文章编号: 0254 - 5357(2011)04 - 0430 - 10

安徽铜陵狮子山铜矿田岩石的地球化学特征

瞿泓滢[1], 常国雄[2], 裴荣富[1], 王浩琳[1], 梅燕雄[1], 王永磊[1]
(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
2. 内蒙古地质勘查有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 安徽铜陵狮子山矿田是铜陵矿集区内储量最大的铜(金)矿田。矿田内矿床类型多样,成矿作用复杂,分布有东狮子山、西狮子山、大团山、老鸦岭、冬瓜山和花树坡等铜(金)矿床。这些矿床均围绕岩体产出,多数为隐伏矿,赋存于上石炭统 - 中三叠统的不同层位,在空间上具有明显的分带特征,由下向上依次为层控矽卡型、矽卡岩型和热液脉型矿床,其中以前 2 种类型最为重要。矿田成矿经历了海西期和燕山期 2 个时代,燕山期为主要成矿期。中酸性侵入岩是狮子山矿田内铜矿床成矿物质的主要来源。该矿田主要岩浆岩为石英闪长岩、辉石二长闪长岩和花岗闪长岩,均为高钾钙碱性系列,属中酸性岩石,为造山带派生的碱性和偏碱性花岗岩。岩石地球化学特征表明本区岩浆岩为幔源岩浆分异的产物,属于壳幔混染型,岩浆岩后期同化围岩使硅质流失,并且在岩浆侵入过程中与 Na_2O、K_2O 含量较高的围岩发生了同化混染作用,不同岩石之间可能有某种成因上的联系。

关键词: 岩石地球化学; 成矿年龄; 狮子山矿田

Geological and Geochemical Characteristics of the Shizishan Ore-Field in Anhui Province

QU Hong-ying[1], *CHANG Guo-xiong*[2], *PEI Rong-fu*[1], *WANG Hao-lin*[1], *MEI Yan-xiong*[1], *WANG Yong-lei*[1]
(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
2. Inner Mongolia Geological Exploration Limited Company, Hohhot 010020, China)

Abstract: The Shizishan ore field is the largest Cu-Au ore-field in the Tongling cluster, Anhui province. Several Cu-Au deposits, including Dongshizishan, Xishizishan, Datuanshan, Laoyaling, Dongguashan and Huashupo, are embedded in Upper Carboniferous to Middle Triassic strata and occur in the vicinity of intrusions. According to the temporal and spatial relationship between mineralization and igneous intrusions, three ore types can be distinguished: stratabound skarn type, skarn type and hydrothermal vein type. The two skarn types are economically most important. Mineralization of the Shizishan ore-field relates to Hercynian and dominant Yanshanian magmatism. The intermediate-acid intrusions are the main sources of the metals of the Cu deposits in the Shizishan ore-field. The main magma as quartz diorite, pyroxene monzodiorite and granodiorite are high calc-alkaline series rocks, which originate in orogen granite. The geochemical characteristics of the rock show the magma coming from the mantle with mixing of high Na_2O and K_2O country rock by assimilate-contamination during the magma intrusion into the crust. Therefore, the different magma rocks have a relationship to the rock genesis.

Key words: rock geochemistry; mineralization age; the Shizishan ore field

收稿日期: 2010 - 06 - 12; **修订日期**: 2010 - 10 - 08
基金项目: 中国地质调查局危机矿山项目(200799093)
作者简介: 瞿泓滢,助理研究员,主要从事大比例尺成矿预测以及成矿流体方面的研究工作。E-mail: hongyingqu@126.com。

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

安徽铜陵狮子山铜(金)矿田隶属长江中下游成矿带中段的铜陵大型铜(金)矿集区,是矿集区内规模最大的矿田。其矿床类型多样、成矿作用复杂,倍受国内外地质学者的关注,并提出了诸如层控矽卡岩型矿床[1]、"多层楼"成矿模式[2]等概念和认识。前人对狮子山矿田内的岩浆岩从岩石学、岩石化学、微量元素地球化学以及同位素地球化学等方面亦做了大量的研究工作[3-14]。常印佛等[15]认为其原生(始)岩浆来源于上地幔,是上地幔局部熔融产生的。陈江峰等[5-6]认为本区侵入岩由壳幔混合或幔源岩浆经过 AFC 过程形成,古老的地地壳物质亦起了重要作用。邢凤鸣等[8]、唐永成等[9]提出,本区侵入岩应属幔源高钾钙碱性玄武岩经 AFC 和混合过程的高钾钙碱性系列。王强等[12]将其划分为橄榄玄粗质系列和高钾钙碱性系列,来自地幔的橄榄玄粗质岩浆底侵可能为下地壳熔融提供了热量。对侵入岩年代学研究,吴才来等[10]运用黑云母和角闪石 Ar-Ar 同位素定年方法对主要成矿岩体进行测定,认为幔源岩浆底侵作用的时间发生在早白垩世。狮子山矿田的地质勘查和地质科学研究程度较高,但是随着地质理论和测试技术的发展、找矿工作的新突破和新要求,对该区的地质找矿研究还有待进一步认识和深化。本文试图从成岩成矿年龄和岩石地球化学特征展开讨论,将前人研究成果进行总结,以期深入了解狮子山矿田成岩机制。

1　区域地质背景

长江中下游是中国东部一个重要的 Cu-Au-Fe-Mo 成矿带。该成矿带位于扬子克拉通北缘,秦岭—大别造山带和华北克拉通之南。南缘为阳兴—常州大断裂(YCF),以北为长江中下游地段,以南为扬子板块,内部发育沿江分布的断裂带(邻近长江)和北西向断裂;西北侧以襄樊—广济大断裂(XGF)为界,断裂以北为大别造山带,以南为长江中下游西段;东北界以郯庐大断裂(TLF)为界,以东为长江中下游中东段(图 1)。区内地层发育基本完整,根据其演化历史可分为前震旦纪基底岩系、古生代海相沉积为主的盖层岩系和中新生代陆相碎屑及火山岩系 3 大类。区内发育 EW、NWW、NNE、NE、SN 多组断裂构造,按照断裂规模及切割深度可分为岩石圈断裂、壳断裂、盖层大断裂和一般断裂 4 级,其中岩石圈断裂和壳断裂对形成岩浆带、成矿带、成矿亚带及大型矿床起主导作用,盖层断裂对控制侵入体就位和矿田、矿床位置起重要作用。本区中生代的岩浆活动始于印支期,均受岩石圈断裂及次一级构造断裂控制,多数为岩株状中浅成复式侵入体。

铜陵矿集区位于长江中下游中部,地处扬子地块与华北地块之间的下扬子印支期隆褶带东南部的马鞍山-贵池隆褶中段[15],其北西侧以郯庐断裂带和襄樊-广济断裂带为界与大别地块、北淮阳褶皱带和华北板块为邻,南侧为江南古陆、以东至-青阳-广德为界。区内出露地层为志留系-三叠系浅海相碳酸盐岩及少量的半深海相硅质岩和海陆交互相的碎屑岩,其中中石炭统黄龙组、上石炭统船山组、下二叠统栖霞组、上二叠统大隆组以及下三叠统殷坑组、和龙山组、南陵湖组是与成矿关系密切的地层。区内近 EW、NE、SN 向的基底断裂与铜陵-戴家汇岩石圈断裂综合控制了铜陵矿集区的形成,印支期-燕山早期褶皱构造为 NE 向 S 形隔档式褶皱带,其中近东西向的铜陵-戴家汇深大断裂直接控制区内岩浆活动及矿床形成[2]。区内岩体呈岩株(铜官山、凤凰山、新桥头)、岩床(瑶山、缪家)和岩墙(狮子山)状产出。岩体侵入的围岩主要是志留系粉砂岩、上泥盆统五通组石英砂岩、中上石炭统碳酸盐岩和二叠系、三叠系的硅质页岩、灰岩、白云质灰岩。岩体外接触带常发育有矽卡岩化、角岩化和大理岩化。区内侵入岩有橄榄玄粗质系列和高钾钙碱性系列[16]。橄榄玄粗质系列侵入岩有辉石二长闪长岩、二长闪长岩、石英二长岩,高钾钙碱性系列侵入岩有闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩[11]。与成矿关系密切的为石英二长闪长岩和花岗闪长岩(图 1)。

2　狮子山矿田地质背景

狮子山铜(金)矿田位于铜陵市东 7 km 处,是铜陵矿集区内储量最大的铜(金)矿田。该矿田出露的主要地层为下三叠统殷坑组和龙山组、南陵湖组和中三叠统东马鞍山组。矿田处于近东西向的铜陵-戴家汇基底破碎带与顺安 NE 向复式向斜-大通复式向斜次一级褶皱青山背斜北东段相交汇的部位,其中印支期形成的 NE 向青山不对称背斜是矿田内主要构造。矿田内发育 NE、EW、SN、NNE、NW 向多组断裂。由印支期北东向褶皱、印支期末-燕山期、燕山期褶皱、断裂及层间构造组成区内复杂的网格状构造格架。矿田内侵入岩非常发育,多呈岩墙或岩枝状等小侵入体产出的燕山期钙碱性-偏碱性的石英二长闪长岩和花岗闪长岩,次为辉石二长闪长岩及二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩脉[19]。岩浆侵入作用造成了矿田内较广范围的围岩热变质,使上石炭统-下二叠统灰岩、白云

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

岩、白云质灰岩和泥质条带灰岩等变质为大理岩、白云质大理岩和角岩[20]，同时也形成了较为发育且具有重要控矿作用的岩浆侵入接触构造。岩体主要侵位于上泥盆统至下三叠统地层之中，岩体边部顺层贯入围岩中，并在不同水平面上相互沟通。在浅部，构成一个浅成、超浅成相“树枝状”或大型网络状岩墙、岩枝相侵入岩系，受矿田内网络状断裂构造系统控制明显；在中深部，岩体主要呈东西向、南北向和北东向展布。

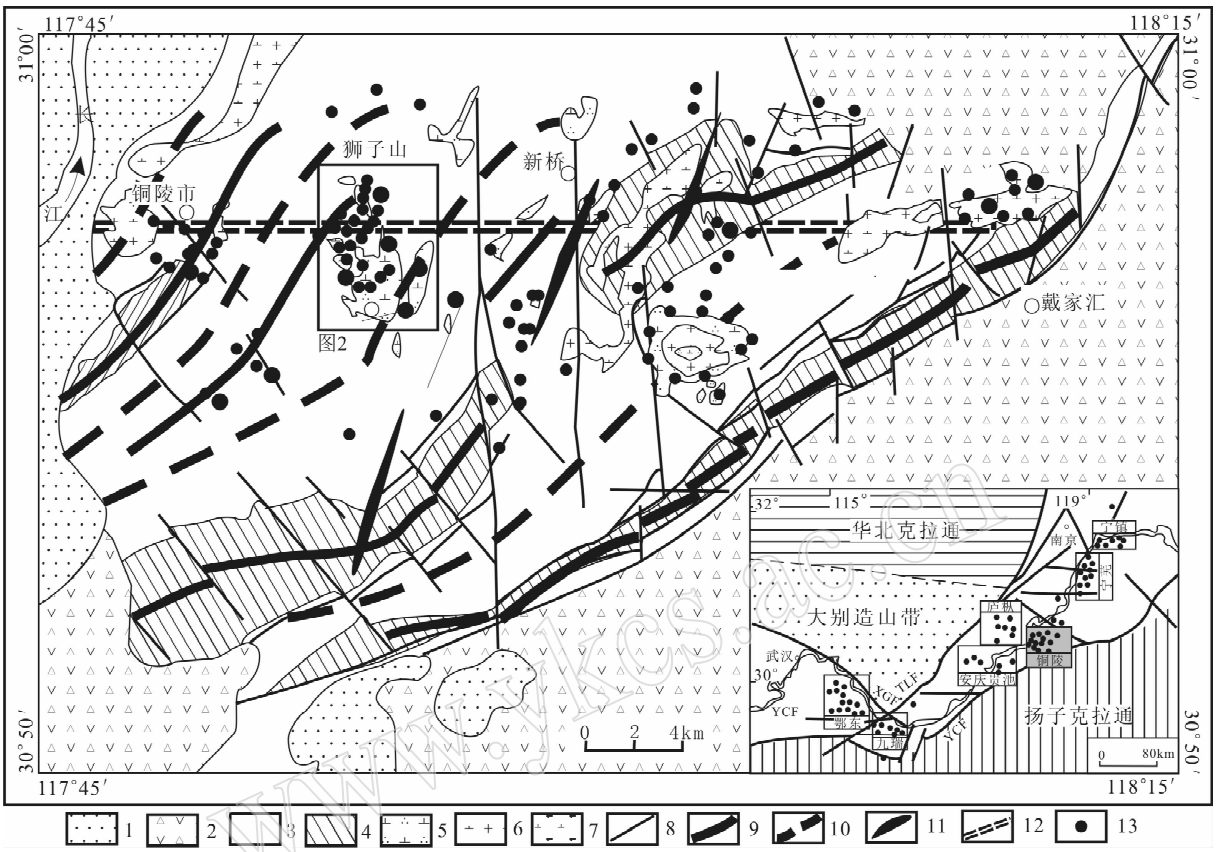


图 1　铜陵矿集区地质矿产图[17-18]

Fig. 1　Geological map and mineral deposit distribution of the Tongling ore cluster[17-18]

XGT—襄樊—广济断裂；YCF—阳兴—常州断裂；TLF—郯庐断裂。1—第三系泥岩、砾岩夹玄武岩；2—侏罗—白垩系凝灰质砂砾岩、英安质火山岩；3—泥盆—三叠系碳酸盐岩、硅质岩、陆源碎屑岩；4—志留系砂岩、粉砂岩、页岩；5—石英二长闪长岩；6—花岗闪长岩；7—辉石二长闪长岩；8—盖层断裂；9—印支期复式背斜；10—印支期复式向斜；11—燕山晚期复式褶皱；12—基底断裂；13—铜、金、硫、铁、铅锌及多金属矿床。

矿田在近 28 km^2 范围内铜矿体成群产出，矿田内发育众多矿床，主要有东狮子山、西狮子山、大团山、老鸦岭、冬瓜山和花树坡铜矿床，胡村、白芒山、新华山、包村和鸡冠山都是以金矿为主的矿床，这些矿床均围绕岩体产出，多数为隐伏矿，赋存于上石炭统－中三叠统的不同层位(图 2)。矿田内矿床主矿体多呈似层状产出，沿接触带自下而上呈阶梯状排列，深部为冬瓜山斑岩型和层控式矽卡岩型矿床，中部为花树坡、大团山层间式矽卡岩型矿床，上部为老鸦岭、西狮子山等层间交代式矽卡岩型矿床，浅部有东狮子山隐爆角砾岩型矿床，形成了“三位一体”或“多层楼”的矿床空间分布模式[2]，其中层控矽卡岩型和矽卡岩型矿床最为重要。

3　成岩机制探讨

长江中下游地区发育 3 种类型的中生代花岗质岩石[22]：①高钾钙碱性侵入岩系列，与 Cu－Au－Mo 多金属矿化有关，由辉长岩、闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩等组成，属于 I 型或磁铁矿型花岗质岩类[23]，$^{40}Ar/^{39}Ar$同位素法测得的成岩时代为 139.8 ~ 135.8 Ma[10]；②富钠钙碱性闪长岩类，为橄榄玄粗质系列[24]，多与玢岩铁矿有关，包括辉石闪长玢岩、闪长玢岩和其相应的喷出岩；③A 型花岗岩类，包括石英正长岩、正长岩、石英二长岩、碱性花岗岩以及相应的喷出岩。碱性花岗岩类的形成时代晚于前 2 类，其 K－Ar

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

年龄为 97 ~ 110 Ma[9]。狮子山矿田以高钾钙碱性侵入岩系列为主,属燕山早期晚阶段。

3.1　成岩成矿年龄

矿田内岩浆岩同位素年龄在 20 世纪 70 年代就获得了一批 K - Ar 法同位素年龄数据,吴才来等[10]用黑云母和角闪石 Ar - Ar 同位素定年方法进行研究,认为狮子山矿田内各种岩浆岩的侵位年龄接近,介于(139.8 ±0.8) Ma ~ (135.8 ±1.1) Ma,集中于晚侏罗世 - 早白垩世,属燕山早期晚阶段。王彦斌等[25]首次应用锆石 SHRIMP 定年方法对铜陵地区与成矿关系密切的小铜官山岩体进行年龄测定,测得年龄为(142.9 ±1.1) Ma。

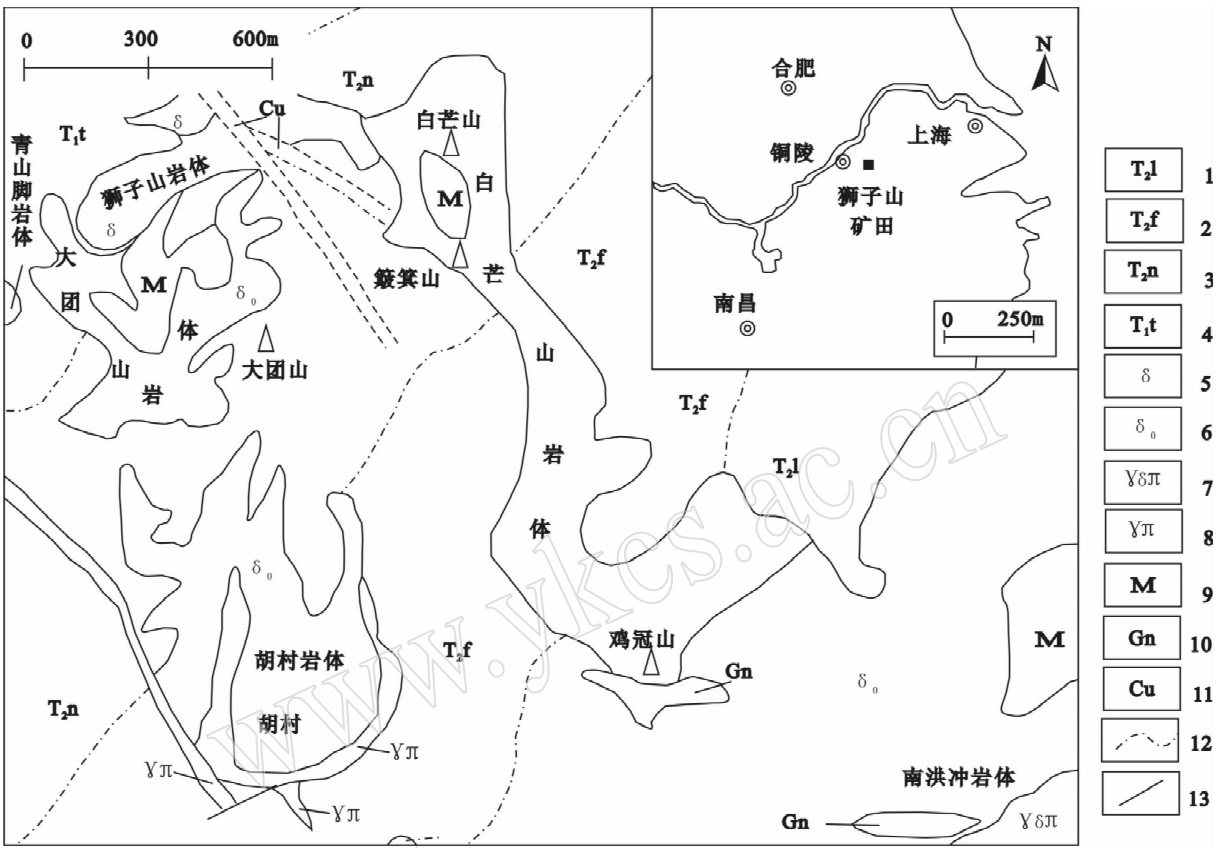


图 2　狮子山矿田地质简图[21]

Fig. 2　Geological map of the Shizishan ore field

1—龙头山组; 2—分水岭组; 3—南陵湖组; 4—塔山组; 5—闪长岩; 6—石英闪长岩; 7—花岗闪长岩; 8—花岗斑岩; 9—大理岩; 10—铁帽; 11—铜矿化; 12—地层界线; 13—断层。

表 1 列出了不同时期、不同方法获得的狮子山矿田岩浆岩同位素年龄数据。结果显示,除全岩 K - Ar 法、全岩 - 单矿物 Rb - Sr 法同位素年龄较为分散外,全岩 Rb - Sr 等时线法、黑云母 Ar - Ar 法和 SHRIMP 锆石 U - Pb 法定年数据比较一致,同位素年龄为 132.7 ~ 145.0 Ma,即晚侏罗世 - 早白垩世,属燕山早期晚阶段,与铜陵地区其他岩浆岩形成时代一致。依据 SHRIMP 锆石 U - Pb 年龄和黑云母 Ar - Ar 年龄,矿田内岩浆侵入发生在 140 Ma 前后和 136 Ma 前后 2 个阶段。第 1 阶段代表性侵入体为大团山花岗闪长岩、石英二长闪长岩以及辉石二长闪长岩和老鸦岭石英闪长岩、胡村花岗闪长岩和白芒山辉石二长闪长岩岩体,第 2 阶段在第 1 个阶段不久后,岩浆发生再一次侵位,冬瓜山和鸡冠石石英二长闪长岩岩体。同位素地质年代学表明,矿田内岩体形成顺序是,偏酸性的花岗闪长岩和偏基性的辉石二长闪长岩形成较早,而相对中性的石英二长闪长岩形成较晚,表现出不同于鲍文反应序列的“反序”现象。

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

表 1　狮子山矿田岩浆岩同位素地质年龄

Table 1　Isotopic ages of the Shizishan ore field magmatic rocks

岩体	岩性	测试对象	测试方法	年龄/Ma	来源文献
老鸦岭	石英闪长岩	全岩	K－Ar	147.0～160.0	[26]
冬瓜山	石英二长闪长岩	黑云母	Ar－Ar	135.8	[9]
				135.8±1.1	[10]
		全岩	Rb－Sr 等时线	135.6±1.4	[27]
		锆石	SHRIMP U－Pb	135.5±2.2	[20]
				136.0±2.0	[28]
胡村	花岗闪长岩	黑云母	Ar－Ar	139.8±0.8	[10]
		锆石	SHRIMP U－Pb	140.0±2.6	[20]
				140.0±3.0	[28]
白芒山	辉石二长闪长岩	黑云母	Ar－Ar	136.6±1.1	[10]
		锆石	SHRIMP U－Pb	142.9±1.1	[25]
				139.1±2.3	[20]
				139.1±2.3	[28]
		全岩	K－Ar	147.0	[29]
			Rb－Sr 等时线	139.6±9.0	[27]
	石英二长闪长岩	斜长石、黑云母、全岩	Rb－Sr 等时线	116.0	[29]
	角闪石辉石岩	全岩	Rb－Sr 等时线	140.0	[9]
	碱长辉长岩	全岩	Rb－Sr 等时线	145.0	[9]
鸡冠石	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP U－Pb	132.7±4.8	[20]
				134.0±3.0	[28]
青山脚	石英二长闪长岩	全岩	Rb－Sr 等时线	135.6±1.4	[27]
南洪冲	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP U－Pb	141.2±1.6	[21]
狮子山	石英二长闪长岩	全岩	Rb－Sr 等时线	137.0	[9]
		锆石	SHRIMP U－Pb	132.7～142.9	[20]

翟裕生等[2]将长江中下游地区的成矿作用和成矿系列进行了详细的总结，提出燕山期成矿时代为 170～90 Ma，矽卡岩型－斑岩型 Cu－Mo－Au 成矿亚系列为 130～90 Ma。毛景文等[22]测得大团山 Re－Os 同位素等时线年龄为(139.1±2.7) Ma，模式年龄介于(140.8±2.0) Ma～(138.0±3.2) Ma，矿田铜(金)矿床为长江中下游白垩纪早期大规模成矿的组成部分。与大团山同属狮子山矿田的龙虎山 Os－Os 模式年龄为(138.0±2.5) Ma，认为铜钼金硫化物成矿的模式年龄为(140.8±2.0) Ma～(138.0±3.2) Ma，平均(139.3±2.6) Ma，属于早白垩世，成岩成矿有较短的时差。成岩成矿时差较短，说明岩浆来源于上地幔，在上升过程中经历了结晶分异作用和壳幔混染作用，形成了狮子山矿田中酸性侵入岩体，幔源岩浆分异的深部流体参与了成矿作用。

3.2　主量元素

由东狮子山微量元素含量(表 2)可以看出成矿元素富集，辉石二长闪长岩和矿石中 Cu、Pb、Zn、Ag、As 富集，矽卡岩中相对较少，但均以富集成矿元素为特征，其中，辉石二长闪长岩 Cu 为 310 mg/g，高于维氏值(20 mg/g)，矽卡岩中 Cu 含量为 2.00～6.10 mg/g。辉石二长闪长岩 Zn 为 67.00 mg/g，高于维氏值(60 mg/g)，矽卡岩中 Zn 含量为 7.50～1570 mg/g，主要集中在 961～1570 mg/g。辉石二长闪长岩中 Au 为 0.019 mg/g，矽卡岩 Au 含量平均 0.0375 mg/g，也远远高于维氏值。辉石二长闪长岩 Ni 含量 3.80 mg/g，低于维氏值(8 mg/g)，可能是原始碱性玄武岩浆熔融程度低。

对矿田内大团山、冬瓜山、东狮子山和狮子山岩体主要岩浆岩进行主量元素分析(表 3)，岩体主量元素 SiO_2 (53.08% ～ 66.36%)、Al_2O_3 (15.16% ～ 18.02%)、CaO (3.24% ～ 8.72%)、K_2O (2.65% ～ 4.83%)、全碱 Na_2O+K_2O (6.94% ～ 8.97%) 含量较高，岩浆岩均以富碱 ($Na_2O+K_2O>7.00\%$)、高钾 ($K_2O>2.50\%$)、贫镁为特征，Na_2O/K_2O 普遍大于 1。主要侵入岩为偏碱性的辉石二长闪长岩和中性的石英闪长岩以及偏酸性的花岗闪长岩，岩浆岩的 SiO_2 含量变化幅度较小(53.08% ～ 66.36%)，属中酸性岩石。里特曼指数(δ)为 2.12～4.61，平均 3.43，$\delta<3.30$ 为钙碱性岩，δ 为 3.30～9.00 为过碱性岩，$\delta>9.00$ 为碱性岩，矿田内以钙碱性岩为主，其次为过碱性岩。

岩石的碱度不仅与 SiO_2 有关，与全碱也有关，与 Al_2O_3 及 CaO 都有关系，可以用来研究岩石的碱性程度和演化趋势，矿田的碱度率(R.A)图解(图 3)投点主要落在钙碱性系列区域，少部分落在碱性区域。在 SiO_2-K_2O 图解中(图 4)，主要落在高钾钙碱性范围内。由上地幔产生未经变异的原始玄武岩浆的固结指数(SI)为 40 左右，残余岩浆向着贫 MgO 的方向演化，固结指数迅速降低。

表 3　东狮子山矽卡岩、辉石二长闪长岩矿石部分微量元素的含量

Table 3　Trace elements of the Dongshizishan skarns, pyroxene monzodiorite and ores　　$w_B/(mg\cdot g^{-1})$

样品名称	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr	V	Ti	Sr	Ba	Au	Ag	Zr	Sc	Mn	来源文献
矽卡岩	1600	2.00	7.50	4.90	4.00	40.0	33.9		24.0	13.4	0.038	1.15	30.0	10.0		[33],[34]
	1400	4.90	79.0	4.30	11.0	30.0	68.0		78.0	245	0.037	1.30	93.0	4.86		
	1800	6.10	1060	653	247	51.5	54.9	632	45.6	60.0			49.9		3200	
	1450	5.10	1570	89.80	101	12.5	25.1	475	12.1	81.4			42.0		1560	
	1650	3.00	961	49.0	97.5	19.7	44.0	576	44.5	172			43.5		989	
矿石	1.2×10^5	26.0	74.0	49.0	98.0	20.0	44.0	576	44.5	172			42.8		1440	[33],[34]
辉石二长闪长岩	310	8.40	67.0	16.0	3.80	40.0	164		930	684	0.019	0.41	152	11.0		[33]

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

表 2　狮子山矿田岩浆岩主量元素组成

Table 2　Major element compositions of the Shizishan ore field magmatic rocks　　w_B/%

岩体	岩石类型	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	δ	τ	A. R	SI	DI	Na_2O/K_2O	资料来源
大团山	石英闪长岩	63.27	0.61	16.51	0.56	1.54	0.05	1.59	6.31	3.82	3.69	0.25	2.78	20.80	1.98	14.20	35.91	1.04	[30,31]
		62.46	0.67	17.15	1.07	1.54	0.07	2.07	6.42	4.35	3.36	0.28	3.05	19.10	1.97	16.71	83.67	1.29	
		64.10	0.60	16.57	1.52	1.39	0.04	1.76	6.22	4.26	2.68	0.26	2.28	20.52	1.88	15.16	30.74	1.59	
		58.38	0.79	17.27	3.22	3.08	0.10	1.91	5.96	4.54	2.79	0.35	3.49	16.11	1.92	12.29	21.69	1.63	
		59.78	0.81	17.05	3.46	3.18	0.10	2.28	5.58	4.61	2.65	0.37	3.14	15.36	1.94	14.09	31.86	1.74	
		57.50	0.77	16.43	2.97	3.16	0.08	1.57	5.81	3.91	3.37	0.34	3.66	16.26	1.97	10.48	79.49	1.16	
		64.33	0.56	16.00	1.38	3.20	0.10	1.77	5.15	3.88	3.38		2.47	21.64	2.05	13.01	34.43	1.15	
	花岗闪长岩	66.36	0.57	15.69	1.82	4.07	0.12	1.43	4.06	4.03	3.01		2.12	20.46	2.11	9.96	84.18	1.34	[28]
冬瓜山	石英闪长岩	60.00	0.72	16.68	3.56	1.87	0.12	2.18	5.60	4.29	2.69	0.42	2.87	17.21	1.91	14.94	25.40	1.59	[32]
		59.28	0.69	16.44	2.69	3.65	0.12	2.22	5.39	4.14	2.93	0.41	3.07	17.83	1.96	14.20	78.71	1.41	
		59.72	0.69	16.62	3.12	2.86	0.08	2.42	4.95	4.35	3.17	0.42	3.38	17.78	2.07	15.20	80.06	1.37	
		59.68	0.71	17.06	2.72	3.30	0.12	2.36	5.35	4.54	2.68	0.41	3.13	17.63	1.95	15.13	79.87	1.69	
		64.24	0.55	15.16	2.52	1.68	0.09	2.02	3.87	3.75	3.74	0.32	2.64	20.75	2.30	14.73	85.00	1.00	
		63.70	0.58	16.68	2.39	0.68	0.40	1.73	3.24	3.08	4.33	0.30	2.65	23.45	2.18	14.17	86.63	0.71	
		57.64	0.78	16.64	3.93	1.25	0.10	2.63	6.37	4.33	3.17	0.46	3.84	15.78	1.97	17.18	77.16	1.37	
		59.99	0.71	16.41	2.87	2.25	0.09	2.28	4.53	3.90	4.10	0.40	3.77	17.62	2.24	14.81	81.77	0.95	
	石英二长闪长岩	57.31	0.83	15.71	2.80	4.72	0.13	2.32	6.35	4.32	2.99		3.73	13.72	1.99	13.53	72.91	1.44	[31]
东狮子山	二长闪长岩	54.07	1.04	16.24	3.06	4.26	0.15	3.01	8.72	4.30	2.84		4.61	11.48	1.80	17.23	18.95	1.51	[28]
	二长岩	59.01	0.82	16.00	1.89	4.53	0.12	2.32	4.87	4.16	4.02		4.18	14.44	2.29	13.71	77.64	1.03	
狮子山	石英二长岩	61.64	0.63	15.83	1.60	2.61	0.09	1.71	4.96	4.23	4.32		3.92	18.41	2.40	11.82	74.65	0.98	[28]
	二长闪长岩	53.08	1.02	18.02	4.32	3.28	0.02	2.21	7.84	4.56	3.04		5.73	13.20	1.83	12.69	22.92	1.50	
	石英闪长岩	60.21	0.84	16.33	1.93	4.62	0.13	2.37	4.97	4.24	4.10		4.04	14.39	2.29	13.73	77.44	1.03	[31]
		61.42	0.71	16.32	1.73	2.76	0.18	2.11	5.67	4.14	4.83		4.37	17.15	2.38	13.55	73.05	0.86	

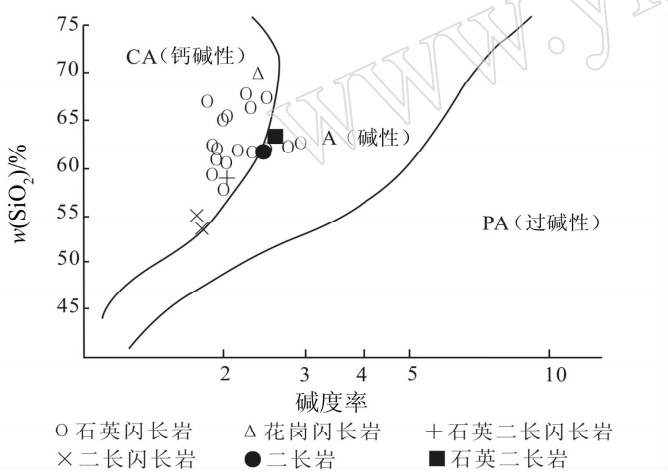


图 3　狮子山矿田岩浆岩碱度率图解

Fig. 3　Alkalinity ratio of the Shizishan ore field magmatic rocks

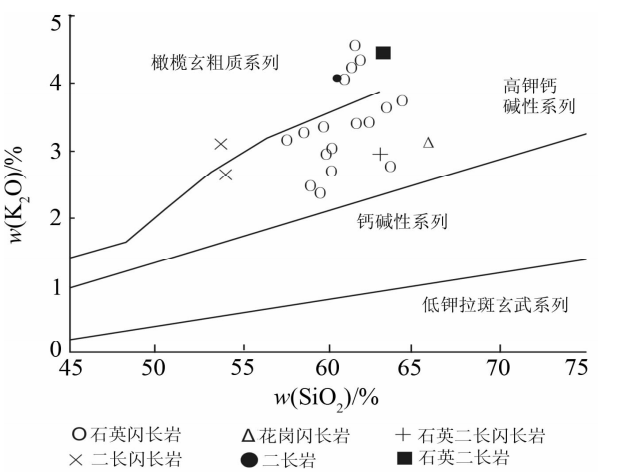


图 4　狮子山矿田岩浆岩 SiO_2 – K_2O 图解

Fig. 4　SiO_2-K_2O diagram of the Shizishan ore field magmatic rocks

本区固结指数为 9.96 ~ 17.23,平均 14.02,并且与w(MgO)、w(FeO)以及w($Na_2O + K_2O$)具有相关性,表明本区岩浆岩为幔源岩浆分异的产物。石英闪长岩分异指数(DI)为 21.69 ~ 86.63,平均 62.52,DI 变化幅度较大,花岗闪长岩分异指数为 84.18,石英二长闪长岩分异指数为72.91,二长岩分异指数为77.64,石英二长岩分异指数为 74.65,二长闪长岩分异指数较低平均为 20.94,可能与岩浆岩后期同化围岩使硅质流失有关。岩浆岩主量元素 Hark 图(图 5)显示,SiO_2与 FeO、MgO、CaO、TiO_2反相关,与 K_2O 正相关,Al_2O_3、Na_2O 随着 SiO_2的增加或减小变化不明显,说明不同岩石之间可能有某种成因上的联系,并且在岩浆

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

侵入过程中与 Na_2O、K_2O含量较高的围岩发生了同化混染作用。本区岩浆岩的戈蒂尼指数(τ)为 11.48 ~ 23.45,平均 17.44,均大于 10,τ < 10 代表稳定的非造山带环境,τ > 10 代表强烈活动的大陆边缘(造山带)环境,在 Loffler $\lg\tau - \lg(\delta_{25} \times 100)$图解(图 6)中,主要投点在 C 区,为造山带派生的碱性和偏碱性花岗岩区。

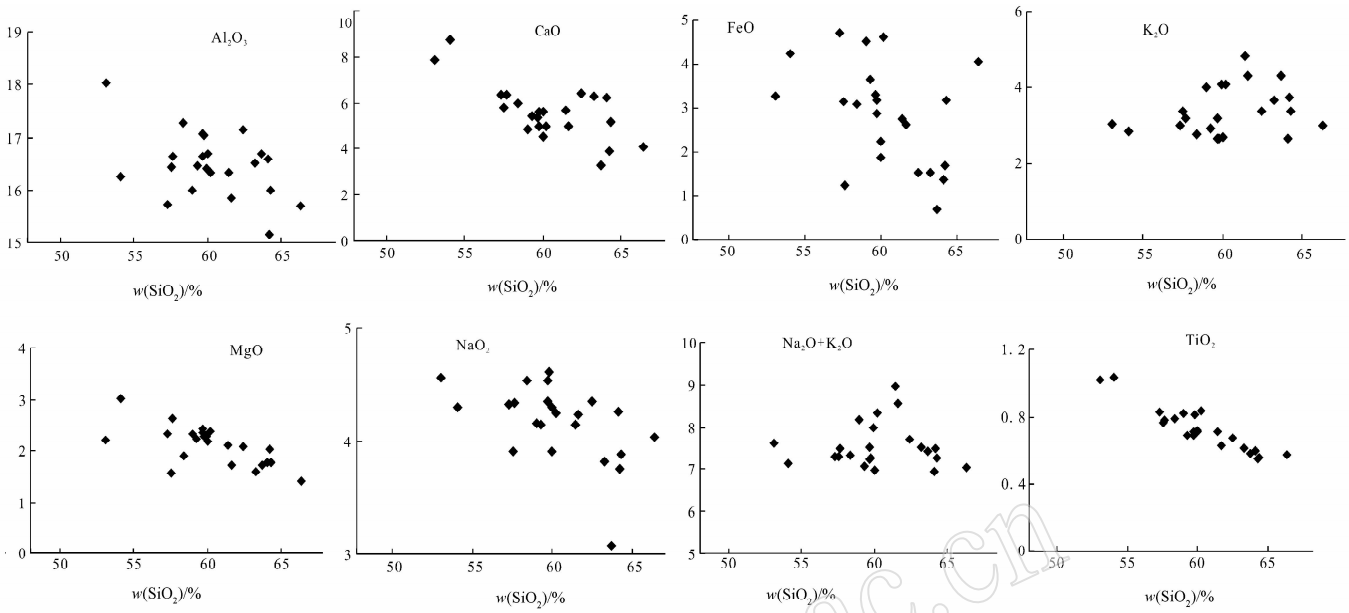


图 5　狮子山矿田岩浆岩主量元素 Hark 图

Fig. 5　Hark diagram of the Shizishan ore field magmatic rocks

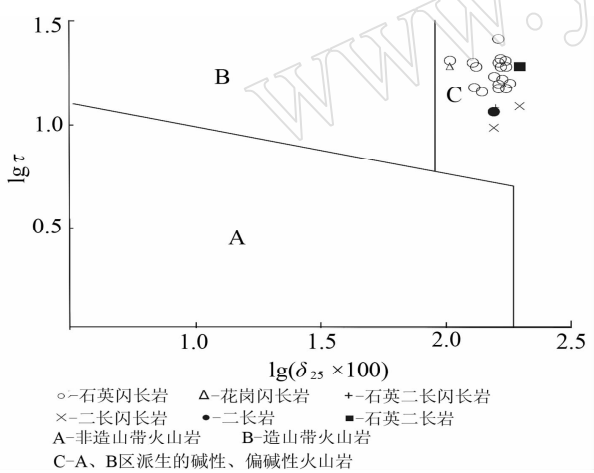


图 6　狮子山矿田岩浆岩 Loffler 图解

Fig. 6　Loffler diagram of the Shizishan ore field magmatic rocks

3.3　微量元素

大团山石英闪长岩 Ba、Sr、Rb、Th 等大离子亲石元素(LILE)质量分数偏高,而 Nb、Ta、Y 等高场强元素(HFSE)的质量分数偏低[30]。在球粒陨石标准化蜘蛛图解上(图 7)Co 元素亏损,成矿元素及其他元素富集,Sr 的弱富集与整个铜陵地区高 Sr 花岗岩的大背景一致,Sr 正异常,可能是 Sr 的弱富集与高钾富碱的幔源岩浆有关。

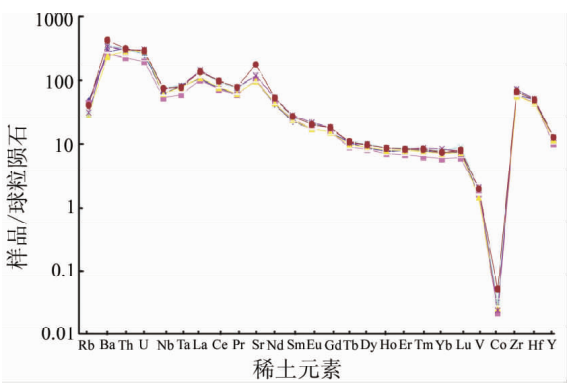


图 7　大团山石英闪长岩微量元素球粒陨石标准化蜘蛛图解

Fig. 7　Chondrite-normalized trace element spidergrams of the Datuanshan quartz diorite

3.4　稀土元素

狮子山矿田主要岩浆岩为石英闪长岩、辉石二长闪长岩和花岗闪长岩,均为高钾钙碱性系列岩石。徐晓春等[20]认为本区岩浆岩形成时代基本同时而略有先后,

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

岩性特征相似又有差异并呈“反序”现象,稀土元素组成上有相似性但又有分异的特点。该矿田岩浆岩稀土总量(∑REE)为 148.56 ~ 237.14 mg/g,轻稀土总量(∑LREE)为 139.12 ~ 218.70 mg/g,重稀土总量(∑HREE)为 9.36 ~ 18.44 mg/g,轻重稀土比值 11.19 ~ 14.87(表 5)。用球粒陨石稀土含量平均值对数据进行标准化(图 8),配分曲线均为平缓右倾型。

表 5　狮子山矿田岩浆岩稀土元素组成

Table 5　REE compositions of the Shizishan ore field magmatic rock　　$w_B/(mg \cdot g^{-1})$

岩体	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	∑REE	∑LREE	∑HREE	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$	δEu	δCe	来源文献
大团山	石英闪长岩	39.50	71.99	8.470	30.80	5.23	1.49	4.66	0.61	3.33	0.66	1.97	1.78	0.29	170.78	157.48	13.3	4.72	13.18	1.03	0.82	[30]
		37.46	70.36	8.120	31.64	5.59	1.50	4.70	0.53	3.17	0.61	1.71	1.45	0.23	167.07	154.67	12.4	4.19	15.34	1.00	0.84	
		41.22	75.18	8.580	31.24	5.28	1.49	4.68	0.56	3.38	0.69	1.99	1.77	0.28	176.34	162.99	13.35	4.88	13.83	1.02	0.83	
		51.12	90.20	10.41	38.48	6.11	1.80	5.48	0.62	3.79	0.74	2.12	1.94	0.34	213.15	198.12	15.03	5.23	15.65	1.06	0.82	
		53.52	93.49	10.64	37.84	6.49	1.91	5.48	0.61	3.69	0.74	2.11	2.05	0.29	218.86	203.89	14.97	5.15	15.50	1.09	0.82	
		51.09	93.68	10.57	38.63	6.37	1.77	5.39	0.63	3.64	0.74	2.10	1.87	0.30	216.78	202.11	14.67	5.01	16.22	1.03	0.84	
	花岗闪长岩	34.40	64.69	7.340	26.35	5.02	1.32	3.42	0.63	2.96	0.53	1.33	1.30	0.21	149.50	139.12	10.38	4.28	15.71	1.09	0.85	[35]
东狮子山	辉石二长闪长岩	42.00	79.80	10.00	35.40	6.70	1.80	5.60	0.80	3.90	0.80	2.20	2.10	0.30	191.40	175.70	15.7	3.92	11.88	1.00	0.81	[35]
		38.80	72.70	9.510	37.00	5.89	1.60	4.84	0.70	3.65	0.70	1.86	1.62	0.22	179.09	165.50	13.59	4.12	14.22	1.02	0.79	
冬瓜山	辉石二长闪长岩	51.00	101.0	11.90	43.74	8.80	2.26	6.32	1.12	5.17	0.93	2.25	2.30	0.35	237.14	218.70	18.44	3.62	13.17	1.03	0.85	[36]
	石英闪长岩	34.70	65.50	7.360	25.86	5.00	1.27	3.41	0.61	2.64	0.47	1.11	1.20	0.19	149.32	139.69	9.630	4.34	17.17	1.05	0.85	
		35.10	65.00	7.320	25.67	4.86	1.25	3.33	0.53	2.61	0.44	1.10	1.16	0.19	148.56	139.20	9.360	4.51	17.97	1.06	0.85	
		48.50	95.00	10.20	36.00	6.50	1.60	4.70	0.68	3.50	0.66	2.00	1.80	0.25	213.64	197.80	15.84	4.66	16.00	0.99	0.89	
狮子山	石英闪长岩	37.28	69.98	7.940	29.05	5.55	1.42	3.91	0.60	3.39	0.58	1.58	1.54	0.25	163.07	151.22	11.85	4.20	14.37	1.04	0.85	
		36.91	69.27	7.730	26.18	5.13	1.25	3.54	0.54	3.10	0.55	1.44	1.54	0.24	157.42	146.47	10.95	4.50	14.23	1.00	0.85	

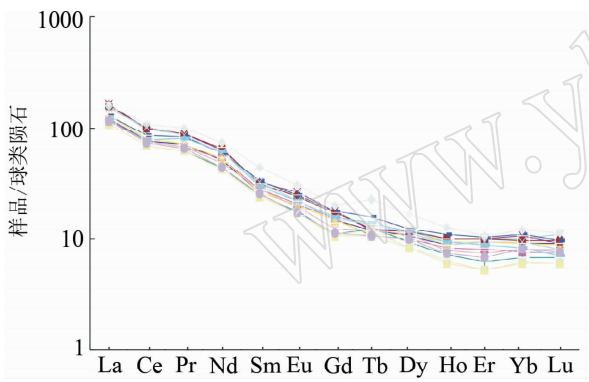


图 8　狮子山矿田岩浆岩稀土元素配分模式图

Fig. 8　Chondrite-normalized REE distribution patterns of the Shizishan ore field magmatic rocks

翟裕生等[2]研究认为花岗岩类岩石的不同来源在稀土配分曲线模式上的反映是:幔源岩浆具有轻稀土富集、重稀土亏损的右倾曲线。该区轻稀土部分相对较陡,重稀土曲线较平坦,并且轻稀土的分馏程度比重稀土高,$(La/Yb)_N$ 值变化于 11.88 ~ 17.97,$(La/Sm)_N$ 值变化于 3.62 ~ 5.23,表明侵入岩原始岩浆来源于上地幔,但在岩浆不断侵位形成过程中有地壳物质加入,侵入岩岩浆属于壳幔混染型。δEu 值在 0.99 ~ 1.09,弱的异常说明岩浆岩分异演化不强,花岗岩类 Eu 呈现异常或负异常指示其形成时具有加厚的陆壳,该地区显示出弱的 Eu 异常,在形成时可能有加厚的陆壳。δCe = 0.79 ~ 0.89,均较相近,弱的负铈异常,与 I 型花岗岩相似。从偏碱性的辉石二长闪长岩到中性的石英闪长岩及偏酸性的花岗闪长岩,岩石稀土总浓度降低,∑REE 平均值分别为 202.54 mg/g、181.16 mg/g、149.50 mg/g,呈现与岩浆岩岩性一致的“反序”现象,∑LREE/∑HREE 逐渐升高,平均值分别为11.74、13.19、13.40。在 $(La/Yb)_N - (La/Sm)_N$ 图解上(图 9),3 种岩浆岩数据点大致沿一条斜线分布并且相对集中,从辉石二长闪长岩到石英闪长岩再到花岗闪长岩稀土元素具有一致的演化趋势,说明从偏基性岩到中性岩再到偏酸性岩岩浆分异程度增加,并且 3 种岩体稀土元素地球化学特征呈现明显的相似性,表明具有相同的物质来源,可能是上地幔下地壳物质部分熔融的产物。

这 3 种岩浆岩起源于上地幔或下地壳的原生岩浆,聚集到岩浆房中以后发生分离结晶作用,在区域上晚侏罗世挤压构造环境向早白垩世拉张构造环境转化的过程中,又由于松弛及构造事件的发生,诱发了深部岩浆房中岩浆上涌侵位,结晶分异,冷凝结晶,上部的花岗闪长岩先上侵形成花岗闪长岩岩体,其次是石英闪长岩岩体和辉石二长闪长岩岩体形成。

www.ykcs.ac.cn

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

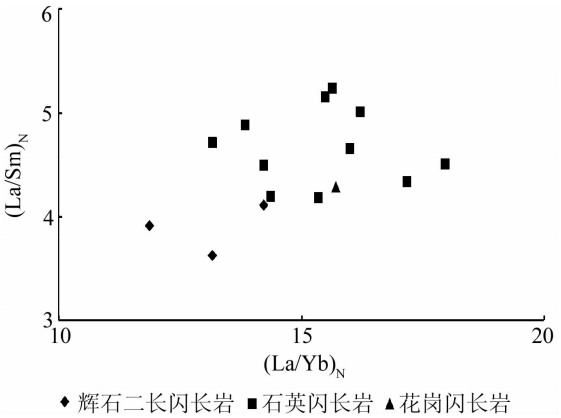


图 9　狮子山矿田岩浆岩$(La/Yb)_N$ - $(La/Sm)_N$图解

Fig. 9　$(La/Yb)_N$- $(La/Sm)_N$ diagram of the Shizishan ore field magmatic rocks

4　结语

狮子山矿田内的 6 个主要铜矿床与燕山期侵入岩处于同一构造 - 岩浆带上,一般围岩绕岩体分布,不同矿化类型的矿床与岩体在空间上的相对位置有所不同,并且构成明显的分带特征,形成了"三位一体"或"多层楼"的矿床空间分布模式[2]。中酸性侵入岩是狮子山矿田内铜矿床成矿物质的主要来源,而一定深度岩浆房的流体和矿质补充对大规模的成矿作用是非常重要的。矿田内铜矿床类型多样,东狮子山为矽卡岩型和角砾岩筒式矿床,西狮子山为层间交代式矽卡岩型矿床,大团山为层间式矽卡岩型矿床,老鸦岭为海西期海底喷流而成的同生沉积层状块状硫化物型和层间交代式矽卡岩型的层状矿床,花树坡为层间式矽卡岩型矿床,冬瓜山为铜陵矿集区内具有代表性的大型沉积 - 热液叠加改造型和层控矽卡岩型、斑岩型的层状矿床。

狮子山矿田成矿经历了海西期和燕山期 2 个时代,燕山期为主成矿期。Ar - Ar 同位素定年法测得岩体侵位年龄为(139.8 ± 0.8) Ma ~ (135.8 ± 1.1) Ma[10],SHRIMP 锆石 U - Pb 定年法测得矿田内与成矿有关的侵入岩年龄为(142.9 ± 1.1) Ma[25],集中于晚侏罗世 - 早白垩世,属燕山早期晚阶段。Re - Os 同位素等时线年龄为(139.1 ± 2.7) Ma[22]属于早白垩世,成岩成矿有较短的时差。

狮子山矿田主要岩浆岩为石英闪长岩、辉石二长闪长岩和花岗闪长岩,均为高钾钙碱性系列,属中酸性岩石,为造山带派生的碱性和偏碱性花岗岩。岩石地球化学特征表明本区岩浆岩为幔源岩浆分异的产物,属于壳幔混染型,岩浆岩后期同化围岩使硅质流失,并且在岩浆侵入过程中与 Na_2O、K_2O 含量较高的围岩发生了同化混染作用。并且,不同岩石之间可能有某种成因上的联系。

5　参考文献

[1]　常印佛,刘学圭. 关于层控矽卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例[J]. 矿床地质,1983,2(1):11 - 20.

[2]　翟裕生,姚书振,林新多,周珣若,万天丰,金福全,周宗桂. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1992:1 - 235.

[3]　周泰禧,李学明,赵俊深,张富陶. 安徽铜陵铜官山矿田火成岩的同位素地质年龄[J]. 中国科学技术大学学报,1987,17(3):403 - 407.

[4]　周珣若,吴才来,黄许陈,张成火. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学[J]. 岩石矿物学杂志,1993,12(1):20 - 31.

[5]　陈江峰,周泰禧,李学明,Foland K A,黄承义,卢伟. 安徽南部燕山期中酸性侵入岩源区的锶-钕同位素制约[J]. 地球化学,1993,3:263 - 268.

[6]　陈江峰,周泰禧,邢凤鸣,徐祥,徐立华. 长江中下游岩带含铜岩体的 Pb、Sr、Nd 同位素特征[J]. 地质学报—中国地质科学院院报,1994(Z1):111 - 116.

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

[8]　邢凤鸣,徐祥. 铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩[J]. 地球化学,1996,27(3):258 - 268.

[9]　唐永成,吴言昌,储国正,刑凤鸣,王永敏,曹奋扬,常印佛. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1998:1 - 351.

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

[11]　吴才来,陈松永,史仁灯,郝美英. 铜陵中生代中酸性侵入岩特征及成因[J]. 地球学报,2003,24(1):41 - 48.

[12]　王强,许继峰,赵振华,熊小林,包志伟. 安徽铜陵地区燕山期侵入岩的成因及其对深部动力学过程的制约[J]. 中国科学:D 辑,2003,33(4):323 - 334.

[13]　杜杨松,秦新龙,李铉具. 安徽铜陵地区中生代幔源岩浆底侵作用——来自矿物巨晶和岩石包体的证据[J]. 岩石矿物学杂志,2004,23(2):109 - 116.

[14]　黄顺生,徐兆文,顾连兴,华明,陆现彩,陆建军,聂桂平,朱士鹏. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩地球化学特征及成因机制探讨[J]. 高校地质学报,2004,10(2):217 - 226.

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn

[15] 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,1991:1 – 379.

[16] 吴才来,周珣若,黄许陈,张成火. 铜陵地区中酸性侵入岩锆石群结晶特征及其成因意义[J]. 岩石矿物学杂志,1994,13(3):239 – 247.

[17] Pan Y M, Dong P. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag, deposits[J]. *Ore Geology Reviews*,1999,15:177 – 242.

[18] 吴淦国,张达,臧文栓. 铜陵矿集区构造滑脱及分层成矿特征研究[J]. 中国科学:D 辑,2003,33(4):300 – 308.

[19] 李进文,裴荣富,梅燕雄,朱和平,王莉娟,李铁军,王永磊. 安徽铜陵狮子山铜(金)矿田成矿流体地球化学研究[J]. 矿床地质,2006,25(4):427 – 437.

[20] 徐晓春,陆三明,谢巧勤,柏林,储国正. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其成因意义[J]. 地质学报,2008,82(4):500 – 509.

[21] 杨小男,徐兆文,张军,王云健,徐夕生,蒋少涌,凌洪飞,刘良根,陈达源. 安徽狮子山矿田南洪冲岩体形成时代及成因机制研究[J]. 岩石学报,2007,23(6):1544 – 1551.

[22] 毛景文,Stein H,杜安道,周涛发,梅燕雄,李永峰,臧文栓,李进文. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re – Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报,2004,78(1):121 – 131.

[23] Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks[J]. *Mineral Geology*, 1977,27:293 – 305.

[24] 王德滋,任启江,邱检生,陈克荣,徐兆文,曾家湖. 中国东部橄榄安粗岩省火山岩特征及其成矿作用[J]. 地质学报,1996,70(1):23 – 34.

[25] 王彦斌,刘敦一,曾普胜,杨竹森,田世洪. 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的时代——朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年[J]. 地球学报,2004,25(4):423 – 427.

[26] 叶伯丹,申永治,朱杰辰. 全国同位素地质年龄数据汇编(第四集)[M]. 北京:地质出版社,1986:21 – 23.

[27] 徐兆文,方长泉,陆现彩,陆建军,蒋少涌,高庚,王云健. 铜陵狮子山矿田岩浆岩成因机机探讨[C]//全国岩浆岩研究发展战略研讨会暨第三届花岗岩成因与地壳演化学术讨论会论文及摘要集. 南京:南京大学,2004:117 – 119.

[28] 陆三明. 安徽铜陵狮子山铜金矿田岩浆作用与流体成矿[D]. 安徽:合肥工业大学,2007:1 – 158.

[29] Wu C L, Wang Z H, Qiao D W, Li H B, Hao M Y, Shi R D. Type of enclaves and their features and origins in intermediate-acid intrusive rocks from the Tongling district, Anhui province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(1):55 – 67.

[30] 王云健,刘经华,徐兆文,方长泉,蒋少涌,杨小男,张军,李海勇. 安徽铜陵大团山石英闪长岩岩石地球化学特征及成因探讨[J]. 地质找矿论丛,2007,22(4):264 – 286.

[31] 储国正. 铜陵狮子山铜金矿田成矿系统及找矿意义[D]. 北京:中国地质大学,2003:1 – 164.

[32] 姜章平,陈邦国,陆现彩,陆建军,徐兆文,黄顺生,华明. 与冬瓜山叠生式层状铜矿有关岩体地质地球化学特征[J]. 江苏地质,2001,25(2):87 – 91.

[33] 吴言昌. 论岩浆矽卡岩:一种新类型矽卡岩[J]. 安徽地质,1992,2(1):12 – 26.

[34] 凌其聪,周贵斌,黄许陈,颜玉琴. “层控式”矽卡岩矿床特征及成矿机制——以铜陵大团山铜(金)矿床为例[J]. 贵金属地质,1998,7(2):91 – 103.

[35] 赵斌,赵松,刘海臣. 长江中下游若干 Cu(Au),Cu – Fe(Au)和 Fe 矿床中钙质爽卡岩的稀土元素地球化学[J]. 地球化学,1999,28(2):113 – 125.

[36] 徐晓春,陆三明,谢巧勤,储国正,熊亚平. 铜陵狮子山矿田岩浆岩及金矿床的稀土元素地球化学[J]. 中国稀土学报,2006,24(5):615 – 622.

All rights reserved. http://www.ykcs.ac.cn