

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.03.002

引用格式:黄长煌. 福建长乐—南澳断裂带南务里变质岩碎屑锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 华东地质, 2018, 39(3): 169-176.

福建长乐—南澳断裂带南务里变质岩碎屑 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义

黄长煌

(福建省地质调查研究院, 福州 350013)

摘要: 福建南务里变质岩位于长乐—南澳断裂带北段, 主要由矽线石二云母石英片岩和矽线石黑云母石英片岩组成, 超覆于片麻状花岗岩之上。岩石学特征表明: 南务里变质岩的原岩为陆源碎屑岩。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱出现 2 个峰值: 第一峰值为 189.6 ± 5.7 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中于 199~182 Ma; 第二峰值为 1899 ± 4 Ma, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄集中于 1922~1831 Ma。前者锆石自形晶较好, 环带明显, Th/U 值为 0.4~0.96, 稀土元素明显分异, 属于岩浆锆石; 后者锆石磨圆度较高, 环带不明显, Th/U 值为 0.03~0.3, 稀土元素分异不明显, 属于变质锆石; 部分为岩浆锆石, Th/U 值 > 0.3 , 稀土元素分异明显。189.6±5.7 Ma 代表该区变质岩原岩的沉积时代, 原岩层位相当于早侏罗世梨山组。

关键词: 亲营山组; 早侏罗世; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 南务里变质岩; 福建

中图分类号: P588.3

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2018)03-169-08

福建南务里变质岩位于华夏地块东南部长乐—南澳断裂带北段, 以往将其归入澳角群亲营山组^[1-8]。亲营山组是长乐—南澳断裂带中最典型的变质岩(图 1), 也是长期争议的热点^[1,4,6-7], 争议焦点是亲营山组的形成时代、原岩性质和大地构造环境等^[1-11]。一些研究者认为亲营山组变质岩属古老基底的组成部分, 形成时代为前泥盆纪或震旦纪^[4,11]; 另一些研究者认为亲营山组变质岩为晚三叠世—早侏罗世沉积岩经燕山期变质而成^[6,9]; 近些年来, 还有一些学者发现部分亲营山组变质岩属变形变质的花岗岩^[1,7], 是中生代侵入岩体经变质变形作用的产物, 推论长乐—南澳断裂带的变质岩均属正变质岩^[1]。最近工作表明, 在长乐—南澳断裂带沿线, 东山和龙海港尾变质岩以石榴石矽线石二云母片岩夹含炭云母片岩为主, 其形成时代为早侏罗世^[12-13]; 莆田港里矽线石白云母石英片岩为发生

变形变质的岩石, 其形成时代为早白垩世^[14], 但南务里地区变质岩尚未进行专门研究。本文通过对南务里地区变质岩进行野外地质调查, 结合岩石学及锆石同位素年代学等研究成果, 证实南务里地区的变质岩属于副变质岩, 其原岩形成时代为早侏罗世, 形成的构造环境可能为以长乐—南澳断裂带为界的陆内断陷盆地。

1 地质概况

长乐—南澳断裂带沿线分布以片岩、片麻岩、糜棱岩为主的变质岩, 包括曾备受关注的“澳角群”亲营山组和岩雅组。现有研究表明, 亲营山组在福建东山、龙海深澳地区主要为早侏罗世副变质岩^[12-13], 岩雅组主要为变形变质的花岗岩^[1,15]。

南务里变质岩位于长乐—南澳断裂带的北段(图 1), 呈 NE 向残块状断续展布, 面积约 1 km²。

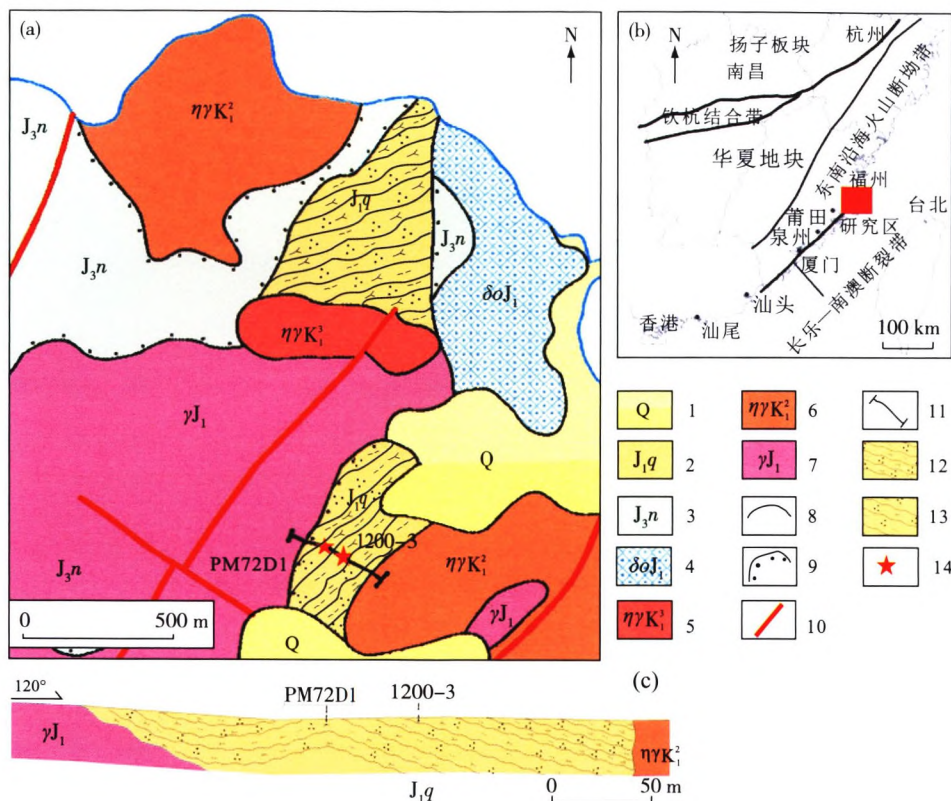
* 收稿日期: 2017-04-26 修订日期: 2017-09-08 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“闽台中生代构造岩浆岩区域地质专项调查(编号: 12120114043301)”和福建省国土资源厅“台湾海峡西部盆地油气资源调查与评价(编号: 闽财指[2015]700 号)”项目联合资助。

作者简介: 黄长煌, 1962 年生, 男, 高级工程师, 主要从事区域地质调查与矿产地质调查研究。

一直以来,该变质岩被划归为亲营山组^[2],其岩性为矽线石二云母石英片岩、矽线石黑云母石英片岩,

岩石呈层状,单层厚约 20~60 cm,产状较平缓,形成背斜。



1. 第四系;2. 早侏罗世亲营山组;3. 晚侏罗世南园组;4. 早侏罗世石英闪长岩;5. 早白垩世晚期二长花岗岩;6. 早白垩世中期二长花岗岩;7. 早侏罗世花岗岩;8. 地质界线;9. 不整合界线;10. 断层;11. 地质剖面;12. 矽线石二云母石英片岩;13. 矽线石黑云母石英片岩;14. 采样位置。

图 1 福建南务里地区地质简图(a)、区域大地构造位置图(b)及剖面图(c)

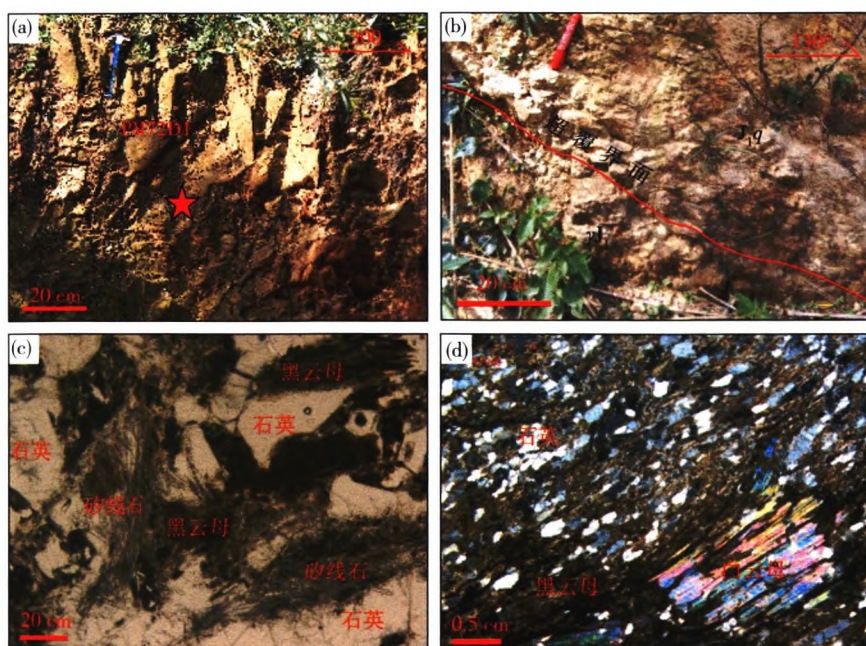
Fig. 1 Simplified geological map (a), regional tectonic position (b) and measured geological section (c) of the Nanwuli area, Fujian Province

2 岩石学特征

据南务里地区变质岩实测地质剖面(图 1(c))及野外露头照片(图 2(a))可知,变质岩主要由矽线石二云母石英片岩和矽线石黑云母石英片岩组成,原岩可能由粗碎屑岩和泥质岩组成。变质岩可辨变余层理构造,说明原岩为沉积岩;云母、矽线石及石英等定向排列构成片理;晚期还有 1 次强烈的白云母结晶作用。变质岩超覆于早侏罗世花岗岩之上(图 2(b)),在接触面见不规则的突变界面,界面主要为花岗岩风化壳,向上为矽线石黑云母石英片岩。在剖面附近的公路壁,还可见亲营山组被早白垩世中期花岗岩侵入,侵入接触界面具 5 cm 的细粒冷凝边。

矽线石黑云母石英片岩呈似层状,产状较平缓,其中少量白云母呈片状沿裂隙分布。显微镜下岩石呈鳞片粒状变晶结构、针状变晶结构,片理构造,主要由石英(65%)、黑云母(20%)、矽线石(15%)和少量白云母等矿物组成(图 2(c))。片状黑云母与针状矽线石呈平行定向排列,构成岩石片理构造。石英为等轴粒状或不规则状,粒径为 0.1~2.5 mm,以 0.2~1.2 mm 为主,长轴略显定向排列,与片理构造一致;石英中包裹针状矽线石。黑云母为鳞片状,片径为 0.1~0.5 mm,Ng=暗红黄色、Np=黄色。矽线石呈针状、纤维状微晶。矽线石无色,最高干涉色二级蓝,正延长,平行消光,部分发生绢云母化蚀变。

矽线石二云母石英片岩呈鳞片粒状变晶结构,



(a). 野外露头及采样点;(b). 亲昔山组不整合于早侏罗世花岗岩之上;(c). 矽线石黑云母石英片岩(单偏光);(d). 矽线石二云母石英片岩(正交偏光)。

图 2 南务里变质岩野外地质特征(a),(b)及岩相学特征(c),(d)

Fig. 2 Field outcrops (a), (b) and petrographical features (c), (d) of the Nanwuli metamorphic rocks

片理构造,主要由石英(55%)、黑云母(20%)、白云母(15%)和矽线石(10%)等组成(图 2(d))。石英呈等轴粒状或不规则状,粒径为 0.1~0.5 mm,长轴略定向排列,与片理构造一致。黑云母呈鳞片状,片径为 0.1~0.6 mm,Ng=暗黄色、Np=黄色,部分被显微鳞片状黑云母取代。白云母呈鳞片状,片径为 0.2~0.8 mm,闪突起,无色,干涉色鲜艳。长石呈不规则状,粒径为 0.1~0.2 mm,部分发生水云母化蚀变。

3 锆石 U-Pb 年代学

3.1 样品特征

本次用于锆石 U-Pb 年龄测试的样品为矽线石黑云母石英片岩(编号:PM72D1),野外露头较连续,宽度>80 m,层面产状为 $130^{\circ}\angle 15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,单层厚度为 0.3~0.8 m(图 2(a)),在露头尺度内未见后期岩体侵入。

3.2 测试方法

将新鲜岩石样品磨制成薄片,在显微镜下观察;将岩石样品破碎、磁选和重选,获取碎屑锆石;在北京铀有限公司完成锆石制靶及阴极发光扫描电镜分

析、透射光和反射光显微照相。在中国冶金地质总局山东局测试中心完成锆石 U-Pb 同位素定年和微量元素含量测试。激光剥蚀系统为 Newwave UP213, ICP-MS 为 Bruker M 90。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 1 个 Y 型接头混合。每个时间分辨分析数据为 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 ICP MS DataCal^[16-17]完成,详细的仪器操作和数据处理见文献[16]。

锆石微量元素含量利用 SRM610 作外标、Si 作内标进行定量计算^[17]。这些 USGS 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库 (<http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>)。U-Pb 同位素定年采用锆石标准 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方式进行校正^[17]。锆石样品 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot 完成。

碎屑锆石通过精选制靶后进行阴极发光(CL)图像和透反照相。锆石阴极发光图像(图 3)表明,锆石内部结构清晰。碎屑锆石可分为自形的岩浆

锆石和磨圆状的古老锆石(变质锆石或岩浆锆石),粒度主要为 $50\sim 80\ \mu\text{m}$ 。其中,自形的岩浆锆石晶形相对完好,发育振荡环带,一般由黑白相间的 3~5 个环带组成,单一环带宽 $5\sim 10\ \mu\text{m}$,主要测点位于锆石边缘,由同类型环带组成测试域($30\ \mu\text{m}$)。

磨圆状的古老锆石部分为变质锆石,边缘有破损,晶形相对较差,常具模糊的环带或不具环带;另一部分为岩浆锆石,具有岩浆锆石生长环带。

本次选择不同类型的 73 颗碎屑锆石进行 U-Pb 年龄测试。

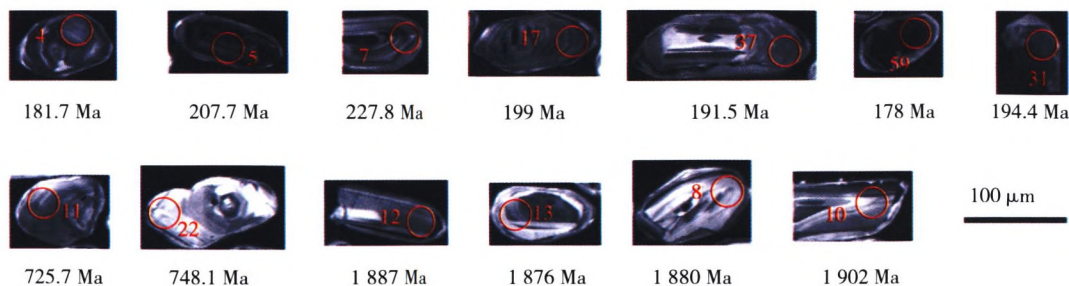


图 3 南务里变质岩代表性锆石 CL 图像及测点位置

Fig. 3 CL images and dating spots of zircons from the Nanwuli metamorphic rocks

4 测试结果

4.1 测年结果

从样品 PM72D1 获得 73 个碎屑锆石测点数

据,代表性锆石 U-Pb 同位素分析数据及年龄值见表 1。本次主要采用图解处理相关的数据及求得的年龄值(图 4)。当年龄 $< 1\ 000\ \text{Ma}$ 时,采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄;当年龄 $\geq 1\ 000\ \text{Ma}$ 时,采用 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄及其平均值^[18-19]。

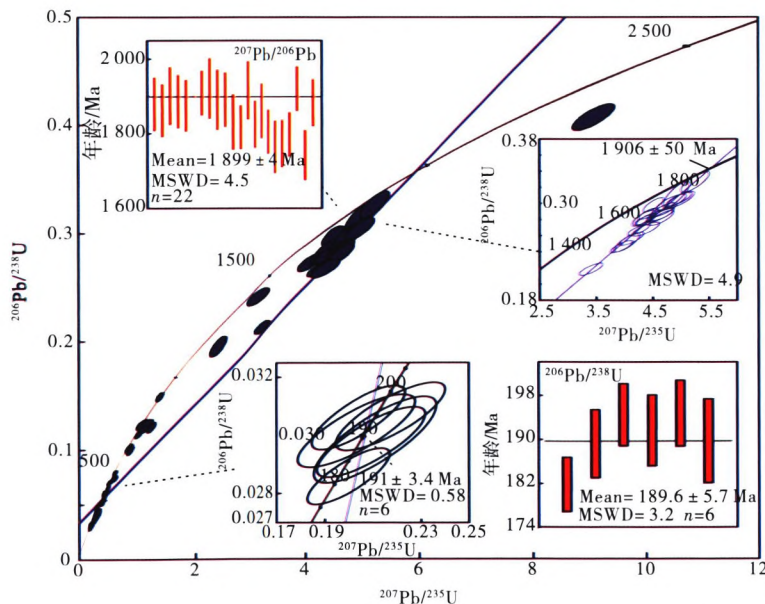


图 4 南务里变质岩(PM72D1)碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb age concordia diagram of detrital zircons from the Nanwuli metamorphic rocks (PM72D1)

由表 1 可知,PM72D1 样品的碎屑锆石中,部分锆石 Th/U 值为 $0.03\sim 0.2$,可能为变质锆石;另一部分锆石 Th/U 值为 $0.4\sim 0.8$,均 > 0.2 ,具有典型的岩浆结晶锆石特征。碎屑锆石年龄明显可分为中生代、新元古代和古元古代 3 组(图 5a)。中生代

碎屑锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布较集中(图 4),范围为 $199\sim 182\ \text{Ma}$,峰值年龄为 $189.6\pm 5.7\ \text{Ma}$,反映其源区主要为早侏罗世火成岩。新元古代碎屑锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $753\sim 698\ \text{Ma}$,反映该区可能存在新元古代岩浆活动,相当于楼前组火山活动时代。

古元古代碎屑锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄主要集中于 1 922~1 831 Ma,平均年龄为 1 899±4 Ma,U-Pb 谐和图(图 4)上交点年龄为1 906±50 Ma,采用 1 899±4 Ma 代表其古老基底物源区的原岩时代,大致对应于区域浙西南龙泉淡竹花岗岩和闽西北天井坪岩组斜长角闪岩的时代。下交点年龄 350±71 Ma,可能代表古老锆石的变质时代。

4.2 锆石稀土元素特征

将南务里亲营山组变质岩(PM72D1)碎屑锆石按 199~182 Ma、753~698 Ma 和1 922~1 831 Ma 等 3 个年龄组作球粒陨石标准化稀土元素配分曲线

图(图 5),稀土元素配分曲线总体左低右高,La—Eu 强烈分异,曲线呈锯齿状,轻稀土元素和 Pr、Eu 亏损,Ce、Sm 富集。

碎屑锆石由老至新具有一定规律。稀土元素总量略下降,但轻稀土元素和重稀土元素丰度呈增加趋势,且轻、重稀土元素分异趋势逐渐减弱。上述特征表明,相同年龄值的锆石具有相似的稀土元素配分特征,不同年龄值锆石的稀土元素配分差异较大,说明古元古代、新元古代、早中生代碎屑锆石可能分别来自同一火成岩源区,揭示该区存在 3 次重要的岩浆事件。

表 1 代表性锆石 U-Th-Pb 同位素分析数据及年龄值
Table 1 Dating data of zircon U-Th-Pb isotopes and calculated age values

测点号	²³² Th/ 10 ⁻⁶	²³⁸ U/ 10 ⁻⁶	Th/ U	同位素比值						表面年龄/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
PM72D1-2	165.4	276.6	0.60	0.054 5	0.003 4	0.309 4	0.029 3	0.040 4	0.002 5	394	136	273.7	22.7	255.5	15.6
PM72D1-4	221.4	424.1	0.52	0.050 3	0.001 8	0.200 0	0.007 1	0.028 6	0.000 4	209	88	185.1	6.0	181.7	2.5
PM72D1-5	1 309.8	1 466.2	0.89	0.052 2	0.001 6	0.237 5	0.008 0	0.032 7	0.000 9	295	72	216.4	6.6	207.7	5.4
PM72D1-7	332.4	742.2	0.45	0.053 1	0.001 8	0.264 4	0.010 6	0.036 0	0.001 1	345	78	238.2	8.5	227.8	6.5
PM72D1-8	104.9	326.9	0.32	0.114 9	0.002 3	4.684 9	0.096 0	0.292 2	0.003 6	1 880	36	1 764.5	17.1	1 652.7	18.0
PM72D1-10	125.6	269.3	0.47	0.116 3	0.002 5	4.629 1	0.099 3	0.286 1	0.003 7	1 902	39	1 754.5	17.9	1 621.9	18.8
PM72D1-11	251.3	433.2	0.58	0.068 4	0.001 6	1.136 1	0.027 0	0.119 2	0.001 4	883	50	770.7	12.9	725.7	8.0
PM72D1-12	167.7	274.5	0.61	0.115 4	0.002 3	4.117 1	0.089 0	0.256 4	0.003 3	1 887	36	1 657.7	17.7	1 471.3	17.1
PM72D1-13	124.1	298.9	0.42	0.114 7	0.002 2	3.942 9	0.082 2	0.246 7	0.003 1	1 876	35	1 622.5	16.9	1 421.5	15.9
PM72D1-15	98.2	243.3	0.40	0.116 3	0.002 0	4.960 0	0.090 9	0.305 4	0.003 4	1 900	—1	1 812.5	15.5	1 717.9	16.9
PM72D1-16	148.5	429.4	0.35	0.116 9	0.002 0	4.662 8	0.084 3	0.286 4	0.003 0	1 910	30	1 760.6	15.1	1 623.6	15.3
PM72D1-17	262.5	606.0	0.43	0.052 4	0.001 6	0.227 5	0.007 0	0.031 4	0.000 5	302	70	208.1	5.8	199.0	2.9
PM72D1-20	195.8	365.2	0.54	0.051 5	0.002 3	0.209 3	0.009 2	0.029 8	0.000 5	261	106	192.9	7.7	189.1	3.1
PM72D1-23	608.4	749.1	0.81	0.050 5	0.001 4	0.221 7	0.006 2	0.031 9	0.000 5	217	63	203.3	5.1	202.3	2.8
PM72D1-25	51.8	326.7	0.16	0.144 9	0.002 7	4.396 8	0.124 9	0.218 6	0.004 7	2 287	32	1 711.7	23.5	1 274.3	24.8
PM72D1-27	93.9	211.6	0.44	0.115 7	0.002 3	4.824 0	0.108 7	0.301 9	0.004 0	1 892	37	1 789.1	19.0	1 700.6	20.0
PM72D1-29	53.0	765.1	0.07	0.111 8	0.002 3	3.400 1	0.086 5	0.218 7	0.003 1	1 831	37	1 504.4	20.0	1 275.2	16.3
PM72D1-31	237.6	449.9	0.53	0.048 6	0.001 9	0.204 1	0.008 0	0.030 6	0.000 5	128	94	188.5	6.7	194.4	2.8
PM72D1-37	132.0	296.3	0.45	0.048 9	0.002 5	0.203 3	0.009 9	0.030 2	0.000 5	143	120	187.9	8.4	191.5	3.2
PM72D1-51	400.8	513.5	0.78	0.050 9	0.002 2	0.217 4	0.009 3	0.030 7	0.000 5	235	66	199.7	7.8	194.7	3.0
PM72D1-59	1 402.9	1 366.5	1.03	0.048 9	0.001 3	0.191 2	0.005 6	0.028 0	0.000 4	143	63	177.6	4.8	178.0	2.4
PM72D1-72	170.1	429.7	0.40	0.050 6	0.002 3	0.211 0	0.010 4	0.029 9	0.000 6	233	103	194.4	8.8	189.7	3.8

5 讨 论

5.1 变质岩原岩形成时代

南务里变质岩原岩的形成时代是长期争议的问题,早期研究认为其时代属前泥盆纪^[4]。对矽线

石黑云石英片岩碎屑锆石年代学研究表明,最年轻的 1 组岩浆锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄峰值为189.6 Ma,说明变质岩的源岩主要为早侏罗世火成岩。

野外地质调查表明,变质岩超覆于片麻状花岗岩之上,说明变质岩原岩沉积时代不早于花岗岩形成年龄(201~191 Ma)^[1]。此外,变质岩被晚侏罗

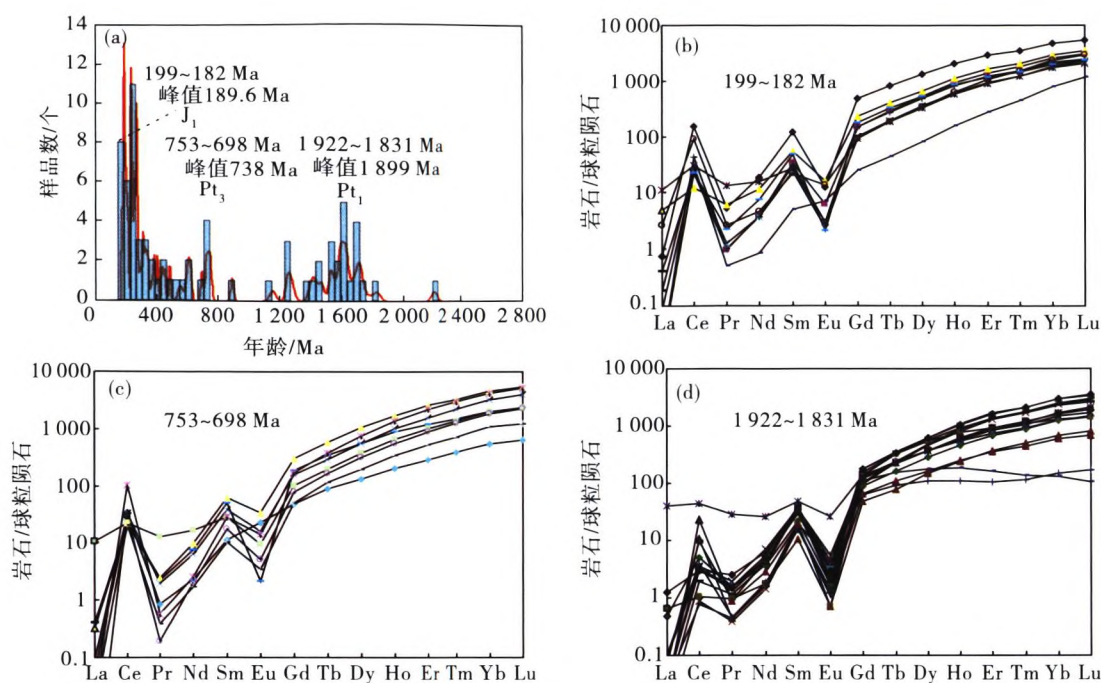


图5 南务里变质岩(PM72D1)碎屑锆石 U-Pb 年龄谱(a)及球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(b,c,d)

Fig. 5 U-Pb age spectrum (a) and chondrite-normalized REE distribution patterns (b,c,d) of detrital zircons from the Nanwuli metamorphic rocks (PM72D1)

世南园组火山岩(锆石 U-Pb 年龄为 148.3 Ma)覆盖,限定了变质岩原岩时代的下限。亲营山组变质岩的原岩沉积时代为早侏罗世,例如,东山苏峰山(锆石 U-Pb 年龄为 176.7 Ma)^[12]、福清锦城(锆石 U-Pb 年龄为 174.1~190.2 Ma)(另文发表)、龙海深澳(锆石 U-Pb 年龄为 186.4 Ma),均为海相火山-陆源碎屑沉积^[13]。区域上,与南务里变质岩的原岩时代相当者有福清锦城 A 型花岗岩(锆石 U-Pb 年龄为 187 Ma)^[20],以及华夏地块的同期伸展构造环境及岩浆活动^[21-29]。

综上,189.6 Ma 代表了研究区岩石沉积时代的上限,即该区变质岩原岩的形成时代为早侏罗世,原岩沉积岩的层位相当于早侏罗世梨山组。

5.2 变质岩原岩沉积环境

野外地质调查表明,南务里变质岩原岩可能为泥质石英细砂岩、泥质粉砂岩及泥岩等,残留变余薄-中层状层理构造,是典型的副变质岩,属陆源碎屑岩,可能为浅海相沉积环境。

研究区属华夏地块,晚三叠世区域受挤压形成陆相盆地沉积,局部夹火山沉积。早侏罗世为伸展期,盆地内沉积形成下村组陆源碎屑岩,还出现 A

型花岗岩和藩坑组双峰式火山岩^[2]。南务里一带也分布早侏罗世 A 型花岗岩,表明该区在早侏罗世为伸展构造环境。因此,早侏罗世是长乐—南澳断裂带伸展期,形成了以东山苏峰山亲营山组为代表的一套含炭陆源碎屑岩夹火山岩组合^[13]和龙海深澳含火山碎屑陆源碎屑岩^[14],将东山苏峰山、龙海深澳—南务里一带构成长达 180 km 的沉积盆地,推断长乐—南澳断裂带在早侏罗世可能为规模巨大的构造裂陷带。可知,原划为前泥盆纪的澳角群亲营山组变质岩并非闽东地区的古老变质基底,而是长乐—南澳断裂带在燕山晚期发生强烈活动,导致区域变质变形,由早侏罗世沉积岩变质形成的。

5.3 变质时代

研究表明,变质作用的峰期为强烈的岩浆活动,长乐—南澳断裂带的变质岩时代主要有晚侏罗世—早白垩世早期(155~131 Ma)和早白垩世中期(131~113 Ma)。前者变质作用对象为早侏罗世沉积岩(或夹火山岩),包括龙海深澳和东山苏峰山^[1,12-15]及邻区福清锦城;后者变质作用对象主要为晚侏罗世—早白垩世早期(155~131 Ma)火山岩-沉积岩,主要分布在莆田港里地区,火山岩已完全变质为砂线石

云母片岩,但其下部的沉积岩(含砂石英砂岩、石英砂岩、粉砂岩)仍保留沉积岩的结构构造。该区变质岩空间上与莆田港里邻近,但变质程度较高,沉积岩已完全改变结构构造,形成新生矿物或长英质重结晶矿物,区域上被早白垩世中期(131~113 Ma)似斑状中、粗粒二长花岗岩侵入。研究区北邻南园组,未变质,其中辉长岩角闪石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $132.8 \pm 3.3 \text{ Ma}$ ^[30],表明变质时代为晚侏罗世—早白垩世早期(155~131 Ma)的可能性较大。

需要说明的是,中—晚侏罗世(177~155 Ma)长乐—南澳断裂带的沉积作用、岩浆作用及构造应力等尚未获得可靠资料。南务里变质岩源区时代包括古元古代、新元古代和早侏罗世,原岩时代为早侏罗世。最年轻的碎屑锆石年龄为199~182 Ma,说明其原岩沉积于182 Ma之后。对于南务里变质岩的原岩时代,还有待进一步研究。

6 结 论

(1) 南务里地区亲营山组变质岩属于副变质岩,原岩为泥质石英细砂岩、泥质粉砂岩、泥岩等,是典型的陆源碎屑岩,其物源复杂,主要包括古元古代(1 922~1 831 Ma,峰值为1 899 Ma)和新元古代(753~698 Ma,峰值为738 Ma)火成岩。

(2) 亲营山组变质岩的原岩沉积时代为199~182 Ma,峰值为 $189.6 \pm 5.7 \text{ Ma}$,原岩层位时代相当于早侏罗世梨山组。

(3) 亲营山组形成于长乐—南澳断裂带燕山晚期强烈的变质变形期,其时代可能为晚侏罗世—早白垩世早期。

致谢:参加野外地质调查的人员还有周维瑞和林慈奎,锆石定年测试得到中国冶金总局山东局测试中心林培军的指导和帮助,成文过程中得到陈润生总工程师的帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 福建省地质矿产勘查开发局.福建省区域地质志[M].北京:地质出版社,1985.
- [3] 福建省地质矿产勘查开发局.福建省地质图(1:500 000)及说明书[M].福州:福建省地图出版社,1998.
- [4] 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.
- [5] 郭令智,施央申.中国东南部地体构造的研究[J].南京大学学报,1984,20(4): 732-739.
- [6] 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.
- [7] 邢光福,卢清地,姜扬,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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 石建基,张守信.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.
- [12] 黄长煌.福建东山变质岩 LA-ICP-MS 同位素年龄及其地质意义[J].中国地质,2016,43(3): 738-750.
- [13] 黄长煌.福建龙海深澳变质岩锆石 U-Pb 同位素年代学及地质意义[J].华东地质,2016,37(1): 28-35.
- [14] 黄长煌.福建港里地区变质岩与南园组火山岩地球化学特征及锆石 U-Pb 年龄对比[J].华东地质,2017,38(1): 12-20.
- [15] 黄长煌.福建东山中生代花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石同位素定年及其地质意义[J].福建地质,2015,34(4): 261-271.
- [16] 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.
- [17] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, 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): 537-571.
- [18] Hoskin P W O, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003,53(1): 27-62.
- [19] Cocherie A, Robett M. Laser ablation coupled with ICP-MS applied to U-Pb zircon geochronology: A review of recent advances[J]. Gondwana Research,

- 2008, 14(4): 597-608.
- [20] 刘潜, 于津海, 苏斌, 等. 福建锦城 187 Ma 花岗岩的发现——对华南沿海早侏罗世构造演化的制约[J]. 岩石学报, 2011, 27(12): 3575-89.
- [21] Shu L S, Faure M, Wang B, et al. Iconography: Late Paleozoic-Early Mesozoic Geological Features of South China: Response to the Indosinian Collision Events in Southeast Asia[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2008, 340(2/3): 151-165.
- [22] Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Mesozoic tectonic evolution of the southeast china block: New insights from basin analysis [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34(3): 376-391.
- [23] Wang D Z, Shu L S. Late Mesozoic basin and range tectonics and related magmatism in Southeast China [J]. *Geoscience Frontiers*, 2012, 3(2): 109-124.
- [24] Zhou X M, Shen W Z, Shu L S, et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution[J]. *Episodes*, 2006, 29(1): 26-33.
- [25] 邓平, 舒良树, 余心起, 等. 闽西—赣南早—中侏罗世盆地及其火山岩特征[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 521-532.
- [26] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 876-884.
- [27] 王彬, 舒良树, 杨振宇. 赣闽粤地区早、中侏罗世构造地层研究[J]. 地层学杂志, 2006, 30(1): 42-49.
- [28] 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.
- [29] 毛建仁, 陶奎元, 陈三元, 等. 闽西南花岗质岩浆作用与成矿[J]. 华东地质, 1998(4): 311-320.
- [30] Chen W S, Yang H C, Wang X, et al. Tectonic setting and exhumation history of the Pingtan-Dongshan metamorphic belt along the coastal area, Fujian Province, Southeast China [J]. *Journal of Asian earth sciences*, 2002, 20(7): 829-840.

Detrital zircon U-Pb ages of the Nanwuli metamorphic rocks in the Changle-Nan'ao fault zone, Fujian and their geological significance

HUANG Chang-huang

(Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350013, China)

Abstract: The Nanwuli metamorphic rocks, located in the northern part of the Changle-Nan'ao fault zone of Fujian Province, consist mainly of sillimanite mica-quartz schist and sillimanite biotite quartz schist and overlay gneissic granite. Petrological characteristics indicate that the Nanwuli metamorphic rocks sourced from terrigenous clastic rocks. LA-ICP-MS zircon U-Pb age spectrum shows two peaks; the first peak is 189.6 ± 5.7 Ma with a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age range of 199~182 Ma, and the second is 1899 ± 4 Ma with a $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age range of 1922~1831 Ma. The former zircons (Early Jurassic zircons) are euhedral crystals with obvious oscillatory zonal texture of magmatic zircons and have Th/U ratios of 0.4~0.96 and distinct REE differentiation. As to the latter (Paleoproterozoic zircons), most of them show better psephicity with no obvious oscillatory zonal texture, have lower Th/U ratios (0.03~0.3) and weak REE differentiation, revealing that they derived from metamorphic rocks. A few Paleoproterozoic magmatic zircons have higher Th/U ratios (>0.3) and obvious REE differentiation, indicating that they might derive from old igneous rocks in the Cathaysia Block. The age of 189.6 ± 5.7 Ma represents the sedimentary time (Early Jurassic) of the Nanwuli metamorphic rocks with its protolith equivalent to the early Jurassic Qingying-shan Formation.

Key words: Qinyingshan Formation; Early Cretaceous; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Nanwuli metamorphic rock; Fujian