



一种植硅石沉积天然微纳米硅碳矿的发现

王先广¹⁾, 胡正华²⁾, 肖玉如³⁾, 杜高翔⁴⁾, 王平⁵⁾

1) 江西省矿产资源保障服务中心, 南昌, 330025;

2) 江西省国土空间调查规划研究院, 南昌, 330025;

3) 江西省煤田地质局一九五大队, 南昌, 330008;

4) 中国地质大学(北京), 北京, 100083; 5) 江西理工大学, 江西赣州, 341099

内容提要: 全球尚无植硅石成矿的先例, 近年在江西省丰城市石炉坑发现一种植硅石沉积的天然微纳米硅碳矿床。赋矿岩石由浅灰色—灰黑色植硅石岩, 是由大量植硅体堆积固结成岩形成的植硅石, 不含孢粉也极少见硅藻, 形成于始新世中期—中新世早期温暖湖泽环境沉积。硅碳矿石主要由微米—纳米级石英和固定碳组成, 含少量其他杂质; SiO_2 含量 65%~85%、固定碳 9%~20%, 硅和碳矿物具多孔结构。硅碳矿石通过超细研磨和分选的方式, 可获得微米级石英产率 49.7%, SiO_2 含量 99.95%, 其中粒度在 80~200 nm 的纳米级石英产率可达 25%, 微米级碳产率 30%。植硅石经湿法物理分选可直接制备橡胶补强填料、高硬碳化硅、污水处理和导电性材料等; 经矿石矿物加工分离提纯试验, 可得介孔硅、介孔碳、白炭黑、纳微硅粉等材料, 其工业价值极高。目前暂定为天然微—纳米硅碳矿床, 资源储量规模为大型。

关键词: 植硅石; 沉积时代; 纳微矿物硅碳矿

全球尚无植硅石成矿的先例, 2016 年江西省煤田地质局一九五大队在施工民用水井中发现一种黑色岩石, 火烧不可燃, 质轻可浮于水面, 经分析测试 SiO_2 达 70% 以上。经报江西省地质勘查基金管理中心(现更名为江西省矿产资源保障服务中心), 王先广建议在南昌航空大学电镜扫描后, 以硅藻土项目立项, 列入 2017 年江西省地勘基金项目(项目编号为 20170041), 由江西省煤田地质局一九五地质队承担勘查工作。目标和任务为采用地质测量、钻探和采样测试相结合的方法, 初步查明矿床地质和矿体特征, 矿石矿物成分、化学成分、物性特征及硅藻种属、壳体含量等。2019 年委托江西理工大学材料工程学院进行矿石可选性选矿试验, 在矿石矿物学研究发现矿石无硅藻, 矿石主矿物为微纳米级石英, 这种石英不同于赣西地区粉石英, 其粒度一般小于 10 μm 、中位粒径 1.6 μm , 部分可达纳米级, 石英形态各异, 未见或极少见孢子花粉; 送样中国建材检验认证集团咸阳有限公司鉴定, 仅极个别样品偶见硅藻残片, 硅藻结构不清晰, 种属不清; 经中国科

学院南京地质古生物研究所鉴定未见孢粉。大量电镜扫描等测试分析, 初步认为原岩是由大量植硅体堆积固结成岩形成的植硅石, 主要由微米—纳米级石英和碳质组成, 原岩经去除粗颗粒杂质, 可用于橡胶补强填料、硅肥、混凝土补强和碳化硅材料, 后又经中国地质大学(北京)材料学院对矿石工艺矿物学研究和矿物加工分离提纯试验, 可得介孔硅、介孔碳、白炭黑、硅微粉等矿产品, 其利用价值极高, 遂暂定为一处大型植硅石沉积形成的天然微纳米硅碳矿床。本文拟通过对丰城市石炉坑天然微纳米硅碳矿的发现历程、形成环境、矿石特征及其用途的阐述, 以期促进江西省乃至全国天然微纳米硅碳矿床的勘查与研究。

1 植硅石概述

植硅体是植物在生长过程中, 通过根系从土壤中吸收的水溶性硅, 经维管束传送, 在细胞内腔或细胞之间成为淀积的难溶的硅酸, 即非晶体二氧化硅, 又称为植硅体(吴乃琴等, 1992; Wallis, 2003; 张新荣

注: 本文为江西省地质勘查基金资助项目(编号: 20170041)的成果。

收稿日期: 2021-10-04; 改回日期: 2021-10-16; 网络首发: 2021-11-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.11.015

作者简介: 王先广, 男, 1962 年生, 教授级高工, 主要从事矿床勘查与管理; Email: 1138066942@qq.com。通讯作者: 胡正华, 男, 1985 年生, 高级工程师, 主要从事矿床勘查与管理; Email: hucdut@qq.com。

等,2004;薄勇,2009;Mercader et al.,2010 马超等,2018;)。在植物死亡之后,凋谢沉落于水土之中形成沉积物,其活性聚合基会结合有机碳,碳也成为植硅体重要组成部分(吴乃琴等,1992;顾延生等,1997;崔鹏等,2009;马雪珑等,2011;Miyabuchi et al.,2012),由于其耐腐蚀性和稳定性,在固结成岩后形成植硅石沉积层(Hyland et al.,2013)。

丰城石炉坑植硅石的基本特征是沉积岩层呈半固结状态,不含或很少见孢粉,岩石 SiO_2 含量介于 65%~85%,且含固定碳 9%~20%,石英在电镜下呈各种形状,属于大量植硅体固结成岩形成的植硅石,其岩性为植硅石岩。植硅石(图 1)体现的主要是单子叶草本植物,这种草本植物是古鄱阳湖温暖湿地环境,枯水季节湖水退缩形成湿地,草本植物生长繁茂,丰水季节水位抬高,被湖水淹没,繁茂的植物死亡后原地堆积,年复更替,植物细胞内腔或细胞之间淀积的难溶的硅酸以及耐腐蚀性和稳定性的碳质被保存原地,经压实作用形成半固结状态植硅石沉积地层。该层位局部分布在在石炉坑北东延伸长 3000 m,宽约 1000 m 的范围(目前地质调查)内。

目前,植硅石在世界发现最早地层为古近系(顾延生等,1997;薄勇,2009)。植硅石在古环境研究中还有考古学、地质学、农学、医学、植物学等领域得到广泛研究与应用(王永吉等,1992;顾延生等,1997;薄勇,2009;李孙雄等,2011;Coe,2014;马超等,2018)。作为矿产资源评价本次属全球首例。

2 沉积地层及岩性组合

2.1 地质背景

石炉坑微纳米硅碳矿位于钦—杭结合带萍乐凹陷中段(图 2a),总体为走向北东的沉积盆地,盆地西南昂起,往北东稍倾伏。矿区出露泥盆系—二叠系华山岭组(D_3-C_1h)、梓山组(C_1z)、茅口组(P_2m),古近纪石炉坑组(E_2s^3)和第四系,石炉坑组为植硅石沉积赋矿地层,不整合于晚古生代地层之上。区内断裂构造发育,断层性质均为逆冲推覆断层,地表出露的梓山组(C_1z),为 F1 推覆残留在矿区内的“飞来峰”构造(图 2b)。矿区地表无岩浆岩出露,经钻孔揭示存在隐伏玄武岩,呈似层状产出,厚度多为数米至十余米,矿物成分以微晶斜长石、辉石为主。

2.2 植硅石沉积层序及岩性组合

石炉坑微纳米硅碳矿区总体被第四系覆盖,植硅石沉积地层呈隐伏状产出,地层产状基本近于水平,走向北东,以 $5^\circ \sim 10^\circ$ 倾向南东,厚度 1.0~80.93 m,分布于 1.83 km^2 范围内(钻孔控制范围),根据钻孔 ZK12-3 剖面沉积层序如下:

上覆地层:第四系中更新统进贤组紫红色夹灰色、棕黄色网纹状砂质黏土

~~~~~不整合~~~~~

石炉坑组上段( $E_2s^2$ )

厚度 16.16 m

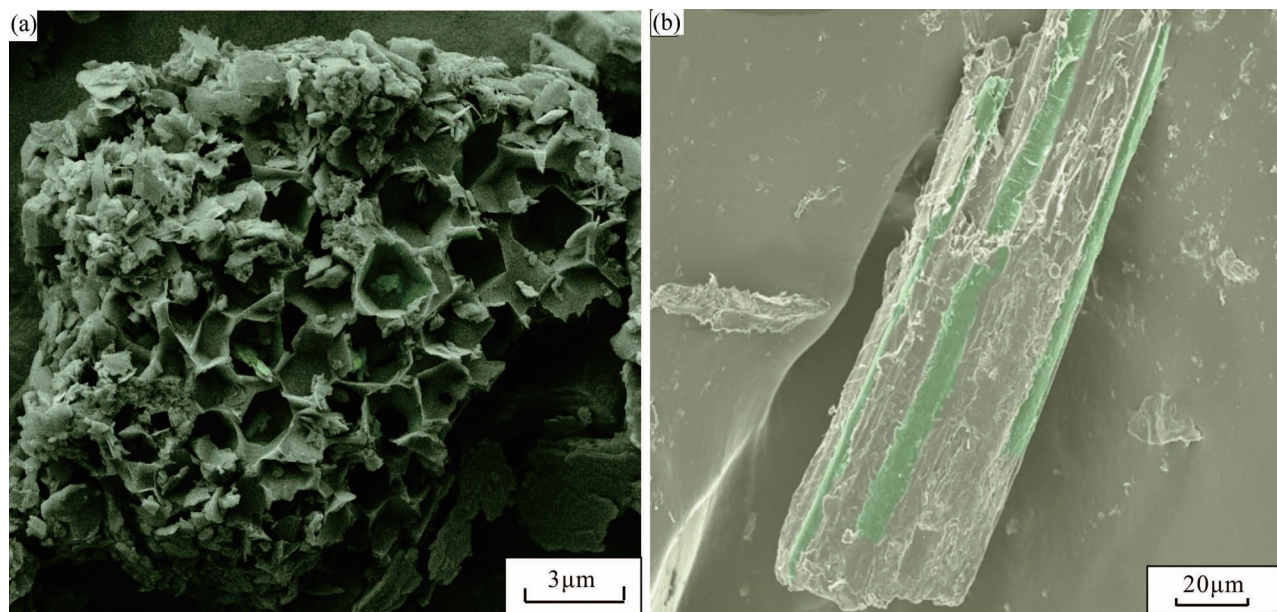


图 1 丰城石炉坑 ZK00 钻孔电镜扫描植硅体形状

Fig. 1 Scanning electron microscope of the ZK00 broehole in Shilukeng, Fengcheng, Jiangxi

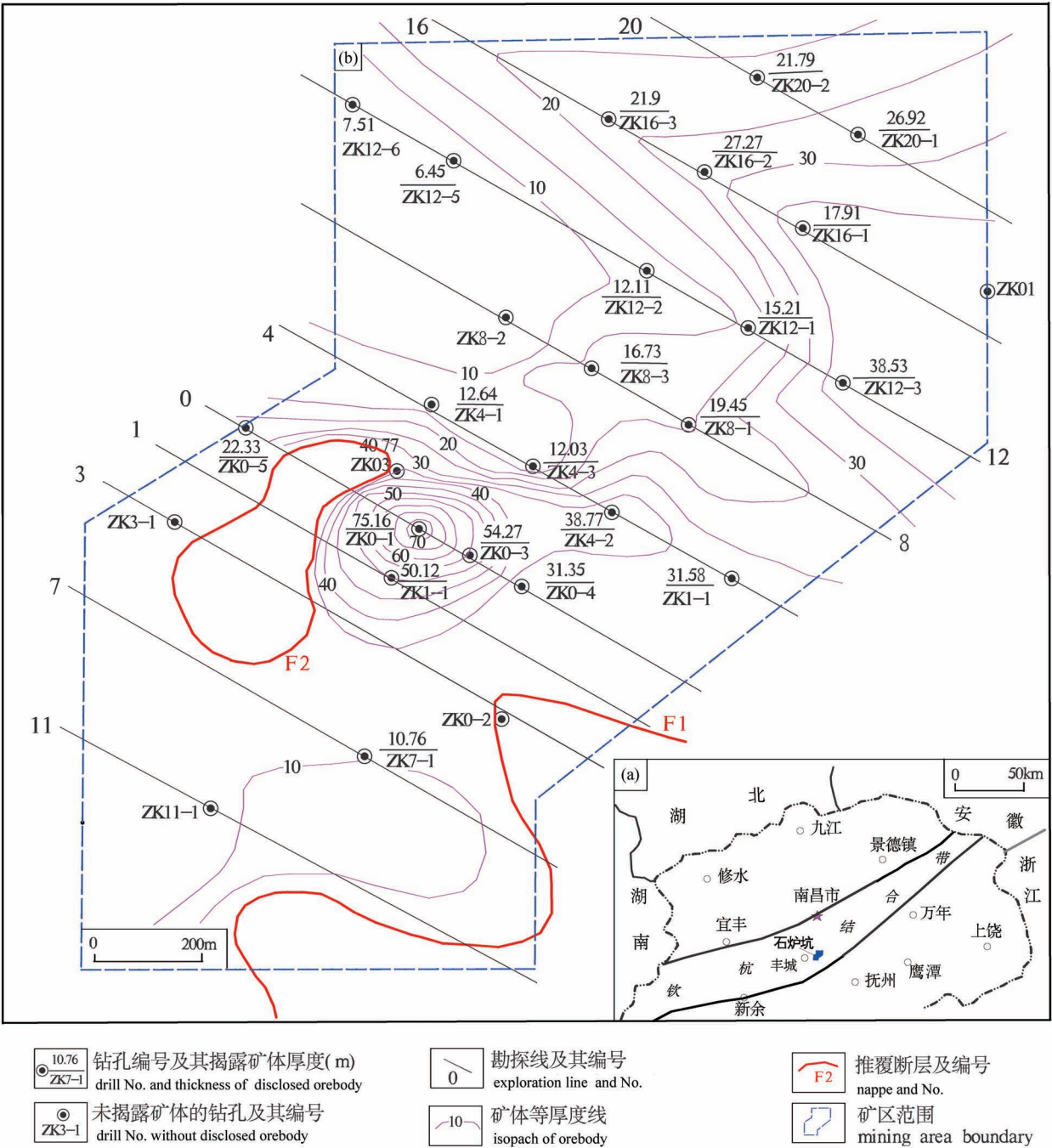


图 2 丰城石炉坑矿床构造位置图(a)和天然微纳米硅碳矿体厚度等值线图(b) (据王先广等,2020 修改)

Fig. 2 Geotectonic location map of Shilukeng deposit, Fengcheng (a) and thickness contour map of natural micro nano silicon carbon orebody (b) (modified from Wang Xianguang et al., 2020& ):

|                                        |            |                                  |        |
|----------------------------------------|------------|----------------------------------|--------|
| 28. 浅灰色,底部为紫红色、土黄色黏土岩                  | 6.63 m     | 黏土岩                              | 2.08 m |
| 27. 浅黄色夹浅灰色、紫红色粉砂质黏土岩                  | 6.80 m     | 24. 深灰色、灰黑色块状夹粉末状植硅石岩,页理发育       |        |
| 26. 紫红色、浅黄色含砂黏土岩,局部含紫红色、浅灰色粉砂岩透镜体      | 2.73 m     |                                  | 1.68 m |
| 整合                                     |            |                                  |        |
| 石炉坑组下段(E <sub>2</sub> s <sup>1</sup> ) | 厚度 64.77 m | 23. 深灰色、灰黑色粉末状为主局部夹块状植硅石岩,局部含黏土岩 | 0.80 m |
| 25. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹块状植硅石岩,局部夹            |            | 22. 深灰色黏土岩,间夹块状植硅石岩              | 0.50 m |
|                                        |            | 21. 灰色黏土,局部含砂质黏土岩                | 2.66 m |

20. 深灰色、灰黑色粉末状、块状植硅石岩1.93 m
19. 深灰色、灰黑色块状夹少量粉末状植硅石岩,页理发育,局部含黏土岩1.20 m
18. 深灰色黏土岩,局部砂质含量较高0.67 m
17. 深灰色、灰黑色块状夹少量粉末状植硅石岩,页理发育2.23 m
16. 浅灰色黏土岩0.20 m
15. 深灰色、灰黑色块状夹少量粉末状植硅石岩,局部黏土含量较高0.40 m
14. 银灰色夹灰绿色黏土岩3.40 m
13. 深灰色、黑色含砾泥岩0.85 m
12. 灰色块状含砂泥岩1.15 m
11. 深灰色、灰黑色粉末状植硅石岩4.13 m
10. 深灰色、灰黑色块状局部夹粉末状植硅石岩,局部黏土含量较高0.50 m
9. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹页理状植硅石岩13.13 m
8. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹块状植硅石岩0.70 m
7. 深灰色、灰黑色粉末状间夹页理状植硅石岩5.19 m
6. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹块状植硅石岩,局部黏土含量较高0.95 m
5. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹页理状植硅石岩8.87 m
4. 深灰色、灰色泥岩,局部夹植硅石岩1.00 m
3. 银灰色夹灰绿色黏土岩6.46 m
2. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹块状植硅石岩,局部黏土含量较高2.79 m
1. 深灰色、灰黑色粉末状局部夹页理状植硅石岩1.30 m

~~~~~不整合~~~~~

下伏地层:中二叠统茅口组南港段深灰色、灰色钙质粉砂岩

2.3 地层时代

石炉坑组下段由一套浅灰色、深灰色、灰黑色植硅石岩组成,与下伏中二叠统茅口组南港段深灰色、灰色钙质泥岩、钙质砂岩或透镜状灰岩不整合接触,上段紫红色、土黄色黏土岩顶部与上覆第四系中更新统进贤组不整合接触。地层产状平缓,未经受构造变形,岩石呈半固结状态,经中国科学院南京地质古生物研究所鉴定未见古生物化石、孢粉。在矿区 ZK8-13 和 ZK14-9 采集石炉坑组灰黑色植硅石岩,经中国地质科学院地质实验测试中心 Re-Os 法测得地层年龄值为 20.59 Ma(王先广等,2020),属新近纪中新世早期。由于样品数量少代表性不全面,实验测试人员建议从丰城石炉坑矿区的钻孔剖面从上到下系统采集样品,2021 年在矿区的 ZK8-13、ZK14-9 孔采集 6 组样品用 Re-Os 法重新测定石炉坑组下段灰黑色植硅石岩中固定炭的 Re-Os 等时线年龄为 43.1 Ma(王先广等,未刊),表明石炉坑组下段归为古近纪始新世。结合矿区地质特征和与相邻古近纪

地层对比,石炉坑组时代应晚于古近纪早始新世,归于始新世中期—中新世早期。上段紫红色、土黄色黏土岩晚于新近纪中新世早期。

2.4 沉积环境

始新世中期—中新世早期石炉坑组岩性下段以深灰色、灰黑色植硅石岩为主、夹浅灰色、灰色等砂质黏土岩、含砂泥岩,普遍发育水平微薄层页理,呈书页状,表明湖水平静,岩性特征也显示未经搬运的沉积,属较平静的湖相沉积环境。岩石含碳和微纳米石英,石英单体在 SEM 下呈异形(粒状、片状等),无裂痕,带棱角(图 3a、b),石英和碳均呈多孔结构特征(图 3c、d),应属原地堆积。部分岩性含量有较多的黏土类矿物如蒙脱石、高岭石、伊利石、黄铁矿等,发生过浑水沉积,黄铁矿和碳质表明处于还原环境。新近纪早中新世以后连续沉积的石炉坑组上段为紫红色、土黄色、浅黄色夹浅灰色黏土岩、砂质黏土岩、泥岩、含砂泥岩不等厚互层,中新世早期以后转为干热气候的氧化沉积环境。

在矿区的西部、东北部钻孔中,石炉坑组下段以深灰色、灰黑色植硅石岩层间夹多层似层状玄武岩,表明邻近古鄱阳湖发生玄武质岩浆喷发火山活动,玄武岩喷发间歇期为植物提供了丰富的可溶性 SiO₂,古鄱阳湖局部水体二氧化硅处于饱和状态,为植物吸收大量二氧化硅提供了硅源。茂盛的植物通过根系从中吸收的水溶性硅,经维管束传送到细胞内腔或细胞之间,成为淀积的难溶的硅酸(高桂在等,2016;高桂在,2019),即非晶体二氧化硅,植物死亡后,凋谢沉落于水土并保存于沉积物中,与耐腐蚀性和稳定性碳质共存,在固结成岩后形成植硅石。植硅石由植硅体和其他杂质(如黏土、黄铁矿等)组成,而植硅体主要由微纳米二氧化硅和固定碳组成。

3 天然微纳米硅碳矿体特征

植硅石岩层是天然微纳米硅碳矿体,矿体呈似层状—层状,产状与石炉坑组植硅石沉积层基本一致。主矿体 1 层,走向北东,倾向东南,矿体产状平缓,一般 5°~10°。矿体走向上已控制 1400 m,倾向上已控制 400~900 m。天然微纳米硅碳矿体形态为似层状(图 2b),走向、倾向上较稳定。单工程厚度 7.58~63.32 m,平均厚度 30.53 m(图 4),变异系数 52.37%,厚度稳定。

矿石自然类型以石英—固定碳、石英—固定碳—黏土为主,各类型矿石均呈灰黑色、深灰色,块状、粉末状、微细层状,多孔、质轻、性脆,参差状断

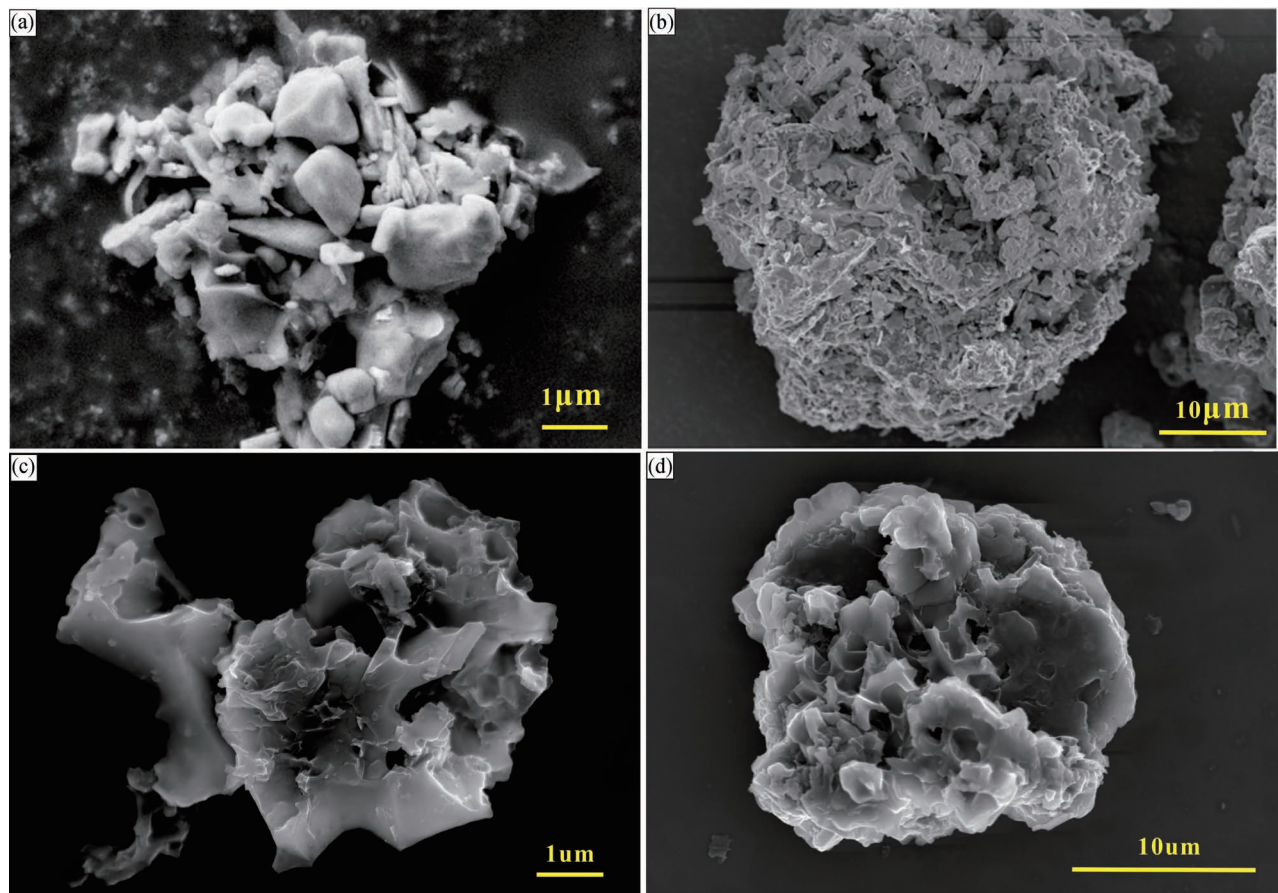


图 3 丰城石炉坑矿床天然微纳米石英形态、镶嵌和多孔结构: (a) 失炭石英镶嵌和形态; (b) 多孔结构石英; (c) 石英镶嵌; (d) 石英多孔结构(规则排列的细微孔洞均由碳质填充)

Fig. 3 Morphology, mosaic and porous structure of natural micro nano quartz: (a) mosaic and morphology of decarbonized quartz; (b) porous quartz; (c) quartz inlay; (d) the porous structure of quartz (regularly arranged fine holes are filled with carbonaceous)

口,染手,自然干燥后可浮于水面,吸水性极强。矿石主要有用矿物成分石英(多为 α-石英),次为固定碳;不可利用矿物有微量的蒙脱石、高岭石、伊利石、水云母、有机质、黄铁矿等。矿石有益化学成分为 SiO₂ 和 C。SiO₂65.01% ~ 85.89%, 平均含量 77.89%,变异系数 5.14%,固定碳 9%~20%,Al₂O₃ 平均 5.24%,Fe₂O₃ 平均 4.23%,CaO 0.12%~0.50%,微量 MgO、K₂O、Na₂O、P₂O₅ 等。

经初步估算,天然微纳米硅碳矿石控制+推断资源量 32Mt,属大型矿床。

4 工艺矿物学特征

联合中国地质大学(北京)和北京工业职业技术学院对江西省丰城市石炉坑的天然微纳米硅碳矿的矿物学进行研究,系统采集原矿样品进行物相、成

分、粒度、白度、比表面积、微形貌等理化性能分析,对矿物结构、特点及其成因进行初步判断。通过对样品的系列加工和测试,可以得出以下结论:

(1)该矿石是一种由植硅体长期沉积后碳化形成的,以二氧化硅(含量介于 65%~85%)和固定碳(含量介于 9%~20%)为主要成分的新型非金属矿。主要杂质为氧化铝、硫化铁和少量氧化钾、二氧化钛、氧化镁和氧化钙,杂质以黄铁矿和高岭土为主,含有少量有机物。

(2)在微观上原矿的粒径分布在 1.5 μm 至 70 μm 之间。

(3)原矿中的二氧化硅和固定碳生长在一起,未经过研磨剥离之前用物理法无法将碳和二氧化硅有效分离。经过氢氟酸溶解去除可溶性离子只剩固定碳后,固定碳呈多孔状产出,比表面积为 15 m²/g

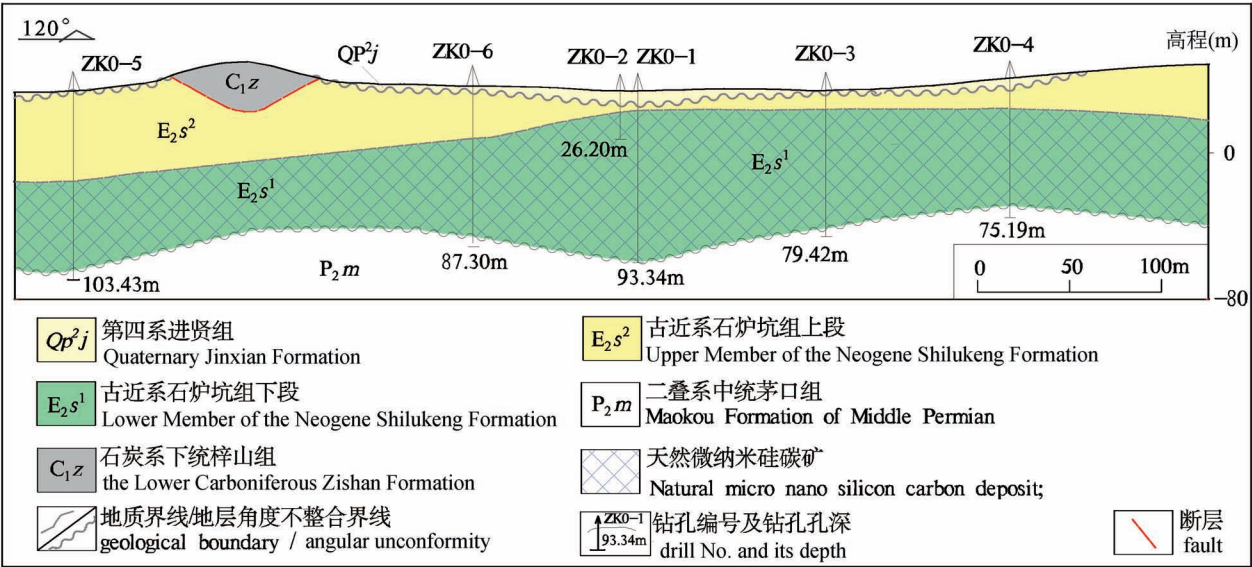


图 4 石炉坑矿区 0 勘探线剖面图(据王先广,2020 修改)

Fig. 4 Exploration profile of line 0 in shilukeng mining area (modified according to Wang Xianguang, 2020&)

左右,偶尔可见针状碳产出,针状碳经过超声波分散即可打碎。经过富勒烯分析,确认原矿不含有富勒烯;原矿经过次氯酸钠反复氧化去除碳后,部分石英颗粒也呈孔状产出,原级粒度在 10~200 nm 之间,少量石英颗粒大于 2 μm(可能为采样时带来的杂质)。将次氯酸钠氧化后的原矿(主要矿物成分为 α 石英)经过超细研磨,可见少量针状石英产出。

(4)矿物学研究过程发现该矿中含有棒状物,目前研究各项分析结果显示,棒状颗粒为二氧化硅在还原、空间受限的情况下结晶,且表面附着一层碳。由于二氧化硅与碳之间相互作用,使得这部分

石英容易被氢氧化钠或氢氟酸全部反应掉,而使用氢氟酸溶解石英时,又与棒状碳发生反应生成氟化碳。这一现象说明棒状颗粒上的碳反应活性比颗粒中其他部分的碳活性高。是否含有新矿物,因何可以生成氟化碳,还需要进一步研究。

5 应用研究

5.1 提取微米级石英和纳米级石英

由于原矿中的碳和石英结合紧密,无法直接通过分层或萃取的方式将原矿中的石英和碳分离。采用超细研磨的方式,将矿物研磨至中粒径 $d_{50} = 1$

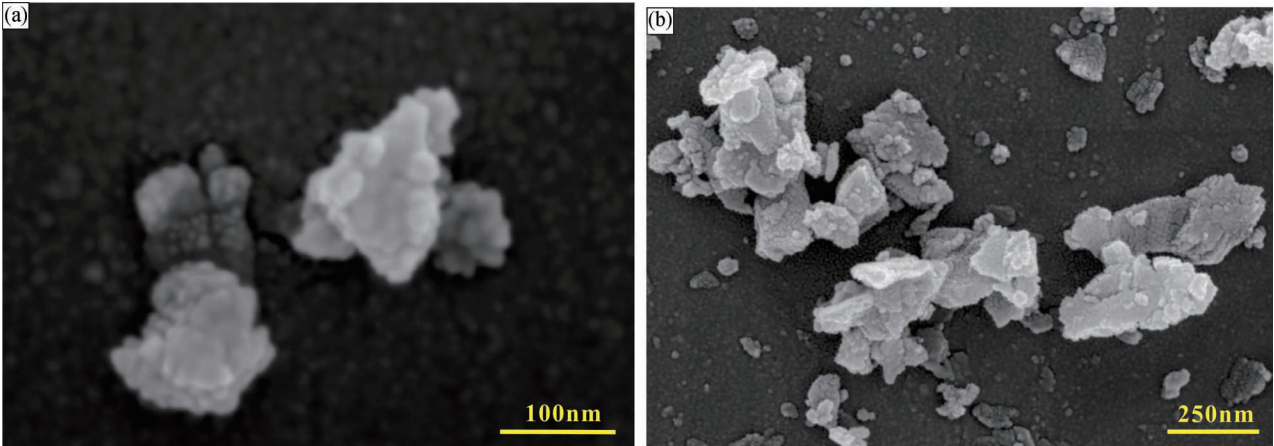


图 5 二次球磨后样品的 SEM 图

Fig. 5 SEM of samples after secondary ball milling

μm ,原矿的石英和碳会在一定程度上剥离。无定形碳在水介质体系中会快速絮凝并下沉,而石英则下沉速度缓慢,可通过分层对上下层进行分离得到微米级石英,产率 48.81%,二氧化硅 99.95%,同时还可以回收微米级碳,产率 30%,固定碳含量 50%,再通过对微米级石英进行纳米化研磨,得到纳米级石英样品,其 $d_{10}=0.08\ \mu\text{m}$, $d_{50}=0.15\ \mu\text{m}$, $d_{90}=0.22\ \mu\text{m}$,表明纳米级石英粒度分布在 80~200 nm 之间(图 5)。

提取微米级石英和纳米石英结果显示,可通过研磨和分选的方法,有效分离本矿石的石英和碳,并且可制备微米级石英和纳米级石英。根据实验结果,微米级石英产率为 49.7%,其中纳米级石英粉产率可达 25%,粒度在 80~200 nm(图 6)。进一步优化研磨技术和工艺条件,可以获得粒度在 80 nm 以下,甚至 20 nm 以下的石英粉,石英粉的纯度需要进一步提纯处理,目前还在实验之中。

介孔硅的实验:通过焙烧去除有机物、通过次氯酸钠去除碳、通过酸洗去除其他无机物,被次氯酸钠和酸洗去除后的组分原位形成孔道,二氧化硅保持其原有状态,整体形成了介孔硅结构,所得的介孔硅孔道大小合适、耐腐蚀性能、比表面积高,生物相容性好。介孔碳的实验:通过氢氟酸去除二氧化硅等组分,被氢氟酸去除后的组分原位形成孔道,碳保持其原有状态,整体形成介孔碳结构,所得介孔碳孔道大小合适,孔道均匀。

5.2 原矿加工分选试验

橡胶补强实验:原矿和分选提纯出的微米碳作为橡胶填料,分别可以达到化工炭黑的 30% 和 60%,有明显的补强效果。相较于现有的炭黑和白炭黑等补强填料,具有原料安全环保,成本低廉,制备高效,补强效果好等优势。

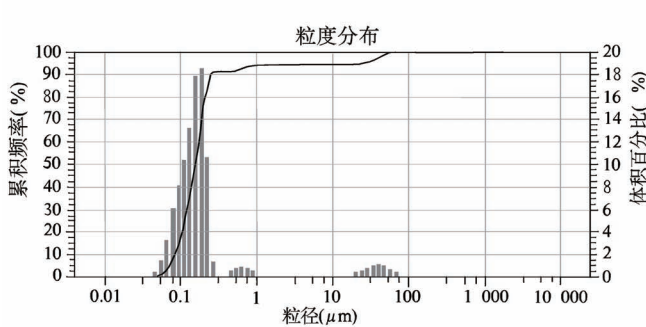


图 6 纳米化研磨样品粒度分布
Fig. 6 Particle size distribution of nano grinding sample

SiC 高硬材料实验:有效利用碳与硅粉的微纳米粒度效应,原矿去除杂质后采用石墨电炉,在 1450~1500℃ 下烧 2~6 h, Ar85%+H₂15% (高纯),直接用于 SiC 合成。重点两个方向:大片单晶 SiC 和纳米 SiC。

污水处理试验:石英和碳都是水净化的良好材料,对于污水中阴离子活性剂、磷和二氧化氯等有很好的处理效果,也对降低污水浊度有一定效果。本矿精选物质正好符合其要求,外观呈黑色,微孔活性硅其内部具有均匀的微孔结构,物化性能稳定、热稳定性好、机械强度高,平均孔径为 10 nm,比热 0.92 kJ/(kg·K),导热系数 0.4639 W/m·C。可用于饮用水处理,污水处理,特别是可用于饮用水反渗透装置,其中石英为压电材料,对水的活化和处理非常有效。

有机复合硅肥试验:有效利用炭及硅粉的细粒度, pH 值 6.2~6.5,含碳微纳石英粉用于有机肥,有利于作物吸收,是很好的有机复合硅肥原料,是尾矿、低品位矿石资源化利用最佳途径。将含炭硅微粉与有机肥、秸秆、生活垃圾等按一定比例粉碎、搅拌混合,在发酵池内发酵 2~5 d,再进入还原沼池中生成沼气,形成绿色能源。沼液就近浇灌植物,沼渣进入复合肥厂,按比例和其他物质混合制成农用有机复合硅肥。

导电性测试结果显示,原矿和目前提取的微米碳有望成为工业漆的防静电功能填料。

6 前景展望

矿物学研究方面,原矿所含棒状物既有处于核心的石英,也有紧密包覆在石英表面的碳。而石英颗粒形状与纯石英晶体形状有所不同,碳则可以在常温下与氢氟酸反应生成氟化碳。说明有可能存在

无定形碳化硅、氧碳化硅等矿物。需要进一步研究其化学成分、矿物组成、具体成因等科学问题,并探究其可行的应用方向。这方面可能会有新矿物发现。

利用丰城所产天然微纳米硅碳矿石提纯分选和纳米化研磨的方法可以得到纳米级石英粉,但目前其纯度和细度仍然需要进一步提升,拟进一步研究其提纯方法、纳米化研磨工

| 累积频率(%) | 粒径(μm) |
|---------|--------|
| 10 | 0.083 |
| 20 | 0.102 |
| 30 | 0.121 |
| 40 | 0.137 |
| 50 | 0.153 |
| 60 | 0.167 |
| 70 | 0.181 |
| 80 | 0.198 |
| 90 | 0.222 |
| 95 | 0.243 |

艺技术、高纯纳米石英粉的制备技术以及纳米石英粉的高温球形化处理技术与设备,争取制备出粒径小于 10 nm、二氧化硅含量大于 99.99%的高纯熔融球形纳米石英粉;多孔碳在负极储能材料的研究是未来主攻方向。为解决我国高端电子芯片用和新材料的供应问题提供新的解决方案。

7 结论

(1)江西丰城石炉坑天然微纳米植硅石层是植硅体沉积成因,形成于古鄱阳湖湖相沉积环境,地层时代归于始新世中期—中新世早期。该天然微纳米硅碳矿床资源量规模为大型。

(2)硅碳矿石主要有用矿物成分为天然微—纳米石英和固定碳,粒径多介于 1.5~70 μm 间,石英和固定碳矿物均具多孔结构。硅碳矿石化成学成分以二氧化硅(介于 65%~85%间)和固定碳(介于 12%~21%)为主;含少量杂质:氧化铝、硫化铁和少量氧化钾、二氧化钛、氧化镁和氧化钙等。

(3)石炉坑天然微纳米硅碳矿石工艺矿物学研究和闭路选矿试验结果,从矿物和原岩两个方面应用性能试验,一是对矿石矿物加工分离,提取微米介孔硅、介孔碳和微—纳米级石英粉,微米级石英粉产率为 49.7%,二氧化硅 99.95%,其中粒度在 80~200 nm 的纳米级石英粉产率可达 25%;碳产率 30%,固定碳 50%。二是采用原岩矿石直接简单加工处理可规模生产橡胶补强、高硬碳化硅、导电、有机硅肥、污水处理等材料。初步得出该矿是一种独特有用成分、矿物结构多孔、天然微—纳米级和利用价值极高的一种未命名的新型非金属矿产。

(4)天然微纳米硅碳矿物结构的独特性决定了该矿石具有重要的研究意义和巨大的经济价值,应用前景十分广阔,可为我国高端电子芯片和新材料的供应问题提供新的解决方案。

致谢:本文在成文过程中得到了杨文采先生的倾心指导,在此深表谢意!

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

薄勇. 2009. 植硅石在全球硅生物地球化学循环中的作用. 建材世界, 30(5): 121~123.

崔鹏,苑世领,徐桂英. 2009. 玉米植株中的植硅石及其纳米 SiO₂ 的制备. 无机材料学报, 24(3): 512~516.

高桂在,介冬梅,刘利丹,刘洪妍,高卓,李德晖,李楠楠. 2016. 植硅体形态的研究进展. 微体古生物学报, 33(2): 180~189.

高桂在. 2019. 东北地区典型植物群落的表土植硅体记录及晚冰期以来古植被定量重建. 长春: 东北师范大学学位论文.

顾延生,李长安,章泽军. 1997. 植硅石分析在第四纪环境研究中的应用. 地质科技情报, 16(4): 54~57.

李孙雄,陈哲培,汪焰华,龚丹. 2011. 海南省乐东县丘糖岭古—新近纪地层特征及岩石地层单位. 华南地质与矿产, 27(4): 292~297.

马超,顾延生,刘春根. 2018. 鄱阳湖东南部地区全新统植硅体组合特征与古环境分析. 华东地质, 39(3): 187~193.

马雪珑,房江育. 2011. 水稻植硅石沉积硅的有机组分研究. 生命科学, 15(5): 396~401.

王先广,李冬梅,胡正华,詹天卫,李艳红,马振兴,陈国华,夏中智,易伟,黄秋芸,陈强,罗音,余希,陈欣,田幽军,朱林森,范春,刘菲,滑晓晖,刘小兵,曾甲晰,周培红,闵光权,李雪琴,黄晶,万欣. 2020. 江西省地质勘查基金找矿重大突破与科技创新. 南昌: 江西科学技术出版社: 617~620.

王永吉,吕厚远. 1992. 植物硅酸体研究及应用. 北京: 海洋出版社: 1~228.

吴乃琴,吕厚远,聂高众,王永吉,孟毅,顾国安. 1992. C₃、C₄ 植物及其硅酸体研究的古生态意义. 第四纪研究, 3(8): 241~251.

杨文智,黄伟明,黄伟,尚福军,张保玉,陈子明,肖敏强,刘勇. 2015. 太阳能级纳米硅粉制备技术及发展概况. 兵器材料科学与工程, 38(1): 110~104.

张新荣,胡克,王东坡,介冬梅. 2004. 植硅体研究及其应用的讨论. 世界地质, 23(2): 112~117.

Bo Yong. 2009&. Function of phytolith in the circulation of biogeochemistry of biology silicon in the world. The World of Building Materials, 30(5): 121~123.

Coe H H G, Macario K, Gomes J G. 2014. Understanding holocene variations in the vegetation of Sao Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 415(4): 59~68.

Cui Peng, Yuan Shiling, Xu Guiying. 2009&. Phytoliths in Mealies Corns and preparation of SiO₂ nano-materials. Journal of Inorganic Materials, 24(3): 512~516.

GaoGuizai, JieDongmei, Liu Lidan, Liu Hongyan, GaoZhao, Li Dehui, Li Nannan. 2016&. Advance in phytolith morphology research, Acta Micropaleontologica Sinica, 33(2): 180~189.

Gao Guizai. 2019&. Phytolith Reference for Identifying Typical Plant Communities in Northeastern China and Its Implication in Paleovegetation Reconstruction since the Late-Glacial Period. Changchun: Academic dissertation of Northeast Normal University.

Gu Yansheng, Li Chang'an, Zhang Zejun. 1997&. Application of phytolith analysis in study of vermicular red earth in south China. Geological Science and Technology Information, 16(4): 54~57.

Hyland E, Smith S Y, Sheldon N D. 2013. Representational bias in phytoliths from modern soils of central North America: Implications for paleovegetation reconstructions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 374: 338~348.

Li Sunxiong, Chen Zhepei, Wang Yanhua, Gong Dan. 2011&. Paleogene—Neogene characteristics and lithostratigraphic unit in Qiutangling area, Ledong County, Hainan Province. Geology and Mineral Resources of South China, 27(4): 292~297.

Ma Chao, Gu Yansheng, Liu Chungen, Zuo Zufa. 2018&. Characteristics of Holocene phytolith assemblage in the southeast of Poyang Lake and its paleoenvironmental implications. East China Geology, 39(3): 187~193.

Ma Xuelong, Fang Jiangyu. 2011. Organic matter in rice phytoliths inducing silicon deposition. *Life Science Research*, 15 (5) : 396 ~ 401.

Mercader J, Astudillo F, Barkworth M. 2010. Poaceaphytoliths from the Niassa Rift, Mozambique. *Journal of Archaeological Science*, 37: 1953~1967.

Miyabuchi Y, Sugiyama S. 2012. Holocene vegetation history based on phytolith records in Asodani Valley, northern part of the Aso Caldera, Japan. *Quaternary International*, 254(2) : 73~82.

Wallis L. 2003. An overview of leaf phytolith production patterns in selected northwest Australian flora. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 125: 201~248.

Wang Xianguang, Li Dongmei, Hu Zhenghua, Zhan Tianwei, Li Yanhong, Ma Zhenxing, Chen Guohua, Xia Zhongzhi, Yi Wei, Huang Qiuyun, Chen Qiang, Luo Yin, Yu Xi, Chen Xin, Tian Youjun, Zhu Linsen, Fan Chun, Liu Fei, Hua Xiaohui, Liu Xiaobing, Zeng Jiayi, Zhou Peihong, Min Guangquan, Li Xueqin, Huang Jing, Wan Xin. 2020&. On Major Breathrough and Scientific & Technological Innovation Achieved by Jiangxi Administration Fund for Geological Exploration. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press; 617 ~620.

Wang Yongji, Lü Houyuan. 1992#. Research and Application of Plant Silicates. China Ocean Press; 1~228.

Wu Naiqin, Lu Houyuan, Nie Gaozhong, Wang Yongji Meng Yi, Gu Guoan. 1992&. The study of phytoliths in C₃ and C₄ grasses and its paleoecological significance. *Quaternary Sciences*, 3(8) : 241 ~251.

Yang Wenzhi, Huang Weiming, Huang Wei, Shang Fujun, Zhang Baoyu, Chen Ziming, Xiao Minqiang, Liu Yong. 2015&. Preparation and development of solar grade nano silicon powder. *Ordinance Material Science and Engineering*, 38(1) : 110~104.

Zhang Xinrong, Hu Ke, Wang Dongpo, Jie Dongmei. 2004&. Discussion on research and application of phytolith. *Global Geology*, 23(2) : 112 ~117.

Discovery of a natural micro nano silicon carbon deposit deposited by planting silica

WANG Xianguang¹⁾, HU Zhenghua²⁾, XIAO Yuru³⁾, DU Gaoxiang⁴⁾, WANG Ping⁵⁾

- 1) Jiangxi Mineral Resources Guarantee Service Center, Nanchang, 330025;
- 2) Jiangxi Institute of Land and Space Survey and Planning, Nanchang, 330025;
- 3) 195brigades of Jiangxi Coalfield Geology Bureau, Nanchang, 330008;
- 4) China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083;
- 5) Jiangxi University of technology, Ganzhou, Jiangxi, 341099

Abstract: No precedented phytolith mineralization have been found in the world except for recent years, a natural micro nano silicon carbon deposit with phytolith deposition was found in Shilukeng, Fengcheng City, Jiangxi Province. Light grey—grayish black silica rock, formed in the warm lake environment deposition from the middle Eocene of Paleogene to the early Miocene of Neogene is the ore bearing rock, which is composed of phytolith formed by the accumulation and consolidation of a large number of phytoliths without anysporopollen or very rare diatom. The porous silicon—carbon ore, is composed of micron nano quartz and fixed carbon, with a small number of other impurities, with about 65%~85%SiO₂ content and 9%~20% fixed carbon can yield 49.7% of micron quartz 30% of carbon and 25% of 80~200 nm sized nano quartz. After wet physical separation, phytolith can be directly prepared into rubber reinforcing filler, high hard silicon carbide, sewage treatment and conductive materials. Mesoporous silicon, mesoporous carbon, silica, nano micro silica powder and other materials which has high industrial value, can be obtained through experiment on separation and purification of ore and mineral processing. Currently, this deposit is tentatively determined as a large natural micro nano silicon—carbon deposit.

Keywords: Nano micro mineral; sedimentary age; nano micro mineral silicon carbon ore

Acknowledgements: This paper is supported by Jiangxi Geological Exploration Fund Project (No. 20170041)

First author: WANG Xianguang, male, born in 1962, professor level senior engineer, mainly engaged in deposit exploration and management; Email: 1138066942@qq.com

Corresponding author: HU Zhenghua, male, born in 1985, senior engineer, mainly engaged in deposit exploration and management; Email: hucdut@qq.com

Manuscript received on: 2021-10-04; Accepted on: 2021-10-16; Network published on: 2021-11-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2021.11.015

Edited by: ZHANG Yuxu