

# 桂西地区乐平统合山组底部海绵骨针硅质岩的发现及古环境意义

欧莉华<sup>1</sup> 伊海生<sup>1</sup> 王 刚<sup>2</sup> 钱利军<sup>1</sup> 胡 旭<sup>1</sup>

(1.成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2.成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**桂西地区乐平统合山组底部广泛发育层状硅质岩沉积, 硅质岩成层性好, 侧向延伸稳定, 层面平整。通过平果县太平镇山营村北、新圩村北及东兰县 3 条野外剖面的实测、硅质岩样品室内镜下鉴定及稀土元素分析, 发现: 硅质岩中含丰富的海绵骨针、有孔虫、藻类等化石, 化石保存完整; 稀土元素特征显示硅质岩稀土总量低, 与海水相似, 轻稀土略有亏损, 但 Ce 负异常不明显。根据稀土元素及硅质岩生物组合的特征, 判断合山组底部的硅质岩形成于滨浅海环境, 属相对封闭的大陆边缘环境, 同时受到了淡水和海水的影响, 主要通过混合水带硅化机理形成, 基本没有火山和热液的影响。硅质岩的出现表明由于海侵作用桂西地区水体深度增大, 尤其是新圩村剖面位置, 广泛台地被海水淹没, 海水较洁净, 适合海绵、有孔虫、腕足、腹足等生物繁殖, 因而发育了硅质岩及灰岩。

**关键词:**桂西地区; 上二叠统; 硅质岩; 海绵骨针; 稀土元素

**中图分类号:** P534.46 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)05-1280-10

## 1 引言

广西地区乐平统合山组广泛发育条带状、透镜状、结核状及层状硅质岩。很多学者对这些硅质岩进行了较深入的研究, 并对其成因进行了探讨。沙庆安等<sup>[1]</sup>和冯增昭等<sup>[2]</sup>认为合山组硅质岩主要由沉积作用形成, 受控于早期成岩交代作用, 组成硅质岩的原生钙质生物及泥质、钙质基质被硅质生物所分解的流体交代。黄凤鸣等<sup>[3]</sup>研究了桂中合山煤田主采 4 煤层底板海绵骨针硅质岩, 并认为海绵骨针硅质岩的沉积环境为浅水滨岸环境。而杨振宇等<sup>[4]</sup>对桂中来宾来滩剖面中、上二叠统界线上下硅质岩进行详细的研究后, 认为硅质岩的硅质来源除了硅质生物的溶解外, 还应具有火山成因的  $\text{SiO}_2$ , 这与晚二叠世峨眉山玄武岩的喷发有关。邱振和王清晨<sup>[5-6]</sup>对桂中及桂西地区乐平统的硅质岩做了分析, 发现桂中来宾地区硅质岩成因与海底热液活动有关; 而桂

西地区硅质岩以生物成因为主, 形成于受陆源碎屑影响的大陆边缘沉积环境, 没有受到明显热液活动的影响, 其沉积水体为氧化条件(局部为贫氧条件)。综合前人对广西地区硅质岩的研究成果, 认为硅质岩的成因及其沉积环境具有较大争议。

在新近的野外地质调查中, 观测到乐平统合山组底部煤层之上普遍发育曾创硅质岩, 并实测了平果县太平镇山营村北、新圩村北及东兰县 3 条野外剖面。本文通过 3 条剖面的硅质岩岩石学特征及稀土元素地球化学特征的分析, 对其成因及其沉积环境进行了较深入的探讨。

## 2 地质背景与野外剖面特征

中二叠世末期的东吴运动第一幕造成广西南部的钦州盆地(钦—防残留海槽)关闭之后, 广西地区海盆差异性升降活动加剧, 形成地貌差异悬殊、沉积分异明显的“盆包台”的古地理格局<sup>[1,7,8]</sup>, 隆升出了北

收稿日期: 2012-03-30; 改回日期: 2012-06-18

基金项目: 中国地质调查局项目“扬子东南缘中生代盆地充填序列与构造成矿事件研究”(1212011085415)和“十二五”国家科技支撑计划项目“广西田林—大新地区锰矿沉积地质特征研究”(2011BAB04B10)共同资助。

作者简介: 欧莉华, 女, 1982 年生, 博士生, 沉积学专业; E-mail: olh886@sina.com。

部的江南古陆、西部的康滇古陆、东南部的云开古陆和南部的大新古岛<sup>[2,9]</sup>。沿康滇古陆东侧、云开古陆西侧发育呈 NE 向带状展布的陆相-滨岸相碎屑沉积;沿防城—小董华力西褶皱带有酸性岩侵入;同时原广阔的台地区区域性抬升、暴露、剥蚀风化,形成了区域性的构造运动不整合面<sup>[1,2,7,9,10]</sup>。

乐平世早期海侵开始,广西地区进入了裂陷盆地与陆源碎屑盆地复合发展的阶段。NE 向深水盆地由于受云开古陆的隆升和钦防海槽的关闭而向西迁移;NE 向半深水盆地则明显扩张变深,演化为深水盆地。盆地内普遍发育火山碎屑浊积岩、火山岩及硅泥质岩的组合沉积。在台地边缘发育生物礁、滩,滩后陆棚则形成铝土岩、铝土质粘土岩、泥质岩、硅质岩、凝灰质砂泥岩、含炭灰泥岩、生物屑粒泥岩夹煤、黄铁矿的岩石组合<sup>[9,11]</sup>。

本次研究的平果县太平镇的两条剖面位于百色台地,靠近大新古岛;东兰剖面则位于东兰孤立台地

(图 1)。太平镇两条剖面底部均为中二叠统茅口组灰岩,含大量化石,灰岩顶部风化严重,风化面之上发育层状、复层状,具鲕状、豆状结构的铝土岩。向上为两套煤层夹一层铝土岩,上部煤层之上通常发育厚度小于 40 cm 的土黄色钙质粉砂岩,粉砂岩其上为硅质岩及硅质灰岩沉积。硅质岩为灰色、深灰色,呈中薄层状,单层厚度 5~20 cm,层面平整,侧向延伸稳定。硅质岩之上以碳酸盐岩沉积为主,夹薄层硅质岩、硅质条带及硅质结核(图 2)。山营村北剖面中的硅质岩具丰富的化石,有腹足、腕足、有孔虫等;而新圩村北剖面中的硅质岩未见肉眼能识别的化石。

东兰剖面位于东兰县畜牧场北约 1.5 km 公路旁,由于露头较差及公路和建筑覆盖,未见底部的铝土岩层,只见有较多的铝土岩转石。可见到在煤层之上发育了硅质岩与粉砂质泥岩、泥岩互层。硅质岩呈中薄层状,单层厚 5~25 cm,深灰色,含较多的腕足、有孔虫等化石;泥岩为土黄色、灰绿色和紫红色,薄

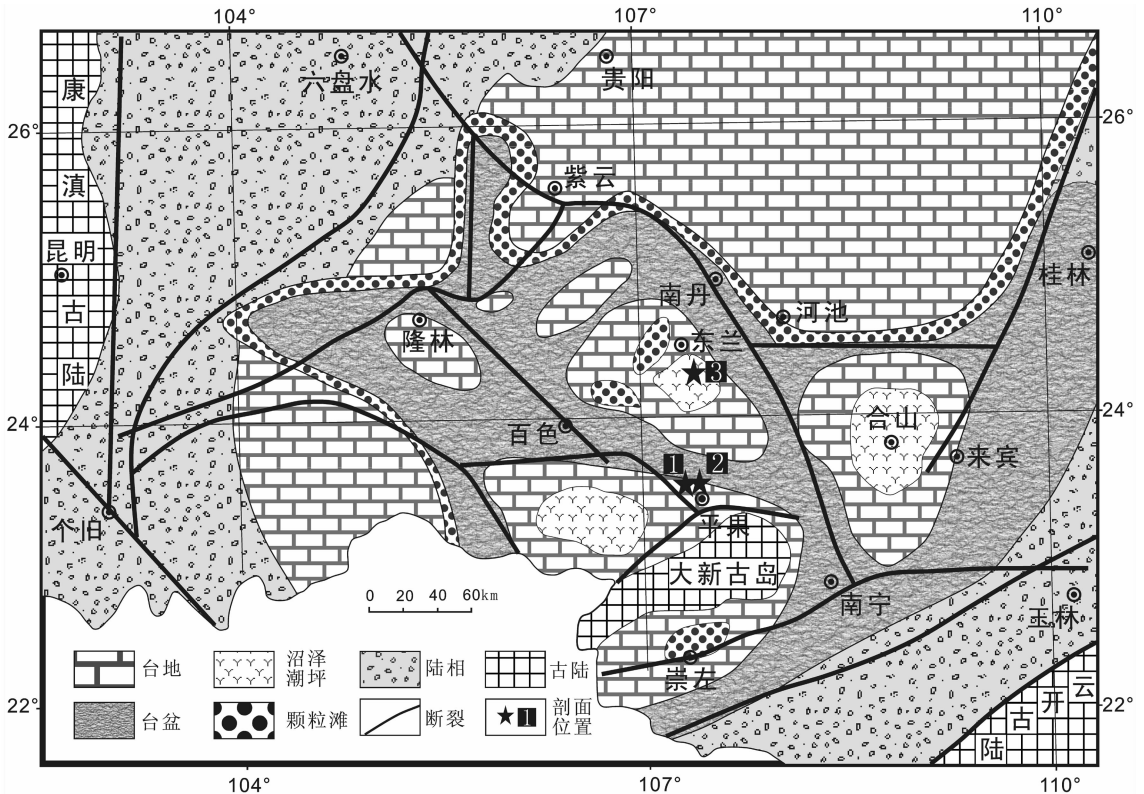


图 1 乐平世黔桂地区古地理图及剖面位置(据参考文献[6]修改)

1—平果县太平镇山营村北剖面;2—平果县太平镇新圩村北剖面;3—东兰剖面

Fig.1 Paleogeographic map of Lopingian Qian-Gui area and profile position (modified after reference[6])

1—Profile of northern Shanying Village, Taiping Town, Pingguo County; 2—Profile of northern Xinxu Village, Taiping Town, Pingguo County; 3—Donglan profile

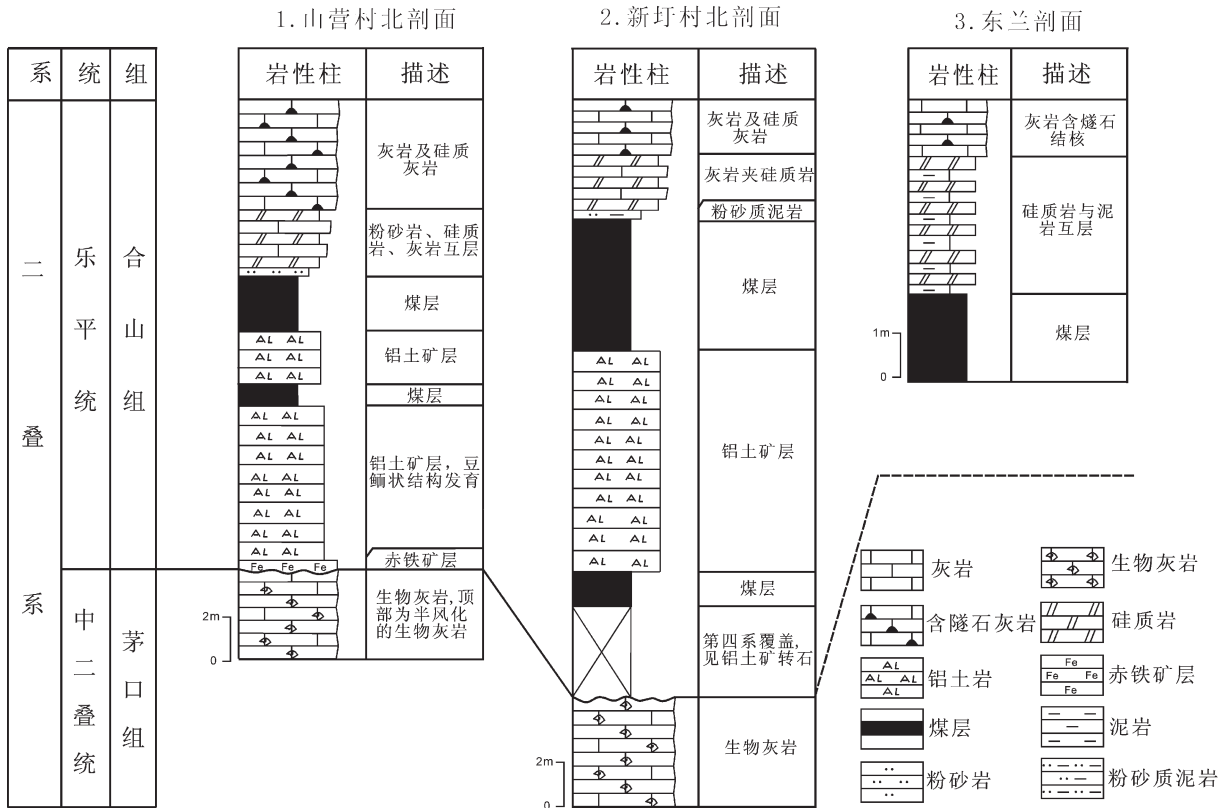


图2 平果县山营村北剖面、平果县新圩村北剖面及东兰县畜牧场剖面岩性柱  
 Fig.2 Lithologic column for the profiles of Shanying Village, Taiping Town, Pingguo County;  
 northern Xintu Village, Taiping Town, Pingguo County; and Donglan

层状。之上为碳酸盐岩沉积(图2)。

### 3 海绵骨针硅质岩的岩石学特征

室内在显微镜下对采自野外剖面的硅质岩进行观察,硅质岩主要由微晶石英和玉髓组成,硅质含量大于70%,其他矿物成分有粘土矿物、碳酸盐矿物及铁质矿物,基质主要为硅质成分。硅质岩中均含有丰富的化石,可见硅质海绵骨针,有孔虫、腕足、腹足、介形虫等钙质生物及藻类化石,但均已硅化(图3)。镜下还可以发现,硅质岩的基质、有孔虫、腕足、腹足、介形虫等钙质生物及藻类等化石均是主要由微晶石英组成,海绵骨针基本上由玉髓构成,腹足壳体内腔也被玉髓充填,显示海绵骨针可能为直接生物成因,生物壳内腔为直接沉淀形成,而其他化石为交代形成。

山营村北剖面的硅质岩中硅质海绵骨针含量小于10%,多为单轴双射型骨针,少数为二轴针。有孔虫最为丰富,并含较多藻类、腹足、腕足等化石,化石

保存完整。经镜下观察发现,硅质海绵骨针杂乱堆积,无定向性,显示原地快速堆积的特征(图3-A)。东兰剖面中的硅质岩中含较多的有孔虫化石,硅质海绵骨针较少,含量约为10%,可见海绵骨板(图3-B),其硅质海绵骨针杂乱堆积,与山营村北剖面的硅质岩特征相似。新圩村北剖面的硅质岩中含有大量的硅质海绵骨针,含量达60%以上,多为单轴双射型骨针,骨针两端的“射”在镜下较清晰(图3-C),同时可见少量被硅化的藻类及有孔虫。经镜下观察发现,该剖面硅质岩中的硅质海绵骨针具有定向性,但海绵骨针保存完整,破碎现象少见,说明其搬运距离较近,为原地或近原地沉积的产物,说明海绵骨针沉积时水体能量相对较低,因此认为该剖面中的硅质岩可能为相对局限能量较低的沉积环境的产物。

### 4 海绵骨针硅质岩的稀土元素地球化学特征

选取未被风化的样品,研磨至200目,取重量约

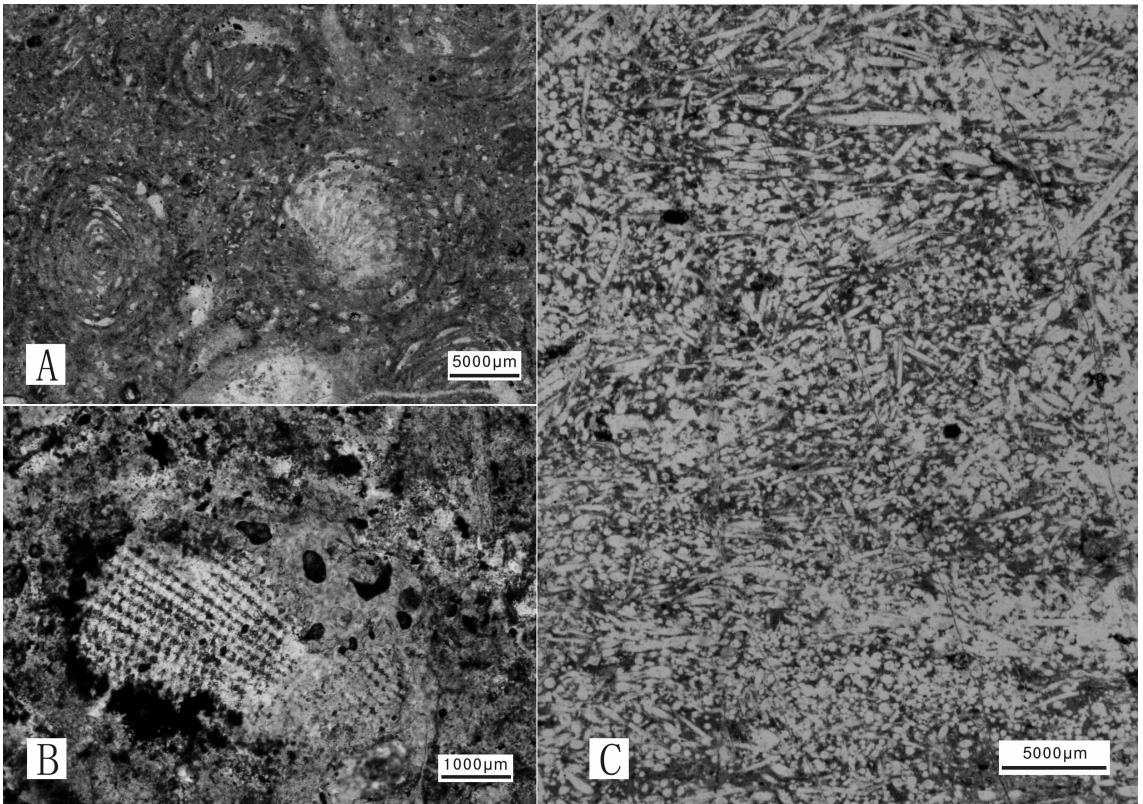


图 3 硅质岩镜下特征

A—山营村北剖面层状硅质岩中的有孔虫化石,化石保存完整,单偏光;B—东兰剖面层状硅质岩中的硅质海绵骨板,单偏光;C—新圩村北剖面硅质岩中含丰富的海绵骨针,海绵骨针排列具有弱的定向性,单偏光

Fig.3 Microscopic features of the chert of this paper

A—Foraminiferas in chert of Shanying Village section, preserved completely; B—Sponge bone plate in chert of Donglan section; C—Chert in Xinxu Village section, rich in sponge spicules, with the spicules showing weak-orientation

1 g 的粉末,在成都理工大学核技术与自动化学院 ICP-MS 实验室利用 PE 公司的 Elan DRC-e 仪器,采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法对本文中 新圩村北剖面和东兰剖面的硅质岩进行了稀土元素测试,测试结果及相关参数如表 1 所示。

硅质岩稀土元素组成总量( $\Sigma$ REE)偏低,分别为  $10.92 \times 10^{-6}$  g/g 和  $23.927 \times 10^{-6}$  g/g,明显低于北美页岩(173.21)的稀土元素总量,与海水的  $\Sigma$ REE 相当。LREE/HREE 分别为 4.645 和 4.849,  $\delta$  Ce ( $\delta$  Ce =  $Ce_n/Ce^*$ ,  $Ce^* = 0.5 \times (La+Pr)_N$ , N 为北美页岩标准化值)分别为 0.817 和 0.842,呈弱负异常,  $(La/Ce)_N$  分别为 1.006 和 1.03,  $(La/Yb)_N$  分别为 0.488 和 0.487;  $\delta$  Eu 分别为 1.10 和 1.03,接近于 1,呈弱的正异常。图 4 为硅质岩样品及北大西洋深层海水、太平洋 100 m 深海水<sup>[12-14]</sup>稀土元素标准化配分模式图。根据研究区硅质岩样品与海水稀土元素

的配分模式的对比,研究区硅质岩样品曲线均为幅度较小的左倾,轻稀土略有亏损;硅质岩样品具有弱负 Ce 异常,而正常海水具明显的 Ce 负异常,说明硅质岩的稀土元素组成与正常海水不同。

## 5 讨论

### 5.1 海绵骨针硅质岩沉积环境

硅质岩的稀土元素很少受成岩作用的影响,其稀土元素总量可以反映硅质岩沉积时水化学条件及组成硅质岩的生物稀土元素特征<sup>[15-16]</sup>,因而硅质岩的稀土元素可以用来恢复古海水环境。海水中稀土元素的变化主要受陆源碎屑和扩张洋脊物质的稀土元素组成的影响。河流中水体的 Ce 不存在明显的正、负异常,因而受河流影响的陆架位置的水体没有明显的 Ce 负异常;大洋中部具氧化环境的水体可以将  $Ce^{3+}$  氧化成为  $Ce^{4+}$ ,以  $CeO_2$  的形式从溶液中沉淀

表 1 硅质岩和正常海水的稀土元素组成 ( $\mu\text{g/g}$ )  
 Table 1 REE compositions of chert of this paper and normal seawater

样品	新圩村北剖面硅质岩	东兰剖面硅质岩	北大西洋深层海水 (11 个样品平均)	太平洋 100m 深海水 (距迭戈西约 15km)
La	1.692	3.91	3.4	2.9
Ce	3.836	8.634	1.2	1.3
Pr	0.599	1.255	0.64	0.64
Nd	2.14	4.151	2.8	2.3
Sm	0.584	1.208	0.45	0.42
Eu	0.134	0.264	0.13	0.114
Gd	0.485	1.044	0.7	0.6
Tb	0.103	0.21	0.14	--
Dy	0.595	1.136	0.91	0.73
Ho	0.095	0.202	0.22	0.22
Er	0.22	0.56	0.87	0.61
Tm	0.049	0.101	0.17	0.13
Yb	0.336	0.645	0.82	0.52
Lu	0.052	0.107	0.15	0.12
$\Sigma$ REE	10.92	23.427	25.9	10.604
LREE/HREE	4.645	4.849	2.166	2.619
$\delta$ Ce	0.817	0.842	0.176	0.208
$(\text{La/Ce})_N$	1.006	1.033	6.464	5.089
$(\text{La/Yb})_N$	0.488	0.587	0.402	0.54
$\delta$ Eu	1.104	1.032	0.982	0.973

注:北大西洋深层海水(11 个样品平均)数值据参考文献[12];太平洋 100 m 深海水(距迭戈西约 15 km)数值据参考文献[13],引自参考文献[14]。

出来,而导致水体具明显的 Ce 负异常;靠近扩张洋脊的海水受洋脊金属热液的强烈影响,热液中的铁和锰等微粒物质从海水中吸收大量的 Ce 而导致此处海水的 Ce 负异常比其他任何地方都强<sup>[17-18]</sup>。

沉积物获取稀土的主要途径是从海水中直接吸收,其次是沉积物在埋藏之前从底层海水或孔隙水中沉淀出来而被沉积物所吸收<sup>[16]</sup>,因而不同沉积环境的沉积物稀土元素特征能反映出其沉积水体的特征。处于大陆边缘沉积环境,陆源碎屑供应多,沉积速率高,沉积物接触海水的时间短,从海水中吸附的稀土元素少,稀土总量低,因此沉积物的稀土主要靠生物的吸收获取;洋盆内的沉积物与海水接触时间长,所以稀土元素特征与大洋中部海水稀土元素的特征相似,具明显的 Ce 负异常;而靠近大洋中脊的沉积物则表现出更强烈的 Ce 负异常<sup>[17]</sup>。Shimizu and Masuda<sup>[19]</sup>的研究同样发现深海燧石具明显的 Ce

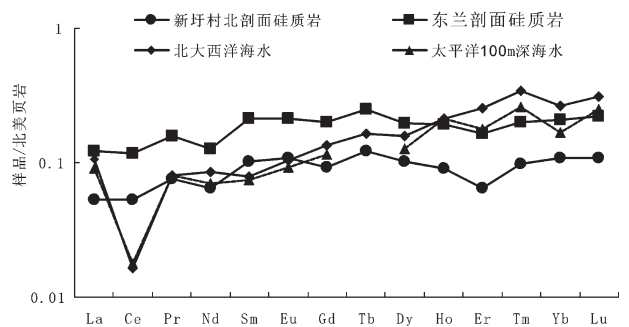


图 4 硅质岩与海水的稀土元素配分模式图  
 Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns of the chert of this paper and normal seawater

负异常,而在大陆架上形成的燧石则没有 Ce 负异常,因此认为,Ce 在开阔大洋的海水中亏损,而不是在浅海海水中亏损。

用来有效判别硅质岩形成环境的参数主要有  $\delta Ce$  及  $(La/Ce)_N$ 、 $(La/Yb)_N$  比值。由于沉积环境的影响, Ce 常出现异常化学行为而与其他稀土元素发生分离, 使稀土元素组成中出现 Ce 的明显亏损或富集; 对于沉积岩, Ce 异常可以反映沉积物是生物成因或是化学成因<sup>[14]</sup>。大洋海水 Ce 普遍为 Ce 负异常, 仅在一些相对封闭的海水中 Ce 正常, 如黑海海水则未发现 Ce 异常; 加勒比燧石与太平洋燧石相比较 Ce 亏损较小, 同样反映了加勒比海域被岛链包围的特点<sup>[14,17]</sup>。而 Murray 等<sup>[17,20]</sup>基于对加利福尼亚海岸早侏罗世至早白垩世硅质岩中 Ce 异常的研究, 提出形成于扩张洋脊附近(大约 120 km 以内)的硅质岩  $\delta Ce$  为 0.22~0.38(平均值为 0.30), 轻稀土明显亏损,  $(La/Ce)_N \geq 3.5$ ,  $(La/Yb)_N$  平均值只有 0.3 左右; 大陆边缘形成的硅质岩  $\delta Ce$  为 0.67~1.35(平均值为 1.09), 轻、重稀土没有分异,  $(La/Ce)_N \approx 1$ ,  $(La/Yb)_N$  平均值为 1.1~1.4; 洋盆内的硅质岩  $\delta Ce$  为 0.50~0.76(平均值为 0.55), 轻稀土具明显的亏损,  $(La/Ce)_N$  为 2~3,  $(La/Yb)_N$  介于扩张洋脊硅质岩和大陆边缘硅质岩  $(La/Yb)_N$  值之间(图 5)。

研究区的硅质岩稀土元素总量低, 表明其沉积速率快, 与海水接触的时间短。稀土元素组成与海水的稀土元素组成除 Ce 负异常程度不同外, 其他元素组成相似, 表明硅质岩的沉积环境为相对缺氧的弱还原环境, 与广海的氧化环境明显不同。研究区硅质岩  $\delta Ce$  为 0.817 和 0.842,  $(La/Ce)_N \approx 1$ , 表明其形成于大陆边缘沉积环境, 受到了河流的影响; 而  $(La/Yb)_N$  为 0.402 和 0.54, 对应为大洋盆地沉积环境, 这表明硅质岩虽形成于大陆边缘沉积环境, 但受到了广海海水的影响。

研究区硅质岩中含有较丰富的化石, 其主要为局限型生物, 广海型生物较少, 化石均保存完整, 显示水体能量较弱的特征, 为原地或近原地沉积; 岩石中含较多黄铁矿, 也显示为还原或弱还原环境, 与稀土元素特征一致。海绵骨针是岩石中最特征的化石, 其形态和类型能反映沉积环境特征。海绵动物营固着底栖生活, 需洁净水体, 弱动荡或中等动荡, 不能忍受粉砂的覆盖<sup>[21]</sup>。钙质海绵动物主要生活在水深小于 100m 的范围之内, 但从滨海至深水都有分布。普通海绵有硅质和钙质两种类型, 分布于滨海至半深海。六射海绵全为硅质, 主要生活于大陆斜坡及其以下的深海底, 少数发现于 90 m 至 200 m 水深的

范围内<sup>[21-23]</sup>。一般认为硅质海绵发育在滨海至深海沉积环境, 以浅海最为丰富, 可占海绵种类的 90%, 且常与有孔虫、腕足等共生<sup>[21,23]</sup>。因此根据研究区硅质岩的稀土元素及生物组合特征推测其形成于大陆边缘相对局限的滨浅海环境, 受到了淡水的影响, 同时也受到了潮汐带来的广海海水的影响。

## 5.2 海绵骨针硅质岩的硅质来源

杨振宇等(2009)对桂中来宾来滩剖面同时期的硅质岩研究后认为, 大量火山源  $SiO_2$  的加入, 使得硅质岩的稀土元素特征与正常海水大不一样, 而与澳大利亚后太古宙页岩、北美页岩、欧洲页岩和中国东部泥质岩的十分相似, 反映其物源具有上地壳源特征。本文中的硅质岩稀土元素配分模式与杨振宇等<sup>[9]</sup>的硅质岩稀土元素配分模式差别较大。杨振宇等<sup>[9]</sup>的硅质岩稀土含量较高, 配分模式呈右倾型, 轻稀土明显富集, 而本文的硅质岩稀土总量低, 配分模式呈左倾型, 轻稀土略亏损, 除了 Ce 异常不同外, 配分模式与正常海水相似, 因而推测本区的硅质岩几乎没有火山来源的硅质, 其硅质主要来源于沉积水体。虽然在中晚二叠世之间桂西地区也有局部的火山喷发, 沉积有薄层的凝灰岩<sup>[24]</sup>, 但其影响范围极小。

邱振和王清晨<sup>[9]</sup>认为桂中来宾地区合山组的硅质岩受海底热液影响较大,  $\delta Ce$  为 0.24~0.46, 平均为 0.35,  $(La/Ce)_N$  为 2.42~4.90, 平均为 3.47, 与研究区硅质岩稀土元素组成相比差异较大, 推测研究区合山组底部硅质岩基本没有受到海底热液的影响; 而与桂西地区乐平统硅质岩稀土元素特征<sup>[9]</sup>相似, 但合山组底部的硅质岩的稀土元素总量明显偏低, 可能是由于桂西地区合山早期硅质岩沉积速率更高。

通过以上分析, 可以排除研究区合山组底部硅质岩的火山或热液来源。由于硅质岩中含较多的钙质生物, 且皆硅化, 因而必有交代成因的硅质, 镜下观察硅质岩几乎都为微晶石英, 只有少量玉髓, 表明其交代作用发生在早成岩期或是准同生期。除了新圩村北剖面, 硅质岩中硅质海绵骨针含量较少, 约 10%, 钙质生物被硅质交代现象说明必须存在一种条件, 该条件对于碳酸钙来说是不饱和的, 而对于二氧化硅来说则是过饱和的。沙庆安等<sup>[1]</sup>在讨论合山地区合山组硅质岩硅质来源时引用了 Knauth<sup>[25]</sup>首次提出的混合水带硅化机理(图 6), 认为在滨海环境, 与交代成因有关的隧石大多形成于混合水带, 其过程首先是淡水溶解沉积物中的生物硅, 然后在合

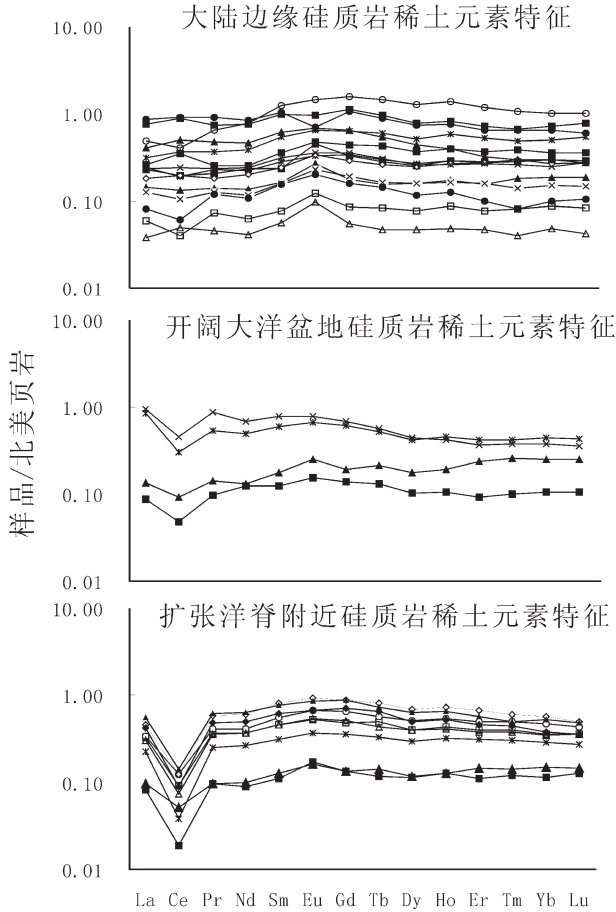


图5 海洋环境中不同位置硅质岩稀土元素组成特征,从扩张洋脊-大洋盆地-大陆边缘 Ce 负异常逐渐降低 (数据来源于参考文献[19])

Fig.5 REE compositions in different positions of the ocean. From expanded ocean ridge through ocean basin to continental margin, the Ce negative anomaly gradually decreases (data from reference[19])

适比例的淡水(25%~70%)和海水的混合带中,  $\text{CaCO}_3$  变得不饱和, 而  $\text{SiO}_2$  达到过饱和, 造成了有利硅化的物理-化学条件, 并通过计算岩石中的硅质生物含量超过 5.5%~8.1%即可达到, 而在潮间带附近最易于形成利于硅化的混合水带。

研究区层状硅质岩之下发育煤层, 显示潮坪环境特征, 而硅质岩稀土元素特征显示同时受到了淡水和广海海水的影响, 符合混合水硅化机理, 而煤层中有机质的转换形成的酸性条件更促进了碳酸盐的溶解和二氧化硅的沉淀。山营村北和东兰剖面硅质岩中硅质生物含量较少, 为 10%左右, 镜下观察钙质生物均已硅化, 可用混合水带硅化机理进行解释, 属

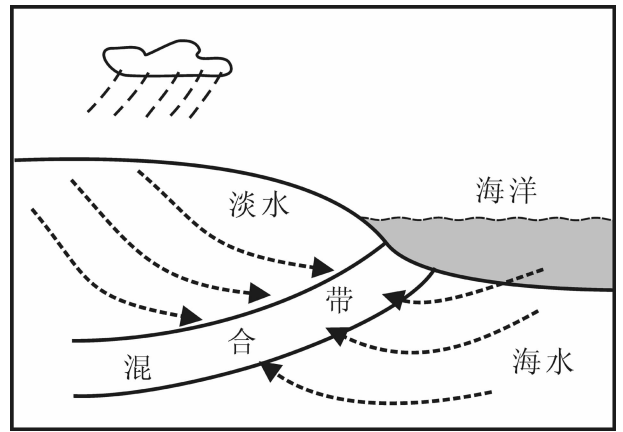


图6 混合水带硅化机理模式图(据参考文献[25]修改)  
Fig.6 Model of mixed meteoric-marine coastal systems (modified after references [25])

沉积-交代型硅质岩。而新圩村北剖面中硅质岩硅质海绵骨针含量达 60%以上, 其硅质可能为直接沉积形成, 而沉积时的水体深度也相对更大。

### 5.3 海绵骨针硅质岩的古环境意义

黔桂地区的二叠系以其明显的相分异而引人注目, 在连陆台地上发育煤系地层, 而在连陆台地边缘及孤立台地上发育海绵生物礁, 形成一个典型的“台-盆-丘-槽”的古地理格局<sup>[10]</sup>。由于东吴运动第一幕(主幕)形成中、晚二叠世之间的不整合面, 是黔桂地区二叠纪较为重要的沉积环境突变面, 亦是重要的区域构造运动不整合面, 沉积相以及沉积盆地性质在界面上下均发生巨大的变化<sup>[7,8,10,26-27]</sup>。由于东吴运动, 中二叠世茅口组灰岩暴露、剥蚀, 而在乐平世早期特提斯域发生了广泛的海平面上升, 造成西南地区自南向北的海侵<sup>[28-29]</sup>。由于海侵导致沉积物快速沉积, 使得茅口组顶部的煤层得以保存, 也是由于日益扩大的海侵才使得大量的藻类和有孔虫得以发育<sup>[1]</sup>。海平面上升使垒区有了足够的可容纳空间接受前期构造运动隆升出海平面的古陆剥蚀下来的陆源物质的充填<sup>[30]</sup>。

乐平世早期桂西地区出现了多次的海平面波动, 导致有的地方发育了两层铝土矿及多个煤层, 而硅质岩出现后则不再发育铝土矿沉积, 成煤环境也被中断, 出现了正常海相碳酸盐岩沉积, 表明由于海侵加速, 暴露台地被海水淹没, 虽然海平面还有波动, 但皆位于海面之下, 且水体深度增大, 而进入了浅海沉积环境时期, 此时水体洁净, 适合海绵、有孔

虫等生物生存。

## 6 结论

(1)根据对桂西地区乐平统合山组底部硅质岩的稀土元素及生物组合特征,认为该区硅质岩主要形成于大陆边缘内,沉积速率较快,沉积环境相对封闭的浅海环境,受到了淡水的影响,同时也受到潮汐带来的广海海水的影响。

(2)根据对桂西地区乐平统硅质岩的镜下鉴定及与邻区同时期硅质岩稀土元素特征的对比,认为硅质岩的硅质几乎没有火山和热液来源,为混合水带硅化形成,而新圩村剖面硅质岩主要为直接沉积形成。

(3)乐平世早期桂西地区出现了多次海平面波动,海绵骨针硅质岩的出现表明桂西地区大部分台地被淹没,进入了浅海沉积环境。

**致谢:**野外工作得到了成都理工大学材料与化学化工学院林金辉老师的支持,在稀土元素样品制备中得到了成都理工大学硕士研究生季长军和蔡占虎的帮助,稀土元素测试由成都理工大学材料与化学化工学院彭秀红老师完成,在此一并表示感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 沙庆安,吴望始,傅家谟.黔桂地区二叠系统综合研究——兼论含油气性[M].北京:科学出版社,1990.  
Sha Qing'an, Wu Wangshi, Fu Jiemo. Comprehensive Research on Permian of Guizhou and Guangxi Areas and Its Oil and Gas Property [M]. Beijing: Science Press, 1990.
- [2] 冯增昭,金振奎,杨玉卿,等.滇黔桂地区二叠纪岩相古地理[M].北京:地质出版社,1994.  
Feng Zengzhao, Jin Zhenkui, Yang Yuqing, et al. Permian Lithofacies and Paleogeography of the Yunnan—Guizhou—Guangxi Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese with English abstract).
- [3] 黄凤鸣,黄迺和,王根发,等.广西合山煤田中的滨岸带海绵骨针岩及其地质意义[J].地质科技情报,1995,14(2):69-74.  
Huang Fengming, Huang Naihe, Wang Genfa, et al. Littoral Sponge-Spicule Rocks in late Permian—an Heshan Formation in Guangxi [J]. Geological Science and Technology Information. 1995, 14(2):69-74(in Chinese with English abstract).
- [4] 杨振宇,沈渭洲,郑连弟.广西来宾蓬莱滩二叠纪瓜德鲁普统一乐平统界线剖面元素和同位素地球化学研究及地质意义[J].地质学报,2009,83(1):1-15.  
Yang Zhenyu, Shen Weizhou, Zheng Liandi. Elements and isotopic geochemistry of Guadalupian-Lopingian boundary profile at the Penglitan section of Laibin, Guangxi Province, and its geological implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(1):1-15(in Chinese with English abstract).
- [5] 邱振,王清晨.广西来宾中上二叠统硅质岩海底热液成因的地球化学证据[J].中国科学(D辑),2011,41(5):725-737.  
Qiu Zhen, Wang Qingchen. Geochemical evidence for submarine hydrothermal origin of the Middle-Upper Permian Chert in Laibin of Guangxi[J]. Science in China (Ser. D), 2011, 41(5):725-737(in Chinese).
- [6] 邱振,王清晨.桂西地区上二叠统硅质岩地球化学特征及对本区烃源岩发育潜力的指示意义[J].地质科学,2011,46(1):52-67.  
Qiu Zhen, Wang Qingchen. Geochemistry of the Upper Permian Chert in the Western Guangxi and its Impact on Forming Hydrocarbon Source rock[J]. Chinese Journal of Geology, 2011, 46(1):52-67(in Chinese with English abstract).
- [7] 梅冥相,高金汉,易定红,等.黔桂地区二叠系层序地层格架及相对海平面变化研究[J].高校地质学报,2002,8(3):318-333.  
Mei Ming xiang, Gao Jinhan, Yi Dinghong, et al. Study on sequence stratigraphic framework and relative sea level changes of the Permian in Guizhou and Guangxi areas, South China [J]. Geological Journal of China Universities, 2002, 8 (3):318-333(in Chinese with English abstract).
- [8] 梅冥相,马永生,高金汉,等.滇黔桂盆地及其邻区晚古生代层序地层格架及相对海平面变化[J].现代地质,16(4),2002:365-373.  
Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Gao Jinhan, et al. Sequence-stratigraphic framework and relative sea-level changes of late Paleozoic in the Dianqiangui Basin and its adjacent areas [J]. Geoscience, 2002, 16(4):365-373(in Chinese with English abstract).
- [9] 周怀玲,张振贤.广西二叠纪岩相古地理格局[J].广西地质,1994,7(4):1-12.  
Zhou Huailing, Zhang Zhenxian. Frame Work of lithofacies and palaeogeography in the Permian in Guangxi [J]. Guangxi Geology, 1994, 7(4):1-12(in Chinese with English abstract).
- [10] 焦大庆,马永生,邓军,等.黔桂地区二叠纪层序地层格架及古地理演化[J].石油实验地质,2003,25(1):18-27.  
Jiao Daqing, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. The Permian sequence stratigraphic framework and evolution of sedimentary facies and paleogeography in Guizhou and Guangxi areas [J]. Petroleum Geology & Experiment. 2003, 25(1):18-27(in Chinese with English abstract).
- [11] 周怀玲,张振贤.广西二叠纪的沉积与矿产概要[J].广西科学院学报,1996,12(2):6-9.  
Zhou Huailing, Zhang Zhenxian. Essentials of Guangxi Permian sediment and mineral [J]. Journal of the Guangxi Academy of Sciences, 1996, 12(2):6-9(in Chinese with English abstract).
- [12] Høgdahl O T. et al. Neutron activation analysis of Lanthanide element in Seawater[J]. Advances in Chemistry, 1968, 73:308-325.
- [13] Goldberg E D. et al. Rare earth elements distribution in the maring environment [J]. Journal of Geophysical Research, 1963, 68(15):4209-4217.
- [14] 王中刚,于学元,赵振华,等.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社,1990.



- 出版社. 1989.
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. Rare Earth Element Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1989.
- [15] Murray R W. Chemical Criteria to Identify the Depositional Environment of Chert: General Principles and Applications [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90(3-4): 213-232.
- [16] 伊海生, 彭军, 夏文杰. 扬子东南大陆边缘晚前寒武纪古海洋演化的稀土元素记录[J]. *沉积学报*. 1995, 13(4): 131-137.
- Yi Haisheng, Peng Jun, Xia Wenjie. The late Precambrian paleo-ocean evolution of the Southeast Yangtze continental margin: REE record [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13 (4): 131-137 (in Chinese with English abstract).
- [17] Murray R W, Buchhohz ten Brink M R, Jones D L, et al. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale[J]. *Geology*, 1990, 18(3): 268-271.
- [18] 常华进, 储雪蕾, 冯连君, 等. 湖南安化留茶坡硅质岩的 REE 地球化学特征及其意义[J]. *中国地质*, 2008, 35(5): 879-887.
- Chuang Huajin, Chu Xuelei, Feng Lianjun, et al. REE geochemistry of the Liuchapo chert in Anhua, Hunan[J]. *Geology in China*, 2008, 35(5): 879-887.
- [19] Shimizu H, Masuda A. Cerium in chert as an indicator of marine environment of its formation[J]. *Nature*, 1977, 266: 346-348.
- [20] Muray R W, Buchhohz ten Brink M R, Gerlach D C, et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan complex and monterey group, Californian: assessing REE sources to fine-grained marine sediments[J]. *Geochim et Cosmochim Acta*, 1991, 55(7): 1875-1895.
- [21] 何心一, 徐桂荣, 等. 古生物学教程 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- He Xinyi, Xu Guirong, et al. *Paleontology Tutorial* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese).
- [22] 武汉地质学院. 古生物学教程[M]. 北京: 地质出版社, 1980
- Wuhan Geological Institute. *Paleontology Tutorial* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980 (in Chinese).
- [23] 范方显. 古生物学教程[M]. 东营: 石油大学出版社. 1994.
- Fan Fangxian. *Paleontology Tutorial* [M]. Dongying: Oil University Press, 1994 (in Chinese).
- [24] 广西壮族自治区地质局区域地质测量队. 1:20 万田东幅区域地质调查报告[M]. 北京: 地质出版社, 1974: 6-27.
- The Guangxi Zhuang Autonomous Region Regional Geological Surveying Party Geological Survey. 1:200000 Tiandong Picture Regional Geological Survey Report [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1974: 6-27 (in Chinese).
- [25] Knauth L P. A model for the origin of chert in limestone [J]. *Geology*, 1979, 7: 274-277.
- [26] 金玉玕, 张进, 尚庆华. 前乐平统海洋动物灾变事件 [J]. *古生物学报*, 1995, 34(4): 410-427.
- Jin Yugan, Zhang Jin, Shang Qinghua. Pre-Lopingian catastrophic event of marine faunas [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1995, 34(4): 410-427 (in Chinese with English abstract).
- [27] 梅冥相, 马永生, 邓军, 等. 滇黔桂盆地及邻区二叠系乐平统层序地层格架及其古地理背景 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2007, 37(5): 605-617.
- Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. Sequence-stratigraphic framework and paleogeographic setting of late Paleozoic in the Dianqiangui Basin and its adjacent areas [J]. *China Science in China (Ser.D)*, 2007, 37(5): 605-617 (in Chinese).
- [28] 覃建雄, 曹允孚, 陈洪德, 等. 西南地区二叠纪层序地层及海平面变化 [J]. *岩相古地理*, 1998, 18(1): 19-35.
- Qin Jianxiong, Zeng Yunfu, Chen Hongde, et al. Permian sequence stratigraphy and sea-level changes in northwestern China [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1998, 18(1): 19-35 (in Chinese with English abstract).
- [29] 覃建雄, 陈洪德, 田景春. 二叠纪海平面变化研究 [J]. *岩相古地理*, 1998, 18(6): 40-47.
- Qin Jianxiong, Chen Hongde, Tian Jinghe. The global sea-level changes during the Permian [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1998, 18(6): 40-47 (in Chinese with English abstract).
- [30] 王成善, 李祥辉, 陈洪德, 等. 中国南方二叠纪海平面变化及升降事件 [J]. *沉积学报*. 1999, 17(4): 536-541.
- Wang Chengshan, Li Xianghui, Chen Hongde, et al. Permian sea-level changes and rising-falling events in South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (4): 536-541 (in Chinese with English abstract).

## The discovery of Sponge chert on the bottom of the Lopingian Heshan Formation in western Guangxi and its palaeoenvironmental significance

OU Li-hua<sup>1</sup>, YI Hai-sheng<sup>1</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, QIAN Li-jun<sup>1</sup>, HU Xu<sup>1</sup>

(1. *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*

2. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

**Abstract:** Chert is widely distributed on the bottom of the Upper Permian Heshan Formation in western Guangxi. The chert layers extend stably on the lateral side, and the bed surfaces are smooth. The authors measured three sections: the north Shanying Village section and the north Xinxu Village section in Taiping Town, Pinguo County, and the Donglan section in Donglan County. In the laboratory the authors conducted the microscopic examination and rare earth element analysis of the chert. The results show that all the chert is rich in organisms such as spongy spicules, foraminifers, and algae, which are well preserved. The low content of rare earth elements is similar to that of sea water, with the slight loss of light rare earth elements and insignificant Ce negative anomaly. According to the characteristics of the rare earth elements and bioassemblages of the chert, the authors hold that the chert on the bottom of Heshan Formation was formed in shallow water and belonged to a relatively closed environment of continental margin; the silicon of the chert occurred in mixed meteoric-marine coastal systems, without the addition of volcanic components and hydrothermal solution. the occurrence of chert indicates that the rapid transgression in late Permian resulted in the increase of the depth of water in western Guangxi, especially along the Xinxu Village section, where the platform was largely submerged, and the water was clean, which was suitable for the breeding of such living things as sponges, foraminiferas, brachiopods, and gastropods and was hence favorable for the development of chert and limestone.

**Key words:** western Guangxi; upper Permian; chert; spongy spicules; rare earth elements; initial transgression surfaces

---

**About the first author:** OU Li-hua, female, born in 1982, doctor candidate, majors in sedimentology; E-mail: olh886@sina.com.