

# 东南沿海珍珠岩矿床及其成因

张耀夫 陈鹤年 巫全准 姜耀辉

(南京地质矿产研究所)

**内容提要** 本区珍珠岩矿床主要产于中生代Ⅲ、Ⅳ旋回初始期和复活期的火山岩中,形成于活动大陆边缘的扩张阶段,是“陆壳改造型”岩浆强烈分异的产物。矿床类型可分为牛台式和白水洋式。珍珠岩具有异常高的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,它取决于低温时水-岩同位素交换反应。珍珠岩中Cs矿化十分显著。珍珠岩水的结构种及含量是决定膨胀倍的主要因素。

**关键词** 珍珠岩;地质地球化学。

东南沿海是我国珍珠岩矿产资源较丰富、开采利用较早的地区之一。本文是对该区珍珠岩矿床研究的初步总结。文中泛指“珍珠岩”只包括优质膨胀珍珠岩和松脂岩,而不包括“似曜岩”类玻质熔结凝灰岩。

## 一、时、空分布及构造环境

东南沿海的晚中生代火山岩由四个旋回组成。珍珠岩矿床主要是第Ⅲ、Ⅳ旋回( $K_1$ 、 $K_2$ )初始阶段(浙江宁海牛台一小河塘、江西广丰李家,广东平远下举一尖山顶等矿区)或复活阶段(浙江临海白水洋等)的产物,部分由这两个阶段迭加形成(浙江缙云老虎头、天井山矿区等);偶而也与第Ⅱ旋回( $J_3$ 晚期)有关(浙江永康中山)。珍珠岩产出的构造环境主要有以下两类:1.古生代拗陷中的上叠式火山断陷盆地(如广丰盆地等)。产于这类构造环境的珍珠岩矿床(点)较少。2.中生代火山喷发区、带内的继承式火山—断陷盆地(如浙江缙云、仙居、永康等盆地),是赋存珍珠岩矿床最主要的环境。

赋存珍珠岩矿床的火山机构一般为小型、面积小于 $20\text{km}^2$ ,最大者也不超过 $30\text{km}^2$ 。它们在平面上呈等轴状或短轴椭圆状,属中心式喷发。一般属破火山口型(如广东平远县下举一尖山顶、江西广丰李家)或复活破火山口型(如缙云老虎头一天王背、宁海牛台一小河塘、临海仙居交界处的白水洋火山机构)。在破火山口内,珍珠岩的成岩成矿作用一般都发生于火山旋回的初始期。它在珍珠岩成岩成矿以后发生过大规模爆发,岩浆房因抽空而塌陷;在复活破火山口内,珍珠岩的成岩成矿作用既可以发生于火山旋回的初始阶段(图1),也可以发生于复活阶段(图2),甚至在这两个阶段都有(如缙云老虎头)。形成于初始阶段的珍珠岩矿床,常产在溢流相流纹岩的顶、底部,下矿层常与前火山岩系沉积岩直接接触;火山复活阶段的珍珠岩矿床系破火山口以穹丘形式复活时形成,矿层与流纹岩穹丘有关,一般也是复活早期阶段,岩浆房重新调整后顶部岩浆溢出地表而快速冷却的



于该穹丘边缘的溢流相部位，而在穹丘中心部位均不形成矿体（层）；脉状矿体沿着流纹斑岩体周边的外接触带分布，这些脉实际上是超浅成酸性侵入体边缘的若干分支在近地表部分的“玻璃质带”，亦即“骤冷却相”。

区内赋存珍珠岩矿床的火山机构主要有两种岩相剖面结构类型，并以典型矿区将其称之为牛台式和白水洋式。这两类岩相剖面结构内的珍珠岩矿体（层），在发育阶段、古地理环境、与同一冷却单元的流纹质熔岩的关系以及产状等方面，都存在着明显的差别（表1）。

1、牛台式珍珠岩矿床

珍珠岩矿床主要在火山机构发育初始阶段成矿，但也可以有复活阶段成矿作用的迭加。由于初始阶段流纹质熔岩流直接注入浅水湖盆环境，在其顶、底部均可出现“骤冷却相”。每一具一定厚度的酸性熔岩流都形成上、下两个珍珠岩矿层，呈现出典型的“酸性熔岩流冷凝分带”。岩相剖面结构自下而上表现为：浅水湖盆相碎屑沉积岩或火山碎屑沉积岩——溢流相流纹质熔岩（其顶、底部为珍珠岩矿层，中部为无斑或稀斑流纹岩）——爆发相火山碎屑岩或爆发—沉积相火山碎屑岩——溢流—侵出相斑状流纹岩（不成矿）或无斑（稀斑）流纹岩（若与前阶段火山作用有较长的时间间隔，该岩流顶部也同样可以成矿）。如果该火山机构发育终止于破火山口阶段，则不出现剖面最上部的溢流—侵出相酸性熔岩（图3）。

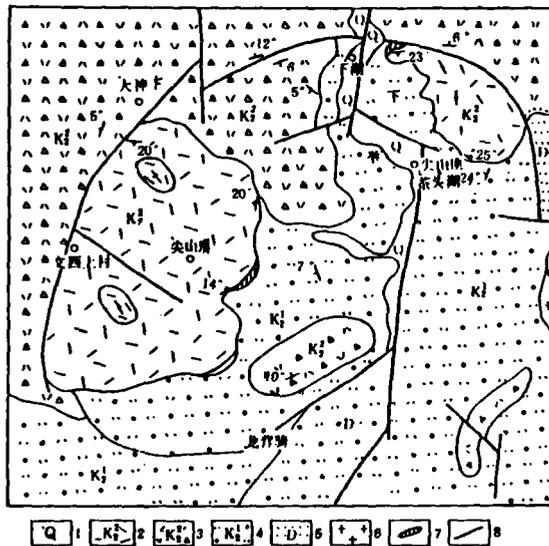


图3 广东平远下举—尖山顶火山机构略图  
(以 1:30000 航片为底图)

Fig.3 The sketch map of Xiajiu-Jianshanding volcanic edifice in Pingyuan, Guangdong

1-第四系；2-含矿流纹岩；3-角砾凝灰岩、火山角砾岩；4-粉砂岩、含砾砂岩、砾岩等；5-浅变质砂岩(泥盆系)；6-燕山期花岗岩；7-珍珠岩矿体；8-断层。

表1 珍珠岩成矿作用与火山机构演化的关系

Table 1 Relationship between mineralization of the perlite and evolution of volcanic edifice

剖面结构类型	牛台式						白水洋式	
	牛台—小河塘		下举—尖山顶		老虎头		白水洋—横路丁	
成矿旋回、时代	Ⅲ旋回(K <sub>1</sub> )		Ⅳ旋回(K <sub>2</sub> )		Ⅳ旋回(K <sub>2</sub> )		Ⅳ旋回(K <sub>2</sub> )	
成矿与火山机构发育阶段的关系	初始阶段成矿		初始阶段成矿		初始阶段和复活阶段都成矿		复活阶段成矿	
成矿古地理环境	负向地形, 浅水湖盆环境		负向地形, 浅水湖盆环境		负向地形, 浅水湖盆环境		正向地形, 无水环境	
矿体(层)赋存部位	无斑流纹岩顶部底部都成矿		无斑流纹岩顶部(?)底部都成矿		无斑流纹岩顶部底部都成矿		无斑流纹岩顶部成矿, 底部不成矿	
矿体产状与火山机构中心的关系	内倾		内倾		内倾		外倾	
	岩相	主要岩类	岩相	主要岩类	岩相	主要岩类	岩相	主要岩类
复活阶段 (复活破火山口发育阶段)	溢流—侵出相	斑状流纹岩	/	/	溢流—侵出相	珍珠岩 球泡 流纹岩 珍珠岩	溢流—侵出相	珍珠岩 无斑流纹岩
破火山口发育阶段	爆发相	火山碎屑岩	爆发相	火山碎屑岩	爆发—沉积相	沉火山碎屑岩	溢流相	流纹岩
初始阶段	溢流相	珍珠岩 无斑流纹岩 珍珠岩	溢流—侵出相	? 无斑流纹岩 珍珠岩	溢流相	珍珠岩 无斑流纹岩 珍珠岩	爆发相	火山碎屑岩
火山活动前期阶段	沉积相	火山碎屑沉积岩	沉积相	砂砾岩	沉积相	砂砾岩	沉积相	砂砾岩

### 矿床实例

牛台一小河塘沸石—珍珠岩矿床 位于浙江宁海城东南约 14.5km, 受复活破火山口控制 (图 1)。是一个珍珠岩与沸石伴生的矿床, 呈沸石矿体中的蚀变残留体形式产出。在控矿火山机构范围内, 第Ⅲ旋回以溢流方式开始, 经过大规模爆发后总体塌陷成破火山口, 以溢流—侵出方式结束。

(1) 湖相沉积阶段 第Ⅲ旋回火山活动前处于陆相湖盆环境, 沉积了一套灰色、灰绿色为主的粉砂岩、砂岩、砂砾岩层, 见少量凝灰物质和安山(玢)岩砾石。主要出露于矿区附近; 产状比较平稳, 略向内倾。

(2) 溢流阶段 初始阶段形成溢流相无斑流纹岩及其顶、底部两层珍珠岩矿体, 后者因受到与熔岩流冷却成岩基本同步的表成热液作用以及后来的火山地热体系的蚀变作用, 大部分形成沸石岩。沸石—珍珠岩矿体分布于火山机构的边缘部位, 距木峰山火口约 1km, 产状内倾, 倾角较平缓。矿体在熔岩流底部发育较好, 而顶部较差, 甚至在不少地段缺失。这除冷却条件的差异外, 可能下部矿体是岩浆房顶部最富水的岩浆冷却所致。

(3) 爆发阶段 火山活动鼎盛阶段的产物包括熔结凝灰岩、含角砾熔结凝灰岩、凝灰岩等, 它们构成火山机构的主体。岩石的碎屑成分有浆屑、岩屑和晶屑; 其中晶屑以钾长石为主, 约占岩石的 5~20%, 由下往上有逐渐增多的趋势。火山碎屑岩内倾, 倾角 10~30°, 绕主火山口呈环状展布。

(4) 侵出穹丘阶段 复活阶段随着火山机构的总体塌陷, 部分粘度较大的酸性岩浆挤出火山通道, 构成了蘑菇状侵出体。侵出相斑状流纹岩主要分布在火山机构中心 (见图 1), 其斑晶成分与爆发相的晶屑成分基本一致, 但含量有所增加, 可达 25% 以上。火山机构内自下而上由无斑流纹岩向晶屑含量达 5~20% 的火山碎屑岩、斑晶含量达 25% 以上的斑状流纹岩演化, 反映了明显分带性。首先溢流形成无斑流纹岩及珍珠岩矿层的正是岩浆房顶部分异最好、挥发份最富的岩浆。

### 2. 白水洋式珍珠岩矿床

它主要与破火山口形成以后的火山穹丘有关。珍珠岩矿体(层), 实质上是穹丘边部溢流相的冷凝壳(骤冷相)。穹丘边部的溢流相流纹质熔岩直接覆盖于爆发相火山碎屑岩或其稍后形成的溢流相流纹岩之上, 不具备象熔岩流直接注入浅水湖盆时那样良好的骤冷条件, 因此, 一般只能在其顶部形成一层珍珠岩矿体, 而底部不成矿。岩相剖面结构自下而上表现为: 浅水湖盆相碎屑沉积岩或火山碎屑沉积岩—→爆发相火山碎屑岩或其上直接覆盖有溢流相流纹岩—→溢流—侵出相流纹质熔岩(其边部溢流相的顶部为珍珠岩, 下部为无斑或稀斑流纹岩)。有时在矿层之上还可以局部有更晚的流纹岩或其它火山产物覆盖, 而起到保护矿层免遭剥蚀的作用(如白水洋矿区)。

### 矿床实例

白水洋—横路珍珠岩(松脂岩)矿床 位于浙江临(海)—仙(居)公路北侧, 受复活破火山口型火山机构控制(见图 2)。为膨润土与珍珠岩伴生的矿床, 珍珠岩及其在火山地热体系内蚀变并迭加风化作用形成的膨润土沿山坡断续延伸达数公里。矿体产状与坡向一致。第Ⅳ旋回在本区以强烈爆发开始, 在较大规模的溢流式喷发后, 总体塌陷成破火山口, 并也以溢流—侵出方式结束。

(1) 河湖相沉积阶段 第Ⅳ旋回开始前, 该区沉积了一套以砾岩、含砾砂岩为主的粗

碎屑沉积岩。它们主要出露于火山机构外环断裂西侧，倾向因受断裂影响而变化很大（倾角平缓 $8\sim 12^\circ$ ）。

(2) 爆发阶段 初始阶段的岩浆爆发产物包括晶玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩、含角砾凝灰岩等酸性火山碎屑岩，主要出露于火山机构的边缘地带。在南部，因河流切割，见到若干紫色泥质粉砂岩、粉砂岩等夹层。

(3) 溢流阶段 火山活动鼎盛阶段所形成的流纹岩，分布范围广，流理产状向中心内倾。可能与前阶段的时间间隔不长，岩浆房不具备稳定分异的条件，岩浆挥发份未及富集，溢出地表时，火山机构正处于强烈活动阶段，不具备良好的“骤冷”条件，因此流纹质熔岩并未形成珍珠岩矿层。

(4) 穹丘阶段 珍珠岩矿床的形成与复活阶段的溢流—侵入相流纹岩有关。穹丘早期的溢流相流纹质熔岩范围比较局限，绝大部分不越出内环断裂；产状与坡向一致，围绕穹丘中心外倾，不整合在流纹岩之上。珍珠岩矿体（层）是这种溢流相流纹质熔岩的冷凝壳，与其下的流纹状珍珠岩、无斑流纹岩呈渐变过渡关系。

### 三、地球化学特征

#### (一) 常量元素

从珍珠岩矿石及其同期伴生流纹岩的化学成分、里特曼指数 $\sigma$ 看(表2)，它们属钙碱性流纹质岩石。常量元素有下列特点：

1、 $H_2O^+$ 含量剧烈增长，相当于同期伴生流纹岩的6.2~20.5倍。

2、 $Na_2O$ 、 $CaO$ 显著富集，而 $K_2O$ 强烈亏损。

3、 $SiO_2/Al_2O_3$ 比值略微降低，比同期伴生流纹岩低1.1~23.4%；而 $Na_2O/K_2O$ 增高，一般比同期伴生流纹岩增高了1.5~4.2倍，个别情况下增高20.6倍。

16个样品的R型聚类分析表明(表3)，珍珠岩某些元素间具显著的相关性，其中 $CaO-Na_2O(r=-0.9114)$ 、 $CaO-K_2O(r=-0.8283)$ 的关系最为密切，元素之间相互置换，作为珍珠岩优劣标志的含水量，与 $K_2O$ 、 $SiO_2$ 的含量呈负相关，而与Ca的含量呈正相关。

#### (二)、微量元素

六个矿区珍珠岩及伴生流纹岩的微量元素含量和某些比值(表4)总体上有如下信息：

1、各个矿区珍珠岩的 $K/Rb$ 比值十分相近，其变化范围为61~98.1，明显低于对应流纹岩的比值， $K/Rb$ 比值与 $H_2O^+$ 含量同步增长。

2、 $Rb/Sr$ 比值主要在0.2~1.5之间，仅老虎头矿区的比值为45.2，均低于伴生流纹岩。流纹岩和珍珠岩的 $K/Ca$ 与 $Rb/Sr$ 具有相随性。

表 2 珍珠岩及其同期伴生流纹岩的化学成份(wt%)

Table 2. Chemical composition of the perlites and accompanying rhyolites (wt%)

矿区名称		浙江 牛台— 小河塘	浙江 白水洋 —横路	浙江 金华 后大	浙江 缙云 老虎头	浙江 缙云 天井山	浙江 天台 九里坪	福建 香炉山	福建 霞浦 虾山	江西 广丰 李家	广东 下举— 尖山顶
珍珠岩	样品数	3	1	1	3	1	1	1	1	3	1
	SiO <sub>2</sub>	70.04	70.38	72.54	72.77	72.65	70.39	70.75	71.44	72.61	73.26
	TiO <sub>2</sub>	0.16	0.16	0.08	0.13	0.13	0.12	0.14	0.07	0.07	0.12
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.47	12.49	12.01	12.08	11.96	11.76	11.74	11.93	12.74	12.05
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.65	0.68	0.68	0.65	0.79	0.52	0.68	0.52	0.63	0.54
	FeO	0.49	0.44	0.57	0.57	0.53	0.50	0.26	0.53	0.51	0.24
	MnO	0.03	0.05	0.03	0.09	0.08	0.03	0.09	0.06	0.03	0.06
	MgO	0.25	0.11	0.05	0.07	0.02	0.05	0.05	0.10	0.17	0.11
	CaO	4.08	2.78	2.65	0.51	0.57	0.89	1.59	2.23	0.90	0.63
	Na <sub>2</sub> O	2.37	3.76	3.75	4.62	3.95	4.70	4.50	3.39	5.12	4.88
	K <sub>2</sub> O	1.03	1.16	1.07	3.01	3.11	2.10	1.36	1.88	1.88	2.26
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.03	0.01	0.02	0.04	/	0.01	0.02	0.01	0.02
	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	7.76	7.32	7.17	4.86	5.89	7.99	7.48	6.96	5.57	6.28
	Na <sub>2</sub> O / K <sub>2</sub> O	2.30	3.24	3.50	1.53	1.27	2.24	3.31	1.80	2.72	2.16
σ <sup>+</sup>	0.43	0.88	0.79	1.96	1.68	1.69	1.24	0.98	1.65	1.68	
流纹岩	样品数	3	1		1			1	1	1	1
	SiO <sub>2</sub>	74.78	77.37		78.66			75.20	77.62	74.88	79.36
	TiO <sub>2</sub>	0.18	0.14		0.12			0.16	0.09	0.08	0.12
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.02	10.76		10.01			12.32	12.49	12.73	10.92
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.31	0.96		0.54			0.80	0.55	0.83	0.69
	FeO	0.22	0.42		1.94			1.55	0.30	1.06	0.10
	MnO	0.03	0.01		0.07			0.07	0.04	0.01	0.07
	MgO	0.14	0.06		0.03			0.09	0.22	0.04	0.15
	CaO	0.21	0.16		0.10			0.21	0.38	0.26	0.16
	Na <sub>2</sub> O	2.86	1.12		2.16			3.63	3.32	3.39	2.09
	K <sub>2</sub> O	6.54	7.69		5.64			5.09	4.61	5.59	4.82
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02		0.03			0.04	0.02	0.03	0.03
	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.51	0.68		0.53			0.60	0.34	0.70	1.01
	Na <sub>2</sub> O / K <sub>2</sub> O	0.44	0.15		0.38			0.71	0.72	0.61	0.43
σ <sup>+</sup>	2.78	2.26		1.71			2.36	1.82	2.53	1.31	

表3 珍珠岩常量元素 R 型聚类分析的相关系数矩阵

Table 3. Correlation coefficient matrix of major elements of the perlites

$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$	$H_2O^+$
$SiO_2$	-0.488	-0.187	0.042	-0.084	0.368	-0.425	-0.700	0.561	0.708	-0.342	-0.770
	$TiO_2$	0.175	0.077	0.380	0.256	0.474	0.392	-0.434	-0.140	0.649	0.276
		$Al_2O_3$	0.046	0.206	-0.436	0.757	0.244	-0.092	-0.276	0.380	-0.171
			$Fe_2O_3$	-0.284	0.209	-0.283	0.041	-0.143	0.054	0.165	-0.017
				FeO	0.042	0.429	0.012	-0.019	0.134	0.172	-0.236
					MnO	-0.425	-0.456	0.232	0.659	-0.041	-0.440
						MgO	0.500	-0.400	-0.401	0.524	0.100
							CaO	-0.911	-0.828	0.450	0.750
								$Na_2O$	0.548	-0.619	-0.639
									$K_2O$	-0.901	-0.785
										$P_2O_5$	0.229
											$H_2O^+$

$$H_2O(\text{wt}\%) = 8.78 - 1.210K_2O \quad (\text{wt}\%) \quad (r = -0.785)$$

$$H_2O(\text{wt}\%) = 57.62 - 0.715SiO_2 \quad (\text{wt}\%) \quad (r = -0.770)$$

$$H_2O(\text{wt}\%) = 5.37 + 0.664CaO \quad (\text{wt}\%) \quad (r = 0.750)$$

3、铯(Cs)含量明显高于克拉克值和伴生流纹岩的含量,个别样品接近伟晶岩型的工业品位。四个珍珠岩样品的 Cs 含量分别高达 210ppm (临海白水洋), 110、30ppm (宁海牛台)和 88ppm (平远下举), 明显高于涂和费的花岗岩 Cs 丰度 (2ppm)。蚀变珍珠岩的 Cs 有所下降, 但依然较高 (白水洋的沸石化珍珠岩为 38ppm)。含铯特点与苏联东外贝加尔维尔申纳——达拉松地区的含铯火山玻璃 (B.C.АНТИЛИН 等, 1985) 十分类似。

表 4 珍珠岩及同期伴生流纹岩的微量元素含量(ppm)

Table 4 Trace element composition of the perlites and accompanying rhyolites (ppm)

矿区	缙云老虎头		宁海牛台		广丰李家		临海白水洋		震浦虾山		平远上举	
	流纹岩带	珍珠岩带	流纹岩带	珍珠岩带	流纹岩带	珍珠岩带	流纹岩带	珍珠岩带	流纹岩带	珍珠岩带	流纹岩带	珍珠岩带
样品数	1	3	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1
Rb	231.6	285.0	171.6	120.7	222	191	152.2	118.3	191	255	/	/
Sr	3.0	6.3	54	488.9	42.1	107.5	48.4	305.3	175	174	/	/
Ba	7.5	9.3	719.7	507.7	161.0	174.3	705.6	769.6	611	202	/	/
Zr	113	119.7	144.6	109.16	98.9	113.3	122.5	138.2	65.8	130	/	/
Cs	/	/	0.0 <sup>①</sup>	70 <sup>②</sup>	/	/	3	210	/	/	2	8
Ga	22.6	26.0	17.9 <sup>①</sup>	22.0 <sup>②</sup>	26.3	27.2	/	/	17.1	26.0	/	/
Ge	/	/	0.73 <sup>①</sup>	0.13 <sup>②</sup>	0.76	0.49	/	/	0.22	0.42	/	/
Nb	29.9	31.4	19	11.7	17.5	7.2	25	28	14	17	70	55
Ta	/	/	12.9	8.2	17.0	13.1	4.9	5	12.3	21.9	11.8	13.5
u	10.0	6.7	5.0	6.8	4.0	24.0	4	6	8.0	10.0	2	2
Th	2.6	5.1	18.7	33.7	8.8	8.8	44	44	22.0	26.4	8.8	8.8
Cu	52.3	13.6	41 <sup>①</sup>	12 <sup>②</sup>	8.0	4.7	15	15	/	/	18	6
Pb	41.6	46.8	76 <sup>①</sup>	24.5 <sup>②</sup>	24.0	42.3	29	10	/	/	41.8	11.4
Zn	75.5	78.3	80 <sup>①</sup>	58.5 <sup>②</sup>	31.0	44.7	46	79	/	/	59	30
K/Rb	202	88	332.1	87.8	209	82	505.3	98.1	224	61	/	/
Rb/Sr	77.2	45.2	3.2	0.25	5.3	0.2	3.1	0.39	1.0	1.5	/	/
Th/u	0.26	0.76	3.5	5.0	2.2	0.37	11	7.3	2.75	2.64	4.4	4.4

①、②为求平均值的样品数

4. Cu、Pb、Zn 等亲硫元素在不同矿区的丰度与壳源型酸性岩的丰度基本一致。Cu 含量普遍低于流纹岩。

从微量元素的一般特征来看，珍珠岩和伴生流纹岩具有同源性，但也有一定的差异，这种差异可能是岩浆房分异和喷出地表后分异迭加所致。

### (三)、稀土元素

珍珠岩及其同期伴生流纹岩的稀土元素分析结果表明：

1. 珍珠岩矿石中稀土元素总量为 119.6~197.6ppm，总体上高于同期伴生的流纹岩 ( $\Sigma$  REE 为 117.4~138.4ppm)。

2. 在同一矿区内，二者具有类似的球粒陨石标准化曲线 (图 4)，显示出它们的同源性。

3. 区内存在着两类稀土配分型式，一呈向右倾斜 (如牛台一小河塘、白水洋一横路)，一呈向上开口的 V 字形 (如老虎头、李家、下举一尖山顶)，一为 Eu 负异常不明显型，一为强烈 Eu 负异常型。

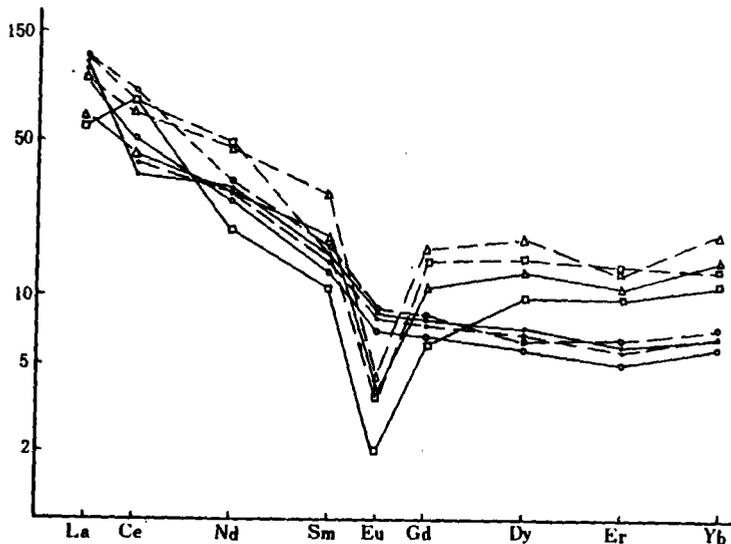


图 4 东南沿海珍珠岩矿石及伴生流纹岩稀土元素  
标准化曲线(—流纹岩, ---珍珠岩)

Fig.4 REE distribution patterns of the perlites and accompanying rhyolites in the coast of southeast China

·—宁海牛台一小河塘矿区；○—临海白水洋矿区；△—缙云老虎头矿区；□—平远下举一尖山顶矿区。

(四)、氢、氧稳定同位素

1、氢、氧稳定同位素组成 根据4个矿区的氧同位素资料(表5), 5个珍珠岩样品的 $\delta^{18}O$ 值为+18.97~+20.99‰(SMOW), 平均19.86‰, 远高于同期伴生流纹岩(+12.84~+17.13‰, 平均14.48‰), 与东非上新世火山玻璃(Cerling等, 1985)的 $\delta^{18}O$ 值(9.8~21.5‰)比较相似, 而显著高于现代黑曜岩的 $\delta^{18}O$ 值(5.8~6.0‰)。由此可见, 珍珠岩 $\delta^{18}O$ 值的增高很可能与时间因素有关。

表5 珍珠岩及同期伴生流纹岩的全岩 $\delta^{18}O$ 、 $\delta D$ 值测定结果(SMOW, ‰)

Table 5 Hydrogen and oxygen isotopic composition of the perlites and accompanying rhyolites (SMOW)

矿区	岩石名称	样品数	$\delta^{18}O$ 全岩测定值(‰)	$\delta D$ 全岩测定值(‰)	根据珍珠岩 $\delta^{18}O$ 值估算的古大气水的 $\delta^{18}O$ 值(‰)	
					$\alpha = 1.023$	$\alpha = 1.0245$
牛台一小河塘	流纹岩	1	+12.84	-84.2		
	珍珠岩	2	+19.78	-74.0	-2.96	-4.42
白水洋一横路	流纹岩	1	+13.14	-65.6		
	珍珠岩	1	+20.99	-82.0	-1.75	-3.21
老虎头	流纹岩	1	+17.13	-90.36		
	珍珠岩	1	+19.79	-100.85	-2.95	-4.41
李家	流纹岩	1	+14.82	-88.58		
	珍珠岩	1	+18.97	-108.78	-3.77	-5.23

从表5可见, 区内珍珠岩的 $\delta D$ 值与其同期伴生流纹岩的 $\delta D$ 值相当接近, 仅略高于(如牛台一小河塘矿区)或略低于(如白水洋一横路、老虎头、李家等矿区)同期伴生流纹岩的 $\delta D$ 值。

在 $\delta D - \delta^{18}O$ 图上(图5), RH、PE的投影点位于“高岭石线”附近, 并分别占据不同区域, 其界线可以用 $\delta D = 9.1\delta^{18}O - 247.3$ 的函数方程表示。

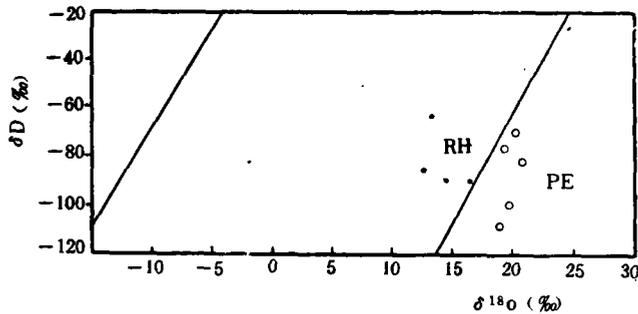


图5 珍珠岩及伴生流纹岩  $\delta D-\delta^{18}O$  关系图

Fig.5  $\delta D-\delta^{18}O$ , diagram of the perlites and accompanying rhyolites

黑点为流纹岩(RH); 圆圈为珍珠岩(PE).

2、高 $\delta^{18}O$ 值的形成 T·E·Cerling 等人(1985)的研究表明, 低温条件下地下水参与的流体—火山玻璃同位素交换作用造成了玻璃 $^{18}O$ 的富集。上述珍珠岩 $\delta^{18}O$ 值远高于流纹岩的资料(表5)与岩石稳定性序列完全一致。珍珠岩是一种不稳定的硅酸盐玻璃, 在形成以后的近亿年内, 与古大气水或地下水的同位素交换反应已经基本达到平衡。这样, 采用玻璃—水在常温下的分馏系数  $\alpha=1.023$  (T·E·Cerling 等, 1985) 或  $\alpha=1.0245$  (Taylor, 1968), 即可以根据珍珠岩 $\delta^{18}O$ 的资料, 估算出两组古大气水或地下水的 $\delta^{18}O$ 值(见表5)。古大气水(或地下水)的 $\delta^{18}O$ 估算值或介于 $-1.75\sim-3.77\%$ 之间, 平均 $-2.86\%$  (按

$\alpha_{\text{玻璃-水}}=1.023$  估算); 或介于 $-3.21\sim-5.23\%$ 之间, 平均 $-4.32\%$  (按  $\alpha_{\text{玻璃-水}}=1.0245$  估算)。这与东非现代地下水(珍珠岩成矿时的气候类似于东非目前的气候)的 $\delta^{18}O$ 值( $-3\sim+2\%$ , 平均约 $-1.5\%$ ; T·E·Cerling 等, 1985)比较接近, 而更近似于区内“深成”粘土 $\delta^{18}O$ 值估算的晚中生代大气降水的 $\delta^{18}O$ 值。这佐证是由于玻璃与古大气水(或地下水)在地表(常温)条件下长期同位素交换的结果。从而也表明在利用全岩 $\delta^{18}O$ 值解释岩浆成因时, 只有结晶良好的新鲜深成岩石才具有真正的意义; 玻璃岩因常温下的水—岩同位素反应, 其 $\delta^{18}O$ 远高于初始值, 无实际意义。结晶细小的流纹岩介于玻璃岩和新鲜深成岩之间。

#### 四、成岩成矿机理

(一)岩浆成因 下列判别图解和地球化学资料, 有助于揭示形成珍珠岩的岩浆属性。

1.在戈蒂尼—里特曼  $\lg\sigma-\lg\tau$  图上(图6), 珍珠岩样品的投影点都落在B区(造山带区, 即岛弧或活动大陆边缘)范围内。

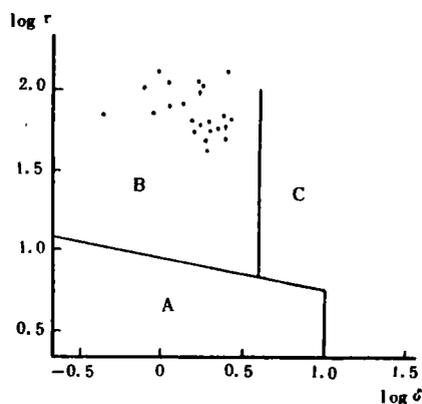


图6 戈蒂尼—里特曼判别图

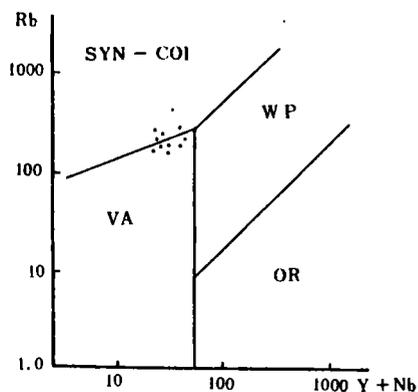


图7 Rb-(Nb+Y)构造环境判别图(据 Pearce,1984)

Fig.6 Diagram of  $\log\sigma$ - $\log r$  for the perlites Fig.7 Nb-(Nb+Y) diagram for tectonic environment

2. 在 Rb-Nb+Y 图中 (图 7), 投影点都落在火山弧区 (VA) 和同碰撞区 (SYN-COL) 界线附近。

3. 稀土元素分析结果表明 (图 4), 形成珍珠岩矿床的岩浆属于壳源型, 个别矿床 (牛台一小河塘、白水洋—横路矿区) 可能属于壳源为主的幔壳混熔型。

4. 与珍珠岩同期伴生的流纹岩, 其稳定同位素资料与 Taylor (1978) 的高  $\delta^{18}O$  花岗岩组 ( $\delta^{18}O > 10\%$ ) 相当, 也反映是壳源型。

综上所述, 区内形成珍珠岩的岩浆发生于活动大陆边缘的扩张环境, 主要属于“壳源型”岩浆, 部分可能属“幔壳混熔型”。

(二) 含水性及其膨胀机理 珍珠岩的含水性及水的结构种问题已有多人论述。E·Stolpher (1982) 根据红外光谱分析, 对火山玻璃中水的结构种问题进行比较深入的研究后发现,  $OH/[OH+H_2O(m)]$  的比值随总水量的增加而降低。马鸿文(1985)对 Stolpher 测得的  $OH/[OH+H_2O(m)]$  和  $H_2O^+$  数据做了回归分析, 得出下列方程:

$$OH/[OH+H_2O(m)] = 1.015134 - 0.163919 \cdot H_2O^+ + 1.2366 \times 10^{-2} \cdot (H_2O^+)^2 - 3.44 \times 10^{-4} \cdot (H_2O^+)^3 \text{ (wt\%)}$$

我们借用这一方程, 对区内一些珍珠岩作了相应的计算 (表 6)。结果表明, 其中羟基含量变化范围很小, 以分子形式存在的  $H_2O(m)$  则变化很大, 并与膨胀倍大体呈正相关。珍珠岩开始失水的最低温度为  $122^\circ\text{C}$ , 最高可达  $174^\circ\text{C}$ , 表明其中的分子水并不是以吸附水的形式存在, 而是以一种特定的方式寓于玻璃的格架中。当破碎到一定粒级范围 (一般为 20~80 目) 预热至  $400^\circ\text{C}$  左右时, 分子水振动加剧, 开始脱离玻璃中各种离子的

束缚, 而逐渐聚集成微小水珠; 这种微小水珠有相当一部分在预热过程中逐渐逸散, 保存部分成为膨胀的潜在动力, 一旦温度骤升至 1200~1300℃ 左右, 内压力也随之骤增, 从而导致珍珠岩的膨胀。

表 6 珍珠岩的膨胀倍与水的结构种的关系

Table.6 The relationship between water species and expansion coefficient of the perlites

矿区	实测 H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> 平均值(wt%)	计算值 (wt%)		膨胀温度 (℃)	膨胀倍 (K <sub>0</sub> )
		OH	H <sub>2</sub> O (m)		
缙云老虎头	4.98	2.31	2.67		11-12
广丰李家	5.57	2.37	3.20	1300	8.8
金华后大	7.17	2.50	4.67	1300	10.5
宁海牛台	7.24	2.52	4.72		9.1-32
永康中山	7.42	2.52	4.90		14.6
福建香炉山	7.48	2.52	4.96	1200	18.3
天台九里坪	7.99	2.55	5.44		16.55
临海白水洋	8.32	2.57	5.75		29.2

注: 列有膨胀温度者系作者资料, 其它均据不同资料来源

(三)珍珠岩成矿机理 据上所述, 对东南沿海珍珠岩的成矿作用综述如下:

形成珍珠岩矿床的岩浆属性应是壳源型或以壳源为主的幔壳混熔型。岩浆富集 H<sub>2</sub>O、F、Cl 等挥发组分和不相容亲石元素(如 Rb、Cs 等)、轻稀土元素, 是酸性岩浆房最上部、并经高度分异作用的岩浆。火山作用总是与前一旋回(或喷发韵律)之间有较长的间歇性, 以使岩浆房保持稳定的分异条件。由于火山作用发生于活动大陆边缘的扩张环境, 岩浆上升速度快, 致使其中的水份尽可能得以保存。岩浆溢出地表后直接注入湖盆, 使之具备良好的“骤冷”条件, 有利于形成优质珍珠岩矿床(岩流顶、底部皆可成矿)。如果不具备这种环境, 则只能在岩流顶部形成一层珍珠岩矿层。珍珠岩是岩流溢出地表以后在冷凝过程中经水化作用形成的。这种水化作用可能既包括塑状玻璃阶段主要由岩流内部相带分馏出来的水分所导致的高温水化(B·B·НАСЕДКИН 1981), 又包括冷却成岩以后伴随有(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>)—H<sup>+</sup>离子交换作用和氢、氧稳定同位素交换作用的低温水化(T·E·Cerling 等, 1985)的综合结果。

## 参考文献

- [1]. 陈鹤年等, 1988, 浙闽赣地区中生代火山成因非金属矿床基本特征, 地质出版社
- [2]. 贺菊瑞等, 1987, 酸性岩流的冷凝分带性及其找矿意义, 建材地质, 1987, No.1
- [3]. 马鸿文, 1985, 天然硅酸盐熔体中水的溶解度与结构种计算, 矿物岩石, 1985, No.4
- [4]. 武汉地质学院, 1979, 地球化学, 地质出版社
- [5]. T·E·Cerling 等, 1985, 火山玻璃的低温蚀变: 水化作用及 Na、K、<sup>18</sup>O、Ar 的活动性, 张耀夫译, 国外火山地质, 1988, No.1
- [6]. B·C·АНТИПИН 等, 1985, 东外贝加尔维尔申纳—达拉松地区含铯火山玻璃, 岭楠译, 国外火山地质, 1988, No.1
- [7]. E·Stolpher, 1982, The speciation of water in silicate melts, Geochim, cosmochim. Acta, 1982, 46 .

**PERLITE DEPOSITS AND  
THEIR GENETIC MECHANISM IN THE  
COASTAL AREA OF SOUTHEAST CHINA**

*Zhang Yaofu, Chen Henian, Wu Quanhui*

*and Jiang Yaohui*

*(IGMR, Nanjing)*

**Abstract**

The perlite deposits in the coastal area of southeast China mainly exist in the volcanic rocks which formed in initial and reviving periods of volcanic circle 3 and 4 of Mesozoic. According to geologic characteristics, the deposits can be classified into two types: Niutai type and Baishuiyang type. In this paper, the geochemistry of the perlite deposits has been

studied in detail. It is shown that the higher  $\delta^{18}\text{O}$  values (18.97–20.99‰) of the perlites depend mainly on the exchange reaction of isotopes between water and rocks, but basically not relate to the primitive isotopic composition.

$\delta^{18}\text{O}$  values of acidic rocks originated from the same magma resource increase in following sequence: granite, rhyolite, perlite, which conforms to the sequence of unstability of these rocks. On the basis of isotopic fractionation coefficient  $\alpha=1.023$  (volcanic glass—water), the  $\delta^{18}\text{O}$  values of the ancient meteoric water in this area can be calculated, the average  $\delta^{18}\text{O}$  value is  $-2.96\text{‰}$  (SMOW).

In relation to metallic mineral resources, the perlites are closely related to the mineralization of Cs. The Cs content can be higher than industrial grade (0.02%). Therefore, the perlite deposits can be considered as prospects of Cs resources and are valuable to study in greater detail.

According to Stolpher and others' theory, the  $[\text{OH} / \text{OH} + \text{H}_2\text{O}(\text{m})]$  values of the perlites can be calculated. The OH contents calculated from all perlite samples of this area are about 2.48%, and their difference is very little. Considering the data of thermal analysis on lost in weight, it is suggested that the expansion coefficient of perlite depend mainly on the amount of molecule water.

The perlite deposits formed under the expansion environment of active continental margin and were the products of the magma derived from continental crust. Magmatic differentiation played important role in the mineralization of the perlite deposits.

**Key words** perlite; geological, geochemical characteristics; genetic mechanism; coastal area of southeast China.