doi:10.3799/dqkx.2014.005

福建泉州晚中生代伸展构造变形特征与年代学制约

徐先兵[1],李 源[2],薛德杰[3],谢明阳[4],汤 帅[1],崔建军[5],张岳桥[5]

1.中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074
2.中国地质大学地质调查研究院,湖北武汉 430074
3.福建省地质调查研究院,福建福州 350013
4.福建省闽东南地质大队,福建泉州 362021
5.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081

摘要:晚中生代福建沿海地区发育多期与古太平洋板块俯冲有关的岩浆活动和构造变形.福建泉州地区伸展构造变形主要表现为高角度正断层和低角度正断层或拆离断层,古构造应力场反演指示其形成于NW-SE向伸展环境.锆石U-Pb年代学指示泉州地区发育4期岩浆活动,分别为晚侏罗世(~155 Ma)、早白垩世中期(130~125 Ma)、早白垩世末期(~109 Ma)以及晚白垩世早期(~100 Ma之后).结合构造变形的切割关系和岩浆岩年代学,长乐-南澳剪切带左旋韧性走滑形成于130~120 Ma,而右旋脆性剪切形成于120~100 Ma之间.古太平洋板块向华南大陆之下的俯冲角度变化导致福建沿海地区发育晚中生代造山带.造山作用开始于早白垩世之初,结束于早白垩世末期,以大规模NW-SE向伸展构造发育为标志,其从同造山挤压到后造山伸展的转换发生于~120 Ma.

关键词:晚中生代;造山作用;构造;伸展变形;锆石U-Pb;年代学.
中图分类号:P548 **文章编号**:1000-2383(2014)01-0045-19 **收稿日期**:2013-03-15

Deformation Characteristics and Geochronological Constraints of Late Mesozoic Extensional Structures in Quanzhou, Fujian Province

Xu Xianbing[1], Li Yuan[2], Xue Dejie[3], Xie Mingyang[4], Tang Shuai[1], Cui Jianjun[5], Zhang Yueqiao[5]

1.*Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
2.*Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
3.*Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou* 350013, *China*
4.*Southeastern Fujian Geology Party of Fujian Province, Quanzhou* 362021, *China*
5.*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*

Abstract: Multi-stage Late Mesozoic magmatism and structural deformation related to the subduction of Paleo-Pacific plate occurred in the coast of Fujian Province, southeastern China. Extensional deformation in Quanzhou area presents high-angular normal faults and low-angular normal faults or detachment faults. The extensional deformation developed in NW-striking extensional setting. Zircon U-Pb geochronological data in this study suggest that Late Jurassic (~155 Ma), middle Early Cretaceous (130-125 Ma), late Early Cretaceous (~109 Ma) and early Late Cretaceous magmatic rocks outcrop in Quanzhou area. The comprehensive analyses of cutting relations and geochronological data of magmatic rocks show that the sinistral ductile strike-slip of the Changle-Nan'ao shear zone occurred in 130-120 Ma, whereas the dextral brittle shear developed between 120 Ma and 100 Ma. The angular variations of subduction for the Paleo-Pacific plate underneath the South China led to the development of the Late Mesozoic orogenic belt in the coast of Fujian Province. This orogen commenced at the beginning of Early Cretaceous and terminated in the latest Early Cretaceous, which is marked by the extensive NW-striking extensional structures. The transform from syn-orogen compression to post-orogen extension occurred at ~120 Ma.

Key words: Late Mesozoic; orogeny; tectonics; extensional deformation; zircon U-Pb; geochronology.

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No.CUG110807).
作者简介:徐先兵(1983-),男,讲师,从事构造地质和区域地质调查的研究和教学工作.
E-mail: bingge1018@gmail.com;xbxu2011@cug.edu.cn

0 引言

中国东南部地区广泛发育与中生代太平洋板块俯冲活动有关的岩浆作用和构造变形(Zhou and Li,2000;Li and Li,2007).太平洋板块在向华南大陆的俯冲过程中发生了角度和方向的变化(Engebretson *et al*.,1985;Maruyama *et al*.,1997;Zhou and Li,2000;Li and Li,2007;Liu *et al*.,2012),导致晚中生代中国东南沿海地区经历了由挤压到伸展的构造转换过程.关于转换的时间,目前还存在分歧,如 150～143 Ma(Li and Li,2007;邢光福等,2008;Li *et al*.,2009),～130 Ma(Cui *et al*.,2013)或～110 Ma(Chen *et al*.,2004;He and Xu,2011;Li *et al*.,2012).

岩石地球化学和年代学的研究指示,晚中生代中国东南部经历了多期伸展作用.花岗岩的研究表明,白垩纪伸展作用可以划分为 146～136 Ma、129～122 Ma、109～101 Ma 以及 97～87 Ma 共 4 个阶段(Li,2000);双峰式火山岩的研究表明侏罗纪至白垩纪中国东南部经历了 209～170 Ma 南岭地区局部伸展作用和 154～121 Ma 以及 115～85 Ma 两阶段广泛伸展作用(Xing *et al*., 2004);基性岩脉统计结果指示白垩纪伸展作用可划分为 145～135 Ma、125～115 Ma、110～100 Ma、95～85 Ma 以及 75～70 Ma 共 5 个阶段(胡瑞忠等,2007).而构造变形和火山活动的综合研究表明晚中生代中国东南部经历了挤压－伸展－挤压－伸展的交替过程(吴淦国等,2000;Xu *et al*.,2011).福建沿海地区发育岩墙群、岩浆混合、玄武岩浆底侵以及晶洞花岗岩和 A 型花岗岩等岩石学伸展构造标志和断陷盆地与正断层等伸展构造变形(孙涛和周新民,2002;Shu *et al*.,2009).然而福建沿海地区晚中生代伸展作用却主要集中在火成岩岩石地球化学和年代学的研究(Martin *et al*.,1994;Zou,1995;Xu *et al*., 1999;Xing *et al*.,2004;Zhao *et al*.,2004;邢光福等,2009),尚缺乏系统的构造变形与古应力场的制约.

福建泉州地区花岗岩和火山岩中发育了大量的伸展构造,且花岗岩和火山岩是良好的高精度锆石 U-Pb 年代学研究对象,因此泉州地区是解剖中国东南沿海伸展构造变形的有利地区.本文选择对福建泉州地区的伸展构造进行了系统的观察和测量,并对相关火成岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年,建立了泉州地区晚中生代构造变形序列,并制约了福建沿海地区晚中生代造山带的构造演化.

1 地质背景

福建沿海地区从北西向南东依次划分为福建沿海岩浆带、长乐－南澳剪切带以及平潭东山变质带(高俊等,1993;Chen *et al*.,2002,2004).长乐－南澳剪切带呈北北东向展布于福建省长乐、莆田、厦门、东山岛以及广东南澳岛地区,两端没入海中,全长约 400 km,宽 2～12 km 左右(图 1).长乐－南澳剪切带中发育多期脆－韧性构造变形,主要记录在晚三叠至中侏罗世地层、晚侏罗至早白垩世花岗岩和火山岩之中,变形样式包括左旋韧性走滑、右旋脆性走滑、逆冲推覆以及正断作用(Charvet *et al*.,1990;高俊等,1993;Wang and Lu,1997;舒良树等,2000).福建沿海岩浆带主要由燕山晚期火山岩、同期花岗岩以及晚三叠至早侏罗世地层组成.燕山晚期火山岩总体可以分为上、中、下 3 套,下套火山岩主要为晚侏罗世灰色英安质熔岩和晶屑凝灰岩,出露较零星(邢光福等,2008;Li *et al*.,2009);中套火山岩以早白垩世大规模流纹质和英安质凝灰岩为主,底部为灰绿色杏仁状玄武岩(邢光福等,2008);上套火山岩分布较为局限,以晚白垩世流纹质碎斑熔岩和碱长流纹质熔结凝灰岩为主(邢光福等,2009).花岗岩包括二长花岗岩、正长花岗岩以及花岗闪长岩,与火山岩组成火山－侵入杂岩(王德滋等,2000;Zhou *et al*.,2006).晚三叠至早侏罗世地层为近东西展布的海相灰－灰黑色砂岩、粉砂岩以及泥岩组成(许中杰等,2012).平潭－东山变质带呈北东向带状展布于马祖列岛、平潭岛、金门岛、东山岛以及南澳岛等地区,全长约 375 km,宽约 38～58 km.由混合岩化片麻岩、泥质片岩、片麻状花岗岩以及侵位其中的花岗岩组成,变质程度为绿片岩相至角闪岩相,部分地区可达麻粒岩相(Tong and Tobisch,1996;陈斌,1997;Liu *et al*.,2012).

2 伸展构造变形

福建泉州地区伸展构造变形表现为低角度和高角度正断层,主要发育在燕山晚期花岗岩和火山岩中.通过对福建泉州地区沿海至长乐－南澳剪切带剖面系统的伸展断层滑移矢量的测量和统计(表 1),反演了其构造古应力场(图 2).断层滑移数据分析构造应力场的主要任务是利用野外露头上测量的断层滑移数据模拟特定岩石的应力状态,并重建简

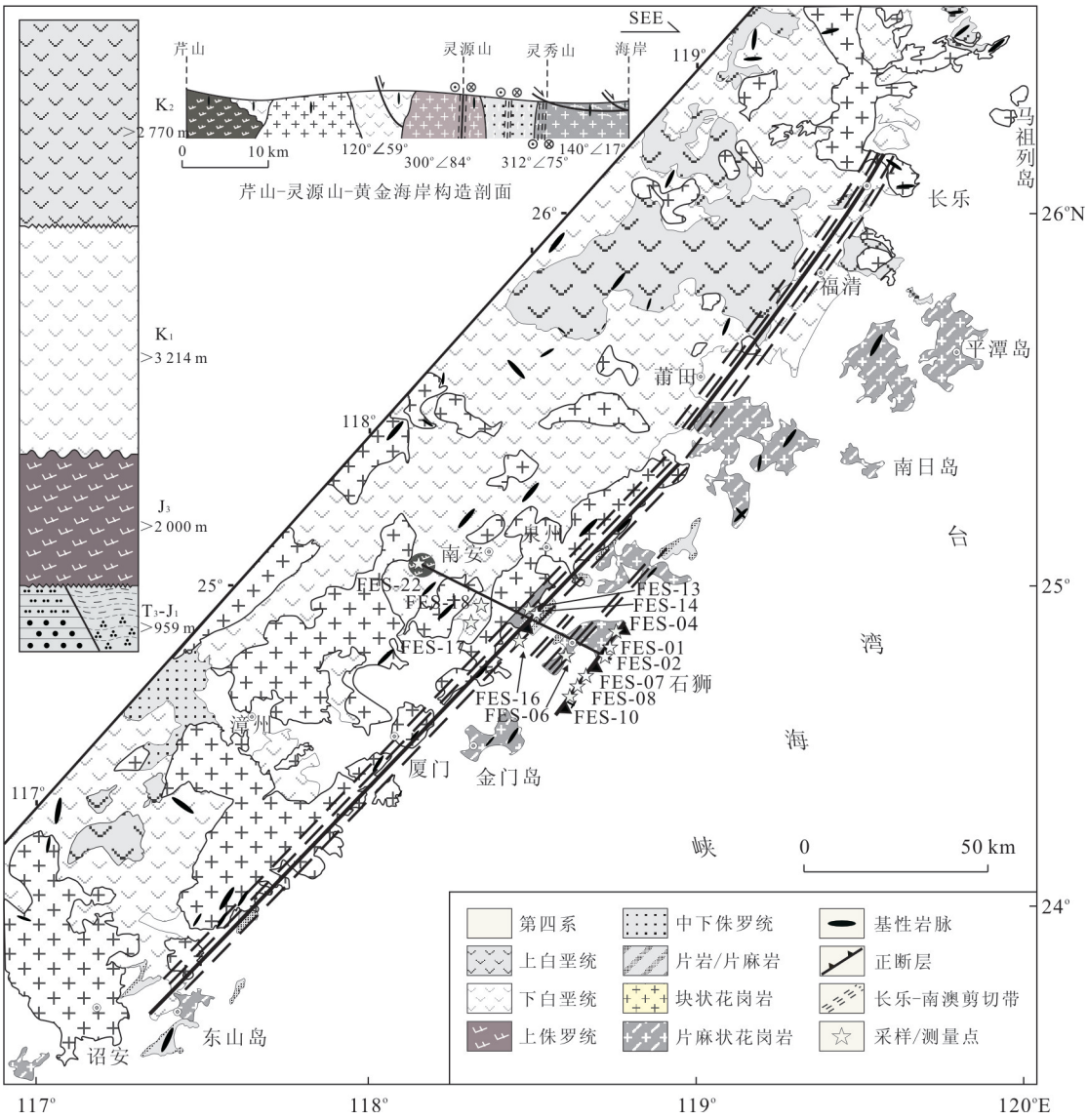

图 1　福建沿海地区地质简图

Fig.1　Sketch geological map of the coast of Fujian Province

化的应力张量(Angelier,1989,1994;Delvaux and Sperner,2003).4 个变量分别为 3 个轴向互相垂直的主应力(σ_1,σ_2,σ_3)以及表示 σ_2 相对于 σ_1 和 σ_3 大小关系的应力比(R),其中,$\sigma_1 \geqslant \sigma_2 \geqslant \sigma_3$,$R=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$.在出露的断层面和岩石露头中发育的断层和断裂中测量断层滑移数据,包括断层面产状,擦痕产状以及运动方向(Petit,1987;Angelier,1989),在室内利用 Win-Tensor 软件(Delvaux and Sperner, 2003)进行古构造应力场反演.

低角度脆－韧性拆离断层主要发育在沿海地区,可见晚期伟晶岩脉顺拆离面贯入且发育脆性擦痕,指示在伟晶岩脉侵入前后均发生了正断作用.拆离面倾向南东或南东东,倾角较缓;擦痕向南东倾伏,倾伏角平缓.拆离断层中擦痕、旋转碎斑以及S-C组构均指示脆－韧性正断作用.构造古应力场反演表明低角度脆－韧性拆离断层形成于 NW-SE 向伸展构造环境(图 2a).低角度正断层在泉州地区出露较为广泛,断面呈平滑状或舒缓波状,倾向东为主,倾角平缓;擦痕较为发育,倾向南东为主.构造古应力场反演表明低角度正断层同样形成于 NW-SE 向伸展构造环境(图 2b～2d).

高角度正断层在火山岩和花岗岩中均有发育,断层面较光滑,可见铁质薄膜和断层泥.断层面倾角较陡,倾向南东或北西,倾角陡立;擦痕较为发育,向西或南东倾伏,倾伏角较陡, 断层面擦痕和阶步指示正断作用.构造古应力场反演表明高角度正断层

表 1 福建泉州地区伸展断层实测滑移矢量数据

Table 1 Strike-slip vector data of extensional faults in Quanzhou area, Fujian Province

断层面产状		擦痕/线理产状		断层面产状		擦痕/线理产状	
倾向	倾角	倾伏向	倾伏角	倾向	倾角	倾伏向	倾伏角
FES-02,GPS:E118°41′48″,N24°40′05″,石狮市永宁镇黄金海岸,低角度拆离断层							
130	18	135	18	173	16	125	11
130	28	141	28	185	19	131	11
141	22	145	22	215	10	140	3
161	22	142	21	209	10	147	5
148	21	136	21	165	21	132	18
102	33	144	26	171	18	143	16
122	17	135	17	145	19	138	19
132	18	143	18	258	18	315	10
155	19	140	18	275	5	331	3
154	12	141	12	135	12	133	12
135	10	140	10	137	15	143	15
130	27	135	27	115	15	127	15
146	15	145	15	158	5	133	4
145	17	147	17	170	25	135	21
136	18	136	18	135	9	148	9
142	18	143	18	155	17	136	16
140	22	140	22	148	28	139	28
125	16	135	16	131	12	148	11
130	16	142	16	130	4	135	4
136	28	153	27	60	8	138	2
145	20	142	20	50	16	132	2
150	20	140	19	110	11	139	10
145	22	138	22	128	31	152	29
162	12	135	11	150	28	144	28
153	16	140	15	149	20	135	19
FES-07,GPS:E118°40′42″,N24°37′24″,石狮市深沪镇码头,低角度正断层							
105	24	145	18	140	49	151	49
85	26	135	18	83	28	133	19
79	31	140	16	97	39	148	27
100	26	141	20	119	33	139	31
101	15	140	12	95	38	121	35
102	28	131	25	96	20	133	16
40	35	128	1	92	37	129	31
130	41	149	39	95	27	145	18
140	48	140	48	76	29	144	12
25	36	296	1	98	26	129	23
94	20	137	15	75	22	142	9
FES-08,GPS:E118°40′47″,N24°37′02″,石狮市深沪镇金海村,低角度正断层							
95	29	139	22	126	47	154	43
86	35	142	21	132	31	145	30
90	30	132	23	88	38	149	20
100	25	130	21	134	35	153	33
90	36	129	29	134	42	148	42
86	43	145	25	92	28	132	22
101	34	120	33	136	27	150	26
121	38	149	34	90	31	136	23
FES-10,GPS:E118°39′52″,N24°35′07″,晋江市金井镇,低角度正断层							
125	46	146	45	114	17	154	13
134	24	140	24	86	20	139	12
86	24	150	11	84	28	144	15
110	12	130	11	110	16	146	13
FES-16,GPS:E118°31′33″,N24°44′00″,晋江市安海镇采石场,高角度正断层							
138	78	—	—	130	74	—	—
140	72	142	72	135	75	—	—
124	75			122	71	—	—
128	78	115	78	131	72	135	72
120	84			122	70	131	69
135	85	142	85	115	60	113	59
FES-18,GPS:E118°20′34″,N24°49′05″,晋江市安海镇采石场,高角度正断层							
115	59	113	59	118	52	140	50
120	66	122	66	120	65	122	65
121	61	140	60	119	51	125	51
125	60	134	60	121	62	118	61
120	53	127	53	—	—	—	—

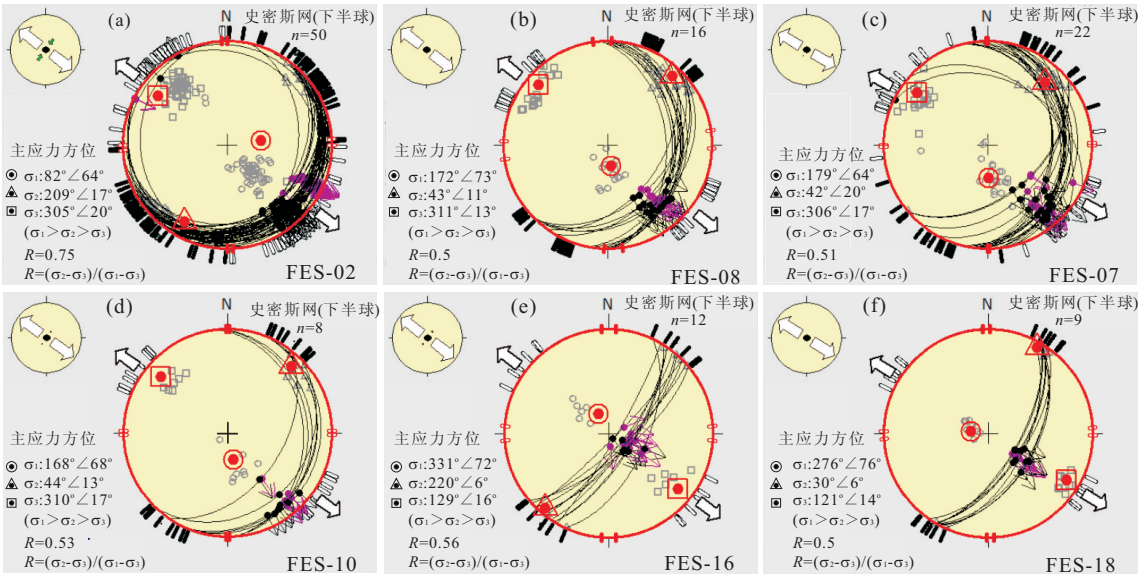

图 2　福建泉州地区低角度和高角度正断层构造古应力场反演

Fig.2　Paleo-stress field inversion of low and high-angular normal faults in Quanzhou area, Fujian Province

同样形成于 NW-SE 向伸展构造环境(图 2e,2f).

3　采样与岩石学

样品 FES-01 采自于福建省石狮市黄金海岸灰黑色岩墙(E 118°42′01″,N 24°40′19″).岩墙呈北东向展布,宽 1.0～1.2 m,与围岩灰白色细粒花岗岩接触关系截然,其产状为 304°∠89°(图 3a),岩性为微晶闪长岩,矿物组合为斜长石、角闪石、石英以及黑云母,细粒等粒结构,块状构造.

样品 FES-02 采自于福建省石狮市黄金海岸灰白色中粗粒片麻状花岗岩(E 118°41′48″,N 24°40′05″),其中发育大型低角度拆离断层.花岗岩矿物组合为斜长石、钾长石、石英以及黑云母.石英经韧性变形发育拖尾构造,长石以脆性变形旋转为主,黑云母定向排列形成片麻理,其产状为 140°∠20°.花岗岩片麻理是低角度平缓断层沿断层面发生正向滑动形成的(图 3b).

样品 FES-06 采自于福建省石狮市灵秀山灰白色花岗质糜棱岩(E 118°35′05″,N 24°43′39″),位于长乐－南澳剪切带之中,且可见低角度正断层切割糜棱岩带.花岗质糜棱岩矿物组合为斜长石、钾长石、石英、黑云母以及少量白云母.长英质矿物发生韧性变形,形成旋转碎斑和石英条带(图 3c).黑云母定向排列形成片麻理,产状为 310°∠87°.在显微镜下,可见云母有弱定向排列,长石和石英均未发生韧性变形作用,且石英以凸胀式重结晶为主(图 3g),指示灵秀山花岗质糜棱岩属同构造花岗岩.

样品 FES-13 采自于福建省晋江市灵源山顶灰白色眼球状花岗岩(E 118°30′02″,N 24°45′12″),位于长乐－南澳剪切带之中.矿物组合为斜长石、钾长石、石英、黑云母以及少量白云母.长石经韧性变形形成眼球状构造,黑云母呈定向排列形成片麻理,产状为 122°∠71°(图 3d).

样品 FES-14 采自于福建省晋江市灵源寺灰黑色基性岩墙(E 118°29′51″,N 24°45′01″),侵位于长乐－南澳剪切带之中.基性岩墙强烈风化,矿物不易辨认,其与围岩花岗质糜棱岩呈截然接触,接触面产状为 128°∠78°,沿接触面可见擦痕发育,指示正断作用(图 3e).花岗质糜棱岩由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成(图 3h),面理产状为 120°∠84°,长石旋转碎斑和 S-C 组构指示左旋走滑活动.

样品 FES-16 采自于福建省晋江市安海镇采石场灰黑色基性岩墙(E 118°31′33″,N 24°44′00″).数条岩墙呈平行排列,宽 0.5～2.0 m 不等,与围岩灰白色似斑状花岗岩接触面平直陡立,产状为122°∠70°;基性岩墙接触面可见正断擦痕发育,其产状为 131°∠69°.

样品 FES-17 采自于福建省南安市官桥镇青灰色晶屑凝灰岩(E 118°20′51″,N 24°48′47″).凝灰结构,块状构造,矿物组成为长石、石英以及少量黑云母.晶屑呈棱角状,部分已熔融圆化,粒径 0.2～2.0 mm不等(图 3i).

样品FES-22采自于福建省南安市芹山青灰色

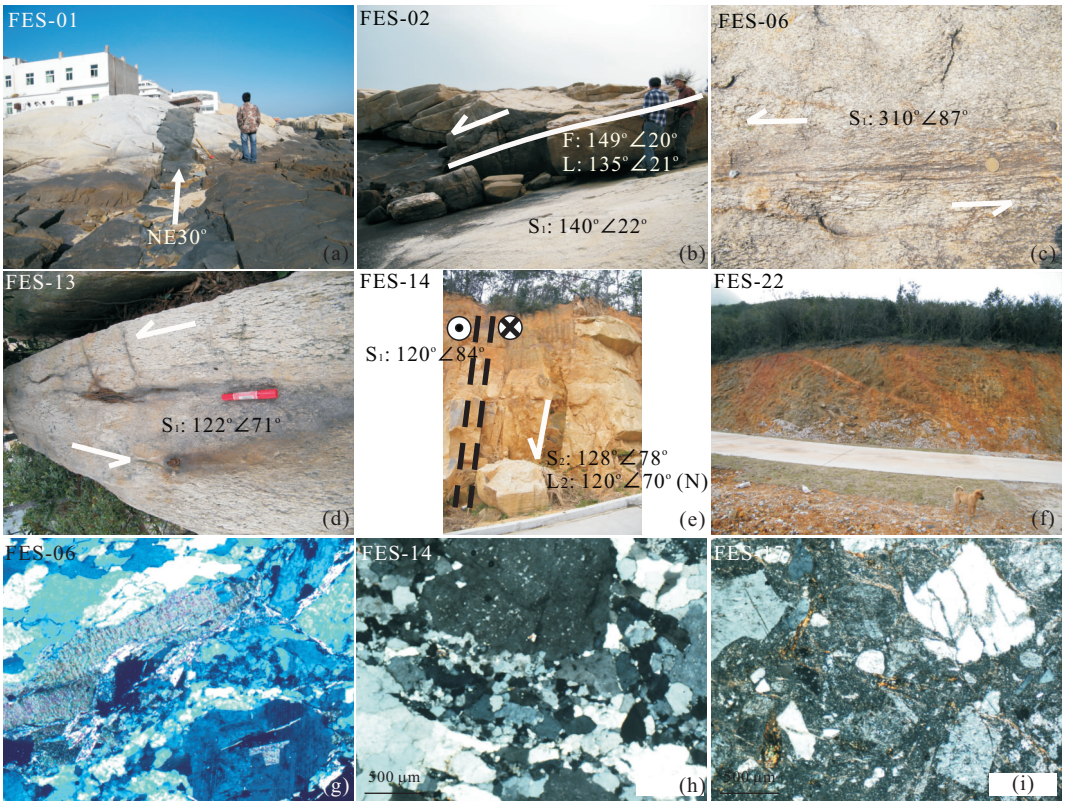

图 3 福建泉州地区野外采样照片和室内显微照片

Fig.3 Photos of field sampling and micro-images of slices

a.石狮市黄金海岸北东向基性岩墙;b.石狮市黄金海岸低角度拆离断层中发育的片麻状花岗岩;c.石狮市灵秀山北东向左旋韧性剪切带中发育的花岗质糜棱岩;d.晋江市灵源山北东向左旋韧性剪切带中发育的眼球状花岗岩;e.晋江市灵源寺北东向基性岩墙侵入北东向左旋韧性剪切带;f.南安市芹山英安质凝灰岩;g.石狮市灵秀山花岗质糜棱岩的显微照片;h.晋江市灵源寺花岗质糜棱岩的显微照片;i.南安市官桥镇英安质晶屑凝灰岩的显微照片

凝灰岩(E 118°11′54″,N 24°53′04″).凝灰结构,块状构造,矿物组成为长石、石英以及少量黑云母.火山岩中发育一组强烈的节理,产状为 132°∠79°.节理被后期宽约 20 cm 的灰白色细粒花岗质岩脉所截切,其产状为 311°∠54°(图 3f).

4 锆石 La-ICP-MS U-Pb 年代学

锆石样品粉碎后进行标准磁选和重选,再在双目镜下进行挑纯.将挑选出的锆石颗粒用环氧树脂胶结,待固结后细磨至锆石颗粒核部出露,抛光制靶以待分析.锆石在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行了阴极发光(CL)图像的拍摄,目的是了解锆石的内部结构并作为锆石年龄测试选点的依据,各样品锆石 CL 图像如图 4 所示.锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析是在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室(FES-01,FES-02,FES-13)和中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(FES-06,FES-14,FES-16,FES-17,FES-22)进行.中国地质大学(武汉)激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,ICP-MS 为 Agilent 7500a.激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合.在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度(Hu *et al.*,2008).每个时间分辨分析数据包括大约 20～30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号.对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal (Liu *et al.*, 2008,2010a)完成.详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu *et al.* (2008,2010a,2010b).南京大学样品测试使用和 Agilent 7500s ICP-MS 连接起来的New Wave 213 nm 激光取样系统完成.样品经剥蚀后,由氦气作为载气,再和氩气混合后进入 ICP-MS 进行分析.每个测

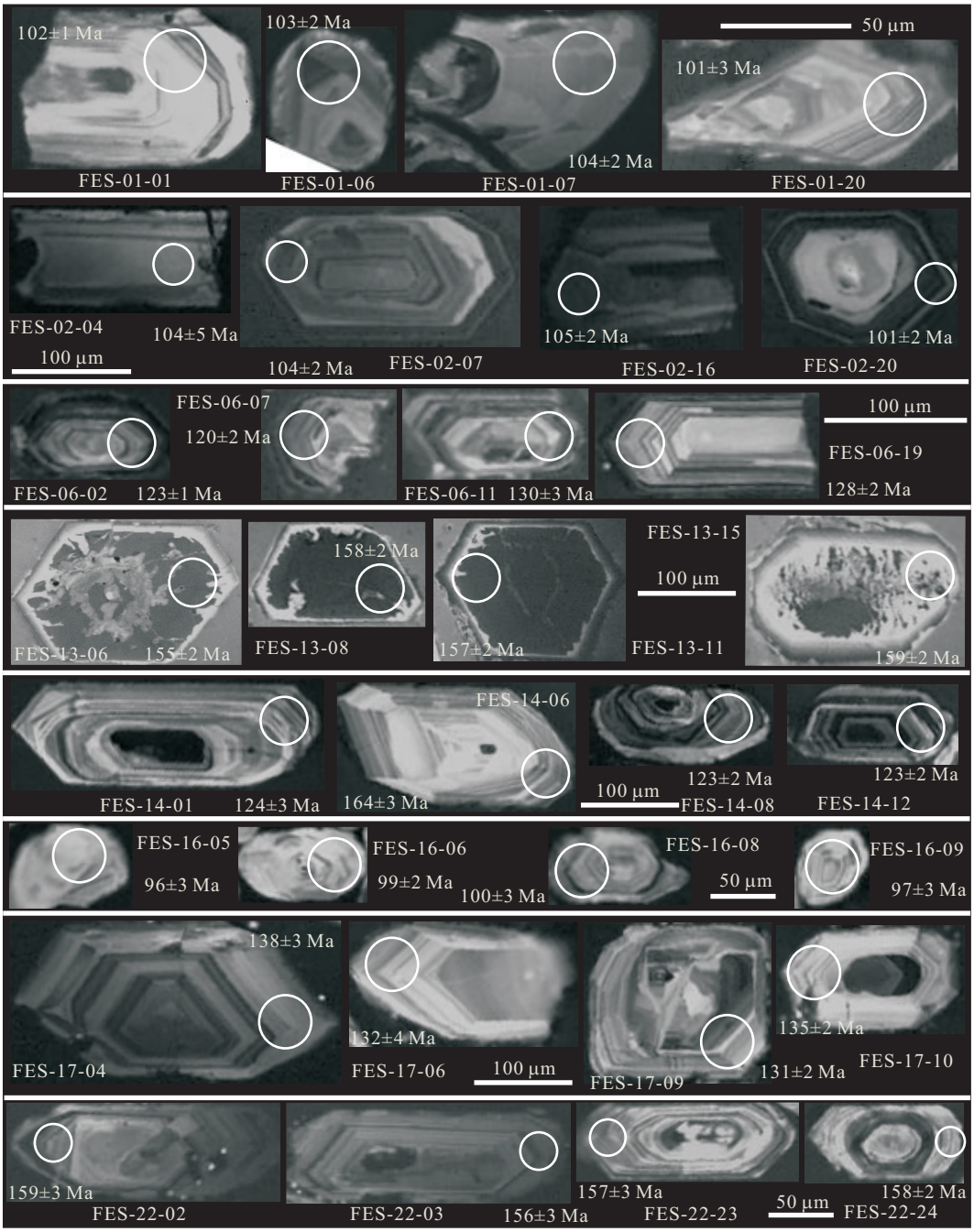

图 4　福建泉州地区岩浆岩样品锆石 CL 图像、测试位置以及年龄

Fig.4　Cathodoluminescence (CL) images, analysis location and ages of magmatic rocks in Quanzhou area, Fujian Province

试流程的开头和结尾分别测试 2 个 GJ 标样,另外测试 1 个 MT 标样和 10 个待测点.U-Pb 年龄和 U、Th、Pb 的计数由 GLITTER 软件在线获得.详细的分析方法和流程类似于 Griffin *et al*.(2004)与 Jackson *et al*.(2004)中描述.使用嵌入 Excel 的 ComPbCorr ♯3-15G 程序(Andersen,2002)来进行普通铅校正,锆石谐和图用 Isoplot 程序(Ludwing,2001)获得.详细的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测试分析数据见表 2.

FES-01:锆石为无色透明状,晶形以自形为主,少量为半自形至它形,长为 50～200 μm,长宽比为 1∶1～1∶3.大部分锆石发育震荡韵律环带,少量锆石为均一状态.部分锆石含有继承核,核部相对较暗,边部较亮.对 20 颗锆石进行了测试,Th 含量为 19×10^{-6}～$1\ 178\times10^{-6}$,U 含量为 64×10^{-6}～$3\ 717\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.04～1.73,以 0.27～0.79为主.18 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化范围于 101～171 Ma 之间,另外 2 颗锆石年龄分别为 258±

表 2　福建泉州地区岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试分析数据

Table 2　Detailed analysis data of LA-ICP-MS zircon U-Pb for magmatic rocks in Quanzhou area, Fujian Province

分析数据	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
				比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
FES-01,石狮市黄金海岸(E118.826°, N24.769°),辉绿岩墙,Mean=102.4±1.5 Ma,MSWD=0.37															
FES-01-01	303	3 513	0.09	0.047 020	0.000 480	0.103 850	0.001 100	0.016 020	0.000 220	50	15	100	1	102	1
FES-01-02	19	489	0.04	0.051 710	0.000 720	0.290 640	0.004 080	0.040 780	0.000 570	273	15	259	3	258	4
FES-01-03	173	100	1.73	0.064 100	0.004 520	0.170 510	0.011 530	0.019 300	0.000 470	745	102	160	10	123	3
FES-01-04	134	193	0.69	0.072 730	0.003 790	0.181 370	0.009 000	0.018 090	0.000 390	1 006	66	169	8	116	2
FES-01-05	1 178	758	1.55	0.073 030	0.001 270	0.188 890	0.003 210	0.018 760	0.000 280	1 015	15	176	3	120	2
FES-01-07	73	96	0.76	0.052 350	0.003 500	0.116 900	0.007 630	0.016 200	0.000 320	301	113	112	7	104	2
FES-01-06	67	88	0.76	0.051 680	0.003 170	0.115 190	0.006 910	0.016 170	0.000 310	271	102	111	6	103	2
FES-01-08	79	108	0.73	0.051 910	0.002 090	0.192 100	0.007 540	0.026 850	0.000 460	281	58	178	6	171	3
FES-01-09	388	720	0.54	0.050 130	0.000 750	0.139 350	0.002 060	0.020 160	0.000 300	201	16	132	2	129	2
FES-01-10	354	472	0.75	0.050 370	0.000 960	0.169 060	0.003 160	0.024 350	0.000 370	212	20	159	3	155	2
FES-01-11	86	128	0.67	0.058 740	0.006 680	0.174 220	0.019 270	0.021 550	0.000 650	557	191	163	17	137	4
FES-01-12	241	478	0.50	0.051 930	0.001 890	0.156 510	0.005 530	0.021 860	0.000 370	282	50	148	5	139	2
FES-01-13	191	661	0.29	0.057 170	0.001 620	0.571 010	0.015 660	0.072 430	0.001 180	498	33	459	10	451	7
FES-01-14	1 017	1 923	0.53	0.051 600	0.001 070	0.183 140	0.003 560	0.025 710	0.000 440	268	20	171	3	164	3
FES-01-15	240	563	0.43	0.052 000	0.001 450	0.168 880	0.004 620	0.023 560	0.000 370	285	35	158	4	150	2
FES-01-16	57	64	0.89	0.050 750	0.008 690	0.132 530	0.022 420	0.018 940	0.000 580	229	298	126	20	121	4
FES-01-17	356	328	1.09	0.052 680	0.004 230	0.145 590	0.011 290	0.020 070	0.000 510	315	130	138	10	128	3
FES-01-18	998	3 717	0.27	0.062 040	0.001 060	0.195 350	0.003 220	0.022 840	0.000 370	675	16	181	3	146	2
FES-01-19	364	603	0.60	0.052 610	0.001 480	0.153 010	0.004 220	0.021 100	0.000 330	312	35	145	4	135	2
FES-01-20	218	276	0.79	0.054 900	0.004 900	0.119 700	0.010 370	0.015 840	0.000 420	408	147	115	9	101	3
FES-02,石狮市黄金海岸(E118.803°, N24.756°),片麻状花岗岩,Mean=109.4±3.6 Ma,MSWD=10.3															
FES-02-01	98	128	0.77	0.049 130	0.005 820	0.113 290	0.013 260	0.016 710	0.000 400	154	218	109	12	107	3
FES-02-02	134	193	0.69	0.052 710	0.018 710	0.111 360	0.039 260	0.015 310	0.000 670	316	562	107	36	98	4
FES-02-03	86	128	0.67	0.054 350	0.003 080	0.139 950	0.007 770	0.018 670	0.000 340	386	92	133	7	119	2
FES-02-04	99	37	2.68	0.048 920	0.018 800	0.109 940	0.041 980	0.016 290	0.000 740	144	579	106	38	104	5
FES-02-05	280	239	1.17	0.059 100	0.003 820	0.126 220	0.007 980	0.015 480	0.000 310	571	103	121	7	99	2
FES-02-06	897	2 696	0.33	0.051 130	0.000 960	0.125 920	0.002 360	0.017 850	0.000 280	247	19	120	2	114	2
FES-02-07	582	575	1.01	0.050 200	0.001 850	0.112 790	0.004 090	0.016 290	0.000 280	204	52	109	4	104	2
FES-02-08	161	250	0.64	0.048 450	0.003 460	0.116 430	0.008 160	0.017 420	0.000 370	121	117	112	7	111	2
FES-02-09	106	557	0.19	0.050 570	0.002 250	0.132 210	0.005 750	0.018 960	0.000 350	221	66	126	5	121	2
FES-02-10	140	103	1.36	0.052 740	0.006 980	0.111 720	0.014 600	0.015 360	0.000 400	318	247	108	13	98	3
FES-02-11	996	550	1.81	0.049 010	0.001 700	0.114 680	0.003 890	0.016 970	0.000 280	148	49	110	4	108	2
FES-02-12	98	79	1.24	0.049 300	0.007 790	0.127 590	0.019 930	0.018 770	0.000 530	162	273	122	18	120	3
FES-02-13	326	606	0.54	0.051 210	0.001 270	0.200 290	0.004 880	0.028 360	0.000 450	250	29	185	4	180	3
FES-02-14	217	186	1.17	0.049 180	0.003 600	0.124 830	0.008 990	0.018 410	0.000 370	156	125	119	8	118	2
FES-02-15	176	494	0.36	0.050 450	0.001 870	0.114 350	0.004 150	0.016 440	0.000 280	216	53	110	4	105	2
FES-02-16	73	35	2.09	0.053 050	0.018 010	0.127 800	0.043 040	0.017 470	0.000 780	331	541	122	39	112	5
FES-02-17	139	1 495	0.09	0.052 020	0.001 100	0.125 870	0.002 620	0.017 550	0.000 270	286	23	120	2	112	2

续表 2

分析数据	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
				比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
FES-02，石狮市黄金海岸(E118.803°，N24.756°)，片麻状花岗岩，Mean＝109.4±3.6 Ma，MSWD＝10.3															
FES-02-18	83	41	2.02	0.050 470	0.017 420	0.106 720	0.036 600	0.015 340	0.000 650	217	530	103	34	98	4
FES-02-19	33	868	0.04	0.050 110	0.001 280	0.116 600	0.002 920	0.016 880	0.000 270	200	30	112	3	108	2
FES-02-20	257	631	0.41	0.050 540	0.001 800	0.110 330	0.003 820	0.015 830	0.000 270	220	49	106	3	101	2
FES-06，石狮市灵秀山（E118.657°，N24.638°)，花岗质糜棱岩，Mean＝124.5±2.2 Ma，MSWD＝3.4															
FES-06-01	262	805	0.33	0.057 729 781	0.004 549 781	0.169 526 349	0.013 047 934	0.022 087 969	0.000 499 027	520	169	159	11	141	3
FES-06-02	1 190	5 375	0.22	0.050 379 685	0.001 941 348	0.134 259 857	0.005 003 717	0.019 286 607	0.000 228 182	213	89	128	4	123	1
FES-06-03	1 419	4 378	0.32	0.052 338 093	0.002 513 126	0.141 711 381	0.006 253 552	0.019 864 981	0.000 289 353	302	109	135	6	127	2
FES-06-04	524	1122	0.47	0.053 565 784	0.003 625 327	0.148 605 959	0.010 381 830	0.019 962 248	0.000 390 074	354	154	141	9	127	2
FES-06-05	1 994	6 830	0.29	0.054 619 539	0.002 422 315	0.143 318 834	0.006 092 447	0.018 947 426	0.000 238 624	398	100	136	5	121	2
FES-06-06	441	1 847	0.24	0.071 838 239	0.005 552 842	0.198 864 260	0.014 917 447	0.020 105 663	0.000 371 507	981	157	184	13	128	2
FES-06-07	1 759	5 443	0.32	0.051 728 964	0.002 253 673	0.133 837 927	0.005 567 529	0.018 795 753	0.000 249 476	272	100	128	5	120	2
FES-06-08	612	1 837	0.33	0.044 661 614	0.002 735 982	0.123 955 099	0.007 570 648	0.020 175 005	0.000 303 054	121	17	119	7	129	2
FES-06-09	628	1 109	0.57	0.058 977 003	0.006 487 958	0.176 699 921	0.017 959 639	0.022 262 222	0.000 545 981	565	243	165	15	142	3
FES-06-10	442	1 626	0.27	0.048 215 755	0.003 296 643	0.135 347 208	0.009 321 748	0.020 142 880	0.000 312 355	109	156	129	8	129	2
FES-06-11	763	1 502	0.51	0.050 688 242	0.003 530 509	0.142 087 129	0.010 394 683	0.020 307 892	0.000 426 365	233	166	135	9	130	3
FES-06-12	2 414	2 725	0.89	0.083 243 213	0.004 465 378	0.250 178 802	0.015 026 318	0.021 241 542	0.000 380 517	1276	105	227	12	135	2
FES-06-13	734	2 087	0.35	0.051 232 399	0.003 232 263	0.136 049 918	0.008 060 771	0.019 591 639	0.000 316 452	250	146	130	7	125	2
FES-06-14	1 727	3 015	0.57	0.067 223 795	0.003 466 668	0.175 095 168	0.008 270 752	0.019 150 973	0.000 269 644	856	103	164	7	122	2
FES-06-15	465	1 349	0.34	0.052 630 112	0.003 368 713	0.136 004 999	0.008 623 690	0.018 901 651	0.000 337 506	322	144	129	8	121	2
FES-06-16	317	1 577	0.20	0.054 307 072	0.003 624 856	0.141 454 277	0.009 147 660	0.019 229 505	0.000 371 473	383	147	134	8	123	2
FES-06-17	295	1 156	0.26	0.062 527 079	0.003 677 729	0.187 038 239	0.010 377 940	0.022 102 019	0.000 493 333	700	126	174	9	141	3
FES-06-18	347	1 226	0.28	0.049 947 535	0.006 747 085	0.138 668 29	0.016 671 165	0.021 358 611	0.000 598 616	191	289	132	15	136	4
FES-06-19	531	1 838	0.29	0.048 328 923	0.003 321 221	0.134 945 362	0.009 516 329	0.020 088 408	0.000 320 318	122	211	129	9	128	2
FES-06-20	241	857	0.28	0.060 516 890	0.005 034 161	0.164 959 357	0.013 510 860	0.020 479 487	0.000 457 655	620	180	155	12	131	3
FES-13，晋江市电视塔（E118.553°，N24.527°)，眼球状花岗岩，Mean＝158.6±2.1 Ma，MSWD＝2.3															
FES-13-01	4 846	7 555	0.64	0.048 000	0.000 630	0.169 370	0.002 300	0.025 590	0.000 370	99	15	159	2	163	2
FES-13-02	7 449	7 604	0.98	0.058 080	0.001 010	0.171 080	0.002 940	0.021 370	0.000 310	533	17	160	3	136	2
FES-13-03	1 553	1 457	1.07	0.090 940	0.002 880	0.218 300	0.006 600	0.017 410	0.000 300	1 445	32	200	6	111	2
FES-13-04	4 981	3 408	1.46	0.059 010	0.001 630	0.218 220	0.005 840	0.026 830	0.000 430	567	32	200	5	171	3
FES-13-05	2 357	3 195	0.74	0.060 940	0.001 360	0.169 020	0.003 690	0.020 120	0.000 300	637	23	159	3	128	2
FES-13-06	8 664	10 186	0.85	0.051 090	0.000 780	0.171 500	0.002 650	0.024 350	0.000 350	245	16	161	2	155	2
FES-13-07	17 636	12 531	1.41	0.055 780	0.001 070	0.165 320	0.003 150	0.021 490	0.000 330	444	19	155	3	137	2
FES-13-09	4 761	5 571	0.85	0.057 670	0.001 390	0.207 020	0.004 870	0.026 040	0.000 400	517	26	191	4	166	3
FES-13-08	9 066	10 757	0.84	0.052 520	0.000 810	0.179 640	0.002 770	0.024 800	0.000 370	308	16	168	2	158	2
FES-13-10	6 084	7 635	0.80	0.052 430	0.001 320	0.180 960	0.004 450	0.025 040	0.000 390	304	29	169	4	159	2
FES-13-11	7 385	1 1433	0.65	0.050 400	0.000 620	0.171 600	0.002 180	0.024 700	0.000 360	213	15	161	2	157	2
FES-13-12	10 012	10 243	0.98	0.050 840	0.000 730	0.173 000	0.002 520	0.024 690	0.000 370	234	16	162	2	157	2
FES-13-13	8 503	13 854	0.61	0.051 450	0.000 760	0.171 690	0.002 570	0.024 210	0.000 360	261	16	161	2	154	2
FES-13-14	58 690	24 728	2.37	0.054 290	0.000 860	0.128 960	0.002 010	0.017 230	0.000 280	383	16	123	2	110	2
FES-13-15	6 282	9 754	0.64	0.051 750	0.000 710	0.178 280	0.002 500	0.025 000	0.000 370	274	15	167	2	159	2

续表 2

分析数据	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
				比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
FES-13，晋江市电视塔（E118.553°，N24.527°），眼球状花岗岩，Mean＝158.6±2.1 Ma，MSWD＝2.3															
FES-13-16	4 780	7 574	0.63	0.046 210	0.000 650	0.164 170	0.002 340	0.025 790	0.000 380	9	16	154	2	164	2
FES-13-17	4 636	9 529	0.49	0.049 180	0.000 800	0.169 830	0.002 750	0.025 060	0.000 370	156	17	159	2	160	2
FES-13-18	5 146	6 012	0.86	0.054 150	0.000 800	0.199 360	0.002 960	0.026 730	0.000 400	377	15	185	3	170	3
FES-13-19	12 488	15 506	0.81	0.053 030	0.001 070	0.182 400	0.003 610	0.024 980	0.000 410	330	20	170	3	159	3
FES-13-20	1 343	2 754	0.49	0.075 720	0.001 820	0.256 770	0.006 000	0.024 600	0.000 390	1 088	23	232	5	157	2
FES-14，晋江市灵源寺（E118.550°，N24.524°），辉绿岩墙，Mean＝123.0±2.3 Ma，MSWD＝0.033															
FES-14-01	559	481	1.16	0.071 061 353	0.005 066 019	0.182 237 128	0.011 861 307	0.019 360 786	0.000 482 886	959	146	170	10	124	3
FES-14-02	596	1 224	0.49	0.065 060 522	0.003 297 048	0.190 883 017	0.008 885 992	0.021 371 451	0.000 375 364	776	107	177	8	136	2
FES-14-03	3 488	3 351	1.04	0.047 299 751	0.002 157 930	0.143 691 208	0.006 231 426	0.021 987 689	0.000 316 475	65	104	136	6	140	2
FES-14-04	1 923	3 198	0.60	0.083 957 524	0.005 872 217	0.269 320 789	0.018 844 917	0.022 831 815	0.000 342 638	1 292	136	242	15	146	2
FES-14-05	1 299	1 264	1.03	0.076 252 713	0.007 953 349	0.255 971 951	0.034 511 993	0.021 838 931	0.000 519 600	1 102	210	231	28	139	3
FES-14-06	1 325	1 558	0.85	0.047 122 546	0.002 686 916	0.167 925 127	0.009 517 909	0.025 698 482	0.000 469 431	54	133	158	8	164	3
FES-14-07	825	1 674	0.49	0.048 542 566	0.002 649 895	0.146 540 107	0.008 261 224	0.021 591 587	0.000 311 093	124	126	139	7	138	2
FES-14-08	1 648	1 876	0.88	0.055 016 807	0.003 131 894	0.146 651 300	0.007 941 697	0.019 268 723	0.000 245 299	413	160	139	7	123	2
FES-14-09	1 480	1 541	0.96	0.051 699 537	0.002 711 461	0.150 864 648	0.007 378 730	0.021 288 293	0.000 341 517	272	120	143	7	136	2
FES-14-10	507	813	0.62	0.054 099 720	0.003 753 625	0.165 631 759	0.011 785 316	0.022 186 538	0.000 442 453	376	157	156	10	141	3
FES-14-11	290	376	0.77	0.075 928 764	0.006 809 954	0.217 848 850	0.018 039 207	0.022 315 347	0.000 619 137	1 094	181	200	15	142	4
FES-14-12	915	944	0.97	0.048 647 929	0.003 306 912	0.128 411 068	0.008 437 498	0.019 202 893	0.000 375 159	132	152	123	8	123	2
FES-14-13	136	174	0.78	0.135 016 007	0.013 202 667	0.317 917 516	0.035 434 472	0.017 209 773	0.000 603 586	2 165	171	280	27	110	4
FES-14-14	1 723	3 351	0.51	0.061 957 210	0.002 965 100	0.186 899 492	0.008 345 480	0.022 222 182	0.000 515 460	672	102	174	7	142	3
FES-14-15	188	642	0.29	0.224 897 380	0.026 061 213	2.268 484 755	0.570 341 317	0.038 049 824	0.004 569 160	3 016	187	1 203	179	241	28
FES-14-16	1 359	3 104	0.44	0.046 602 263	0.002 038 669	0.139 016 979	0.005 780 536	0.021 666 391	0.000 346 292	28	104	132	5	138	2
FES-14-17	1 113	1 248	0.89	0.051 001 172	0.003 325 543	0.150 437 305	0.008 949 926	0.021 772 724	0.000 349 935	243	150	142	8	139	2
FES-14-18	568	815	0.70	0.052 312 526	0.003 804 228	0.165 583 759	0.012 270 051	0.022 827 700	0.000 490 305	298	167	156	11	146	3
FES-14-19	700	745	0.94	0.069 374 340	0.005 179 363	0.217 610 051	0.016 115 273	0.022 694 606	0.000 435 867	909	155	200	13	145	3
FES-14-20	365	512	0.71	0.059 010 826	0.004 349 879	0.165 170 418	0.010 295 896	0.021 257 731	0.000 452 655	569	161	155	9	136	3
FES-16，晋江市安海镇（E118.434° N24.754°），辉绿岩墙，Mean＝99.8±1.7 Ma，MSWD＝0.81															
FES-16-01	310	892	0.35	0.150 088 719	0.013 422 698	0.273 334 829	0.019 846 846	0.014 255 256	0.000 460 369	2 347	153	245	16	91	3
FES-16-02	373	1 463	0.25	0.155 354 507	0.017 386 674	0.717 608 218	0.175 366 748	0.020 531 880	0.001 539 763	2 406	191	549	104	131	10
FES-16-03	223	725	0.31	0.217 010 628	0.019 937 913	0.495 718 577	0.035 338 607	0.018 434 540	0.000 690 959	2 959	149	409	24	118	4
FES-16-04	239	733	0.33	0.175 062 206	0.019 182 206	0.371 542 534	0.036 501 982	0.016 525 314	0.000 462 761	2 606	188	321	27	106	3
FES-16-05	266	778	0.34	0.139 233 807	0.012 215 213	0.242 577 755	0.016 853 346	0.015 001 292	0.000 546 333	2 218	153	221	14	96	3
FES-16-06	2 328	8 341	0.28	0.052 641 456	0.002 596 445	0.113 477 809	0.005 742 018	0.015 479 843	0.000 266 901	322	111	109	5	99	2
FES-16-07	858	1 564	0.55	0.076 385 979	0.007 150 268	0.181 409 739	0.016 701 118	0.018 002 859	0.000 535 828	1 106	189	169	14	115	3
FES-16-08	288	882	0.33	0.081 267 088	0.005 998 572	0.171 147 513	0.012 877 558	0.015 677 729	0.000 501 683	1 228	145	160	11	100	3
FES-16-09	281	816	0.34	0.107 237 581	0.011 572 257	0.212 042 217	0.020 487 312	0.015 206 774	0.000 547 791	1 754	198	195	17	97	3
FES-16-10	481	1 028	0.47	0.080 976 609	0.009 333 835	0.179 728 217	0.018 555 763	0.016 874 427	0.000 559 382	1 220	228	168	16	108	4
FES-16-11	194	659	0.29	0.132 044 246	0.012 107 431	0.251 189 861	0.022 937 213	0.014 956 506	0.000 566 82	2 126	161	228	19	96	4
FES-16-12	146	507	0.29	0.154 488 697	0.019 604 855	0.333 688 804	0.035 550 512	0.016 165 283	0.000 666 313	2 396	217	292	27	103	4
FES-16-13	479	2 115	0.23	0.121 439 272	0.007 289 439	0.275 134 493	0.017 144 165	0.016 309 101	0.000 432 124	1 977	107	247	14	104	3

续表 2

分析数据	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
				比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
FES-16，晋江市安海镇（E118.434° N24.754°），辉绿岩墙，Mean＝99.8±1.7 Ma，MSWD＝0.81															
FES-16-14	271	884	0.31	0.147 179 910	0.013 102 342	0.313 279 226	0.026 641 472	0.016 331 409	0.000 510 164	2 313	153	277	21	104	3
FES-16-15	944	2 283	0.41	0.161 896 050	0.019 861036	1.250 612 935	0.393 421 672	0.028 023 497	0.003 650 531	2 476	208	824	179	178	23
FES-16-16	339	925	0.37	0.103 179 170	0.009 798 839	0.211 463 625	0.016 323 378	0.015 579 915	0.000 487 140	1 683	176	195	14	100	3
FES-16-17	178	517	0.34	0.136 711 102	0.016 145 115	0.281 656 371	0.035 054 904	0.015 507 282	0.000 650 482	2 187	212	252	28	99	4
FES-16-18	556	1 634	0.34	0.061 726 438	0.005 399 171	0.127 019 665	0.010 579 656	0.015 405 533	0.000 417 721	665	189	121	10	99	3
FES-16-19	205	620	0.33	0.134 045 441	0.017 994 945	0.258 635 007	0.028 618 635	0.015 568 905	0.000 596 227	2 152	236	234	23	100	4
FES-16-20	238	741	0.32	0.138 348 254	0.016 392 591	0.303 458 936	0.030 222 154	0.018 012 704	0.000 683 578	2 206	207	269	24	115	4
FES-17，南安市官桥镇（E118.354°，N24.835°），英安岩，Mean＝131.5±1.4 Ma，MSWD＝2.6															
FES-17-01	400	1 319	0.30	0.064 3	0.004 1	0.185 4	0.011 4	0.021 1	0.000 4	754	137	173	10	135	2
FES-17-02	1 966	2 301	0.85	0.054 9	0.003 4	0.152 5	0.008 9	0.020 4	0.000 3	409	141	144	8	130	2
FES-17-03	238	642	0.37	0.091 0	0.006 5	0.253 8	0.016 6	0.020 8	0.000 5	1 447	136	230	13	133	3
FES-17-04	324	1 139	0.28	0.053 4	0.004 2	0.157 5	0.012 7	0.021 7	0.000 5	346	175	148	11	138	3
FES-17-05	576	1 915	0.30	0.049 1	0.002 9	0.143 7	0.008 7	0.021 0	0.000 3	154	137	136	8	134	2
FES-17-06	253	643	0.39	0.058 7	0.004 8	0.158 1	0.011 7	0.020 7	0.000 6	567	178	149	10	132	4
FES-17-07	402	1 637	0.25	0.078 7	0.003 7	0.223 3	0.011 0	0.020 3	0.000 3	1 165	62	205	9	129	2
FES-17-08	951	3 354	0.28	0.049 7	0.002 2	0.138 5	0.006 3	0.020 0	0.000 2	189	106	132	6	128	2
FES-17-09	552	2 794	0.20	0.051 6	0.002 6	0.146 7	0.007 5	0.020 6	0.000 3	265	121	139	7	131	2
FES-17-10	958	2 681	0.36	0.059 4	0.003 1	0.173 1	0.009 0	0.021 1	0.000 3	589	118	162	8	135	2
FES-17-11	622	2 645	0.24	0.053 0	0.002 8	0.143 0	0.007 5	0.019 6	0.000 3	328	122	136	7	125	2
FES-17-12	549	1 300	0.42	0.055 4	0.004 0	0.150 3	0.010 2	0.020 1	0.000 4	428	163	142	9	129	2
FES-17-13	928	2 175	0.43	0.054 1	0.003 0	0.159 3	0.009 0	0.021 3	0.000 4	376	121	150	8	136	2
FES-17-14	275	669	0.41	0.069 4	0.006 1	0.185 2	0.014 7	0.020 0	0.000 5	911	180	173	13	128	3
FES-17-15	662	976	0.68	0.063 7	0.005 4	0.169 9	0.013 6	0.019 9	0.000 4	731	180	159	12	127	2
FES-17-16	325	1 006	0.32	0.049 5	0.004 5	0.137 2	0.011 5	0.020 2	0.000 4	172	196	131	10	129	3
FES-17-17	342	860	0.40	0.062 1	0.005 8	0.171 8	0.014 1	0.021 2	0.000 5	680	194	161	12	135	3
FES-17-18	296	936	0.32	0.063 2	0.004 8	0.179 4	0.013 7	0.020 8	0.000 4	722	168	168	12	133	3
FES-17-19	592	1 216	0.49	0.051 2	0.004 6	0.138 0	0.011 2	0.020 1	0.000 4	250	214	131	10	128	2
FES-17-20	295	755	0.39	0.126 2	0.021 7	1.142 2	0.363 3	0.029 1	0.002 9	2 046	308	774	174	185	18
FES-17-21	428	1 553	0.28	0.053 6	0.003 2	0.156 1	0.009 4	0.021 3	0.000 4	367	137	147	8	136	2
FES-17-22	323	1 158	0.28	0.061 5	0.005 5	0.166 6	0.012 8	0.020 3	0.000 4	654	193	156	11	130	2
FES-17-23	543	1 723	0.32	0.049 6	0.003 1	0.136 4	0.008 8	0.020 0	0.000 3	176	142	130	8	128	2
FES-17-24	780	2 444	0.32	0.051 4	0.003 0	0.146 6	0.008 4	0.020 7	0.000 3	257	135	139	7	132	2
FES-17-25	424	929	0.46	0.057 7	0.005 4	0.164 0	0.013 3	0.021 3	0.000 5	517	206	154	12	136	3
FES-17-26	186	538	0.35	0.069 0	0.006 2	0.206 2	0.018 9	0.021 7	0.000 6	902	187	190	16	138	4
FES-17-27	326	766	0.43	0.058 1	0.006 3	0.167 2	0.016 3	0.021 5	0.000 5	600	239	157	14	137	3
FES-17-28	600	1 305	0.46	0.050 0	0.003 7	0.144 9	0.010 6	0.021 4	0.000 4	195	177	137	9	136	3
FES-17-29	225	795	0.28	0.061 4	0.004 5	0.178 6	0.012 7	0.021 6	0.000 6	654	158	167	11	137	3
FES-17-30	473	1 548	0.31	0.045 2	0.003 3	0.132 3	0.009 4	0.021 4	0.000 4			126	8	136	2

续表 2

分析数据	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
				比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
FES-22,南安市芹山山顶(E118.176°, N25.147°), 英安岩 ,Mean=155.0±2.3 Ma, MSWD=3.4															
FES-22-01	954	2 064	0.46	0.045 847 773	0.002 374 022	0.153 462 826	0.007 695 537	0.024 141 889	0.000 331 626	130	112	145	7	154	2
FES-22-02	588	1 408	0.42	0.048 403 544	0.002 151 705	0.166 657 807	0.007 191 584	0.024 991 063	0.000 398 171	120	106	157	6	159	3
FES-22-03	704	943	0.75	0.048 860 575	0.003 395 401	0.164 718 983	0.011 293 934	0.024 512 014	0.000 464 923	143	156	155	10	156	3
FES-22-04	206	517	0.40	0.052 574 796	0.004 003 102	0.205 000 291	0.016 144 511	0.028 428 483	0.000 678 028	309	174	189	14	181	4
FES-22-05	457	1 036	0.44	0.079 006 423	0.004 844 053	0.281 923 000	0.014 889 606	0.026 671 078	0.000 467 090	1 172	122	252	12	170	3
FES-22-06	742	1 611	0.46	0.048 076 342	0.002 578 629	0.166 268 948	0.008 709 287	0.025 163 633	0.000 431 215	102	131	156	8	160	3
FES-22-07	398	853	0.47	0.066 219 620	0.004 207 347	0.232 628 609	0.014 141 935	0.025 686 343	0.000 405 418	813	133	212	12	163	3
FES-22-08	1 109	1 415	0.78	0.049 314 334	0.002 762 998	0.158 133 991	0.008 526 973	0.023 437 467	0.000 348 016	161	127	149	7	149	2
FES-22-09	1 333	1 877	0.71	0.050 760 163	0.001 969 545	0.270 887 678	0.010 575 118	0.038 792 261	0.000 546 318	232	58	243	8	245	3
FES-22-10	720	1 125	0.64	0.056 683 133	0.003 708 784	0.190 922 792	0.011 702 672	0.025 193 943	0.000 491 862	480	144	177	10	160	3
FES-22-11	1 237	2 267	0.55	0.065 470 891	0.003 014 117	0.208 747 019	0.009 362 200	0.023 236 122	0.000 307 849	791	92	193	8	148	2
FES-22-12	540	1 035	0.52	0.050 601 994	0.003 040 854	0.172 600 006	0.010 291 005	0.024 951 964	0.000 448 392	233	145	162	9	159	3
FES-22-13	630	1 330	0.47	0.047 006 973	0.002 706 261	0.164 847 222	0.008 901 727	0.026 045 252	0.000 706 121	56	133	155	8	166	4
FES-22-14	772	881	0.88	0.076 013 139	0.005 019 662	0.260 811 944	0.015 409 992	0.025 699 024	0.000 542 829	1 095	133	235	12	164	3
FES-22-15	359	918	0.39	0.102 696 201	0.003 557 877	1.405 801 121	0.046 233 922	0.098 459 397	0.001 207 577	1 673	63	891	20	605	7
FES-22-16	300	694	0.43	0.090 168 584	0.008 689 233	0.349 227 263	0.035 996 279	0.027 195 315	0.000 623 106	1 429	185	304	27	173	4
FES-22-17	506	987	0.51	0.061 604 143	0.003 792 254	0.212 187 218	0.012 909 695	0.025 129 880	0.000 433 381	661	131	195	11	160	3
FES-22-18	2 194	5 438	0.40	0.050 210 848	0.001 651 560	0.162 013 916	0.005 536 736	0.023 207 702	0.000 307 572	206	76	152	5	148	2
FES-22-19	465	732	0.64	0.054 429 741	0.003 716 554	0.168 504 681	0.011 328 366	0.022 747 228	0.000 483 872	387	186	158	10	145	3
FES-22-20	1 338	2 158	0.62	0.049 829 872	0.002 529 932	0.170 483 008	0.008 857 300	0.024 667 355	0.000 339 284	187	119	160	8	157	2
FES-22-21	1 063	1 526	0.70	0.049 793 815	0.002 776 686	0.166 046 324	0.009 445 142	0.024 078 794	0.000 350 287	187	130	156	8	153	2
FES-22-22	583	1 026	0.57	0.049 872 829	0.002 848 690	0.166 708 877	0.009 517 988	0.024 503 137	0.000 399 462	191	133	157	8	156	3
FES-22-23	529	973	0.54	0.048 998 300	0.003 208 040	0.163 310 590	0.010 510 421	0.024 679 434	0.000 488 672	146	148	154	9	157	3
FES-22-24	4 077	2 509	1.63	0.051 364 844	0.002 160 390	0.176 990 525	0.007 840 108	0.024 766 932	0.000 320 074	257	92	165	7	158	2
FES-22-25	643	1 214	0.53	0.052 755 783	0.003 209 295	0.172 860 649	0.010 168 214	0.024 076 225	0.000 429 042	317	139	162	9	153	3
FES-22-26	608	1123	0.54	0.080 244 277	0.004 137 342	0.272 331 303	0.013 399 959	0.024 865 999	0.000 400 909	1 203	102	245	11	158	3
FES-22-27	286	624	0.46	0.098 814 606	0.006 338 439	0.356 369 737	0.024 068 150	0.026 193 032	0.000 518 183	2 000	120	310	18	167	3
FES-22-28	802	1 612	0.50	0.049 301 106	0.002 265 179	0.162 661 159	0.007 390 412	0.023 919 033	0.000 373 969	161	107	153	6	152	2
FES-22-29	1 048	1 648	0.64	0.047 856 612	0.002 818 720	0.165 638 746	0.009 428 474	0.025 087 765	0.000 410 338	100	133	156	8	160	3
FES-22-30	519	1 175	0.44	0.068 647 284	0.004 253 122	0.243 146 563	0.013 234 626	0.026 440 711	0.000 460 417	887	130	221	11	168	3

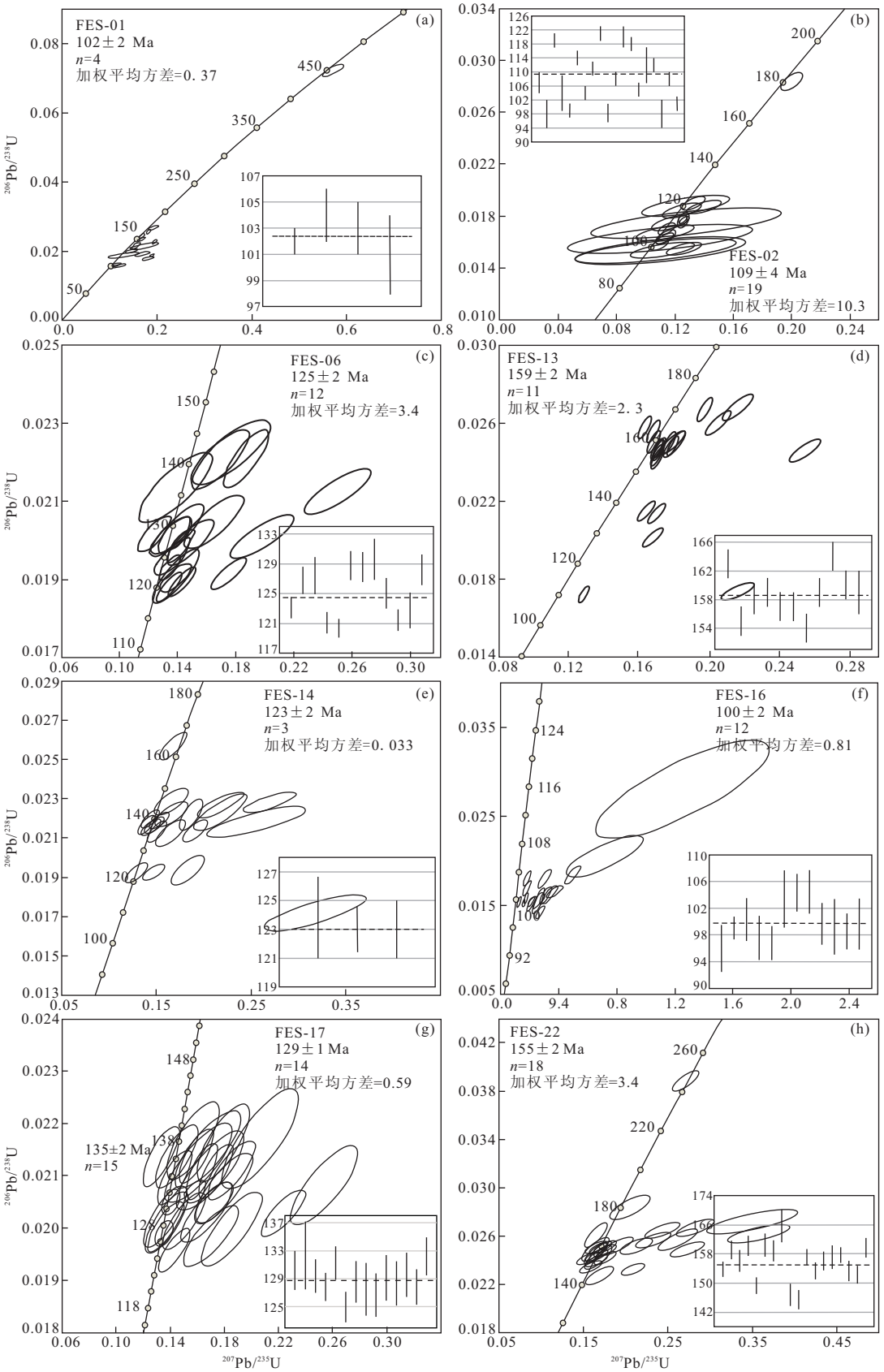

图 5　福建泉州地区岩浆岩样品锆石 LA-ICP-MS U-Pb 和谐年龄图谱

Fig.5　LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams for magmatic rocks in Quanzhou area, Fujian Province

4 Ma(#02)和 451±7 Ma(#13)(图 5a).年龄最小的 4 颗锆石其加权平均年龄为 103±2 Ma.由于锆石颗粒较大,发育韵律环带,且 Th/U 变化较大,应该是基性岩脉侵位过程中捕获的锆石,因此基性岩脉的侵位年龄应该晚于~103 Ma.

FES-02:锆石为无色透明,以自形为主,长为 50~250 μm,长宽比为 1∶1~1∶4.锆石发育震荡韵律环带,指示其为岩浆锆石.20 颗锆石的 Th 含量为 33×10^{-6}~996×10^{-6},U 含量为 35×10^{-6}~$2\,696\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.04~2.68,大部分大于 0.1.其中,20 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化范围为98~180 Ma,其中 1 颗继承锆石的年龄为 180±3 Ma(#13)(图 5b).19 颗锆石的加权平均年龄为 109±4 Ma,为片麻状花岗岩的结晶年龄.

FES-06:锆石为无色透明,长为 50~150 μm,长宽比为 1∶1~1∶3.锆石晶形为自形,发育震荡韵律环带.锆石 Th 含量为 241×10^{-6}~$2\,414\times10^{-6}$,U 含量为 805×10^{-6}~$6\,830\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.20~0.89,为典型的岩浆锆石.20 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$年龄变化于 121~142 Ma 之间(图 5c),部分锆石年龄偏离谐和线,是糜棱岩化过程中锆石的 U-Pb 体系发生了 Pb 丢失.12 颗谐和锆石的加权平均年龄为 125±2 Ma,为花岗岩的结晶年龄.

FES-13:锆石以无色透明为主,晶形以自形为主,少量为半自形至它形,长为 100~200 μm,长宽比为 1∶1~1∶2.锆石内部发育孔洞构造,为后期热液沿剪切带活动导致锆石热液蚀变的结果.对 20 颗锆石进行了测试,其含有较高的 Th、U 含量.其中,Th 含量为 $1\,343\times10^{-6}$~$58\,690\times10^{-6}$,U 含量为 $1\,457\times10^{-6}$~$24\,728\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.49~2.37.有 20 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化范围于 111~171 Ma 之间(图 5d).由于经历了剪切带中后期热液蚀变作用,锆石的 U-Pb 体系发生了变化,导致 9 颗锆石年龄偏离谐和线,剩下 11 颗谐和锆石的加权平均年龄为 159±2 Ma.由于锆石经历了后期热液蚀变作用,解释为结晶时代和后期热液活动时代的混合年龄.因此,灵源山眼球状花岗岩的侵位年龄应该大于~159 Ma.

FES-14:锆石无色透明,晶形为自形,长为 50~250 μm,长宽比为 1∶1~1∶5.锆石发育震荡韵律环带,少量锆石含有继承核,核部相对较暗,边部较亮.对 20 颗锆石进行了分析,Th 含量为 136×10^{-6}~$3\,488\times10^{-6}$,U 含量为 174×10^{-6}~$3\,351\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.29~1.16,为典型的岩浆锆石.20 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化于 110~164 Ma 之间(图 5e),可以划分为 3 组,分别为 164±3 Ma(#06),~140 Ma 以及~120 Ma,最小一组锆石年龄的加权平均值为 123±2 Ma,由于锆石颗粒较大,发育韵律环带,且 Th/U 变化较大,应该是基性岩脉侵位过程中捕获的锆石,因此基性岩脉的侵位年龄应该晚于~123 Ma.

FES-16:锆石无色透明,晶形为自形,长为 50~100 μm,长宽比为 1∶1~1∶2.锆石发育震荡韵律环带,少量锆石含有继承核,核部相对较暗,边部较亮.对 20 颗锆石进行了测试,Th 含量为 146×10^{-6}~$2\,328\times10^{-6}$,U 含量为 507×10^{-6}~$8\,341\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.23~0.47,为典型的岩浆锆石.20 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化范围于 91~178 Ma 之间(图 5f),其中 1 颗年龄为 178±23 Ma(#06),1 颗锆石年龄为 131±10 Ma(#02),2 颗锆石年龄为~115 Ma(#03,#20),由于其远远偏离和谐线,因此无任何地质含义.12 颗锆石年龄相对集中,其加权平均年龄为 100±2 Ma,由于锆石颗粒较大,发育韵律环带,且 Th/U 变化较大,应该是基性岩脉侵位过程中捕获的锆石,因此基性岩脉的侵位年龄应该晚于~100 Ma.

FES-17:锆石无色透明,晶形为自形至半自形,长为 100~250 μm,长宽比为 1∶1~1∶3.锆石发育震荡韵律环带,少量锆石含有继承核,核部相对较暗,边部较亮.对 30 颗锆石进行了测试,Th 含量为 225×10^{-6}~$1\,966\times10^{-6}$,U 含量为 538×10^{-6}~$3\,354\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.20~0.85,为典型的岩浆锆石.对 30 颗锆石进行了分析,其中 1 颗锆石年龄为 185±18 Ma(#20),为继承锆石年龄,其余 29 颗锆石年龄集中于 125~138 Ma(图 5g).29 颗锆石可以划分为两组,早期 15 颗锆石的加权平均年龄为 135±2 Ma,可能为区域上早期岩浆活动的时代;晚期 14 颗锆石的加权平均年龄为 129±1 Ma,解释为英安质晶屑凝灰岩的结晶时代.

FES-22:锆石无色透明,晶形为自形至半自形,长为 100~250 μm,长宽比为 1∶1~1∶4.锆石发育震荡韵律环带,少量锆石含有继承核.对 30 颗锆石进行了分析,Th 含量为 206×10^{-6}~$4\,077\times10^{-6}$,U 含量为 517×10^{-6}~$5\,438\times10^{-6}$,Th/U 比值为 0.39~1.63,为典型的岩浆锆石.29 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$年龄变化范围于 148~245 Ma 之间,其中 1 颗锆石年龄为 605±7 Ma(#15)(图 5h),其远远偏离谐和线,因此没有任何地质意义.另外 29 颗锆

石中有 2 颗锆石年龄分别为 181±4 Ma(#04)和 245±3 Ma(#09),为继承锆石.部分锆石后于后期热事件导致 Pb 丢失而偏离谐和线,没有地质意义.18 颗谐和锆石的加权平均年龄为 155±2 Ma,解释为流纹质凝灰岩的形成时代.

5　讨论

福建沿海地区花岗岩和火山岩中广泛发育走滑、伸展和挤压构造,其形成先后顺序制约着对中国东南沿海地区晚中生代造山带构造演化的认识.目前,高精度锆石 U-Pb 和 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学主要是用来限定福建沿海岩浆岩活动和长乐－南澳韧性剪切带的形成时代(富云莲等,1989;Tong and Tobisch,1996;Wang and Lu,2000;Chen *et al*.,2002,2004,2013;李武显等,2003;董传万等,2006,2011;邱检生等,2008,2012;Liu *et al*.,2012;Cui *et al*.,2013),对脆性走滑构造和伸展构造的形成时代还缺乏制约.

长乐－南澳剪切带中晋江灵源山花岗岩(FES-13)形成于～159 Ma 之前,其长石斑晶经塑性变形发育眼球状构造,黑云母定向排列形成片麻理,指示灵源山地区经历了强烈的构造变形.区域上,位于长乐－南澳剪切带北侧南安市芹山凝灰岩和官桥镇晶屑凝灰岩分别形成于～155 Ma(FES-22)和～129 Ma(FES-17),其长英质矿物均未发生塑性变形.由此可以认为灵源山花岗岩的眼球状构造不是区域构造变形的结果,而应是长乐－南澳剪切带左旋走滑运动的产物.剪切活动造成灵源山花岗岩中锆石 U、Th 含量异常,指示长乐－南澳剪切带左旋走滑形成于灵源山花岗岩侵位之后.长乐－南澳剪切带中灵秀山同构造花岗岩形成于～125 Ma(FES-06),其发育强烈的糜棱岩面理和拉伸线理,说明长乐－南澳剪切带在～125 Ma 发育强烈的左旋走滑活动.在晋江灵源寺,未变形基性岩墙侵入到长乐－南澳剪切带花岗质糜棱岩中(图 3e),指示左旋走滑剪切形成于基性岩墙侵位之前.对样品 FES-01,FES-14 和 FES-16 进行了锆石 U-Pb 年代学分析,结果表明北东向基性岩墙形成于～100 Ma 之后.区域上,高精度锆石 U-Pb 年代学指示北东向基性岩墙形成于 95～87 Ma(董传万等,2006,2011;杨永峰等,2010),因此长乐－南澳韧性剪切带左旋走滑形成于 95 Ma 之前.区域上,早白垩世晚期花岗岩侵位于长乐－南澳左旋韧性走滑剪切带中,其锆石 U-Pb 年龄为 108～101 Ma(邱检生等,2012;Chen *et al*.,2013),指示长乐－南澳剪切带形成于 108 Ma 之前.锆石 U-Pb 年代学指示长乐－南澳剪切带于～130 Ma开始活动(Chen *et al*.,2002;李武显等,2003),并至少持续到～121 Ma(Tong and Tobisch,1996).根据长乐－南澳韧性剪切带中南段糜棱岩角闪石和云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄,Wang and Lu(2000)认为剪切带在 118～108 Ma 仍在活动.然而有研究表明,～110 Ma 平潭－东山变质带南段仍位于地温约 550 ℃的部位(Chen *et al*., 2002).根据角闪石和云母的封闭温度,前人所测得的剪切带糜棱岩的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄应该为冷却年龄,所以长乐－南澳剪切带左旋走滑剪切应形成于 130～120 Ma 之间.

低角度正断层和高角度正断层具有统一的 NW-SE 向伸展构造应力场(图 3),且野外尚未发现低角度正断层和高角度正断层的相互切割关系,指示低角度正断层和高角度正断层近同时形成.发育低角度拆离断层的石狮黄金海岸片麻状花岗岩形成于～109 Ma(FES-02),且发育高角度正断层的北东向基性岩墙形成于 95～87 Ma(董传万等,2006,2011;杨永峰等,2010),指示 NW-SE 向大规模伸展作用形成于～95 Ma 之后.在晋江灵秀山地区,北北东向脆性右旋剪切带切割早期北东向左旋韧性剪切带(图 6a),指示长乐－南澳剪切带经历了早期左旋走滑和晚期右旋剪切活动,与前人在福建沿海地区观察的结果相符(Charvet *et al*.,1990;Wang and Lu,1997;舒良树等,2000).在晋江灵秀山地区(FES-06)可以观察到低角度正断层切割了长乐－南澳左旋韧性走滑剪切带(图 6b),且石狮市祥芝镇海边(FES-04)可观察到高角度正断层切割了右旋脆性走滑剪切带(图 6c),表明长乐－南澳剪切带脆性右旋走滑形成于左旋韧性走滑以后,区域 NW-SE 向伸展作用之前.因此,长乐－南澳剪切带右旋脆性走滑应形成于 120～95 Ma 之间.

福建沿海地区出露的最古老地层为晚三叠至早侏罗世泥质岩和粉砂岩,碎屑锆石 U-Pb 年龄指示其最大沉积时代为早侏罗世(Liu *et al*.,2012;Cui *et al*.,2013).福建沿海岩浆带晚三叠至早侏罗世地层呈近东西展布,而平潭－东山变质带中早侏罗世地层经历绿片岩相至麻粒岩相变质作用并形成北东向片理,指示福建沿海地区经历了强烈的晚中生代造山作用(Chen *et al*.,2004;Cui *et al*.,2013).晚中生代中国东南部属于太平洋构造域,其构造－岩浆活动均为太平洋板块俯冲活动的产物(Zhou and

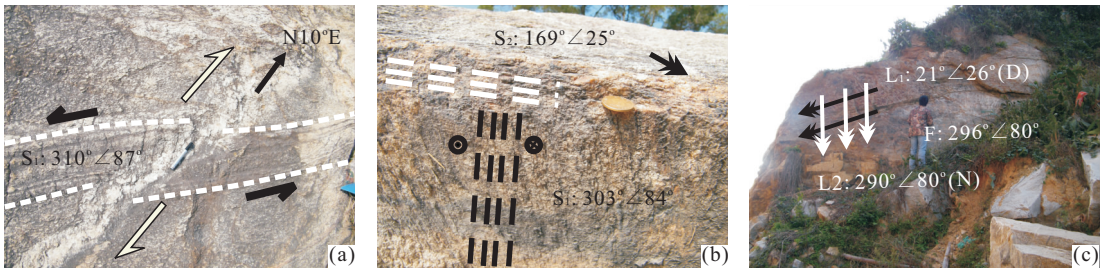

图 6 福建沿海地区构造变形的交切关系

Fig.6 Cutting relation of structural deformations in the coast of Fujian Province

a.北北东向脆性右旋剪切带切割北东向左旋韧性剪切带,福建晋江灵秀山;b.低角度正断层切割了长北东向左旋韧性走滑剪切带,福建晋江灵秀山;c.高角度正断层切割右旋脆性走滑剪切带,福建石狮祥芝镇

Li,2000;Li and Li,2007).晚侏罗世花岗岩和火山岩未发育原生片麻理,表明晚侏罗世福建沿海岩浆带地区处于相对伸展的弧后构造环境.随着太平洋板块向中国东南部之下的俯冲角度变陡(Zhou and Li,2000),福建沿海地区在早白垩世初期转变为俯冲造山带(Chen *et al.*,2004;Cui *et al.*,2013),导致平潭－东山变质带发育强烈的混合岩化和片麻状花岗岩侵位(Liu *et al.*,2012;Cui *et al.*,2013).随着造山作用的加剧,长乐－南澳剪切带在白垩世中期(130～120 Ma)发生了同造山左旋韧性走滑活动,并导致平潭－东山变质带发生不均匀抬升和剥蚀(Chen *et al.*,2002).早白垩世晚期(120～95 Ma),长乐－南澳剪切带由左旋韧性剪切转变为右旋脆性走滑,指示福建沿海地区发生由同造山挤压向后造山伸展环境的转换(Wang and Lu,1997;Cui *et al.*,2013).晚白垩世早期福建沿海地区经历了强烈的NW-SE向伸展作用,发育大规模正断层、基性岩墙、非造山花岗岩以及环形火山活动(邱检生等,2000;董传万等,2006,2011;邢光福等,2009),指示福建沿海地区晚中生代造山作用的结束.

6 结论

(1)福建泉州地区在晚白垩世早期发生大规模伸展构造变形,形成高角度正断层和低角度正断层与拆离断层,是NW-SE向伸展作用的产物.

(2)晚中生代福建泉州地区发育晚侏罗世(～155 Ma)、早白垩世早期(130～125 Ma)、早白垩世末期(～109 Ma)以及晚白垩世早期(～100 Ma之后)四期岩浆活动.

(3)福建沿海地区晚中生代造山作用开始于早白垩世之初,其同造山作用向后造山伸展转换发生于～120 Ma,造山作用结束于早白垩世末期.

致谢:感谢两位匿名审稿人的建设性意见,其提高了本文的质量,作者受益颇深.

References

Andersen, T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That do not Report ^{204}Pb. *Chemical Geology*, 192(1－2): 59－79. doi: 10.1016/S0009－2541(02)00195－X

Angelier, J., 1989. From Orientation to Magnitudes in Paleostress Determinations Using Fault Slip Data. *Journal of Structural Geology*, 11(1－2): 37－50. doi: 10.1016/0191－8141(89)90034－5

Angelier, J., 1994. Fault Slip Analysis and Paleostress Reconstruction. In: Hancock, P. L., ed., Continental Deformation. Pergamon, Oxford, 53－100.

Charvet, J., Faure, M., Xu, J. W., et al., 1990. La Zone Tectonique de Changle-Nanao, Chine du sud-est. *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences*, 310(9): 1271－1278.

Chen, B., 1997. Petrographic Evidences and Tectonic Significance for Two Phases of Metamorphism in Sillimanite- and Garnet-Bearing Mica Schists of Pintan-Dongshan Metamorphic Zone of Eastern Fujian, China. *Acta Petrologica Sinica*, 13(3): 380－394 (in Chinese with English abstract).

Chen, C. H., Lin, W., Lan, C. Y., et al., 2004. Geochemical, Sr and Nd Isotopic Characteristics and Tectonic Implications for Three Stages of Igneous Rock in the Late Yanshanian (Cretaceous) Orogeny, SE China. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 95: 237－248. doi: 10.1017/S0263593300001048

Chen, J. Y., Yang, J. H., Zhang, J. H., et al., 2013. Petrogenesis of the Cretaceous Zhangzhou Batholith in Southeastern China: Zircon U-Pb Age and Sr-Nd-Hf-O Isotopic Evidence. *Lithos*, 162: 140－156. doi: 10.1016/j.lithos.2013.

01.003

Chen, W.S., Yang, H.C., Wang, X., et al., 2002. Tectonic Setting and Exhumation History of the Pingtan-Dongshan Metamorphic Belt along the Coastal Area, Fujian Province, Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20: 829 - 840. doi: 10.1016/S1367 - 9120(01)00066-9

Cui, J.J., Zhang, Y.Q., Dong, S.W., et al., 2013. Zircon U-Pb Geochronology of the Mesozoic Metamorphic Rocks and Granitoids in the Coastal Tectonic Zone of SE China: Constraints on the Timing of Late Mesozoic Orogeny. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62: 237 - 252. doi: 10.1016/j.jseaes.2012.09.014

Delvaux, D., Sperner, B., 2003. Stress Tensor Inversion from Fault Kinematic Indicators and Focal Mechanism Data: The TENSOR Program. In: Nieuwland, D., ed., New Insights into Structural Interpretation and Modelling. Geological Society, Special Publications, London.

Dong, C.W., Zhang, D.R., Xu, X.S., et al., 2006. SHRIMP U-Pb Dating and Lithogeochemistry of Basic-Intermediate-Dike Swarms from Jinjiang, Fujian Province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(6): 1696 - 1702 (in Chinese with English abstract).

Dong, C.W., Zhou, C., Gu, H.Y., et al., 2011. The Age Difference, Geochemistry and Petrogenesis of Mafic Dikes and Host Granites from Meizhou Island in Fujian Province. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 41(3): 735 - 744 (in Chinese with English abstract).

Engebretson, D., Cox, A., Gordon, R.G., 1985. Relative Motions between Oceanic and Continental Plates in the Pacific Basin. *Geological Society of America* (Special Paper), 206: 1 - 60. doi: 10.1130/SPE206 - p1.

Fu, Y.L., Ren, J.S., Chen, T.Y., et al., 1989. $^{40}Ar/^{39}Ar$ Isotopic Dating of Magmatic Granite and Granulitite from the Jinjiang Area, Fujian. *Geological Review*, 35(6): 552 - 557 (in Chinese with English abstract).

Gao, J., Zhang, J.X., Wang, Q., 1993. Dynamics and Deformation Features of the Changle-Dongshan Structural Zone in Fujian Province. *Geological Review*, 39(1): 57 - 63 (in Chinese with English abstract).

Griffin, W.L., Belousova, E.A., Shee, S.R., et al., 2004. Archean Crustal Evolution in the Northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-Isotope Evidence from Detrital Zircons. *Precambrian Research*, 131(3 - 4): 231 - 282. doi: 10.1016/j.precamres.2003.12.011

He, Z.Y., Xu, X.S., 2011. Petrogenesis of the Late Yanshanian Mantle-Derived Intrusions in Southeastern China: Response to the Geodynamics of Paleo-Pacific Plate Subduction. *Chemical Geology*, 328: 208 - 221.

Hu, R.Z., Bi, X.W., Peng, J.T., et al., 2007. Some Problem Concerning Relationship between Mesozoic-Cenozic Lithospheric Extension and Uranium Metallogenesis in South China. *Mineral Deposits*, 26(2): 139 - 152 (in Chinese with English abstract).

Hu, Z.C., Gao, S., Liu, Y.S., et al., 2008. Signal Enhancement in Laser Ablation ICP-MS by Addition of Nitrogen in the Central Channel Gas. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 23(8): 1093 - 1101. doi: 10.1039/B804760J

Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., et al., 2004. The Application of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry to in Situ U-Pb Zircon Geochronology. *Chemical Geology*, 211(1 - 2): 47 - 69. doi: 10.1016/j.chemgeo.2004.06.017

Li, L.M., Sun, M., Xing, G.F., et al., 2009. Two Late Mesozoic Volcanic Events in Fujian Province: Constraints on the Tectonic Evolution of Southeastern China. *International Geology Review*, 51(3): 216 - 251. doi: 10.1080/00206810802619092

Li, W.X., Zhou, X.M., Li, X.H., 2003. U-Pb and $^{40}Ar/^{39}Ar$ Datings of Deformed Igneous Rocks from the Changle-Nan'ao Fault. *Chinese Journal of Geology*, 38(1): 22 - 30 (in Chinese with English abstract).

Li, X.H., 2000. Cretaceous Magmatism and Lithospheric Extension in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(3): 293 - 305. doi: 10.1016/S1367 - 9120(99)00060-7

Li, Z., Qiu, J.S., Xu, X.S., 2012. Geochronological, Geochemical and Sr-Nd-Hf Isotopic Constraints on Petrogenesis of Late Mesozoic Gabbro-Granite Complexes on the Southeast Coast of Fujian, South China: Insights into a Depleted Mantle Source Region and Crust-Mantle Interactions. *Geological Magazine*, 149(3): 459 - 482. doi: 10.1017/S0016756811000793

Li, Z.X., Li, X.H., 2007. Formation of the 1 300-km-Wide Intracontinental Orogen and Postorogenic Magmatic Province in Mesozoic South China: A Flat-Slab Subduction Model. *Geology*, 35(2): 179 - 182. doi: 10.1130/G23193A.1

Liu, Q., Yu, J.H., Wang, Q., et al., 2012. Ages and Geochemistry of Granites in the Pingtan-Dongshan Metamorphic Belt, Coastal South China: New Constraints on Late Mesozoic Magmatic Evolution. *Lithos*, 150: 268 - 286. doi: 10.1016/j.lithos.2012.06.031

Liu, Y.S., Hu, Z.C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by

LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1): 34－43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004

Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010a. 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 of Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1－2): 537－571. doi: 10.1093/petrology/egp082

Liu, Y. S., Hu, Z. C., Zong, K. Q., et al., 2010b. Reappraisement and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535－1546. doi: 10.1007/s11434－010－3052－4

Ludwig, K. R., 2001. Isoplot/Ex (rev. 2.49): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronological Center, Special Publications*, 1a: 1－55.

Martin, H., Bonin, B., Capdevila, R., et al., 1994. The Kuiqi Peralkaline Granitic Complex (SE China): Petrology and Geochemistry. *Journal of Petrology*, 35(4): 983－1015. doi: 10.1093/petrology/35.4.983

Maruyama, S., Isozaki, Y., Kimura, G., et al., 1997. Paleogeographic Maps of the Japanese Islands: Plate Tectonic Synthesis from 750 Ma to the Present. *The Island Arc*, 6(1): 121－142. doi: 10.1111/j.1440－1738.1997.tb00043.x

Petit, J. P., 1987. Criteria for the Sense of Movement on Fault Surfaces in Brittle Rocks. *Journal of Structural Geology*, 9(5－6): 597－608. doi: 10.1016/0191－8141(87)90145－3

Qiu, J. S., Xiao, E., Hu, J., et al., 2008. Petrogenesis of Highly Fractioned I-Type Granites in the Coastal Area of Northeastern Fujian Province: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Nd-Hf Isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 24(11): 2468－2484 (in Chinese with English abstract).

Qiu, J. S., Li, Z., Liu, L., et al., 2012. Petrogenesis of the Zhangpu Composite Granite Pluton in Fujian Province: Constrains from Zircon U-Pb Ages, Elemental Geochemistry and Nd-Hf Isotopes. *Acta Geologica Sinica*, 86(4): 561－576 (in Chinese with English abstract).

Shu, L. S., Yu, J. H., Wang, D. Z., 2000. Late Mesozoic Granitic Magmatism and Its Relation to Metamorphism-Ductile Deformation in the Changle-Nan'ao Fault Zone, Fujian Province. *Geological Journal of China Universities*, 6(3): 368－378 (in Chinese with English abstract).

Shu, L. S., Zhou, X. M., Deng, P., et al., 2009. Mesozoic Tectonic Evolution of the Southeast China Block: New Insights from Basin Analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 376－391. doi: 10.1016/j.jseaes.2008.06.004

Sun, T., Zhou, X. M., 2002. Late Mesozoic Extension in Southeast China: Petrologic Symbols. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 38(6): 737－746 (in Chinese with English abstract).

Tong, W. X., Tobisch, O. T., 1996. Deformation of Granitoid Plutons in the Dongshan Area, Southeast China: Constraints on the Physical Conditions and Timing of Movement along the Changle-Nanao Shear Zone. *Tectonophysics*, 267(1－4): 303－316. doi: 10.1016/S0040－1951(96)00107－2

Wang, D. Z., Zhou, J. C., Qiu, J. S., et al., 2000. Characteristics and Petrogenesis of Late Mesozoic Granitic Volcanic-Intrusive Complexes in Southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 6(4): 487－498 (in Chinese with English abstract).

Wang, Z. H., Lu, H. F., 1997. Evidence and Dynamics for the Change of Strike-Slip Direction of the Changle-Nanao Ductile Shear Zone, Southeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 15(6): 507－515. doi: 10.1016/S0743－9547(97)00035－4

Wang, Z. H., Lu, H. F., 2000. Ductile Deformation and ^{40}Ar-^{39}Ar Dating of the Changle-Nanao Ductile Shear Zone, Southeastern China. *Journal of Structural Geology*, 22(5): 561－570.

Wu, G. G., Zhang, D., Chen, B. L., et al., 2000. Transformation of Mesozoic Tectonic Domain and Its Relation to Mineralization in Southeastern China: An Evidence of Southwestern Fujian Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(4): 390－396 (in Chinese with English abstract).

Xing, G. F., Yang, Z. L., Chen, R., et al., 2004. Three Stages of Mesozoic Bimodal Igneous Rocks and Their Tectonic Implications on the Continental Margin of Southeastern China. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 78(1): 27－39. doi: 10.1111/j.1755－6724.2004.tb00672.x

Xing, G. F., Lu, Q. D., Chen, R., et al., 2008. Study on the Ending Time of Late Mesozoic Tectonic Regime Transition in South China: Comparing to the Yanshan Area in North China. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 451－463 (in Chinese with English abstract).

Xing, G. F., Chen, R., Yang, Z. L., et al., 2009. Characteristics and Tectonic Setting of Late Cretaceous Volcanic Magmatism in the Coastal Southeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 77－91 (in Chinese with English abstract).

Xu, X. B., Zhang, Y. Q., Jia, D., et al., 2011. U-Pb Dating of Volcanic Rocks and Granites along the Wuyishan Belt: Constraints on Timing of Late Mesozoic Tectonic Events in Southeast China. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 85(1): 130－144. doi: 10.1111/j.1755－6724.2011.00385.x

Xu, X. S., Dong, C. W., Li, W. X. et al., 1999. Late Mesozoic Intrusive Complexes in the Coastal Area of Fujian, SE China: The Significance of the Gabbro-Diorite-Granite Association. *Lithos*, 46(2): 299－315. doi: 10.1016/S0024－4937(98)00087－5

Xu, Z. J., Cheng, R. H., Zhang, L., et al., 2012. The Geochemistry Records of Sea-Level Relative Movement and Paleoclimatic Evolution of the South China Continental Margin in Late Triassic-Early-Middle Jurassic. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(1): 113－124 (in Chinese with English abstract).

Yang, Y. F., Yang, J. J., Li, N. M., et al., 2010. SHRIMP U-Pb Zircon Dating of the Basic-Intermediate Dikes from the Coastland of Fujian Province. *Geological Science and Technology Information*, 29(5): 23－29 (in Chinese with English abstract).

Zhao, J. H., Hu, R. Z., Liu, S., 2004. Geochemistry, Petrogenesis, and Tectonic Significance of Mesozoic Mafic Dikes, Fujian Province, Southeastern China. *International Geology Review*, 46(6): 542－557. doi: 10.2747/0020－6814.46.6.542

Zhou, X. M., Li, W. X., 2000. Origin of Late Mesozoic Igneous Rocks in Southeastern China: Implications for Lithosphere Subduction and Underplating of Mafic Magmas. *Tectonophysics*, 326(3－4): 269－287. doi: 10.1016/S0040－1951(00)00120－7

Zhou, X. M., Sun, T., Shen, W. Z., et al., 2006. Petrogenesis of Mesozoic Granitoids and Volcanic Rocks in South China: A Response to Tectonic Evolution. *Episodes*, 29(1): 26－33.

Zou, H. B., 1995. A Mafic-Ultramafic Rock Belt in the Fujian Coastal Area, Southeastern China: A Geochemical Study. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 12(1－2): 121－127. doi: 10.1016/0743－9547(95)00014－3

附中文参考文献

陈斌,1997.福建平潭－东山变质带夕线石榴云母片岩中两期变质作用的岩相学证据及其构造意义.岩石学报,13(3):380－394.

董传万,张登荣,徐夕生,等,2006.福建晋江中－基性岩墙群的锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学.岩石学报,22(6):1696－1702.

董传万,周超,顾虹艳,等,2011.福建湄州岛镁铁质岩墙群与寄主花岗岩的形成时差、地球化学及成因.吉林大学学报:地球科学版,41(3):735－744.

富云莲,任纪舜,陈廷愚,等,1989.福建晋江地区混合花岗岩及浅粒岩的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年龄测定.地质论评,35(6):552－557.

高俊,张建新,王荃,1993.福建长乐－东山构造带的变形特征及动力学研究.地质论评,39(1): 57－63.

胡瑞忠,毕献武,彭建堂,等,2007.华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题.矿床地质,26(2): 139－152.

李武显,周新民,李献华,2003.长乐－南澳断裂带变形火成岩的 U-Pb 和 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄.地质科学,38(1): 22－30.

邱检生,肖娥,胡建,等,2008.福建北东沿海高分异 I 型花岗岩的成因:锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素制约.岩石学报,24(11): 2468－2484.

邱检生,李真,刘亮,等,2012.福建漳浦复式花岗岩体的成因:锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学及 Nd-Hf 同位素制约.地质学报,86(4): 561－576.

舒良树,于津海,王德滋,2000.长乐－南澳断裂带晚中生代岩浆活动与变质－变形关系.高校地质学报,6(3): 368－378.

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

王德滋,周金城,邱检生,等,2000.中国东南部晚中生代花岗质火山－侵入杂岩特征与成因.高校地质学报,6(4): 487－498.

吴淦国,张达,陈柏林,等,2000.中国东南大陆中生代构造域的转换及其与成矿的关系——以闽西南地区为例.地球科学——中国地质大学学报,25(4):390－396.

邢光福,卢清地,陈荣,等,2008.华南晚中生代构造体制转折结束时限研究——兼与华北燕山地区对比.地质学报,82(4): 451－463.

邢光福,陈荣,杨祝良,等,2009.东南沿海晚白垩世火山岩浆活动特征及其构造背景.岩石学报,25(1): 77－91.

许中杰,程日辉,张莉,等,2012.华南陆缘晚三叠－早、中侏罗世海平面相对升降与古气候演化的地球化学记录.地球科学——中国地质大学学报,37(1):113－124.

杨永峰,杨俊杰,李南美,等,2010.福建沿海中－基性岩墙群锆石 SHRIMP U-Pb 定年.地质科技情报,29(5): 23－29.