

扬子板块北部古被动大陆边缘的地球化学特征

高长林 秦德余 吉让寿 殷勇

(地质矿产部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

主题词: 扬子板块; 被动大陆边缘; 地球化学; 火山岩; 砂页岩

摘要: 本文初次提出扬子板块北部古被动大陆边缘的地球化学特征是: a、裂陷早期阶段, 发育碱性双峰式火山岩, 但在裂陷的晚期和移离的早期阶段, 发育碱性而不具双峰特征的火山岩、岩脉群; b、发育具两类不同地球化学特征的砂页岩, 裂陷阶段形成的砂页岩与活动大陆边缘形成的砂页岩具相似的地球化学特征, 移离阶段所形成的砂页岩才真正具被动大陆边缘砂页岩的地球化学特征。

众所周知, 被动大陆边缘存在丰富的油气资源。被动大陆边缘在其演化过程中, 主要历经过裂陷和移离阶段, 它主要由大陆壳、裂陷地壳以及在被动大陆边缘发育过程中的大陆架沉积岩组成^[1-4]。必须指出, 由于古被动大陆边缘经受过后期的构造改造, 再之, 古大洋业已消失, 因此, 仅靠一些常规的地质方法难以正确鉴定出古被动大陆边缘。然而, 现代高精度测试技术的迅速发展, 为我们提供了指纹对比鉴定的可能, 本文叙述扬子板块北部古被动大陆边缘在其发育过程中所形成的火山岩、岩脉群以及碎屑岩的地球化学特征, 旨在为古被动大陆边缘的鉴定提供一些技术方法。

一、火山岩和岩脉群的地球化学特征及其构造学意义

现有大量资料表明, 中新世的被动大陆边缘在其发育的早期阶段有广泛的岩浆活动, 主要表现为火山喷发和岩墙群的贯入, 如北美和非洲西北部早中生代时, 中大西洋张开开始时即是如此^[1,4]。但遗憾的是, 人们至今对被动大陆边缘所发育的火山岩和岩脉群的地球化学特征所知甚少。因此, 不少学者将其误认为是产于裂谷系中的火山岩。

(一) 火山岩的地球化学特征

自晚元古到震旦纪, 扬子板块北部(陕南、川北、鄂西)发育一套酸—基性的火山熔岩—火山碎屑岩—正常沉积岩的岩石组合(图1)。

郧西群火山岩系, 其下部以火山碎屑岩为主, 上部以熔岩为主, 构成一个大的火山喷发韵律层, 总体上看, 基本为连续喷发。耀岭河群火山岩系与郧西群之间普遍为平行不整合接触, 其岩性主要为一套富钠的基性熔岩夹角砾凝灰岩、凝灰岩及火山角砾岩。按火山碎屑岩—熔岩的韵律特征, 表现出两个大的旋回, 每个旋回包括了3—10个次一级韵律层, 各韵律层之间均为整合接触, 说明当时火山活动是连续喷发的^[5]。据简易化学图解^[6], 郧西群中的火山熔岩岩石类型主要为流纹岩、英安流纹岩, 耀岭河群中的主要为碱

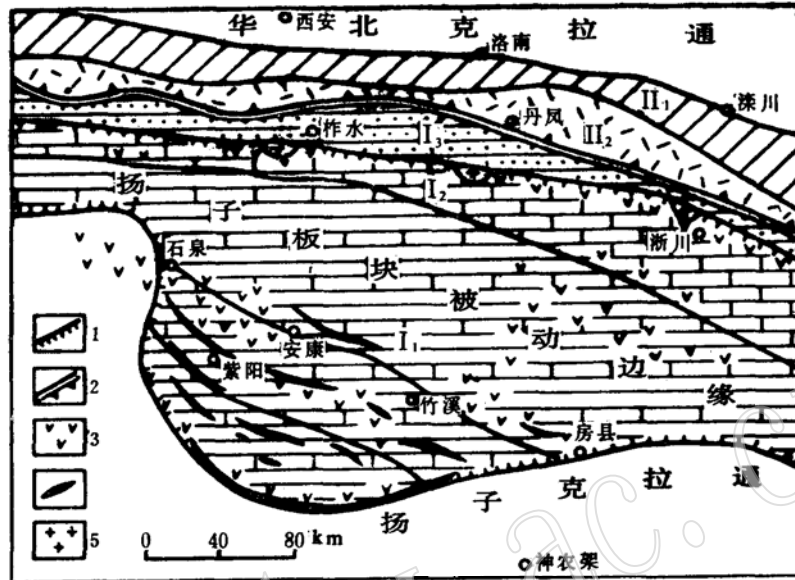


图 1 扬子板块北部古被动大陆边缘略图

Fig. 1 Sketch map of ancient passive margin in northern part of Yangtze plate

扬子板块被动大陆边缘: I₁—安康—随州断陷, 硅泥质岩、泥质碳酸盐岩; I₂—小木岭—赵川断陷, 碳酸盐岩; I₃—山阳—柞水深海盆钙泥复理石; 华北板块活动大陆边缘: II₁—郎坪弧后盆地, 火山岩、复理石; II₂—丹凤岛弧, 火山岩、复理石
1—裂隙边界; 2—早期洋盆扩张带, 晚期俯冲带; 3—晚元古代火山岩; 4—早古生代次火山岩; 5—A型花岗岩

性玄武岩、玄武安山岩、安山岩等。郧西群和耀岭河群火山岩构成一个典型的双峰式火山岩系, 主要由酸性和基性火山岩组成。

赖特 (1969) 提出用 SiO_2 —A. R 图解研究火山岩岩石的碱性程度 (A. R 为碱度率), 郧西群和耀岭河群火山岩的化学参数值的投点如图 2, 它们都投点于碱质区。

郧西群和耀岭河群火山熔岩的化学参数在 $\log r$ — $\log (\sigma_{25} \times 100)$ 与构造关系图解中的投点如图 3。郧西群火山熔岩的化学参数点几乎都落在 C 区, 耀岭河群火山熔岩的化学参数大多也投点于 C 区, 小部分在 A 区, 它们都富碱、富钠, 表明它们都可能为非造山带火山岩 (图 3)。

郧西群火山岩的稀土元素含量及其球粒陨石标准化模式分别见表 1 和图 4, 其 ΣREE 高, $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 高, 富轻稀土。取自郧西群底部的英安流纹岩的 $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 值分别为 6.75、6.83, 无负 Eu 和负 Ce 异常。而取自郧西群上部的英安流纹岩的 $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 值分别为 2.48 和 2.31, 且有负 Ce 异常。表明郧西群底部火山岩是由地壳中迅速喷发的结果, 而郧西群上部火山岩是由地壳中喷发到近地表环境中缓慢冷却而成。这与郧西群的产出特征完全相吻合, 其下部以火山碎屑岩为主, 而上部以熔岩为主。

耀岭河群火山熔岩的 ΣREE 也高, $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 为 2.38、2.55, 富集轻稀土, 负 Ce 异常明

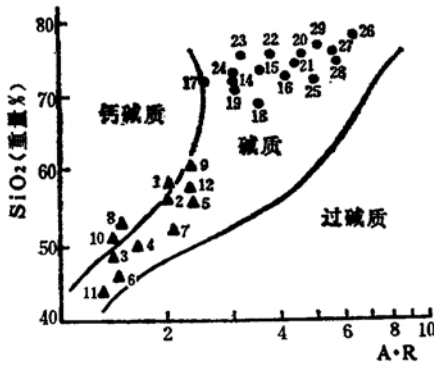


图 2 SiO₂-A. R. 图解
Fig. 2 SiO₂-A. R. diagram
●—郧西群中的火山岩
▲—耀岭河群中的火山岩;

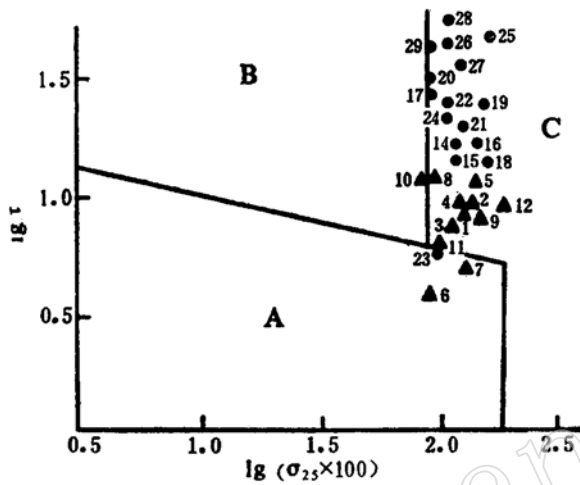


图 3 火山岩logτ—log(σ₂₅×100)图解
Fig. 3 Logτ—Log(σ₂₅×100) diagram for volcanic rocks

●—郧西群火山岩; ▲—耀岭河群火山岩;
B—造山带和岛弧火山岩; A—非造山带(稳定区)火山岩; C—为A、B区火山岩派生的碱性岩, 钠质型与A区有联系, 钾质型与B区有联系。

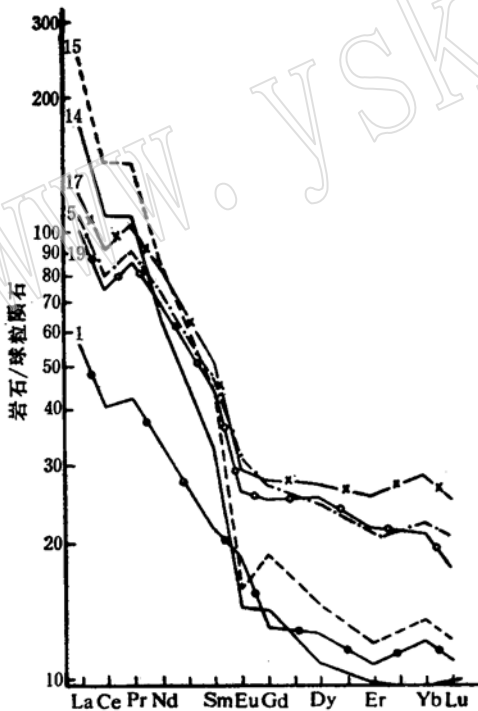


图 4 郧西群和耀岭河群火山岩稀土元素球粒陨石标准化模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for volcanic rocks in Yunxi and Yaolinghe groups
郧西群: 14、15 (底部), 17、19 (中上部), 英安流纹岩;
耀岭河群: 1—安山岩; 5—玄武粗安岩

显, 表明它们是形成于陆壳中的火山岩。

必须指出, 虽然郧西群和耀岭河群火山岩的稀土元素地球化学特征存在一定的差异, 但郧西群上部与耀岭河群火山岩之间具相似的稀土模式, 这与该两群的分带特征明显是一致的, 即郧西群发育的初期火山喷发强烈(以火山角砾岩等为主), 到其发育的中晚期, 以喷溢作用为主(以火山熔岩为主), 而郧西群和耀岭河群之间为平行不整合, 没有明显的间断。

(二) 岩脉群的地球化学特征

在陕南紫阳、安康、岚皋、镇坪一带, 寒武、奥陶、志留纪地层中发育大量的岩脉、岩墙

表 1 稀土元素数据表
Table 1 Rare-earth element contents

层位	序号	采样位置	岩石类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
耀 岭 河 群	1	镇安县小木岭	安山岩	18.236	38.081	5.120	20.302	4.396	1.364	4.094	0.684	3.952	0.807
	5	镇安县小木岭	玄武粗安岩	36.067	75.690	10.979	44.404	9.358	2.300	8.452	1.404	7.715	1.555
郧 西 群	14	浙川县毛堂	英安流纹岩	57.55	102.13	12.87	38.56	6.60	1.06	4.44	0.67	3.40	0.69
	15	浙川县毛堂	流纹岩	81.17	135.47	17.24	52.62	8.93	1.17	5.93	0.94	4.64	0.94
	17	紫阳县牛山	英安流纹岩	39.931	87.028	12.516	50.389	10.307	2.169	8.631	1.452	8.566	1.764
	19	紫阳县牛山	英安流纹岩	32.379	69.813	10.310	41.661	8.991	1.914	7.822	1.351	7.900	1.524
O ₁₋₂	3	恒口-紫阳公路边	正长岩	95.402	184.910	23.796	84.654	13.954	3.844	9.156	1.508	6.836	1.284
S ₁	4	恒口-紫阳公路边	正长斑岩	197.778	393.192	49.496	169.516	27.062	5.898	18.268	3.146	15.780	3.062
Є-O	7	恒口-紫阳公路边	正长斑岩	112.244	220.716	29.184	109.990	18.330	6.695	12.978	1.988	9.032	1.638
Є ₃	Δ4	紫阳-芭蕉口公路边	辉绿岩	55.307	127.929	18.860	83.238	16.476	7.040	13.799	2.079	10.302	1.897
S ₁	Δ3	紫阳-芭蕉口公路边	辉绿岩	51.322	106.994	14.875	62.988	12.646	4.167	10.826	1.646	8.633	1.596
Є ₂	8	紫阳-芭蕉口公路边	闪长玢岩	69.726	142.050	19.378	73.662	14.574	3.842	11.652	1.978	10.466	1.888
层位	序号	采样位置	岩石类型	Er	Tm	Yb	Lu	y	ΣCe	Σy	ΣREE	ΣCe/Σy	
耀 岭 河 群	1	镇安县小木岭	安山岩	2.283	0.347	2.334	0.342	21.988	87.499	36.831	124.33	2.38	
	5	镇安县小木岭	玄武粗安岩	4.380	0.668	4.242	0.623	41.127	178.791	70.160	248.957	2.55	
郧 西 群	14	浙川县毛堂	英安流纹岩	1.98	0.31	2.08	0.29	19.43	218.77	33.29	252.06	6.57	
	15	浙川县毛堂	流纹岩	2.60	0.43	2.60	0.37	25.00	296.6	43.45	340.05	6.83	
	17	紫阳县牛山	英安流纹岩	5.382	0.817	5.450	0.792	48.638	202.34	81.492	283.832	2.48	
	19	紫阳县牛山	英安流纹岩	4.366	0.618	3.903	0.547	43.285	165.068	71.316	236.384	2.31	
O ₁₋₂	3	恒口-紫阳公路边	正长岩	3.408	0.526	2.962	0.408	31.070	406.59	57.158	463.718	7.11	
S ₁	4	恒口-紫阳公路边	正长斑岩	8.122	1.240	7.216	0.946	76.776	842.942	134.556	977.498	6.26	
Є-O	7	恒口-紫阳公路边	正长斑岩	4.106	0.600	3.216	0.440	40.542	497.159	74.54	571.699	6.67	
Є ₃	Δ4	紫阳-芭蕉口公路边	辉绿岩	4.850	0.657	3.676	0.516	47.174	308.85	84.95	393.8	3.64	
S ₁	Δ3	紫阳-芭蕉口公路边	辉绿岩	4.148	0.578	3.273	0.440	40.585	252.992	71.725	324.717	3.53	
Є ₂	8	紫阳-芭蕉口公路边	闪长玢岩	5.248	0.780	4.592	0.632	49.646	323.232	86.882	410.114	3.72	

湖北省地质局测试中心测定, 1986, 1987年。

群, 一般顺层或沿断裂贯入, 呈北西-南东向展布。主要是: 玻基辉石岩、辉绿岩、正长斑岩及闪长玢岩等。基性岩脉一般多分布在寒武、奥陶纪地层中, 正长斑岩和闪长玢岩多分布于志留纪地层中。必须指出, 在上述地层中, 还分布有一系列的碱性、碱中性的火山岩与火山碎屑岩。岩脉群的化学特征参数在 SiO₂-A. R 图解中的投点都落在碱质岩区, 按 SiO₂ 含量的分析次数频率作图, 没有明显间断, 不具双峰特征。

陕南安康、紫阳一带的辉绿岩、正长岩、闪长玢岩岩脉群的稀土元素球粒陨石标准化模式图分别见表1和图5,可见产于寒武、志留纪地层中的辉绿岩和闪长玢岩的稀土总量高(324.717—410.114ppm), $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{y}$ 3.53—3.72,富轻稀土,负Ce异常明显。正长斑岩的 ΣREE 更高(463.718—977.498ppm), $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{y}$ 在6.26—7.11,更富轻稀土,表明它们产于陆壳环境中。

(三) 大地构造学意义

近年来的成果表明,扬子和华北板块之间存在一个从晚元古代开始发育到志留、泥盆纪结束的古秦岭海洋^[7]。扬子板块北部存在一个古被动大陆边缘,上述火山岩和岩脉群是古被动大陆边缘发展演化过程中的必然产物。在该被动大陆边缘发展演化的裂陷初期阶段(上元古—下震旦纪),发育碱性富钠的双峰式火山岩系(郧西群和耀岭河群火山岩年龄628.6—978.79Ma),它们的 ΣREE 高, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{y}$ 比值大,富轻稀土,形成于陆壳拉张环境。在该被动大陆边缘发展演化的裂陷晚期和移离早期阶段(寒武、奥陶纪)发育一系列的碱性、碱中性火山岩及岩脉、岩墙群,为碱性但不具双峰式特征,其 ΣREE 高, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{y}$ 高,富轻稀土,也是产于陆壳拉张环境。由此可将产于被动大陆边缘和裂谷系中的火山岩区别开来,即裂谷系中的为碱性双峰式火山岩,而被动大陆边缘在其裂陷的早期阶段发育碱性双峰式火山岩,但在其裂陷的晚期和移离早期阶段发育大量的火山岩、岩脉、岩墙群,为碱性但不具双峰式特征。

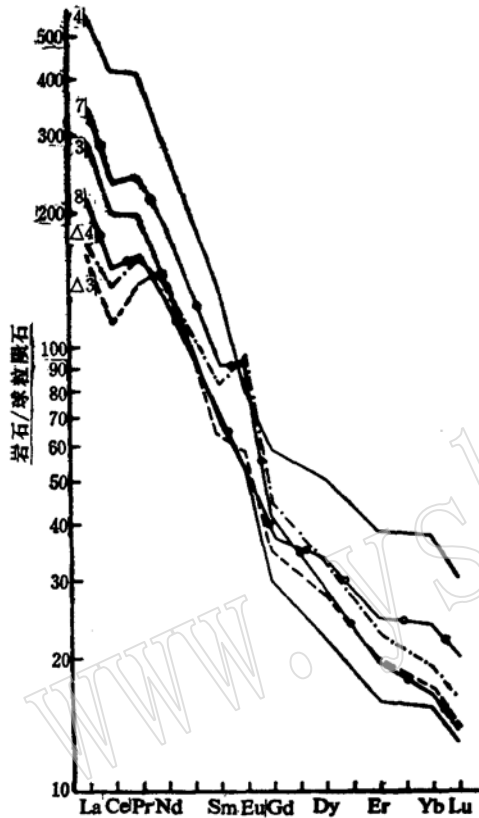


图5 紫阳地区岩脉群稀土元素球粒陨石标准化模式图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns for dike swarm in Ziyang
辉绿岩(3-S₁, 4A-E₃); 闪长玢岩(8-E_{2m});
正长斑岩(43,4-S₁, 7-E-0)

二、碎屑岩的地球化学特征及其构造学意义

Crook(1974), Schwab(1975)^[8]首先将砂岩的主要类型与各类板块构造环境下特定的物源区和沉积盆地联系起来,认为被动大陆边缘的砂岩富含石英。Volloni, Maynard(1981)^[9]曾提出石英、长石和岩屑在不同构造背景下的特征值。Dickinson(1979)建立了以砂岩骨架组分为端点的判断物源区和沉积盆地构造环境的三角形判别模式图。Bhatia(1983, 1985)^[10-11]提出了砂岩形成构造的常量元素判别函数和图解以及几类构造环境中微量元素和稀土元素的地球化学特征。本文初次提出扬子板块北部古被动大陆边缘在其发展演化的过程中,发育两类不同地球化学特征的砂页岩,即在裂陷初期阶段与该期以后所

形成的砂页岩具不同的地球化学特征。

1. 常量元素的地球化学特征

Bhatia (1983)^[10] 主要根据东澳大利亚砂岩的化学成分研究而得出几类大地构造环境中砂岩化学成分的变化规律, 并制定了一系列的砂岩的化学成分与构造环境之间相互关系的鉴定图表。笔者认为碎屑岩的化学组分还受碎屑的粒级控制, 如赖特 (Wright, P. L., 1972) 在研究巴伦海陆棚沉积物不同粒级部分的化学成分时发现在这些沉积物中, 元素分配具如下规律:

a. 由砂到粘土部分, SiO_2/Al_2O_3 比值下降; b. 粉砂部分富集 TiO_2 ; c. 粘土部分富集 Fe_2O_3 和 MgO ; d. 几乎所有微量元素都选择性地富集于粘土部分或粉砂部分, Zr 、 Rb 、 Zn 、 Ni 、 Cu 更富集于粘土部分^[12]。

因此, 在研究碎屑岩类岩石的化学成分与构造环境之间的关系时, 应按碎屑颗粒的粒级进行分类研究。实际上, Bhatia, M. R. 所提出的一些鉴别图表主要适用于一些粗粒级的碎屑岩。然而, 许多粗粒级的砂岩似乎以其骨架组分即能判定其形成构造环境。Roser, 和 Korsch (1986)^[13] 注意到碎屑岩的化学组分与颗粒粒级之间的关系, 发现从砂岩到泥岩中, SiO_2 和 Na_2O 减小, 而 K_2O 增加, 提出了适用于粉砂、泥岩的 K_2O/Na_2O 对 SiO_2 与构造环境之间关系的成分图解 (图 6)。陕南东部地区震旦、寒武、志留、泥盆纪砂页岩的

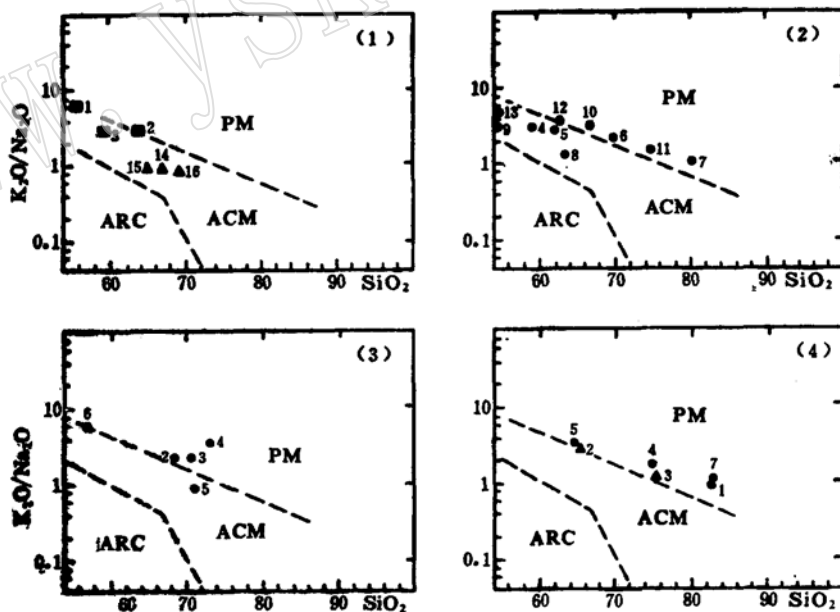


图 6 砂 (泥) 岩的 K_2O/Na_2O 和 SiO_2 与构造环境的关系 (据 Roser, 1986)
Fig. 6 Relationship between K_2O/Na_2O , SiO_2 and tectonic environment for sandstones

PM—被动大陆边缘; ACM—活动大陆边缘; ARC—大陆岛弧; (1) 中▲—震旦纪砂岩, ■—寒武纪砂岩; (2) 中●—志留纪砂岩; (3) 中●—泥盆纪砂岩; (4) 中▲—泥盆纪刘岭群上部砂页岩; ●—刘岭群下部砂页岩

化学成分及其 K_2O/Na_2O 比值参数投点如图6, 清楚可见两类情况, 即震旦纪砂页岩都投在ACM(活动大陆边缘)区, 而寒武纪砂页岩的点落在ACM和PM(被动大陆边缘)区的边界附近, 志留纪砂页岩的点分别落在PM和ACM区, 泥盆纪的点基本都在PM区。从上述资料明显可见该被动大陆边缘在其裂隙阶段及移离早期阶段所形成的砂页岩的化学特征类似于活动大陆边缘砂页岩的化学特征, 只有主移离阶段所形成的砂页岩才具被动大陆边缘砂页岩的化学特征。

2. 稀土元素地球化学特征

稀土元素在源岩中的丰度和物源区的风化条件被认为是控制沉积物中稀土元素的主要因素, 沉积和沉积期后的作用, 如搬运、沉积和成岩过程中的交换反应对沉积岩中稀土元素的改变不大(Culler 1975, 1979; Roddset 1978; Chunchur 1979)。现代海水中, REE的浓度非常低, 而且停留时间很短(Elderfield, 1982)^[14]。因此, 砂页岩中稀土元素的丰度和分布特征只能是由一定的构造环境下物源区的母岩所决定的, 所以, 可用以判断物源区的构造性质。Bhatia (1985)^[11]认为洋岛型杂砂岩的特征是 Σ REE值低, 轻稀土略有富集, 没有负Eu异常; 大陆岛弧型杂砂岩具较高的REE含量和较高的La/Yb比, 存在较小的负Eu异常, 用PAAS(澳大利亚后太古代页岩)标准化后, Eu富集。产于安第斯型活动大陆边缘、被动边缘、地台和克拉通盆地中的砂岩特征是轻稀土相对于重稀土高度富集, 有负Eu异常等。

陕南东部地区粉砂岩、页岩的稀土元素含量如表2, 球粒陨石和PAAS标准化模式

表2 稀土元素含量

Table 2 Rare-earth element contents

序号	野外号	采样位置	层位	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
1	62088	恒口-紫阳	跃岭河群 Z ₇ L	粉砂岩	23.407	46.520	6.289	24.504	5.035	1.237	4.313	0.738	4.234	0.843
2	62109	紫阳-毛坝	玉龙洞组 Є ₁ S	灰紫色页岩	46.485	87.468	11.172	38.207	6.697	1.136	4.918	0.791	4.361	0.876
3	62114	紫阳-毛坝	Є ₂ d	灰黄绿色页岩	34.661	63.642	8.325	29.261	5.296	1.082	4.406	0.761	4.321	0.920
4	62134	芭蕉口	吴家河组 S _{1w} ⁴	板岩	45.163	71.046	10.432	35.796	6.826	1.367	5.287	0.875	5.02	0.989
序号	野外号	采样位置	层位	岩性	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ Ce	Σ y	Σ REE	Σ Ce/ Σ y	
1	62088	恒口-紫阳	跃岭河群 Z ₇ L	粉砂岩	2.544	0.392	2.654	0.386	23.571	106.992	39.675	146.667	2.70	
2	62109	紫阳-毛坝	玉龙洞组 Є ₁ S	灰紫色页岩	2.632	0.432	2.767	0.398	22.925	191.165	40.100	231.265	4.77	
3	62114	紫阳-毛坝	Є ₂ d	灰黄绿色页岩	2.863	0.441	3.024	0.448	25.765	142.267	42.949	185.216	3.31	
4	62134	芭蕉口	吴家河组 S _{1w} ⁴	板岩	2.938	0.483	3.034	0.436	25.583	170.63	44.645	215.275	3.82	

湖北省地质局测试中心测定, 1987年。

如图 7。

由上述资料可见两类情况，一是震旦纪粉砂岩与 Bhatia 所描述的大陆岛弧区的砂泥岩具相似的稀土元素地球化学特征，其 ΣREE 值为 122.318ppm， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{y}$ 比值为 6.98， La/Yb 为 8.82， $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 为 5.24，在 PAAS 标准化的模式图中，明显见正 Eu 异常。另一类情况是寒武、志留及泥盆纪砂页岩与 Bhatia 所描述的被动大陆边缘的砂页岩具相似的稀土元素地球化学特征，其 ΣREE 值在 133.27—294.55ppm， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{y}$ 比值为 8.75—16.73， La/Yb 为 10.23—23.59， $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 为 6.01—14.01，其 PAAS 标准化模式图中无 Eu 异常（图 7）。

3. 大地构造学意义

在古板块构造的研究中，由于变质作用，以砂岩骨架组份来判断物源区和沉积盆地构造环境的方法已不能获得近于实际的结果。砂页岩的地球化学特征与其形成构造环境之间的关系研究是一个值得进一步探讨的新课题。扬子板块北部古被动大陆边缘在其裂陷阶段所形成的砂页岩与活动大陆边缘的砂页岩具相似的地球化学特征，而移离阶段所形成的砂页岩才真正具被动大陆边缘砂页岩的地球化学特征。

结 语

扬子板块北部（中段）古被动大陆边缘历经过裂陷（上元古晚期—中奥陶世）和移离（中奥陶—晚志留世）阶段，其地球化学特征是：

1. 裂陷早期阶段，发育碱性双峰式火山岩，但在裂陷的晚期和移离的早期阶段，发育碱性而不具双峰特征的火山岩、岩脉、岩墙群。
2. 发育具两类不同地球化学特征的砂页岩，裂陷早期阶段与活动大陆边缘所形成的砂页岩具相似的地球化学特征，移离阶段与被动大陆边缘所形成的砂页岩具相似的地球化学特征。

本文是在张本仁教授和孙肇才研究员指导下完成的，笔者深表感谢！

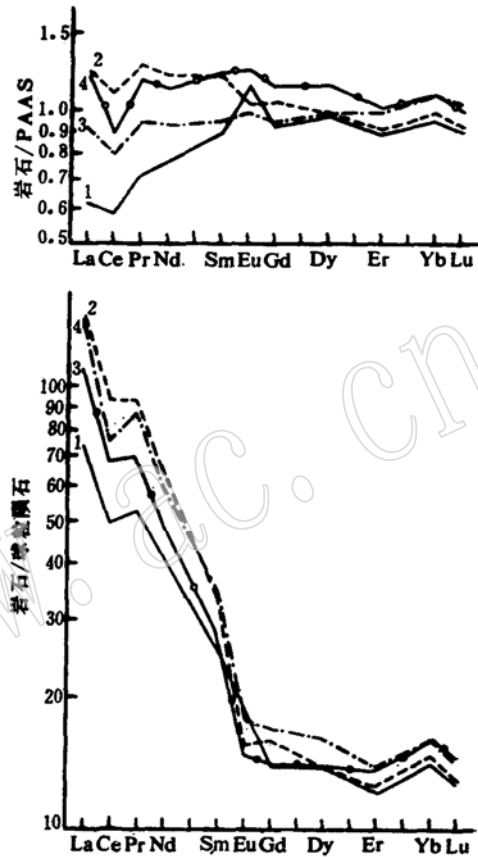


图 7 陕南砂页岩稀土元素球粒陨石和 PAAS 标准化模式图

Fig. 7 Chondrite-normalized and PAAS REE patterns for sandstone and shale in southern Shanxi

1—震旦纪粉砂岩；2、3—寒武纪页岩；4—志留纪页岩

参 考 文 献

- [1] Bally, A. W., 1981, Atlantic-Type margins, in geology of passive continental margin: AAPG, education course note series 19, 1-48.
- [2] Watts, A. B., 1981, The U. S. Atlantic continental margin: subsidence history, crustal structure and thermal evolution, AAPG, education course note series 19, 2-1, -2-75.
- [3] Grow, J. A., 1981, The Atlantic margin of the United States, AAPG, education course note series 19, 3-1, -3-42.
- [4] 马文璞, 1986, 被动大陆边缘地质. 中国区域地质, 3期, 239-248.
- [5] 陶洪祥等, 1985, 扬子地台北缘裂谷系构造初析. 中国区域地质, 13辑, 地质出版社, 95-104.
- [6] 邱家骥, 1979, 确定陆相火山岩名称、酸度、碱度系列组合的简单方法. 地质与勘探, 1979, 9期.
- [7] 高长林、秦德余、吉让寿、殷勇, 1990, 东秦岭被俯冲消减古洋壳的地球化学鉴定. 石油实验地质, 12卷, 2期, 135-145.
- [8] Schwab, F. L., 1975, Framework mineralogy and chemical composition of continental margin-type sandstone, *Geology*, 3, 487.
- [9] Valloni, R., Maynard, J. B., 1981, Detrital modes of recent deep-sea sands and their relation to tectonic setting, a first approximation, *Sedimentology*, 28, 75.
- [10] Bhatia, M. R., 1983, Plate tectonic and geochemical composition of sandstones, *Geol.* 91, 611.
- [11] Bhatia, M. R., 1985, Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywacks and mudrocks: Provenance and tectonic control, *Sed. Geol.* 45, 1-2, 97-113.
- [12] 张本仁等, 1979, 地球化学. 地质出版社, p347.
- [13] Roser, B. P., Korsch, R. J., 1986, Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio, *J. Geol.*, 94, 635-650.
- [14] Henderson, P., 1984, (editor) Rare earth element geochemistry.

Geochemical Characteristics of Ancient Passive Continental Margin of the Northern Yangtze Plate

Gao Changlin, Qin Deyu, Ji Rangshou, Yin Yong

(Central Laboratory of Petroleum Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources, Wuxi 214151)

Key words: Yangtze plate; passive continental margin; geochemistry; volcanic rock; sandstone and shale

Abstract

The ancient passive continental margin of the northern Yangtze plate was developed through Late Proterozoic-Middle Ordovician rifting and Middle Ordovician-Late Silurian drifting. This paper deals with the geochemical characteristics of the ancient passive continental margin of the northern Yangtze plate.

a. The volcanic rocks developed at the early stage of rifting are alkalic and bimodal, while the volcanic rocks, dikes and swarms formed during the late stage of rifting to the early stage of drifting are not bimodal, although alkalic.

b. Sandstones and shales formed during the evolution of this continental margin show two different geochemical characteristics. The sandstones and shales produced in the rifting stage are geochemically similar to those of active continental margins. Only do those rocks produced in the drifting stage possess the geochemical characteristics of sandstones and shales of a passive continental margin.