

矿工认知负荷对隐患识别能力影响研究

刘帅奇¹, 陈子琪²

1. 西安科技大学 安全学院, 陕西 西安 710054

2. 西北政法大学 经济法学院, 陕西 西安 710054

DOI: 10.61369/SSSD.2025180009

摘 要 : 矿山安全生产高度依赖作业人员对潜在风险的实时、准确辨识。然而, 井下复杂、动态且高负荷的作业环境极易导致矿工认知资源耗竭, 进而削弱其隐患识别效能。本文首先剖析了认知负荷的多维构成, 并从注意力资源分配、工作记忆瓶颈、情境意识水平及决策判断偏向四个层面, 深入阐述了高认知负荷如何抑制矿工的感知敏锐性、信息处理效率与风险决策质量。在此基础上, 本文从人因工程优化、智能化技术辅助、系统性培训体系重构及组织管理支持四个维度, 提出了一系列旨在降低无效负荷、提升有效负荷承受与恢复能力的针对性策略。研究认为, 通过构建“人-机-环-管”协同的认知工效学体系, 是缓解矿工认知压力、赋能其安全洞察力、筑牢矿山安全生产防线的关键路径。

关 键 词 : 矿工安全; 认知负荷; 隐患识别; 人因工程; 情境意识; 注意力资源

Research on the Impact of Miners' Cognitive Load on Hazard Identification Ability

Liu Shuaiqi¹, Chen Ziqi²

1. School of Safety Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054

2. School of Economics and Law, Northwest University of Political Science and Law, Xi'an, Shaanxi 710054

Abstract : Mine safety production highly relies on workers' real-time and accurate identification of potential risks. However, the complex, dynamic and high-load underground working environment is prone to deplete miners' cognitive resources, thereby impairing their hazard identification effectiveness. This paper first analyzes the multi-dimensional composition of cognitive load, and elaborates on how high cognitive load inhibits miners' perceptual sensitivity, information processing efficiency and risk decision-making quality from four aspects: attention resource allocation, working memory bottleneck, situational awareness level and decision-making bias. On this basis, the paper proposes a series of targeted strategies to reduce ineffective load and improve the ability to bear and recover from effective load from four dimensions: human factors engineering optimization, intelligent technology assistance, systematic training system reconstruction and organizational management support. The research holds that constructing a cognitive ergonomics system with the coordination of "human-machine-environment-management" is the key path to alleviate miners' cognitive pressure, empower their safety insight, and build a solid line of defense for mine safety production.

Keywords : miner safety; cognitive load; hazard identification; human factors engineering; situational awareness; attention resources

引言

矿山开采作为国家能源与原材料供给的支柱产业, 其安全生产始终是关乎国计民生的重大议题。绝大多数矿山安全事故并非纯然的技术故障或不可抗力, 而是源于对潜在隐患的失察、误判或延迟响应。在这一链条中, 作为安全生产第一道防线的矿工, 其隐患识别能力直接决定了事故预防的效能^[1]。认知负荷理论指出, 个体的认知资源是有限的, 当环境需求超过其信息处理能力时, 将引发认知超载, 导致绩效下降^[2]。对于矿工而言, 高认知负荷会严重侵蚀其用于风险监控的宝贵认知资源, 使其注意焦点收缩、信息整合能力减弱、情境意识模糊, 最终如同“管中窥豹”, 难以从复杂的背景噪声中有效捕捉危险信号。因此, 深入研究矿工认知负荷与隐患识别能力之间的内在联系, 并据此设计有效的干预策略, 对于突破当前矿山安全管理瓶颈、从事后被动处置向事前主动预防转变具有至关重要的理论价值与实践意义。

一、矿工认知负荷对隐患识别能力的影响

（一）高认知负荷削弱对隐患信号的早期感知

注意力是认知过程的“门户”，也是隐患识别活动的起点。矿工在井下需同时处理多项任务：操作设备、观察环境、与队友沟通、遵守规程等，这些任务会竞争其有限的注意力资源。根据Kahneman的注意力分配模型，当认知负荷较低时，矿工拥有充足的剩余资源对工作域进行广泛监控，能够以“自上而下”的目标导向和“自下而上”的刺激驱动相结合的方式，敏锐地捕捉到那些偏离常态的、微弱的隐患信号，如顶板细微的声响、设备异常的振动、瓦斯监测仪读数的轻微波动等^[3-5]。然而，当认知负荷过高时，其注意力资源被主要任务大量占用，导致用于环境监测的剩余资源急剧减少。此时，矿工的注意会呈现出明显的“隧道效应”或“选择性注意窄化”，即注意焦点被牢牢锁定在当前最紧迫的任务上，而对周边视野或非核心任务中的信息变得不敏感。例如，一名全力应对复杂地质构造的掘进机司机，很可能忽略巷道侧帮出现的新的微小裂隙。这种注意范围的收缩使得隐患信号在感知阶段即被过滤掉，丧失了早期干预的最佳时机。高负荷下的注意力变得僵化，难以在不同任务间灵活切换，进一步降低了发现分布式或突发性风险的概率^[6]。

（二）高认知负荷影响隐患的准确判断

作为信息处理关键组成的工作记忆主要负责信息的暂存、处理与整合，它为现时环境的理解提供基础。危险源的识别不能将看到的东西机械地“拣起来”，还需将这些散乱的感官信号在工作记忆中进行整合，再和储存在长时记忆的知识与经验对应，寻找“潜在的危险模型”^[7]。认知过载将给工作记忆带来最大的压力，一是大量的动作序列、复杂命令以及要求短期记忆的东西占用工作记忆空间，导致工作记忆不能深入地进行感官数据的分析和处理，信息停留在初级处理中或快速遗忘；二是由于高度紧张导致的焦虑情绪的占据占用了一部分工作记忆的空间，加剧了认知负荷^[8]。因此，当矿工对许多变异征兆无法连接在一起时，因为工作记忆是满负荷状态，使其无力进行这一连接，从而就不能产生关于“潜在的水害”或“瓦斯聚积”的完整的认识，他们只会看到一连串独立而又似乎相互无关联的事物，而不是一个完整且有意义的“安全隐患模型”，因而失去了作出精细推断的最佳时机。

（三）高认知负荷造成对动态风险的系统性失察

情景意识是构成危险辨识的重要元素，它代表了个体在某一时间、某一地点对环境要素的感知、含义的理解和未来可能情景的预测。在作业场所，环境是在变化的，危险也在不断衍生和积累，因此具备高情景意识的人不只是一要知道发生了什么，更要认识发生了什么和接下来可能发生什么。过高的工作负荷会严重影响情景意识的3层结构，在感知层上，受限的注意力会使很多周边信息无法被捕获；在理解层，超负荷的工作记忆会使得收集到的信息无法获得有效的解释和重构；在预测层，人的认知资源在高处作业的条件下将会被消耗殆尽，其思维将会变得僵硬和自动化，以致无法产生远见的判断和心理模拟，疲于处理眼前急迫的工作，无法抽调精力对

风险的发展趋势进行分析，比如这个头顶的裂口会不会因为下一时刻的冲击爆炸扩大？这条输送带的偏移会不会越来越严重？由于系统动态性得不到认识，矿工只能被动处理已经暴露和当前状态下的危险，很难提前进行预警和干预尚处于初始及发展状态的事故，使安全管理前瞻性和主动性大打折扣^[9-11]。

二、矿工认知负荷增强隐患识别能力的策略

（一）基于人因工程学优化作业设计与信息呈现，从源头降低外在认知负荷

为了避免不必要的精神负担，需要在起点设计机器人的工控界面，从工程心理学角度对人-机界面做优化。首要方面是运用机器人和人对话的“一致性”“直观性”“简洁性”原则进行设计；第二点在关键数据与操作手柄设计方面，重要的数据与手柄应尽量放置于显著易于操作的位置，运用颜色、形状、符号等多种感知功能来传递信息，防止单一路径的过于海量信息；也可如，如果想让用户直接关注重点的信号，就直接使用醒目的颜色和声音报警，而无须将全部细节都呈现；再者是工作程序与操作设计，可将冗长复杂的工作流程剥离整合为简洁精要的任务清单，并辅以文字提示、图像指引等手段来减小任务流程及内容为工人所理解和记忆的负担^[12]；最终是物理环境，调节灯光降低视疲劳、设法降低噪音改善听感，使工作空间不阻碍行动通道、可避免冗余动作与搜寻行动，均可间接减少应对恶劣环境时所产生的心理需求。通过这几种方式，将矿工宝贵的思想精力从解决劣质设计带来的烦琐事务中解脱出来，让他们能更好地积极去研判可能涉及的风险点。

（二）引入智能化辅助技术与决策支持系统，扩展矿工的认知能力边界

在地下作业空间，单纯依靠人的感官认识能力是不够的。利用现代信息技术特别是互联网、大数据、机器学习、增强现实技术等来延伸人的感官认识空间，可以在智能化安全隐患共同识别系统中做文章。通过各种数据监测传感器，如气体、位置移动、压力、摄像头监测等，实时采集地下空间与设备环境的状态信息，并通过对AI数据处理方式大规模数据的处理，达到自动生成可能存在隐患的数据、提前预警以及预判未来发展趋势的作用。这些由人工智能系统初加工处理后的信息，可以通过增强现实（AR）眼镜或手持机以可视化方式，给出工人可识别的信息，如标注危险区域、添加设备状态提示、绘制出一条安全路线等。工人无需再在庞大的原始数据堆中找寻有用信息，而是以可视化安全提示的方式获得现实可操作性的数据，让他们的工作变得更加轻松，“数据观察者”将转变为“决策者”^[13]。“沉默的顾问”——智能系统在不影响原有主任务的执行过程中向操作员提供关键信息，帮助其增强环境感知能力和深度，使操作员即使身处不可视的区域也可推测到潜在的风险。

（三）构建基于认知规律的针对性培训与演练体系，提升有效负荷处理能力

除降低外部压力外，也需要提高工人面对内部压力和对压力所

产生的相关压力的能力，传统的工作安全教育侧重的是提供知识，新式培训则应着重于提高核心技能^[14]。首先进行情景意识特定培训。应用 VR/AR 技术创建逼真交互的地下模拟环境，模拟正常的非正常各种操作情况，以此来训练员工识别复杂环境下的关键信息，对信息进行分析和整合并预测未来趋势的场景意识。其次进行加强认知弹性以及注意力的分配训练。创建同时开展的多重情境，员工需要在保持当前任务绩效良好的基础上对周围情况进行持续性监测，这能够提升员工注意力的调整和任务间向回切换的能力。最后进行“认知学徒制”和案例回顾分析。由资深老手现身说法，向大家展示他们在不同情况下发现问题的“心理模式”，把他的隐形智慧让所有的人都公开。对过往的不安全迹象事件和事故进行详细的分析，指导员工分析当事人的思考过程及做决定的时候的误区，以便于员工能够形成自我反思的能力 – 对自己的思维方式的观察、控制能力，从而可以使其在压力下认识到自己认知上的局限，并进而采取应对行动或请求帮助。这个培训就是教给矿工怎么聪明地去干，而不是增加他们的体力劳动强度^[15]。

三、结语

矿工隐患识别能力是矿山安全生产体系中最为能动，也是最易受侵蚀的关键环节。本研究系统地论证了认知负荷作为一把“双刃剑”，当其超出个体承受范围时，会通过注意力稀释、工作记忆超载、情境意识降级和认知偏差凸显等多重路径，严重削弱矿工的风险感知与判断能力。这一影响机制揭示了，矿山安全管理不能仅仅停留在规章制度的约束和设备技术的更新上，需要深入认知科学的层面，关注作业者“大脑中的世界”。提升矿工隐患识别效能，本质上是一场对有限认知资源的优化配置战役。唯有将矿工作为安全管理核心与主体，尊重其认知规律，保障其认知资源，才能从根本上激活安全生产的最后一道，也是最可靠的一道防线，实现矿山安全治理能力从被动应对到主动保障的现代化转型。

参考文献

- [1] 邓宏泽, 孔媛媛, 徐晟. 不同认知负荷下施工现场隐患识别的视觉行为研究 [J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(01): 40-49.
- [2] 夏中境. 认知线索对建筑工人安全隐患识别绩效的影响机理研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2024.
- [3] 刘茜萱. 石油钻井人员安全隐患识别的认知负荷影响研究 [D]. 西南石油大学, 2024.
- [4] 亢美琪. 施工现场物流中工人分心对其不安全行为的影响研究 [D]. 重庆大学, 2024.
- [5] 牛芳鑫. 煤矿工人安全意识提升的小组实务研究 [D]. 黑龙江大学, 2024.
- [6] 王艳. 基于眼动和脑电实验的疲劳对矿工风险认知的影响研究 [D]. 中南大学, 2024.
- [7] 范佳敏. 认知负荷与空间感知能力对施工机械操作精神疲劳的影响 [D]. 浙江大学, 2024.
- [8] 杜家鑫. 安全态度对矿工不安全行为的影响研究 [D]. 河南理工大学, 2024.
- [9] 梁逸飞. 基于眼动追踪技术的建筑施工危险认知研究 [D]. 深圳大学, 2023.
- [10] 郭谦. 基于脑电实验的矿工工作压力识别研究 [D]. 西安科技大学, 2023.
- [11] 邢鹏飞. 智能化综采集控台工效改善与认知负荷评价 [D]. 中国矿业大学, 2022.
- [12] 张文杰. 综掘工作面光环境下脑力负荷与认知能力研究 [D]. 中国矿业大学, 2022.
- [13] 邢雪娇. 基于认知的建筑工人心理负荷响应及干预方案研究 [D]. 华中科技大学, 2021.
- [14] 冯新怡. 施工噪声对工人危险识别影响机理的 ERP 实验研究 [D]. 重庆大学, 2021.
- [15] 尹贞贞. 施工危险认知负荷的差异性研究 [D]. 江苏大学, 2020.