

一个消减带之上的大陆岩石圈地幔残片 ——安徽饶拔寨超镁铁岩的地球化学特征*

张 旗^① 马宝林^② 刘若新^② 赵大升^① 樊祺诚^②
李 齐^① 李秀云^①

(^①中国科学院地质研究所, 北京 100029; ^②国家地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要 安徽饶拔寨岩体主要由方辉橄榄岩组成. 该岩体有两个特点: (1) 糜棱岩化作用强烈, (2) 有广泛的地幔交代作用证据. 微量元素、REE 和 Sr, Nd 同位素资料表明, 饶拔寨岩体更接近大陆岩石圈地幔而不是大洋岩石圈地幔的残片. 计算的与堆晶岩平衡的熔体成分具岛弧玄武岩的特征. 地幔流体的来源可能与早先存在的消减作用有关. 饶拔寨岩体可能是位于消减带之上的大陆岩石圈地幔楔碎片.

关键词 安徽 饶拔寨 大陆岩石圈地幔 地球化学 地幔交代作用

安徽霍山县饶拔寨岩体位于北大别地块, 是大别地区出露的最大的地幔橄榄岩. 对于包括饶拔寨岩体在内的北大别镁铁-超镁铁岩带, 存在 3 种不同认识: 一种认为它们是蛇绿混杂岩带^[1, 2]; 另一种认为北大别没有蛇绿岩, 而是古老岛弧的根带^[3]; 第三种意见认为它们是太古宙绿岩带的一部分^[4].

1 地质概貌

饶拔寨岩体位于霍山县佛子岭水库南, 岩体长 2.8 km, 宽约 0.2~0.9 km, 呈岩片产出, 北西走向, 倾向北东. 围岩为大别群斜长角闪岩和片麻岩, 岩体边部围岩强烈糜棱岩化, 宽可达几十米. 岩体以方辉橄榄岩为主, 次为纯橄岩和角闪橄榄岩. 岩体内包有大小不一的辉石岩、角闪石岩、辉长岩和石榴石辉石岩团块, 呈不规则形状或脉状产出, 延伸方向与主岩体走向大致一致(图 1). 此外, 还有后期花岗岩和闪长岩脉垂直岩体走向贯入, 显然与超镁铁岩成因无关.

2 岩相学和矿物学

饶拔寨方辉橄榄岩具等粒变晶结构、残斑变晶结构和糜棱结构. 斜方辉石呈残变斑晶, 有波状消光和扭折带, 是高温塑性变形的产物. 橄榄石中至细粒, 大多经历了重结晶作用, 看不到扭折带, 细粒的橄榄石大多具三连点结构. 饶拔寨岩体有两个显著的特点: 一为广泛发育

1994-04-08 收稿, 1994-08-12 收修改稿

* 国家自然科学基金和国家“八五”攻关重点资助项目

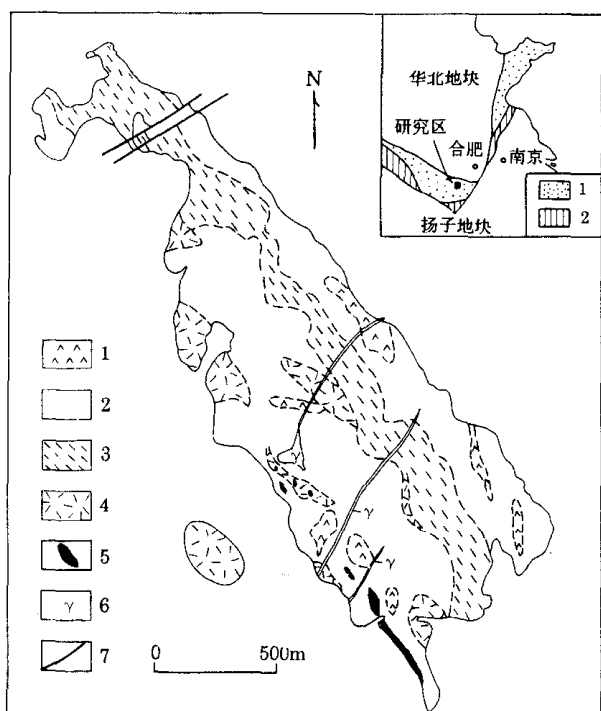


图 1 饶拔寨岩体地质图(据文献[5]简化)

1——纯橄岩, 2——方辉橄榄岩和二辉橄榄岩, 3——糜棱岩化橄榄岩, 4——角闪橄榄岩, 5——石榴石辉石岩, 6——花岗岩, 7——断层。右上角图中: 1——元古-太古宙岩石, 2——晚元古代岩石

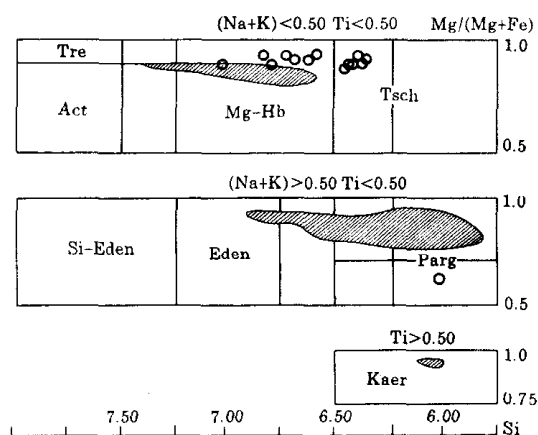


图 2 角闪石分类图

圆圈为饶拔寨岩体的角闪石, 斜线圈定的为红海 Zabargad 岛的角闪石^[7]。Tre——透闪石, Act——阳起石, Mg-Hb——镁质角闪石, Tsch——契尔马克角闪石, Si-Eden——硅质浅闪石, Eden——浅闪石, Parg——韭闪石, Kaer——钛角闪石^[8]

的糜棱岩化现象, 另一为普遍的地幔交代现象。糜棱岩化的纯橄岩、方辉橄榄岩、角闪方辉橄榄岩中, 橄榄石和斜方辉石明显拉长。角闪石大多为自形晶, 有的互成三连点结构, 平行橄榄石和斜方辉石长轴方向生长。部分角闪石呈变斑晶产出, 有明显的变形弯曲, 波状消光, 有的角闪石具亚颗粒化。部分橄榄石和角闪石细粒晶体沿具扭折带的斜方辉石变晶裂隙生长, 指示是在岩石圈地幔中重结晶的。角闪石主要是 Mg 质角闪石和契尔马克角闪石, 有少量韭闪石(图 2), 后者主要出现在石榴石辉石岩中, 为退变质阶段的产物。在图 2 中, 饶拔寨岩体角闪石的成分不同于 Zabargad 岛二辉橄榄岩中的角闪石^[6, 7], 表明其形成环境可能不同于 Zabargad 岛的角闪橄榄岩。

饶拔寨岩体的橄榄石、斜方辉石及尖晶石成分变化大。方辉橄榄岩和二辉橄榄岩的橄榄石和斜方辉石可分为两组, 一组的 F_o 和 E_n 较低 ($F_o=87.8 \sim 91.5$, $E_n=89.4 \sim 90.0$), 代表弱至中等亏损的地幔残留矿物; 另一组 $F_o=93.1 \sim 93.5$, $E_n=93.4 \sim 93.6$, 为强烈亏损的产物, 产于含角闪石的纯橄岩中, 可能是前述地幔橄榄岩再次部分熔融形成的。尖晶石也有两类: 一类为绿色和褐色, 呈不规则形状产出, Cr' 在 $0.10 \sim 0.23$ 之间 [$Cr'=Cr/(Cr+Al)$], 是低程度部分熔融 (约 $<15\%$) 的产物; 另一类为黑色的粒状, 常沿矿物长轴方向呈长条状或串珠状分布, 富 Cr 和 Fe, 且成分变化大 ($Cr'=0.48 \sim 0.81$, $Mg'=0.21 \sim 0.62$), 是从部分熔融的熔体中再结晶形成的。上述情况说明, 饶拔寨岩体可能经历了不止一次的部分熔融事件, 并导致了地

表1 饶拔寨岩体主元素和微量元素分析

序号 ^{a)}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样品号	928-1	9222-1	9215-1	928-2	926-2	926-4	9212-1	9210-1	921-2
SiO ₂	41.69	40.49	34.98	42.51	48.84	47.2	46.78	38.3	47.55
TiO ₂	0.04	0.02	0.01	0.06	0.3	0.18	0.92	3.34	0.71
Al ₂ O ₃	0.39	0.61	0.24	0.55	7.04	6.88	3.25	16.04	14.03
Fe ₂ O ₃	2.75	5.37	5.75	2.11	1.96	2.01	5.76	7.2	3.88
FeO	3.9	1.98	1.56	4.83	4.69	5.24	4.15	11.03	6.23
MnO	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.27	0.2
MgO	47.46	39.35	40.12	43.82	26.85	28.98	18.24	6.32	9.5
CaO	0.27	0.6	0.05	0.8	6.2	4.91	17.52	15.15	9.63
Na ₂ O	0	0	0.3	0	0.6	0.36	0.25	0.34	2.74
K ₂ O	0.014	0	0.016	0.02	0.15	0.13	0.02	0.12	1.48
P ₂ O ₅	0.024	0.03	0.019	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.24
H ₂ O ⁺	2.65	8.97	13.44	3.73	1.91	2.57	0.98	0.88	2.56
H ₂ O ⁻	0.62	0.26	1.13	0.51	0.12	0.08	0.27	0.12	0.27
烧失量	0.2	2.41	2.32	0.97	0.68	0.88	1.16	0.53	0.54
La	0.217	0.161	0.094	1.51	1.5	1.67	1.12	17.1	17.9
Ce	0.768	1.24	0.438	1.38	3.88	3.17	5.14	38.5	41.4
Nd	0.711	1.2	0.421	0.487	2.94	1.91	5.32	23.8	22.3
Sm	0.217	0.256	0.133	0.105	0.827	0.637	1.7	5.99	4.84
Eu	0.034	0.038	0.05	0.052	0.325	0.267	0.732	2.13	1.89
Gd	0.275	0.249	0.17	0.011	1.22	0.934	1.99	6.6	5.42
Tb	0.048	0.065	0.029	0.023	0.267	0.177	0.325	1.06	0.907
Ho	0.061	0.1	0.036	0.035	0.395	0.273	0.369	1.26	1.17
Tm	0.021	0.032	0.012	0.017	0.182	0.126	0.118	0.432	0.449
Yb	0.105	0.141	0.068	0.114	1.11	0.85	0.626	2.38	2.64
Lu	0.013	0.017	0.011	0.019	0.165	0.139	0.08	0.305	0.342
Sc	4.05	2.87	3.46	3.16	29.2	22	52.6	21.4	49.6
Co	137	63	141	66.4	62.1	78.8	83.7	44	43
Hf	0.115	0.117	0.05	0.115	0.602	0.294	1.08	1.81	2.82
Ta	0.026	0.065 5	0.02	0.069	0.087	0.028	0.126	0.293	0.121
Th	0.029	0.062	0.044	0.067	0.391	0.041	0.056	0.267	0.693
U	0.062	0.135	0.016	0.163	0.401	0.311	0.477	0.369	0.549
V	13	27	14	25	209	133	286	381	352
Cr	3 096	2 844	5 000	2 780	2 450	2 700	1 470	23	345
Ni	2 310	2 160	2 863	2 350	1 320	1 310	449	21	109
Rb	2	0.64	1.1	1.6	4.8	2.8	1.2	4.6	31
Sr	27	6.1	12	18	121	69	224	235	727
Y	2.5	0.22	2.5	0.64	11.4	6.3	5.6	29	22
Zr	12	1.5	11	32	15.6	6.8	21.6	56	61
Nb	0.4	0.1	0.3	0.78	0.4	0.4	0.95	2.2	2
Ba	18.6	3.1	9.85	15	184	115	149	185	1 100

a)1——纯橄岩,2——方辉橄橄岩,3——蛇纹岩,4——角闪方辉橄橄岩,5和6——橄橄角闪岩,7——辉石岩,8——石榴石辉石岩,9——辉长岩

幔岩成分的明显不均一性。

3 地球化学

饶拔寨岩体的主元素和微量元素分析列在表 1, Nd 和 Sr 同位素分析列在表 2. 主元素是用 XRF 方法(中国科学院地质研究所), REE 和 Sc, Cr, Ta, Th, Hf, U 是用 INAA 方法(中国科学院高能物理研究所), 其它微量元素是 ICP-MS 的数据(中国地质科学院测试研究所); Nd, Sr 同位素是采用 VG-354 热电离质谱计分析的(中国科学院地质研究所).

表 2 饶拔寨岩体 Nd-Sr 同位素分析^{a)}

样品号 ^{b)}	9210-1	926-4	9222-3
Sm/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	7.242	0.531	1.887
Nd/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	50.484	1.537	3.441
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.086 8	0.208 8	0.331 7
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512 273	0.512 702	0.512 476
$\pm 2\sigma$	0.000 007	0.000 012	0.000 019
T_{DM} (Ma)	1055	0	0
$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	-7.1	1.2	-3.2
Rb/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	6.179	3.246	17.876
Sr/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	216.12	73.77	172.74
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.082 6	0.127 1	0.298 9
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.708 0	0.706 8	0.710 4
$\pm 2\sigma$	0.000 050	0.000 046	0.000 040

a) 分析者: 中国科学院地质研究所乔广升, 张任佑

b) 9210-1——石榴石辉石岩, 926-4——角闪橄榄岩, 9222-3——角闪辉石岩. 计算参数: $I_{\text{Nd}}(0)=0.51264$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}=0.1967$, $I_{\text{Sr}}(0)=0.7047$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}}=0.0847$

3.1 方辉橄榄岩

从表 1 中看出, 方辉橄榄岩贫 Al, Ca, Sc, V 和 Sr, Mg' 值较高(0.91 ~ 0.93), REE 总量低, REE 型式有两种: 一种为 LREE 富集型, 另一种为 MREE 富集型(图 3). 在标准化为初始地幔的微量元素分布图中(图 4), 饶拔寨岩体亏损右端的大部分元素, 指示为亏损的残留地幔特征, 而 Rb, Ba, U, P 和 Zr 丰度较高. 我们知道, Rb, Ba 和 U 等是强不相容元素, 在陆壳中丰度高, 也许指示与陆壳物质的加入有关.

3.2 堆晶超镁铁岩

3.2.1 角闪橄榄岩和橄榄角闪岩

与方辉橄榄岩相比, 上述岩石除了贫 Mg 和 Ni 而外($\text{Mg}'=0.88$), 几乎富所有主元素和微量元素(图 4), 这类岩石的 REE 总量为球粒陨石的 3~6 倍, 为 REE 平坦的型式($\text{La}_N/\text{Yb}_N \approx 1$). 橄榄石的 REE 含量很低, 它的 Ce 和 Yb 的分配系数(D)分别为 0.007 和 0.014, 比角闪石($D_{\text{Ce}}=0.20$, $D_{\text{Yb}}=0.49^{[9]}$)低得多. 因而, 这种含角闪石的橄榄岩的 REE 主要受角闪

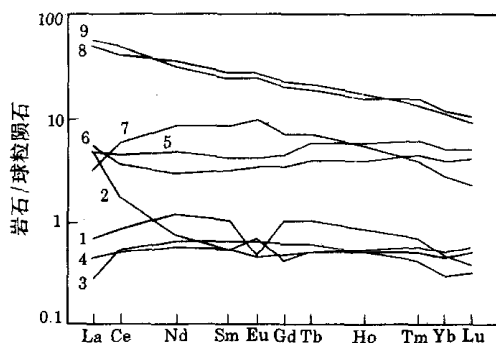


图 3 饶拔寨岩体 REE 图

图中 1~9 同表 1 序号

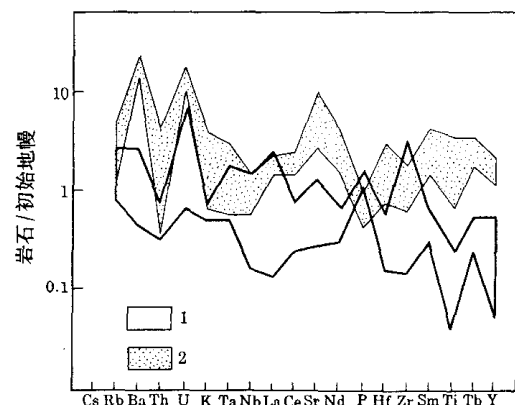


图 4 标准化为初始地幔的饶拔寨岩体微量元素分布图

1——方辉橄榄岩, 2——角闪橄榄岩和橄榄角闪岩

石控制。按瑞利分离模型计算,与橄榄角闪岩(926-2, 926-4)平衡的熔体的REE型式为MREE亏损的,并且LREE相对HREE富集($Ce_N/Yb_N=1.7 \sim 2.3$)。可能是亏损LREE的熔体与富集LREE的流体发生混合作用造成的。按同样方法计算的与橄榄角闪岩平衡的熔体的Rb, Sr和Ba含量较高,分别在 $10 \sim 18 \mu\text{g/g}$, $160 \sim 290 \mu\text{g/g}$ 和 $290 \sim 480 \mu\text{g/g}$ 之间,大体上相当于钙碱性玄武岩的范围,表明LREE富集的流体可能与消减带带入的组分有关。

3.2.2 辉石岩

辉石岩由于缺少橄榄石,因而贫Mg, Ni和Cr,而富不相容元素,尤其富与辉石相容的过渡元素Ti, V和Sc等(与方辉橄榄岩比较)。其REE分布为MREE富集型,即呈钟形的分布。这种REE型式在碱性玄武岩中的辉石巨晶中是常见的,如美国夏威夷、中国东部、美国第三纪玄武岩等^[10, 11]。经计算与辉石岩(9212-1)平衡的熔体也是LREE富集型的, Ce_N 在 $33 \sim 49$ 之间(分离结晶程度假定为 $20\% \sim 60\%$)($Ce_N/Yb_N=3.3 \sim 3.4$),类似LREE富集的拉斑玄武岩或钙碱性玄武岩。

3.3 辉长岩和石榴石辉石岩

与蛇绿岩中的辉长岩相比^[12],本区辉长岩富LILE(K, Rb, Ba, Sr, La和Th),贫Nb和Ta,为LREE富集型的(图3),无明显的Eu异常。这种地球化学特征的辉长岩可能产于岛弧或活动陆缘环境,而与蛇绿岩无关^[12]。

一件石榴石辉石岩贫Si, Na和K,富Ti, Fe, Al和Ca, Mg' 只有0.40(表2)。该岩体极端贫Si($SiO_2=38.3\%$)和极端富Ti($TiO_2=3.34\%$),显然非正常的火成岩,而是经历了变质分异作用的岩石。其REE分布与上述辉长岩相近(图3),可能是辉长质岩石经变质分异产生的。

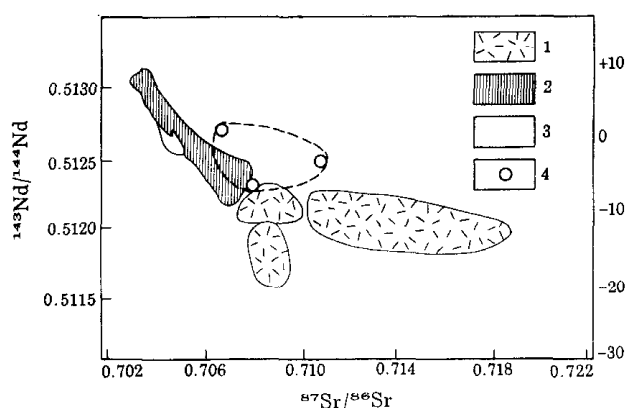
4 讨论

4.1 饶拨寨岩体的形成环境

蛇绿岩的地幔以方辉橄榄岩为主,很少见到有角闪橄榄岩出现。在大西洋St Paul岩礁和红海的Zabargad岛上有角闪橄榄岩产出,但研究表明,前者的角闪石与来自地幔热点的碱性玄武岩有关,而后者则与大陆裂谷的形成有关^[6, 7, 10]。

饶拨寨岩体的方辉橄榄岩为LREE和MREE富集型的,这种REE分布比较接近大陆地幔而不太像大洋地幔^[10]。饶拨寨辉长岩是LREE富集型的,而与蛇绿岩有关的超镁铁堆晶岩和辉长岩大多是LREE亏损的。此外,饶拨寨辉长岩还富K($K_2O=1.48\%$), Rb, Ba和Sr, 贫Nb和Ta(表1), $Th/Ta=5.7$, $Ti/V=6$, 系产于岛弧或活动陆缘环境。饶拨寨岩体中的超镁铁堆晶岩是REE平坦型或MREE富集的,计算的与其平衡的熔体为LREE富集型的,也不具有蛇绿岩玄武岩的特征。

饶拨寨岩体的 ϵNd 低, ϵSr 高且变化大, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 在 $0.7068 \sim 0.7104$ 之间, ϵNd 在 $+1.2 \sim -7.1$ 之间(表2和图5),表明不是来自亏损的地幔源区。9210号样品的亏损地幔模式年龄为 1055 Ma ,计算的1 Ga时的($^{87}Sr/^{86}Sr$)_i在 $0.7050 \sim 0.7068$ 之间(取 $\lambda=1.42 \times 10^{-11}/a$), $\epsilon Nd(t)$ 则变化很大,在 $+6.9 \sim -20.4$ 之间(9210号样品的 $\epsilon Nd(t)=+6.9$,是由于 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 比值低的缘故,该样品LREE强烈富集,不可能来自强烈亏损的地幔)。上述资料表明,不论采用现代值或假定的1 Ga时的初始值,饶拨寨岩体均不是来自亏损地幔。 ϵSr 高,则与微量元素得出

图 5 $\epsilon\text{Nd}-\epsilon\text{Sr}$ 演化图

1——太古宙火山岩^[13], 2——元古宙火山岩^[13], 3——显生宙火山岩^[13], 4——饶拨寨岩体堆晶超镁铁岩和石榴石辉石岩, 虚线为饶拨寨岩体的 Sr-Nd 分布范围. 与元古宙及显生宙火山岩相比, 饶拨寨岩体的 $\epsilon\text{Sr}/\epsilon\text{Sr}$ 比值较高的有消减带物质加入的证据吻合.

的有消减带物质加入的证据吻合.

4.2 饶拨寨岩体的形成和侵位时代问题

李曙光等报道的 244 Ma 的内部等时线年龄, 被解释为华北地块与扬子地块碰撞的时代^[14], 但这种解释缺少充分的地质依据. 目前, 关于扬子与华北板块对接的时代存在两种意见: 一种意见如上所述; 另一种意见认为华北与扬子板块的碰撞应在泥盆纪之前. 笔者认为后一种见解是有根据的. 一个有趣的事实是, 200 ~ 240 Ma 的年龄在大别地区广泛出现, 而在秦岭很少见到, 后者的相应年龄主要集中在 340 ~ 448 Ma 之间^[15]. 笔者认为, 244 Ma 的年龄可能与板块的俯冲事件无关, 因为迄今为止, 在秦岭地区获得的地质资料表明, 俯冲事件至少要早于泥盆纪^[15]. 该年龄似乎可解释为饶拨寨岩体侵位到地壳中的时代或大别地块抬升的冷却年龄. 我们最近的研究表明, 大别-苏鲁地区的镁铁-超镁铁岩的 Sm-Nd 模式年龄大多集中在 1.1 ~ 1.8 Ga 之间, 也许代表了镁铁-超镁铁岩的形成时代^[16] 1).

4.3 饶拨寨岩体的形成模式

饶拨寨岩体可能是元古宙时期形成的, 早先可能为大陆岩石圈地幔的一部分. 随后发生了一次俯冲事件 (其时代不详, 据秦岭地区的资料应在晚元古代或早古生代^[16]), 由消减带带人的水使上覆地幔楔状岩石圈地幔发生再次部分熔融, 并造成了广泛的地幔交代作用, 饶拨寨岩体中大量角闪石的浸染和堆晶岩的形成可能均与这次俯冲事件有关. 岩体中发生的广泛的糜棱岩化指示了岩石圈地幔中的变形作用, 可能也是在这个阶段或者更早或更晚一些时候形成的. 饶拨寨岩体中石榴石辉石岩 244 Ma 的年龄可能代表了饶拨寨岩体挤入大别地块的时代, 大别地区广泛存在的 200 ~ 240 Ma 的年龄, 则可能与大别地块抬升的事件有关.

致谢 岩浆定量计算工作得到中国地质大学 (武汉) 李昌年教授的指教, 徐贵忠副研究员提供了未公开发表的资料, 谨此一并致谢.

1) 张 旗. 山东日照县胡家岭石榴石辉石岩同位素年龄及华北和扬子板块对接时代的讨论. 岩石学报 (待发表)

参 考 文 献

- 1 徐树桐, 董树文. 大别山东段(安徽)大别杂岩中的断层岩和推覆构造. 科学通报, 1984, 29(4): 298~301
- 2 徐贵忠. 安徽大别山蛇绿岩特征及其形成的大地构造环境. 长春地质学院院报, 1989, 19: 165~174
- 3 Zhai M, Cong B, Liu R. Petrol-tectonic units in coesite-bearing metamorphic terrain in Dabie Mountains, Central China and their geotectonic implication. TERRA abstract Fourth Inter Ecl Conf Italy Cosenza, 1993
- 4 王学孟. 关于大别山群绿岩带的讨论. 中国地质, 1989, (5): 21~22.
- 5 杨锡庸. 安徽大别地区一个超镁铁质冷侵人体——对霍山县饶拔寨岩体的再认识. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊. 1983, 4(4): 81~99
- 6 Dupuy C, Mevel C, Bodinier J-L *et al.* Zabargad peridotite: Evidence for multistage metasomatism during Red Sea rifting. *Geology*, 1991, 19: 722~725
- 7 Piccardo G B, Messiga B, Vannacci R. The Zabargad peridotite-pyroxenite association: petrological constraints on its evolution. *Tectonophys*, 1988, 150: 135~162
- 8 Leake B E. Nomenclature of amphiboles. *Am Mineral*, 1978, 63: 1 023~1 052
- 9 李昌年. 火山岩微量元素岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992
- 10 Frey F A. 上地幔岩石中的稀土元素丰度. 见: P. 亨德森主编, 田 丰译. 稀土元素地球化学. 北京: 地质出版社, 1984. 91~120
- 11 鄂莫岚, 赵大升. 中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体. 北京: 科学出版社, 1987
- 12 张 旗, 张魁武, 李达周. 横断山区镁铁-超镁铁岩. 北京: 科学出版社, 1992
- 13 Menzies M A, Kyle P R. Continental volcanism: a crust-mantle probe. In: Menzies M A ed. *Continental Mantle*. Oxford: Clarendon Press, 1990. 157~184
- 14 李曙光, Hart S R, 郑双根等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据. 中国科学, B 辑, 1989, (3): 312~319
- 15 张 旗. 中国古特提斯蛇绿岩在哪里. 见: 亚洲的增生. 北京: 地震出版社, 1993. 21~23
- 16 张宗清, 刘教一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1993