

采矿工程技术革新与施工安全风险防控的适应性研究

白云翔

内蒙古同盛色连煤炭开发有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：采矿工程是能源与工业发展的重要支撑，当前技术革新与施工安全风险防控的适配性问题日益凸显。本文分析了当下采矿技术在智能化、绿色化、机械化领域的革新现状及未来“深度数字化、极致绿色化、全面安全化”趋势；剖析了坍塌、瓦斯爆炸等安全风险类型与常用评估方法，梳理了二者关联，指出技术革新的双向影响与安全需求的引导作用。揭示了适应性存在的技术不匹配、新风险产生、人管适配不足等问题，最终从协同研发、制度完善、人员培养、动态监测四方面提出策略。研究为实现采矿技术升级与安全防控协同发展提供理论与实践参考，助力行业高质量发展。

关键词：采矿工程技术革新；施工安全风险防控；适应性

引言：采矿工程作为能源供给的核心产业，技术革新与施工安全始终是行业发展的关键议题。当前采矿技术向智能化、绿色化快速迭代，但传统安全防控体系难以适配新技术应用，导致安全风险隐患加剧；同时现有研究多孤立探讨技术或安全，缺乏对二者适应性的系统分析。基于此，本文结合采矿技术革新现状与安全风险特征，深入研究二者关联及适配问题，旨在提出科学可行的优化策略，为矿山企业规避安全风险、提升技术应用效能提供指导。

1 采矿工程技术革新现状与趋势

1.1 当下采矿工程技术革新的现状

当前采矿工程技术革新围绕“高效、低碳、安全”展开，多维度突破显著。智能化领域，传感监测与数据处理系统融合，实现作业面地质条件、设备状态实时感知，经数据建模优化开采流程，减少人工干预的效率损耗与安全隐患；自动化开采系统逐步替代人工，井下掘进、开采、运输全流程可远程操控，提升开采连续性与稳定性。

绿色化是行业转型关键，低污染开采技术通过优化爆破参数、改进通风系统，降低粉尘与有害气体排放；资源循环利用技术成熟，提升采矿废弃物分类处理与二次开发能力，减少固废占地，同时高效回收伴生资源。机械化装备持续升级，大型化、高强度设备迭代，耐用性与效率提高，适应复杂地质条件能力增强，为规模化开采提供支撑。

1.2 采矿工程技术革新的未来发展趋势

未来采矿技术将向以下“深度数字化、极致绿色化、全面安全化”迈进。（1）深度数字化方面，数字孪生技术全面应用，构建矿山全要素数字模型，实现开

采虚拟仿真与动态优化，预判风险、调整方案，推动采矿从“经验驱动”向“数据驱动”转型；5G与物联网渗透，打通系统数据壁垒，实现设备、人员、环境实时互联，形成一体化智能管控体系。（2）极致绿色化下，低碳开采技术升级，新能源动力装备应用扩大，替代传统高能耗设备以降碳；生态修复技术与采矿协同增强，实现开采与修复同步，减少对地表生态与地下水资源的长期影响。（3）全面安全化方向，智能预警技术向多参数、高精度发展，可识别隐蔽地质灾害；防护技术与设备、作业流程深度融合，形成“监测-预警-防护”一体化安全保障体系，最大程度降低施工风险^[1]。

2 采矿工程施工安全风险分析

2.1 施工安全风险的类型

采矿工程施工中，施工安全风险主要有（1）坍塌风险主要源于地质条件不稳定与支护措施不到位，若作业区域岩层结构松散、裂隙发育，且未及时采取符合强度要求的支护手段，易导致巷道或采场顶板、侧壁出现垮塌；同时，开挖顺序不合理或开挖速度过快，会破坏原有的地质应力平衡，进一步加剧坍塌隐患。（2）瓦斯爆炸风险的形成与瓦斯积聚、火源存在两大因素直接相关。当采矿作业产生的瓦斯无法通过通风系统及时排出，浓度达到爆炸极限时，若遇到电气火花、机械摩擦火花或违规动火等火源，便可能引发爆炸；通风系统故障导致风量不足、风向紊乱，也会造成瓦斯局部积聚，增加爆炸风险。（3）透水风险多因水文地质勘察不充分，未能准确掌握井下含水层、断层水等水体分布情况，在开采过程中误穿水体通道，导致地下水或地表水大量涌入井下；同时，防水设施老化失效、排水系统能力不足，也会在水体突破防线时，无法及时排出积水，

引发透水事故。

2.2 安全风险评估方法

安全风险评估方法有（1）层次分析法通过将采矿工程施工安全风险拆解为目标层、准则层、指标层等不同层级，构建递阶层次结构，再通过两两比较确定各风险因素的相对重要性，赋予相应权重，最终计算出综合风险值，为风险优先级排序提供依据，该方法适用于多因素、多目标的风险评估场景，能有效整合定性与定量分析结果。（2）故障树分析法以某一特定安全事故（如瓦斯爆炸、坍塌）为顶事件，自上而下逐层分析导致顶事件发生的直接原因与间接原因，构建逻辑关系树状图，通过计算各基本事件的重要性，明确事故发生的关键诱因，可用于识别系统薄弱环节，为制定针对性防控措施提供精准指导，尤其适合对事故发生机理的深度剖析。

3 采矿工程技术革新与施工安全风险防控的关联

3.1 技术革新对施工安全风险防控的双向影响

采矿工程技术革新与施工安全风险防控存在紧密的相互作用。一方面，技术革新会改变原有安全风险的形态与分布，部分革新技术通过优化作业流程、减少人工干预，可压缩传统安全风险的存在空间；但另一方面，新技术应用也可能打破原有安全平衡，如智能化设备对电力与网络的依赖、绿色开采技术对作业环境的改变，会催生新的风险类型，使安全风险防控的对象与范围发生调整。

3.2 安全风险防控需求对技术革新的引导作用

施工安全风险防控的需求反过来会规范与推动技术革新的方向。安全标准与防控目标会成为技术研发的重要约束条件，促使革新技术在设计阶段即融入安全考量，确保技术应用不会突破安全底线；同时，现有安全防控手段的不足，如对隐蔽风险监测能力的欠缺、应急响应效率的局限，也会倒逼技术革新向精准监测、快速处置等方向发力，形成“风险防控需求—技术革新突破—防控能力提升”的循环互动关系。二者需保持动态适配，才能实现技术升级与安全保障的协同推进^[2]。

4 技术革新与施工安全风险防控的适应性存在问题

4.1 技术应用与安全风险防控需求的不匹配

部分采矿工程技术革新侧重提升开采效率与资源利用率，研发和应用环节未充分衔接安全防控需求，导致新技术与现有安全体系脱节。一方面，部分革新技术的安全设计未覆盖全流程风险点，仅优化单一环节，难应对复杂地质下的多类型隐患；另一方面，新技术应用后，原有安全监测指标、防控标准未同步更新，无法精准识别风险变化，防控措施针对性不足。此外，不同

革新技术协同性弱，安全数据无法互通形成“信息孤岛”，影响整体防控体系响应效率。

4.2 技术革新引发的新型安全风险

技术革新优化传统作业模式的同时，也带来新隐患。智能化设备依赖电力与网络，供电不稳或网络中断易致设备失控，引发作业中断或事故；其复杂操作系统增加故障排查难度，核心部件故障若维修不及时会扩大风险影响。绿色开采技术推广中，部分技术工艺原理未完全成熟，对作业环境适应性待验证，特定地质条件下可能打破环境平衡，诱发新地质灾害。且技术革新重构作业流程，部分环节风险传导路径变化，现有防控体系难预判新型风险演化规律。

4.3 人员与管理对技术革新的适配性不足

人员层面，部分作业人员对革新技术的操作流程、安全风险点认知不足，缺乏系统培训，易因操作失误引发隐患；新技术对技能要求提升，现有人员知识结构与需求存在差距，难充分发挥技术防控效能。管理层面，现有安全管理制度多基于传统技术制定，针对革新技术的管理条款不完善，缺乏对应风险管控流程与应急预案；管理部门对技术革新与安全防控的协同规划不足，技术引入时未充分评估安全风险，导致二者脱节，增加事故概率^[3]。

5 提升采矿工程技术革新与施工安全风险防控的适应性策略

5.1 构建技术革新与安全防控协同研发机制

（1）在技术研发源头强化安全导向，建立“安全需求前置”的技术研发流程，要求所有采矿工程革新技术在立项阶段即开展安全风险评估，明确安全防控指标，并将其纳入技术研发考核体系，确保技术革新与安全防控同步规划、同步推进。（2）推动科研机构、设备厂商与矿山企业组建协同研发团队，整合技术研发能力与现场施工经验，针对采矿作业中的高风险环节，定向研发兼具效率提升与安全保障功能的技术装备，重点突破智能化监测、自动化防护等核心技术与安全防控的适配难题。（3）建立技术革新安全验证机制，对研发完成的新技术、新装备，设置专门的安全测试阶段，模拟不同地质条件与作业场景下的安全风险，验证技术的安全稳定性，未通过安全验证的技术不得进入实际应用环节。（4）搭建技术共享平台，收集整理行业内成熟的“技术革新-安全防控”适配方案，为各类矿山企业提供技术参考，降低技术应用风险。

5.2 完善适配技术革新的安全管理制度与标准体系

（1）针对技术革新带来的作业流程变化，修订完善

现有安全管理制度，补充针对智能化设备、绿色开采技术等革新技术的安全管理条款，明确设备操作规范、安全监测频率、风险处置流程等内容，确保每个技术应用环节都有对应的安全管理要求。（2）建立动态更新的安全标准体系，根据采矿技术革新趋势与行业安全事故规律，定期组织专家评估现有安全标准的适用性，及时更新安全监测指标、防护设备技术参数、作业环境安全阈值等标准内容，使安全标准始终与技术革新水平保持同步。（3）制定技术革新安全准入标准，明确矿山企业引入新技术时需满足的安全条件，包括配套安全设施配置要求、人员技能标准、应急能力指标等，对不符合准入标准的技术应用项目实行一票否决，从制度层面阻断技术与安全不匹配的问题。（4）建立安全管理制度执行监督机制，通过现场巡查、数据核查、第三方评估等方式，监督矿山企业落实适配技术革新的安全管理要求，对违规操作行为加大处罚力度，确保制度落地见效。

5.3 打造适配技术革新的人员能力培养体系

（1）设计分层分类的人员培训方案，针对管理人员，重点培训技术革新背景下的安全管理理念、风险预判方法与应急决策能力；针对技术人员，聚焦革新技术的原理、安全风险点、故障排查与维护技能；针对一线作业人员，强化新技术操作规范、安全防护措施与应急处置流程培训，确保不同岗位人员均具备适配技术革新的安全能力。（2）创新培训方式，结合虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等技术，搭建模拟采矿作业场景的培训平台，让人员在虚拟环境中实操革新技术装备，熟悉安全风险应对流程，提升培训的直观性与实效性；同时，开展定期轮岗实训，组织人员参与技术研发、安全监测、应急处置等不同环节工作，全面了解技术革新与安全防控的衔接要点。（3）建立人员能力评估与认证机制，制定适配革新技术的人员能力评估标准，定期对人员技能水平进行考核，考核合格者颁发相应的技术操作与安全管理认证证书，未通过考核的人员不得上岗操作，确保人员能力与技术应用要求相匹配。（4）建立行业人才共享机制，鼓励技术专家、安全顾问跨企业提供指导，帮助中小矿山企业提升人员适配技术革新

的安全能力。

5.4 建立技术革新与安全防控动态协同监测机制

（1）搭建一体化数据监测平台，整合采矿作业中的技术参数（如设备运行速度、开采强度）与安全指标（如瓦斯浓度、顶板压力、水体水位），实现数据实时采集、传输与共享，打破技术与安全数据壁垒，为协同分析提供数据支撑。（2）制定动态协同分析规则，基于监测数据，建立技术革新与安全风险关联模型，定期分析技术参数变化对安全指标的影响，识别潜在风险点；当技术参数调整或安全指标异常时，自动触发预警，提醒管理人员及时排查风险，确保技术革新过程中的安全风险可预判、可管控。（3）建立应急联动响应机制，针对技术革新可能引发的新型安全风险，制定专项应急预案，明确应急处置流程、责任分工与资源调配方案；将应急预案与监测平台联动，当监测到重大安全风险时，自动启动对应应急预案，快速调度人员、设备开展应急处置，最大限度降低事故损失。（4）建立定期复盘优化机制，每月对技术革新与安全防控协同情况进行复盘，分析协同监测中存在的问题，优化数据监测指标、协同分析规则与应急响应流程，持续提升技术革新与安全防控的适配性^[4]。

结束语：本文系统完成了采矿工程技术革新与施工安全风险防控适应性的研究，明确了技术革新的现状趋势、安全风险类型与评估方法，提出了二者关联及适配问题，构建了多维度提升策略。研究成果可帮助矿山企业精准识别技术与安全适配短板，通过协同研发、制度完善等措施，实现技术升级与安全防控同步推进。

参考文献

- [1]董永. 现代采矿工程技术的现状与未来展望[C]//2024工程技术应用与施工管理论坛论文集. 2024:1-3.
- [2]陆永彪. 现代化煤矿工艺技术在采矿工程中的应用分析[J]. 内蒙古煤炭经济,2023(8):49-51.
- [3]程玉茂. 影响煤矿采矿工程质量和技术的因素[J]. 能源与节能,2024(4):205-207+233.
- [4]叶军鹏. 煤炭采矿工程中的安全管理与风险预防策略[J]. 内蒙古煤炭经济,2024(8):118-120.