

煤矿采矿工程中的安全风险评估与防控策略

任晓芳 郝军

山西襄矿晋平煤业有限公司 山西长治 046203

【摘要】随着我国能源结构的不断优化,煤炭作为基础能源的主导地位在短期内仍难以撼动。然而,煤矿采矿工程由于作业环境复杂、作业空间密闭、地质条件多变,常常伴随较高的安全风险,极易发生各类事故。本文从煤矿采矿过程中可能面临的安全风险出发,分析其主要成因,并在此基础上提出相应的风险评估方法与防控策略。通过引入现代化管理理念与信息技术手段,强化风险源辨识、提升安全管理效率、健全应急响应机制,有助于全面提升煤矿安全生产水平,降低事故发生概率。研究表明,系统化的风险评估体系与前瞻性的防控措施是实现煤矿本质安全的关键路径。

【关键词】煤矿采矿工程;安全;风险评估;防控策略

【中图分类号】TD79 **【文献标识码】**A

Safety Risk Assessment and Prevention Strategies in Coal Mining Engineering

Ren Xiaofang Hao Jun

Shanxi Xiangkuang Jinping Coal Industry Co., Ltd. Shanxi Changzhi 046203

【Abstract】 With the continuous optimization of China's energy structure, the dominant position of coal as a basic energy source is still difficult to shake in the short term. However, due to the complex working environment, enclosed working space, and variable geological conditions, coal mining engineering often carries high safety risks and is prone to various accidents. This article starts from the possible safety risks faced in the coal mining process, analyzes their main causes, and proposes corresponding risk assessment methods and prevention strategies based on this. By introducing modern management concepts and information technology methods, strengthening risk source identification, improving safety management efficiency, and perfecting emergency response mechanisms, it is helpful to comprehensively enhance the level of coal mine safety production and reduce the probability of accidents. Research has shown that a systematic risk assessment system and forward-looking prevention and control measures are the key paths to achieving intrinsic safety in coal mines.

【Key words】 coal mining engineering; Safety; Risk assessment; prevention and control strategy

引言

煤炭作为我国一次能源的重要支柱,占据能源消费结构的较大比重。尽管近年来可再生能源发展迅速,但煤炭仍然是保障国家能源安全、支撑经济发展的核心资源之一。然而,煤矿行业因其高危特性,始终是事故多发、高死亡率的行业。井下作业空间狭小,通风、排水、瓦斯防控等系统复杂,任何一个环节疏忽都可能引发灾难性后果。因此,加强煤矿采矿工程中的安全风险评估,研究科学、可操作的风险防控策略,对于保障矿工生命安全、推动煤矿企业可持续发展、构建安全生产长效机制,具有重要现实意义和深远影响。本文从实际工程案例出发,结合当前行业现状,系统探讨煤矿安全风险类型、评估方法以及相应的防控策略,旨在为行业提供可借鉴的安全管理思路。

1 煤矿采矿工程的主要安全风险类型

1.1 瓦斯爆炸

在煤矿采掘工程中,瓦斯爆炸一直是最常见且危害最大的事故之一。瓦斯主要成分是甲烷,具有极强的易燃易爆特性。当瓦斯浓度在6%至16%之间,遇到明火、电火花等点火源,就极易发生爆炸。特别是在通风系统不完善、瓦斯抽采不到位的情况下,瓦斯积聚风险更大。一旦爆炸发生,不仅会导致大量人员伤亡,还会破坏井下设施,引发连锁灾害,如二次爆炸、塌方或火灾等。因此,加强通风管理、实施瓦斯实时监测与抽采,是预防此类事故的关键。

1.2 顶板坍塌

顶板坍塌事故在井下采掘作业中也屡见不鲜,属于高致死率的重大安全风险。由于煤矿地质构造复杂,煤层上覆岩层稳定性差,加之支护系统薄弱或施工不规范,极易引发顶板坍塌。许多事故案例表明,作业人员忽视初撑支护、违反操作规程,是事故诱因之一。此外,机械震动或爆破作业也可能加速岩层失稳。预防顶板事故,需加强地质超前预判、优化支护方案,并强化作业区日常巡检和风险提示,确保人员作业安全。

1.3 水害事故

煤矿水害多源于地下含水层、老空积水或突水断层，尤其在开采接近含水区域时风险更为突出。一旦防治措施不到位，如探水、疏水未及及时开展，极可能出现大面积突水，导致作业人员被困，甚至酿成井下淹没事故。此外，雨季期间地表水渗漏也可能成为隐患来源。针对水害风险，必须提前做好水文地质勘查，建立分区防控体系，实施物探、钻探等技术手段进行预判，同时设置完备的排水系统与逃生通道，以减少突发水害损失。

1.4 火灾事故

井下火灾虽不如瓦斯爆炸频繁，但一旦发生，其后果同样严重。火灾通常由电缆短路、设备故障、油脂泄漏或明火操作引起。井下空气流通受限，一旦火势蔓延，会造成有毒气体积聚，严重威胁作业人员生命安全。更危险的是，火灾常常成为瓦斯爆炸的“导火索”，引发更大规模灾害。因此，防控井下火源尤为重要。必须强化电气设备检修与隔离、加强通风管理，设置防火墙与隔离带，并定期开展消防演练，提高人员应对突发火情的能力。

1.5 机电设备故障

煤矿现代化程度不断提升，各类机电设备广泛应用于运输、提升、排水、通风等关键环节。但设备故障风险也随之增大。许多事故源于电机过载、液压系统失灵、传动机构卡滞等问题，尤其在维护不及时、操作违规的情况下，突发性伤害事故更易发生。一旦某一关键设备失效，可能导致生产中断、人员伤害，甚至诱发次生灾害。为此，必须建立健全的设备巡检与维修制度，引入智能监测系统，实现对设备状态的实时预警，减少故障发生率。

2 安全风险评估方法

2.1 风险矩阵法 (Risk Matrix)

风险矩阵法是一种直观且操作简便的安全风险评估工具，常用于煤矿企业的初步风险识别与分级管理。该方法将风险的两个核心要素——“发生概率”和“后果严重性”设为评估维度，构建二维矩阵，划分为低、中、高等不同等级。管理人员可以通过风险矩阵图快速判断某一潜在风险的危险程度，从而决定是否需要采取控制措施及其优先级。例如，对于瓦斯浓度监测系统故障这一风险，若其概率较高且后果严重，则在矩阵中可能归入“重大风险”区域，需优先整改。该方法的优点在于形象直观、易于理解，适用于基层操作人员和管理层之间的信息沟通。然而，风险矩阵法也存在主观性强、定量分析不足的局限，通常需与其他方法联合使用，以增强评估的科学性和系统性。

2.2 层次分析法 (AHP)

层次分析法是一种系统化的决策分析方法，尤其适用于多因素、多层次的复杂安全风险问题。其基本原理是将问题分解为目标层、准则层和方案层，然后通过两两比较构造判断矩阵，利用特征向量计算权重，最终得出各因素对总体目标的相对影响程度。在煤矿安全管理中，AHP 常被用于对

多个潜在风险源进行权重排序，从而明确哪些因素对事故发生起主要作用。以顶板塌方风险为例，相关因素如岩层稳定性、支护强度、采掘方式等可分别建模，并通过专家评分赋值，形成科学的评估体系。这一方法的优势在于将主观判断转化为相对客观的权重分配，提高决策的逻辑性与透明度。但其结果高度依赖于专家经验与打分一致性，若参与人员专业性不足，可能影响结果准确性。因此，在应用过程中需确保专家来源广泛，数据样本充足，以提升评估有效性。

2.3 模糊综合评价法

模糊综合评价法适用于处理煤矿安全评估中“模糊、难量化”的风险因素，尤其在面对数据不完整或不确定性较高的情况下表现出较强的适应性。该方法基于模糊数学原理，通过建立评估指标体系、设定评价等级与隶属函数，将定性描述转化为定量分析。具体操作中，评估对象的各指标首先被赋予不同的模糊隶属度，再依据权重计算综合评判结果。举例来说，井下通风状况无法直接以“良好”或“不良”判定，但可通过风量、风速、风压等指标设置模糊区间进行评价。这种方法不仅能处理灰色区域问题，还能综合多方面信息给出整体评价，是当前煤矿风险等级划分中重要手段之一。不过，模糊评价法在实际应用中对专家经验和指标选取的科学性要求较高，需结合其他方法进行交叉验证，以增强其可靠性与操作性。

2.4 事件树分析 (ETA) 与故障树分析 (FTA)

事件树分析与故障树分析是煤矿事故分析与预测中常用的逻辑建模方法，二者互为补充，共同构建完整的事事故推理框架。ETA 从某一初始事件（如瓦斯传感器失效）出发，分析其可能引发的一系列后果路径，通过“是/否”逻辑节点建立事件分支，最终展示可能导致事故的多种发展情境。这种方法有助于预测未来可能发生的异常事件组合，是进行预防性评估的有效工具。而 FTA 则反其道而行之，从某一已知的顶层事故（如瓦斯爆炸）出发，层层追溯其潜在原因与基础事件，构建逻辑结构图。通过逻辑门（如 AND、OR）将不同因素关联起来，可识别事故发生的关键薄弱环节。将 ETA 和 FTA 结合应用，不仅可分析事故发生前的全过程，还能从根源上揭示问题，有助于制定有针对性的控制措施。值得注意的是，这两种方法需要大量可靠的基础数据和技术支持，模型构建过程较为复杂，适合由专业团队执行，并辅以软件工具实现自动化建模与风险模拟。

3 安全风险防控策略

3.1 强化安全制度建设

安全管理的核心在于制度建设。没有清晰的制度体系，安全管理便成无源之水、无本之木。煤矿企业应建立涵盖各层级、各岗位、各环节的安全生产责任制度，确保“谁主管、谁负责”落实到位。从企业领导到一线员工，每一级都必须明确自身的安全职责。同时，还应根据作业实际，制定科学、可操作的作业规程与技术措施，防止制度流于形式。培训是

制度落地的关键环节。不能仅靠纸面传达,更要通过案例分析、事故回顾、现场演练等多种形式深化员工理解。此外,要构建以“奖优罚劣”为导向的考核激励机制,提升员工参与安全管理的积极性。通过量化考核、公开通报、绩效挂钩等方式,将安全责任与岗位晋升、收入分配紧密挂钩,真正把制度变成每位员工自觉遵守的行为准则,而非表面文章。

3.2 推进智能化矿山建设

面对井下环境的高风险特性,仅依赖人工经验和传统设备已难以满足现代煤矿对本质安全的要求。智能化矿山建设正成为破解这一难题的有效途径。通过引入物联网感知技术,实现对瓦斯浓度、温度、风速、水位等关键数据的实时采集,并将信息上传至监控平台,由人工智能算法进行分析预警,管理人员可远程操控系统进行干预,极大减少人工巡检盲区。同时,自动化排水设备、无人驾驶运输车辆、智能支护机器人等装备的应用,使井下“少人化”成为可能,降低人员暴露在高危环境的时间。此外,利用大数据技术可对事故隐患进行趋势预测,构建“风险地图”,提前锁定高危区域。智能化转型不仅提升了安全系数,还优化了生产效率和资源调配,是实现煤矿安全、高效、绿色发展的重要抓手。当然,推进智能矿山需配套资金、技术和人才支持,建议分阶段、有重点地推进试点建设,逐步推广。

3.3 提高应急响应能力

煤矿安全管理不仅要重视事前预防,更要注重事中处置与事后恢复的能力建设。应急响应能力的强弱,往往决定了突发事故后损失的大小、人员生还率的高低。首先,应建立覆盖各类风险的应急预案体系,包括但不限于瓦斯爆炸、火灾、水害、顶板坍塌等场景。预案应详细明确应急流程、职责分工、物资调配、通信联络等内容,并根据实际情况动态更新。其次,应急演练不能流于形式,而应模拟真实情境,提升员工应急反应、协同撤离、设备操作、现场自救能力。演练频次应合理安排,重大工程节点前应特别强化演练。应在井下关键区域配备足量的应急避险设施,如压风自救装置、避险舱、逃生通道等,并保持完好可用状态。对关键岗位,如调度、通风、救护等,实行24小时值班制度,确保突发事件发生时能第一时间响应。信息化平台建设也应加强,利用应急调度系统、电子地图、人员定位系统等手段提升整体响应效率。

3.4 加强人员安全培训

人是安全管理中最不稳定的因素,而培训则是提升人员安全意识与操作能力的根本途径。当前部分煤矿存在“培训

应付式”、“培训等于讲课”现象,导致实际效果甚微。应重新审视培训体系,从内容、方式、对象等多方面进行改革。首先,培训内容应结合事故案例进行针对性设计,如瓦斯超限处理、支护作业流程、突水应对等,不断更新与岗位匹配的实用知识。其次,培训方式应从传统课堂讲授转向情景式教学、虚拟仿真系统、现场操作演练等多元互动模式,让培训从“听懂”转变为“会做”。针对新入职员工、外包施工队伍,应实施“三级安全教育”,即公司级、区队级、岗位级三道培训流程,严把“入井关”。对长期从事井下作业的员工,也应定期“回炉再造”,防止经验主义和麻痹思想滋生。同时,设立培训考核机制,对未通过考试的人员不得上岗作业,从制度上保障培训实效。

3.5 做好地质勘探与超前治理

煤矿灾害的发生往往与地质条件密切相关,而这些隐患常常隐藏在看不见的地下。只有通过科学的地质勘探,才能实现“未动先知”,为安全采矿提供依据。勘探工作应覆盖采掘前、中、后各阶段,结合钻探、地质雷达、地震波测试等多种手段,获取岩层结构、水文条件、断层分布等信息,对异常区域进行重点分析。对于识别出的高风险区域,要制定有针对性的超前治理方案。例如,在瓦斯富集带提前进行抽采降压,在可能突水区域进行注浆封堵,在断层带加强支护设计。同时,应动态更新地质资料,配合三维建模技术,构建“地质灾害预警系统”,将变化趋势可视化,提高预判能力。治理措施必须落实到操作层面,不能停留在图纸上,需专人负责、过程留痕、验收闭环。通过“探得清、治得准、防得住”的原则,才能有效降低自然灾害对采矿安全的威胁,实现从经验采矿向科学采矿的转变。

结束语

煤矿安全生产问题事关人民群众生命财产安全与社会稳定。面对采矿工程中日益复杂的安全风险,传统的经验管理模式已难以适应现代矿山发展需求。必须通过科学的风险评估方法识别并量化各类风险,结合先进技术手段与管理理念,制定切实可行的防控策略,提升企业整体安全管理水平。只有建立起“预防为主、源头控制、系统联动、智能防控”的综合治理体系,才能真正实现煤矿安全、高效、绿色的发展目标。未来,随着智能矿山的持续推进,煤矿行业的安全管理水平必将跃上新台阶。

参考文献

- [1]王国庆. 安全管理在煤矿采矿工程中的应用分析[J].内蒙古煤炭经济, 2022, (19): 109-111. DOI: 10.13487/j.cnki.imce.022595.
- [2]郭莹. 浅谈煤矿采矿工程中的安全管理[J].当代化工研究, 2022, (03): 8-10.
- [3]焦原洁. 关于煤矿工程采矿技术与施工安全质量管理的研究[J].中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(02): 77-79.