闽中梅仙铅锌多金属矿区花岗岩锆石U-Pb年龄、Sr-Nd同位素组成特征及其地质意义

肖晓牛[1,2,3],费利东[1,2],余新明[2,3],秦新龙[2],肖 娥[1,2],刘荣芳[2]
XIAO Xiaoniu[1,2,3], FEI Lidong[1,2], YU Xinming[2,3], QIN Xinlong[2], XIAO E[1,2], LIU Rongfang[2]

1.南京大学地球科学与工程学院,江苏 南京 210093;
2.江苏省有色金属华东地质勘查局,江苏 南京 210007;
3.福建金东矿业股份有限公司,福建 三明 365101
1. *School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing* 210093, *Jiangsu, China;*
2. *East China Mineral Exploration and Development Bureau for Non-Ferrous metals, Nanjing* 210007, *Jiangsu, China;*
3. *Fujian Jindong Mining Co., Ltd., Sanming* 365101, *Fujian, China*

摘要:为探讨闽中梅仙矿区花岗岩的成因,对小焦、寨头、根竹园花岗岩体的岩相学、年代学和Sr-Nd同位素特征进行研究。LA-ICP-MS锆石U-Pb测年结果显示,小焦花岗岩体的结晶年龄为158±3Ma,形成于燕山中期晚侏罗世。同位素分析显示,样品具有高I_{Sr}(0.707099~0.710082)和低$\varepsilon_{Nd}(t)$ (-9.79~-10.92)的特点,显示明显的壳源特征,其岩石成因类型属高分异的I型花岗岩。结合前人最新的研究成果表明,梅仙矿区燕山中期花岗岩形成于古太平洋板块向欧亚板块的俯冲-消减的伸展拉张环境,是板内伸展造山阶段的产物。

关键词:年代学;Sr-Nd同位素;花岗岩;梅仙;闽中
中图分类号:P618;P597 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2019)10-1733-07

Xiao X N, Fei L D, Yu X M, Qin X L, Xiao E, Liu R F. Zircon U-Pb age, Sr-Nd isotopic characteristics and its geological significance of the granites from the Meixian zinc-lead polymetallic deposit, central Fujian Province. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(10):1733-1739

Abstract: In order to discuss the genesis of the granites in the Meixian orefield of central Fujian Province, this paper reports petrography, geochronology and Sr-Nd isotope data. Zircon U-Pb dating yielded an age of 158±3Ma for the Xiaojiao granites, indicating that they were formed in Late Jurassic in the middle Yanshanian period. Isotopically, sample analyses show high and variable initial I_{Sr} ratios (0.707099~0.710082) but low and constant $\varepsilon_{Nd}(t)$ (-9.79~-10.92), showing crust source characteristics obviously and indicating that Meixian granites are highly fractionated I-type granites. Combined with previous research results, it is held that the granites of the middle Yanshanian period in Meixian area were formed by the sub-reduction stretching and extension of the paleo-Pacific plate to the Eurasian plate, and were emplaced at the extention orogenic stage within the plate.

Key words: geochronology; Sr-Nd isotope; granites; Meixian; central Fujian Province

闽中地区地处欧亚大陆东南缘的福建省中部,位于闽北加里东隆起带、闽西南坳陷带和闽东火山断坳带的交汇部位[1-3]。该地区中生代开始的古西太平洋板块向欧亚板块俯冲,以及俯冲-挤压后的

收稿日期:2018-01-06;**修订日期**:2018-10-19
资助项目:国家自然科学基金项目《云南播卡晚元古代岩浆作用与成矿效应:一种可能的IOCG模式》(批准号:41402077)和福建省自然科学基金项目《闽中梅仙地区花岗岩及其铅锌钼多金属成矿系列研究》(编号:2018J01143)
作者简介:肖晓牛(1980-),男,博士,高级工程师,从事矿产地质调查研究工作。E-mail:978612177@qq.com

伸展和拉分作用，引起了大规模的花岗质岩浆活动，其时代主要为燕山期，并形成了与之相伴的大规模成矿作用[4-10]。梅仙矿区地处闽中腹部，区域岩浆作用非常发育，岩浆岩受区域构造、特别是断裂构造控制。前人在勘探采冶的同时，对梅仙地区的地质构造演化历史、岩相古地理、成矿地质背景、矿床类型、分布规律等作了较系统的梳理和总结，提出梅仙铅锌多金属矿的成矿规律和控矿因素[11-21]，但对与该区成矿关系密切的花岗岩类研究尚显薄弱。为厘定闽中梅仙地区花岗岩的侵位时代并探讨其成因，本文选取梅仙铅锌多金属矿区几个典型花岗岩体为研究对象，开展了锆石U-Pb定年及岩石地球化学研究。

1 区域地质背景

闽中地区大地构造分区属古华夏构造域华夏块体（图1），地处闽西南地块与闽东地块交接地带的政和-大浦断裂带南东侧边缘，福州地穹列闽清地洼与绍广地洼列三明地穹2个四级大地构造单元的交接部位，具有地穹-地洼过渡域的大地构造环境特点。区内上太古界—新生界均有出露，尤以元古宇分布最广泛。古元古代麻源群为一套陆源碎屑沉积岩夹少量碳酸盐岩及中-基性火山岩的深变质（角闪岩相）岩系。中—新元古代马面山群龙北溪组（$Pt_{2-3}l$）为一套高绿片岩相-低角闪岩相的火山-沉积岩系，呈“变质基底天窗”出露，岩性以绿片岩、变粒岩为主，夹条带状透辉石石英岩、薄层大理岩；大岭组（$Pt_{2-3}dl$）原岩夹有基性、酸性“双峰式”火山岩。晚古生代地层局限出露于研究区南部，中新生界零星呈带状分布。区域岩浆作用非常发育，岩浆岩受区域构造、特别是断裂构造控制，多呈NE向、NNE向及NEE向带状展布，其次呈NW向，是多期次构造岩浆活动的产物。区内地层岩性复杂，但以酸性和中酸性岩浆活动占绝对优势。其中侵入岩主要为加里东期和燕山期花岗岩类，且以燕山期中生代花岗岩分布最广泛。

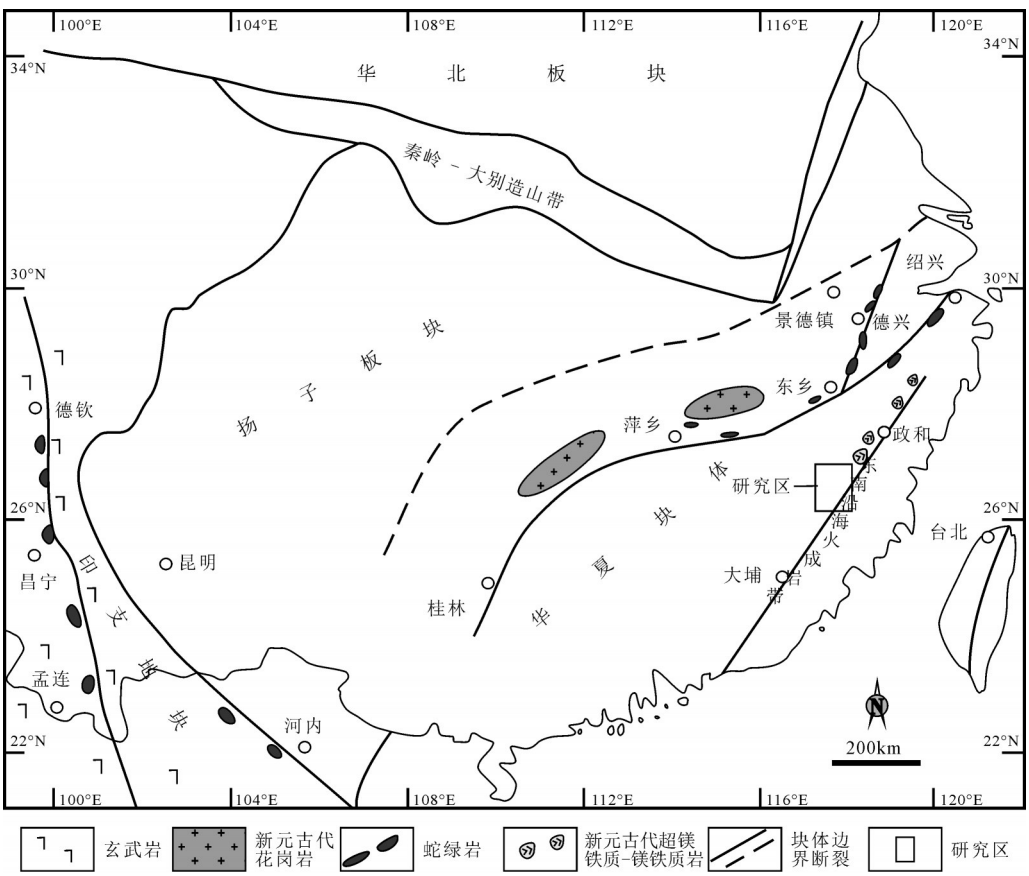


图1 研究区大地构造位置图（据参考文献[21]修改）

Fig. 1 Sketch tectonic map of the study area

2 矿区地质特征

梅仙矿区地处闽中腹地,矿区内分布有峰岩、丁家山、关兜、下渡、谢坑和寨头等多个铅锌多金属矿床(图2)。

矿区出露地层分别为中—新元古界、侏罗系及第四系。中—新元古界马面山群龙北溪组、大岭组等变质岩地层,以基底"天窗"形式出现,呈NE向展布,其中马面山群龙北溪组是铅锌多金属矿床的重要赋矿地层,与上覆上侏罗统长林组(J_3c)和零星分布的下侏罗统梨山组(J_1l)呈断层或角度不整合接触;中生界侏罗系主要出露在矿区西北部,第四系地层沿尤溪河谷地片状分布。矿区褶皱和断裂构造十分发育,主要构造线方向呈NE向,由一系列走向NE的褶皱、断裂组成。褶皱主要为梅仙复背斜,轴向为NE50°~65°,分别向两端双向倾伏,倾伏角为20°~30°。区内断裂构造可分为NE向、近EW向和近SN向3组。矿区内燕山期中酸性岩浆侵入活动较强烈,总体呈NE向延伸的带状或串珠状产出。地表浅部岩浆岩多为花岗斑岩或黑云母花岗斑岩,呈脉状产出(图2)。

3 样品采集及分析方法

为了研究闽中梅仙地区花岗岩的侵位时代,采集1件小焦岩体样品进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄测定。同位素年龄样品锆石的分选在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司实验室完成。LA-ICP-MS锆石U-Pb定年工作在北京锆年领航科技有限公司使用New Wave UP213激光取样系统与Agilent7500a型ICP-MS联机装置完成。样品的同位素比值及元素含量计算采用gliter(ver4.0, Macquarie Univerisity)程序,普通铅采用Anderson[22]的方法进行校正,年龄及谐和图的绘制采用Isoplot3.0[23]软件完成。

为了研究梅仙地区花岗岩的同位素组成和岩浆源区的性质,对小焦、寨头、根竹园的近地表较新鲜的7个代表性样品进行Sr-Nd同位素分析。测定工作在中国地质调查局天津地质调查中心完成,采用同位

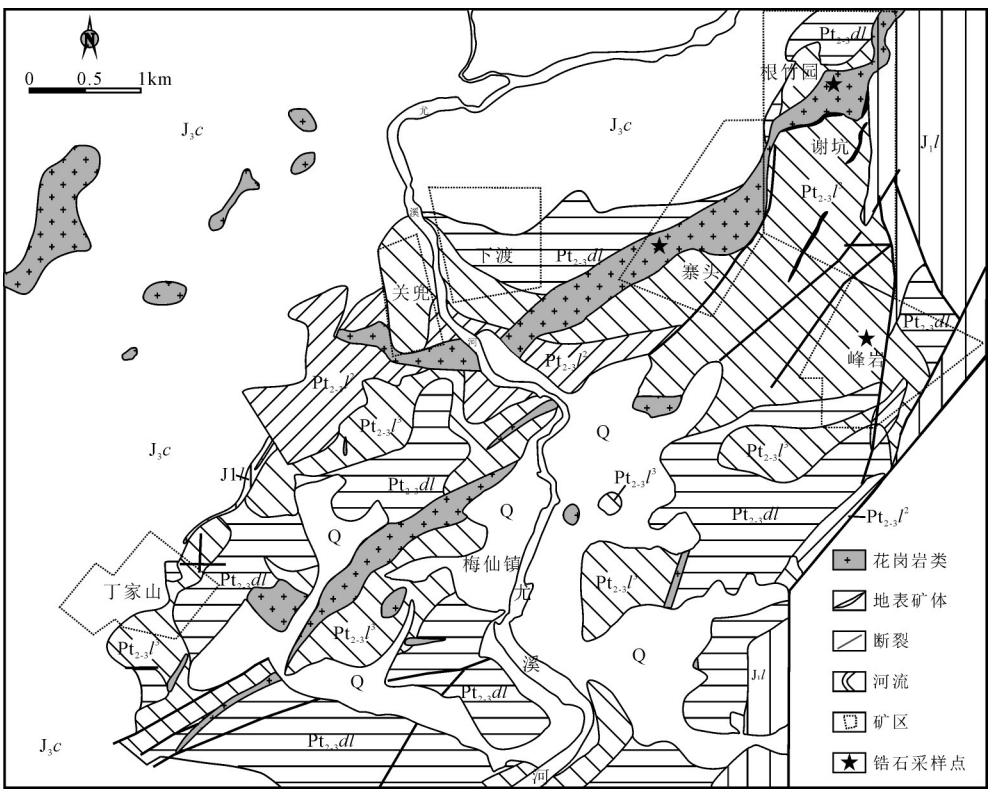


图2 梅仙矿区地质简图

Fig. 2 Sketch map showing the regional geology of the Meixian orefield

$Pt_{2-3}dl$—中-新元古界大岭组;$Pt_{2-3}l^2$—中-新元古界龙北溪组中段;

$Pt_{2-3}l^3$—龙北溪组上段;J_3c—上侏罗统长林祖;J_1l—下侏罗统梨山组;Q—第四系

素稀释法，Rb-Sr和Sm-Nd法均采用双流程的分析测试工艺。其中Rb-Sr同位素组成采用Finnigan Triton TI表面热电离质谱(TIMS)测定，Sm-Nd同位素组成采用Thermo Scientific Neptune Plus多接收等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)测定。详细分析流程见濮巍等[24-25]。

4 岩相学特征

花岗斑岩、黑云母花岗斑岩主要见于寨头、小蕉与根竹园，岩石呈浅灰白色-肉红色，似斑状结构，块状构造(图版Ⅰ-a)。岩石的主要矿物成分为钾长石(25%~40%)、斜长石(10%~20%)、石英(约30%)(图版I-d)，次为黑云母(约5%)，少量角闪石(1%~2%)，副矿物主要有磷灰石、锆石、榍石、不透明矿物等。斑晶(约40%)以钾长石、斜长石和石英为主，基质(约60%)为显晶质，半自形粒状结构，矿物成分与斑晶类似。钾长石呈半自形板状，粒径介于0.3mm×0.6mm~1.5mm×2.0mm之间，具粘土化和绢云母化。斜长石斑晶呈半自形板柱状，多为更长石，可见聚片双晶、卡钠复合双晶，粒径多介于0.2mm×0.5mm~1.6mm×2.2mm之间，常发生绢云母化、粘土化和钾长石化；石英呈他形粒状，部分颗粒见较明显的熔蚀现象而呈港湾状，具波状消光现象，粒径一般为0.4~1.2mm，大者可达2.2mm；黑云母呈较自形的片状，发育一组极完全解理，大多绿泥石化，个别白云母化；角闪石呈柱粒状，粒径小于0.4mm，具绿泥石化，少见。副矿物为磷灰石、锆石、榍石和磁铁矿，含量较少或偶见。

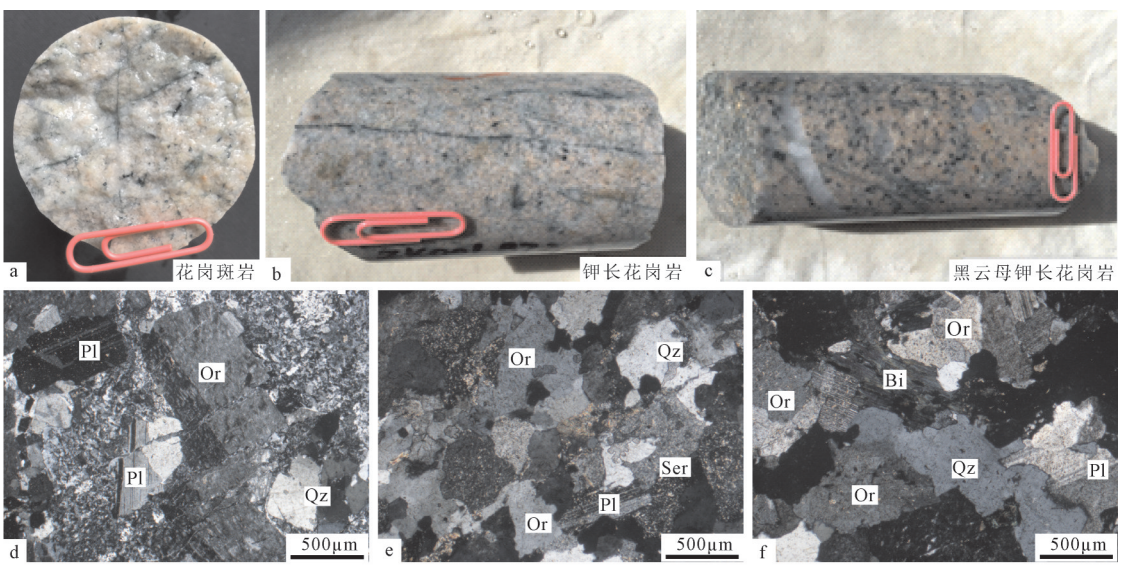
5 分析结果

小焦花岗斑岩(XJ-4)被测锆石多为无色-浅黄色，透明-半透明，自形好，长径主要变化于80~240μm，长宽比介于1.5∶1~2.5∶1之间，阴极发光图像均显示出清晰的振荡环带结构(图3)，所测锆石的Th/U值较高，介于0.38~1.82之间(表1)，表明它们为典型的岩浆结晶锆石[26-27]，且没有发生显著的铅丢失[28]。该样品共测试9个锆石点位，获得9组有效数据，在$^{206}Pb/^{238}U-^{207}Pb/^{235}U$谐和图上，这些数据点均投影在谐和线上或其附近(图4-a)，表明被测锆石未明显遭受后期热事件的影响，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄介于150~160Ma之间，经计算获得的$^{206}Pb/^{238}U$年龄加权平均值为158±3Ma(MSWD=1.4，1σ)，结果精确度较高，可以准确反映岩体的成岩年龄。

5.1 锆石U-Pb同位素定年

前人普遍认为，梅仙矿区花岗岩类属于燕山期岩浆活动的产物，本次对梅仙矿区小焦花岗岩类锆石U-Pb定年结果表明，矿区花岗岩类成岩时间为158±3Ma，该结果与孙洪涛等[29]获得的岩体成岩年龄较接近，且与闽中地区建阳水吉铅锌矿花岗斑岩、建瓯八外洋铅锌矿闪长岩脉成岩年龄[17](分别为154±11Ma和151±3Ma)大致相同，表明梅仙矿区花岗岩与闽中地区其他典型铅锌矿床中花岗岩的侵

图版Ⅰ Plate Ⅰ



a、b、c.梅仙矿区代表性岩体标本照片；d、e、f.梅仙矿区代表性岩体显微照片。
Pl—斜长石；Or—钾长石；Qz—石英；Ser—绢云母；Bi—黑云母

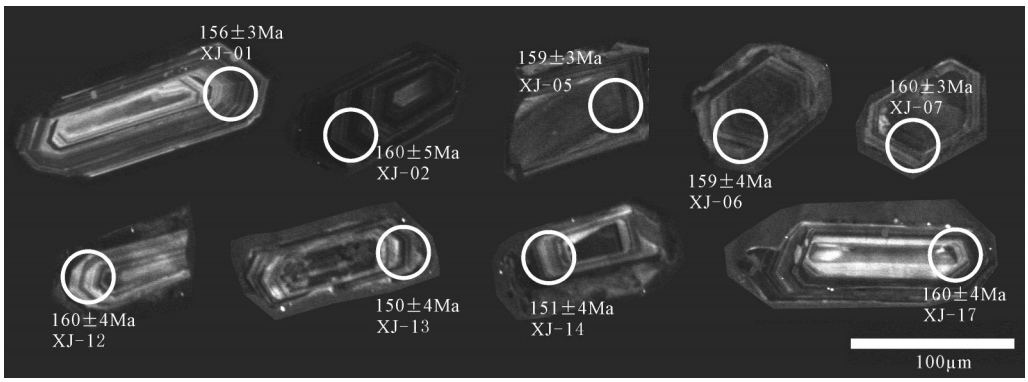


图3 梅仙矿区小焦花岗岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 CL images of zircons for the Xiaojiao granites from Meixian orefield

入时代基本一致,均为燕山中期晚侏罗世岩浆活动的产物。

5.2 Sr-Nd同位素特征

梅仙矿区花岗岩的Sr-Nd同位素分析结果见表2。由表2可见,梅仙矿区的寨头、根竹园、小焦的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值较高且集中,变化范围为0.727249~0.738491,I_{Sr} 变化于0.707099~0.710082之间;$^{143}Nd/^{144}Nd$ 值为0.512007~0.512063,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 变化于-9.79~-10.92之间。由此可见,梅仙矿区花岗岩具有的高 I_{Sr}、低 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 特点(图5),显示明显的壳源特征。

6 讨 论

中—晚侏罗世,中国东南沿海地带是古太平洋自东南向西北方向欧亚板块俯冲的前沿地区,板块俯冲作用导致东亚地区晚侏罗世大陆内部广泛变形和内陆造山[31-34]。闽中地区进入由挤压向拉张构造环境的转换阶段,此时的挤压松弛作用导致区内大规模岩石圈减薄和岩浆活动[35-36]。

中国东南沿海晚中生代花岗岩成因机制基本上可用古太平洋板块向欧亚板块的俯冲导致I-型花岗岩的思想,并认为这个时期花岗质岩体在动力学背景上形成于拉伸构造环境中[37-38]。闽中地区位于欧亚大陆东南部中国东南活动大陆边缘内带,属华夏古陆的重要组成部分,是环太平洋中、新生代巨型构造-岩浆带中的重要成矿区之一。随着古太平洋板块向欧亚大陆板块持续俯冲-消减,以及印支、华北和华南板块的碰撞对接,中国东南部中生代构造-岩浆活动广泛发育,并引起了中国东部中生代成矿作用的大爆发。结合前人的研究成果认为,该区燕山中期花岗岩形成于古太平洋板块向欧亚板块的俯冲-消减的伸展拉张环境,是板内伸展造山阶段的产物[39-41]。该区花岗岩虽然是在岩石圈全面伸展-减

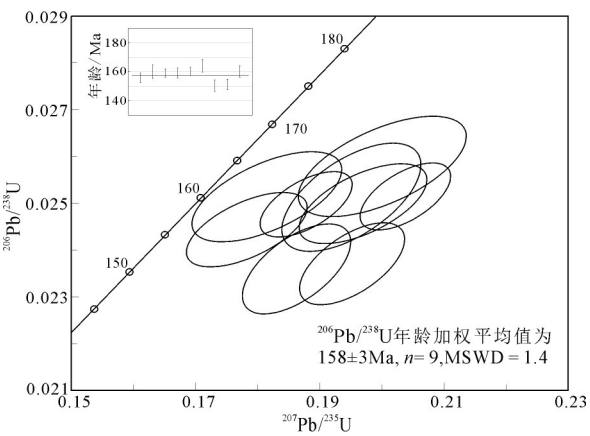


图4 梅仙矿区小焦花岗岩类锆石U-Pb年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagrams for the Xiaojiao granites from the Meixian orefield

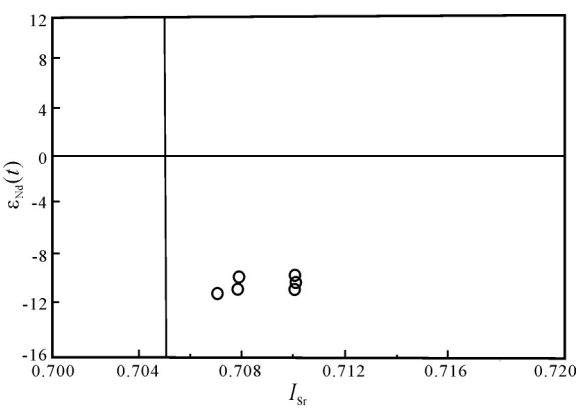


图5 梅仙矿区花岗岩 $I_{sr}-\varepsilon_{Nd}(t)$ 图解(据参考文献[30]修改)

Fig. 5 $I_{sr}-\varepsilon_{Nd}(t)$ diagram for the Meixian granites

表1 梅仙矿区花岗岩类LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb测试结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating results for the granites from the Meixian orefield

点号	Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
小焦岩体													
XJ-4-01	0.79	0.0527	0.0019	0.1782	0.0064	0.0244	0.0005	317	83	166	6	156	3
XJ-4-02	0.64	0.0560	0.0018	0.1950	0.0074	0.0251	0.0008	454	67	181	6	160	5
XJ-4-05	0.46	0.0540	0.0010	0.1877	0.0049	0.0250	0.0005	372	42	175	4	159	3
XJ-4-06	0.66	0.0571	0.0018	0.1969	0.0068	0.0250	0.0006	494	72	183	6	159	4
XJ-4-07	0.73	0.0586	0.0013	0.2038	0.0048	0.0252	0.0005	554	52	188	4	160	3
XJ-4-12	0.99	0.0559	0.0020	0.2001	0.0090	0.0258	0.0007	456	79	185	8	164	4
XJ-4-13	0.54	0.0572	0.0019	0.1862	0.0058	0.0236	0.0006	498	67	173	5	150	4
XJ-4-14	0.62	0.0598	0.0016	0.1952	0.0056	0.0237	0.0006	598	57	181	5	151	4
XJ-4-17	0.88	0.0521	0.0021	0.1814	0.0080	0.0251	0.0006	287	90	169	7	160	4

表2 梅仙地区花岗岩Rb-Sr和Sm-Nd同位素测试结果

Table 2 Rb-Sr and Sm-Nd isotopic analyses of granite in Meixian area

样号	岩 性	$Rb/10^{-6}$	$Sr/10^{-6}$	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	2σ	I_{sr}
ZT-1	黑云母花岗斑岩	233	76.7	8.80490	0.727434	8	0.708033
ZT-2	黑云母花岗斑岩	247.3	92	7.79098	0.727249	8	0.710082
GZY-1	黑云母花岗斑岩	268.2	86.3	9.00961	0.729652	7	0.709800
XJ-4	花岗斑岩	322.1	65.6	14.24686	0.738491	10	0.707099
XJ-5	花岗斑岩	325.4	70.2	13.44830	0.737417	7	0.707785
XJ-6	花岗斑岩	316.6	82.5	11.13043	0.734304	6	0.709779
样号	岩性	$Sm/10^{-6}$	$Nd/10^{-6}$	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	2σ	$\varepsilon_{Nd}(t)$
ZT-1	黑云母花岗斑岩	4.39	21.30	0.124529	0.512063	4	-9.79
ZT-2	黑云母花岗斑岩	4.13	21.21	0.117650	0.512022	4	-10.46
GZY-1	黑云母花岗斑岩	3.99	17.46	0.138074	0.512048	3	-10.35
XJ-4	花岗斑岩	4.63	22.18	0.126126	0.512007	4	-10.92
XJ-5	花岗斑岩	4.73	22.64	0.126232	0.512015	7	-10.76
XJ-6	花岗斑岩	5.66	23.54	0.145276	0.512030	6	-10.85

薄、地幔物质上涌导致玄武质岩浆底侵的背景下形成的，但因它们主要由地壳物质的部分熔融形成，而地幔物质的参与较少，总体上显示较明显的壳源岩石地球化学特征[42-43]。

7 结 论

（1）LA-ICP-MS锆石U-Pb定年结果表明，梅仙矿区花岗岩成岩年龄为158.0±3.2Ma，属燕山中期晚侏罗世构造-岩浆作用的产物。

（2）矿区花岗岩同位素组成上，具有高 I_{Sr} (0.707099~0.710082)和低 $\varepsilon_{Nd}(t)$ (-9.79~-10.92)的特点，显示明显的壳源特征，其岩石成因类型属高分异的I型花岗岩。

（3）梅仙矿区花岗岩形成于古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲-消减的伸展拉张环境，是板内伸展造山阶段的产物。

致谢：评审专家提出宝贵的修改意见，野外工作期间得到福建金东矿业股份有限公司王补峰、张光梁等同行的关心和支持，在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

[1]福建省地质矿产勘查开发局. 福建省地质图1:50000说明书[M]. 福州: 福建省地图出版社, 1998: 78-102.

[2]陶建华, 胡明安. 闽中地区中新元古代东岩组地层的含矿性研究[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 418-426.

[3]张祥信. 闽中地区新元古代马面山群的形成及构造变形演化研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文，2006: 1-120.

[4]华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 335-343.

[5]Wang D Z, Ren Q J. The Mesozoic Vocanic-intrusive complexes and their metallogenic relations in East China[M]. Beijing: Science Press, 1996: 59.

[6]Gilder S A, Gill J, Coe R S, et al. Isotope and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China[J]. J. Geophys. Res., 1996, 101(B7): 16137-16154.

[7]Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from

newly underplated basaltic crust[J]. Nature, 1993, 362: 144-146.

[8]Arculus R J, Lapierrre H, Jaillard E. Geochemical window into subduction and accretion processes: Raspas metamorphic complex, Ecuador[J]. Geology, 1999, 27: 547-550.

[9]Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magamas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 1990, 347: 662-665.

[10]Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Mesozoic tectonic evolution of the southeast China block: New insights from basin analysis[J]. J. Asian Earth Sci., 2009, 34: 376-391.

[11]叶水泉, 倪大平, 吴志强. 福建省梅仙式块状硫化物矿床[J]. 火山地质与矿产, 1999, 20(3): 172-178.

[12]周兵, 顾连兴. 论梅仙块状硫化物矿床的特征及成矿地质环境[J]. 矿床地质, 1999, 18(2): 99-109.

[13]周兵, 顾连兴, 张文兰, 等. 福建尤溪梅仙矿床闪锌矿中黄铜矿交生体的交代成因[J]. 地质论评, 1999, 45(1):15-19.

[14]张生辉, 石建基, 狄永军, 等. 闽中裂谷块状硫化物型铅锌矿床的地质特征及找矿意义[J]. 现代地质, 2005, 19(3): 375-384.

[15]狄永军, 吴淦国, 张达, 等. 闽中地区铅锌矿床辉石成分特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(2): 123-134.

[16]黄仁生. 福建尤溪梅仙矿田铅锌银矿床特征及找矿方向[J]. 福建地质, 2006, 26(4): 211-221.

[17]丰成友, 丰耀东, 张德全, 等. 闽中梅仙式铅锌银矿床矿质来源的硫、铅同位素示踪及成矿时代[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 906-916.

[18]张术根, 石得凤, 韩世礼, 等. 福建丁家山铅锌矿区磁黄铁矿成因矿物学特征研究[J]. 矿物岩石, 2011, 31(3): 11-17.

[19]袁莹. 福建尤溪丁家山铅锌矿区龙北溪组变质岩岩石学特征、原岩恢复及成因探讨[D]. 中南大学硕士学位论文, 2011: 1-46.

[20]石得凤, 张术根, 韩世礼, 等. 福建梅仙丁家山铅锌矿成矿系统分析[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(3): 809-818.

[21]舒良树. 华南构造演化基本特征[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.

[22]Anderson T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59-79.

[23]Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft excel[M]. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, 2003.

[24]濮巍, 赵葵东, 凌洪飞, 等. 新一代高精度高灵敏度的表面热电离质谱仪(Triton TI)的Nd同位素测定[J]. 地球化学, 2004, 25(2): 271-274.

[25]濮巍, 高剑峰, 赵葵东, 等. 利用DCTA和HIBA快速有效分离Rb-Sr、S m-Nd的方法[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2005, 41(4): 445-450.

[26]Corfu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of Zircon textures[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, 53(1): 469-500.

[27]Wu Y B, Zheng Y F. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1554-1569.

[28]Connelly J N. Degree of preservation of igneous zonation in zircon as a signpost for concordancy in U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2001, 172(1/2): 25-39.

[29]孙洪涛, 雷如雄, 陈世忠, 等. 闽中裂谷带梅仙铅锌矿区花岗斑岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄、成因及成矿效应[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(2): 527-539.

[30]Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China:A major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab?[J]. Lithos, 2007, 96(1/2): 186-204.

[31]毛建仁, 陈荣, 李寄寓, 等. 闽西南地区晚中生代花岗质岩石的同位素年代学、地球化学及其构造演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1723-1734.

[32]毛建仁, 许乃政, 胡青, 等. 福建省上杭—大田地区中生代成岩成矿作用与构造演化[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 285-296.

[33]徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 573-593.

[34]李献华, 李武显, 何斌, 等. 华南陆块的形成与Rodinia超大陆聚合-裂解-观察、解释与检验[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(6): 543-559.

[35]张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 华南中生代大地构造研究新进展[J]. 地球学报, 2012, 33(3): 257-279.

[36]Li Z, Qiu J S, Yang X M. A review of the geochronology and geochemistry of late Yanshannian(Cretaceous) plutons along the Fujian coastal of southeastern China: Implications for magma evolution related to slab break-off and rollback in the Cretaceous[J]. Earth Science Review, 2014, 128: 232-248.

[37]李良林, 周汉文, 陈植华, 等. 福建太姥山地区花岗岩岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 4: 593-609.

[38]徐夕生, 谢昕. 中国东南部晚中生代—新生代玄武岩与壳幔作用[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 318-334.

[39]胡建, 邱检生, 王德滋, 等. 中国东南沿海与南岭内陆A型花岗岩的对比及其构造意义[J]. 高校地质学报, 2005, 3: 404-414.

[40]孙涛, 周新民. 中国东南部晚中生代伸展应力体质的岩石学标志[J]. 南京大学学报(自然科学), 2002, 38(6): 737-746.

[41]王德滋, 沈渭洲. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 209-220.

[42]华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 300-308.

[43]华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.