

庐山市大凹矿区板岩矿床地质特征分析

刘波, 吴承炀, 赵彦博, 赵婕

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年3月1日; 录用日期: 2024年4月20日; 发布日期: 2024年4月29日

摘要

本文分析庐山市大凹矿区原有资料, 及利用矿山现有探、采工程的基础上, 通过探勘基本查明了矿区地层、构造、节理裂隙等地质特征。研究区矿体的分布范围、赋存部位和矿体的形态、产状、规模及矿石质量、矿石类型等矿体特征以及矿石加工技术性能, 矿区水文地质、工程地质、环境地质等开采技术条件方面的信息。

关键词

庐山市, 大凹矿区, 板岩, 矿床特征

Analysis of Geological Characteristics of Slate Deposits in the Da'ao Mining Area of Lushan City

Bo Liu, Chengyang Wu, Yanbo Zhao, Jie Zhao

School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Mar. 1st, 2024; accepted: Apr. 20th, 2024; published: Apr. 29th, 2024

Abstract

This article analyzes the original data of the Da'ao mining area in Lushan City, and based on the existing exploration and mining engineering of the mine, through exploration, the geological characteristics of the mining area, such as strata, structures, joints and cracks, have been basically identified. The distribution range, occurrence location, morphology, occurrence, scale, ore quality, ore type and other characteristics of the ore body in the research area, as well as the technical performance of ore processing, as well as information on mining technology conditions such as hydrogeology, engineering geology, and environmental geology in the mining area.

2. 研究区地质概况

2.1. 研究区环境

研究区及周边属丘陵地貌(图 2), 地势总体北高南低、西高东低。山脊总体走向自西向北再至东部呈“围椅状”展示, 组成地表分水岭。地形标高在 39.4~184.6 m, 最大相对高差 145.2 m。坡度一般 20°~35°。研究区内冲沟较发育, 沟谷多短浅, 汇水面积小。研究区范围东侧的大凹水库北东方向发育一狭长冲沟, 呈 V 型, 沟谷长约 397.6 m, 宽 5~30 m, 纵坡坡度 5~10°, 两侧山体自然坡度 25~30°, 高差 28 m, 沟中无积水或堵塞现象[9] [13]。上覆残积层厚 0.5~1.5 m, 植被较发育, 主要为马尾松、灌木、茅草等。

研究区外南部及东南部地势平缓、开阔, 地面标高 39.4~47.6 m, 地形坡度一般 3°~5°, 相对高差最高 8.2 m。地表多为农田、水塘及村庄。

研究区内最高点在研究区西部, 标高约为+175 m, 最低点位于研究区东南部, 标高约为+60 m, 最大相对高差约 114 m。当地侵蚀基准面为+40 m。坡度变化较大, 一般 20°~30°, 局部达 35°, 坡面冲沟发育, 区内短小, 植被较发育, 基岩风化层多出露。地表残积层厚 0.5~1.5 m。

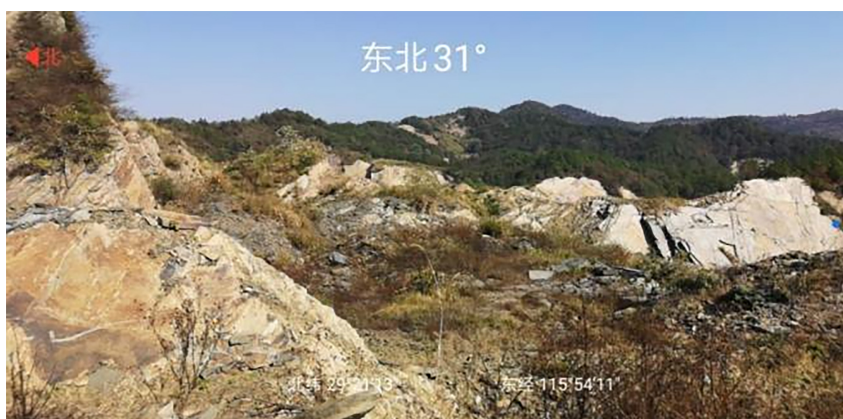


Figure 2. Environmental map of the research area
图 2. 研究区环境图

2.2. 地层岩性

研究区地层主要为青白口系双桥山群横涌组(Pt_3^{1ah})地层[14] [15] [16], 为一套泥砂质复理式沉积建造变质而成[17] [18]。岩性为青灰色绢云母板岩、泥质板岩偶夹薄层状变余粉砂岩、中厚层状变余粉砂岩[19]。青灰色绢云母板岩、泥质板岩为研究区饰面用板岩矿体, 原生微细水平层理发育, 板理与层理一致, 主要成分为斜长石、石英、绿泥石、绢云母, 含少量黄铁矿; 地层产状 $195^\circ\sim 208^\circ \angle 52^\circ\sim 58^\circ$; 研究区内水平厚度约 500 m。中厚层状变余粉砂岩不能作为矿体, 为夹石, 呈灰-灰青色、灰黑色, 风化色为灰白色、灰黄色、黄绿色; 变余泥质-变余粉砂质结构, 板状、薄层状、中薄层状、中厚层状构造。研究区内水平厚度约 78 m, 产状与板岩一致。

2.3. 构造

九江拗陷带与九岭逆冲隆起之交接部位-修水-武宁凹褶断束的东部-黄岭倾伏背斜的西南翼。研究区地层主要为青白口系双桥山群横涌组板岩, 呈单斜构造。断裂构造和岩浆岩均不发育[20] [21]。

黄岭背斜分布于温泉、隘口、廖花、华林、横塘一带, 背斜轴部位于温泉、廖花方向, 呈北西-南东走向, 为一套泥砂质复理式沉积变质建造; 褶皱微弱, 呈单斜产出。核部为古元古代棲贤寺片岩, 向

西南依次为归宗寺变粒岩及青白口系双桥山群横涌组第一、第二、第三段岩组；群横涌组岩性为千枚岩、板岩、变余粉砂岩等[22] [23]。研究区内为青白口系双桥山群横涌组板岩、变余粉砂岩，产状 $195^{\circ}\sim 208^{\circ} \angle 52^{\circ}\sim 58^{\circ}$ ，水平厚度约 500 m。

研究区内地质构造简单，呈单斜构造，未发现次级褶皱和大的断裂构造[24]；主要有层间硅化破碎带(石英脉)及节理裂隙等。

在 CK-2 采坑断面上发现一条北西向破碎带，构造产状 $208^{\circ} \angle 52^{\circ}$ ，与地层基本一致，为变余粉砂岩与绢云母板岩层间破碎，构造宽约 2.6 m，两侧为原岩碎块，中间为白色石英团块、变余粉砂岩及绢云母板岩角砾混杂，胶结较松散，见少量高岭土化、绿泥石化、黄铁矿化等(见图 3)。

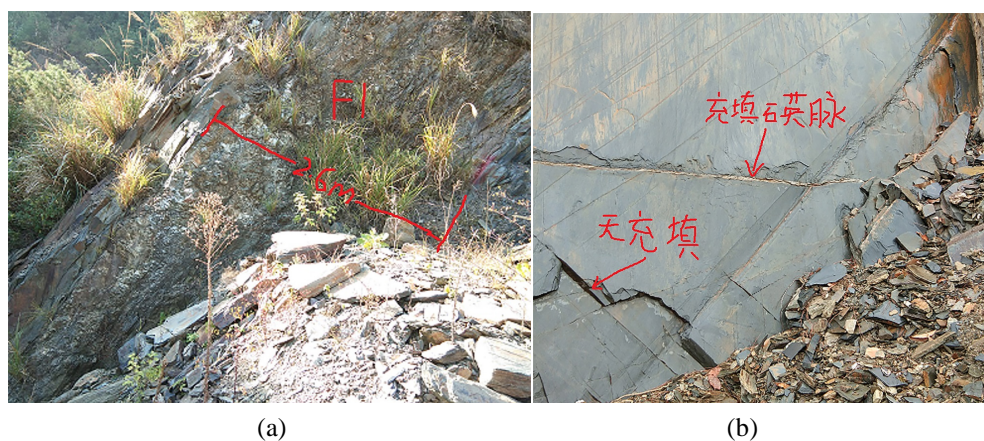


Figure 3. (a) Is the actual diagram of CK-2 F_1 construction and (b) is the actual diagram of CK-4 joint fractures

图 3. (a)为 CK-2 F_1 构造实景图，(b)为 CK-4 节理裂隙实景图

研究区见有疏密不等的四组节理裂隙，裂隙面平直，无充填或充填石英脉、方解石脉、黄铁矿等(见图 3)。

第一组节理产状 $30\sim 40^{\circ} \angle 45\sim 55^{\circ}$ ；

第二组节理产状 $90\sim 100^{\circ} \angle 63\sim 8^{\circ}$ ；

第三组节理产状 $250\sim 280^{\circ} \angle 75\sim 85^{\circ}$ ；

第四组节理产状 $310\sim 355^{\circ} \angle 67\sim 85^{\circ}$ 。

3. 研究区矿床地质特征

3.1. 矿床特征

本研究区矿床为沉积型浅变质岩矿床，属板岩饰面石材矿床类型。

3.2. 矿体特征

3.2.1. 矿体形态、规模

研究区矿体为新元古界青白口系双桥山群横涌组(Pt^3sh)青灰色绢云母板岩、泥质板岩，中风化的“锈板”和新鲜的基岩都可作为饰面石材利用。矿体呈层状产出，带状分布，产状为 $195^{\circ}\sim 208^{\circ} \angle 52^{\circ}\sim 58^{\circ}$ 。由于中厚层变余粉砂岩可劈性差，夹有中薄层及薄层状板岩，不能作为矿体，将厚度大于 2 m 的中厚层变余粉砂岩作为矿体围岩。因此，整个研究区范围内可划分为七个饰面用板岩矿体见图 4(自南向北分别编号为 I、II、III、IV、V、VI、VII 号矿体)；各矿体规模、产状等特征见表 1。绢云母板岩矿体中夹有少

量中薄层板岩及变余粉砂岩夹层，可劈性很差，对板岩的板材率有一定影响。据统计，绢云母板岩矿体中的中薄层板岩、变余粉砂岩夹层及石英脉含量约 83% (含矿率)。

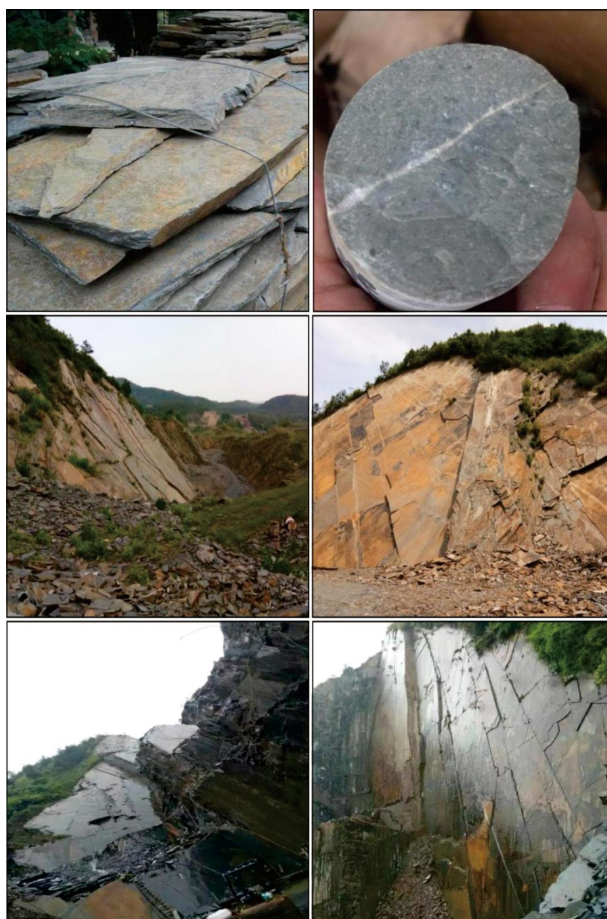


Figure4. Drilling and surrounding profile map of the research area
图 4. 研究区钻孔及周围剖面图

Table1. Statistical table of ore body characteristics

表 1. 矿体特征统计表

矿体编号	区内延伸长度(m)	区内水平宽度(m)	矿体产状	产出部位	备注
I	44	34	210° ∠51°	①号变余粉砂岩层以南	
II	208	144	208° ∠52°	①、②变余粉砂岩层之间	
III	235	66	205° ∠52°	②、③变余粉砂岩层之间	
IV	513	80	207° ∠53°	③、④变余粉砂岩层之间	
V	510	92~95	202° ∠54°~206° ∠52°	④、⑤变余粉砂岩层之间	含较多变余粉砂岩及石英脉夹石
VI	640	116~126	195° ∠53°~204° ∠58°	⑤、⑥变余粉砂岩层之间	含较多变余粉砂岩及石英脉夹石
VII	318	116	204° ∠58°	⑥变余粉砂岩层以北	含较多黄铁矿及石英脉

研究区内变余粉砂岩层可化为六层，分别为①、②、③、④、⑤、⑥号变余粉砂岩层，厚度均大于2 m，水平厚度在2~32 m之间，作为矿体界线划分的依据，作为矿体围岩。各地层规模、产状等特征见表2。

Table 2. Statistical table of characteristics of residual silty sand strata

表 2. 变余粉砂岩层特征统计表

岩层编号	区内延伸长度(m)	区内水平宽度(m)	岩层产状	产出部位	备注
①	102	22	210° ∠51°	I、II之间	
②	215	8	208° ∠52°	II、III之间	底部为宽2.6 m的F1构造
③	235	2	205° ∠52°	III、IV之间	含泥量较高
④	513	7	207° ∠53°	IV、V之间	大部分被废石覆盖
⑤	475	28~32	203° ∠54°~206° ∠52°	V、VI之间	含较多黄铁矿及石英脉夹石
⑥	376	25~28	195° ∠53°~204° ∠58°	VI、VII之间	含较多黄铁矿及石英脉夹石

3.2.2. 矿体的色斑、色线及放射性强度

矿体中的色斑主要是硫化物黄铁矿，呈稀疏星点状分布于板理面或矿石内部见图5，黄铁矿颗粒粒径0.1~0.3 mm，色斑所占面积均小于2%，对板材质量影响不大。

矿体中的色线，主要是白色石英细脉，赋存在矿体中有二种形式：一为石英脉顺含粉砂绢云母板岩与粉砂质板岩的板理间充填，石英脉脉幅一般0.5~3 cm。

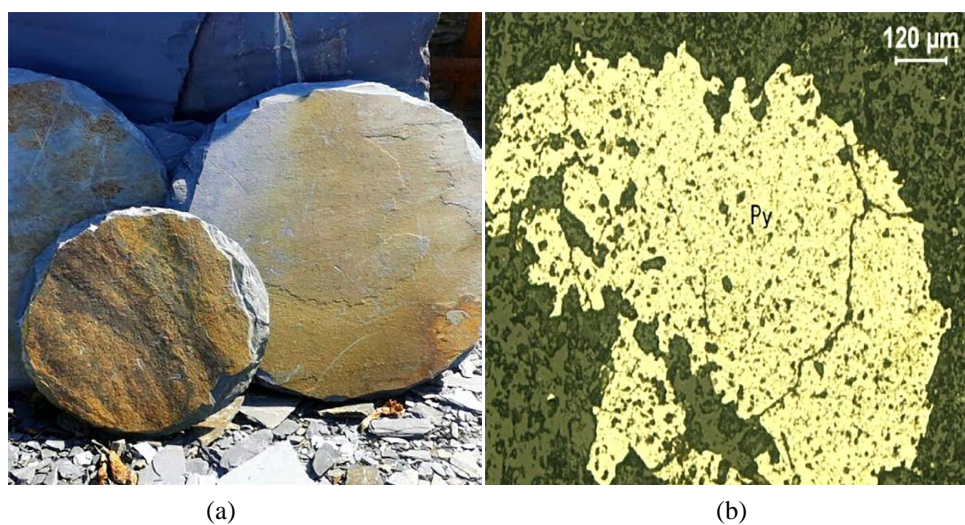


Figure 5. Hand specimens and microscopic photos

图 5. 手标本及镜下照片

3.2.3. 矿体裂隙

研究区内见有4组裂隙(节理)，但单个采坑一般只见到3组裂隙：

第一组节理产状30~40° ∠45~55°，节理面平直，一般1~2 m一条，局部密集地方0.1~0.55 m一条；

第二组节理产状90~100° ∠63~85°，节理面平直，一般2~4 m一条，局部地方1.2~1.5 m一条；

第三组节理产状 $250\sim 280^\circ \angle 75\sim 85^\circ$ ，节理面平直，一般 2~4 m 一条，局部 0.8~1.6 m 一条；第四组节理产状 $310\sim 355^\circ \angle 67\sim 85^\circ$ ，节理面平直，一般 2~4 m 一条，局部 0.6~1.7 m 一条。裂隙多无充填物，见图 6。



Figure6. Fissure map of ore body
图 6. 矿体裂隙图

3.3. 样品描述

矿石成分[25][26]斜长石 40%左右，石英 25%左右，绢云母 10~15%，绿泥石 10~15%，白云母 2~3%，黄铁矿 1~2%，其余特性见表 3。绢云母、绿泥石呈片状平行分布，石英碎屑分布于片理间，黄铁矿呈星点状分布。矿石为显微鳞片变晶结构，板状构造。微细水平层理发育，层理与板理基本一致，板理面平整光滑，层间胶结不紧密，可劈性好[2]。

Table3. Statistical table of physical properties of ores
表 3. 矿石物理性能统计表

样号	矿石名称	密度		吸水率%	耐磨度 g/cm ²	肖氏硬度	光泽度	抗压度 Mpa		抗折强度 Mpa
		状态	g/cm ³					状态	强度	
WX1	青石	烘干	2.70	0.49	1.48	40	22	饱和	99.5	30.3
WX2	青石	烘干	2.71	0.69	0.87	46	33	饱和	109	26.7

本次对矿石进行化学成分分析，矿石化学成分(平均值)为 SiO₂:63.12%、Al₂O₃:16.85%、Fe₂O₃:1.14%、CaO:0.73%、MgO:1.96%、FeO:4.95%。

3.4. 矿体(层)围岩、夹石

矿体为青白口系双桥山群横涌组浅变质板岩，为一套泥砂质复理式沉积建造，岩性为绢云母板岩为主偶夹黄色泥质板岩。研究区内顶底板岩性相同。顶板围岩为绢云母板岩及变余粉砂岩风化盖层，厚度平均约 7 m。侧向围岩为变余粉砂岩、或因矿权界线限制为绢云母板岩。研究区内已查实六层厚度大于 2 m 的变余粉砂岩层，水平厚度在 2~28 m 之间，产状与绢云母板岩矿体一致。可劈性差，不能作为矿体[27][28][29]。②、③、④号变余粉砂岩层层厚在 2~7 m 之间。

夹石为绢云母板岩矿体中不可劈中薄层板岩、变余粉砂岩夹层及层间石英脉，厚度小于 2 m 时，不

能单独剔除。石英脉分为沿裂隙充填石英脉及层间破碎充填石英脉，脉幅由裂隙或层间破碎控制，一般 0.2 m~1.2 m 之间。

4. 矿床开采技术条件

4.1. 水文地质

研究区西部边缘有一条终年不涸的小溪流，大气降水由北向南沿沟谷排入小溪流。紧邻矿区东部为一小型水库(大凹水库)，坝顶标高为+63.5 m，坝高约 10 m，面积约 26700 m²，库容量约 22.8 万 m³。坝体为梯形土坝，坚硬密实，无变形渗漏，坝顶宽 8 m，迎水面坡率为 1:0.75，背水面坡率为 1:0.5，目前水位约为+58.5 m，汛限水位+63.5 m。10 号拐点南东方向约 50 m 处有一水塘，周边无其它地表水体，矿区内有三条较大沟谷，沟谷水量不大，流量受季节性影响明显，暴涨暴落，旱季多干枯。

研究区及附近所处区域土壤成土母岩为青灰色绢云母板岩、泥质板岩偶夹薄层状变余砂岩。土壤类型黄棕壤为主，厚 0.5~1.5 m。研究区占用土地类型主要为有林地，地表植被以灌木、杂草为主，少量乔木，乔木以松树为主。

研究区岩层主要为绢云母板岩及变余粉砂岩，岩层均为富水性弱。

根据含水层的岩性特征、赋水空间等特征，将研究区地下水类型划分为基岩裂隙水和层间构造裂隙水两类[9]。

基岩裂隙水主要赋存在青白口系双桥山群横涌组绢云母板岩和泥质板岩风化裂隙中，含水层的厚度受风化裂隙发育深度所控制，由于风化裂隙随着深度增加而减弱[30] [31]，含水层厚度一般较薄(8~11 m)。地下水位埋深浅，枯季地下水径流模数小于 1 L/s·km²，富水性极弱，透水性差。

研究区构造简单，构造裂隙不发育，仅 CK-2 处见一层间构造 F₁。F₁ 构造为层间破碎带，为正断层性质，宽约 2.6 m，充填料岩碎块、白色团块石英，胶结较差，产状 195° ∠52°。地下水类型为层间构造裂隙承压水，主要接受大气降水、上部风化裂隙水补给。

1) 研究区充水因素分析

本研究区属剥蚀丘陵及沟谷冲积平原地貌，研究区开采标高+175~+55 m，高于当地最低侵蚀基准面+40 m，但研究区外围四周高程高于最低开采标高+55m。研究区主要为板岩风化裂隙及构造裂隙含水层，地下水主要来自大气降水，对研究区没有直接影响[30] [32]。研究区为西北高东南低的单面坡地形，地形坡度中等，有利于自然排水。

2) 研究区汇水量估算

研究区位于地下水位以上，充水主要来自大气降水，地下水对研究区没有影响，研究区内的水主要来自地表水径流，降水自分水岭沿地面直接流入研究区。未来汇水量采用大气降水汇水量法(地表迳流系数)进行预测，地表迳流系数采用 1，汇水面积为 35,8540 m²，采用公式 $Q = F \times A \times$ 分别计算年平均降雨量、年最大降雨量和日最大降雨量流入采矿场的汇水量。本研究区属于大气降水充水型矿床，地下水类型以基岩裂隙水为主，富水性弱，大气降水是地下水主要补给来源。

综上所述，研究区水文地质条件属简单类型。

4.2. 工程地质条件

4.2.1. 矿体埋藏条件

研究区矿体为青白口系双桥山群横涌组绢云母板岩、泥质板岩，变余泥质结构，板状、薄层状、中薄层状构造，板理发育。矿体长约 760 m，宽约 680 m；矿体出露标高最高为+175 m，最低为+55 m，矿体最大开采深度 120 m。

4.2.2. 工程地质特征

根据研究区地形地貌及环境水文气候条件及鸦吉山矿区资料,结合本次调查结果,庐山市大凹矿区板岩矿床的岩石大致可划分为松散岩组、半坚固岩组、坚固岩组;结合岩石的工程地质特点和岩石结构性质,以及岩石强度性能,划分为以下三个工程地质组:

1) 松散岩组:分布于山坡,由残坡积物及强风化物组成,其岩性为粉质粘土、碎块石混合固结,固结性差,强度低,覆盖层厚 3~10 m,平均厚度 7 m,风化层最厚点位于山坡低洼处。

2) 半坚固岩组:岩石较致密,为风化-半风化板岩,系松散-坚固型的过渡类型,厚度一般 2~4 m,平均厚度 3.0 m。

3) 坚固岩组:岩石坚硬致密,板状构造,为新鲜的绢云母板岩、泥质板岩,稳定性较好。

研究区内断裂构造不发育,仅在研究区西南见有一条顺层 F1 硅化破碎带;主要发育次生四组构造裂隙。F1 构造硅质胶结,完整致密,不含水,对岩层工程条件无影响。四组裂隙均为张性节理:

第一组节理产状 $30\sim 40^\circ \angle 45\sim 55^\circ$,倾向近垂切地层产状,对顺层边坡影响不大,对南部北倾切层边坡影响较大。第二组节理产状 $90\sim 100^\circ \angle 63\sim 85^\circ$,近南北向、东倾,对西部东倾边坡影响较大。第三组节理产状 $250\sim 280^\circ \angle 75\sim 85^\circ$,充填石英脉,对顺层边坡有一定影响。第四组节理产状 $310\sim 355^\circ \angle 67\sim 85^\circ$,裂隙呈开口状,产状变化大。浅部受地表风化作用影响,对边坡上部及东部西倾边坡影响较大。

4.3. 环境地质条件

4.3.1. 区域稳定性

研究区位于鸦吉山西侧,是鸦吉山青板石矿区的西延部分。研究区位于江西省三条主要地震活动带之一的九江至修水地震带内。据历史资料记载,自公元 409 年至今,庐山市及周边地区共发生有感地震达 25 次之多,震级一般 2.0~3.5 级,大于 4 级的有 4 次。最大级为 5.7 级,发生于 2005 年 11 月 26 日,震中位于瑞昌市一九江县之间,本区震感强烈。本区属地壳活动较稳定区,区域稳定性较好。据《中国地震参数区划图》(GB18306-2015),研究区所处区域地震基本烈度为 VI 度,本区地震峰值加速度为 0.05 g。反应谱特征周期为 0.35 S,属较稳定地块。

4.3.2. 研究区地质环境现状

矿床分布于丘陵区,地形坡度 $10\sim 20^\circ$,坡高一般 10~30 m。岩性松散-坚硬,岩层倾角较陡,在自然地质环境条件下发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的可能性较小。矿区及周边未见崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。

研究区地表植被、地形地貌景观均已不同程度的破坏,影响了该区的生态平衡;研究区地表水、地下水不发育,但工作期间带来的粉尘、污水污染,对周边空气、水源质量的影响较大;废石、废渣存在无序堆放现象,不仅压覆了未开采矿石,还存在崩塌、滑坡、掉块事故的隐患;老采坑及废弃采坑一般用于废石、废渣及废水存放,亦存在崩塌、滑坡、掉块事故及污染水源情况,并且缺少安全维护及警示,存在安全隐患。而且随着采矿的继续,深度和规模的加大,这种影响会更加明显。

研究区矿山开采以手工作业为主,矿石开采切割时,产生较大含 SiO_2 粉尘,极易发生矽肺病等职业性疾病。生产过程中,应杜绝断水切荒、无防护劈荒、多洒水除尘,需做好防尘劳保,防止矽肺病等职业性疾病发生。

4.3.3. 矿山开采技术条件

研究区矿体位于当地最低侵蚀基准面以上,自然排泄条件较好,地下水对未来露采矿坑充水影响较小,水文地质条件属简单类型;矿区地层单一,构造较为简单,采空区边坡稳定性较好,矿体上部岩石

松散,故矿区工程地质条件总体属中等类型[33][34];矿区内在自然条件下环境地质条件较好,但在矿山开采、加工活动中,存在污染环境、破坏植被等现象,在目前采矿、加工工艺的前提下,通过一系列针对性措施,此类地质环境问题可有效的解决。矿区环境地质条件属中等类型。

综上所述,本研究区是以工程地质、环境地质为主的复合问题的中等类型矿床开采技术条件[35][36][37][38]。

5. 控矿地质条件简要分析

研究区矿床为赣北双桥山群出露的地区在大地构造位置上属于扬子地块南缘的江南造山带。不同学者对双桥山群进行过铀-铅 U-Pb 定年,限定了双桥山群的形成时间大致为 830~815 Ma。双桥山群由老到新依次为横涌组、计林组、安乐林组和修水组,各地层岩性单一,主要为变质砂岩、变质粉砂岩、粉砂质-泥质板岩、千枚岩等[14][16][17]。研究区矿床为沉积型浅变质岩矿床,板岩变质程度的主要由变质作用发生地区的地质环境机演化过程,包括构造运动、岩浆活动等地质因素控制。按物理化学理论可抽象概括为时间、温度、压力、活动性流体四个方面[11][12][39]。通过对比皖赣相邻地区双桥山群横涌组的地层特征,皖赣相邻地区双桥山群中变泥砂质岩石的地球化学特征研究结果显示浅变质碎屑岩物源主要来自长英质岩石组成的后太古宙上地壳,双桥山群沉积岩的物源为基性和长英质火成岩混合源,暗示了本研究地区可能也是如此[14][15][17]。

6. 结论

1) 矿区矿体出露于地表,进行了部分开采,资源储量勘查工作进行了认真的观察和研究。矿床处于当地侵蚀基准面上,水文地质条件属简单型,工程、环境地质条件属中等型。

2) 矿区建筑用板岩呈层状分布,开采岩层层位稳定,结构简单,厚度变化小,地表覆盖层厚度薄,开采成本较低。

3) 矿区的采矿活动损毁了当地的土地、破坏了植被、改变了矿区的地形地貌,破坏了当地的生态环境,对矿区周边环境影响较大,给当地老百姓的生产生活带来了一定的影响。

参考文献

- [1] 魏尊莉,李金洪,Fergus,等.我国板岩的市场现状及质量评析[J].中国建材科技,2006,15(4):32-34.
- [2] 张天明.星子县玉泉山青石矿地质特征及开发应用前景[J].江西地质,1999,13(3):194-199.
- [3] 林辉.饰面石材矿床的勘查与评价[J].石材,2009,1(5):12-16.
- [4] 马东元.黑龙江省宾县永发屯陶粒板岩矿床地质特征及开发应用[J].中国非金属矿工业导刊,2000,1(4):39-40.
- [5] 范尧.山东省饰面石材资源评价标准及其开发建议[J].江西建材,2014,1(11):3-4.
- [6] 夏瑞,张翼.贵州省天柱县硝洞饰面用板岩矿资源特征[J].有色金属文摘,2016,31(1):86,88.
- [7] 冉文瑞,宋生琼,冉启洋,等.贵州饰面石材资源现状与开发利用建议[J].西部探矿工程,2019,31(12):97-100.
- [8] 李永华.城乡统筹与小城镇产业集群规划实践探索——以江西省星子县横塘镇总体规划为例[C]//2012中国城市规划年会.2012中国城市规划年会论文集.2012:1-7.
- [9] 钱振义,韦忆涵.江西省德安县上王屋矿区建筑石料用灰岩矿床地质环境条件分析[J].中国金属通报,2019(11):148-149.
- [10] 黄国华,涂海丽.江西省星子县板岩开发与存在的问题[J].东华理工大学学报,2008,27(3):230-232.
- [11] 陈臣.陕西紫阳县和平瓦板岩矿床地质特征及其控矿条件分析[D]:[硕士学位论文].西安:长安大学,2013.
- [12] 朱新方.对陕西紫阳瓦板岩成矿机理与赋存规律的研究[J].石材,2003,1(4):11-16.
- [13] 刘南庆,欧阳庆,钱军,等.饰面石材矿床勘查工作的手段与方法刍议[J].石材,2007,1(7):20-24.

- [14] 刘冰琪, 于津海, 蒋威, 等. 赣北双桥山群变沉积岩的地球化学特征及与钨多金属成矿的关系[J]. 地质学报, 2023, 97(2): 433-447.
- [15] 廖圣兵, 张彦杰, 周效华, 等. 皖赣相邻地区双桥山群沉积序列及沉积环境分析[J]. 现代地质, 2016, 30(1): 130-143.
- [16] 蔡雄飞, 张泽军, 王德琿. 赣北双桥山群浅变质岩沉积学研究的新进展[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(3): 151-159.
- [17] 邓国辉, 刘春根, 冯晔, 等. 赣东北-皖南元古代造山带构造格架及演化[J]. 地球学报, 2005, 26(1): 9-16.
- [18] 项新葵, 陈茂松. 华南造山带接触变质型石材矿床的控矿因素与成矿规律[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2008, 1(2): 47-49.
- [19] 陈文彬, 邓红云. 江西省庐山市横塘联盟大凹矿区饰面用板岩矿资源储量核实报告[R]. 南昌: 江西省能源矿产地质调查研究院, 2018.
- [20] 杨帆, 宋传中, 任升莲, 等. 庐山变质核杂岩的变质变形及构造意义[J]. 地质论评, 2015, 61(4): 752-766.
- [21] 李凯, 吴中海, 李家存, 等. 江西九江及邻区主要断裂活动性遥感综合分析[J]. 地质力学学报, 2016, 22(3): 577-593.
- [22] 史志刚. 江西庐山地区新元古代地层与构造演化研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2014.
- [23] 王继林, 何斌, 关俊鹏. 江西庐山地区星子群变质时代及变质机制探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(3): 489-498.
- [24] 江西省新干县庙前乡饰面花岗岩矿详查实施方案[R]. 南昌: 江西矿业开发有限公司, 2009.
- [25] 马文昆. 谈饰面石材矿产中的“夹石”石材[J]. 石材, 2019, 1(7): 46-50.
- [26] 黄萍. 天然石材中 SiO₂ 含量测定方法的选用[J]. 石材, 2016, 1(3): 32-34.
- [27] 林玉华. 节理构造对石材矿山的影响[J]. 石材, 2002, 1(8): 10-15.
- [28] 李倩倩, 禹志加. 滑动构造对矿床开采技术条件的影响研究[J]. 能源与环保, 2018, 40(8): 94-99.
- [29] Zhang, L.Y. (2017) Engineering Properties of Rocks. 2nd Edition, Butterworth heinemann, Portsmouth, 279-294.
- [30] 梁春阳. 裂隙岩体公路隧道防排水新技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2017.
- [31] Ahaiev, R., Prytula, D., Kliuiev, E., et al. (2020) The Determination of the Influence Degree of Mining-Geological and Mining-Technical Factors on the Safety of the Degassing System. *E3S Web of Conferences*, **168**, Article ID: 00040. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800040>
- [32] 李峰. 典型矿山地下水环境的评价与安全防治技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [33] Jianxin, M. and Lin, Z. (2002) The Effect of Mining Technical Factors on Ore Loss and Dilution in Opencasting. *Metal Mine*, **1**, 10-13.
- [34] Robb, L.J. (2005) Introduction to Ore-forming Processes. Blackwell Publish, Oklahoma, 150-172.
- [35] 周红日, 罗程文. 宁远舜陵镇矿床地质特征及开采技术条件分析[J]. 世界有色金属, 2016(15): 89-90.
- [36] 徐达, 亢丽霞, 齐丽娟, 等. 永胜陶粒板岩矿地质特征[J]. 矿业工程, 2016, 14(4): 14-16.
- [37] 朱朝良, 安燕, 杨国忠. 柏木峡陶粒板岩矿床地质特征及其开发利用[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2007, 1(6): 20-21.
- [38] 孙金彪. 鄂西黑色瓦板岩矿床地质特征[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2010, 1(2): 52-53.
- [39] 周金城, 王孝磊, 邱检生, 等. 江南造山带新元古代构造——岩浆演化[M]. 北京: 科学出版社, 2014.