都存在硬件设备、传感器、各类通信技术运行不稳定的情况,也给员工的学习、用户体验等带来了负面影响。为了加快智能安

全管控平台的落地速度,除了平台本身技术质量要过硬外,企业领导层的重视以及将平台的使用纳入安全考核,通过考核推进新流程习惯的形成,对于平台的有效运行具有重要的推动作用。

4 智能安全管控平台的关键技术

智能安全管控平台的研发除了需要继续深入研究智能双重预防理论体系之外,还需要解决一系列的关键技术问题,并实现这些技术的规范化、模块化和通用化,保障平台在行业内的可推广性。

4.1 全面安全数据数字化、采集与传输

1) 安全数据数字化。安全数据数字化也称为数据预处理,是指在对安全数据分析前,对安全数据做一些审核、校验、排序等必要的处理,目的是纠正原始安全文本数据存在的错误,提供数据的一致性,针对安全数据的不同存储类型,数据预处理主要包括非结构化文本数据的正文抽取、半结构化数据的化解以及结构化数据的抽取、转换、加载过程。

2) 安全数据采集。安全数据采集的途径可以分为 2 种:一是先通过和安全专家交谈,以及通过查阅、分析安全法律法规、标准规范、安全规程等各种资料得到相应安全领域的各种数据,然后再借助于数据编辑系统把数据输入到计算机中。这种途径相当于由人代替机器去获取数据,然后“传授”给机器。另一种途径是通过机器自己学习,从处理问题的过程中获得数据、积累数据。

3) 安全数据传输。安全数据应用支撑平台提供安全基础数据和安全动态数据的接入、管理和传输。主要包括企业基础信息数据、安全管理系统数据、行政监管执法数据等,搭建大数据集成平台。支撑平台运用私有云中心充足算力进行分布式运算,输出关键信息数据,将各子业务系统进行边界打通,消除业务孤岛,融合数据应用。

4.2 全面安全数据的存储与管理

1) 安全数据的存储。构建全面的安全数据库,用于存储和管理安全数据,包括自然灾害机理与演变、人的不安全行为、事故分析与结论等。主要是综合利用大数据和云存储等技术,采用监测监控数据采集中间件,综合安全数据压缩算法,构建一套分布式安全数据存储系统。

2) 安全数据的管理。分布式安全数据存储系统主要用来展示安全系统数据接入情况、数据接入趋势、数据联网告警情况、数据接入统计、服务器资源使用情况等。数据接入情况主要展示系统当前接入

数据数量、接入系统数量、接入监测指标数量、接入传感器数量、累计预警次数和系统数据总量等。数据接入趋势统计用于展示近一周或一月内接入数据量变化趋势。数据接入统计展示当前数据接入量。服务器资源使用情况展示系统后台服务器资源使用情况,包括 CPU 使用率、存储、网络传输情况等。

4.3 基于安全管理场景的智能算法模型

在确定安全风险评价指标体系后,需要建立一个较为合理的模型,对指标体系中各指标进行综合,以便进行综合分析和评价。

建立模型的基本原则之一就是充分利用先验知识。根据对过程的了解程度,可以将模型分为 3 种类型:

1) 白箱模型。也称为机理模型,它完全可以通过过程的机理分析和先验知识,利用基本的物理定律进行构建。对于复杂工业系统来说,机理建模方法的适用范围非常有限,因为实际中人们很难摸清过程的机理,况且机理分析总是基于很多简化或假设之上,往往与实际之间存在较大偏差。

2) 灰箱模型。对象的部分机理清晰,但部分需要通过输入输出数据确定。模型的建立可能存在 2 种情况,一种情况是由物理背景推断出模型的结构,然后用辨识或模拟的方法获得模型参数;另一种情况是根据先验知识得出模型的部分结构,而其他部分则是未知的黑箱模型,需要由观测数据确定。对于复杂的工业系统,灰箱建模是一个值得研究的重要方法,如何把过程的先验知识或后验知识,甚至可能是系统设计的知识应用到建模过程,是一个富有挑战性的重要课题。

3) 黑箱模型。过程的内部机理不清晰,只能通过给过程施加某种激励信号,然后测定其响应,再根据输入输出数据,通过系统辨识或模拟的方法建立模型。有关线性黑箱系统的黑箱辨识已经建立了一套较为完整的理论。复杂工业系统大多是非线性的动态系统,而且先验知识往往难以得到,因而非线性系统的黑箱模型很少要求系统的先验知识,可用来描述任何非线性动态模型。

4.4 智能化硬件与管控平台的集成

在智能安全管控平台整体架构下,研究开发智能管控处置功能,实现相关安全管理、安全监管、预警事项处置的智能化管理。智能安全管控平台按照线上日常巡查、数据精准推送、多途径核实和采取监管措施的业务逻辑流程开展智能安全管控。

1) 线上日常巡查:根据系统监测预警、综合评价

生成结果,系统自动将相关信息推送给管理业务科室及人员;或者利用系统进行人工巡查,精准发现企业安全生产过程中存在的安全隐患、异常、偏离或可疑事项。

2) 数据精准推送:按照系统建立的规则,将相关信息自动推送的相关的单位、部门、人员。

3) 多途径核实:工作人员根据接收到的信息,“按图索骥”,有针对性地通过采取调取系统数据进行比对、远程核实、现场核查等多种方式查证其真实性、并分析原因,将相关信息在系统中进行反馈。

4) 采取监管措施:针对核实的问题,采取监管措施。通过系统,对下属煤矿下达监管指令,明确整改责任、期限、要求等;或对责任单位及人员进行考核,通过系统自动流转,并提醒;必要时,通过指定或完善安全管控工作制度进行体系提升建设。

智能管控平台需至少具备如下几方面的功能:

1) 工作流程管理功能。按照研究设计的工作流程,利用系统能够实现不同工作实现的流程化灵活配置。

2) 人员权限管理功能。按照组织层级及工作职责权限不同,能够为不同的人员配置不同的系统权限。

3) 定期任务生成功能。能够结合人员所处层级、岗位、专业等管理属性,当系统通过大数据分析发现异常事项,或对于规定性工作,能够定期生成任务,并派发到具体人员。

4) 定向指派推动功能。上级人员,可以利用系统,针对某一具体预警事项,或安全指令,启动工作流程,定向指派任务接受单位和人员。

5) 任务跟踪监控功能。系统自动按照任务流程,监控各环节执行情况。

6) 闭环管控预警功能。系统对于不能按期完成或逾期完成的工作事项,实现预警提醒,并能够提级督办。

7) 统计分析功能。系统对日常管控事项,按照发生次数、处理状态等维度,实现统计分析,并以可视化报表报告等方式予以呈现。

4.5 基于 CPS 或数字孪生的数据可视化展示与远程交互

主要是以数字化的形式对安全状况(如人的不安全行为、机器设备的不安全状态、环境的不安全因素等)过去和目前的行为或流程进行动态呈现,提供模型+数据+软件。

通过实时采集企业的安全数据,基于企业安全现实情况与虚拟情况之间的交互,数字孪生能够创

造更加丰富的模型,从而对不可预测的情况进行更加真实和全面的检测,最后反馈给企业的管理者,企业的管理者再进行实时的风险管控。这其中涉及到五大驱动要素,主要为传感器、数据、集成、分析和促动器。

5 结 论

1) 从管理和技术两个层面阐述了企业通过双重预防机制管控安全风险的措施。但是企业的双重预防机制仅关注固有风险的辨识和管控,对于动态变化的风险缺乏有效的评估和管控手段。

2) 针对企业双重预防机制的缺点,提出了智能双重预防机制。智能双重预防在原有固有风险分级管控基础上,充分利用物联网和智能化技术的赋能,改变了双重预防机制遏制事故的逻辑,进而从根本上提升企业安全水平,实现本质安全。

3) 为了建设企业智能双重预防机制,在安全资源精益配置的基础上实现对安全风险的超前管控,从建设目的、系统架构、数据流程逻辑、建设和运行基础方面设计了基于智能双重预防的智能安全管控平台。

4) 为了解决企业智能双重预防机制的关键技术问题,并实现这些技术的规范化、模块化和通用化,阐述了智能安全管控平台的关键技术,包括安全数据数字化、采集与运输、数据储存与处理、智能算法模型、管控平台的集成和数据可视化展示与远程交互。

参考文献(References):

- [1] 汤海龙. 智慧矿山信息系统通用技术规范解读及关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S2): 157-160.
TANG Hailong. Interpretation of general technical specifications for smart mine information systems and discussion on its key technologies[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(S2): 157-160.
- [2] 王国法, 刘峰, 孟祥军, 等. 煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 1-36.
WANG Guofa, LIU Feng, MENG Xiangjun, et al. Research and practice on intelligent coal mine construction (primary stage)[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8): 1-36.
- [3] Wang G, Xu Y, Ren H. Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2019, 29(2): 161-169.
- [4] 王国法, 刘峰, 庞义辉, 等. 煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支撑[J]. 煤炭学报, 2019, 44(2): 349-357.
WANG Guofa, LIU Feng, PANG Yihui, et al. Coal mine intellectualization: The core technology of high quality development[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(2): 349-357.
- [5] 李爽, 薛广哲, 方新秋, 等. 煤矿智能化安全保障体系及关键技术[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 2320-2330.
LI Shuang, XUE Guangzhe, FANG Xinqiu, et al. Coal mine intelligent safety system and key technologies[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(6): 2320-2330.
- [6] Wang G, Ren H, Zhao G, et al. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2022, 9(1): 1-17.
- [7] 王国法, 任怀伟, 庞义辉, 等. 煤矿智能化(初级阶段)技术体系研究与工程进展[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 1-27.
WANG Guofa, REN Huaiwei, PANG Yihui, et al. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7): 1-27.
- [8] 庞义辉, 王国法, 任怀伟. 智慧煤矿主体架构设计与系统平台建设关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 35-42.
PANG Yihui, WANG Guofa, REN Huaiwei. Main structure design of intelligent coal mine and key technology of system platform construction[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3): 35-42.
- [9] 王国法, 杜毅博. 智慧煤矿与智能化开采技术的发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 1-10.
WANG Guofa, DU Yibo. Development direction of intelligent coal mine and intelligent mining technology[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(1): 1-10.
- [10] 王国法, 庞义辉, 李爽, 等. 基于煤矿时空多源信息感知的智能安控闭环体系[J]. 矿业安全与环保, 2022, 49(4): 1-11.
WANG Guofa, PANG Yihui, LI Shuang, et al. Intelligent safety closed-loop management and control system based on multi-source information perception in coal mine[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2022, 49(4): 1-11.
- [11] 王国法, 任怀伟, 赵国瑞, 等. 智能化煤矿数据模型及复杂巨系统耦合技术体系[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 61-74.
WANG Guofa, REN Huaiwei, ZHAO Guorui, et al. Digital model and giant system coupling technology system of smart coal mine[J]. JOURNAL OF CHINA COAL SOCIETY, 2022, 47(1): 61-74.
- [12] 侯刚, 王国法, 薛忠新, 等. 煤矿辅助运输自动驾驶关键技术与装备[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2022, 4(3): 5-17.
HOU Gang, WANG Guofa, XUE Zhongxin, et al. Key technologies and equipment for automatic driving of coal mine auxiliary transportation[J]. Journal of Mining And Strata Control Engineering, 2022, 4(3): 5-17.
- [13] 李爽, 贺超, 许锐. 煤矿安全双重预防机制理论、应用与发展研究[J]. 中国煤炭, 2021, 47(10): 23-30.
LI Shuang, HE Chao, XU Kun. Research on the theory, application and development of dual prevention mechanism of coal mine safety[J]. China Coal, 2021, 47(10): 23-30.
- [14] 李爽, 贺超, 薛广哲. 以双重预防机制实现智能矿山愿景用灾害防治系统保障智能矿山安全[J]. 智能矿山, 2022, 3(6): 87-92.
LI Shuang, HE Chao, XUE Guangzhe. Realize the vision of intelligent mine with dual prevention mechanism and ensure the safety

- of intelligent mine with comprehensive disaster prevention system[J]. *Journal of Intelligent Mine*, 2022, 3(6): 87–92.
- [15] 法子薇, 李新春. 煤矿安全双重预防管理机制驱动研究[J]. *科技与经济*, 2021, 34(1): 6–10.
- FA Ziwei, LI Xinchun. Analytical Research on Double Prevention and Management Mechanism of Coal-mining Safety[J]. *Science & Technology and Economy*, 2021, 34(1): 6–10.
- [16] LU C, LI S, XU K, *et al.* Coal Mine Safety Accidents, Environmental Regulation and Economic Development—An Empirical Study of PVAR Based on Ten Major Coal Provinces in China[J]. *Sustainability*, 2022, 14(21): 14334.
- [17] 王国法, 富佳兴, 孟令宇. 煤矿智能化创新团队建设与关键技术研发进展[J]. *工矿自动化*, 2022, 48(12): 1–15.
- WANG Guofa, FU Jiaxing, MENG Lingyu. Development of innovation team construction and key technology research in coal mine intelligence[J]. *Journal of Mine Automation*, 2022, 48(12): 1–15.
- [18] LI S, YOU M, LI D, *et al.* Identifying coal mine safety production risk factors by employing text mining and Bayesian network techniques[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, 162: 1067–1081.
- [19] XU K, LI S, LIU J, *et al.* Evaluation Cloud Model of Spontaneous Combustion Fire Risk in Coal Mines by Fusing Interval Gray Number and DEMATEL[J]. *Sustainability*, 2022, 14(23): 15585.
- [20] LI S, XU K, XUE G, *et al.* Prediction of coal spontaneous combustion temperature based on improved grey wolf optimizer algorithm and support vector regression[J]. *Fuel*, 2022, 324: 124670.