

急倾斜矿体分段空场法回采顺序调整及安全管控对策

张凯强

重庆松藻煤矿有限责任公司 重庆 400000

【摘要】：针对矿区 40° - 76° 低品位急倾斜脉状矿体原有回采方案适配性不足的问题，剖析自上而下竖向对齐同步回采工艺的实操缺陷。统一矿块划分、工作面齐头同步推进的作业模式，会引发资源贫化损失、地压集中、爆破震动叠加、坠物卡堵四类复合型隐患。结合矿体厚度、倾角、区段地压差异，调整回采单元划分、分段矿块推进顺序、双向错距参数优化采场布局，配套围岩支护、分时爆破、自溜出矿安全管控手段。同类矿山现场监测数据表明，双向量化错距可降低 60% 采场相互扰动风险，平衡低品位矿体资源回收与井下深部地压安全管控需求。

【关键词】：急倾斜矿体；分段空场法；回采顺序；地压管控；错距回采

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.028

引言

急倾斜坚硬低品位脉状矿体是地下金属矿山开采重难点，这类矿体矿岩质地坚硬、岩体难以崩落，井下竖向应力传导速度更快。沿用缓倾斜矿体回采工艺，易引发围岩失稳、资源损耗。研究矿区矿体倾角跨度较大，深浅部地压存在差异，原有回采顺序忽视上下盘围岩力学区别，投产前已形成隐蔽开采隐患。针对同步回采引发的空区重叠、应力集中、爆破扰动超标问题，结合井下现有采准工程，优化分段空场法回采顺序，完善双向错距开采及配套管控体系，为同类矿山开采提供实操参考。

1 急倾斜矿体开采现状与回采现存问题

1.1 矿区开采技术条件概况

矿区 40° - 76° 脉状矿体属于急倾斜矿体，厚度变化幅度较大，涵盖薄矿体与局部中厚矿体，部分围岩发生矽卡岩化、硅化变质^[1]。矿岩坚固系数 10-16，岩体结构稳定，矿石难以崩落且品位较低，属于地下低品位开采矿床。井下开拓、采准工程全部完工，可开展分段空场法大规模开采。矿体陡倾制约巷道布设，提升矿石自溜施工难度。矿体斜深延伸较远，深部原生地压逐步活化，竖向应力传导远超普通倾斜矿体，开采扰动易诱发围岩失稳，增加井下地压与采场管控压力。

1.2 原有回采顺序布置形式

矿区原方案按 15m 厚度划分统一矿块，厚矿体垂直矿体走向布块，薄矿体沿走向布块，全域自上而下整体回采。同一中段矿块沿走向连续开采，上下分段工作面竖直对齐同步推进，竖向投影相互重合。单矿块依靠垂直切割天井拉槽，向端部单向落矿，同分段矿块采掘进度统一，无水平错距。现场切割、拉槽、落矿、出矿工序连续排布，无作业缓冲间隔。方案照搬缓倾斜矿体开采逻辑，未匹配急倾斜矿体围岩应力、接触

面受力规律，忽略上盘围岩卸荷、矿石自溜失控问题，开采布局留存安全与资源损耗隐患。

1.3 原有回采顺序引发的生产及安全问题

竖向对齐同步回采存在四类复合型开采问题。上下分段空区重叠使天井边角矿体达不到开采厚度，造成永久资源损耗。垂直切割天井贯穿围岩，围岩混入矿石提升贫化率，压缩低品位矿床收益。大范围同步采空引发上盘应力聚集，围岩暴露面积大、空置时间长，浅部片帮、深部冒顶风险增加。矿块同步采掘叠加爆破震动，扩张围岩原生裂隙，降低围岩稳定性。单点出矿长期超负荷，溜井堵塞、矿料飞溅多发。分段工作面间距狭窄，坠物易威胁人员安全。工序无缓冲空间，单设备故障即可造成分段停产，打乱采掘作业节奏。

2 急倾斜矿体分段空场法回采顺序优化调整

2.1 不同矿体条件下回采单元划分

本次优化废止统一矿块划分标准，依据矿体倾角、厚度与矿岩接触面拆分回采单元。厚度超 15m 的厚矿体保留垂直走向布设，以天然矿岩分界划定单元边界，结合中深孔凿岩参数定单元宽度，杜绝跨界面开采，配置独立倾斜切割天井和出矿系统。厚度 ≤ 15 m 的薄矿体沿用沿走向布设，缩短走向长度缓解长线回采地压聚集。按斜深划分浅、中、深单元差异化管控，浅部沿用原有开采参数，深部缩小单元尺寸、降低单次落矿量适配高地压。单元边界贴合天然地质界面，消除矿岩混采、局部应力超限的源头隐患。

2.2 分段与矿块回采顺序重新排布

优化后沿用自上而下开采原则，重构分段、矿块两级推进逻辑。分段取消竖向对齐同步回采，改用阶梯式错层回采，上分段工作面持续超前下分段，通过错层分散竖向集中应力，削

弱急倾斜矿体采动地压叠加。矿块差异化调整推进方向，厚矿体以上盘倾斜天井为起点，向上下盘后退落矿，减少矿石滞留垮塌。薄矿体沿下盘天井稳步掘进，管控单日掘进进尺^[2]。同分段取消同步采掘，采用隔一采一模式，预留原生矿体作为缓冲矿柱。推进速率分类管控，厚矿体低速开采稳定围岩，薄矿体在安全范围内提速，平衡产能与围岩安全管控。

2.3 采场相邻区域错距回采方案

方案设定水平、竖向双向错距参数，弱化采场间扰动。同分段相邻采场水平错距不低于 20m，前序采场出矿清渣结束后，后方采场方可作业，禁止相邻采场同步爆破出矿。上下分段竖向投影错距不小于 2 倍分段高度，上分段验收完成后，下分段对应区域开展回采。矿体变异、夹石较多的薄弱地段，增设错距余量。依托周度岩体巡检，监测矿柱与巷道岩体状态，规避隐性开裂。该工艺在同类矿山落地，可削减超 60%采场扰动风险（见图 1）。

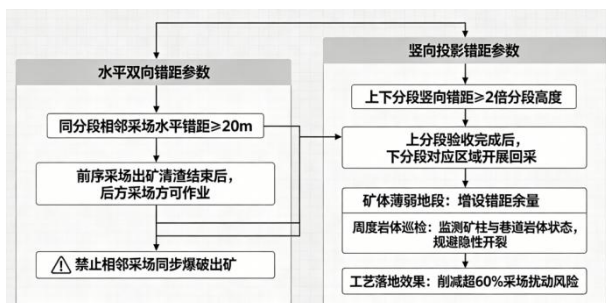


图 1 采场相邻区域错距回采方案

3 回采顺序调整后的安全管控对策

3.1 采场顶板与围岩稳定性管控

结合阶梯错距回采布局搭建围岩全周期管控体系。作业前开展敲帮问顶，增加上下盘、矿岩接触面浮石清理频次。顶板采取分级支护，常规工作面布置局部锚杆，深部高地压区域增设金属网片加固围岩。工作面、巷道两帮布设位移监测点，全天采集形变数据，形变超标即刻停工撤人并注浆补强。管控空区暴露参数，禁止提前开挖缓冲矿柱，限制空区暴露面积与时

长。优化采场通风除湿，减缓岩体强度衰减，每周排查裂隙、片帮病害，更新围岩风险台账，超前处置围岩隐患。

3.2 爆破作业安全防控措施

适配错距分散开采模式更新爆破全流程管控要求。时序管控实行分时分区错峰起爆，避免邻近错距采场同步起爆，分散震动应力传导。技术管控中，切割、拉槽爆破采用分段微差爆破，借助数码雷管完成毫秒级延时起爆，约束单段最大装药量，缩小冲击波影响范围。警戒管控结合采场竖向高差特征，竖向警戒范围上调 50%，在溜井口、斜坡道视觉盲区布设固定警戒岗。爆破后强制通风不少于 30 分钟，检测炮烟浓度、核查围岩裂隙延展状态，验收合格后允许人员进入。同步落实炮孔封堵、人员持证上岗要求，排查空孔爆破、违规装药等违章作业。

3.3 出矿及运输环节安全管理

依托急倾斜矿石自溜特性完善出矿运输细则。场内管控：限定铲运机行驶速率，禁止倾斜工作面高速转弯、紧急制动，防范设备打滑倾覆；出矿口、溜井上口加装防飞溅护栏与缓冲挡板，安排专人值守监控溜放工况^[3]。溜井故障处置：卡堵发生后即刻关停上部出矿，采用长柄专用工具远程处置，禁止人员近距离排险。空间动线管控：上下分段错时出矿，规避竖向坠物隐患；清理避险通道消除物料占道，落实人机分道，人员走专用斜坡道，矿料由溜井单独转运。设备管控：每日班前检查铲运机、溜井制动与信号构件，定期治理巷道底板打滑、局部片帮病害。

4 结语

本次回采顺序优化摒弃统一矿块、竖向同步回采的传统思路，依托地质界面细化单元划分、阶梯错层采掘、横竖双向量化错距，从源头消解原工艺地压叠加、矿石贫化、坠物伤人等问题。搭配围岩自动化监测、分时微差爆破、人机分道出矿全流程管控，补足急倾斜深部开采安全短板。新工艺精准适配复杂矿体赋存条件，有效均衡工作面开采强度，降低支护运维投入，同步提升资源回采率与井下作业本质安全水平，为同类深井急倾斜矿体高效绿色开采提供可行技术范例。

参考文献：

- [1] 李电辉.李子金矿急倾斜矿体爆破参数优化[J].黄金,2025,46(7):79-86.
- [2] 胡勇跃.急倾斜矿体点柱法采场围岩与点柱变形破坏机制及结构参数优化[D].北京科技大学,2025.
- [3] 赵飞.倾斜矿体分段空场法切割技术优化研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(11):127-129.