

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

大别山北坡尖晶石橄榄岩中的高温石榴辉石岩包体： 兼论上地幔部分熔融

游振东 钟增球 索书田 周汉文

中国地质大学, 武汉, 430074

内容提要 出露于饶拔寨一带的含尖晶石橄榄岩体是大别山区最大的一个上地幔残片, 固态侵位于北大别深成片麻岩中, 呈无根侵入体的形式产出。岩体内的石榴辉石岩和榴辉岩包体, 具高温成因的特点。属于上地幔部分熔融的产物, 在 PI-CIPW 值对 Al_2O_3 图解上落于拉斑玄武岩区; 榴辉岩、石榴辉石岩和含尖晶石橄榄岩的 REE 配分形式相似, 均属平坦型, 只是尖晶石橄榄岩的 ΣREE 较低。在 Ni-Co-Sc 三组分图解上, 石榴辉石岩投绘于深位玄武岩熔体的趋势线附近, 而尖晶石橄榄岩的投点则接近超镁铁质残余的趋势, 清楚揭示出地幔部分熔融的迹象。尖晶石的 $Cr^{2+} = 12 \sim 21$, 而共生橄榄石 $Fo = 92 \sim 93$, 说明部分熔融程度不高, 估计约 15%。尖晶石贫 TiO_2 暗示熔融过程氧逸度低。饶拔寨含尖晶石橄榄岩的出现表明: 伴随超高压岩石单元的折返和隆升, 会有大陆地幔残片被携带上来。软流圈的上涌或板片的断离使侵出的岩石圈板片得以维持较高的温度, 这也就是石榴辉石岩早期深位退变质为麻粒岩相的原因, 是后续的进一步抬升, 才出现以韭角闪石+斜长石组合为特征的高角闪岩相的退变质作用。

关键词 尖晶石橄榄岩 地幔部分熔融 高温型榴辉岩 深位退变质

近年来, 大别苏鲁超高压变质带中超镁铁岩的成因问题已得到广泛关注 (Bor-ming Jahn, 1998; Zhang et al., 1994, 1998; Brueckner et al., 2000), 一般认为由于超高压变质作用的影响, 超镁铁岩多半是石榴橄榄岩, 如岳西碧溪岭 (程裕淇等, 2002), 东海许沟、毛北、芝麻坊等 (Yang et al., 2000), 少见尖晶石橄榄岩的报道。饶拔寨尖晶石橄榄岩应算是大别苏鲁带内仅存的大型大陆地幔残片。

在大别山北坡饶拔寨、黄尾河一带的尖晶石橄榄岩中均发现高温榴辉岩和石榴辉石岩包体 (刘贻灿等, 2001), 这是大别山北坡存在幔源榴辉岩的直接证据。20 世纪 70 年代进行的铬矿会战, 对橄榄岩体进行过详细的工作, 投入大量的钻探、槽探工程。可惜均因 Cr_2O_3 含量太低而放弃。1983 年杨锡庸曾论述该岩体具冷侵位的特点; 后来, 李曙光等 (1989) 用 Sm-Nd 法测定岩体中榴辉岩内部等时线变质年龄为 244 Ma; 张旗等 (1995) 从地球化学的角度, 论证了岩体为一个消减带之上的大陆岩石圈的地幔残片。这些工作无疑对了解大别地区这一最大的地幔橄榄岩体有着重要的价值; 同时也存在不少争议 (匡少平等, 1999), 争议的焦点在于这些橄榄岩是代表

洋壳, 还是加入俯冲带的大陆地幔残片。

笔者近年来在执行国家重点基础研究发展规划 (973) 项目中, 对该岩体进行了重点考察, 研究了其中的石榴辉石岩包体, 并论述了他们与寄主岩之间的成因联系 (游振东等, 2000)。本文旨在原有研究的基础上, 针对这些岩体中某些特征性矿物, 特别是尖晶石的化学特征, 对该岩体所蕴涵的地质意义及该区上地幔的部分熔融, 提出初步看法。

1 含尖晶石橄榄岩

饶拔寨橄榄岩体位于磨子潭-晓天断裂以南, 霍山县的佛子岭水库南面, 呈一北西走向、北东倾向的无根侵入体 (图 1), 地表出露长 2.8 km, 宽 0.2~1.0 km。岩体侵位于含石榴子石的长英质混合片麻岩中, 偶见斜长角闪岩的条片。

尖晶石橄榄岩是石榴辉石岩的寄主岩, 多已强烈蛇纹石化, 大约 25%~80% (体积) 的岩石已被蛇纹石所替代。所以岩石呈灰色致密块状, 偶见褐色斜方辉石的残晶。按照矿物含量橄榄岩可分为: 含尖晶石方辉橄榄岩和二辉橄榄岩两类。据代表性样品的岩相学观察和电子探针分析结果, 只有 5%~40%

注: 本文为国家重点基础研究发展项目 (编号 G1999075506) 资助的成果。

收稿日期: 2003-06-24; 改回日期: 2003-07-23; 责任编辑: 周健。

作者简介: 游振东, 男, 1928 年生。教授, 主要从事变质地质学研究。通讯地址, 430074, 武汉喻家山, 中国地质大学地学院; 电话: 010-82322553; Email: zdyou@263.net。

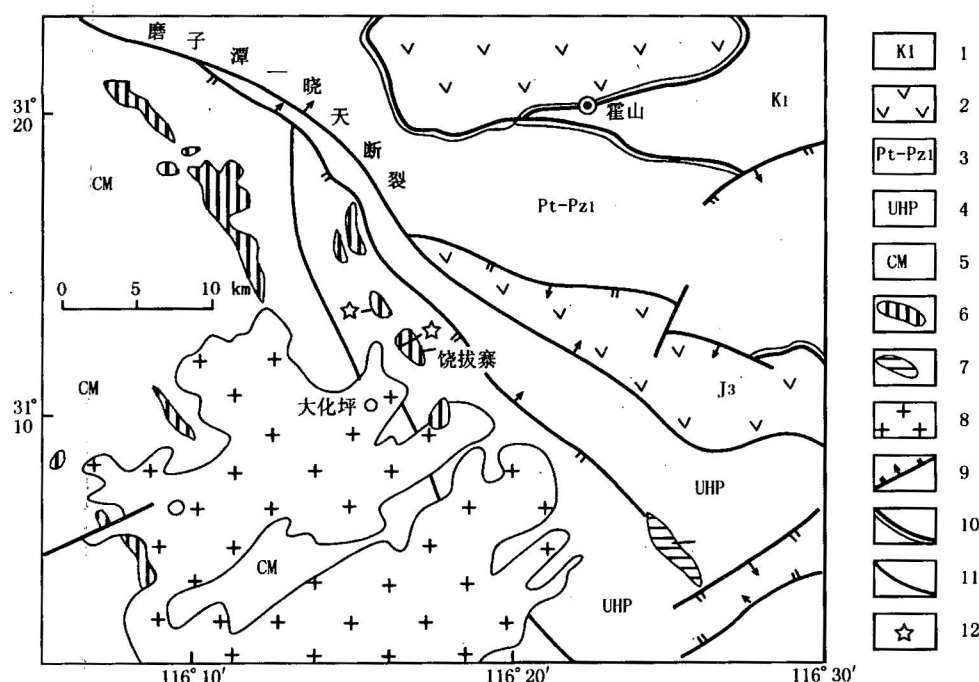


图 1 饶拔寨超镁铁岩带简图

Fig. 1 Sketch map of Raobazhai ultramafic belt

- 1—白垩纪火山岩; 2—侏罗纪火山岩; 3—佛子岭复理石; 4—含榴片麻岩; 5—变质核杂岩; 6—超镁铁岩; 7—镁铁质岩;
8—白马尖花岗岩; 9—正/逆断层; 10—不整合; 11—地质界线; 12—石榴辉石岩产地
- 1—Cretaceous volcanics; 2—Jurassic volcanics; 3—Fuziling flysch deposits; 4—garnet-bearing gneiss; 5—metamorphic core complex;
6—ultramafic rocks; 7—mafic rocks; 8—Yanshanian granite; 9—normal/reverse faults; 10—unconformity;
11—geological boundaries; 12—locality of garnet pyroxenite

(体积)的镁橄榄石残晶($\text{Fo}_{92\sim 93}$),斜方辉石(15%~

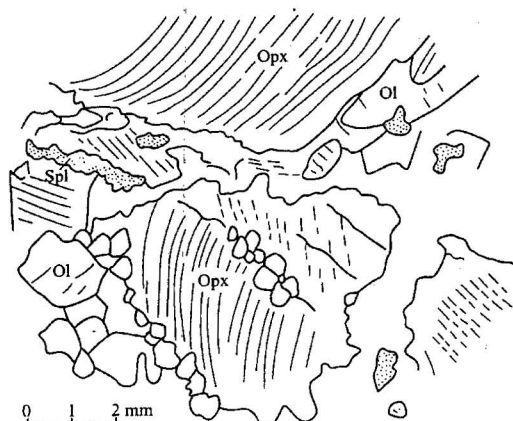


图 2 尖晶石方辉橄辉岩,斜方辉石(Opx)双晶弯曲和亚颗粒已重结晶,尖晶石(Spl)粒状集合体和细粒橄榄石(Ol)

Fig. 2 Spinel-bearing harzburgite, orthopyroxene (Opx) with curved cleavage and subgrains along crack, spinel aggregate (Spl) and fine grain olivine (Ol)

40%体积)是富镁的, $\text{En} = 92.3 \sim 92.7$, 粒度较粗, 可达2~3mm, 常见解理弯曲和亚颗粒等塑性变形的迹象(图2); 尖晶石二辉橄辉岩中单斜辉石(<10%体积)几乎均已纤闪石化。有时, 沿着岩体裂隙充填有透闪石或阳起石石棉脉, 是低温热液交代的产物。

2 尖晶石的矿物化学

在靠近斜方辉石斑晶的边沿, 在基质中, 可以发现2%~3%的尖晶石, 褐至褐绿色, 粒度0.1~0.5 mm, 常呈集合体的形式出现(图2)。其矿物化学成分如表1所示。从表中看出, 尖晶石应属镁铝尖晶石类(Pleonaste)。其中 $\text{MgO} = 14.34\% \sim 17.19\%$, $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 11.8\% \sim 18.90\%$, $\text{Mg}^\# = 57.7 \sim 71.7$; $\text{Cr}^\# = 12.20 \sim 21.65$, 为含Cr的镁铝尖晶石。在尖晶石的 $100 \times \text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 对 $100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 图解上, 投入阿尔卑斯区的阿尔卑斯型橄榄岩区的附近(图3)。但尖晶石富Al而 $\text{Cr}^\#$ 较低, 而与之共生的

橄榄石含镁量却高达 $Fo=92\sim93$, 此种情况不服从橄榄岩熔体贫化的一般趋势 (McDonough et al., 1998), 即不足以说明属于洋壳, 归入大陆上地幔残片, 较为合理。此类上地幔部分熔融程度不高, 这一估计, 与野外所见的石榴辉石岩在橄榄岩中的含量是一致的。另外, 尖晶石具很低的 TiO_2 含量, 说明在结晶时体系具低的氧逸度。

表 1 尖晶石的矿物化学成分 (%)

Table 1 Chemical composition (%) of the pleonast spinel

样号	R835a-1	R835a-2	R835a-3	R835a-4	R833-1	R833-2
SiO ₂	0.21	0.40	0.32	0.76	0.38	0.39
TiO ₂	0.19	0.09	0.00	0.12	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	56.89	56.57	56.17	54.50	45.81	54.94
Cr ₂ O ₃	11.80	12.21	12.65	12.97	18.90	12.12
FeO	12.55	12.94	13.33	13.52	18.75	14.02
MnO	0.34	0.02	0.00	0.24	0.00	0.10
MgO	17.42	17.49	16.81	16.33	14.34	16.35
CaO	0.06	0.03	0.06	0.00	0.00	0.07
CoO	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00
NiO	0.63	0.79	0.36	0.82	0.44	0.45
K ₂ O	0.06	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
ZnO	0.41	0.52	0.41	0.00	0.16	0.44
Total	100.57	101.07	100.35	99.28	99.03	98.94

以 32(O) 为基础的阳离子数

Si	0.64	0.80	0.64	0.16	0.08	0.08
Ti	0.64	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	14.00	13.92	13.92	13.68	12.16	13.92
Cr	1.92	2.00	2.08	2.16	3.36	2.08
Fe	2.16	2.24	2.32	2.40	3.52	2.56
Mn	0.48	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00
Mg	5.36	5.44	5.28	5.20	4.80	5.20
Co	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
Ni	0.08	1.28	0.56	1.44	0.08	0.08
K	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
Zn	0.48	0.80	0.64	0.00		
Cr [#]	12.2	12.5	13.0	13.6	21.65	13.0
Mg [#]	71.3	70.8	71.7	68.4	57.7	67.0

注: $Cr^{\#} = 100 \times Cr / (Cr + Al)$; $Mg^{\#} = 100 \times Mg / (Mg + Fe^{2+})$ 。

利用中国地质科学院地质研究所 JEOL JSM5610LV 型扫描电镜, 对样品 R835a 中的一粒尖晶石作径向 28 个点的成分能谱扫描, 发现微弱的成分环带 (图 4a)。中心部分 Al_2O_3 略有增高而 MgO 、 Cr_2O_3 保持恒定, 边部 Al_2O_3 有所降低 (图 5)。图的左侧有 2 个点 Al_2O_3 急剧降低, 可能受少量单斜辉石包裹物的干扰。尖晶石中 Fe 可以部分替代 Mg, 凡是 $Mg:Fe^{2+} = 3\sim1$ 者属于镁铝尖晶石 (Pleonaste), 在本例中 $Mg:Fe = 1.36\sim2.54$, 应属镁铝尖晶石的成分范围。

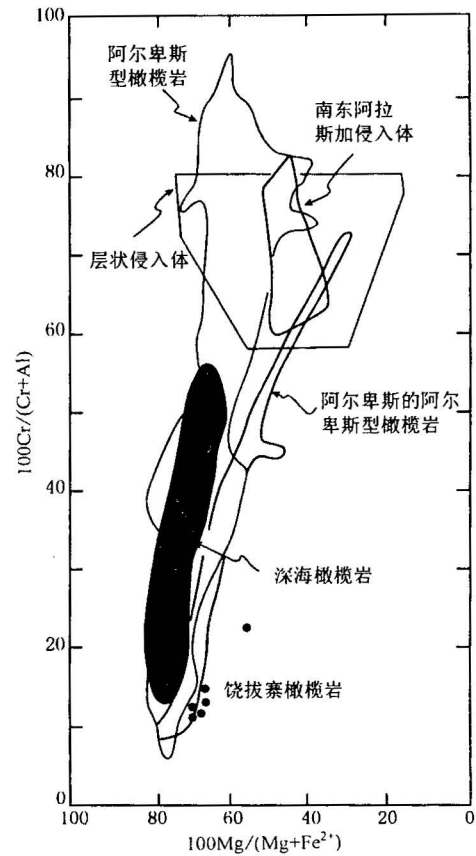


图 3 不同类型的橄榄岩中尖晶石的 $100 \times Cr / (Cr + Al)$ 对 $100 \times Mg / (Mg + Fe)$ 的成分区 (据 Dick et al., 1984)

Fig. 3 The $100 \times Cr / (Cr + Al)$ vs $100 \times Mg / (Mg + Fe)$ plots of spinel for fields of various types of peridotites (after Dick et al., 1984)

3 超镁铁岩与围岩的关系

总体看来, 饶拔寨超镁铁岩含有大量的尖晶石方辉橄榄岩和二辉橄榄岩, 是造山带橄榄岩体, 可认为是来自大陆岩石圈地幔。以往的大量勘探工程, 业已证明尖晶石橄榄岩属于无根岩体就位于深成片麻岩中, 其中大量出现长英质混合片麻岩夹有少量的角闪岩条片, 长英片麻岩以长石、石英为主要成分, 其暗色组分为石榴子石、黑云母和角闪石, 但含量较少。石榴子石为铁铝榴石 ($Prp\ 3.9$, $Alm\ 62.5$, $Grs\ 28.8$, $Sps\ 5.7$), 钙铝榴石的端元组分高达 28.8, 暗示其变质压力较高, 此类混合片麻岩极可能代表俯冲下地壳, 并曾经覆盖于大陆地幔之上。这些大陆地幔残片是在陆壳俯冲达 60 km 左右, 加入于俯冲板片中, 所以常为固态侵位, 与围岩片麻岩呈构造接触, 围岩无任何热接触变质现象。岩体内部具有鲜明

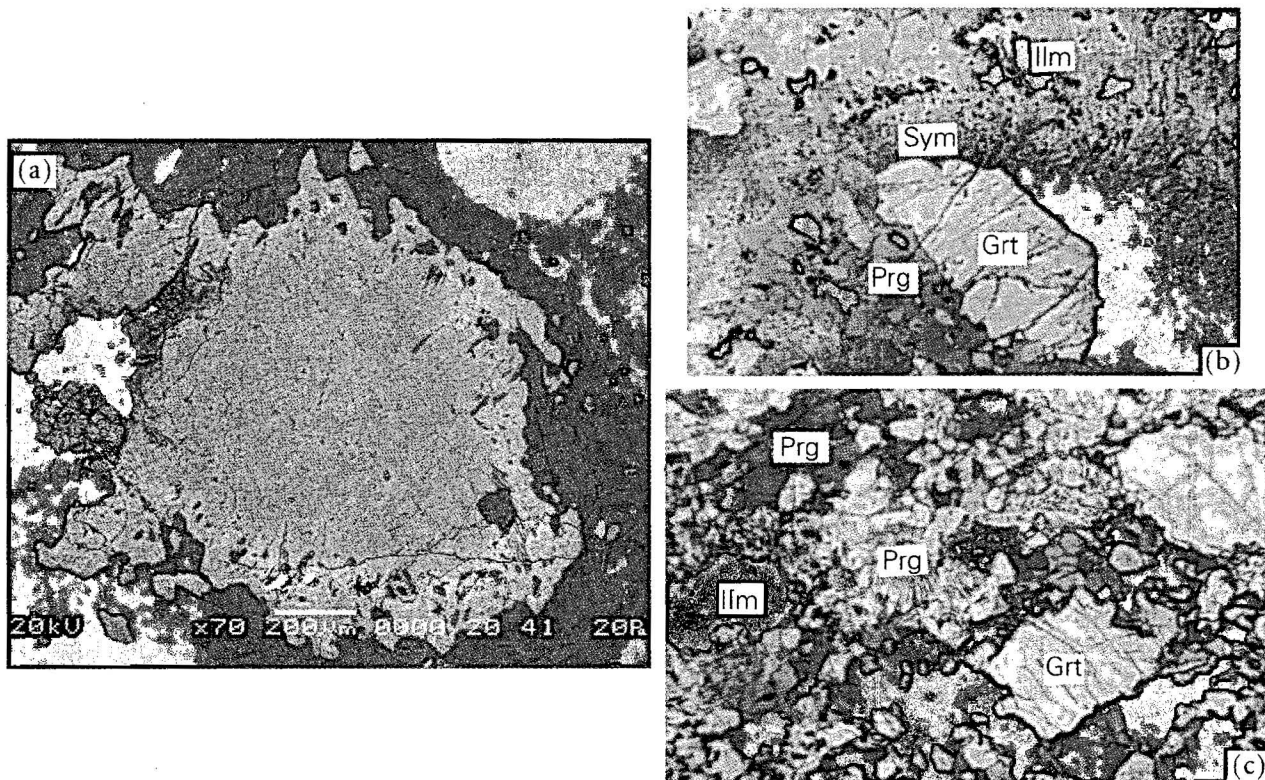


图 4 (a)—尖晶石方辉橄榄岩中的尖晶石晶粒具环带构造(背散电子图像);(b)—石榴辉石岩,石榴子石(Grt)被斜方辉石+钙质斜长石+磁铁矿后成合晶(Sym)所包绕,又被韭角闪石(Prg)+斜长石集合体所替代(PPL, FW=3.8mm);(c)—辉石麻粒岩,组成矿物:单斜辉石(Cpx)和斜长石(Pl),中心部分蠕虫状斜方辉石+斜长石后成合晶(Sym)组成冠状体围绕着石榴子石,褐色韭闪石(Prg)替代单斜辉石

Fig. 4 (a)—Compositional zoning in a pleonast grain from spinel harzburgite (BSI); (b)—garnet pyroxenite, garnet (Grt) surrounded by symplectites (Sym) of Opx+Ca-Pl+Ilm which again is surrounded by pargasite (Prg)+Pl aggregate (PPL, FW=3.8mm); (c)—pyroxene granulite relict garnets(Grt) are preserved in the matrix of brown pargasite (Prg)

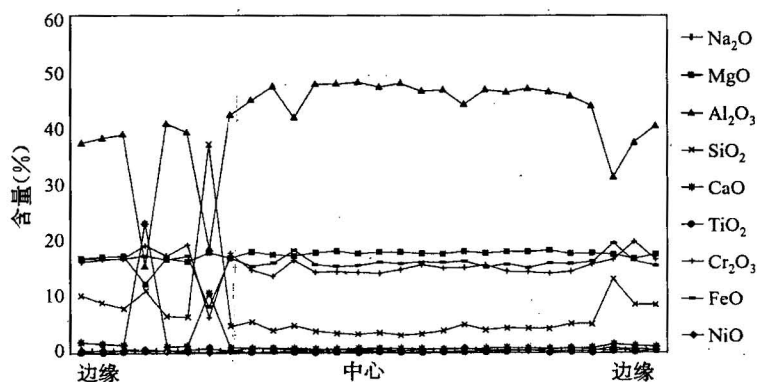


图 5 尖晶石方辉橄榄岩中镁铝尖晶石成分剖面

Fig. 5 The compositional profile across a grain of pleonast in the spinel harzburgite

的塑性变形组构,斜方辉石的双晶弯曲和其中沿裂隙的亚颗粒(图2)说明了这一点。岩体本身矿物化学成分变化不大,常量元素显示高镁、耐熔的特点。凡此说明饶拔寨橄榄岩体具有大陆岩石圈地幔残片的特征。

4 石榴辉石岩包体

出露于石羊河至饶拔寨林场一带的石榴辉石岩,多呈0~100cm的浑圆形团块零星包裹在含尖晶石橄榄岩中。肉眼观察呈黄绿至灰绿色调,石榴子石呈1~3mm暗红色的变斑晶嵌布于浅绿色细粒的基质之中。基质的主要组成是单斜辉石

及退变质所形成的各种冠状体。

石榴辉石岩的主要矿物组成是: 石榴子石 (Prp 25~35, Alm 14~45, Sps 0.9~1.1, Grs 18.0~34.6)、钠质普通辉石 (Jd_{10~25}) 及少量的钛铁矿。由于退变质作用, 发育了多种类型的冠状体。根据石榴子石周围的双层冠状体的发育, 可以识别出两个阶段的退变质作用, 第一阶段是麻粒岩相, Opx + An_{95~97} + Ilm-Mt 组合构成次变边围绕石榴子石晶粒, 说明从高压的榴辉岩相减压退变质至麻粒岩相 (图 4b), 有关的退变质反应是:



麻粒岩相变质作用的温度: $t = 845 \sim 900^\circ\text{C}$ $p = 0.95 \sim 1.12 \text{ GPa}$ (徐树桐等, 1999), 这一阶段的退变质属于典型的深位退变质作用。

第二阶段变质作用属于高角闪岩相。以褐色的韭角闪石 + 斜长石 (An 35~37) 的粒状集合体为代表, 常常切割早阶段生成的麻粒岩相的次变边。韭角闪石化学式中具有低的 Si 值, 说明从麻粒岩相到角闪岩相的再平衡温度还相当高。

笔者曾从岩石学的角度探索对比大别山超高压变质岩的退变质显微构造的成因 (游振东等, 2000), 把饶拔寨石榴辉石岩中, 上述石榴子石和单斜辉石

在 SiO₂ 过剩条件下生成斜方辉石和钙长石的反应, 作为不涉及水流体的固态变质反应的实例, 在大别山区尚属少见。此类反应的存在, 说明石榴辉石岩包体属于高温型的榴辉岩类。

辉石麻粒岩, 尖晶石橄榄岩中的另一种包体, 具灰色色调且有不大发育的面理。其中的石榴子石变晶是被蠕虫状斜方辉石和钙质斜长石所组成的后成合晶所部分替代, 甚至全部替代。此类麻粒岩实际是石榴辉石岩极端退变质的产物, 在进一步韭角闪石化中有时保留少量石榴子石残晶 (图 4c)。

无论是石榴辉石岩还是它的深位退变质的辉石麻粒岩, 都不含多硅白云母、绿帘石、蓝晶石等硅铝质矿物。这是大别山北坡与超镁铁质有关的石榴辉石岩不同于大别山超高压变质榴辉岩的一个重要标志。

5 变质作用条件

根据上述各类岩石的变质结构分析, 饶拔寨石榴辉石岩及其寄主岩尖晶石橄榄岩的变质作用演化可归纳于表 2。

借助于 Ellis & Green (1979) 提出的石榴子石-单斜辉石间铁镁交换平衡温度计, 可以求得石榴辉

石岩的平衡条件为: $K_D = 4.06 \sim 2.58$; $t = 847 \sim 973^\circ\text{C}$; $p = 1.5 \text{ GPa}$, 而且前人在大别山北坡黄尾河一带的榴辉岩中也求得平衡温度: $t = 885^\circ\text{C}$ (徐树桐等, 1999) 所以, 有理由认为大别山北坡与超镁铁岩有关的榴辉岩和石榴辉石岩在成因上均应归入 Coleman 等 (1965) 所提出的 A 型榴辉岩类, 即属于高温的榴辉岩类。

考虑到这些榴辉岩类的高温成因特点, 它们应是上地幔部分熔融的产物。以现有的岩石化学分析数据, 计算出它们的 CIPW 值。在 Irvine 等 (1971) 提出的判别玄武岩的岩石化学类型的 CIPW 值 PI 对 Al₂O₃ 的图解上, 石榴辉石岩落入拉斑玄武岩区 (图 6)。石榴辉石岩和含尖晶石橄榄岩的 REE 配分型式相似, 均呈平坦型 (图 7)。只是含尖晶石的橄榄岩的 ΣREE 较低。图中展示了东海石榴橄榄岩的稀土配分型式 (Dh), 虽然也是平坦型但它有正 Eu 异常, 可能因为含一定量的石榴子石。石榴辉石岩和尖晶石橄榄岩在 Ni-Co-

表 2 饶拔寨石榴辉石岩和含尖晶石橄榄岩的变质演化

Table 2 Metamorphic evolution of Raobazhai garnet pyroxenite and spinel peridotite

阶段 矿物	原岩组合 I	麻粒岩相 II	高角闪岩相 III	低角闪岩相 IV	绿片岩相 V
橄榄石	Fo _{92~93}				
斜方辉石					
尖晶石					
蛇纹石					
铁钛氧化物	Ilm				Mt
单斜辉石	Jd _{10~25}				
石榴子石	Prp=25~35				
角闪石			Si=6.03~6.37 韭闪石	纤闪石	
斜长石		An ₉₇	An ₂₆		

注: Fo—镁橄榄石; Ilm—钛铁矿; Mt—磁铁矿; Jd—硬玉; Prp—镁铝榴石。

Sc 三元图解中的投绘 (Ottonello et al., 1984), 揭示了彼此之间共有的化学成分趋势, 石榴辉石岩对应于深位的玄武岩质熔体而含尖晶石橄榄岩则是其超镁铁质的难熔残余 (图8)。这就较清楚地勾绘出上地幔存在的部分熔融现象。

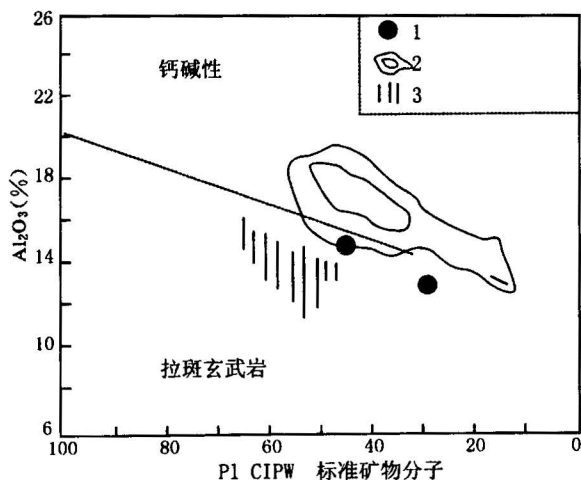


图6 饶拔寨石榴辉石岩在PI-CIPW- Al_2O_3 图解上的投点 (据 Irvine et al., 1971)

Fig. 6 The plot of Raobazhai garnet pyroxenite on the PI-CIPW vs Al_2O_3 diagram (after Irvine et al., 1971)

1—饶拔寨石榴辉石岩; 2—Nt. Hood 玄武岩; 3—夏威夷
1—Raobazhai garnet pyroxenite; 2—Nt. Hood basalt; 3—Hawaii

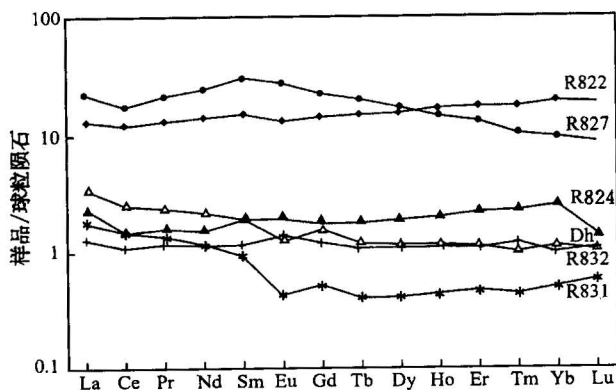


图7 饶拔寨石榴辉石岩(R822, R827, R824)、尖晶石橄榄岩(R832, R831)和东海石榴橄榄岩(Dh)的稀土配分型式

Fig. 7 The REE distribution pattern of the Raobazhai garnet pyroxenite (R822, R827, R824) spinel peridotite (R832, R831) and Donghai garnet peridotite (Dh)

一般认为尖晶石橄榄岩是60 km 深度的上地幔的岩石, 方辉橄榄岩中斜方辉石所显示的解理弯曲等晶内塑性变形的迹象, 说明了造山带隆升过程中

橄榄岩体构造侵位于下地壳的事件。尖晶石橄榄岩体是构造侵位于造山带的下地壳而后与下地壳一起被剥露隆升到地表的。

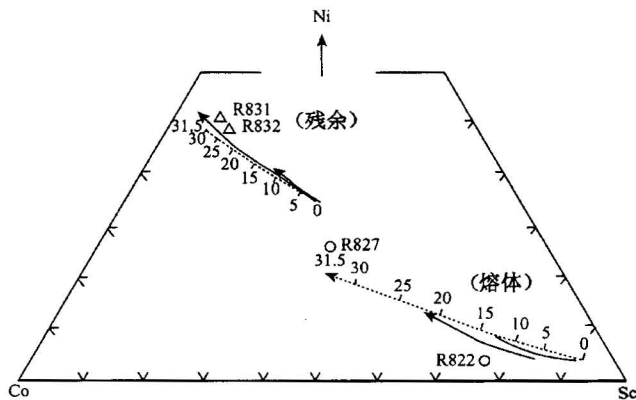


图8 石榴辉石岩和石榴橄榄岩的Ni-Co-Sc三元图解
Fig. 8 The Ni-Co-Sc ternary plot of Raobazhai garnet pyroxenite and spinel peridotite

6 讨论和结论

综上所述, 可以得出如下3个初步结论和3点认识, 初步结论是:

(1) 就位于含尖晶石橄榄岩体中的石榴辉石岩, 在矿物成分、变质显微构造等方面与德国波希米亚海西带中无石榴石橄榄岩中的榴辉岩相似 (O'Brien, 1989)。在成因类型上属于 Coleman 等 (1965) 所称 A 型榴辉岩类, 或称高温型榴辉岩。它们的形成温度高达 $847 \sim 973^\circ\text{C}$, 不含绿帘石、多硅白云母等壳源物质, 在稀土配分形式等地球化学特征上均具有幔源特点, 因之极不相同于大别山区的高压、超高压榴辉岩类。

(2) 石榴辉石岩和尖晶石橄榄岩类都经历了2个阶段退变质: 第1阶段是麻粒岩相, 第2阶段是角闪岩相。它们分别反映了上地幔残片就位于下地壳和其后隆升过程的 pt 状况。

(3) 石榴辉石岩包体和它的寄主岩尖晶石橄榄岩, 在成因上是与上地幔的部分熔融作用相联系的。石榴辉石岩或榴辉岩代表了上地幔中熔出的玄武岩熔体, 而橄榄岩则是部分熔融作用留下的难熔的残余。Ni-Co-Sc 三元图解可以很直观地看出这层关系。

根据以上结论, 可以演绎出以下的认识:

(1) 高温的 A 型榴辉岩以及寄主岩橄榄岩, 在大别北部出现, 说明伴随 UHP 岩石单元的隆升过

程,会有大陆地幔残片也被携带上来。此时软流圈的上隆,或者由于板片的断离(break off),导致侵出的板片,虽压力降低却能维持高温状态,是以出现早期阶段的麻粒岩相的近等温减压退变质,只是在后期的隆升阶段才出现角闪岩相的退变质。三叠纪扬子板块和华北板块的碰撞最终导致侏罗纪—白垩纪岩石圈的伸展,大别山北坡广泛出露的白马尖花岗岩体的侵位,应当与此伸展事件有关。

(2)李曙光等(1989)用Sm-Nd法测定了饶拔寨石榴辉岩的变质年龄为244 Ma,其退变质的年龄尚未有确切的定年资料,最近刘福来等(2003)利用苏鲁片麻岩锆石微区SHRIMP U-Pb定年,厘定了苏鲁超高压变质地体的退变质年龄为209~219Ma,从事件对比,可以认为饶拔寨石榴辉石岩的退变质也应落在这一时限。

(3)张儒媛等将大别-苏鲁UHP地体中的石榴橄榄岩划分为A、B两种类型,A型石榴橄榄岩属于地幔残片,构造侵位于俯冲大陆岩石圈,俯冲之前未曾暴露于地表;B型则是指各种成因的陆壳的镁铁、超镁铁杂岩,典型者如岳西碧溪岭的石榴橄榄岩体(Zhang et al., 1998)。饶拔寨的尖晶石橄榄岩在空间分布、岩石化学和变质演化上,应当归入A型。苏鲁一大别所出露的,多半是深部的A型石榴橄榄岩,只有大别山北部,以饶拔寨岩体为代表,出露的是上地幔的尖晶石橄榄岩。它对于全面了解俯冲带的结构,有着不可替代的作用。

致谢:论文中有关尖晶石单颗粒成分SEM测定,系由中国地质科学院地质研究所微区实验室陈方远高级工程师完成,特此致谢。

参 考 文 献

- 程裕禄,庄育勋,高天山,简平. 2002. 大别山菖蒲—碧溪岭地区高压—超高压榴辉岩相变质岩和有关岩石的岩石类型及其原岩性质. 地质学报, 76(1): 1~13.
- 匡少平,凌文黎,张本仁. 1999. 大别造山带中镁铁质、超镁铁质岩石和榴辉岩有关问题的讨论. 地质论评, 45(6): 584~595.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的Sm-Nd同位素年龄证据. 中国科学(B辑), (3): 312~319.
- 刘福来, 许志琴, 宋彪. 2003. 苏鲁地体超高压和退变质时代的厘定: 来自片麻岩锆石微区SHRIMP U-Pb定年的证据. 地质学报, 77(2): 229~237.
- 刘贻灿, 徐树桐, 李曙光, 陈冠宝, 江来利, 周存亭, 吴维平. 2001. 大别山北部镁铁超镁铁质岩带中的榴辉岩的分布与变质温压条件. 地质学报, 75(3): 385~395.
- 徐树桐, 苏文, 刘贻灿, 等. 1999. 大别山北部榴辉岩的发现及其岩相学特征. 科学通报, 44(13): 1452~1456.
- 游振东, 钟增球, 索书田, 等. 2000. 大别山北麓尖晶石橄榄岩中石榴辉石岩包体的成因. 中国科学(D辑), 30(增刊): 108~115.
- 游振东, 索书田, 钟增球, 桑隆康, 张泽明. 2000. 大别山超高压变质岩的退变质显微构造: 折返过程的启示. 地质学报, 74(3): 224~232.
- 张旗, 马宝林, 刘若新, 等. 1995. 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. 中国科学(B辑), 25(8): 867~873.

References

- Bor-ming Jahn. 1998. Geochemical and isotopic characteristics of UHP eclogites and ultramafic rocks of the Dabie orogen: Implications for continental subduction and collision tectonics. In: Hacker B R, Liou J G, eds. When continents collide: Geodynamics and geochemistry of ultrahigh-pressure rocks. London: Kluwer Academic Publishers, 203~240.
- Brueckner H K, Medaris L G. 2000. A general model for the intrusion and evolution of "mantle" garnet peridotites in high pressure and ultrahigh-pressure metamorphic terranes. J. Metamorphic Geol., 18: 123~133.
- Cheng Y Q, Zhuan Y X, Gao T S, Jian P. 2002. Lithology and protolith of HP-UHP eclogite facies metamorphic rocks and relevant rocks of the Changpu—Bixiling area, Dabie Mountains. Acta Geologica Sinica, 76(1): 1~13 (in Chinese with English abstract).
- Coleman R G, Lee D E, Beatty L B. 1965. Eclogites and Eclogites: their differences and similarities. Geological Society of America Bulletin, 76: 483~508.
- Dick H J B, Bullen T. 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine type peridotites and spatially associated lavas. Contrib. Mineral Petrology, 86: 54~76.
- Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic, Canadian. J. Earth Sci., 8: 523~548.
- Kuang S P, Lin W L, Zhang B R. 1999. Discussions on mafic-ultramafic rocks and eclogites in Dabie orogen, central China. Geological Review, 45(6): 584~595 (in Chinese with English abstract).
- Li S, Hart S R, Zheng S, et al. 1989. Timing of collision between the North and south China blocks——Sm-Nd isotope age evidence. Science in China (series B), 32: 1391~1400.
- Liu F L, Xu Z Q, Song B. 2003. Determination of UHP and retrograde metamorphic ages of the Sulu Terrane: Evidence from SHRIMP U-Pb dating on zircons of gneissic rocks. Acta Geologica Sinica, 77(2): 229~237 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y C, Xu S T, Li S G, Chen G B, Jiang L L, et al. 2001. The distribution and metamorphic *P-T* condition of eclogites from the mafic-ultramafic belt in the northern part of Dabie Mountains. Acta Geologica Sinica, 75(3): 385~395 (in Chinese with English abstract).
- McDonough W F, Rudnik R L. 1998. Mineralogy and composition of the upper mantle. In: Russel J Hemley, ed. Ultrahigh-pressure mineralogy: physics and chemistry of the Earth's deep interior. Reviews in Mineralogy, 37: 139~164.
- O'brien P J. 1989. A study of regression in eclogites of the Oberfalz Forest, north-east Bavaria, west Germany and their significance in the tectonic evolution of the Bohemian massif. In: Daly J S, Cliff R A, Yardley B W D, eds. Evolution of metamorphic belts.

- Geological Society Special Publication, 43:507~512.
- Ottone G, Earnst W G, Joron L L. 1984. Rare earth and 3d transition element geochemistry of peridotitic rocks, part I. Peridotites from the western Alps. *J. Petrology*, 25:343~372.
- Xu S T, Liu Y C, Su W, et al. 2000. Discovery of the eclogite and its petrography in the northern Dabie Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 45(3): 273.
- Yang J J, Jahn B M. 2000. Deep subduction of mantle derived garnet peridotites from the Sulu UHP metamorphic terrane in China. *Journal of Metamorphic Geology*, 18:167~180.
- You Z D, Zhong Z Q, Suo S T, Zhou H W. 2000. A petrogenetic study of the garnet pyroxenite enclaves in spinel peridotite, North Dabieshan, China. *Science in China (series D)*, 43 (supp.):189~199.
- You Z D, Suo S T, Zhong Z Q, Sang L K, Zhang Z M. 2000. Retrogressive microstructures in high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie Mountains: Enlightenment to the exhumation process. *Acta Geologica Sinica*, 74(3):224~232 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Ma B, Liu R X, et al. 1995. Geochemistry of ultramafic rocks from Raobazai, Anhui Province: A remnant of continental lithosphere over subduction zone. *Science in China (series B)*, 25(8):1522~1529.
- Zhang R Y, Liou J G. 1998. Dual origin of garnet peridotites of Dabie Sulu UHP terrane, eastern central China. *Episodes*, 21(4): 229~234.
- Zhang R Y, Liou J G, Cong B. 1994. Petrogenesis of garnet-bearing ultramafic rocks and associated eclogites in the Su-Lu ultrahigh-P metamorphic terrane, eastern China. *Journal of Metamorphic Geology*, 12:169~186.
- Zhang R Y, Liou J G. 1998. Dual origin of garnet peridotites of Dabie Sulu UHP terrane, eastern central China. *Episodes*, 21(4): 229~234.

The High-temperature Garnet-pyroxenite Enclaves in the Spinel-bearing Peridotite: Evidence for Partial Melting of the Upper Mantle in Northern Dabie Mountain, China

YOU Zhendong, ZHONG Zengqiu, SUO Shutian, ZHOU Hanwen

China University of Geosciences, Wuhan, 430074

Abstract

The spinel-bearing peridotite massif occurring near Raobazhai, Huoshan County of northern Dabie Mountain, is the largest upper mantle relict slab in the Dabie Mountain area. The massif was emplaced as a rootless lenticular intrusion of solid state into the plutonic gneiss complex of Dabie Mountain. The eclogite and garnet pyroxenite enclaves are of high-temperature genesis and are products of partial melting of the upper mantle. In the $PI-CIPW$ versus Al_2O_3 diagram the high-temperature eclogites are plotted into the tholeiite field rather than that of calc-alkaline basalts. The REE distributions of the garnet pyroxenite and the spinel-bearing peridotite are of similar flat patterns, only the total REE of the latter are lower than those of the high temperature eclogites. The plots in the $Ni-Co-Sc$ ternary diagram show that the eclogite and garnet pyroxenites are plotted close to the trend line of deep-seated basalts, while the spinel-bearing peridotites are plotted along the trend of ultramafic relics, which clearly reveals the partial melting of the upper mantle in northern Dabie Mountain. The spinel in the peridotite is defined as pleonaste, the $Cr^\#$ of which is rather low ($Cr^\# = 12 \sim 21$), while the associated olivine are Fo-rich ($Fo = 92 \sim 93$), indicating that the partial melting was just at its initial stage, estimated at 15%. The low content of TiO_2 in spinel suggests a low oxygen fugacity during the melting of the mantle. The occurrence of the Raobazhai spinel-bearing peridotite massif shows that accompanying the exhumation and uplift of the UHP rock units there must be some upper mantle fragments being carried up to the shallower levels. Due to the upwelling of the asthenosphere or the break-off of the subducting slabs, the extruded rock slab could maintain a high temperature regime. This had caused the earlier deep-seated granulite-facies retrometamorphism, which was later shifted to high amphibolite-facies retrometamorphism during the subsequent uplift.

Key words: spinel; peridotite; partial melting of the upper mantle; high-temperature eclogite; deep-seated retrometamorphism