

分段空场采矿法在地下铁矿的应用与参数优化

张景凯

江苏省徐州市徐州铁矿集团

DOI:10.32629/jsse.v4i3.20981

[摘要] 分段空场采矿法在地下铁矿的应用效果,受采场结构参数与回采工艺匹配程度影响,损失与贫化问题常因参数选取失当而趋于突出。针对分段高度、进路间距、凿岩爆破及顶柱间柱尺寸等因素,采用数值模拟与现场工业试验协同优化,建立参数匹配与反馈调整流程。优化后矿石损失率与贫化率同步下降,采切成本与炸药单耗得到控制,回采效益明显提高。该优化方法适用于矿体产状较规整、矿岩中等稳固急倾斜中厚至厚大铁矿床,并可向动态调控方向深化。

[关键词] 空场采矿法; 地下铁矿; 参数优化; 贫化损失

中图分类号: TF521 **文献标识码:** A

Application and Parameter Optimization of Segmented Open-pit Mining Method in Underground Iron Mines

Jingkai Zhang

Xuzhou Iron Mine Group, Xuzhou City

[Abstract] The application effect of the segmented open-pit mining method in underground iron mines is influenced by the matching degree of the mining site structure parameters and the mining process. The problems of loss and dilution often become prominent due to improper parameter selection. To address factors such as the height of the segmented section, the spacing of the drifts, rock drilling and blasting, and the size of the inter-column of the top pillar, a collaborative optimization using numerical simulation and on-site industrial tests was adopted to establish a parameter matching and feedback adjustment process. After optimization, the ore loss rate and dilution rate decreased simultaneously, the mining and cutting costs and the per-unit consumption of explosives were controlled, and the mining efficiency significantly improved. This optimization method is applicable to iron ore deposits with relatively regular orebody geometry, medium-stable rock, and moderately inclined medium-thick to thick large-scale underground iron mines, and can be further deepened towards a dynamic regulation direction.

[Key words] Open-pit mining method; Underground iron mine; Parameter optimization; Dilution loss

引言

分段空场采矿法在地下铁矿开采中应用较广,但在实际生产条件下,采场结构参数与回采工艺多沿用经验取值,缺乏针对具体矿体赋存特征的系统性优化,导致回采过程中矿石贫化率与损失率偏高,矿岩回收效果受限。针对这一工程问题,有必要从矿体赋存条件出发分析采矿方法的适应性,明确采场结构型式、采切布置与回采工艺特征,并识别影响回采效果的关键参数。在此基础上开展参数协同优化,以改善技术经济指标,为同类矿山提供工程参考。

1 分段空场采矿法在地下铁矿的应用基础与工艺特征

1.1 矿体赋存条件与采矿方法适应性分析

地下铁矿床大多呈急倾斜或倾斜赋存状态,厚度主要为中

厚至厚大。矿岩稳固性普遍较好,这为分段空场采矿法的应用提供了基本地质前提。该方法依靠围岩及矿体自身的承载能力,回采过程中需保持空场敞开状态,人员和设备不进入采空区,因此要求顶底板围岩稳固性较高,且矿体无大规模软弱夹层或破碎带。当矿体产状规整、连续性良好且倾角一般不低于 55° 时,崩落矿石可借助重力顺利滑落至出矿巷道,贫化与损失较易控制,采切工程相对简单,作业效率较高^[1]。若矿体出现分枝复合、倾角局部变缓或节理裂隙密集发育,采场轮廓难以保持规整,爆破大块率升高,围岩易片落并混入矿石,损失与贫化指标相应恶化。因此,在确定采用该采矿方法之前,应系统分析矿体形态、厚度变化、岩体质量及构造影响程度,准确界定其适用条件,为后续采场结构参数设计提供依据。

1.2 采场结构型式、采切布置与回采工艺设计

采场结构型式主要依据矿体厚度和倾角选择: 急倾斜中厚以上矿体通常沿走向布置, 厚度较大时则采用垂直走向布置, 以合理控制采场跨度。分段巷道沿矿体走向或垂直方向布置于脉内或近脉围岩中, 各分段之间通过斜坡道或天井连通, 构成完整的凿岩、装药及出矿通道。凿岩巷道一般设置在分段水平的矿体下盘, 这样便于向上施工扇形深孔; 出矿进路从脉外运输巷道向矿体底部掘进, 端部呈漏斗状或堑沟式与采场底部连接, 以此改善矿石的流动条件。回采工艺遵循自下而上逐段崩落、集中出矿的顺序, 深孔爆破以侧向崩矿为主, 每次爆破后仅放出适量矿石以维持采场自由空间, 大量矿石待采场全部回采完毕后集中放出。采切工程和回采工艺的整体设计, 既需要满足生产能力的要求, 又需要兼顾采场围岩的稳定以及损失贫化的控制, 参数的选取必须和矿体实际的赋存条件紧密地匹配^[2]。

1.3 回采过程贫化损失状况及参数优化需求辨识

分段空场采矿法在回采过程中, 矿石的损失与贫化主要源于采场结构参数与回采工艺控制之间的不协调。当矿体边界不规则或产状局部变化时, 爆破轮廓难以完全贴合矿岩接触面, 导致围岩与矿石混杂崩落, 部分矿石残留于采场边角或底部无法放出, 形成永久损失。在空场的状态下, 围岩受到采动应力的扰动, 若采场的跨度过大或者顶柱、间柱的尺寸不足, 围岩可能会出现片落、垮塌的情况, 破碎的废石混入矿石流, 贫化率会随之上升。在出矿过程中, 覆盖层下的松散矿石和围岩碎块在重力作用下流动, 若截止品位控制不当或出矿进路布置不合理, 容易在出矿末期发生过度放出, 将大量废石混入矿石。上述问题表明, 依靠经验确定的分段高度、进路间距、爆破参数及出矿方式, 难以在复杂变化的开采条件下持续保持理想指标, 需针对薄弱环节开展参数优化, 以降低损失率与贫化率, 提高资源回收水平^[3]。

2 影响回采效果的关键参数辨识与优化调整

2.1 分段高度与进路间距对矿岩回收指标的影响规律

分段高度与进路间距是采场结构参数中最核心的两个变量, 二者共同决定矿岩回收指标的高低。分段高度增大时, 单次崩矿量增加, 采切工程分摊至单位矿石的成本降低, 但凿岩偏斜与装药误差导致爆破轮廓控制难度上升, 矿体边界处矿石与围岩易混杂崩落, 贫化率升高。若分段高度过小, 采切工程数量及掘进成本显著增加, 经济上难以持续。进路间距的确定需要和分段高度以及放矿椭球体的发育形态相互匹配。若间距过大, 相邻进路之间放矿脊部残留的矿石无法放出, 损失率明显上升; 若间距过小, 各进路的松动范围过度叠加, 放矿过程中废石容易从顶部覆盖层贯通进入出矿口, 贫化提前出现^[4]。合理的参数组合应使崩落矿石的放出体与采场轮廓尽可能协调, 以较低采切代价实现损失率与贫化率的双控目标。所以, 分段高度和进路间距的优化并不是孤立地进行, 必须结合矿体厚度、倾角以及矿岩可崩性等因素来综合确定。

2.2 凿岩爆破参数与矿石块度、贫化率的关联机制

炮孔排距及孔底距偏大时, 孔间裂隙贯通不充分, 大块率上升, 影响出矿流畅性并增加二次破碎成本; 若参数过小, 炸药能量过度集中, 粉矿增多, 爆破成本升高。周边孔装药结构以及线装药密度控制得不合适, 爆破轮廓容易超越矿体边界, 围岩和矿石一起崩落, 贫化率就会随之增大; 装药量不足, 边界矿石就难以完全崩落, 会形成永久损失。起爆顺序以及炸药单耗同样对爆破能量分布起到调节作用, 不合理的取值会加剧对顶底板围岩的扰动破坏, 进一步加大废石混入。上述的关联表明, 凿岩爆破参数的优化必须以矿岩可爆性作为基础, 同时兼顾出矿块度的要求以及损失贫化的控制^[5]。

2.3 采场顶柱间柱尺寸及出矿方式对损失指标的控制

采场顶柱和间柱作为支撑围岩、分隔采空区的关键结构, 它们的尺寸直接关系到矿石的最终回收水平。顶柱厚度不足时, 上覆岩层在采动应力作用下易发生渐进式破坏, 破碎废石涌入采空区, 不仅混入待放出矿石中造成贫化, 还可能掩埋底部未放出矿石, 形成难以回收的永久损失。若间柱宽度预留过小, 在多采场连续回采条件下, 相邻采空区之间的间柱一旦失稳垮塌, 采场边界失控, 两侧矿石和废石混杂, 损失与贫化指标同步恶化。出矿方式对损失指标的控制作用同样不可忽视^[6]。截止品位定得偏高, 出矿终止得过早, 可回收矿石会残留在采场内; 截止品位过低, 大量废石被放出, 虽然损失率有所下降, 但贫化率显著上升, 选矿成本随之增加。出矿进路的布置形式以及出矿强度也会影响矿石的流动形态, 堑沟或漏斗结构设计不合理会造成放矿死区, 脊部矿石难以放出。所以, 顶柱间柱尺寸的确定和出矿方式的选择必须统一进行考量, 以便在采场稳定和资源回收之间取得合理的平衡^[7]。

3 参数优化实施与综合效果评价

3.1 基于数值分析与现场试验的参数协同优化流程

参数协同优化流程以数值分析和现场试验为支撑, 形成“模拟预判—方案筛选—现场验证—反馈修正”的闭环。首先, 基于矿体实际赋存条件及矿岩力学参数建立三维数值模型, 对分段高度、进路间距、顶柱与间柱尺寸等结构参数进行多方案模拟, 分析采场围岩应力分布、位移变化及塑性区扩展范围, 初步确定满足稳定性要求的参数区间。在此基础上, 将凿岩爆破参数纳入考量, 结合放矿模拟评估不同参数组合下损失率与贫化率的预期水平, 筛选出若干组备选方案^[8]。随后, 选取代表性采场开展工业试验, 按预定方案逐项调整参数, 系统监测采场变形、矿石回收量及废石混入量等实测数据。试验结果反馈至数值模型进行校验与修正, 经迭代逼近最优参数组合。这个流程把理论分析和生产实测有机地结合起来, 避免了单一依靠经验或者单纯进行数值计算的局限, 提高了优化结果的可靠性以及可操作性。

3.2 优化前后主要技术经济指标对比与效益测算

优化效果通过对比优化前后的主要技术经济指标进行评价。矿石损失率和贫化率作为核心考核指标, 优化后通常呈现双降趋势, 这表明采场结构参数和爆破参数的调整有效地改善了矿岩分离的效果以及放出控制的水平。采切工程量因分段高度

和进路间距的合理匹配而有所缩减,掘进米数及相应成本降低,炸药单耗也随着爆破参数的精细调整而趋于合理。在回采工效方面,块度改善减少了二次破碎时间,出矿周期相应缩短,综合生产能力提升。效益测算将节省的采切与爆破成本、因损失率与贫化率降低而增加的金属回收量统一折合为经济收益,同时扣除参数优化追加的试验与监测费用,得出净增效益。经过测算,优化之后较优化之前的综合经济收益增幅比较明显,验证了参数协同优化的实际价值。这个对比结果可以为同类矿山在相似开采条件之下的参数选择提供依据^[9]。

3.3 适用条件界定与后续深化研究方向

本次参数优化所取得的成果有其明确的适用条件。矿体产状比较规整、厚度从中厚到厚大、矿岩稳固性良好,这是分段空场采矿法能够有效实施的地质前提,在此条件下得出的优化参数不适合直接套用到产状复杂、矿岩软弱破碎的矿床。围岩中等稳固以上且没有大规模构造破碎带的矿山,方可参照本优化流程进行调整,否则必须先论证采场自稳的能力以及空场允许的跨度。后续的研究可以在以下方向进行深化:其一,针对矿岩稳固性处于临界状态的采场,研究人工矿柱或者预加固手段配合参数优化来实现安全回采;其二,将爆破参数优化和矿岩可爆性分级、炸药性能匹配进行更加精细的关联分析;其三,引入位移和微震实时监测手段,以采场动态响应数据反馈修正参数,逐步从静态优化向动态调控过渡,进一步提高优化方案的适应性和可靠性^[10]。

4 结论

综上所述,分段空场采矿法在急倾斜中厚至厚大、矿岩稳固性良好的地下铁矿开采中具有较强适用性,其回采效果受采场结构与爆破工艺参数的共同制约。通过数值分析与现场试验的协同优化,分段高度、进路间距、凿岩爆破参数及顶柱间柱尺寸等关键变量得以合理匹配,矿石损失率与贫化率实现同步下降,

采切成本与炸药单耗得到有效控制,综合回采效益提升显著。本文所形成的参数优化思路与适用条件可为同类矿山提供借鉴,后续可在矿岩临界稳固条件下的安全回采与动态调控技术方面继续深入研究。

[参考文献]

- [1]赵华民.充填采矿法在马钢罗河铁矿的应用[J].现代矿业,2023,39(6):128-131.
- [2]夏朝科.某铁矿浅孔留矿法采空区治理措施研究[J].中国金属通报,2022,1(1):12-15.
- [3]宋亮.某新建大型地下铁矿采矿方法优选探讨[J].现代矿业,2023,39(5):20-24.
- [4]王新荣,徐曾和,许洪亮.空场嗣后充填采矿法工艺技术探讨[J].中国矿业,2024,33(1):33-37.
- [5]张国平,苏锡安.玉石洼铁矿深部矿床开拓和采矿方案设计[J].有色矿冶,2022,38(4):116-119.
- [6]严成涛,韩强,伍耀斌.某铁矿特大采空区处理方案设计研究与应用[J].中国矿山工程,2023,42(2):55-59.
- [7]刘明许,陆玉根.房柱法与留矿法联合采矿法在大红山铁矿的应用[J].现代矿业,2024,40(1):62-66.
- [8]顾维朋.沙厂铁矿露天转地下采矿方法的确定[J].矿业工程,2022,20(1):70-73.
- [9]张斌,张凯.模糊数学与层次分析法用于某铁矿采矿方法优选[J].中国矿业科技文汇—2014,2023,1(1):88-91.
- [10]杨家亮,孙丽军,王星.桃冲铁矿-57m南部边缘残矿回收方案研究[J].中国矿业科技文汇—2013,2024,1(1):102-105.

作者简介:

张景凯(1992--),男,汉族,山东临沂人,本科,中级工程师 地下铁矿。