第 90 卷　第 6 期
2016年6月 1146～1166
地 质 学 报　ACTA GEOLOGICA SINICA
Vol. 90 No. 6 2016
June 1146～1166

皖南东至查册桥金矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其成矿意义

聂张星[1)]，石磊[1)]，古黄玲[2)]，钱祥[1)]，胥飞[1)]，杨金龙[1)]，杨晓勇[2)]

1）安徽省地质矿产勘查局 311 地质队，安徽安庆，246003；

2）地球和空间科学学院，中国科学技术大学，合肥，230026

内容提要：安徽省东至县查册桥金矿是近年来在江南过渡带上新发现的具一定规模的金矿床，包括多个矿段（点）。矿体受 NNE 向、NE 向及近 EW 向断裂控制。矿化类型以高硫浅成低温热液型金（锑）矿化为主。其矿床的形成与燕山期岩浆活动有密切的时空和成因联系，区内岩浆岩主要有花岗斑岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩及英安玢岩。本文通过对区内岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年，确定了区内岩体成岩时间晚侏罗世到早白垩世之间，花岗闪长斑岩在 143～148Ma 侵位，花岗闪长岩侵位年龄为 145Ma，闪长玢岩略晚（142Ma），金多金属矿化稍晚，且持续时间较长。矿区岩浆岩中均发育大量继承锆石，反映有大量成岩物质来源于古老地壳基底，与岩浆岩的成因类型（壳幔同熔型）对应，并与所处的江南过渡带的大地构造位置（江南过渡带）及地质构造发展历史有关。（2522±72Ma）古老的继承锆石年龄，指示本区存在太古代基底物质；较为广泛的新元古代 600～1000Ma 继承锆石年龄数据，反映了江南过渡带晋宁期扬子陆块与华夏陆块碰撞造山过程所形成的物质再循环到本区燕山期岩浆活动与成矿过程中去。查册桥金矿成矿作用与岩浆期后大规模热液蚀变相联系，并在持续的岩浆活动和热液作用下富集和成矿。综合成矿地质背景、成岩成矿年代学，可以认为，查册桥金矿是一个受断裂构造控制的、与燕山期中酸性岩浆作用密切相关的浅成低温热液型金矿床。

关键词：锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄；太古代基底；查册桥金矿；东至；皖南

安徽东至地区近年金及多金属矿找矿取得较大进展，发现一些规模较大的金及多金属矿床，如查册桥金矿、赵家岭金矿、中畈金矿等；新发现兆吉口铅锌矿（大型）、花山锑金矿规模达中型。其中金矿成矿带分布于高坦断裂与江南断裂间，包括多个矿化类型（Nie Zhangxing et al.，2013）。查册桥矿区预查阶段（2012 年）发现赋存于 O/S 系断层界面附近的牛头高家红土型金矿（Nie Zhangxing et al.，2015），其后普查阶段发现受构造破碎带控制的原生金矿体，并陆续在其南侧发现赋存于不同地质构造部位的其他类型金矿。在金矿普查同时，笔者等开展了本区成矿地质条件、主要控矿因素及找矿方向等方面的专题研究，对牛头高家金矿段成岩成矿年代学特征进行了初步研究，认为本区原生金矿主要为浅成低温热液型金矿，具较大金多金属矿找矿潜力。金多金属矿的形成与岩浆岩有着密切的时空和成因联系。本文通过对查册桥金多金属矿区内主要中酸性岩体及岩脉的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究，初步确定研究区主要岩浆岩的形成时代，并结合区域上前人关于岩浆岩成岩年代学方面研究成果，探讨其成岩物质来源以及成岩成矿构造背景。

1　区域及矿区地质特征

1.1　区域地质背景

本区位于扬子陆块北缘，大别造山带与江南造山带的间夹部位，西北与大别造山带相毗邻，南部江南隆起带属江南造山带的一部分，区域上大体以高坦断裂为界，划为下扬子前陆带和江南隆起带两个次级构造单元（图 1）。其中江南隆起带北部的江南断裂与高坦断裂之间，早古生代出现沉积相变带，为长江中下游成矿带的南外带（Chang Yinfo et al.，1991），称为“江南过渡带”，是相对独立的成矿带。

注：本文为安徽省国土资源厅《安徽省东至县查册桥—西峰尖金铜多金属矿成矿条件及控矿因素研究》（2012-1-28）、安徽省地质矿产勘查局科技项目《安徽省东至县赵家岭金矿成矿条件与近代矿因素研究》（KJ2014-04）和国家自然科学基金（41372087）共同资助的成果。

收稿日期：2015-03-30；改回日期：2015-07-12；责任编辑：黄敏。

作者简介：聂张星，男，1959 年生，安徽潜山人，高级工程师，从事矿产地质勘查与研究工作。通讯作者：杨晓勇，男，1964 年生，安徽颍上人，教授，地球化学专业，Email：xyyang555@163.com。

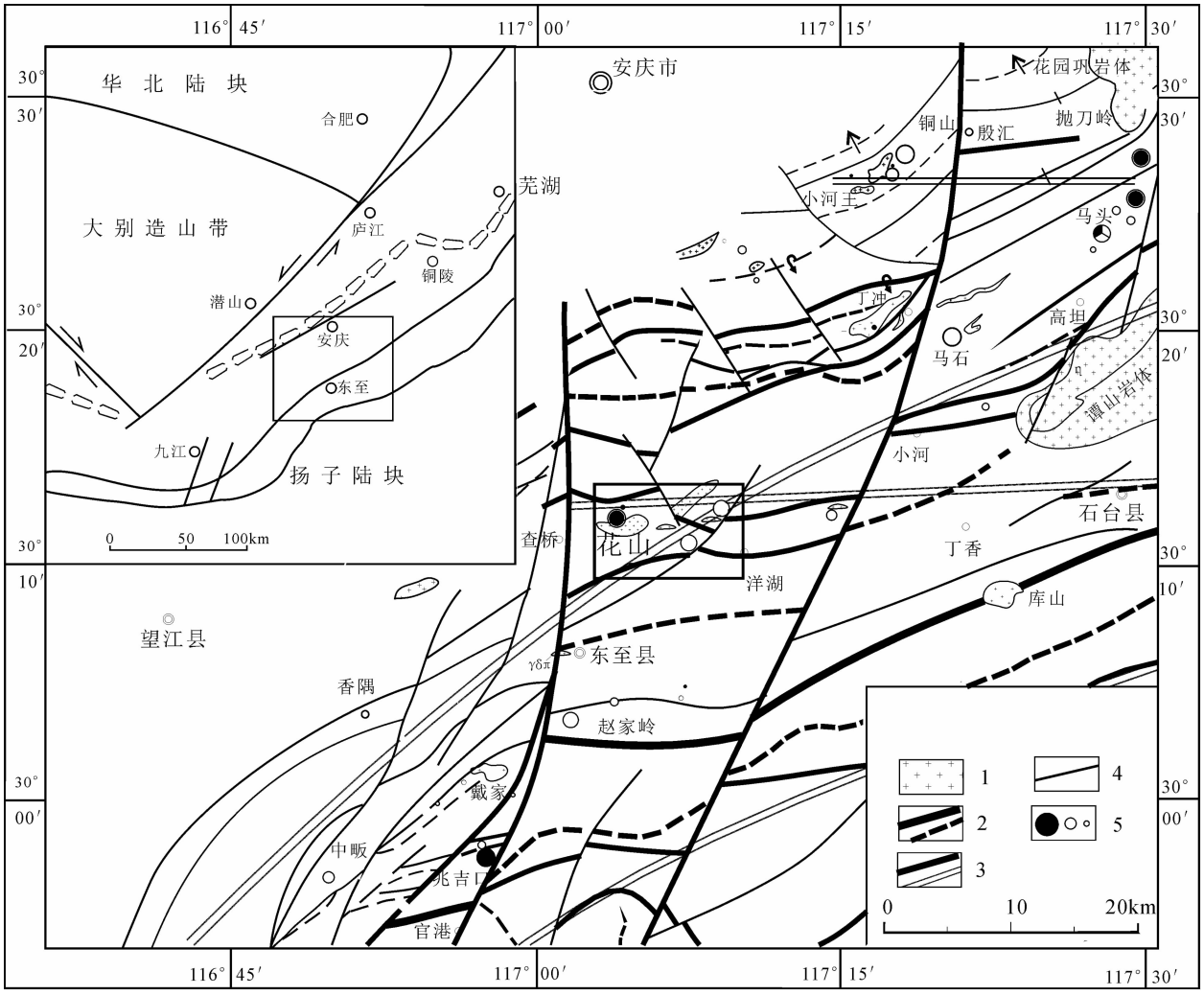

图 1　皖南东至地区地质构造略图

Fig. 1　Tectonic sketch in Dongzhi region, South Anhui Province

1—燕山期侵入岩；2—主要褶皱；3—区域性和基底断裂；4——般性断裂；5—矿床(点)、矿化点

1—Yanshanian intrusive rocks; 2—main fold; 3—regional and basement fault; 4—fault; 5—ore deposits (points), mineralization points

江南隆起带以元古宙一早古生代沉积为主，前南华纪沉积一套碎屑岩建造构成了江南隆起带的褶皱基底；其中主要赋矿层位为青白口系邓家组、南华系休宁组、震旦系蓝田组、寒武系黄柏岭、及奥陶系及其与志留系断层接触界面等。区内褶皱及断裂构造发育，与岩体侵入及成矿关系密切。本区燕山期岩浆作用与陆内造山作用关系密切，以中酸性侵入岩为主，岩石类型多，大一中一小型岩体均有出露，与成矿关系密切的为中、浅成小侵入体。

1.2　矿区和矿床地质特征

查册桥矿区位于下扬子前陆带之江南前陆反向褶冲带和江南过渡带接合部位，花山锑金矿东部，矿区包括牛头高家金矿段、路源金矿段、程檀金矿段和姚村金矿点、东边金矿(化)点、杨梅尖金矿点(图 2)。

矿区出露地层从南华系休宁组至志留系坟头组，受断裂构造破坏，部分层位缺失，尤其是上寒武统和中、上奥陶统局部缺失较多。

本区位于东至断裂东侧，三岗尖一杨美桥背斜核部转折端部位及其北翼，次级褶皱发育。近东西向花山一洋湖基底断裂和北东东向高坦断裂经过本区，断裂构造发育，主要包括北北东向、北东向及近东西向断层，其中近东西向断层形成早，为背斜翼部楔入式逆断层，局部表现为逆掩性质，后期在伸展机制下又具张性特征，O/S 断层界面形态复杂，断层局部形成“构造窗”和“构造岩块”，为区内重要的控岩控矿构造；北东向断层形成较早，同为区内重要的控岩控矿构造；北北东向断层形成较晚，多为左行走滑断层，属东至断裂次级构造。

区内燕山期岩浆活动强烈，主要表现为多期次中、浅成岩体侵入，包括各类岩株、岩枝及岩脉，深部

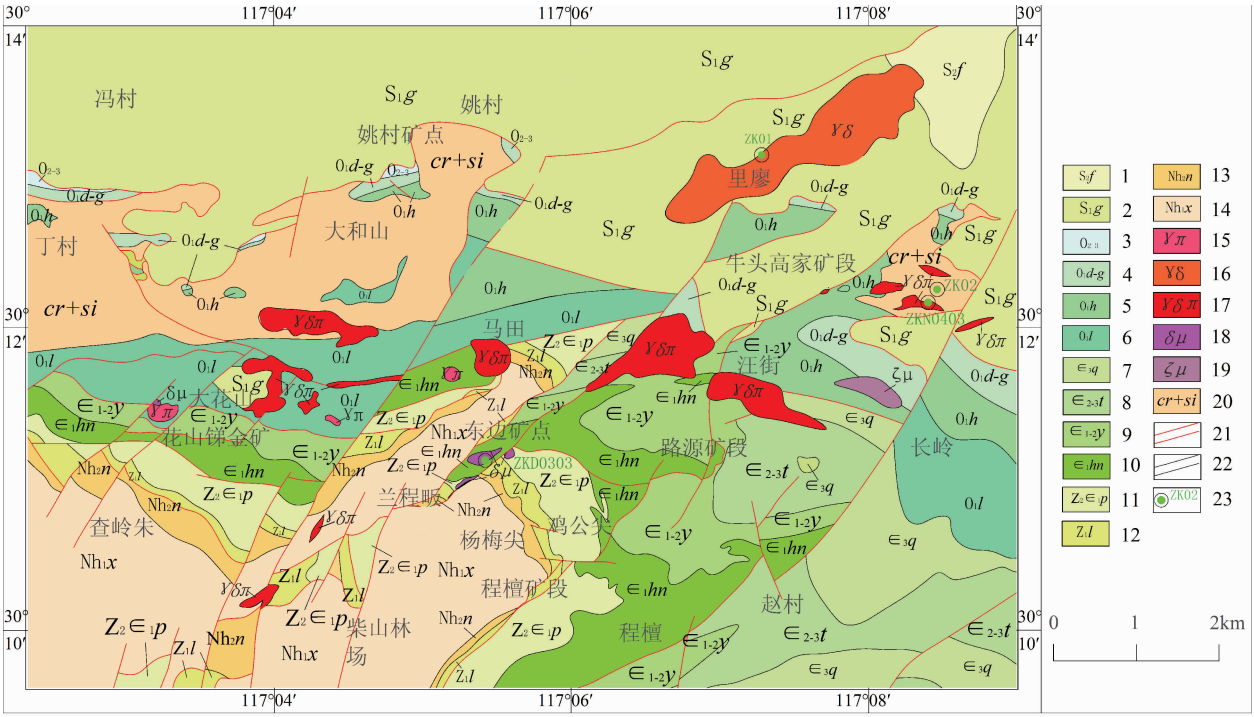

图 2 皖南东至查册桥矿区地质略图

Fig. 2 Geological sketch of Zhaceqiao ore deposit in Dongzhi area, South Anhui Province

1、2—志留系坟头组、高家边组；3～6—奥陶系中—上统、东至组—牯牛潭组、红花园组、仑山组；7～10—寒武系青坑组系、团山组、杨柳岗组、黄柏岭组；11、12—震旦系皮园村组、蓝田组；13、14—南华系南沱组、休宁组；15～19—燕山期侵入岩：花岗斑岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩、英安玢岩；20—含硅化岩岩块红土；21—实、推测断层；22—实、推测地质界线；23—同位素年龄样取样孔及编号

1, 2—Fengtou Group and Gaojiabin Group; 3～6—Ordovician System: Guniutan Group, Honghuayuan Group and Lunshan Group; 7～10—Cambrian System: Qingkeng Group, Tuanshan Group, Yangliugang Group and Huangbailing Group; 11, 12—Sinian System: Piyuancun Group and Lantian Group; 13, 14—Nanhua System: Nantuo Group and Xiuning Group; 15～19—Yanshanian intrusive rocks: granite porphyry, granodiorite, granite diorite porphyry, diorite porphyrite, dacite porphyrite; 20—silicified rock containing clay rock; 21—Measured and speculated fault; 22—indicated geological boundary; 23—sampling (drill hole and serial number)

可能存在隐伏岩基。岩性包括花岗斑岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩及英安玢岩等，除里廖花岗闪长岩体外，其他岩体岩石普遍蚀变强烈，局部形成黄铁绢英岩，以低温蚀变为主，围岩具不同程度接触变质，局部见矽卡岩化、大理岩化。岩体的侵入主要受构造控制，一是受近东西向构造控制，分布于花山、马田、牛头高家一带，向东沿至洋湖以东铜锣尖矿点，形成长 20 余千米的东西向构造岩浆岩带，二是受本区中部北东向兰程畈断裂控制，分布于里廖、柴山、兰程畈一带，形成长约 10 余千米的北东向构造岩浆岩带。

区内金多金属矿化主要受构造控制，并与有利的地层层位和岩浆活动有关。矿体主要赋存于不同类型的构造破碎带中，部分脉岩具矿化。矿化类型以高硫浅成低温热液型金（锑）矿化为主，工业类型主要属微细粒浸染型（Nie Zhangxing et al., 2013; Ji Fuyuan et al., 1991；孙中义等，1993），大和山—牛头高家一带近地表经氧化淋滤和富集形成红土型金矿（Nie Zhangxing et al., 2015）。外围局部见矽卡岩型钨、钼矿化。

2 分析方法

本次工作分别在牛头高家金矿段 2 个钻孔、东边矿点 1 个钻孔及里廖岩体 1 个钻孔内取得较新鲜的侵入岩样品。全岩的主量元素和微量元素分析在国土资源部合肥矿产资源监督检测中心完成。主量元素分析采用 X 射线荧光熔片法完成，分析精度分别为：SiO_2，0.8%；Al_2O_3，0.5%；Fe_2O_3，0.4%；MgO，0.4%；CaO，0.6%；Na_2O，0.3%；K_2O，0.4%；MnO，0.7%；TiO_2，0.9%；P_2O_5，0.8%。微量元素分析采用 HF＋HNO_3 溶解样品，加入 Rh 内标溶液，用 PE Elan6000 型 ICP-MS 完成测定，分析精度优于 5%。

锆石单矿物分选在河北省地勘局廊坊实验室进

行，将 8～10kg 中的原岩样品粉碎，经常规重选和电磁选后在双目镜下挑选锆石。双目镜下将分选好的锆石根据颜色、自形程度、形态等特征初步分类，挑选出具有代表性的锆石，在北京锆年领航科技有限公司用环氧树脂制靶、打磨和抛光。样品测定之前用体积百分比为 3%的 HNO_3 清洗样品表面，以除去样品表面的污染。然后进行锆石显微镜照样（反射光和透射光）和阴极发光（CL）照相，锆石的透反射和阴极发光照相在中国科学技术大学壳-幔物质与环境重点实验室和北京锆年领航科技有限公司完成，所用仪器为 FEI 公司生产的 Sirion200 型电子显微镜。

锆石的激光剥蚀电感偶合等离子体质谱（LA-ICP-MS）原位 U-Pb 定年和微量元素分析在中国科学技术大学壳－幔物质与环境重点实验室完成。仪器采用美国 Resonetics 公司生产的 RESOlution M-50 激光剥蚀系统和 Agilent7500a 型的 ICP-MS 联机。用 He 作为剥蚀物质的载气。用美国国家标准技术研究院人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化，使仪器达到最佳的灵敏度、最小的氧化物产率（CeO/Ce＜3%）和最低的背景值。采样方式为单点剥蚀，数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式，每完成 4～5 个待测样品测定，插入标样测一次。在所测锆石样品 15～20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用标准锆石 91500 作为外部标准物质，元素含量采用 NIST SRM610 作为外标。由于 SiO_2 在锆石中的含量较恒定，选择 ^{29}Si 作为内标来消除激光能量在点分析过程中以及分析点之间的漂移，对于大多数元素单点分析的相对标准偏差为 5%～15%。所测元素激光斑束直径为 32μm，频率为 10Hz。相关分析方法详见（Yuan Hongling et al.，2004）。数据处理采用 ICPMSDataCal 软件（Liu Yongsheng et al.，2010），年龄计算采用 ISOPLOT（3.00 版）软件（Ludwig，2003）进行。

3　岩浆岩岩石特征

区内燕山期岩浆岩以侵入岩为主，脉岩发育。主要岩体有里廖、花山、马街、东边、马田赵村和牛头高家等岩体。其中里廖岩体主要岩性为花岗闪长岩，其他岩体及脉岩以花岗闪长斑岩为主，部分为花岗斑岩、闪长玢岩及英安玢岩等。

里廖花岗闪长岩岩石为灰色，细－中粒不等粒半自形粒状结构，粒径 0.2～2mm，块状构造。主要矿物成分：斜长石 60%±，板状、粒状（图 3），局部叶腊石化、碳酸盐化；石英 20%±，半自形、他形粒状，边缘或裂隙有碳酸岩化等蚀变，有轻微重结晶现象；钾长石 10%±，他形粒状分布于其它矿物粒间，具高岭石化、碳酸盐化；黑云母 10%±，片状，全白云母化、碳酸盐化；含少量黄铁矿、锆石、榍石、磷灰石等。岩石化学成分特征见表 1，其氧化物成分与黎彤同类岩石相比，除 K_2O 较高以外其他均与黎彤花岗闪长岩相当。岩石微量元素含量多低于维氏平均值，如 Au、Cu、Pb、Zn；部分略高于维氏平均值（表 2）。

表 1　皖南东至查册桥金矿岩浆岩岩石化学成分简表

Table 1　Chemical compositions of igneous rocks from Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province

侵入体名称	岩石类型	样品数	分析结果（%）													
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	LOI	总和
里廖	花岗闪长岩	1	63.24	0.71	15.69	0.28	3.81	0.08	1.99	3.78	3.88	3.20	0.19			96.57
牛头高家	花岗闪长斑岩	11	70.30	0.33	15.08	1.89	0.53	0.04	1.63	0.96	3.45	0.48	0.11	2.32	5.00	102.12
程檀	闪长玢岩	3	59.98	0.22	14.94	1.30	2.88	0.08	4.38	1.73	3.64	1.44	0.60	1.70	8.20	101.09
路源	花岗闪长斑岩	2	57.985	0.51	14.45	3.13	1.21	0.08	4.37	2.995	4.04	0.12	0.22	1.78	10.33	101.20
东边	闪长玢岩	4	58.91	0.39	13.96	1.83	1.43	0.08	5.29	2.92	3.04	0.08	0.14	1.95	11.36	101.35
花山 ZK171	花岗闪长斑岩	2	64.01	0.53	15.65	0.50	1.71	0.06	1.47	4.86	1.17	3.05	0.24		6.91	100.13
黎彤	花岗闪长岩	1	64.98	0.52	16.33	1.89	2.49	0.09	1.94	3.70	3.67	2.65	0.32			98.58

注：化学成分分析在国土资源部合肥矿产资源监督检测中心完成；花山岩体原始数据据 Yang Shutong（1993）。

表 2　皖南东至查册桥金矿部分岩体岩石各元素光谱分析结果对比表（平均值）

Table 2　Comparison of XRF analysis result for igneous rocks from Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province

侵入体名称	岩石类型	样品数	分析结果（$\times10^{-6}$）										
			Au（$\times10^{-9}$）	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Cd	W	Mo
里廖	花岗闪长岩	43	2.3	0.094	17	19	51	15.7	1.15	0.25	0.55	13.4	2.2
牛头高家	花岗闪长岩	13	50.5	0.088	4.8	20.6	50.9	942.2	4.73	0.15	0.087	5.37	1.8
程檀	闪长玢岩	13	99.88	0.403	15	26.56	67.11	28.44	3.74	0.26	0.24	4.67	0.89
东边	闪长玢岩	13	57.6	0.83	31	54	132	500	24.54	0.55	1.42	6.4	3.6

注：化学成分分析在国土资源部合肥矿产资源监督检测中心完成。

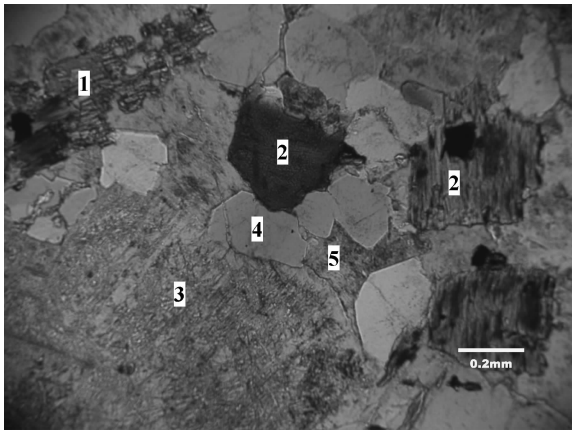

图 3 皖南东至查册桥金矿花岗闪长岩(里廖,ZK01)照片

Fig. 3 Microscope photographs of granodiorite (Liao, ZK01) from Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province

半自形粒状结构,1—角闪石;2—黑云母(绿泥石化);3—斜长石(葡萄石化);4—石英;5—钾长石(泥化)

Subhedral granular texture, 1—ampphibole; 2—biotite (chloritization); 3—plagioclase (prehnitization); 4—quartz; 5—feldspar (pelitization)

牛头高家花岗闪长斑岩岩石为灰色,变余斑状结构,块状构造。岩石蚀变强烈,主要矿物成分为绢英岩化产生的绢云母和石英(图 4)。斑晶含量 45±%,其中石英含量 20±%,呈他形粒状,可见被基质溶蚀呈圆滑状,普遍具次生加大边;斜长石含量 16±%,完全被绢云母和隐晶质石英交代,部分保留假象;黑云母含量 9%±,呈片状,白云母化并析出大量不透明矿物。基质含量 55%±,石英、长石不易分辨,多被次生石英交代,次生石英呈微晶,颗粒间紧密镶嵌,晶内含少量绢云母包裹体,也见绢云母围绕石英边缘分布;基质不透明矿物呈他形粒状,浸染状分布。锆石含量<1%,粒径 0.05~0.08mm,呈双锥略不发育的短柱状;磷灰石含量<1%。

东边、程檀等地闪长玢岩呈岩脉产出,岩石为灰色;斑状结构,基质半自形粒状结构,块状构造;主要成分:斑晶含量 35±%,其中斜长石含量 18±%,粒径 0.2~2mm,黑云母含量 8±%,粒径 0.2~1.2mm;角闪石含量 4±%,粒径 0.3~0.5mm;石英含量 5±%,粒径 0.2~1.5mm;基质含量 65±%,其中石英含量 10±%;斜长石含量 30±%;暗色矿物含量 25±%;次生矿物,绢(白)云母含量 15±%;碳酸盐矿物含量 60±%;绿泥石含量 8±%;不透明矿物含量 2±%。镜下斑晶斜长石呈自形—半自形板状结构;黑云母呈片状;角闪石呈柱状;石英呈他形粒状分布;暗色矿物呈柱状、片状。

在 TAS 图解中(图 5a),查册桥矿区侵入岩岩石类型以闪长岩和花岗闪长岩为主,主要为钙碱性系列(图 5b)。本区花岗闪长斑岩、闪长玢岩岩石 Au、As 元素平均值普遍高于背景值几十倍(表 2),说明深部岩浆岩不仅为本区成矿提供热源,而且自身具一定矿化。本区程檀、东边、花山、路源等处花岗闪长斑岩岩石特征基本相近,且蚀变普遍强烈,部分具金矿化。

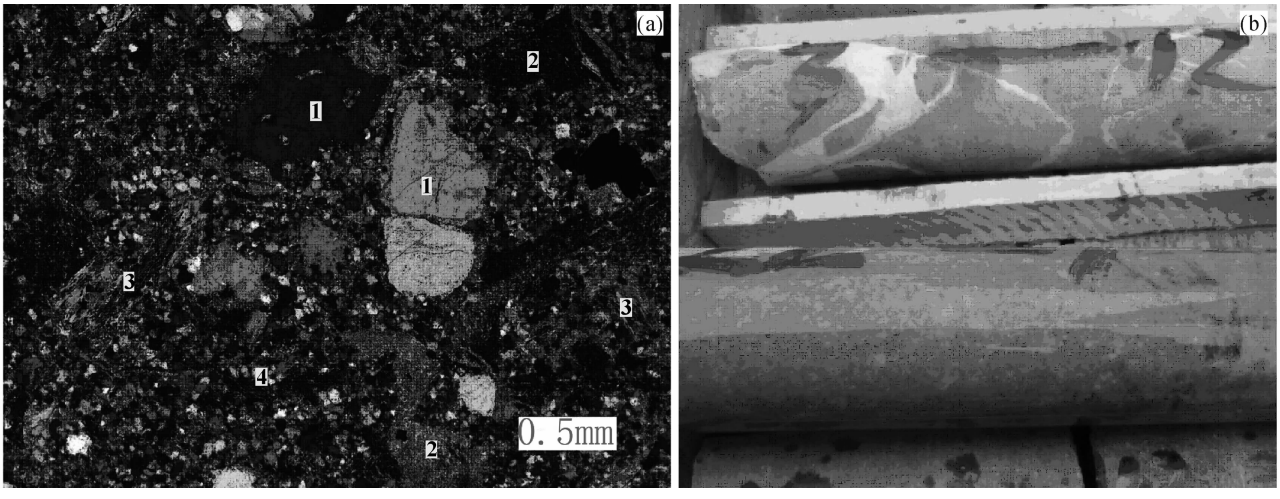

图 4 皖南东至查册桥金矿花岗闪长斑岩(牛头高家)显微镜下照片(a)及手标本照片(b)

Fig. 4 Microphotographs (a) and hand specimen photos (b) of the Niutougaojia granodiorite porphyry from Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province

变余斑状结构,1—石英斑晶;2—斜长石斑晶;3—黑云母斑晶;4—基质

Blastoporphyritic texture. 1—quartz phenocryst; 2—plagioclase phenocryst; 3—biotite phenocryst; 4—matrix

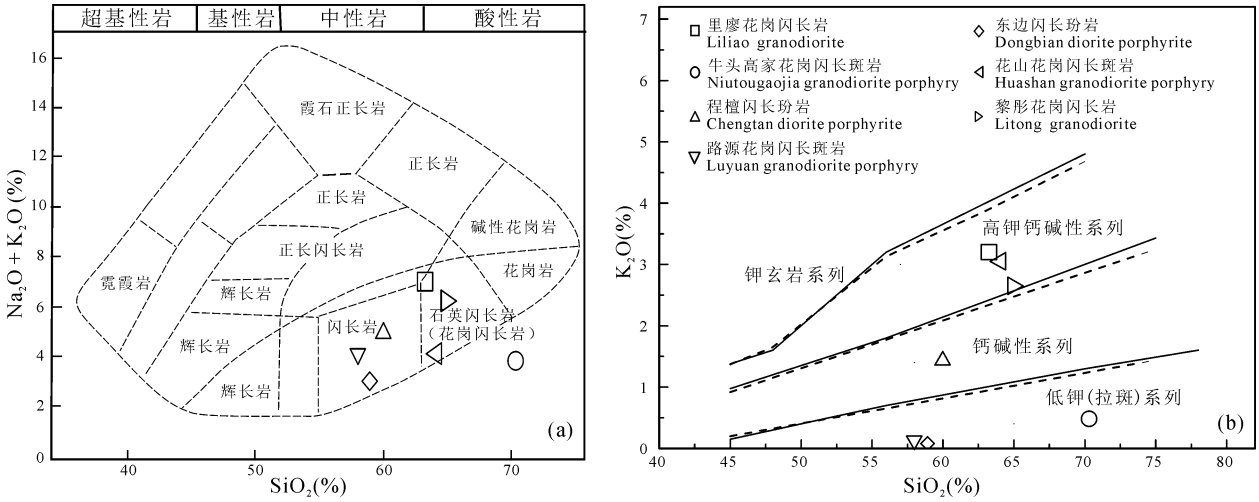

图 5　皖南东至查册桥矿区侵入岩 TAS 图解(a,据 Wilson,1989)和 SiO_2-K_2O 图解(b,实线据 Peccerillo et al, 1976; 虚线据 Middlemost, 1985)

Fig. 5　The TAS (a, after Wilson, 1989) and K_2O vs. SiO_2 diagrams (b, solid lines after Peccerillo et al, 1976; dashed lines after Middlemost, 1985) of Zhaceqiao intrusions in Dongzhi area, South Anhui Province

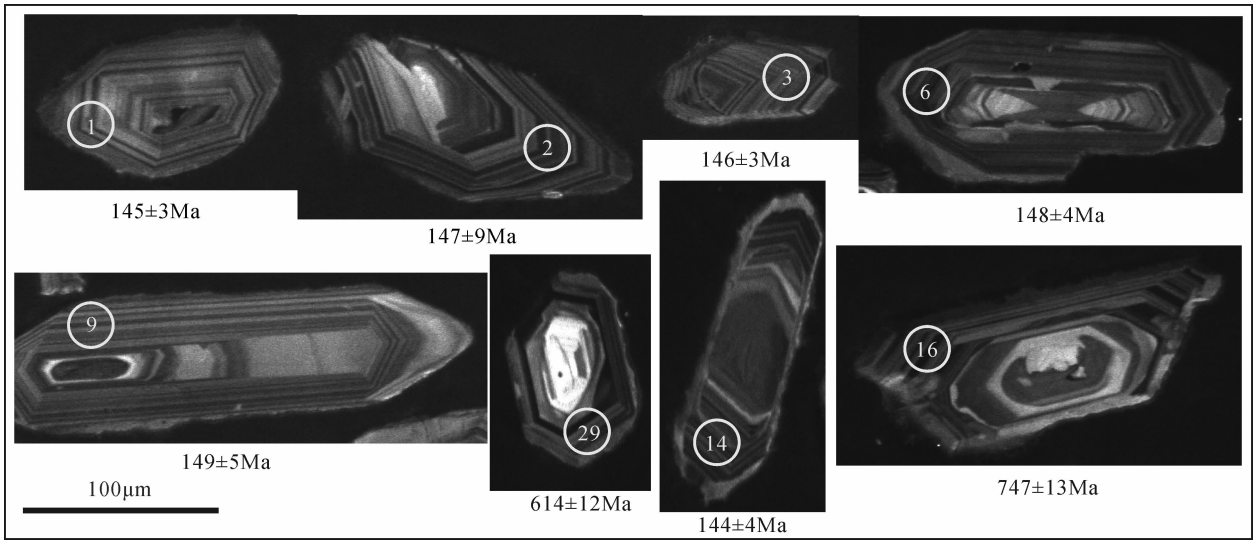

图 6　皖南东至查册桥金矿花岗闪长岩样品(ZK01)锆石阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 6　Cathodoluminescence (CL) images of zircon from granodiorite (ZK01) of Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province. Samll and solid circles indicate locations of LA-ICP-MS U-Pb dating

4　分析结果

4.1　锆石 U-Pb 年龄

本次 4 个样品的锆石颗粒结晶较好,自形程度较高,多数晶形呈长柱状或四方柱状,长约为 50～150μm,宽约为 30～80μm。阴极发光图像除个别锆石熔蚀现象较明显,大多数锆石存在继承锆石核,也有单独的继承锆石颗粒存在,多数锆石阴极发光图像显示出锆石颗粒的内部具有明显的岩浆振荡环带结构,表明锆石为岩浆结晶产物(Hoskin, 2000; Rubatto et al, 2000; Belousova et al., 2002; Möller et al., 2003)(图 6～9)。里廖花岗闪长岩(ZK01)锆石 U、Th 含量很高且变化范围大(U 含量范围在 154×10^{-6}～1429×10^{-6},Th 含量范围在 134×10^{-6}～814×10^{-6}),锆石 Th/U 比变化范围在 0.41～0.99;牛头高家花岗闪长斑岩(ZK02、ZKN0403)锆石 U 含量范围在 159×10^{-6}～2511×10^{-6},Th 含量范围在 80×10^{-6}～2130×10^{-6},锆石 Th/U 比变化范围在 0.41～1.35;东边闪长玢岩(ZKD0303)锆石 U 含量范围在 80×10^{-6}～758×10^{-6},Th 含量范围在 69×10^{-6}～380×10^{-6},锆石 Th/U 比变化范围在 0.43～1.21,表明这些锆石为

表 3 皖南东至查册桥矿区岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析数据

Table 3 LA-ICP-MS zircon analytical data for the intrusions of Zhaceqiao Mining Area in Dongzhi area, South Anhui Province

点号	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
	($\times10^{-6}$)			Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma
ZK01-01	532	608	0.875	0.1659	0.0126	0.0227	0.0005	156	11	145	3
ZK01-02	570	788	0.723	0.1611	0.0158	0.0230	0.0014	152	14	147	9
ZK01-03	526	748	0.703	0.1581	0.0114	0.0229	0.0005	149	10	146	3
ZK01-04	536	817	0.656	0.1699	0.0091	0.0229	0.0005	159	8	146	3
ZK01-05	136	222	0.61	0.1403	0.0125	0.0230	0.0009	133	11	146	6
ZK01-06	315	394	0.799	0.1584	0.0121	0.0232	0.0007	149	11	148	4
ZK01-07	581	658	0.883	0.1576	0.0106	0.0230	0.0006	149	9	147	4
ZK01-08	372	740	0.503	0.6177	0.0435	0.0713	0.0042	488	27	444	25
ZK01-09	629	677	0.93	0.1447	0.0115	0.0233	0.0007	137	10	149	5
ZK01-10	501	508	0.986	0.1708	0.0124	0.0229	0.0006	160	11	146	4
ZK01-11	352	401	0.879	0.1689	0.0145	0.0233	0.0007	158	13	149	4
ZK01-12	552	573	0.963	0.1307	0.0131	0.0215	0.0006	125	12	137	4
ZK01-13	506	621	0.816	1.0021	0.0606	0.1000	0.0049	705	31	615	29
ZK01-14	414	734	0.565	0.1491	0.0094	0.0226	0.0006	141	8	144	4
ZK01-15	814	1429	0.57	0.1506	0.0068	0.0227	0.0004	142	6	145	3
ZK01-16	395	655	0.604	1.2078	0.0504	0.1229	0.0023	804	23	747	13
ZK01-17	468	508	0.921	0.1505	0.0115	0.0227	0.0006	142	10	145	4
ZK01-18	433	520	0.833	0.1590	0.0121	0.0225	0.0005	150	11	143	3
ZK01-19	508	816	0.622	0.1721	0.0114	0.0231	0.0007	161	10	147	4
ZK01-20	551	975	0.565	0.1502	0.0098	0.0226	0.0005	142	9	144	3
ZK01-21	484	1109	0.437	0.2657	0.0196	0.0282	0.0008	239	16	179	5
ZK01-22	497	773	0.643	0.1723	0.0172	0.0233	0.0008	161	15	148	5
ZK01-23	149	154	0.973	2.2544	0.1781	0.1374	0.0074	1198	56	830	42
ZK01-24	175	244	0.716	0.2080	0.0198	0.0239	0.0007	192	17	152	5
ZK01-25	431	667	0.646	0.1567	0.0123	0.0228	0.0006	148	11	145	4
ZK01-26	258	337	0.764	0.1622	0.0148	0.0226	0.0008	153	13	144	5
ZK01-27	267	389	0.687	0.1435	0.0098	0.0224	0.0007	136	9	143	4
ZK01-28	134	328	0.407	3.2060	0.1359	0.1818	0.0049	1459	33	1077	27
ZK01-29	739	889	0.831	0.9154	0.0335	0.0999	0.0020	660	18	614	12
ZK01-30	280	385	0.727	0.1520	0.0141	0.0221	0.0006	144	12	141	4
ZK01-31	470	772	0.608	0.1553	0.0119	0.0231	0.0007	147	10	147	4
ZK01-32	306	562	0.545	0.9330	0.0549	0.0982	0.0043	669	29	604	25
ZK02-01	230	763	0.302	0.1605	0.0094	0.0223	0.0005	151	8	142	3
ZK02-02	299	340	0.88	0.2237	0.0144	0.0215	0.0005	205	12	137	3
ZK02-03	304	401	0.758	1.1522	0.0405	0.1261	0.0018	778	19	766	10
ZK02-04	57	428	0.133	0.3775	0.0228	0.0441	0.0017	325	17	278	11
ZK02-05	122	315	0.386	0.9203	0.0485	0.0755	0.0027	663	26	469	16
ZK02-06	182	437	0.417	1.0921	0.0472	0.1152	0.0020	750	23	703	12
ZK02-07	111	307	0.36	0.8112	0.0419	0.0829	0.0027	603	24	513	16
ZK02-08	228	468	0.487	1.2556	0.0600	0.1274	0.0026	826	27	773	15
ZK02-09	77	420	0.183	1.1641	0.0582	0.1261	0.0025	784	27	766	15
ZK02-10	232	440	0.527	1.2193	0.0555	0.1303	0.0023	809	25	790	13
ZK02-11	281	244	1.15	8.9974	0.4211	0.3885	0.0083	2338	43	2116	39
ZK02-12	115	258	0.445	1.2098	0.0834	0.1319	0.0035	805	38	799	20
ZK02-13	288	257	1.121	0.1512	0.0146	0.0226	0.0007	143	13	144	5
ZK02-14	64	198	0.321	1.0054	0.0665	0.1241	0.0041	707	34	754	23
ZK02-15	115	231	0.499	1.1522	0.0703	0.1247	0.0036	778	33	758	20
ZK02-16	224	315	0.711	1.0910	0.0600	0.1399	0.0030	749	29	844	17
ZK02-17	356	380	0.937	0.2033	0.0672	0.0226	0.0007	188	57	144	4
ZK02-18	543	942	0.576	1.0966	0.0510	0.1241	0.0038	752	25	754	22
ZK02-19	251	436	0.576	1.2063	0.0594	0.1260	0.0026	803	27	765	15
ZK02-20	263	544	0.484	0.1493	0.0112	0.0229	0.0007	141	10	146	4
ZK02-21	77	234	0.331	1.1760	0.1000	0.1269	0.0040	789	47	770	23

续表 3

点号	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
	($\times10^{-6}$)			Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma
ZK02-22	322	851	0.378	0.1541	0.0102	0.0225	0.0006	145	9	144	4
ZK02-23	334	519	0.644	0.1659	0.0127	0.0228	0.0007	156	11	145	5
ZK02-24	80	159	0.505	1.1240	0.0708	0.1252	0.0041	765	34	761	23
ZK02-25	205	498	0.411	0.1563	0.0126	0.0224	0.0010	147	11	143	6
ZK02-26	289	445	0.649	1.0975	0.0464	0.1261	0.0049	752	23	765	28
ZK02-27	158	264	0.598	1.1928	0.0963	0.1253	0.0037	797	45	761	22
ZK02-28	611	493	1.239	0.1532	0.0186	0.0226	0.0011	145	16	144	7
ZK02-29	204	492	0.415	1.1232	0.0812	0.1260	0.0034	765	39	765	20
ZK02-30	72	260	0.278	1.0557	0.0643	0.1278	0.0046	732	32	776	26
ZKD0303-1	88	80	1.108	1.3583	0.1436	0.1514	0.0051	871	62	909	29
ZKD0303-2	314	476	0.659	1.2265	0.0491	0.1398	0.0022	813	22	843	12
ZKD0303-3	135	731	0.185	0.1558	0.0116	0.0221	0.0006	147	10	141	4
ZKD0303-4	69	91	0.755	5.8785	0.2757	0.3441	0.0082	1958	41	1906	39
ZKD0303-5	77	669	0.114	0.1574	0.0107	0.0225	0.0006	148	9	143	4
ZKD0303-6	62	197	0.315	1.2479	0.0937	0.1325	0.0056	822	42	802	32
ZKD0303-7	198	856	0.231	0.2741	0.0152	0.0365	0.0008	246	12	231	5
ZKD0303-8	48	317	0.151	1.0563	0.0560	0.1230	0.0033	732	28	748	19
ZKD0303-9	97	226	0.429	1.2483	0.0596	0.1359	0.0024	823	27	821	14
ZKD0303-10	92	319	0.29	3.2507	0.1582	0.1722	0.0061	1469	38	1024	34
ZKD0303-11	104	813	0.128	0.2123	0.0134	0.0281	0.0008	195	11	179	5
ZKD0303-12	177	548	0.324	7.7743	0.3542	0.3683	0.0101	2205	41	2021	47
ZKD0303-13	89	561	0.158	0.7638	0.0456	0.0859	0.0029	576	26	531	17
ZKD0303-14	56	219	0.257	0.9590	0.0746	0.1054	0.0050	683	39	646	29
ZKD0303-15	178	885	0.201	0.1621	0.0107	0.0220	0.0005	153	9	140	3
ZKD0303-16	72	521	0.138	0.1861	0.0160	0.0253	0.0008	173	14	161	5
ZKD0303-17	336	1239	0.271	0.3044	0.0154	0.0351	0.0007	270	12	222	4
ZKD0303-18	92	616	0.15	0.1604	0.0129	0.0220	0.0005	151	11	140	4
ZKD0303-19	109	90	1.206	1.3793	0.0856	0.1302	0.0031	880	37	789	17
ZKD0303-20	202	696	0.29	0.4205	0.0225	0.0465	0.0010	356	16	293	6
ZKD0303-21	34	196	0.174	0.8759	0.1793	0.0938	0.0094	639	97	578	56
ZKD0303-22	380	662	0.575	1.0564	0.0484	0.1121	0.0024	732	24	685	14
ZKD0303-23	28.5	481	0.059	0.9989	0.0521	0.0966	0.0030	703	27	595	18
ZKD0303-24	350	758	0.463	0.1683	0.0115	0.0243	0.0005	158	10	155	4
ZKD0303-25	108	754	0.143	0.1642	0.0107	0.0231	0.0005	154	9	147	3
ZKD0303-26	221	1064	0.208	0.1552	0.0097	0.0221	0.0004	147	9	141	3
ZKD0303-27	105	552	0.191	0.1785	0.0126	0.0224	0.0005	167	11	143	3
ZKD0303-28	59	738	0.08	0.1577	0.0146	0.0223	0.0005	149	13	142	4
ZKD0303-29	97	632	0.154	0.1994	0.0151	0.0222	0.0005	185	13	141	3
ZKD0303-30	46	616	0.074	0.1564	0.0145	0.0235	0.0007	148	13	150	4
ZKN0403-1	546	1607	0.34	0.1625	0.0111	0.0232	0.0005	153	10	148	3
ZKN0403-2	443	1566	0.283	0.1474	0.0124	0.0234	0.0005	140	11	149	3
ZKN0403-3	901	2035	0.443	0.6798	0.0397	0.0746	0.0020	527	24	464	12
ZKN0403-4	249	1052	0.237	0.4459	0.0292	0.0522	0.0017	374	21	328	11
ZKN0403-5	611	1763	0.347	0.1718	0.0144	0.0233	0.0006	161	13	148	4
ZKN0403-6	589	1366	0.431	0.1736	0.0134	0.0232	0.0006	163	12	148	4
ZKN0403-7	728	1899	0.384	0.1660	0.0117	0.0236	0.0005	156	10	150	3
ZKN0403-8	701	1841	0.381	0.1674	0.0116	0.0235	0.0005	157	10	150	3
ZKN0403-9	578	1375	0.42	1.1936	0.0583	0.1251	0.0024	798	27	760	14
ZKN0403-10	487	1688	0.289	0.1711	0.0113	0.0235	0.0006	160	10	149	4
ZKN0403-11	1134	2511	0.451	0.1648	0.0111	0.0233	0.0006	155	10	149	4
ZKN0403-12	715	1373	0.521	1.0948	0.0571	0.1203	0.0025	751	28	732	14
ZKN0403-13	931	2855	0.326	0.1325	0.0087	0.0229	0.0005	126	8	146	3
ZKN0403-14	510	1522	0.335	0.2044	0.0150	0.0287	0.0008	189	13	183	5
ZKN0403-15	698	1462	0.477	0.1452	0.0132	0.0233	0.0007	138	12	148	5

续表 3

点号	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
	($\times10^{-6}$)			Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma
ZKN0403-16	291	1066	0.273	0.1573	0.0141	0.0233	0.0007	148	12	148	4
ZKN0403-17	276	1188	0.232	0.6254	0.0414	0.0820	0.0038	493	26	508	23
ZKN0403-18	260	920	0.283	0.1949	0.0185	0.0237	0.0009	181	16	151	6
ZKN0403-19	264	856	0.308	0.8605	0.0528	0.0942	0.0024	630	29	580	14
ZKN0403-20	421	1893	0.222	0.1592	0.0132	0.0233	0.0006	150	12	148	4
ZKN0403-21	678	2190	0.31	0.1912	0.0157	0.0291	0.0010	178	13	185	6
ZKN0403-22	456	850	0.536	1.3095	0.0679	0.1340	0.0031	850	30	811	17
ZKN0403-23	276	447	0.616	1.3052	0.0937	0.1478	0.0042	848	41	889	24
ZKN0403-24	672	1923	0.35	0.4524	0.0333	0.0574	0.0025	379	23	360	15
ZKN0403-25	364	1269	0.287	0.1484	0.0168	0.0233	0.0007	141	15	149	5
ZKN0403-26	2130	1583	1.345	0.1811	0.0141	0.0230	0.0006	169	12	146	4
ZKN0403-27	272	603	0.451	1.5693	0.0853	0.1440	0.0030	958	34	867	17
ZKN0403-28	505	1450	0.348	1.3566	0.0656	0.1327	0.0028	870	28	803	16
ZKN0403-29	571	2319	0.246	0.1786	0.0130	0.0231	0.0005	167	11	147	3
ZKN0403-30	836	1738	0.481	0.1839	0.0136	0.0232	0.0006	171	12	148	4
ZKN0403-31	445	1783	0.249	0.1500	0.0107	0.0232	0.0005	142	9	148	3
ZKN0403-32	227	1055	0.215	1.2278	0.0583	0.1237	0.0028	813	27	752	16

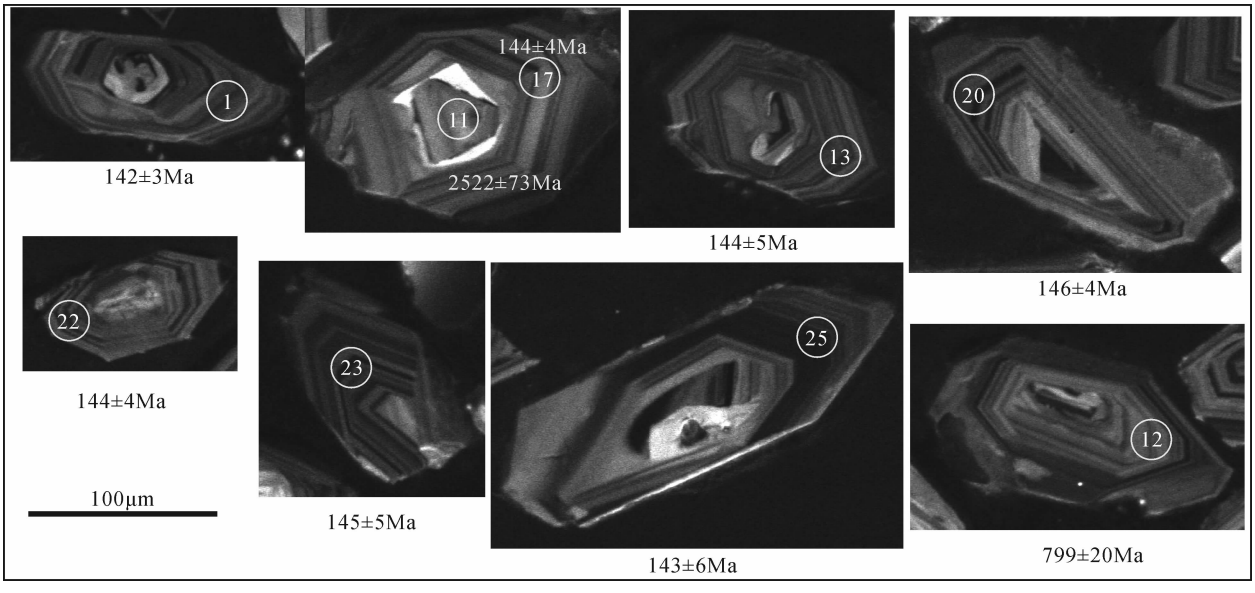

图 7 皖南东至查册桥金矿牛头高家花岗闪长斑岩样品(ZK02)锆石阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 7 Cathodoluminescence (CL) images of zircon from Niutougaojia granodiorite porphyry (ZK02) of Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province. Samll and solid circles indicate locations of LA-ICP-MS U-Pb dating

典型的岩浆锆石(Hoskin, 2000; Rubatto et al, 2000; Belousova et al., 2002; Möller et al., 2003)。

观察锆石的透射光照片和反射光照片,避开有包裹体的部位或核部可能存在的继承锆石,在相对纯净的部位进行激光剥蚀来定年。LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析,测试结果见表 3。

里廖花岗闪长岩(ZK01)样品共进行了 32 个点的测试(表 3)。在 ZK01 的 30 个测试点中,有 1 个测试点(12)由于激光剥蚀位置越过了锆石边缘,使得环氧树脂与锆石一起被剥蚀,所以这些点作为废弃数据,不参与讨论。测试点 08、21 和 24 打在继承锆石核与新生锆石的交界部位,年龄无意义,舍弃。6 个测试点(13、16、23、28、29、32)为继承锆石或捕获锆石,不参与计算。剩余 22 个测试点的年龄谐和度好,且分布较集中,$^{206}Pb/^{208}U$ 加权平均年龄为 145.4±1.6Ma(图 10a),代表了研究区中花岗闪长岩的形成年龄。

牛头高家花岗闪长斑岩(ZK02、ZKN0403)样品共进行了 62 个点的测试。在 ZK02 的 30 个测试点

中,有 1 个测试点打在继承锆石核与新生锆石的交界部位,2 个测试点为变质锆石,2 个测试点谐和度低,17 个测试点为继承锆石或捕获锆石,均不参与计算。在 ZKN0403 的 32 个测试点中,有 5 个测试点为继承锆石核与新生锆石的交界部位,9 个测试点为继承锆石或捕获锆石,舍弃不参与计算。剩余的测试点年龄谐和度好,结果显示$^{206}Pb/^{208}U$ 加权平均年龄为 143.8±3Ma(图 10b)和 148.3±1.7Ma(图 10d),代表了本区中花岗闪长斑岩的形成年龄。其中牛头高家地区 ZK02 孔中的花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄协和曲线上交点年龄为 2305±300Ma,单颗粒继承锆石最大年龄值为 2522±73Ma,表明该岩体可能来源于地幔或下地壳,继承了较多早期深部岩浆锆石,暗示了长江中下游存在太古代基底,分布于扬子板块东北缘。

东边闪长玢岩(ZKD0303)样品共进行了 30 个点的测试,在这 30 个测试点中,6 个测试点(7、11、16、17、20、24)打在继承锆石核与新生锆石的交界部位,年龄无意义,舍弃;14 个测试点为继承锆石或捕获锆石,不参与计算;2 个测试点(27、29)的谐和度低,舍弃。结果显示$^{206}Pb/^{208}U$ 加权平均年龄为 142.8±2.3Ma(图 10c),反映其成岩晚于花岗闪长斑岩及花岗闪长岩。

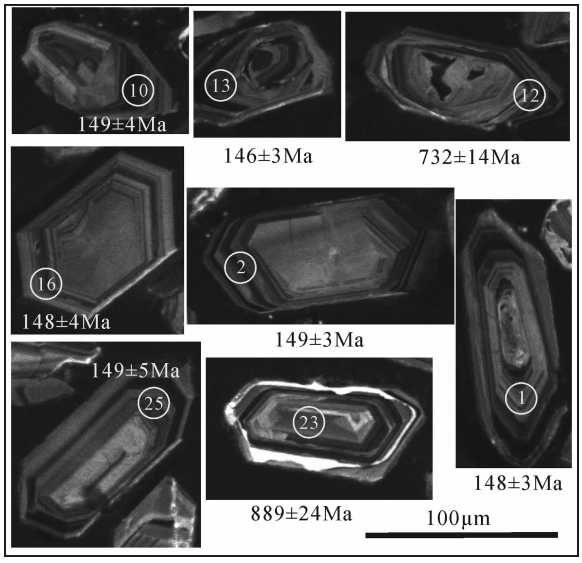

图 8　皖南东至查册桥金矿牛头高家花岗闪长斑岩样品(ZKN0403)锆石阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 8　Cathodoluminescence (CL) images of zircon from Niutougaojia granodiorite porphyry (ZKN0403) of Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province. Samll and solid circles indicate locations of LA-ICP-MS U-Pb dating

4.2　锆石微量元素

查册桥矿区岩浆岩样品锆石进行了 LA-ICP-MS 微量元素成分分析,数据列于表 4 中。从锆石稀土元素球粒陨石标准化图上看出(图 11),轻稀土元素含量低,具有明显的 Ce 异常和微弱的 Eu 异常,进一步说明这些锆石为典型岩浆锆石特征(Hoskin,2005)。

5　讨论

5.1　成岩年龄对东至及邻区燕山期岩浆作用时空约束

长江中下游地区中生代岩浆作用强烈,并发生大规模的 Cu-Au-Fe 成矿作用。长江中下游地区在中生代岩浆形成时间可以分为两阶段:145～136Ma,131～124Ma(Zhou Taofa et al., 2008a, 2015),并具有分区性和演化趋势(Zhou Taofa et al., 2008b,2015),其中与铜金矿有关的岩体主要形成时代为 140±5Ma,而 130～120Ma 的岩浆活动主要为双峰式火山岩加 A 型花岗岩组合(Li He et al., 2011, 2012)发育大型铁矿,如著名的宁芜铁矿矿集区,以及庐枞盆地的泥河铁矿和罗河铁矿。

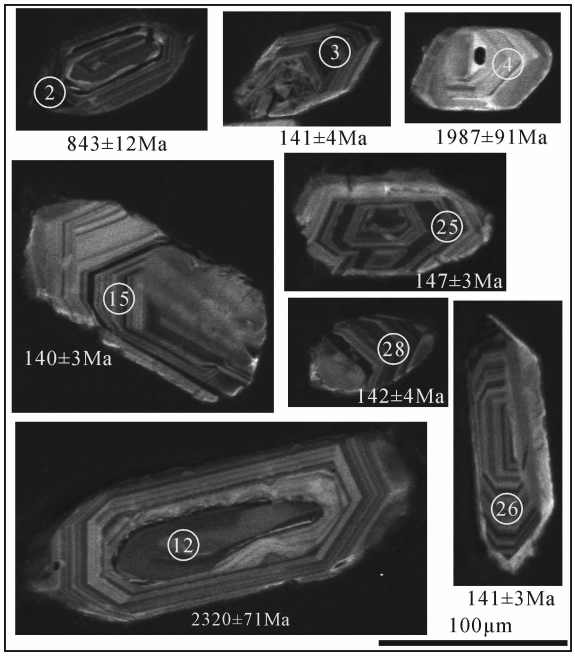

图 9　皖南东至查册桥金矿东边闪长玢岩样品(ZK0303)锆石阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 9　Cathodoluminescence (CL) images of zircon from Dongbian diorite porphyrite (ZKD0303) of Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province. Samll and solid circles indicate locations of LA-ICP-MS U-Pb dating

表 4 皖南东至查册桥矿区岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石微量元素分析结果($\times10^{-6}$)

Table 4 LA-ICP-MS zircon trace element ($\times10^{-6}$) of the intrusions from Zhaceqiao Minging Area in Dongzhi area, South Anhui Province

点号	ZK01-01	ZK01-02	ZK01-03	ZK01-04	ZK01-05	ZK01-06	ZK01-07	ZK01-09	ZK01-10	ZK01-11	ZK01-14
Ti	13.47	14.92	13.84	13.88	13.66	12.99	14.02	14.20	13.74	13.99	13.30
Nb	4.96	8.86	6.74	10.29	2.06	3.81	5.69	5.95	4.53	4.08	11.76
La	0.12	1.97	0.91	0.10	4.33	2.80	0.26	3.14	2.18	21.52	0.02
Ce	61.21	83.23	69.92	79.73	33.60	49.20	69.69	76.83	62.76	71.90	75.08
Pr	1.33	2.01	1.42	0.76	1.62	1.53	1.25	3.12	1.79	7.79	0.93
Nd	6.30	10.58	7.28	5.69	3.57	3.95	8.84	10.82	7.34	16.25	3.11
Sm	13.35	11.21	14.01	11.45	2.82	5.41	13.01	16.29	13.24	12.00	7.90
Eu	4.29	4.26	5.36	4.09	1.00	2.30	4.17	5.75	4.10	3.50	2.55
Gd	48.72	60.35	58.70	50.15	11.29	24.51	54.22	62.70	49.62	39.17	44.40
Tb	16.63	21.04	19.91	19.77	4.30	9.28	18.19	21.04	16.63	13.82	15.98
Dy	205.93	269.88	245.15	257.84	54.69	115.45	229.36	262.51	200.93	173.95	223.73
Ho	76.71	103.76	93.58	102.26	21.97	44.82	87.23	99.40	76.09	66.33	91.21
Er	353.19	478.39	423.54	482.64	107.74	209.68	384.88	456.99	347.07	298.22	436.70
Tm	89.20	123.62	108.68	125.23	30.11	54.02	98.41	117.75	86.74	76.59	114.14
Yb	940.51	1314.34	1154.96	1305.24	330.51	575.70	1034.08	1218.56	910.82	802.11	1229.22
Lu	183.10	252.92	223.23	253.35	67.89	109.89	200.59	233.74	173.69	153.09	240.92
Hf	29684	32991	31988	31018	31159	28983	30218	31817	29295	29074	30128
Ta	2.83	4.13	3.45	4.49	1.36	2.10	2.71	3.49	2.33	2.28	4.90
Pb	0.00	37.15	8.53	0.00	4.93	0.00	0.00	10.57	91.22	0.00	19.89
Th	531.69	569.78	526.03	535.66	135.53	314.60	580.86	629.31	500.54	352.13	414.47
U	607.70	787.70	747.92	816.61	222.32	393.97	657.61	676.81	507.74	400.79	734.03
Th/U	0.87	0.72	0.70	0.66	0.61	0.80	0.88	0.93	0.99	0.88	0.56
Ce^{4+}/Ce^{3+}	224.28	577.99	280.95	536.28	1029.07	644.85	291.00	240.45	221.58	274.34	995.35
Eu/Eu^*	0.51	0.50	0.57	0.52	0.54	0.61	0.48	0.55	0.49	0.49	0.42
T_{zircon}(℃)	768	777	770	771	769	765	772	773	770	771	767

点号	ZK01-15	ZK01-17	ZK01-18	ZK01-19	ZK01-20	ZK01-22	ZK01-25	ZK01-26	ZK01-27	ZK01-30	ZK01-31
Ti	13.77	14.02	13.97	13.98	13.80	13.33	13.72	14.49	13.55	14.28	14.37
Nb	17.98	5.57	4.94	11.22	13.34	9.81	9.54	3.98	4.47	3.96	9.18
La	0.05	39.26	0.75	1.96	0.23	0.28	4.47	0.05	1.14	0.97	0.00
Ce	79.89	98.81	57.50	86.98	82.83	68.59	77.93	39.62	44.25	45.67	72.50
Pr	0.70	14.66	1.55	1.45	0.69	0.85	2.81	1.27	0.66	0.44	0.50
Nd	5.73	23.85	7.49	5.71	4.05	5.34	7.60	6.82	3.37	2.32	4.08
Sm	14.73	11.78	10.29	9.58	8.17	8.39	12.23	10.55	4.85	3.72	7.47
Eu	6.77	3.60	3.93	3.18	3.51	2.48	4.15	3.93	1.74	1.35	2.94
Gd	79.54	42.18	42.64	40.54	40.68	32.87	49.66	38.61	20.89	18.14	37.01
Tb	27.62	14.16	14.63	15.06	16.04	12.88	19.00	13.98	7.99	6.65	13.80
Dy	327.07	181.43	186.87	215.15	225.63	172.22	263.75	173.10	104.62	89.42	183.95
Ho	112.18	70.31	71.67	86.71	93.15	69.97	105.82	68.31	41.22	34.70	75.20
Er	462.61	324.80	330.77	428.76	442.71	340.95	508.08	309.54	196.13	159.86	353.88
Tm	109.13	84.13	84.65	114.17	118.44	87.73	134.48	79.27	52.49	42.95	93.51
Yb	1074.34	874.55	910.08	1250.58	1269.25	963.59	1382.74	836.91	574.13	443.38	997.31
Lu	191.12	170.54	177.02	248.21	251.14	190.85	266.79	165.53	114.68	86.99	194.41
Hf	33839	30425	30145	31687	31857	31027	29872	26629	30671	32653	33267
Ta	6.40	2.57	2.69	4.44	5.70	4.22	4.24	2.15	2.19	2.04	4.53
Pb	46.64	0.00	73.64	75.03	37.51	65.53	9.49	20.42	0.00	0.00	116.91
Th	814.45	467.67	433.21	507.66	551.21	497.19	430.78	257.80	267.29	280.14	469.62
U	1429.05	508.04	520.15	816.40	975.12	773.09	667.22	337.26	389.26	385.18	771.99
Th/U	0.57	0.92	0.83	0.62	0.57	0.64	0.65	0.76	0.69	0.73	0.61
Ce^{4+}/Ce^{3+}	236.31	435.61	339.57	827.53	1073.99	658.06	486.59	209.91	758.64	990.25	875.58
Eu/Eu^*	0.60	0.49	0.57	0.49	0.59	0.46	0.52	0.60	0.53	0.50	0.54
T_{zircon}(℃)	770	772	771	771	770	767	770	775	768	773	774

续表 4

点号	ZK02-01	ZK02-13	ZK02-17	ZK02-20	ZK02-22	ZK02-23	ZK02-25	ZK02-28	ZKD0303-3	ZKD0303-5	ZKD0303-15
Ti	4.85	4.67	4.86	4.66	5.04	5.04	5.18	5.40			
Nb	10.67	3.61	3.87	7.18	9.69	5.48	4.63	6.43	3.15	3.74	5.20
La	1.03	131.36	0.09	0.00	0.90	1.75	0.67	0.97	0.01	0.01	0.02
Ce	26.60	63.70	46.68	30.78	23.00	51.63	17.69	70.83	9.57	6.05	14.56
Pr	0.16	6.13	0.26	0.09	0.05	0.43	0.09	0.50	0.03	0.01	0.03
Nd	1.55	20.47	3.24	1.64	0.81	2.97	1.74	7.68	0.39	0.32	0.58
Sm	7.00	17.15	10.71	6.33	5.24	8.96	4.56	21.21	1.39	0.75	2.37
Eu	2.87	5.98	4.25	2.50	2.17	3.32	2.26	7.49	1.04	0.59	1.39
Gd	38.98	66.11	50.79	38.00	29.85	43.38	28.99	89.70	12.03	7.23	16.50
Tb	16.57	19.96	16.92	15.02	12.74	16.33	12.66	28.69	3.89	3.08	6.70
Dy	224.05	216.22	187.50	195.08	184.34	196.57	168.88	321.14	45.76	43.29	86.04
Ho	84.33	66.72	61.39	68.29	68.68	68.53	58.37	102.14	17.29	18.19	33.26
Er	377.65	258.85	256.17	301.20	310.76	295.94	262.10	398.23	83.81	100.00	169.96
Tm	89.31	57.85	58.94	69.04	74.04	69.17	59.76	88.08	18.38	23.88	38.63
Yb	828.42	509.35	564.21	644.39	705.18	649.68	576.61	764.84	211.28	285.57	436.14
Lu	138.42	84.57	99.48	107.50	120.06	111.76	95.55	126.29	40.75	58.45	85.92
Hf	12525	8081	9490	10485	12620	10919	11332	10152	12764	13373	12054
Ta	2.86	1.16	1.19	2.21	2.93	1.83	1.71	1.82	0.76	0.93	1.54
Pb	78.72	0.00	78.70	66.89	0.00	41.57	0.00	162.47	1.42	4.46	0.00
Th	230.13	288.25	356.35	263.41	321.83	333.83	204.63	611.40	135.32	76.58	177.66
U	763.19	257.18	380.13	544.18	851.42	518.62	497.78	493.32	731.46	668.93	885.36
Th/U	0.30	1.12	0.94	0.48	0.38	0.64	0.41	1.24	0.18	0.11	0.20
Ce^{4+}/Ce^{3+}	244.82	62.28	137.65	268.33	327.05	241.09	260.46	66.62	670.00	2074.15	744.60
Eu/Eu^{*}	0.53	0.54	0.56	0.49	0.53	0.52	0.60	0.53	0.78	0.78	0.68
T_{zircon}(℃)	681	678	681	678	684	684	686	690			

点号	ZKD0303-18	ZKD0303-25	ZKD0303-26	ZKD0303-28	ZKD0303-30	ZKN0403-1	ZKN0403-2	ZKN0403-5	ZKN0403-6	ZKN0403-7	ZKN0403-8
Ti											
Nb	2.89	3.97	5.15	3.36	2.90	15.70	13.18	14.78	12.33	8.97	16.42
La	0.04	0.03	0.00	0.01	0.01	0.12	0.04	0.03	0.03	0.02	0.36
Ce	11.16	8.59	12.09	5.89	4.73	53.18	47.64	58.04	60.52	51.91	67.97
Pr	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.14	0.11	0.15	0.13	0.18	0.31
Nd	0.48	0.30	0.64	0.12	0.31	2.77	1.41	2.60	2.31	2.57	3.14
Sm	2.10	1.52	2.21	1.19	0.15	8.63	5.11	8.42	8.88	9.33	7.84
Eu	1.27	0.96	1.59	0.93	0.61	4.50	3.55	4.20	3.23	5.10	4.03
Gd	12.78	9.94	14.60	9.08	6.70	60.83	40.21	48.34	45.09	65.12	60.34
Tb	5.32	3.85	5.55	3.91	2.65	21.88	15.63	17.87	16.40	24.92	22.29
Dy	70.44	54.04	67.16	53.29	38.09	255.59	197.22	229.36	197.62	278.32	262.50
Ho	28.17	23.44	24.70	23.92	17.62	98.45	77.25	89.27	75.45	94.12	96.99
Er	142.39	123.56	110.82	128.65	95.38	438.79	366.72	406.42	336.03	395.76	448.37
Tm	32.65	29.57	25.70	30.24	22.91	94.77	80.50	90.58	76.34	79.77	98.59
Yb	382.27	346.50	281.77	382.11	299.68	1006.54	916.11	1003.53	843.49	787.90	1064.90
Lu	80.26	70.48	57.85	84.67	67.64	185.49	176.52	198.18	161.61	130.25	193.87
Hf	13079.95	11303.10	11516.70	13123.31	15406.40	31365.47	31532.87	34715.87	32572.51	28558.24	31136.58
Ta	0.86	1.09	0.98	0.80	0.71	5.81	4.91	5.19	5.15	3.47	6.43
Pb	0.00	4.74	4.25	0.00	0.00	5.10	0.00	2.77	0.00	6.86	0.00
Th	92.47	107.50	221.49	59.25	45.61	546.32	442.78	611.49	589.13	728.44	700.77
U	615.55	753.92	1064.05	738.09	615.92	1606.86	1565.69	1762.66	1365.59	1898.59	1840.67
Th/U	0.15	0.14	0.21	0.08	0.07	0.34	0.28	0.35	0.43	0.38	0.38
Ce^{4+}/Ce^{3+}	688.30	893.37	478.74	1192.10	40355.79	440.56	1061.37	550.60	426.12	250.27	707.01
Eu/Eu^{*}	0.75	0.76	0.86	0.86	1.85	0.60	0.76	0.64	0.49	0.63	0.57
T_{zircon}(℃)											

续表 4

点号	ZKN 0403-10	ZKN 0403-11	ZKN 0403-13	ZKN 0403-15	ZKN 0403-16	ZKN 0403-18	ZKN 0403-20	ZKN 0403-25	ZKN 0403-26	ZKN 0403-29	ZKN 0403-30	ZKN 0403-31
Ti												
Nb	11.05	12.58	11.86	13.74	11.47	7.46	18.78	12.97	15.07	10.82	18.24	19.33
La	0.12	0.09	0.00	0.01	0.08	0.03	3.06	0.05	0.11	0.99	0.04	0.01
Ce	34.87	69.91	55.52	64.47	40.80	29.47	47.85	40.75	158.57	38.47	94.25	46.80
Pr	0.06	0.27	0.13	0.23	0.12	0.07	0.93	0.08	0.85	0.55	0.31	0.03
Nd	1.39	6.22	5.29	2.56	1.74	1.50	6.88	1.19	16.09	3.49	4.85	1.56
Sm	5.14	14.16	10.72	7.74	4.61	3.97	6.95	5.22	38.91	9.28	14.60	7.71
Eu	2.49	6.16	5.62	3.63	2.56	2.08	3.52	2.64	15.17	5.68	7.93	4.01
Gd	33.81	95.04	71.42	47.37	37.59	29.70	54.93	36.12	204.49	60.26	85.66	55.29
Tb	13.18	31.20	26.49	16.97	15.02	11.10	20.07	14.47	64.95	21.26	31.45	20.21
Dy	158.08	341.84	302.38	193.69	184.66	130.84	247.82	171.49	686.73	242.81	363.34	258.11
Ho	57.62	126.68	108.74	73.35	72.17	45.27	93.71	66.31	218.62	92.12	128.28	99.00
Er	270.47	514.61	477.43	329.99	324.20	218.08	442.27	309.28	854.88	451.63	566.73	453.36
Tm	59.39	100.87	99.76	73.15	76.66	48.46	99.68	70.68	164.70	103.58	116.99	103.76
Yb	663.17	1004.33	968.13	797.86	825.95	503.67	1074.86	725.95	1499.96	1146.57	1213.72	1129.23
Lu	129.27	168.82	171.56	152.55	157.54	97.56	204.77	139.50	254.17	229.53	230.38	213.71
Hf	37450.17	31467.03	29220.77	32500.01	31239.49	35138.54	32784.67	35722.72	29109.10	34587.59	32386.28	33206.49
Ta	4.26	4.30	4.25	5.36	4.24	2.89	6.84	3.98	4.90	3.32	5.93	6.31
Pb	0.00	22.45	4.46	1.11	0.00	18.52	4.28	5.51	0.00	9.40	11.89	3.45
Th	487.09	1133.68	931.17	698.12	290.65	260.35	420.84	364.33	2129.56	571.17	836.33	444.78
U	1687.85	2511.26	2854.60	1462.26	1066.28	919.95	1893.20	1268.77	1582.92	2318.84	1737.60	1782.76
Th/U	0.29	0.45	0.33	0.48	0.27	0.28	0.22	0.29	1.35	0.25	0.48	0.25
Ce^{4+}/Ce^{3+}	569.38	193.72	271.92	557.23	989.85	600.77	668.81	693.64	87.93	350.73	341.01	559.11
Eu/Eu^{*}	0.58	0.51	0.62	0.58	0.59	0.59	0.55	0.59	0.52	0.74	0.69	0.59
T_{zircon}(℃)												

本次获得的 3 类岩石 4 个样品锆石 U-Pb 的 $^{206}Pb/^{208}U$ 加权平均年龄结果表明，本区花岗闪长斑岩 143.8±3.0Ma、148.3±1.7Ma 和花岗闪长岩 145.4±1.6Ma 的年龄，总体代表了本区燕山早期岩体的形成年龄，两者可能为同源异相产物；闪长玢岩 142.8±2.3Ma 的年龄值则反映强度减弱（以脉岩为主）的较晚阶段岩体侵入。本期岩浆活动的时间至少持续约 6Ma。后期主要表现为东部外围大规模的 A 型花岗岩的侵入和本区的脉岩活动和相应的热液作用。

Xu Xiaochun et al.（2014）通过对邻区兆吉口矿区岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄研究，获得戴村花岗闪长岩体年龄 145.5±1.3 Ma，其他花岗斑岩脉年龄为 143.5±4.3 Ma，认为两者为同一岩浆作用产物，这与本文测定结果基本相近，可能与两区处于同一构造带，具相近的构造－岩浆活动过程有关。本区以北，小丁冲辉石石英闪长黑云母 K-Ar 年龄 145Ma❶、铜山岩体石英二长斑岩 SHRIMP 锆石的 U-Pb 年龄 145.1±1.2 Ma（Zhang Zhiyu et al.，2011）、马头矿区花岗闪长斑岩锆石的 U-Pb 年龄 147.8±4.8Ma（Song Guoxue et al.，2010）也较一致，反映本区高坦断裂两侧燕山早期的强烈岩浆活动。这一时间与铜陵矿集区与铜、金矿床有关的最主要侵入岩 LA-ICP-MS 锆石年龄 146～138Ma（Xie Jiancheng et al.，2008；Wu Cailai et al.，2010a，2010b，2013，2014）一致，早于安庆－贵池矿集区月山矿田闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 137.5±0.5 Ma（Zhang Lejun et al.，2008），且早于 Zhou Taofa et al.（2008a）总结的长江中下游成矿带隆起区主要为 145～135 Ma 的成岩时间，以及 Zhao Ling et al.（2014）总结的皖南地区中生代岩浆岩第一峰期 142～139 Ma 的成岩时间，而与九瑞矿集区主要含矿岩体 148～138 Ma 的成岩时间（Jia Liqiong et al.，2015）接近，持续时间也较接近，反映本区也经历了长江中下游地区燕山早期大规模岩浆活动，持续较长时间，但因所处构造位置的差异，时间先后略有差异，反映出不同区域由挤压－伸展阶段的岩浆活动时间的差异。

区域上，其后大规模侵入于隆起区及过渡带的 A 型花岗岩主要分布于距本区数十千米的石台、贵池等地，主要岩体包括谭山岩体、花园巩岩体、青阳岩体等。据近期报道，东部谭山岩体花岗岩两个样品的 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄分别为 128.5±1.7 Ma 和 128.3±1.5 Ma（Zhao Ling et al.，2014），青

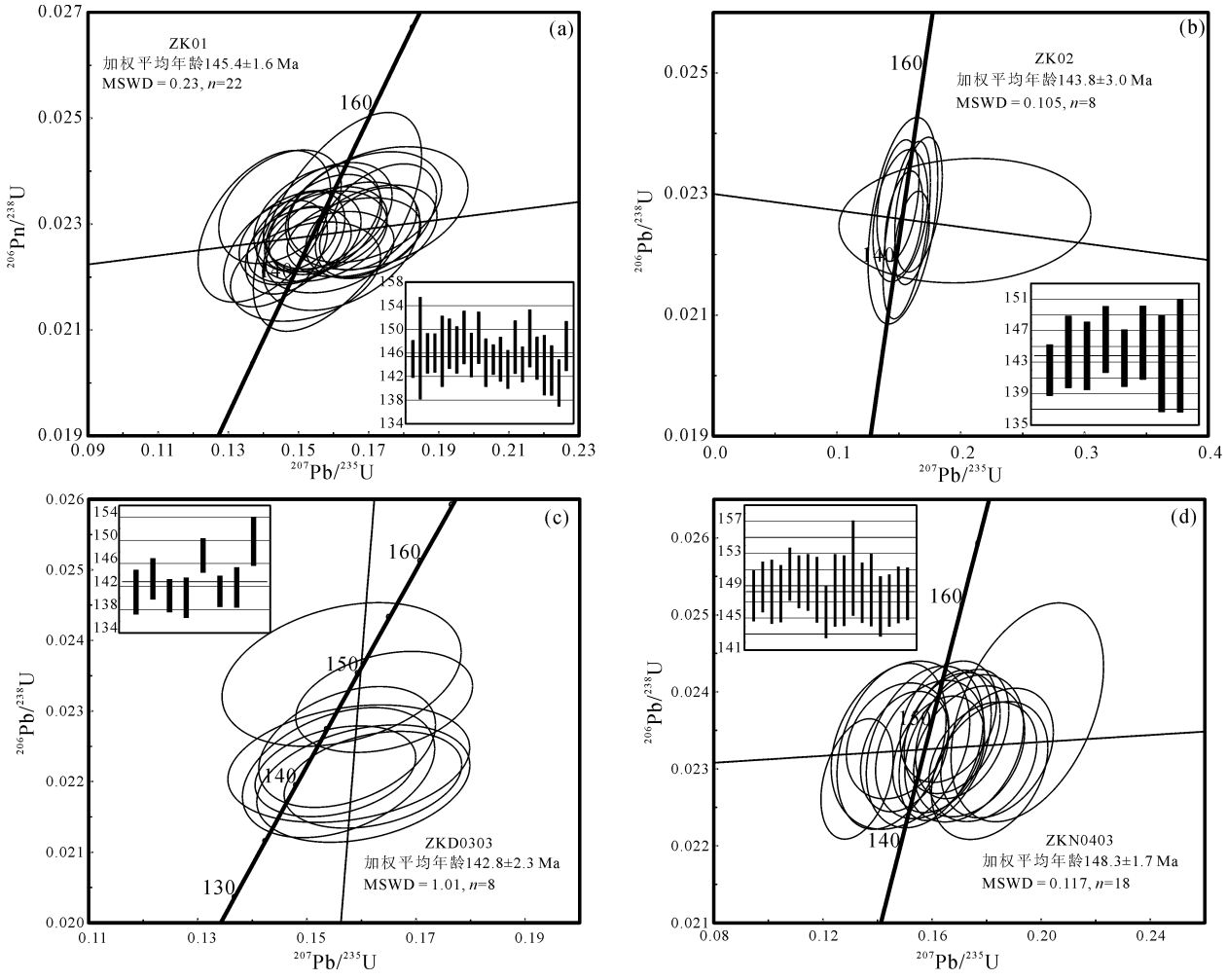

图 10　皖南东至查册桥矿区岩浆岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 10　Zircon concordia diagrams for the Zhaceqiao intrusions

阳岩体(青九复式岩体)中,杨田花岗闪长岩锆石 U-Pb 谐和年龄为 131.0±3.7 Ma,加权平均年龄为 131.1±2.4 Ma(Chu Geng et al., 2012);东北部花园巩岩体正长岩锆石 U-Pb 谐和年龄为 125±13 Ma,加权平均年龄为 123.8±1.8 Ma;反映侵入于主伸展阶段的 A 型花岗岩主要分布于本区东部外围,且江南过渡带岩体侵入时间略早于长江中下游主带。其年龄与兆吉口矿区细晶闪长岩脉 LA-ICP-MS 锆石年龄为 129.0±2.3 Ma 和 128.4±2.7 Ma(Xu Xiaochun et al., 2014)对应,本区英安玢岩及洋湖地区出露的流纹斑岩可能属同期或更晚的岩体侵入。

在牛头高家矿段两个样品绢云母 Ar-Ar 视年龄图谱中(另文发表),均反映出在 142～100Ma 阶段,区内持续经历了四十百万年的热液活动,这与本区及区域上岩浆岩的侵入时代较为一致,证实原生金矿体是在岩浆岩侵入后大规模热液蚀变中形成的,受控于燕山期构造一岩浆热事件。其中样品 ZK02-AR2 绢云母 Ar-Ar 的 133.4±1.5～76.3±3.2Ma 的年龄值则可能代表较晚期的岩浆活动及热液作用,这与兆吉口矿区细晶闪长岩脉的年龄(Xu Xiaochun et al., 2014)、本区东部谭山等 A 型花岗岩的年龄吻合,也与本区东北抛刀岭金矿磷灰石裂变径迹研究获得 123.0Ma, 107Ma, 86Ma, 52Ma 和 19Ma(Tian Pengfei et al., 2012)等 5 组年龄中前 3 组值吻合,证实本区存在后期的构造岩浆活动并叠加改造成矿,形成金及多金属矿的最终富集与定位。

5.2　古老岩浆锆石特征

本次 4 个样品中均见较多继承锆石,牛头高家 ZK02 孔中的花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄协和曲线上交点年龄为 2305±300Ma,单颗锆石最大核部 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄 2522±73Ma(表 3),东边 ZKD0303 测得单颗锆石最大核部 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄

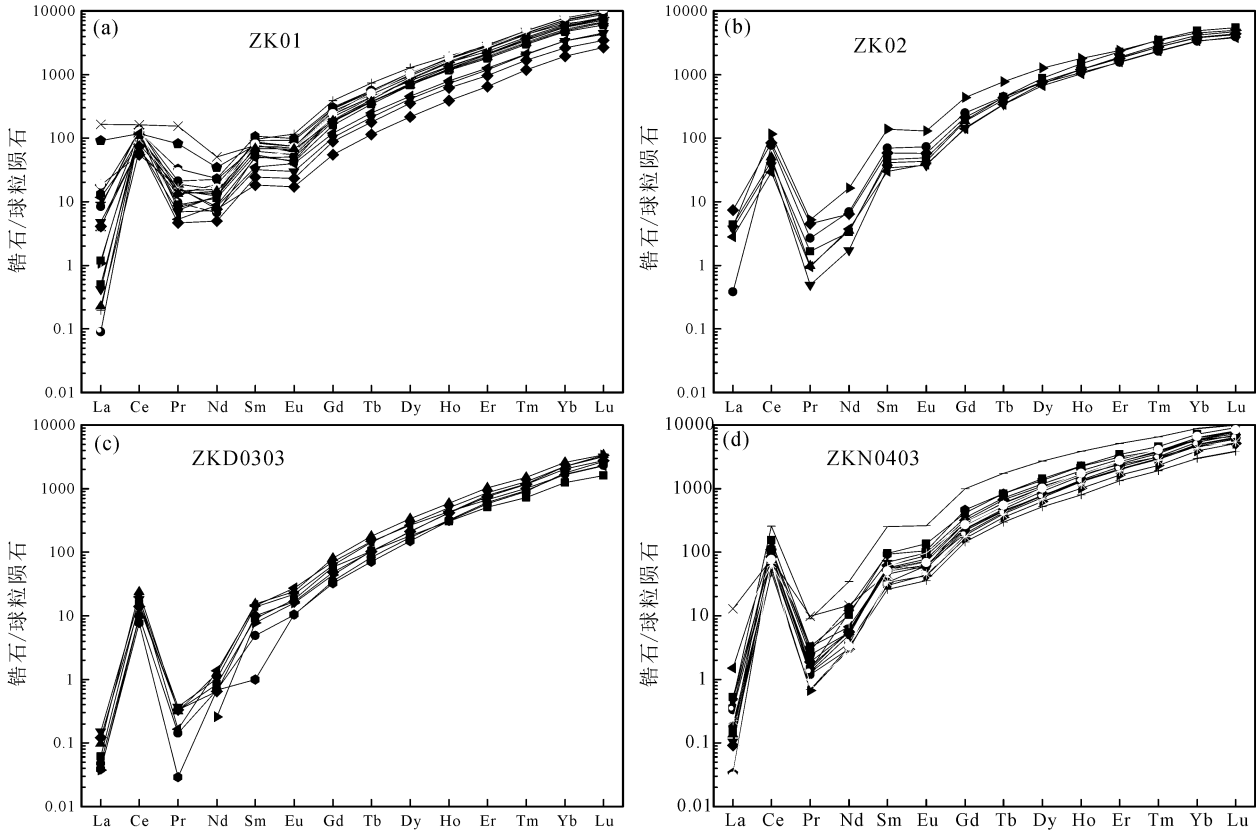

图 11 皖南东至查册桥矿区岩浆岩锆石稀土元素球粒陨石模式图(标准化值据 Sun et al, 1989)

Fig. 11 The Chondrite-normalized REE diagram of zircons from igneous rocks of Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province. Chondritic values are from Sun et al. (1989)

2320±71.4Ma。马头岩体发现最大继承锆石年龄 2543±29Ma(Zhu Zhiyong et al.,2014);铜山岩体也有一锆石核部年龄 2315±37.2 Ma(Zhang Zhiyu et al., 2011),Xu Xiaochun et al. (2014)在兆吉口矿区、Che Linrui et al. (2014)在宁芜北段梅山铁多金属矿区也分别获得类似的锆石 U-Pb 年龄,张旗等(2003)报道的宁芜火山岩中 1839±6～3098±1Ma 的锆石,Wu Cailai et al. (2010a)报道的铜陵铜官山矿田侵入岩中 2315±37.2Ma 的锆石,吴淦国等(2008)报道的铜陵地区侵入岩中也存在 1707.6±24.0Ma 锆石。该组年龄接近或早于董岭岩群 1895～1991 Ma 的 Sm、Nd 同位素等时线年龄(邢凤鸣等,1993;Wang Wenbin et al., 1996)。

4 个样品中,普遍存在一组 670～900 Ma 左右的年龄值(图 12),其中以 ZK02 孔样品中 700～900Ma 数据达 17 个之多,该组数据主要测自一些锆石的内部或中间环带部位,为继承锆石,其锆石特征及年龄分布与兆吉口矿区(Xu Xiaochun et al., 2014)有相似之处。该组数据年龄峰值与许村岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 829±11 Ma(Li Xianhua

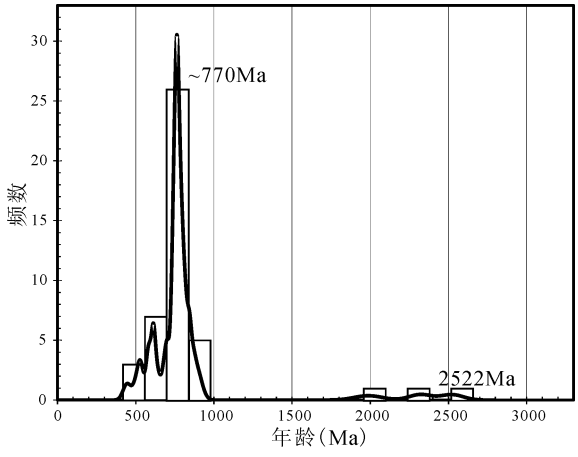

图 12 皖南东至查册桥矿区岩浆岩继承锆石年龄分布频率图

Fig. 12 Histogram of the inherited zircon ages of igneous rocks from Zhaceqiao gold deposit in Dongzhi area, South Anhui Province

et al., 2001),以及近期报道的许村、歙县、休宁岩体锆石 U-Pb 年龄 850±10 Ma、837±14 Ma、826±6 Ma(Xue Huaimin et al., 2010)对应,并与伏川 SSZ 型蛇绿岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 827±6 Ma、848±6 Ma(Ding Binghua et al., 2008)一致,

也与皖赣相邻地区双桥山群火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 821.2±4.6～830.4±4.9 Ma (Zhou Xiaohua et al.，2012)、皖南井潭组 Sm-Nd 等时线年龄 990 Ma(Chen Guanbao et al.，1998)同位素年龄值及时代对应，与前述岩浆岩具壳幔混熔特征一致，说明本区岩浆上侵过程中，捕获了大量基底岩层中的岩浆锆石。

查册桥矿区中岩浆岩继承锆石 2522Ma 代表了基底岩石年龄，为扬子克拉通存在太古代基底提供了有力证据(Zhang Shaobing et al.，2006a，2006b；Zheng Yongfei et al.，2006；Zhu Zhiyong et al.，2014)。查册桥矿区花岗闪长斑岩中发现的来自太古代物质的继承锆石不仅证明了扬子板块东北缘存在太古代基底物质，同时暗示了有太古代基底的物质参与查册桥金及多金属矿床的形成。结合前人的研究，表明太古代基底参与了长江中下游中生代花岗质岩的形成，并产生了大量的斑岩型和矽卡岩型矿床。

5.3　岩体温度和氧逸度及成矿意义

根据 Watson et al.(2006)提出的锆石是能较好反应岩浆形成时温度的矿物，其中微量元素 Ti 是对岩浆形成温度的灵敏指示元素，能在地质活跃期间普遍保持封闭性。本矿区花岗闪长岩锆石样品 Ti 的含量在 13.3×10^{-6}～14.9×10^{-6}，根据锆石 Ti 含量计算出锆石的结晶温度范围在 765～777℃(表 4)，平均温度为 771℃。花岗闪长斑岩锆石样品 Ti 的含量在 4.7×10^{-6}～5.4×10^{-6}，计算出锆石的结晶温度范围在 678～690℃(表 4)，平均温度为 683℃。两个样品计算的锆石结晶温度都比正常的岩浆温度要低。表明锆石结晶处于岩浆分异演化的早期阶段，锆石结晶时岩浆的温度较低，可能指示岩浆是由源区物质在减压的条件下发生部分熔融形成的。

根据 Blundy et al.(1994)的公式计算出查册桥矿区岩浆岩岩锆石的 Ce^{4+}/Ce^{3+} 为 62～2074，平均值为 543，指示岩体具有高的氧逸度。氧逸度可以作为一个经验性的指标来区分成矿岩体与不成矿岩体(Ballard et al.，2002)，高氧逸度指示查册桥岩体具有成矿的潜力(图 13)。

本次年龄样主要采集于近东西向(高坦断裂)和北东向(兰程畈断裂)两条构造—岩浆岩带内的成矿相关岩体。近东西向高坦断裂是区域上重要控岩控矿断裂，已发现众多与岩体有关的矽卡岩型、斑岩型及热液型铜(钼)多金属矿，区内岩体特征及成岩年

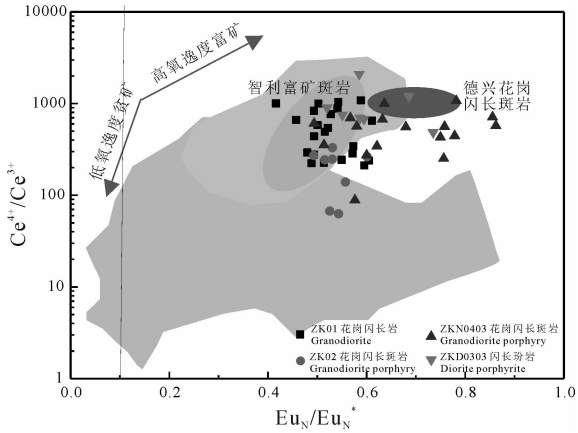

图 13　皖南东至查册桥矿区岩浆岩锆石 Ce^{4+}/Ce^{3+}-Eu_N/Eu_N^* 氧逸度判别图解(底图据 Ballard et al.，2002)

Fig. 13　Zircon Ce^{4+}/Ce^{3+}-Eu_N/Eu_N^* oxygen fugacity discrimination diagram of zircons from Zhaceqiao intrusions in Dongzhi area, South Anhui Province (after Ballard et al.，2002)

龄与该带上其它岩浆岩基本一致；北东向兰程畈断裂是区内另一条重要的控岩控矿构造，其西南侧已发现了较好的岩体接触带内矽卡岩型 W、Mo 矿化和热液型 Au 矿化，区内也发现类似矿化现象，说明区内岩体可直接形成与岩浆作用有关的高—中—低热液型矿床。同时根据区内矿床特征及成矿作用的研究，与本期岩浆作用相对应，区内出现强度高、范围大的黄铁矿化、硅化及绢云母化，其绢云母年龄值也较好地体现出岩体侵入与早期金矿化关系密切。因此，对本区岩浆岩成岩年龄的研究，不但可研究燕山早期侵入的岩体与本区地表及浅部较大规模金(锑)矿化的成因联系，以指导其找矿，而且显示本区具有较大的与该期岩体相关的隐伏矽卡岩型、热液型等金及多金属矿找矿潜力。找矿方向一是沿北东向构造—岩浆岩带主要浅成岩体侵入部位，二是东西向构造岩浆岩带花山—马田—牛头高家一带，特别是 O/S 断层接触界面及其下奥陶系灰岩与岩体的接触带是寻找黄山岭式铅锌钼多金属矿及安子山式铜矿有利部位。

5.4　构造意义

综合本矿区锆石形态特征、U-Pb 同位素数值特征以及单个锆石 U-Pb 年龄值分布特征等，本区岩浆岩锆石除里廖花岗闪长岩(ZK01 孔)年龄数据较集中外，其他岩体数据较离散，普遍存在不同时段的年龄数据，尤以 700～900 Ma 较多(图 12)，这一特征与相邻的兆吉口矿区相近，与凹陷带中生火山盆地内的宁芜火山岩(张旗等，2003)、与玢岩铁矿有

关的侵入岩(Che Linrui et al., 2014)、庐枞地区A型花岗岩(Fan Yu et al., 2008)乃至本区北部的铜山矿区(Zhang Zhiyu et al., 2011)相差较大;与皖南东源钨钼矿区(Wang Deen et al., 2011)相比,也有一定差别;但与铜陵地区部分侵入岩锆石测年结果(Lai Xiaodong et al., 2012;吴淦国等,2008;Wu Cailai et al., 2010a, 2010b, 2013, 2014)较一致;这与本区及兆吉口两矿区同处江南过渡带和东至断裂附近,经历了相同的构造—岩浆作用活动过程有关。

牛头高家岩体继承锆石2522Ma年龄数据及本矿区、邻近矿区其他样品大于1000Ma年龄数据,反映本区具有古老的结晶基底。关于长江中下游基底,已有较多的研究成果,Chang Yinfo et al.(1996)提出中下扬子"一盖多底"的地壳结构,得到众多学者的认同;Dong Shuwen et al.(2011)研究认为长江中下游处于崆岭—董岭式基底和江南式基底的边界带之上,对成矿控制明显控制作用,两者边界大致为监利—庐山—青阳—常州断裂,向北倾。本区处江南断裂北侧,属江南过渡带,其基底可能主要为崆岭—董岭式基底,向南为江南式基底,这可能是造成本区岩浆岩中锆石来源较复杂的主要原因。

晋宁期,江南造山带东段处于具有沟—弧—盆体系的大陆边缘环境,随着古华南洋盆的闭合,俯冲造山作用加强,江南陆壳加厚,深部发生岩浆作用,形成许村等花岗岩体,弧后形成山间磨拉石建造,随后(约9亿年)进入大陆裂解阶段,磨拉石盆地转化为裂谷盆地,晚期具有大量溢流玄武岩性质的火山喷发,形成铺岭组基性火山岩。本区及兆吉口矿区大量800~1000 Ma的锆石U-Pb年龄值反映了本区晋宁期华夏板块与扬子板块之间的较强的构造—岩浆事件。

至南华纪,南沱组内还有火山碎屑物夹层,反映当时伴有海底火山活动。本区及兆吉口矿区也有较多的同期岩浆锆石,说明本区仍处于较强的构造—岩浆活动阶段。

南华纪之后,本区进入加里东陆缘活动阶段、海西陆内差异隆升(振荡)阶段印支陆内造山阶段。其中印支期长江中下游三叠纪由"板缘"(碰撞造山带前陆)转为板内环境,中三叠世前地层卷入强烈的褶皱变形,其后本区进入板内变形环境。此三阶段本区缺少岩浆岩记录,相应地本次所获锆石U-Pb年龄值也较少,少数属于本期的锆石年龄尚难以确定其意义,或许与本区中、深部岩浆活动有关。

燕山期陆内造山阶段是区内一次强烈的造山运动。Dong Shuwen et al.(2011)认为,燕山期形成的汇集构造体系主要特征是出现晚侏罗纪的多方向陆内造山带,郯庐断裂等北北东向的左行走滑是晚侏罗纪汇集构造陆内变形的结果,长江中下游前陆晚侏罗纪处于走滑剪切、旋转调整的环境,形成大致平行郯庐断裂的断裂系,如东至断裂等。晚侏罗纪开始的挤压造山延续到早白垩纪早期,其后转为大规模的伸展,造成了晚侏罗世加厚的岩石圈的跨塌,软流圈上涌,岩浆侵入和火山喷发,区域上表现为大规模高钾钙碱性、橄榄安粗岩系列岩浆—成矿活动,形成巨量金属的堆积和成矿。区内花岗闪长岩和花岗闪长斑岩为本阶段早期的岩体侵入,其后区域上的岩浆活动持续,谭山岩体等A型花岗岩的侵入,区内及兆吉口等矿区则表现为后期脉岩的侵入,兆吉口矿区细晶闪长岩锆石U-Pb 129.0±2.3 Ma和128.4±2.7 Ma谐和年龄反映另一期岩浆活动,而谭山、花园巩等A型花岗岩为更晚期次的大规模底劈侵入,并经历漫长的多期冷却过程(Tian Pengfei et al., 2012),对应于本区则表现为叠加大范围的中低温热液蚀变,并形成浅成低温热液型金(锑)多金属矿化。

6 结论

(1)东至查册桥金矿区牛头高家花岗闪长斑岩为本区原生金矿体的主要成矿母岩浆,是在燕山早期岩浆活动的产物,侵入岩的形成时代在142~148Ma左右。

(2)金矿成矿作用与岩浆期后大规模热液蚀变相联系,并在持续的岩浆活动和热液作用下最终富集、定位,区内金矿化主要受控于区域断裂构造的控制,主要为北北东向、北东向及近东西向三组断裂。

(3)本矿区岩浆岩中古元古代继承锆石,反映本区存在太古代(2522±72Ma)结晶基底;大量的新元古代(600~1000Ma)继承锆石年龄,反映了晋宁期俯冲物质再循环到中生代岩浆与成矿作用中去。

致谢:感谢安徽省地质矿产局盛中烈等众多专家的指导和帮助!感谢中国科学技术大学肖益林教授在LA-ICP-MS测年过程中给予的帮助!感谢两名匿名评审专家在审稿时给出的修改建议!

注 释

❶ 安徽省地质调查院. 1982. 中华人民共和国地质调查报告,1:5万殷家汇幅.

References

Ballard J R, Palin J M, Campbell I H. 2002. Relative oxidation states of magmas inferred from Ce(IV)/Ce(III) in zircon: application to porphyry copper deposits of northern Chile. Contributions to Mineralogy and Petrology, 144(3): 347～364.

Belousova E A, Griffin W L, Suzanne Y O R, Fisher N L. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5): 602～622.

Blundy J, Wood B. 1994. Prediction of Crystal-Melt Partition-Coefficients from Elastic-Moduli. Nature, 372(6505): 452～454.

Chang Yinfo, Liu Xiangpei, Wu Yanchang. 1991. The copper-iron belt of the Lower and Middle Reaches of the Changjiang River. Geological Publishing House, Beijing, 1～379 (in Chinese with English abstract).

Chang Yinfo, Dong Shuwen, Huang Dezhi. 1996. On tectonics of "Poly-Basement with one cover" in Middle-Lower Yangtze Craton China. Volcanology & Mineral Resources, 17(1-2): 1～15 (in Chinese with English abstract).

Che Linrui, Yu Jinjie, Wang Tiezhu, Lu Bangcheng, Wang Xianwei. 2014. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from gabbro-diorite porphyry related to the Meishan polymetallic iron deposit in northern Ningwu Basin: Constraints on the age of the magmatic-hydrothermal metallogenic system. Geology in China, 41(6): 1805～1820 (in Chinese with English abstract).

Chen Guanbao, Xu Shutong, Tao Zheng, Shi Yonghong. 1998. Sm-Nd isotope age of the metamorphic volcanic rocks of the Jintan Formation in Southern Anhui Province and its tectonic implication. Geoscience, 12(4): 548～273 (in Chinese with English abstract).

Chu Geng, Yang Xiaoyong, Yu Liangfan. 2012. Mesozoic igneous rocks geochronology and geochemistry in Chizhou-Qingyang belt. Mineral Deposits, 31(S1): 533～534 (in Chinese).

Ding Binghua, Shi Rendeng, Zhi Xiachen, Zheng Lei, Chen Lei. 2008. Neoproterozoic (～850Ma) subduction in the Jiangnan orogeny: evidence from the SHRIMP U-Pb dating of the SSZ-type ophiolite in southern Anhui Province. Acta Petrologica et Mineralogica, 27(5): 672～883 (in Chinese with English abstract).

Dong Shuwen, Ma Licheng, Liu Gang, Xue Huaimin, Shi Wei, Li Jianhua. 2011. On dynamics of the metallogenic belt of Middle-Lower Reaches of Yangtze River, eastern China. Acta Geologica Sinica, 85(5): 612～625 (in Chinese with English abstract).

Fan Yu, Zhou Taofa, Yuan Feng, Qian CunChao, Lu Sanming, Cook D. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the A-type granites in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) area and their geological significances. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1715～1724 (in Chinese with English abstract).

Hoskin P W O. 2005. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 69(3): 637～648.

Hoskin P W O. 2000. Patterns of chaos: Fractal statistics and the oscillatory chemistry of zircon. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 64(11): 1905～1923.

Ji Fuyuan, Li Yinping, Zhou Li, Sheng Zhonglie. 1991. The geological and geochemical characteristics of impregnated gold deposits in southern Anhui. Geology of Jiangsu, 1991(3): 137～143 (in Chinese with English abstract).

Jia Liqiong, Xu Wenyi, Yang Dan, Yang Zhusen, Wang Liang. 2015. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating of Baoshan porphyry Cu polymetallic deposit in Jiujiang-Ruihang ore concentration area of Jiangxi Province and its geological significance. Mineral Deposits, 34(1): 63～80 (in Chinese with English abstract).

Lai Xiaodong, Yang Xiaoyong, Sun Weidong, Cao Xiaosheng. 2012. Chronological-Geochemical Characteristics of the Shujiadian intrusion, Tongling ore cluster field: Its significance to metallogenesis. Acta Geologica Sinica, 86(3): 470～485 (in Chinese with English abstract).

Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, Zhou Hanwen, Li Wuxian, Liu Ying. 2001. U-Pb zircon ages of the Neoproterozoic granitoids in South China and their tectonic implications. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 20(4): 271～273 (in Chinese with English abstract).

Li He, Zhang Hong, Ling Mingxing, Wang Fangyue, Ding Xing, Zhou Jibin, Yang Xiaoyong, Tu Xianglin, Sun Weidong. 2011. Geochemical and zircon U-Pb study of the Huangmeijian A-type granite: Implications for geological evolution of the Lower Yangtze River belt. International Geology Review, 53(5-6): 499～525.

Li He, Ling Mingxing, Li Congying, Zhang Hong, Ding Xing, Yang Xiaoyong, Fan Weiming, Li Yiliang, Sun Weidong. 2012. A-type granite belts of two chemical subgroups in central eastern China: Indication of ridge subduction. Lithos, 150, 26～36.

Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China orogen: U-Pb dating. Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle Xenoliths. Journal of Petrology. 51(1-2): 537～571.

Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publicattion. 1～74.

Middlemost E A K. 1985. Magmas and Magmatic Rocks. London: Longman, 1～266.

Möller A, O'Brien P J, Kennedy A, Möller A. 2003. Linking growth episodes of zircon and metamorphie textures to zircon chemistry: An example from the ultrahigh-temperature granulites of Rogaland (SW Norway). Geological Society, London, Special Publications, 220(1): 65～81.

Nie Zhangxing, Li Min, Shen Huanxi, Xiong Mingqiang, Qian Xiang. 2013. Gold ore types and ore prospecting direction in the

Dongzhi area, Anhui Province. Geology of Anhui, 23(2):81～85 (in Chinese with English abstract).

Nie Zhangxing, Qian Xiang, Yang Jingming, Shi Lei, Xu Fei, Yang Jinlong. 2015. Structural pattern, rock and ore control and regional structural implications of the fault in the Zhaceqiao gold ore deposit in Dongzhi, Anhui. Geology of Anhui, 25(2): 99～106 (in Chinese with English abstract).

Peccerillo A, Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic-rocks from kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58(1): 63～81.

Rubatto D, Gebaner D. 2000. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by IOM Microprobe: Some example from the western Alps. In: Cathodoluminescence in Geoscience. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 373～400.

Song Guoxue, Qin Kezhang, Li Guangming. 2010. Study on the fluid inclusions and S-H-O isotopic compositions of skarn-porphyry type W-Mo deposits in Chizhou area in the Middle-Lower Yangtze Valley. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2768～2782 (in Chinese with English abstract).

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). Magmatism in Oceanic Basins. Geological Society, London, Special Publication, 42(1): 313～345.

Tian Pengfei, Yang Xiaoyong, Yuan Wanming, Liu Haitao, Xue Bin. 2012. Fission track dating on the Paodaoling gold deposit in the Middle-Lower Yangtze River Metallogenic Belt: Its significance to tectonic setting. Acta Geologica Sinica, 86(3): 400～409 (in Chinese with English abstract).

Wang Wenbin, Li Wenda, Fan Hongyuan. 1996. Time of formation for metamorphic basement and crust in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River. Volcanology & Mineral Resources, 17(3－4): 42～50 (in Chinese with English abstract).

Wang Deen, Zhou Xiang, Yu Xinqi, Du Yudiao, Yang Heming, Fu Jianzhen, Dong Huiming. 2011. SHRIMP zircon U-Pb dating and characteristics of Hf isotopes of the granodiorite porphyries in the Dongyuan W-Mo ore district, Qimen area, southern Anhui. Geological Bulletin of China, 30(10): 1514～1529 (in Chinese with English abstract).

Watson E B, Wark D A, Thomas J B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. Contributions to Mineralogy and Petrology, 151(4): 413～433.

Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis. London: Allen and Unwin.

Wu Cailai, Gao Qianming, Guo Heping, Guo Xiangyan, Liu Lianggen, Gao Yuanhong, Lei Min, Qing Haipeng, Chen Qilong. 2010a. Zircon SHRIMP dating of intrusive rocks from the Tongguanshan ore-field in Tongling, Anhui, China. Acta Geologica Sinica, 84(12): 1746～1758 (in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Gao Qianming, Guo Heping, Guo Xiangyan, Liu Lianggen, Gao Yuanhong, Lei Min, Qian Haipeng. 2010b. Petrogenesis of the intermediate-acid intrusive rocks and zircon SHRIMP dating in Tongling, Anhui, China. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2630～2652 (in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Dong Shuwen, Wang Cisong, Gao Qianming, Yan Yongtao, Li Xiang, Gao Yuanhong, Lei Min, Qin Haipeng, Li Mingze, Liu Chunhua. 2013. The discovery of late Paleozoic magmatism in Tongling area: Evidence from zircon U-Pb dating of diabse in Fenghuangshan ZK66 drilling core. Geology in China, 40(3): 715～729 (in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Dong Sshuwen, Robinson P T, Frost B R, Gao Yuanhong, Lei Min, Chen Qilong, Qin Haipeng. 2014. Petrogenesis of high-K, calc-alkaline and shoshonitic intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province (eastern China), and their tectonic implications. Geological Society of America Bulletin, 126(1－2): 78～102.

Xie Jiancheng, Yang Xiaoyong, Du Jianguo, Sun Weidong. 2008. Zircon U-Pb geochronology of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling region: Implications for copper-gold mineralization. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1782～1800 (in Chinese with English abstract).

Xu Xiaochun, Liu Xue, Zhang Zanzan, He Miao, Liu Xiaoyan, Xie Qiaoqin, Fan Ziliang, Hejun. 2014. Zircon U-Pb ages of magmatic rocks in Zhaojikou lead-zinc deposits of Dongzhi County, Anhui Province and their geological significance. Chinese Journal of Geology, 49(2): 431～455 (in Chinese with English abstract).

Xue Huaimin, Ma Fang, Song Yongqin, Xie Yaping. 2010. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnanorogeny, China: Constraints on the timing and process of amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks. Acta Petrologica Sinica, 26(11): 3215～3244 (in Chinese with English abstract).

Yang Shutong. 1993. The geological and geochemical characteristics and genesis of the altered granitoids in the Huashan gold mineralized domain, south Anhui. Geology of Anhui, 3(1): 42～48 (in Chinese with English abstract).

Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xiaoming, Li Huiming, Günther D, Wu Fuyuan. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. Geostandards and Geoanalytical Research, 28(3): 353～370.

Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006a. Zircon isotope evidence for >3.5 Ga continental crust in the Yangtze craton of China. Precambrian Research, 146, 16～34.

Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006b. Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8 Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China. Earth and Planetary Science Letters, 252, 56～71.

Zhang Lejun, Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of Yueshan intrusion in the Yueshan ore field, Anhui, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1725～1732 (in Chinese with English abstract).

Zhang Zhiyu, Du Yangsong, Zhang Jing, Pang Zhenshan. 2011. SHRIMP zircon U-Pb geochronology, petrochemical and geochemical characteristics of Tongshan intrusion in Guichi, Anhui Province. Geological Review, 57(3): 366～378 (in Chinese with English abstract).

Zheng Yongfei, Zhao Zifu, Wu Yuanbao, Zhang Shaobing, Liu Xiaoming, Wu Fuyuan. 2006. Zircon U-Pb age, Hf and O isotope constraints on protolith origin of ultrahigh-pressure eclogite and gneiss in the Dabie orogen. Chemical Geology, 231, 135～158.

Zhao Ling, Chen Zhihong. 2014. Zircon LA-ICP-MS dating of the Tanshan pluton in the area of southern Anhui Province and its geological significances. Resources Survey and Environment, 35(3): 185～191 (in Chinese with English abstract).

Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng. 2008a. Advances on petrogensis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1665～1678 (in Chinese with English abstract).

Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, Lu Sanming, Cook D, Sebastien M, Zhao Gguochun. 2008b. Geochronology of the volcanic rocks in the Luzong basin and its significance. Science in China (Series D), 51(10): 1470～1482.

Zhou Taofa, Wang Shiwei, Fan Yu, Yuan Feng, Zhang Dayu, White N C. 2015. A review of the intracontinental porphyry deposits in the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt, Eastern China. Ore Geology Reviews, 65: 433～456.

Zhou Xiaohua, Zhang Yanjie, Liao Shengbing, Yu Minggang, Chen Zhihong, Zhao Xilin, Jiang Yang, Jiang Ren. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of volcanic rocks in the Shuangqiaoshan Group at Anhui-Jiangxi boundary region and its geological implication. Geological Journal of China University, 18(4): 609～622 (in Chinese with English abstract).

Zhu Zhiyong, Jiang Shaoyong, Hu Jian, Gu Lianxing, Li Jianwei. 2014. Geochronology, geochemistry, and mineralization of the grandiorite porphyry hosting the Matou Cu-Mo (±W) deposit, Lower Yangtze River metallogenic belt, eastern China. Journal of Asian Earth Sciences, 79, 623～640.

参　考　文　献

陈冠宝，徐树桐，陶正，石永红. 1998. 皖南井潭组变质火山岩 Sm_Nd 同位素年龄及其大地构造意义. 现代地质，12(4)：548～273.

常印佛，刘湘培，吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京：地质出版社，1～239.

常印佛，董树文，黄德志. 1996. 论中一下扬子“一盖多底”格局与演化. 火山地质与矿产，17(1－2)：1～15.

车林睿，余多杰、王铁柱，陆邦成，王贤伟. 2014. 宁芜北段与梅山铁多金属矿床有关的辉长闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年：对岩浆热液成矿系统时限的约束. 中国地质，41(6)：1805～1820.

褚庚，杨晓勇，余良范. 2012. 池州－青阳一带中生代侵入岩年代学－地球化学研究. 矿床地质，31(增刊)：533～534.

丁炳华，史仁灯，支霞臣，郑磊，陈雷. 2008. 江南造山带存在新元古代 850 Ma 俯冲作用——来自皖南 SSZ 型蛇绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄证据. 岩石矿物学杂志，27(5)：672～883.

董树文，马立成，刘刚，薛怀民，施炜，李建华. 2011. 论长江中下游成矿动力学. 地质学报，85(5)：612～625.

范裕，周涛发，袁峰，钱存超，陆三明，Cook D. 2008. 安徽庐江—枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICP-MS 定年及其地质意义. 岩石学报，24(8)：1715～1724.

嵇福元，李音平，周粟，盛中烈. 1991. 皖南地区微细浸染型金矿地质地球化学特征. 江苏地质，1991(3)：137～143.

贾丽琼，徐文艺，杨丹，杨竹森，王梁. 2015. 江西九瑞地区宝山斑岩型铜多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 矿床地质，34(1)：63～80.

赖晓东，杨晓勇，孙卫东，曹晓生. 2012. 铜陵舒家店岩体年代学、岩石地球化学特征及成矿意义. 地质学报，86(3)：470～485.

李献华，李正祥，葛文春，周汉文，李武显，刘颖. 2001. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 矿物岩石地球化学通报，20(4)：271～273.

聂张星，李敏，沈欢喜，熊明强，钱祥. 2013. 安徽省东至地区金矿类型及找矿方向. 安徽地质，23(2)：81～85.

聂张星，钱祥，杨敬明，石磊，胥飞，杨金龙. 2015. 安徽省东至查册桥金矿断裂构造型、控岩控矿和区域构造意义. 安徽地质，25(2)：99～106.

宋国学，秦克章，李光明. 2010. 长江中下游池州地区矽卡岩－斑岩型 W-Mo 矿床流体包裹体与 H、O、S 同位素研究. 岩石学报，26(9)：2768～2782.

孙中义，高大旗. 1993. 安徽省东至县一径县一带寒武纪地层中金矿化的围岩蚀变特征. 黄金地质科技，2：41～47.

田朋飞，杨晓勇，袁万明，刘海涛，薛斌. 2012. 长江中下游成矿带抛刀岭金矿裂变径迹研究及大地构造意义. 地质学报，86(3)：400～409.

王文斌，李文达，范洪源. 1996. 长江中下游地区变质基底及地壳形成时间. 火山地质与矿产，17(3－4)：42～50.

王德恩，周翔，余心起，杜玉雕，杨赫鸣，傅建真，董会明. 2011. 皖南祁门地区东源钨钼矿区花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征. 地质通报，30(10)：1514～1529.

吴淦国，张达，狄永军，臧文拴，张祥信，宋彪，张忠义. 2008. 铜陵矿集区侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其深部动力学背景. 中国科学 D 辑：地球科学，38(5)：630～645.

吴才来，高前明，国和平，郭祥炎，刘良根，郜源红，雷敏，秦海鹏，陈其龙. 2010a. 铜陵地区铜官山矿田侵入岩锆石 SHRIMP 定年. 地质学报，84(12)：1746～1758.

吴才来，高前明，国和平，郭祥炎，刘良根，郜源红，雷敏，秦海鹏. 2010b. 铜陵中酸性侵入岩成因及锆石 SHRIMP 定年. 岩石学报，26(9)：2630～2652.

吴才来，董树文，王次松，高前明，闫永涛. 2013. 铜陵地区晚古生代岩浆活动的发现：来自凤凰山岩体 ZK66 钻孔岩心辉绿岩锆石 U-Pb 定年的证据. 中国地质，40(3)：715～729.

谢建成，杨晓勇，杜建国，孙卫东. 2008. 铜陵地区中生代侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及 Cu-Au 成矿指示意义. 岩石学报，24(8)：1782～1800.

邢凤鸣，徐祥，李志昌. 1993. 长江中下游早元古代基底的发现及意

义. 科学通报, 38(20):1883～1886.
徐晓春,刘雪,张赞赞,何苗,刘晓燕,谢巧勤,范子良,何俊. 2014. 安徽东至兆吉口铅锌矿区岩浆岩锆石 U-PB 年龄及其地质意义. 地质科学,49(2):431～455.
薛怀民,马芳,宋永勤,谢亚平. 2010. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学:对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束. 岩石学报,26(11):3125～3224.
杨书桐. 1993. 皖南花山金矿化域蚀变岩体的地质地球化学特征及成因探讨. 安徽地质,3(1):42～48.
张旗,简平,刘敦一,王元龙,钱青,王焰,薛怀民. 2003. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 中国科学(D 辑),33(4):309～314.
张乐骏,周涛发,范裕,袁峰. 2008. 安徽月山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. 岩石学报, 24(8):1725～1732.
张智宇,杜杨松,张静,庞振山. 2011. 安徽贵池铜山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学与岩石地球化学特征研究. 地质论评,57(3):366～378.
赵玲,陈志洪. 2014. 皖南谭山岩体的锆石定年及地质意义. 资源调查与环境,35(3):185～191.
周涛发,范裕,袁峰. 2008a. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 岩石学报,24(08):1665～1678.
周效华,张彦杰,廖圣兵,余明刚,陈志洪,赵希林,姜杨,蒋仁. 2012. 皖赣相邻地区双桥山群火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 高校地质学报,18(4):609～622.

U-Pb Zircon Geochronology of Magmatic Rocks from the Zhaceqiao Gold Deposit in the Dongzhi Area, South Anhui Province and its Metallogenic Significance

NIE Zhangxing[1)], SHI Lei[1)], GU Huangling[2)], QIAN Xiang[1)], XU Fei[1)], YANG Jinlong[1)], YANG Xiaoyong[2)]

1) *No. 311 Geological Team, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Anqing, Hefei*, 246003;
2) *School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei*, 230026

Abstract

The Zhaceqiao gold deposit in the Dongzhi area of Anhui Province is a recently discovered gold deposit in the Jiangnan transition belt, which contains a certain amount of gold reserves and multiple ore occurrences or prospects. The orebodies are controlled mainly by NNE-, NE- and near EW-trending faulting. The mineralization type is dominantly high S epithermal gold (Sb) deposit. The formation of the deposit has close spatio-tempero relationship with the Yanshanian magmatic activity. Magmatic rocks in the mining area include granite porphyry, granodiorite, granodiorite-porphyry, diorite porphyrite and porphyritic dacite. LA-ICP-MS U-Pb zircon dating for igneous rocks indicates that the Zhaceqiao intrusions was emplaced between the late Jurassic and early Cretaceous, with granodiorite porphyry in the 143～148Ma, granodiorite in 145Ma, and diorite porphyrite in the late (142Ma). But the gold-polymetallic mineralization occurred later than that of the magmatic rocks and lasted for long period. A large amount of inherited zircons developed in this area reflects that the ore-forming material might derive from the ancient crustal basement and corresponds to natures of magmatic rocks (crust-mantle syntexitype), indicating that it might relate to the unique tectonic position of the Jiangnan transition zone and development history of geology tectonic. Old inherited zircon U-Pb dating of (2522±73Ma)indicates Archean basement materials; The extensive Neoproterozoic inherited zircon ages of 600～1000Ma reflects the materials formed by the collision orogenic process between Yangtze block and Cathaysia block in Jinningian period was recycled to the Yanshanian magmatic activity and mineralization process. The Zhaceqiao gold mineralization is closely related to post-magmatic large-scale hydrothermal alteration, during which the gold was enriched and deposited under the continuous magmatic activity and hydrothermal action. Combined with metallogenic geological background and geochronological data, it can be concluded that the Zhaceqiao gold deposit is the shallow epithermal gold deposit controlled by regional fault system and closely associated with the Yanshanian intermediate-felsic magmatism.

Key words: U- Pb zircon dating; Archean basement; Zhaceqiao Au deposit; Dongzhi County; south Anhui