

煤矿职工群体安全行为研究进展综述

俞凯*, 牟兆祥, 王天宇

山东科技大学安全与环境工程学院, 山东 青岛

收稿日期: 2025年3月4日; 录用日期: 2025年4月4日; 发布日期: 2025年5月12日

摘要

煤矿安全生产直接关系到矿工生命安全和国家能源供应, 而煤矿职工的不安全行为是导致事故发生的重要因素之一。近年来, 煤矿职工群体安全行为的研究逐步从个体行为分析向系统化、智能化、群体行为模拟方向发展。本文系统综述了煤矿职工群体安全行为的国内外研究进展, 重点探讨了安全行为的理论基础、群体行为模拟方法及安全行为预警机制。在安全行为理论方面, 介绍了事故因果连锁理论、瑞士奶酪模型、HFACS等经典理论, 以及系统安全管理的最新进展; 在群体行为模拟方面, 分析了系统动力学、多智能体建模、QSIM等方法在煤矿职工群体行为预测中的应用; 在安全行为预警方面, 探讨了基于人工智能、贝叶斯网络、模糊综合评判等技术的智能预警方法, 并分析了当前预警系统的不足。研究表明, 煤矿职工的安全行为受个体、群体和组织管理等多重因素影响, 现有研究在群体行为影响因素整合、行为模拟精准性、安全行为预警实时性等方面仍存在不足。未来研究应进一步结合人工智能、深度学习、数据融合和智能监测等技术, 提高煤矿职工群体安全行为的监测、模拟和预测能力, 构建更加精准、智能的安全预警体系, 以提升煤矿安全管理的科学性和有效性。

关键词

煤矿职工安全行为, 群体行为模拟, 安全行为预警, 智能监测, 系统安全管理

Review on the Research Progress of Group Safety Behavior of Coal Mine Workers

Kai Yu*, Zhaoxiang Mu, Tianyu Wang

College of Safety and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

Received: Mar. 4th, 2025; accepted: Apr. 4th, 2025; published: May 12th, 2025

Abstract

Coal mine safety is directly related to miners' life security and national energy supply, while unsafe

*通讯作者。

文章引用: 俞凯, 牟兆祥, 王天宇. 煤矿职工群体安全行为研究进展综述[J]. 矿山工程, 2025, 13(3): 481-491.
DOI: 10.12677/me.2025.133053

behaviors of coal mine workers are one of the key factors leading to accidents. In recent years, research on coal mine workers' group safety behavior has gradually evolved from individual behavior analysis to systematic, intelligent, and group behavior simulation approaches. This paper systematically reviews the research progress on coal mine workers' group safety behavior both domestically and internationally, focusing on the theoretical foundations of safety behavior, group behavior simulation methods, and safety behavior early warning mechanisms. In terms of safety behavior theories, classic models such as the Accident Causation Chain Theory, Swiss Cheese Model, and HFACS are introduced, along with the latest advancements in systematic safety management. Regarding group behavior simulation, methods including System Dynamics, Multi-Agent Modeling, and QSIM are analyzed for their applications in predicting coal mine workers' group behavior. For safety behavior early warning, this paper discusses intelligent early warning methods based on Artificial Intelligence, Bayesian Networks, and Fuzzy Comprehensive Evaluation, while also analyzing the current limitations of early warning systems. Research findings indicate that coal mine workers' safety behavior is influenced by multiple factors, including individual psychology, group interactions, and organizational management. However, current studies still have limitations in integrating group behavior impact factors, improving simulation accuracy, and enhancing the real-time capability of safety behavior early warning systems. Future research should further integrate Artificial Intelligence, Deep Learning, Data Fusion, and Intelligent Monitoring to enhance the monitoring, simulation, and prediction of group safety behavior in coal mines. The goal is to develop a more precise and intelligent safety early warning system, thereby improving the scientific and practical effectiveness of coal mine safety management.

Keywords

Coal Mine Workers' Safety Behavior, Group Behavior Simulation, Safety Behavior Early Warning, Intelligent Monitoring, System Safety Management

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤矿安全生产直接关系到矿工生命安全和国家能源稳定供应。由于井下作业环境复杂、风险因素众多，煤矿安全事故时有发生，其中人的不安全行为被认为是导致事故的关键因素之一。传统的安全管理主要侧重于个体行为规范与监督，但近年来的研究表明，煤矿职工的行为不仅受个体心理和生理因素的影响，更受到群体环境和组织氛围的制约。在高风险、封闭式的井下作业环境中，职工的安全决策和行为模式往往会受到群体互动、工作压力、领导风格以及安全文化等因素的影响，从而导致违章作业或不安全行为的发生。因此，从群体行为视角深入研究煤矿职工的安全行为特征及其影响机制，对提升煤矿安全管理水平具有重要意义。

煤矿职工长期在井下工作，其行为受群体及周边环境的影响。井下工作环境复杂，煤矿职工的违章行为亦呈现出复杂性和多样性。近年来，研究人员在煤矿职工安全行为的成因、机理、管控措施以及行为辨识等方面取得了显著进展，并尝试从群体行为角度展开深入研究。群体行为的演化过程复杂且漫长，传统的个体行为研究难以全面揭示职工在群体环境中的行为演变机制。因此，定性模拟技术逐渐成为研究群体行为的新型、高效方法。该方法通过定量与定性分析相结合，系统模拟煤矿职工群体行为的变化规律，有助于更精准地识别潜在的不安全行为，并提供有效的预警和干预策略。

本文系统综述了煤矿职工群体安全行为的国内外研究进展，重点探讨安全行为的理论基础、群体行为模拟方法及安全行为预警机制，为未来相关研究提供参考。

2. 安全行为的起源与发展现状

2.1. 安全行为的起源

有关安全行为的理论研究在 20 世纪初期起源于西方国家，经过一个世纪的发展，研究成果日渐成熟。1919 年，英国的 Greenwood 和 Hwoods 在对工厂的伤亡事故统计研究的基础上，提出存在事故频发倾向论[1]。之后 Heinrich 提出了事故因果连锁理论，并认为人的不安全行为和物的不安全状态导致了事故的发生[2]。Reason 在 20 世纪 90 年代提出了人因事故模型，并在此基础上，提出了瑞士奶酪模型(Swiss Chess Model)，该理论认为系统中的潜在失效经过各级纵深防御，最终导致事故的发生[3]。基于瑞士奶酪模型发展起来的 HFACS 理论(Human Factor Analysis and Classification System)已经成为当前国际社会对煤矿、航空等行业分析人的不安全动作等人因失误的重要工具[4] [5]。

2.2. 安全行为的发展现状

近年来，在 Heinrich 和 Reason 等学者的理论上，国外众多专家学者进一步研究了安全行为的基础理论，并扩展了安全管理的系统性视角。其中，“系统理论事故模型”(STAMP, System-Theoretic Accident Model and Processes)认为，安全行为是系统内部各要素相互作用的结果，事故的发生不仅仅是个体行为失误的直接后果，更是系统控制机制失效的表现[6]。STAMP 模型强调，应从系统工程的角度构建多层次安全控制结构，减少系统中的潜在漏洞，以提升整体安全性。研究表明，安全态度、安全氛围、安全支持、安全领导等因素均对企业安全绩效的提升起到重要作用[7] [8]。安全态度决定了职工对安全规定的遵从程度，安全氛围影响了职工的安全行为倾向，安全支持(包括组织和同事的帮助)能够降低职工的安全焦虑，而安全领导则决定了企业安全管理的执行力度。除此之外，职工的个性特征、安全意识、工作压力、心理和生理因素、作业环境、安全信念、安全培训与管理措施，也是影响职工安全行为的关键因素[9]-[11]。例如，高强度工作压力可能导致职工疲劳，从而降低安全警觉性；恶劣的作业环境可能加剧认知负荷，使职工更易发生误操作。因此，煤矿企业在管理中不仅需要约束个体不安全行为，还应优化组织管理，营造良好的安全文化，提高职工的安全行为自觉性。在煤矿企业安全管理领域，研究者主要从安全行为建模、风险管理和智能监测等方面进行深入探索[12]。近年来，煤矿安全行为研究已逐步采用系统动力学(SD)、多智能体(Multi-Agent)、贝叶斯网络(BN)等建模方法，对职工群体行为进行模拟与预测。此外，计算机视觉、智能传感器、人工智能技术的应用，使得煤矿职工的不安全行为能够被实时识别与预警。例如，智能监测系统可以通过图像识别自动检测职工是否佩戴安全帽，或通过行为分析判断职工是否存在违规操作，这些技术的应用有效提高了煤矿安全管理的精准性和效率。

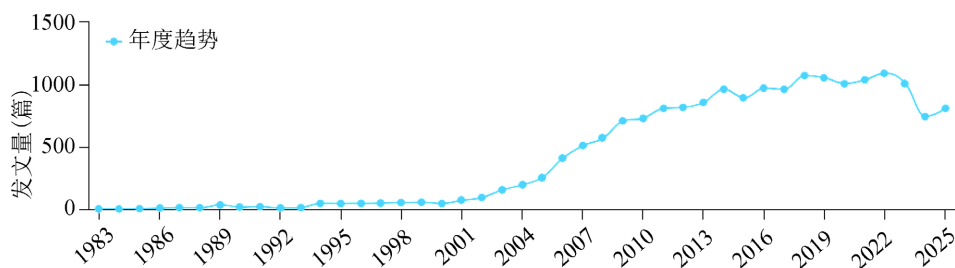


Figure 1. Overall analysis of safety behavior related research in China

图 1. 我国安全行为相关研究总体分析

20 世纪 80 年代, 行为科学被引入我国, 并逐步应用于安全管理领域国内非常重视借鉴吸收行为科学方面的先进成果, 并进行卓有成效的探索, 取得了一系列创新成果, 如图 1 所示。

研究初期, 学者们发现, 心理因素、个体行为特征以及群体环境的复杂性是导致不安全行为的关键因素[13]。职工的认知偏差、情绪波动以及群体互动模式都会影响安全行为的选择。上世纪 90 年代中期, 研究者通过分析煤矿事故致因, 进一步探讨了不安全行为与事故之间的关系, 发现不同类型的不安全行为可能导致不同程度的事故后果, 即高风险行为往往引发更严重的事故, 而低风险行为可能仅造成轻微影响[14]。这一时期的研究为后续安全管理措施的针对性优化奠定了基础。

进入 21 世纪后, 国内对安全行为的研究迅速发展, 相关成果不断丰富。研究普遍认为, 心理因素(如性格、情绪、动机、意志、意向等)[15]-[17], 生理因素(如身体素质、疲劳状态等), 操作技能、组织管理水平等都对职工的安全行为产生重要影响[18]-[20]。其中, 个体的心理状态被认为是影响安全行为的核心因素之一。例如, 职工的风险感知能力、安全信念和情绪稳定性会直接影响其遵守安全规范的程度。此外, 疲劳、身体素质较差等生理因素可能降低职工的反应能力, 使其更容易发生操作失误。研究者提出, 个体安全行为的发生经历了“初始心理、个体意向形成心理和最终意向形成心理”三个阶段, 并指出, 职工的安全意识和行为选择受多重心理因素的影响[21]。基于此, EAP(员工援助计划)被引入煤矿安全管理, 通过心理干预和培训提升职工的心理素质, 以减少不安全行为的发生[22]。

在安全行为致因分析方面, 研究者提出了基于行为分析的事故致因“2-4”模型, 该模型将事故致因分为组织层面和个人层面, 并进一步划分为指导、运行、习惯性和一次性四个阶段, 从而揭示不同类型的不安全行为及其演变过程[23]-[25]。相关研究利用 NVivo 质性分析方法, 深入分析了煤矿职工“三违”行为(违章指挥、违章作业、违反劳动纪律)的致因, 并探讨了煤矿环境、组织安全管理实践等因素对职工行为的影响, 强调企业管理方式、作业环境和安全文化在行为干预中的关键作用[26]-[31]。此外, 安全压力、组织承诺、安全激励和心理因素也是煤矿职工安全行为的重要影响因素[31][32]。研究表明, 安全压力过大可能导致职工焦虑、疲劳, 从而增加违章行为的可能性; 而组织承诺和安全激励机制(如奖励和培训)能够增强职工的安全责任感, 提高安全行为的自觉性。同时, 群体认知在个体安全行为中发挥重要作用, 职工的安全决策往往受到群体态度、同事行为和组织安全文化的影响。在安全氛围较强的团队中, 个体更倾向于遵守安全规范, 而在安全规章执行松散的环境中, 违章行为更易发生。因此, 研究强调, 应通过心理干预、群体引导和组织管理等多方面优化职工的安全行为, 以减少事故发生。

组织管理缺陷和安全决策失误也是导致不安全行为的重要因素。研究发现, 高风险倾向的职工更容易冒险作业, 而高强度工作压力可能导致职工疲劳、注意力下降, 增加误操作风险[33]-[35]。因此, 煤矿企业应合理分配工作任务、优化考核制度, 并提供心理疏导, 以降低工作压力对安全行为的不利影响。此外, 一些研究从理论分析、影响因素研究和模型构建等方面深化了对个体安全行为的研究, 提出安全动机、安全技能、安全知识和安全价值观四个关键因素[36]-[38], 并基于此构建了“五位一体”安全行为管理模型, 涵盖组织管理、人员行为、效果评估、反馈机制和安全文化五个维度, 从而形成系统性的安全管理体系[39]-[41]。相关研究还表明, 合理的奖励机制(如安全绩效考核)有助于提高职工的安全参与度, 而心理因素(如焦虑、倦怠)可能会导致不安全行为的增加[42][43]。

在安全行为影响因素的定量研究方面, 研究者构建了煤矿职工不安全行为影响因素评价模型, 分析了管理因素(如安全规章执行、监督体系)对职工安全行为的关键影响[44]。研究发现, 相较于个体心理状态和作业环境, 管理因素对职工安全行为的影响更为直接和显著。因此, 建议企业通过优化管理措施、智能监测和数据分析, 精准识别不安全行为, 并采取针对性管控策略, 以提高安全管理效率。近年来, 安全行为研究逐步从单一因素分析向系统性研究发展, 强调个体心理、群体环境和组织管理的综合作用。研究者通过构建安全行为分析模型, 并结合人工智能和大数据技术, 推动煤矿安全管理向智能化、精准

化方向发展,为煤矿职工不安全行为的预警和干预提供科学依据。

3. 群体行为模拟研究现状

群体行为研究起源于群体动力论(Group Dynamics),强调群体成员通过协调合作、相互作用和模仿,逐步形成一致的行为模式。研究表明,安全氛围、外群体干扰、社会影响、领导行为等因素都会影响职工群体行为的演化方向,尤其在高风险作业环境下,良好的安全文化和有效的领导干预能够促进群体行为向安全方向转变[45]-[47]。例如,若企业内部普遍重视安全管理,职工更倾向于遵守安全规范;而在安全意识较低的环境中,个体更容易受到群体中不安全行为的影响,导致违章操作增多。

当前,群体行为模拟是研究群体行为演变的重要方法之一,主要包括系统建模方法、个体智能方法和数据驱动方法[48]。由于群体行为受多种因素影响且难以精准量化,研究通常采用定性模拟(Qualitative Simulation)方法,其中 QSIM (Qualitative Simulation)理论及算法是常用的工具之一[49]。QSIM 通过建立变量间的关系网络,对复杂系统的状态变化进行推演,能够有效刻画群体行为的动态演化过程,特别适用于煤矿安全管理领域的群体行为预测与干预策略研究。

我国对群体行为及其模拟的研究主要集中在安全教育、群体压力、安全文化等方面[50]-[53]。例如,张江石等研究了煤矿企业不同群体职工对安全文化认知的差异,将企业职工划分为管理层、专业人员、班组长和一线员工四类群体,分析各群体在安全行为上的不同特征和影响因素[54]。研究发现,管理层和专业人员的安全文化认知水平较高,能够较好地执行和推动安全管理;而班组长和一线员工的安全认知较弱,受群体影响更明显,易在作业过程中产生不安全行为。因此,针对不同群体采取有针对性的安全培训和管理措施,能够更有效地提升企业整体的安全管理水平。

此外,系统建模方法在群体行为模拟中的应用也较为广泛。田水承等人基于系统动力学(System Dynamics, SD)原理,构建了矿工不安全行为组合干预系统模型,并通过动态模拟仿真分析了不同干预措施的有效性[55]。研究发现,通过调整安全培训、监督考核、激励机制等干预措施的组合方式,可以优化煤矿企业的安全管理效果,提高职工群体的安全行为遵从度。然而,系统动力学方法虽然可以刻画宏观层面的行为演变,但难以描述个体之间的具体交互关系,在个体差异性强的情境下适用性较弱。

在个体智能方法方面,曹庆贵及其团队重点研究了群体不安全因素,探讨了群体动力学在煤矿职工不安全行为管理中的作用[56]-[58]。研究表明,群体内部的互动模式、权力结构和从众效应都会对个体安全行为产生显著影响。例如,在强安全文化的群体中,个体更容易受到正向影响,形成安全行为习惯;而在安全意识较弱的群体中,不安全行为可能通过模仿和默许而扩散。因此,加强群体内部的安全监督和正向引导,有助于降低群体内的不安全行为发生率。相比系统建模方法,个体智能方法能更细致地描述个体之间的相互作用及其对群体整体行为的影响,特别适用于研究从众效应、领导风格等因素在群体行为演变中的作用。然而,由于需要建立复杂的个体行为规则,计算复杂度较高,且难以精准校准个体之间的交互参数,因此在大规模模拟中存在一定的局限性。

数据驱动方法在群体行为模拟中的应用也逐渐增多。近年来,国内学者在 QSIM 算法的基础上开展了大量研究。例如,胡斌等人管理领域基于 QSIM 算法进行群体行为定性模拟,取得了一系列成果[59]。曹庆贵等人运用 QSIM 算法结合定量分析,对煤矿职工群体安全行为的定性模拟方法与技术体系进行了系统研究,进一步完善了煤矿安全管理的模拟预测框架[60][61]。这些研究不仅提升了群体行为模拟的准确性,还为煤矿企业提供了基于模拟分析的安全管理优化策略,如通过调整安全规章、优化安全培训内容等方式,提高群体安全行为的整体水平。然而, QSIM 方法在建模过程中依赖变量之间的关系设定,若参数选取不当,可能会影响模拟结果的可靠性。此外,数据驱动方法如人工智能、大数据分析在群体行为模拟中的应用仍处于探索阶段,当前大部分研究依赖历史数据进行建模,但缺乏实时数据融合机制,

导致预测的实时性和适应性较弱。

总体来看,国内外群体行为研究已逐步向系统建模、定性模拟和智能化分析方向发展。未来研究可进一步结合人工智能、大数据分析和深度学习技术,以构建更精准的群体行为预测模型,助力煤矿企业提升安全管理的科学性和精准度。例如,在系统动力学模型的基础上引入机器学习算法,以优化行为预测的参数设定,提高模拟的适应性和准确性;在多智能体建模过程中结合深度学习方法,使个体行为的决策模式更加智能化,减少人为设定规则的偏差;在 QSIM 方法的基础上增加数据驱动的动态更新机制,使模拟结果能够实时反映群体行为的最新趋势。此外,还可以通过计算机视觉和智能监测技术,对群体行为进行实时识别,并结合模拟结果形成精准的预警体系,为煤矿企业提供更具实用性的安全管理策略。例如,在神华神东煤矿,企业已经引入智能监测系统,通过高精度摄像头和人工智能算法,对井下职工的不安全行为(如未佩戴安全帽、违规操作等)进行实时检测,并结合历史数据建立预测模型。该系统的应用显著降低了违章操作的发生率,并提高了企业对安全隐患的预警能力。

此外,未来研究可以进一步探索多源数据融合技术,例如结合煤矿企业已有的监控数据、职工行为日志、历史事故记录以及传感器数据,构建动态安全行为预测模型。某些煤矿企业,如山东能源集团,已尝试使用贝叶斯网络对职工的违规风险进行动态评估,并结合深度学习优化模型预测能力。研究表明,将多种数据源融合的智能预警系统能够有效提高安全管理决策的精准度,减少安全管理的盲区。

同时,针对不同类型的群体行为模型,未来研究可考虑在模拟研究的基础上,结合实际煤矿企业的管理实践,优化现有的安全管理措施。例如,在系统动力学研究中,可以通过实地调研煤矿企业安全管理现状,调整模型参数,使模拟结果更贴近实际;在多智能体建模研究中,可以通过大规模职工行为数据分析优化个体决策规则,以增强模型的自适应性。在 QSIM 方法的应用中,可以结合大数据分析,实时调整模拟模型的输入变量,使其能够更准确地反映当前的安全环境和职工行为模式。

总体而言,煤矿群体行为模拟研究已逐步从传统的定性分析向数据驱动的智能化方向发展。未来,随着人工智能、深度学习和大数据分析技术的进一步成熟,煤矿企业可以利用更加精准和高效的群体行为预测模型,加强安全管理,提高安全预警的准确性和实时性,最终实现煤矿安全生产的智能化、精细化管理。

4. 安全行为预警研究现状

安全行为预警系统的核心目标是通过提前识别职工可能发生的不安全行为,向相关责任主体发出预警信号,以便采取有效的干预措施,从而降低事故发生的概率,实现煤矿安全管理的主动预控。预警系统的精准度和实时性直接决定了不安全行为识别的效果及后续干预措施的有效性。目前,国外对安全行为预警的研究主要围绕风险评估展开,并将其作为煤矿企业整体风险管理体系的一部分。例如,Ghasemi 等提出了一种基于矿井环境和作业风险分析的风险评估方法,该方法通过分析矿井通风、瓦斯浓度、地质构造等因素,评估潜在的安全隐患,并结合职工行为数据优化安全管理策略,从而降低井下作业的安全风险[62]。此外,Bhattacharjee 和 You 等研究人员结合无线传感器网络(WSNS)技术,开发了一套智能化矿井预警系统,该系统可对矿井环境和职工作业行为进行实时监测,自动识别可能存在的不安全因素,并通过数据反馈机制实现远程干预,提高了煤矿安全管理的智能化水平[63]。在安全行为预测建模方面,贝叶斯网络(BN)凭借其在不确定性推理中的优势,广泛应用于安全行为预测和事故预警领域。该模型可以通过历史数据对职工的安全行为状态进行动态评估,并计算不安全行为发生的概率,为煤矿管理者提供风险预防的决策依据[64]。

国内在煤矿安全行为预警方面的研究也取得了显著进展,主要集中在风险预控管理、模糊综合评判和智能预警系统等多个领域[65][66]。近年来,研究人员积极引入大数据分析、人工智能算法等技术,以

提升煤矿职工行为风险预测的精确度和安全管理效率。例如,模糊综合评判法被用于构建职工不安全行为的量化评估模型,通过多指标体系评估职工的操作行为,识别潜在的不安全行为,提高行为识别的精准度。与此同时,智能预警系统的研究逐步深化,部分煤矿企业已经将多种数据来源进行融合,如视频监控数据、环境传感器数据、历史事故分析等,以形成更为完整的安全行为风险评估框架。部分煤矿企业,如神华神东煤矿,已经在生产作业中应用智能监测系统,该系统利用计算机视觉技术和深度学习算法,实现对职工不安全行为的自动检测。例如,该企业在井下作业区域安装了智能摄像头,结合深度学习模型,对职工的行为模式进行识别,能够准确检测出职工未佩戴安全帽、违规操作设备等行为,并实时向安全管理人员发送警报,以便及时干预,防止事故发生。这种智能监测技术的应用,使得煤矿安全管理从“事后监管”向“事前预警”转变,提高了事故防控的主动性和精准度。

尽管当前安全行为预警系统在煤矿安全管理中发挥了重要作用,但仍然存在诸多挑战和局限性。一方面,预警系统的精准度依赖于数据质量,当前大多数煤矿企业尚未建立完善的职工行为数据采集和分析体系,导致预警模型在复杂环境中的适应性较弱。另一方面,预警系统的实时性有待进一步提升,目前部分智能监测系统的预警反馈仍然依赖人工干预,未能完全实现自动化、智能化的动态调整。此外,现有的预警系统在多源数据融合方面仍有不足,例如环境数据、行为数据和生理监测数据之间的关联性分析尚不充分,导致某些潜在的高风险行为难以被精准识别和预测。

未来研究可以结合人工智能、深度学习和多源数据融合技术,对现有行为预测模型进行优化,增强预警系统在复杂作业环境下的适应性和智能化干预能力。煤矿企业可以利用强化学习算法,使预警系统能够基于历史行为数据不断优化预测策略,提高不安全行为识别的准确率。此外,通过融合矿井环境数据、职工生理状态数据及作业行为数据,可构建更具适应性的智能预警系统,实现对煤矿职工安全行为的实时监测、精准预警和动态干预。某些先进煤矿企业已经尝试使用基于深度学习的行为识别系统,该系统能够实时分析职工的身体状态,如是否处于疲劳状态、是否存在危险操作倾向等,并结合风险评估模型,为职工提供个性化的安全管理建议。这种新型预警系统的引入,使得煤矿安全管理更加精准和高效,从而进一步降低井下作业事故的发生概率,推动煤矿行业向智能化、数据驱动型的安全管理模式转变。

5. 现有研究的不足

尽管现有研究在煤矿职工群体安全行为的分析、模拟和预警方面取得了重要进展,但仍存在诸多不足和挑战。首先,群体行为影响因素的研究尚不够全面,目前大多数研究侧重于个体心理、安全氛围和组织管理的影响,而对群体内部互动模式、从众效应、领导风格及社会网络结构等因素如何影响个体安全行为的作用机制探讨较少,难以全面揭示群体行为对个体决策和行为选择的深层次影响。其次,现有群体行为模拟方法的精准性和适用性仍存在局限性,尤其是在煤矿复杂作业环境下,现有模型难以动态适应不断变化的工作条件和群体特征,导致对群体行为的演变趋势预测能力较弱,难以精准捕捉个体之间的交互关系和潜在的行为偏差。

此外,安全行为预警系统的实时性和精准度仍需进一步提升。当前的预警系统主要依赖历史数据进行分析,对动态变化的作业环境适应性较差,难以应对井下作业环境的高度不确定性和复杂性。由于煤矿环境具有光照不足、粉尘干扰、空间受限等特点,智能监测与行为识别技术的应用仍面临挑战。例如,现有计算机视觉技术在井下作业环境中容易受到噪声干扰,导致职工行为识别的误判率较高,进而影响安全预警的有效性。同时,监测数据的深度分析能力仍待加强,现有预警系统往往缺乏对行为风险的综合评估和长期趋势预测,难以实现基于数据驱动的主动预警和精细化管理。

此外,个体安全行为与群体行为之间的协同管控机制尚未建立完善。目前大多数研究仅关注个体行

为的独立分析或群体层面的行为演化, 缺乏对个体与群体之间相互作用的系统性研究, 导致预警和干预措施难以形成完整的安全管理闭环。例如, 当个体的不安全行为发生时, 其是否会影响群体整体的安全决策, 或群体安全文化是否能够有效规避个体风险, 这些问题仍缺乏深入探讨。未来研究需进一步整合人工智能、行为模拟与群体动力学等方法, 提升群体行为建模的智能化程度, 优化安全行为的预测和干预机制。此外, 应探索基于多源数据融合的智能预警系统, 使其能够在复杂煤矿环境下实现更精准的安全行为监测, 提高预警系统的实时性、适应性和预测能力, 从而增强煤矿职工安全管理的科学性和实际应用价值。

6. 总结与展望

煤矿职工群体安全行为的研究对于提高煤矿安全管理水平、减少事故发生具有重要意义。近年来, 国内外学者围绕安全行为的影响因素、群体行为模拟方法及安全行为预警机制等方面展开了广泛研究, 并取得了诸多进展。研究表明, 个体心理状态、群体互动模式、安全文化环境及组织管理政策等因素都会影响职工的安全行为, 而群体行为模拟和安全预警技术的不断发展为煤矿安全管理提供了新的研究视角和技术支撑。然而, 现有研究仍存在群体行为作用机制不清晰、模拟方法适用性不足、预警系统实时性和精准度有限、智能监测受作业环境影响较大等问题, 制约了安全管理措施的有效性。

未来研究应进一步融合人工智能、深度学习、群体动力学和数据挖掘技术, 以提升群体行为分析的精准度和预测能力。一方面, 可以通过多智能体建模和深度学习技术优化群体行为模拟方法, 提高其在复杂作业环境下的适应性, 使得煤矿职工的行为演变预测更加精准。另一方面, 应加强安全行为预警系统的智能化发展, 结合计算机视觉、无线传感器网络和生理监测等技术, 提升对不安全行为的实时监测能力, 并通过多源数据融合优化安全风险评估体系。此外, 煤矿企业可以探索构建个体-群体协同管理机制, 通过群体安全文化的塑造与个体行为干预的结合, 建立更具针对性和自适应性的安全管理体系。

随着煤矿智能化和数字化管理的发展, 未来的安全管理模式将更加依赖于数据驱动的智能决策。研究人员应积极推动基于人工智能的安全行为预测与干预技术的应用, 提高预警系统的自动化程度和动态适应性。同时, 应加强理论与实践结合, 通过大规模现场实验和案例研究验证安全管理策略的有效性, 进一步推动群体安全行为研究在煤矿企业中的落地应用, 助力煤矿行业向更加安全、高效和智能化的方向发展。

基金项目

教育部人文社会科学研究青年基金项目(22YJC840038)。

参考文献

- [1] Yu, K., Cao, Q. and Zhou, L. (2019) Study on Qualitative Simulation Technology of Group Safety Behaviors and the Related Software Platform. *Computers & Industrial Engineering*, **127**, 1037-1055.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.040>
- [2] 陈宝智, 王金波, 主编. 安全管理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999.
- [3] Reason, J.T., Hollnagel, E. and Paries, J.S. (2006) Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents. Eurocontrol Experimental Center, 4-8.
- [4] Lenné, M.G., Salmon, P.M., Liu, C.C. and Trotter, M. (2012) A Systems Approach to Accident Causation in Mining: An Application of the HFACS Method. *Accident Analysis & Prevention*, **48**, 111-117.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.026>
- [5] Liu, R., Cheng, W., Yu, Y., Xu, Q., Jiang, A. and Lv, T. (2019) An Impacting Factors Analysis of Miners' Unsafe Acts Based on HFACS-CM and Sem. *Process Safety and Environmental Protection*, **122**, 221-231.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.12.007>

- [6] Svensson, Å. and Hydén, C. (2006) Estimating the Severity of Safety Related Behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, **38**, 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.10.009>
- [7] Siu, W., Ko, C., Wong, H., Gao, S., Shum, W., Lau, C.B., et al. (2016) Seropharmacological Study on Osteogenic Effects of Post-Absorption Ingredients of an Osteoprotective Herbal Formula. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, **23**, 25-32. <https://doi.org/10.1007/s11655-016-2474-5>
- [8] Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J.M. and Vázquez-Ordás, C.J. (2017) The Role of Safety Leadership and Working Conditions in Safety Performance in Process Industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **50**, 403-415. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.11.001>
- [9] Meyer, J.M., Kirk, A., Arch, J.J., Kelly, P.J. and Deacon, B.J. (2019) Beliefs about Safety Behaviours in the Prediction of Safety Behaviour Use. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy*, **47**, 631-644. <https://doi.org/10.1017/s1352465819000298>
- [10] Sawhney, G. and Cigularov, K.P. (2018) Examining Attitudes, Norms, and Control toward Safety Behaviors as Mediators in the Leadership-Safety Motivation Relationship. *Journal of Business and Psychology*, **34**, 237-256. <https://doi.org/10.1007/s10869-018-9538-9>
- [11] Bayram, M., Arpat, B. and Ozkan, Y. (2021) Safety Priority, Safety Rules, Safety Participation and Safety Behaviour: The Mediating Role of Safety Training. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, **28**, 2138-2148. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1959131>
- [12] Kirin, S., Sedmak, A., Li, W., Brzaković, M., Miljanović, I., Petrović, A., et al. (2021) Human Factor Risk Management Procedures Applied in the Case of Open Pit Mine. *Engineering Failure Analysis*, **126**, Article ID: 105456. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105456>
- [13] 曹庆仁, 宋学锋. 不安全行为研究的难点及方法[J]. 中国煤炭, 2006, 32(11): 62-63.
- [14] 林泽炎. 工业事故发生规律及其对策探讨[J]. 中国劳动科学, 1995(3): 15-17.
- [15] 郭彬彬. 煤矿人的不安全行为的影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2011.
- [16] 刘海滨, 梁振东. 基于 SEM 的不安全行为与其意向关系的研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(2): 23-29.
- [17] Li, Y., Wu, X., Luo, X., Gao, J. and Yin, W. (2019) Impact of Safety Attitude on the Safety Behavior of Coal Miners in China. *Sustainability*, **11**, Article 6382. <https://doi.org/10.3390/su11226382>
- [18] 曹庆仁, 李凯. 各种煤矿安全管理行为及其相互影响作用研究[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(1): 6-10.
- [19] 殷文韬, 傅贵, 公建祥. 煤矿工人违章操作的“认知-行为”失效机理与管理措施[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(10): 153-159.
- [20] 李磊, 李睿涵, 支梅, 王思维, 曹礼荣. 基于非正式组织视角的煤矿工人不安全行为致因研究[J]. 煤矿安全, 2022, 53(1): 252-256.
- [21] 陈静, 曹庆贵. 煤矿井下职工个体不安全行为心理致因机理[J]. 现代矿业, 2017, 577(5): 220-223, 229.
- [22] 张赛, 曹庆贵, 贾红果. EAP 体系对提升煤矿职工安全心理水平的应用研究[J]. 中国煤炭, 2016, 42(1): 10-15.
- [23] 傅贵, 殷文韬, 董继业, 等. 行为安全“2-4”模型及其在煤矿安全管理中的应用[J]. 煤炭学报, 2013, 38(7): 1123-1129.
- [24] 傅贵, 索晓, 王春雪. 24Model 的系统特性研究[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 263-272.
- [25] 吴大明, 傅贵. 基于事故致因“2-4”模型的新冠疫情事件分析及应用研究[J]. 安全与环境学报, 2022(1): 26.
- [26] 李海宏, 吴悠, 郝雅琦, 郭金山, 张江石. 基于 NVivo 的矿工“三违”行为致因因素研究[J]. 煤矿安全, 2020, 51(8): 256-259, 264.
- [27] 张江石, 赵群, 张文越. 安全管理实践与行为关系研究[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2279-2284.
- [28] 鞠春雷, 邓慧敏, 张永杰, 吴悠, 张江石, 郭金山. 基于 SCM 与 K-Means 聚类算法的矿工不安全动作分类特征研究[J]. 煤矿安全, 2021, 52(11): 261-264.
- [29] 张江石, 王帅. 基于演化博弈的矿工脱岗行为原因研究[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(2): 653-657.
- [30] 张江石, 傅贵, 郭芳, 李建霆. 安全氛围测量量表研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(6): 85-92.
- [31] 禹敏, 栗继祖. 基于心理健康中介作用的安全压力对矿工安全行为的影响[J]. 煤矿安全, 2019, 50(12): 253-256.
- [32] 栗继祖, 李红敏. 矿工心理资本对安全行为的影响[J]. 现代职业安全, 2019(7): 95-96.
- [33] 田水承, 匡秘姝, 丁洋. 风险偏好中介作用下矿工工作压力对不安全行为的影响[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(1): 132-138.
- [34] 田水承, 刘芬, 杨禄. 基于计划行为理论的矿工不安全行为研究[J]. 矿业安全与环保, 2014(1): 109-112.

- [35] 田水承, 孙璐瑶, 唐艺璇, 胥静, 陈小绳. 矿工不安全状态评价指标体系的构建与分析[J]. 西安科技大学学报, 2021, 41(3): 402-409.
- [36] Zhang, S., Shi, X. and Wu, C. (2017) Measuring the Effects of External Factor on Leadership Safety Behavior: Case Study of Mine Enterprises in China. *Safety Science*, **93**, 241-255. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.12.017>
- [37] Luo, T. and Wu, C. (2019) Safety Information Cognition: A New Methodology of Safety Science in Urgent Need to Be Established. *Journal of Cleaner Production*, **209**, 1182-1194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.311>
- [38] Wang, B., Wu, C. and Huang, L. (2017) Emotional Safety Culture: A New and Key Element of Safety Culture. *Process Safety Progress*, **37**, 134-139. <https://doi.org/10.1002/prs.11953>
- [39] 黄浪, 吴超, 马剑. 行为流视域下的个体不安全行为分类及责任认定[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(9): 20-26.
- [40] 王银峰, 吴超, 黄锐, 杨雅雯. 安全人性学视域下的个体安全行为模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(9): 1-6.
- [41] 张书莉, 吴超. 安全行为管理“五位一体”模型构建及应用[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(1): 143-148.
- [42] 赵鹏飞, 聂百胜. 煤矿企业从业人员安全激励模式研究[J]. 煤矿开采, 2012, 17(6): 95-97, 42.
- [43] 孙欣, 聂百胜, 赵冬花. 煤矿事故受困人员心理生理变化机理研究[J]. 中国煤炭, 2014, 40(9): 117-120, 129.
- [44] 李红霞, 樊恒子, 陈磊, 田方圆. 智慧矿山工人不安全行为影响因素模糊评价[J]. 矿业研究与开发, 2021, 41(1): 39-43.
- [45] Morris-Drake, A., Christensen, C., Kern, J.M. and Radford, A.N. (2019) Experimental Field Evidence That Out-Group Threats Influence Within-Group Behavior. *Behavioral Ecology*, **30**, 1425-1435. <https://doi.org/10.1093/beheco/arz095>
- [46] Vives, M., Cikara, M. and FeldmanHall, O. (2021) Following Your Group or Your Morals? The In-Group Promotes Immoral Behavior While the Out-Group Buffers against It. *Social Psychological and Personality Science*, **13**, 139-149. <https://doi.org/10.1177/19485506211001217>
- [47] Kivlighan, D.M., Gullo, S., Giordano, C., Di Blasi, M., Giannone, F. and Lo Coco, G. (2021) Group as a Social Microcosm: The Reciprocal Relationship between Intersession Intimate Behaviors and In-Session Intimate Behaviors. *Journal of Counseling Psychology*, **68**, 208-218. <https://doi.org/10.1037/cou0000495>
- [48] Turgut, Y. and Bozdog, C.E. (2021) Modeling Pedestrian Group Behavior in Crowd Evacuations. *Fire and Materials*, **46**, 420-442.
- [49] Kuipers, B. (1986) Qualitative Simulation. *Artificial Intelligence*, **29**, 289-338. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(86\)90073-1](https://doi.org/10.1016/0004-3702(86)90073-1)
- [50] Chen, X. and Dinavahi, V. (2021) Group Behavior Pattern Recognition Algorithm Based on Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks. *Scientific Programming*, **2021**, Article ID: 2934943. <https://doi.org/10.1155/2021/2934943>
- [51] Zhang, H., Zhang, X., Xie, J. and Wang, Y. (2020) Group Abnormal Behavior Detection Based on Fuzzy Clustering. 2020 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Harbin, 27-28 November 2020, 245-250. <https://doi.org/10.1109/icus50048.2020.9274820>
- [52] Bian, J., Li, L., Xia, X. and Fu, X. (2020) Effects of the Presence and Behavior of In-Group and Out-Group Strangers on Moral Hypocrisy. *Frontiers in Psychology*, **11**, Article 551625. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.551625>
- [53] 毛海峰. 企业安全管理群体行为与动力理论探讨[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(1): 45-49.
- [54] 张江石, 王帅, 郝红宇, 高雅莉, 郑玉莎. 安全文化示范企业的共性特质及示范路径研究[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(9): 154-158.
- [55] 田水承, 李广利, 李停军. 基于 SD 的矿工不安全行为干预模型仿真[J]. 煤矿安全, 2014, 45(8): 245-248.
- [56] 刘伟华, 曹庆贵, 王帅. 群体动力学在作业安全标准化推进中的应用探讨[J]. 工业安全与环保, 2016, 42(8): 47-49.
- [57] 黄姗姗, 曹庆贵, 王林林. 煤炭企业全面风险管理策略分析[J]. 中国矿业, 2017, 26(7): 7-11.
- [58] 迟鹏德, 曹庆贵. 基于未确知测度理论的矿工不安全行为风险评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(4): 120-125.
- [59] 胡斌. 群体行为的定性模拟原理与应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.
- [60] Cao, Q.G., Chen, P. and Zhang, G.Y. (2010) Research on Qualitative Simulation of Miners Groups' Safety. 2010 International Conference on Mine Hazards Prevention and Control, Qingdao, 15 October 2010, 603-609.
- [61] Cao, Q.G., Li, K., Liu, Y.J., Sun, Q.H. and Zhang, J. (2012) Risk Management and Workers' Safety Behavior Control in Coal Mine. *Safety Science*, **50**, 909-913. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.005>
- [62] Ghasemi, E., Ataei, M., Shahriar, K., Sereshki, F., Jalali, S.E. and Ramazanzadeh, A. (2012) Assessment of Roof Fall

-
- Risk during Retreat Mining in Room and Pillar Coal Mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **54**, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.05.025>
- [63] You, K., Yang, W. and Han, R. (2015) The Video Collaborative Localization of a Miner's Lamp Based on Wireless Multimedia Sensor Networks for Underground Coal Mines. *Sensors*, **15**, 25103-25122. <https://doi.org/10.3390/s151025103>
- [64] Mahdinia, M., Mohammadfam, I., Soltanzadeh, A., Aliabadi, M.M. and Aghaei, H. (2021) A Fuzzy Bayesian Network DEMATEL Model for Predicting Safety Behavior. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, **29**, 36-43. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.2015741>
- [65] 李月皎. 煤矿事故中不安全行为风险评估及 BBS 预控管理研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [66] 张亚静. 煤矿行为安全管理与预警系统的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2016.