

潘家田铁矿矿体可崩性评价

Cavability Evaluation of the Panjiation Iron Ore Deposit

罗阳勇¹, 刘育明^{2,3}, 陈小伟^{2,3}, 张洪海^{2,3}, 王恒涛^{2,3}

(1. 四川安宁铁钛股份有限公司, 四川 攀枝花 617299; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038;
3. 深部金属矿采动地压灾害防控国家矿山安全监察局重点实验室, 北京 100038)

摘要:通过对潘家田铁矿矿体形态、岩体构造、完整矿岩强度及原岩应力状态等影响矿岩可崩性的因素展开论述,探讨潘家田铁矿矿体的可崩性。采用 MRMR 指标分类方法对潘家田铁矿工业矿体和低品位矿体进行质量分析评价,得到其工业矿体的 MRMR 值为 43,其可崩性为中等可崩,低品位矿体的 MRMR 值为 57,其可崩性为中等可崩。运用 Laubscher 崩落图表法进行可崩性评价,得到工业矿体的水力半径为 11~20 m,低品位矿体水力半径为 18~29.5 m,水力半径值都较小。通过对潘家田铁矿矿体可崩性研究,得知其采用自然崩落法进行开采是可行的。

关键词:MRMR 指标; Laubscher 崩落图; 可崩性评价

中图分类号:TD981 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-609X(2025)04-0029-05

Abstract:The evaluation of the caving ability of the Panjiation Iron Ore Deposit is discussed by examining factors such as the ore body morphology, rock mass structure, intact rock strength, and the stress state of the original rock that affect the caving ability of the ore rock. The MRMR index classification method is used to conduct a quality analysis and evaluation of the industrial ore bodies and low-grade ore bodies of the Panjiation Iron Mine. The MRMR value for the industrial ore bodies is 43, indicating a moderate caving ability, while the MRMR value for the low-grade ore bodies is 57, also indicating a moderate caving ability. Using the Laubscher caving chart method for caving ability evaluation, the hydraulic radius for the industrial ore bodies is found to be between 11 m and 20 m, and for the low-grade ore bodies, it is between 18 m and 29.5 m, with both values being relatively small. Through the study of the caving ability of the Panjiation Iron Ore Deposit, it is concluded that the use of the natural caving method for mining is feasible.

Key words:MRMR index; Laubscher caving chart; caving ability evaluation

1 前言

自然崩落法是一种依靠岩体内部的自然力来达到矿岩的破碎,并依靠重力来进行矿岩运搬的大规模地下采矿方法。矿体是否能以一定的速率持续崩落,并达到一定的生产能力,其关键是对矿体的可崩性的正确评价^[1-4]。矿体可崩性研究是拟采用自然崩落法生产工艺的核心内容,其对采矿设计的拉底方向、拉底面积、回采顺序、出矿方式等都有决定性的影响^[5-13]。

目前,用于矿岩可崩性研究的方法有 CSIR 分类(RMR 分类)、地质强度指标 GSI 法、Mathews 稳定图法、Laubscher 崩落图法、矿山岩体分类系统法等^[14]。本文在论述潘家田矿体可崩性影响因素的

基础上,采用 MRMR 指标体系进行定性可崩性评价,根据 Laubscher 崩落图法对潘家田铁矿矿体可崩性进行研究,来确定潘家田铁矿是否适用于自然崩落法的开采。

2 可崩性主要影响因素分析

矿岩的可崩性主要受两个方面的影响^[15]:一个方面是地质与力学因素,其中地质因素包括岩体内节理、裂隙以及断裂等结构弱面的发育程度及其空间展布特征等;力学因素包括原岩应力场的方向与大小,岩体及岩石的抗压与抗拉强度以及三轴压缩时的变形特征,弱面的剪切性能及其变形特征等。另一方面是工程因素,工程因素是指拉底、割帮、预裂等工程的尺寸、形状以及布置形式等都直接影响岩体的崩落。

针对上述可崩性的影响因素,并结合潘家田铁矿现有的资料对其矿岩崩落条件进行初步探讨,将影响潘家田矿岩崩落特性的因素具体分成以下几个方面。

[作者简介] 罗阳勇(1975—),男,四川攀枝花人,高级经济师,主要从事钒钛磁铁矿资源综合利用提升工作。

[引用格式] 罗阳勇,刘育明,陈小伟,等.潘家田铁矿矿体可崩性评价[J].中国矿山工程,2025,54(4):29-33.

1) 矿体形态

潘家田铁矿矿区主要有 2 条矿体,编号为 I、II 号矿体, I 号矿体为次要矿体, II 号矿体为主要矿体。I 号矿体位于 II 号矿体的上部。岩层与矿体、夹石与矿石之间没有截然的界线,只是含铁量程度不同。I 号矿体为层状、似层状矿体,产于辉长岩相带的下部,其形态产状与岩体一致;走向为东西向,东西长约 1 000 m,倾向 180°左右,倾角为 40°左右,沿倾向控制斜深 80 ~ 1 140 m;矿体平均厚度 32.73 m,全部为低品位铁矿石。II 号矿体产状与 I 号矿体一致,在 F1 断层西盘矿体整体较 F1 断层东盘矿体较厚;矿体东西长约 1 400 m,沿倾向控制斜深 220 ~ 1 200 m;矿体平均真厚度 42.76 m;整个矿体均为工业矿体。

从矿体形态来看,潘家田铁矿矿体产状较稳定,矿区构造复杂程度一般,矿体连续性较好,对矿体稳定程度无影响。对于潘家田铁矿的矿体形态与产状特征而言,其厚度较大,虽然矿体呈倾斜状,但其形态稳定的矿段同样适合采用自然崩落法开采。

2) 岩体构造

根据钻孔岩芯 RQD 值统计分析,工业矿体矿岩 RQD 值为 30% ~ 65%,平均约为 40%。根据露天边坡结构面调查统计分析可知,工业矿体中主要发育 4 组优势节理组,其产状主要为 30°∠64°、113°∠28°、100°∠64°、195°∠51°。工业矿体统计的节理间距均值为 0.18 m,平均节理密度为 5.64 条/m³。从岩体构造上看,工业矿体完整性差,节理裂隙发育,对矿岩的自然崩落有利。

钻孔岩芯统计低品位矿体 RQD 值为 76% ~

95%,平均为 83%,低品位矿体主要发育有 4 组优势节理面,分别为 332°∠64°、29°∠65°、79°∠70°、98°∠27°。低品位矿体统计的节理间距均值为 0.22 m,平均节理密度为 4.7 条/m³。低品位矿体节理裂隙发育程度一般,水平节理裂隙较少,从岩体构造来看,低品位矿体的可崩性较差。

3) 完整矿岩强度

矿岩崩落过程中岩石破裂主要是按节理裂隙发生,但有时也通过完整岩石发生。岩体中节理是不连续的,其间存在岩桥,岩石脱离岩体崩落必须切断岩桥^[16-17],因此,完整矿岩的强度也是影响岩体崩落的一个因素。潘家田铁矿工业矿体矿岩抗压强度为 54 MPa,强度较低;低品位矿体矿岩抗压强度为 98 MPa,强度较高;单从矿岩强度看,工业矿体可崩性好,低品位矿体可崩性较差。

4) 原岩应力状态

岩体中应力状态是促使矿岩崩落的重要力学因素,在一定的原岩应力场状态下,不同的拉底方向和其空间形状可产生不同的次生应力场,其崩落效果也不同。

根据应力测量结果,可确定拉底巷道和崩落推进方向。在自然崩落法设计中,拉底巷道以及崩落推进方向应与最大主应力方向平行,这种布置方式有利于巷道和底部结构的稳定。

3 MRMR 指标法可崩性评价

1) 矿岩可崩性评价方法

一般岩石可崩性评价可分为五级,分别采用 RQD 值、Q 分类、RMR 及 MRMR 指标等岩体分类结果进行矿岩可崩性评价,可崩性分级见表 1。

表 1 可崩性分级表

| 级别 | RQD(0 ~ 100) | Q(0.01 ~ 100) | RMR(0 ~ 100) | MRMR(0 ~ 100) | 可崩性类别 | 破碎特性 |
|-----|--------------|---------------|--------------|---------------|-------|------|
| V | <25 | <0.09 | <25 | <20 | 极易崩 | 极破碎 |
| IV | 25.01 ~ 50 | 0.1 ~ 0.99 | 25.01 ~ 50 | 21 ~ 40 | 易崩 | 不破碎 |
| III | 50.01 ~ 70 | 1.0 ~ 3.99 | 50.01 ~ 70 | 41 ~ 60 | 中等可崩 | 中等破碎 |
| II | 70.01 ~ 90 | 4.0 ~ 39.99 | 70.01 ~ 90 | 61 ~ 80 | 难崩 | 大块较多 |
| I | 90.01 ~ 100 | >40 | 90.01 ~ 100 | 81 ~ 100 | 极难崩 | 大块多 |

本文选用 MRMR 指标法对岩体质量进行分级。其中 MRMR 指标是 Laubscher 基于 Bieniawski 的岩石力学分类的基础上,并结合非洲石棉矿的一些经验而修正得来的,其分类采用了与 Bieniawski 的分类表相同的五个分类参数,但在细

节上有些改动。五个质量分级中的每一级又分成子级 A 和 B,对于完整岩石强度采用了新的范围和指标,节理间距和节理参数的条件也采用不同的评价,具体见表 2。

岩体指标评定中所涉及的不连续面(节理)只

表2 修正的岩石力学分类表

| 分级 | I | | II | | III | | IV | | V | | | | | |
|----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 指标 | 100 ~ 81 | | 80 ~ 61 | | 60 ~ 41 | | 40 ~ 21 | | 20 ~ 0 | | | | | |
| 描述 | 极好 | | 好 | | 一般 | | 差 | | 极差 | | | | | |
| 子级 | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | | | | |
| 1 | RQD/% | 97 ~ 100 | 84 ~ 96 | 71 ~ 83 | 56 ~ 70 | 44 ~ 55 | 31 ~ 43 | 17 ~ 30 | 4 ~ 16 | 0 ~ 3 | | | | |
| | 指标 | 15 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | | | | |
| 2 | IRS/MPa | > 185 | 165 ~ 185 | 145 ~ 164 | 125 ~ 144 | 105 ~ 124 | 85 ~ 104 | 65 ~ 84 | 45 ~ 64 | 35 ~ 44 | 25 ~ 34 | 12 ~ 24 | 5 ~ 11 | 1 ~ 4 |
| | 指标 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 3 | 节理间距 | 参见图1 | | | | | | | | | | | | |
| | 指标 | 参见图1 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 节理状态 | 参见表3 | | | | | | | | | | | | |
| | 指标 | 参见表3 | | | | | | | | | | | | |

是迹线长度大于一个硐室的直径或大于 3 m 的,以及那些迹线虽然小于 3 m,但与其他的不连续面相交形成的岩块。多组节理系的节理间距指标如图 1 所示。用岩体中间距最小的三组不连续面的实际间距结合图 1 可得出节理间距指标。受多种因素影响的节理条件指标见表 3。

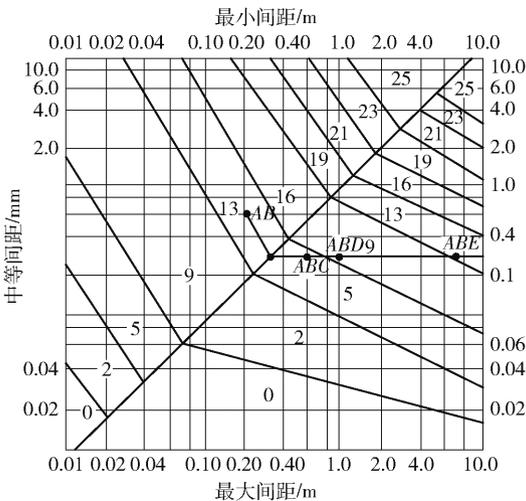
基础上,进一步采用 MRMR 指标分类方法进行岩体质量分析,并对其矿岩可崩性进行评价,具体评价情况见表 4。从表 4 中,可知工业矿体的可崩性为较易崩,低品位矿体的可崩性为难崩。

4 Laubscher 崩落图法可崩性预测

Laubscher 崩落图表法是目前国际上应用较为广泛的可崩性评价方法。Laubscher 将各项可崩性影响因素对可崩性的影响程度,量化为代表工程岩体质量的 MRMR 与水力半径间的关系图。该崩落图划分成三个区域:稳定区、过渡区和崩落区,具体如图 2 所示。这三个区域被过渡区分开,落在稳定区表示工程稳定,落在崩落区表示发生持续崩落,落在过渡区表示可能崩落也可能稳定。

根据 Laubscher 崩落图表,将所得到的潘家田铁矿矿体的 MRMR 绘制到崩落图中,可分别求得其崩落水力半径大小,其具体水力半径值见表 5。潘家田铁矿工业矿体、低品位矿体的崩落特性分别如图 3、图 4 所示。

根据 Laubscher 崩落图表,当矿岩的可崩性分别落在过渡区及崩落区内时,工业矿体拉底空间初始崩落水力半径为 11 m,持续崩落水力半径为 20 m,初始崩落水力半径和持续崩落水力半径值都比较小,属于易崩落的岩体,采用自然崩落法进行开采是可行的;低品位矿体拉底空间初始崩落水力半径为 18 m,持续崩落水力半径为 29.5 m,初始崩落水力半径和持续崩落水力半径值都较工业矿体略大些,属于中等崩落的岩体,采用自然崩落法进行开采是可行的。



节理组间距 A、B、C、D、E 分别为 0.2 m、0.5 m、0.6 m、1.0 m、7.0 m, A、AB、ABC、ABD、ABE 的组合指标分别为 19 m、13 m、5 m、9 m、13 m

图1 多组节理系的节理间距指标

应用岩体基本指标之前,要对指标参数进行修正,以便考虑风化作用、现场应力和诱发应力、由采矿引起的应力变化、已暴露的基岩岩块的方位以及爆破影响。

2) 潘家田铁矿矿岩的可崩性评价

在确定潘家田铁矿矿岩可崩性主要影响因素的

表3 节理状态评定表

| 参数 | 描述 | 修正百分比/% | | | | |
|------------|-------------|---------|-----|------------------------|------------------|----|
| | | 干燥 | 潮湿 | 中等水压 25 ~ 125 L/min | 高水压 125 L/min | |
| 节理面形状(大范围) | 多向波纹状 | 100 | 100 | 95 | 90 | |
| | 单向波纹状 | 95 | 90 | 85 | 80 | |
| | 弯曲的 | 85 | 80 | 75 | 70 | |
| | 轻微波状的 | 80 | 75 | 70 | 65 | |
| | 平坦的 | 75 | 70 | 65 | 60 | |
| 节理面形状(小范围) | 粗糙的台阶状/不规则 | 95 | 90 | 85 | 80 | |
| | 平滑的台阶状 | 90 | 85 | 80 | 75 | |
| | 光滑的台阶状 | 85 | 80 | 75 | 70 | |
| | 粗糙的波浪状 | 80 | 75 | 70 | 65 | |
| | 平滑的波浪状 | 75 | 70 | 65 | 60 | |
| | 光滑的波浪状 | 70 | 65 | 60 | 55 | |
| | 粗糙的平面状 | 65 | 60 | 55 | 50 | |
| | 平滑的平面状 | 60 | 55 | 50 | 45 | |
| 磨光的 | 55 | 50 | 45 | 40 | | |
| 节理蚀变 | 比岩壁更软 | 75 | 70 | 65 | 60 | |
| 节理充填情况 | 无软化和剪切物 | 粗颗粒 | 90 | 85 | 80 | 75 |
| | 无软化和剪切物 | 中等颗粒 | 85 | 80 | 75 | 70 |
| | 无软化和剪切物 | 细颗粒 | 80 | 75 | 70 | 65 |
| | 软化和剪切物 | 粗颗粒 | 70 | 65 | 60 | 55 |
| | 软化和剪切物 | 中等颗粒 | 60 | 55 | 50 | 45 |
| | 软化和剪切物 | 细颗粒 | 50 | 45 | 40 | 35 |
| | 充填物厚度 < 起伏度 | 45 | 40 | 35 | 30 | |
| | 充填物厚度 > 起伏度 | 30 | 20 | 15 | 10 | |

注:修正时用40分与表中3种情况的百分比数相乘。

表4 潘家田铁矿岩体可崩性分级表

| 参数 | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | MRMR 值 | 可崩性 分级 |
|-------|---------|----|----------|----|------|----|------------|----|--------|-----------|
| | 矿岩强度 | 指标 | 岩体质量 RQD | 指标 | 节理间距 | 指标 | 节理状态 | 指标 | | |
| 工业矿体 | 29 ~ 43 | 5 | 53.48 | 5 | 0.19 | 9 | 粗糙、微张开,无蚀变 | 24 | 43 | 中等易崩 |
| 低品位矿体 | 83.17 | 6 | 98.45 | 12 | 0.49 | 13 | 粗糙、闭合,无蚀变 | 26 | 57 | 中等可崩 |

表5 初始崩落和持续崩落的水力半径

| 区域 | MRMR 值 | 初始崩落水力 半径/m | 持续崩落水力 半径/m |
|-------|--------|----------------|----------------|
| 工业矿体 | 43 | 11 | 20 |
| 低品位矿体 | 57 | 18 | 29.5 |

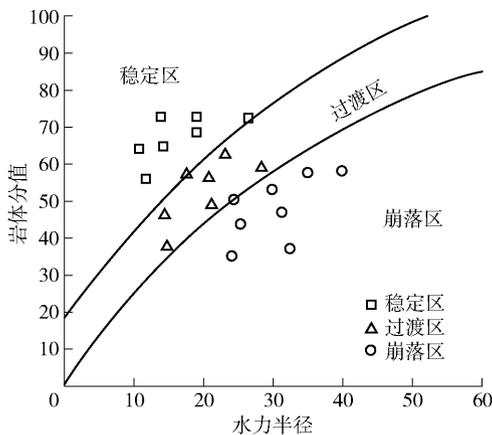


图2 Laubscher 崩落图表

5 结论

本文针对潘家田铁矿矿体采用 MRMR 体系法、Laubscher 崩落图进行可崩性进行预测,可以得到以下主要结论:

(1) 根据 MRMR 指标法预测,工业矿体的 MRMR 值为43,其可崩性为中等可崩;低品位矿体

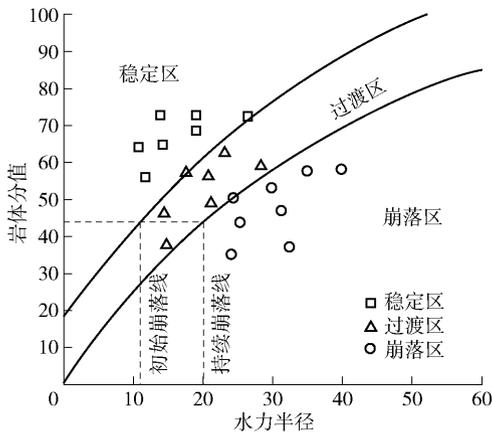


图3 工业矿体崩落图可崩性预测

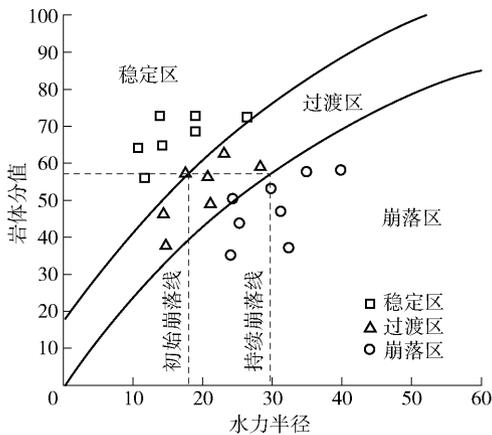


图4 低品位矿体崩落图可崩性预测

的 MRMR 值为 57,其可崩性为中等可崩。

(2)根据 Laubscher 崩落图法预测,工业矿体的水力半径值较小,初始崩落水力半径为 11 m,持续崩落水力半径为 20 m;低品位矿体的初始崩落水力半径为 18 m,持续崩落水力半径为 29.5 m。初始崩落水力半径和持续崩落水力半径值都较小,应用自然崩落法进行开采是可行的。

【参考文献】

[1] 刘欢,任凤玉,何荣兴,等.自然崩落法岩体可崩性研究现状与展望[J].中国矿业,2023,32(7):95-104.
 [2] 曹辉,杨小聪,王贺,等.自然崩落法岩体可崩性研究现状与展望[J].中国矿业,2015,24(10):113-117.

[3] 王家臣,陈忠辉,熊道慧,等.金川镍矿二矿区矿石自然崩落规律研究[J].中国矿业大学学报,2000,29(1):596-600.
 [4] 于少封,吴爱祥,韩斌.自然崩落法在厚大破碎矿体中的应用[J].金属矿山,2012,41(9):1-4.
 [5] 雷学文.灰色关联分析法在矿体可崩性评价中的应用[J].化工矿物与加工,1995,24(1):23-26.
 [6] 陈清运,蔡嗣经,明世祥,等.聚类分级和BP神经网络在自然崩落法矿岩可崩性分级中的应用[J].化工矿产地质,2004,26(2):112-116.
 [7] 张峰.矿体的可崩性评价方法及实践[J].中国矿业,1997,6(6):27-30.
 [8] 李立明,潘长良.矿体可崩性评价的信息累积法[J].中南工业大学学报(自然科学版),1998,29(4):323-325.
 [9] 雷学文,肖金发.矿岩可崩性分级的人工神经网络识别[J].金属矿山,2003(2):32-33.
 [10] 周传波.岩体可崩性分类方法的模糊综合评判[J].矿冶工程,2003,23(6):17-19.
 [11] 袁海平,曹平.我国自然崩落法发展现状与应用展望[J].金属矿山,2004(8):25-28.
 [12] 朱建新.自然崩落法矿体可崩性分级研究[D].长沙:中南大学,1995.
 [13] 宋卫东.小官庄铁矿采场矿岩可崩性研究及其应用[J].金属矿山,2001(10):26-28.
 [14] BROWN E T. Block caving geomechanics [M]. Queensland, Australia: Julius Kruttschnitt Mineral Centre, 2003.
 [15] 吴庆宏.可崩性制约下的拉底方式是自然崩落法生产衔接管理的主导因素[J].新疆有色金属,1997(3):10-15.
 [16] 冉耀,陈国庆,黄博睿,等.直剪条件下不同宽度岩桥破坏特征试验研究[J].长江科学院院报,2016,33(10):131-134.
 [17] LAUBSCHER D H. Caving mining-the state of the art. Underground mining methods: engineering fundamentals and international case histories [M]. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2001: 455-463.