doi: 10.12097/gbc.2022.05.019

# **湖南省典型石英砂岩矿矿物组成特征及成因** ——以湘潭县谭家坳矿床为例

汤贺军<sup>1,2</sup>, 孟贵祥<sup>1,2</sup>, 龚雪婧<sup>1,2</sup>, 文亭<sup>3</sup>, 凌波<sup>3</sup>, 朱文卿<sup>4\*</sup>, 张雄<sup>3</sup>, 刘守林<sup>3</sup> TANG Hejun<sup>1,2</sup>, MENG Guixiang<sup>1,2</sup>, GONG Xuejing<sup>1,2</sup>, WEN Ting<sup>3</sup>, LING Bo<sup>3</sup>, ZHU Wenqing<sup>4\*</sup>, ZHANG Xiong<sup>3</sup>, LIU Shoulin<sup>3</sup>

1. 中国地质科学院, 北京 100037;

2. 中国地质调查局/中国地质科学院地球深部探测中心, 北京 100037;

3. 湖南省水文地质环境地质调查监测所, 湖南长沙410131;

4. 湖南省地球物理地球化学调查所, 湖南长沙 410114

1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. China Deep Exploration Center-SinoProbe Center, China Geological Survey & Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Hunan Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Changsha 410131, Hunan, China;

4. Hunan Institute of Geophysics and Geochemistry, Changsha 410114, Hunan, China

摘要:湖南省具有丰富的石英砂岩矿产资源,主要赋存于泥盆系及石炭系浅海相或海陆交互相沉积地层中,矿体厚度大,矿石质 量好。为了在高端材料应用领域为湖南省典型石英砂岩矿的利用提供科学依据,在前人研究基础上,以湘潭县谭家坳矿床为例, 运用X射线荧光光谱分析(XRF)、扫描电镜-能谱仪(SEM-EDS)等现代岩矿测试分析技术,结合微区原位分析等方法,对矿 石中的杂质赋存状态进行了细致研究,并探讨了矿床成因。研究结果显示,谭家坳石英砂岩的SiO<sub>2</sub>含量平均高达95.29%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量平均为1.27%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等其他元素的平均含量为1.12%。在胶结物中,Al、Fe 杂质元素主要以白云母、粘土及赤铁矿等 矿物形式存在。此外,矿石中偶见钛铁矿、锆石、独居石、金红石等矿物。谭家坳石英砂岩多为细粒石英砂岩,纯度较高,磨圆度 多为次圆—次棱角状,胶结方式为孔隙—压嵌型,矿物成熟度和结构成熟度也极高,这些特征反映了滨海环境中前滨亚相的沉积 特点。区域内广泛出露的元古宙地层及加里东期岩浆岩可能是本区石英砂岩的物质来源,经多个地质旋回的搬运、分选和沉积, 最终形成了中泥盆统跳马涧组的石英砂岩,并在分选条件较好的部位形成石英砂岩矿床。

关键词:石英砂岩;矿物组成;物质来源;沉积环境;矿床成因

中图分类号: P575; P611 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2024)04-0561-11

Tang H J, Meng G X, Gong X J, Wen T, Ling B, Zhu W Q, Zhang X, Liu S L. Mineral composition characteristics and genesis of typical quartz sandstone deposits in Hunan Province: A case study of Tanjiaao deposit in Xiangtan County. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(4): 561–571

Abstract: Hunan Province is rich in quartz sandstone mineral resources, which mainly occur in Devonian and Carboniferous shallow marine or sea land interactive sedimentary strata. The ore body is thick and of good quality. In order to provide a scientific basis for the application of advanced materials in typical quartz sandstone deposits in Hunan Province, on the basis of previous research, taking the

作者简介:汤贺军(1987-),男,博士,高级工程师,从事矿产资源勘查及矿床学研究。E-mail: tanghejungeo@163.com

收稿日期: 2022-05-12;修订日期: 2022-08-29

**资助项目:**中国地质科学院成果转化项目《湖南省关键非金属矿产成矿规律及靶区优选研究》(编号:HX2021-10、HNGSTP-202103)和中国地 质调查局项目《广西金秀一融水地区镍钴多金属矿产调查评价》(编号:DD20242085)

<sup>\*</sup> 通信作者:朱文卿(1986-),男,高级工程师,从事资源勘查研究。E-mail: zhuwenqing@csu.edu.cn

Tanjiaao deposit in Xiangtan County as an example, X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) were used. Other modern testing and analysis techniques, such as the use of micro-area in-situ analysis have carried out in-depth research. The occurrence state of ore impurities is deeply studied, and the genesis of the deposit is discussed. The results show that the average content of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Tanjiaao quartz sandstone ore is 95.29%, 1.27% and 1.12% respectively. The impurity elements of Al and Fe in the cement are mainly produced in the form of minerals such as muscovite, clay and hematite, and minerals such as illmenite, zircon, monazite and rutile are occasionally found in the ore. Tanjiaao quartz sandstone is mostly fine-grained quartz sandstone, with high purity, sub rounded sub prismatic roundness, pore pressure inlay cementation, and high mineral maturity and structural maturity, reflecting the sedimentary characteristics of foreshore subfacies in coastal environment. The Proterozoic strata and Caledonian magmatic rocks widely exposed in the area provide material sources for the quartz sandstone in this area. After multiple cycles of transportation, sorting and sedimentation, the quartz sandstone of the Middle Devonian Tiaomajian Formation is formed, and the quartz sandstone deposit is formed in the well sorted part.

Key words: quartz sandstone; mineral composition; material source; sedimentary environment; genesis of deposit

石英砂岩是一种固结的砂质岩石,其中石英及 硅质岩屑含量达90%以上,来源于各种岩浆岩、沉 积岩和变质岩,伴生矿物为长石、云母、岩屑、重矿 物和粘土矿物,胶结物主要为硅质胶结。其特点是 规模大、开采条件较好、易于破碎分级和大规模生 产,但胶结物成分较复杂,杂质较多(汪灵等,2019)。 石英砂岩是一种大宗非金属矿,用途非常广泛,是近 百种工业产品的原料,主要用于玻璃工业、填料领域 及生产有机硅化合物和其他工业用石英砂硅质矿物 等高新技术产业领域(颜玲亚等,2020)。由于石英 砂岩含铁硅质、胶结质深入石英颗粒缝隙,一般须经 过选矿提纯才能为工业利用。近年来,湖南玻璃工 业和新能源产业发展很快,湖南省正在重点打造高 性能电子玻璃产业基地,需要大量的高纯石英砂岩 矿提供原材料。

湖南省石英砂岩矿资源丰富,著名的有湘潭县 雷子排大型石英砂岩矿、湘潭县谭家坳中型石英砂 岩矿、溆浦县谭家湾大型石英砂岩矿,醴陵市浦口镇 十八坡玻璃用大型石英砂砾岩矿、衡东县甘溪镇石 岗坳中型石英砂岩矿、衡东县白莲镇白莲村小型石 英砂岩矿等。目前发现的大型石英砂岩矿床主要产 于扬子地台沉积盖层中,产出层位以泥盆系为主,其 次有石炭系等,矿层往往赋存在浅海相或海陆交互 相沉积地层中。前人(谭建农,2000;梁玉明等,2017; 吴少飞等,2019)对典型石英砂岩矿的地质特征及赋 矿层位做了系统总结,但对矿石矿物组成及杂质赋 存状态研究较少。谭家坳石英砂岩矿床于20世纪 60年代开采,赋矿地层为泥盆系跳马涧组,后续在该 地层相继发现多个石英砂岩矿床。本文以湘潭县谭 家坳石英砂岩矿床为例,对其矿物组成、胶结物及杂 质特征进行了研究,并结合区域地质背景对矿床成 因进行了初步探讨,以期还原湖南地区石英砂岩矿 的成矿作用。

### 1 区域地质背景

谭家坳石英砂岩矿位于湖南省湘潭市,大地构造位于"钦杭结合带"中段湘潭—衡阳一线扬子地块与华夏地块的接合带附近,即钦杭结合带北东部位(严加永等,2019)。钦杭带大致经历了新元古代早期扬子地块与华夏地块的碰撞、南华纪的裂解、加里东期的汇聚和碰撞,于印支期结束了海相沉积史,同时形成一系列横跨褶皱,叠加在加里东期褶皱之上。燕山期研究区地壳运动主要表现为断块运动,形成断陷盆地和少量火山盆地(杨明桂等,2009)。岩浆活动较强烈,形成大量的加里东期、印支期及燕山期花岗岩(龚雪婧等,2023)。

区域出露的地层由老至新主要有中元古界冷家 溪群,中泥盆统跳马涧组、云台观组、棋子桥组,上泥 盆统佘田桥组、七里江组、长龙界组、锡矿山组、欧 家冲组、孟公坳组,下石炭统马栏边组、天鹅坪组、 石磴子组,上石炭统黄龙组,另分布有少量二叠系和 白垩系(图1)。其中,中泥盆统跳马涧组、云台观组 是石英砂岩矿的含矿地层,主要由杂色砂岩、砂质页 岩、石英砂砾岩组成。

区域岩浆岩较发育,东北部为加里东期宏夏桥 和板杉铺岩体,主要由花岗闪长岩、石英闪长岩、二 长花岗岩组成(李建华等,2015);西部为印支期歇 马、紫云山岩体,主要由黑云母二长花岗岩、二长花 岗岩组成(鲁玉龙等,2017);南部为燕山期衡山复式 岩体,由南岳岩体和白石峰岩体组成,南岳岩体主要



Fig. 1 Regional geological map of Tanjiaao quartz sandstone mining area

1—中元古界冷家溪群;2—中泥盆统跳马涧组、云台观组、棋子桥组;3—上泥盆统佘田桥组、七里江组;4—上泥盆统长龙界组、 锡矿山组、欧家冲组、孟公坳组;5—下石炭统马栏边组、天鹅坪组、石磴子组;6—上石炭统黄龙组;7—下二叠统 栖霞组、当冲组;8—上白垩统泥家村组、戴家坪组;9—石英砂岩矿区

为花岗闪长岩,白石峰岩体主要为二云母花岗岩(蔡 富成等,2021)。

2 矿床地质特征

谭家坳石英砂岩矿赋矿地层为中泥盆统跳马涧 组。矿体呈层状、似层状产出,SiO<sub>2</sub>平均含量达 95.29%,矿体资源量(原 332+333)500×10<sup>4</sup>t以上,为 中型的玻璃用石英砂岩矿床,属于优质玻璃原材料。

中泥盆统跳马涧组广泛分布于湘中—湘南区, 均与上下层位呈高角度不整合接触,岩性主要为紫 红色砂质泥岩、砂质页岩、泥质粉砂岩夹细砂岩及灰 白色石英砾岩、石英砂岩。其中,跳马涧组下段以石 英砂岩为主,上段以(粉)砂质泥页岩为主。

跳马涧组下段为谭家坳石英砂岩矿赋矿层位, 其岩性为灰白色中细粒石英砂岩,灰白色一黄灰色 中细粒石英砂岩,夹紫红色泥质粉砂岩及泥质石英 砂岩(图 2-a),该段厚 108~124 m,大体可分上中下 三部分。下部岩性主要为灰白色细粒石英砂岩,次 为黄灰色一灰白色中厚层状细中粒石英砂岩夹厚层 石英砂岩,底部为紫红色中厚层石英砾岩,砾岩厚度 一般小于 1 m,粒径小于 2 cm;中部为灰白色中细粒 石英砂岩夹灰绿色泥质粉砂岩及紫红色泥质粉砂 岩,或为互层,泥质石英砂岩褐铁矿化较强烈,沿裂 隙面分布(图 2-c)。上部岩性主要为灰白色细粒石



图 2 谭家坳石英砂岩矿野外特征 Fig. 2 Field characteristics of Tanjiaao quartz sandstone deposit a--石英砂岩矿体宏观特征; b--细粒石英砂岩; c--泥质石英砂岩

英砂岩(图 2-b),其次为中细粒石英砂岩,另外含少量紫红色泥质粉砂岩透镜体。总体上,从下到上石英砂岩 SiO<sub>2</sub>含量逐渐升高,褐铁矿化则随之减弱。

跳马涧组上段为矿体顶板,厚度不均匀,与下段 呈整合接触。本段岩性主要为灰白色一紫灰色细粒 石英砂岩,其次为灰紫含铁泥质石英砂岩、紫红色泥 质粉砂岩等,呈透镜体产出。由下而上泥质成分逐 渐增加,顶部主要为紫红色泥质粉砂岩。

矿体走向近南北向,倾向北西,产状 330°~ 350° $\angle$ 15°~25°,呈层状产出,平面上呈近南北向的弯 曲带状。矿体规模较大,控制走向延伸 800 m,倾向 延伸 100~500 m,矿体厚度为 30~100 m,平均厚度为 55 m。矿体中主要矿物成分 SiO<sub>2</sub> 含量为 90.1%~ 98.9%,平均 95.29%。矿石中石英分布均匀,杂质主 要为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,经水洗后 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量小于 1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量在 0.1%~0.15% 之间。

3 矿石特征

#### 3.1 矿石矿物组成

矿石主要为细粒、中细粒石英砂岩,矿石矿物主要为石英。石英以碎屑颗粒状胶结在一起,石英含量大于 90%,偶见长石晶屑,其中石英颗粒最大粒径为 0.8 mm,主要粒径在 0.2~0.5 mm 之间,粗细混杂分布,无规律,石英颗粒以次圆状至不规则次棱角状为主,形状较不规则。石英颗粒间的粘土、云母等胶

结物含量为 5%~8%, 主要由硅铝泥质杂基、少许硅 质胶结物和白云母组成(图版 I -a~f)。胶结物主要 为硅铝质, 分布在石英颗粒间或石英裂隙中, 接触式 胶结。胶结物中局部含有黑色粒状杂质, 含量小于 1%, 主要成分为赤铁矿(图版 I -d), 其特征是呈不规 则粒状无序分布在胶结物中, 边界不清晰, 赤铁矿化 程度不等, 呈渐变过渡接触。

细粒石英砂岩中夹少量泥质石英砂岩(图版 Ig~i),主要由石英、白云母、粘土等矿物组成,泥质石 英砂岩中石英含量普遍小于细粒石英砂岩。石英粒 径普遍小于 0.1 mm,白云母呈细鳞片状产出,含量 在 10% 左右,由于重结晶,白云母定向散布穿插于石 英粒间。同时也造成泥质石英砂岩的机械强度不 高、较容易破碎。石英颗粒间的粘土等填隙物含量 在 10% 左右,另外可见少量的金红石颗粒。

#### 3.2 矿石结构构造

矿石构造主要为块状构造,其次为厚层状构 造。矿石结构以他形晶粒状结构为主,其次为砾状 结构、砂状结构、网脉状结构、填隙状结构等。他形 晶粒状结构的矿石由他形晶粒石英组成。砾状结 构、砂状结构的矿石主要为石英砾岩、砂砾岩、砂 岩,其碎屑主要为石英晶屑,偶见角闪石岩岩屑、炭 质页岩屑、石英粉砂岩屑等,充填物主要为微晶或细 晶石英、玉髓、绢云母、高岭石等。充填物中有时还 见褐铁矿、绿泥石、白云母等。网脉状结构、填隙状



a.细粒石英砂岩中石英呈他形粒状结构; b. 细粒石英砂岩中石英颗粒间夹杂斜长石; c. 细粒石英砂岩中石英颗粒间夹杂赤铁矿; d. 细粒石英砂岩中赤铁矿呈细脉状填充; e. 细粒石英砂岩中石英颗粒间夹杂白云母; f.细粒石英砂岩中白云母呈细脉状填充; g.泥质石英砂岩中白云母较多; h. 泥质石英砂岩中白云母呈细脉状填充; i.泥质石英砂岩中含少量钛铁矿。Q—石英; PI—长石; Ms—白云母; Hem—赤铁矿; Ilm—钛铁矿

结构的矿石中,石英晶屑之间通常结构紧密、无间隙,或间隙中为玉髓、微晶石英等;局部石英颗粒之间有间隙,并被白云母、高岭石、玉髓等充填,低倍镜下呈现网脉状、填隙状等形态。

# 3.3 矿石的化学成分

谭家坳石英砂岩矿体中细粒石英砂岩矿石的全 岩主量元素定量分析在北京大学教育部重点实验室 完成。测试采用熔片法 X-射线荧光光谱法(XRF)分 析,首先称取 0.5 g 样品放入坩埚,然后加入适量硼酸高温熔融成玻璃片,最后在 X 射线荧光光谱仪 (XRF-1500)上采用外标法测定氧化物含量。主要氧化物的分析相对误差小于 2%,分析结果见表 1。

主量元素分析结果显示: 矿石的 SiO<sub>2</sub> 含量平均为 95.29%, 接近普通石英砂产品的要求(SiO<sub>2</sub>>98.2%); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量平均为 1.27%, 高于普通石英砂产品的要 求(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤0.7%)及超纯石英砂产品(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤0.5%)

	Table 1	Major elements analysis results of Tanjiaao quartz sandstone ore body									%
样品编号	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$Al_2O_3$	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	烧失量	总量
TJA-1	95.53	0.85	1.28	0.001	0.01	0.12	0.31	0.04	0.03	0.98	99.15
TJA-2	96.14	1.09	1.07	0.001	0.02	0.1	0.21	0.03	0.05	0.68	99.39
TJA-3	94.21	1.41	1.45	0.001	0.05	0.14	0.13	0.01	0.05	1.24	98.69
平均	95.29	1.12	1.27	0.001	0.03	0.12	0.22	0.03	0.04	0.97	99.08

表 1 谭家坳石英砂岩矿体主量元素分析结果

的要求;  $Fe_2O_3$ 含量平均为 1.12%, 其含量与普通石英 砂产品的要求( $Fe_2O_3 \leq 0.075\%$ )、超纯石英砂产品 (电子玻璃用石英砂产品)的要求( $Fe_2O_3 \leq 0.01\% \sim 0.12\%$ )还相差甚远(《矿产资源工业要求》编委会, 2010);  $K_2O$ 和 CaO 的平均含量分别为 0.22% 及 0.12%, Na<sub>2</sub>O和 CaO 的平均含量分别为 0.03% 及 0.04%, MgO 的平均含量为 0.03%。含 Al、Fe 杂质 是影响矿石品质的最主要因素, 因此需要对杂质赋 存状态及特征进行分析。

### 3.4 杂质赋存状态及特征

本次研究选择 TESCAN 扫描电子显微镜(SEM) 对谭家坳石英砂岩样品进行微观形貌观察,首先对 探针片进行镀碳处理,其加速电压为 16 kV,电流 16 nA。将选择好的目标矿物或区域用扫描电镜配 置的布鲁克 QUANTAX 能谱仪(EDS)进行微区原位 成分分析。

由谭家坳石英砂岩探针片样的 SEM-EDS 分析 结果(图 3)可以看出,石英颗粒间及晶体裂缝存在溶 蚀坑,局部可见细小的溶蚀坑呈蜂窝状密集分布,而 较大者已被颗粒细小的粘土矿物充填(图 3-a,b)。 EDS 分析结果表明,石英只含有 O、Si 两种元素,且 O、Si 摩尔分数之比接近 2:1(图 3-d),与石英的理 论化学式一致,说明矿石中石英的纯度很高,且晶体 结构中不含类质同象杂质。



Fig. 3 SEM (a~c) and EDS (d~l) analysis results of quartz sandstone probe samples Q-石英; Ms-白云母; Hem-赤铁矿; Ilm-钛铁矿; Mnz-独居石; Zi-锆石; Rt-金红石

8.91%

粘土矿物和白云母为矿石中 Al 的赋存矿物。 其中粘土矿物由 O、Si、Al 等元素组成(图 3-j),其 中 O 含量为 55.14%, Si 含量为 23.17%, Al 含量为 21.70%, 推测主要由高岭石等矿物组成。白云母主 要分布于石英颗粒之间, 呈不规则带状,由 O、Si、 Al、K 等元素组成(图 3-h),其中 O 含量为 50.42%,

赤铁矿和钛铁矿为矿石中 Fe 的赋存矿物。其 中赤铁矿主要分布于石英颗粒之间(图 3-b, i),由 Fe、O 等元素组成,含有少量 A1、Si、Ti 元素,其中 Fe 含量为 49.86%,O 含量为 38.98%,野外观察发现, 由于发生了氧化作用,可见赤铁矿沿裂隙呈薄膜状 产出。钛铁矿主要分布于石英颗粒之间(图 3-a, e), 由 Fe、Ti、O 等元素组成,含有少量 A1、Si 元素,其 中 Fe 含量为 22.06%, Ti 含量为 30.76%,O 含量为 42.26%。

Si 含量为 21.41%, Al 含量为 19.26%, K 含量为

矿石中偶见锆石、独居石、金红石等矿物(图 3c, f, l), 大小在 40~80 μm 之间, 分布于石英颗粒间, 其中独居石主要含有 La、Ce、Nd 等稀土元素(图 3g, k)。

对典型石英颗粒及其胶结物区域进行原位微区 扫面(mapping)分析(图版II)可以发现,胶结物中 Al、Fe杂质元素主要以白云母、粘土、赤铁矿等矿物 形式产出,其中赤铁矿与粘土密切共生。单点 EDS研究得出,粘土矿物主要为高岭土,推测赤铁矿 为含铁质的粘土矿物氧化而成。因此,Al、Fe杂质 元素主要呈填隙物形态存在于石英颗粒间,部分呈 镶边状紧密黏附在石英颗粒周边,利于分选解离。

4 讨 论

#### 4.1 成矿物质来源

矿石的矿物组成在追溯成矿物质来源方面具有 重要作用。矿石中的石英以碎屑颗粒状胶结在一 起,除石英外,还含有白云母、锆石、钛铁矿、独居 石、金红石等矿物。矿石的碎屑物中含有斜长石和 白云母,胶结物主要为铁质及粘土矿物,由此推断石 英砂岩的原岩之一为岩浆岩。镜下见矿石主要由细 粒、中细粒石英组成,粒径一般在 0.2~0.5 mm 之间, 分选性相对较好,磨圆度多为次圆一次棱角状,胶结 方式为孔隙一压嵌型。显微镜下石英均见波状消光 现象,少量铁质胶结物及锆石、钛铁矿等重矿物不均 匀分布, 而泥质石英砂岩中白云母定向散布穿插于 石英粒间。这种具有较高含量的 SiO<sub>2</sub> 和结构较成熟 的石英砂岩是水流及波浪对沉积物反复冲刷淘洗的 产物。因此, 从矿石矿物组成可以得出, 石英砂岩的 原岩为中酸性岩体, 而研究区东北部大面积分布的 加里东期花岗闪长岩体、石英闪长岩体、二长花岗岩 体可能是矿体的母岩之一(司荣军等, 2004)。

通常情况下,搬运距离越远,成熟度越高,分选 性越好。石英砂岩屑显示出较好的分选性和磨圆 度、较富集的石英及特有的杂质矿物组合。跳马涧 组直接不整合于中元古界之上,其间有近6亿年的 沉积间断,表明这套石英砂岩并不是直接来源于花 岗岩的风化、沉积、固结,而是来源于先前存在的砂 岩,是多旋回改造的产物(张欣平等,1992)。区域 上,中泥盆统跳马涧组石英砂岩平行不整合覆盖在 较厚的中元古界冷家溪群之上,后者主要由变质细 砂岩、砂质板岩、变质砂岩组成,反映了中泥盆世稳 定克拉通环境下地壳多次均匀上升-沉降的历史(王 子正等,2019),每一个旋回都为石英的进一步分选 和富集创造了条件(陈光艳等,2021)。

## 4.2 沉积环境

前人研究认为,跳马涧组古沉积环境属于滨海 环境(王刚田等, 1984)。滨海沉积环境可进一步划 分为海岸沙丘、后滨带、前滨带、临滨带等(陈建强 等,2015)。其中,前滨带位于平均高潮线与平均低 潮线之间的冲浪带,是无障壁海岸环境中能量最高 的部位,地形相对平坦,受潮汐的作用,以沉积中一 细石英砂岩为主,磨圆度、分选性极好且纯净,砂岩 的成分和结构成熟度极高。生物化石较贫乏,多见 生物碎片,局部可见重矿物富集,沉积构造以发育海 滩环境所特有的冲洗交错层理为主,次为平行层理, 浪成波痕、菱形波痕、冲刷痕、泡沫痕、流痕等浅水 沉积构造标志也非常发育(周邦国等, 2018)。由镜 下观察可知,谭家坳矿石中石英颗粒绝大多数以细 粒为主,中粒次之,且石英分选性较好,多数为次圆--次棱角状。石英晶屑之间通常结构紧密、无间隙,或 间隙中为玉髓、微晶石英等;局部石英颗粒之间有间 隙,并被白云母、高岭石、玉髓等充填,也可见重矿物 局部富集。研究区跳马涧组石英砂岩普遍发育平行 层理和交错层理(图 2-c),局部可见石英砂岩呈波痕 构造,另外矿物组成伴有钛铁矿、金红石、锆石。由 以上特征可以推断,研究区石英砂岩应属于滨海沉



a~f. 石英砂岩探针片典型区域原位微区扫面(mapping)分析结果。a. SE 扫描图像; b. O、Al、Si、Fe 多元素分布图; c. O 元素分布图; d. Al 元素分布图; e. Si 元素分布图; f. Fe 元素分布图

积环境,且与前滨亚相沉积物的特点极符合。因此, 综合分析认为,跳马涧组石英砂岩沉积环境为滨海 环境中的前滨亚相。 江南造山带新元古代沉积物中广泛含有新元古 代一太古宙末期岩浆锆石(Li et al., 2014; Shu et al., 2015; Xu et al., 2018; Yao et al., 2019; 陈家驹等, 2021),江山-绍兴断裂北西侧早古生代前陆盆地中除上述岩浆锆石外,还含有早古生代岩浆锆石(Xu et al., 2012, 2016; Yao et al., 2015;杨树锋等, 2019;马学平等, 2010)。早泥盆世早期,湘中、湘南广大地区上升遭受剥蚀,发生了多次由南向北的海侵,表现为碳酸盐岩的沉积范围增大,碎屑物质向北沉积(图4)。早泥盆世晚期,广西入侵的海水浸及桂林进入湘西南一带,沉积了滨海相的源口组碎屑岩。中泥盆世早期,海水由西南继续向东北浸漫,北达湘潭韶山一带,接受来自江南造山带的物源供给,沉积了前滨— 近滨相碎屑岩(Yuan et al., 2023)。跳马涧期,海侵扩大达湘西新晃直至岳阳一线,在前滨和潮间坪带沉积了砾质、砾砂质、砂质、砂泥质、粉砂质、细砂质等碎屑沉积。

## 4.3 矿床成因

刘宝珺等(1995)认为华南存在江南古陆与华夏

古陆,两者在晋宁期沿江山-绍兴断裂带碰撞缝合,但 向湘、粤、桂方向开启,形成"加里东"残洋盆地。由 晋宁期至加里东期,盆地沉积中心不断向南西迁移, 最终于广西运动或东吴运动关闭。矿区所在的区域 晚古生代—中生代三叠纪是继加里东构造运动的全 面海退之后产生的新一轮巨型沉积旋回(张岳桥等, 2012)。

中泥盆世之前,矿区所在的区域广泛出露中元 古代地层及加里东期岩浆岩,遭受长期风化剥蚀,为 石英砂岩提供了物质来源,泥盆纪中期,区域普遍接 受前滨相沉积,跳马涧组主要受潮汐的作用,其演化 过程如图 5 所示:在海岸线陆地(障壁岛)一侧,发育 辫状河流,沉积物主要是河流带来的陆源物质,这些 物质经过长距离的搬运、磨蚀和分选,成岩后就形成 了成熟度较高的石英砂岩,受波浪的一定作用,经多 个旋回的搬运、分选、沉积,沉积的砂岩成熟度较高,



图 4 华南湘桂地区中泥盆世早期岩相古地理图(据刘宝珺, 1994 修改)

Fig. 4 Lithofacies paleogeography map of early Middle Devonian in Hunan and Guangxi





石英较纯,并在分选条件较好的部位形成石英砂岩 矿床。中泥盆世晚期,湘中、湘南广大地区沉积了近 滨环境的砂泥质、粉砂质、细砂质沉积,在湘潭、醴 陵等地海水中富含氧,致使岩石普遍为紫色、紫红色 调。跳马涧组沉积结束后进入滨外浅海,开始了棋 梓桥组的泥灰岩沉积,总的演化为海进过程。

5 结 论

(1)湖南省谭家坳石英砂岩矿 SiO<sub>2</sub> 含量平均高 达 95.29%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量平均为 1.27%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量平均 为 1.12%, 胶结物中 Al、Fe 杂质元素主要以白云母、 粘土、赤铁矿等矿物形式产出, 并呈填隙物形态存在 于石英颗粒间, 利于分选解离。

(2)谭家坳石英砂岩多为细粒石英砂岩,纯度较高,磨圆度多为次圆—次棱角状,胶结方式为孔隙— 压嵌型,矿物成熟度和结构成熟度也极高,反映出滨 海环境中的前滨亚相的沉积特点。

(3)区域广泛出露的元古宙地层及加里东期岩 浆岩,为研究区石英砂岩提供了物质来源,经多个旋 回的搬运、分选、沉积,形成了中泥盆统跳马涧组石 英砂岩,并在分选条件较好的部位形成石英砂岩 矿床。

**致谢:**感谢湖南省地质科学院相关人员对本项 目的大力支持,感谢审稿专家细心审阅并提出建设 性意见。

#### 参考文献

- Li X H, Li Z X, Li W X. 2014. Detrital Zircon U–Pb age and Hf isotope constrains on the generation and reworking of Precambrian continental crust in the Cathaysia Block, South China: A synthesis[J]. Gondwana Research, 25(3): 1202–1215.
- Shu L S, Wang B, Cawood P A, et al. 2015. Early Paleozoic and Early Mesozoic intraplate tectonic and magmatic events in the Cathaysia Block, South China[J]. Tectonics, 34(8): 1600–1621.
- Xu X B, Li Q M, Gui L, et al. 2018. Detrital zircon U-Pb geochronology

and geochemistry of Early Neoproterozoic sedimentary rocks from the northwestern Zhejiang Basin, South China[J]. Marine and Petroleum Geology, 98: 607–621.

- Xu Y J, Cawood P A, Du Y S. 2016. Intraplate orogenesis in response to Gondwana assembly: Kwangsian Orogeny, South China[J]. American Journal of Science, 316(4): 329–362.
- Xu Y J, Du Y S, Cawood P A, et al. 2012. Detrital zircon provenance of Upper Ordovician and Silurian strata in the northeastern Yangtze Block: Response to orogenesis in South China[J]. Sedimentary Geology, 268: 63–72.
- Yao J L, Cawood P A, Shu L S, et al. 2019. Jiangnan Orogen, South China: A 970–820 Ma Rodinia margin accretionary belt[J]. Earth–Science Reviews, 196: 102–112.
- Yao J L, Shu L S, Santosh M, et al. 2015. Neoproterozoic arc-related andesite and orogeny-related unconformity in the Eastern Jiangnan Orogenic Belt: Constraints on the assembly of the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China[J]. Precambrian Research, 262: 84–100.
- Yuan K, Huang W H, Wang T, et al. 2023. Tectonic evolution and accumulation characteristics of Carboniferous shale gas in Yadu–Ziyun–Luodian aulacogen, Guizhou Province, South China[J]. China Geology, 6(4): 646–659.
- 蔡富成,秦锦华,覃金宁,等. 2021. 湖南川口岩体型钨矿赋矿花岗岩地 球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 中国地质, 48(4): 1212-1224.
- 陈光艳,刘桂春,李静,等. 2021. 滇中元江地区中太古界元江群球粒状 石英砂岩特征及岩石成因[J]. 地质通报,40(7): 1106-1116.
- 陈家驹,徐先兵,梁承华,等. 2021. 湘东南中泥盆统石英砂砾岩物源分 析及其大地构造意义[J]. 地球科学, 46(10): 3421-3434.
- 陈建强,周洪瑞,王训练.2015. 沉积学及古地理学教程 (第二版)[M]. 北京:地质出版社:1-82.
- 龚雪婧, 孟贵祥, 汤贺军, 等. 2023. 湘东光明萤石矿黑云母花岗岩地球 化学特征及其对萤石成矿的启示[J]. 地质通报, 42(9): 1432-1452.
- 《矿产资源工业要求手册》编委会.2010.矿产资源工业要求手册[M]. 北京:地质出版社.
- 李建华,张岳桥,董树文,等. 2015. 湘东宏夏桥和板杉铺岩体 LA-MC-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地球学报, (2): 187-196.
- 梁玉明,刘晓辉,卓志丽.2017.湖南溆浦谭家湾石英砂岩矿床地质特 征及成因浅析[J].中国非金属矿工业导刊,(1):49-51,55.
- 刘宝珺,许效松,徐强. 1995. 扬子东南大陆边缘晚元古代-早古生代层

序地层和盆地动力演化[J]. 岩相古地理, (3): 1-16.

- 刘宝珺. 1994. 中国南方岩相古地理图集: 震旦纪—三叠纪[M]. 北京: 科学出版社.
- 鲁玉龙, 彭建堂, 阳杰华, 等. 2017. 湘中紫云山岩体的成因: 锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学及 Hf-O 同位素制约[J]. 岩石学报, 33(6): 1705-1728.
- 马学平,宗普.2010. 湖南中一晚泥盆世腕足动物组合、海平面升降及 古地理演变[J]. 中国科学:地球科学, (9): 1204-1218.
- 司荣军,顾雪祥,程晓萍,等.2004.山东崔家峪玻璃用石英砂岩矿床简 介及开发利用前景[J].中国非金属矿工业导刊,(1):43-44.
- 谭建农. 2000. 湖南淑浦谭家湾石英砂岩矿简介[J]. 中国非金属矿工 业导刊, (4): 37-38.
- 汪灵. 2019. 石英的矿床工业类型与应用特点[J]. 矿产保护与利用, 39(6): 39-47.
- 王刚田. 1984. 长沙县跳马涧镇跳马涧组沉积相研究[J]. 湖南地质, (2): 49-60.
- 王子正, 江新胜, 周邦国, 等. 2019. 滇东北地区中泥盆世缩头山组一段

沉积特征及其含矿性[J]. 矿物岩石, 39(2): 90-98.

- 吴少飞,李维波,凌波,等. 2019. 湖南省醴陵市十八坡矿区石英砂砾岩 矿地质特征及矿石评价[J]. 国土资源导刊, 16(3): 44-48.
- 严加永, 吕庆田, 罗凡, 等. 2019. 钦杭何在?来自综合地球物理探测的 认识[J]. 中国地质, 46(4): 690-703.
- 颜玲亚, 高树学, 陈正国, 等. 2020. 我国脉石英矿床类型及成矿规 律[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 10-14.
- 杨明桂,黄水保,楼法生,等.2009.中国东南陆区岩石圈结构与大规模 成矿作用[J].中国地质,26(3):528-543.
- 杨树锋,陈汉林,龚根辉,等.2019.下扬子地区早古生代晚期前陆盆地 沉积特征与盆山过程[J].地球科学,44(5):1494-1510.
- 张欣平. 1992. 湖南新北、湘潭等地区跳马涧组的遗迹化石及其沉积环 境[J]. 沉积与特提斯地质, (6): 34-42.
- 张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 2012. 华南中生代大地构造研究新进 展[J]. 地球学报, 33(3): 257-279.
- 周邦国,王子正,冀盘龙,等.2018. 滇东北地区中泥盆统缩头山组石英 砂岩特征及其沉积环境[J]. 沉积与特提斯地质,38(3):25-31.

# 《地质通报》第43卷第5期要目预告

江西宁都白云母伟晶花岗岩型高纯石英用硅质原料矿床特征与资源潜力
胶西北地区谢家沟金矿床构造控矿规律及找矿方向
渤中凹陷 CFD6-4 油田东营组储层特征及物性控制因素
关中盆地新近系蓝田-灞河组热储层物性特征及渗流特征研究
蒙古国东北部脑明特铜矿床成矿岩体年代学、Hf同位素、元素地球化学特征及其地质意义
基于土壤景观模型的生态地质调查方法研究
江苏南京沿江地区土壤-底泥重金属 Cd 富集特征及风险评价
松辽平原典型黑土区不同土壤结构的古气候背景与黑土成因机制
水化学和同位素揭示的广东儒洞地热咸水形成机制
松潘-甘孜地区吾和玛高分异Ⅰ型花岗岩的识别与其岩石成因
准噶尔盆地西北缘克乌断裂带推覆体上盘构造样式及影响因素 张磊等
广元羊木-岩洞地区震旦纪-寒武纪界线地层序列及构造-沉积演化
内蒙古希仁布敦钾玄质火山岩锆石 U-Pb 年龄及构造环境
腾冲地块晚白垩世小龙河花岗岩年代学及其成矿意义
CSAMT 和测井联合约束反演在松辽盆地东南隆起区油页岩识别中的应用 ····································
基于分布式光纤传感技术的北京宋庄地面沉降和地裂缝综合监测