

中文引用格式:王乾,童心茹,杨昂滨,等. 企业安全专业人员风险认知能力的组态路径与提升策略[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(4): 49-56.

英文引用格式:Wang Qian, Tong Xinru, Yang Angbin, et al. Configurational paths and enhancement strategies for risk cognitive ability of enterprise safety professionals[J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(4): 49-56.

企业安全专业人员风险认知能力的组态 路径与提升策略^{*}

王乾, 童心茹, 杨昂滨, 佟瑞鹏^{**} 教授

(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: X913.4

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.04.1224

基金项目: 国家自然科学基金资助(52074302)。

【摘要】 为提高企业安全专业人员的风险决策效能,遏制不安全行为发生,探析风险认知能力的组态路径和提升策略。基于技能-规则-知识(SRK)认知理论将风险认知能力的前因条件划分为技能型、规则型、知识型认知能力,结合管理体系、认知负荷、认知任务来解析风险认知维度,构建涵盖危险源辨识能力、设备操作能力、隐患排查能力、隐患治理能力、情景决策能力、案例推理能力的认知理论模型;运用必要条件分析(NCA)和模糊集定性比较分析法(fsQCA)对100名安全专业人员的多维风险认知能力开展数据校准、必要性分析、充分性分析和稳健性分析;解析风险认知能力前因条件的组态路径,提出针对性的认知能力提升策略。结果表明:高风险认知能力和非高风险认知能力各有4条组态路径,其中,高风险认知能力涵盖规则和知识双驱动型、多维认知能力协同型、应急管理能力主导型3种组态类型,得出“精准赋能-多维协同-动态适配”风险认知能力提升策略,从而提高企业安全管理水平。

【关键词】 安全专业人员; 风险认知能力; 组态路径; 提升策略; 技能-规则-知识(SRK); 必要条件分析(NCA); 模糊集定性比较分析(fsQCA)

Configurational paths and enhancement strategies for risk cognitive ability of enterprise safety professionals

Wang Qian, Tong Xinru, Yang Angbin, Tong Ruipeng

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

Abstract: To improve the risk decision-making effectiveness of enterprise safety professionals and curb the occurrence of unsafe behaviors, the theoretical connotation and improvement paths of risk cognitive ability were explored in this study. Based on SRK cognitive theory, the antecedent conditions of risk cognitive ability were classified into skill-based, rule-based, and knowledge-based cognitive abilities. The analysis of risk cognitive dimensions was combined from the perspectives of management systems, cognitive

^{*} 文章编号:1003-3033(2026)04-0049-08; 收稿日期:2025-10-30; 修稿日期:2026-01-10

^{**} 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@cumtb.edu.cn.

load, and cognitive tasks. Subsequently, a cognitive theoretical model was constructed, covering hazard identification ability, equipment operation ability, hidden danger inspection ability, hidden danger management ability, scenario decision-making ability, and case reasoning ability. NCA and fsQCA were applied to conduct data calibration, necessity analysis, sufficiency analysis, and robustness analysis on the multi-dimensional risk cognitive abilities of 100 safety professionals. Furthermore, the configurational paths of the antecedent conditions were analyzed, and targeted strategies for improving cognitive abilities were proposed. The results show that there are four configurational paths for both high risk cognitive competence and non-high risk cognitive competence. Specifically, high risk cognitive competence encompasses three configurational types: the rule-knowledge dual-driven type, the multi-dimensional cognitive ability synergistic type, and the emergency management ability dominated type. Accordingly, a “precision empowerment-multidimensional synergy-dynamic adaptation” path for improving risk cognitive ability is put forward, thereby enhancing the level of enterprise safety management.

Keywords: risk cognitive ability; safety professionals; configurational paths; enhancement strategies; skill-rule-knowledge (SRK); necessary condition analysis (NCA); fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA)

0 引言

随着企业安全生产过程中人、机、环、管风险因素的耦合、级联和演化作用,安全人员的风险辨识、评估和决策能力深刻影响着企业的风险管理状态。作为风险管理体系的重要组成部分,风险认知是导致不安全行为形成的重要因素,也是事故发生的根本原因。因此,亟需探析风险认知能力的组态路径和提升策略,对提高安全专业人员的岗位胜任力和推动企业安全管理现代化具有重要意义。

风险认知能力可表征为安全专业人员在复杂情景中获取和理解风险信息,并开展风险决策的行为过程。经典认知模型将风险认知过程分为信息获取、信息理解、风险决策和行为响应4个阶段^[1]。有学者基于信息认知阶段构建安全专业人员的信息认知体系^[2]。研究方法主要有专家打分、生理实验和仿真模拟,相关研究使用层次分析法和熵权法的组合权衡量施工人员的风险认知能力^[3],还有研究运用眼动追踪技术收集被试人员的试验数据,探析风险认知失效对不安全行为的影响机制^[4]。此外,在风险信息加工视角下安全认知能力可划分为风险感知能力、风险理解能力与风险决策能力^[5]。具体的测量指标按照风险概率和后果属性维度划分为危害识别数量、风险评估数量和准确率等指标^[6]。在理论层面,经典风险认知理论有心理测量理论、文化认知理论、计划行为理论等宏观视角的研究范式^[7],而技能-规则-知识(Skill-Rule-Knowledge, SRK)理论从认知能力和认知任务微观视角阐释风

险认知行为的影响机制^[8]。一些研究尝试在SRK理论框架下采用问卷访谈法来探究人因工程领域从业者的工作能力特征^[9],但尚未有对安全专业人员风险认知能力的理论内涵和影响路径的系统性研究。

鉴于此,笔者拟剖析SRK理论内涵和风险认知能力体系的构成维度,构建安全专业人员的风险认知模型,设计包含图像识别、模拟演习、情景设置、专家考评等多维度的风险认知能力试验,并结合必要条件分析(Necessary Condition Analysis, NCA)和模糊集定性比较分析(Fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis, fsQCA)开展风险认知能力前因条件的组态路径和提升策略分析,以期为安全专业人员的认知能力提升提供理论依据和实践指导。

1 SRK 认知模型构建

1.1 SRK 理论基础

SRK 认知理论系统阐释了作业人员在复杂情景下由于主体认知水平、任务难度系数等因素导致的风险认知行为差异,将认知行为划分为技能型、规则型和知识型3类^[10],该框架为解析安全专业人员在风险辨识、评估与决策中的认知机制提供经典的人因工程理论基础。其中,技能型认知行为依赖于高度自动化的认知模式,适用于常规风险情景的任务需求,规则型认知行为表现为对标准化流程和制度文件的应用,知识型认知行为需要调动综合知识与实践经验来分析复杂风险情景。

企业安全管理涉及危险源辨识、隐患排查治理、

风险评估、事故预防等多场景任务,安全专业人员的风险认知能力可表征为识别、评估风险相关信息并实施决策的能力水平。SRK 认知理论符合安全专业人员在不同任务场景的认知需求,体现其风险认知能力在危险源、隐患、事故情景中的体系完整性以及在技能型、规则型、知识型层级中的认知协调性。此外,相比于阶梯模型、信息处理阶段模型等经典认知模型将认知过程分为信息获取、信息评估、管理决策、响应行为等阶段,SRK 模型聚焦于认知任务属性导致的认知模式的差异,为探析企业安全专业人员在复杂风险情景的认知机制提供理论性的研究框架。

1.2 风险认知能力维度解析

企业安全专业人员的风险认知能力遵循 SRK 理论框架,由技能型、规则型、知识型认知能力构成,是安全专业人员辨识、评估、应对风险能力的重要衡量指标,SRK 认知理论的构成要素如图 1 所示。技能型认知能力以“知识储备-自动化行为”为核心逻辑,依赖重复性训练形成的本能反应来快速响应,通过感知和识别风险任务,技能型认知能力可转化为规则型认知能力;规则型认知能力是基于实践经验对制度规范类风险的态势感知、理解和预测水平;风险诊断、决策是知识型认知能力相较于规则型认知能力的重要内容,知识型认知能力突出创新性思维和知识运用能力。风险认知能力具有协同性、等效性和复杂性的特点。风险认知任务围绕企业生产过程中的风险分级管控、隐患排查治理、事故应急管理开展,“认知能力-任务需求”匹配模式形成主观认知复杂性和客观风险存在性的映射关系。同时符合认知资源理论,即工作任务越复杂,消耗的认知资源越多,当认知能力水平和任务需求资源相匹配时,信息处理效率最高。因此,安全专业人员的风险认知能力由于认知负荷和任务难度形成 SRK 认知能力层级,通过“任务-能力”匹配实现对风险认知能力的复合影响,最终构建适用于安全专业人员风险认知的 SRK 认知要素体系。

1.3 基于 SRK 理论的认知能力模型构建

基于 SRK 理论、认知资源理论、胜任力理论等多个理论视角和风险分级管控、隐患排查治理、事故应急管理等岗位能力要求,将技能型认知能力分为危险源辨识能力 S_1 和设备操作能力 S_2 ,规则型认知能力分为隐患排查能力 R_1 和隐患治理能力 R_2 ,知识型认知能力分为情景决策能力 K_1 和案例推理能力 K_2 。此外,参考 SRK 理论的认识机制引入综合风

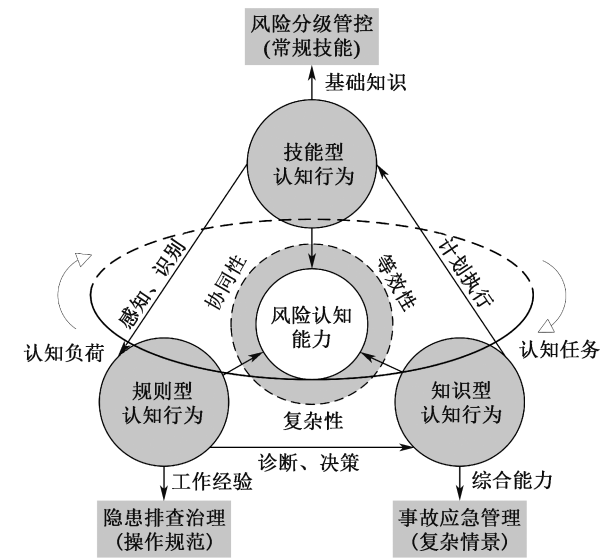


图 1 SRK 认知理论的构成要素
Fig. 1 Constituent elements of SRK cognitive theory

险认知能力(SRK 认知能力),表征安全专业人员的风险感知、识别、诊断、决策、计划、选择、执行能力^[11],企业安全专业人员的风险认知模型如图 2 所示。SRK 认知能力由技能型、规则型、知识型认知能力多个前因条件的组态效应影响。

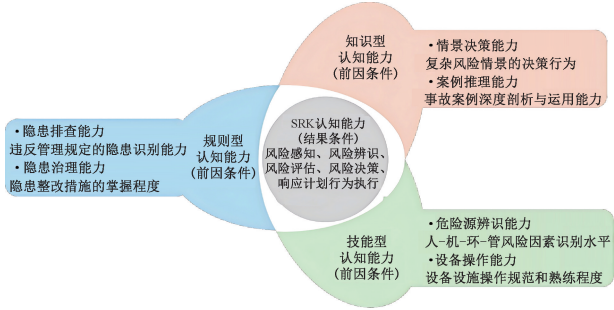


图 2 企业安全专业人员的风险认知模型
Fig. 2 Risk cognition model of enterprise safety professionals

选取国内最大的油气管道运营企业的 20 个二级单位共 100 名安全专业人员为研究对象,在训练基地开展为期一个月的认知能力测试,并设置事故场景模拟、安全设备实操、专业知识测试等多种认知能力试验方法,试验方案经过严格的专家论证和预试验,认知能力测试内容和标准见表 1。

表 1 风险认知能力测试基本信息

Table 1 Basic information of risk cognition ability test		
变量	测评场景	衡量标准
S_1	油气管道系统“人-机-环-管”风险图像识别	100 张生产环境中风险情景图片的辨识数量得分(0~100 分)

续表 1

变量	测评场景	衡量标准
S_2	正压呼吸器穿戴及关闭阀门实操演习	正压呼吸器和阀门操作规范及完成时间的得分(0~1分)
R_1	天然气管道并加装切断阀情景模拟	25 m 施工管沟的管道安装完成, 辨识现场隐患的数量得分(0~60分)
R_2	成品油储罐顶部和侧面管线更换情景模拟	针对脚手架、吊车、电焊机 等隐患使用整改措施的数量得分(0~30分)
K_1	专家组抽取高风险场景信息采取问答方式考察风险决策能力	5 人专家小组判定复杂情景中态势感知和发散性思维得分(0~15分)
K_2	油气管道事故相关的风险因素、情景演化和应急管理的简答题	10 个经典案例共 100 道简答题的得分(0~100分)
综合认知	法律法规、规章制度、风险和隐患清单、事故报告题库	随机试题库共 100 道选择、填空、简答、论述试题测评分数(0~100分)

2 风险认知能力研究框架设计

2.1 研究方法

NCA 是一种基于集合论的因果推理方法, 主要用于识别导致结果发生的必要条件, 该方法通过构建“前因条件-结果条件”散点图, 使用上限回归方法(Censored Regression, CR)或上限包络方法(Censored Envelope, CE)计算前因条件的效应量和显著性水平, 并用瓶颈水平表示前因条件对结果的限制程度, NCA 方法适用于识别复杂系统中影响结

果变量的关键限制性条件^[12]。
fsQCA 以集合论和组态路径为核心逻辑, 通过将多源异构的原始数据变量的隶属度转化为 0~1 区间的模糊值来分析前因条件组合对结果条件的复杂驱动机制, 研究步骤主要包括模糊集校准、单条件必要性分析、多条件充分性分析和稳健性分析。相较于仅适用于二分变量的 csQCA 方法和多分类变量的 mvQCA 方法, fsQCA 通过设置连续隶属度降低了变量离散化过程中可能导致的主观误差。同时, 相比于传统的定量分析方法, fsQCA 不依赖变量间相互独立或线性关系的统计假设, 更适合分析社会技术系统中的多重因果关系。在使用 fsQCA 必要性分析时, 必要性条件通常被表述为 $Y \leq X$, 即结果条件 Y 出现程度不高于前因条件 X 的隶属度水平。相比之下, NCA 方法通过构建 $Y \leq f(X)$ 的非线性边界函数, 刻画前因条件 X 对结果条件 Y 的约束关系, 并通过瓶颈水平提供定量的必要水平。因此 fsQCA 和 NCA 提供全面的必要性和充分性分析框架, 该组合方法已在安全工程、管理科学领域广泛应用^[13]。因此, 选用该组合方法来解析安全专业人员风险认知能力的前因条件对结果条件的复杂影响机制。

2.2 风险认知能力变量校准

首先, 统计风险认知能力前因条件和结果条件的均值、标准差、最小值和最大值, 进而采用直接校准法将 100 名安全专业人员的样本数据转换为 0~1 之间模糊集隶属分数, 并设置完全隶属点、交叉点和完全不隶属点分别对应于认知能力统计数据的 95%、50%、5%分位数, 基于模糊集理论对函数连续性的要求, 校准交叉点使用 0.499 代替传统的 0.5 隶属点阈值, 见表 2。

表 2 风险认知能力描述性分析与数据校准
Table 2 Descriptive analysis of risk cognition ability and data calibration

条件	描述性分析				数据校准		
	均值	标准差	最小值	最大值	完全隶属	交叉	完全不隶属
S_1	79.4	10.0	53.9	100.0	93.4	80.3	65.5
S_2	0.6	0.2	0.2	1.0	1.0	0.6	0.2
R_1	31	8	14	51	43	30	19
R_2	13.6	3.7	5	22	19	14	7
K_1	11.0	1.7	4.8	14.3	13.0	11.2	8.2
K_2	62.9	12.3	34.7	88.7	80.8	64.1	42.7
SRK	85.9	6.2	65.6	95.9	92.8	87.2	79.1

3 风险认知能力组态路径研究

3.1 单个条件的必要性分析

使用 NCA 法对风险认知能力的前因条件开展必要性分析,基于 CR 和 CE 法计算前因条件的效应量及其显著性来判定其是否为结果的必要条件^[14]。必要条件成立需要同时满足效应量大于 0.1、概率值 P 小于 0.05、CR 精确度大于 95% 这 3 个基本条件,NCA 法的必要性分析结果见表 3。结果表明:危险源辨识能力、设备操作能力、隐患排查能力、隐患治理能力、情景决策能力和案例推理能力均不构成 SRK 认知能力的必要条件。在 NCA 分析中,瓶颈水平表征结果变量达到一定水平所需要各项前因条件的最低水平值,分析结果见表 4。企业安全专业人员要达到高水平的风险认知能力,设备操作能力、隐患排查能力、隐患治理能力和案例推理能力成绩的隶属分数分别需要满足 3.7%、5.4%、14.6%、1.1%。

表 3 NCA 方法必要性分析结果

Table 3 Results of necessity analysis for NCA method						
变量	方法	精确度/%	上限区域	范围	效应值	P 值
S_1	CR	89	0.114	0.98	0.117	0.119
	CE	100	0.039	0.98	0.040	0.280
S_2	CR	94	0.046	0.93	0.050	0.432
	CE	100	0.024	0.93	0.025	0.546
R_1	CR	94	0.067	0.97	0.069	0.351
	CE	100	0.038	0.97	0.039	0.375
R_2	CR	85	0.192	0.96	0.200	0.012
	CE	100	0.062	0.96	0.064	0.056
K_1	CR	88	0.179	0.98	0.183	0.007
	CE	100	0.074	0.98	0.076	0.022
K_2	CR	89	0.189	0.96	0.197	0.000
	CE	100	0.095	0.96	0.099	0.000

注:采用校准后的模糊集隶属度值,置换检验的重抽次数为 10 000。

表 4 NCA 方法瓶颈水平分析结果

Table 4 Results of bottleneck level analysis for NCA method						
	%					
SRK	S_1	S_2	R_1	R_2	K_1	K_2
0	NN	NN	NN	NN	NN	NN
10	NN	NN	NN	NN	NN	NN
20	NN	NN	NN	NN	NN	NN
30	NN	NN	NN	NN	NN	NN
40	NN	NN	2.5	5.3	NN	NN
50	3.7	NN	5.4	14.6	NN	1.1
60	11.5	NN	8.3	23.8	7.3	16.4

续表 4

SRK	S_1	S_2	R_1	R_2	K_1	K_2
70	19.2	1.2	11.2	33.1	26.3	31.7
80	27.0	11.4	14.2	42.3	45.3	47.0
90	34.8	21.6	17.1	51.5	64.3	62.3
100	42.6	31.8	20.0	60.8	83.3	77.6

注:NN(Not Necessary)表示不必要。

使用 fsQCA 法进一步验证风险认知因素前因条件的必要性,通过一致性和覆盖度数值确定前因条件和风险认知能力的必要关系,分析结果见表 5。当前因条件的一致性大于 0.9 时,即为风险认知能力的必要条件,结果表明:高风险认知能力和低风险认知能力均不依赖于单一前因条件作为必要因素,符合 NCA 法必要性分析的结论。

表 5 fsQCA 方法必要性分析结果

Table 5 Results of necessity analysis for fsQCA method				
前因条件	高风险认知能力		低风险认知能力	
	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度
S_1	0.680	0.676	0.566	0.596
$\sim S_1$	0.594	0.564	0.692	0.696
S_2	0.689	0.669	0.575	0.592
$\sim S_2$	0.580	0.563	0.679	0.698
R_1	0.747	0.703	0.579	0.577
$\sim R_1$	0.550	0.552	0.702	0.746
R_2	0.729	0.699	0.578	0.587
$\sim R_2$	0.570	0.561	0.704	0.733
K_1	0.740	0.690	0.582	0.574
$\sim K_1$	0.544	0.551	0.686	0.736
K_2	0.812	0.790	0.516	0.532
$\sim K_2$	0.519	0.503	0.796	0.817

注:“ $\sim$ ”为逻辑运算符,表示否定变量。

3.2 多条件的组态路径分析

在 fsQCA 多条件组态路径分析中,根据 SRK 认知理论和风险认知能力数据分布特征设置案例频数阈值为 2,将原始一致性阈值和不一致性的比例减少(Proportional Reduction in Inconsistency,PRI)一致性阈值分别设定为 0.8 和 0.65。进而,构建真值表计算风险认知能力的所有条件组态,多个条件的充分性分析旨在探究 2 个及以上前因条件组合对风险认知能力水平的影响路径。fsQCA 分析结果有简约解、中间解和复杂解 3 种形式,中间解能同时符合数据拟合和理论阐释的要求,通常选取中间解作为主要的组态路径判定依据,用简约解的结果辅助区分核心条件和边缘条件^[15]。最终,遵循组态理论化过程解析风险认知能力的组态路径,系统阐释影响风险认知能力的因果机制。安全专业人员的高风险认

知能力和非高风险认知能力的条件组态路径见表6,各有4个具有强解释力的前因组态。产生高风险认知能力组态路径的总体解的一致性为0.894,单个解的一致性为0.890~0.939,超过0.8的一致性阈值水平,总体解的覆盖度为0.615,能解释61.5%的安全专业人员风险认知能力数据的样

表6 安全专业人员风险认知能力的条件组态路径

前因条件	高风险认知能力				非高风险认知能力			
	S_1	S_2	S_3	S_4	NS_1	NS_2	NS_3	NS_4
危险源辨识能力		●	●	⊗		⊗	●	⊗
设备操作能力		⊗	●	●	⊗	⊗		●
隐患排查能力	●	●	●	⊗	⊗		⊗	●
隐患治理能力	●		●	⊗	⊗	⊗	⊗	●
情景决策能力	●	●		●		⊗	●	⊗
案例推理能力	●	●	●	●	⊗	⊗	⊗	⊗
典型案例	N_{93}	N_{16}	N_{35}	N_{29}	N_{59}	N_{44}	N_{19}	N_{34}
原始覆盖度	0.503	0.296	0.364	0.223	0.453	0.346	0.266	0.229
唯一覆盖度	0.098	0.015	0.054	0.036	0.061	0.019	0.023	0.058
一致性	0.890	0.908	0.935	0.939	0.921	0.972	0.893	0.903
解的覆盖度	0.615				0.573			
解的一致性	0.894				0.893			

注:●表示核心条件存在,●表示辅助条件存在,⊗表示核心条件不存在,⊗表示辅助条件不存在,空格表示该条件存在与否对结果影响不显著, N_n 表示第 n 名安全专业人员。

1) 规则 and 知识双驱动型。组态 S_1 和组态 S_2 显示高隐患排查能力、高情景决策能力和高案例推理能力作为核心条件共同导致高风险认知能力,同时,危险源辨识能力和隐患治理能力作为边缘条件存在互相替代关系,出现一种条件即可产生高风险认知能力。这类安全专业人员更善于发现和解决安全生产过程中的显性风险,规则型认知能力和知识型认知能力较为突出,典型代表人员为 N_{16} 和 N_{93} ,例如:安全专业人员 N_{93} 的隐患排查能力、情景决策能力和案例推理能力分值分别位列100名研究对象的第15、15、4名,SRK认知能力总体排名为第5名。

2) 多维认知能力协同型。组态 S_3 显示高设备操作能力、高隐患治理能力和高案例推理能力作为核心条件,危险源辨识能力和隐患排查能力作为边缘条件可以产生高风险认知能力。这类安全专业人员反映出多维认知能力均衡发展对高风险认知能力的较强解释力,从认知逻辑看,该组态路径构建了“风险辨识-实践操作-过程管控-决策优化”闭环风险认知链条,是安全专业人员应对复杂风险情景的最优条件组态。典型案例 N_{35} 的SRK认知能力排第8名,除情景决策能力外,其他认知能力分值均处于较高水平。

本。产生非高风险认知能力组态路径的总体解的一致性和覆盖度分别为0.893和0.573,表明组态路径对结果条件具有较强的因果关系和解释力。根据充分性分析结果,将高风险认知能力的组态类型分为规则和知识双驱动型、多维认知能力协同型、应急管理能力主导型。

3) 应急管理能力主导型。组态 S_4 显示高设备操作能力、高案例推理能力和非高危险源辨识能力作为核心条件导致高风险认知能力。这类组态反映危险源辨识能力不强的情况下,安全专业人员能够熟练操作安全生产设备,根据事故案例对风险情景演化和事故致因链条有准确的态势判断,在应急管理复杂系统中展现出高风险认知能力。揭示安全设备的实践性和复杂知识的延展性的协同作用,能弥补前期认知阶段如风险辨识环节的不足。典型案例 N_{29} 的设备操作能力和案例推理能力分值分别排第2和第12名,在其他能力均较为薄弱的情况下,SRK认知能力排第20名。

4) 非高风险认知能力组态。非高风险认知能力的前因组态有4种类型,典型案例分别为 N_{59} 、 N_{44} 、 N_{19} 、 N_{34} ,SRK认知能力总体排名均在后20名。组态 NS_1 和 NS_2 的核心条件有非高设备操作能力、非高隐患治理能力、非高案例推理能力,说明当技能型、规则型、知识型认知能力均不具备的情况下,很难形成高风险认知能力。组态 NS_3 显示非高隐患排查能力、非高案例推理能力和高危险源辨识能力作为核心条件导致非高风险认知能力,验证了高危险源辨识能力并不能构成高风险认知能力的唯一必要

条件。在组态 NS_4 中,即便安全专业人员具有高设备操作能力和高隐患治理能力,如果案例推理能力较弱,都会产生非高风险认知能力,同时说明非高案例推理能力对非高风险认知能力的较强解释力。

通过将一致性阈值由 0.8 提升至 0.85 和 0.9 来检验结果的稳健性。结果显示,各条件组态的路径与原结果保持一致,并且解的覆盖度和一致性未发生明显变化,说明研究结果具有较强的稳健性。

3.3 风险认知能力提升策略

基于 SRK 认知理论和 fsQCA 组态路径分析结果,针对高风险认知能力的规则和知识双驱动型、多维认知能力协同型和应急管理能力主导型 3 种组态路径,构建“精准赋能-多维协同-动态适配”的风险认知能力提升策略。首先,组态 S_1 与组态 S_2 表明:规则型和知识型认知能力在高阶认知模式中发挥着重要作用,结合规则层面隐患排查治理的经验提炼与知识层面事故应急管理的态势推演。聚焦情境化案例知识培训与推演式风险决策训练,通过构建典型事故案例的知识图谱和组织风险场景决策的行为模拟,加强安全专业人员深度解构事故演化链条、辨识关键决策节点的能力。其次,组态 S_3 揭示设备操作、隐患治理和案例推理等能力构成的“危险源-隐患-事件-事故”全链条风险管理模式,该模式是应对复杂系统风险的理想认知范式。认知能力培养需从传统 PPT 讲解型培训转向跨模块、全流程的整合性实训,设计涵盖“风险识别-风险评估-风险管理-韧性治理”的多任务环节,借助智能化技术平台开展如管道泄漏全过程处置演练,使安全专业人员在

多种情景任务中实现技能、规则与知识 3 类认知技能的全面培训与协同应用。最后,组态 S_4 表明:设备操作技能与事故案例推理能有效补充危险源辨识和隐患排查治理的能力短板,凸显认知能力与任务需求的适配机制。企业应建立“认知能力-岗位任务”的动态匹配数据库,将具备应急管理型人员配置在应急指挥、设备抢修等关键岗位。同时,引入元认知训练与计划-执行-检查-处理循环管理,通过定期评估安全专业人员自身认知模式与安全管理绩效,形成“能力评估-任务配置-绩效反馈-能力再评估”的应急管理能力迭代优化模式。

4 结 论

1) 基于 SRK 认知理论和认知资源理论,安全专业人员风险认知能力的前因条件涵盖危险源辨识能力、设备操作能力、隐患排查能力、隐患治理能力、情景决策能力、案例推理能力 6 种认知能力。

2) 安全专业人员的设备操作能力、隐患排查能力、隐患治理能力和案例推理能力的隶属分数分别超过 3.7%、5.4%、14.6%、1.1%,表明达到较高的风险认知能力。高风险认知能力和非高风险认知能力各有 4 条组态路径。

3) 高风险认知能力涵盖规则和知识双驱动型、多维认知能力协同型、应急管理能力主导型 3 种组态类型,并提出“精准赋能-多维协同-动态适配”风险认知能力提升策略。未来可扩展组织因素、外部环境和时间变量对安全专业人员风险认知能力的影响机制的相关研究。

参 考 文 献

[1] Liu Yang, Ye Gui, Xiang Qingting, et al. Antecedents of construction workers' safety cognition: a systematic review[J]. Safety Science, 2023, 157;DOI:10.1016/j.ssci.2022.105923.

[2] Guo Yong, Tao Jing, Yang Fuqiang, et al. An evaluation of the information literacy of safety professionals[J]. Safety Science, 2022, 151;DOI:10.1016/j.ssci.2022.105734.

[3] Cheng Lianhua, Ren Huina, Guo Huimin, et al. Research on the evaluation method for safety cognitive ability of workers in high-risk construction positions[J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2024;DOI:10.1108/ECAM-05-2024-0625.

[4] Xiang Qingting, Liu Yang, Goh Yangmiang, et al. Investigating the impact of hazard perception failure on construction workers' unsafe behavior: an eye-tracking and thinking-aloud approach[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2024, 150(7);DOI:10.1061/JCEMD4.COENG-14338.

[5] 成连华, 赵旭东, 郝杰. 集成 ISM 与 G1 的建筑工人安全能力影响因素研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(4): 61-68.

Cheng Lianhua, Zhao Xudong, Hao Jie. Research on influencing factors of construction workers' safety competency

- integrating ISM and G1 method[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(4): 61–68.
- [6] Zhang Shu, Hua Xinyu, Shi Xiuzhi. Measurement for risk perception ability[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2024, 150(5): DOI:10.1061/JCEMD4.COENG-13783.
- [7] Zong Zhaobiao, Long Tianyi, Ou Yifan, et al. Dual-path influence of risk perception on construction workers' safety participation and the moderating role of mindfulness[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2025, 151(1): DOI:10.1061/JCEMD4.COENG-15534.
- [8] Wang Jianmin, Yang Jingyan, Fu Qianwen, et al. A new dynamic spatial information design framework for AR-HUD to evoke drivers' instinctive responses and improve accident prevention[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2024, 183: DOI:10.1016/j.ijhcs.2023.103194.
- [9] Read G, Schultz K, Goode N, et al. Using cognitive work analysis to identify competencies for human factors and ergonomics practitioners[J]. Ergonomics, 2022, 65(3): 348–361.
- [10] 李星, 谭麟, 高凌云, 等. 系统安全领域人因错误理论研究进展[J]. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15(7): 612–619, 628.
- Li Xing, Tan Lin, Gao Lingyun, et al. Research progress of human error theory in industry safety engineering[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2020, 15(7): 612–619, 628.
- [11] 李晨博, 齐根华. 基于认知模型下的雷达工作方舱人机界面空间布局[J]. 兵工自动化, 2025, 44(5): 1–4, 10.
- Li Chenbo, Qi Genhua. Space layout of man-machine interface in radar shelter based on cognitive model[J]. Ordnance Industry Automation, 2025, 44(5): 1–4, 10.
- [12] 张吉昌, 龙静, 王泽民. 何种数字生态系统有利于数字独角兽的诞生基于 41 个国家的 NCA 与 fsQCA 研究[J]. 经济与管理, 2025, 39(4): 42–51.
- Zhang Jichang, Long Jing, Wang Zemin. What kind of digital ecosystems are conducive to the birth of digital unicorns a NCA and fsQCA study based on 41 countries[J]. Economy and Management, 2025, 39(4): 42–51.
- [13] 刘林, 吴金南, 梅强. 复杂性理论视角下员工安全生产违规的前因组态研究[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(3): 9–19.
- Liu Lin, Wu Jinnan, Mei Qiang. Research on configurational causes of employee work safety violations: from a complexity theoretical perspective[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(3): 9–19.
- [14] 戴勇, 韩一博, 蒲霞. 先进制造企业数字化转型驱动路径研究: 扩展 NCA 与 fsQCA 混合分析[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(9): 107–118.
- Dai Yong, Han Yibo, Pu Xia. The driving path of digital transformation in advanced manufacturing enterprises: extended NCA and fsQCA hybrid analysis based on resource orchestration theory[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2025, 42(9): 107–118.
- [15] 申霞. 基于 fsQCA 的灾害事故跨域协同治理共同体研究[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(10): 205–213.
- Shen Xia. Research on disaster and accident trans-regional collaborative governance community based on fsQCA[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(10): 205–213.

作者简介: 王 乾 (1999—), 男, 河北秦皇岛人, 博士研究生, 主要研究方向为安全管理、风险评估。
E-mail: wangqian19990825@163.com。