

文章编号: 0379-1726(2002)02-0153-08

## 琼西抱板群变质沉积岩地球化学研究

许德如<sup>1,2</sup>, 梁新权<sup>1</sup>, 唐红峰<sup>2</sup>

1. 中国科学院 长沙大地构造研究所, 湖南 长沙 410013; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002

**摘要:** 琼西中元古代抱板群变质沉积岩可分为白云母石英片岩组和石英二云母片岩组, 其原岩为砂岩质泥质沉积岩夹火山物质。白云母石英片岩组和石英二云母片岩组在地球化学成分上的差异是原始沉积化学分异作用的结果。对主元素、微量元素(含稀土元素)及 Sm-Nd 同位素的综合研究表明, 海南岛存在古元古代或更早的古老基底, 抱板群变质沉积岩一部分来源于成熟度较低的古老地壳物质, 另一部分来源于含地幔火山物质较多的初生地壳, 或与研究区大规模造山运动、构造-岩浆活动所伴生的地幔物质加入有关。初步研究显示, 琼西抱板群变质沉积岩可能是造山带岛弧和活动大陆边缘区(扩张弧后或弧间盆地)大地构造环境下的沉积产物。

**关键词:** 抱板群; 变质沉积岩; 岩石地球化学; 岩石成因论; 海南省

**中图分类号:** P59; P581 **文献标识码:** A

## 0 引言

海南岛西部中元古代抱板群变质沉积岩的研究一直是一个空白。沉积岩地球化学的研究有助于了解物质的来源和沉积岩古沉积环境, 进而反演区域地壳演化史。本文拟通过细致的野外调研和全面的地球化学分析测试, 划分琼西中元古代抱板群变质沉积岩类型, 讨论它们的物质来源和大地构造沉积环境。

## 1 地质概况及采样

## 1.1 地质概况

海南岛中元古代抱板群是迄今为止在海南地区有可靠年龄证据的最古老地层。抱板群地层主要分布在岛西戈枕断裂带上盘(图1), 与下盘古生界南碧沟群呈突变关系。勘探结果仅显示抱板群呈长椭圆状, 沿 NE-SW 向展布, NE-SW 向延长近 60 km, NW-SE 向宽约 5~12 km。

抱板群地层由花岗质片麻岩、变基性火山岩(斜长角闪片麻岩)和变质沉积岩构成。变质沉积岩主要发育两大岩类: 石英二云母片岩和白云母石英片

岩。实测剖面结果显示, 白云母石英片岩厚度小, 出现层位少, 夹于斜长角闪片麻岩和厚层的石英二云母片岩之间, 三者产状基本一致(图1)。抱板群地层强烈变形变质, 脆-韧性剪切变形构造异常发育<sup>[1]</sup>,

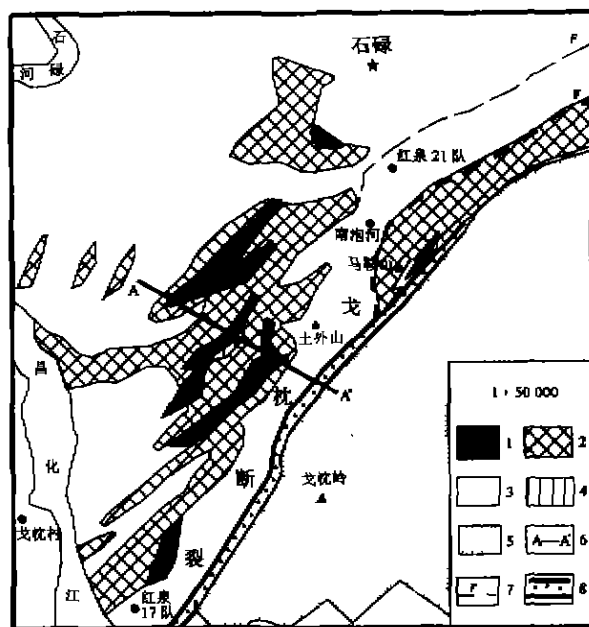


图1 琼西土外山地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Tuwaishan area in West Hainan  
1. 斜长角闪片麻岩; 2. 石英二云母片岩; 3. 花岗质片麻岩;  
4. 白云母石英片岩; 5. 古生代南碧沟群; 6. 实测剖面; 7. 推测  
断裂; 8. 戈枕断裂。

收稿日期: 2001-05-10; 接受日期: 2001-08-07

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-Y-003)资助

作者简介: 许德如(1966-), 男, 博士研究生, 岩石地球化学专业。

变质程度达高绿片岩和角闪岩的中高级变质相变,局部达榴辉岩相<sup>[2]</sup>,与戈枕断裂下盘古生代南碧沟群的浅变质和弱变形形成明显的对比。

### 1.2 样品与分析方法

在土外山沿 A—A' 实测剖面(垂直于戈枕断裂)(图 2)共采集 10 件新鲜的抱板群地层变质沉积岩样品,分别进行了主元素、微量元素、稀土元素和 Sm、Nd 同位素测定,其中主元素和微量元素由中国科学院长沙大地构造研究所分析测试室分别采用紫外分光光度仪和 ICP-AES 完成,稀土元素由湖北省地质实验研究所采用 ICP-MS 等离子质谱仪完成。Sm-Nd 同位素测试由国土资源部天津地质矿产研究所完成,测试方法见梁新权等<sup>[3,4]</sup>所述,Nd 同位素比值测定采用  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  进行标准化,实验全流程空白本底 Nd =  $6.5 \times 10^{-10}$  g, JMC Nd 测定结果  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = (0.51134 \pm 0.001)\%$ , BCR-1 Nd 测定结果  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = (0.512646 \pm 0.001)\%$ 。

## 2 岩石化学特征

表 1 为变质沉积岩主元素分析结果。综合野外

地质调查、镜下观察和岩石化学成分,本区变质沉积岩的主要特征如下。

(1) 白云母石英片岩: 浅白色,片状构造、花岗鳞片变晶结构,个别岩石可见变余火山玻璃结构。主要矿物为石英 50%~80%、白云母 2%~40%、绢云母 3%~8%;高 SiO<sub>2</sub> 含量 75.15%~75.75%、高 Na<sub>2</sub>O 含量 2.5%~2.75%、低 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 14.76%~14.99%、低 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO 含量 0.57%~0.60%、低 MgO 含量 0.21%~0.26%、低 TiO<sub>2</sub> 含量 0.02%、低 H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> 含量 1.12%~1.22%。

(2) 石英二云母片岩: 灰白色,风化后呈暗红色,片状构造、花岗鳞片变晶结构,主要矿物为石英 35%~65%、白云母 10%~35%、黑云母 5%~30%、斜长石 0%~25%;主元素含量与白云母石英片岩不同,较低 SiO<sub>2</sub> 含量 61.40%~75.38% (平均 67.76%)、低 Na<sub>2</sub>O 含量 0.01%~1.01%、其他各氧化物含量均较白云母石英片岩高,岩石明显偏碱性。

由于研究区变质沉积岩经历了中高级变质作用,在进行原岩恢复时尽量采用了不活泼元素图解并结合镜下观察。结果表明,变质沉积岩原岩由砂质泥质沉积物夹火山物质组成,白云母石英片岩原

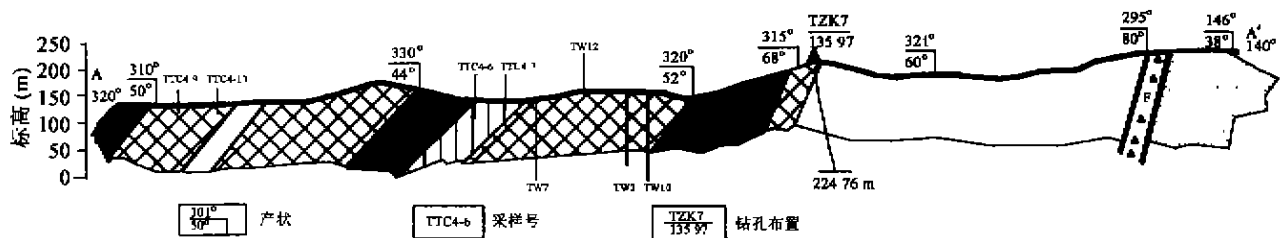


图 2 琼西土外山地区抱板群分布剖面图

Fig. 2 Profile map showing the distribution of Baoban Group of Tuwaishan area in West Hainan  
其他图例同图 1。

表 1 土外山抱板群变质沉积岩主元素化学成分分析结果 (%)

Table 1 Major element composition (%) of the Baoban Group metasedimentary rocks at Tuwaishan

样号	岩性	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	S	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	总量
TTC4-6	白云母石英片岩	75.75	14.76	0.43	0.17	0.26	0.17	2.91	2.75	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01	1.22	98.55
TTC4-7	白云母石英片岩	75.15	14.99	0.27	0.30	0.21	0.46	3.84	2.50	0.02	0.03	0.02	0.09	0.01	1.12	99.01
TZK7-22		66.19	15.98	0.49	5.00	2.42	0.37	3.65	0.48	0.63	0.05	0.07	0.20	0.05	3.39	98.97
TZK7-23		66.96	15.62	0.57	4.72	2.40	0.57	3.62	0.62	0.65	0.04	0.06	0.36	0.03	3.20	99.42
TW2	石英	61.40	18.62	1.77	5.34	2.34	0.26	3.78	1.01	0.76	0.10	0.09	0.13	0.02	3.44	99.06
TW7	二云	65.98	15.48	2.39	2.12	4.30	0.20	3.62	0.04	0.79	0.04	0.08	0.03	0.00	3.79	98.86
TW10	母片	70.48	14.49	3.34	1.44	1.76	0.08	3.71	0.17	0.63	0.01	0.04	0.09	0.02	3.51	99.44
TW12	岩	64.10	18.85	5.39	0.64	0.78	0.10	4.72	0.01	0.74	0.02	0.07	0.09	0.01	4.15	99.67
TTC4-9		75.38	13.44	2.48	0.32	0.40	0.11	3.69	0.01	0.56	0.01	0.05	0.15	0.02	2.86	99.48
TTC4-13		71.61	16.61	1.58	0.16	0.68	0.27	4.38	0.10	0.72	0.00	0.02	0.08	0.01	2.84	99.06

注:由中国科学院长沙大地构造研究所分析测试室分析。

岩以砂岩质沉积物为主，石英二云母片岩原岩以泥质沉积物为主。在  $(al + fm) - (c + alk)$  对 Si 的图解<sup>[5]</sup>上，大部分落入泥质沉积岩区附近，少部分落入砂岩质沉积岩区附近（图略）；在 Ni-TiO<sub>2</sub> 图解上（图 3），大部分落在泥质岩区，少部分落在泥质岩区外附近；在 La/Yb-ΣREE 图解上（图 4），大部分样品落在页岩和粘土岩区及砂质岩和杂砂岩区（Ⅱ和Ⅲ区），少数样品落在斜长角闪岩区（Ⅰ区）和页岩、粘土岩区（Ⅱ和Ⅲ区）的覆盖区附近，可能与变质作用过程中变质流体的交代造成稀土元素的溶解和迁移有关<sup>[7]</sup>。

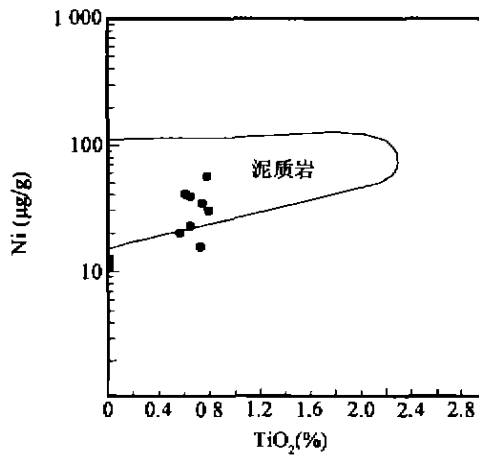


图 3 Ni-TiO<sub>2</sub> 图解(引自文献[6])  
Fig. 3 Diagram of Ni vs. TiO<sub>2</sub> (after [6])

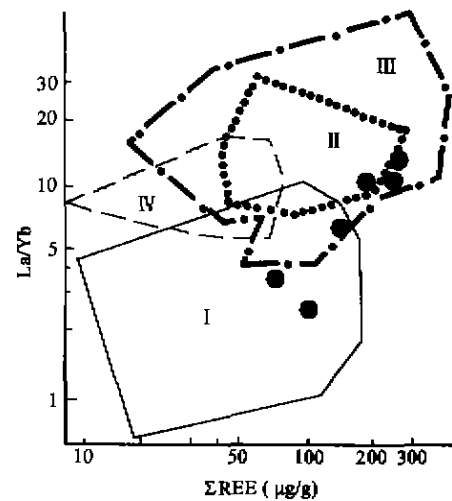


图 4 La/Yb-ΣREE 图解(引自文献[6])  
Fig. 4 Diagram of La/Yb vs. ΣREE (after [6])  
I. 斜长角闪岩区；II. 砂质岩和杂砂岩区；III. 页岩和粘土岩区；IV. 碳酸盐岩区。

### 3 稀土元素和微量元素特征

变质沉积岩按稀土组成可分为两组，即白云母

石英片岩组和石英二云母片岩组。白云母石英片岩组稀土总量(ΣREE)低(表 2)，平均为 85.71 μg/g，Sm/Nd 比值高，平均为 0.25，偏离地壳岩石值(0.195)<sup>[8]</sup>；石英二云母片岩组稀土总量(ΣREE)高，平均为 209.00 μg/g，LREE/HREE 与 La/Yb 比值高，Sm/Nd 比值低(平均为 0.205)，与平均地壳岩石值(0.195)相近<sup>[8]</sup>。由于 SiO<sub>2</sub> 含量低的粘土岩易于吸附稀土元素，SiO<sub>2</sub> 含量高的硅质和粉砂质岩石对稀土元素有稀释作用，并随岩石中 SiO<sub>2</sub> 含量的增加，稀土元素总量减少，因而两者稀土总量有较大的差异<sup>[7]</sup>，这种差别反映了抱板群变质沉积岩因原始沉积化学分异作用而造成原岩的差别；经球粒陨石

表 2 抱板群变质沉积岩稀土元素(μg/g)及有关参数

Table 2 Contents (μg/g) and some parameters of REE of the Baoban Group metasedimentary rocks

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
TTC4-6	8.07	17.6	1.98	7.83	2.08	0.29	2.27	0.46	3.08	0.67	2.15	0.34	2.28	0.34
TTC4-7	11.1	19.9	2.66	10.8	2.61	0.47	2.88	0.63	4.61	1.08	3.69	0.63	4.57	0.74
TTC4-13	33.0	75.5	7.86	32.4	6.20	0.94	3.79	0.65	3.89	0.85	2.70	0.48	3.12	0.50
TW12	20.1	49.8	4.49	17.8	3.89	0.88	3.84	0.79	5.16	1.10	3.36	0.56	3.47	0.55
TZK7-22	43.2	91.2	9.61	37.9	7.85	1.38	6.57	1.21	6.74	1.42	4.20	0.69	4.30	0.67
TZK7-23	46.1	97.6	10.3	42.5	8.26	1.47	6.87	1.18	6.60	1.33	3.78	0.63	3.97	0.61
样号	ΣREE	LREE/HREE	Y	δEu	La/Yb	Sm/Nd	ΣCe/ΣY	岩性						
TTC4-6	49.5	3.27	21.6	0.41	3.54	0.26	1.14	白云母石英片岩						
TTC4-7	66.4	4.73	33.9	0.52	2.42	0.24	0.90							
TTC4-13	173	9.81	23.0	0.59	10.6	0.19	4.00	石英二云母片岩						
TW12	116	5.15	30.1	0.70	5.78	0.22	1.98							
TZK7-22	217	7.41	39.5	0.59	10.1	0.21	2.93							
TZK7-23	231	8.25	36.1	0.60	11.6	0.19	3.38							

注：由湖北省地质实验研究所分析测试。

标准化后,两者稀土分布模式基本相似、重稀土亏损、轻稀土明显富集,只是白云母石英片岩组分布曲线呈较为平坦的V型,石英二云母片岩组呈轻稀土富集的左高右低型(图5);经北美页岩标准化后(图

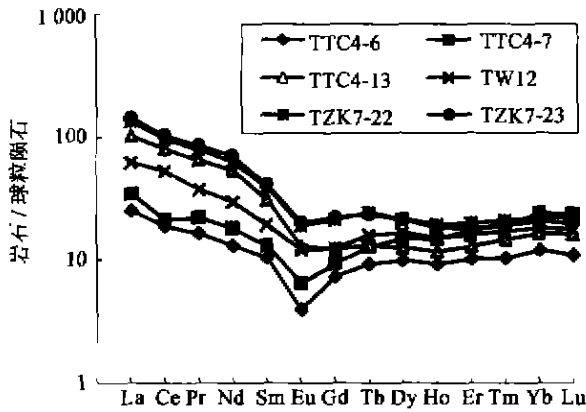


图5 抱板群变质沉积岩稀土元素球粒陨石标准化分布模式  
Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of the Baoban Group metasedimentary rocks

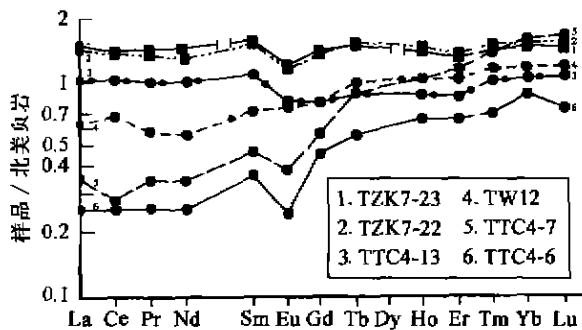


图6 抱板群变质沉积岩北美页岩标准化分布模式  
Fig. 6 NASC-normalized REE patterns of the Baoban Group metasedimentary rocks

6),白云母石英片岩组表现出左低右高、Eu和Ce负异常明显,石英二云母片岩组则表现出平坦的、弱到中等Eu负异常和弱Ce正异常。

白云母石英片岩组和石英二云母片岩组微量元素分析结果(表3)同样表现出两者原岩成分上的差异。白云母石英片岩组亲铁元素和亲硫元素Ni、Co、V、Cu、Cr、Zn偏低,Sr、Ba等亲石元素偏高,高场强元素Zr、Sc、Nb等元素偏低;石英二云母片岩组亲铁元素和亲硫元素含量高,Sr、Ba等亲石元素含量低,高场强元素Zr、Sc、Nb等元素含量偏高。

许多学者曾提出利用Sr/Ba比值来进行海、陆相沉积环境的判别,王爱华<sup>[9]</sup>则认为,利用沉积物(岩)的Sr、Ba总量比值进行碎屑沉积物(岩)的沉积环境判别是不妥的,同时又指出从陆向海Sr、Ba之比由小变大是有理论根据的。抱板群石英二云母片岩Sr/Ba比值为0.07,白云母石英片岩Sr/Ba比值为0.14~0.20。说明抱板群沉积变质岩原岩应形成于从陆相向海相过渡的环境,与经 $\Sigma Ce/\Sigma Y-Eu/\Sigma REE$ 图解投影<sup>[10]</sup>所得出的石英二云母片岩落在大陆型沉积壳层附近、白云母石英片岩落在大洋型沉积壳层附近的结论一致。

#### 4 Sm-Nd 同位素特征

Sm-Nd同位素测试结果见表4。从表4可见,抱板群变质沉积岩的富集系数 $f_{Sm,Nd}$ 非常稳定,变化范围小,介于-0.35~-0.48之间,平均为-0.40,和地壳岩石的富集系数相近;<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd值和<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd值变化范围均小,并与苏格兰太古代和元古代地壳值相近<sup>[11]</sup>,因此可采用单阶段模式计算

表3 抱板群沉积变质岩微量元素含量(μg/g)

Table 3 Trace element compositions (μg/g) of the Baoban Group metasedimentary rocks

样号	Zn	Ni	Co	Cr	V	Cu	Sr	Ba	Pb	Rb	Zr	Sc	Nb	Ta	As	Sb	岩性
TTC4-6	44.3	11.1	11.0	6.5	6.1	8.5	122.1	602.7	12.0	82.0	23.0	<1	<1	2.8	12.3	0.0	白云母石英片岩
TTC4-7	30.7	14.9	10.6	5.6	4.0	10.5	136.6	998.0	43.7	156.0	26.5	<1	<1	5.1	14.0	0.1	白云母石英片岩
TTC4-9	72.7	20.3	19.8	28.0	63.9	36.0	18.1	372.0	6.7	195.0	155.5	7.0	5.9	1.6	34.5	3.4	
TTC4-13	24.0	16.3	19.1	32.8	84.2	29.4	17.6	315.0	8.7	145.0	185.0	10.0	6.7	0.0	23.4	14.9	
TW2	107.7	56.4	39.2	67.0	111.6	41.8	41.3	581.2	6.7	221	151.5	12.5	7.5	2.0	23.0	4.7	石英二云母片岩
TW7	78.0	29.3	32.1	44.0	76.0	41.1	18.8	543.8	22.5	192	195.5	9.5	11.8	1.3	7.2	2.6	石英二云母片岩
TW10	31.7	23.3	30.0	46.8	71.0	32.5	16.6	323.6	18.2	156.0	234.5	9.5	2.9	0.2	17.1	5.7	石英二云母片岩
TW12	38.3	33.4	47.1	216.6	122.2	61.0	19.9	337.8	15.0	174.0	147.0	15.5	2.0	0.5	44.0	18.8	石英二云母片岩
TZK7-22	161.2	41.0	35.8	134.6	114.4	584.1	27.9	426.8	27.2	168.0	161.0	11.0	<1	1.2	11.3	12.3	
TZK7-23	212.8	38.1	33.8	55.0	118.2	1031	30.3	459.7	38.0	134.0	153.0	10.5	<1	0.0	12.7	6.4	

注:由中国科学院长沙大地构造研究所分析测试室分析测试。

表 4 抱板群变质沉积岩 Sm、Nd 同位素组成

Table 4 Sm and Nd isotope compositions of the Baoban Group metasedimentary rocks

样号	Sm ( $\mu\text{g/g}$ )	Nd ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	Sm/Nd	$\varepsilon_{\text{Sm}}(1700 \text{ Ma})$	$t_{\text{DM}}(\text{Ma})$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$
TW12	3.654	18.749	0.1178	0.511871 $\pm$ 1	0.19	+2.22	2045	-0.41
TW2	6.346	35.238	0.1089	0.511791 $\pm$ 4	0.18	+2.60	1987	-0.45
TW7	22.303	131.254	0.1027	0.511722 $\pm$ 1	0.17	+2.61	1971	-0.48
TTC4-9	5.255	28.797	0.1103	0.511815 $\pm$ 2	0.18	+2.80	1979	-0.44
TTC4-13	6.209	34.414	0.1089	0.511536 $\pm$ 1	0.18	-2.40	2355	-0.45
TW10	4.505	21.308	0.1278	0.511378 $\pm$ 1	0.12	-9.62	3145	-0.35

$t_{\text{DM}}^{[12]}$ 。经下列公式计算,抱板群变质沉积岩模式年龄为 1971~3145 Ma,主要集中在 1971~2355 Ma 之间,平均为 2067 Ma。

$$t_{\text{DM}} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ 1 + \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}}{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}} \right]$$

其中 s 代表样品值,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}$  和  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}$  比值分别为 0.513161 和 0.2136,  $\lambda$  为  $6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$ 。

## 5 讨论

### 5.1 原岩沉积构造环境

利用稀土元素、主元素、微量元素和同位素特征用以估计地壳的化学成分、探讨沉积岩沉积时的大地构造动力学背景和示踪物源区已成为当今国内外沉积学研究的主要方向。目前已公认的大地构造沉积环境有克拉通板块被动大陆边缘、活动大陆边缘、大洋岛弧和大陆岛弧等<sup>[10]</sup>。就稀土元素特征来说,从较稳定的被动大陆边缘到非稳定型的大洋岛弧区,REE、LREE/HREE、La/Yb 等特征值明显降低;在 REE 模式曲线上, $\delta\text{Eu}$  值则由明显的负异常到无亏损,稀土曲线斜率也明显减小<sup>[13]</sup>。研究区抱板群石英二云母片岩组稀土总量、LREE/HREE 及 La/Yb 都较白云母石英片岩组高, $\delta\text{Eu}$  中等亏损。与 Bhatia<sup>[14]</sup> 所提出的不同构造背景 REE 参数相比较,白云母石英片岩组稀土组成具有大洋岛弧沉积物特点,石英二云母片岩组稀土组成具有大陆岛弧和安第斯型陆缘沉积物特点。

按照 Pettijohn<sup>[15]</sup> 提出的  $\lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  图解对砂岩进行分类,研究区白云母石英片岩组原岩主要为岩屑砂岩及杂砂岩,这一判断结果与原岩恢复结果基本一致,反映了原岩沉积是在活动性较强的构造背景下快速堆积的。根据 Bhatia<sup>[16]</sup> 所总结的世界各地典型构造环境下砂岩的岩石化学

成分和 Roser *et al.*<sup>[17]</sup> 提出的判别图解(图略),抱板群沉积变质岩基本落在活动大陆边缘和大陆岛弧区及其左上方附近。在微量元素比值对图 Ti/Zr-La/Sc 和 La/Y-Sc/Cr 上<sup>[18]</sup> 投影点分散(图略),但主要落在岛弧区和活动大陆边缘区;微量元素(Ba、Zr、Y、La、V、Cr 和 Ni)及相关元素比值(Sc/Cr、Ti/Zr、La/Sc 等)也与大陆岛弧和活动大陆边缘区相似<sup>[18]</sup>。在微量元素比值蛛网图解上(图 7)、K、Rb、Ba、Ta、Ce 和 Sm 相对富集,P、Zr、Ti 和 Nb 相对亏损,Y 和 Yb 曲线变化平坦,类似于过渡类型的玄武岩地球化学特征<sup>[6]</sup>。

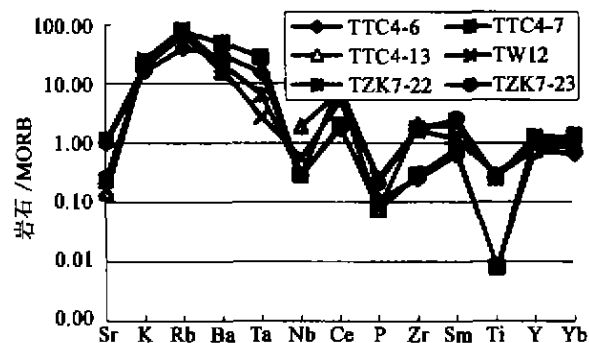


图 7 微量元素蛛网图(引自文献[6])

Fig. 7 N-MORB spider diagram for trace elements (after [6])

抱板群实为一套花岗岩-绿岩建造<sup>[19]</sup>,其中的斜长角闪片麻岩原岩为基性火山岩,具有岛弧型拉斑玄武岩和洋中脊型拉斑玄武岩的双重特点,产生于扩张弧后(或弧间)盆地环境<sup>[20]</sup>。抱板群地层呈层状产出,反映出连续沉积的特点,因此,抱板群是在统一的大地构造背景下的沉积产物。

### 5.2 物质来源示踪

沉积盆地内某一层位沉积物的钆同位素组成代表了该时期不同山脉源区端员钆同位素组成的混合,而盆地内沉积物不同源区端员钆同位素组成可能存在差异,因此钆同位素组成可以反演山脉源区

类型、性质及其多样性<sup>[21]</sup>。特别是泥质碎屑沉积岩(尤其是页岩)的 Sm-Nd 同位素体系和  $t_{DM}$ , 可以示踪和了解较大区域范围的地壳增长演化<sup>[22-25]</sup>, 沉积岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值变正或 Nd 模式年龄的减小是幔源物质加入的重要证据, 因而也是造山运动的证据<sup>[26]</sup>。

主元素和微量元素(含稀土)成分差异反映了石英二云母片岩组和云母石英片岩组两者原岩成分具有的差别。石英二云母片岩组富铝( $Al_2O_3$ ) (平均为 16.14%)、富稀土元素、富亲硫元素和亲铁元素, 特别是 Cr 元素含量明显高于白云母石英片岩组, 与 Al、Cr 的含量由砂岩向泥岩逐步富集相吻合, 也与石英二云母片岩组原岩以泥质沉积物为主、白云母石英片岩组原岩以砂岩质沉积物为主的结论一致。

梁新权<sup>[3]</sup>曾对抱板群斜长角闪片麻岩(原岩为基性火山岩)全岩进行了 Sm-Nd 同位素测定, 获得  $(1700 \pm 20)$  Ma 的等时线年龄; 马大铨等<sup>[27]</sup>对抱板群地层的研究也表明其形成时代为长城纪早期(1600~1800 Ma), 因此, 可以认为抱板群地层形成时代在 1700 Ma 左右。根据该数据并采用二阶段模式<sup>[28]</sup>计算模式年龄和  $\epsilon_{Nd}(t)$  值, 斜长角闪片麻岩二阶段模式年龄集中在 2000 Ma 左右, 平均值为 1999 Ma,  $\epsilon_{Nd}(t)$  值为  $+2.6 \sim +2.7$ ; 同一地层的变质沉积岩  $\epsilon_{Nd}(t)$  值大多为正值( $+2.22 \sim +2.80$ ), 只有两个数据为负值( $-2.40 \sim -9.62$ ), 无论是模式年龄(1971~2337 Ma)还是  $\epsilon_{Nd}(t)$  值都与前者相近, 并与全球范围的元古宙岩石及扬子古陆南缘和赣东北元古宙沉积岩  $t_{DM}$  和  $\epsilon_{Nd}(t)$  相似<sup>[25, 29]</sup>。目前, 在琼西有可靠年龄证据的最古老地层当属抱板群, 但是抱板群沉积变质岩的  $t_{DM}$  年龄与地层年龄相差较大(300~400 Ma), 可以推测, 变质沉积岩原岩其沉积时代下限年龄应小于 2000 Ma, 其物源也是多样的, 一方面来源于成熟度较低的古元古代或更古老的陆壳物质(其中一个样品  $t_{DM}$  达 3145 Ma), 另一方面很可能与研究区大规模造山运动、构造-岩浆活动所伴生的地幔物质加入而造成同位素比值的增加和  $t_{DM}$  年龄的降低有关<sup>[12]</sup>。

## 6 结 论

海南岛抱板群变质沉积岩原岩由于原始沉积分异作用结果分为两组, 是在统一的扩张弧后(或弧间)盆地大地构造背景下的沉积产物, 具有从陆相向海相过渡的古沉积环境特征。白云母石英片岩组原岩主要为砂岩质沉积物夹火山物质, 具有高 Si、Na,

低 Al、Fe、REE, 偏低的 Ni、Co、V、Cu、Cr、Zn, 偏高的亲石元素 Sr、Ba 和高场强元素 Zr、Sc、Nb; 石英二云母片岩组原岩主要为泥质沉积物夹火山物质, 具有低 Si、Na, 高 Al、Fe 以及偏高的亲硫元素、亲铁元素和 REE。抱板群变质沉积岩具有的 1971~2337 Ma 的铽模式年龄及与中元古代全球岩石特别是与扬子古陆南缘和赣东北元古宙沉积岩相似的正  $\epsilon_{Nd}(t)$  和  $t_{DM}$  值, 表明海南岛确实存在古元古代或更早的古老基底。变质沉积岩 Sm-Nd 同位素体系对研究海南岛乃至中国东部的大地构造演化提供了新的制约。

成文过程中得到黄智龙研究员、陈广浩研究员和彭渤博士的热心指点, 使作者受益匪浅; 论文撰写和发表受到中国科学院知识创新工程项目 KZCX1-Y-003 资助, 谨表致谢。

## 参考文献(References):

- [1] 梁新权, 侯威, 陈惠芳. 海南岛戈枕脆、韧性叠加剪切带基本特征及其成矿意义 [J]. 大地构造与成矿学, 1990, 14(3): 254~263.  
Liang Xin-quan, Hou Wei, Chen Hui-fang. Gezhen brittle and ductile superimposition shear zone in Hainan island [J]. Geotecton Metallog, 1990, 14(3): 254~263 (in Chinese with English abstract).
- [2] 广东区测队. 广东省区域地质杂志(第一册) [M]. 1984.  
Guangdong Geological Survey Team. Regional Geology of Guangdong Province (vol 1) [M]. 1984 (in Chinese).
- [3] 梁新权. 海南岛前寒武纪花岗岩-绿岩系 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义 [M]. 岩石学报, 1995, 11(1): 72~76.  
Liang Xin-quan. Sm-Nd ages of the Precambrian granitic-greenstone series in Hainan Island and their geological significance [J]. Acta Petrol Sinica, 1995, 11(1): 72~76 (in Chinese with English abstract).
- [4] 梁新权, 范蔚茗, 许德如. 海南岛屯昌玄武质科马提岩 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义 [J]. 地质科学, 2000, 35(2): 240~244.  
Liang Xin-quan, Fan Wei-ming, Xu De-ru. Sm-Nd age of Tunchang basaltic komatite and its geological significance in Hainan Island [J]. Sci Geol Sinica, 2000, 35(2): 240~244 (in Chinese with English abstract).
- [5] Simonen A. Stratigraphy and sedimentation of the Svecofennidic, early Archean supracrustal rocks in southwestern Finland [J]. Bull Comm Geol Finland, 1953, 160: 1~64.
- [6] 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 变质岩原岩图解判别法 [M]. 北京: 地质出版社, 1987. 1~199.  
Wang Ren-min, He Gao-pin, Chen Zheng-zheng, et al. The Distinguishing Diagram for the Original Rocks of Metamorphic Rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 1~199 (in Chinese).
- [7] 杨守业, 李从先. REE 示踪沉积物物源研究进展 [J]. 地球科

- 学进展[J], 1999, 14(2): 164~167.
- Yang Shou-ye, Li Gong-xian. Research progress in REE tracer for sediment source[J]. *Adv Earth Sci*, 1999, 14(2): 164~167 (in Chinese with English abstract).
- [8] DePaolo D J, Wasserburg G J. Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1979, 43: 615~627.
- [9] 王爱华. 不同形态锶钡比的沉积环境判别效果比较[J]. *沉积学报*, 1996, 14(4): 168~173.
- Wang Ai-hua. Comparison of the distinguishing effects of sedimentary environments from the ratio of Sr/Ba with different conformation[J]. *Acta Sediment Sinica*, 1996, 14(4): 168~173 (in Chinese with English abstract).
- [10] 蒋德和, 杨振强, 赵时久. 湘中地区奥陶统沉积岩的稀土元素地球化学[J]. *沉积学报*, 1994, 12(1): 106~111.
- Jiang De-he, Yang Zhen-qiang, Zhao Shi-ju. REE geochemistry of sedimentary rocks middle ordovician in central Hunan province[J]. *Acta Sediment Sinica*, 1994, 12(1): 106~111 (in Chinese with English abstract).
- [11] O'Nions R K, Hamilton P J, Hooker P J A. Nd isotope investigation of sediments related to crustal development in the British Isles [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1983, 63: 229~240.
- [12] 李献华. Sm-Nd 模式年龄和等时线年龄的适用性与局限性[J]. *地质科学*, 1996, 31(1): 97~104.
- Li Xian-hua. A discussion on the model and isochron ages of Sm-Nd isotopic systematics: Suitability and limitation[J]. *Sci Geol Sinica*, 1996, 31(1): 97~104 (in Chinese with English abstract).
- [13] 孟祥化. 沉积建造学讲座 [J]. *岩相古地理*, 1989, 41(3): 50~60.
- Meng Xiang-hua. Study on sedimentary construction[J]. *Lithofacies Paleogeogr*, 1989, 41(3): 50~60 (in Chinese with English abstract).
- [14] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control [J]. *Sediment Geol*, 1985, 45: 97~113.
- [15] Pettijohn E J. *Sedimentary rocks*. 3rd edition[M]. New York: Harper & Row, Publishers Inc. 1975. 628.
- [16] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. *J Geol*, 1983, 91(6): 611~627.
- [17] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio[J]. *J Geol*, 1986, 94(5): 635~650.
- [18] Bhatia M R, Crook A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1986, 92: 181~193.
- [19] 侯威, 陈惠秀, 梁新权, 等. 海南岛前寒武纪地层的确定及其大地构造演化 [J]. *长春地质学院学报*, 1992, 22(2): 133~143.
- Hou Wei, Cheng Hui-fang, Liang Xin-quan, et al. Identification of Precambrian strata and geotectonic evolution in Hainan Island[J]. *J Changchun Geol Univ*, 1992, 22(2): 133~143 (in Chinese with English abstract).
- [20] 许德如, 梁新权, 唐红峰. 琼西抱板群变基性火山岩岩石地球化学特征及其大地构造意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2000, 24(4): 303~313.
- Xu De-ru, Liang Xin-quan, Tang Hong-feng. Geochemical characteristics of metamorphic basic volcanics from the Baoban Group, Western Hainan and its tectonic implications[J]. *Geotecton Metallurg*, 2000, 24(4): 303~313 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王岳军, 范蔚若, 林炯. 盆地沉积物示踪源区山脉隆升剥露的几种方法[J]. *地质科技情报*, 1999, 18(2): 85~89.
- Wang Yue-jun, Fan Wei-ming, Lin Ge. Several indicative methods of mountain uplift-erosion from basin sediments[J]. *Geol Sci Tech Inform*, 1999, 18(2): 85~89 (in Chinese with English abstract).
- [22] McCulloch M T, Wasserburg G J. Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation[J]. *Science*, 1978, 200: 1003~1011.
- [23] Nelson B K, DePaolo D J. Composition of isotopic and petrographic province indicators in sediments from Tertiary Continental basins of New Mexico[J]. *J Sedim Petrol*, 1988, 58: 348~357.
- [24] Linn A M, DePaolo D J, Igersoll R V. Nd-Sr isotopic, geochemical, and petrographic stratigraphy and paleotectonic analysis: Mesozoic Great Valley fore-arc sedimentary rocks of California[J]. *Geol Soc Am Bull*, 1992, 104: 1264~1279.
- [25] 李献华. 扬子地块南缘四堡群 Sm-Nd 同位素体系及其地壳演化意义[J]. *地质科学*, 1996, 31(3): 218~227.
- Li Xian-hua. Sm-Nd isotopic systematics of Sibao Group from the southern margin of Yangtze block: Implications for the crustal evolution [J]. *Sci Geol Sinica*, 1996, 31(3): 218~227 (in Chinese with English abstract).
- [26] 周泰禧, 陈江峰, 张巽, 等. 扬子地块东南缘沉积岩的 Nd 同位素研究[J]. *沉积学报*, 1995, 13(3): 39~45.
- Zhou Tai-xi, Chen Jiang-feng, Zhang Ji, et al. Study on Nd isotope of sedimentary rocks in eastern Yangtze block[J]. *Acta Sediment Sinica*, 1995, 13(3): 39~45 (in Chinese with English abstract).
- [27] 马大铨, 黄香定, 陈哲培, 等. 海南岛抱板群研究的新进展 [J]. *中国区域地质*, 1997, 16(2): 130~136.
- Ma Da-quan, Wang Xiang-ding, Cheng Zhe-pei, et al. New advanced in the study of the Baoban Group in Hainan province[J]. *Region Geol China*, 1997, 16(2): 130~136 (in Chinese with English abstract).
- [28] 陈江峰, 江博明. 钕、锶、铅同素示踪和中国东南大陆地壳演化 [A]. 郑永飞. *化学地球地质学* [C]. 北京: 科学出版社, 1999. 263~287.
- Chen Jiang-feng, Jiang Bo-ming. Nd, Sr, Pb isotopic track and the crust evolution of Southeastern China [A]. Zheng Yong-fei. *Chemical Geodynamics* [C]. Beijing: Science Press, 1999. 263~287 (in Chinese).
- [29] 张海洋, 孙大中, 朱炳泉, 等. 赣北元古代变质沉积岩的铅钕同位素特征[J]. *中国区域地质*, 2000, 19(1): 66~71.
- Zhang Hai-yang, Sun Da-zhong, Zhu Bing-quan. Pb and Nd isotopic study of Proterozoic metamorphic sediments in North Jiangxi and its tectonic significance[J]. *Region Geol China*, 2000, 19(1): 66~71 (in Chinese with English abstract).

## Geochemical characteristics of Baoban Group metasedimentary rocks in western Hainan, China

XU De-ru<sup>1,2</sup>, LIANG Xin-quan<sup>1</sup>, TANG Hong-feng<sup>2</sup>

(1. *Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410013, China*; 2. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*)

**Abstract:** The Baoban Group metasedimentary rocks are composed of muscovite-quartz schist and quartz-two-mica schist. Their protoliths are sandy and argillaceous sediments intermingled with volcanic materials. The difference of geochemical compositions between the two schists is due to the chemical differentiation of the original sediments. The evidence of major and trace elements (including REE) as well as Sm-Nd isotope of the rocks shows that there existed an early or earlier than Palaeoproterozoic crust in western Hainan, and that the Baoban Group metasedimentary rocks partly originated from antiquity crust materials, and partly from new born crust with more mantle volcanic materials or was related with the largescale orogenic event and the tectonic-magmatic activity following the addition of mantle materials. It is deposited under a tectonic setting of island arc and active continental margin (back-arc or within-arc spreading basin) during orogeny according to the primary research.

**Key words:** Baoban Group; metasedimentary rocks; rock geochemistry; petrogenesis; Hainan Province