

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0797-07

浙江江山丁家山组层状硅质岩阴极发光特征及成因探讨¹

曹秋香^{1,2} 郭福生^{1,2} 刘向铜¹ 杜杨松² 严兆彬^{1,2} 张松¹ 孙文洁³

(1. 东华理工大学地球科学与测绘工程学院 江西抚州 344000

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室 武汉 430074

3. 山东省煤田地质局第三勘探队 山东泰安 271000)

摘要 浙江江山中二叠世丁家山组, 主要由黑色薄层状硅质岩、硅质粉砂岩、粉砂岩夹微晶灰岩组成。黑色薄层状硅质岩以高 SiO_2 、富 Al_2O_3 、富 Fe_2O_3 、低 TiO_2 和低 MnO 为特征, REE 含量低, 具弱 Ce 亏损、 Tm 正异常。硅质岩的阴极发光特征和岩石学特征表明, 岩石属于交代成因, 原岩可能为含生物碎屑灰岩, 岩石硅化前曾发生过白云化作用。地球化学研究表明, 硅质来源于正常地下水及陆源硅胶, 无热水或火山硅质来源的迹象。

关键词 硅质岩 沉积地球化学 阴极发光 中二叠世

第一作者简介 曹秋香 女 1982 年出生 硕士研究生 沉积地球化学 E-mail: qiuxiangca@126.com

通讯作者 郭福生 E-mail: fsgud@263.net

中图分类号 P588.24 **文献标识码** A

硅质岩的研究对许多重要矿产具十分重要的理论意义和实用价值, 随着时间的推移和科学技术的发展, 研究方法和手段越来越多样化, 研究的领域也不断拓宽。其成因研究也一直是学术界讨论的重点, 概括来说有: 海洋模式、湖泊模式、火山物分解沉积模式、生物直接堆积模式、生物化学沉积模式、交代成因模式及近期研究热门的热液沉积模式^[1-7]。而交代成因硅质岩的原岩多为石灰岩, 有成岩期交代和地表次生交代等多种成因类型^[8-10]。

浙江江山中二叠世丁家山组发育一组黑色薄层状硅质岩, 其形成过程受东吴运动的影响, 所处的沉积环境由浅海盆地转化为大面积的滨海沼泽, 为江南的主要成煤期^[11-13]。近年来, 有文章报道桂东南钦州—玉林地区、长江中下游地区的武昌、黄石、泾县、巢县等地孤峰组的层状硅岩具有生物化学成因硅岩的特征, 且与火山成因和热水成因有一定联系^[14-18]。在苏浙皖上古生界也具有一定的分布规模。但目前苏浙皖地区对于该期硅质岩的成因类型的研究较少, 笔者结合沉积地球化学特征和阴极发光特征进行综合分析, 对该期岩石的原始沉积环境、硅质来源和形成机理进行探讨^[19]。

1 丁家山组野外特征

浙江江山中二叠世丁家山组岩性为黑色、深灰色

薄层状硅石岩、硅质粉砂岩、粉砂岩夹微晶灰岩。少量厚度大于 70 m。下伏栖霞组为深灰色厚层状、块状微晶灰岩、骨屑微晶灰岩, 产丰富的筳类化石, 主要为碳酸盐台地相。上覆衢江群为棕褐色、紫红色砾岩、砂岩、泥质粉砂岩, 为河流相沉积, 与丁家山组呈角度不整合接触^[11, 20-21]。

丁家山组黑色、灰色薄层状硅质岩由微晶石英、玉髓组成。具水平层理、微波状层理, 有时见砂质条带构造。生物化石丰富, 产筳类: *Parafusulina*, *Elivel-la*, *Martinopsis*, *Neoplicatifera*, *Linoproductus*, *Chonetes*; 珊瑚: *Michelinia*; 苔藓类: *Fenestella*, *Polypora* 及少量海百合茎等。

野外露头的观察中, 发现浙江江山中二叠世丁家山组硅质岩在同一层位上的横向变化为灰岩中夹硅质岩, 而在纵向上为灰岩与硅质岩的交互出现, 且呈犬牙交错状的接触界线。

2 硅质岩岩石学特征

丁家山组薄层状硅质岩呈黑色、灰黑色。显微薄片分析表明, 常见由多个微晶石英交代的自形细晶白云石假象、重结晶分异现象以及碳酸盐交代残余。生物碎屑(以筳为主)约占全岩的 20% 左右, 微晶石英粒度为 0.01~0.05 mm, 占 95% 以上。还有一些粘土矿物、褐铁矿、水针铁矿等。薄片可见一些孔洞,

¹ 国家自然科学基金重点项目(批准号: 40334038)及国家自然科学基金(批准号: 40572077)的联合资助。

收稿日期: 2007-11-25 收修修改稿日期: 2008-01-06

呈圆形、菱形、长条形和不规则状,孔径大小悬殊,0.01~0.03 mm不等。这些孔洞为岩石中某种成分淋漓溶蚀所致。圆形和长条形孔洞可能为菱脱落或溶蚀所致,菱形孔洞多为白云石溶蚀的结果。上述特征表明,岩石属于交代成因,原岩可能为含生物碎屑灰岩,岩石硅化前曾发生过白云化作用。

3 阴极发光特征分析与实验条件

自1999年崔春龙等首次将阴极发光技术应用到硅质岩的研究后,由于硅质岩自身发光弱的局限性,使硅质岩的阴极发光特征没有得到更进一步的认识^[22-23]。笔者在这一方面进行了尝试,并取得了一些发光较好的图像。结合国内外已取得的阴极发光技术的相关理论知识^[24-25],对这些图像进行解译。

3.1 交代的阴极发光特征

应用阴极发光研究白云化作用,白云化作用是碳酸盐中常见的交代作用之一,主要指灰泥或灰岩中的方解石、文石或高镁方解石被白云石交代的作用。白云化作用必须具备两个条件:¹引起反应的水溶液的Mg/Ca比值必须大于8.4^④要有比岩石(或沉积物)孔隙体积多数千倍的水溶液通过碳酸盐沉积物或岩石。这样才能使原有物质发生白云石化。海水和卤水是白云石化液体的主要类型。其反应式为: $2\text{CaCO}_3 + \text{Mg}^{2+} = \text{CaMg}[\text{CO}_3]_2 + \text{Ca}^{2+}$ 。交代成因的白云石晶粒较粗,晶形较好,多呈半自形或自形。运用常规岩石学方法研究白云岩化比较困难。有些现象难以识别,但应用阴极发光技术,因白云石与方解石的阴极发光特征不同,故很容易判别。又因为白云石交代方解石往往不够彻底,在交代成因的白云石中常保存有方解石的残余^[25-27]。

3.2 实验条件和样品选择

本次阴极发光测试采用Eh-2RX型阴极发光仪,配备长焦距物镜的双筒偏光显微镜及配套显微照相机带自动控制仪。阴极发光测试样品为光薄片,厚度0.03~0.04 mm,两面抛光,环氧树脂粘结,不加盖玻片。照射条件:实验真空度为0.003 mbar束电压为15 kV束电流为170~230微安,曝光时间为20~30分钟,采用了ASA 400的柯达彩色负片胶卷。

4 丁家山组硅质岩阴极发光特征分析

硅质岩的主要矿物为氧化硅矿物:石英、玉髓和蛋白石,大多数硅质岩为隐晶质结构^[28],这种结构使多数硅质岩无法得到阴极图像。通过对近二十多个

光薄片的观察,发现丁家山组的硅质岩为微晶石英,用阴极发光技术能采集到发光较理想的图像,但由于硅质岩自身发光强度较暗,给照相工作带来了一定的困难。

丁家山组硅质岩主要由微晶石英,少量细晶白云石与方解石组成。用混合溶液染色试剂给薄片染色后,白云石矿物不着色,而方解石矿物呈红色(图1)。微晶石英最高为一级灰白干涉色,白云石和方解石均为高级白干涉色(图2)。

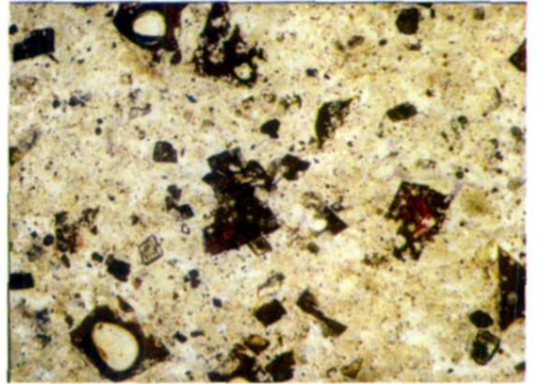


图1 硅质岩,主要为微晶石英,少量细晶白云石与方解石,江山花坟头,丁家山组.单偏光×40

Fig. 1 Chert from the Dingjiashan Formation, Huafentou, Jiangshan. It composes mostly microcrystalline quarts and a few of fine crystalline dolomite and calcite. -, ×40

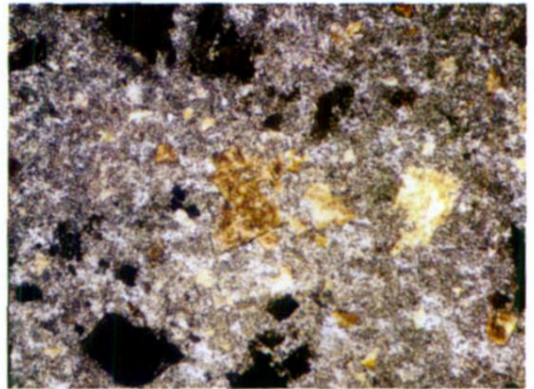


图2 硅质岩.微晶石英最高为一级白干涉色,方解石和白云石为高级白干涉色.江山花坟头,丁家山组.正交偏光×40

Fig. 2 Chert from the Dingjiashan Formation, Huafentou, Jiangshan. The interference color of microcrystalline quarts is first order white, calcite and dolomite is highest order white. +, ×40

在阴极发光照片中方解石发橙黄色光(图3),硅质石英发棕褐色光,白云石在镜下多呈菱形,应呈发朱红色光(发光强度较之方解石弱)阴极发光特征,但由于丁家山组硅质岩中的白云石中大量存在铁类质同象现象——当Fe/Mn值为2.0~10.7时,白云

石的发光十分昏暗; 当 $FeMn$ 值大于 13 时, 白云石近于不发光^[25], 故图 3 中的白云石的阴极发光较暗, 普遍偏黑色。由图 3 中显示了丁家山组硅质岩曾发生白云石作用, 加之白云石交代方解石的不够彻底性, 在交代成因的白云石中常保存有发橙黄色光方解石的残余(图 3)。此外, 本研究还发现较小的白云石菱面体往往镶嵌在较大的菱面体边缘, 说明白云石化的多期性^[29-31]。

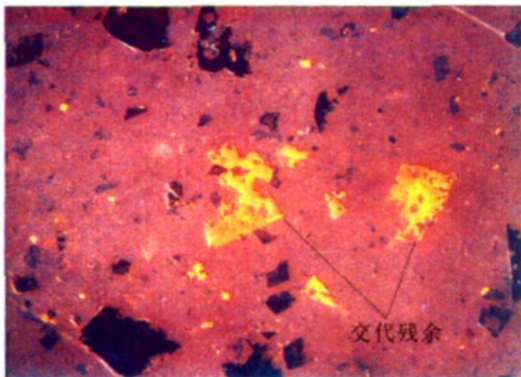


图 3 硅质岩. 方解石残余发橙黄色光, 硅质石英发棕色光, 白云石的阴极发光较硅质石英透明江山花坟头, 丁家山组. 阴极发光 $\times 40$

Fig 3 Chert from the Dingjiashan Formation, Huaifentou, Jiangshan. Calcite exhibit oranges CL color, siliceous quartz exhibit brown, and CL also reveals dolomite is more clarity than siliceous quartz. CL $\times 40$

利用阴极发光技术, 可以获得普通显微镜无法获取的影像信息, 而这些信息进一步确定了丁家山组硅质岩的交代现象: 原来的碳酸盐岩曾发生白云化作用, 后又被硅质的石英所交代, 而形成了图 3 中的交代残余现象。

5 地球化学特征与硅质来源

5.1 主量元素

本区丁家山组硅质岩的化学成分以 SiO_2 为主, 含量为 95.77% ~ 96.62%, 平均 96.28%。(见表 1)。大量统计资料表明, 与海底火山作用密切相关的硅质岩, 其 $\omega(K_2O) / \omega(Na_2O)$ 值小于 1, 而以正常生物化学作用为主的硅质岩该比值远远大于 1^[32,31] (分别为

3.57, 3.49, 2.5)。从该比值来看, 本区硅质岩与海底火山没有非常密切的关系。

硅质岩中 Fe, Mn, Al 等主要元素的含量对于区分热液成因硅质岩与生物成因硅质岩具有重要意义。一般生物成因的硅质岩 SiO_2, P_2O_5, Fe_2O_3 含量高, $Al_2O_3, TiO_2, FeO, MgO, K_2O$ 含量低; 海相火山沉积硅质岩 P_2O_5, K_2O 含量低, TiO_2 含量高; 典型热水沉积硅质岩富 SiO_2 贫 Al_2O_3, TiO_2 ^[34-39]。本区丁家山组 3 个硅质岩样品全部落在正常海水沉积区(图 4)。

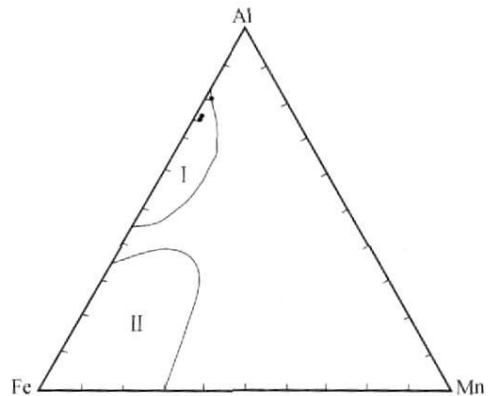


图 4 江山丁家山组硅质岩 Al-Fe-Mn 三角图解 (原图据 M. Adachi et al., 1986)

Fig 4 Al+Fe-Mn diagram for the siliceous rocks in Dingjiashan Formation in Jiangshan
iv - 正常海水沉积区 ⊕ - 热水沉积区

杨建民等^[4]将世界各地的典型硅质岩分为生物成因和火成成因两大类。前者包括生物成因类型和火成成因类型。前者主要由生物及生物化学作用形成, 其成岩温度较低, 成岩环境相对稳定, 成岩物质主要来自地表; 后者主要由火山或热水作用形成, 其成岩温度较高, 成岩环境的构造活动显著, 成岩物质主要来自深部。根据典型硅质岩得出 $Al_2O_3-TiO_2$ 图解。从图 5 中反映的情况来看, 丁家山组硅质岩物质来源主要为地表成因。

5.2 稀土元素

丁家山组硅质岩稀土总量较低 ($17 \times 10^{-6} \sim 27 \times 10^{-6}$) (表 2)。经北美页岩标准化的 REE 分布模式曲线图上, 丁家山组硅质岩曲线形态呈一组近平坦的

表 1 浙江江山丁家山组硅质岩化学成分 ($\omega_B / 10^{-2}$)

Table 1 Chemical compositions of cherts in Dingjiashan Formation in Jiangshan, Zhejiang Province

样品号	Fe_2O_3	FeO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	SiO_2	LOSS	Σ
6	0.17	0.23	0.15	0.042	0.041	0.050	1.73	0.17	0.11	0.025	95.77	1.17	99.658
7	0.16	0.23	0.15	0.043	0.044	0.050	1.65	0.21	0.093	0.025	96.38	0.90	99.935
8	0.029	0.24	0.10	0.040	0.044	0.050	1.71	0.13	0.070	0.025	96.62	0.71	99.768

注: 测试单位为国土资源部江西省中心实验室, 由苏璟测试。

表2 浙江江山丁家山组硅质岩稀土元素含量

Table 2 REE contents of Paleozoic siliceous rocks in Jiangshan, Zhejiang Province

序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ	$\Sigma Ce/\Sigma Y$
6	5.96	7.63	2.76	5.70	0.66	0.44	0.74	0.54	0.70	0.26	0.55	0.48	0.28	0.08	3.30	27	3.35
7	8.56	5.46	2.73	5.05	0.49	0.43	0.58	0.55	0.53	0.25	0.54	0.48	0.24	0.09	4.52	26	2.92
8	7.00	2.87	1.30	3.36	0.09	0.35	0.34	0.36	0.35	0.18	0.15	0.35	0.15	0.11	3.74	17	2.61

曲线,具Ce负异常和Eu正异常。具明显的Tm正异常(图6)。本区交代型硅质岩的显著特点是Tm正异常。

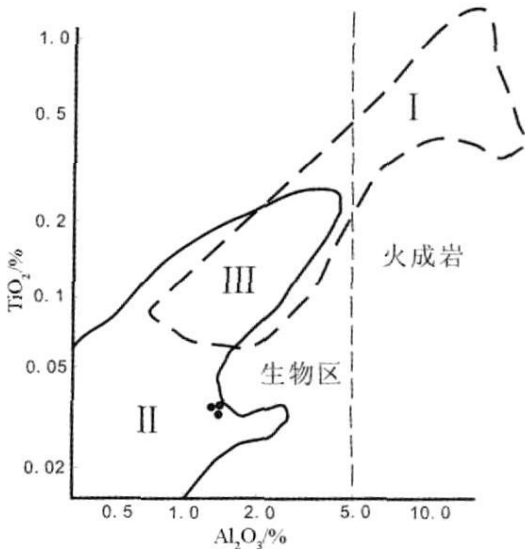


图5 不同成因硅质岩的 $Al_2O_3-TiO_2$ 图解
(原图据杨建民等,1999)

Fig. 5 $Al_2O_3-TiO_2$ diagram of siliceous rock of different genesis

I—火成成因典型硅质岩区(深部来源)

II—生物成因典型硅质岩区(地表来源) III—过渡区

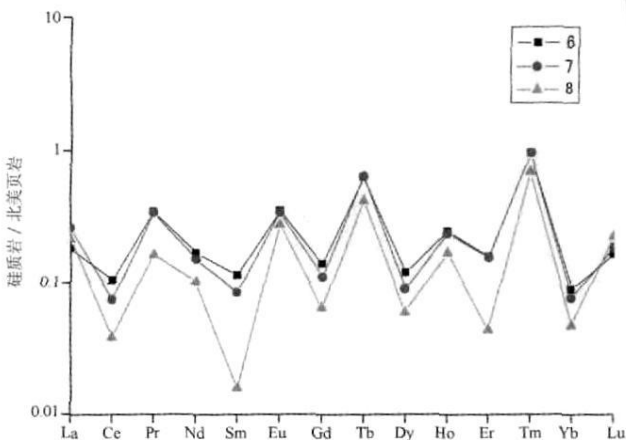


图6 硅质岩经北美页岩标准化后的稀土分布模式图
Fig. 6 NASC-normalized REE patterns of siliceous rock

稀土组成在沉积岩中存在明显的规律性,碳酸盐岩的稀土总量最低,一般低于 100×10^{-6} ,生物灰岩只有 $20 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$,且相对富集重稀土,一般有较明显的Ce亏损。泥质岩的稀土含量最高。一般 $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$,以轻稀土相对富集、Eu中度亏损为特征。本区丁家山组硅质岩稀土组分特征与碳酸盐岩类似,可能是因其与碳酸盐岩具交代继承关系^[40-42]。

6 岩石成因探讨

笔者认为,丁家山组硅质岩的宏观特征、显微结构及阴极发光图像特征均清楚地表现出岩石是硅质交代的产物。就交代型硅质岩来说,岩石成因涉及到二氧化硅来源、交代充填方式、形成阶段以及原岩沉积环境等因素。

浙江江山所处的特定构造环境,加之其地质背景和地质作用的复杂性,各类参数和图解模式的多解性,更确定了任何单一的地球化学判据并不是灵丹妙药,也对我们提出了综合分析的更高层次的要求。本区丁家山组硅质岩各类地球化学参数所得出的判断并不完全一致,但在充分考虑地质背景的基础上,对这些判据进行综合对比分析,我们得出了较为合理的结论。

从常量元素特征分析,本区丁家山组硅质岩的硅质来源于地表,与火山作用或热水沉积无关。硅质岩 $\delta^{18}O$ 28.75‰ (SMOW), 低于晚古生代海相硅质岩 $\delta^{18}O$ 平均值(30.0‰~31.6‰ SMOW)(成都地质矿产研究所,1988),因此二氧化硅可能主要来源于陆源硅胶,由于大气淡水掺合作用,造成 $\delta^{18}O$ 偏低^[43]。这也进一步证明了这一结论。稀土组分特征和阴极发光影像为交代继承关系提供了有力的证明。

本次研究发现较小的白云石菱面体往往镶嵌在较大的菱面体边缘,说明白云石具有多期性。从阴极发光影像分析,浙江江山中二叠世沉积的碳酸盐被硅质交代,且这一过程发生在白云岩化之后,从单偏和正交图像中我们可以看见大量白云石的假象,这也说明了方解石是在酸性条件下被溶解的,这时 SiO_2 易

于沉淀并交代碳酸盐。一般把酸性环境下碳酸盐被硅质交代的解释为早期成岩阶段的产物。

7 结论

(1) 浙江江山地区丁家山组硅质岩的阴极发光特征交代现象表明,岩石属交代成因交代作用发生在成岩早期,岩石硅化前曾发生过白云石化作用。白云石的形成具多期性,原岩可能为含生物碎屑灰岩。

(2) 根据各类沉积地球化学参数所得的结论基本一致,支持正常地下水交代成因说。岩石化学成分特征显示硅质来源于地表,与火山作用或典型热水沉积无关。稀土组分特征与其原岩(碳酸盐岩类)的特征较为相似,是交代继承关系的反映,这一结论也得到了阴极发光技术的进一步证实。

致谢 感谢中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题(GRm0508)的支持;感谢中国石油勘探开发研究院实验研究中心崔京钢高级工程师拍摄硅质岩阴极发光图像。

参考文献 (References)

- Murray Richard W, *et al*. Inter-oceanic variation in the rare earth major and trace elements depositional chemistry of chert: perspectives gained from the DSDP and ODP record [J]. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 1992, 58: 1897-1913
- 冯彩霞, 刘家军. 硅质岩的研究现状及其成矿意义 [J]. *世界地质*, 2001, 20(6): 119-123 [Feng Caixia, Liu Jiajun. The current research status and mineralization significance of cherts [J]. *World Geology*, 2001, 20(6): 119-123]
- 唐世荣, 王东安. 硅质岩研究的进展 [J]. *地球科学进展*, 1994, 9(6): 71-74 [Tang Shirong, Wang Dong'an. Advances in chert research [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1994, 9(6): 71-74]
- 杨建民, 王登红, 毛景文, 等. 硅质岩石化学研究方法及其在“镜铁山式”铁矿床中的应用 [J]. *岩石矿物学杂志*, 1999, 18(2): 108-120 [Yang Jianmin, Wang Denghong, Mao Jingwen, *et al*. The petrochemical research method for silicalite and its application to the Jingtishan type iron deposits [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1999, 18(2): 108-120]
- Calvert S E. Sedimentary geochemistry of silicon [C] // *Aston S R. ed. Silicon Geochemistry and Biogeochemistry*, 1983: 143-170
- 涂光炽. 本世纪 80 年代地球科学若干问题进展 [J]. *地质评论*, 1990, 36(6): 510-517 [Tu Guangzhi. Advances in several problems on earth sciences in the 1980s [J]. *Geological Review*, 1990, 36(6): 510-517]
- 刘家军, 郑明华. 硅质岩的新成因——热水沉积作用 [J]. *四川地质学报*, 1991, 11(4): 251-254 [Liu Jiajun, Zheng Minghua. A new genesis of cherts-hydrothermal sedimentation [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1991, 11(4): 251-254]
- 杨吉, 李英. 秦岭泥盆系硅质岩石类型对比研究 [J]. *吉林大学学报*, 2002, 32(4): 325-328 [Yang Ji, Li Ying. Discussion of siliceous rock types by comparison in Devonian system of Qinling Mountains [J]. *Journal of Jilin University*, 2002, 32(4): 325-328]
- 李文恒. 论江西“鸣山层” [J]. *地质科学*, 1975(1): 49-55 [Li Wenheng. On the Mingshan bed of Jiangxi province [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1975(1): 49-55]
- 李文恒. 一种硅质岩成因的初步探讨 [J]. *地质论评*, 1980, 26(5): 442-445 [Li Wenheng. Preliminary study of the origin of a type of siliceous rock [J]. *Geological Review*, 1980, 26(5): 442-445]
- 郭福生. 江山地质概论及区域地质调查实习指导书 [M]. 华东地质学院, 2001, 3: 13-23 [Guo Fusheng. A Practical Guide Book of Jiangshan Geological Conspectus and Regional Geological Survey [M]. East China College of Geology, 2001, 3: 13-23]
- 何海清. 浙江省栖霞组沉积微相、旋回、沉积环境及其演化规律 [J]. *沉积学报*, 1996, 14: 75-83 [He Haiqing. Depositional microfacies, cycles, sedimentary environment and evolution of the Qixia Formation in Zhejiang Province, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14: 75-83]
- 郭福生. 浙江江山晚古生代岩相古地理及其构造控制 [J]. *岩相古地理*, 1993, 16(6): 44-52 [Guo Fusheng. Late Palaeozoic sedimentary facies and paleogeography and their tectonic controls in Jiangshan, Zhejiang [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1993, 16(6): 44-52]
- 李双应, 岳书仓. 安徽巢湖二叠系栖霞组碳酸盐岩斜坡沉积 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(1): 7-12 [Li Shuangying, Yue Shucang. Sedimentation on a carbonate slope of Permian Qixia Formation in Chaohu Region, Anhui [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(1): 7-12]
- Kanetaka M, Takebe M, Nagai H, *et al*. Sedimentary environments of the Middle Permian phosphorite-chert complex from the northeastern Yangtze platform, China: the Gufeng Formation: a continental shelf radiolarian chert [J]. *Sedimentary Geology*, 2005, 174: 197-222
- 颜佳新, 夏琼霞, Carlson E H. 华南栖霞组菊花石假象内正延性玉髓的成因及其地质意义 [J]. *沉积学报*, 2001, 19(3): 444-448 [Yan Jiaxin, Xia Qiongxia, Ernest H Carlson. Length-slow chalcedony in chrysanthemum stone of Chixia Formation, South China and its geological implications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3): 444-448]
- 江纳言, 贾蓉芬, 王子玉, 等. 下扬子区二叠纪古地理和地球化学环境 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 1-206 [Jiang Nayan, Jia Rongfen, Wang Ziyu, *et al*. Palaeogeography and Geochemistry Environment of Permian in Lower Yangtze Area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 1-206]
- 杨玉卿, 冯增昭. 华南下二叠统层状硅质岩的形成及意义 [J]. *岩石学报*, 1997, 13(1): 111-120 [Yang Yuqing, Feng Zengzhao. Formation and significance of the bedded siliceous rocks of the Lower Permian in South China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1997, 13(1): 111-120]
- 盛吉虎, 陈中新. 硅质岩沉积地球化学研究现状 [J]. *地域研究与开发*, 1998, 17(1): 117-121 [Sheng Jihu, Chen Zhongxin. Progress

- on studying sedimentary geochemistry of siliceous rocks [J]. *Area Research and Development* 1998, 17(1): 117-121]
- 20 郭福生. 浙江江山石炭纪和二叠纪沉积相 [J]. 华东地质学院学报, 1990, 13(4): 57-65 [Guo Fusheng. Sedimentary facies of the Carboniferous and Permian in Jinhangshan [J]. *Journal of East China College of Geology*, 1990, 13(4): 57-65]
- 21 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989: 105-121 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. *Regional Geology of Zhejiang Province* [M]. Beijing Geological Publishing House, 1989, 105-121]
- 22 崔春龙, 曾允孚. 滇西昌宁——孟连带硅质岩的阴极发光特征及其意义 [J]. 矿物岩石, 1999, 19(3): 37-40 [Cui Chunlong, Zeng Yunfu. Characteristics and significance of cathodoluminescence of siliceous rocks in Changning-Menglian Belt, Southwestern Yunnan [J]. *Mineral Petrology*, 1999, 19(3): 37-40]
- 23 崔春龙. 硅质岩研究中的若干问题 [J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 100-104 [Cui Chunlong. Some problems in the study of the siliceous rock [J]. *Mineral Petrology*, 2001, 21(3): 100-104]
- 24 徐惠芬, 崔京钢, 邱小平, 编. 阴极发光技术在岩石学和矿床学中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2006 [Xu Huifen, Cui Jingang, Qiu Xiaoping. *Application of Cathodoluminescence Technology to Petrology and Ore Deposit* [M]. Beijing Geological Publishing House, 2006]
- 25 陈丽华, 郭舜玲, 王衍琦, 等著. 自生矿物显微荧光阴极发光 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994, 5: 298-328 [Chen Lihua, Guo Shuling, Wang Yanqi *et al*. *Microscopic Fluorescence and Cathodoluminescence of Authigenic Mineral* [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1994, 5: 298-328]
- 26 宋志敏. 阴极发光地质学基础 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993 [Song Zhiming. *Cathodoluminescence of Geological Basis* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993]
- 27 Marshall D J. Cathodoluminescence of Geological Materials [M]. Academic Division of Unwin Hyman Ltd, 1988
- 28 刘宝瑞. 沉积岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1980: 130-135 [Liu Baorui. *Sedimentary Petrology* [M]. Beijing Geological Publishing House, 1980: 130-135]
- 29 颜佳新. 华南地区二叠纪栖霞组碳酸盐岩成因研究及其地质意义 [J]. 沉积学报, 2004, 22(4): 579-587 [Yan Jiaxin. Origin of Permian Chhsian carbonates from South China and its geological implications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(4): 579-587]
- 30 沙庆安, 吴望始, 傅家谟. 黔桂地区二叠系综合研究——兼论含油气性 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-215 [Sha Qing'an, Wu Wangshi, Fu Jianmo. *Comprehensive Research on Permian in Guizhou-Guangxi Area and Its Petroleum Potential* [M]. Beijing Science Press, 1990: 1-215]
- 31 刘新宇, 颜佳新. 华南地区二叠纪栖霞组缝石结核成因研究及其地质意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 730-736 [Liu Xinyu, Yan Jiaxin. Nodular chert of the Permian Chhsian Formation from South China and its geological implications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(5): 730-736]
- 32 雷卞军, 阙洪培, 胡宁, 等. 鄂西古生代硅质岩的地球化学特征及沉积环境 [J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 70-79 [Lei Bianjun, Que Hongpei, Hu Ning *et al*. Geochemistry and sedimentary environments of the Paleozoic siliceous rocks in the western Hubei [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2002, 22(2): 70-79]
- 33 王东安. 扬子地台晚元古代以来硅岩地球化学特征及其成因 [J]. 地球科学, 1994, 29(1): 41-52 [Wang Dong'an. Geochemical characteristics and origin of silicalite of Yangtze Platform since Lower Proterozoic [J]. *Earth Science*, 1994, 29(1): 41-52]
- 34 冯彩霞, 刘家军, 刘水焱, 等. 渔塘坝硒矿硅质岩的地球化学特征及成因 [J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 727-732 [Feng Caixia, Liu Jiajun, Liu Shuiyan, *et al*. The geochemistry and genesis of siliceous rocks of selenium diggings in Yutangba [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 727-732]
- 35 潘家永, 张乾, 马东升, 等. 滇西羊拉铜矿区硅质岩特征及与成矿的关系 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 31(1): 10-16 [Pan Jiayong, Zhang Qian, Ma Dongsheng *et al*. The cherts characteristics of Yangla Copper Ore Field and relation to the mineralization in western Yunnan [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 31(1): 10-16]
- 36 温汉捷, 裴渝卓, 凌宏文, 等. 中国早古生代若干高硒黑色岩系中层状硅质岩的地球化学特征及其成因意义 [J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 619-626 [Wen Hanjie, Qin Yuzhuo, Lin Hongwen *et al*. Geochemistry and genesis of bedded cherts in some typical Eopaleozoic high selenium black shales, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(4): 619-626]
- 37 彭军, 伊海生, 夏文杰. 湘黔桂地区晚前寒武纪层状硅质岩地球化学特征及成因 [J]. 地质地球化学, 1999, 27(4): 33-39 [Peng Jun, Yi Haisheng, Xia Wenjie. Origin and geochemical characteristics of Late Precambrian Bedded silicalites in Hunan, Guizhou and Guangxi [J]. *Geology-Geochemistry*, 1999, 27(4): 33-39]
- 38 冯胜斌, 周洪瑞, 燕长海, 等. 东秦岭二郎坪群硅质岩热水沉积地球化学特征及其地质意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 564-573 [Feng Shengbin, Zhou Hongrui, Yan Changhai *et al*. Geochemical characteristics of hydrothermal cherts of Erlangping Group in East Qinling and their geological significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(4): 564-573]
- 39 王卓卓, 陈代钊, 汪建国. 广西南宁地区泥盆系硅质岩地球化学特征及沉积环境 [J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 239-245 [Wang Zhuozhuo, Chen Daizhao, Wang Jianguo. Element geochemistry and depositional setting of the chert in Devonian Nanning Area, Guangxi [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(4): 239-245]
- 40 郭福生, 林子瑜, 杜杨松, 等. 一种特殊类型硅质岩的特征与成因研究 [J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 573-581 [Guo Fusheng, Lin Zhiyu, Du Yangsong *et al*. On the characteristics and origin of a peculiar type of siliceous rock [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4): 573-581]
- 41 郭福生. 浙江江山藕塘底组陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征及其构造意义 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 136-141 [Guo Fusheng. Characteristics and tectonic significance of Mixing sediments of siliciclastics and carbonate of Outangdi Formation in Jiangshan, Zhejiang Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 136-141]

- 42 李军, 桑树勋, 林会喜, 等. 渤海湾盆地石炭二叠系稀土元素特征及其地质意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 589-596 [Li Jun Sang Shuxun Lin Huixi *et al.* REE characteristics and its geological significance of the Permian-Carboniferous in Bohaiwan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(4): 589-596]
- 43 郭福生. 浙江江山古生代沉积演化及其构造控制 [D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2004 [Guo Fusheng Palaeozoic sedimentary evolution and their tectonic controls in Jiangshan, Zhejiang [D]. Doctoral Dissertation of China University of Geosciences Beijing 2004]

Origin of Bedded Chert from Dingjiashan Formation in Jiangshan Region, Zhejiang Province: evidence from cathodoluminescence

CAO Qiu-xiang^{1,2} GUO Fu-sheng^{1,2} LIU Xiang-tong¹ DU Yang-song²

YAN Zhao-bin^{1,2} ZHANG Song¹ SUN Wen-jie³

(1 School of Geoscience and Survey Engineering East China Institute of Technology Fuzhou Jiangxi 344000;

2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources China University of Geosciences Wuhan 430074;

3 Geological Team, Shandong Bureau of Coalfield Geology Tai'an Shandong 271000)

Abstract The Dingjiashan Formation of the Middle Permian in Jiangshan, Zhejiang Province is composed of the black lamellar and bedded cherts, siliceous siltstone and siltstone intercalated with micrite. The black bedded cherts are characterized by high SiO_2 , rich in Al_2O_3 and Fe_2O_3 , low TiO_2 and MnO , low REE values, Ce deficiency and positive anomaly Tm value. The characteristics of cathodoluminescence and lithology have proved that these siliceous rocks were originated by replacement of sedimentary carbonates, such as bioclastic limestone, dolomitization were took place before silification. The chemical analysis data demonstrate that siliceous matter came from the normal under water and continental silica gel, not from hydrothermal or volcanic silicon.

Keywords chert, sedimentary geochemistry, cathodoluminescence, middle Permian