

安徽月山岩体成岩机制

刘忠法^{1,2}, 邵拥军^{1,2}, 疏志明³, 张宇^{1,2}

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083; 3. 铜陵有色金属集团控股有限公司, 铜陵 244000)

摘要: 从岩石学、岩石化学、稀土元素地球化学和微量元素地球化学特征入手, 对形成月山岩体的岩浆来源、成岩环境以及岩浆的成岩作用过程进行分析; 在此基础上, 对本区月山岩体的成岩机制进行探讨。结果表明: 本区岩浆主要来源于上地幔碱性玄武岩浆, 成岩环境为岛弧及活动大陆边缘区, 岩浆成岩演化过程中受到了上部地壳的同化混染, 成岩机制为结晶分异和深部硅铝质同化混染及浅部弱钙质同化混染机制。

关键词: 月山岩体; 稀土元素; 地球化学; 成岩机制; 结晶分异; 同化混染

中图分类号: P588.12

文献标志码: A

Rock-forming mechanism of Yueshan intrusion, Tongling, Anhui Province, China

LIU Zhong-fa^{1,2}, SHAO Yong-jun^{1,2}, SHU Zhi-ming³, ZHANG Yu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education,
Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geoscience and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;

3. Tongling Nonferrous Metals Group Co., Ltd., Tongling 244000, China)

Abstract: The origin of magma which formed Yueshan intrusion, the metallogenic environment and the diagenesis of magma were investigated based on the analysis of petrology, lithochemistry, trace elements and rare earth elements geochemistry. The diagenetic mechanism was discussed in this area. The results show that the magma rooted in upper mantle alkali basaltic magma, the diagenesis environment is the island arc and active continental margin areas, and the magmas experiences assimilation and contamination of the crustal materials to different degrees during the process of diagenetic evolution. The rock-forming mechanism is crystal fractionation combined with deep salic assimilationary-hybridization and shallow weak calcareous assimilationary-hybridization.

Key words: Yueshan intrusion; rare earth element; geochemistry; rock-forming mechanism; crystal fractionation; assimilationary-hybridization

月山矿田位于华中地洼区苏鄂地洼系沿江断裂带中段, 是长江中下游铜、铁及金成矿带中的典型矿田之一^[1-2]。月山岩体是矿田内最主要且与成矿有关的侵入体, 前人在岩体成岩年龄^[3-5]、同位素地球化学^[6]、成岩成矿作用^[7-8]、构造特征、控矿规律及矿床成

因^[9-11]等方面进行了大量研究工作, 认为本区岩体形成年龄为(138.7±0.5) Ma; 岩石中蚀变黑云母和斜长石的氧同位素在蚀变过程中受到了扰动; 岩体在演化过程中形成含矿岩浆热液, 在特定围岩和构造条件下形成多金属矿床; 岩体侵入前缘带构造控矿作用明显;

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB411405); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BA01B07); 国土资源部公益性行业科研专项经费资助项目(200911007-04); 国家危机办项目(20109901); 中南大学有色金属成矿预测教育部重点实验室发展基金资助项目

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-01-04

通信作者: 邵拥军, 教授, 博士; 电话: 13973149482; E-mail: shaoyongjun@126.com

矿床成因以矽卡岩型铜多金属矿床为主。

关于月山岩体的成岩机制的研究相对较少,本文作者拟从岩体的岩石学、岩石化学以及微量元素和稀土元素地球化学特征等方面入手,在分析本区岩浆来源、成岩环境及岩浆成岩作用过程的基础上,探讨月山岩体的成岩机制。

1 岩体地质背景

月山岩体位于安徽沿江断褶带中段百子山背斜倾伏端前缘^[12], 出露面积为 11 km², 位于北东向及近东西向基底断裂的交汇处(见图 1), 地表呈枝杈状, 以基底断裂交汇处为中心, 可分为东枝、北枝、西枝和南枝, 其中东枝构成了岩体的主体。月山岩体主要由闪长岩、石英闪长岩和钾长闪长岩等组成, 为中浅成闪长岩类组合, 岩体角闪石的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄为 136 Ma^[13], 属燕山早期多枝状岩株。围绕岩体出露有二叠系上统龙潭组(P₂l)碳质板岩和大隆组(P₂d)薄层硅质岩、结核大理岩, 三叠系中统月山组(T₂y)含膏盐白云质灰岩和下统南陵湖组(T₁n)灰岩, 三叠系上统铜头尖组(T₃t)砂页岩和炭质页岩。月山矿田内具有工业价

值的铜、铁、金矿床均围绕岩体分布, 矽卡岩型矿床主要有龙门山铜多金属矿床和安庆铜矿床, 二者均位于月山闪长质岩体与三叠系中、下统不纯碳酸盐岩的接触带内及其附近; 热液脉型矿床产于岩体内, 规模较小。矿床的形成均与月山岩体有着紧密的成因联系, 因此, 岩体成岩机制的研究有利于本区矿床的成矿作用的研究。

2 岩体基本特征

主要从岩石学、岩石化学、稀土元素地球化学和微量元素地球化学等方面对月山岩体的基本特征进行分析和探讨。本次分析数据均来源于中国广州澳实矿物实验室。

2.1 岩石学特征

月山闪长质岩体主要由闪长岩、石英闪长岩和钾长闪长岩等组成。多呈灰色、灰白色, 为中细粒粒状结构。造岩矿物以斜长石(50%~65%)、钾长石(5%~15%)、角闪石(5%~15%)、石英(2%~15%)为主, 含有少量黑云母(≤3%), 局部可见极少量的辉石。副矿物

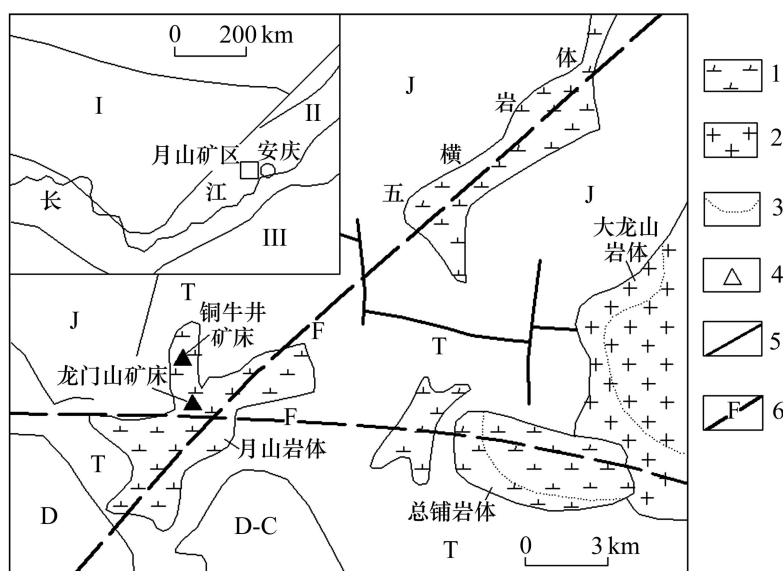


图1 安徽月山地区地质简图(据文献[8]修改): 1—闪长岩; 2—钾长闪长岩; 3—地质界线; 4—矿床; 5—断层; 6—基底断裂; D—泥盆系; D-C—泥盆系-石炭系; T—三叠系; J—侏罗系; I—华中地洼区秦淮地洼穹; II—华中地洼区苏鄂地洼系; III—东南地洼区

Fig. 1 Sketch geological map of Yue Shan area in Anhui Province (modified from Ref. [8]): 1—Diorite; 2—K-diorite; 3—Geological boundary; 4—Deposits; 5—Fault; 6—Basement rift; D—Devonian; D-C—Devonian-Carboniferous; T—Triassic; J—Juassic; I—Qinhuai Diwa dome of central China Diwa region; II—Su E Diwa system of central China Diwa region; III—Southeast Diwa region of China

含量较低,在5%以内,主要为磁铁矿、黄铁矿和磷灰石等。

月山岩体岩石的突出特点是早期结晶的矿物(斜长石、角闪石等)粒度较大,晚期结晶的矿物(石英)粒度较小,晚期矿物往往以他形粒状晶形充填于早期矿物颗粒之间,构成自形晶结构、他形粒状结构、半自形粒状结构以及细粒粒状结构(见图2)。

与月山岩体有关的矿化以矽卡岩型矿化为主。岩石类型主要有石榴子石矽卡岩、透辉石矽卡岩、石榴子石透辉石矽卡岩、绿帘石石榴子石矽卡岩、绿帘石透辉石矽卡岩、透辉石方柱石矽卡岩、蚀变矽卡岩等。

2.2 岩石化学特征

岩体测试样品均采自钻孔新鲜岩体,主要为闪长岩类岩石。全岩分析及岩石化学特征值见表1。岩石化学成分分析结果显示,月山岩体 SiO_2 含量(质量分数)为57.59%~59.05%,平均含量为58.19%,基本上属于硅酸弱饱和岩石。岩石总碱含量 $w(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 为6.79%~7.32%,平均值为7.14%, $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 值为1.54~1.63,平均值为1.58;碱度率 A_R 值为1.91~2.00,平均值为1.96,显示出岩体在富钠的背景上富钾。富

钙率 $w(\text{CaO})/w(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{FeO}+\text{MnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)\times 100\%$ 为0.37,略高于中国闪长岩平均值^[14]。里特曼组合指数(σ)在2.87~3.65之间变化,平均为3.38,属钙碱性岩。本区岩体全岩样品的CaO平均含量(质量分数)为5.49%, K_2O 的平均含量(质量分数)为2.79%,显示出富CaO、贫 K_2O 的特征,属于ACG类钙碱性岩^[15-16],表明本区岩浆来源主要为幔源。以上特征与矿田内其他岩体(五横岩体(WH- δ -4)、总铺岩体(ZP- δ -1))对比可知(见表1),本区岩体岩石的化学特征基本一致,表现出较好的同源性。

2.3 稀土元素地球化学特征

由岩体稀土元素测试结果(见表2)可知,稀土元素总量(质量分数, $\Sigma w(\text{REE})$)为 $221.38\times 10^{-6}\sim 299.87\times 10^{-6}$,平均值为 264.20×10^{-6} ,轻重稀土比($w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$)为8.22~12.84,平均值为9.22,比值远大于1,轻稀土富集强烈,重稀土亏损严重,表明岩石形成过程中有富集轻稀土的相,岩浆结晶分异程度较大。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值范围为4.46~6.22,平均值为5.24; $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值范围为2.06~3.41,平均值为2.98,小于 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 的平均值,说明轻稀土分异明显,重稀土分异相对较小,

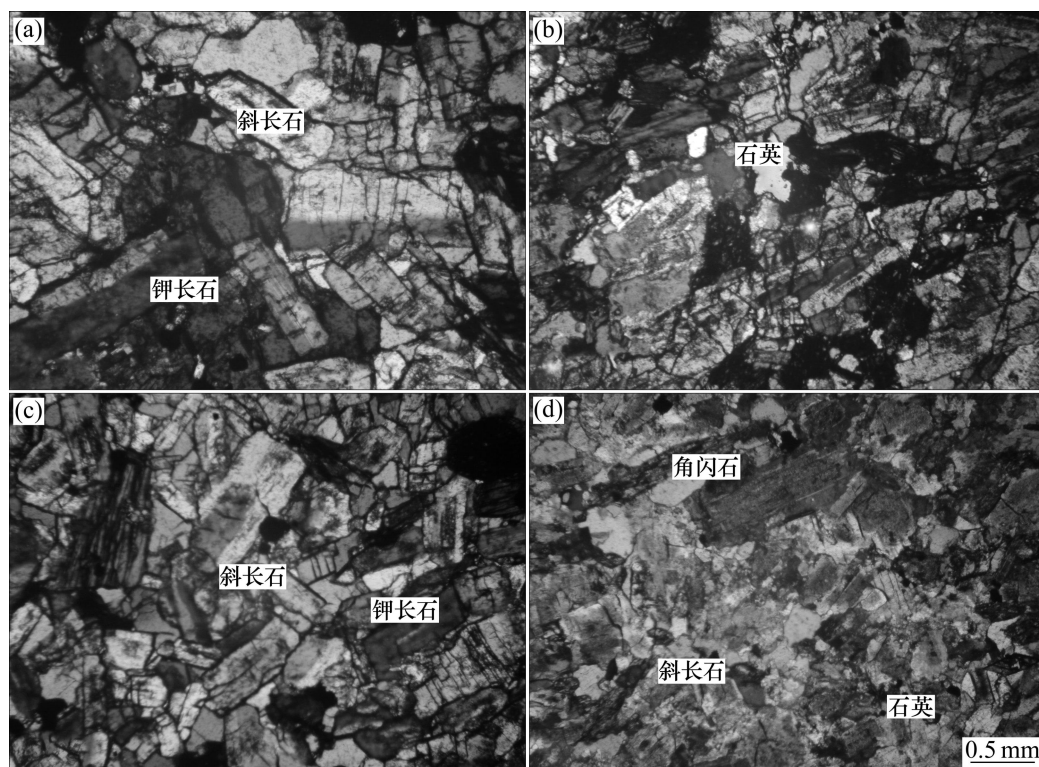


图2 月山岩体显微镜照片: (a) 自形晶结构(+); (b) 他形粒状结构(+); (c) 细粒粒状结构(+); (d) 半自形粒状结构(+)

Fig. 2 Microscope photographs of Yueshan intrusion: (a) Idiomorphic crystal texture (+); (b) Xenomorphic-granular texture (+); (c) Fine granular texture (+); (d) Hypidiomorphic granular texture (+)

表 1 全岩分析及岩石化学特征数据

Table 1 Data of whole-rock analysis and lithochemical features

参数	ZKA-2 闪长岩	ZKA-8 闪长岩	ZKA-11 闪长岩	WH-δ-4 闪长岩	ZP-δ-1 闪长岩	中国闪长岩 平均值
w(SiO ₂)/%	59.05	57.74	57.59	58.25	59.21	57.39
w(TiO ₂)/%	0.79	0.8	0.78	0.79	0.79	0.89
w(Al ₂ O ₃)/%	16.30	16.73	16.52	17.46	16.61	16.42
w(Fe ₂ O ₃) _T /%	5.88	6.01	6.10	6.23	5.59	3.10
w(MnO)/%	0.09	0.1	0.11	0.11	0.09	0.18
w(MgO)/%	3.37	3.25	2.98	2.68	2.68	3.77
w(CaO)/%	5.42	5.57	5.47	4.97	4.97	5.58
w(Na ₂ O)/%	4.32	4.44	4.45	4.61	4.44	4.26
w(K ₂ O)/%	2.65	2.88	2.85	3.16	2.94	2.57
w(P ₂ O ₅)/%	0.42	0.45	0.42	0.43	0.39	0.37
w(K ₂ O+Na ₂ O)/%	6.79	7.32	7.30	7.77	7.38	
w(K ₂ O)/w(K ₂ O+Na ₂ O)	0.39	0.39	0.39	0.41	0.40	
w(Al ₂ O ₃)/w(CaO+Na ₂ O+K ₂ O)	1.33	1.30	1.30	1.37	1.34	
A _R	1.91	1.98	2.00	2.06	2.04	
w(Na ₂ O)/w(K ₂ O)	1.63	1.54	1.56	1.46	1.51	
τ	15.16	15.49	15.47	16.27	15.41	
σ	2.87	3.64	3.65	3.96	3.36	

中国闪长岩平均值据文献[14]。测试单位: 中国广州澳实矿物实验室。

表 2 月山岩体稀土元素的特征值

Table 2 Feature values of rare earth elements of Yueshan intrusion

参数	LMS-530-4 钾长闪长岩	LMS-575-1 钾长闪长岩	ZKA-2 石英闪长岩	ZKA-8 闪长岩	ZKA-11 闪长岩	平均值
w(LREE)/10 ⁻⁶	241.22	278.20	197.67	239.02	233.59	237.94
w(HREE)/10 ⁻⁶	28.82	21.67	23.71	29.09	28.01	26.26
Σw(REE)/10 ⁻⁶	270.04	299.87	221.38	268.11	261.60	264.20
w(LREE)/w(HREE)	8.37	12.84	8.34	8.22	8.34	9.22
δ(Eu)	0.80	0.64	0.90	0.88	0.90	0.82
δ(Ce)	0.83	0.81	0.85	0.84	0.85	0.84
(Ce/Yb) _N	15.26	26.42	17.57	17.20	17.79	18.85
(La/Yb) _N	24.21	42.09	26.52	25.56	26.13	28.90
(La/Sm) _N	6.22	6.11	4.80	4.46	4.59	5.24
(Gd/Yb) _N	2.06	3.41	3.17	3.14	3.13	2.98

测试单位: 中国广州澳实矿物实验室。

重稀土衰减速度比轻稀土慢。铈异常值(δ(Eu))均在 0.64~0.90 之间, 平均值为 0.82, 接近陨石值, 整体铈谷不明显, 属铈弱负异常型; 铈异常值(δ(Ce))为 0.81~0.85, 平均值为 0.84, 变化较小, 铈谷不明显,

属铈弱亏损型。岩体稀土元素配分曲线均向右倾斜,几乎重合在一起,显示本区闪长质类岩石演化特征具有一致性特征(见图 3)。

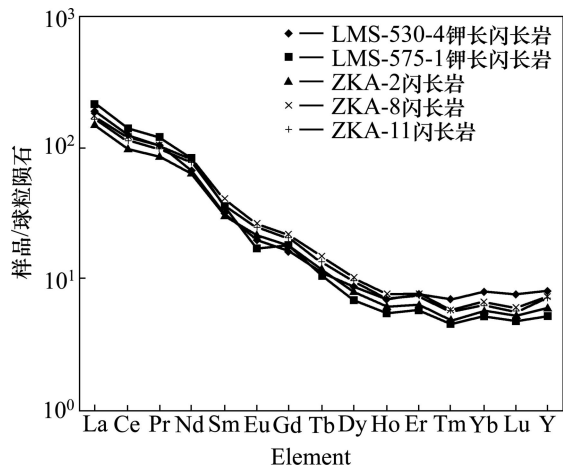


图 3 月山岩体稀土元素配分图

Fig. 3 REE distribution map of Yueshan intrusion

2.4 微量元素地球化学特征

岩体微量元素测试结果(见表 3)显示,月山岩体中 W、Mo、Co 和 Th 的含量高于维氏值,Rb、Ba、Cr 和 Ni 的含量均低于维氏值。BROWN 等^[17]在研究岛弧花岗岩类岩石的地球化学特征与岩浆来源时指出,来自幔源的火成岩选择性地富集 Th,而且一般贫 Rb 和 Ba,本区 Th 平均含量(质量分数)为 15.30×10^{-6} ,远高于维氏值,表现出强烈的富集性,Rb 和 Ba 的平均含量分别为 59.08×10^{-6} 和 98×10^{-6} ,均远低于维氏值,推断本区岩浆可能来源于深部地幔。另外,本区岩体具有碱性玄武岩超高的 Sr 丰度,最高达 $1\,845 \times 10^{-6}$,远高于上地壳值 350×10^{-6} 和下地壳值 230×10^{-6} ,因此,月山岩体不可能是地壳岩石深熔

或重熔的产物,是岩浆来源于地幔的典型标志,但也有 Sr 丰度较低者,为 91.9×10^{-6} ,表明原始幔源岩浆在上侵过程中可能受到不同程度的地壳物质的混染。

3 成岩机制讨论

从岩浆来源、成岩环境以及岩浆的成岩作用过程等方面对月山岩体的成岩机制进行讨论。

3.1 岩浆来源

壳源型和壳幔混源型花岗岩的 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 较为相近,但 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 区别明显,壳源型花岗岩的 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 大于 15.600 0,壳幔混源型花岗岩的 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 通常小于 15.600 0,在铅同位素构造模式图上位于造山带演化线以下,月山岩体的长石铅同位素在铅同位素构造模式图上位于造山带演化线以下,月山岩体的长石铅同位素组成中 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 值平均为 15.54^[18],明显属于壳幔混源型,在 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}-\delta(\text{Eu})$ 变异图解(见图 4)上也有类似的显示,说明本区岩浆主要来源于深部的上地幔,但有一定地壳物质的混染。从微量元素的特征来看,本区闪长质侵入岩体具有幔源碱性玄武岩的超高的 Sr 丰度,指示本区原始岩浆为幔源高钾碱性玄武岩岩浆。在 $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ 图解(见图 5)中岩体投影点均落入高钾钙碱性岩系列,说明本区岩体比正常钙碱性更富碱,这与岩石化学反应的特征相符。

3.2 成岩环境

戈蒂尼指数(τ)是反映火山岩形成的构造环境的重要参数,根据 $\lg \tau - \lg \sigma$ 图可以划分火山岩形成的构造

表 3 月山岩体微量元素含量

Table 3 Trace element compositions of Yueshan intrusion

样品	$w/10^{-6}$								
	W	Mo	Cr	Co	Ni	Th	Rb	Ba	Sr
LMS-530-4 钾长闪长岩	10.00	7.00	6.00	4.00	22.00	22.20	92.20	130.00	585.00
LMS-575-1 钾长闪长岩	10.00	5.00	1.00	1.00	2.00	24.90	6.20	10.00	127.00
ZKA-2 石英闪长岩	10.00	29.00	6.00	11.00	22.00	8.53	56.80	60.00	1 620.00
ZKA-8 闪长岩	10.00	25.00	7.00	10.00	25.00	9.40	66.10	80.00	1 845.00
ZKA-11 闪长岩	10.00	12.00	9.00	9.00	35.00	11.45	74.10	210.00	1 765.00
平均值	10.00	1.20	15.60	5.80	6.00	15.30	59.08	98.00	1 188.40
维氏值	1.00	1.00	83.00	18.00	58.00	7.00	100	650	800

测试单位:中国广州澳实矿物实验室。

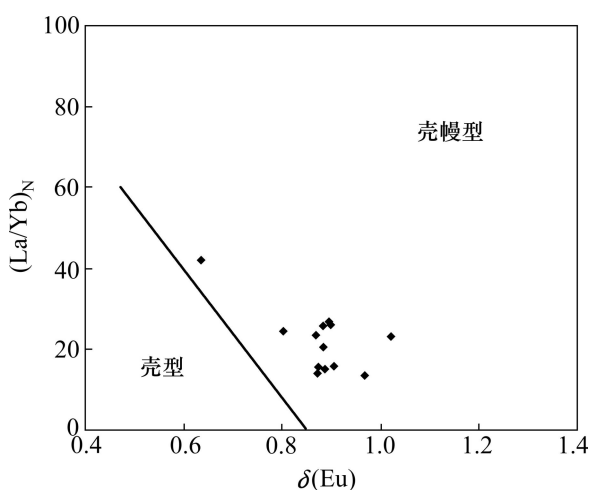
图4 月山岩体 $(La/Yb)_N$ — $\delta(Eu)$ 关系图

Fig. 4 $(La/Yb)_N$ — $\delta(Eu)$ relationship map of Yueshan rockbody

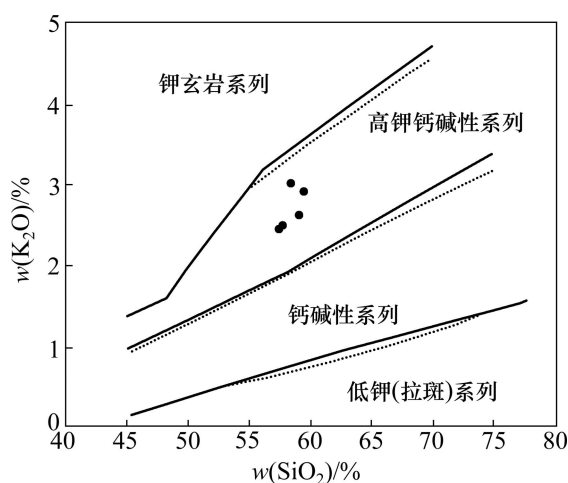
图5 月山岩体 $w(K_2O)$ — $w(SiO_2)$ 图解

Fig. 5 $w(K_2O)$ — $w(SiO_2)$ relationship map of Yueshan rockbody

单元。在戈蒂尼指数(τ)与里特曼指数(σ)对数值的关系图上(见图6),所有样品点均落入B区,靠近C区,表明本区岩体形成环境为岛弧或活动大陆边缘区,但本区岩体也具有大陆内部环境下侵入岩的特点。

3.3 岩浆的成岩作用过程

在 $(La/Sm)_N$ — $w(La)$ 关系图中(见图7),部分熔融过程表现为一条斜线,分离结晶过程表现为一条水平线,本区的样品点在图中线性关系不明显,表现出混杂的特点。由此可见,本区岩浆演化过程不是简单的平衡过程或分离过程,而是一种非常复杂的成岩过程,在岩浆演化过程中可能有外来物质的加入。

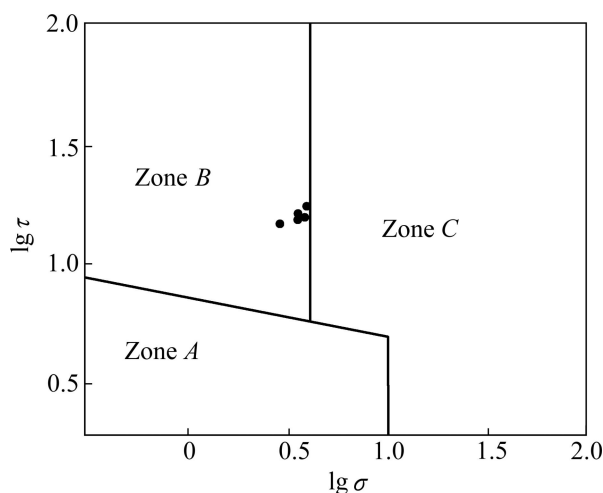


图6 月山岩体的 $\lg \tau$ — $\lg \sigma$ 关系图: A—非造山带地区的火山岩; B—造山带(岛弧及活动大陆边缘区)火山岩; C—A和B两区派生的碱性岩

Fig. 6 $\lg \tau$ — $\lg \sigma$ relationship of Yueshan rockbody: A—Volcanic rock of nonorogenic belt; B—Volcanic rock of orogenic belt (island arc and active continental margin areas); C—Induced alkalic rock between A and B

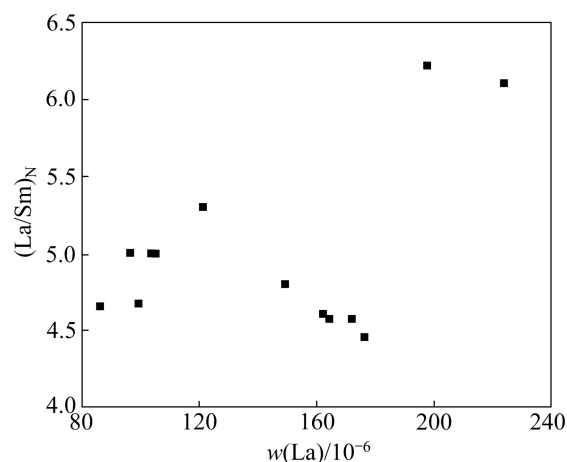
图7 月山岩体 $(La/Sm)_N$ — $w(La)$ 关系图

Fig. 7 $(La/Sm)_N$ — $w(La)$ relationship map of Yueshan rockbody

岩体的全岩分析结果(见表1)表明,所有样品的 $w(Al_2O_3)/w(CaO+Na_2O+K_2O)$ 值均大于1,平均值为1.31,属典型的过铝质岩石; SiO_2 平均含量为58.19%,基本属硅酸弱饱和岩石。由此可知,本区起源于上地幔的原始碱性玄武岩浆,在岩浆的成岩演化过程中受到了上部硅铝质地壳的同化混染。

3.4 成岩机制探讨

印支期在北西—南东向应力场的作用下,造山运

动异常强烈,诱发了前印支期的基底断裂进一步活动,来自地幔的碱性玄武岩浆沿基底断裂上侵,当其上侵到地壳深处形成深部岩浆房时,原始岩浆组分重新调整,分离结晶出镁铁质矿物,使残余岩浆变成富 SiO_2 的熔融体(硅酸弱饱和岩浆)。随着熔融体继续上侵,在上部地壳形成高位岩浆房构成了月山地区统一的深部岩基。在构造运动和高压力作用下,岩浆进一步上升,在浅地表形成小岩株。由于物理条件与自身化学条件发生改变,岩浆组分不断进行调整,产生了强烈脱硅和液态不混溶分离结晶作用。较低温度的大气降水逐渐混入导致岩株的绢云母化、矽卡岩和角岩的退化蚀变以及主要构造线和灰岩层理发生硫化物-硅质-碳酸盐的交代作用。月山岩体岩石化学数据显示,随着 SiO_2 的增加, MnO 和 P_2O_5 有减少的趋势,显示出一定的负相关性,但 K_2O 、 K_2O 、 MgO 与 SiO_2 没有明显的相关性,说明在岩浆演化过程中,除了发生结晶分异作用外,也有同化混染作用。本区所有样品的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 值均大于 1,平均值为 1.31,属典型的过铝质岩石,说明本区岩浆演化过程中受到了硅铝质的同化混染。本区岩体富钙率为 0.37,但 CaO 含量低于中国闪长岩平均值,说明本区钙质同化混染程度较小。因此,本区岩体是由深部地幔碱性玄武岩浆经过结晶分异作用和一定程度的同化混染作用形成的,其成岩机制为结晶分异和深部硅铝质同化混染及浅部弱钙质同化混染机制。

4 结论

1) 月山岩体为主要由闪长岩、石英闪长岩和钾长闪长岩等组成的闪长质类岩体,硅酸弱饱和,具有富钠富钾的特征,里特曼组合指数(σ)的平均值为 3.38,属典型的钙碱性岩浆岩。月山岩体岩石化学特征与矿田内其他岩浆岩岩石化学特征相似,具有同源性。

2) 月山岩体富集 Th 和 Sr , 贫 Rb 和 Ba , 具有深部地幔来源的特征; 稀土总量 $\Sigma w(\text{REE})$ 的平均值为 264.20×10^{-6} , 轻重稀土比($w(\text{HREE})/w(\text{LREE})$)的平均值为 9.22; 岩体富集轻稀土, 分馏显著, 无明显的 Eu 和 Ce 异常, 稀土配分曲线均向右倾斜, 几乎重合在一起, 显示本区岩浆演化特征一致。

3) 月山岩体形成于岛弧或活动大陆边缘区环境, 在岩浆演化过程中, 除了结晶分异作用外, 也存在同化混染作用。深部地幔碱性玄武岩浆经过结晶分异作

用和一定程度的同化混染作用形成本区重要的成矿岩体, 其成岩机制为结晶分异和深部硅铝质同化混染及浅部弱钙质同化混染机制。

REFERENCES

- [1] 陈国达. 地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996: 340–387.
CHEN Guo-da. Diwa theory—Outline on activated tectonics and metallogenic theoretic system [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996: 340–387.
- [2] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 294–312.
CHANG Yin-fo, LIU Xiang-pei, WU Yan-chang. The copper, iron mineralization belt in the middle and lower reaches of the Yangzi River area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 294–312.
- [3] 杨光树, 温汉捷, 胡瑞忠, 于文修, 樊海峰. 安徽月山岩体岩石地球化学特征及成因[J]. 矿物学报, 2007, 27(3/4): 406–413.
YANG Guang-shu, WEN Han-jie, HU Rui-zhong, YU Wen-xiu, FAN Hai-feng. Petro-geochemical characteristics and genesis of Yueshan intrusion, Anhui Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2007, 27(3/4): 406–413.
- [4] 张乐骏, 周涛发, 范 裕. 安徽月山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1725–1732.
ZHANG Le-jun, ZHOU Tao-fa, FAN Yu. SHRIMP U-Pb zircon dating of Yueshan intrusion in the Yueshan ore field Anhui, and significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8): 1725–1732.
- [5] 刘园园, 马昌前, 张 超, 余振兵, 张金阳. 安徽月山闪长岩的成因探讨——锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素证据[J]. 地质科技情报, 2009, 28(5): 22–30.
LIU Yuan-yuan, MA Chang-qian, ZHANG Chao, SHE Zhen-bing, ZHANG Jin-yang. Petrogenesis of Yueshan Pluton: Zircon U-Pb dating and Hf isotope evidence [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(5): 22–30.
- [6] 李 波, 陈江峰, 郑永飞, 赵子福, 钱 卉. 安徽月山石英闪长岩氧同位素分馏、Rb-Sr 等时线定年与矿物蚀变之间的关系[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 1185–1192.
LI Bo, CHEN Jiang-feng, ZHENG Yong-fei, ZHAO Zi-fu, QIAN Hui. Relationship among oxygen isotope, Rb-Sr isochron and mineral alteration in quartz diorite at Yueshan in Anhui [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(5): 1185–1192.
- [7] 周涛发, 岳书仓. 安徽月山地区成岩一成矿作用关系研究[J]. 火山地质与矿产, 1995, 16(2): 55–66.
ZHOU Tao-fa, YUE Shu-cang. Studies on relationships between lithogenesis and mineralization in Yueshan [J]. Volcanology and Mineral Resources, 1995, 16(2): 55–66.
- [8] 周涛发, 岳书仓, 袁 峰. 安徽月山矿田成岩成矿作用[M].

- 北京:地质出版社,2005:1-146.
- ZHOU Tao-fa, YUE Shu-cang, YUAN Feng. Lithogenesis and mineralization in Yueshan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 1-146.
- [9] 李德威. 安徽月山剥离断层及其对矿化的控制作用[J]. 有色金属矿产与勘查, 1993, 2(5): 271-276.
- LI De-wei. Detachment faults and their controlling to mineralization in the Yueshan area, Anhui Province [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1993, 2(5): 271-276.
- [10] 章传玲, 林多新, 张叔贞. 安徽怀宁县月山岩体侵入前缘带构造的控矿规律[J]. 矿床地质, 1994, 13(S): 107-108.
- ZHANG Chuan-ling, LIN Duo-xin, ZHANG Shu-zhen. The ore-controlling regularity of invasive front belt structure of Yueshan rockbody in Huaining, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 1994, 13(S): 107-108.
- [11] 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1998: 1-351.
- TANG Yong-cheng, WU Yan-chang, CHU Guo-zheng, XING Feng-ming, WANG Yong-min, CAO Fen-yang, CHANG Yin-fo. Geology of copper-polymetallic deposits along the Yangtze River of Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1-351.
- [12] 董树文, 邱瑞龙. 安庆一月山地区构造作用与岩浆活动[M]. 北京:地质出版社, 1993: 1-158.
- DONG Shu-wen, QIU Rui-long. Tectonism and magmatism in Anqing—Yueshan area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-158.
- [13] 陈江峰, FOLAND K A, 李学明, 周泰禧. 安徽月山岩体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及与其有关的成矿时代估计[J]. 现代地质, 1991, 5(1): 91-99.
- CHEN Jiang-feng, FOLAND K A, LI Xue-ming, ZHOU Tai-xi. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and the related metallogenic epoch of Yueshan intrusion in Anhui province [J]. Geoscience, 1991, 5(1): 91-99.
- [14] 黎彤, 饶纪龙. 中国岩浆岩的平均化学成分[J]. 地质学报, 1963, 43(3): 271-280.
- LI Tong, RAO Ji-long. The average chemical composition of igneous rocks in China [J]. Acta Geologica Sinica, 1963, 43(3): 271-280.
- [15] GIRET A. Typology, evolution and origin of the Kerguelen Plutonic Series, Indian Ocean: A review [J]. Geological Journal, 1990, 25(3/4): 239-247.
- [16] DEPAOLO D J, FARMER G L. Isotopic data bearing on the origin of Mesozoic and Tertiary granitic rocks in the western United States [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 1984, 310: 743-753.
- [17] BROWN G C, THORPE R S, WEBB P C. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources [J]. Journal of the Geological Society, 1984, 141(3): 413-426.
- [18] 刘晓东. 安徽月山矿田成矿流体系统研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2000: 1-129.
- LIU Xiao-dong. The fluid ore-forming system in the Yueshan orefield, Anhui Province [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2000: 1-129.

(编辑 陈卫萍)