

榴辉岩类捕虏体的地球化学特征及其构造意义

——来自徐淮地区中生代侵入杂岩中的信息

王清海¹, 许文良¹, 王冬艳¹, 林景仟¹, 高山²

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 利用 X-荧光光谱和 ICP-MS 测试了徐淮地区中生代侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的组成。主要元素为: SiO₂ 的含量为 40.88%~47.82%, TiO₂ 为 0.78%~2.00%, Al₂O₃ 为 11.72%~16.08%, FeO(全铁)为 12.77%~20.29%, MgO 为 5.23%~11.47%, CaO 为 7.80%~13.11%, Na₂O 为 0.30%~2.09%, K₂O 为 0.13%~0.69%。榴辉岩类捕虏体具有较低的稀土元素丰度($\sum\text{REE}=(34.26\sim 115.51)\times 10^{-6}$), 且具有明显的 Nb、P、Zr 和 Ti 的负异常。捕虏体的 $I(\text{Sr})$ 和 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值分别为 0.7042~0.7085 和 -5.77~2.99(L-4 为 -13.05)。上述特征暗示本区榴辉岩类捕虏体的原岩具有岛弧拉斑玄武岩的特征。榴辉岩类捕虏体 Nd 的模式年龄和其中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄显示它们应属于华北克拉通的基底物质。华北克拉通基底物质发生的榴辉岩相变质作用暗示中生代早期华北克拉通东部曾存在一次重要的陆壳加厚过程, 这应与扬子克拉通沿北西或北西西方向深俯冲于华北克拉通之下有关。

关键词: 徐淮地区; 中生代; 榴辉岩; 捕虏体; 地球化学; 构造意义。

中图分类号: P581; P588

文章编号: 1000-2383(2005)04-0413-08

收稿日期: 2005-02-16

Geochemical Characteristics of Eclogite Xenoliths in Mesozoic Intrusive Complex from Xu-Huai Area and Its Tectonic Significance

WANG Qing-hai¹, XU Wen-liang¹, WANG Dong-yan¹, LIN Jing-qian¹, GAO Shan²

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Using X-fluorescence spectrum and ICP-MS tests eclogite xenoliths components in Mesozoic intrusive complex from Xu-Huai area. The major element components are as following, SiO₂: 40.88%~47.82%, TiO₂: 0.78%~2.00%, Al₂O₃: 11.72%~16.08%, FeO (total iron): 12.77%~20.29%, MgO: 5.23%~11.47%, CaO: 7.80%~13.11%, Na₂O: 0.30%~2.09%, K₂O: 0.13%~0.69%. Eclogite xenoliths have a relatively low REE abundance [$\sum\text{REE}=(34.26\sim 115.51)\times 10^{-6}$] and obvious Nb, P, Zr and Ti negative anomaly. The $I(\text{Sr})$ and $\epsilon(\text{Nd}, t)$ values of eclogite xenoliths are 0.7042~0.7085 and -5.77~2.99 (L-4; -13.05) respectively. These characteristics indicate that their protoliths could be the tholeiitic rocks formed in an island arc environment. The Nd model ages and zircon SHRIMP U-Pb dating of the eclogite xenoliths suggest that they should belong to the basement of the North China craton (NCC). The eclogite phase metamorphism of the basement of the NCC implies that an important continental crustal thickening could have taken place in the eastern part of the NCC in early Mesozoic, which could be attributed to the deep subduction of the Yangtze craton beneath the NCC in an NW or NWW direction.

Key words: Xu-Huai area; Mesozoic; eclogite; xenolith; geochemistry; tectonic significance.

大别造山带—郯庐断裂带—苏鲁造山带是中国东部一条重要的构造带, 它控制了华北地块东部中

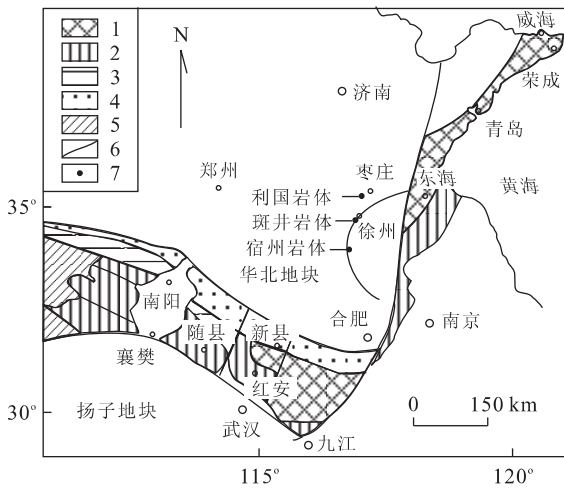


图 1 徐淮地区中生代侵入杂岩体分布

Fig. 1 Distribution of Mesozoic intrusive complex in Xu-Huai area

1. 高温(超)高压变质带; 2. 低温高压变质带; 3. 秦岭—桐柏深变质杂岩; 4. 北淮阳浅变质杂岩; 5. 古生代; 6. 断层; 7. 闪长斑岩和二长闪长斑岩岩体

新生代以来的构造演化。目前,大多数地质学家认为苏鲁和大别属同一造山带,被郯庐断裂带所错断(Okay *et al.*, 1989; 杨建军, 1991)。然而,近年来对郯庐断裂带及相邻地区的地质、构造研究以及在徐淮地区中生代侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的发现对上述认识提出了异议(乔秀夫等, 2001; 李锦轶, 2001; 汤加富和许卫, 2002; 许文良等, 2002)。苏鲁—大别造山带和郯庐断裂带之间的关系以及郯庐断裂带的性质一直是地质学家们争论的问题之一(Yin and Nie, 1993; Xu and Zhu, 1994; Li, 1994; Zhang, 1997; 肖文交等, 2000)。在徐淮地区中生代侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体岩相学的基础上(许文良等, 2002), 本文又报道了榴辉岩类捕虏体的地球化学特征, 讨论了其原岩性质及其构造归属和构造意义。这对认识苏鲁—大别造山带和郯庐断裂带之间的关系以及郯庐断裂带的性质具有重要的意义。

1 区域地质

研究区位于华北地块东南缘, 东距郯庐断裂带约 100 km, 南距大别造山带约 300 km。区内存在的新元古代(震旦纪)和古生代地层, 上述地层均遭受了褶皱变形, 它们构成了徐州—宿州弧形构造带(王桂梁等, 1998), 该构造带夹于北部丰沛—兰陵隆起与南部西阳集隆起之间。区内存在许多中生代侵入

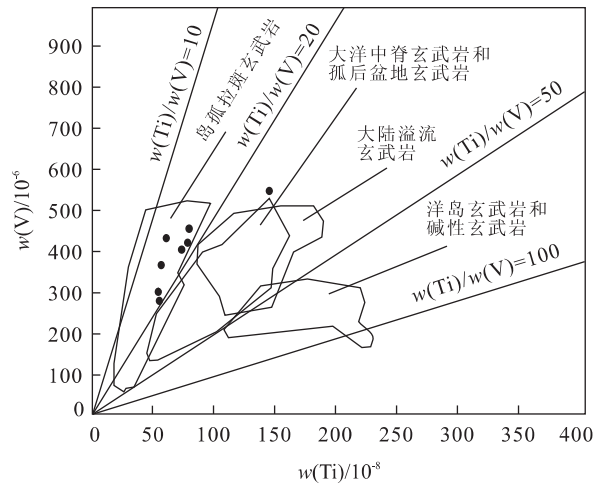


图 2 玄武岩的 Ti-V 判别图

Fig. 2 Ti-V distinguishing diagram of basalts

杂岩体, 岩体侵位于已经褶皱变形的古生代地层中, 受徐州—宿州弧形构造带及东西向和北西向断裂构造控制。侵入杂岩体从北到南依次为利国岩体、斑井岩体和宿州岩体, 该岩带呈北东向带状展布, 且与郯庐断裂带平行(图 1), 其岩石组合主要为闪长斑岩和二长闪长斑岩, 利国岩体和宿州岩体中闪长斑岩和二长闪长斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 131~132 Ma (Xu *et al.*, 2004), 为早白垩世形成的侵入杂岩体。榴辉岩类深源捕虏体(包括榴辉岩和石榴辉石岩)产在该侵入杂岩体中, 其岩相学和矿物化学特征见文献(许文良等, 2002)。

2 榴辉岩类捕虏体的地球化学特征

2.1 主量元素

徐淮地区侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的主量元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素分析结果见表 1。由表 1 可见, 榴辉岩类捕虏体的主量元素成分: SiO_2 含量为 40.88%~47.82%, TiO_2 为 0.78%~2.00%, Al_2O_3 为 11.72%~16.08%, FeO (全铁) 为 12.77%~20.29%, MgO 为 5.23%~11.47%, CaO 为 7.80%~13.11%, Na_2O 为 0.30%~2.09%, K_2O 为 0.13%~0.69%。本区榴辉岩类岩石的 SiO_2 含量及其他氧化物的含量主要落入玄武岩的成分范围内, 低的 $\text{Mg}^\#$ 值是原始玄武岩浆结晶分异的结果。

2.2 微量元素

Ti、V 判别图(图 2)表明 (Shervais, 1982), 本

表 1 徐淮地区侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的主量(%)、微量元素(10^{-6})和 Sr-Nd 同位素组成

Table 1 Major, trace elements and Sr-Nd isotopic compositions of eclogite xenoliths in Mesozoic intrusive complex

样品编号	榴辉岩			石榴石辉石岩					
	603-2-2	B1-10	L-4	603-2-1	J-21	J-22	JG1-8	JG2-11	JG2-22
SiO ₂	46.02		45.63	47.82	40.88	47.03	44.59	45.32	42.40
TiO ₂	1.22		1.13	1.18	0.83	0.78	0.80	0.81	2.00
Al ₂ O ₃	15.55		11.72	15.65	16.08	14.83	13.05	15.08	14.59
Fe ₂ O ₃	4.82		6.74	6.74	4.78	2.95	3.70	2.95	3.32
FeO	11.19		6.70	10.56	14.52	12.51	13.95	12.30	17.30
MnO	0.24		0.12	0.41	0.28	0.23	0.31	0.22	0.30
MgO	7.99		10.62	5.23	11.47	7.99	8.59	9.91	8.81
CaO	9.45		13.11	7.80	8.48	11.42	12.68	11.78	9.81
Na ₂ O	1.75		1.83	2.09	1.32	1.25	1.03	0.65	0.30
K ₂ O	0.27		0.23	0.66	0.69	0.31	0.38	0.16	0.13
P ₂ O ₅	0.07		0.06	0.1	0.05	0.09	0.05	0.07	0.29
LOI	1.24		1.89	1.51	0.42	0.42	0.68	0.58	0.58
总量	99.81		99.78	99.75	99.80	99.81	99.81	99.83	99.83
Mg [#]	48.00		60.00	36.00	52.00	48.00	47.00	54.00	44.00
Rb	11.62	11.54	14.56	28.31	9.56	6.24	3.18	9.75	8.16
Sr	198.84	137.18	339.59	260.48	171.05	238.48	95.05	42.72	33.19
Ba	59.85	88.01	52.38	375.84	131.14	91.27	65.99	45.41	26.46
Nb	1.35	1.42	1.73	3.65	0.66	2.40	2.19	2.04	21.26
Ta		0.01		0.09			0.19	0.62	1.41
Zr	61.12	31.45	92.02	42.84	20.67	25.60	23.55	27.10	107.00
Hf	1.97	1.26	2.85	1.71	0.74	1.02	0.80	0.88	3.18
Th	0.59	0.68	0.76	0.90	0.38	1.03	0.44	0.50	0.73
U	0.41	0.44	0.60	0.38	0.68	0.62	0.29	0.18	0.56
P	305.49		261.85	436.42	218.21	392.78	189.50	288.10	1427.20
Y	28.40	21.00	20.84	35.95	34.39	23.77	18.57	22.50	64.20
Sc	69.16	44.49	60.65	65.59	80.32	46.63	49.97	56.13	51.39
Ti	7 313.89		6 774.34	7 074.09	4 975.84	4 676.10	5 185.90	4 915.50	1 4677.70
V	411.81	245.18	409.11	451.12	447.65	292.63	363.90	293.40	526.10
Cr	304.29	395.11	220.50	140.07	194.26	163.84	51.75	261.10	172.30
Co	64.31	62.18	77.99	76.95	71.80	68.25	68.82	52.25	53.57
Ni	126.64	189.04	112.64	90.39	77.14	121.62	88.55	70.99	60.58
Pb	10.16	7.92	31.76	7.55	5.10	11.05	7.68	4.29	2.06
Ga	22.01	18.39	21.07	23.99	15.02	20.50	14.39	14.18	18.82
La	6.47	8.92	9.98	7.29	3.59	13.11	4.89	7.97	14.88
Ce	18.39	18.41	34.57	14.65	7.05	21.53	9.28	15.94	31.10
Pr	2.42	2.55	6.38	2.26	1.00	2.61	1.20	1.92	4.16
Nd	11.80	11.28	31.24	10.14	4.92	9.81	5.16	8.01	19.26
Sm	3.62	2.83	7.37	3.15	1.77	2.48	1.59	2.16	5.68
Eu	1.21	0.95	2.08	1.17	0.97	0.91	0.60	0.75	1.07
Gd	4.13	3.26	6.16	4.43	2.72	3.38	2.50	2.99	9.15
Tb	0.73	0.57	0.82	0.89	0.58	0.64	0.47	0.57	1.70
Dy	4.86	3.81	4.16	6.14	4.98	4.23	3.15	3.72	10.87
Ho	1.02	0.79	0.77	1.36	1.33	0.92	0.69	0.80	2.31
Er	3.22	2.44	2.11	4.11	4.87	2.72	1.96	2.29	6.54
Tm	0.48	0.35	0.29	0.60	0.86	0.40	0.32	0.38	1.00
Yb	3.22	2.46	1.89	4.16	6.97	2.64	2.12	2.52	6.72
Lu	0.46	0.36	0.25	0.58	1.12	0.37	0.34	0.40	1.06
Ti/V	17.76		16.56	15.68	11.12	15.98	14.25	16.75	27.90
Ba/Nb	44.30	61.81	30.31	103.00	197.79	38.00	30.09	22.28	1.24
La/Nb	4.79	6.26	5.77	2.00	5.42	5.46	2.23	3.91	0.70
Cr/Ni	2.40	2.09	1.96	1.55	2.52	1.35	0.58	3.68	2.84
(La/Yb) _N	1.35	2.44	3.55	1.18	0.35	3.34	1.55	2.14	1.49
∑REE	62.02	58.98	108.07	60.89	42.71	65.74	34.26	50.40	115.51
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	0.147		0.109	0.277	0.157	0.064	1.008	5.822	5.797
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.707 722		0.704 469	0.707 668	0.707 463	0.708 689	0.708 03	0.716 009	0.717 308
I(Sr)	0.707 4		0.704 2	0.707 1	0.707 2	0.708 5	0.706 1	0.705 1	0.706 4
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.180 4		0.137 2	0.180 1	0.210 3	0.150 3	0.193 1	0.167 5	0.190 4
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512 328		0.511 895	0.512 713	0.512 429	0.512 314	0.512 788	0.512 643	0.512 376
ε(Nd,0)	-6.05		-14.49	1.46	-4.08	-6.32	2.93	0.10	-5.11
ε(Nd,132 Ma)	-5.77		-13.05	1.74	-4.31	-5.54	2.99	0.59	-5.01
T _{DM} /Ma	3 733		2 489	1 974	29 407	2 003	2 664	1 676	5 024

注:主量元素分析由武汉综合岩矿测试中心完成(方法为:大型 X-荧光光谱);微量元素、稀土元素由广州地化所完成(方法为:ICP-MS);Sr-Nd 同位素分析由中国科学院地质与地球物理研究所完成。Mg[#] = 100 × Mg / (Mg + Fe²⁺)。

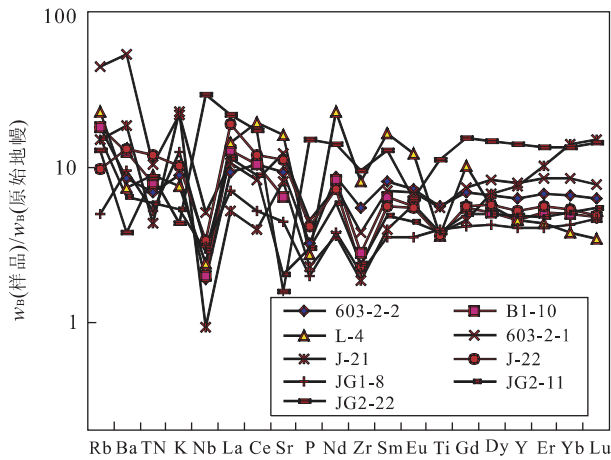


图 3 榴辉岩类捕虏体的原始地幔标准化痕量元素蛛网

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of eclogite xenoliths

1. 榴辉岩(603-2-2, B1-10); 2. 石榴石辉石岩(L-4, 603-2-1, J-21, J-22, JG1-8, JG2-11, JG2-22)

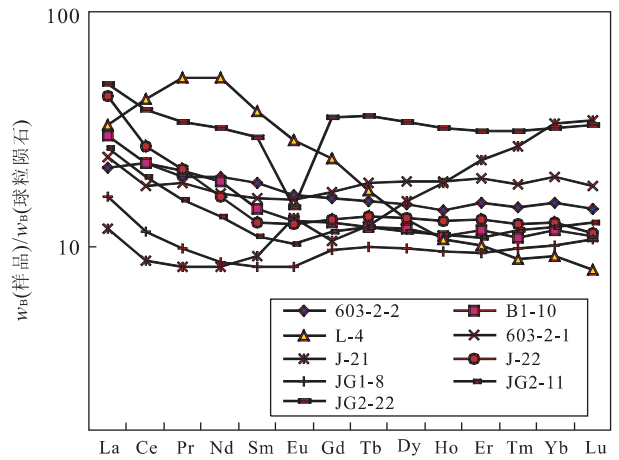


图 4 榴辉岩类捕虏体的稀土元素球粒陨石标准化配分模式

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of eclogite xenoliths

1. 榴辉岩(603-2-2, B1-10); 2. 石榴石辉石岩(L-4, 603-2-1, J-21, J-22, JG1-8, JG2-11, JG2-22)

区榴辉岩类捕虏体的原岩主要为岛弧拉斑玄武岩, 与苏鲁一大别造山带中的榴辉岩相比, 本区榴辉岩类捕虏体相对富含 V (Jahn, 1998). 从表 1 中可以看出本区榴辉岩类捕虏体的 Ni 和 Cr 的含量分别为 $(60 \sim 189) \times 10^{-6}$ 和 $(52 \sim 395) \times 10^{-6}$, $w(\text{Cr})/w(\text{Ni})$ 比值为 0.58~3.68, 这与产生于岛弧环境火山岩具有较低的 Ni 和 Cr 的含量相一致, 而不同于具有堆积成因石榴辉石岩的特征 (Jahn, 1998). 此外, 本区的榴辉岩类捕虏体的 $w(\text{Ba})/w(\text{Nb})$ 比值 (30~198) 和 $w(\text{La})/w(\text{Nb})$ 比值 (2~6) 与岛弧玄武岩具有较高的 $w(\text{La})/w(\text{Nb})$ 的比值 (1~15) 相吻合 (Jahn, 1998).

原始地幔 (Sun and McDonough, 1989) 标准化不相容元素蛛网图 (图 3) 表明, 本区榴辉岩类捕虏体的大离子亲石元素 (Rb、Ba、K 和 La) 相对富集, 除样品 JG2-22 外, 均具有明显的 Nb、Zr、P 和 Ti 的负异常, 这种特征反映了其成因应与有陆壳物质涉入的岛弧环境相联系.

2.3 稀土元素

榴辉岩类捕虏体的稀土元素 (REE) 球粒陨石 (Boynnton, 1984) 标准化型式如图 4 所示. 表 1 和图 4 表明, 本区榴辉岩类捕虏体以相对富含轻稀土元素 (LREE)、贫重稀土元素 (HREE)、多数不显铈异常的右倾斜型为特征. 而样品 J-21 具有铈的正异常, 且富含 HREE, 这与样品中石榴石的高含量以及退变斜长石的广泛存在有关. 样品 JG2-22 表现

出较大的铈负异常可能与岩石中较高的辉石含量相关. 与苏鲁造山带中的榴辉岩相比 (Jahn, 1998; Liu *et al.*, 2000), 本区榴辉岩类捕虏体的 REE 丰度 (尤其是 LREE) 相对偏低 ($\sum \text{REE} = (34.26 \sim 115.51) \times 10^{-6}$), 这可能与其原岩具地幔成因有关.

2.4 Sr-Nd 同位素

表 1 中列出了榴辉岩类捕虏体的全岩 Sr-Nd 同位素分析结果, 并标定在图 5 中. 从中可以看出, 本区榴辉岩类捕虏体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.704 469~0.717 308, 相对比较分散, 但 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值相匹配. 所以, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值基本上反映了榴辉岩类捕虏体的原岩特征, 即原岩主要来自于地幔, 且有陆壳物质的混染. 相对于 Rb-Sr 同位素体系, Sm-Nd 同位素在变质过程中的活动性要小. 因此, Sm-Nd 同位素示踪能更好地反映榴辉岩的原岩性质. 图 5 显示本区榴辉岩类捕虏体的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值为 0.137 2~0.210 3, 3 个样品 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 为正值 (0.59~2.99), 4 个样品的 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 为负值 (多数为 -5.54~-4.31, 仅有样品 L-4 为 -13.05), 前者表明了其原岩具有地幔成因的特征, 后者则表明原岩形成过程中有陆壳物质的涉入. 这与微量元素的研究结果相吻合. 此外, 与大别—苏鲁造山带中的榴辉岩相比 (Jahn, 1998), 本区榴辉岩类捕虏体的 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值相对偏高.

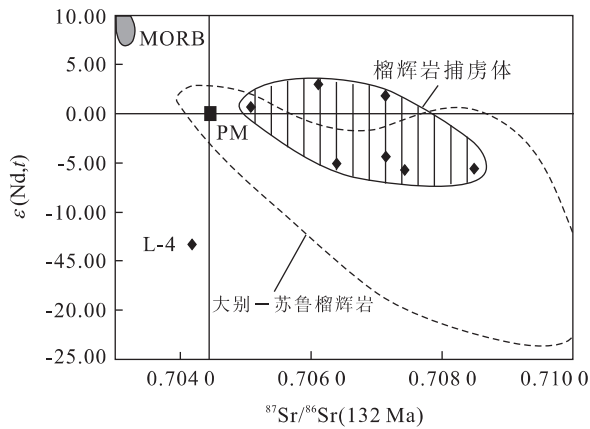


图 5 榴辉岩类捕虏体的 $I(\text{Sr})-\epsilon(\text{Nd}, t)$ 关系

Fig. 5 $I(\text{Sr})$ vs. $\epsilon(\text{Nd}, t)$ diagram of eclogite xenoliths

1. 榴辉岩 (603-2-2, B1-10); 2. 石榴石辉石岩 (L-4, 603-2-1, J-21, J-22, JG1-8, JG2-11, JG2-22)

3 讨论和结论

3.1 榴辉岩类捕虏体的原岩性质与形成环境

徐淮地区中生代侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的主量元素和微量元素特征暗示,它们具有岛弧拉斑玄武岩的特征, Sr-Nd 同位素组成也显示部分榴辉岩类捕虏体的原岩具有幔源成因特征,部分具有地壳物质的混染. 这明显不同于大别-苏鲁造山带中的榴辉岩,后者可划分成 3 类,其中类型 I、II 具有大陆地壳物质的原岩性质 (Jahn, 1998), 类型 III 则具有大洋残片 (刘贻灿等, 2000) 或层状侵入体 (Okay and Sengor, 1993; Zhang *et al.*, 1995; Chavagnac and Jahn, 1996) 或与地壳的超高压变质岩一起折返上来的地幔岩性质 (Jahn, 1998). 本区榴辉岩类捕虏体与胶东高压变质基性岩所表现出的大陆内部幔源岩浆成因的认识有所不同 (黄小龙等, 2003).

3.2 榴辉岩类捕虏体的构造归属

从本区榴辉岩类捕虏体的微量元素和 Sr-Nd 同位素特征中可以看出,它们与大别-苏鲁造山带中的榴辉岩具有一定的差异. 那么,本区的榴辉岩类捕虏体是属于华北地壳的物质,还是属于扬子地壳的物质? 这可从该类捕虏体的 Nd 的模式年龄 (132 Ma 为侵入杂岩岩浆捕获榴辉岩类捕虏体的岩浆形成年龄) 和锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果中得到回答.

从表 1 中可以看出,本区榴辉岩类捕虏体 Nd 的模式年龄主体介于 1 676~2 664 Ma 之间,暗示原岩形成于太古代和古元古代. 这与寄主岩中继承锆石、片麻岩捕虏体中的锆石以及相邻地区女山麻粒

岩包体中锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果相似 (黄小龙等, 2003; Xu *et al.*, 2004). 此外,对榴辉岩和石榴石辉石岩 2 个样品锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果表明, 2 400~2 500 Ma 和 1 700~1 800 Ma 是其主体年龄,同时存在 (206 ± 15) Ma 和 125~134 Ma 的年龄 (未发表资料). 榴辉岩类捕虏体中 2 400~2 500 Ma 和 1 700~1 800 Ma 主体年龄的存在与华北地块主体部分形成于太古代,尤其是 25 亿年左右,部分地区经历了 18 亿年左右的高级变质作用的认识相吻合 (Ma and Bai, 1998; Zhao *et al.*, 2001), 而不同于扬子地块. 目前虽然在扬子地块的某些地方也存在太古代和古元古代的地壳增长事件 (黄小龙等, 2003; Gao *et al.*, 2002), 但扬子地块大规模地壳增长发生的时间是 700~800 Ma (Li *et al.*, 1999; 郭敬辉等, 2002; Guo *et al.*, 2004). 这在本区榴辉岩类捕虏体中并没有显示,由此可以认为本区榴辉岩类捕虏体应属于华北地块基底的物质.

榴辉岩类捕虏体的 Sm-Nd 等时线年龄 (219.4 Ma) 与大别-苏鲁造山带中榴辉岩锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果 (217~228 Ma) (李曙光等, 1989; Ames *et al.*, 1993, 1996; Li *et al.*, 1999; 杨经绥等, 2002) 相似,它们代表了榴辉岩相变质的年龄 (许文良等, 2002). 捕虏体中存在的 125~134 Ma 的年龄与寄主岩浆形成的时代一致,反映了岩浆热事件对榴辉岩类捕虏体的影响.

3.3 构造意义

徐淮地区中生代侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的原岩形成时代应为晚太古代-古元古代,其原岩应为岛弧环境的拉斑玄武岩. 这表明华北地块东缘在晚太古代-古元古代期间可能存在一个古岛弧. 华北地块东缘深部地壳物质于中生代早期 (219 Ma 左右) 发生的高压-超高压变质作用,暗示该区在中生代早期曾存在一期重要的陆壳加厚过程,榴辉岩类捕虏体矿物组合所反映的顺时针 $P-T-t$ 演化轨迹也证明这次造山过程的存在 (许文良等, 2002; 王清海等, 2003). 这一造山过程可归结于扬子地块沿北西方向俯冲于华北地块之下的结果. 中晚侏罗世花岗岩中锆石示踪研究显示华北地块东南部边缘深部地壳中存在扬子地块基底物质 (罗振宽和苗来成, 2002; 许文良等, 2003; Guo *et al.*, 2004), 早白垩世幔源火成岩 Sr-Nd 同位素研究显示 EM II 型富集地幔只存在于苏鲁造山带以西的胶东、鲁西和鲁西南地区 (许文良等, 2003). 上述特征都暗示扬子地块深

俯冲于华北地块之下的方向应为北西或北西西向。此外,结合徐淮推覆体的推覆方向、徐淮地区中生代侵入杂岩中榴辉岩类捕虏体的北东向带状展布特征(许文良等,2002)以及相邻地区地层和构造的研究结果(李锦轶,2001;乔秀夫等,2001;汤加富和许卫,2002),可以认为中生代郟庐断裂带并不存在巨大的左行平移。

致谢:主量元素分析测试得到了武汉综合岩矿测试中心夏灿的协助,微量元素和 Sr-Nd 同位素分析分别由中国科学院广州地化所和北京地质与地球物理研究所完成。在此表示衷心的感谢。

References

- Ames, L., Tilton, G. R., Zhou, G., 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, Central China. *Tectonic*, 15: 472—489.
- Ames, L., Tilton, G. R., Zhou, G. Z., 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons; U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 21: 339—342.
- Boynnton, W. V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Henderson, P., ed., *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, 63—114.
- Chavagnac, V., Jahn, B. M., 1996. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie Mountains, China; Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. *Chem. Geol.*, 133: 29—51.
- Gao, S., Qiu, Y., Ling, W., et al., 2002. SHRIMP single zircon U-Pb dating of the Kongling high-grade metamorphic terrain; Evidence for 3.2 Ga old continental crust in the Yangtze craton. *Science in China (Series D)*, 44: 326—335.
- Guo, J. H., Chen, F. K., Siebel, W., et al., 2004. Crustal structure and tectonics in post UHP collisional environment of the Sulu orogen, eastern China; Implications for SHRIMP zircon U-Pb dating on Jurassic granites. *Terra Nova*.
- Guo, J. H., Zhai, M. G., Ye, K., et al., 2002. The petrology and geochemistry of the high pressure metamorphic basite in Haiyangsuo of the eastern part of Shandong Province. *Science in China (Series D)*, 32(5): 394—404 (in Chinese).
- Huang, X. L., Xu, Y. G., Liu, D. Y., et al., 2003. Paleoproterozoic lower crust beneath Nushan in Anhui Province; Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating on granulite xenoliths in Cenozoic alkali basalt. *Chinese Science Bulletin*, 48(10): 1082—1086 (in Chinese).
- Jahn, B. M., 1998. Geochemical and isotopic characteristics of UHP eclogites and ultramafic rocks of the Dabie orogen; Implications for continental subduction and collisional tectonics. In: Hacker, B. R., Liou, J. G., eds., *When continents collide: Geodynamics and geochemistry of ultrahigh-pressure rocks*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, Primed in the Netherlands, 203—239.
- Li, J. Y., 2001. The time limit and manner of collision between Sino-Korean block and Yangtze block. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 25—33 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. G., Hart, S. R., Zhang, S. G., 1989. The collision time between North China block and South China block; Evidence from Sm-Nd isotopic age. *Science in China (Series B)*, (3): 312—319 (in Chinese).
- Li, S. G., Jagoutz, E., Lo, C. H., et al., 1999. Sm/Nd, Rb/Sr, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic systematics of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu belt in central China; A retrospective review. *International Geology Review*, 41: 1114—1124.
- Li, Z. X., Li, X. H., Kinny, P. D., 1999. The breakup of Rodinia; Did it start with a mantle plume beneath South China. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 173: 171—181.
- Li, Z. X., 1994. Collision between the north and south blocks: A crust-detachment model for suturing in the region east of the Tan-Lu fault. *Geology*, 22: 739—742.
- Liu, Y. C., Xu, S. T., Li, S. G., et al., 2000. Geochemistry feature, Sr-Nd isotope component and geotectonic sense of eclogite in the northern part of Dabie mountain. *Science in China (Series D)*, 30(Suppl.): 99—107 (in Chinese).
- Liu, Z. G., Zhang, R. Y., Jahn, B. M., 2000. Petrological and geochemical characteristics of ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu terrane, east-central China. *International Geology Review*, 42: 328—352.
- Luo, Z. K., Miao, L. C., 2002. *Granites and gold deposits in Zhaoyuan-Laizhou area, eastern Shandong Province*. Metallurgical Industry Press, Beijing, 20—57 (in Chinese).
- Ma, X., Bai, J., 1998. *Precambrian crustal evolution of China*. Geological Publication House, Springer, Berlin, 1—331.
- Okay, A. I., Xu, S., Sengor, A. M. C., 1989. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *Eur. Jour. Min-*

- eral, 1: 595—598.
- Okay, A. I., Sengor, A. M. C., 1993. Tectonics of an ultrahigh-pressure metamorphic terrane; The Dabie Shan/Tongbai Shan orogen, China. *Tectonics*, 12: 1320—1334.
- Qiao, X. F., Gao, L. Z., Peng, Y., et al., 2001. Seismic event, sequence and tectonic significance in Early Cambrian Canglangpu Stage in paleo-Tancheng-Lujiang fault. *Science in China (Series D)*, 31(11): 911—918 (in Chinese).
- Shervais, J. W., 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59: 101—118.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., *Magmatism in the ocean basins. Geological Society Special Publication*, 42: 313—345.
- Tang, J. F., Xu, W., 2002. No huge strike slip in the southern sector of the Tancheng-Lujiang fault—Tectonic evidence from Anhui Province. *Geological Review*, 48(5): 449—456 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. L., Jiang, B., Cao, D. Y., et al., 1998. On the Xuzhou-Suzhou arcuate duplex-imbricate fan thrust system. *Acta Geologica Sinica*, 72(3): 228—236 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q. H., Xu, W. L., Wang, D. Y., et al., 2003. Composition and thermal state of Mesozoic deep crust in Xu-Huai area; Evidence from deep-seated xenoliths. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(4): 362—371 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, W. J., Zhou, Y. X., Yang, Z. Y., et al., 2000. Multiple rotation and amalgamation processes of Dabie-Tanlu-Sulu orogen. *Advance in Earth Science*, 15(2): 147—153 (in Chinese with English abstract).
- Xu, J. W., Zhu, G., 1994. Tectonic models of the Tan-Lu fault zone, eastern China. *International Geology Review*, 36: 771—784.
- Xu, W. L., Wang, D. Y., Wang, Q. H., et al., 2003. Petrology and geochemistry of two types of mantle-derived xenoliths in Mesozoic diorite from western Shandong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 623—636 (in Chinese with English abstract).
- Xu, W. L., Wang, Q. H., Liu, X. C., et al., 2004. Chronology and sources of Mesozoic intrusive complex in Xu-Huai region, central China: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb dating. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 96—106.
- Xu, W. L., Wang, D. Y., Liu, X. C., et al., 2002. Discovery of eclogite inclusions and its geological significance in early Jurassic intrusive complex in Xuzhou-northern Anhui, eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 47(14): 1212—1216.
- Yang, J. J., 1991. Eclogite and relevant ultrabasic rocks in Shandong Province and the northern part of Jiangsu Province in eastern part of the North China block. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yang, J. S., Xu, Z. Q., Wu, C. L., et al., 2002. SHRIMP U-Pb dating on coesite-bearing zircon: Evidence for Indosinian ultrahigh-pressure metamorphism in Su-Lu, East China. *Acta Geologica Sinica*, 76(3): 354—372 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Nie, S., 1993. An indentation model for the North China and the South China collision and the development of Tanlu and Honam fault system, eastern Asia. *Tectonics*, 12: 801—813.
- Zhang, K. J., 1997. North and South China collision along the eastern and Southern North China margins. *Tectonophysics*, 270: 145—156.
- Zhang, R. Y., Liu, J. G., Cong, B. L., 1995. Talc-, magnesite and Ti-clinohromite-bearing ultrahigh-pressure metamorphic and ultramafic complex in the Dabie Mountains. *J. Petrol.*, 36: 1011—1037.
- Zhao, G., Wilde, S. A., Cawood, P. A., et al., 2001. Archean blocks and their boundaries in the North China craton: Lithological, geochemical, structural and *P-T* path constraints and tectonic evolution. *Precambrian Res.*, 107: 45—73.

附中文参考文献

- 郭敬辉, 翟明国, 叶凯, 等, 2002. 胶东海阳所高压变质基性岩的岩石化学和地球化学. *中国科学(D辑)*, 32(5): 394—404.
- 黄小龙, 徐义刚, 刘敦一, 等, 2003. 安徽女山早元古代下地壳: 新生代碱性玄武岩中麻粒岩包体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄证据. *科学通报*, 48(10): 1082—1086.
- 李锦铭, 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式. *地质学报*, 75(1): 25—33.
- 李曙光, Hart, S. R., 郑双根, 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.
- 刘贻灿, 徐树桐, 李曙光, 等, 2000. 大别山北部榴辉岩的地球化学特征和 Sr, Nd 同位素组成及其大地构造意义. *中国科学(D辑)*, 30(增刊): 99—107.
- 罗振宽, 苗来成, 2002. 胶东招莱地区花岗岩和金矿床. 北京:

冶金工业出版社, 20—57.

乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等, 2001. 古郟庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义. 中国科学(D辑), 31(11): 911—918.

汤加富, 许卫, 2002. 郟庐断裂带南段并无巨大平移——来自安徽境内的证据. 地质论评, 48(5): 449—456.

王桂梁, 姜波, 曹代勇, 等, 1998. 徐州—宿州弧形双冲—叠瓦扇逆冲断层系统. 地质学报, 72(3): 228—236.

王清海, 许文良, 王冬艳, 等, 2003. 徐淮地区中生代深部地壳的物质组成及热状态——深源捕虏体证据. 大地构造与成矿, 27(4): 362—371.

肖文交, 周姚秀, 杨振宇, 等, 2000. 大别—郟庐—苏鲁造山带

复合旋转拼贴作用. 地球科学进展, 15(2): 147—153.

许文良, 王冬艳, 刘晓春, 等, 2002. 徐淮地区早侏罗世侵入杂岩体中榴辉岩类包体的发现及其地质意义. 科学通报, 47(8): 618—622.

许文良, 王冬艳, 王清海, 等, 2003. 鲁西中生代闪长岩中两类幔源捕虏体的岩石学和地球化学. 岩石学报, 19(4): 623—636.

杨建军, 1991. 中国东部山东和江苏北部的榴辉岩和有关的超基性岩. 北京: 地质出版社.

杨经纬, 徐志琴, 吴才来, 等, 2002. 含柯石英锆石的 SHRIMP U-Pb 定年: 胶东印支期超高压变质作用的证据. 地质学报, 76(3): 354—372.

《地球科学——中国地质大学学报》

2005 年 第 30 卷 第 5 期 要目预告

认识偏心率周期的地层古气候意义	李前裕等
冲绳海槽末次盛冰期孢粉组合的古环境指示意义	邓 韞等
白令海北部陆坡 10 万年来的古海洋学记录及海冰的扩张历史	王汝建等
印度尼西亚弗洛勒斯海 LGM 以来的古海洋学记录	丁 旋等
南海 ODP1148 站中新世(12~18 Ma)天文调谐的年代标尺	田 军等
西太平洋暖池区第四纪钙质超微化石氧碳同位素特征及意义	刘传联等
南海西南部晚更新世 500 ka 以来的古海洋学特征	郑 范等
济州岛西南泥质区粒度组分变化的古环境应用研究	向 荣等
东营凹陷盐—泥层构成及其特征	刘晓峰等
青岛胶州湾沉积物痕量元素黄铁矿化程度及其剖面类型	叶思源等
南海天然气水合物稳定带厚度及资源量估算	葛 倩等