

金属非金属地下矿山采矿技术研究

王贱峰

湖南涟邵建设工程(集团)有限责任公司, 湖南长沙, 410005;

摘要: 金属非金属地下矿山采矿作业具有地质条件复杂、系统协调性强等特点, 为实现高效采矿, 实际作业过程中使用多样的采矿技术, 常用技术包括全面采矿法、房柱采矿法、留矿采矿法、充填采矿法。本次研究以会宝岭铁矿为例, 对金属非金属地下矿山采矿的应用进行分析。金属非金属地下矿山采矿作业过程中, 结合实际情况选择、使用恰当的采矿技术, 为金属非金属地下矿山安全、高效采矿提供支持。

关键词: 地下矿山; 采矿技术; 应用分析

DOI: 10.69979/3029-2727.25.03.049

引言

金属非金属地下矿山含有大量的资源, 其复杂的地质条件对系统协调性提出较高的要求, 给采矿作业带来一系列挑战。为实现高效采矿, 选择恰当的采矿技术能够提升采矿效率、优化作业方式具有重要意义。选择采矿技术的过程中应当避免盲目性, 而是应当结合实际情况合理进行选择, 并通过对技术应用过程进行动态分析, 调整技术应用方案, 为金属非金属地下矿山高效作业提供技术支持。

1 金属非金属地下矿山的特点

1.1 地质条件复杂

金属非金属地下矿山的矿体所在区域地质条件复杂, 表现为形态、厚度、倾角、矿石与围岩的物理力学性质存在较大差异。部分矿体厚度较薄且倾角较缓, 由此对开采技术水平提出更高要求, 例如在使用充填采矿技术时, 施工人员应当对充填工艺进行精准控制, 以此确保采场的稳定性; 部分矿体厚度大、倾角陡, 此类铁矿适合使用无底柱分段崩落技术, 尽管该技术具有较强的适应性, 但是对凿岩爆破、放矿等技术环节提出更高要求。地下矿山特殊的地质构造会对地压分布、岩体稳定性造成负面影响, 给采矿作业安全构成一定威胁, 实际采矿作业中需要运用先进的地压监测技术、支护技术保障开采安全。金属非金属地下矿山的地下水增加开采的复杂性, 实际作业中应当以情况为依据构建有效的排水系统, 施工人员根据涌水量和变化情况合理选择排水设备, 并确定排水方案。

1.2 系统协调性强

金属非金属地下矿山采矿作业中, 需要使用充填采矿法、崩落采矿法等多种采矿技术, 以此为适应不同的矿体条件提供支持。不同的采矿技术在实际使用中, 其采准、切割、回采、通风、排水等环节相互关联, 对协调性提出较高的要求。以通风系统为例, 要以不同开采技术、作业面分布为依据进行合理设计、调控, 以此确保井下空气质量达到作业要求。在使用充填采矿法过程中, 要求充填系统与采矿作业有效衔接, 制备的充填材料、输送和充填时间均需要与回采进度高度匹配。地下矿山开采过程中, 矿物的运输系统需要与其他环节紧密配合, 根据矿石产量和出矿节奏, 对运输设备和路线予以合理安排, 为开采系统高效运行提供支持。

2 金属非金属地下矿山采矿技术类型

2.1 全面采矿法

全面采矿法适用于开采矿石和围岩稳固、矿体厚度不大的水平或缓倾斜矿体, 实际应用全面采矿法的过程为: (1) 将矿体划分成大小一定的盘区或采区, 不在盘区或采区内划分矿房和矿柱, 而是进行连续开采; (2) 通过浅孔凿岩爆破实现落矿, 施工人员常用手持式凿岩机或小型凿岩台车进行钻孔, 按照一定的间距和角度布置炮孔, 为获得理想的爆破效果、矿石的破碎程度提供保障。爆破完成后施工人员使用铲运机、装载机等设备将矿石运至运输巷道, 随后通过矿车等运输工具将矿石运出地表。

采矿工作量相对较小、实现较大规模连续开采、生产效率较高是全面采矿法的优势, 实际使用全面采矿法过程中无需预留大量的矿柱, 且矿石回采率相对较高。

尽管全面采矿法具有一系列优势，但是实际使用中具有一定的局限性，其原因在于全面采矿法对矿体顶板的稳定性提出较高要求，施工人员在使用全面采矿法采矿过程中应当密切关注顶板的变化，并在此基础上及时采取锚杆支护、喷砼支护等支护措施，防止顶板冒落。当矿体稳定性下降的情况下，使用全面采矿法会对采矿作业的安全性、效率造成影响。

2.2 房柱采矿法

房柱采矿法适用于矿石和围岩稳固、矿体厚度较大的水平或缓倾斜矿体。房柱采矿法的核心在于将矿体划分为矿房和矿柱，其中矿房用于开采矿石、矿柱支撑顶板、维护采场稳定性。矿房和矿柱的布置形式多样，矩形、正方形、菱形等是常见的布置方式。矿房尺寸、矿柱间距需要通过对矿体地质条件、矿石力学性质、开采设备性能等进行综合分析后确定。

使用房柱采矿法开展采矿作业时，常用的落矿方式包括浅孔、中深孔凿岩爆破，在落矿的基础上施工人员利用铲运机、装载机等设备将矿石运出。当矿房开采完毕后，施工人员结合实际情况决定是否对矿柱进行回采。矿柱的回采常用方法包括崩落法、充填法等。房柱采矿法的优势在于能够有效地控制地压、保证采场的稳定性，同时矿石的回采率较高，尽管房柱采矿法具有一定的优势，但是采准切割工作量较大、矿柱的回采难度较高，需要投入的资源量较大。

2.3 留矿采矿法

留矿采矿法适用于开采矿石和围岩稳固、矿体厚度较薄的急倾斜矿体，在采场中暂留部分矿石用于支撑采场的围岩，待整个采场回采完毕后，施工人员将暂留的矿石全部放出。使用留矿采矿法采矿初期，施工人员需要在采场的下部开掘放矿漏斗、运输巷道，在上部开掘回采巷道。由下方开始采场回采作业并逐渐向上层进行。留矿采矿法的落矿方式为浅孔凿岩爆破，爆破完成后施工人员将部分矿石放出，使采场内的矿石面保持在特定高度以此支撑围岩。

留矿采矿法的优点在于采准、切割工作相对简单、成本较低、对急倾斜矿体开采的适应性强。由于采场中暂留的矿石具有支撑作用，从而减少对支护的需求。留矿采矿法在实际应用过程中存在一些缺点，包括采场内长期积压矿石导致矿石的损失和贫化；采场内通风条件

差导致有害气体容易积聚，对施工人员身体健康构成威胁。留矿采矿法对采场的管理要求较高，需要严格控制放矿量、矿石面的高度，以确保采场的稳定性。

2.4 充填采矿法

2.4.1 上向分层充填法

上向分层充填法适用于开采矿石价值较高、地表不允许塌陷的矿体，该方法将矿体划分为若干个分层，自下而上逐层开展回采和充填。施工人员在矿体开采前需要在矿体的下部开掘阶段运输巷道、采场底部结构，并在此基础上构筑充填井、通风井。使用上相分层充填法过程中，采场回采落矿方式为浅孔或中深孔凿岩爆破，爆破完成后施工人员将矿石运出采场，随后开展充填作业。

使用上相分层充填法过程中需要对充填材料严格进行选择，常用充填材料包括尾砂、废石、胶结材料等，其中尾砂是一种常用的充填材料，具有来源广泛、成本较低的特点；废石经过破碎和筛分处理后可作为充填材料；胶结材料用于制备胶结充填体，以此提高充填体的强度、稳定性。上向分层充填法的优势在于对地压进行有效控制、保护地表环境、矿石的回采率高、对矿山废弃物的综合利用。实际使用上向分层充填法时，充填工艺复杂、成本较高、开采效率较低。

2.4.2 下向分层充填法

下向分层充填法适用于开采矿石价值高、矿石和围岩不稳固的矿体。下向分层充填法与上向分层充填法相反，自上向下逐层进行回采和充填。使用下向分层充填法采矿初期，由施工人员在矿体上部开掘阶段运输巷道、采场的顶部结构，并构筑充填井、通风井。采场落矿方式为浅孔或中深孔凿岩爆破，爆破完成后施工人员将矿石运出并进行充填。

下向分层充填法对充填体的强度、稳定性提出较高的要求，充填体需要承担上部矿体重量，在充填过程中需要采用特殊的充填设备和工艺，以此确保充填体能够有效支撑围岩。下向分层充填法的优点在于能够对地压进行有效控制、保证矿石质量，对不稳固矿体展现出相对理想的适应性。下向分层充填法开采效率较低、成本较高、充填工艺复杂，实际使用过程中需要投入大量的资源。

3 金属非金属地下矿山采矿技术应用——以会

宝岭铁矿为例

3.1 矿山概况

会宝岭铁矿位于山东省临沂市兰陵县，是一座大型金属非金属地下矿山。矿区范围内矿体中金属矿物主要有磁铁矿，矿体平均厚度 9.5m、倾角为 70°~73°，整体矿质和围岩的稳固性较好。矿山开采规模较大，设计年矿石产量 300 万 t。表 1 所示为会宝岭铁矿相关参数。

表 1 会宝岭铁矿相关参数

| 指标 | 参数 |
|-------|-------------------------|
| 矿石回采率 | ≥88% |
| 矿石贫化率 | ≤7% |
| 通风风量 | 1300m ³ /min |
| 排水能力 | 500 m ³ /h |

3.2 采矿技术选择

为减少资本投入、提高采矿效率，会宝岭铁矿根据矿体赋存条件，选用 FCM 采矿法（深孔、中深孔组合凿岩后充填采矿法）回采矿石，矿房采完后进行尾砂充填。采矿工艺过程主要是在采准切割工程完成后，进行中深孔、深孔凿岩，中深孔、深孔切割槽拉槽爆破，中深孔、深孔正常排爆破，底部水平铲运机出矿，铲运机将爆破崩落矿石倒入溜井。为进一步提高矿石回采率、控制贫化率，施工人员在开采过程中综合运用一系列配套技术。

工作面切割天井采用“一次成井”施工方法，一次凿岩，分段爆破，沿井的全段高钻凿一组平行的深孔，然后视井的高度若干次装药爆破。这种方法具有作业条件好、施工效率高、安全性高等一系列优点。

3.3 采矿技术过程

3.3.1 采场布置环节

(1) 矿体自上而下划分为若干个分段，各分段设定高度 70m，以此兼顾凿岩爆破设备性能、采场的稳定性与开采效率。

(2) 回采巷道沿矿块走向布置，主要巷道工程包括：沿脉巷道断面为 4.4m×3.9m 的三心拱、采准穿脉巷道断面为 3.9m×3.5m 的三心拱、凿岩巷道断面为 3.7m×3.7m 的三心拱、出矿进路断面为 3.9m×3.5m 的三心拱、切割天井断面为 3m×3m 等。矿房设计布置两条出矿进路，结合出矿进路、采准穿脉和凿岩巷道出矿，能够有效的利用各出矿口进行出矿。

3.3.2 凿岩爆破环节

(1) 凿岩布置与参数：凿岩共 9 个孔，分为补偿孔、掏槽孔、辅助孔、周边孔。补偿孔为空孔（孔径 254mm），爆破时不装药，作用是提供爆破自由面和补偿空间，掏槽孔用于爆出新的自由面，辅助孔扩大爆破自由面，周边孔控制断面大小和形状。深孔凿岩布置见图 1 示。

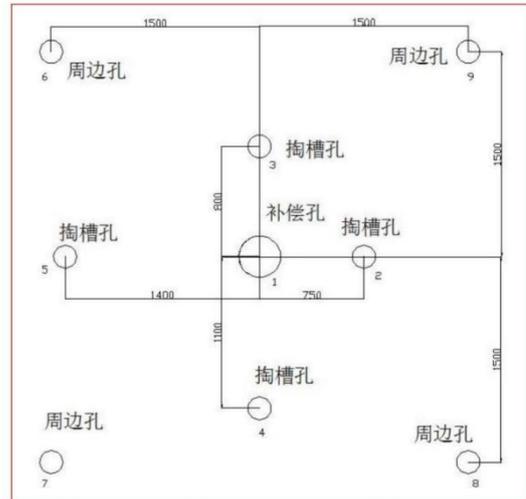


图 1 深孔凿岩布置图

爆破材料与工艺：天井爆破选用岩石膨化炸药、岩石型改性铵油炸药和 2 号岩石乳化炸药，采用电子雷管起爆系统。装药采用分段多次装药，人工由上向下从孔口向孔底装药，每次装药高度控制在同一水平。装药前用绳索将水泥托盘从下中段钻孔底部向上拉堵塞孔底，将绳索系于横放在孔口的竹竿上，然后用返粉充填孔底堵塞 0.2m，再装填起爆药包，最后装填岩石型改性铵油炸药或岩石膨化炸药。

中深孔、深孔爆破选用岩石型改性铵油炸药和 2 号岩石乳化炸药为主爆药，中深孔爆破起爆药包采用直径 32mm 的药卷与电子雷管加工而成，深孔爆破采用导爆索配合电子雷管及直径 32mm 的药卷进行起爆。爆破时采用复式微差起爆方式，各炮孔采用电子雷管孔内起爆，排内、排间都采用微差爆破，定时爆破。

(3) 起爆方法与顺序：采用分段多次爆破，由下至上分段爆破，每次装药 3m，每次爆破高度 4~5m；一次成井爆破到剩余高度 10m 左右时，顶部作业采用两次爆破，一次高度 4~5m，剩余 5~6m 跟切割槽大爆破时一起放透。起爆采用电子雷管，用专用连接线连接，起爆器设置好延时最后起爆。深孔每米装药量为 18.5kg，起爆顺序见图 2 示。

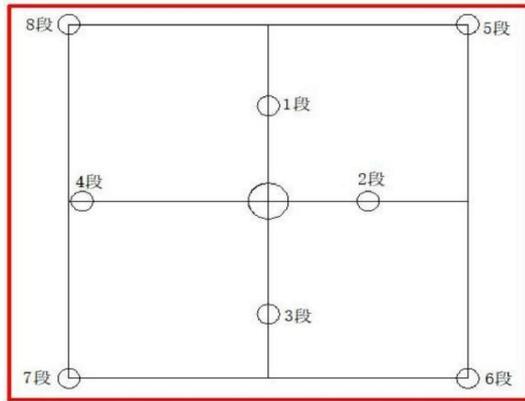


图2 起爆顺序图

3.4 出矿作业

3.4.1 矿石搬运

采用 SandvikLH410-9 型铲运机在回采矿房集中出矿，铲运机从矿房底部铲运矿石后，经穿脉巷道和出矿进路转运至溜井口，将矿石倒入溜井。矿房回采过程中垮塌或崩落下来的大块矿石，由铲运机铲到回采矿房附近的溜井破碎硐室，用破碎锤进行破碎，将破碎后的矿石倒入溜井。设备配备见表2、表3示。

表2 SandvikLH410-9 型铲运机主要性能参数

| 名称 | 单位 | 参数 |
|-------------|--------------------|-----------------------------|
| 外形尺寸(长×宽×高) | mm×mm×mm | 9591(铲斗收起时)×2647(铲斗外沿)×2385 |
| 最大举升高度 | mm | 5245 |
| 离去角 | ° | 14° |
| 转向角度 | ° | 42.5° |
| 最小转弯半径(内侧) | mm | 3270 |
| 最小转弯半径(外侧) | mm | 6515 |
| 铲斗容积 | m ³ (吨) | 4.6(10) |
| 运行速度 | km/h | 9.6 |

表3 SY125C 长臂挖机(破碎锤)主要性能参数

| 名称 | 单位 | 参数 |
|-------------|----------|----------------|
| 外形尺寸(长×宽×高) | mm×mm×mm | 1500×2700×2900 |
| 转弯半径 | mm | 7000 |
| 运行速度 | km/h | 5.5 |
| 功率 | kW/rpm | 72/2000 |
| 最大扭矩 | N·m/rpm | 365/1600 |

3.4.2 运输设备

会宝岭铁矿布置放矿机，在运输巷道使用矿车将矿石运输至主井，由罐笼提升至地表。以采场布置、核定矿车载重、地表矿石处理，为安全、高效运输过程提供保障。

3.5 通风系统

3.5.1 通风方式与设备

会宝岭铁矿采用对角式通风系统，分别将进风井、回风井布置在矿体两端。选用轴流式通风机作为通风设备，通风量根据不同环境、不同的人员数量供给。通风机配备变频调速装置，以井下通风需求为依据对通风量实时进行调整。

按井下同时作业最多人数计算，供风量不少于每人4m³/min。风量计算见表4示。

表4 Q=9×4×1.25=45m³/min

| 最大班 人数 | 1 | 井下最大班人数 | 9 |
|-------------------------|---|----------------------------|------|
| | 2 | 单位耗风量(m ³ /min) | 4 |
| | 3 | 需风量(m ³ /min) | 36 |
| 合计 | | | 36 |
| 漏风系数 | | | 1.25 |
| 总计(m ³ /min) | | | 45 |

(2) 按井下风速计算，供风量不小于707.6m³/min。风量计算见表5示。

表5 Q=0.25×12.58×60×3×1.25=707.625m³/min

| | | |
|------------------------|-----------------------|---------|
| 风速(m/s) | 0.25 | |
| 最大断面(m ²) | 12.58 | |
| 风路数 | 3 | |
| 需风量(m ³ /s) | 9.44 | |
| 漏风系数 | 1.25 | |
| 总计 | (m ³ /s) | 11.8 |
| | (m ³ /min) | 707.625 |

(3) 有出矿设备运行的矿井, 所需风量按同时作业出矿设备台数每 kW /min 供风量 4m³ 计算, 供风量不

小于 1041.6m³ /min。风量计算见表 6 示。

表 6 $Q=186 \times 2 \times 4 \times 0.7=1041.6\text{m}^3/\text{min}$

| 设备 | 功率(kW) | 数量 | 时间系数 | 需风量(m ³ /min) |
|----------------------------|--------|----|------|--------------------------|
| SandvikLH410-9 型铲运机 | 186 | 2 | 0.7 | 1041.6 |
| 合计需风量(m ³ /min) | | | | 1041.6 |

3.5.2 通风网络与构筑物

会宝岭铁矿通风网络由通风井巷、通风构筑物组成。新鲜风流从进风井穿脉进入回采中段, 风流经中段沿脉到穿脉进入采场; 风流冲洗采场后, 污风从东、西回风井排出到地面; 切割天井形成后, 部分污风经采场内切割天井(切割槽/采空区)流向上水平中段凿岩硐室, 然后经上水平穿脉巷道回到回采中段南沿脉, 经南沿脉进入东、西回风井石门, 经东、西回风井排出地表。以通风量、通风阻力为依据设计通风井巷断面, 为通风系统的稳定性、可靠性提供保障。通过设置风门等通风构筑物, 实现对风流的方向、流量的有效控制, 为井下各作业面获得充足的新鲜风流。

3.6 排水系统环节

3.6.1 排水设备与参数

会宝岭铁矿排水系统包括排水泵、排水管道、泄水孔、沉淀池、水仓等组成。回采中段施工废水由单相油浸式潜水电泵(型号: QDX40-9-1.5)抽入沿脉水沟。排水设备配备备用机组, 以此确保主排水设备出现故障时排水系统正常运行。

3.6.2 排水流程与管理

回采中段施工废水由单相油浸式潜水电泵抽入沿脉水沟, 再流入沉淀池、泄水孔, 流经回采中段下水平沉淀池、泄水孔流至井底水仓后, 排至地表。检修人员定期对排水设备和排水管道进行检查、维护, 以此确保排水系统的畅通性、高效性。

3.7 充填环节

3.7.1 充填材料与制备

会宝岭铁矿采用嗣后充填法对采空区进行回填处理, 主要充填材料为尾砂、胶结材料。由施工人员对尾

砂进行脱水、分级处理, 在此基础上将尾砂与胶结材料混合制备成填充体, 控制填充体的平均强度为 2.5MPa。

3.7.2 充填工艺与设备

会宝岭铁矿选定充填管道输送作为制备填充体向采空区输送的方式。施工人员在充填过程中对充填速度、充填量进行控制, 以此确保填充体的密实度、稳定性。

4 结束语

鉴于金属非金属地下矿山的特殊性, 对采矿作业提出较高的要求。实际采矿作业过程中, 施工人员应当结合实际情况选择合适的技术, 并将多种技术相融合, 实现高质量采矿作业。为进一步提升金属非金属矿山采矿作业质量, 应持续改进、创新采矿技术, 使其更好地适应金属非金属矿山复杂的地质条件, 并提高资源回收率、兼顾安全与效益, 推动金属非金属地下矿山采矿可持续发展。

参考文献

- [1] 鲁振雅. 金属非金属地下矿山存在的主要安全技术问题及对策分析[J]. 地质研究与环境保护, 2023, 2(3).
- [2] 屈景龙. 金属非金属地下矿山存在的主要安全技术问题及对策探究[J]. 文渊(小学版), 2021(3): 2265.
- [3] 张强, 吴艳飞, 马奕爽. 金属非金属地下开采矿山存在的主要安全技术问题及对策建议[J]. 环球市场, 2021(3): 385.
- [4] 熊卫国. 保障金属非金属地下矿山无轨运输安全[J]. 百科论坛电子杂志, 2020(9): 1936.
- [5] 徐秀华. 金属非金属地下矿山隐蔽致灾因素的普查分析[J]. 能源与环境, 2024(6): 61-63.