

文章编号: 1001-6112(2009)06-0564-06

扬子地区二叠系硅质岩成因分析及沉积环境研究

李红敬^{1,2}, 解习农¹, 周炼², 苏明¹, 彭伟¹, 陈慧¹

(1. 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;

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)

摘要:对扬子地区 2 个典型剖面即广元上寺剖面和罗甸纳水剖面的二叠系硅质岩稀土元素地球化学特征研究发现: 扬子板块不同地区不同产状的硅质岩稀土元素特征存在差异, 燧石条带和团块状硅质岩 Σ REE 均小于层状硅质岩的 Σ REE; 同一地区不同产状的硅质岩 Ce/Ce^* 相差极小, 而不同地区 Ce/Ce^* 存在明显差异。硅质岩与围岩(灰岩和页岩)进行对比分析发现, 页岩的 Σ REE 最高, 其次为层状硅质岩, 再次为灰岩, 最低为燧石条带。通过系统的岩石学和稀土元素地球化学特征研究表明, 广元地区二叠系硅质岩以生物沉积为主, 并有一定的热水沉积物质, 其沉积环境为大陆边缘中下部; 而黔南地区二叠系硅质岩是热水沉积为主, 混有少量非热水成因的物质, 其形成于远离陆源的洋盆环境。

关键词: 硅质岩; 稀土元素; 沉积环境; 二叠系; 扬子地区

中图分类号: P588.24

文献标识码: A

PETROGENESIS AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF THE PERMIAN CHERTS IN THE YANGTZE REGION

Li Hongjing¹, Xie Xinong¹, Zhou Lian², Su Ming¹, Peng Wei¹, Chen Hui¹

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The studies on Permian cherts from the two typical sections (Shangsi section of Guangyuan area and Nashui section of Luodian area) in the Yangtze region indicate that distinct REE characteristics occur among banded, nubby and lamellated cherts in different areas. The Σ REE values in banded and nubby cherts are less than that in lamellated chert. There are semblable Ce/Ce^* values in cherts of different occurrences in same area, but it is quite different in these two areas. In this paper, through comparison and analysis of cherts and surrounding rocks (including limestone and shale), of them, the Σ REE values in shales are the highest, and the next is the lamellated cherts, then the limestone, but the lowest is banded chert. The studies on petrological characteristics and REE geochemical characteristics in cherts show that the Permian cherts in the Guangyuan area are mainly biological sedimentation, but are effected by hydrothermal sedimentation, and they are formed in the middle-lower part of continental shelf. While the Permian cherts in the Luodian area are mainly hydrothermal sedimentation, and the non-hydrothermal sedimentation is also interfused. They are formed in oceanic basin.

Key words: cherts; rare earth elements; sedimentary environment; Permian; Yangtze Region

硅质岩形成于特定的地球化学条件, 常常位于关键的地层层位上, 能够提供沉积盆地和构造活动的重要信息^[1]。二叠纪地层是中国南方重要的含油气层段^[2]。扬子地区龙门山构造带北段, 二叠系发育海相优质烃源岩^[3], 并且川西北广元地区下三

叠统飞仙关组油苗与上二叠统大隆组具有亲缘关系^[4]。扬子地区硅质岩的研究不仅可以探明研究区硅质岩的成因和沉积环境, 还可以为我国南方二叠系烃源岩形成条件的研究提供必要的地质信息。因此硅质岩的研究具有十分重要的理论意义和实

收稿日期: 2009-02-27; 修订日期: 2009-11-17。

作者简介: 李红敬(1983-), 女, 博士, 主要从事层序地层学和烃源岩的研究。E-mail: lhj02002140@163.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目(G0800-06-ZS-319)、石油化工联合重点基金(40839910)、地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题(GPMR200914)和湖北省自然科学基金(2008CDA095)共同资助。

用价值。

对于地层时代较老的硅质岩,由于其经历了复杂的成岩作用及后期变质作用改造,岩石的原始结构、构造及矿物组成均已发生改变,很难获得可靠的岩石学直接证据。在这种情况下,目前应用较多的是通过地球化学手段来判断其不同的成因类型。本文以岩石学特征为基础,运用地球化学手段探讨了扬子板块川西北广元地区与黔南地区二叠系硅质岩的特征及成因类型,并对 2 个地区二叠系硅质岩特征及成因进行对比研究。

1 地质背景

扬子板块是华南地区的重要组成部分。近年来的研究认为,华南是全球古特提斯多岛海(洋)的一个组成部分^[5~7]。本文研究的 2 条重点剖面分别位于四川广元地区和黔南纳水地区。四川广元地区在构造上南北跨于扬子准地台及秦岭褶皱系 2 个一级构造单元之间,位于龙门山与大巴山褶皱带的交接地带(图 1);地质构造较为复杂,地层发育齐全,我国许多标准地层剖面即创建于此。广元上寺剖面位于广元市剑阁县的上寺镇(图 1)。该剖面出露的二叠系地层从下向上依次为梁山组、栖霞组、茅口组、吴家坪组和大隆组(据 1:20 万区域地质报告(广元幅),1980)。栖霞组主要岩性为碳

酸盐岩,顶部发育中薄层灰岩夹燧石条带;茅口组出现燧石条带和灰岩互层或夹燧石团块;吴家坪组为底部有一套煤系或碳质泥岩层系,中上部主要发育碳酸盐岩局部有燧石条带或团块;大隆组主要为碳酸盐岩、硅质岩和页岩互层沉积。

黔南地区在构造古地理上位于扬子板块的西南部(图 1)。在黔西南—桂西北地区二叠纪存在着宽阔的洋盆,它可能是昌宁—孟连带古特提斯洋^[8]的东延部分。罗甸纳水一带二叠系地层发育完整,是建立中国海相二叠系完整地层序列关键剖面^[9~11]。罗甸纳水剖面位于黔南罗甸县西南与望谟县相通的公路沿线(图 1)。罗甸纳水剖面从下石炭统上部至上二叠统地层出露十分完整连续。该剖面上二叠统地层主要发育碳酸盐岩、硅质岩和泥岩。

2 样品及测试

样品采自于广元上寺剖面和罗甸纳水剖面二叠系地层。所采样品新鲜,坚硬,没有变质,不含石英脉。测试前对样品进行了清洗,粉碎。在研究中测定了广元上寺剖面硅质岩 9 个,其中 3 个为燧石条带样品,其余 6 个样品为层状硅质岩;罗甸纳水剖面硅质岩样品共 38 个,其中 12 个为层状硅质岩。本次研究并对 2 剖面硅质岩围岩灰岩和页岩

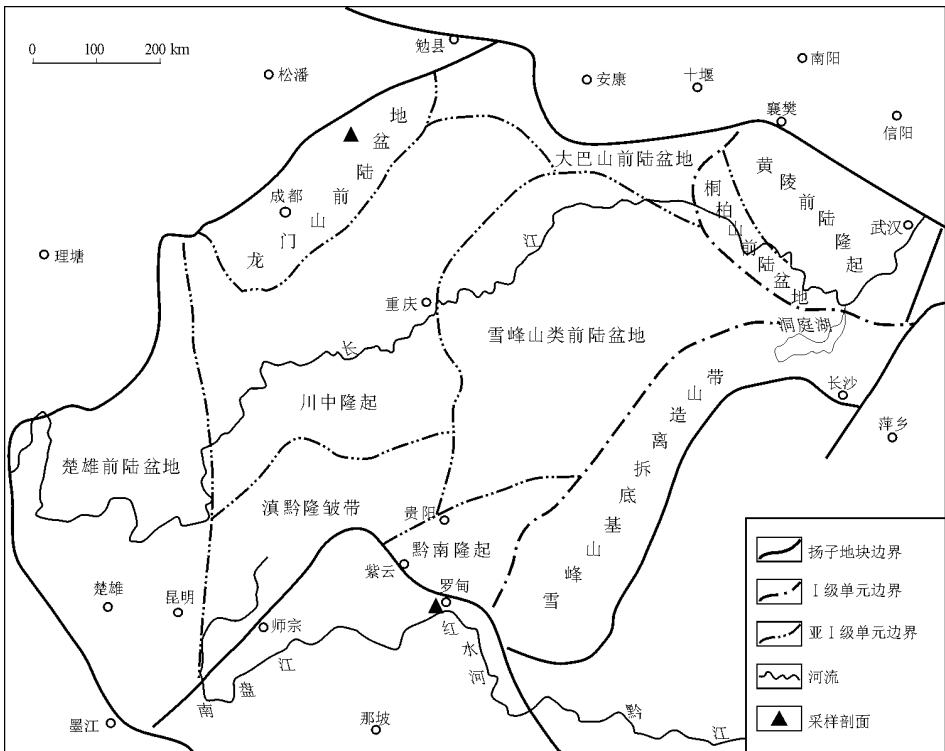


图 1 扬子地区广元上寺剖面和罗甸纳水剖面位置示意^[12]

Fig. 1 Location of Shangsi section, Guangyuan area and Nashui section, Luodian area in the Yangtze region

进行了稀土元素测试分析。稀土元素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,分析仪器为 Agilent7500a 等离子体质谱仪。具体的样品制备方法和分析流程见参考文献[13]。

3 硅质岩特征

3.1 岩石学特征

3.1.1 广元上寺剖面硅质岩

本区硅质岩发育良好,从栖霞组上部一直到大隆组都有分布。主要有 3 种形态:一种是以燧石团块或结核的形式出露,在茅口组、吴家坪组中常见,多分布在层状的灰岩之中;另一种是以燧石条带形式出露,黑色,顺层产出,连续,薄层或中层,产于栖霞组、茅口组、吴家坪组和大隆组灰岩中;其三为层状硅质岩,主要发育于大隆组中上部,与页岩和薄层灰岩互层。最新研究表明栖霞组燧石结核形成于早期成岩作用,燧石结核的硅质来源与当时全球硅质生物的繁盛有关^[14,15]。笔者在茅口组、吴家坪组、大隆组的硅质岩中同样发现硅化的生物,推测其形成受早期成岩作用影响。

3.1.2 罗甸纳水剖面硅质岩

罗甸纳水剖面硅质岩发育形态同样分为 3 种类型,层状的、结核或团块状和条带状。层状硅质岩产出为薄层,暗色,纳水组中连续出露较多,多与泥晶灰岩或重力流灰岩互层;含海绵骨针,为原地沉积,其它生物碎屑含量少。层状硅质岩代表较深水的盆地相沉积环境。硅质结核呈透镜状或不规则形状,风化后具有环带状的结构;燧石条带则呈

不连续状顺层延伸。这些硅质岩是成岩作用的时候交代形成的,大部分还兼有白云石化。其中的生物多完全硅化而难以辨认。硅化的生物碎屑颗粒与临近层位灰岩的生物碎屑颗粒种类相同,代表这些硅质岩的原岩可能是灰岩。罗甸纳水剖面燧石条带和团块状硅质岩的产状与广元剖面燧石条带相似,围岩均为灰岩;与广元剖面硅质岩产状不同之处为该剖面层状硅质岩仅与灰岩互层。

3.2 稀土元素特征

本文使用北美页岩平均值(L. A. Haskin, 1968)对研究区硅质岩进行标准化,统一用下角标 N 表示。表征 REE 组成的参数有 ΣREE , LREE/HREE , Ce/Ce^* , Eu/Eu^* , $(\text{La}/\text{Yb})_N$, $(\text{La}/\text{Ce})_N$ 。通过统计分析表明不同地区不同产状的硅质岩稀土元素特征存在差异(表 1)。广元和黔南地区燧石条带和团块状硅质岩 ΣREE 均小于层状硅质岩的 ΣREE 。广元上寺剖面燧石条带 ΣREE 变化范围为 $(0.64\sim 5.77)\times 10^{-6}$, 平均为 3.07×10^{-6} ; 层状硅质岩 ΣREE 变化范围为 $(8.2\sim 44.7)\times 10^{-6}$, 平均为 24.66×10^{-6} 。罗甸纳水剖面燧石条带 ΣREE 变化范围为 $(0.77\sim 19.24)\times 10^{-6}$, 平均为 9.34×10^{-6} ; 团块状硅质岩 ΣREE 变化范围为 $(0.60\sim 45.04)\times 10^{-6}$, 平均为 8.62×10^{-6} ; 层状硅质岩 ΣREE 变化范围为 $(2.45\sim 51.24)\times 10^{-6}$, 平均为 16.73×10^{-6} 。广元和黔南两地区 Ce/Ce^* 存在明显的不同,而不同地区内部不同产状的硅质岩 Ce/Ce^* 相差不大。广元上寺剖面燧石条带和层状硅质岩 Ce/Ce^* 分别为 0.71 和 0.80; 而罗甸纳水剖面燧石条带、团块状硅质岩和层状硅质岩 Ce/Ce^*

表 1 广元上寺剖面和罗甸纳水剖面二叠系各种岩性 REE 参数

Table 1 The REE indices of the samples in the Shangsi section, Guangyuan area and Nashui section, Luodian area

剖面	岩石类型	样品数/个	$\Sigma\text{REE}, 10^{-6}$	LREE/HREE	Ce/Ce^*	Eu/Eu^*	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Ce})_N$
广 元 上 寺 剖 面	燧石条带	3	$\frac{0.64\sim 5.77}{3.07}$	$\frac{0.68\sim 0.78}{0.72}$	$\frac{0.57\sim 0.84}{0.71}$	$\frac{1.00\sim 2.48}{1.55}$	$\frac{0.74\sim 1.41}{1.09}$	$\frac{1.29\sim 1.98}{1.57}$
	层状硅质岩	5	$\frac{8.2\sim 44.7}{24.66}$	$\frac{0.51\sim 0.64}{0.58}$	$\frac{0.72\sim 0.91}{0.80}$	$\frac{0.80\sim 0.96}{0.85}$	$\frac{0.71\sim 0.94}{0.88}$	$\frac{1.22\sim 1.52}{1.38}$
	灰岩	7	$\frac{3.57\sim 43.28}{17.46}$	$\frac{0.40\sim 2.94}{1.11}$	$\frac{0.44\sim 1.16}{0.74}$	$\frac{0.71\sim 1.28}{0.95}$	$\frac{0.59\sim 12.82}{3.55}$	$\frac{1.22\sim 2.94}{1.86}$
	泥岩	3	$\frac{13.49\sim 82.00}{55.71}$	$\frac{0.57\sim 0.63}{0.59}$	$\frac{0.70\sim 0.84}{0.76}$	$\frac{0.82\sim 0.86}{0.84}$	$\frac{0.85\sim 0.95}{0.91}$	$\frac{1.20\sim 1.58}{1.42}$
罗 甸 纳 水 剖 面	燧石条带	9	$\frac{0.77\sim 19.24}{9.34}$	$\frac{0.29\sim 0.91}{0.64}$	$\frac{0.14\sim 0.37}{0.22}$	$\frac{0.62\sim 1.12}{0.92}$	$\frac{0.23\sim 2.78}{1.43}$	$\frac{2.70\sim 9.16}{5.90}$
	团块状硅质岩	17	$\frac{0.60\sim 45.04}{8.62}$	$\frac{0.38\sim 1.30}{0.62}$	$\frac{0.15\sim 0.36}{0.25}$	$\frac{0.66\sim 1.18}{0.98}$	$\frac{0.45\sim 2.80}{1.20}$	$\frac{3.13\sim 8.10}{4.77}$
	层状硅质岩	12	$\frac{2.45\sim 51.24}{16.73}$	$\frac{0.38\sim 1.21}{0.72}$	$\frac{0.15\sim 0.39}{0.21}$	$\frac{0.80\sim 1.16}{0.91}$	$\frac{0.52\sim 4.91}{1.79}$	$\frac{2.80\sim 7.95}{6.09}$
	灰岩	43	$\frac{2.06\sim 38.36}{15.07}$	$\frac{0.34\sim 1.13}{0.71}$	$\frac{0.13\sim 0.31}{0.18}$	$\frac{0.67\sim 0.99}{0.90}$	$\frac{0.66\sim 3.22}{1.85}$	$\frac{3.68\sim 9.84}{6.94}$

注:表中分式意义为 $\frac{\text{最小值}\sim\text{最大值}}{\text{平均值}}$ 。

分别为 0.22, 0.25, 0.21。两地区 Eu/Eu^* 值相差不大, 只有广元上寺剖面一燧石条带样品 Eu/Eu^* 值大于 1, 存在 Eu 正异常。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$, $(\text{La}/\text{Ce})_N$ 两参数是有效判别硅质岩成因和形成环境的参数。从表 1 中可以看出罗甸纳水剖面各种产状硅质岩的 $(\text{La}/\text{Yb})_N$, $(\text{La}/\text{Ce})_N$ 值均大于广元上寺剖面。

笔者对不同岩性的稀土元素特征进行了对比发现, 页岩的 ΣREE 最高, 其次为层状硅质岩, 再次为灰岩, 最低为燧石条带(表 1)。广元上寺剖面层状硅质岩与页岩互层, 页岩因粘土吸附更多的稀土元素而含量稍高。该剖面燧石条带 ΣREE 远小于灰岩的 ΣREE , 这可能表明两者物质来源和成因不同。罗甸纳水剖面燧石条带和团块状硅质岩的稀土元素总量为围岩灰岩稀土元素总量的 1/2, 而层状硅质岩稀土元素总量略小于灰岩稀土元素总量(平均值分别为 15.07×10^{-6} 和 16.73×10^{-6})。大多数学者研究认为形成燧石结核的硅质来源于生物壳^[16~18], 并指出生物化学作用形成的氧化硅与硅酸盐沉积物一起, 在成岩分异过程中发生溶解富集并交代碳酸盐沉积物^[19~21]。燧石条带和团块状硅质岩的稀土元素总量远小于围岩灰岩稀土元素总量, 反映燧石条带和团块状硅质岩与灰岩在成因上的继承性, 在生物化学作用及成岩分异过程中有少量元素丢失。而层状硅质岩稀土元素总量与灰岩稀土元素总量相近, 并结合其岩石学特征显示, 层状硅质岩与灰岩具有相似的物质来源, 层状硅质岩形成与沉积同生阶段, 为原生沉积岩。各种岩性其它 REE 参数在两剖面表现不同的特征。罗甸纳水剖面硅质岩和围岩的 LREE/HREE , Ce/Ce^* , Eu/Eu^* , $(\text{La}/\text{Yb})_N$, $(\text{La}/\text{Ce})_N$ 值极为相似; 而广元上寺剖面灰岩比其它岩性的轻稀土较富集, 燧石条带 Eu 存在正异常。

4 硅质岩成因和沉积环境

4.1 硅质岩成因

硅质岩稀土元素地球化学特征是区分热水沉积和非热水沉积的重要标志^[22,23]。Shimizu(1977)在研究了 4 件属于热水成因的深海钻探硅质岩和 3 件非热水成因的浅水陆源硅质岩中的 Ce 含量后, 发现前者具 Ce 负异常, δCe 平均值为 0.29, 后者为 Ce 正异常, δCe 平均值为 1.20^[22]。Fleet(1983)在系统地研究了世界上属于热水成因的金属沉积与属于非热水成因的正常水成因的金属沉积中的稀土元素含量之后指出, 热水沉积物 REE 总量低, Ce 为负异常, HREE 有富集趋势; 非热水沉积物

REE 总量高, Ce 为正异常, HREE 不富集^[24]。但是上述特点在两类沉积之间有连续性变化。借助北美页岩标准化的 REE 配分模式可以判断沉积岩中热水沉积与非热水沉积的比例(图 2)。热水沉积物出现这种规律性特征的原因是热水源混入了主要为向下渗透而后上升的海水, 因此在热水沉积物中能够保留海水固有的 REE 总量低, Ce 亏损等特点^[22~24]。

通过对扬子地区四川广元上寺剖面二叠纪硅质岩稀土元素参数进行分析得出, 其 REE 总量较低, 含量变化范围为 $(0.64 \sim 44.70) \times 10^{-6}$, 平均为 16.57×10^{-6} (北美页岩平均值为 160.18×10^{-6})。轻重稀土比值较小, 重稀土相对富集, LREE/HREE (标准化后)比值从 0.51 到 0.78, 平均为 0.63; δCe 值变化范围为 0.57~0.91, 平均值为 0.77, Ce 元素有一定的亏损。而 Eu 的亏损不明显, 甚至出现 Eu 正异常。硅质岩 REE 的北美页岩标准化配分模式(图 3A)总体上较平坦, 略有左倾趋势。因此广元地区二叠纪硅质岩不属于典型的热热水沉积硅质岩, 却受一定的热水沉积作用影响。黔南罗甸纳水剖面二叠纪硅质岩 REE 含量变化范围为 $(0.60 \sim 51.24) \times 10^{-6}$, 平均值为 11.35×10^{-6} 。轻重稀土比值较小, 重稀土相对富集, LREE/HREE (标准化后)比值从 0.29 到 1.30, 平均为 0.66; δCe 值变化范围为 0.14~0.39, 平均值为 0.23, 较四川广元上寺剖面硅质岩 Ce 元素亏损明显; δEu 变化范围 0.62~1.18, 平均为 0.94, Eu 的亏损不明显, 甚至出现 Eu 正异常。该剖面二叠系硅质岩 REE 的北美页岩标准化配分模式(图 3B, C, D)总体向左倾斜。罗甸地区二叠纪硅质岩受一定的热水作用影响, 依据图 2 可以得出罗甸地区热水沉积比例比广元地区硅质岩热水沉积比例较大。

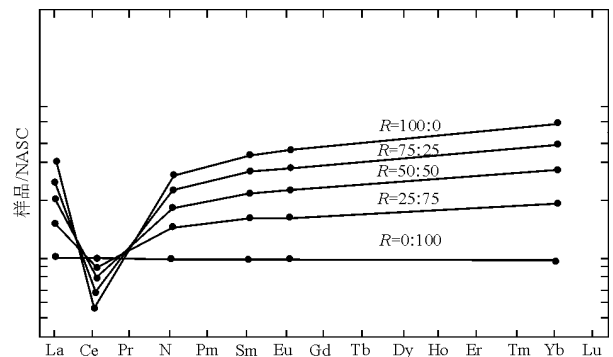


图 2 按不同比例混合的热水与非热水沉积物的 REE 型式^[24]
R 为热水沉积与正常沉积的比值。

Fig. 2 REE patterns of mixtures of hydrothermal sediments and non-hydrothermal sediments in different proportions

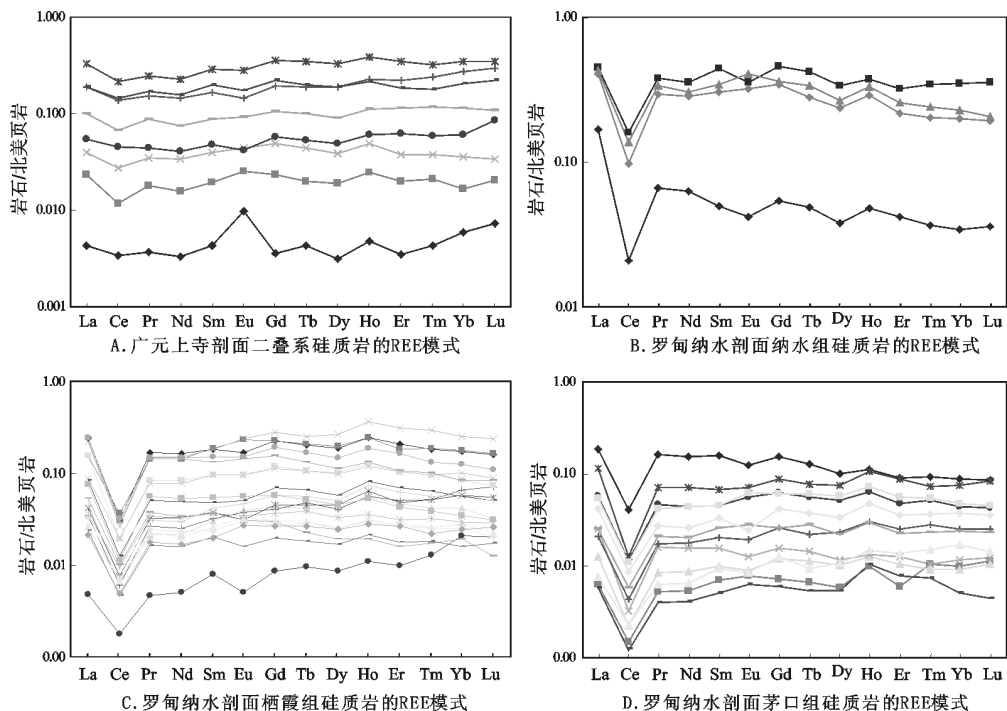


图 3 扬子地区二叠系硅质岩的 REE 模式

NASC 北美页岩中稀土元素丰度据 L. A. Haskin, 1968.

Fig. 3 REE patterns in Permian cherts in the Yangtze region

二叠纪萨克马尔阶开始至晚二叠世,是一个生物成因硅质沉积的高峰期,被称为二叠纪硅质沉积事件,该事件被认为具有全球对比性^[25,26]。大多数研究认为形成燧石结核的硅质来源于生物壳^[16~18]。结合前人研究和本次地化研究结果可知,广元和黔南地区硅质岩是生物作用和热水沉积共同作用的产物。

4.2 沉积环境

硅质岩中的稀土元素很少受沉积之后各种作用的影响,能够较好的恢复古海洋环境和构造环境。用来有效判别硅质岩成因和形成环境的参数主要有 Ce/Ce^* , $(La/Yb)_N$, $(La/Ce)_N$ 等(表 2)。Murray 等^[20,27]的研究结果显示:大洋中脊 Ce/Ce^* 最低(平均 0.29),大洋盆地拥有中等的 Ce/Ce^* (平均 0.60),大陆边缘的 Ce/Ce^* 最高(平均 1.11)(表 2)。 Ce/Ce^*

越大,说明受陆源影响越大; $(La/Ce)_N$ 越高,说明受陆源影响越小^[1]。

多数学者采用层状硅质岩恢复沉积环境^[28~31],这可能由于层状硅质岩是原生岩石,更准确的代表古环境。所以本次研究采用层状硅质岩的稀土元素标志与不同沉积背景下硅质岩稀土元素标志(表 2)进行对比判别扬子地区硅质岩的沉积环境。四川广元上寺二叠系层状硅质岩的 Ce/Ce^* 为 0.57~0.91,平均为 0.77; $(La/Yb)_N$ 为 0.71~1.41,平均为 0.96; $(La/Ce)_N$ 为 1.22~1.98,平均为 1.45。与加里福尼亚弗朗西斯杂岩的硅质岩相对比,该剖面的 Ce/Ce^* 值说明川西北地区位于大陆边缘; $(La/Yb)_N$ 说明该研究区为大陆边缘到深海盆地的过渡区域; $(La/Ce)_N$ 则在深海盆地的范围。综上所述可以认为广元地区硅质岩沉积环境为大陆边缘中下

表 2 不同沉积背景下硅质岩稀土元素的标志^[22]

Table 2 REE indices of the chert from different depositional settings^[22]

沉积环境	La, 10 ⁻⁶	ΣREE, 10 ⁻⁶	Ce/Ce*	Eu/Eu*	(La/Ce) _N	(La/Yb) _N
洋中脊	26~106 27.2	10.9~406 107.96	0.18~0.6 0.29	0.97~1.35 1.08	1.66~5.49 3.59	0.57~0.96 0.74
开阔洋盆	28.1~30.6 16.31	14.3~108 57.2	0.5~0.76 0.60	1.06~1.33 1.15	1.30~2.48 1.82	1.30~2.48 1.82
大陆边缘	1.2~27.91 8.34	7.9~152.2 49.33	0.67~1.52 1.11	0.64~1.72 1.21	0.66~1.33 0.96	0.66~1.33 0.96

注:表中分式意义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$ 。

部。黔南罗甸纳水剖面层状硅质岩的 Ce/Ce^* 为 0.15~0.39, 平均为 0.21; $(La/Yb)_N$ 为 0.53~4.91, 平均为 1.79; $(La/Ce)_N$ 为 2.80~7.95, 平均为 6.09。 Ce/Ce^* 和 $(La/Ce)_N$ 说明该时期硅质岩形成于洋中脊附近。而 $(La/Yb)_N$ 数值变化范围较大, 平均为 1.79, 说明该区硅质岩形成于开阔洋盆环境。综上 3 个指标可以推测黔南地区二叠纪硅质岩形成于远离陆源的洋盆环境。

5 结论

1) 扬子地块不同地区不同产状的硅质岩稀土元素特征存在差异。川西北和黔南地区燧石条带和团块状硅质岩 ΣREE 均小于层状硅质岩的 ΣREE 。川西北和黔南两地区 Ce/Ce^* 存在明显的不同, 而各地区内部不同产状的硅质岩 Ce/Ce^* 相差极小。通过对不同岩性的稀土元素特征进行比较得出, ΣREE 最高为页岩, 其次为层状硅质岩, 再次为灰岩, 最低为燧石条带。

2) 系统的岩石学和稀土元素地球化学特征研究表明, 扬子地块的不同地区发育的硅质岩虽然岩石学特征相似, 均发育条带状、团块状和层状三种产状硅质岩, 但是两地区硅质岩成因存在差异。扬子地块川西北地区二叠纪硅质岩是生物沉积为主, 并受热水沉积作用。而扬子地块的黔南地区二叠纪硅质岩热水沉积比例大于川西北地区二叠纪硅质岩热水沉积比例, 并结合上述其岩石学证据可以判定黔南地区二叠纪硅质岩是热水沉积为主, 并混有少量非热水成因的物质。

3) 硅质岩的稀土元素特征表明, 川西北地区二叠纪硅质岩沉积环境为大陆边缘中下部, 而黔南地区二叠纪硅质岩形成于远离陆源的洋盆环境。

参考文献:

- Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications[J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90: 213~232
- 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎等. 中国南方二叠纪岩相古地理[M]. 东营: 石油大学出版社, 1997. 89~104
- 腾格尔, 秦建中, 付小东等. 川西北地区海相油气成藏物质基础——优质烃源岩[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(5): 478~483
- 饶丹, 秦建中, 腾格尔等. 川西北广元地区海相层系油苗和沥青来源分析[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(6): 596~599
- 冯庆来, 刘本培, 叶玫. 中国南方古特提斯阶段的构造古地理格局[J]. *地质科技情报*, 1996, 15(3): 1~6
- 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1999, 24(1): 1~12
- 颜佳新, 赵坤. 二叠—三叠纪东特提斯地区古地理、古气候和

- 古海洋演化与地球表层多圈层事件耦合[J]. *中国科学(D辑)*, 2002, 32(9): 751~759
- 丁琳, 钟大赉. 滇西昌宁孟连带古特提斯大洋硅质岩的元素异常[J]. *中国科学(B辑)*, 1995, 25(1): 93~100
- Sheng J Z, Jin Y G. Correlation of Permian deposits in China[J]. *Palaeoworld*, 1994, 4: 14~114
- Jin Y G, Glenister B F, Kotlyar G V, et al. An operational scheme of Permian chronostratigraphy[J]. *Palaeoworld*, 1994, 4: 1~13
- Jin Y G, Wardlaw B R, Glenister B F, et al. Permian chronostratigraphic subdivisions[J]. *Episodes*, 1997, 20(1/2): 10~15
- 马力. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004
- Govindaraju G. Compilation of working values and sample description for geostandards[J]. *Geostandards Newslett*, 1994, 18: 1~158
- 颜佳新. 华南地区二叠纪栖霞组碳酸盐成因研究及其地质意义[J]. *沉积学报*, 2004, 22(4): 579~587
- 刘新宇, 颜佳新. 华南地区二叠纪栖霞组燧石结核成因研究及其地质意义[J]. *沉积学报*, 2007, 25(5): 730~736
- Hesse R. Diagenesis origin of chert: diagenesis of biogenic siliceous sediments[J]. *Geoscience Canada*, 1988, 15(3): 171~192
- Coniglio M. Biogenic chert in the CowHead Group (Cambro-Ordovician), western Newfoundland [J]. *Sedimentology*, 1987, 34(5): 813~823
- Giménez-Montsant J, Calvet F, Tucker M E. Silica diagenesis in Eocene shallow-water platform carbonates, southern Pyrenees[J]. *Sedimentology*, 1999, 46: 969~984
- 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
- Murray R W, Buchholtz 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 Cosmochim Acta*, 1991, 55: 1875~1895
- 周小平. 北京十三陵地区雾迷山组含微化石的燧石成因探讨[J]. *北京地质*, 1991, 2: 1~6
- Shimizu H, Masuda A. Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation[J]. *Nature*, 1977, 266(5600): 346~348
- Fleet A J. Hydrothermal and hydrogeneous ferromanganese deposits[A]. In: Rona P A, et al, eds. *hydrothermal Process at sea Floor Spreading Centers*[M]. New York: Rlenum Press, 1983. 537~570
- Henderson P. Rare earth element geochemistry[M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1984. 195~211
- Murchev B L, Jones D L. A mid-Permian chert event: wide spread deposition of biogenetic siliceous sediments in coastal, island arc and oceanic basins[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1992, 96: 161~174
- Beauchamp B, Boud A. Growth and demise of Permian biogenic chert along northwest Pangea: evidence for end-Permian collapse of thermohaline circulation [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 184: 37~63