

# 探析地下矿山安全技术具体措施

孙玉德

招金矿业股份有限公司夏甸金矿 山东 烟台 265400

**摘要：**地下矿山开采对保障国家资源安全与推动经济发展意义重大，但复杂环境致使安全事故频发。本文深入剖析地下矿山开采安全现状，从地质灾害防治、开采安全、通风防尘、排水防水、机电设备及运输安全等方面，系统阐述安全技术具体措施，并介绍安全监测与预警系统应用。通过科学规划与技术创新，实现对各类安全风险的有效防控，旨在为提升地下矿山安全水平提供理论与实践参考，保障矿山安全生产与可持续发展。

**关键词：**地下矿山；安全技术；具体措施

引言：随着地表资源日渐匮乏，地下矿山开采成为资源获取的核心途径，在工业生产与经济建设中占据关键地位。但其复杂的地质条件与作业环境，导致塌方、透水、瓦斯爆炸等安全事故时有发生。当前部分矿山企业存在安全管理薄弱、技术应用滞后等问题，严重威胁人员生命安全与矿山稳定运营。在此背景下，深入探析地下矿山安全技术具体措施，完善安全管理体系，对保障矿山安全生产、促进矿业可持续发展具有迫切的现实意义与深远的战略价值。

## 1 地下矿山开采的重要性

地下矿山开采是保障国家资源安全与推动经济发展的关键环节，其重要性体现在以下多个层面。（1）从资源供给角度看，随着地表资源的逐渐枯竭，地下矿山成为获取各类矿产资源的主要来源。金属矿产如铜、铁、锌等，是现代制造业、建筑业的基础材料；非金属矿产如煤炭、磷矿等，为能源供应和化工产业提供核心原料。通过地下开采，能将深埋地下的资源转化为可用材料，满足社会生产生活的持续需求，保障资源供应链的稳定。（2）在工业发展方面，地下矿山开采是众多工业领域的上游产业，其产出的矿石原料经过加工，形成各种工业产品，支撑起庞大的工业体系。如铁矿石经冶炼成为钢铁，是机械制造、桥梁建设等行业不可或缺的基础；煤炭的开采和利用，为火力发电、煤化工等产业提供动力与原料。稳定的矿产资源供应，确保工业生产的连续性，推动工业经济的繁荣发展。（3）从经济贡献角度，地下矿山开采产业带动了上下游众多行业发展，创造大量就业岗位<sup>[1]</sup>。从矿山勘探、开采、运输到矿石加工、贸易等环节，形成完整产业链，吸纳不同层次劳动力。矿山企业为地方和国家贡献巨额税收，促进区域基础设施建设和公共服务提升。

## 2 地下矿山开采安全现状

地下矿山开采环境复杂，安全风险较高，当前其安

全现状存在以下多方面问题：（1）在事故发生率方面，尽管近年来矿山安全管理水平有所提升，但塌方、冒顶、透水、瓦斯爆炸等事故仍时有发生。部分小型矿山企业因开采技术落后、安全投入不足，无法有效应对复杂地质条件带来的风险，导致安全事故隐患突出。（2）安全管理层面，部分矿山企业安全管理制度不完善，执行力度不足。存在安全责任划分不明确、安全监督流于形式等问题，未能形成有效的安全管理体系。部分企业为追求经济效益，压缩安全培训时间和费用，导致从业人员安全意识淡薄，对操作规程不熟悉，违规操作现象频发。安全管理人员数量不足、专业素质参差不齐，难以对矿山开采全过程进行有效监管。许多矿山仍采用传统开采技术，机械化、自动化水平低，人工操作风险高。部分矿山在通风系统管理上，仍依靠人工经验调节风量，难以精准控制井下空气质量，导致粉尘、有害气体浓度超标，增加了职业病和爆炸事故发生的可能性。（3）在安全监测与预警方面，部分矿山监测设备陈旧，监测范围有限，无法实时、全面地掌握井下安全状况<sup>[2]</sup>。预警机制也不够完善，当出现安全隐患时，难以及时发出警报并启动应急响应，延误了事故处理的最佳时机。

## 3 地下矿山安全技术具体措施

### 3.1 地下矿山地质灾害防治技术措施

#### 3.1.1 地质勘探与风险评估方法

地质勘探作为防治地质灾害的首要环节，其技术应用的深度与广度直接影响灾害防治成效。在实际作业中，地质雷达凭借高频电磁波的反射特性，能够穿透数十米的岩体，快速探测出断层、破碎带等地质异常体的位置与规模；钻探技术则通过岩芯取样，获取岩石物理力学参数，如抗压强度、弹性模量等，为后续分析提供精准数据支撑。二者相互配合，可构建起三维地质模型，直观呈现地下矿山的地质全貌。风险评估环节，层

次分析法通过构建多指标递阶层次结构,将地质灾害影响因素进行系统分解,确定各因素权重;模糊综合评价法引入隶属度函数,有效处理评估过程中的模糊性与不确定性,二者结合能对地质灾害发生的可能性及危害程度进行科学量化,进而为矿山开采规划提供决策依据。

### 3.1.2 塌方、冒顶等灾害的预防与处理技术

针对塌方、冒顶灾害,超前支护技术采用预应力锚杆、锚索,在开挖前对顶板及帮壁进行主动加固,使松散岩体形成整体承载结构。在开挖过程中,“短进尺、弱爆破、强支护”原则贯穿始终,单次掘进长度控制在1-2米,采用毫秒微差爆破技术减少震动影响,支护作业紧跟开挖面,确保围岩及时得到有效支撑。灾害发生后,木垛法利用圆木交错堆叠形成临时支撑结构,快速控制坍塌范围;喷锚网联合支护法先喷射混凝土封闭岩面,再布设钢筋网与锚杆,形成刚柔结合的加固体系,有效防止灾害蔓延。

## 3.2 地下矿山开采安全技术措施

### 3.2.1 合理开采方案的设计与选择

合理开采方案的设计需综合考量多方面因素。矿体赋存条件决定了开采方式的选择方向,如矿体倾角小于 $15^{\circ}$ 时,适合采用缓倾斜矿体开采方法;矿体厚度超过10米时,需采用厚矿体开采工艺。地质构造影响开采布局,断层、褶皱区域需避开或采取特殊处理措施。开采技术条件包括设备能力、人员素质等,需与开采方案相匹配。数值模拟技术借助有限元、离散元等方法,对开采过程中的应力、位移变化进行动态模拟,直观呈现不同方案下的围岩变形趋势,辅助技术人员筛选出安全性与经济性俱佳的开采方案。

### 3.2.2 开采过程中的顶板管理与支护技术

顶板管理与支护技术体系完善且严谨。开采前,地质雷达可探测顶板内部裂隙发育情况,声波探测仪能测定岩体完整性系数,二者结合准确划分顶板类别。在支护实践中,对于Ⅰ类稳定顶板,采用全长粘结式锚杆,按 $1.2\times 1.2$ 米间距梅花形布置;Ⅱ类中等稳定顶板,在锚杆支护基础上铺设金属网,网孔尺寸为 $100\times 100$ 毫米;Ⅲ类不稳定顶板,先喷射8-10厘米厚混凝土层,再安装预应力锚索,锚索长度根据顶板厚度确定,一般为6-10米,确保顶板在复杂开采环境下保持稳定。

## 3.3 地下矿山通风与空气质量保障措施

### 3.3.1 通风系统的优化设计与运行管理

通风系统优化设计遵循按需供风原则,结合矿山开采进度动态调整。进风巷、回风巷的断面尺寸根据风量需求计算确定,一般进风巷风速控制在0.25-4米/秒,回风

巷风速不超过8米/秒。通风构筑物的设置精准科学,调节风窗用于控制分支巷道风量,风桥实现风流立体交叉,确保通风系统风流稳定、阻力均衡。运行管理中,采用在线监测系统实时采集风机风压、风量数据,通过智能控制系统自动调节风机叶片角度,实现通风系统的节能高效运行。

### 3.3.2 粉尘、有害气体的控制与监测技术

粉尘控制构建起多层次防护体系。在产尘源头,采掘设备配备内、外喷雾装置,喷雾压力不低于8兆帕,降尘效率可达70%以上;运输环节采用封闭皮带运输机,并在转载点设置喷雾帘幕。巷道内布置高效湿式除尘风机,其过滤效率达99%,可有效净化含尘空气。有害气体监测采用分布式传感器网络,一氧化碳、硫化氢等传感器按50-100米间距布置,当气体浓度达到预警阈值时,系统自动启动备用风机,增加通风量,并通过声光报警装置提醒作业人员。

## 3.4 地下矿山排水与防水安全技术

### 3.4.1 排水系统的规划与设备配置

排水系统规划基于精确的涌水量预测,采用水文地质比拟法、数值模拟法等多种手段综合分析。排水设备选型时,主排水泵流量按最大涌水量的1.2倍配置,扬程根据排水高度及管路损失确定,一般预留20%的富余量。多级排水站呈阶梯式布置,相邻排水站高差根据水泵性能确定,通常为50-100米,形成接力排水模式。设备配置上,备用排水泵数量不少于工作泵的50%,并配备独立的双回路供电系统,确保极端情况下排水系统不间断运行。

### 3.4.2 突水事故的预防与应急处理措施

突水事故预防注重源头治理。注浆加固技术采用水泥-水玻璃双液浆,对导水通道进行封堵,注浆压力根据地层条件控制在1-3兆帕。防水隔离区按水文地质单元划分,防水闸门采用钢板焊接结构,门框与巷道壁预留止水凹槽,填充橡胶止水条,确保密封性能。应急处理时,启动应急预案,通过井下广播系统引导人员按预设路线撤离,同时开启所有排水设备全力排水,对涌水点采用快硬水泥、沙袋进行临时封堵,必要时注入速凝浆液,快速控制突水规模。

## 3.5 地下矿山机电设备安全技术措施

### 3.5.1 机电设备的选型、安装与维护管理

机电设备选型严格遵循安全标准,针对不同作业环境选择相应防护等级设备。在有瓦斯爆炸危险区域,选用Exd I类防爆电气设备;在潮湿环境,设备外壳防护等级不低于IP54。设备安装过程执行严格的验收制度,基础混凝土强度达到设计要求的80%以上方可安装设备,电气

连接采用压接或焊接方式,确保接触电阻符合标准。维护管理采用状态监测技术,通过振动传感器、温度传感器实时监测设备运行参数,利用故障诊断专家系统对数据进行分析,提前预判设备故障,实现预防性维护。

### 3.5.2 电气防爆与机械安全防护技术

电气防爆措施涵盖设备全生命周期。设备制造阶段,防爆外壳采用高强度铸铝合金材质,隔爆面间隙、粗糙度符合标准;安装时,电缆引入装置采用压紧螺母式或浇封式结构,确保密封可靠。机械安全防护根据设备危险程度设置,对于旋转部件,防护罩与旋转件间隙不大于5毫米;对于移动设备,设置防碰撞雷达与紧急制动装置,当检测到障碍物时,设备自动减速或停止运行,保障人员与设备安全。

## 3.6 地下矿山运输安全技术措施

### 3.6.1 运输设备的安全运行管理

运输设备安全运行管理依托信息化手段。建立设备全生命周期管理系统,记录设备采购、安装、运行、维护、报废等全过程数据。操作规程细化到每个作业环节,如提升机操作包括启动前检查、加速、匀速、减速、停车等步骤的具体操作要求。定期检测采用无损探伤技术检测钢丝绳内部断丝情况,利用液压测试仪检测制动系统压力,确保设备性能始终处于良好状态。

### 3.6.2 运输线路的优化与安全保障措施

运输线路优化结合矿山开采布局动态调整。通过三维建模技术对运输线路进行模拟分析,减少不必要的弯道与坡道,降低运输能耗与安全风险。安全保障措施全面且细致,在斜巷设置常闭式跑车防护装置,当车辆速度超过规定值时自动拦截;在巷道交叉口安装声光报警信号装置,车辆通过时提前发出警示<sup>[3]</sup>。定期对运输巷道进行断面检测,采用激光扫描技术生成巷道三维模型,对变形区域及时进行修复,确保巷道断面尺寸满足运输安全要求。

## 4 地下矿山安全监测与预警系统应用

### 4.1 监测系统的组成与功能实现

地下矿山安全监测系统由硬件设备与软件平台协同构成。硬件层面,涵盖各类传感器、数据采集器及传输网络。传感器包括位移传感器、应力传感器、气体浓度

传感器等,可实时采集顶板变形、设备运行参数、有害气体浓度等关键数据;数据采集器对传感器信号进行预处理,通过光纤、无线网络等传输方式,将数据快速、稳定地传送至地面控制中心。软件平台则负责数据的深度处理与分析,运用大数据、人工智能算法,对海量监测数据进行筛选、整合,生成可视化图表与分析报告,帮助管理人员直观掌握井下安全状况。

### 4.2 预警机制的建立与应急响应流程

预警机制基于科学设定的阈值构建。根据矿山实际情况,结合历史数据与行业标准,为不同监测指标设定预警阈值,如顶板位移变化速率、一氧化碳浓度等。当监测数据超过阈值时,系统自动触发分级预警,分为一般预警、严重预警和紧急预警三个等级,通过声光报警、短信推送等方式,及时通知相关人员。应急响应流程则依据预警等级启动相应预案,一般预警时,安排专业人员进行现场排查;严重预警时,暂停相关区域作业,组织人员撤离并开展隐患排查;紧急预警时,立即启动矿山整体应急救援预案,疏散全体人员,调动救援力量,采取抢险措施,最大程度降低事故损失,保障人员生命与矿山财产安全<sup>[4]</sup>。

结束语:本论文全面探讨了地下矿山安全技术的具体措施,涵盖地质灾害防治、开采全流程安全管理及监测预警系统等内容。通过技术应用与管理优化,可有效降低安全风险,提升矿山安全水平。但随着开采深度增加与环境变化,新的安全挑战不断涌现。未来需持续加强安全技术研发与创新,推动智能化、自动化技术在矿山的深度应用,完善安全管理长效机制,以适应行业发展需求。

### 参考文献

- [1]吴畏兵.地下矿山安全技术措施探讨[J].商品与质量,2021(20):153.
- [2]陈先平.地下矿山安全技术措施探讨[J].世界有色金属,2019(19):122-124.
- [3]王时斌.地下矿山通风技术与安全管理[J].中国金属通报,2022(4):19-21.
- [4]魏国军.地下矿山开采技术安全管理探讨[J].百科论坛电子杂志,2020(11):15-16.