

Study on mining method of residual ore body in unstable geological body of Baifang Copper Mine in Hunan Province

Guojun Zhou Teng Liu Yugui Lu

Shuikoushan Nonferrous Metals Co., Ltd., Hengyang, Hunan, 421200, China

Abstract

The residual ore body of Baifang Copper Mine is an important goal of mining at present. Through comprehensive analysis of the geological characteristics of the residual ore body and the technical conditions of mining, the upward approach tailings cemented filling mining method is adopted. This mining method can safely and efficiently recover the residual ore body under complex geological conditions such as irregular shape, large thickness change, uneven grade distribution and unstable surrounding rock, which improves the utilization rate of resources and ensures the sustainable development of the mine.

Keywords

Unstable geological body; Residual ore body; Upward drift tailings cemented filling mining method

湖南省柏坊铜矿不稳定地质体内残矿体采矿方法研究

周国军 刘腾 陆雨癸

水口山有色金属有限责任公司, 中国·湖南 衡阳 421200

摘要

柏坊铜矿残矿体是目前矿山开采的重要目标, 通过综合分析残矿体地质特征及矿山开采技术条件, 采用上向进路式尾砂胶结充填采矿法, 该采矿方法可安全高效回采形态不规则、厚度变化大、品位分布不均、围岩不稳固等复杂地质条件下的残矿体, 提高了资源利用率, 保障矿山的可持续发展。

关键词

不稳定地质体; 残矿体; 上向进路式尾砂胶结充填采矿法

1 引言

铜在自然界中多以化合物即铜矿物存在, 因其坚韧、耐磨损、延展性好, 同时导热和导电性能较好, 可型性好易加工, 在电力、建筑、交通及新兴的新能源技术领域的广泛应用, 使得铜资源的供需状况成为影响全球经济稳定的重要因素。随着全球经济的发展, 特别是新能源汽车、充电基础设施、风能和太阳能发电等新兴领域的快速崛起, 对铜的需求持续增长。

湖南柏坊铜矿是衡阳中生代陆相红层盆地内重要的铜矿产, 矿体小而富, 矿体形态各异^[1-5]。柏坊铜矿建有完善的开拓、提升、运输、排水、充填、通风、压风、供水、供配电系统, 但经历六十余年的开采, 目前主体矿山资源枯竭, 矿山资源危机严重, 不稳定地质体内的残矿体成为矿山开采的重要目标。

柏坊铜矿大量残矿体赋存于地质条件复杂、稳定性较

差的区域, 呈不规则、零散破碎分布, 导致传统的采矿方法面临安全风险高、回采效率低、资源浪费等挑战, 为实现安全、高效回采, 亟需对复杂的地质条件下, 特别是在不稳定地质体区域内的残矿体回采的采矿方法进行优化研究。

2 矿山地质条件及开采现状

2.1 残矿体赋存条件

柏坊铜矿位于南岭东西向构造带中段北缘与羊角塘-水口山东西向构造带交汇部位, 衡阳盆地的南缘, 属不同构造叠加复合部位。矿区出露地层较为简单, 广泛出露晚古生代石炭纪、二叠纪及中生代白垩纪的地层, 其它地层缺失, 其中, 石炭系壶天群灰岩和白垩系红色碎屑岩系浅色砂岩层为矿区主要赋矿层位; 区内构造主要为褶皱、断层、不整合面和岩溶构造, 不同构造体系的叠加复合, 呈多期次活动的特点, 控制着区内矿体的形态、分布及赋存。

柏坊铜矿不稳定地质体内残矿体主要赋存于八中段805-9至805-7采场之间, 八中段平面以上。该残矿体属于VI w矿体, 赋存于石炭系壶天群灰岩(C2+3)与二叠系斗岭组煤系(P₂d1)不整合接触破碎带中, 接触面为F₂₂断层。

【作者简介】周国军(1972-), 中国湖南衡阳人, 助理工程师, 从事采矿工程研究。

VI w 矿体发育于断层凹陷部位，底板为斗岭组碳质页岩，走向近东西，倾向南；该矿体具有明显的分带性，底部以辉铜矿为主，平均品位高达 40.00%；顶部以赤铜矿为主，辉铜矿、孔雀石次之，矿体松散，呈泥土状，铜品位 5.00% 至 8.00%。

2.2 开采现状

VI w 矿体于 2006 年开始回采，至 2012 年八中段平面以下富辉铜矿体回采完毕；2013 年开始回采八中段以上氧化矿，采用上向进路式胶结充填法回采矿体，因该矿体顶板岩石破碎，遇水膨胀形成泥石流，无法形成充填井而停采；2021 年底矿山引进全尾砂充填技术，对该区残矿重新进行回采，至 2023 年初已形成形成出矿、行人、通风系统。

生产实践表明，原采矿方法与不稳定地质体内开采技术条件已不相适应，针对该区域内运输巷位于矿体下盘，局部巷道顶板滴水严重，残矿体呈松散土状，开采时遇水成泥等不利因素，为实现安全、高效回采，进行不稳定地质体内残矿体采矿方法的优化研究。

2.3 水文地质条件

矿区位于衡阳盆地南缘，属丘陵地形，一般海拔标高 80~150 米。地势西北高、东南低，制高点憩山岭标高 186.6 米，构成湘江与矿区小溪的天然分水岭，矿区北面的湘江最高洪水位标高 68.2 米，河底标高 50 米，为本区最低侵蚀基准面。区内透水性很差的红层及煤系，构成良好的隔水边界，使深部灰岩水与湘江水无水力联系。

裂隙溶洞水是铜鼓塘矿床充水的主要来源，主要由二叠系栖霞组、石炭系壶天群灰岩、石炭系梓门桥组和石炭系石蹬子组组成；区域隔水层按其分布和岩性可分为砂页岩、硅质岩隔水层和泥岩、粉砂岩隔水层两类；大气降水和地表水体是地下水的主要补给源，主要通过断裂、裂隙和岩溶补给地下水含水层。

矿区含水层富水性弱，隔水层隔水条件良好，矿坑涌水量小，水文地质条件简单。

2.4 矿床开采工程技术条件

石炭系壶天群灰岩：总体上岩石胶结紧密，质地坚硬，岩层稳定；但局部受构造、水溶蚀及风化等的作用，特别是在灰岩表层、不整合面和断层带附近往往形成宽大的破碎带，岩石松散破碎，胶结性极差，空隙度高，饱水状态下具有流动性，疏干状态则具压缩性。

二叠系斗岭组煤系：为炭质砂页岩，受构造破坏强烈，岩层极不完整，质地松软，遇水膨胀，易产生塑性变形。特别是与壶天灰岩接触处的 F22 断层附近，蠕变现象尤为明显。

白垩系红砂岩：钙泥质胶结，部分含铁质，中等硬度，岩层一般较稳定，但在 IV 号矿体顶板的红砂岩受构造及风化作用特别强烈，胶结性差，质地较松软，易产生塑性变形，饱水状态下具触变液化而流动，形成特殊的井下泥石流。

矿体的顶底板围岩疏松破碎，稳固性较差；但由于矿

山采取了科学的采矿方法，并及时对采空区进行充填，使工程地质问题得到了有效控制，工程地质条件中等。矿山在环境保护方面投入了大量的人力、物力，并采取了一系列有效的环境保护措施，取得了良好的效果。目前矿山生产对水土资源的破坏、废水及废气排放、作业环境空气质量等方面都控制在国家允许的范围之内。

矿区属于以工程地质问题为主的开采技术条件中等类型。

3 采矿方法研究

通过综合分析该区残矿体地质特征及围岩稳定性等问题，选择采矿方法需考虑以下因素：①在采空区治理的基础上进行残矿回采，回采前需具备完善的通风、行人、出矿系统；②因矿体松散、围岩不稳固，回采过程中需要及时充填并接顶，避免形成空区；③在进路回采中尽量控制爆破对采场顶板沉降的影响，保证采场顶板完整；④ VI w 矿体品位相对较高，需尽量提高矿石回采率；⑤充分考虑矿山现有开采技术手段和技术水平，利用已有设备和工程，在矿山产能不受影响的基础上安全、高效回采残矿体。

根据该区矿体形态特征、采掘历史、围岩稳定性等综合分析，认为该区可采用的采矿方法有进路胶结充填采矿法、削壁充填采矿法、自然崩落采矿法。

自然崩落采矿法采矿成本较低，但易造成顶板大面积垮落；削壁充填采矿法可较好地控制地压、较少围岩塌落，但该区残矿体规模较小，矿体连续性差，矿石的损失和贫化较难控制；进路胶结充填采矿法在矿体厚度变化大、矿石与围岩稳固性差、矿石品位分布不均的复杂地质条件下，通过精细化开采和充填，可有效支撑采空区围岩，并降低矿石损失和贫化率^[6-8]。综上，该区开采的采矿方法选择为上向进路式尾砂胶结充填采矿法（图 1）。

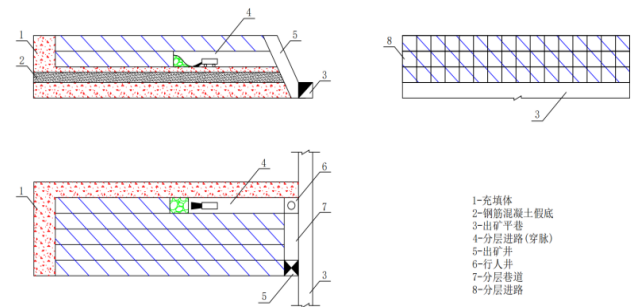


图 1 上向进路式尾砂胶结充填采矿法方案示意图

4 采矿方法及结构参数确定

4.1 结构参数及采切工程

VI w 矿体赋存于壶天灰岩与斗岭煤系地层不整合接触破碎带中，顶底板围岩极不稳固，主运输平巷采取密集工字钢支护 + 砌碛支护方式，超宽超高地段采用缓冲材料接顶填充方式，形成 805-9 行人、通风、运输系统（图 2）。

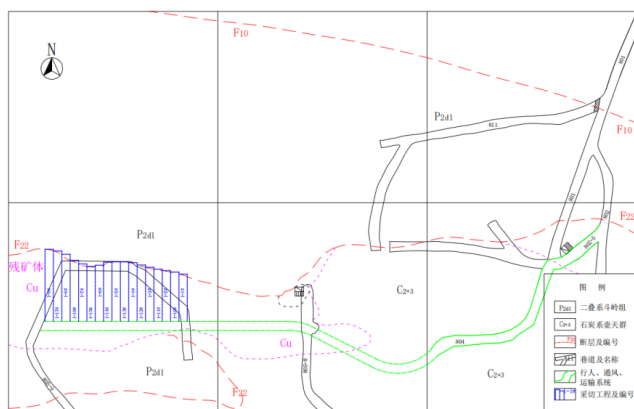


图2 柏坊铜矿805-9行人、通风、运输系统及采切工程布置图

805-9采场内划分为3个分层，每层高度不超过2m，从下向上逐层回采，整个分层回采、充填结束后转至上分层继续回采；各分层划分为若干回采进路，回采进路规格为3.0m（宽）×2.0m（高），进路长度即为矿体的水平厚度，以进路为单位进行回采、充填，进路充填后逐条回采。采场生产能力80-100t/d，贫化率8%，损失率5%。

4.2 回采工艺

回采顺序为自下而上逐层进行。进路垂直出矿平巷布置，进路回采为一采一。凿岩采用YT-28型凿岩机凿岩，炮孔深度1.8m；凿岩结束后，清渣炮孔，采用人工装填2#岩石炸药，湘器S300型起爆器配数码电子雷管，引爆炸药。爆破后，开启通风机通风，新鲜风流自脉外人行天井压入回采空间，污浊风流由出矿井进入回风巷道，后经回风井由地表排出。

柏坊铜矿建有充填能力为20m³/h的永久充填站，采用全尾砂及胶固粉进行胶结充填。充填站建有立式砂仓，有效储砂能力为80m³，砂仓放出的砂浆下到Φ300mm的U型槽，再进入Φ3.0m，22kW的搅拌桶，按配比要求（胶固粉：尾砂=1：8）搅拌成均匀浆体，通过Φ89mm的充填管道自流至各中段采空区。

4.3 充填实验

本次研究采用比重瓶法、相对密度法分别测定了充填尾砂的比重、容重等，并计算得到孔隙率及自然安息角（表1）；通过标准塌落度筒法测定充填料浆的塌落度（表2）。

表1 柏坊铜矿充填尾砂物理性质测定结果表

材料名称	比重	松散容重 (t/m ³)	密实容重 (t/m ³)	孔隙率 (%)	自然安息角 (°)
充填尾砂	2.6	1.5	1.8	42.3	34

表2 柏坊铜矿充填浆料塌落度试验结果表

重量浓度	浆料塌落度值 /cm		
	[全粒径 ≤ 200mm 尾砂]	胶固粉+[全粒径 ≤ 200mm 尾砂] (1:12)	胶固粉+[全粒径 ≤ 200mm 尾砂] (1:6)
68%	10	23.2	15
66%	15.5	25.3	22
64%	24.5	26.5	23.4
62%	27	27.2	25.6
60%	28	27.8	26.1
58%	28.5	28.3	26.5
56%	摊开	28.9	27.8
54%	—	摊开	28.1

综合相关测定结果并结合类似矿山充填系统相关经验，本次充填采用参数如下：充填料浆浓度必须控制在58%~63%之间；采用新型胶凝材料胶固粉用作充填胶凝材料；在浆体浓度60%、灰砂比1:12的条件下，28d龄期充填体强度不低于1.5MPa。

5 结论

柏坊铜矿残矿体赋存于断层凹陷部位，矿体及围岩均极不稳固，为安全高效回采该残矿体，采用了上向进路式尾砂胶结充填采矿法。实践表明，该采矿方法适用于矿体形态不规则、厚度变化大、矿石品位分布不均、围岩不稳固等复杂地质条件下的残矿体回采，在保证安全的同时，又能充分利用矿产资源，产生较好的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 邓湘伟,戴雪灵,黄满湘.柏坊铜矿成矿规律及成矿模式探讨[J].华南地质与矿产,2008(4):22-25.
- [2] 公凡影,李永胜,甄世民,等.湖南柏坊铜矿矿床地质特征及矿床成因初探[J].矿物学报,2013(S2):152-153.
- [3] 柳智,黄满湘,马德成,等.湖南衡阳柏坊铜矿矿体地质特征及矿床成因探讨[J].南方金属,2011(5):16-25.
- [4] 吴思,张晓文,杨立志.湖南衡阳柏坊铜矿控矿因素与找矿方向分析[J].西部资源,2017(3):9-12.
- [5] 冯雨周,邵拥军,葛超,等.湖南衡阳柏坊铜矿床地质特征及成因分析[J].南方金属,2017,(2):29-31.
- [6] 陈志强,王红心,梁权宇.谦比希铜矿深部难采矿体采矿方法研究[J].采矿技术,2023,23(5):51-55.
- [7] 孙光华,赵铁成.破碎带内难采矿体采矿方法优化研究[J].化工矿物与加工,2014(5):30-32.
- [8] 田占,汪亮,孙国权.某难采矿体的采矿方法研究[J].现代矿业,2013(4):60-61.
- [9] 姚茂文,邓建明,陈何.广西高峰公司105号复杂残矿体采矿方法研究[J].有色金属,2012,64(5):13-16.