

中文引用格式:王大龙,王冰山,曹睿,等. 煤矿安全管理行为交互机制与模型[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(5): 32-38.

英文引用格式:WANG Dalong, WANG Bingshan, CAO Rui, et al. Interaction mechanism and model of coal mine safety management behaviors[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(5): 32-38.

煤矿安全管理行为交互机制与模型^{*}

王大龙¹高级工程师, 王冰山², 曹睿¹, 王志刚¹, 吕红亮¹, 佟瑞鹏^{**3}教授

(1 华能云南滇东能源有限责任公司 矿业分公司, 云南 曲靖 655899;

2 华能煤炭技术研究有限公司, 北京 100070;

3 中国矿业大学(北京) 应急管理与安全工程学院, 北京 100083)

中图分类号:X936

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.05.1094

基金项目:华能集团总部科技基金资助(HNKJ22-H45);国家自然科学基金资助(52074302)。

【摘要】 为探究煤矿安全管理中各行为间的交互机制,将煤矿安全管理行为划分为组织安全行为和个体不安全行为,并将组织安全行为划分为4个维度和16个子维度,个体不安全行为划分为11类,进而探究组织安全行为各维度间的作用关系,构建煤矿安全管理行为的交互模型。结果表明:安全监督检查的原因度最高,安全事故管理的原因度最低,安全教育培训则起到重要的中介与桥梁作用;落实培训方案和提供充足有效的安全培训的中间度较高,表明其在组织安全行为子维度的相互影响关系中占据主导地位;未有效制止和纠正违规行为是发生频率最高的不安全行为;煤矿安全管理行为的交互模型包含驱动机制和反馈机制。

【关键词】 煤矿安全管理; 组织安全行为; 不安全行为; 交互机制; 交互模型; 驱动机制; 反馈机制

Interaction mechanism and model of coal mine safety management behaviors

WANG Dalong¹, WANG Bingshan², CAO Rui¹, WANG Zhigang¹,

LYU Hongliang¹, TONG Ruipeng³

(1 Mining Branch, Huaneng Yunnan Diandong Energy Co., Ltd., Qujing Yunnan 655899, China;

2 Huaneng Coal Technology Research Co., Ltd., Beijing 100070, China;

3 School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to explore the interaction mechanism among various behaviors in coal mine safety management, firstly, the coal mine safety management behaviors were divided into organizational safety behavior and individual unsafe behavior. Then, four dimensions and 16 sub-dimensions of organizational safety behaviors were identified, and 11 types of unsafe behavior were also identified. Finally, the interrelationships of different dimensions of organizational safety behaviors were explored, and the interaction model of coal mine safety management behavior was constructed. The results indicate that the highest degree of cause is safety supervision and inspection, and the lowest degree of cause is safety

* 文章编号:1003-3033(2025)05-0032-07; 收稿日期:2024-12-08; 修稿日期:2025-02-27

** 通信作者:佟瑞鹏(1977—),男,黑龙江穆棱人,博士,教授,主要从事行为安全管理、职业心理健康、环境风险评估等方面的研究。

E-mail: tongrp@cumt.edu.cn

accident management. Safety education and training plays an important role as an intermediary and a bridge. The higher centrality of implementing training programs and providing adequate and effective safety training indicates that they dominate the interactions of organizational safety behaviors. The most common unsafe behavior is the failure to effectively stop and correct violations. The interaction model of coal mine safety management behavior includes a driving mechanism and a feedback mechanism.

Keywords: coal mine safety management; organizational safety behavior; unsafe behavior; interaction mechanism; interaction model; driving mechanism; feedback mechanism

0 引言

近年来,我国煤炭安全生产态势总体趋于稳定,重特大事故的数量和死亡人数显著减少^[1]。然而,我国煤矿事故总量、百万吨死亡率仍较高,安全生产基础亟待加强。煤炭的安全生产工作依赖于管理人员控制潜在的风险因素,需要管理人员和一线工人的协同实施,以消除或最大程度降低风险。安全管理过程中的不安全行为是煤矿事故的主要诱因,其核心在于组织和个人行为链的失控^[2]。人的不安全行为往往会推动事故朝着损失最大化的方向发展^[3],特别是在煤矿这一高风险环境中,员工个体的不安全行为可能会增加事故发生的风险^[4]。因此,研究煤矿安全管理过程中组织行为和个人行为之间的关系,有助于提高煤矿企业的安全管理水平,降低事故率,对煤矿行业的健康发展具有重要意义。

众多学者在煤矿安全管理行为方面展开了广泛的研究,其中,梁振东^[5]构建了影响不安全行为意向和不安全行为的组织与环境因素结构方程模型。李乃文等^[6]将行为安全管理方法应用到煤矿行为管理中,通过有效控制矿工的不安全行为,提高了煤矿安全生产绩效。傅贵等^[7]提出了行为安全“2-4”模型(24 Model),并将其应用到煤矿安全管理中,通过行为控制预防煤矿事故的发生。佟瑞鹏等^[8]依据行为安全理论,从组织和个体层面划分煤矿安全管理行为,并提出了安全管理行为评估方法。ZHANG Yan 等^[9]指出,员工的不安全行为是煤矿事故的主要原因,煤矿行为安全管理体系对于保障煤矿安全生产至关重要。CHENG Lianhua 等^[10]基于复杂自适应性理论提出了一种煤矿系统安全评估与管理方法,并指出安全管理水平和操作人员的行为安全水平对系统安全影响最大。此外,社会心理安全氛围也会对安全行为产生影响,煤炭行业管理者应重视社会心理安全氛围建设,改善煤矿安全管理行为^[11]。当前研究侧重于煤矿安全管理行为的分

类、评估以及独立变量分析^[12-13],忽略了煤矿组织安全行为各维度间的作用关系及煤矿安全管理行为间的交互机制。

因此,笔者拟通过事故分析法和专家调查法辨识煤矿组织安全行为和个体不安全行为,探究组织安全行为各维度间的影响关系,并从组织-群体-个体的视角构建煤矿安全管理行为交互模型,揭示组织行为和个体行为的交互机制,以期实现煤矿安全管理的创新与突破,为煤矿企业的行为安全管理提供理论指导。

1 煤矿安全管理行为分析

基于煤矿现场安全管理的实践经验可知:煤矿安全管理的行为涉及组织层面和个人层面。组织行为是个体行为在组织环境中相互作用形成的,是成员间相互影响和互动的综合体现。个人行为包括管理层的决策行为和一线工人的日常作业行为。

1.1 组织安全行为维度划分

首先,以2个矿业集团公司下设的9个煤矿项目部为研究对象,通过现场访谈、问卷调查等方式,统计分析煤矿安全管理行为。然后,结合现有文献^[14]对我国煤矿重特大事故中不安全行为的分析,深入剖析2019—2022年中国煤矿重大事故报告,整理相关的煤矿安全管理行为数据,并据此提炼出1份煤矿组织安全行为清单。在此基础上,邀请9位专家评估该清单,其中6位是煤矿企业的中高级管理人员,3位是煤矿安全管理领域的研究者。最终,将煤矿组织安全行为划分为4个维度及16个子维度,见表1。

表1 煤矿组织安全行为

Table 1 Organizational safety behaviors in coal mines		
维度	子维度	编号
安全教育培训(PX)	制定合适的培训计划	01
	落实培训方案	02
	提供充足有效的安全培训	03

续表 1

维度	子维度	编号
安全资金投入 (TR)	配置相关设施和装备	O4
	合理布置工艺设备及作业环境	O5
	配备个体防护设备设施及检测设备	O6
安全事故管理 (SG)	安全事故汇报	O7
	制定应急方案	O8
	采取恰当的应急措施	O9
	布置应急逃生设施	O10
	改善应急沟通渠道	O11
安全监督检查 (JC)	有效监督检查设备及环境安全状况	O12
	有效监管危险物品	O13
	有效监督规章制度的落实效果	O14
	有效监督或参与隐患排查过程	O15
	有效监督作业记录情况	O16

1.2 个体不安全行为类别划分

考虑到煤矿安全管理的特点^[15],将不安全行为分为服从性和参与性。服从性不安全行为指员工未执行必要的安全规章与规程,如违规操作;参与性不安全行为则体现为员工在安全改进活动中的不积极,如缺席会议、缺乏沟通等。

基于现有文献^[14]中煤矿重特大事故中的不安全行为,结合企业现场调研时不安全行为的台账记录,并综合考虑煤矿安全领域专家的意见,整理获得11类煤矿员工的不安全行为,并统计出这些行为发生的频次,见表2。

表 3 组织安全行为子维度间的直接影响矩阵

Table 3 Direct relation matrix of sub-dimensions organizational safety behaviors

子维度	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15	O16
O1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
O2	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O3	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2
O4	0	2	1	0	1	1	3	2	1	2	2	2	1	1	2	1
O5	0	2	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0
O6	1	2	0	0	0	0	0	3	2	2	0	1	0	0	2	0
O7	1	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
O8	3	2	0	1	2	2	2	0	2	3	1	0	0	0	0	0
O9	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O10	0	2	2	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0
O11	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	0	1	1	1	1	1
O12	0	0	2	2	2	2	0	2	2	2	1	0	0	2	2	0
O13	0	0	2	2	2	2	0	2	2	2	1	1	0	2	2	0
O14	1	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	2	2	0	2	2
O15	0	0	2	2	2	2	0	2	2	1	2	2	2	2	0	0
O16	0	0	2	1	2	2	0	2	1	2	2	2	2	2	2	0

表 2 煤矿不安全行为的类别

Table 2 List of unsafe behaviors in coal mines

类别	不安全行为	编号	频次
服从性不安全行为	作业程序的遗漏	U1	68
	未正确使用工具、设备及材料	U2	71
	未经授权作业	U3	27
	经授权的违章操作或行动	U4	51
	进入危险区域或冒险作业	U5	32
参与性不安全行为	未参与更新、修订规程资料	U6	12
	忽视或未及时发现事故隐患	U7	64
	未有效制止和纠正违规行为	U8	96
	未及时纠正隐蔽违规作业的行为	U9	31
	未检查、清理作业环境	U10	3
	未有效维护设备、设施	U11	16

2 组织安全行为的相互影响作用

2.1 相互影响关系分析数据获取

文中采用决策试验和评价试验 (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL) 法分析组织安全行为维度间的相互影响关系,该方法能够通过收集群体知识来分析系统因素之间相互影响关系,并借助因果关系图将这种结构可视化表达^[16],基本步骤如下^[17]:

1) 构建因素的初始直接影响矩阵 A (表3)。基于德尔菲法,邀请4位煤矿安全领域的专家评估组织安全行为各子维度间的直接影响,对于任意

2 个维度之间的相互影响程度分别用 0、1、2、3、4 来衡量,0 为无相互作用,1~4 为影响作用逐渐增强。

2) 将初始的直接影响矩阵 A 规范化处理,得到规范化矩阵 U :

$$U = \frac{A}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

(1)

式中: i 为矩阵 A 的第 i 行; j 为矩阵 A 的第 j 列; a_{ij} 为矩阵 A 第 i 行第 j 列的元素。

3) 计算综合影响矩阵 M :

$$M = U (I - U)^{-1}$$

(2)

4) 根据综合影响矩阵 M 计算各因素的影响度 f_i 和被影响度 g_i ,影响度 f_i 是 M 中第 i 行之和,表征因素 i 对其他因素的影响作用;被影响度 g_i 是 M 中第 i 列之和,表征其他因素对 i 的影响作用。中心度 e_i 为影响度与被影响度之和,原因度 v_i 为影响度与

被影响度之差:

$$e_i = f_i + g_i$$

(3)

$$v_i = f_i - g_i$$

(4)

2.2 组织安全行为相互影响关系阐释

由式(1)—式(4),利用 Matlab 软件计算得到组织安全行为 16 个子维度的影响度和被影响度、中心度和原因度,如图 1 所示。中心度可以反映该因素的重要程度,中心度越大表明该因素的地位越高。原因度则反映该因素的属性,当其为正值时,表明该因素属性为原因因素;当其为负值时,表明该因素属性为结果因素。由图 1 可知:O2、O3 和 O14 的中心度较高,表明对组织安全行为其他子维度有显著的影响作用。反之,O1 和 O7 的中心度较低,对其他子维度的影响效果不显著。O5—O11 这 7 个子维度为结果因素,O9 和 O10 的原因度最低,表明受其他子维度影响最大。

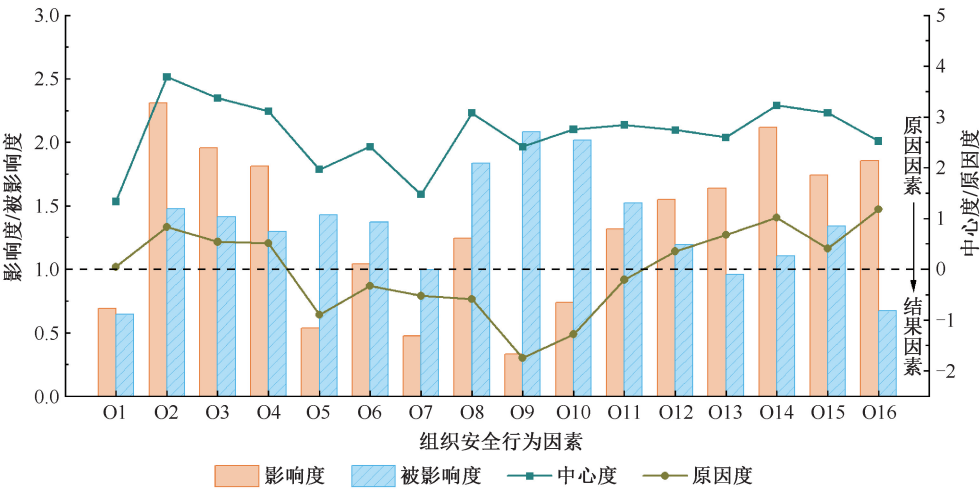


图 1 中心度和原因度变化趋势

Fig. 1 Trends in centrality and causality

通过加权平均的方法处理组织安全行为各维度间的相互作用数据,计算得到 PX 等 4 个组织安全行为维度之间的影响度、被影响度、中心度和原因度,具体结果见表 4。

表 4 组织安全行为不同维度之间的相互影响关系
Table 4 Interaction between different dimensions of organizational safety behavior

维度	影响度	被影响度	中心度	原因度
PX	1.65	1.18	2.83	0.47
TR	1.13	1.37	2.50	-0.24
SG	0.82	1.69	2.51	-0.87
JC	1.78	1.05	2.84	0.73

其中,JC 和 PX 这 2 类工作在煤矿安全管理中的影响度都很大,表明这 2 类组织安全行为在安全管理中占据核心地位。JC 的原因度最高,表明 JC 对其他组织安全行为起到推动和促进作用。SG 的原因度最低,表明 SG 工作受到其他组织安全行为的影响较大。TR 的中心度最小,表明它对其他组织安全行为的影响作用较小,并受制于 JC 与 PX 的双重影响。PX 的影响度小于 JC,表明 PX 显著地促进了多项安全管理活动的协同与衔接,表现出重要的中介与桥梁作用,有效加强了安全管理体系的连贯性与实效性。

3 煤矿安全管理行为交互机制与交互模型

3.1 群体安全行为分析

煤矿安全生产过程中的员工除了以组织和个体形式存在,还以群体的形式存在。煤矿员工个体通常以最常见的生产班组等任务型群体的形式完成日常工作,其心理状态与行为方式容易受到群体的影响。处于群体中的煤矿工人的不安全行为主要是群体成员在生产过程中产生的。群体行为是群体中相互影响、相互作用的个体组成的集合体所进行的安全生产活动。群体行为源于群体中具有复杂特征的个体行为及其不同个体之间的相互作用。

从群体的视角来分析组织行为和个体行为之间的关系可知:组织、群体、个体这三者之间密不可分,共同构成了一个集合体,组织由多个大小不同的群体组成,群体由多个不同属性的个体组成,是介于组织与个体之间的人群组合体。基于组织行为学理论,煤矿组织安全行为的实施能够影响群体环境,进而影响群体安全行为,而群体环境能够影响个体的心理状态,进而影响个体的行为意向和实际行为,个体行为结果又通过动态的群体环境反馈到组织安全行为的变化。

文中引入群体动力理论研究群体行为,该理论从动态与系统的视角出发,揭示群体中各要素间的交互作用以及群体成员间关系的动态变化与协调机制,其中核心要素包括群体规范、群体沟通、群体压力、群体激励等^[18-19]。群体动力通过影响个体的意识、动机等心理机制,进而引导个体行为意向与实践,强烈的行为意向预示着更高的行为实施可能性,而群体环境显著地调节了这种个体行为模式。

鉴于群体动力要素间的潜在关联性,针对煤矿工人群体,经过专家探讨最终选取群体安全规范、群体沟通和群体安全激励为核心要素,深入剖析群体、个体及组织间行为的交互机制。群体安全规范是指群体内与安全相关的行为标准和行为规则,能够约束和指导员工个体的行为,涉及企业的各种安全规章制度以及操作规程等,确保了安全责任的有效执行。作为正式与非正式规范的集合,群体安全规范不仅界定了安全行为标准,还引导成员行为向规范化靠拢。群体沟通则是信息流通与共识形成的基石,涵盖管理、上下级及同事间的多维度交流,确保群体及时响应环境变化,协同制定安全目标与决策,

优化生产流程控制。群体安全激励机制旨在通过正向强化个体安全行为,激发群体成员的内生动力与积极性,促进了安全理念的深入人心与行为模式的持续优化,有效遏制不安全行为。煤矿企业普遍采用安全奖惩制度作为激励的核心手段,通过明确的奖励与适度的惩罚措施,引导员工自觉遵循安全规范,增强岗位安全责任感。

3.2 组织行为和个体行为影响关系分析

由 24 Model 可知:安全文化、管理体系、安全能力、安全动作 4 个因素决定了组织的一切事项和运转^[7]。安全文化和管理体系是组织整体的性质,安全能力和安全动作是组织成员的个体性质。由于组织的 4 个因素间复杂的、非线性的作用关系,组织层面的行为和个体层面的行为组成了行为演化系统。

结合 24 Model 的系统性观点,煤矿组织安全行为作为组织层面的行为,服从性和参与性这 2 类不安全行为作为个体层面的行为,群体行为作为个体行为相互作用的结果,在组织行为和个体行为间发挥着中介作用。

3.3 煤矿安全管理行为交互模型构建

经由上述分析,从组织-群体-个体的视角构建煤矿安全管理行为交互模型,深入剖析组织、群体及个体行为间的交互机制,该模型包括驱动机制和反馈机制 2 个过程。驱动机制反映了组织安全行为能够影响群体安全行为和个体的不安全行为意向,进而影响个体的不安全行为。同时,个体不安全行为也能影响群体安全行为,进而影响组织安全行为,这个过程称为反馈机制,如图 2 所示。

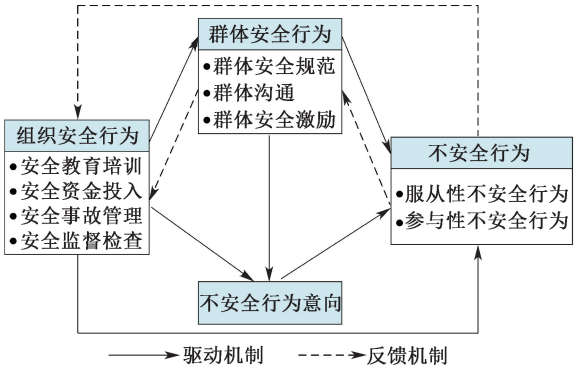


图 2 煤矿安全管理行为交互模型

Fig. 2 Interaction model of coal mine safety management behavior

3.4 驱动机制与反馈机制分析

煤矿安全管理行为交互模型反映了组织-群体

一个体这三者之间的动态变化关系。基于现有的理论研究,结合煤矿企业的现场调研,验证该模型的科学性和适应性。

3.4.1 驱动机制分析

驱动机制是煤矿员工个体行为发生的动力机制,揭示了煤矿员工在组织安全行为的影响下个体的行为决策过程。组织安全行为能够影响群体环境进而影响群体安全行为,同时也是刺激个体行为发生的环境变量。由于煤矿工作环境的复杂性和工作性质的特殊性,煤矿工人在日常安全生产中必然与其他同事进行分工协作,能够直观感受到群体内部动力要素,并及时作出行为反应。根据群体动力理论和社会交换理论,个体在群体环境中受群体行为的影响,导致矿工个体的心理状态发生变化,群体行为能够影响员工的不安全行为意向,进而影响不安全行为。组织安全行为除了能够作用于群体,还能作用于个体,能够影响个体的不安全行为意向,进而影响个体不安全行为。

3.4.2 反馈机制分析

反馈机制是个体实施不安全行为能够通过影响群体环境的动态变化,进而影响群体安全行为和组织安全行为的变化。根据三元交互理论,个体行为能够影响环境,而群体动力要素是刺激个体行为产生的环境变量,因此,个体行为能够影响群体环境,进而影响群体行为,同时也说明个体行为结果对群体环境具有反馈效应。基于社会互动理论,当个体表现出不安全行为时,在与他人进行社会互动的情景过程中能够通过言语、表情、动作等一系列方式传

递不安全行为信息,煤矿员工则可能跟随群体中大多数成员实施不安全行为,表现出群体性特征,从而导致群体安全行为状态的变化。组织行为是通过组织中的个体行为或群体行为来实现,个体行为能够影响组织行为,个体不安全行为能够影响组织安全行为,而群体成员所表现出来的群体安全行为能够对组织安全行为产生影响,促进组织安全行为发生转变。

4 结 论

1) 煤矿组织安全行为的4个维度中,JC的原因度最高,SG的原因度最低,PX起到重要的中介与桥梁作用。组织安全行为的16个子维度中,O2、O3和O14的中心度较高,对其他子维度的影响显著。O9和O10的原因度最低,受其他子维度的影响最大。煤矿员工的11类不安全行为中,发生频次最高的是U8,达到96次,企业应采取重点预防和管控。

2) 煤矿安全管理行为的交互机制包含驱动机制和反馈机制。组织安全行为通过影响群体安全行为和个体的不安全行为意向,进而影响个体的不安全行为。个体不安全行为通过影响群体安全行为,进而影响组织安全行为。

3) 在下一步的研究中可以深入挖掘煤矿组织安全行为的多维度影响因素,如安全文化、安全责任落实等,进一步丰富模型内涵。同时,还可以探究其他群体动力要素(如群体压力、群体凝聚力)对个体行为的影响,借助实证分析与模拟仿真技术,进一步探究各要素间的影响关系。

参 考 文 献

- [1] 唐珏,王俊.“双碳”目标下煤炭发展及对策建议[J].中国矿业,2023,32(9):22-31.
TANG Jue, WANG Jun. Coal development and countermeasures under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(9): 22-31.
- [2] 傅贵,张苏,董继业,等.行为安全的理论实质与效果讨论[J].中国安全科学学报,2013,23(3):150-154.
FU Gui, ZHANG Su, DONG Jiye, et al. Discussions on theoretical understanding and effects of behavior based safety[J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(3): 150-154.
- [3] WANG Dongdong, YANG Guoliang, HAN Jixiang, et al. Quantitative assessment of human error of emergency behavior for hazardous chemical spills in chemical parks[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2024, 189(9): 930-949.
- [4] 王露露,尘兴邦,袁嘉淙,等.职业心理学视域下矿工不安全行为研究综述[J].中国安全科学学报,2023,33(1):48-55.
WANG Lulu, CHEN Xingbang, YUAN Jiacong, et al. Review of research on miners' unsafe behaviors in perspective of occupational psychology[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(1): 48-55.
- [5] 梁振东.组织及环境因素对员工不安全行为影响的SEM研究[J].中国安全科学学报,2012,22(11):16-22.

- LIANG Zhendong. SEM-based study on effects of organizational and environmental factors on workers' unsafe behavior[J]. China Safety Science Journal, 2012, 22(11): 16–22.
- [6] 李乃文, 季大奖. 行为安全管理在煤矿行为管理中的应用研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(12): 115–121.
- LI Naiwen, JI Dajiang. Application study on behavior-based safety in coal mine behavior management[J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(12): 115–121.
- [7] 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): 1 123–1 129.
- FU Gui, YIN Wentao, DONG Jiye, et al. Behavior-based accident causation: the "2–4" model and its safety implications in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(7): 1 123–1 129.
- [8] 佟瑞鹏, 李春旭, 李阳. 煤矿安全管理行为评估方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(11): 129–133.
- TONG Ruipeng, LI Chunxu, LI Yang. Research on method for assessing safety management behavior in coal mine[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(11): 129–133.
- [9] ZHANG Yan, WANG Sixia, YAO Jianting, et al. The impact of behavior safety management system on coal mine work safety: a system dynamics model of quadripartite evolutionary game[J]. Resources Policy, 2023, 82: DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103497.
- [10] CHENG Lianhua, GUO Huimin, LIN Haifei. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2021, 147: 1 193–1 200.
- [11] YU Min, QIN Wenjing, LI Jizu. The influence of psychosocial safety climate on miners' safety behavior: a cross-level research[J]. Safety Science, 2022, 150: DOI: 10.1016/j.ssci.2022.105719.
- [12] 李红霞, 徐浩冉, 田水承. 基于随机森林的矿工不安全行为预测预警模型[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(12): 10–18.
- LI Hongxia, XU Haoran, TIAN Shuicheng. A prediction and early warning model of miners' unsafe behavior based on random forest[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(12): 10–18.
- [13] 雷咸锐, 薛跃强, 薛黎明, 等. 基于云模型的煤矿安全风险四色图动态管控系统研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(3): 76–83.
- LEI Xianrui, XUE Yueqiang, XUE Liming, et al. Coal mine safety risk four-color map dynamic management and control system based on cloud model[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(3): 76–83.
- [14] 付净. 煤矿安全专业人员不安全动作的影响机制研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2021.
- FU Jing. Research on the influence mechanism of unsafe acts of coal mine safety professionals[D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2021.
- [15] 吕会庆, 朱金梅, 鞠春雷, 等. 基于行为安全理论的矿工不安全动作管理 APP 研究[J]. 中国矿业, 2021, 30(9): 97–102.
- LYU Huiqing, ZHU Jinmei, JU Chunlei, et al. Study on the miner unsafe acts management APP based on behavior-based safety theory[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(9): 97–102.
- [16] ZHOU Xinyi, SHI Yangqiuyan, DENG Xinyang, et al. D-DEMATEL: a new method to identify critical success factors in emergency management[J]. Safety Science, 2017, 91: 93–104.
- [17] 叶贵, 李学征, 向卿婷, 等. 认知视角下建筑工人不安全行为文献计量研究[J]. 建设管理研究, 2021(1): 124–138.
- YE Gui, LI Xuezheng, XIANG Qingting, et al. Bibliometric study on unsafe behavior of construction workers from the perspective of cognition[J]. Construction Management Research, 2021(1): 124–138.
- [18] WANG Linlin, CAO Qinggui, HAN Chenggong, et al. Group dynamics analysis and the correction of coal miners' unsafe behaviors[J]. Archives of Environmental & Occupational Health, 2021, 76(4): 188–209.
- [19] YU Kai, CAO Qinggui, ZHOU Lujie. Study on qualitative simulation technology of group safety behaviors and the related software platform[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 127: 1 037–1 055.

作者简介: 王太龙 (1982—),男,内蒙古赤峰人,硕士,高级工程师,主要从事煤矿安全技术与管理等方面的工作。E-mail: dl_wang@chns.com.cn。