

西藏帮中锌铜矿采场结构参数优化^①

赵兴东¹, 周鑫¹, 田斌², 范晓苏²

(1.东北大学深部金属矿采动安全实验室, 辽宁沈阳 110000; 2.西藏中凯矿业股份有限公司林周分公司, 西藏拉萨 850000)

摘要: 为进一步提高西藏帮中锌铜矿阶段空场嗣后充填采矿法的生产效率及经济效益, 在工程地质力学调查和岩石力学试验基础上对矿区矿岩进行岩体质量分级, 并结合矿山采切工程布置分析影响采场稳定性的关键因素; 在此基础上应用多种经验稳定图表法优化采场结构参数。结果表明, 改进的稳定图表法适应性强, 采场跨度可从 12.5 m 扩大到 20 m, 仍满足矿山生产安全要求。

关键词: 空场嗣后充填采矿法; 岩体质量分级; 稳定图表法; 采场结构参数

中图分类号: TD853

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.04.003

文章编号: 0253-6099(2023)04-0012-04

Optimization of Stope Structure Parameters for Bangzhong Zinc-Copper Mine in Tibet

ZHAO Xingdong¹, ZHOU Xin¹, TIAN Bin², FAN Xiaosu²

(1. Laboratory of Safe Mining in Deep Metal Mine, Northeastern University, Shenyang 110000, Liaoning, China; 2. Linzhou Branch of Tibet Zhongkai Mining Co., Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract: In Bangzhong Zinc-Copper Mine in Tibet, a mining method consisting of stoping followed by backfilling is adopted to excavate ores. In order to further improve production efficiency and economic benefits in the mine, rock mass quality was classified based on the investigation of geoenvironment and geomechanics and rock mechanics test, and key factors influencing stability of stopes were analyzed in combination with the layout of mining and cutting engineering. On this basis, stope structure parameters were optimized by using a variety of empirical stability charts. The results show that the improved stability chart is highly adaptable and a stop with span extended from 12.5 m to 20 m can still meet safety requirement in the mining production.

Key words: stoping followed by backfilling; rock mass quality classification; stability chart method; stope structure parameters

采场结构参数是影响矿山开采安全及经济效益的关键因素, 越来越多的学者关注采场结构参数优化^[1-3]。目前, 基于各类岩土工程软件的数值模拟法和以岩体质量分级为指标、基于稳定图表法的采场结构参数优化法是较为常见的两种手段, 其中稳定图表法因简单高效、适用性强、准确性高, 应用越来越广泛^[4]。

为进一步提高矿山生产效率及经济效益, 本文在岩体质量分级的基础上, 基于工程岩体分类标准、RMR 临界跨度图表、Q 临界跨度图表及改进的稳定图表法对西藏帮中锌铜矿现有采场结构参数进行优化, 确定了合理的采场结构参数。

1 矿山概况

1.1 工程地质概况

西藏帮中锌铜矿矿区位于西藏林周县, 矿区为高山深切区, 海拔相对高差大, 地势陡峻, 矿体工程控制标高 4 407~4 773 m。矿区为古近纪始新世(喜山早期)石英钠长斑岩岩枝侵入洛巴堆组(P_2l^2)与石炭系中下统诺错组(C_{1-2n}), 在接触带附近碎屑岩地层中发生角岩化, 并形成铜、锌矿化, 伴生银、镉、镓、铁、硫矿化。矿区断裂构造较为发育, 但区内大构造不多, 仅小构造发育, 主要断裂为成矿前构造。

① 收稿日期: 2023-02-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(52130403); 中央高校基本科研业务费专项(N2001033)

作者简介: 赵兴东(1975—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事采矿地压与控制研究。

矿体为急倾斜厚大矿体,矿床围岩岩石类型简单,矿体上盘为斑岩、下盘为角岩,矿体以角岩为主,部分为斑岩,岩体稳定性较好。

1.2 采矿方法

矿山采用阶段空场嗣后充填采矿法对矿体进行回采。首采地段为4600 m中段(矿量大、品位高),采场垂直走向布置;采场高度与中段高度一致,为50 m;采场长度为矿体厚度(平均25 m),采场宽度为12.5 m。采区通风天井间距50 m,矿石溜井间距50 m。为进一步提高矿山的生产效率及经济效益、减少采切工程尤其是出矿巷道及出矿穿脉的工程量,在采场高度及长度不变的情况下对采场宽度进行优化。

1.3 影响采场稳定性因素分析

阶段空场嗣后充填采矿法主要的运输巷道均布置在矿体和上盘围岩中,下盘围岩中没有采切工程;矿区在近地表开采,地应力小,采动应力不是影响围岩稳定性的主要因素,围岩稳定性主要由结构面控制,由于矿体存在倾角,下盘不易发生掉块及塌方灾害,下盘围岩的稳定性不作为扩大采场结构参数的限制因素。在接下来的研究中,将矿体顶板及上盘围岩稳定性作为采场结构参数的设计依据。

2 采场结构参数优化方法

2.1 优化原则

采场结构参数一方面影响采矿安全,另一方面影响矿山经济效益。采场结构参数过大时,易导致矿岩失稳冒落,人员设备安全性难以保证;采场结构参数过小时,采切工程量大,导致矿石回收率低、经济效益差^[5]。在优化采场结构参数时要平衡好两者关系,在保证安全的同时,最大限度地增大采场结构参数,获取最大化的经济效益。

2.2 优化方法

2.2.1 基于《工程岩体分级标准》设计采场最大跨度

GB/T 50218—2014《工程岩体分级标准》为统一的工程岩体分级方法,并为岩石工程勘察、设计、施工和运行提供基本依据,适用于各类型岩石工程的岩体分级^[6]。可利用地下工程岩体自稳能力统计表(见表1),根据岩体级别结果判断采场最大跨度。

2.2.2 基于岩体质量分级的经验图表法确定采场最大跨度

经验图表法是国内外专家学者根据大量现场实测数据,以岩体质量分级为基础设计地下岩体开挖所能保持稳定的最大跨度,主要包括RMR临界跨度图表(见图1)和Q临界跨度图表(见图2)^[7]。

表1 地下工程岩体自稳能力

岩体级别	自稳能力
I	跨度≤20 m,可长期稳定,偶有掉块,无塌方
II	跨度<10 m,可长期稳定,偶有掉块 跨度10~20 m,可基本稳定,局部可发生掉块或小塌方
III	跨度<5 m,可基本稳定 跨度5~10 m,可稳定数月,可发生局部块体位移及小、中塌方 跨度10~20 m,可稳定数日至1个月,可发生小、中塌方
IV	跨度≤5 m,可稳定数日至1个月 跨度>5 m,一般无自稳能力,数日至数月内可发生松动变形、小塌方,进而发展为中、大塌方。埋深小时,以拱部松动破坏为主,埋深大时,有明显塑性流动变形和挤压破坏
V	无自稳能力

注:小塌方指塌方高度小于3 m,或塌方体积小于30 m³;中塌方指塌方高度3~6 m,或塌方体积30~100 m³;大塌方指塌方高度大于6 m,或塌方体积大于100 m³。

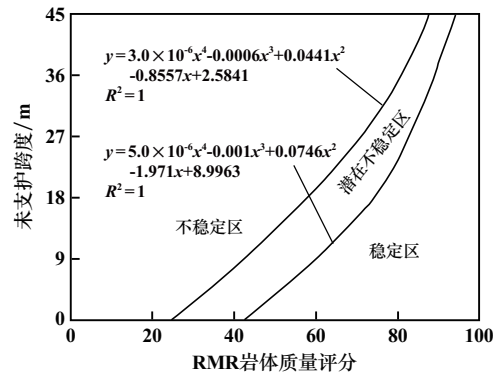


图1 RMR 临界跨度图表

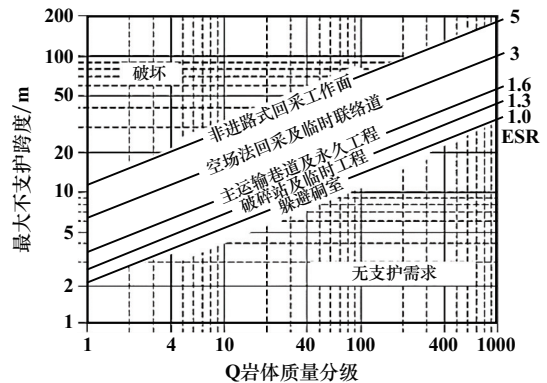


图2 Q 临界跨度图表

2.2.3 基于改进的稳定图表法确定采场最大跨度

在采场高度和长度已知的条件下,结合岩体质量分级及现场调查结果,基于改进的稳定性图表法确定顶板和上盘水力半径,计算采场跨度,计算公式如下:

$$\begin{cases} W_r = \frac{2 \times R_r \times L}{L - 2R_r} \\ W_h = \frac{2 \times R_h \times H}{H - 2R_h} \\ W = \min(W_r, W_h) \end{cases} \quad (1)$$

式中 W_r 为顶板最大允许跨度, m; R_r 为顶板最大允许水力半径, m; L 为采场长度, m; W_h 为上盘最大允许跨度, m; R_h 为上盘最大允许水力半径, m; H 为采场高度, m; W 为最终优化的采场跨度, m。

为解决现有稳定图表法取值主观性强、误差大的缺点,以收集的 322 组数据^[8-11]为基础对稳定图表法进行改进,如图 3 所示。

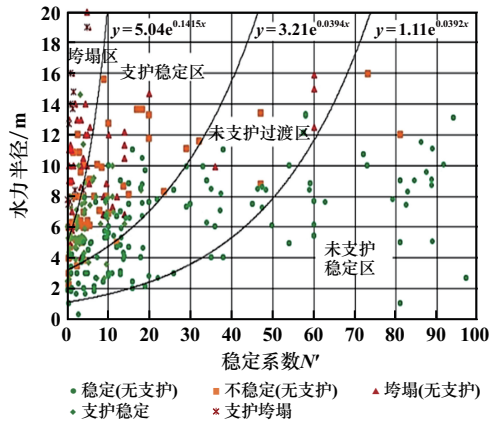


图 3 改进的稳定图表法

3 采场结构参数优化

3.1 岩体质量分级

根据工程地质调查与岩石力学试验结果,采用巴顿岩体质量(Q)围岩分级和岩体地质力学(RMR)分级两种方法对矿体及上盘围岩进行岩体质量评价,分级评价结果分别如表 2 和表 3 所示。

表 2 巴顿岩体质量(Q)围岩分级结果

参数名称	评价标准及得分			
	矿体	评分	上盘	评分
RQD	88.75	4.2	89.05	4.3
节理组数	2~3 组	6	2~3 组	6
节理粗糙系数	粗糙且不规则 波状节理	3	粗糙且不规则 波状节理	3
节理蚀变系数	无蚀变	1	无蚀变	1
节理水折减系数	无流水	1	无流水	1
应力折减系数	低应力	2.5	低应力	2.5
Q 值	17.7		17.8	
分级	II		II	

3.2 采场跨度计算

由表 1 可知,矿体及上盘围岩评分均为 II 级,矿房最大跨度可取 20 m,需在回采期间注意防护掉块和小塌方发生。

由图 1 结合 RMR 岩体质量评分,矿体所能允许的最大跨度为 27.6 m,通过计算,采场最大跨度为 24.4 m。

表 3 岩体地质力学(RMR)分级计算统计结果

参数名称	评价标准及得分			
	矿体	评分	上盘	评分
完整岩石材料强度(MPa)	121.37	12	95.65	7
RQD	88.75	17	89.05	17
节理间距(m)	0.2~0.6	10	0.2~0.6	10
节理面条件	无蚀变	30	无蚀变	30
地下水	潮湿	10	潮湿	10
节理方向评估	一般	-5	一般	-5
RMR 值		74		69
分级		II		II

由图 2 结合表 2,可得上盘及围岩所允许的最大跨度为 22 m。

利用图 3,根据表 2 评价结果,计算稳定性系数 N' :

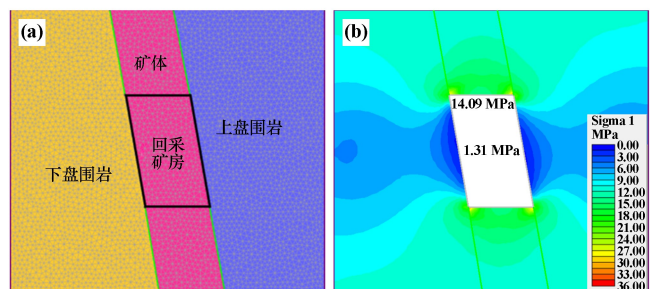
$$N' = Q' \times A \times B \times C \quad (2)$$

式中 Q' 为岩体质量指标,它基于岩石隧洞施工参数,为修正的 Q 系统分级法:

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \quad (3)$$

式中 A 为采动应力(由数值模拟计算得到)作用,取值在 0.1 到 1 之间; B 为节理产状调整系数,考虑了节理对采场面的影响,其值由采场面倾角与主要节理组的倾角之差度量,节理走向垂直于开挖方向对岩体稳定性影响最小; C 为重力调整系数,与重力作用下的待分析采空面的破坏模式如顶板冒落、片帮、帮壁下滑等有关。

本次设计 4 600 m 水平主矿体距地表最大埋深为 173 m,根据地应力估算垂直应力为 7.1 MPa,最大水平主应力为 11.8 MPa,最小水平主应力为 4.1 MPa,采用 RS2 数值模拟软件,应用摩尔-库伦模型弹性模型计算,建模计算结果如图 4 所示。



(a) RS2 建模结果; (b) 上盘及采场顶板中心处弹性解

图 4 建模及数值计算结果

根据式(2),结合工程地质调查及数值模拟结果计算稳定性系数 N' ,结果见表 4。

根据式(1),结合稳定图表法计算顶板最大允许水力半径为 5.78 m,上盘最大允许水力半径为 20 m;以

采场顶板稳定性为依据计算采场最大跨度为 21.5 m,以上盘稳定性为依据计算采场最大跨度为 200 m。由此可见,顶板的稳定性是影响采场稳定性的关键因素,采场最大跨度为 21.5 m。

表 4 稳定性系数 N' 统计表

位置	Q'	A	B	C	N'
顶板	44.38	0.84	0.2	2	14.91
上盘	44.53	1	0.2	6.65	59.22

上述 4 种方法计算结果见表 5。从表 5 可以看出,几种方法采场最大跨度计算结果具有很好的一致性,最大采场跨度在 20~25 m 之间,验证了改进的稳定图表法的适用性,确定 4 600 m 中段最终采场最大跨度可从 12.5 m 扩大至 20 m。

表 5 不同方法采场跨度计算结果

方法	采场跨度/m
工程岩体分级标准地下工程自稳能力图表法	20
RMR 临界跨度图表法	24.4
Q 临界跨度图表法	22
Mathews 稳定图表法	21.5

4 结 论

1) 结合矿山开采现状及采切工程布置形式,判断围岩稳定性主要由结构面控制,且下盘围岩稳定性不应作为扩大采场结构参数的限制因素,将矿体顶板及上盘围岩的稳定性作为采场结构参数的设计依据。

2) 在工程地质调查基础上,结合岩石力学实验结

果对矿岩进行岩体质量分级,矿体与上盘围岩均属于 II 级,岩体质量较好。

3) 几种方法采场最大跨度计算结果均处于 20~25 m 之间,具有很好的一致性,验证了改进稳定图表法的适用性,最终采场最大跨度可从 12.5 m 扩大至 20 m。

参考文献:

- [1] 路燕泽,郭 斌,杨志强,等. 复杂采场结构参数数值模拟及采矿方法优化[J]. 金属矿山, 2022(8):69-74.
- [2] 罗来和,夏国进,王 沉,等. 基于 FLAC^{3D} 的采矿方法优选及采场结构参数优化[J]. 矿冶工程, 2021,41(6):129-133.
- [3] 李 路,徐 鹏,贺 超,等. 刚果(金)某铜钴矿深部复杂矿体采场结构参数研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(3):32-36.
- [4] 赵兴东,周 鑫,魏 慧. 三山岛金矿分段空场嗣后充填采场结构参数设计[J]. 金属矿山, 2022(1):101-106.
- [5] 李炎峰,刘志祥,闵晨笛. 金属矿深部采场结构参数的模糊层次分析综合评判优化[J]. 矿冶工程, 2022,42(1):24-29.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工程岩体分级标准:GB/T 50218—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
- [7] Hutchinson J, Diederichs M S. Cablebolting in Underground Mines[M]. Bi Tech Publishers Ltd, 1996.
- [8] Potvin Y. Empirical open stope design in Canada[D]. University of British Columbia, 1988.
- [9] 董国庆. Mathew 法在某矿采场结构参数中的应用[J]. 新疆有色金属, 2011(1):34-36.
- [10] 张小华,王建国,刘国寅,等. Mathew 法在矿山深部采场稳定性分析中的应用[J]. 有色金属(矿山部分), 2017,69(6):18-20.
- [11] 罗淦华,吴爱祥. 基于 Mathews 稳定图法的采场结构参数确定[J]. 金属矿山, 2017(2):31-35.

引用本文: 赵兴东,周 鑫,田 斌,等. 西藏帮中铜矿采场结构参数优化[J]. 矿冶工程, 2023,43(4):12-15.

版权声明

本刊已许可国内外文献检索系统或数据库在其官网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。同时矿冶工程杂志官网已实行论文全文免费开放获取。本刊按矿冶工程杂志相关规定向作者一次性支付稿酬及著作权使用费后,本刊及相关合作单位不再向作者支付其他费用。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。

矿冶工程杂志编辑部

2023 年 8 月