

矿山浅孔与中深孔采矿方法选型及工艺优化研究

孔 俊

云南金沙矿业股份有限公司因民铜矿, 云南 昆明 654100

[摘要]浅孔和中深孔采矿方法是地下金属矿山应用最广的两种落矿工艺,合理选择和优化工艺直接影响到矿山生产能力、资源回收率、经济效益。文中从矿体赋存条件、矿岩稳固性、生产规模、装备水平等几个方面入手,对浅孔和中深孔采矿方法的适用边界和选型依据进行了系统的整理,又分别对浅孔采矿的凿岩爆破参数、出矿运输、中深孔的炮孔布置、装药爆破、采场管理等环节进行了工艺分析和优化探讨,以期为类似开采条件下的矿山提供方法选择和参数调整的参考。

[关键词]浅孔采矿;中深孔采矿;采矿方法选型;工艺优化

DOI: 10.33142/ec.v9i9.20409

中图分类号: TD853.1

文献标识码: A

Research on Selection and Process Optimization of Shallow and Medium Deep Hole Mining Methods in Mines

KONG Jun

Yinmin Copper Mine of Yunnan Jinsha Mining Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 654100, China

Abstract: Shallow hole and medium deep hole mining methods are the two most widely used mining processes in underground metal mines. Reasonable selection and optimization of processes directly affect the production capacity, resource recovery rate, and economic benefits of mines. The article systematically summarizes the applicable boundaries and selection criteria of shallow and medium deep hole mining methods from several aspects such as ore body occurrence conditions, rock stability, production scale, and equipment level. It also conducts process analysis and optimization exploration on rock drilling and blasting parameters, ore transportation, blast hole layout of medium deep holes, charge blasting, and mining site management for shallow hole mining, in order to provide reference for method selection and parameter adjustment for mines under similar mining conditions.

Keywords: shallow hole mining; medium deep hole mining; selection of mining methods; process optimization

引言

地下金属矿山开采时,落矿方式的选取关乎采场构造,生产效能及技术经济水平的关键之处。浅孔落矿以孔径小、孔深浅、布置灵活为特点,一直被用于薄矿脉、形态复杂的矿体回采;中深孔落矿由于孔径大、孔深大、一次崩矿量大,而在中厚以上矿体和规模化开采中占有重要地位。两种方法在适用条件下有重叠部分,但是各有各的工艺缺点,浅孔法生产能力小、人员经常进入采场作业,中深孔法则对矿岩稳定性和爆破参数控制要求高。近些年来,由于凿岩设备逐渐变大,爆破理论也越发精细,两者在参数改良方面均有所进步,不过选型参照系以及工艺改良的指向仍需加以整理。本文主要对浅孔、中深孔采矿方法的选择逻辑以及工艺改进途径进行分析,为矿山在实际生产中方法选择、参数调整提供一定的参考。

1 矿山浅孔与中深孔采矿方法选型分析

浅孔和中深孔的选型要兼顾矿体厚度,倾角,矿岩稳定性,生产规模以及装备情况等诸多方面。从矿体厚度的适应性来说,浅孔落矿的适用范围最广,各种落矿方法合适的最小矿体厚度分别为浅孔落矿 0.4~0.5m、中深孔和深孔落矿 5~8m。厚度小于 5m 的矿体如果强行采用中深孔回采,炮孔布置很难避免大量的废石混入,贫化率急剧上升。矿体倾角上浅孔留矿法要求矿体倾角大于急倾斜,中深孔房柱法则可以适应缓倾斜到急倾斜的较宽范围。矿岩稳固性也是重要的约束条件,浅孔法由于采场暴露面积小、回采周期短,对围岩稳固性要求较低;中深孔法一次崩矿量大、采场跨度大,矿体和围岩必须达到较稳固的级别。生产能力上浅孔留矿法矿块生产能力为 200~300t/d,中深孔房柱法为 400~600t/d。从损失贫化指标来看,浅

孔法有天然的优势,浅孔留矿法工艺简单,矿石损失贫化小,爆破振动影响小,但是人员在暴露的顶板上作业,安全性差,机械化程度低,矿块生产能力小,不能满足矿山大规模生产;中深孔房柱法开采时,凿岩、爆破、运搬作业机械化程度高,矿块生产能力大。近些年来,层次分析法、模糊综合评判等方法被应用到采矿方法选型决策当中,从经济、资源、效率、安全、环境这五个方面出发来建立采矿方法选择综合层次评价指标体系,得到合理的权重矩阵,从而为选型决策提供定量的支持。

2 浅孔采矿工艺及优化

2.1 浅孔布置与凿岩参数

浅孔采矿炮孔布置要达到矿体厚度和采幅控制的平衡,一般采用水平孔自下而上分层回采,分层高度控制在1.8~2.0m。炮孔排列形式以之字形、梅花形为主,根据矿石的稳定性好坏可以采用交错平行或者交错排列的形式,布孔原则是多打孔少装药。孔径的大小同凿岩设备有关,手持式凿岩机配套的钎头直径一般为35mm~44mm。回采工作从切割巷道开始,自下而上分层回采,由采场一侧向另一侧推进,分层高度1.8~2.0m,浅孔水平落矿,孔深2.0~2.5m,孔距1.0m,排距0.7m,孔径38mm。对采幅较窄的薄矿脉,炮孔布置形式为梅花形,孔间距0.8~1.0m,排距0.6~0.7m,孔深1.8~2.0m,爆破用2号岩石炸药,塑料导爆管雷管起爆。当矿体厚度小于1m时,为了保证回采高度不小于2m,可以沿矿体全厚一次采下。YT-28型气动凿岩机依然是浅孔作业的主力机型,每个采场一般配置1~2台,在机械化程度较高的矿山中,微型凿岩台车正在逐步取代手持式设备,提高凿岩效率和作业安全性。

2.2 装药与爆破工艺

浅孔爆破的装药结构比较简单,多采用连续装药或者

孔底集中装药,炸药以乳化炸药和2号岩石炸药为主,起爆方式大多采用非电导爆管雷管毫秒延时起爆。炸药单耗选择要兼顾破碎效果和成本控制,单耗药量范围为0.3~2.3 kg/m³。浅孔爆破的主要难题就是边界控制和振动控制,在矿体与围岩接触带附近,爆破能量过大容易引起超挖、围岩损伤。在软弱破碎矿体中可以采用径向不耦合装药、控制边眼装药量、秒延期多段别控制起爆等综合减震措施。大量矿山应用实践表明,“小抵抗线大孔距”爆破技术是控制爆破大块的一种非常有效的办法,通过改变炮孔密集系数可以达到炸药能量利用率与块度控制之间的最佳平衡。浅孔留矿法开采矿体的上、下部分,在实践中证明,合理确定凿岩爆破参数后,其损失率和贫化率均可以控制在15%以内,所以浅孔爆破的施工精度比中深孔高得多。

2.3 出矿与运输工艺

浅孔采场的出矿方式和采场结构、矿体倾角有关。在留矿法采场中,爆破后矿石大部分留在矿房内作为继续作业的工作平台,每次放出约三分之一以保证凿岩空间高度在1.8~2.0m,待矿房回采结束后再大量放矿。这一局部出矿、大量放矿的两阶段模式就是浅孔留矿法的主要工艺特点,它的优点是可以利用矿石自身的支撑作用来控制顶板,缺点是部分矿石长期积压占用资金。出矿设备以电耙为主,2DPJ-30型电耙使用较多,配合放矿漏斗、溜井完成矿石转运。针对常规浅孔留矿法回采出现的出矿效率低、劳动强度大等状况,漏斗受矿-电耙出矿底部结构改进试验结果表明,该结构可以显著提高采场出矿效率和作业安全性,改善了作业环境,采场生产能力达到200t/d以上。另外传统底部结构出矿后期矿石二次损失贫化大,容易造成资源浪费,需根据矿山矿体赋存条件及所用采矿方法对漏斗式受矿巷道进行优化改进。

表1 浅孔与中深孔采矿方法选型综合对比

对比项目	浅孔采矿	中深孔采矿
适用矿体厚度	0.4m 以上, 尤其适应薄矿脉	中深孔采矿
适用矿体倾角	急倾斜为主	缓倾斜至急倾斜均可
矿岩稳固性要求	矿体及围岩中等以上稳固	矿体及围岩较稳固以上
孔径与孔深	孔径 35~46mm, 孔深 1.2~2.5m	孔径 60~90mm, 孔深 8~30m
矿块生产能力	200~300t/d	400~1000t/d
损失率与贫化率	损失率≤10%, 贫化率≤10%	损失率≤15%~20%, 贫化率≤20%
机械化程度	较低, 人工凿岩占一定比重	高, 凿岩台车与铲运机配套
主要优势	贫化小、工艺简单、振动影响小	产能大、效率高、机械化程度高
主要短板	产能受限、人员暴露风险高	对稳固性要求高、贫化控制难度大

2.4 浅孔采矿工艺优化

浅孔采矿工艺优化的主要目的就是保持低贫化优势,提高作业效率、安全水平。炮孔排列方式及网度参数的改善属于最直接的切入点。炮孔三角形排列方式比矩形好,炮孔网度为 $1.5\text{m} \times 1.3\text{m}$, 该网度下矿石大块率下降, 凿岩效率提高 3 倍, 炸药单耗降低 27%。由此可以看出浅孔爆破参数空间还有很大的优化余地。在采场管理上, 缩短出矿穿脉距离、用废石分层回填置换底部矿石、架设废石井控制上下盘脱落造成的二次贫化, 都是降低损失率的措施。对于缓倾斜薄矿体, 用后退式抛掷爆破浅孔房柱法改善爆破方向和抛掷距离, 可以减小矿石在采场上残留, 从而减小损失率。机械化程度的提高也不能忽视, 对于急倾斜薄矿脉浅孔留矿法开采存在的采幅大、贫化率高、机械化程度低等问题, 人工凿岩平均效率为 $1.35\text{m}/\text{min}$, 设备凿岩效率为 $1.69\text{m}/\text{min}$, 综合凿岩效率比人工凿岩效率提高 25% 以上, 同时通过视距遥控可以减少作业人数, 降低安全风险, 提高综合开采效率。

3 中深孔采矿工艺及优化

3.1 中深孔布置与凿岩参数

中深孔采矿的炮孔布置主要有扇形孔和平行孔两种形式, 扇形布置在凿岩巷道工程量上更为经济, 但是孔底间距随着孔深增大而扩散, 造成炸药分布不均匀; 平行孔布置的爆破能量分布更均匀, 但是对凿岩巷道的位置和方向要求更高。使用 YGZ-90 型凿岩机在分段巷道内凿上向扇形中深孔, 孔径为 $60 \sim 70\text{mm}$, 最小抵抗线 1.5m , 孔底距 $2.0 \sim 2.5\text{m}$, 炮孔排间距 1.5m , BQF-100 型装药器装药, 毫秒导爆管起爆。当采用潜孔钻机时, 孔径可以增大到 $76 \sim 90\text{mm}$, 孔深可达 25m 以上, 排距相应增大到 $2.0 \sim 2.4\text{m}$, 孔底距可以达到 $2.8 \sim 3.2\text{m}$ 。孔底距的确定要考虑炸药在孔内分布是否均匀、相邻炮孔之间有无相互影响, 垂直上向中深孔凿岩爆破的最小抵抗线(即炮孔排距)为 2m , 同排炮孔孔底距取值范围为 $2 \sim 3\text{m}$ 。边孔角的选择决定着采场边界形状, 角度太小会造成边帮欠挖, 角度太大又会导致上盘超挖、贫化加剧, $45^\circ \sim 50^\circ$ 为较常用的取值范围。

3.2 装药与爆破工艺

中深孔爆破的装药结构比浅孔要复杂得多, 采用分段装药、空气间隔装药是常用的方法。分段装药是利用不装药段的堵塞物将炸药能量分散到炮孔的不同区段, 从而提高破碎均匀性的一种方法。当空气间隔长度比例小于等于 30.5% 时后冲作用明显, 后排炮孔出现塌孔的情况, 当空气间隔长度比例大于等于 45.3% 时大块率增大, 最优装药

结构的空气间隔长度比例为 44.2%, 现场深孔爆破落矿试验结果表明, 优化的装药结构爆破后大块率为 7.1%, 且爆破后冲作用得到控制。起爆方式上孔底起爆配合毫秒延时导爆管雷管已经成了主流, 逐孔分段延时起爆可以减小爆破振动, 改善块度分布。根据理论计算得到合理的最小抵抗线为 1.54m , 因此炸药单耗由原来的 $0.43\text{kg}/\text{m}^3$ 降低到 $0.37\text{kg}/\text{m}^3$, 比优化前降低 5.14% 的大块产出率和 4.88% 的矿石贫化率。由此可见, 中深孔爆破参数优化要从抵抗线这个基本参数入手, 不能孤立地改变单耗数值。

3.3 出矿与采场管理

中深孔采场出矿以铲运机为主, $4 \sim 6\text{m}^3$ 铲运机配合中段溜井为典型配置, 崩落矿石经铲运机运到溜井卸矿, 再由中段运输系统转运。采场管理的关键就是对爆破后顶板、边帮稳定性的控制。上向扇形中深孔爆破后, 顶板常呈不规则锯齿状, 局部悬顶、边帮欠挖时有发生, 若处理不及时, 会影响后续炮孔的布置, 也容易造成矿石损失。扇形布孔、炸药分布不均, 爆破后容易产生大块, 影响出矿效率, 因此设计时可适当增加辅助排, 在边帮布置垂直孔, 根据岩石条件差异化调整孔排距, 改善块度分布。出矿量要根据矿岩的稳固程度来确定, 放矿截止品位随着爆破块度、品位的变化而变化, 不能因为出矿过多造成顶板暴露过大或者出矿不足影响下一次循环。技术人员还要根据不同的条件及时调整凿岩爆破孔网参数, 控制好孔底距和孔底斜距, 凿岩设计时相邻两排炮孔交错布置, 装药时炮孔差异装药。同时出矿要与通风、撬毛、地压观测相结合, 发现悬顶、片帮或者矿柱变形时及时处理, 在保证采场安全的基础上控制贫化、提高出矿率。

3.4 中深孔采矿工艺优化

中深孔工艺优化的主要方向就是降低大块率、控制矿石贫化。大块率降低不但可以减少二次破碎工作量和成本, 还可以提高铲运机出矿效率。根据优化后的参数, 即孔底距 1.4m 、炸药单耗 $2.09\text{kg}/\text{m}^3$ 、最小抵抗线 1.6m , 在现场进行工业试验, 大块率由优化前的 6% 降到 3%, 顶板成型良好。贫化控制措施主要有合理确定边孔角和边孔装药量、在矿体与围岩接触带附近使用预裂爆破或者减震爆破、根据爆破后块度分布动态调整出矿截止品位等。二步骤中深孔回采爆破优化试验的最佳参数为炮孔距充填体间距 $0.5 \sim 0.7\text{m}$, 孔底距 2.3m , 一次崩矿规模为 2 排, 经过现场工业试验后, 采场综合生产能力达到 $328\text{t}/\text{d}$, 矿石回采率为 85.7%, 贫化率为 11.2%。正交试验法是中深孔参数优化的有效方法, 用对抗拒线、孔底距、装药结构等参数进行多因素组合试验, 在较少的试验次数内找到最优

参数组合。另外,凿岩精度提高对中深孔爆破效果的改善起着基础的作用,钻孔偏斜过大容易造成孔底间距失控,从而引起爆破能量分布混乱、块度变差,使用稳杆器和改进钻孔设计可以控制偏斜率。

4 结语

浅孔和中深孔采矿方法各有各的不可替代的适用场合。浅孔法在薄矿脉、形态复杂的矿体中仍然会占据主导地位,低贫化的优势以及灵活的炮孔布置能力是中深孔无法比拟的;中深孔在中厚以上的矿体以及规模化开采中有着明显的优势,工艺优化的重点就是爆破参数的精细化以及凿岩精度的提高。选型决策不能只看一个因素,而应该在矿体条件、装备水平、安全要求、经济效益之间寻找平衡。就工艺优化趋势而言,浅孔法的机械化替代以及参数精细化使它同中深孔法在效率上差距变小,而中深孔法在贫化控制方面的持续改进又拓宽了它的适用范围。两种方法的技术进步不是互相取代的,在各自的适用范围内不断提高综合效益,这样的局面在可预见的将来还

会继续存在。

[参考文献]

- [1]张紫阳,李强,王亚军.中深孔采矿法在大型露天及地下矿山生产中的应用[J].采矿技术,2022,22(1):1-2.
- [2]李晓东.大型金属矿山深孔采矿两率指标管控技术创新与应用[J].矿业工程,2024,22(4):21-25.
- [3]郭亚锋.中深孔采矿技术在铜矿峪矿中的运用研究[J].世界有色金属,2024(16):100-102.
- [4]叶光祥,邵海清,周宝炉,等.急倾斜薄矿脉深孔采矿方法结构参数优选[J].现代矿业,2026,42(3):46-53.
- [5]韦军,熊信,高峰,等.高峰矿深部高含硫矿体中深孔开采设计与实践[J].采矿技术,2025,25(3):64-68.
- [6]李甲恒.上向中深孔采矿中爆破技术对矿体回采率的影响[J].中国金属通报,2025(1):22-24.

作者简介:孔俊(1985—),男,汉族,云南省曲靖市宣威市热水镇人,采矿工程师,本科,工程管理专业,现从事采矿技术工作。