

# 铜陵中生代中酸性侵入岩特征及成因

吴才来 陈松永 史仁灯 郝美英

(中国地质科学院地质研究所,北京,100037)

**摘 要** 铜陵地区中酸性侵入岩可以划分为橄榄安粗岩系列和高钾钙碱性系列,橄榄安粗岩系列的岩石组合为辉石二长闪长岩+二长闪长岩+石英二长岩,这些岩石的里特曼指数大于 4(变化于 4.2~5.8 之间),岩石的稀土总量((REE)变化于  $211 \times 10^{-6} \sim 264 \times 10^{-6}$  之间,且与金矿床关系较密切。高钾钙碱性系列侵入岩岩石组合为闪长岩+石英二长闪长岩+花岗岩闪长岩,岩石的里特曼指数小于 4(1.8~3.2),REE 为  $130 \times 10^{-6} \sim 188 \times 10^{-6}$ ,与铜矿床关系较为密切。结合包体岩石学研究得出,橄榄安粗岩系列岩浆为幔源碱性基性岩浆分异的产物,高钾钙碱性系列岩浆是分异的幔源岩浆和壳源酸性岩浆混合的产物。

**关键词** 高钾钙碱性系列 橄榄安粗岩系列 侵入岩 成因 铜陵

## Origin and Features of the Mesozoic Intermediate-acid Intrusive in the Tongling Area, Anhui, China

WU Cailai CHEN Songyong SHI Rendeng HAO Meiyong

(Institute of Geology, CAGS, Beijing, 100037)

**Abstract** The Mesozoic intermediate-acid intrusive rocks in Tongling area can be divided into two magmatic series, namely the shoshonitic series and the high-potassium (K) calc-alkaline series. The shoshonitic series is characterized by an association of pyroxene monzodiorites + monzodiorites + quartz monzonites, the Rittmann indices of these rocks are greater than 4 (ranging from 4.2 to 5.8), the total of rare earth elements (REE) ranges from  $210 \times 10^{-6}$  to  $260 \times 10^{-6}$ , and has good relationship with gold deposits. The high-potassium calc-alkaline series is by an association of diorite + quartz monzodiorites + granodiorites, the Rittmann indices are less than 4 (1.8~3.2), REE  $130 \times 10^{-6} \sim 180 \times 10^{-6}$ , and has good relationship with copper deposits. Together lithoenclave study, it can be concluded that the shoshonitic series magma is derived from the differentiation of the alkaline basic magma in mantle and the high-potassium (K) calc-alkaline series magma is mixture between the differentiated mantle magma and crustal magma.

**Key words** high-K calc-alkaline series shoshonitic series intrusive rock origin Tongling

铜陵地区位于安徽省境内长江南岸(图 1),是中国最重要的有色金属基地之一,因铜矿资源丰富而被喻为中国的古铜都。研究表明,区内的铜矿床与中酸性侵入岩关系十分密切,因此,多年来,许多研究者(常印佛等,1991;邢凤鸣等,1996;周旬若等,1993)从不同的方面研究侵入岩。他们认为区内的侵入岩是同源花岗岩类,其形成机制为:碱性玄武质岩浆同化围岩(毛建仁等,1990);下地壳再熔融的岩浆分离结晶作用(吴言昌等,1986);碱性玄武质岩浆同化下地壳+分离结晶作用(邢凤

鸣等,1996)。事实上,区内的侵入岩有 2 个系列,即橄榄安粗岩系列和高钾钙碱性系列(吴才来等,1994)。根据侵入岩的地质学、岩石学、地球化学和包体岩石学研究,在此提出了 2 个系列侵入岩成因的新观点。

### 1 地质背景

铜陵地区有 70 多个岩体(图 1),每个岩体均较小,出露面积为  $0.5 \sim 3 \text{ km}^2$ 。所有这些岩体均分布在宽约 25 km、长约 40 km 的 EW 向构造-岩浆-成矿

本文为国家自然科学基金项目(批准号:49772106)的研究成果。

改回日期:2002-6-12;责任编辑:宫月莹。

第一作者:吴才来,男,1960 年生,博士,研究员,主要从事岩石学与构造学研究,主攻方向为花岗岩及现代火山。

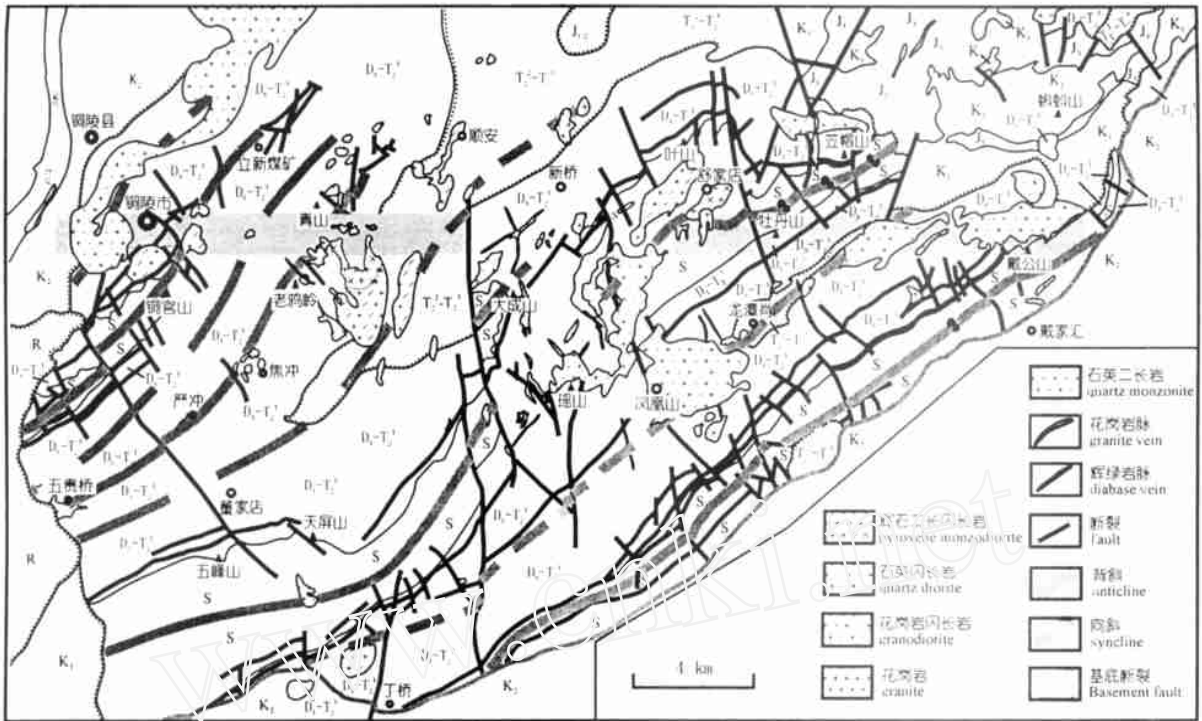


图 1 铜陵地区地质简图

Fig. 1 The geological sketch map of Tongling area

R-第三系; K<sub>2</sub>-晚白垩世; K<sub>1</sub>-早白垩世; J<sub>3</sub>-晚侏罗世; J<sub>1-2</sub>-早中侏罗世; T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub>-中三叠世; D<sub>3</sub>-T<sub>1-2</sub>-晚泥盆世—早中三叠世; S-志留系  
 R-Tertiary system; K<sub>2</sub>, K<sub>1</sub>-Upper, Lower-Cretaceous system; J<sub>3</sub>-Upper Jurassic system; J<sub>1-2</sub>-Middle and Lower Jurassic system;  
 T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub>-Middle Triassic system; D<sub>3</sub>-T<sub>1-2</sub>-Upper Devonian system—Middle and Lower Triassic system; S-Silurian system

带上 (常印佛等, 1991)。

橄榄安粗岩系列占全区侵入岩的 20%，岩体呈 NW 和 NE 向的岩墙状，与三叠系碳酸盐岩围岩具明显的侵入接触关系，围岩主要发育大理岩化，其次为方柱石化、夕卡岩化，岩体边部斜长石平行于接触带作定向排列。岩体中不但含有大量的深源包体如尖晶石辉石岩包体和角闪岩包体，而且还含有大量的角岩、大理岩和夕卡岩包体。部分岩体沿高钾钙碱性侵入岩与围岩的接触带侵位。区内的金矿床或金矿化与该系列侵入岩关系密切，并伴随有银、铅、锌等多金属矿化。该系列侵入岩黑云母的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年龄变化于 136.8 ~ 135.6 Ma 之间 (Wu 等, 2000)。

高钾钙碱性系列侵入岩占全区侵入岩的 80%，岩体呈 NE 向的岩株，围岩为志留纪粉砂岩、石炭纪白云质灰岩、二叠纪和三叠纪碳酸盐岩。碳酸盐岩地层发育强烈的夕卡岩化，形成夕卡岩型铜矿或夕卡岩层控型铜矿床 (常印佛等, 1983)。这些铜矿床主要分布在背斜的核部或近核部的翼部或两组不同方向断裂交汇部位。在该系列侵入岩中，存在大量的微粒闪长质混杂岩包体、闪长质冷凝边包体和富

云母包体。岩体的<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar 年龄变化于 139.8 ~ 133.6 Ma 之间，即花岗闪长岩、石英闪长岩和闪长岩的年龄分别为 139.8 ~ 137.0 Ma、137.0 ~ 135.8 Ma 和 133.7 Ma (Wu 等, 2000)，表明该系列岩浆比橄榄安粗岩系列岩浆开始活动的时间早，持续的时间长。然而，2 个系列侵入岩的时代均小于 140.0 Ma，属燕山晚期。

## 2 岩相学

橄榄安粗岩系列侵入岩包括辉石二长闪长岩、二长闪长岩和石英二长岩，它们分别具有辉长辉绿结构和半自形粒状结构及二长结构。造岩矿物主要为辉石和斜长岩，其次为黑云母、钾长石和石英，矿物含量因岩石类型不同而变化，矿物粒度大小为 1.5 ~ 2.2 mm。此外，岩石中含有丰富的副矿物如磁铁矿、锆石、榍石、磷灰石以及金属硫化物如黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿和方铅矿等。本系列侵入岩中，存在 3 种类型的包体：角闪石堆晶包体；辉石堆积岩包体；角闪石堆积岩包体。矿物学、岩石学和温度压力研究表明，它们是基性岩浆在中下地壳深位岩浆房中经分离结晶形成的 (Wu 等, 2000)。

高钾钙碱性系列侵入岩由闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩脉组成。这些岩石具有半自形粒状结构,花岗闪长斑岩为斑状结构。造岩矿物为斜长石、石英、角闪石、黑云母和钾长石,矿物粒度主要变化于 1.2~2.2 mm 之间,但部分斜长石斑晶达 3~6 mm,基质仅为 0.2~0.5 mm。有些斜长石含有针状的磷灰石,部分含有不透明的包裹体。基质中的斜长石具有反环带,并含有针状磷灰石,石英中含有毛发状的角闪石,这些结构特征表明花岗质寄主岩浆发生了快速冷凝 (Rainer 等,2000)。部分碱性长石斑晶边缘存在斜长石反应边,反映了岩浆的混合作用 (Hibbard,1991)。本系列岩石中,也存在 3 种类型的包体: 富云母包体; 闪长质冷凝边包体; 微粒闪长质混杂岩包体。研究表明,富云母包体是地壳部分熔融的难熔残余体,因为,这种包体主要矿物成分为黑云母(难熔),同时富含富铝的矿物如堇青石、钙铝石榴石等,具有眼球状和镶嵌状结构,稀土配分模式具明显的 Eu 负异常。闪长质冷凝边包体是早期侵入岩体的边缘相,被后期侵位的岩浆所破碎形成。这种包体和寄主岩具相同的矿物组合,但暗色矿物含量较寄主岩的高。微粒闪长质混质岩包体来源于浅位岩浆房的岩浆混合,其温度为 933~977 °C,深度为 9.4~13.5 km。这种包体矿物粒度细小,斜长石具反环带结构、基性的斜长石核心、基质斜长石 ( $An = 35$ ) 比斑晶斜长石 ( $An = 23$ ) 基性、石英中含有毛发状的角闪石以及大量的针状磷灰石等,都说明了岩浆混合作用的存在 (Wu 等,2000)。

### 3 地球化学

工作中共完成了 28 件全岩主元素、稀土元素和微量元素的分析,代表了 2 个系列岩石的不同类型 (22 件) 和不同的包体 (6 件)。

#### 3.1 主元素

与高钾钙碱性系列侵入岩相比,橄榄安粗岩系列侵入岩的  $SiO_2$  含量较低,变化于 50.81%~62.45% 之间,但全碱含量较高,为 6.83%~11.52%,岩石的里特曼指数大于 4.0 (4.3~7.8); 而钙碱性系列侵入岩的  $SiO_2$  含量变化于 52.64~75.73% 之间,里特曼指数小于 4 (1.0~3.3)。根据主元素成分计算的石英、碱性长石和斜长石含量在图 2 上投点,明显地看出 2 个岩浆演化方向,它们的岩石组

合分别为二长闪长岩 + 二长岩 + 石英二长岩和石英二长闪长岩 + 花岗闪长岩 + 花岗岩。在 Peccerillo 和 Taylor (1976) 的  $SiO_2$ - $K_2O$  图解上,明显地划分出橄榄安粗岩系列和高钾钙碱性系列 (图 3)。

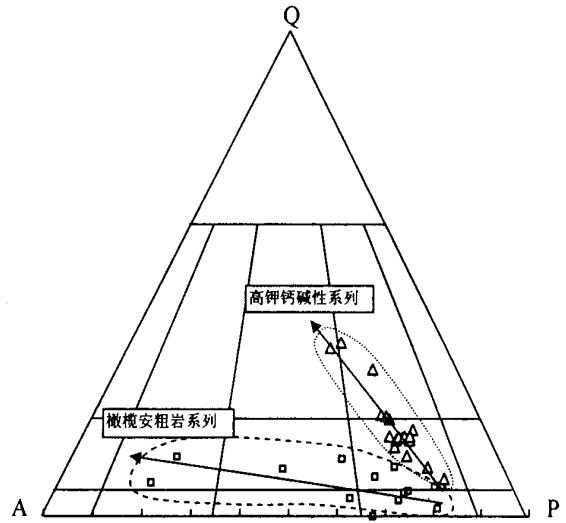


图 2 Q-A-P 图解 (据 Streckeisen, 1976)

Fig. 2 Diagram of Q-A-P (after Streckeisen, 1976)

-高钾钙碱性系列; -橄榄安粗岩系列  
-high K calc-alkaline series; -shoshonitic series

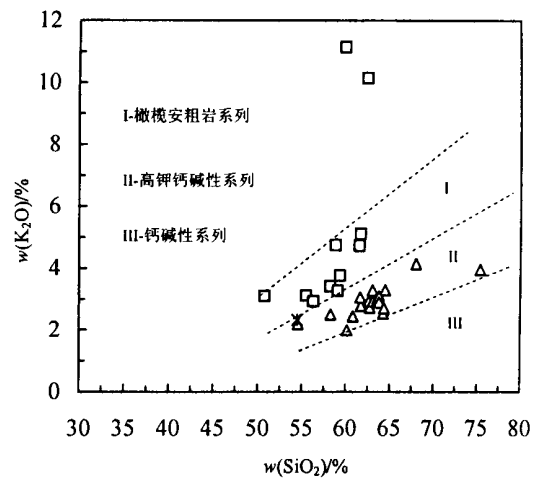


图 3  $SiO_2$ - $K_2O$  图解 (符号同图 2)

Fig. 3 Diagram of  $SiO_2$ - $K_2O$  (symbols same as in Fig. 2)

该区侵入岩中包体的化学成分变化较大,与美国尖晶石橄榄辉石岩包体相比 (Frey 等,1978),橄榄安粗岩系列中的堆积包体以高含量的  $K_2O$  和  $Na_2O$ 、低含量的  $Al_2O_3$  和  $MgO$  为特征,且由辉石堆积岩包体 角闪石堆积岩包体 角闪石堆积晶包体,  $Fe_2O_3/FeO_T$  比值增加,而  $MgO/FeO_T$  比值减少,表明了岩浆由高镁向低镁的演化。微粒闪长质

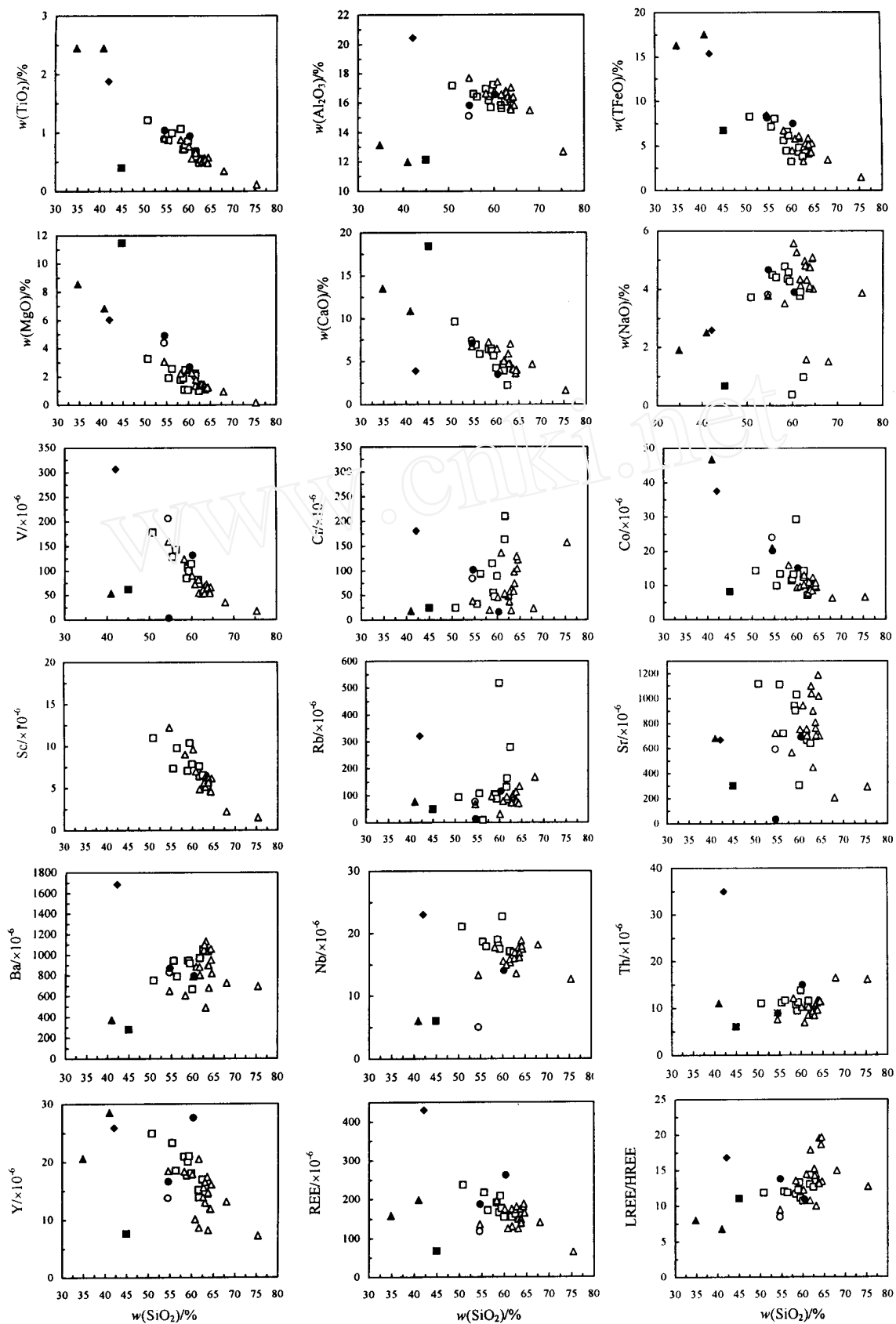


图 4 哈克图解

Fig. 4 Harker diagrams for the major elements  
 -辉石堆积岩包体; -角闪石堆积岩包体; -富云母包体; -微粒闪长质混杂岩包体; -闪长质冷凝边包体; 其它符号同图 2  
 -pyroxene cumulate enclave; -hornblende cumulate enclave; -mica-rich enclave;  
 -micrograined dioritic mixite enclave; -micrograined dioritic chilled border enclavethe other symbols same as Fig. 2

混杂岩包体和闪长质冷凝边包体的成分变化更大,这主要取决于混合岩浆的端元岩浆成分及比例。与其他包体相比,富云母包体则以高含量的  $Al_2O_3$  和较低的  $Fe_2O_3/FeO_T$  和  $MgO/FeO_T$  比值为特征。

### 3.2 微量元素

橄榄安粗岩系列侵入岩比高钾钙碱性系列侵入岩含有更高的过渡族元素,与地幔岩相比,2 个系列侵入岩均亏损 Co 和 Ni。随  $SiO_2$  含量的增高,  $TiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $FeO_T$ 、CaO 和 MgO 以及大多数微量元素如 V、Co、Sc、Sr 和 Y 的含量减少,  $Na_2O$  和 Nb 稍有减少, Th 基本不变,而  $K_2O$  和 Rb 增加(图 3、图 4)。在  $SiO_2$  与其他元素图解上,在  $SiO_2$  质量分数为 50% ~ 75% 的范围内,大多数元素具有分散的线性变化趋势,其中 Ba 是最分散的元素。

与地幔岩相比,辉石堆积岩具有较低含量的过渡族元素如 Cr、Co 和 Ni,说明地幔岩部分熔融形成玄武质岩浆时,这些元素仍保留在残余的地幔岩中(Jagout 等,1979)。相反,富云母包体含有较高的 Cr 和 Ni,可能反映其为残余的耐熔地壳成分。

### 3.3 稀土元素

橄榄安粗岩系列岩石的稀土总量为  $264 \times 10^{-6} \sim 211 \times 10^{-6}$ ,高于高钾钙碱性系列侵入岩( $188 \times 10^{-6} \sim 130 \times 10^{-6}$ )。尖晶石辉石岩堆积岩包体和角闪岩堆积岩包体的稀土总量分别为  $74.49 \times 10^{-6}$  和  $179.7 \times 10^{-6}$ ,低于其橄榄安粗岩系列寄主岩(辉石二长闪长岩为  $264 \times 10^{-6}$ ;二长闪长岩为  $211 \times 10^{-6}$ ),但角闪石堆积岩包体稀土总量为  $226.9 \times 10^{-6}$ ,高于其橄榄安粗岩系列寄主岩(石英二长岩为  $168 \times 10^{-6}$ )。微粒闪长质混杂岩包体的稀土总量为  $203.6 \times 10^{-6} \sim 289.9 \times 10^{-6}$ ,高于高钾钙碱性寄主岩(石英二长闪长岩为  $188 \times 10^{-6}$ ;花岗闪长岩为  $170.37 \times 10^{-6}$ ),而闪长质冷凝边包体的稀土总量为  $131.2 \times 10^{-6}$ ;低于其高钾钙碱性寄主岩(石英二长闪长岩为  $188 \times 10^{-6}$ ;花岗闪长岩为  $170.37 \times 10^{-6}$ )。富云母包体是所有包体中稀土总量最高者,达  $455.8 \times 10^{-6}$ 。

岩石和包体的稀土总量高低取决于 La、Ce、Y 和 Sm 的含量,因为这些元素是不相容元素,在岩浆结晶的早期阶段,不容易进入早期的结晶相而残留于液相中,所以,早结晶的堆积包体和冷凝边包体的稀土总量低于其晚结晶的寄主岩,微粒闪长质混杂岩包体的成分类似于演化的中基性岩浆(橄榄安粗岩系列岩浆)。此外,稀土总量的高低还与包体的矿物成分有关,包体中的黑云母含量越高,其稀土总量

就越高,如富云母包体。

从稀土元素配分模式来看(图 5),除黑云母包体具有明显的 Eu 负异常(这是典型的上地壳模式)外(Taylor 等,1985),其余各岩浆型包体具类似的特征,即无明显的 Eu 负异常、较高的 LREE/HREE 比值,表明它们与源岩的成因密切相关。高钾钙碱性系列侵入岩的 Sm 含量随 La 含量的增加而增加,而橄榄安粗岩系列侵入岩 Sm 含量随 La 含量的增加而不变,说明高钾钙碱性系列侵入岩在形成过程中

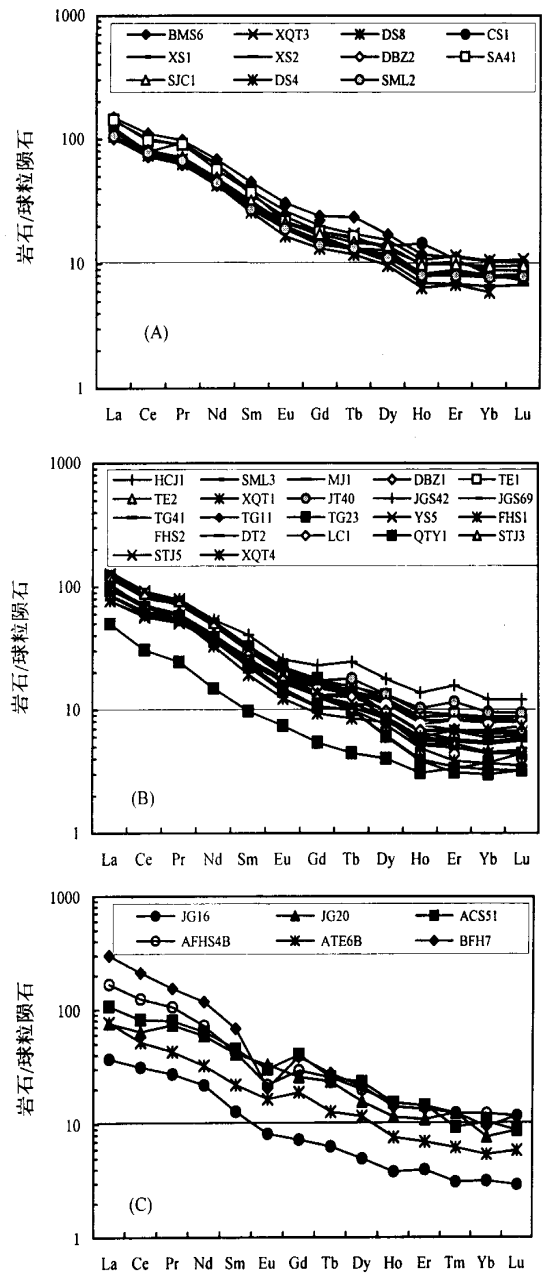


图 5 稀土配分模式图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution of intrusion and enclaves from Tongling  
a-橄榄安粗岩系列侵入岩;b-高钾钙碱性系列侵入岩;c-包体  
a-shoshonitic series;b-high K calc-alkaline series;c-enclaves

存在着部分熔融和岩浆混合作用,而橄榄安粗岩系列侵入岩的形成与岩浆的分异结晶作用有关。

## 4 讨论

从上述 2 个系列侵入岩及其包体地球化学特征和结构特征可以看出,岩浆分异作用在橄榄安粗岩系列岩浆演化过程中起着重要作用,部分熔融和岩浆混合作用在高钾钙碱性系列岩浆形成过程中亦起了重要作用。下面分别予以定量讨论。

### 4.1 分异结晶模拟

根据橄榄安粗岩系列侵入岩中存在大量堆积包体和结构特征,可以认为,该系列岩浆为幔源碱性玄

武质岩浆分异的产物。选择所有岩石中最基性的辉长辉绿岩作为原始岩浆,堆积包体中的矿物为早期分异结晶相,应用瑞利分离结晶方程 (Neumann 等, 1954):

$$C_L = C_0 F^{(D-1)}$$

上式中,  $C_L$  是残余液相中某元素的丰度;  $C_0$  是初始液相中某元素的丰度;  $F$  是余下熔体的分数;  $D$  是总分配系数。计算结果见表 1。由表可见,辉长辉绿岩通过 53% ~ 78% 的分异作用可形成橄榄安粗岩系列岩浆。矿物 Sp、Bi、Hb 和 Cpx 的质量百分比分别为 0.01%、0.02%、0.05% 和 0.92% (Inving, 1980)。

表 1 橄榄安粗岩系列岩浆模拟计算

Table 1 Modeling calculation of shoshonitic series rock

元素	总分配系数	初始浓度/ $\times 10^{-6}$	$F=50$	$F=80$	$F=53$	$F=78$	实测值范围/ $\times 10^{-6}$
Ce	0.08	55.71	105.78	68.48	100.23	70.10	101.00 ~ 72.46
Nd	0.13	25.2	46.12	30.61	43.84	31.30	44.00 ~ 40.00
Sm	0.19	5.25	9.19	6.29	8.76	6.42	8.80 ~ 7.00
En	0.20	1.44	2.51	1.72	2.40	1.76	2.30 ~ 1.76
Yb	0.17	1.86	3.30	2.24	3.14	2.28	2.40 ~ 1.80
Lu	0.14	0.30	0.54	0.36	0.52	0.37	0.35 ~ 0.25

注:初始浓度为杉木岭辉长辉绿岩的实测值;元素实测值范围为白芒山辉石二长闪长岩。

### 4.2 部分熔融模拟

整体上看,该区侵入岩属 I 型花岗岩类,其源岩应该为火成岩或变质火成岩。富云母包体的存在,表明源岩含有少量的沉积岩。研究表明,这种包体是地壳部分熔融的残余物 (吴才来等, 2000)。然而,部分熔融程度是多少? 研究中选择了富云母包体作

为上地壳的残余相,其寄主岩花岗闪长岩为熔体相,计算地壳的部分熔融程度。结果表明,上地壳的部分融程度大约为 63% ~ 78% (表 2)。由表 2 可见各种岩浆型包体的不相容元素均高于地幔岩,且具有相同的变化规律。但富云母包体的 Ba、Nb、Sr 和 Ti 相对较低反映了它们在熔融时大量地进入了液相。

表 2 地壳部分熔融模拟计算

Table 2 Modeling calculation of crust partial melting

矿物	质量百分比/ %	元素	总分配系数	初始浓度/ $\times 10^{-6}$	$F=60$	$F=70$	$F=80$	$F=63$	$F=78$	实测值范围/ $\times 10^{-6}$
Bi	0.8	Ce	0.58	64.00	76.92	73.23	69.87	75.78	70.52	75.68 ~ 71.3
Pl	0.09	Nd	0.73	26.00	29.15	28.29	27.48	28.89	27.64	28.90 ~ 26.35
Gt	0.042	Sm	0.83	4.50	4.83	4.74	4.66	4.80	4.67	5.84 ~ 5.44
Or	0.06	Eu	0.76	0.88	0.97	0.95	0.92	0.97	0.93	1.34 ~ 1.39
Ap	0.008	Gd	1.12	3.80	3.63	3.67	3.71	3.64	3.70	3.65 ~ 3.87
—	—	Yb	2.22	2.20	1.48	1.61	1.77	1.52	1.73	1.61 ~ 1.74

注:矿物分配系数:黑云母 (Bi)、斜长石 (Pl)、石榴石 (Gt)、正长石 (Or) 和磷灰石 (Ap), 据 Hanson (1984); 原始丰度为地壳平均值, 据 Taylor 等 (1985); 元素实测范围为凤凰山花岗闪长岩测量结果。

### 4.3 岩浆混合模拟

微粒闪长质混杂岩包体是基性岩浆注入花岗质岩浆房中的证据(Didier 等,1991),这也表明了岩浆混合作用在该区岩浆演化过程中起了重要作用。大量的微粒闪长质混杂岩包体是尚未同化的基性岩浆残余,它与富云母包体同时存在于花岗闪长岩和石英二长闪长岩中,表明该岩浆起源于地壳的部分熔融和壳源岩浆与幔源岩浆的混合。研究中选择辉石二长闪长岩作为基性端元,花岗闪长岩作为酸性端元,石英二长闪长岩作为混合的产物,用简单的质量

平衡来计算(Ugidos 等,1993)。实际上,花岗闪长岩也含有幔源成分,只不过比石英二长闪长岩中的少而已。

$$ax + b(1 - x) = c$$

上式中,a、b、c 分别是辉石二长闪长岩、花岗闪长岩、石英二长闪长岩中某元素的含量,混合的基性岩浆比例为 x。表 3 是计算结果,与含有微粒闪长质混杂岩包体的石英二长闪长岩相测定结果相吻合。混合的岩浆中可能含有 60% 的幔源成分和 40% 的壳源成分(表 3)。

表 3 简单岩浆混合计算结果

Table 3 A simple mixing calculations result

类别	质量分数/ %			元素/ $\times 10^{-6}$				混合比例
	w(CaO)	w(MgO)	w(TiO <sub>2</sub> )	C	Ni	Sc	Y	
混合岩浆	5.46	2.49	0.89	46.64	13.24	10.35	20.99	—
基性岩浆	9.63	3.26	1.21	24.47	14.36	10.99	24.89	—
酸性岩浆	2.77	1.23	0.48	104.11	11.96	4.58	11.80	—
模拟值	6.89	2.45	0.92	56.39	13.40	8.43	19.65	0.60

## 5 结论

该区的岩浆作用可以总结如下:来源于地幔的碱性玄武质岩浆上升到莫霍面附近的下地壳形成深位岩浆房,并发生同化作用和分异结晶作用(大约 53% ~ 78%),同时,形成堆积岩包体。岩浆房中热量和结晶潜热引起中上地壳发生部分熔融(63% ~ 78%),形成具有残余体的花岗闪长质浅位岩浆房。在一定的条件下,浅位岩浆房中花岗闪长质岩浆侵位,同时,含堆积岩的辉石二长闪长质岩浆从深位岩浆房上升,部分注入到浅位岩浆房并与花岗闪长质岩浆混合形成微粒闪长质混杂岩包体,部分直接上升到地壳浅处形成辉石二长闪长岩侵入体。最后,混合的石英二长闪长质或闪长质岩浆侵位。因此,橄榄安粗岩系列岩浆是一种被地壳混染的幔源基性的分异岩浆,而高钾钙碱性系列岩浆是由辉石二长闪长质岩浆(60%)和花岗闪长质岩浆(40%)混合后形成。

**致谢** 侵入岩和包体的主元素和微量元素由中国地质科学院岩矿测试中心李蓉华和她的同事完成,主要使用 X 光荧光(XRF)感应耦合等离子光谱(ICP)和仪器中子活化分析(INAA)方法;中国科学院徐平和韩秀玲完成了矿物的电子探针分析,在此一并致谢。

## 参考文献

- 常印佛,刘湘培,吴言昌.1991.长江中下游铁铜成矿带.北京:地质出版社.
- 常印佛等.1983.铜陵地区层控夕卡岩矿床研究.矿床地质,2(1):11~20.
- 邢凤鸣,徐祥.1996.安徽铜陵地区高钾钙碱性侵入岩.地球化学,25(1):29~38.
- 周旬若等.1993.铜陵中酸性侵入岩中同源包体及岩浆动力学.岩石矿物学杂志,12(1):20~31.
- 毛建仁等.1990.长江中下游中酸性侵入岩与成矿.北京:地质出版社.
- 吴言昌.1986.长江中下游裂谷初步研究.地球化学,5(4):358~368.
- 吴才来,周旬若,黄许陈,张成火.1994.铜陵地区中酸性侵入岩岩石群特征及其成因意义.岩石矿物学杂志,13(3):239~247.

## References

- Arth J G.1976a. behaviour of trace elements during magmatic processes—a summary of theoretical models and their applications. J. Res. USGS, 4(1):41~47.
- Chang Yinfu et al.1983. Studies of stratabound skarn ore deposit in Tongling area. Ore Deposit Geology,2(1):11~20.
- Chang Yinfu et al.1991. The Iron-copper ore-forming belt of Middle-Lower Yangtze River. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

- Didier J, Barbarin B. 1991. Enclaves and Granite Petrology. Amsterdam: Elsevier.
- Frey F A, Prinz M. 1978. Ultramafic inclusions from San Carlos, Arizona: Petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38:129 ~ 176.
- Hanson G N. 1984. Rare earth abundances in Mesozoic undersaturated alkaline rocks from West Greenland. *Lithos*, 17(1):77 ~ 85.
- Hibbard M J. 1991. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid system. In: Didier J., Barbarin B. (Eds.). *Enclaves and Granite Petrology*. Elsevier, Amsterdam, 431 ~ 444.
- Irving A J. 1980. Petrology and geochemistry of composite ultramafic xenoliths in alkalic basalts and implications for magmatic processes within the mantle. *Am. J. Sci.*, 280 A: 389 ~ 426.
- Jagout E. 1979. The abundance of major, minor and trace elements in the earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules. *Proc. Lunar. Planet. Sci.*, 10: 2031 ~ 2050.
- Mason B. 1971. *Hand book of elemental abundances in meteorites*. Gordon and Beach, New York, 55.
- Neumann H, Mead J, Vitaliano C J. 1954. Trace element variations during graptolite crystallization as calculated from the distribution law. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 6:90 ~ 99.
- Peccerillo A, Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58:63 ~ 81.
- Rainer Altherr, Albert Holl, Elbert Holl, Ernst Hegner, Carola Langer, Hans Kreuzer. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). *Lithos*, 50:51 ~ 73.
- Streckeisen A L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, 12:1 ~ 33.
- Taylor S R, McClennan S. 1985. *The continental crust: Composition and evolution*. Blackwell Scientific Publications, 54:209 ~ 230, 372.
- Tarney J, Weaver B, Drury S A. 1979. Geochemistry of archaean trondhjemitic and tonalitic gneisses from Scotland and Greenland. In *Trondhjemites, Dacites and Related Rocks*, ed. By Barker, F., Elsevier, Amsterdam, 275 ~ 300.
- Ugidos J M, Recio C. 1993. Origin of cordierite-bearing granites by assimilation in the Central Iberian Massif (CIM). Spain. *Chem. Geol.*, 103:27 ~ 43.
- Wu Yanchang. 1986. A preliminary study on the Middle-Lower Yangtze river rift valley. *Geochemistry*, 5(4):358 ~ 368 (in Chinese with English abstract).
- Wu Cailai et al. 1994. Crystallization characteristics and genesis of the zircon group in intermediate-acid intrusive rocks of Tongling area. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 13(3):239 ~ 247 (in Chinese with English abstract).
- Wu Cailai, Zhou Xunrou, Wang Chanshen. 2000. Geochronology of intermediate-acid intrusion from Tongling, Anhui. *Continental Dynamics*, 5(1):15 ~ 23.
- Wu Cailai, Wang Zhihong, Qiao Dewu, Li Haibing, Hao Meiyong, Shi Rendeng. 2000. Types of enclaves and their features and origins in intermediate-acid intrusive rocks from Tongling district, Anhui, China. *Acta Geologica Sinica*, 74(1):54 ~ 67.
- 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).
- Zhou Xinrou et al. 1993. Characteristics of cognate inclusions in intermediate-acid intrusive rocks of Tongling area and their magmatic dynamics. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12(1):20 ~ 31 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jianren et al. 1991. Intermediate-acid intrusive rocks of Middle-Lower Yangtze river and ore-forming. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).