

# 深井巷道变形破坏形式与安全支护技术研究的探讨

黄维新, 贾明涛, 王李管, 潘长良

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 冬瓜山铜矿是典型的千米深井矿山, 深井具有高应力、存在岩爆倾向的特点。根据采切工程的性质、岩石物理力学试验、服务时间及矿岩的破碎程度, 总结了冬瓜山矿井巷道工程变形破坏的一般规律。对影响冬瓜山深井巷道变形破坏形式的主要影响因素从地质构造条件、技术及管理等方面进行了深入的分析, 对凿岩硐室、隔离矿柱、出矿巷道、出矿进路等主要回采作业地点中已出现的变形破坏情况, 采用了不同的锚杆、喷锚、喷锚网+锚索联合支护形式及参数支护措施, 取得了很好的效果, 基本保持了采切巷道工程的稳定性, 为下步安全回采作业及大量出矿创造了很好的条件。

**关键词:** 深井开采; 高应力; 岩爆; 巷道; 联合支护; 参数支护

**中图分类号:** TD163

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-2602(2008)06-0018-06

## DISCUSS ABOUT LANEWAY DISTORTION OF DESTROY STYLE IN DEEP WELL AND SECURITY SUPPORTING TECHNIQUE RESEARCH

HUANG Wei-xin, JIA Ming-tao, WANG Li-guan, PAN Chang-liang

(School of Resources & Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

**Abstract:** Dongguashan Copper Mine is a kilometer deep mine, which has such characteristics as high stress and rockburst possibility. On the basis of character of mining, physical and mechanical tests of rock, serving hours and crashing degree of rock, it summarizes common rules of laneway project of Dongguashan Copper Mine. This paper analyzes mostly influencing factors of laneway distortion and destroys from the aspects of terra structure and technique and management. It also introduces diverse anchor poles, spraying anchors, spraying anchor nets and anchor cables as a whole of timbering shape and parameter supporting measure to solve the arisen distortion and destroy things from which rock room, separating jamb, mining of laneway, mining of road and acquire a good effect, which can keep stability of laneway project in a great extent and also can create a better condition for next secure mining.

**Key words:** deep mining; high stress; rockburst; laneway; combined support; parameter support

## 0 引言

深井开采矿岩处于高应力作用下, 巷道开挖扰动岩石介质, 岩体中的应力重新分布, 使岩体变形甚至破坏<sup>[1-3]</sup>。冬瓜山铜矿是典型的千米深井矿山, 为了保证采矿作业的安全, 针对冬瓜山矿床赋存条件特殊, 地应力高, 并且部分矿岩具有出现岩爆倾向性, 底部蛇纹岩较破碎的回采条件以及在开拓与采切工程施工后巷道中已出现的或可能出现的片帮冒顶问题, “十五”国家科技攻关项目课题组研究设计了多种支护方法, 并根据不同的岩性, 提出了相应的

支护方法。下面就局部地段巷道, 特别是采场出矿进路等巷道, 在爆破后出现的片帮冒顶及眉线垮塌等现象, 进行具体分析说明, 并提出相应的安全支护措施与要求。

## 1 矿岩构造主要特征与采场结构参数

### 1.1 矿体及围岩的构造特征

冬瓜山矿体主要由含铜矽卡岩、铜黄铁矿、铜磁黄铁矿、铜蛇纹岩、铜磁铁矿等构成。矿体大部分埋藏于-670 m 标高以下, 主要赋存于黄龙、船山组地层中。矿体中部厚大, 沿两翼及走向向外逐渐变薄并尖灭。矿体走向 35°, 倾向随围岩产状分别向北西和南东倾斜, 最大倾角 30°~40°。矿体底盘围岩主要为粉砂岩、矽卡岩和石英闪长岩, 以角岩化粉砂岩为主。矿体顶部部分向上延伸进入二迭系栖霞组下部 2~37 m, 其顶盘围岩主要为黄龙、船山组大理

收稿日期: 2008-08-13

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(50490274); 国家“十五”科技攻关项目(2004BA615A-04)

作者简介: 黄维新(1978-), 男, 国家注册安全工程师。中南大学资源与安全工程学院在读硕士研究生, 主要从事矿山安全技术工程方面的研究工作。

岩,岩性变质较深,与矿体接触明显。通过实验,冬瓜山各类岩石物理力学参数见表1。由表1可知,冬瓜山矿体及其直接顶、底盘岩石稳固性好,节理裂隙不发育,岩性坚硬,力学强度高,总体稳定性较好。但靠近底板的含铜蛇纹岩节理裂隙发育,开挖后遇水易膨胀变形破裂并发生垮落,稳定性差<sup>[4]</sup>。

## 1.2 采场结构参数

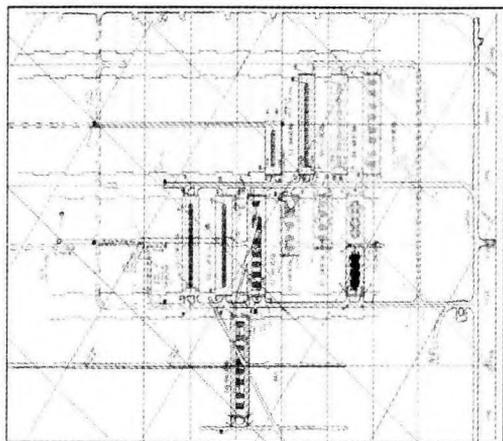


图1 -730 m 凿岩硐室平面示意图

冬瓜山井下采切工程是在充分考虑矿床岩石自身结构条件及尽可能减小开采时对井下巷道工程的

影响等因素的基础上提出来的,后经多位科研人员深入分析研究和进行优化计算,选择设计了目前实施的回采结构参数,即:沿矿体走向布置盘区(100 m),再在盘区内布置采场(采场尺寸为100×18 m),主要巷道断尺寸为:高×宽=3 m×3.8 m。从而从采场结构上尽可能的避免了因参数设计不当等因素对巷道稳定性造成的影响。如图1、图2分别表示-730 m和-760 m中段巷道工程布置图。

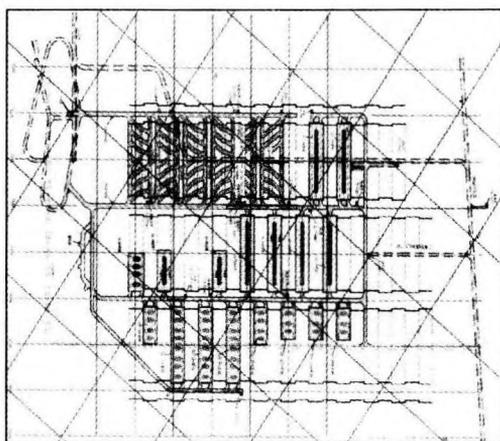


图2 -760 m 出矿水平平面示意图

表1 冬瓜山矿床各类岩石物理力学参数

项目	船山组大理岩	黄龙组大理岩	粉砂岩	蛇纹岩	石英闪长岩	矽卡岩	石榴子石矽卡岩	含铜磁铁矿
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.71	2.70	2.71	3.30	2.72	3.22	3.40	3.97
E(GPa)	22.31	12.80	40.40	15.83	45.11	49.90	50.88	51.48
$\mu$	0.257	0.329	0.208 7	0.22	0.264 4	0.312 4	0.249 9	0.253 2
$\sigma_c$ (MPa)	74.04	50.38	187.17	131.43	306.58	190.30	170.28	304.0
$\sigma_t$ (MPa)	8.96	3.40	19.17	10.51	13.90	17.13	12.07	9.12
$\sigma_c/\sigma_t$	8.26	14.82	9.76	12.51	22.06	11.11	14.11	33.33
C(MPa)	12.00	11.23	30.53	18.58	33.01	21.43	20.71	44.33
$\varphi$ (°)	45.28	39.51	51.01	58.4	57.01	56.21	58.91	53.02

## 2 井下巷道工程的变形与破坏形式

冬瓜山矿床埋深大,特别是采场底部巷道主要位于较破碎的含铜蛇纹岩中,从已施工的巷道工程看,部分出现了较严重的冒顶垮落;而采场上部的凿岩硐室及个别凿岩穿脉联络道,也出现了片帮冒顶现象,其主要变形破坏形式分别如下:

### 2.1 采场凿岩硐室的变形垮落

由于矿体上部呈弧形产出,采场凿岩硐室顶板部分处于矿岩交界处,因此,硐室开挖后局部出现了片帮冒顶,主要变形垮落为:

(1) 凿岩硐室位于矿岩界面交汇处出现变形破坏,当凿岩硐室顶部接近上盘围岩或围岩层理呈水平状产出时,因受施工或爆破振动等因素影响,若没有进行支护或支护不当的,这部分岩体出现了冒落(如图3)。

(2) 凿岩硐室位于较破碎的节理裂隙部位,而在施工过程中又没有及时进行有效支护处理的地方,随着时间的延续而出现了片帮冒顶现象(如图4)。

(3) 凿岩硐室施工不规范,暴露面积过大,出现悬石离层,或因受矿壁裂隙发育等因素影响的地段,亦出现了片帮冒顶现象(如图3)。



图3 凿岩硐室水平离层冒落



图6 锚杆与破碎岩体冒落



图4 凿岩硐室密集结构面引起破坏

(3) 出矿巷道与出矿进路交汇部位因施工不规范,而在掘进时一般采取的是临时性支护,随着时间的推移,个别顶部岩体出现了连同支护锚杆一起垮落的现象(如图6、图7)。

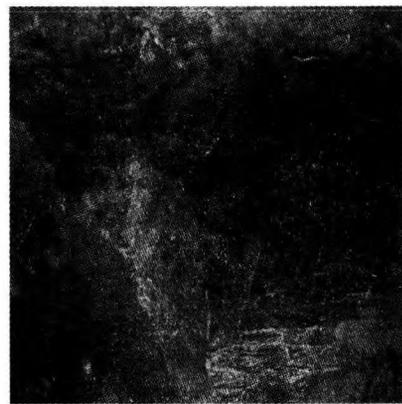


图7 楔形体冒落

## 2.2 采场底部巷道的变形垮落

(1) 位于含铜蛇纹岩中的巷道开挖后,随时间延续蛇纹岩出现风化碎胀而引发了巷道较大面积的片帮垮落(如图5)。



图5 节理化岩体顶板冒落

(2) 巷道开掘在节理裂隙发育的部位特别是出矿进路,在拉底施工时对其影响较大,巷道顶板岩体呈块状冒落,直至达到自然平衡拱为止,个别进路垮落高度已达到3 m左右(如图6)。

(4) 现场观察表明,受高地应力集中的个别巷道内有呈现片状或块状岩块突然从岩体中弹出的情况,且弹出速度快,这说明井下已有岩爆现象发生(如图8)。



图8 应力集中引起岩爆

### 3 巷道变形破坏的主要因素分析

通过对井下巷道变形破坏状况的大量实际调查,巷道的变形破坏除呈现出高应力条件下一些特殊的位移变形外,也显现出巷道工程变形破坏的一般规律性特点<sup>[5-8]</sup>,分析如下:

(1) 在一般情况下,巷道掘成时围岩会产生一定量的较小的位移变形,然后会逐渐趋于稳定,此种位移可视为弹性位移;但如果随着时间的延续,位移量逐渐增加,则可以判断在巷道围岩内出现了非弹性区,此区域包括巷道周边附近的破坏区和未遭破坏的塑性区两部分。经研究表明,非弹性区的大小与岩石强度、巷道所处深度、岩石变形性质以及巷道尺寸有关,其变形范围一般可达3~12 m,其形状大致为一个扁形圆状。就冬瓜山矿床条件而言,采场巷道的位移变形绝大部分属前者。

(2) 采场巷道位移变形的原因之一是因原岩的构造特点引起的,并且这种位移变形量是不均匀的。一般来说,垂直于层理方向的位移比平行于层理的位移要大,因此处于层状结构的硐室顶板容易发生冒落。如-730 m水平10<sup>#</sup>采场凿岩硐室的顶部冒落就属此种位移变形(其冒落层会直至矿岩接触面止)。

(3) 研究与实际观测结果表明,深井巷道围岩移动量会随时间延长而增加,直到移动停止。但巷道围岩的移动变形主要发生在从巷道掘进开始的数月内。冬瓜山井下在巷道掘进时,一方面没有采用光面爆破等技术措施施工;另一方面在需要进行支护的地段没有及时进行有效的支护(一般都是采取临时性的支护),因此,伴随围岩位移量的增大,使巷道相继出现了一些片帮冒顶现象。如-760 m水平8<sup>#</sup>采场出矿巷道出现的较大面积的冒落及2<sup>#</sup>采场3<sup>#</sup>出矿进路眉线的变形破坏,主要原因是掘进时没有进行及时支护,而是待围岩出现松动冒落时,才采用楔缝式锚杆及素混凝土喷射(其厚度约为15 mm左右)进行支护,加上采场拉底爆破振动的影响,因而出现了垮落,个别地段甚至出现了连支护锚杆一起垮落的较严重变形破坏。

(4) 巷道围岩移动既可伴随着围岩破坏,也可能不伴随围岩破坏。当发生围岩破坏时,位移速度会出现类似周期性的峰值。这说明由于巷道围岩因开挖后遇水或因地应力集中等因素的影响而引起了突变位移变形,如位于采场底部蛇纹岩的巷道出现的片帮冒顶现象,就属此种碎胀位移变形破坏。

(5) 对巷道的支护虽然不能改变围岩移动的数等级,但适合的有效支护除对围岩移动变形有抑制、阻止移动变形发展的作用外,主要是防止岩块突然脱落,保证回采作业时的安全。因采场底部巷道工程基本掘进是在节理较发育的含铜蛇纹岩中,而初期施工时采用的是楔缝式锚杆支护,实践表明,用这种锚杆支护节理发育的破碎岩体,其锚固力与锚固深度均不够,个别锚杆孔的角度和方向的布置又不适当,因此,基本上没有起到支护的作用,再加上回采作业时的爆破振动冲击等的影响,就造成了部分出矿进路与眉线处较突出的变形破坏。

(6) 人为因素加剧了巷道变形破坏的程度,主要表现在以下两方面:①巷道没有按设计要求施工,开挖形状不规范;②巷道开挖后没有及时进行支护,且部分地段的支护方法不适当。但上述引起巷道变形破坏的不利因素只要在施工时重视,是完全可以避免的。

### 4 不稳固巷道的安全支护措施及要求

针对冬瓜山矿岩的特征及巷道开挖后的位移变形情况,并对照已采取的有效支护方法,设计不同的支护方式,对以后掘进巷道的支护提出如下安全措施和要求<sup>[9-11]</sup>:

(1) 加强支护队伍建设与施工质量监督,在掘进施工过程中,对不稳固地段,必须进行及时有效的支护。特别是出矿眉线处,应继续采用让压锚杆进行预锚支护后再进行开挖,以有效保护眉线不受破坏。

(2) 加强采准巷道的施工质量管理,严格按设计要求施工,特别是底部结构巷道服务时间较长,矿岩软弱破碎,顶部凿岩硐室跨度大,必须采用简易光面爆破技术施工,减少爆破对围岩的破坏,以维护初始岩层不受或少受破坏而使其保持相对稳定。

(3) 堑沟巷道服务时间短,在能满足凿岩和装药爆破施工安全要求的前提下,原则上不进行支护。但在拉底爆破过程中可能由于爆破振动影响会使个别松石发生冒落,因此,在下次装药爆破前,应先由安全员检查顶板。局部破碎强烈,影响作业安全时,可采取临时性锚杆锚网支护。为了不影响出矿效果,最好在拉底爆破至临时支护地段时,在确保安全的条件下,应尽可能先撤除临时支护的锚网,以免崩下的锚杆网等物阻拦矿石的顺畅流动,影响出矿。

(4) 出矿巷道及进路位于蛇纹岩中、矿岩较破碎地段、巷道交叉暴露面积较大局部稳固性较差地段,如-730 m水平的2<sup>#</sup>采场巷道等处,必须及时采取锚

索-锚杆网-喷砼联合支护的永久支护方式(在软岩或较破碎岩体地段必须使用让压砂浆锚杆);整体性

较稳固,但水平节理发育的地段,应采用锚索支护;一般情况下,采用喷浆即可。支护要求如图9所示。

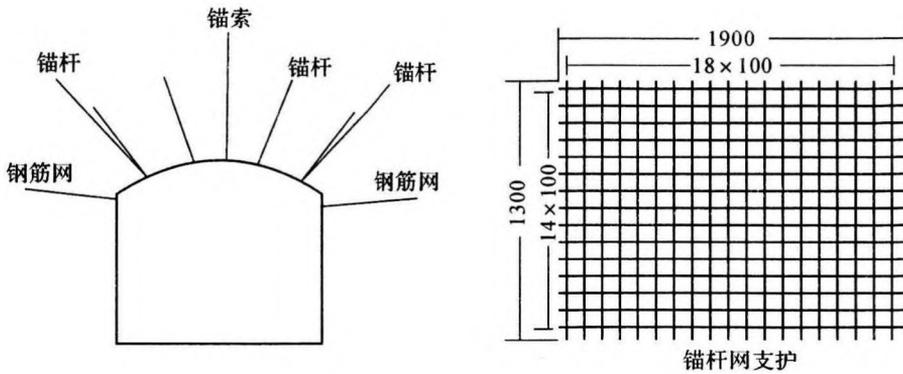


图9 破碎地段巷道的支护方法与要求示意图

(5) 出矿进路眉线处因拉底爆破破坏严重时(-760 m水2#采场3#、5#进路等),在正式大量崩矿或出矿前必须采用钢筋混凝土支护,支护参数及要求见图10。具体支护方法与要求是:①处于蛇纹岩中的巷道,采用喷-锚-网联合支护,并加长锚索(注:锚杆长2.2 m,φ16 mm,网度1.0 m×1.0 m;锚索长6.0 m,φ16 mm,网度1×2.0~3.0 m),原则上

第一排锚索至顶沟距离为0.8 m,角度后倾60°,其余锚杆、锚索力求避开断裂构造,并垂直原岩层面;喷层厚度60 mm。②对于极不稳固或已垮塌严重的巷道,要求用钢筋砼支护。③处于下盘稳固围岩中的巷道,则采用喷浆巷道交叉处适当加锚杆进行支护。

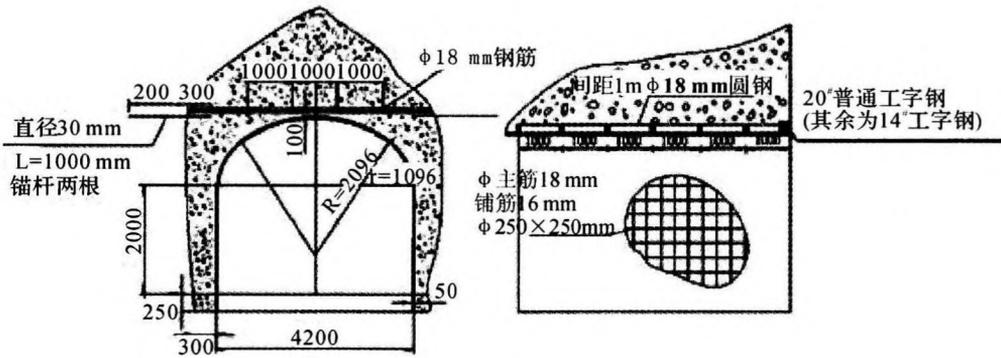


图10 钢筋砼支护方法与要求示意图

(6) 对于局部原支护强度或等级不够的地段(-730 m水平52线穿脉10#采场附近),必须先剥离已离层的岩石,同时加长锚索,长锚索的长度应视岩体层理厚度确定,其末端应穿透稳定岩层0.5 m以上,根据目前现场情况,锚索长一般应为4~6 m,网度为3×4 m。锚索孔口加托板,用钢丝绳绳卡将锚索与网连成一体,锚索施工后应补喷砼,砼强度等级为C25,厚度50 mm以上。

地段,出现岩层离层时,先剥离清顶,清顶后稳固的可不支护;清顶后节理裂隙发育地段,以及硐室或巷道交叉口顶板暴露面积较大处,原则上施工后要及时进行锚索支护:锚索φ16 mm,长度6 m(同等条件下硐室和矿柱周边的锚索可缩短为4 m),布设网度原则上采用3 m×4 m的梅花形布置。现场锚索布设的位置、网度和角度,一定要根据顶部工程所处矿岩的构造状况合理确定和调整(如避开断裂构造、力求垂直原岩层面等)。对于局部破碎地段,可再

(7) 顶部凿岩硐室原则上可不支护,局部不稳固

加锚杆和金属网,并喷浆;锚杆长 2.2 m,  $\phi 16$  mm,网度 1.0 m  $\times$  1.0 m;喷层厚 60 mm 以上。

(8) 遇特殊情况需要采取特殊支护措施的,支护方案由矿生产和技术部门会同监理及施工单位现场研究确定。

(9) 除采场拉底进行临时性支护可采用楔缝式锚杆外,其他要使用锚杆支护的地段,均应采用让压砂浆锚杆,锚索可采用除锈、除油后的废旧钢丝绳。

(10) 由于底部结构位于较破碎的蛇纹岩中,而冬瓜山生产要求采场爆破频繁且每次爆破量大,爆破冲击波和崩落矿岩对底部结构的冲击也较大。为保护底部巷道的稳定性,需留足够的矿石垫层。因此,要求铲运机出矿时做到均匀出矿,防止个别出矿口集中出空的现象。

## 5 结 论

(1) 冬瓜山铜矿矿床赋存条件特殊,地应力高,并且部分矿岩具有出现岩爆倾向性。其岩体失稳和破坏的主要形式是:①沿构造弱面破坏;②高应力集中使岩体产生变形破坏。为了保证采矿作业的安全,对采矿巷道进行有效地支护十分重要。

(2) 冬瓜山井下的采矿工程从施工环节入手,采取预防措施。施工前设计了目前实施的回采结构参数,尽可能减小开采时对井下巷道工程的影响。为减少支护工作量,控制成本,缩短采准时间,对硐室和高应力底部结构部位采取光面爆破掘进,断面形状控制为拱形,并且进行及时支护。

(3) 巷道支护的根本作用就是保持和提高围岩的强度,充分利用围岩自身的强度维护巷道的稳定。冬瓜山铜矿根据采切工程的性质、服务时间、矿岩的破碎程度等,对凿岩硐室、隔离矿柱、出矿巷道、出矿进路等主要回采作业地点中已出现的变形破坏情

况,采用了不同的锚杆、喷锚、喷锚网+锚索联合支护形式及参数支护措施。实践表明,联合支护是解决冬瓜山深部开采巷道地压高应力危害较理想的有效措施。

## 参考文献

- [1] 郭 然,潘长良,于润沧. 有岩爆倾向硬岩矿床采矿理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [2] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2813.
- [3] 王文星. 岩体力学[M]. 长沙:中南大学出版社,2004.
- [4] 唐礼忠,潘长良,谢学斌,等. 冬瓜山铜矿深井开采岩爆危险区分析与预测[J]. 中南工业大学学报(自然科学版),2002,33(4):335-338.
- [5] 李树清,施式亮,潘长良,等. 矿井安全状况的解释结构建模法(ISM)分析[J]. 中国安全科学学报,2004,12(14):37-40.
- [6] Dowding C H. Roten A. Damage to rock tunnels from earthquake shaking[J]. Proc ASCE, 1978, 104: 174-189.
- [7] Malan D F. Simulation of the time-dependent behavior of excavations in hard rock [J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2002, 35(4): 225-254.
- [8] 赵继银,张传信. 构造应力场对深井巷道围岩稳定的影响[J]. 金属矿山,2005,347(5):21-23.
- [9] 鞠文君,周寅生. 锚杆支护巷道监测技术. 中国安全科学学报[J]. 2004,14(10):105-108.
- [10] 胡家国,于海湧. 应用数值模拟技术评价矿山地压灾害. 中国安全科学学报[J]. 2005,15(12):8-11.
- [11] 贾明魁,贾立安,刘银志. 高应力破碎带大断面巷道支护技术研究[J]. 矿冶工程,2003,23(5):12-14.

## 广东梅州五华白石嶂钼矿开工建设

据悉,2008年11月2日,广东梅州市五华白石嶂钼矿开工,该矿在2007年公开拍卖中以5.86亿元成交,被誉为“广东矿业第一拍”。

据了解,白石嶂钼矿矿区面积2.0 km<sup>2</sup>,保有资源储量矿石量2 009.86万t,其中金属钼为17 847.6 t。2007年5月25日,由马来西亚最大企业、世界500强之一的常青国际集团与中国万方集团合资的广东恒兴经济发展公司以5.86亿元竞得了白石嶂钼矿20年的采矿权。目前该项目已完成省级环评、安评、水保、地灾评估、用地规划等可行性研究报告,转入全面建设阶段。预计产后可实现年产值3.1亿元,利税1.14亿元,可安排500多人就业。

(信息来源:南方日报)