

滇西南昌宁—孟连带三叠纪牡音河组 硅质岩地球化学特征及沉积环境

张振芳¹, 冯庆来², 方念乔¹, 黄军义³, 李世雄³, 陈学方¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074; 3. 中国地质矿业总公司, 北京 100081)

摘要: 滇西南昌宁—孟连带牡音河组硅质岩已进行了较好的生物地层学和沉积学研究, 表明为中三叠世深水盆地沉积, 但对其沉积构造背景存在不同的认识. 本文尝试用分子有机地球化学方法, 并辅以无机地球化学的手段, 研究牡音河组硅质岩的物源环境, 分析沉积区构造背景. 研究表明硅质岩中正构烷烃碳数分布范围较宽 C_{14} — C_{36} , 且具双峰型分布模式, 说明其有机质为陆生高等植物和水生生物混合来源; 萜类和甾类化合物特征说明研究区有机质来源总体上以水生生物为主, 同时有不同程度陆生高等植物混入. 牡音河组硅质岩 $\Sigma w(\text{REE})$ 为 $83.56 \times 10^{-6} \sim 124.1 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ce})/w(\text{Ce}^*)$ 在 0.76~0.99 之间变化, $w(\text{La})_n/w(\text{Yb})_n$ 在 0.77~1.98 之间, 说明该盆地明显受陆源区物质影响. 另外, 该硅质岩的 $w(\text{La})_n/w(\text{Ce})_n$ 和 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 图解及 $w(\text{MnO})/w(\text{TiO}_2)$ 比值也说明牡音河组硅质岩沉积过程中受到大陆作用. 两方面的特征互相印证, 说明研究区中三叠世为受陆地强烈作用的深水局限盆地. 这项研究还说明, 分子有机地球化学方法能够为硅质岩沉积环境的探讨提供更多的物源和环境信息.

关键词: 生物标志化合物; 稀土元素; 沉积构造背景; 硅质岩; 中三叠世; 滇西南.

中图分类号: P53 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2001)05-0449-07

作者简介: 张振芳(1972—), 女, 1999年毕业于中国地质大学研究生院, 获硕士学位, 主要从事放射虫古生物学及海水沉积学研究, 现为中国地质大学(北京)博士研究生.

0 引言

昌宁—孟连带是滇西南古特提斯洋最终碰撞闭合的部位, 是研究古特提斯的关键地区之一. 近年来的大量工作表明, 这里发育了早泥盆—中三叠世的深水硅泥质岩沉积组合^[1]. 这些硅泥质岩沉积在大陆边缘、深海平原和大洋中脊等不同构造环境, 在构造演化上包括了裂隙扩张、开扩大洋、俯冲削减和残留海等不同威尔逊旋回阶段^[2]. 对于中三叠统牡音河组硅质岩, 尽管做了较好的生物地层学和沉积学研究^[3~6], 但由于缺少地球化学工作, 对其沉积构造背景的理解不够深入. 笔者力图通过分子有机地球化学和无机地球化学相结合的方法, 探索其沉积环境及构造古地理意义.

1 样品位置及时代

牡音河组硅质岩采自澜沧县拉巴乡牡音河河谷中的一个小剖面(图1), 剖面总长约 11 m. 逐层采样 142 件, 对所有样品进行放射虫化石分离, 由于重结晶作用只有 40 件样品包含了保存较好的放射虫, 共获放射虫个体约 4 000 个, 对其中的 896 个个体进行电镜扫描照相, 经鉴定发现 30 个属, 74 个种, 建立了 *Triassocampe deweveri*, *Triassocampe coronata coronata*, *Triassocampe coronata inflata* 和 *Triassocampe dimitricai* 4 个组合带, 它们可与环太平洋域及古特提斯域已有的放射虫带进行对比, 其时代归属为安尼阶^[5].

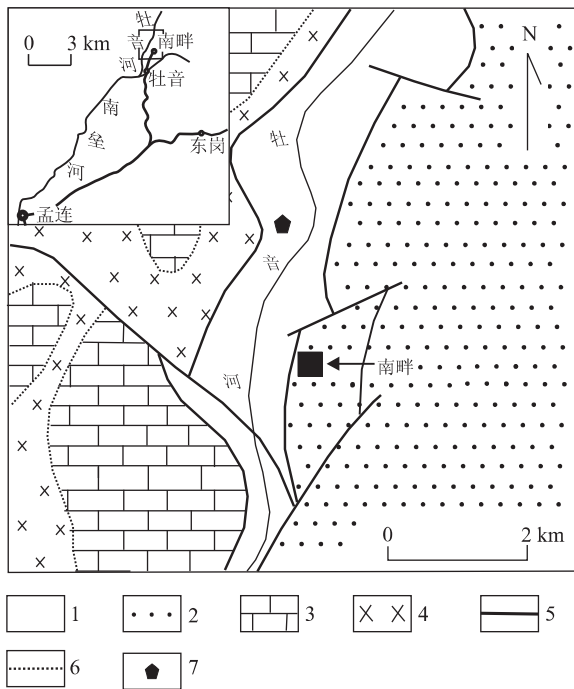


图 1 研究区交通位置和地质简图

Fig. 1 Location and geology map of study area

1. 下—中三叠统牡音河组; 2. 石炭—二叠系拉巴群; 3. 石炭—二叠系灰岩; 4. 下石炭统平掌组; 5. 断层; 6. 地质界线; 7. 剖面位置

2 分子有机地球化学特征

地质体中有机质的丰度和组成,特别是生物标志化合物的组成均与原始生物种属和地区气候变化密切相关;生物体死亡埋藏后有机质的演化又受控于沉积成岩环境,因此可以应用生物标志化合物的分布特征、结构演化模式及其参数变化识别地质体中有机质的生物源输入、沉积古环境、成熟度等^[7-13]。有机化合物种类众多,分子结构精细,其中包含着丰富的与古植被、古生态、古气候和古环境有关的信息^[7]。

2.1 研究材料和方法

本文对安尼阶的 8 件硅质岩样品经去污染处理后粉碎成 100 目的粉末,用三氯甲烷进行索氏抽提 96 h。抽提物经旋转蒸发平衡后,得到样品的氯仿沥青 A,用石油醚沉淀出其中的沥青质后,让抽提物通过硅胶—氧化铝色层柱,将其分成饱和烷烃、芳烃及非烃。所得烷烃分馏平衡后进行 GC-MS 分析。分子有机地球化学参数的计算是基于相同的 GC-MS 分析条件下,采取各系列化合物特征碎片离子质量色谱图的相对定量资料计算的。

气相色谱—质谱—计算机联用仪分析在 HP6890+ GC/5973 5SD 上进行。色谱柱为 HP-5MS 熔融石英毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm)。始温 70 ℃,然后以 3 ℃/min 升至 280 ℃,终端恒温 20 min。进样口温度 300 ℃,氦气作载气。质谱计离子源选用电子轰击源,电离能 70 eV,发射电流为 250 μA,GC 与 MS 接口温度 280 ℃,进样量 1 μL。

定性采用标准样品、质谱图 (Wiley 谱库和化学结构库) 以及文献提供的保留时间相结合。定量采用外标法,标样为正十六烷。

2.2 结果与讨论

与物源和沉积环境有关的有机分子参数包括正构烷烃和环烷烃参数,数据列于表 1。所有分子参数都是根据 GC-MS 分析的结果,在相应质量色谱图上按峰面积计算的。各参数计算方法及意义见表 2。本文研究的硅质岩有机成熟度大体相当,且是经去染的新鲜样品。烷烃中共检测出正构烷烃、类异戊二烯烃、长链三环萜烷、五环三萜烷及甾烷 5 类化合物。

2.2.1 正构烷烃 正构烷烃广泛存在于植物及其他生物体内,不同生物源的正构烷烃具有不同的分布特点。来源于海相或湖相的藻类、菌类等生物的正构烷烃碳链较短 (nC_{13} — nC_{23}),通常以 nC_{17} 为主峰的单峰型分布,缺少高碳数 ($>nC_{25}$) 的正构烷烃,无明显奇偶优势,通常指示水体相对较深,水生生物相对发育的环境;陆生高等植物来源的正构烷烃碳链较长 (nC_{25} — nC_{35}),通常以 nC_{27} , nC_{29} , nC_{31} 为主峰的单峰型分布,具有明显的奇偶优势,反映水体相对较浅,水生生物不发育;而双峰型分布则被认为是混合来源^[8,9]。牡音河组硅质岩中检测出的正构烷烃碳数分布范围为 C_{14} — C_{36} ,大部分样品具 nC_{17} 或 nC_{19} 及 nC_{27} 或 nC_{29} 为主峰的双峰型分布模式,说明其有机质为陆生高等植物和水生生物混合来源。而且 My11-1 为以 nC_{31} 为主峰的单峰型分布,其有机质主要来源为陆生高等植物。陆源和水生两类生物贡献有机质的相对量可用正构烷烃指数 nC_{31}/nC_{17} 来表示。通常这个指数大于 2 表明陆源输入为主,小于 0.5 表明有大量水生生物输入^[10]。该硅质岩的正构烷烃指数在 0.71~1.57 之间,呈有规律分布,下部的 3 件样品 $w(nC_{31})/w(nC_{17})$ 在 0.70~0.91 之间,指示了海生生物贡献略大于陆生高等植物,往上的 5 件样品从 1.57 增至 1.68 后降至 0.71,指示了陆生高等植物的贡献明显较下部增加,之后又减少。

Yamamoto 等^[14] 以 $\Sigma w(C_{24}-C_{34})/w(\text{正烷烃})$

表 1 反映环境的生物标志化合物参数

Table 1 Biomarker parameters reflecting depositional environment

样品号	碳数范围	正烷烃 主碳峰	$\frac{\omega(C_{27}+C_{29}+C_{31})}{\omega(C_{15}+C_{17}+C_{19})}$	$\frac{\omega(nC_{31})}{\omega(nC_{17})}$	$\frac{\omega(Pr)}{\omega(Ph)}$	$\frac{\omega(Pr)}{\omega(nC_{17})}$	$\frac{\omega(Ph)}{\omega(nC_{18})}$	$\frac{\omega(\text{藿烷})}{\omega(\text{甾烷})}$	甾烷			$\frac{\omega(C_{32}\alpha\beta 22S)}{\omega(22S+22R)}$
			C_{27}/T	C_{28}/T	C_{29}/T	C_{27}/T	C_{28}/T	C_{29}/T				
2-1	C ₁₄ —C ₃₆	nC ₁₉ —nC ₂₇	1.15	0.85	0.29	0.39	0.87	2.608	0.276	0.300	0.424	0.594
6-7	C ₁₄ —C ₃₅	nC ₂₉	1.07	0.71	0.32	0.45	1.00	1.965	0.296	0.280	0.424	0.529
11-1	C ₁₅ —C ₃₄	nC ₃₁	3.81	1.68	0.46	0.47	0.94	3.824	0.267	0.261	0.471	0.631
13-7	C ₁₄ —C ₃₆	nC ₂₇	2.51	1.57	0.33	0.37	1.09	4.162	0.306	0.262	0.432	0.610
15-2	C ₁₆ —C ₃₄	nC ₁₈ —nC ₂₉	7.62	1.57	0.28	0.38	1.03	1.834	0.263	0.287	0.450	0.635
17-17	C ₁₅ —C ₃₅	nC ₁₉ —nC ₂₅	1.28	0.70	1.45	0.88	0.60	3.863	0.281	0.335	0.384	0.522
17-33	C ₁₅ —C ₃₄	nC ₁₇ —nC ₂₇	1.38	0.91	1.14	0.82	0.97	1.405	0.268	0.298	0.434	0.565
18-1	C ₁₄ —C ₃₆	nC ₁₇ —nC ₂₇	1.23	0.70	1.06	0.81	0.95	1.564	0.311	0.285	0.404	0.590

表 2 生物标志化合物参数计算

Table 2 Calculation and interpretation of biomarker parameters

参数	描述	定量	指示意义	一般解释
主峰碳	最高丰度的正烷烃	RIC 或 m/z85	生物输入	藻类输入具有 C ₁₇ 主峰型, 高等植物输入具有 C ₂₇ , C ₂₉ 或 C ₃₁ 主峰的单峰型, 双峰型的分布被认为是混合来源
$\frac{\omega(C_{31})}{\omega(C_{17})}$	$\frac{\omega(C_{27}+C_{29}+C_{31})}{\omega(C_{15}+C_{17}+C_{19})}$	m/z85	? 生物输入, 值 < 0.5 表明大量藻类输入, 值 > 2 主要为高等植物输入	通常藻类含丰富的 n-C ₁₇ 高等植物, 含 n-C ₃₁
$\frac{\omega(Pr)}{\omega(C_{17})}$	$\frac{\omega(\text{姥鲛烷})}{\omega(n-C_{17})}$	RIC	物源: 值 > 1 藻贡献, 但随降解作用增加比值减小	姥鲛烷由藻类输入, 通常来源于叶绿素和脱羧基维生素 E, 参数与成熟度和排烃作用也有关
$\frac{\omega(Ph)}{\omega(C_{18})}$	$\frac{\omega(\text{植烷})}{\omega(n-C_{18})}$	RIC	生物输入: 值 > 1 认为是古细菌输入	高的比值通常是强还原环境
$\frac{\omega(Pr)}{\omega(Ph)}$	$\frac{\omega(\text{姥鲛烷})}{\omega(\text{植烷})}$	RIC	古环境: 值 < 1 认为是还原环境	同样受物源影响, 除来源于叶绿素, Pr 和 Ph 也可以来源于水生生物和细菌
$\frac{C_{27}/T}{C_{28}/T}, \frac{C_{28}/T}{C_{29}/T}$	$\frac{\sum\omega(C_{27})/\sum\omega(\text{甾烷})}{\sum\omega(C_{28})/\sum\omega(\text{甾烷})}, \frac{\sum\omega(C_{29})/\sum\omega(\text{甾烷})}{\sum\omega(C_{29})/\sum\omega(\text{甾烷})}$	m/z217	生物输入: 简单地说, 藻类输入 C ₂₇ /T 大, C ₂₉ /T 为高等植物输入, 也可能来源于不同的藻类	对成熟度也较敏感
$\frac{\text{藿烷}}{\text{甾烷}}$	$\frac{\omega(C_{30}\alpha\beta \text{藿烷})}{\sum\omega(C_{29} \text{甾烷})}$	m/z191, m/z217	物源: 高的比值 (>10) 表明较高的陆源输入	比值对于藻类和陆源输入的有机质的相对含量变化比较敏感, 也可能反映细菌改造
22S%	$\frac{\omega(C_{32}\alpha\beta 22S)}{\omega(22S+22R)}$	m/z191	成熟度变化范围 0~60	随成熟作用生物构型的 22R 向稳定的 22S 构型转化

总量)为横坐标,以 $\sum\omega(C_{14}-C_{20})/\omega$ (正烷烃总量)为纵坐标,把海岸沉积和远洋沉积页岩的数据投入此图后发现二者落入不同区域内.同时,他也将 Franciscan 层状硅质岩系列上、中、下不同部位的样品投图,发现下部样品落入远洋沉积区,中上部绝大部分样品落入二者的交汇区.另外,不同部位样品的正构烷烃各碳数的丰度曲线与该序列中深海平原和大陆边缘硅质岩的北美页岩标准化稀土曲线^[15]有很好的可比性.由此可见,利用上述图解可很好地区分深海平原及大陆边缘等构造环境单元.本文的硅质岩投图后 My13-7 落入大陆边缘沉积区,My17-33 落入交汇区(其余样品不知数据,无法计算),反映该区硅质岩在构造环境上应属大陆边缘.

2.2.2 无环类异戊二烯烃 从饱和烷烃 m/z183

质量色谱图可以发现该硅质岩中有较丰富的类异戊二烯烃.可明显辨认出规则异戊二烯烃中的姥鲛烷 Pr(*i*C₁₉)、植烷 Ph(*i*C₂₀)、降姥鲛烷(*i*C₁₈)及四甲基十七烷(*i*C₂₁)、十八烷(*i*C₂₂)和十九烷(*i*C₂₃)等.

姥鲛烷和植烷是叶绿素植醇侧链降解的产物.植醇在还原环境趋向转化成植烷,氧化环境转化为姥鲛烷.因此,异戊二烯烃中植烷和姥鲛烷的相对丰度 Pr/Ph 值可作为判断沉积环境氧化还原性质的指标^[10,11].

从表 1 可以看出该区硅质岩的 $\omega(Pr)/\omega(Ph)$ 值变化范围(0.28~1.45)较大,且具有明显的规律性.自下而上的 3 件样品 $\omega(Pr)/\omega(Ph)$ 从 1.06 到 1.45,指示了一种逐渐增强的氧化环境;而往上的 5 件样品 $\omega(Pr)/\omega(Ph)$ 从 0.28 至 0.46,且呈对称分

表 3 牡音河组硅质岩中稀土元素质量分数及特征

Table 3 REE mass fractions and features of chert from Muyinhe Formation

10⁻⁶

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	$\omega(\text{La})_n / \omega(\text{Ce})_n$
My1-1	23.08	42.91	4.57	17.52	3.62	0.62	3.41	0.53	3.27	0.66	2.01	0.32	1.97	0.31	19.30	124.10	0.92
My11-1	20.81	38.69	4.29	15.03	3.12	0.54	2.83	0.47	2.89	0.57	1.69	0.27	1.70	0.29	16.00	109.18	0.91
My18-1	20.57	30.68	3.28	11.88	2.25	0.41	1.72	0.25	1.51	0.31	0.85	0.14	0.92	0.16	8.63	83.56	0.76
My19	15.71	33.30	4.14	16.47	3.74	0.80	3.66	0.55	3.61	0.70	1.87	0.30	1.80	0.31	20.47	107.43	0.99

布,指示了一种强还原环境,而且经历了先减弱后增强的过程.其中,My6-7和My13-7则具有异常高的植烷优势和极低的姥/植比值,可能分别代表了甲烷成因菌和喜盐细菌的输入,或高盐度和强还原的沉积环境^[7,11].然而,该样品中没有检测出角鲨烷(iC_{30})——指示甲烷成因菌和喜酸喜热菌的输入^[12],所以上述特征很可能指示了一种高盐的还原环境.另外,高比值的 $\omega(\text{Ph})/\omega(nC_{18})$ 指示强还原环境,从表1看出该参数具有与 $\omega(\text{Pr})/\omega(\text{Ph})$ 相同的规律性.

2.2.3 萜类化合物 牡音河组硅质岩中检测出较为完整的长链三环萜烷系列化合物.从m/z191质量色谱图可以看出,长链三环萜碳数分布范围为C₂₀—C₂₉,其中以C₂₁和C₂₃为主,C₂₂和C₂₇质量分数甚少.C₂₆带有两个光学异构体,C₂₈和C₂₉带有一个光学异构体.而且还检测出一系列升藿烷,大部分分布范围较宽C₃₁—C₃₅,指示淡水环境;其中My6-7,My15-2,My17-17为C₃₁—C₃₃,分布较窄,指示淡水或半咸水环境^[7,11].

2.2.4 甾类化合物 甾族化合物是由生物体中的甾醇经成岩改造转化而成的.从目前资料可知,水生浮游动物(主要是藻类)以C₂₇为主,其次是C₂₉的甾醇.陆生植物主要含C₂₉的甾醇,其次是C₂₈的甾醇.甾族化合物的大量出现,一般认为与海相沉积有关.

牡音河组硅质岩除My17-17外,均可见到丰富的C₂₇,C₂₈和C₂₉胆甾烷(m/z217,m/z218质量色谱图),而且各自在所有样品中所占的比例基本恒定(表1),说明其来源稳定.研究区甾烷的组成以C₂₉占优势,指示沉积物中有机质为水生和陆生混合来源.

藿/甾比值高的情况主要出现在半咸水和淡水环境,可能由于这种环境有利于细菌藿烷形成而不利于甾烷的保存,并与高等植物输入为主的陆相淡水环境有关^[7,11,13].该硅质岩区的 $\omega(C_{30}\alpha\beta\text{藿烷})/\omega(\Sigma C_{29}\text{甾烷})$ 值为1.405~4.165,远小于10,反映研究区有机质的来源总体上以水生生物为主,同时

有不同程度陆生高等植物的贡献.

3 地球化学特征

3.1 稀土元素特征

硅质岩和其他细粒沉积物REE丰度和质量分数是古代沉积物原始沉积环境的指示剂.因为REE记录了局部海域中REE的相对分馏作用;包含了热液和陆源颗粒组分及埋藏速率对REE丰度的影响.因此,硅质岩沉积环境可根据Ce异常特征、 $\Sigma\omega(\text{REE})$ 、轻重稀土比值及Eu异常特征等加以辨别.丁林等^[2]对滇西昌宁—孟连带古特提斯洋不同威尔逊旋回阶段的33件硅质岩样品的稀土元素特征分析表明,构造环境与硅质岩稀土元素组成有密切关系,用硅质岩稀土元素特征,特别是Ce异常可有效地区分洋中脊、开阔洋盆和大陆边缘等不同构造环境.

牡音河组硅质岩(表3) $\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)$ 在0.76和0.99之间变化,平均值为0.895. $\Sigma\omega(\text{REE})$ 为83.56至124.10,平均106.07. $\omega(\text{La})_n/\omega(\text{Yb})_n$ 在0.77至1.98之间,平均1.22. $\omega(\text{Eu})/\omega(\text{Eu}^*)$ 在0.83至1.02之间,平均0.94.Courtois^[16]根据从南太平洋中部至南美洲的两个表层沉积物横剖面的资料,证明 $\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)$ 从深海表层沉积物($\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)=0.25$)至大陆边缘沉积物($\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)=0.81\sim 1.00$)呈系统性变化,且La的质量分数随着接近大陆而逐渐降低.丁林等^[2]认为Ce异常可以灵敏地反映沉积环境的变化,测得的与陆源沉积砂岩,粉砂岩和泥岩伴生的硅质岩,其 $\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)$ 值在0.72和0.98之间变化,平均值为0.90(图2),这一值相当于加里福尼亚弗朗西斯科杂岩中大陆边缘沉积的硅质岩,其 $\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)$ ^[17]在0.67~1.35之间变化,平均值为1.09,据此推断牡音河组硅质岩沉积于大陆边缘环境.另外,丁林等^[2]认为大陆边缘 $\omega(\text{La})_n/\omega(\text{Yb})_n$

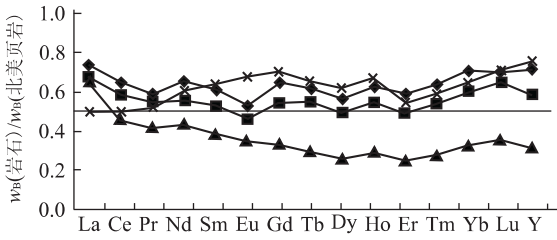


图 2 牡音河组硅质岩稀土元素配分曲线

Fig. 2 REE patterns of siliceous rocks from Muyinhe Formation

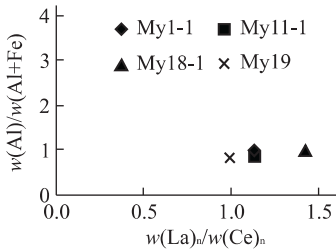


图 3 $w(La)_n/w(Ce)_n - w(Al)/w(Al+Fe)$ 图解

Fig. 3 $w(La)_n/w(Ce)_n - w(Al)/w(Al+Fe)$ diagram

值变化较大,从 0.70 到 2.27,可能与硅质岩中所含陆源物的类型及相对数量有关,而 Eu 异常则不宜用来讨论沉积环境,因其在河水中的分异机制尚待查明. Murry^[18]认为 $w(La)_n/w(Ce)_n$ 可很好地区分大陆边缘、远洋及大洋中脊的硅质岩,三者的比值依次为 $\approx 1, \approx 2 \sim 3, \geq 3.5$,该区硅质岩的 $w(La)_n/w(Ce)_n$ 值在 1.00~1.41 之间,再次说明其沉积于大陆边缘环境.

3.2 常量元素特征

Murry^[18]收集整理了世界各地已发表的有代表性的硅质岩层序地球化学资料,总结出一套广泛适用于各种沉积环境的地球化学判别标志,用于层状及结核状硅质岩而与围岩成分无关.其沉积环境可分三类:大陆边缘、远洋和扩张洋脊附近.弧后盆地、边缘海、陆表海和开放陆架均归属大陆边缘环境.他提出用 $w(La)_n/w(Ce)_n$ 与 $w(Al_2O_3)/w(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ 比值做图,可以很好地区分这三类硅质岩.研究区的硅质岩样品投入该图(图 3)后发现全部落入大陆边缘区.另一方面,研究硅质岩的专家常把 $w(MnO)/w(TiO_2)$ 的比值作为来自大洋的标志,研究结果表明,离陆较近的大陆坡和边缘海沉积的硅岩 $w(MnO)/w(TiO_2)$ 比值偏低,一般小于 0.5,而开阔大洋中的硅质沉积物的 $w(MnO)/w(TiO_2)$ 比值较高,可达 0.5~3.5^[19],该区硅质岩

表 4 牡音河组硅质岩中常量元素质量分数及特征

Table 4 Mass fractions and features of major elements in siliceous rocks from Muyinhe Formation %

样号	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	$w(MnO)/w(TiO_2)$	$w(Al)/w(Al+Fe)$	$w(La)_n/w(Ce)_n$
My1-1	0.17	0.38	9.51	0.96	0.45	0.90	1.14
My11-1	0.21	0.36	6.53	1.00	0.60	0.87	1.14
My18-1	0.04	0.16	4.82	0.44	0.20	0.92	1.41
My19	0.07	0.60	9.44	2.00	0.10	0.83	1.00

的 $w(MnO)/w(TiO_2)$ 值(表 4)显示其沉积环境离陆较近.

4 讨论

(1)牡音河组由于缺少陆源碎屑物质等特征,被认为沉积于远离陆源区的洋内弧深水盆地^[4].但从分子有机地球化学和无机地球化学特征来看,牡音河组沉积盆地是一个明显受到陆地背景影响的深水盆地.如何评价不同研究方法得出的不同结论,如何恢复研究区中三叠世构造古地理背景,是值得深入研究的课题.

值得注意的是,近年来的研究发现,中三叠世深水相硅质岩沉积并不限于澜沧拉巴,也不限于牡音河组.在耿马勐省和澜沧县阿里地区,同样存在中三叠统含放射虫硅质岩^[20,21],它们具有不同的岩石组合和地层序列,代表了不同的沉积盆地或同一沉积盆地的不同地理部位,说明昌宁—孟连构造带中三叠世沉积盆地仍有一定的规模.

(2)众所周知,硅泥质岩系沉积构造单调,沉积环境研究十分困难.近二十年来,许多地质学者应用地球化学方法研究硅泥质岩系沉积环境及大地构造背景取得巨大成功^[2,15,16~19].但是,随着研究深入,人们逐渐发现地球化学方法也存在明显的局限性,例如稀土元素地球化学特征不仅受物源区影响,而且与热液作用关系十分密切,在浅海热液硅质岩中,也可呈现强烈的负异常,有的学者则运用 $\delta(Ce)$ 负异常值计算硅质岩中热液成分的比例^[22].

尽管近年来许多学者将分子有机地球化学方法应用于地质问题研究中,但在硅泥质岩系中的应用十分有限^[14].本文研究说明,分子有机地球化学方法同样能够较好地解决硅泥质岩系的物源、沉积环境和构造背景,甚至能够提供比无机地球化学方法更多的信息.所以,分子有机地球化学方法在硅泥质

岩系中的应用值得深入研究。

本文承蒙谢树成教授审阅全稿,有机地球化学测试在湖北省地球表层系统开放实验室由王红梅博士协助完成,无机地球化学测试由国土资源部武汉综合岩矿测试中心完成。放射虫扫描由中国地质大学(武汉)测试中心扫描电镜室张素新高级工程师协助完成。屠强帮助做图,在此对他们的大力支持谨表深切谢意。

参考文献:

- [1] Liu B P, Feng Q L, Fang N Q. Tectonic evolution of the Palaeo-Tethys in Changning-Menglian belt and adjacent regions, Western Yunnan [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1991, 2(2): 18-23.
- [2] 丁林,钟大赉,滇西昌宁—孟连带古特提斯洋硅质岩稀土元素和铈异常特征[J]. *中国科学(B辑)*, 1995, 25(1): 93-100.
- [3] 冯庆来,刘本培. 滇西南晚二叠世和早、中三叠世放射虫动物群及其地质意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1993, 18(5): 540-552.
- [4] 方念乔,刘本培,冯庆来. 滇西南牡音河组的沉积特征、环境意义及与之相关的若干地质问题[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1996, 21(1): 11-18.
- [5] Zhang Z F, Feng Q L. Preliminary studies of Triassic radiolarians from Muyinhe Formation in Southwest Yunnan, China [A]. In: Yin H F, Tong J N, eds. *Proceedings of the international conference on Pangea and the Paleozoic-Mesozoic transition* [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999. 74-79.
- [6] Feng Q L, Yang F Q, Zhang Z F, et al. Radiolarian evolution during the Permian and Triassic transition in South and Southwest China [A]. In: Yin H F, Dickins J M, Shi G R, et al, eds. *Permian-Triassic evolution of Tethys and western circum-Pacific* [C]. Amsterdam: Elsevier, 2000. 309-326.
- [7] 傅家谟,盛国英. 分子有机地球化学与古气候、古环境研究[J]. *第四纪研究*, 1992, 4: 306-320.
- [8] Tissot B P, Pelet R, Rouchache J, et al. Alkanes as geochemical fossils indicators of geological environments [A]. In: Campos R, Goni J, eds. *Advances in organic geochemistry 1975* [C]. Madrid: Enadimsa, 1977. 117-154.
- [9] Brassel S C, Eglinton G, Maxwell J R, et al. Natural background of alkanes in the aquatic environment [A]. In: Hutzinger O, Van Lelyveld I H, Zoeteman B C J, eds. *Aquatic pollutants* [C]. Oxford: Programon Press, 1978. 69-86.
- [10] 阳学贤,盛国英,卢家烂,等. 内蒙古湖洞察汗淖(碱)湖沉积物中的生物标志物特征及古环境意义[J]. *地球化学*, 1996, 25(6): 536-543.
- [11] 傅家谟,盛国英,许家友,等. 应用生物标志化合物参数判别古沉积环境[J]. *地球化学*, 1991, 20(1): 1-12.
- [12] Brassell S C, Wardroper A M K, Thomson I D, et al. Specific acyclic isoprenoids as biological markers of methanogenic bacteria in marine sediments [J]. *Nature*, 1981, 277: 125-127.
- [13] Mackenzie A S, Brassell S C, Eglinton G, et al. Chemical fossils — the geological fate of steroids [J]. *Science*, 1982, 217: 491-500.
- [14] Yamamoto K, Okada T, Takayanagi Y, et al. Normal paraffin in shale as an indicator of depositional environment [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(20): 4403-4410.
- [15] Murry R W, Buchholtz Ten, Brink M R, et al. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments of chert and shale [J]. *Geology*, 1990, 18: 268-271.
- [16] Courtois H. Distribution des terres rares dans les sediments superficiels du Pacifique sud-est [J]. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 1977, 7: 1245-1251.
- [17] Murry R W, Buchholtz Ten, Brink M R, et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan complex and Monterey Group, California; assessing REE sources to fine-grained marine sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 1875-1893.
- [18] Murry R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90: 213-232.
- [19] 王东安,陈瑞君. 雅鲁藏布江缝合带硅质岩的地球化学成因标志及其地质意义[J]. *沉积学报*, 1995, 13(1): 27-31.
- [20] Feng Q L, Ye M, Zhang Z J. Triassic radiolarian fauna from Southwest China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1996, 5(3): 381-394.
- [21] Yao A, Kuwahara K. Paleozoic and Mesozoic radiolarians from the Changning-Menglian terrane, Western Yunnan, China [A]. In: Yao A, Ezaki Y, Hao W, et al, eds. *中国古特提斯生物及地质变迁* [C]. 北京: 北京大学出版社, 1999. 17-42.
- [22] 夏邦栋,钟立荣,方中. 下扬子区早二叠世孤峰组层状硅质岩成因[J]. *地质学报*, 1995, 69(2): 125-137.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF TRIASSIC SILICEOUS ROCKS FROM MUYINHE FORMATION IN CHANGNING-MENGLIAN BELT, SOUTHWEST YUNNAN

Zhang Zhenfang¹, Feng Qinglai², Fang Nianqiao¹, Huang Junyi³, Li Shixiong³, Chen Xuefang¹

(1. *Faculty Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 3. *China National Geology and Mining Corporation, Beijing 100081, China*)

Abstract: Detailed studies of biostratigraphy and sedimentology of the siliceous rocks from the Muyinhe Formation in the Changning-Menglian belt, Southwest Yunnan indicate that the deposition occurred in a deep-water basin in Middle Triassic. However, its depositional tectonic setting is little understood. The main purpose of this article is to analyze its provenance and depositional tectonic background by using molecular organic geochemistry and inorganic geochemistry. The carbon number distribution of the normal paraffin in the siliceous rock is relatively wide, C₁₄—C₃₆, with two peaks, which implies that this organic matter is derived from both higher terrigenous plants and marine autochthonous organisms. The features of the steroid and terpenoid hydrocarbons suggest that the organic is mainly originated from marine sources mixed with terrigenous sources. The REE characteristics of the siliceous rock are as followed: total $w(\text{REE})$ ranges from 83.56×10^{-6} to 124.1×10^{-6} , $w(\text{Ce})/w(\text{Ce}^*)$ between 0.76 and 0.99, $w(\text{La})_n/w(\text{Yb})_n$ from 0.77 to 1.98. These characteristics show that the basin was apparently influenced by terrigenous sources. In addition, $w(\text{MnO})/w(\text{TiO}_2)$ ratio and $w(\text{La})_n/w(\text{Ce})_n$ vs. $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ plot consistently show that the chert was influenced by land sources during its depositional process. While the incorporating characteristics of the organic and inorganic in the siliceous rocks suggest that the studied area was a limited deep-water basin and was strongly influenced by terrigenous matter and that molecular organic geochemistry can provide more information about the provenance and sedimentary environment of siliceous rocks.

Key words: biological marker compound; REE; depositional tectonic setting; siliceous rock; Middle Triassic; Southwest Yunnan.

我国地学界的一颗璀璨明珠：浙江长兴“金钉子”

2001年8月10日上午,全球二叠系—三叠系界线层型剖面和点位,俗称“金钉子”标志碑的揭幕仪式在浙江长兴县举行。来自中国、美国、加拿大等13个国家的百余位专家学者以及早已聚集在标志碑前的长兴县人民参加了这一盛大的揭幕仪式。中国地质大学(武汉)校长殷鸿福院士主持了揭幕仪式,国际地层委员会副主席 Richard Lane、国土资源部副部长寿嘉华、国家环保总局副局长宋瑞祥、浙江省副省长章猛进等人为纪念碑揭幕,科技部基础研究司邵立勤副司长、国家自然科学基金委员会地学部柴育成副主任、浙江省国土资源厅王松林厅长、浙江省湖州市黄坤明市长、国际三叠系分会主席 Michael Orchard 博士、国际二叠系分会秘书长 Charles Henderson 博士和全球沉积地质规划主任 Aymon Baud 博士等为标志纪念碑落成剪彩。

坐落在长兴煤山剖面的标志碑高达 9 m, 碑顶为一枚“微小欣德牙形石”的微体古生物化石模型。正是这种牙形石在浙江煤山 D 剖面第 27c 层最初出现的位置, 被确定为全球二叠系—三叠系界线, 也即所称的“金钉子”。

“金钉子”是指由国际地层委员会确定的已建各地层系、统、阶之间的界线剖面和点位的俗称, 即全球范围内穿越某一地质时代起始点的最佳地质记录。显然, “金钉子”不止一个, 但却有大小和主次之分。浙江长兴的“金钉子”不仅是地质历史上三个最大的断代“金钉子”之一, 同时也是意义最为重大的一个。其一, 二叠系是古生界最末一个系, 三叠系是中生界最早一个系, 所以浙江长兴的“金钉子”既是二叠系—三叠系界线的标志, 又是中生界与古生界之间的标志。其二, 古生代末期约 2.5 亿年前, 地球上发生了比恐龙绝灭规模更大、影响更深远的一次生物绝灭事件, 海洋生物的种类 90% 以上绝灭, 陆地上两栖类和爬行类的 2/3 绝灭了; 昆虫自 3.9 亿年前出现后遭遇了第一次、也是演化史上唯一的一次大绝灭, 生态系统彻底瓦解。这一次生物大绝灭成为古生代向中生代转折的里程碑。由此可见, 长兴

“金钉子”的确立, 对人类关系重大。长兴“金钉子”剖面也由此成为国际地质学家研究生物绝灭这一自然变化的最佳野外实验室。

生物是反映地质历史最灵敏的物质形态, 认识地球的最好办法就是研究每一历史时期的生物化石。不同的化石, 就成为划分不同年代的标志。100 多年来, 对于古生界和中生界的划分, 地质学界一直用耳菊石化石作为标志, 但由于耳菊石分布的局限性, 无法充分解释全球范围内的地质现象。所以这一界线到底在何处, 国际地学界一直没有定论。早在 1962 年中国科学院南京地质古生物研究所盛金章院士提出了长兴阶, 1977 年该所成立二叠系—三叠系界线工作组。1978 年由杨遵仪院士领导的中国地质大学界线工作组成立。1986 年我国著名的古生物学家殷鸿福院士率先提出以我国地质学家发现的牙形石取代菊石作为二叠系—三叠系界线标准化石, 逐步得到国际学者的赞同, 为我国争取“金钉子”迈出了最为关键的一步。1993 年, 殷鸿福主持召开了国际二叠系—三叠系界线工作组会议, 确定了 4 条层型候选剖面, 煤山剖面被列为第一候选层型剖面。1996 年, 中、美、俄、德等国的 9 名科学家在国际刊物上发表联名文章, 推荐以中国浙江长兴煤山 D 剖面 27c 层之底为全球二叠系—三叠系界线层型剖面和点。此后, 经过国际二叠系—三叠系界线委员会、国际三叠系分会和国际地层委员会组织的三轮投票, 最终由国际地质科学联合会认可, 确定了长兴煤山在地质学上的“金钉子”地位。

浙江长兴“金钉子”来之不易, 它是我国几代地质科学家数十载艰辛努力奋斗的结晶。它的确立标志着所在国的研究水平是全世界同类研究中最高的, 是一项世界级的科学荣誉, 是地学研究中的一次重大进步; 同时它也是地学界的一颗璀璨明珠, 激励着各国地质学家探索科学真理之路。