某铅锌矿采矿方法优化研究与应用

胡建钊[1],黄明发[2],王 明[3]

(1. 金诚信矿山工程设计院有限公司,北京 100070;
2. 紫金(长沙)工程技术有限公司,长沙 410114;
3. 紫金矿业集团股份有限公司,厦门 361000)

摘要:某铅锌矿采用平硐+竖井+斜坡道开拓,采用分段空场法和浅孔留矿法回采。该方法采场空区暴露面积大、安全性差,回采形成的空区为矿山生产埋下了安全隐患;且随着深度的增加,围岩稳固性变差,矿体变薄、变分散,造成回采贫化率增大,采选矿成本大幅提高,原有采矿方法已不适用。根据矿体特征和矿山生产现状,对矿山 2 522 m 中段以下的矿体采用机械化盘区上向水平分层充填法开采,并使用大型无轨设备进行采掘作业,减少了采场暴露面积,提高了井下作业安全性,避免了产生大量采空区,解决了生产安全隐患,提高了资源回收率,盘区生产能力、综合回采率、综合贫化率等指标均得到优化。研究结果对该区其他矿山的开采具有示范作用。

关键词:倾斜;中厚矿体;铅锌矿;分段空场嗣后充填法;机械化盘区上向水平分层充填法;大型无轨设备
中图分类号:TD853 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-8063(2023)04-0013-05
DOI:10.13426/j.cnki.yky.2023.03.07

某铅锌矿为高海拔地区生产多年的地下开采矿山,采用平硐+竖井+斜坡道开拓,自 1986 年投产以来主要采用分段空场采矿法和浅孔留矿法,生产规模为 140 万 t/a。其主平硐标高为 3 055 m,主平硐内采用双轨运输方式,14 t 电机车牵引 4 m^3 侧卸式矿车。竖井为罐笼井,井筒净直径 6 m,井口标高 3 142 m,井底标高 2 190 m,井深 980 m。采用双层单绳罐笼平衡锤提升方式,最大提升高度为 920 m。竖井用于矿石、人员、设备、材料的提升,同时作为进风口。采出矿石经铲运机装入自卸卡车,卸入主溜井,由振动放矿机装入侧卸式矿车,牵引至车场,然后经罐笼井提升至地表。斜坡道作为废石、人员、设备、材料运输的通道,硐口标高 3 065 m,斜坡道底标高 2 222 m,斜坡道弯道断面 25.71 m^2,直道断面 21.17 m^2,坡度 10%。

目前采矿方法安全性差、机械化程度低、工艺复杂且对矿体变化适应性差,难以满足矿山生产能力的要求[1]。通过对矿山开采技术条件及矿山实际生产情况的综合研究,为避免产生大量采空区,解决生产上的安全隐患[2],提高机械化程度及生产效率[3],提高综合回采率[4],简化采矿工艺,增强矿体适应性,节省废石和尾砂占地面积,以及改善周边环境[5-6],笔者进行了机械化盘区上向水平分层充填采矿法研究,以期取得较好的经济效益和社会效益。

1 开采技术条件及开采现状

1.1 工程地质条件

矿区主要工程地质岩组有大理岩、片岩和紫色砂岩组。大理岩组、片岩组既是含矿层,也是矿体的直接顶底板围岩;紫色砂岩组是矿体的间接顶板。大理岩岩石坚硬而稳固,一般不须支护。片岩组是矿区的含矿层位,矿体的直接顶、底板围岩,岩性复杂,岩石工程地质特征复杂,其中石英片岩、斜长片岩等硬质岩石较稳定,不须支护;含炭片岩、炭质片岩等软质岩石强度低,岩石破碎,遇水易软化、膨胀,稳定性差,须支护。紫色砂岩

收稿日期:2023-03-17
第一作者简介:胡建钊(1978—),男,河北辛集人,硕士,高级工程师,主要从事有色、黑色金属矿山采矿研究设计工作。
通信作者简介:黄明发(1982—),男,江西鹰潭人,高级工程师,主要从事金属矿山采矿技术研究与设计工作。

组覆盖在矿体直接顶板围岩上，厚度大，岩石完整，稳定性较好，一般不须支护；但在破碎带通过部位应进行支护。矿床工程地质条件属中等偏复杂型。

1.2 水文地质条件

矿区少雨、干旱、蒸发强烈，区内不存在地表水体，矿床内不存在沟通区域地表水和地下水的导水构造。未来矿坑充水的主要含水层为矿区深部构造裂隙含水亚带及赋存于紫色砂岩中的构造裂隙含水亚带。含水亚带富水性差、补给量有限，矿床水文地质条件简单。

1.3 矿体特征

矿体赋存标高一般在 2 280～2 800 m，形态一般为层状，赋存围岩为大理岩和绿泥石英片岩，矿体倾角为 45～85°，矿体厚度为 10～30 m。大理岩稳定性较好，绿泥石英片岩在遇水或构造复杂部位稳定性较差，须进行支护。

1.4 开采现状

矿山采用分段空场法和浅孔留矿法进行回采，已生产 30 多年，采空区采用崩落顶柱法处理或不处理，其中 2 762 m 及以上中段已回采结束，2 702 m 中段回采基本结束，2 642 m 和2 582 m 中段为主要生产中段，2 522、2 462 m 中段为采切工程中段，2 402 m 中段为探矿中段，2 342、2 282 m 中段为开拓中段，生产逐步向深部转移。

2 原采矿方法评述

2.1 采矿工艺及布置

分段空场法用于厚度大于等于 5 m 的矿体，浅孔留矿法用于厚度小于 5 m 的矿体，本矿采用这 2 种方法的占比分别为 80%和 20%。

分段空场法采场在矿体厚度为 5～15 m 时，沿走向布置；当矿体厚度大于 15 m 时，沿垂直走向布置。沿走向布置时采场长 50 m(其中 5 m 为间柱)，中段高 60 m，分段高 15 m；垂直矿体走向布置时采场宽 20 m，中段和分段高度同上，其中矿房宽为 15 m，矿柱宽为 5 m，先采矿房，在矿房回采结束后采用崩落法回收矿柱。采用 YGZ-90 凿上向扇形中深孔，2DPJ-55(或 2DPJ-30)电耙出矿。

浅孔留矿法采场沿矿体走向布置，采场长 50 m，其中矿房 45 m、间柱 5 m；中段高 60 m，宽为矿体水平厚度，顶柱高为 3 m。采用 YT-28 气腿式凿岩机凿岩，2DPJ-30 电耙出矿。间柱、顶柱采用崩落法回收。

2.2 存在的问题

1)深部区域主要为片岩岩层，围岩较破碎，长期采用空场法进行开采，围岩暴露时间长，稳固性差，在回采过程中经常发生围岩垮落等现象[7-8]。随着开采深度的下降，尤其是 2 522 m 水平以下，矿体多赋存于稳固性差的绿片岩中，安全隐患较大。

2)回采过程中出现采场大量围岩冒落，矿石损失、贫化现象严重，经济技术指标差[9-10]。

3)因采场上方大量空区的存在，长期地压活动造成部分井巷工程和中深孔报废，大量高品位矿石受主要井巷工程压覆无法回采[11]。

4)回采工艺较为复杂，生产能力偏低，作业安全性差，工人劳动强度高[12]。

5)现有斜坡道、混合井压覆的保安矿柱矿量共计 321.1×10^4 t(大部分为生产期探明矿体)，Pb 平均品位为 4.09%，Zn 平均品位为 7.32%。若矿山仅采用空场法采矿，该部分矿体在斜坡道服务期内将难以回收利用，造成资源浪费[13]。

3 采矿方法优化与矿块布置

3.1 采矿方法选择

2 522 m 水平以下矿体多赋存于稳固性差的绿片岩中，采用中深孔采矿将造成围岩冒落，大量矿石损失，结合矿山开采现状提出充填采矿法。该方法可减少矿山资源的损失和贫化，提高资源利用率，延长矿山服务年限；并能及时处理矿山存在的采空区问题，确保井下各项作业安全进行[14]。对矿山 2 522 m 中段以下的矿体，采用机械化上向水平分层充填采矿法[15]。

3.2 采矿方法研究应用

3.2.1 盘区和采场划分

采用机械化上向水平分层充填采矿法，每 400 m 划分为 1 个盘区，每个盘区划分为 4 个或多个采场，每个采场一般长 100 m，中段高60 m，分段巷道高 15 m，采场回采分层高3.75 m。

对矿体厚度＜10 m 的矿体，沿矿体走向布置采场，采场宽为矿体厚度，长为 100 m；采场联络道布置在采场中间，用于联通中段或分段巷道；对矿体厚度≥10 m 的矿体，沿垂直矿体走向布置采场，一步骤和二步骤采场宽均为 5 m，长为矿体厚

度，高为 3.75 m，采场联络道布置在采场中间，用于联通中段或分段巷道。

当出现上下盘多层矿体时，中间的夹石通过巷道掘进形成通道，连通上下盘矿体，形成 1 个采场，回采时先采一步采矿块；待一步采矿和充填完成后，再回采二步采矿块，每个采场都有 1 条通道连通分段巷。回采过程中如遇到围岩或矿体不稳定地带，采场内留设点柱，点柱规格为 3 m×3 m，间距和位置视现场情况确定，间距一般为 8～10 m；如果采场顶板和两帮片帮、冒顶比较严重，点柱无法稳定顶板，可考虑留设条柱或分条段回采，以缩小采场的暴露面积。

3.2.2　采准切割

采切工程包括盘区斜坡道、分段巷道、分层联络道、充填回风井、溜矿井、拉底平巷、充填回风井联巷、溜井联巷、天井钻机硐室及联巷等，见图 1。

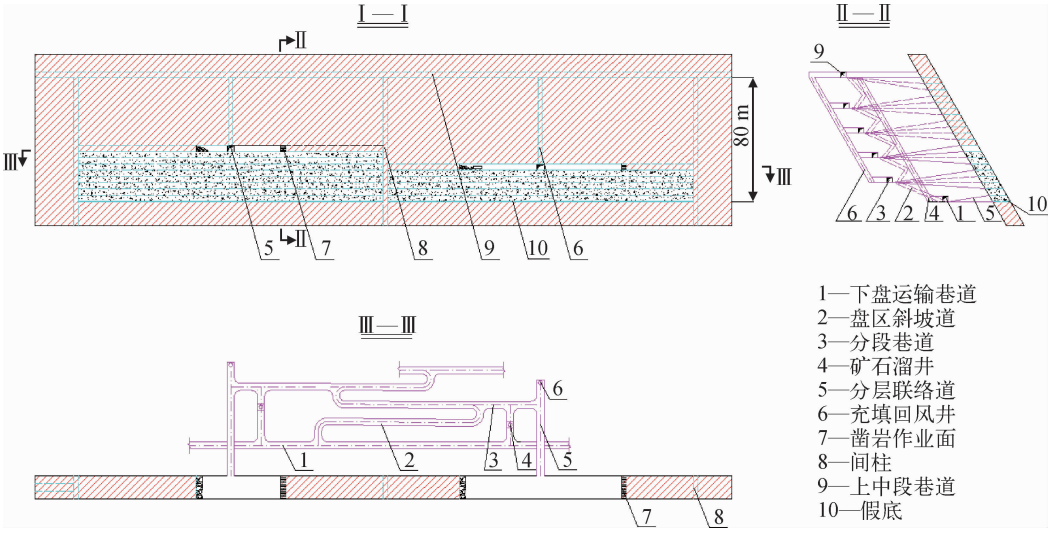


图 1　机械化上向水平分层充填采矿示意图

Fig. 1　Diagram of application of mechanized upward horizontal slicing and filling mining method

在矿体下盘布置盘区斜坡道连接各分段，根据铲运机性能，斜坡道坡度不大于 15%；在矿体下盘布置分段巷道，分段巷道通过盘区斜坡道联通。在盘区两端的分段巷道各布置 1 条出矿联络道，将采场与中段（分段）巷道连通。每 2 个采场布置 1 条充填回风井，溜井布置在矿体下盘，2 个采场共用 1 条溜井。此采矿方法对围岩稳固性要求低，且对矿体倾角、厚度的适应性较强[16]。

3.2.3　回采工艺

采场自中间出矿巷道向采场两端前进式回采。采用单臂凿岩台车凿岩，凿岩孔径为 ϕ45 mm，排间距为 0.8～0.9 m，采用人工装药。爆破落矿后，新风经进风井、中段巷道、盘区斜坡道进入。通过设置在分段巷道上的局扇和风筒将新风经分层联络道压入作业面；污风经分层联络道、分段巷道和充填回风井联络道进入充填回风井，然后再经上部回风巷道、回风井排出地表[17]。

采场出矿采用 10 t 柴油铲运机。铲运机在进路中铲矿，经分层联络道、分段巷道装入 30 t 自卸卡车，自卸卡车经盘区斜坡道、中段运输巷道、主斜坡道将矿石运至地表。

进路回采结束后，架设充填管路并封闭进路，再进行尾砂胶结充填，首采分层设置人工假底，为下中段开采提供安全顶柱，假底铺设钢筋网，采用充填体强度为 4 MPa 的充填料浆进行充填；其他分层采用充填体强度为 0.5 MPa 的充填料浆进行充填，上部 0.5 m 胶结层面采用充填体强度为 1.5 MPa 的充填料浆进行充填。

3.2.4　充填料的制备与充填系统

1）充填料的制备。选厂 20%浓度的全尾砂经柱塞泵泵送到充填制备站深锥浓密机后，进行

絮凝沉降，浓缩后的全尾砂经计量后通过管道输送至搅拌桶，胶凝材料经胶凝材料仓底部的螺旋输送机，按充填强度的配比要求向搅拌桶计量给料。充填料在搅拌桶内充分搅拌，制备成灰砂比为1∶4～1∶12、浓度为 70%～72%的充填料。

2)充填系统。充填料浆自流进入设在充填搅拌站内的充填钻孔内，充填料浆沿充填钻孔自流至 2 582 m 中段，经 2 582 m 充填联络道输送至井下充填作业点。全尾砂充填料浆与提前堆存在采场中的废石集料在充填采场中混合。

3.3 采矿方法指标对比

采矿方法优化前后主要技术指标对比见表1。可以看出，采矿方法优化后采切工程略有增加，但盘区生产能力、综合回采率、综合贫化率、凿岩工效和出矿工效均得到了大幅优化。

表 1 采矿方法优化前后主要技术指标对比

Table 1 Comparison of main technical indicators before and after optimization of mining methods

综合指标	盘区生产能力/(t/d)	综合回采率/%	综合贫化率/%	凿岩台班工效/m	出矿台班工效/t	采切比/(m/kt)
优化前	205	82.70	19.05	43	40	8.56
优化后	230	91.28	8.36	65	50	8.98

4 结论

针对矿山随采矿深度增加围岩条件变差及遗留矿柱难以回采等问题，将分段空场法和浅孔留矿法改为机械化上向水平分层充填采矿法，优化后的采矿方法具有以下优点：

1)采用机械化上向水平分层充填法无须留设大量矿柱，综合回采率提高了 10.38%，贫化率降低了 43.89%，大幅降低了矿石的运输、提升和选厂的成本。采用选矿尾渣充填采空区，不但保证了矿山生产安全；而且减少了尾渣的地表排放量，节约尾矿库的地表占地与维护费用，有效保护了矿区地表及周边环境。

2)通过优化采矿方法，采用大型无轨机械化设备，不但盘区生产能力提高了 12.20%，凿岩工效提高了 51.16%，出矿工效提高了 25%；而且减少了凿岩工和电耙工人数，降低了工人劳动强度，提高了工人作业安全性。

3)机械化上向水平分层充填法对生产探矿程度要求低，采切工程布置简单灵活，对矿体沿走向和垂向上的变化适应性强，回采边界容易控制，有利于优化贫损指标；且每分层回采高度低，有利于保持围岩稳定，提高作业安全性。

参考文献：

[1] 任玉东. 上向水平分层分步充填采矿法在红花沟金矿的应用[J]. 黄金，2021，42(10)：49-53.

[2] 程海勇，吴爱祥，吴顺川，等. 金属矿山固废充填研究现状与发展趋势[J]. 工程科学学报，2022，44(1)：11-25.

[3] 李树鹏，姜磊，张君鹏. 盘区机械化上向水平分层充填采矿法在大尹格庄金矿的应用[J]. 黄金，2016，37(8)：43-46.

[4] 姜关照，吴爱祥，刘超，等. 缓倾斜薄矿体机械化上向水平高分层分区充填采矿法[J]. 金属矿山，2017(4)：8-11.

[5] 黄麟淇，陈江湛，周健，等. 未来有色金属采矿可持续发展实践与思考[J]. 中国有色金属学报，2021，31(11)：3436-3449.

[6] 徐卫东，张永亮，陈晓利，等. 庙岭金矿采空区混合强度充填方法研究[J]. 矿冶工程，2022，42(2)：14-18.

[7] 李永辉，顾生春，王海文. 机械化上向水平分层充填采矿法在哈图金矿的应用[J]. 黄金，2019，40(12)：32-35.

[8] 贾万玉，吴若菡，万串串. 三山岛金矿深部矿体上向水平分层充填采矿法优化研究与应用[J]. 有色金属(矿山部分)，2021，73(1)：22-27.

[9] 王莉，明世祥，张永达，等. 机械化上向水平分层充填连续采矿法在某金矿的应用[J]. 矿业研究与开发，2015，35(7)：5-8.

[10] 王鑫. 上向水平分层进路充填法在夏家店金矿的应用[J]. 现代矿业，2020，36(6)：83-86.

[11] 佟磊，肖益盖，何伟，等. 盘区上向分层进路阶梯式回采充填采矿方法应用研究[J]. 有色金属(矿山部

分),2018,70(5):43-46.
[12] 顾生春,董群柱,王海文,等.盘区机械化上向水平分层充填法在哈图金矿的应用研究[J].采矿技术,2018,18(4):4-7.
[13] 路明福,宋嘉栋,扈守全,等.盘区交错式上向水平分层充填采矿法在玲南金矿的应用实践[J].矿业研究与开发,2016,36(4):1-3.
[14] 李夕兵,黄麟淇,周健,等.硬岩矿山开采技术回顾与展望[J].中国有色金属学报,2019,29(9):1828-1847.
[15] 曲立平,王泳棋.上向水平分层充填采矿法在急倾斜破碎薄矿体中的应用[J].矿业研究与开发,2021,41(12):1-4.
[16] 李占炎,王贻明,陈顺满.缓倾斜中厚破碎矿体采矿方法优化实践[J].采矿技术,2021,21(2):6-8.
[17] 张社稷.上向水平分层进路式全尾砂胶结充填采矿法在锦丰金矿的应用[J].黄金,2020,41(12):53-56.

Optimization and Application of Mining Method in a Lead-zinc Mine

HU Jianzhao[1], HUANG Mingfa[2], WANG Ming[3]
(1. JCHX Mine Engineering Institute Co., Ltd., Beijing 100070, China;
2. Zijin(Changsha) Engineering Technology Co., Ltd., Changsha 410114, China;
3. Zijin Mining Group Co., Ltd., Xiamen 361000, China)

Abstract: A lead-zinc mine is exploited by adit+shaft+slope path, and mined by sublevel open stope method and shallow hole retaining method. This method has large exposed area and poor safety, and the goaf formed by stope has buried hidden danger for mine production. With the increase of depth, the stability of surrounding rock becomes worse, the ore body becomes thinner and more dispersed, resulting in the increase of mining dilution rate and the extremely high mining and mineral dressing cost, and the original mining method is no longer applicable. According to the characteristics of ore body and the current production situation of the mine, the mining of the ore body below the middle level of 2 522 m adopts application of mechanized upward horizontal slicing and filling mining method, and uses large trackless equipment to carry out mining operations, which reduces the exposed area of the stope, improves the safety of underground operation, avoids a large number of goaf, solves the hidden danger in production and improves the recovery rate of resources. The production capacity, comprehensive recovery rate, comprehensive dilution rate and other indicators are optimized. The research results can be used as an example for other mines in this area.

Key words: tilt; medium thickness ore body; lead-zinc mine; sublevel open stoping with subsequent filling method; mechanized upward horizontal slicing and filling mining method; large trackless equipment