

文章编号: 1000- 6524(2001) 02- 0112- 11

桂北—湘南中生代玄武质岩石及其深源包体的地球化学性质和岩石成因探讨

李昌年, 钟称生, 王方正, 刘春芳

(中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 桂北—湘南中生代玄武质岩石中含有丰富的深源包体。它们分别为橄榄岩、变形的辉长岩和中酸性片麻岩三大类。本文在论述上述岩石地球化学性质的基础上, 探讨了它们之间的成因关系: 寄主的中生代玄武质岩石为地幔橄榄岩部分熔融的产物, 与辉长岩和中酸性片麻岩并无成因联系, 后者属偶然包体。值得注意的是, 深源包体中的变形辉长岩与片麻岩之间为分离结晶的成因关系, 它们均为元古宙壳—幔间底侵玄武质岩浆的演化产物, 其中辉长岩为底侵岩浆的堆积相, 而片麻岩则为底侵岩浆经历分离结晶的堆积作用之后所剩下的残余岩浆的变质产物。

关键词: 桂北—湘南; 玄武质岩石; 深源包体; 地球化学性质

中图分类号: P581; P584

文献标识码: A

桂北—湘南中生代玄武岩带内含有丰富的深源包体。关于湘南地区的中生代玄武质岩石及其包体的岩石学特征及其成因, 朱勤文等^[1]和王方正等^[2]分别做了较深入的研究, 认为玄武质岩石形成于板内热扰动的环境, 其内包体的形成可能与元古宙底侵作用有关。本文重点研究桂北玄武质岩石及其深源包体, 并将其与同一火山岩带的湘南中生代玄武质岩石及其深源包体进行对比, 以期讨论桂北—湘南玄武质岩石及其深源包体的岩石成因。

1 地质概况

桂北—湘南地区在大地构造上位于华南褶皱带西缘, 其西与扬子地台毗邻。该地区含深源包体的中生代玄武质岩石主要见于广西北部平乐县砂子、金秀县龙标和平南县双田, 湖南南部道县的虎子岩、江永县的龙圩和宁远县的保安圩。在产状上寄主玄武质岩石分布点多、面小, 总体上大致呈 NNE 向断续分布达数百公里。桂北—湘南地区含深源包体的中生代玄武质岩石一般呈熔岩流、小型熔岩被、岩筒和次火山岩相的岩脉产出。深源包体多见于岩筒状产出的玄武质岩石中, 呈散布状, 如桂北平南县双田。双田岩筒在地貌上呈宽缓的 U 字形, 其直径约 2 000 m (图 1)。该岩筒的围岩为早古生代寒武纪含碳泥岩和浅变质砂岩。在平面上岩筒分带清楚, 从中心向外缘其岩性变化为粗面玄武质熔岩→碧玄质熔岩→火山角砾岩。粗面玄武质熔岩具基质为间粒—间隐结构的斑状结构, 斑晶矿物为中长石、钛普通

收稿日期: 2000- 04- 28; 修订日期: 2001- 01- 31

基金项目: 国家自然科学基金项目资助项目(4927170)

作者简介: 李昌年(1946-), 男, 教授, 主要从事岩石学教学与科研工作。

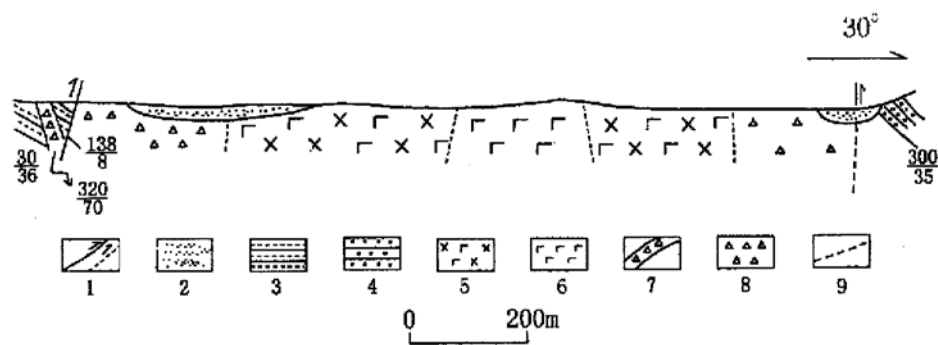


图 1 桂北平南县双田玄武质岩筒剖面图

Fig. 1 Geological section of Shuangtian basaltic pipe, Pingnan County, northern Guangxi
 1—断层或推测断层; 2—第四系; 3—碳质泥岩 (€); 4—变质砂岩; 5—碧玄岩; 6—钾质粗面玄武岩;
 7—断层角砾岩; 8—角砾岩; 9—岩相界线

辉石和贵橄榄石。基质斜长石三角架中除充填有单斜辉石外, 还见有呈负突起且具微弱干涉色的填隙物, 可能为钾长石类矿物; 碧玄质熔岩质地较粗面玄武质熔岩更为致密, 其内常含有深源包体或捕虏晶, 此外, 该岩石的斑晶橄榄石为镁橄榄石, 辉石常为次透辉石; 火山角砾岩的成份较单一, 火山角砾间的胶结物多为碧玄质熔岩。在剖面和平面上, 粗面玄武质熔岩与碧玄质熔岩具一定的分界, 并且前者有时含有后者岩石的捕虏体, 表明粗面玄武质熔岩喷发时间略晚于碧玄质熔岩。由此看出, 该地区曾发生过地表下较浅部的隐爆, 并经历过二次岩浆上侵直至喷发而形成双田火山机构。显然, 该岩筒是双田火山机构因剥蚀程度不大而被保存下来的。此外, 在双田以北的马练地区也分布较多的粗面玄武质席状岩墙, 其化学成分与双田岩筒中央相的粗面玄武质熔岩一致, 这说明该席状岩墙与双田岩筒中的火山岩同源。严格地说, 它与双田火山机构中第二次上侵的粗面玄武质熔岩属同一火山作用的产物。

湘南含深源包体玄武质岩石的全岩 K-Ar 同位素年龄为 135~132 Ma^[3,4]。本文用于全岩 Rb-Sr 等时线年龄测定的变形辉长岩深源包体样品产自湘南道县虎子岩, 其 Rb、Sr 同位素比值列于表 1。根据表 1 数据得到的等时线图(图 2)可知, 该辉长岩包体内各样品成分点的拟合性较好, 其相关系数为 0.998, 由其成分点确定的该变形辉长岩包体结晶的 Rb-Sr 等时线年龄为 1 141 Ma ± 67 Ma, 其中锶同位素初始比值(1Sr)为

表 1 道县虎子岩变形辉长岩包体的 Rb-Sr 同位素比值

Table 1 Rb and Sr isotopic ratios of gabbro enclaves from Huziyan, Daoxian County

序号	样品号	样品类型	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
1	NH6	全岩 辉长岩	0.4080	0.71480
2	NH6- Cpx	单矿物 单斜辉石	0.6572	0.72441
3	NH6- Pl	单矿物 斜长石	0.4070	0.71441

分析单位: 中国地质大学(武汉)部开放实验室。

0.7137。另知各种片麻岩包体中磨圆单颗锆石 Pb-Pb 法年龄数值范围在 1 829~ 1 397 Ma 之间^[2]。这些磨圆好的锆石为沉积成因, 由此推测这些岩石的物源可追溯到中元古代以前, 显然该年龄值要大于全岩 Rb-Sr 法的定年值。因此认为, 该地区发育的中生代玄武质

岩石与其内的变形辉长岩和片麻岩深源包体形成于不同源和不同时,彼此并无直接成因联系,变形辉长岩和片麻岩可能为异源包体。根据辉长岩具高的锶同位素初始比值推测,该辉长岩曾强烈混染了古老的陆壳物质。

2 岩石学特征

桂北—湘南中生代玄武质岩石中所含深源包体有三种类型:颗粒状橄榄岩类、变形的辉长岩类和片麻岩类(详细描述见文献[2])。各深源包体及寄主玄武质岩石的常量元素化学成分列于表 2。经选择,样品的数据符合岩石总量、H₂O 和 CO₂ 含量的有效范围。对于玄武质岩石,我们事先将岩石中 H₂O 和 CO₂ 含量扣除后按 100% 总量重新进行换算,然后将换算结果投影于 TAS 图中进行定名(图 3)。为便于对比,将变形辉长岩和片麻岩包体的成分也投入该图中。由图可知,中生代玄武质岩石属碱性玄武岩系列,其岩石类型为碧玄岩、粗面玄武岩和钾质粗面玄武岩;其内的深源包体为亚碱性系列,其中片麻岩在化学成分上属英安流纹质,与变形辉长岩的成分点构成成分间断。再

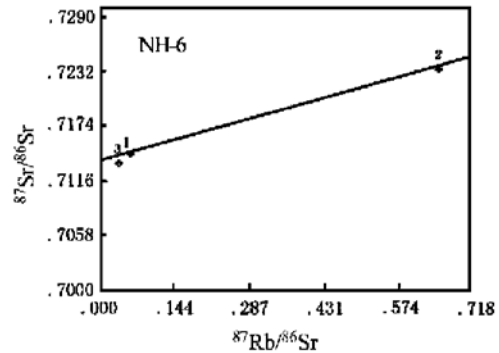


图 2 道县虎子岩辉长岩包体的 Rb- Sr 等时线

Fig. 2 The Rb- Sr isochron line of gabbro enclaves from Huziyan, Daoxian county (图中成分点号同表 1 中样品序号)

表 2 桂北—湘南中生代玄武质岩石及其深源包体常量元素化学成分 w / %

Table 2 Major composition of basaltic rocks and their deep source enclaves form northern Guangxi- southern Hunan

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
地区	桂北平南双田			湘南宁远保安圩		湘南道县虎子岩						中国东南部	
样号	S- 5- 1	S- 5- 2	S- 4	T- 5	T- 4	H- 4	H- 1- 1	H- 1- 2	H- 2- 1	H- 2- 2	H- 3		
岩石名称	碧玄岩	粗面玄武岩	二辉橄 榄岩包 体	拉斑玄 武岩	二辉橄 榄岩包 体	碱性玄 武岩	二辉橄 榄岩包 体	二辉橄 榄岩	辉长岩 包体	辉长岩 包体	石榴石 黑云片 麻岩包 体	玄武岩	二辉橄 榄岩包 体
SiO ₂	47.39	46.85	45.55	42.81	44.23	47.98	45.15	43.48	48.76	52.02	69.09	49.48	44.39
TiO ₂	2.18	2.36	0.04	1.11	0.15	0.64	0.04	0.06	0.12	0.15	0.68	2.04	0.156
Al ₂ O ₃	11.94	12.54	1.64	16.38	0.35	8.84	3.82	1.72	22.82	23.37	13.74	14.28	2.76
Fe ₂ O ₃	3.65	2.31	1.19	1.60	3.68	2.14	4.37	1.85	1.18	0.59	1.31	3.87	2.21
FeO	7.59	8.43	6.33	10.75	4.11	4.40	4.76	7.28	4.20	3.66	3.70	7.01	7.23
MnO	0.21	0.17	0.12	0.30	0.14	0.18	0.07	0.14	0.09	0.08	0.09	0.13	0.17
MgO	10.12	10.40	42.26	14.80	34.97	15.21	37.53	43.26	7.88	5.63	2.36	7.22	38.40
CaO	6.43	9.34	1.38	3.12	3.08	10.95	1.82	1.43	10.31	9.45	2.08	8.49	2.47
Na ₂ O	4.60	3.23	0.16	1.38	0.18	0.43	0.39	0.15	2.79	3.57	2.21	2.91	0.285
K ₂ O	2.75	2.11	0.13	1.00	0.03	3.22	0.16	0.05	0.38	0.45	3.42	1.31	0.07
P ₂ O ₅	1.77	0.64	0.02	0.38	0.032	0.60	0.03	0.04	0.02	0.04	0.17	0.49	0.08
H ₂ O	1.04	1.08	0.54	5.21	4.56	3.96	—	—	1.28	—	1.09	1.55	0.85
CO ₂	0.10	0.11	—	0.12	—	0.94	—	—	—	—	0.056	—	—
总量	99.63	99.56	99.35	99.46	98.51	99.37	98.14	99.46	99.83	99.01	100	99.46	99.07

4~ 11 号样引自文献[2]; 12 和 13 号样据文献[8], 其余样品为湖北省岩矿测试中心利用湿法测定。

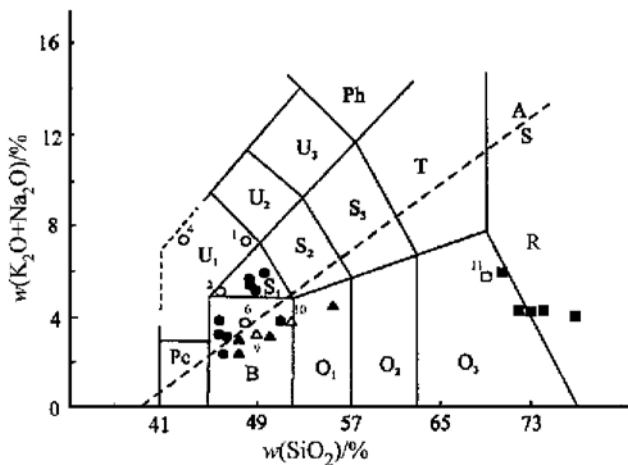


图 3 玄武质岩石及其深源包体的 TAS 图解(据文献[5])

Fig. 3 The nomenclature for total alkali-silica of the volcanic rock

B—玄武岩; O₁—玄武安山岩; O₂—英安岩; R—流纹岩; S₁—粗面玄武岩; U₁—碧玄岩(OI>10%)或碱玄岩(OI<10%); A—碱性系列; S—亚碱性系列; ●, ○—中生代玄武质岩石; ▲, △—辉长岩包体; ■, □—片麻岩包体; ○, △, □与表 2 样品序号相同; ●据文献[1]; ▲, ■据文献[2]

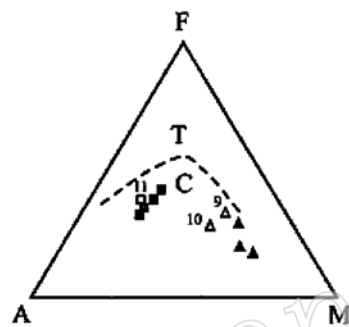


图 4 中生代玄武质岩石中深源包体 AFM 图(据文献[6])

Fig. 4 AFM diagram for division of magmatic series of deep-source enclaves in Mesozoic basaltic rocks

T—拉斑系列; C—钙碱性系列; 其余图例同图 3

根据 AFM 图投影可知, 这些包体属钙碱性系列(图 4)。显然寄主玄武质岩石与变形辉长岩和片麻岩深源包体分属不同的岩浆系列。Miyashiro^[7]认为, 碱性玄武岩沿三种演化趋势均不能转变为钙碱性岩石。因此, 寄主玄武质岩石与变形辉长岩及片麻岩包体不具成因联系。辉长岩包体除具岩浆结构外, 还具变形的条带状构造, 显然, 变形构造为成岩后叠加所致。矿物成分除单斜辉石和基性斜长石外, 还有不等量的角闪石、橄榄石和尖晶石等矿物。片麻岩包体具变晶结构、片麻状构造, 除含有石榴石等特征矿物外, 还见有两种长石、石英和黑云母等。此外, 橄榄岩包体主要为尖晶石二辉橄榄岩, 其次为方辉橄榄岩和纯橄榄岩。前者代表了该地区近原始上地幔的组成, 后者可能为经不同程度熔融的残余, 镜下常见橄榄岩包体中的单斜辉石具海绵边结构也证明了这一点。

3 岩石地球化学性质

3.1 常量元素

桂北—湘南中生代玄武质岩石及其深源包体常量元素氧化物之间的变异关系可以用哈克图解来表示(图 5)。从图可知, 寄主的中生代玄武岩较之其内同 SiO₂ 成分的变形辉长岩包体具有较高的 FeO、TiO₂、MgO; 较低的 Al₂O₃、CaO; 其 NaO 和 K₂O 成分范围较大; 而辉长岩和片麻岩包体的成分点具间断分布特征。若将变形辉长岩与片麻岩的成分点连接起来, 其中点(近玄武安山岩成分)可能是分异产物(辉长岩和片麻岩)的母岩浆。

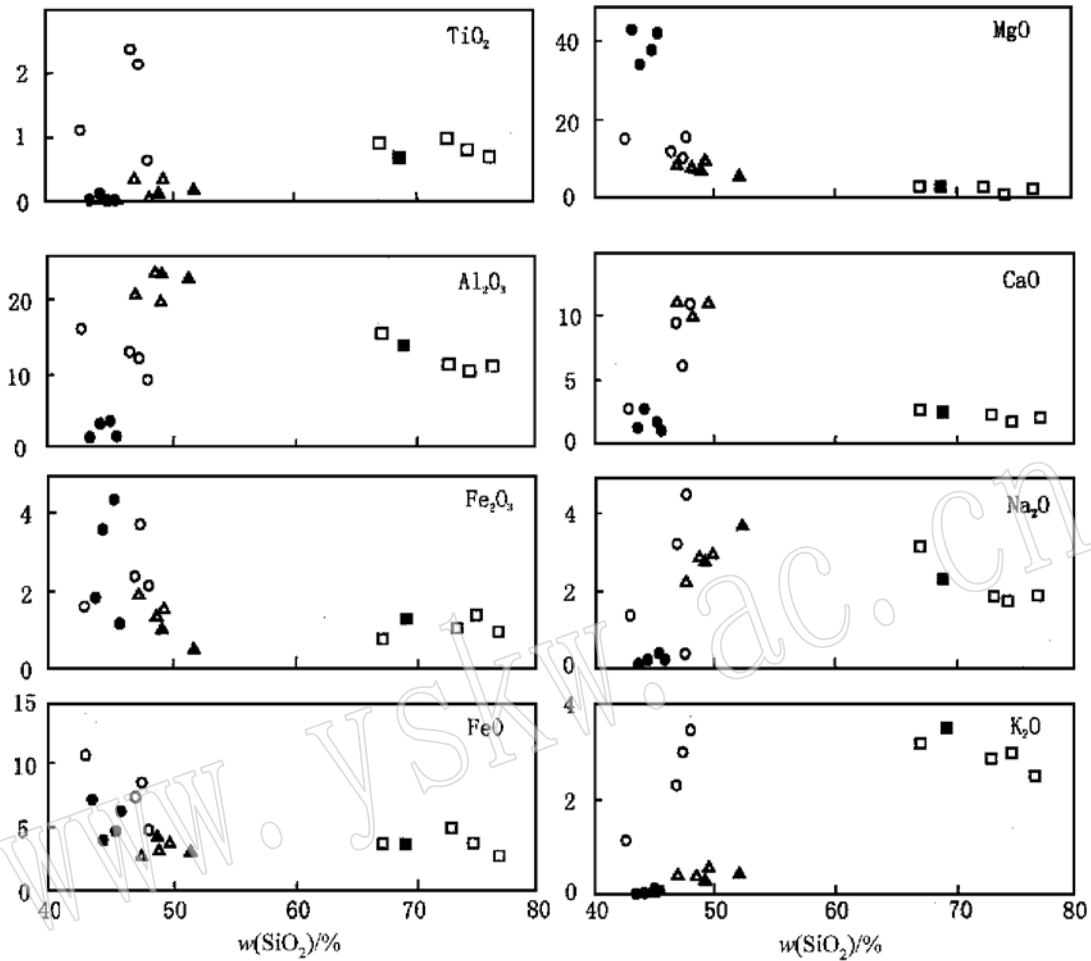


图5 桂北—湘南中生代玄武质岩石及其深源包体的 SiO_2 与其它氧化物的变异图

Fig. 5 Variogram of SiO_2 versus other oxides in the Mesozoic basaltic rocks and their deep-source enclaves from northern Guangxi- southern Hunan

3.2 稀土元素

桂北—湘南中生代玄武质岩石及其深源包体的稀土和微量元素含量列于表3。寄主岩和深源包体的球粒陨石标准化稀土元素分布型式见图6和7。从图6可知,玄武质寄主岩的稀土元素分布曲线被明显地分为二组:桂北平南双田碧玄岩(S-5-1)因较高的稀土元素含量而使分布曲线处于图中较高的位置,且不具Eu的负异常,而湘南宁远保安圩拉斑玄武岩(T-5)稀土分布曲线居图中较低的位置,且表现为具Eu的负异常,这说明后者曾发生过较强烈的长石和暗色矿物的分离结晶。上述两地区尖晶石二辉橄榄岩(包体)稀土元素分布型式的差异表现为:湘南道县虎子岩橄榄岩包体(H-1-1)为明显轻稀土元素富集;宁远保安圩(T-4)为近平坦型;而桂北平南双田的橄榄岩包体(S-4)则是轻稀土元素低度富集,这可能是地幔横向不均一或地幔隐形交代程度不一所致。

表 3 桂北—湘南中生代玄武岩及其深源包体微量元素含量 $w_B/10^{-6}$

Table 3 The abundance of trace elements in basaltic rocks and their deep_source enclaves from northern Guangxi— southern Hunan

序号 样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	S- 5- 1	S- 5- 2	S- 4	T- 5	T- 4	H- 4	H- 1- 1	H- 2- 1	H- 2- 2	H- 3
La	103.6	43.76	1.53	24.19	1.1	53.94	7.43	1.29	3.12	49.78
Ce	193.78	79.08	2.84	45.89	2.36	97.49	15.58	2.88	7.47	89.94
Pr	21.36	9.32	0.31	4.82	0.37	10.45	2.32	0.38	1.11	11.09
Nd	80.58	35.30	1.21	21.51	1.17	48.68	8.55	1.57	5.34	37.19
Sm	14.85	7.75	0.36	5.80	0.30	9.51	1.62	0.42	1.61	7.13
Eu	4.14	2.14	0.09	1.86	0.12	2.64	0.38	0.52	0.82	1.42
Gd	11.77	6.34	0.28	9.77	0.40	8.22	1.32	0.44	1.82	5.88
Tb	1.65	0.95	0.05	2.00	0.09	1.17	0.18	0.07	0.28	0.93
Dy	9.02	5.19	0.28	14.93	0.51	5.29	0.61	0.46	1.82	5.57
Ho	1.59	0.93	0.07	3.24	0.10	0.86	0.12	0.09	0.34	1.14
Er	3.71	2.19	0.17	9.60	0.34	2.02	0.28	0.23	0.93	3.25
Tm	0.54	0.36	0.03	1.52	0.05	0.31	0.05	0.04	0.14	0.53
Yb	2.88	1.80	0.17	9.20	0.34	1.58	0.18	0.20	0.80	3.20
Lu	0.43	0.27	0.03	1.38	0.05	0.22	0.03	0.03	0.12	0.50
Y	41.22	24.10	—	23.0	—	23.0	—	2.36	10.03	29.68
ΣREE	490.68	19.48	7.42	242.86	7.30	264.75	38.65	10.97	35.75	217.53
(La/Yb) _n	35.8	24.3	6.38	1.8	2.29	24.2	27.90	4.36	2.63	9.24
L/H	11.6	8.7	13.30	1.9	6.02	10.0	53.80	1.80	1.20	3.88
δEu	0.87	0.86	0.84	0.76	1.06	0.84	0.77	2.92	1.46	0.71
Rb	78.5	46.8	2.5	21.9	3.7	901	—	4.5	3.5	134
Sr	1160	567	13.1	253	30.5	822	—	305	253	317
Ba	739	623	14.8	977	39	1538	—	131	156	971
Th	21.5	10.9	5.3	8.3	4.2	10.0	—	4.2	4.6	10.9
U	3.87	1.61	—	1.42	—	3.52	—	0.29	0.36	2.70
Nb	144	61.9	1.5	35.3	1.3	12.1	—	1.0	1.3	16.2
Ta	9.07	4.68	—	2.8	—	3.52	—	—	—	1.05
Zr	578	227	24.4	225	25	108	—	9.6	32	236
Hf	11.2	4.8	0.64	4.45	0.53	1.72	—	0.2	0.6	7.3
Sc	13.5	24.2	10.2	11.0	13	19.3	—	7.5	16.3	11.1
Ni	266	188	1720	161	1960	590	906	173	151	30.3

样品序号、产地和岩石名称同表 2。1 2 5 号样品由湖北省岩矿测试中心测定, 其中稀土元素为等离子光谱法, Rb、Sr、Ba 为 X 光荧光光谱法, 其余元素为原子吸收分光光度计分析; 其余样品据文献[2]; 表中“—”为未分析。

图 7 为湘南道县虎子岩碱性玄武岩中深源包体的稀土元素分布型式。辉长岩 (H- 2- 1 和 H- 2- 2) 具 Eu 正异常; 片麻岩 (H- 3) 具 Eu 负异常; 从稀土元素总量来看, 酸性片麻岩位于图中较高的位置; 橄榄岩 (H- 1- 1) 位于图中较低的位置; 而辉长岩居中, 其中 SiO₂ 含量较高的辉长岩又高于 SiO₂ 含量较低的辉长岩。特别值得指出的是, 辉长岩与片麻岩的稀土分布曲线具明显的互补性。联系前述哈克图 (图 5) 中两者的成分间断特点, 推测变形的辉长岩包体与片麻岩包体具有一定的成因联系。若辉长岩的正 Eu 异常为长石类矿物堆积所致, 那么片麻岩的负 Eu 异常很可能是原始岩浆经历辉长岩固相分离结晶后形成的残余岩浆所致。

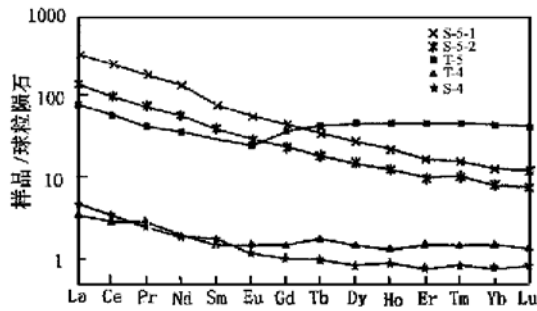


图6 桂北—湘南中生代玄武质岩石稀土元素分布型式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of Mesozoic basaltic rock and their enclaves from northern Guangxi-southern Hunan Province
 标准化球粒陨石据 Boynton^[10]; 样品号及岩石名称见表2

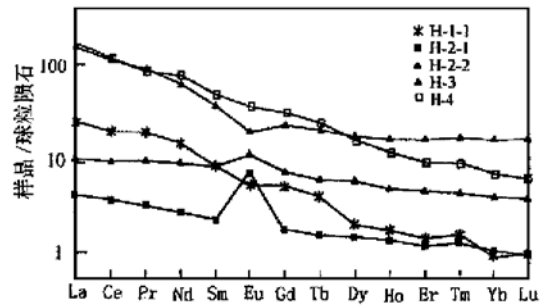


图7 湘南道县中生代玄武岩及其深源包体的稀土元素分布型式

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of Mesozoic basalts and their deep-source enclaves from Daoxian county, southern Hunan Province
 标准化球粒陨石据 Boynton^[10]; 样品号及岩石名称见表2

3.3 微量元素

根据表中有关数据可以获得各样品原始地幔标准化的微量元素比值蛛网图(图8, 9)。图8中的中生代玄武质岩石的蛛网曲线大体上可分为两类:一类为碱性玄武岩(如虎子岩样品),表现为HFS < LIL的趋势,其中以Nb的负异常为特征;另一类为碧玄岩,具HFS > LIL的总趋势,其中以K的负异常为特征。这两种特征的比值蛛网曲线,无论K还是Nb的负异常,均反映玄武岩浆来自大陆岩石圈,只不过道县虎子岩碱性玄武岩中含有明显的大陆壳成分,而碧玄岩可能在源于低度混染了地壳物质^[10]的同时还发生有分离结晶矿物相的堆积作用。已知高场强元素(HFS)主要赋存于镁铁质矿物的堆积相之中,从而造成本区碧玄岩

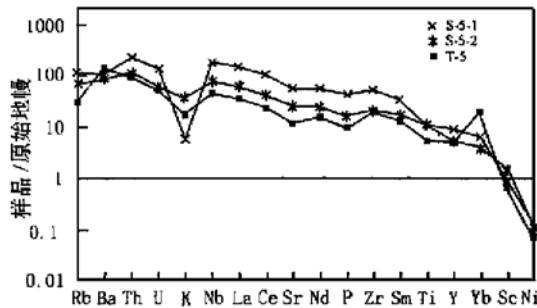


图8 桂北—湘南中生代玄武质岩石的微量元素蛛网图

Fig. 8 The ratio spidergram of trace elements for Mesozoic basaltic rocks from northern Guangxi-southern Hunan
 原始地幔据 Ma Donough 等^[11], 样品号及岩石名称见表2

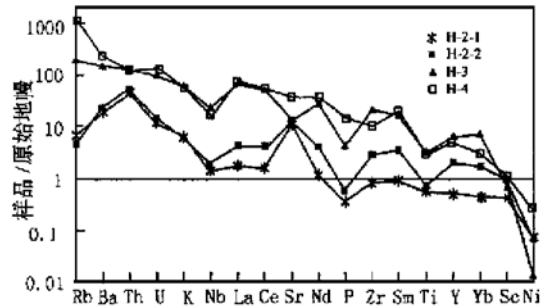


图9 湘南道县虎子岩玄武质岩石及各种深源包体微量元素蛛网图

Fig. 9 The ratio spidergram of trace elements for the basalts and their various deep-source from Huziyan, Daoxian county, southern Hunan Province
 原始地幔据 Mc Donough 等^[11]; 样品号及岩石名称见表2

特殊的地球化学性质。

图9为上述玄武质岩石中辉长岩和片麻岩深源包体的蛛网曲线。从该图可知,虽然偏酸性的片麻岩的不相容元素浓度要大于偏基性的辉长岩,但从总体上看两者蛛网图曲线具相似性。它们均表现出 Nb、P 和 Ti 等高场强元素的负异常,但在元素 Sr 处显示与稀土元素 Eu 处极相似的互补性,其中辉长岩为 Sr 的正异常,片麻岩恰恰相反,呈现 Sr 的负异常。众所周知, Sr 主要赋存于长石类矿物中。因此可以认为,辉长岩和片麻岩具一定的成因联系,而且两者具同源性。其中辉长岩是分离结晶的堆积相,其堆积矿物相为斜长石和暗色矿物,而片麻岩则为原始岩浆经辉长岩分离结晶之后形成的残余岩浆的演化产物。此外,对比图8和图9,寄主玄武岩石的曲线与变形辉长岩和片麻岩等深源包体差异较大,说明寄主岩与该深源包体并无成因联系。

4 岩石成因探讨

4.1 构造背景

根据 TiO_2-Zr 判别图(图10)可知,桂北—湘南中生代玄武质岩石主要形成于板内构造背景,4号样的道县虎子岩碱性玄武岩投入火山弧区可能为强烈混染作用所致。而辉长岩的成分点均位于火山弧区内。显然,辉长岩和片麻岩包体与寄主岩除在形成时代上不一致外,其形成的构造背景也明显不同,进一步说明辉长岩和片麻岩包体在岩石成因上与其寄主岩无任何联系。

4.2 橄榄岩包体与寄主玄武质岩石

确定橄榄岩包体与寄主玄武质岩石是否平衡有助于判断上述两者的成因关系。Roder 和 Emslie^[13]认为,橄榄岩中的橄榄石与玄武质熔体之间 Fe 和 Mg 的复合分配系数($K_{Fe,Mg}$)值为 0.3 时两者达到平衡,并存在成因联系,否则相反。这里以湘南宁远保安圩样品为例,根据包体内橄榄石的探针分析结果计算,橄榄岩包体中橄榄石与玄武质岩石的 $K_{Fe,Mg}$ 值为 0.28~0.34。由此推测两者之间存在成因联系,玄武质岩石可能是该橄榄岩经部分熔融形成的岩浆结晶而成。为此,特将橄榄岩包体和寄主岩常量元素化学成分模拟地幔成分^[14]标准化,获得上述两种岩石的标准化曲线(图11)。该图显示,两种岩石的标准化曲线呈完美的互补关系,其中 Na、Al、K、Ca、Ti、Mn 和 Fe 相对富集于寄主岩而亏损于橄榄岩包体; Mg 却相对富集于橄榄岩包体而亏损于寄主岩。这两种岩石的化学成分特征进一步证实,利用分配系数数值确定的两者成因关系是正确的。

4.3 辉长岩包体与片麻岩包体

根据表3中微量元素 Zr 含量变化范围可知,各岩石中 Zr 含量的最大值与最小值相差达两个数量级,因此可以选择 Zr 作为分异程度指数,做出 Zr 含量与其它代表性微量元素变化图解(图12)。从图可知,中生代玄武质岩石的微量元素含量与辉长岩相差较大,但 Zr、Yb 和 Nb 含量与片麻岩包体较接近。图中表现出辉长岩与片麻岩二种包体的成分点不仅呈双峰式分布,而且共同构成彼此相连的分离结晶趋势线,显示从辉长岩到片麻岩 Zr 含量增加时,相容元素 Ni 含量降低;适度不相容元素 Nb、Yb 含量增加;而强不相容元素 Sr 基本保持不变,说明形成酸性岩浆的演化是以暗色矿物为主、斜长石为辅的分离结晶所致。图12还表现了橄榄岩包体与玄武质岩石之间的不同微量元素的变异关系:在橄榄岩部分熔融

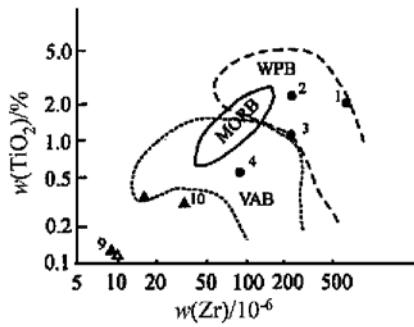


图 10 火成岩构造背景的 TiO₂- Zr 判别图(据文献[12])

Fig. 10 The TiO₂- Zr discrimination diagram showing geological setting of igneous rock

图中样品序号同表 2, 其余据文献[2];
WPB—板内玄武岩; MORB—洋中脊玄武岩; VAB—火山弧玄武岩

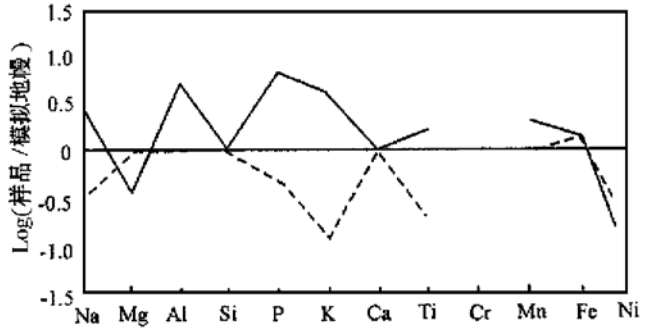


图 11 湘南宁远保安圩太阳山寄主玄武质岩石(实线)与橄榄岩包体(虚线)的常量元素分布型式

Fig. 11 The major elements distribution pattern of host basaltic rock and peridotite enclaves from Taiyangshan, Baoanxu, Ningyuan county, southern Hunan Province

形成玄武质熔体的过程中, 随 Zr 含量的增加, 其 Ni 的含量降低而 Yb、Nb 和 Sr 的含量增加。图 12 中的两条趋势线具有不同的几何关系: 在 Ni- Zr 图中的两趋势线相互平行且均为负斜率; 在 Nb- Zr 和 Yb- Zr 图中两趋势线均呈正斜率的小角度相交; 而在 Sr- Zr 图中, 因分离结晶趋势线呈水平状而与正斜率的部分熔融趋势线呈较大角度的相交。根据上

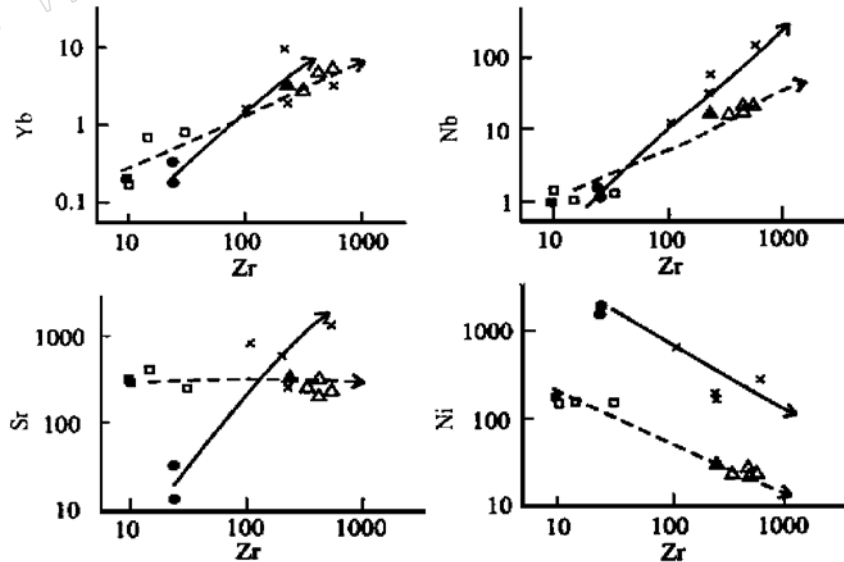


图 12 桂北—湘南中生代玄武质岩石及其深源包体的 Zr- Ni, Sr, Nb, Yb 含量变异图

Fig. 12 Variogram of Zr versus selected trace elements in Mesozoic basaltic rocks and their deep_source inclusions from northern Guangxi- southern Hunan

×—中生代玄武岩; ●—橄榄岩包体; △—片麻岩包体; □—辉长岩包体; ■, ▲据表 2; □, △据文献[2]

述微量元素的地球化学性质推测, 图中两条趋势线的几何关系取决于与 Zr 元素协变的另一元素的相容性。

图 12 中的分离结晶关系还可根据辉长岩和片麻岩的 Rb- Ba 变异与分离结晶固相矿物的矢量关系进一步证明(图 13), 该图中分离结晶趋势线与单斜辉石(Cpx)和斜长石(Pl)的矢量加和方向也是平行的。

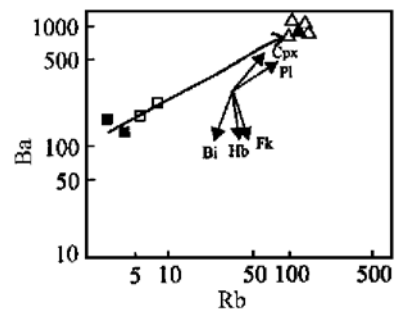


图 13 桂北—湘南中生代玄武质岩中辉长岩和片麻岩的 Ba- Rb 协变与矿物矢量关系

Fig. 13 The relationship between Ba- Rb covariance and mineral vector of the gabbro and gneiss in Mesozoic basaltic rocks from northern Guangxi- southern Hunan

Cpx—单斜辉石; Pl—斜长石; Bi—黑云母; Hb—角闪石; Fk—碱性长石; 小三角为片麻岩; 小方块为辉长岩; 实心符号据表 3; 空心符号据文献[2]

5 结论

桂北—湘南中生代玄武质岩石含有多种类型的深源包体, 但它们彼此之间的关系较复杂。其中, 橄榄岩包体与寄主玄武质岩石为部分熔融的关系, 两者具必然的成因联系; 根据变形辉长岩与片麻岩在常量元素化学成分上呈间断性, 在稀土元素分布形式和微量元素比值蛛网曲线上具互补关系, 变形辉长岩具 Eu 的正异常, 其构造背景为岛弧等特征, 推测变形辉长岩为底侵作用的产物^[15, 16], 深源包体中的辉长岩与片麻岩为元古代底侵岩浆演化的结果, 这一演化的原始岩浆可能是元古代华南地壳垂向增生于壳幔边界的玄武安山质岩浆。前者为分离结晶的堆积固相, 后者则为原始岩浆经辉长岩分离结晶后的残余液相, 因而两者除具明显的成分间断外还表现出变质变形的差异: 固相辉长岩在中、下地壳发生变形; 中酸性的残余液相固结后经变质结晶作用而形成片麻岩。

参考文献:

- [1] 朱勤文, 王方正, 路凤香, 等. 湘南中生代玄武岩成因研究及构造环境分析[J]. 地球科学, 1997, 22(6): 584~588.
- [2] 王方正, 李红丽, 朱勤文, 等. 湖南火山岩深源包体组合及岩石圈岩石学模型[J]. 地质科技情报, 1997, 16(3), 1~7.
- [3] 黄国祥. 新田宁远一带玄武质火山岩的地球化学研究[J]. 湖南地质, 1989, 8(3): 33~38.
- [4] 王京彬. 道县虎子岩及包体的地球化学特征和构造意义[J]. 湖南地质, 1991, 11(1): 53~58.
- [5] LeMaitre R W. 火成岩分类及术语词典[M]. 王碧香, 沈昆, 毕立君译. 1991, 北京: 地质出版社, 44.
- [6] Irvine I N. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks[J]. Can. J. Earth Sci., 1971, 8, 532~548.
- [7] Miyashiro A. Nature of alkalic volcanoic rock series[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1978, 66: 91~104.
- [8] 池际尚. 中国东部新生代玄武质岩石及上地幔研究(附金伯利岩)[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998, 147~198.
- [9] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies[A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry[C]. Elsevier, New York, 1984, 63~144.
- [10] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992, 105~115.
- [11] Mc Donough W F and Sun S S. Isotopic and geochemical systematics in tertiary- recent basalts from southeastern Australia lithosphere[J]. Geochim. Cosmochim. Acta., 1985, 49: 2051~2067.

- [12] Pearce J A and Cann J R. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and V [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1971, 12: 339~ 349.
- [13] Roder P L and Emslie R F. Olivine- Liquid equilibrium [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1970, 39: 275~ 289.
- [14] Ringwood A E. Composition and petrology of the earth' s mantle [M]. Mc Hraw - Hill, New York, 1975.
- [15] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根- 柱构造 ——大陆动力学的钥匙 [M]. 北京: 地质出版社, 1996, 15.
- [16] 金振民, 高山. 底侵作用及其壳- 幔演化动力学 [J]. 地质科技情报, 1996, 15(2): 1~ 12.

Geochemistry and Petrogenesis of Mesozoic Basaltic Rocks and Their Deep_Source Enclaves in Northern Guangxi- Southern Hunan

LI Chang_nian, ZHONG Cheng_sheng, WANG Fang_zheng, LIU Chun_fang
(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: In the Mesozoic basaltic rocks from northern Guangxi-southern Hunan, there are abundant deep_source enclaves, which can be divided into peridotite, gabbro and intermediate_acid gneiss. Based on petrology and geochemistry of these rocks, the present paper indicates that Mesozoic basaltic rocks are products of partial melting of peridotite instead of being related to gabbro and intermediate_acid gneiss which are merely accidental enclaves. It is noteworthy that gabbro and gneiss in these deep_source enclaves show genetic connection of fractional crystallization. They are evolutionary products of underplated basaltic magma, which was intruded between the crust and the mantle in Proterozoic. The gabbro is of the cumulus phase of underplated magma, whereas the gneiss is the product of residual magma after the fractional crystallization of underplated magma.

Key words: northern Guangxi- southern Hunan; basaltic rocks; deep_source enclave; geochemistry