

中文引用格式:佟瑞鹏,王乾,安宇,等. 基于灰犀牛理论的安全生产三道防线内涵解析与体系构建[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(9): 52-59.

英文引用格式:TONG Ruipeng, WANG Qian, AN Yu, et al. Connotation analysis and system construction of three lines of defense for work safety based on grey rhino theory[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(9): 52-59.

基于灰犀牛理论的安全生产三道防线 内涵解析与体系构建*

佟瑞鹏¹教授, 王乾¹, 安宇^{**1}研究员, 赵晶荣¹, 常维纯²高级工程师, 苟泽念²

(1 中国矿业大学(北京)应急管理与安全工程学院, 北京 100083;

2 国家管网集团科学技术研究总院分公司, 天津 300457)

中图分类号:X913.4

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.09.1334

基金项目: 国家自然科学基金资助(52074302); 国家管网集团科学技术研究总院分公司科研项目(GWHT20250000101)。

【摘要】 为探析灰犀牛风险在安全生产领域的理论贡献和应用价值, 融合灰犀牛理论内涵与外延, 开展安全生产三道防线研究的多元视角融合和思维范式突破。遵循概念整合路径分析、情景演化链条推演和三道防线体系构建3部分内容构建安全生产灰犀牛内涵解析与防控体系。结果表明: 灰犀牛风险与安全生产危险源、隐患、事故有极为相似的认知解读属性和概念映射关系, 安全生产灰犀牛由主观建构和客观实在风险因素共同影响风险评估与管控维度; 安全生产事故情景演化链条是由“系统能量—诱发因素—承灾性能”情景构成要素和“累积—波动—突变”风险演化阶段组成; 从“认知域—预防域—控制域”防控区域和“防护层—治理层—应急层”层级结构构建安全生产三道防线, 为安全生产管理研究提供灰犀牛理论和风险隐喻方法指导。

【关键词】 灰犀牛理论; 安全生产; 三道防线; 内涵解析; 防控体系

Connotation analysis and system construction of three lines of defense for work safety based on grey rhino theory

TONG Ruipeng¹, WANG Qian¹, AN Yu¹, ZHAO Jingrong¹,
CHANG Weichun², GOU Zenian²

(1 School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 2 PipeChina Research Institute of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: In order to explore the theoretical contribution and application value of gray rhino risk in the field of work safety. The connotation and extension of gray rhino theory were integrated to carry out the multi-perspective integration and thinking paradigm breakthrough of the three lines of defense research on work safety. The analysis of the connotation of work safety of gray rhino and the construction of prevention and control system were carried out according to the three parts of concept integration path analysis,

* 文章编号:1003-3033(2025)09-0052-08; 收稿日期:2025-05-17; 修稿日期:2025-07-12

** 通信作者:安宇(1976—),男,黑龙江海伦人,博士,研究员,主要从事行为安全、安全教育等方面的研究。E-mail: anyu@cumtb.edu.cn。

scenario evolution chain deduction and three lines of defense system construction. The results show that gray rhino risk has very similar cognitive interpretation attributes and conceptual mapping relationships with work safety hazard, hidden danger and accident. The work safety of the gray rhino is influenced by both subjective construction and objective real risk factors. The accident scenario evolution chain is composed of the scenario components of "system energy-inducing-disaster-bearing performance" and the risk evolution stages of "accumulation-fluctuation-mutation". Three lines of defense for work safety are constructed from the prevention and control domain of "cognitive domain-prevention domain-control domain" and the hierarchy structure of "protection layer-governance layer-emergency layer". It provides the gray rhino theory and the risk metaphor method guidance for the study of work safety management.

Keywords: gray rhino theory; work safety; three lines of defense; scenario evolution; control and prevention system

0 引言

随着科技进步和产业变革的快速发展,安全生产面临各类风险交织叠加和事故隐患常治常存的复杂形势,安全生产事关国家发展、社会稳定和人民福祉,亟需运用新的理论视角与方法逻辑构建安全生产防控体系。灰犀牛理论是风险隐喻思想的多维延展,亦是政策制定者整合主观认知与客观风险开展安全管理工作的理论指导。通过灰犀牛理论的内涵解析,对比研究灰犀牛的分类体系、核心要素与安全生产领域的危险源、隐患、事故的概念属性和结构逻辑,进而,开展灰犀牛理论视域下安全生产的风险预防、隐患消除和事故遏制研究,对于拓展安全管理原有研究范围,推进隐喻理论创新,实现安全生产治理体系和治理能力现代化具有重要意义。

学者在矿山、化工、城建等安全生产行业主要依托事故致因理论与安全管理理论开展了危险源辨识、风险评估、事故调查等一系列研究,全面赋能提升安全生产管理水平。在安全4.0时代,安全生产呈现风险不确定性、多灾种耦合性、系统复杂性的特征^[1]。安全生产管理模式的发展遵循理论模型、生产实践与技术应用为核心内容的“三螺旋”演进趋势^[2],管理理念也从事故结果的、事后的、被动的管理转变为风险全过程的、事前的、主动的管理^[3]。现有研究主要聚焦“风险管控、隐患排查、事故应急”安全生产链条的单一维度,亦或探讨双重预防机制的相互作用关系、构建运行效能评价的指标体系和研究智能化信息系统的应用^[4]。从安全生产风险梯度控制、闭环管理角度出发,应重点筑牢风险分级管控、隐患排查治理和险兆上报管理3道防火墙。用系统性思维将“危险源—隐患—事故”信息充分互连,知识高效衔接,形成安全与应急一体化管

理模式^[5]。风险隐喻是促进安全生产发展和辅助风险管理决策的前沿科学理论,美国学者 WUCKER 提出灰犀牛概念以来,尚且缺少灰犀牛深层内核的挖掘和安全生产领域的应用^[6]。仅有研究通过“灰犀牛式危机”演化机制框架分析天津港爆炸事故案例的组织失误^[7],未将灰犀牛理论与安全学科有效整合并提供新的安全管理研究范式。

鉴于此,笔者拟从灰犀牛理论视域出发,借助概念整合框架分析灰犀牛分类体系与安全生产危险源、隐患、事故的对应关系和转化逻辑。结合情景演化理论和安全管理模型,厘清安全生产全过程的情景要素,探析风险演化路径,构建安全生产3阶段梯度防控体系,以期推进安全管理理论的学理性研究和科普化发展,更好地统筹高水平安全和高质量生产。

1 安全生产三道防线内涵解析

1.1 灰犀牛理论内涵解析

灰犀牛作为风险隐喻的重要组成部分和风险动物园的经典图谱构成,其相关名词有灰犀牛风险、灰犀牛事件与灰犀牛式危机等,通常比喻发生概率大、后果严重,可预测的风险或事件。灰犀牛理论是在汲取无察觉危机“结构复杂性、空间广泛性、潜伏累积性与爆发突然性”特征、“累积—波动—突变”风险演化路径以及“感知—研判—决策—行动”风险管理过程等知识框架的基础上提出并发展而成,融合风险本体要素和认知结构的综合风险分析范式。灰犀牛风险从时间视角、空间视角、主体视角和认知维、状态维、特征维阐释其理论内涵和分类体系,划分为隐藏灰犀牛、静止灰犀牛和冲撞灰犀牛3种类型^[8]。其中,隐藏灰犀牛是指客观存在,受限于技术手段和知识水平无法有效解决的潜在风险;静

止灰犀牛是指成因复杂、后果可预知的、短期内不会对风险承受主体造成影响的风险;冲撞灰犀牛是指突然爆发、系统能量紊乱、亟需采取措施管控的风险。

1.2 安全生产领域灰犀牛概念整合路径

生产力的快速发展将自反性地促使复杂风险因素的聚合,安全生产领域的存量风险与增量风险导致事故的潜伏性、突发性和耦合性增加,从风险属性、事故机制和认知结构上与灰犀牛理论内涵高度关联。概念整合理论研究心理空间的合成过程,包含输入空间 I、输入空间 II、类属空间和合成空间的概念整合网络,并认知建构意象隐喻的源域与目的域。通过深入剖析“危险源—隐患—事故”与“隐藏—静止—冲撞”灰犀牛的对应关系,将概念整合路径分为认知解读、映射联通和概念整合 3 个阶段,如图 1 所示。

1) 认知解读阶段。认知解读阶段通过解构

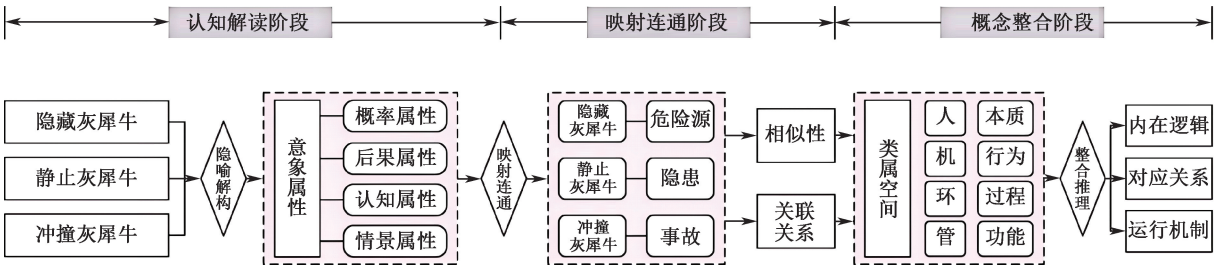


图 1 “危险源—隐患—事故”灰犀牛的概念整合路径

Fig. 1 Conceptual integration path of “hazard-hidden danger-accident” gray rhino

2) 映射联通阶段。在映射联通阶段探析灰犀牛与安全生产概念跨空间映射的交互作用和连通路径,从隐喻属性、认知结构和聚类分析等多维层次找寻概念映射源域和目的域的相似性和关联关系。在安全生产领域中,危险源是可能导致伤害和健康损害的来源,与隐藏灰犀牛的相似属性有“相对安全状态”“客观存在”“无法消除”“能量载体”等,危险源辨识就是识别、筛查安全生产隐藏灰犀牛并形成风险清单的过程;隐患是违反法律法规、规章标准或未遵守安全生产管理规定可能导致事故发生的不安全行为或状态,与静止灰犀牛的相似属性有“相对危险状态”“主观认知影响”“可消除的”“事故发生先兆”等,隐患排查治理就是检查、整改安全生产静止灰犀牛,将其转变为风险可接受状态;事故是在生产经营活动中造成人员伤亡或者直接经济损失的意外事件,与冲撞灰犀牛的相似属性有“危险状态”“严重后果”“应急管理”“能量爆发”等,事故应急管理就是应

对、处置安全生产冲撞灰犀牛,减少事故带来的冲击。3 类灰犀牛隐喻,归纳灰犀牛动物意象的风险属性,形成灰犀牛认知域到安全生产认知域的概念映射。在风险量化研究中,发生概率和严重程度是风险评估的基本要素,随着复杂系统内风险不确定性的增加,知识量影响着人的认知不确定性程度,不同情景决定风险演化态势的复杂性成因。因此灰犀牛具有概率属性、后果属性、认知属性与情景属性。概率属性和后果属性取决于风险本身性质和主体防控能力,隐藏灰犀牛、静止灰犀牛和冲撞灰犀牛的存在状态、蕴含能量和触发机制导致风险发生概率由小到大以及后果逐渐严重。认知属性强调知识水平、风险态度对客观风险的感受和认知,风险客观实在性和主观感知性的有效整合是灰犀牛隐喻的特有属性。情景属性是指在不同领域和环境下灰犀牛风险特征存在特异性,风险概率、后果和认知根据矿山、化工等行业和操作层、管理层、决策层等岗位的不同而有所差异。

对、处置安全生产冲撞灰犀牛,减少事故带来的冲击。

3) 概念整合阶段。概念整合阶段是凝练类属空间的多元要素,完成信息、知识整合的过程。“人—机—环—管”是灰犀牛理论和安全生产领域的组成维度,其中,人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全条件和管理缺陷导致风险叠加和事故发生。本质安全、行为安全、过程安全和功能安全是安全生产管理研究的追求目标。基于隐藏灰犀牛、静止灰犀牛和冲撞灰犀牛输入空间 I 和危险源、隐患和事故输入空间 II 的映射联通,将两者复杂性、多样性等共有特征,概率、后果、认知和情景共同属性以及风险评估、演化态势等共享机制归纳形成类属空间。最终将灰犀牛意象隐喻和安全生产领域相关概念整合推理构建合成空间,如图 2 所示。借鉴概念隐喻和风险认知理论构建涵盖内在逻辑、对应关系与运行机制的安全生产灰犀牛概念框架,为安全生产风险管理提供新的研究范式。

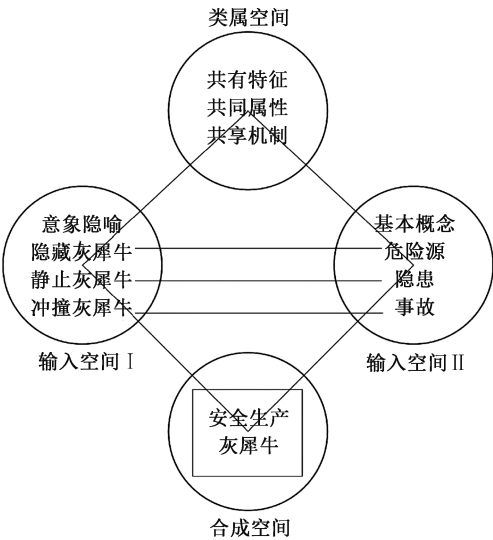


图 2 安全生产灰犀牛的概念整合模型
Fig. 2 Conceptual integration model of gray rhino in work safety

2 灰犀牛情景演化模型构建

灰犀牛风险演化机制可作为安全屏障失效和生产事故发生的理论解释与经验证据,探析安全生产“危险源—隐患—事故”情景演化链条,总结归纳情景演化的风险因素、情景构成要素和演化框架是构建安全生产三道防线的研究基础,借鉴瑞士奶酪模型的构建思路,“危险源—隐患—事故”灰犀牛情景演化模型如图 3 所示。

2.1 灰犀牛风险演化因素

安全生产灰犀牛风险演化过程是主观建构风险因素和客观实在风险因素协同耦合、共同作用的产物,符合事物认知的主观能动性与客观规律性辩证统一关系。

1) 主观建构风险因素。灰犀牛隐喻内涵对安全生产情景分析有着重要的理论价值,强调个人或

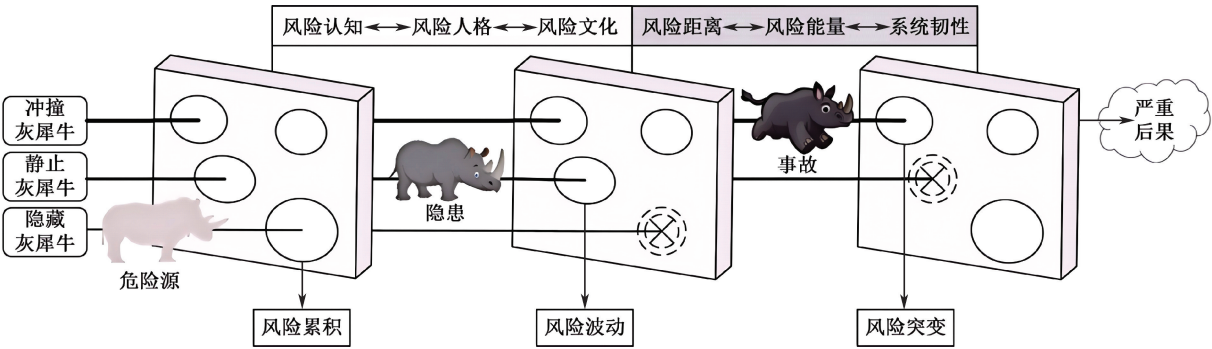


图 3 “危险源—隐患—事故”灰犀牛情景演化模型
Fig. 3 Scenario evolution model of gray rhino "hazard-hidden danger-accident"

组织的知识水平、风险态度和文化氛围等维度对风险辨识、评估以及管理的显著影响,体现在风险主观建构过程的认知意蕴、人格意蕴和文化意蕴。风险认知是指个体对危险源辨识、隐患检查、事故分析工作中各种风险的认识和理解,认知水平主要由认知主体的知识储备、实践经验和理解能力所决定。风险人格是指个体在风险思维、态度和行为上的特征差异,按照认知量表、情绪量表调研与风险稳定指数、风险承受指数坐标轴划分为缜密谨慎型、感知强烈型、无忧无虑型和沉着冷静型 4 类^[6]。风险文化是组织由安全生产形成的风险意识、理念、信仰、共识等组成的价值观体系,通过塑造个体的认知结构和行为规范影响对风险的感知和研判。风险认知、风险人格和风险文化构成安全生产灰犀牛主观建构风险因素。

2) 客观实在风险因素。灰犀牛风险具有发生

概率和后果严重程度的客观属性,风险的客观实在性不依赖人的意识而存在,而是通过建立普适性、规范性的组织安全标准阐释风险水平。安全生产风险等级的确定即运用工艺参数、设备性能及案例数据等量化指标计算、分析、表征得出的。因此,客观实在风险因素包含风险距离、风险能量和安全生产系统韧性 3 个方面。风险距离是衡量安全生产灰犀牛出现的方位、远近、动向等多维距离信息的风险演化影响要素,反映危险源、隐患和事故不同情形下潜在风险的存在状态。风险能量是指安全生产灰犀牛蕴含维持正常生产运行和导致严重破坏的能量,有能量生成、能量释放、能量转移与能量耗散等变化形式,安全生产不安全因素导致约束、限制能量措施和条件失效会引起系统风险集聚和事故爆发。系统韧性是安全生产系统与外界在物质、能量、信息交换过程中,具有抵抗力、适应力和恢复力等特性,体现在

安全生产灰犀牛的扰动或冲撞后系统的鲁棒性与稳定性。

2.2 灰犀牛情景演化构成要素

安全生产“危险源—隐患—事故”演化情景本质上是危险源能量约束失效或管控措施失败致使安全生产系统呈现危险状态,又未及时治理导致能量爆发引起事故。情景构成要素是情景演化的基本单元,借鉴“致灾因子—孕灾环境—承灾体”灾害系统的构成维度,汲取灰犀牛风险特征和安全生产管理要素提出“系统能量—诱发因素—承灾性能”情景演化构成要素,安全生产灰犀牛情景构成框架如图4所示。

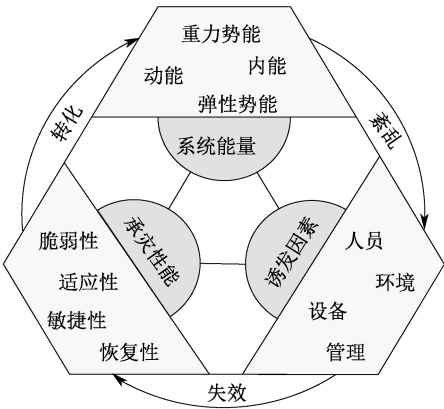


图4 安全生产灰犀牛情景构成框架

Fig.4 Framework for the composition of gray rhino scenarios in work safety

生产经营活动存在许多蕴含生产能量的物质载体,从能量可控制程度和表征形式划分危险源、隐患和事故,系统能量包括势能、动能以及内能,是情景构成的核心要素。根据熵增定律和耗散结构理论,在安全生产系统的物质、能量、信息交换过程,人员操作失误、设备老化失效、环境条件恶化和管理模式缺陷等多方面原因打破安全生产系统的平衡态,造成系统能量紊乱和无序程度增加,而诱发因素的耦合、级联作用加剧破坏能量的集聚和爆发。安全生产灰犀牛风险累积、波动、突变演化态势取决于系统的承灾性能,承灾性能反映承灾主体对危险源、隐患的管控能力和事故灾难的承受能力,由脆弱性、适应性、敏捷性和恢复性等特性构成。系统能量、诱发因素和承灾性能共同组成安全生产灰犀牛情景演化的构成要素。

2.3 灰犀牛情景演化理论模型

阐释安全生产危险源、隐患和事故的演化机制

和逻辑关系尚且停留在概念名词层面,理论分析程度较浅。因此,借鉴灰犀牛理论研究范式和安全学科内涵,基于安全生产灰犀牛风险因素和情景构成要素探析事故情景演化链条,如图5所示。

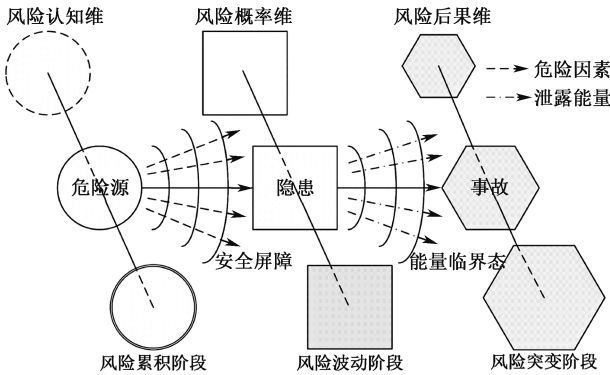


图5 事故情景演化链条

Fig.5 Accident scenario evolution chain

安全生产灰犀牛情景演化分为“风险累积—风险波动—风险突变”3个阶段。在风险累积阶段,作为客观存在且不以人的意志为转移的能量载体,危险源具有潜伏性、隐秘性和复杂性等特征,风险累积形式分为作业点、生产线、岗位区间、工作场所“点—线—面—体”4种。危险源辨识的核心在于安全管理者 and 作业人员的风险认知水平,风险认知能力与认知主体的知识、信息获取程度、有限理性思维、人格特征等因素有关。随着危险源辨识工作的推进,危险源从隐藏状态转变为显现状态。在风险波动阶段,危害因素穿透安全生产防护屏障导致隐患的出现,由于致灾因子能量和系统承灾性能的限制,风险呈现上下波动的不稳定状态。隐患具有横向和纵向两个维度,横向维度是导致安全控制条件失效的“人—机—环—管”诱发因素,纵向维度是事故发生概率可量化为高、中、低风险概率。在风险突变阶段,安全措施或条件失效引起的泄露能量达到系统的能量临界值,最终导致安全生产事故的爆发。事故爆发是安全生产系统内部因素和外部因素共同作用的结果,风险突变符合任何事物的发展是由流变到突变、量变到质变的客观规律。对照冲撞灰犀牛爆发时的能量强度和破坏广度,衡量生产事故严重程度的重要依据就是事故等级,包括特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故。

3 安全生产三道防线体系构建

安全生产灰犀牛三道防线体系构建旨在融合双重预防机制和应急管理模式,提出系统性、学理性和

创造性的安全管理研究范式,解决当前安全生产研究思维固化、框架流程冗余等问题。借鉴灰犀牛风险防控体系从不同管控视角对三类灰犀牛风险提出管控策略的构建思路,构建安全生产风险全周期、管控全过程、保障多层次的“危险源—隐患—事故”三道防线。防控体系涵盖“防护层—治理层—应急层”层级结构、“主动安全—被动安全”逻辑关系以及“风险分级管控—隐患排查治理—事故应急管理”体系要素,安全生产灰犀牛防控体系如图 6 所示。

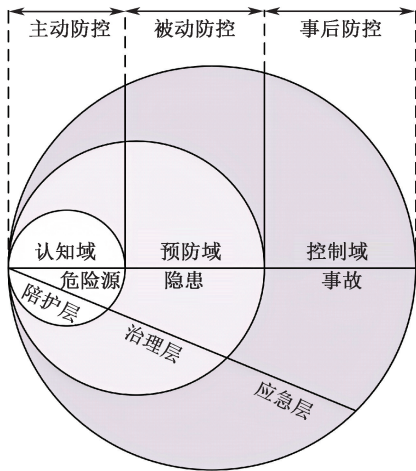


图 6 安全生产灰犀牛防控体系

Fig. 6 Work safety gray rhino prevention and control system

3.1 安全生产防控体系的层级结构

安全屏障理论是指导安全生产管理的重要理论,安全屏障用于降低和减缓事故发生的概率和后果,实现安全生产零事故的目标,分为主动性屏障、降频性屏障和预防性屏障^[9]。事故发生即由于人为操作、技术手段和管理措施等不安全因素导致一系列安全屏障出现漏洞,当灰犀牛穿透最后一道安全屏障意味着系统能量的失控。按照危险源、隐患、事故性质特征,将防控屏障区域划分为认知域、预防域和控制域。认知域作为防控屏障核心区域,主要提高风险敏锐度和察觉力辨识危险源。预防域采取风险预防原则、方法和措施对安全生产隐患及时整改和治理,预防事故的发生。借鉴“缩减—预备—反应—恢复”(Reduction-Readiness-Response-Recovery, 4R)危机管理理论,针对事故的不同阶段,控制域涵盖事故缩减、事故预备、事故反应和事故恢复阶段。根据安全生产灰犀牛情景演化机制,防控屏障层级包括防护层、治理层和应急层,防护层是危险因素识别方法和风险清单确定;治理层是隐患排

查治理机制和组织保障;应急层是事故应急管理的体制、机制和法制。3 个层级相互嵌套、前后关联、逻辑递进,共同形成安全生产三道防线体系的层级结构。

3.2 安全生产三道防线的逻辑关系

随着安全生产指导思想不断发展和理论体系深化完善,推动三道防线安全理念的时代变迁是实现安全生产治本攻坚的内在要求和重要途径。“防护层—治理层—应急层”层级的逻辑关系体现主动安全和被动安全协同联动思想,被动安全思想是将系统的安全水平与危险有害因素联系起来,通过分析隐患或未遂事故的演化链条,被动采取措施防止事故发生。主动安全思想是将安全性作为衡量系统在不断变化情况下出现正向结果频次的的能力,积极主动使安全生产系统保持良性发展并提高固有安全水平^[10]。主动防控是在危险源辨识阶段,提升风险认知能力并处理多源异构信息,重点加强安全氛围、安全培训和安全技能等安全要素建设,危险源主动防控作为核心和基础开展一系列安全生产防控体系建设。被动防控出现在隐患排查治理阶段,安全生产风险监测系统检查出异常后,需要人为干预出现隐患的异常点,隐患被动防控是事故发生前最后一道关口。事后防控表征在应急管理全生命周期,贯穿事故的应急预防、准备、响应和恢复的全过程。“主动安全—被动安全”逻辑关系紧密契合 4R 危机管理理论与安全生产预防为主、综合治理的核心理念。

3.3 安全生产灰犀牛风险防控体系

安全生产灰犀牛第一道防线风险分级管控、第二道防线隐患排查治理、第三道防线事故应急管理,分别对应隐藏灰犀牛、静止灰犀牛、冲撞灰犀牛,防控体系构建流程如图 7 所示。

构建安全生产第一道防线,核心主线为“环境感知—信息理解—危险源辨识—风险评估—危险源管控”,从工作环境、生产物态以及工人行为获取风险信息,根据安全管理者的记忆知识、经验积累和理解能力做出信息筛选。按照属性、特征和岗位辨识各类危险源形成风险清单,风险清单应包括位置信息、整体风险信息、事故后果、风险责任单位及负责人等信息。针对风险清单选用合适的风险分级方法,根据风险等级结果确定重点监测危险源,最终采取主动措施开展危险源的管控。

安全生产第二道防线的构建流程为“风险监测—隐患排查—综合分析—整改落实”,实时监测

预警安全生产重大危险源或可能发生事故的危险因素,再定期组织安全负责人、领域专家和技术员工开展综合检查、专项检查和专业检查。综合分析隐患排查结果并形成检查报告,采用被动措施将异常风险点整改落实,对正常风险点持续加强管控。

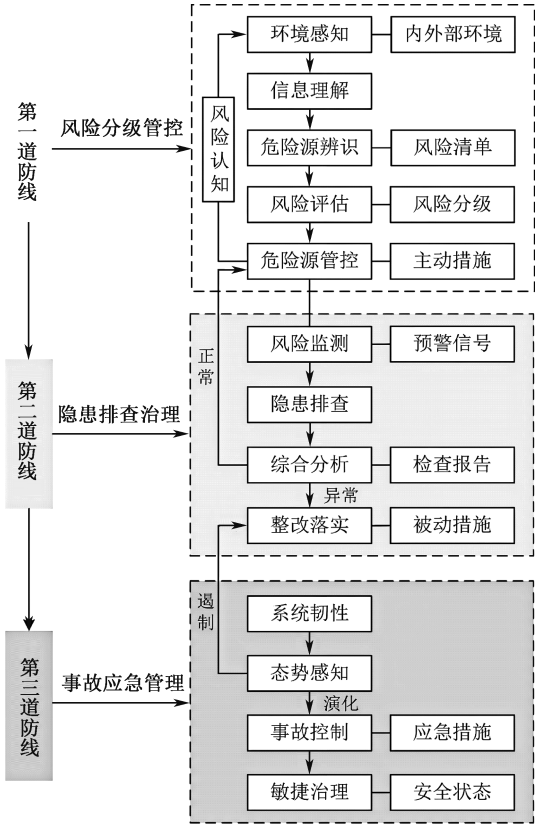


图7 防控体系构建流程

Fig. 7 Construction process of the prevention and control system

构建安全生产第三道防线遵从体系韧性和敏捷治理的原理,体系韧性是风险防控的安全根基,反映事故爆发时能够快速抵御和弹性恢复的能力。事故应急管理的重要前提是事故态势感知,态势感知层级涵盖态势要素提取、态势理解和态势预测3部分。事故演化过程采用应急措施控制事故态势,降低事故能量的紊乱性和破坏性,运用敏捷治理思维将安全生产系统恢复到安全状态。

4 结 论

1) 灰犀牛理论与安全生产三道防线在“概率属性—后果属性—认知属性—情景属性”具有极为相近的理论内涵,安全生产灰犀牛概念整合路径遵循“认知解读—映射连通—概念整合”3个流程。

2) 安全生产灰犀牛情景演化链条包含风险因素、情景构成和演化框架3个部分,风险因素由“风险认知—风险人格—风险文化”主观建构部分和“风险距离—风险能量—系统韧性”客观实在部分组成。灰犀牛情景构成要素包括系统能量、诱发因素和承载性能,安全生产灰犀牛情景演化分为“风险累积—风险波动—风险突变”3个阶段。

3) 安全生产三道防线的防控区域包括“认知域—预防域—控制域”,防控层级涵盖“防护层—治理层—应急层”,防控思想分为“主动安全—被动安全”。三道防线的层级结构、逻辑关系、构建流程共同组成安全生产管理和灰犀牛理论结合下的防控体系,未来研究可聚焦安全生产灰犀牛风险管理的实践应用。

参 考 文 献

[1] 王秉. 安全4.0时代的重大安全科学问题展望[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 6-11.
WANG Bing. Prospect on major issues of safety & security science in the age of safety & security 4.0 era[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(2): 6-11.

[2] 谢科范, 梁本部, 刘嘉, 等. 安全4.0时代的安全生产管理模式研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(3): 19-26.
XIE Kefan, LIANG Benbu, LIU Jia, et al. Work safety management mode in Safety 4.0 era[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(3): 19-26.

[3] 罗云, 黄西菲, 许铭. 安全生产科学管理的发展与趋势探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(10): 5-11.
LUO Yun, HUANG Xifei, XU Ming. Exploration on development and trend of scientific management on work safety[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(10): 5-11.

[4] LIU Quanlong, SHANG Jianping, WANG Jingzhi, et al. Research on the evaluation of the operating effectiveness of the

safety double prevention mechanism of coal mine enterprises based on matter-element extension[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2024, 185: 899–909.

[5] 李季梅,姚晓晖. 风险驱动下的区域安全与应急一体化管理模式[J]. 科技导报, 2019, 37(16): 64–73.
LI Jimei, YAO Xiaohui. Risk-driven management mode of regional safety and emergency integration[J]. Science & Technology Review, 2019, 37(16): 64–73.

[6] WUCKER M. The gray rhino: how to recognize and act on the obvious dangers we ignore[M]. London: Macmillan, 2016:189–190.

[7] 黄杰, 吴佳. 中国大都市的“灰犀牛式危机”与政府风险治理模式的重塑:基于两个典型案例的分析[J]. 公共管理与政策评论, 2021, 10(5): 79–94.
HUANG Jie, WU Jia. "The gray rhino crisis" in metropolis and the remodeling of the government's risk governance model: based on the analysis of two typical cases[J]. Public Administration and Policy Review, 2021, 10(5): 79–94.

[8] 佟瑞鹏, 王乾, 张晓磊, 等. 风险动物园(VII):灰犀牛风险分类体系、演化机制与管控策略[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(8): 27–34.
TONG Ruipeng, WANG Qian, ZHANG Xiaolei, et al. Risk zoo (VII): risk classification system, evolution mechanism, and management strategies of grey rhino[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(8): 27–34.

[9] LIU Yiliu. Safety barriers: research advances and new thoughts on theory, engineering and management[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, 67: DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104260.

[10] DE LEO F, ELIA V, GNONI M G, et al. Integrating safety-I and safety-II approaches in near miss management: a critical analysis[J]. Sustainability, 2023, 15(3): DOI: 10.3390/su15032130.

作者简介： 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@ cumtb. edu. cn。