第 10 卷 第 3 期 高 校 地 质 学 报 Vol. 10 No. 3
2004 年 9 月 Geological Journal of China Universities Sept. 2004

安徽铜陵岩浆岩中辉长质岩石包体的发现及其地质意义

杜杨松[1,2], 李铉具[3]

(1. 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 韩国忠南大学 自然科学学院, 大田 305-764)

摘 要: 在安徽铜陵白芒山、老庙基和小铜官山岩体中发现了 3 个辉长质岩石包体。报道了这些辉长质岩石包体及其寄主岩的岩相学观察以及矿物电子探针和全岩岩石化学、微量元素、稀土元素和锶钕同位素分析资料, 总结了辉长质岩石包体的特征, 讨论了它们的地质意义。该区辉长质岩石包体主要有两类。一类具"斑状"结构,"斑晶"主要是斜长石和角闪石。"基质"具微粒半自形 - 自形等粒状结构, 主要矿物成分为斜长石和角闪石; 另有少量黑云母, 有时还有少量辉石。另一类具辉长结构, 主要由辉石、斜长石、角闪石和黑云母组成。本区辉长质岩石包体低铝高镁和富碱, 其 Cr, Co 和 Ni 的含量明显偏高, 重稀土元素, 特别是钇相对富集, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为 0.706 3 到 0.706 9, $\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 - 4.9～- 8.8, 与大陆裂谷碱性玄武岩的特征一致, 表明本区此时属于拉张环境。研究还表明, 铜陵地区不具"斑状"结构的辉长质岩石包体是由底侵的碱性玄武岩浆在约 26 km 深处的深位岩浆房中直接冷凝结晶形成的。本区具"斑状"结构的辉长质岩石包体中的"斑晶"由闪长质岩浆在 8～13 km 深处的中位岩浆房中发生结晶分异作用形成, 而"基质"是在"斑晶"形成以后, 由深位岩浆房中的中基性演化岩浆上侵到中位岩浆房, 并围绕早期"斑晶"矿物结晶而形成。

关 键 词: 辉长质岩石包体; 拉张环境; 岩石成因; 安徽铜陵
中图分类号: P588.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-7493(2004)-03-332-11

幔源岩浆底侵作用是壳幔相互作用的重要机制, 而包体岩石学是研究幔源岩浆底侵作用的重要手段(周新民, 1998)。从已经发表的文献资料来看, 在利用包体岩石学方法研究幔源岩浆底侵作用方面, 前人的工作主要集中在玄武岩中的麻粒岩包体上, 而对中 - 酸性或中基性岩浆岩中的岩石包体, 特别是辉长质岩石包体涉及较少(周新民等, 2002)。

作者在本文中首次报道了采自安徽铜陵地区燕山期浅成侵入岩体的三个辉长质岩石包体的岩相学观察以及矿物电子探针和全岩岩石化学、微量元素、稀土元素和锶钕同位素分析资料, 并在综合对比分析辉长质岩石包体及其寄主岩相关资料的基础上, 总结了辉长质岩石包体的特征, 讨论了它们的地质意义。

1 地质背景和前人的研究

安徽铜陵地区地处长江中下游铜、铁、硫、金成矿带的中部。区内出露有大量中性和中酸性 – 酸性岩体 (图 1)。这些岩体大小多为 0.5～5 km^2, 在时间上和空间上与层控夕卡岩型的

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272034; 40133020); 教育部科学技术研究重点项目(03178)资助
第一作者简介: 杜杨松, 男, 1957 年生, 教授, 岩石学和矿床学专业。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

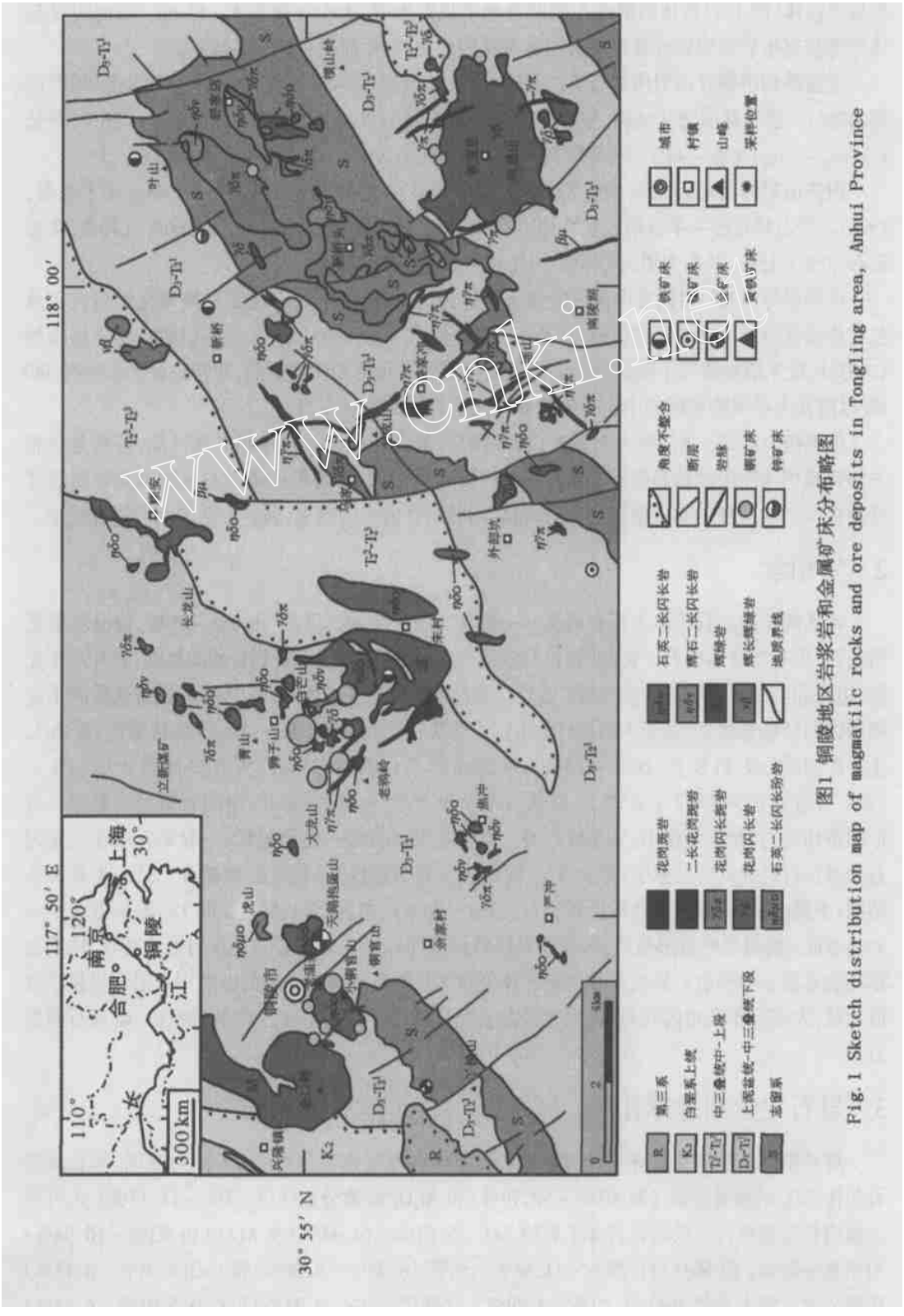


图1 铜陵地区岩浆岩和金属矿床分布略图

Fig. 1 Sketch distribution map of magmatic rocks and ore deposits in Tongling area, Anhui Province

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Cu - (Au)矿床密切相关。作者在其中的老庙基、小铜官山和白芒山岩体中采集到了 3 个辉长质岩石包体(图 1)。包体的形态为椭圆形和不规则形等,大小一般在 5～40 cm。有时可见包体尾部被寄主岩浆冲碎或被寄主岩细脉贯穿的现象,显示此类包体结晶较早。

老庙基和小铜官山岩体为石英二长闪长岩,其全岩 Ar - Ar 坪年龄都为 137.0 Ma(周泰禧等,1988)。岩石具似斑状结构,主要矿物成分为石英 11 %～14 %,条纹长石 24 %～26 %,斜长石(An_{32}～An_{47})46 %～48 %,透辉石 2 %～3 %和角闪石 8 %～10 %,另有少量黑云母。

白芒山岩体为辉石二长闪长岩,其黑云母 Ar - Ar 坪年龄为 136.6 ±1.1 Ma(吴才来等,1996)。岩石具自形 - 半自形粒状结构,主要矿物成分为斜长石(An_{43}～An_{52})60 %～70 %,次透辉石 10 %～15 %,其次为黑云母 3 %～4 %和钾长石 3 %～5 %。

杨学明等(1988)对铜官山矿区的侵入岩体进行了矿物学、岩石化学和地球化学研究以及包裹体温度测量。邢凤鸣等(1995;1996;1997)、吴才来等(1997)、唐永成等(1998)和杜杨松等(2003)比较系统地研究了铜陵地区的岩浆岩及其岩石包体和矿物巨晶,初步论证了大约在 140 Ma 以前发生在铜陵地区的中生代幔源碱性玄武岩浆的底侵作用。

值得指出的是,虽然前人对铜官山矿区的岩浆岩及其岩石包体和矿物巨晶,特别是对相关的壳幔相互作用过程都进行了比较深入的研究,但对本区的辉长质岩石包体及其地质意义涉及很少。本文将主要依据新获得的资料,同时结合前人的成果,就这方面的问题展开讨论。

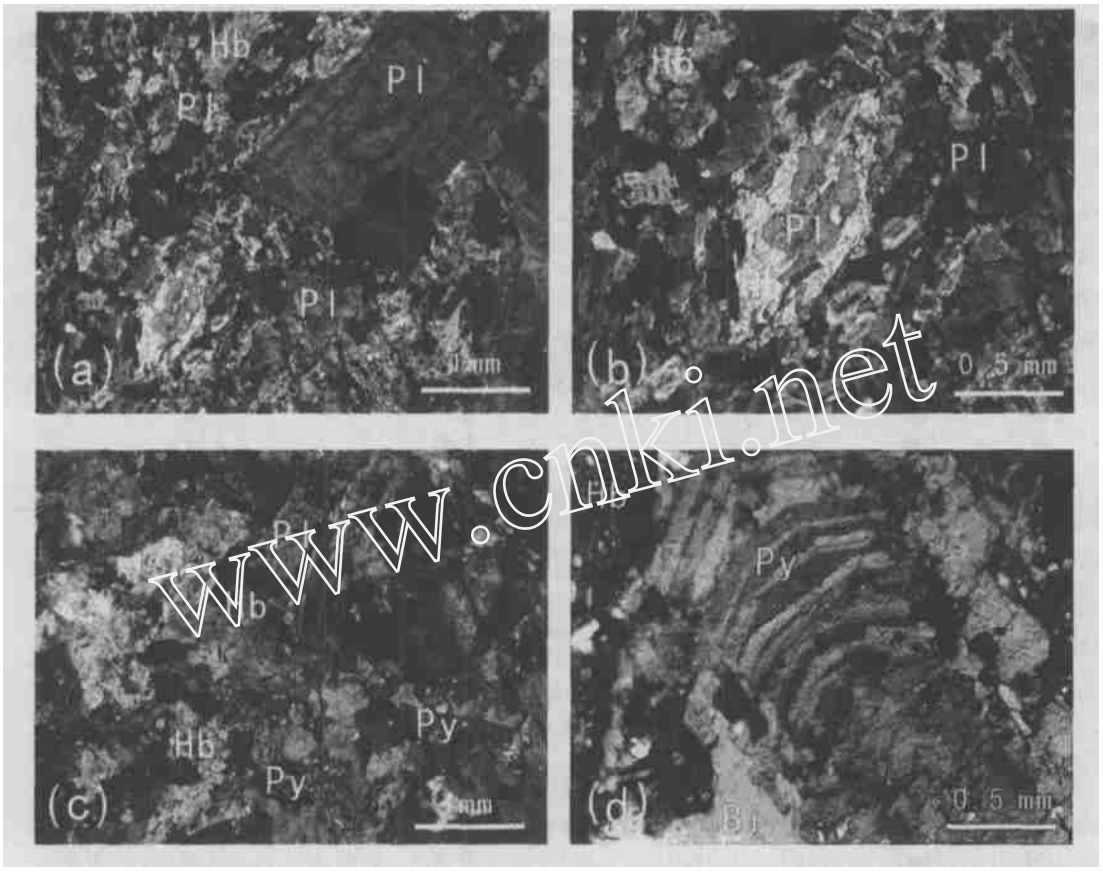
2 岩相学

本区辉长质岩石包体主要有两类。一类具“斑状”结构,“斑晶”占 8 %～20 %,成分主要是斜长石,另有少量角闪石,“斑晶”斜长石多呈半自形板柱状,由于受到基质的影响,其外形不完整,边缘和内部有较明显的蚀变(图 2a)。“斑晶”角闪石多呈菱形,因内外都受到基质的不规则熔蚀而呈骸骨状,但蚀变不明显(图 2b)。“基质”具微粒半自形—自形等粒状结构(图 2c),主要矿物成分为斜长石(60 %～65 %),次为角闪石(30 %～35 %),另有少量黑云母(2 %～3 %),有时还有少量辉石(< 5 %)。斜长石常呈半自形—自形板条状,角闪石常呈半自形—自形细条柱状,其粒度变化小,分布较均匀。辉石常呈半自形—他形粒状,一般都充填在由角闪石和斜长石组合成的空隙中(照片 3)。副矿物一般为磁铁矿、磷灰石和榍石。另一类具辉长结构,主要由辉石(42 %～45 %)、斜长石(21 %～25 %)、角闪石(18 %～20 %)和黑云母(2 %～3 %)组成。辉石呈半自形短柱状,有的具环带构造(图 2d)。角闪石常呈半自形长柱状,四周大都环绕有黑云母窄边。斜长石常呈集合体分布于角闪石和辉石形成的空隙中。黑云母呈半自形片状,大多分布在角闪石周围,也有散布于辉石之间者。副矿物主要是黄铁矿、磷灰石和榍石。

3 岩石化学和地球化学

辉长质岩石包体及其寄主岩的全岩岩石化学和地球化学分析结果(表 1)表明,辉长质岩石包体 SiO_2 的质量分数(52.03 %～52.79 %)和 Al_2O_3 质量分数(13.12 %～13.13 %)比石英二长闪长岩和辉石二长闪长岩寄主岩的 SiO_2(55.81 %～64.44 %)及 Al_2O_3(16.43 %～16.94 %)的质量分数低,但 MgO(11.28 %～11.66 %)、全铁(8.95 %～9.26 %)和 CaO(6.98 %～8.13 %)质量分数比寄主岩的 MgO(1.52 %～3.29 %)、全铁(2.77 %～8.24 %)和 CaO(5.01 %～6.25 %)的高,反映辉长质岩石包体与其寄主岩相比成分偏基性。辉长质岩石包体的稀土总量为

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



www.cnki.net

(a) 具"斑状"结构的辉长质岩石中明显蚀变的"斑晶"斜长石,老庙基,正交偏光 (Evidently altered plagioclase phenocryst in gabbroic rock with "porphyritic" texture. Laomiaoji, crossed polars); **(b)** 具"斑状"结构的辉长质岩石中没有明显蚀变的骸骨状"斑晶"角闪石,老庙基,正交偏光 (Skeletal hornblende phenocryst with no evident alteration in gabbroic rock with "porphyritic" texture. Laomiaoji, crossed polars); **(c)** 具"斑状"结构的辉长质岩石中具微粒半自形 - 自形等粒状结构的"基质",小铜官山,正交偏光 (Fine-grained, subhedral to euhedral "matrix" in gabbroic rock with "porphyritic" texture. Xiaotongguanshan, crossed polars); **(d)** 不具"斑状"结构的辉长质岩石中具环带构造的辉石,白芒山,正交偏光 (Pyroxene with zonal structure in gabbroic rock with no "porphyritic" texture. Baimangshan, crossed polars).

图 2　铜陵地区辉长质岩石包体的显微照片

Fig. 2 Photographs illustrating the petrographic characteristics of gabbroic xenoliths in Tongling, Anhui Province

178.43～181.71 μg/g,轻重稀土比值为 3.87～4.15,δEu 值为 1.63～1.66,而 Cr,Co 和 Ni 的含量分别为 169.9～186.9 μg/g,19.2 μg/g 和 299.4～356.7 μg/g,Nb 和 Zr 的含量分别为 6.9～7.4 μg/g 和 20.6～27.5 μg/g。与此形成对照的是,石英二长闪长岩和辉石二长闪长岩寄主岩的稀土总量为 149.81～166.09 μg/g,轻重稀土比值为 4.43～5.94,δEu 值为 0.76～0.87,Cr,Co 和 Ni 的含量分别为 22.0～30.0 μg/g,6.4～14.5 μg/g 和 160.9～438.2 μg/g,Nb 和 Zr 的含量分别为 11.1～11.3 μg/g 和 21.1～34.1 μg/g。同时,辉长质岩石包体的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为 0.7063 到 0.7069,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 - 4.9～ - 8.8,而石英二长闪长岩和辉石二长闪长岩寄主岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为 0.7070～0.7076,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 - 7.9～ - 11.9,表明辉长质岩石包体与其寄主岩相比较富地幔组分。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 全岩主元素 (ω_B/ %) 和微量元素 (μg/ g) 以及锶钕同位素分析数据

Table 1 Whole-rock analyses of major (ω_B/ %) and trace elements (μg/ g) and strontium and neodymium isotopes

样品号	XLMJ1	HLMJ2	HLMJZK	XXTGS3	HXTGS4	HXTGS1	HBMS6	HBMSAC21
岩石类型	辉长质岩石包体	石英二长闪长岩主岩	石英二长闪长岩主岩	辉长质岩石包体	石英二长闪长岩主岩	石英二长闪长岩主岩	辉石二长闪长岩主岩	辉石二长闪长岩主岩
ω_B/ %								
SiO_2	52.79	63.15		52.03	64.44		55.81	
TiO_2	0.99	0.61		1.09	0.61		1.16	
Al_2O_3	13.12	16.94		13.13	16.43		16.74	
Fe_2O_3	9.26	4.07		8.95	2.77		8.24	
FeO								
MnO	0.15	0.09		0.18	0.16		0.16	
MgO	11.66	1.52		11.28	1.90		3.29	
CaO	6.98	5.01		8.13	5.90		6.25	
Na_2O	3.90	5.10		3.94	5.01		4.30	
K_2O	1.60	2.74		1.87	1.66		2.85	
P_2O_5	0.36	0.33		0.36	0.30		0.43	
Sum	100.81	99.56		100.96	99.18		99.23	
μg/ g								
Cr	169.9	24.8		186.9	30.0		22.0	
Co	19.2	8.7		19.2	6.4		14.5	
Ni	356.7	221.3		299.4	160.9		438.2	
Nb	7.423	11.1		6.898	11.1		11.3	
Zr	27.5	21.1		20.6	21.5		34.1	
Cu	50.0	64.2		101.6	75.4		82.1	
Rb	50.12	53.73	13.97	74.83	35.12	69.81	63.09	71.80
Sr	904.80	1 228.32	547	682.20	1 033.94	1 142	868.173	1 102
La	30.35	30.44		30.39	24.91		27.91	
Ce	61.85	60.15		59.65	54.41		55.58	
Pr	7.36	7.31		6.93	6.39		6.55	
Nd	38.17	36.53	18.31	36.12	33.76	25.13	34.27	37.97
Sm	5.68	6.04	3.69	5.68	5.68	4.22	5.82	7.05
Eu	3.02	1.70		3.01	1.40		1.55	
Gd	5.37	5.89		5.61	5.45		6.03	
Tb	0.63	0.55		0.65	0.49		0.62	
Dy	2.80	2.76		2.98	2.70		3.51	
Y	22.92	11.75		23.56	11.78		15.55	
Ho	0.52	0.43		0.56	0.40		0.53	
Er	1.47	1.33		1.58	1.24		1.75	
Tm	0.19	0.15		0.20	0.14		0.20	
Yb	1.21	0.96		1.32	0.94		1.33	
Lu	0.17	0.13		0.19	0.13		0.19	
ΣREE	181.71	166.09		178.43	149.81		161.39	
ΣLREE / ΣHREE	4.15	5.94		3.87	5.44		4.43	
δ Eu	1.66	0.87		1.63	0.76		0.80	
Rb/ Sr	0.055 4		0.025 5	0.109 7		0.061 1		0.065 2
$^{87}Rb/^{86}Sr$	0.160 0		0.074 0	0.316 6		0.176 9		0.187 86
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0.707 214 ± 18		0.707 714 ± 11	0.707 053 ± 14		0.707 54 ±4		0.707 41 ±2
Age (Ma)	140		137	140		137		137
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$	0.706 9		0.707 6	0.706 3		0.707 2		0.707 0
Sm/ Nd	0.192 7		0.201 5	0.201 9		0.167 7		0.185 7
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0.116 6		0.121 9	0.122 1		0.101 4		0.112 2
$^{143}Nd/^{144}Nd$	0.512 109 ± 12		0.511 960 ±7	0.512 316 ±8		0.511 941 ± 13		0.512 156 ±14
$\varepsilon_{Nd}(t)$	- 8.8		- 11.9	- 4.9		- 11.9		- 7.9
资料来源	秦新龙, 2001 *	秦新龙, 2001 *	唐永成等, 1998	秦新龙, 2001 *	秦新龙, 2001 *	唐永成等, 1998	秦新龙, 2001 *	唐永成等, 1998

* 中国地质大学(北京)硕士研究生学位论文

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　矿物化学和平衡温压估算

利用中国地质大学(北京) Superprobe 733 型电子探针分析仪,在加速电位 15 kV,样品电流 0.02 mA 的实验条件下,对各类岩石包体及其寄主岩中的钾长石、斜长石、黑云母、角闪石和辉石的成分进行了分析(表 2)。各元素的标样均采用天然矿物。黑云母、辉石和角闪石的阳离子系数分别按阳离子总数为 16,氧为 6 和氧为 23 求出,其三价铁则分别按电价差值法(郑巧荣,1984)以及平均电价差法(叶慧文,1992)求出。

表 2　矿物电子探针分析结果

Table 2　Electron-microprobe mineral analyses

样品号	XBMS6				HBMS6				XLMJ1			
矿物相	辉石	角闪石	斜长石	黑云母	辉石	斜长石	黑云母	钾长石	角闪石“斑晶”*	斜长石“斑晶”*	角闪石“基质”	斜长石“基质”
ω_B/ %												
SiO_2	50.46	39.86	56.21	35.21	52.61	55.94	34.18	65.48	43.00	63.08	45.94	55.43
TiO_2	1.01	3.37	0.07	6.69	0.12	0.12	6.43	0.00	2.09	0.00	1.66	0.13
Al_2O_3	3.42	13.09	27.27	12.83	0.55	26.82	12.10	18.96	8.11	23.38	6.41	27.93
FeO *	7.67	11.87	0.30	17.54	9.24	0.46	21.97	0.38	18.71	0.27	15.78	0.38
MnO	0.00	0.23	0.17	0.13	0.58	0.00	0.24	0.00	0.58	0.00	0.17	0.00
MgO	14.29	13.82	0.00	13.40	13.78	0.09	11.15	0.00	11.78	0.00	13.69	0.00
CaO	23.2	12.65	10.85	0.12	23.29	10.24	0.15	0.07	11.15	5.65	11.80	11.45
Na_2O	0.50	2.44	5.22	0.31	0.56	5.46	0.25	0.96	1.41	6.82	1.41	4.86
K_2O	0.00	1.46	0.28	9.22	0.02	0.50	9.20	14.31	1.04	0.62	0.49	0.16
Sum	100.55	98.79	100.37	95.45	100.75	99.63	95.67	100.16	97.87	99.82	97.35	100.34
t_{HB}/ ℃		1049									910	
p_S/ kb		7.8							3.9		2.4	
D/ km		25.8							13		7.9	

样品号	HLMJ3				XXTGS3					HXTGS4		
矿物相	角闪石	斜长石	黑云母	钾长石	辉石	角闪石	斜长石	黑云母	斜长石“斑晶”*	钾长石	角闪石	斜长石
ω_B/ %												
SiO_2	48.73	60.77	34.22	63.64	51.00	45.46	56.19	36.57	61.35	63.71	49.15	59.99
TiO_2	1.22	0.06	5.47	0.96	0.19	1.88	0.14	4.78	0.06	0.48	1.10	0.00
Al_2O_3	5.17	23.77	12.38	18.68	0.27	7.00	27.65	12.03	24.00	18.17	4.76	24.71
FeO *	14.04	0.22	22.07	0.34	14.11	15.15	0.26	18.40	0.41	0.00	14.65	0.17
MnO	0.27	0.00	0.24	0.02	0.52	0.21	0.00	0.24	0.00	0.07	0.43	0.13
MgO	14.55	0.00	12.29	0.00	10.66	13.77	0.33	13.89	0.11	0.19	15.09	0.00
CaO	11.87	5.88	0.12	0.10	22.29	11.39	10.22	0.00	5.80	0.05	11.72	7.06
Na_2O	1.44	7.88	0.11	1.61	0.48	1.63	5.32	0.06	7.43	0.44	1.39	6.98
K_2O	0.58	0.61	9.08	14.94	0.00	0.82	0.26	9.79	0.40	16.95	0.52	0.55
Sum	97.87	99.19	95.98	100.29	99.52	97.31	100.37	95.76	99.56	100.06	98.81	99.59
t_{HB}/ ℃	937					933					998	
p_S/ kb	1.3					2.9					0.8	
D/ km	4.2					9.5					2.7	

XBMS6,白芒山辉长质岩石包体; XLMJ1,老庙基辉长质岩石包体; XXTGS3,小铜官山辉长质岩石包体; HBMS6,白芒山辉石二长闪长岩主岩; HLMJ3,老庙基石英二长闪长岩主岩; HXTGS4,小铜官山石英二长闪长岩主岩; t_{HB},角闪石-斜长石地质温度计(Holland & Blundy,1994); p_S,角闪石铝压力计(Schmidt,1992); D,深度(p_S * 3.3); * 明显蚀变

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

本区辉长质岩石包体及其寄主岩中的斜长石多为拉长石和更 - 中长石。其中,辉石二长闪长岩主岩中的斜长石为中长石(An_{49}),石英二长闪长岩主岩中的斜长石为更 - 中长石(An_{28}～An_{35});辉长质岩石包体中的"基质"斜长石都为拉长石(An_{51}～An_{56}),"斑晶"由于较强烈蚀变成分都已变为更 - 中长石(An_{29}～An_{31})。

本区辉长质岩石包体及其寄主岩中的黑云母均富镁,为镁质黑云母,但辉长质岩石包体中的黑云母(MgO 质量分数为 13.40 %～13.89 %)较其寄主岩中的黑云母富镁(MgO 质量分数为 11.15 %～12.29 %);辉石都富镁(10.66 %～14.29 %)、富钙(22.29 %～23.29 %),为次透辉石。角闪石都富钙(11.15 %～12.65 %)而贫碱(1.90 %～3.90 %),属钙闪石组。根据国际矿物学学会新矿物及矿物命名委员会角闪石专业委员会批准的角闪石命名法(Leake et al, 1997),这些角闪石大多属韭闪石和镁绿钙闪石,只有一个样品为镁角闪石。

利用 Schmidt(1992)角闪石中的铝压力计和 Holland 等(1994)角闪石 - 斜长石地质温度计等方法,对本区辉长质岩石包体及其寄主岩形成的 p-t 条件进行了估算,结果如表 2 所列。从表列资料可以看出,本区辉长质岩石包体中矿物形成的温压条件可分 3 种情况:(1) 不具"斑状"结构的包体(XBMS6)矿物形成温度为 1049 ℃,压力为 7.8 kPa,相当于约 26 km 深;(2) 具"斑状"结构的包体(XLMJ1 和 XXTGS3)基质矿物的形成温度为 910～933 ℃,压力为 2.4～2.9 kPa,相当于 8～10 km 深;(3) 考虑到具"斑状"结构的包体(XLMJ1)"斑晶"斜长石已强烈蚀变,但"斑晶"角闪石蚀变很弱,因此仅用"斑晶"角闪石进行矿物形成压力的估算,得到的结果是矿物的形成压力为 3.9 kPa,相当于约 13 km 深。石英二长闪长岩主岩矿物结晶的温度约为 710～840 ℃,压力为 1.3～0.8 kPa,相当于 3～4 km 深。

5 讨论和结论

区域重力资料显示,安徽沿江地区的鼻状地幔隆起带相对于其南北两侧山区的地幔沉降带向上抬升了 3～5 km,而区域地质构造演化研究以及地壳隆升和沉降过程分析结果表明,这一鼻状地幔隆起带在中生代就已经形成了(唐永成等,1998)。

吕庆田等(2003)在安徽沿江地区获得的深地震反射剖面资料显示,安徽沿江地区在伸展构造环境下于晚中生代发生过强烈而复杂的多层次岩浆底侵作用。同时,从地球物理和区域地质资料(陈沪生,1988;吕庆田等,2003)来看,安徽沿江地区的莫霍面最大深度为 32 km 左右,最小深度为 30～31 km。唐永成等(1998)对铜陵地区鸡冠石岩体(相近岩体黑云母的 Ar-Ar 年龄为 139.8 ±0.8 Ma,吴才来等,1996)中的角闪石岩和辉石岩(可能就是角闪石堆积晶和辉石堆积岩)等岩石包体进行了锶同位素分析,获得的样品 Rb-Sr 等时线年龄约为 140 Ma,锶同位素初始比值为 0.706 7～0.706 9。

与消减带玄武岩(McCulloch and Gamble, 1991)和浙闽沿海辉长岩岩石包体(周新民等,2002)的特征明显不同,本区辉长质岩石包体显然是低铝(Al_2O_3 的质量分数为 13.12 %～13.13 %)高镁(MgO 为 11.28 %～11.66 %)和富碱($K_2O + Na_2O$ 为 5.50 %～5.81 %),其 Cr、Co 和 Ni 的含量明显偏高(分别为 169.9～186.9 μg/g,19.2 μg/g 和 299.4～356.7 μg/g),重稀土元素,特别是钇相对富集(轻重稀土比值为 4.43～5.94,Y 的含量为 22.92～23.56 μg/g),($^{87}Sr/^{86}Sr$)i 为0.706 3到 0.706 9,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 - 4.9～ - 8.8,与宁芜地区姑山辉长岩和蝌蚪山玄武岩(唐永成等,1998)一致,反映出大陆裂谷碱性玄武岩的特征(Spath et al, 2001),说明本区此时属于拉张环境。另一方面,辉长质岩石包体的稀土总量偏高(178.43～181.71 μg/g),铕正异常明显

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(δEu 值为1.63～1.66) ,可能与其主要由角闪石,特别是基性斜长石(其中尚混有一些更 - 中长石"斑晶")有关。

本区不具"斑状"结构的辉长质岩石包体(XBMS6)矿物的形成温度约为 1049 ℃,相应的深度约为 26 km,对应于下地壳硅镁层中下部的深部岩浆房。同时,具"斑状"结构的辉长质岩石包体(XLMJ1)"斑晶"矿物的形成深度约为 13 km,而具"斑状"结构的辉长质岩石包体(XLMJ1 和 XXTGS3)"基质"矿物的形成温度为 910～933 ℃,相应的深度为 8～10 km,对应于中地壳深变质岩系和浅变质岩系交界处的浅位岩浆房。此外,本区的石英二长岩主岩矿物的形成温度为 937～998 ℃,深度为 3～4 km,对应于寄主岩浆的最终侵位区。

对前述资料进行综合分析,可以认为三叠纪时扬子和华北陆块间的陆 - 陆碰撞及后期的大陆伸展,使区域构造体制从早期(T_2 - T_3)挤压经中期松弛(J_1 - J_2)转换为后期(J_3 - K_1)拉张和断陷(李曙光,1992) ,引发区域碱性玄武岩浆活动。碱性玄武岩浆起源于上地幔(深度达到 42～48 km,Du et al , 2004) ,大约在 140 Ma 之前底侵到约 26 km 深处的下地壳硅镁层中,构成深位岩浆房。本区不具"斑状"结构的辉长质岩石包体(XBMS6)应是由这种碱性玄武岩浆直接冷凝结晶形成的。此后,底侵的碱性玄武岩浆与下地壳硅镁层发生同化混染作用,形成中基性的演化岩浆。这种中基性岩浆一方面在深位岩浆房中发生结晶分异作用,形成辉石巨晶和角闪石巨晶及其堆积晶(唐永成等,1998;杜杨松等,2004;Du et al , 2004) ,另一方面又可以因构造脉动而上升,在 8～13 km 深处积聚,并与中地壳的变质岩系(陈沪生,1988)发生同化混染作用,形成浅位中性岩浆房。本区具"斑状"结构的辉长质岩石包体(XLMJ1 和 XXTGS3)中的"斑晶"矿物,应是由中位岩浆房中的闪长质岩浆发生结晶分异作用形成的,而"基质"是在中位岩浆房中的"斑晶"矿物形成以后,由深位岩浆房中的中基性演化岩浆上侵到中地壳,并围绕早期"斑晶"矿物结晶而形成的。

综上所述,可以得到以下结论:

(1) 与消减带玄武岩和浙闽沿海辉长岩岩石包体的特征明显不同,本区辉长质岩石包体与宁芜地区姑山辉长岩和蝌蚪山玄武岩一致,反映出大陆裂谷碱性玄武岩的特征,说明本区此时属于拉张环境。

(2) 铜陵地区不具"斑状"结构的辉长质岩石包体是由底侵的碱性玄武岩浆在约 26 km 深处的深位岩浆房中直接冷凝结晶形成的。本区具"斑状"结构的辉长质岩石包体中的"斑晶"是由闪长质岩浆在 8～13 km 深处的中位岩浆房中发生结晶分异作用形成的,而"基质"是在"斑晶"形成以后,由深位岩浆房中的中基性演化岩浆上侵到中位岩浆房,并围绕早期"斑晶"矿物结晶而形成的。

致　谢: 野外工作期间,储国正博士以及张成火和刘光华高级工程师提供了大力支持。博士生秦新龙以及硕士生刘金辉、窦金龙和郭熙凤参加了部分野外调研和室内分析工作。论文成文期间,王德滋院士、周新民教授、莫宣学教授和樊祺诚研究员给予了热情指导。在此一并致谢!

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献:

陈沪生. 1988. 扬子准地台下扬子盆地 HQ-13 线地球物理 - 地质解释纲要. 见:陈沪生主编. 中国南方油气勘查新领域探索论文集(第二辑). 北京:地质出版社.

杜杨松,刘金辉,秦新龙,等. 2003. 岩浆底侵作用研究进展. 自然科学进展,13 (3):237-242.

杜杨松,秦新龙,田世洪. 2004. 安徽铜陵铜官山矿区中生代岩浆 - 热液过程:来自岩石包体及其寄主岩的证据. 岩石学报,20(2):339-350.

李曙光. 1992. 论华北与扬子陆块的碰撞时代 - 同位素年代学方法的原理及应用. 安徽地质,2(4):13-23.

吕庆田,侯增谦,赵金花,等. 2003. 深地震反射剖面揭示的铜陵矿集区复杂地壳结构形态. 中国科学(D 辑),33(5):442-449.

唐永成,吴言昌,储国正,等. 1998. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质. 北京:地质出版社.

吴才来,周珣若,黄许陈,等. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究. 岩石矿物学杂志,15(4):299-306.

吴才来,周珣若,黄许陈,等. 1997. 铜陵地区中酸性侵入岩的包体岩石学研究. 地球学报,18(2):182-191.

邢凤鸣,徐祥. 1995. 安徽沿江地区中生代岩浆岩的基本特点. 岩石学报,11(4):409-422.

邢凤鸣,徐祥. 1996. 铜陵地区高钾钙碱系列侵入岩. 地球化学,25(1):29-38.

邢凤鸣,赵斌,徐祥,等. 1997. 安徽省铜陵地区侵入岩成因的实验研究. 中国区域地质,16(3):267-274.

杨学明,林文通. 1988. 铜官山火成杂岩体成岩机理研究. 地质论评,34(1):25-35.

叶慧文. 1992. 角闪石族矿物探针分析值中 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的配分研究. 见:张贻侠,卢良兆,阎鸿铨,等主编. 长春地质学院地质研究所文集. 北京:地震出版社. 63-74.

郑巧荣. 1984. 由电子探针分析值计算 Fe^{3+} 与 Fe^{2+}. 矿物学报,(1):55-62.

周泰禧,陈江峰,李学明. 1988. 安徽省印支期岩浆活动质疑. 岩石学报,3:46-53.

周新民. 1998. 岩浆混合作用与底侵作用. 见:欧阳自远主编. 世纪之交矿物学岩石学地球化学的回顾与展望. 北京:原子能出版社. 82-85.

周新民,李武显,徐夕生,2002. 浙闽沿海晚中生代钙碱性岩浆作用. 见:王德滋,周新民等. 中国东南部晚中生代花岗质火山 - 侵入杂岩成因与地壳演化. 北京:科学出版社. 74-92.

References:

Chen Husheng. **1988.** Outline of comprehensive demonstration for geophysical and geological data from HQ-13 line in the Lower Yangtz Basin, Yangtz Metaplatform. In: Chen Husheng, ed. No. 2 Proceedings of Exploring in New Fields of gas and Oil Surveying in South China. Beijing: Geologic Publishing House. 65-73 (in Chinese).

Du Yangsong, Liu Jinhui, Qin Xinlong, et al. **2003.** Progresses in magmatic underplating research. Progress in Natural Science, 13: 237-242 (in Chinese).

Du Yangsong, Qin Xinlong, Tian Shihong. **2004.** Mesozoic magmatic to hydrothermal processs in the Tongguanshan ore field, Tongling, Anhui Province, China: evidence from xenoliths and their hosts. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 339-350 (in Chinese with English abstract).

Du Yangsong, Lee Hyunkoo & Qin Xinlong. **2004.** Underplating of Mesozoic mantle-derived magmas in Tongling, Anhui Province: evidence from megacrysts and xenoliths. Acta Geologica Sinica, 78(1): 131-136.

Holland T J B, Blundy J D. **1994.** Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase geothermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, 433-447.

Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, et al. **1997.** Nomenclature of amphibole. The Canadian Mineralogist, 35: 219-246.

Li Shuguang. **1992.** On the time of collision between North China and Yangtze landmasses —Principal and application of isotope chronological methods. Geology in Anhui, 2(4): 13-23 (in Chinese).

Lü Qingtian, Hou Zengqian, Zhao Jinhua, et al. **2003.** Deep seismic reflection profiling reveals complex crustal structure of Tongling ore district. Science in China (Series D) 33(5): 442-449 (in Chinese).

McCulloch M T, Gamble T A. **1991.** Geochemical and geodynamic constrains on subduction zone magmatism. Earth planet. Sci. Lett., 102: 358-374.

Schmidt M W. **1992.** Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 110: 304-310.

Spath A, Le-Roex A P, Opiyo A N. **2001.** Plume-lithosphere interaction and the origin of continental rift-related alkaline volcanism; the Chyulu Hills volcanic province, southern Kenya, Journal of Petrology. 42: (4): 765-787.

Tang Yongcheng, Wu Yanchang, Chu Guozheng, et al. **1998.** Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits along the Yangtz River, Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House, 1-351 (in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, et al. **1996.** $^{40}Ar/^{39}Ar$ chronology of intrusive rocks from Tongling. Acta Petrologica et Mineralogica, 15(4): 299-306 (in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, et al. **1997.** Enclave petrology of intermediate-acidic intrusive rocks in Tongling district, Anhui. Acta Geoscientia Sinica, 18(2): 182-191 (in Chinese with English abstract).

Xing Fengming, Xu Xiang. **1995.** Cumulus-quenched inclusions in the Jiguanshan pluton of Tongling, Anhui Province. Acta Petrologica et Mineralogica, 14: 229-248 (in Chinese with English abstract).

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Xing Fengming, Xu Xiang. **1996.** High-potassium calc-alkaline intrusive rocks in Tongling area, Anhui Province. Geochimica, 25(1): 29-38 (in Chinese with English abstract).

Xing Fengming, Zhao Bin, Xu Xiang, et al. **1997.** Experimental study on the genesis of intrusive rocks in the Tongling area, Anhui. Regional Geology, 16(3): 267-274 (in Chinese with English abstract).

Yang Xueming, Lin Wentong. **1988.** Research on the petrogenic mechanism of the Tongguanshan igneous complex, Anhui Province. Geology Review, 34: 26-35 (in Chinese with English abstract).

Ye Huiwen. **1992.** Calculation of Fe^{3+} and Fe^{2+} in amphiboles. In: Zhang Yixia, Lu Liangzhao, Yan Hongquan and Xu Xuechun, eds). Collected Works of Institute of Geology, Changchun College of Geology. Beijing: Seismic Publishing House. 63-74 (in Chinese with English abstract).

Zheng Qiaorong. **1984.** Calculation of Fe^{3+} and Fe^{2+} from electronprobe analyzing data. Acta Mineralogica Sinica, 4(1): 55-62 (in Chinese with English abstract).

Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Li Xueming. **1988.** Queries on the Indo-Sinian magmatic activity in Anhui Province. Acta Petrologica Sinica, 4: 46-53 (in Chinese with English abstract).

Zhou Xinmin. **1998.** Magmatic mixing and underplating. In Ouyang Ziyuan (ed). Reviews and Prospects for Progresses in Mineralogy, Petrology and Geochemistry in the Two Centuries Alternating Period. Beijing: Atomic Energy Press, 82-85 (in Chinese).

Zhou Xinmin, Li Wuxian, Xu Xisheng. **2002.** Late Mesozoic calc-alkaline magmatic activities in the coastal area of Zhejiang and Fujian Provinces. In: Wang Dezi, Zhou Xinmin, et al, eds. Petrogenesis of Late Mesozoic Granitoid Volcanic-Intrusive Complexes and Crustal Evolution in South China. Beijing: Science Press, 74-92 (in Chinese).

Discovery of Gabbroic Xenoliths from Early Cretaceous Intrusions in Tongling, Anhui Province, China and Its Geological Significance

DU Yang-song[1,2], LEE Hyun-koo[3]

(1. *Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobe Prospecting, Ministry of Education, Beijing* 100083, *China*;
2. *China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*;
3. *College of Natural Sciences, Chungnam National University, Taejon* 305-764, *Korea*)

Abstract: Three gabbroic xenoliths have been found for the first time from Early Cretaceous intrusions of quartz monzonitic dioritic to pyroxene monzonitic dioritic composition in Tongling, Anhui Province, China. This paper presents new petrographic observations and microprobe analyses, as well as petrochemical and geochemical analyses on the xenoliths and their hosts, and provides new insight into their formation process and tectonic setting. Two types of gabbroic xenoliths have been identified in these intrusions based on their texture: one with "porphyritic" texture, and the other with gabbro texture. The gabbroic xenoliths are lower in $\omega(Al_2O_3)$ (13.12 %～13.13 %), but higher in $\omega(MgO)$ (11.28 %～11.66 %) and alkali $\omega(K_2O + Na_2O = 5.50\%～5.81\%)$. They are rich in Cr (169.9～186.9 μg/g), Co (19.2 μg/g) and Ni (299.4～356.7 μg/g), and have smaller LREE to HREE ratios (4.43～5.94) with enrichment in Y (22.92～23.56 μg/g). Their initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios range from 0.706 3 to 0.706 9, with epsilon Nd (t) = -4.9～-8.8. These data indicate that the gabbroic xenoliths have characteristics consistent with those of alkaline basalt formed in continental rift, and support extension in the regional tectonic regime during their formation. The crystallization temperatures of the minerals in the xenoliths with gabbro texture and the "matrix" in the xenoliths with "porphyritic" texture were determined in the range of 1049 ℃ and 910～933 ℃, respectively, using the amphibole-plagioclase and Al-in-amphibole geothermometers. The pressures determined based on electron microprobe analyses of these phases

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

and the "phenocryst" in the xenoliths with "porphyritic" texture indicate that they were formed at the depths of 26 km, 8～10 km, and 13 km. These temperatures and depths represent the conditions of magmatic crystallization corresponding to a deep-level magma chamber and a shallow-level magma chamber, respectively. The depth of the deep-level magma chamber is correlated to the depth of the lower sima crust of the lithosphere, and the depth of the shallow-level magma chamber is at the depth between the Archean Group—Lower Proterozoic Series of hypometamorphic rocks and the Middle-Upper Proterozoic Series of epimetamorphic rocks. Based on the facts mentioned above, it may be inferred that a continent-continent collision between the Yangtz and North China Cratons in the Triassic followed by a continental extension led to the transformation of the regional tectonic regime from early (T_2 - T_3) compression to late (J_3 - K_1) extension and fault depression, and resulted in a regional magma activity of alkaline basalts. The alkaline basaltic magma was derived from upper mantle, and underplated at the depth of 26km ± at about 140Ma. After this, crystallization of the underplated alkaline basaltic magma attributed to the formation of the xenoliths with gabbro texture in the deep-level magma chamber at the depth of 26km ±. The relevant Sr and Nd isotope results and petrological and mineralogical data are consistent with assimilation of the underplated alkaline basaltic magma with the lower sima crust in the formation of the derived magma with gabbroic composition in the deep-level magma chamber, and support formation of the magma with dioritic composition in the shallow-level magma chamber at the depth of 8～13 km by assimilation of the derived magma from the deep-level magma chamber with the metamorphic rocks. Crystallization fractionation of the dioritic magma in the shallow-level magma chamber was responsible for formation of the "phenocrysts" in the xenoliths with "porphyritic" texture, and crystallization of the derived magma intruding from the deep-level magma chamber into the shallow-level magma chamber resulted in formation of the "matrix" around the earlier "phenocrysts" in the xenoliths with "porphyritic" texture.

Key words: Gabbroic xenoliths; regional tectonic regime; petrogenesis; Tongling in Anhui Province

(**收稿日期**:2004-05-01; **收修改稿日期**:2004-07-21)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net