

福建龙海深澳变质岩锆石 U-Pb 同位素 年代学及地质意义^{*}

黄长煌

(福建省地质调查研究院,福州 350013)

摘要:通过研究福建龙海深澳变质岩岩石学、岩石地球化学、锆石 U-Pb 同位素年代学特征,探讨研究区变质岩的源岩、原岩和构造动力变质的年代学特征及其地质意义。结果表明该区变质岩属副变质岩,原岩为火山—沉积岩类。锆石 U-Pb 同位素定年的结果主要有:(1) 1572 ± 39 Ma 及 2149 ± 39 Ma,为中元古代和古元古代基底的区域变质年龄;(2) 248.1 ± 8.1 Ma 及 250.4 ± 2.4 Ma,为早、晚三叠世火山—岩浆年龄;(3) 186.4 ± 6.6 Ma,为早侏罗世火山—沉积岩形成年龄;(4) 156.7 ± 2.0 Ma,为晚侏罗世韧性剪切变形、变质形成二云石英糜棱岩或片岩的峰期年龄。

关键词:龙海深澳;亲营山组;LA-ICP-MS 锆石定年;早侏罗世

中图分类号:P588.3

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2016)01-028-08

研究区位于福建省东南部龙海县,地处欧亚板块东南缘,中国东南沿海北东向长乐—南澳断裂带,备受地质学界瞩目的“澳角群”(亲营山组)^[1]。该条陆缘构造带朝北东向延伸经朝鲜半岛南部和日本,与俄罗斯远东地区的锡霍特造山带相连,构成一条长达 5000 余千米的陆缘构造带^[2-3]。作为陆缘构造带的一部分,长乐—南澳断裂带的大多数岩石变形变质强烈,被认为属于变质岩^[4-7]。近年的研究表明,大量变形强烈的岩石属中生代花岗岩类^[8-14],其中是否存在副变质岩?时代是否为前泥盆纪?这些问题成为学者们争议的焦点。

本文在野外地质调查、岩石学、人工重砂、锆石 U-Pb 同位素特征研究的基础上,探讨变质岩原岩恢复。通过变质岩锆石 LA-ICP-MS 年龄测定,确定原岩形成及变质时代,初步确定原岩为副变质岩,形成时代为早侏罗世,变质时代为晚侏罗世,这对研究长乐—南澳断裂带的构造属性具有重要意义。

1 区域地质特征

研究区位于长乐—南澳构造带南东部(图 1),主要地层为亲营山组^[15],呈北东向展布,面积约 0.2 km²,主要岩性为黑云母石英片岩、石榴石矽线石片

岩、黑云变粒岩等,原认为属前泥盆纪^[1-3]。侵入岩主要为晚侏罗世和早白垩世花岗岩类,由花岗闪长岩、二长花岗岩和正长花岗岩组成杂岩体。由于晚侏罗世和早白垩世早期的侵入岩变形强烈,常有糜棱岩化、片麻岩化等,有时被认为属构造片岩类,主要由晚中生代花岗岩组成北东向展布的长条状或长轴状岩体组成杂岩体或糜棱岩化带。

2 样品特征及分析方法

2.1 样品特征

本次采集用于 LA-ICP-MS 同位素年龄测定的样品 1 件,配套人工重砂、全岩硅酸盐、微量元素及稀土元素分析。采样地点为龙海深澳,坐标为:东经 $118^{\circ}05'19''$,北纬 $24^{\circ}20'49''$,样品岩性为灰色二云母石英片岩,取自 1:25 万厦门幅圈定的亲营山组。

二云母石英片岩具片状、粒状变晶结构,片理构造。矿物主要有石英(30%~40%)、白云母(25%~30%)、黑云母(20%),斜长石(5%~10%)、石榴石(3%~10%)等。矿物生成顺序分为三个世代:

第一世代为碎粒状长英质,占全岩 5%,主要呈他形粒状,具定向排列,由于受后期改造仅残留于浅色条带中,主要为长石、石英,是第二世代石榴石中的残存体。

* 收稿日期:2015-06-17 改回日期:2015-10-09 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“闽台中生代构造—岩浆区区域地质专项调查子项目”(项目编号:12120114043301)。

第一作者简介:黄长煌,1962 年生,男,高级工程师,从事地质矿产调查工作。

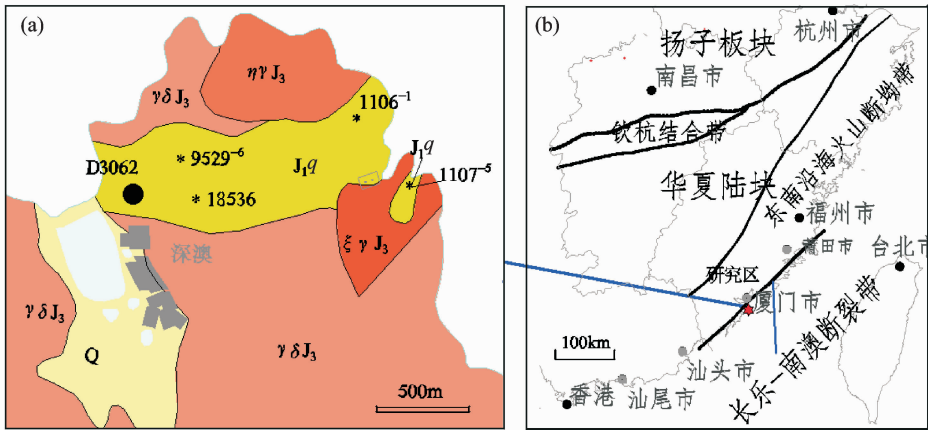


图 1 研究区采样位置(a)及大豆构造位置(b)图(a 据 1:25 万厦门幅地质图修改;b 据华东地区矿产资源潜力评价,2013 修改)

Fig. 1 (a) Sample locations of the studied area(modified from 1:250000 Xiamen Geological map)and (b) tectonic position of the studied area (modified from Potential assessment for mineral resources in East China in 2013)

J₁q-上侏罗统亲营山组;ξγJ₃-晚侏罗世正长花岗岩;ηγJ₃-晚侏罗世二长花岗岩;γδJ₃-晚侏罗世花岗闪长岩;• D3062-本次样品位置;* 9529⁻⁶-前人采样位置

第二世代为铁铝榴石,占全岩 3%~10%,呈粒状变晶结构,0.25~1 mm,外围受第三世代矿物交代,其中包裹了早期形成的碎粒状长石、石英、白云母等矿物,石榴石为较早结晶的变斑晶。

第三世代包括两种矿物集合体的分带,即粒状长英质和云母片状条带。长英质条带为长石(斜长石为主,具不清晰的双晶纹)、石英、黑云母等,以条带状集合体为主,条带宽 1~4 mm,矿物粒度 0.3~0.5 mm,长轴方向与条带间具夹角,具有逆时针运动特征,说明该世代矿物重结晶受应力控制,使矿物定向排列,其方向与片状矿物的方向总体相同。云母片状条带为黑云母+白云母+石英,云母呈片状,长 0.5~1 mm,定向排列,石英属重结晶矿物,外边界呈不规则状,矿物是在强应力作用下重结晶的产物。

对锆石进行了人工重砂详细鉴定,据磨圆度不同,锆石有磨圆状(60%)、次棱角状(15%)和自形晶(25%)三种类型。磨圆状锆石颗粒细小,粒径为 0.04~0.08 mm,表面具有粗糙擦痕,属继承锆石,原岩应属变质岩。次棱角状锆石与自形晶锆石粒度较大,粒径为 0.08~0.12 mm,次棱角状为主。晶体裂纹发育,具有三角形断面等火山碎屑特征。

2.2 分析方法和步骤

锆石 U-Pb 同位素年龄测定在中国地质科学院矿产资源所完成。样品采用新鲜的原岩样,破碎后进行人工重砂详细鉴定,确定目标样品作为分析样品后,进行锆石挑选、制靶和抛光,对锆石作阴极发光图像。配套的全岩样品硅酸盐全分析在福建省地质测

试中心完成。

锆石微量元素和 U-Pb 同位素定年利用 LA-Q-ICP-MS 同时分析完成。激光剥蚀系统为 Newwave UP213,ICP-MS 为 Bruker M90。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 Y 型接头混合。每个时间分辨分析数据包括约 15~20 s 的空白信号和 45 s 的样品信号。对分析数据的离线处理采用软件 ICPMSDataCal^[18]完成,详细的仪器操作条件和数据处理方法见文献[19]。锆石微量元素利用 SRM610 作为外标、Si 作内标。USGS 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库。U-Pb 同位素年龄测定中采用锆石标准 GJ-1 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5~10 个样品点,分析 2 次 GJ-1。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 GJ-1 的变化采用线性内插的方式进行校正^[20]。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot 完成。

3 测试结果

样品的岩石化学成分及参数见表 1。D3062 为本次取样,其余为 1:25 万厦门东山幅报告^[1]的成果资料。

3.1 主量元素

研究区主量元素 SiO₂、Al₂O₃、CaO、Na₂O、K₂O 变化较大(表 1),SiO₂ 含量为 64.18%~69.44%、K₂O 含量为 3.06%~5.83%,利用变质岩尼格里图解及变质岩原岩差别图等对变质岩成分进行投影(图 2、图 3),结果显示投点均落在沉积岩区,

并近于火成岩区,说明原岩可能属带有火山物源或 火山质沉积的副变质岩。

表 1 龙海深澳变质岩岩石化学成分及参数

Table 1 Petrochemical compositions and parameters of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai

样本编号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
D3062	二云石英片岩	67.96	0.69	15.97	1.82	2.65	0.103	1.28	1.2	3.06	3.06
35-9529-6	含砂线石二云石英片岩	64.18	0.75	20.43	1.02	2.29	0.04	1.06	0.21	0.65	5.83
35-18536-1	石榴子石云母片岩	69.44	0.69	17.15	1.61	2.52	0.08	1.00	0.30	0.44	4.96
XM-1106-1	二云石英片岩	67.41	0.79	16.79	1.43	3.06	0.12	1.24	0.96	2.13	3.97
XM-1107-5	二云石英片岩	65.61	0.97	16.79	1.46	3.53	0.11	1.61	0.99	1.84	4.67
样本编号	岩石名称	P ₂ O ₅	总量	al	fm	c	alk	si	k	mg	c/fm
D3062	二云石英片岩	0.061									
35-9529-6	含砂线石二云石英片岩	0.04	99.90	57.06	21.27	1.07	20.61	304.18	0.86	0.37	0.05
35-18536-1	石榴子石云母片岩	0.09	100.19	52.78	26.80	1.68	18.75	362.65	0.88	0.31	0.06
XM-1106-1	二云石英片岩	0.11	99.40	44.91	29.56	4.67	20.87	305.98	0.55	0.33	0.16
XM-1107-5	二云石英片岩	0.20	99.69	42.59	32.34	4.57	20.50	282.47	0.63	0.37	0.14

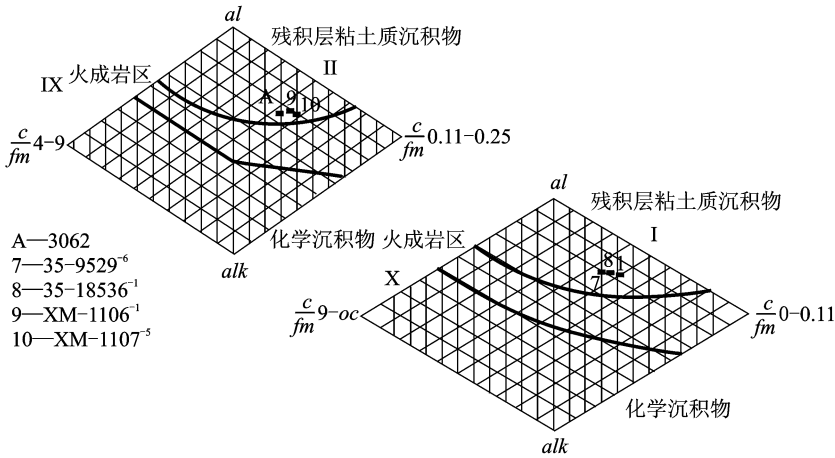


图 2 龙海深澳变质岩尼格里图解

Fig. 2 Nigri diagrams of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai

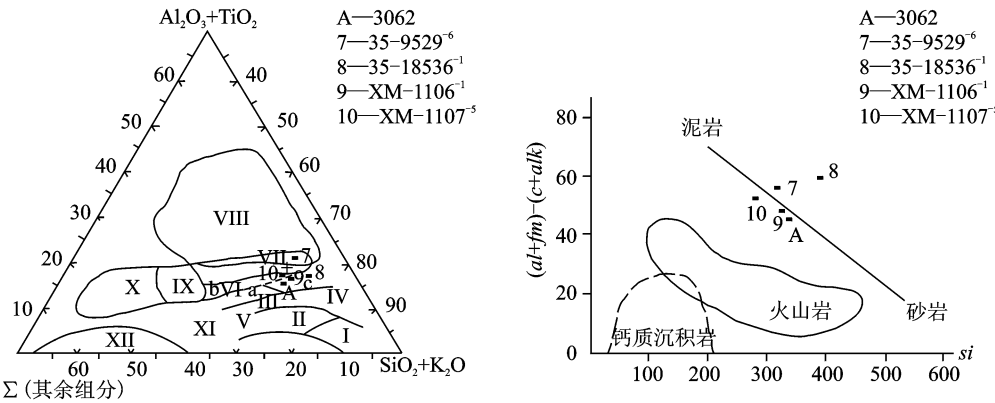


图 3 龙海深澳变质岩原岩差别图解

Fig. 3 Difference diagrams of protolith of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai

I-石英砂岩、石英岩区; II-少矿砂岩、石英岩质砂岩区; III-复矿砂岩区; IV-长石质砂岩区; V-钙质砂岩; VI-化学上弱分异的沉积物区; a-主要为杂砂碛亚区; b-主要为复矿粉砂岩亚区; c-泥质砂岩及寒带和温带气候的陆相粘土亚区; VII-化学上分异中等的沉积物、寒带和温带气候的海陆相粘土区; VIII-潮湿气候带化学上强分异的粘土区; IX-碳酸盐质含铁粘土和陆相粘土区; X-泥灰岩区; XI-硅质泥灰岩及含铁砂岩区; XII-含铁石英岩(粘土碧玉岩)区。

3.2 稀土元素

用于测定稀土元素的新鲜样品仅 1 件,分析结果如表 2。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图 4)显示,稀土配分曲线为左高右低的斜直线,未出现

亏损,为 I 型花岗岩类^[8]。

3.3 锆石 U-Pb 年龄测定

样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果见表 3。

表 2 龙海深澳变质岩稀土元素分析结果(10⁻⁶)

Table 2 REE analysis results (10⁻⁶) of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai

样号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
3062	二云石英片岩	34.9	67.74	7.96	29.1	5.15	1.31	3.6	0.52	2.2	0.32	0.79
样号	岩石名称	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	δEu	ΣREE	LRE/HRE	
3062	二云石英片岩	2.2	0.32	0.79	0.09	0.58	0.08	7.53	0.99	161.87	9.22	

表 3 D3062 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic ages of sample D3062

测点号	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	rho	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	一致性
—11	0.123 613	4.525 386	0.264 928	0.56	0.18	2 009.0	25.8	1 735.6	14.0	1 515.0	12.7	86%
—12	0.118 249	4.812 406	0.294 391	0.69	0.27	1931.5	32.3	1 787.1	16.8	1 663.4	20.1	92%
—13	0.130 146	4.733 656	0.265 267	0.68	0.13	2 099.7	44.1	1 773.2	18.0	1 516.7	19.9	84%
—14	0.138 586	1.945 592	0.101 471	0.48	0.11	2 209.6	25.3	1 096.9	10.5	623.0	4.4	44%
—15	0.127 626	0.555 342	0.031 435	0.31	0.58	2 065.7	59.1	448.5	12.8	199.5	2.2	23%
—16	0.100 228	0.548 839	0.039 274	0.44	0.65	1 628.1	44.9	444.2	11.1	248.3	3.3	43%
—17	0.112 090	3.915 156	0.253 301	0.86	0.40	1 835.2	30.7	1 616.8	19.7	1 455.5	27.5	89%
—18	0.085 316	0.751 543	0.063 828	0.35	0.02	1 324.1	63.6	569.1	13.3	398.9	4.2	64%
—19	0.159 167	5.779 597	0.261 503	0.32	0.07	2 446.6	48.6	1 943.4	23.7	1 497.5	11.6	74%
—20	0.229 566	6.595 537	0.201 496	0.24	0.15	3 049.1	134.1	2 058.8	92.4	1 183.4	27.0	45%
—21	0.147 229	5.379 026	0.265 502	0.50	0.20	2 313.9	27.9	1 881.5	14.6	1 517.9	23.6	78%
—22	0.150 371	5.017 745	0.240 985	0.66	0.30	2 350.3	34.0	1 822.3	19.2	1 391.8	18.8	73%
—23	0.123 221	4.688 445	0.274 830	0.66	0.42	2003.4	19.6	1 765.2	12.0	1 565.3	13.1	87%
—24	0.081 228	1.549 900	0.138 521	0.59	0.01	1 227.8	45.4	950.5	11.9	836.3	8.9	87%
—27	0.099 662	0.462 628	0.033 645	0.36	0.56	1 617.6	44.9	386.1	7.1	213.3	1.6	42%
—28	0.134 412	4.332 973	0.234 209	0.49	0.17	2 166.7	38.9	1 699.7	14.5	1 356.5	10.5	77%
—29	0.095 984	0.567 855	0.043 151	0.20	0.31	1 547.2	90.9	456.6	16.5	272.3	2.4	49%
—30	0.135 722	3.255 687	0.174 460	0.77	0.03	2 173.2	31.5	1 470.5	11.9	1 036.6	11.3	65%
—31	0.123 192	4.101 951	0.241 482	0.84	0.19	2 002.8	27.8	1 654.7	15.7	1394.4	20.2	82%
—34	0.145 982	2.730 282	0.137 310	0.80	0.19	2 299.7	38.9	1 336.7	12.5	829.4	10.5	53%
—35	0.140 635	0.556 659	0.028 711	0.33	0.42	2 234.9	63.0	449.3	13.0	182.5	2.1	15%
—36	0.131 242	4.980 191	0.275 462	0.79	0.33	2 114.5	25.6	1 816.0	13.4	1 568.5	17.5	85%
—37	0.233 078	8.665 208	0.252 596	0.40	0.46	3 073.2	67.1	2 303.4	60.5	1451.9	34.2	54%
—38	0.125 513	1.287 319	0.073 381	0.06	0.40	2 036.1	290.0	840.1	91.3	456.5	4.1	40%
—39	0.065 710	0.251 795	0.027 711	0.33	0.37	798.2	76.8	228.0	8.5	176.2	2.4	74%
—40	0.140 827	0.605 791	0.029 201	0.21	0.35	2 238.9	109.4	480.9	31.0	185.5	3.1	11%
—41	0.134 963	0.466 858	0.025 290	0.42	0.35	2 164.8	53.5	389.0	9.0	161.0	1.9	17%
—42	0.122 853	3.927 993	0.231 965	0.72	0.06	1 997.8	30.1	1 619.5	11.7	1 344.8	12.6	81%
—44	0.118 928	3.596 767	0.219 850	0.95	0.06	1 940.4	25.3	1 548.8	17.1	1 281.1	23.9	81%
—46	0.097 736	0.477 132	0.035 307	0.23	0.25	1581.2	63.0	396.1	11.4	223.7	1.7	44%
—47	0.095 585	0.525 908	0.039 759	0.19	0.28	1 539.8	68.8	429.1	13.9	251.3	1.9	47%
—48	0.102 305	0.601 196	0.042 591	0.54	0.25	1 666.4	47.8	478.0	10.5	268.9	3.9	44%
—49	0.210 091	2.246 184	0.077 514	0.38	0.55	2 906.5	33.2	1 195.6	17.8	481.3	4.4	14%

续表 3

测点号	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	rho	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	一致性
—51	0.131 364	4.735 358	0.261 419	0.62	0.21	2 116.4	29.8	1 773.5	13.4	1 497.1	13.1	83%
—52	0.095 743	2.692 913	0.203 479	0.58	0.41	1 542.9	23.0	1 326.5	9.9	1 194.0	8.5	89%
—53	0.116 404	3.820 463	0.237 272	0.63	0.09	1 901.5	22.1	1 597.1	12.0	1 372.5	11.6	84%
—54	0.097 685	1.197 280	0.088 858	0.62	0.02	1 580.6	33.3	799.3	9.7	548.8	5.7	62%
—55	0.094 041	0.391 452	0.029 987	0.24	0.45	1 509.3	52.8	335.4	8.4	190.5	1.3	44%
—56	0.143 263	4.841 267	0.245 135	0.58	0.06	2 333.3	28.1	1 792.1	12.0	1 413.3	10.6	76%
—57	0.143 408	0.478 075	0.023 932	0.32	0.42	2 268.8	65.7	396.8	14.2	152.5	2.1	11%
—58	0.116 601	2.841 386	0.176 503	0.51	0.18	1 905.6	28.7	1 366.5	11.5	1 047.8	7.5	73%
—59	0.120 436	3.843 815	0.231 189	0.58	0.26	1 962.7	23.0	1 602.0	12.6	1340.7	10.8	82%
—60	0.128 297	3.722 030	0.209 991	0.39	0.20	2 075.9	34.6	1 576.1	15.6	1 228.8	8.5	75%
—61	0.161 957	4.562 196	0.204 945	0.31	0.14	2 476.2	47.1	1 742.4	23.0	1 201.8	9.3	63%
—62	0.058 483	0.307 771	0.038 173	0.42	0.24	546.3	44.4	272.5	4.7	241.5	1.9	87%
—63	0.147 027	5.046 753	0.248 664	0.77	0.08	2 322.2	27.2	1 827.2	15.3	1 431.6	17.9	75%
—64	0.107 561	0.436 874	0.029 527	0.44	0.42	1 758.3	48.3	368.0	6.8	187.6	1.8	35%
—66	0.152 440	3.820 556	0.182 852	0.54	0.10	2 373.8	46.3	1 597.1	18.6	1 082.5	12.4	61%
—67	0.135 265	4.509 771	0.241 078	0.48	0.06	2 168.5	23.3	1 732.8	11.4	1 392.3	8.2	78%
—68	0.095 810	0.494 910	0.037 107	0.28	0.58	1 544.1	257.6	408.3	11.7	234.9	2.3	46%
—69	0.255 358	6.577 218	0.188 179	0.49	0.10	3 218.2	58.0	2 056.3	31.1	1 111.5	17.6	40%
—70	0.090 873	0.497 646	0.039 776	0.22	0.31	1 444.1	74.1	410.1	12.7	251.4	2.0	52%

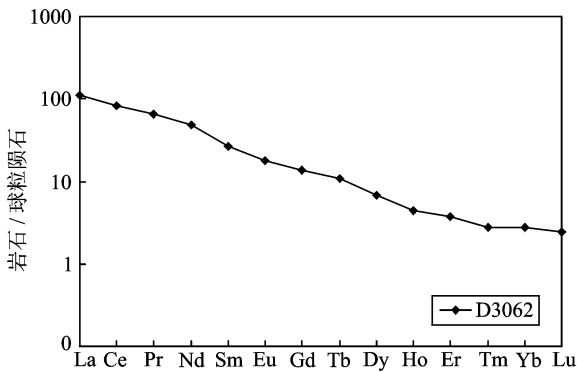


图 4 龙海深澳变质岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai

龙海深澳二云石英片岩锆石颗粒细小, CL 图像表明锆石主要为磨圆状和短柱状,粒度为 50~130 μm,长/宽为 3:1~2:1,具有三期成因:(1)变质成因锆石,呈磨圆状,锆石环带宽而边界模糊;(2)岩浆锆石,具有良好的岩浆振荡环带,为典型岩浆锆石;(3)变质增生锆石,在(1)和(2)锆石的外围具有贝壳状的生长环带,环带具有模糊边界,属变质增生锆石,可能为片岩形成同时结晶的部分。

锆石同位素年龄测定结果的处理原则为:当年

龄值<1 000 Ma 时采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 表观年龄,当年龄值>1 000 Ma 时采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表观年龄。年龄分布均以年代为横轴(同位素测定年龄的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表观年龄),以年龄测定的测点频数为纵轴作年代—频数直方图。

(1)²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄测定。二云石英片岩锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄频谱图(图 5)表明其年龄分布于 100~900 Ma,呈单峰状,峰值在 200 Ma 附近。

①早侏罗世:属峰值区,达 12 个点。其中 39、35、40、64、55 等 5 个点相对集中,获得加权平均年龄值为 186.4±6.6 Ma。用于年龄测定的锆石具火山碎屑特征,呈碎屑状,具不规则三角形等外形,边界呈不规则状,晶体内裂隙呈不规则状,长 80~100 μm,宽约 50 μm,锆石长/宽为 2:1,Th/U 为 0.25~0.58,>0.2,具有良好的振荡环带,属岩浆结晶锆石。结合锆石具有火山碎裂状特点,推测属火山锆石(火山凝灰物质),186.4±6.6 Ma(早侏罗世)可能为火山—沉积岩形成的年龄。

②早、晚三叠世:各有 3 个测点,各占总测点的 5.77%,锆石长/宽为 3:1~2:1,Th/U 为 0.25~0.58,>0.2,具有良好的振荡环带,属岩浆结晶锆石,呈次棱角状,属近源搬运的继承锆石。早三叠世锆石年龄分布在 241.5~251.4 Ma,平均 248.1±8.1 Ma,集中度较高,说明源岩区存在一次较强烈的火

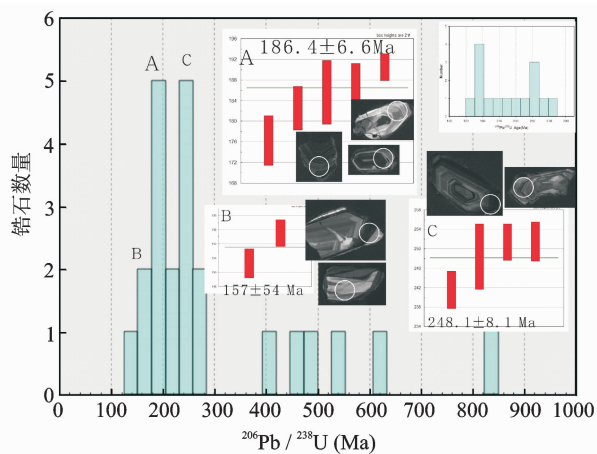


图 5 龙海深澳二云石英片岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄频谱图

Fig. 5 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age spectrogram of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai

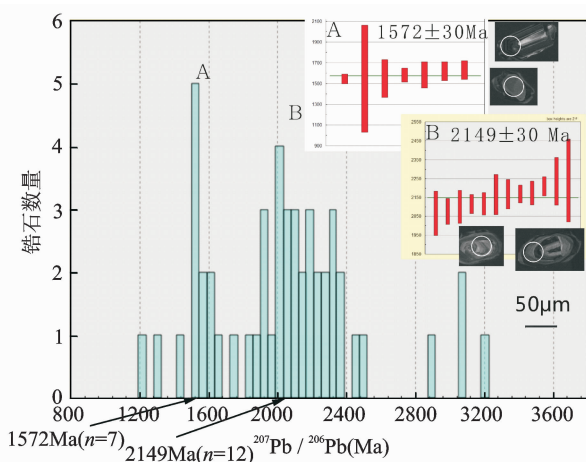


图 6 龙海深澳二云石英片岩锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄频谱图

Fig. 6 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age spectrogram of metamorphic rocks in Shen'ao, Longhai

山一岩浆作用。晚三叠世锆石年龄分布在 213.3~234.9 Ma, 平均 250.4 ± 2.4 Ma。

③晚侏罗世:有 2 个测点, 占总测点的 3.85%, 锆石长/宽为 3:1, Th/U 为 0.25~0.58, 均 > 0.2 , 具岩浆结晶锆石特征, 且边缘具黑化或白化边, 表明其是在岩浆结晶锆石基础上增生的新生变质锆石外壳, 代表了变质岩峰期。测定的年龄为 152.5 Ma 和 161.0 Ma, 平均为 156.7 ± 2.2 Ma, 即为晚侏罗世。此外, 还有少量锆石分布在 623~836.3 Ma, 属新元古代。

(2) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄测定。二云石英片岩锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄频谱图(图 6)可知, 年龄呈多峰式分布, 主要有 A、B 两个峰值。

①中元古代(1 000~1 600 Ma):峰值 A 的锆石相对集中, 7 个点获得加权平均值为 1572 ± 30 Ma。锆石以继承性、变质锆石为主, 其次为具良好振荡环带的岩浆成因锆石。长 80~120 μm , 宽约 40~60 μm , 锆石长/宽为 2:1, Th/U 在 0.02~0.03 及 0.25~0.65 之间。前者 < 0.2 , 无振荡环带, 为变质成因锆石; 后者 > 0.2 , 具良好振荡环带, 属岩浆结晶锆石, 考虑锆石具不同程度的磨圆, 属继承性锆石。

②古元古代(1 600~2 500 Ma):峰值 B, 12 个点求得加权平均值为 2149 ± 30 Ma。锆石长/宽为 2:1, Th/U 一般为 0.03~0.2, 无振荡环带, 具变质锆石特征, 呈磨圆状, 属继承锆石。年龄分布在 1 800~2 400 Ma, 说明锆石来源于古元古代变质岩。

此外, 还有少量锆石分布在 2 906.5~3 218.2 Ma, 属太古代。

4 讨论

4.1 变质岩的原岩

深澳一带的片岩中二云片岩、石榴二云石英片岩、黑云斜长变粒岩等常呈一定的“韵律”产出, 在同一剖面上, 还可见砂线二云片岩、砂线黑云斜长变粒岩、斜长角闪片岩构成的“韵律”, 说明岩石分异强烈, 成因可能与构造—变质作用有关。

样品(D3062)薄片不能准确确定原岩, 原因是变质太深, 未能观察到具有原岩特征的标志。全岩硅酸盐投影在沉积岩区而靠近火山岩, 原岩可能属沉积岩类^[1]。本次人工重砂及锆石 CL 影像发现了磨圆锆石和火山碎屑锆石。磨圆锆石的特征为: (1) 人工重砂鉴定, 磨圆锆石 60%, 颗粒较小, 0.04~0.08 mm, 呈圆状, 表面的磨圆特征明显; (2) 锆石 CL 像图, 磨圆锆石约占总量的 60%, 主要为变质结晶锆石; (3) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄测定, 磨圆锆石为新元古代或中元古代, 进一步证明锆石来自元古代变质岩, 原岩属副变质岩。自形晶锆石的特征为: (1) 人工重砂鉴定, 颗粒较小, 0.08~0.12 mm, 自形晶, 其中可见破裂面及不规则断口等, 可能属火山碎屑。 (2) 锆石 CL 像图, 锆石颗粒细小, 50~130 μm , 发育断口、裂隙等, 同时振荡环带发育良好, 具有火山碎屑特征。 (3) 锆石 U-Pb 同位素定年, 具岩浆环带(火山碎屑)的锆石年龄测定为早侏罗世。

综上, 原岩可能属沉积—火山岩类, 与全岩化学成分及稀土元素特征相印证, 即原岩可能属 I 型花

岗岩类,或同成因的火山岩。

4.2 各年龄的地质意义

通过二云石英片岩中的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年,发现有三组年龄,分别代表源岩年龄、变质岩原岩形成年龄和变质年龄。

(1)源岩年龄:年龄测定对象为磨圆状继承的锆石,具宽大而模糊的生长纹,其²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄为 $1\,572\pm39$ Ma 及 $2\,149\pm39$ Ma,属中元古代和古元古代,仅少量属新元古代,代表物源区变质岩的区域变质年龄,与华夏陆块基底变质岩年龄^[2-4]基本一致,说明研究区与闽北地区具有相同的基底。少量次棱角状锆石年龄²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 248.1 ± 8.1 Ma 及 250.4 ± 2.4 Ma,属早、晚三叠世,显示源区具有与闽西南地区不同的基性火山—岩浆过程。

(2)原岩年龄:所测锆石具有岩浆结晶锆石特征,环带发育良好,但具有晶体细小、裂纹发育等火山晶屑锆石特征,表明其可能属火山作用的产物,年龄为 186.4 ± 6.6 Ma,代表变质岩原岩的形成年龄为晚侏罗世。

(3)变质年龄:测点为锆石边缘的白化或黑化边缘,具变质增生锆石特征,代表沉积—火山岩原岩形成后的变质峰期,年龄为 156.7 ± 2.0 Ma,为晚侏罗世。

4.3 形成的构造环境

变质岩原岩形成时代为早侏罗世,华夏陆块此时正经历了重要的裂陷期^[21],在其内部形成藩坑组火山岩和下村组浅海相沉积岩。本区位于陆块边缘,在裂陷期可能出现类似的浅海相沉积—火山作用,类似于藩坑组的基性火山岩,同时有大量的陆源碎屑物质沉积,类似下村组。其形成的构造环境为华夏陆块边缘的裂陷槽,发生陆源碎屑+浅海相火山物质或它们的交替沉积,即在长乐—南澳断裂带的东侧裂陷槽浅海沉积陆源碎屑—火山物质,形成亲营山组。

5 结 论

(1)龙海深澳地区岩石经历了区域变质,形成中—古元古代副变质岩基底。经风化、剥蚀、搬运,在早侏罗世开始与火山喷发一起沉积,形成火山—沉积岩;之后,遭受韧性剪切变形、变质,形成二云石英糜棱或片岩等。

(2)锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果主要有:一是 $1\,572\pm39$ Ma 及 $2\,149\pm39$ Ma,为中元古代和古元古代基底的区域变质年龄;二是 248.1 ± 8.1 Ma

及 250.4 ± 2.4 Ma 为早、晚三叠世火山—岩浆年龄;三是 186.4 ± 6.6 Ma,为早侏罗世火山—沉积岩形成年龄;四是 156.7 ± 2.0 Ma,为晚侏罗世韧性剪切变形、变质形成二云石英糜棱或片岩等的峰期年龄。

(3)由上表明,该区为中—古元古宙组成的华夏古陆。早侏罗世,在华夏古陆东南边缘产生裂陷槽,伴随火山喷发,与陆源碎屑和锆石在浅海环境沉积,形成火山—沉积岩;晚侏罗世,随着区域板块的推挤和反时针剪切扭动,形成二云石英糜棱或片岩等构造带,裂陷槽也随之关闭。

致谢:在成文过程中得到陈润生、周维瑞、郑明泉、许仙斌、侯可军等专家及同事的指导与帮助,在此表示感谢。

参考文献

[1] 福建省地质调查研究院. 中华人民共和国厦门市幅, 东山县幅 1: 25 万区域地质报告[R]. 福州: 福建省地质调查院, 2002.

[2] 福建省地质勘查开发局. 福建省地质图(1:500000)及说明书[M]. 福州: 福建省地图出版社, 1998.

[3] 福建省地质勘查开发局. 福建省地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

[4] 福建省地矿局区域地质调查队. 长乐—东山断裂带, 平潭—南澳褶皱带性质及意义的研究“七·一五”地矿部重点科技攻关项目研究成果报告[R]. 福州: 福建省地矿局区域地质调查队, 1988.

[5] 福建省地矿局区域地质调查队. 长乐—南澳断裂带, 平潭—南澳褶皱带的性质和意义研究[R]. 福州: 福建省地矿局区域地质调查队, 1988.

[6] 黄辉, 郭坤一, 李声固, 等. 福建省长乐—南澳断裂带、平潭—东山褶皱带基本特征的研究[J]. 福建地质, 1993, 12(1): 48-67.

[7] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 中国东南部地体构造的研究[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1984, 20(4): 732-739.

[8] 周旋, 于津海. 福建沿海中生代变质带中花岗质岩石的地球化学[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 282-292.

[9] 冯艳芳, 邓晋福, 肖庆辉, 等. 长乐—南澳构造带花岗岩类年代学岩石组合与构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 2013.

[10] 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.

[11] 肖庆辉, 刘勇, 冯艳芳, 等. 中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块俯冲消减关系的讨论[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1092-1101.

[12] 吴根耀,矢野孝雄. 东西大陆边缘的构造构架及其中—新生代演化[J]. 地质通报,2001,26(7):787-800.

[13] 邢光福,卢清地,姜杨,等. 闽东南长乐—南澳断裂带“片麻状”浆混杂岩的厘定及其地质意义[J]. 地质通报,2010,29(1):31-43.

[14] 石建基. 闽南沿海地区变质变形侵入岩时序划分及其地质意义[J]. 福建地质,2010,29(4):323-333.

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

[16] 石建基,张守志. 长乐—南澳断裂带中生代活动特征及大地构造属性[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(6):1333-1343.

[17] HOU K J, LI Y H, TIAN Y Y. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion couting-ICP-MS [J]. Geochemica Et Cosmochimica Acta, 2009, 28(4):481-492.

[18] 侯可军,李延河,田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质,2009,28(4):481-492.

[19] LIU Yongsheng, GAO Shan, HU Zhaochu, et al. 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[J]. Journal of Petrology, 2010,51(1/2):537-571.

[20] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984:194-215.

Zircon U-Pb isotopic geochronology of metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai, Fujian Province and its geological significance

HUANG Chang-huang
(Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350013, China)

Abstract: By studying of petrology, petrochemistry and zircon U-Pb isotopic geochronology of the metamorphic rocks in the Shen'ao area, Longhai, Fujian Province, this study discussed the geochronology of source rocks, protolith and dynamic metamorphism and its geological significance. The result shows that the metamorphic rocks can be classified to para-metamorphic rocks, with protolith being pyroclastic to sedimentary rocks. The zircon U-Pb isotopic age dating results are given as follows: $1\ 572\pm39$ Ma and $2\ 149\pm39$ Ma represent the regional metamorphism age of basement in the Mesoproterozoic and Paleoproterozoic; 248.1 ± 8.1 Ma and 250.4 ± 2.4 Ma indicate the ages in early-late Triassic; and the ages of 186.4 ± 6.6 Ma and 156.7 ± 2.0 Ma represent the formation ages of early Jurassic pyroclastic to sedimentary rocks and peak age for formation of two-mica quartz mylonite or schist resulting from late Jurassic ductile shear deformation, respectively.

Key words: Shen'ao area; Longhai; Qinyingshan Formation; LA-ICP-MS zircon age dating; early Jurassic

