

深部矿井开采中的安全隐患及防控措施研究

李晓亮 范玉杰

山东黄金矿业(玲珑)有限公司 山东 烟台 265419

摘要: 随着浅部矿产资源的逐渐枯竭,深部金属矿山开采成为矿业发展的必然趋势。然而,深部开采环境复杂,面临着诸多不同于浅部开采的安全隐患,如高地应力、高地温、高岩溶水压等,给矿井安全生产带来巨大挑战。本文深入分析了深部金属矿山矿井开采中的主要安全隐患,包括岩爆、突水、高温热害、通风不良等,并针对性地提出了相应的防控措施,旨在为深部金属矿山的安全开采提供理论支持和实践指导。

关键词: 深部金属矿山; 矿井开采; 安全隐患; 防控措施

1 引言

金属矿产资源是国家经济发展的重要物质基础,随着浅部矿产资源的日益减少,深部金属矿山开采已成为矿业发展的必然选择。目前,我国已有许多金属矿山进入深部开采阶段,开采深度不断加大,部分矿山已超过1000米,甚至达到1500米以上。深部开采环境与浅部有着本质的区别,面临着高地应力、高地温、高岩溶水压以及强烈的开采扰动等复杂条件,导致矿井开采过程中的安全隐患大幅增加,如岩爆、突水、高温热害、通风不良等问题日益突出,严重威胁着矿井的安全生产和矿工的生命健康。因此,深入研究深部金属矿山矿井开采中的安全隐患及防控措施具有重要的现实意义。

2 深部金属矿山矿井开采的特点

(1) 地应力高: 开采深度增加,地应力显著增大,由自重应力与构造应力共同作用。高地应力致巷道围岩变形破坏加剧、支护难度大,如围岩收敛、冒顶片帮;还是诱发岩爆的重要因素,威胁人员设备安全。(2) 地温高: 地温随深度增加而升高,每深入100米升2—5℃。高温影响矿工健康与工作效率,引发安全事故;加剧围岩风化变质,增加支护难度成本;加速设备磨损老化,影响生产^[1]。(3) 岩溶水压高: 深部矿井面临高岩溶水压,岩溶发育复杂,岩溶洞穴和暗河储存大量地下水,水压高。采矿破坏隔水层会引发突水,水量大、来势猛,治理难度大。(4) 开采扰动强烈: 采矿活动对围岩扰动剧烈,易致应力重新分布与集中。深部岩石脆性增大、塑性降低,更易破裂失稳,如爆破作业改变应力状态,引发冒顶片帮;还会影响地下水,增加突水风险。

3 深部金属矿山矿井开采中的主要安全隐患

3.1 岩爆

岩爆是深部矿井开采中常见动力灾害,指高地应力下井巷或采场周围岩体弹性应变能突然释放,致岩石爆

裂弹射。它具有突发性、剧烈性和破坏性,可造成人员伤亡、设备损坏和巷道破坏,影响正常生产。其发生与地应力、岩石性质、开采深度和开采方法等有关,高地应力是根本原因,坚硬脆性岩石、开采深度大更易发生,不合理开采方法也可能诱发。

3.2 突水

突水是深部金属矿山矿井开采一大隐患,指建设和生产中地下水大量涌入矿井。深部矿井突水水量大、水压高、来势猛,短时间内可淹没矿井,造成严重损失。原因主要有地质构造复杂、岩溶发育、防水设施不完善等。地质构造为地下水储存和运移提供通道,采矿破坏隔水层易引发突水;岩溶地区地下水多,与矿井沟通会突水;防水设施问题也会导致事故。

3.3 高温热害

开采深度增加,矿井地温升高,高温热害成重要问题。高温影响矿工健康和工作效率,易致中暑、疲劳,增加事故率,还会损害设备,影响生产。原因主要有地热增温、机械设备散热和氧化热等,地热增温是主要来源,机械设备运行和矿物氧化产生热量会加剧高温。

3.4 通风不良

深部矿井通风难度大,易通风不良。这会导致有害气体浓度超标,威胁矿工健康,还影响散热,加剧高温热害。原因主要有通风系统复杂、通风阻力大、通风设备老化等,巷道长、网络复杂使通风阻力增大,设备老化影响通风效果,且开采中粉尘和有害气体增多,对通风系统要求更高。

4 深部金属矿山矿井开采安全隐患的防控措施

4.1 岩爆防控措施

4.1.1 地质勘探与监测

在矿井设计和开采前,应进行详细的地质勘探工作,查明矿区的地应力分布、岩石性质和地质构造等情

况,为岩爆的预测和防治提供基础数据。可以采用水压致裂法、应力解除法等应力测量方法,准确测量矿区的地应力大小和方向。同时,利用地质雷达、声波探测等技术手段,探测岩石中的裂隙和缺陷,评估岩石的完整性和稳定性。在开采过程中,应建立岩爆监测系统,采用微震监测、声发射监测等技术手段,实时监测岩体的应力变化和微破裂活动情况。微震监测是通过在矿井中布置多个微震传感器,监测岩体破裂时产生的微震信号,分析微震信号的频率、能量等参数,判断岩爆的可能性和发生位置。声发射监测则是利用岩石在受力变形过程中会产生声发射信号的特点,通过监测声发射信号来预测岩爆。通过实时监测和数据分析,及时发现岩爆的前兆信息,采取相应的防范措施。

4.1.2 合理选择开采方法和工艺

采用合理的开采方法和工艺可以降低岩爆的发生风险。例如,采用分层开采、充填开采等方法,可以减少对围岩的扰动,降低应力集中程度。分层开采是将矿体分成若干个分层,逐层进行开采,这样可以减小每次开采对围岩的影响范围,降低应力集中。充填开采是在采空区及时充填采矿废料或其他充填材料,支撑围岩,减少围岩的变形和破裂。在巷道掘进过程中,应采用光面爆破技术,减少爆破对围岩的破坏,保持围岩的完整性^[2]。光面爆破是通过合理布置炮眼、控制装药量等方式,使爆破后的巷道轮廓平整,减少超挖和欠挖,降低对围岩的扰动。此外,合理控制巷道掘进速度,避免过快掘进导致应力集中,也有助于预防岩爆的发生。一般来说,巷道掘进速度应根据围岩的稳定性和地应力情况来确定,不宜过快。

4.1.3 支护加固

对可能发生岩爆的区域,应采取有效的支护加固措施,提高围岩的稳定性。常用的支护方式包括锚杆支护、锚索支护、喷射混凝土支护等。锚杆支护是将锚杆打入围岩中,通过锚杆的锚固力将围岩连接成一个整体,提高围岩的承载能力。锚索支护是在锚杆支护的基础上,采用更长的锚索深入到稳定的岩层中,提供更强大的支护力。喷射混凝土支护是将混凝土喷射到巷道围岩表面,形成一层保护壳,及时封闭围岩,防止围岩风化和剥落,同时也能提高围岩的强度和稳定性。此外,还可以采用应力解除技术,如超前钻孔、松动爆破等,释放围岩中的应力,降低岩爆的发生可能性。超前钻孔是在巷道掘进前,在掌子面前方钻一定数量和深度的钻孔,释放围岩中的部分应力。松动爆破是在巷道周边进行小规模爆破,使围岩产生一定的松动,释放应力。

4.2 突水防控措施

4.2.1 加强地质勘探和水文地质调查

在矿井设计和开采前,应进行详细的地质勘探和水文地质调查工作,查明矿区的地质构造、岩溶发育情况、地下水的补给、径流和排泄条件等,为矿井防治水工作提供科学依据。可以采用地球物理勘探方法,如电阻率法、地震勘探法等,探测地下岩溶的分布和地下水的赋存情况。同时,结合钻探取样,获取更准确的地质和水文地质信息。在开采过程中,应定期进行水文地质观测,掌握地下水的动态变化情况,及时发现潜在的突水隐患。建立地下水动态监测系统,对矿井周边的主要含水层水位、水质、水温等参数进行实时监测。通过分析监测数据,了解地下水的变化规律,预测突水的可能性。

4.2.2 完善防水设施

建立健全矿井防水设施是防治突水事故的重要措施。应按照设计要求修建防水闸门、防水墙等防水设施,并定期进行检查和维护,确保其完好有效。防水闸门应安装在井下主要巷道中,能够在突水时迅速关闭,阻止水流进入矿井其他区域。防水墙应采用耐久性好、防水性能强的材料修建,确保其能够承受一定的水压^[3]。在巷道穿过富水区或地质构造复杂地段时,应采用预注浆等方法进行加固和堵水,防止地下水涌入矿井。预注浆是将浆液注入到岩层裂隙或含水层中,填充裂隙,堵塞水流通路,提高岩层的防水性能。根据不同的地质条件和水文地质情况,选择合适的注浆材料和注浆工艺。

4.2.3 制定应急预案

制定完善的突水应急预案是应对突水事故的重要保障。应急预案应包括应急组织机构、应急救援队伍、应急物资储备、应急处置程序等内容。明确各部门和人员在突水事故发生时的职责和任务,确保应急救援工作能够迅速、有序地进行。定期组织应急演练,提高矿工的应急处置能力和自我保护意识。通过演练,检验应急预案的可行性和有效性,发现问题及时进行修改和完善。

4.3 高温热害防控措施

4.3.1 通风降温

加强矿井通风是降低矿井温度的主要措施之一。应优化通风系统,合理布置通风巷道和通风设备,提高通风效率,增加矿井风量。采用机械制冷降温技术,如局部制冷空调、集中式制冷系统等,对高温工作面进行降温处理,改善矿工的工作环境。局部制冷空调是将制冷设备安装在高温工作面附近,通过风管将冷空气输送到工作面,降低工作面温度。集中式制冷系统是在地面或井下建立制冷站,将制冷后的冷水通过管道输送到各个

高温区域,通过换热器将冷量传递给空气,实现降温目的。根据矿井的实际情况和高温区域的特点,选择合适的制冷降温方式。

4.3.2 个体防护

为矿工配备合适的个体防护用品,如隔热服、冷却背心等,可以有效降低高温对矿工身体的影响。隔热服采用特殊的隔热材料制成,能够阻挡外界高温对矿工身体的热传导,减少热量吸收。冷却背心内部装有冷却介质,通过循环流动带走矿工身体的热量,保持身体凉爽。同时,合理安排矿工的工作时间和休息时间,避免长时间在高温环境下作业,保障矿工的身体健康。采用轮班制,缩短矿工每次在高温环境下的工作时间,增加休息时间。在休息场所设置空调、风扇等降温设备,为矿工提供舒适的休息环境。

4.3.3 减少热源

采取措施减少矿井内的热源,如对机械设备进行隔热处理,减少设备散热;采用低热值的爆破材料,降低爆破氧化热;及时清理巷道内的积水和杂物,减少水分的蒸发吸热等。对机械设备进行隔热处理,可以在设备外壳上安装隔热板或涂刷隔热涂料,减少设备热量向周围空气的散发。采用低热值的爆破材料,如乳化炸药等,能够降低爆破过程中产生的热量。及时清理巷道内的积水和杂物,保持巷道干燥,减少水分蒸发吸收的热量,同时也有利于通风和行人安全。

4.4 通风不良防控措施

4.4.1 优化通风系统

根据深部矿井的特点,优化通风系统设计,合理选择通风方式和通风网络结构。采用多级机站通风、对角式通风等先进的通风方式,提高通风系统的稳定性和可靠性。多级机站通风是通过设置多个通风机站,分级调节风压和风量,实现矿井的合理通风。对角式通风是将进风井和回风井分别布置在矿井的两翼,使风流在矿井中呈对角流动,通风路线短,通风阻力小。简化通风网络,减少通风阻力,降低通风能耗^[4]。对通风网络进行优化设计,避免出现不必要的巷道转弯、变断面和分支等情况。同时,合理确定巷道断面尺寸,根据矿井的风量和风速要求,选择合适的断面形状和面积,降低摩擦阻力和局部阻力。

4.4.2 更新通风设备

及时更新老化的通风设备,选用高效、节能的通风机、风门等设备。采用变频调速技术,根据矿井实际需

要调节通风机的转速和风量,提高通风设备的运行效率。变频调速技术可以根据矿井不同时段、不同区域的风量需求,精确控制通风机的转速,避免通风机长期处于满负荷运行状态,降低能耗。同时,加强对通风设备的维护和管理,定期进行检查和保养,确保设备正常运行。建立通风设备维护档案,记录设备的运行状况、维护时间和维修内容等信息,及时发现设备存在的问题并进行处理。

4.4.3 加强通风管理

建立健全通风管理制度,加强对通风系统的日常管理和维护。定期进行通风阻力测定和通风性能测试,及时调整通风系统,保证通风效果。通风阻力测定是测量矿井通风过程中所受到的阻力大小,分析阻力的分布情况,找出通风阻力大的地段,采取相应的降阻措施。通风性能测试是检测通风系统的风量、风压、风速等参数,评估通风系统的运行状态,为通风系统的调整和优化提供依据。加强对通风设施的管理,确保风门、风窗等设施完好有效,防止漏风现象的发生。风门和风窗是调节矿井风流的重要设施,如果出现漏风,会影响通风系统的正常运行,降低通风效果。定期对通风设施进行检查和维护,及时修复损坏的设施,保证其密封性能良好。

结语

深部金属矿山矿井开采存在岩爆、突水、高温热害、通风不良等安全隐患,严重威胁安全生产与矿工生命健康。防控需采取综合措施,如加强地质勘探监测、合理选开采方法工艺、完善防水设施、制定应急预案、优化通风系统及设备、加强通风管理等。同时,加大安全技术研究投入,提升保障能力。未来开采中,还需总结经验,完善防控措施,应对复杂环境与安全挑战,实现安全高效开采。

参考文献

- [1]王智杰.矿井安全隐患排查管控和风险分级管理研究[J].矿业装备,2022,(01):146-147.
- [2]王德民.采矿工程施工中的不安全技术因素及策略分析[J].工程建设与设计,2024,(07):200-202.
- [3]欧鑫锐.采矿工程中的采矿技术与施工安全研究[J].内蒙古煤炭经济,2023,(18):94-96.
- [4]王少锋,樊凯鑫,周子龙.深部高应力异构岩体灾变机制与诱变改性研究构思与展望[J/OL].采矿与安全工程学报,1-16[2025-07-09].