

矿山环境评价与修复

济南市燕翅山铁矿采空区稳定性分析评价

王庆兵^{1,2}, 杨全城²

(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

摘要: 济南燕翅山铁矿已闭坑多年, 遗留大量的采空区潜在地面塌陷、山体崩塌及裂缝隐患, 对当地人民群众生命财产安全构成威胁。该文对采空区稳定性进行了分析计算, 并根据研究区实际, 提出了主要地质灾害治理方法和措施建议。

关键词: 铁矿采空区; 稳定性评价; 燕翅山; 济南市

中图分类号: P642. 21; TU457

文献标识码: B

燕翅山位于济南市东部二环东路东侧, 历下区政府驻地南部, 姚家镇姚家村西南。燕翅山山顶海拔 188.67 m, 相对高差 80 余米, 山体呈 NE—SW 方向展布, 长约 650 m, 宽约 430 m, 占地面积约 0.28 km²。由于管理混乱及掠夺式开采, 造成采区混乱, 巷道走向、预留的矿柱、采空区分布等均无记载或已遗失。据调查, 燕翅山铁矿采空区巨大, 山体裂缝宽, 且多贯通采空区, 高陡边坡危石陡立, 严重威胁四周学校、幼儿园、企事业单位及居民区人民生命和财产安全。为此, 山东省国土资源厅和济南市国土资源局决定对燕翅山开展地质灾害勘查, 查明地质灾害发育现状, 进行地质灾害稳定性评价, 为治理方案设计提供依据。

1 地质概况

燕翅山山体上部为奥陶纪地层, 岩性主要为北庵庄组灰岩、白云质灰岩、白云岩, 受燕山期闪长岩侵入影响, 灰岩产状变化大, 岩石破碎, 节理发育, 岩层倾角较大, 一般为 34°~37°, 局部较陡达 60°左右。下部为燕山期侵入闪长岩, 一般呈灰色—灰绿色, 具中粗粒结构, 主要成分为斜长石、石英、角闪石和黑云母等, 风化层厚度 10~30 m 不等。燕翅山铁矿分布于石灰岩与闪长岩之间, 为接触变质形成, 矿体呈 NE 向开口的箕形^①。

2 地质灾害类型及特征

2.1 采空塌陷

依据燕翅山地质灾害勘查物探资料推测, 燕翅山铁矿采空区主要分布于山体的西侧及北侧, 物探圈定范围内采空区总面积约 9 709.56 m², 计算铁矿体体积约 10.327 万 m³, 以实地调查及钻孔揭露纯采空区与矿体厚度比例计算, 纯采空区体积约 8.2617 万 m³。自 1998 年 7 月开始出现采空塌陷以来, 多次发生下沉现象, 并造成燕翅山西北部山体整体开裂、塌陷, 最大塌陷深度达 1.5 m。

2.2 崩塌(危岩体)

燕翅山西北侧崩塌(危岩体)位于山体西北边缘, 由历史上山体周围露天开采形成的高陡临空面崩塌而成。高陡临空面东北侧保留了历史开采的原貌, 坡角 55°~70°, 临空面高 37~82 m, 前缘扇面平均宽 125.0 m, 扇面面积 7 730.0 m²。1998 年 7 月, 燕翅山北侧陡崖首次发生崩塌, 截至 2003 年 7 月, 共发生 4 次崩塌, 累计崩塌体积 13 300 余立方米, 并造成顶部地形反倾达 70°, 陡崖临空, 高差达 95 m。

2.3 山体裂缝

在山体西北侧共发现山体裂缝 17 条, 在平面上总体呈 NE—SW 向延伸, 西侧散开, 东部收敛。其

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-08-25; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 王庆兵(1974—), 男, 江苏连云港人, 高级工程师, 主要从事水工环地质工作; E-mail: wqb1232001@163.com。

①山东省地质环境监测总站, 济南市燕翅山地质灾害调查报告, 2008 年。

中一级主裂缝有 3 条,1 号主裂缝规模最大,长度为 179.5 m,宽度 0.2~2.1 m,可见深度 0.5~12.1 m,控制着危岩体的边界及稳定性;二级裂缝有 14 条,主要分布于山坡前缘,与主裂缝相接,致使北侧山体破碎,危险性加大。

3 地质灾害稳定性分析计算

3.1 危岩体稳定性计算

3.1.1 计算假定

为便于分析,在危岩体稳定性分析过程中,将危岩块体假设成整体性的,而且把复杂的三维问题简化为平面问题,即在厚度方向上取单位宽度考虑。

3.1.2 计算荷载

斜坡顶面灰岩的渗透性较差,虽然临空面危岩体附近存在几组宽大的裂缝,但因其贯通性好,且直达灰岩下部的铁矿采空区,裂缝中充水的几率很小,故计算荷载仅考虑危岩体自重和地震力。

3.1.3 计算参数

灰岩危岩体稳定性计算参数,主要依据历次工程钻探的灰岩取样测试数据,参照长江链子崖治理工程,并根据燕翅山灰岩危岩体的地质特征和环境因素综合确定,各剖面主要计算参数见表 1^[1]。

表 1 危岩体稳定性计算主要参数

剖面	岩层视倾角 ($\alpha/^\circ$)	内摩擦角 ($\varphi/^\circ$)	内聚力 (C/kPa)	地震加速度 系数(K_c)	容重 ($\gamma/g/cm^3$)
剖面 1(130°)	29.1	40	310	0.05	2.70
剖面 2(190°)	33.9	40	310	0.05	2.70
剖面 3(143°)	33.9	40	310	0.05	2.70

3.1.4 计算方法

危岩体稳定性计算主要包括危岩体倾倒式破坏稳定性计算和滑动式破坏稳定性计算,计算时不考虑基座抗拉强度。

(1) 危岩体倾倒式破坏稳定性计算

危岩体倾倒式破坏稳定性计算模型如图 1 所示,主要考虑自重、自重+地震及自重、地震和堆石作用。

① 考虑自重作用稳定性计算

$$M_1 = \frac{WH \sin 2\alpha}{4}$$

$$M_2 = \frac{L \cos \alpha + (H \sin 2\alpha)/2}{2} W$$

$$J = \frac{M_2}{M_1}$$

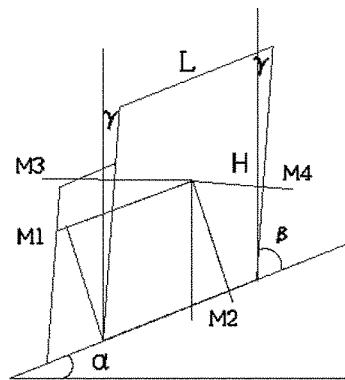


图 1 危岩体倾倒式破坏稳定性计算模型

② 考虑自重+地震作用稳定性计算

$$M_3 = \frac{K_c W (H + L \sin \alpha)}{2}$$

$$J = \frac{M_2}{M_1 + M_3}$$

③ 考虑自重+地震+堆石作用稳定性计算

$$M_4 = W_1 \cos \alpha \{ \sin(\alpha - \beta) \cdot \sin(\alpha - \beta) + \cos(\alpha - \beta) \cdot (L + H \cos(\alpha - \beta)/2) \}$$

$$J = \frac{M_2 + M_4}{M_1 + M_2}$$

(2) 危岩体滑动式破坏稳定性计算

危岩体滑动式破坏稳定性计算计算模型如图 2 所示,主要考虑自重、自重+地震及自重、地震和堆石作用。

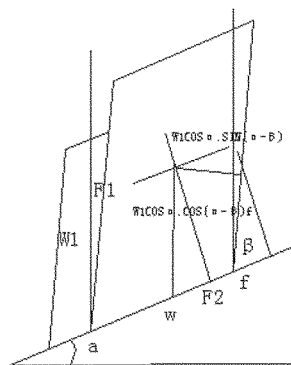


图 2 危岩体滑动式破坏稳定性计算计算模型

① 考虑自重作用计算

$$K_1 = \frac{F_1}{F_2}$$

$$F_1 = W \cos \alpha \cdot f + AC$$

$$F_2 = W \sin \alpha$$

②考虑地震,取水平地震力计算

$$Q_0 = K_c \cdot W$$

$$F3 = Q_0 \sin\alpha \cdot f = K_c \cdot W \sin\alpha \cdot f$$

$$F4 = K_c \cdot W \cos\alpha$$

$$K2 = \frac{F1 - F3}{F2 + F4}$$

③考虑地震+堆石作用计算

$$K3 = \frac{F1 - F3 + Wd \cdot \cos\alpha \sin(\alpha - \beta) + Wd \cdot \cos\alpha \cos(\alpha - \beta) \cdot f}{F2 + F4}$$

式中:K1—危岩体自重作用下的稳定系数;K2—考虑地震作用下的稳定系数;K3—考虑地震和堆石作用下的稳定系数;W—危岩体的重量;Wd—堆石的重量; α —岩层的视倾角; β —岩体侧面与底面的夹角; f —危岩体层间内摩擦系数;A—危岩体底面积;C—危岩体层间凝聚力; K_c —地震加速度系数。

3.1.5 计算结果

计算结果参见表 2 和表 3,危岩体抗倾倒稳定系数将于 2.0,危岩体抗滑稳定系数大于 1.7,危岩体处于稳定状态。

表 2 危岩体抗倾倒稳定计算结果

工 况	剖面 1		剖面 2		剖面 3	
	L4 裂缝前	L1 裂缝前	整体	整体	顶端 L3 裂缝前	顶端 L1 裂缝前
自重	6.002	17.759	2.390	3.713	2.841	7.441
自重+地震	4.775	11.399	2.072	2.946	2.460	5.663
自重+地震+堆石				7.379		

表 3 危岩体抗滑稳定计算结果

工 况	剖面 1		剖面 2		剖面 3	
	L4 裂缝前	L1 裂缝前	整体	整体	顶端 L3 裂缝前	顶端 L1 裂缝前
自重	2.774	2.657	1.968	2.340	6.489	5.636
自重+地震	2.507	2.327	1.793	2.139	6.000	5.207
自重+地震+堆石				3.157		

3.2 采空塌陷稳定性计算

为了解采空区分布及岩石破坏程度,进入采空区内部实地调查发现:采空区顶部存在明显冒落和保护矿柱被盗采现象。由于地质条件的复杂性和技术手段的有限性,采用极限平衡分析法对该处采空塌陷稳定性进行分析计算。

燕翅山铁矿矿体是一种高度的非均质体,由于其结构复杂性、物理力学性质的差异性、地质构造的作用以及开采条件的不同,因而覆岩的破坏形态和破坏高度具有较大的差别。燕翅山采空区覆岩为石灰岩,如有较长的不支护期,最终可能会垮落。根据

《矿山开采沉陷工程》,燕翅山铁矿层的分布较为连续,矿层倾角较小,采用水平或缓倾斜矿层相关公式计算垮落带和裂缝带高度。

(1)垮落带高度计算

燕翅山采空区上覆岩体石灰岩,试验分析其重度为 27 kN/cm³,饱和单轴抗压强度 $\sigma_c = 62.1 \sim 83.4$ mPa,依据《岩土工程勘察规范》(GB50021-94)提出的岩块强度分类表,该石灰岩属硬岩类。该种覆岩矿层开采后能形成悬顶,而开采空间及垮落岩层本身空间只能由碎胀的岩石填满,垮落带的最大高度计算采用经验公式计算:

$$H_{垮} = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 16} \pm 2.5$$

式中:M—铁矿累计开采厚度(m); $H_{垮}$ —垮落带的最大高度(m)。

实地调查燕翅山铁矿最大采空区纯空间高度为 29.4 m,采用经验公式计算其最大垮落高度为 40.318 m。该地采空区上部覆岩厚度 60 m 左右,采空区垮落到达不了山顶,从垮落带高度计算采空区是稳定的。

(2)裂缝带高度计算

水平或缓倾斜矿层裂缝带最大高度的统计经验公式为:

$$H_{裂} = \frac{100 \sum M}{1.2 \sum M + 2.0} \pm 8.9$$

采用经验公式计算其最大裂缝带高度为 87.76 m,由于燕翅山最大采空区实地调查高度 29.4 m,采空区上部覆岩厚度 60 m 左右,故采空区裂缝带完全超过了采空区上部山顶,依此推测,采空区垮塌造成的裂缝将达到燕翅山地表,也就是说,从裂缝带高度计算采空区是不稳定的。

4 治理措施分析

4.1 采空区治理措施

根据燕翅山采空区分布、稳定性及危害程度等分析,采空区治理方法宜采用充填法进行治理,采用混凝土、水泥砂浆作为采空区充填材料。为达到充分、有效充填的目的,采用内外结合的充填方式。内部充填方式为利用防空通道进行充填,主要充填防空洞底板标高以下的采空区,充填材料为 C10 混凝

土。外部充填方式为在山上钻孔进行灌注充填,充填砂浆标号为 M5。

4.2 崩塌治理措施

对危岩体分布区山体进行削坡,坡度小于 70° ,对下部崩塌体清理要求达到坡体稳定,坡度 $50^\circ \sim 70^\circ$,坡面不留存潜在崩塌危石^[2]。

4.3 裂隙治理措施

根据燕翅山裂隙的特点,采用碎石充填裂缝区,然后上覆种植土方法进行治理,碎石充填物达到离地面 0.5 m 处,上部回填种植土。该方法透水性好,易于植物生长^[3,4]。

5 结语

燕翅山铁矿采空区存在潜在采空塌陷、崩塌及山体裂缝等地质灾害,对周围群众的生命和财产安全构成严重威胁。采用危岩体倾倒式破坏稳定性计算和滑动式破坏稳定性计算危岩体稳定性,结果表

明:危岩体整体处于稳定状态;从垮落带高度分析计算,采空区处于稳定状态,但裂隙带高度计算表明采空区垮塌造成的裂缝将达到燕翅山地表,并对其产生影响或危害。该次计算是结合燕翅山实际条件确定的,计算结果可靠。稳定性评价工作为燕翅山下一步地质灾害治理提供了理论基础和依据,同时也为其他地区采空区治理提供了参考。

参考文献:

- [1] 刘传正,王洪德,涂鹏飞,等.长江三峡链子崖危岩体防治工程效果研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(11):2170-2179.
- [2] 刘传正.重大地质灾害防治——理论与实践[M].北京:科学出版社,2009:180-249.
- [3] 段秀铭,韩永东.济南燕翅山西南坡体稳定性分析与防治[M].山东国土资源,2007,23(10):20-22.
- [4] 段秀铭,郑庭明.山东省地质灾害分区与防治对策研究[M].山东国土资源,2007,23(4):1-3.

Analysis and Evaluation of Stability in Mined – out Areas of Yanchishan Iron Deposit in Jinan City

WANG Qingbing^{1,2}, YANG Quancheng²

(1. Shandong Universty of Science and Technology, Shandong Qingdao 266510, China; 2. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Yanchishan iron deposit in Jinan city has closed many years. But many dangers have been left, such as ground subsidence, mountain collapse and crack. It will threat life and property safety of local people. In this paper, stability of mined – out areas has been analyzed and calculated. According to actual condition of study area, countermeasures for managing and controlling major geological disasters have been put forward.

Key words: Mined – out areas in iron deposit; analysis and evaluation of stability; Yanchishan mountain; Jinan city