

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

黄长煌

(福建省地质调查研究院, 福州 350013)

摘要: 福建港里地区位于长乐—南澳断裂带北段, 港里变质岩分布于断裂带南东侧, 南园组火山岩分布于断裂带北西侧。港里变质岩与南园组火山岩地球化学特征及锆石 U-Pb 年龄对比结果表明: (1) 港里变质岩和南园组火山岩锆石均属火山碎屑锆石, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 139.7 ± 1.8 Ma 和 132.7 ± 1.2 Ma, 均属早白垩世; (2) 港里变质岩和南园组火山岩均属钙碱性、钙性岩, 低 Ba、Nb、Sr, 高 Pb、Nd, 稀土总量普遍较低, 具有轻稀土富集、铕中等亏损的稀土配分模式, 反映了长乐—南澳断裂带两侧早白垩世中期火山岩的地球化学特征。

关键词: 港里变质岩; 火山岩; LA-ICP MS 锆石 U-Pb 定年; 早白垩世

中图分类号: P588.1; P597

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2017)01-012-09

福建港里地区位于华夏陆块东南缘, 长乐—南澳断裂带北段^[1-8]。港里变质岩在长乐—南澳构造带备受关注 and 争议, 争议的焦点是港里变质岩的形成时代、原岩类型及形成的地构造环境。早期研究^[2-4]认为港里变质岩属震旦纪或前泥盆纪, 是变质褶皱带的组成部分。最近, 一些学者^[1,6]认为部分“混合岩”实为变形变质的花岗岩类。笔者调查认为福建东山及龙海深澳地区变质岩属中生代沉积—火山岩类^[9-10]。东山地区变质岩称亲营山组, 其所含火山碎屑 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 176.8 Ma^[9]; 龙海深澳变质岩也为亲营山组, 为副变质岩, 其火山碎屑 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 186.4 Ma^[10], 代表了沉积—火山作用的时间, 即原岩形成年龄均为早侏罗世; 部分变质岩属变形花岗岩^[11]。上述研究初步解决了长乐—南澳断裂带南部变质岩的原岩类型和时代问题。本文在系统野外地质调查的基础上, 对比港里地区变质岩与南园组火山岩的同位素年龄和岩石地球化学特征, 发现港里变质岩属火山碎屑岩, 其形成时代为早白垩世, 基本与长乐—南澳断裂带北西侧的南园组火山岩同时形成。

1 地质概况

长乐—南澳断裂带是环太平洋构造带的组成部分^[1-8], 港里地区位于该断裂带北段, 其地质特征在该断裂带两侧明显不同(图1): 断裂带北西侧分布自晚三叠世以来的陆相火山—沉积岩, 基本未变质; 断裂带东南侧分布变质岩和不同程度变形变质的岩浆岩。变质岩主要分布在港里地区, 与呈星散状分布的平潭、福清锦城、龙海港尾及东山等组成沿海变质岩带。

港里变质岩主要分布在港里村附近, 呈 NE 向从两侧进入大海, 面积约 6.3 km², 岩性为白云石英片岩、矽线白云石英片岩(图2), 因变质强烈原岩已难以辨认, 岩石成层性差, 未见沉积变质岩的成层性特征。

岩石由白云母(20%~30%)、石英(40%~60%)和斜长石(10%~15%)等组成。白云母呈鳞片状、片状, 片径为 0.2~2 mm, 闪突起, 无色, 干涉色鲜艳, 沿(001)定向排列, 构成片理构造。石英呈不规则状或等轴粒状, 粒径为 0.1~2.2 mm, 长轴

* 收稿日期: 2016-03-20 修订日期: 2016-06-09 责任编辑: 谭柱丽

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

第一作者简介: 黄长煌, 1962年生, 男, 高级工程师, 地质矿产专业, 主要从事区域地质调查及矿产地质调查研究。

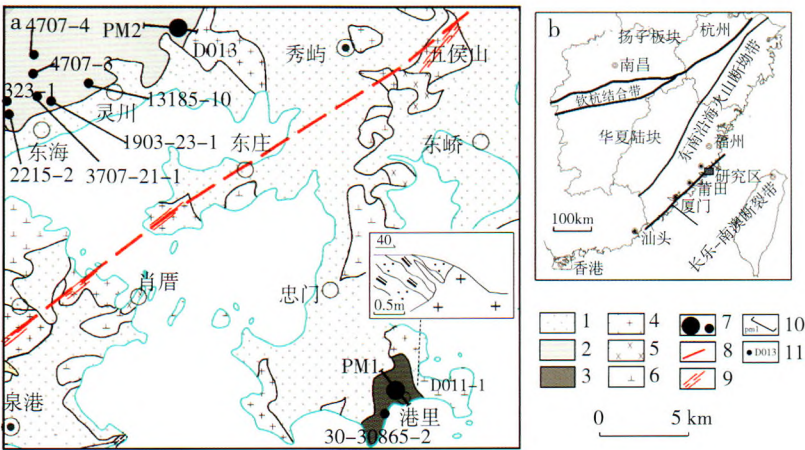


图 1 港里地区地质简图(a)及大地构造位置图(b)

Fig. 1 Simplified geological map (a) and tectonic map (b) of the Gangli area

1-第四系;2-晚侏罗世—早白垩世南园组;3-港里变质岩;4-早白垩世晚期中细粒(含石榴石)二长花岗岩;5-早白垩世晚期辉长岩;6-早白垩世中期似斑状中粒花岗岩;7-同位素定年样;8-长乐—南澳主断裂;9-糜棱岩化带;10-剖面位置;11-采样点及编号

定向排列,具波状消光,石英矿物晶体中包裹纤维状硅线石矿物。港里地区岩石含矽线石(2%~10%),主要见于港里村后山,矽线石呈纤维状、放射状与云母呈定向排列。岩石变余层理及物质分层不明显,片理构造为片状矿物(白云母)及石英等定向所致。

变质岩时代为早白垩世中期(132.8~108 Ma),其证据为:(1)港里村发现浅肉红色中细粒二长花岗岩(108 Ma)侵入矽线石白云母石英片岩,接触带见片岩捕虏体;(2)在港里北东约 200 m 的公路壁见有肉红色似斑状中粒二长花岗岩(132.8±3.3 Ma)^[12] 侵入白云母石英片岩,接触带见似伟晶岩团块及石英团块。该区变质岩的特征变质矿物为粗大的白云母,反映造山带的变质作用。

南园组第二段火山岩(J_3K_1n)位于长乐—南澳断裂带以北,主要出露于火山中心外侧,岩性为浅灰、灰白色流纹质晶屑熔结凝灰岩、(含角砾)晶屑凝灰熔岩、(球粒)流纹岩、流纹质晶玻屑凝灰岩夹凝灰岩等,厚 245.52~1434.88 m。岩石含较高的石英、钾长石、斜长石晶屑,凝灰质或基质为流纹质。

2 岩石地球化学特征

2.1 主量元素

共测试全岩样品 10 件,其中港里地区 2 件,为

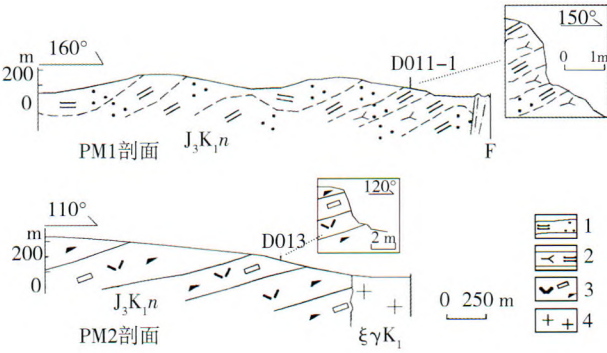


图 2 剖面示意及采样位置图

Fig. 2 Geological sections and sampling positions in the Gangli area

1-白云母石英片岩;2-矽线石白云母(石英)片岩;3-流纹质晶玻屑凝灰岩;4-早白垩世晚期细粒花岗岩;F-断裂;D011-1 及 D013 为锆石同位素年龄采样点

矽线石白云母石英片岩,其余 8 件为南园组酸性火山碎屑岩。

(1)港里变质岩与南园组酸性火山碎屑岩主量元素含量不均,其中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量较高,港里变质岩 SiO_2 含量为 77.81%~81.02%,南园组火山碎屑岩 SiO_2 含量为 70.81%~81.04%,属酸性岩;港里变质岩 Al_2O_3 含量为 11.13%~12.25%,南园组火山岩 Al_2O_3 含量为 9.41%~14.44%,变化范围较大。

(2)港里变质岩与南园组酸性火山碎屑岩碱质含量差异较大。 Na_2O 含量分别为0.29%~0.33%和1.11%~3.39%, K_2O 含量分别为2.66%~3.41%和3.79%~6.25%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$; A/CNK分别为2.92~3.15和1.04~1.98,均 >1.1 ,属过铝质。

(3)港里变质岩与南园组酸性火山碎屑岩各指数分异明显,其中赖特碱度指数(AR)分别为1.73~1.84和2.32~7.81,均较低;里特曼指数 σ 分别为0.24~0.39和0.69~2.17,均 <3.3 ,为钙碱性岩,

多数 <1.8 ,属钙性岩。戈蒂尼指数 τ 为31.8~133.6,均 >10 ,属造山带构造环境火山岩。

(4)港里变质岩与南园组酸性火山碎屑岩CIPW标准矿物Q分别为64.25%~69.84%和29.13%~50.67%,C分别为7.81%~8.49%和0.65%~5.68%,Or分别为16.06%~20.67%和22.59%~30.66%。

港里变质岩与南园组酸性火山岩在主量元素上均具有硅过饱和、过铝质、富含碱质等特征,说明长乐—南澳断裂带两侧岩石的地球化学特征不同。

表1 港里变质岩与南园组火山岩主量元素分析数据及特征参数

Table 1 Analyzed data for major elements contents and feature parameters of the metamorphosed rocks in the Gangli area and volcanic rocks of the Nanyuan Formation

序号	样品编号	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	P ₂ O ₅	灼烧	总和
1	D011-1	砂线白云石英片岩	77.81	0.31	12.45	2.65	0.2	0.016	0.28	0.05	0.29	3.41	0.1	2.01	88.58
2	30-30865-2	砂线白云石英片岩	81.02	0.25	11.13	1.69	0.43	0.01	0.31	0.06	0.33	2.66	0.02	1.68	99.59
3	D013	流纹质晶屑凝灰岩	70.71	0.35	14.4	0.98	1.49	0.082	0.74	1.97	3.26	4.5	0.1	1.85	100.43
4	3707-21-1	流纹质晶屑熔结凝灰岩	72.91	0.28	14.44	1.04	1.64	0.06	0.49	0.48	1.95	4.57	0.06	1.49	99.6
5	323-1	流纹质晶屑凝灰岩	79.19	0.09	12.45	1.38	0.26	0.32	0.37	0.1	1.21	3.79	0.01	0.78	99.95
6	13185-10	流纹质晶屑熔结凝灰岩	76.11	0.07	12.31	1.45	1.8	0.04	0.04	0.38	2.96	4.63	0.01	0.09	99.89
7	2215-2	流纹质晶屑凝灰岩	78.28	0.12	12.14	0.56	0.32	0.03	0.23	0.7	1.18	5.12	0.01	0.65	99.34
8	1903-23-1	流纹质晶屑凝灰岩	81.04	0.13	9.41	0.56	0.58	0.02	0.21	0.11	1.11	6.25	0.06	0.24	99.78
9	4707-3	流纹质晶屑凝灰岩	77.65	0.11	12.02	0.95	0.76	0.03	0.1	0.38	2.86	4.25	0.03	0.2	99.32
10	4707-4	流纹质晶屑熔结凝灰岩	76.31	0.14	12.12	1.1	0.74	0.07	0.22	0.81	3.39	4.22	0.06	0.19	99.38
指数	AR	A/CNK	σ	τ	Na ₂ O+K ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O	Q	C	Or	Ab	An	位置	资料来源		
1	1.84	2.92	0.39	39.2	3.7	11.76	64.25	8.49	20.67	2.51	0.00	港里	本文		
2	1.73	3.15	0.24	43.2	2.99	8.06	69.84	7.81	16.06	2.85	0.17	港里	*		
3	2.8	1.04	2.17	31.8	7.76	1.38	29.13	0.76	26.98	27.99	9.47	灵川	本文		
4	2.55	1.6	1.42	44.6	6.52	2.34	42.56	5.68	27.58	16.85	2.03	灵川	*		
5	2.32	1.98	0.69	124.9	5	3.13	57.39	6.25	22.59	10.32	0.44	灵川	*		
6	3.98	1.16	1.74	133.6	7.59	1.56	39.47	1.77	27.42	25.10	1.83	灵川	*		
7	2.93	1.39	1.13	91.3	6.3	4.34	50.67	3.45	30.66	10.12	3.45	灵川	*		
8	7.81	1.07	1.42	63.8	7.36	5.63	50.35	0.76	37.13	9.44	0.16	灵川	*		
9	3.69	1.2	1.46	83.3	7.11	1.49	44.03	2.11	25.34	24.41	1.70	灵川	*		
10	3.86	1.04	1.74	62.4	7.61	1.24	38.70	0.65	25.15	28.92	3.66	灵川	*		

注:主量元素单位为%,*为1:250 000莆田幅区域地质调查报告数据,Q、C、Or、Ab、An分别为CIPW标准矿物的石英、刚玉、钾长石、钠长石、钙长石。

2.2 微量及稀土元素

港里变质岩与南园组火山岩微量元素分析数据及特征参数(表2)显示,港里变质岩(D011-1, 01869-3)与南园组酸性火山岩(D013, 3707-21-1, 1903-23-1)的Co、Ni、V、Cr、W、Sn、Mo、Bi、Pb、Zn、Ag、Au等未出现明显差异,但变化范围较大。前者Rb、Sr、U、Th较低,Zr、Hf较高。微量元素原始地

幔标准化蛛网图(图3)显示,各元素均比原始地幔高。港里变质岩与南园组酸性火山岩的曲线形态一致,Pb明显富集,Sr明显亏损,Rb/Sr变化较大。

港里变质岩与南园组火山岩稀土元素含量变化范围较大,稀土总量较低, ΣREE 为 $(187 \sim 274) \times 10^{-6}$ 。 $(\text{La}/\text{Yb})_N > 11$,Eu为 $(0.63 \sim 1.15) \times 10^{-6}$,Eu中等亏损至轻微富集,稀土元素球粒陨石标准化

表 2 港里变质岩与南园组火山岩微量元素及稀土元素分析数据

Table 2 Analyzed data for trace elements contents and rare earth elements contents of the Gangli metamorphic rocks and Nanyuan Formation volcanic rocks																			
样号	Mo	Sn	Au	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Nb	Ba	Hf	W	Pb	Bi	Th	U	Cr	V	Zr
D011-1	2.02	1.82	0.55	2.64	0.01	38.20	104.6	26	5.4	792	6.63	1.57	10.4	0.72	8.35	3.13	5.3	37.6	219
01869-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D013	1.09	4.55	0.79	3.38	2.57	60.00	189.3	360	17.8	1 203	6.36	1.78	31.6	0.16	20.68	3.97	8.3	37.1	181
3707-21-1	—	—	—	—	2.16	2.98	227	176	10.3	1 162	6.22	2.59	17		17.4	3.74	111	9.99	215
1903-23-1	—	—	—	—	0.97	3.14	164	122	4.35	1 184	3.36	1.72	16.7		12.5	3.35	102	6.21	107
样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	(La/Yb) _N	δEu	Rb/Sr
D011-1	44.00	68.24	8.90	30.24	5.16	1.41	3.67	0.57	2.62	0.44	1.2	0.17	1.32	0.18	18.6	187	23.91	0.94	4.02
01869-3	62.50	103.4	13.24	50.16	6.99	2.42	5.55	0.80	4.14	0.72	2.0	0.28	1.80	0.33	19.49	274	24.91	1.15	0.32
D013	51.48	85.22	10.93	37.46	6.64	1.55	4.68	0.79	4.23	0.82	2.4	0.37	2.69	0.39	23.2	233	13.73	0.81	0.53
3707-21-1	42.40	77.10	8.32	30.80	5.14	0.98	3.92	0.62	3.58	0.71	2.2	0.38	2.60	0.42	21.1	200	11.70	0.64	1.29
1903-23-1	36.50	44.80	7.29	25.30	4.25	0.76	2.8	0.51	2.29	0.44	1.3	0.16	1.42	0.23	11.2	139	18.44	0.63	1.34

注:δEu=Eu_N/(Sm_N×Gd_N)^{1/2},下角标 N 为球粒陨石标准化后值。D011-1 和 D013 为本文测试数据,其余数据引自 1:250 000 莆田幅区域地质报告,微量及稀土元素单位为 10⁻⁶。

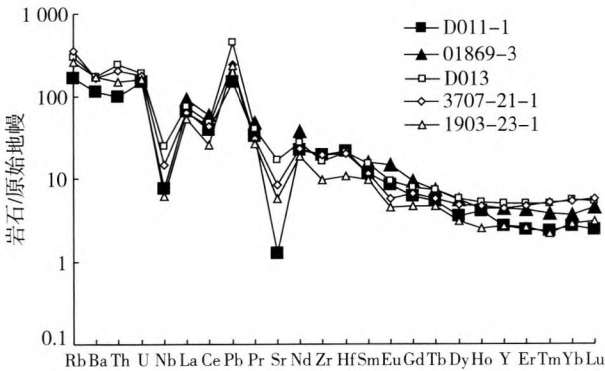


图 3 港里变质岩与南园组火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化值据文献[13])

Fig. 3 Primitive-mantle-normalized trace elements patterns for the Gangli metamorphic rocks and Nanyuan Fm. volcanic rocks

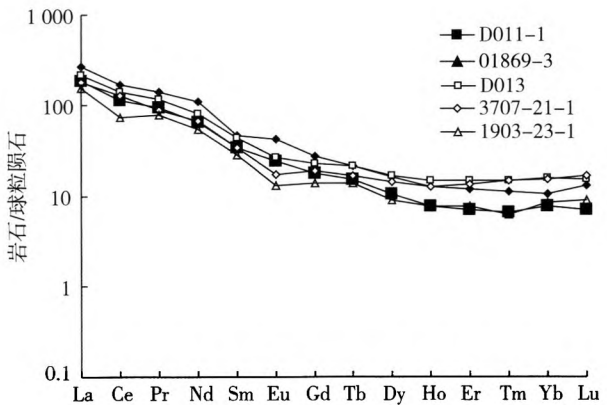


图 4 港里变质岩与南园组火山岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(标准化值据文献[13])

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for the Gangli metamorphic rocks and Nanyuan Fm. volcanic rocks

配分曲线(图 4)左高右低。微量元素及稀土元素地球化学特征说明港里变质岩与南园组火山岩具有相似的物质成分。

3 样品特征

3.1 取样岩石

港里变质岩与南园组火山岩各取 1 组样品。样品 D011-1 取自港里,岩性为矽线石白云母石英片岩,露头宽约 40 m,岩性单一。样品 D013 取自长乐—南澳断裂带北西约 5 km 处,露头宽约 50 m,为南园组

第二段,岩性为灰色流纹质晶屑凝灰岩。

3.2 锆石阴极发光 CL 图像

港里变质岩(D011-1)与南园组火山岩(D013)样品锆石约 50%具有核—幔结构,核为变质锆石或早期岩浆锆石(图 5),均属继承锆石,表明岩浆的源岩可能部分为变质岩,部分为岩浆岩。变质锆石无环带或无宽大环带,而早期岩浆锆石则具较宽的环带。锆石主体为主岩浆期形成,可能为火山源区之岩浆房的岩浆在深部结晶形成的锆石,宽约 30~50 μm,环带

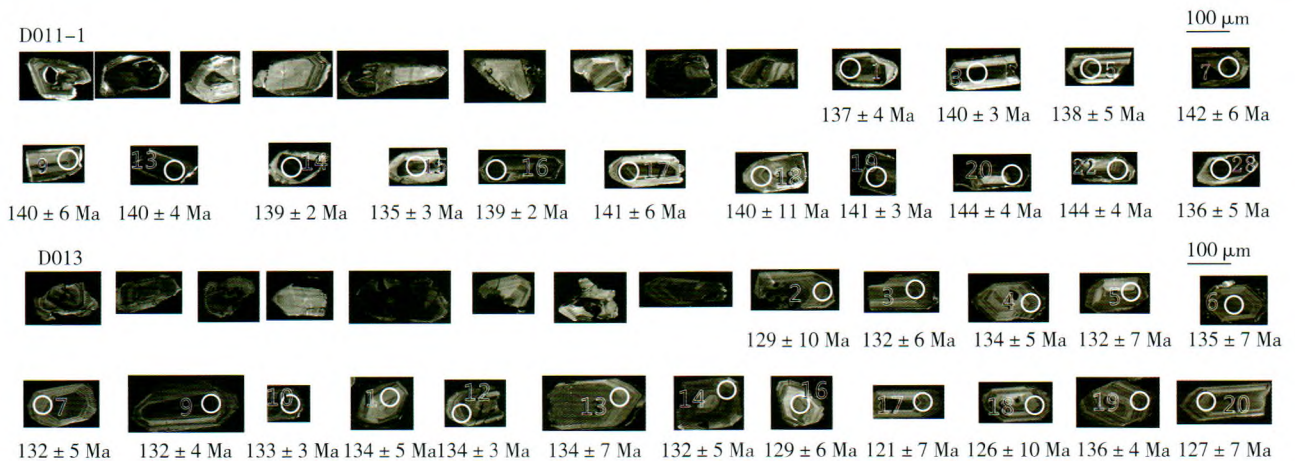


图5 港里变质岩(D011-1)锆石与南园组火山岩(D013)锆石阴极发光影 CL 像图

Fig. 5 CL images of zircons from the Gangli metamorphosed rocks (D011-1) and Nanyuan Fm. volcanic rocks (D013)

为5~9条同心环纹。火山作用对锆石起破碎作用,形成火山碎屑,锆石形状(约60%)发生不同程度改变,改变较严重者呈三角形、鸡骨状、不规则长条状等,锆石内部裂纹发育;变质岩(D011-1)锆石除具有火山碎屑锆石特征外,边缘有白化边,可能是变质作用的产物。锆石内部未受后期岩浆影响,具有较好的环带,其年龄可代表岩浆锆石年龄。

港里变质岩锆石呈不规则状,长100~150 μm,宽60~90 μm。锆石单一晶体具核—幔结构,核一般为10~20 μm,呈浑圆状,主要为变质锆石,主期岩浆锆石以包围核的形态生长,发育良好的连续环带,黑白相间的环带有3~5个,单一环带宽10~20 μm,连续性较好。测点分布在相对较大的火山碎屑锆石中,均位于锆石环带发育的主体(幔)部,避开裂纹、包体等。

南园组火山岩锆石测点均位于相对完整且环带发育的岩浆锆石内。锆石为短柱状,长100~200 μm,宽80~100 μm。锆石单一晶体具复杂的内部构造,核一般为10~20 μm,呈浑圆状,主期岩浆锆石以包围核的形态生长,发育良好的连续环带,黑白相间的环带有4~6个,单一环带宽10~20 μm,连续性较好。测点主要分布在较完好的锆石环带上,尽量避开裂纹及包体,确保所测对象为主期岩浆结晶的锆石。

4 测试结果

4.1 测试方法

锆石同位素测年在中国地质科学院矿产

资源所同位素研究室完成,锆石微量元素含量和 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。采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度。对分析数据的离线处理采用软件 ICPMSDataCal^[15-16] 完成,详细的仪器操作条件和数据处理方法参照文献[15]。

锆石微量元素含量利用 SRM610 作外标、Si 作内标进行定量计算^[15]。USGS 玻璃中元素含量推荐值据 GeoReM 数据库,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。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^[15]。锆石样品 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄加权平均值计算均采用 Isoplot 完成。

4.2 锆石同位素测年

(1) 港里变质岩(D011-1)

对港里变质岩(D011-1)共测试15个点(表3)。当年龄<1 000 Ma时采用锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均或作²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和图获得年龄值;当年龄≥1 000 Ma时采用锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄及其特征值。该组²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为136~144 Ma,故采用前者求取年龄。

选取较完整的火山碎屑锆石测试,测点均落在锆石环带发育的主体(幔)部位,其 Th/U 为 0.51~1.18,一般为 0.6~0.9 (均>0.2),均属岩浆锆石。²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄谐和图获得谐和年龄为 139.7 ± 0.91 Ma (MSWD = 7.0) (图 6a)。

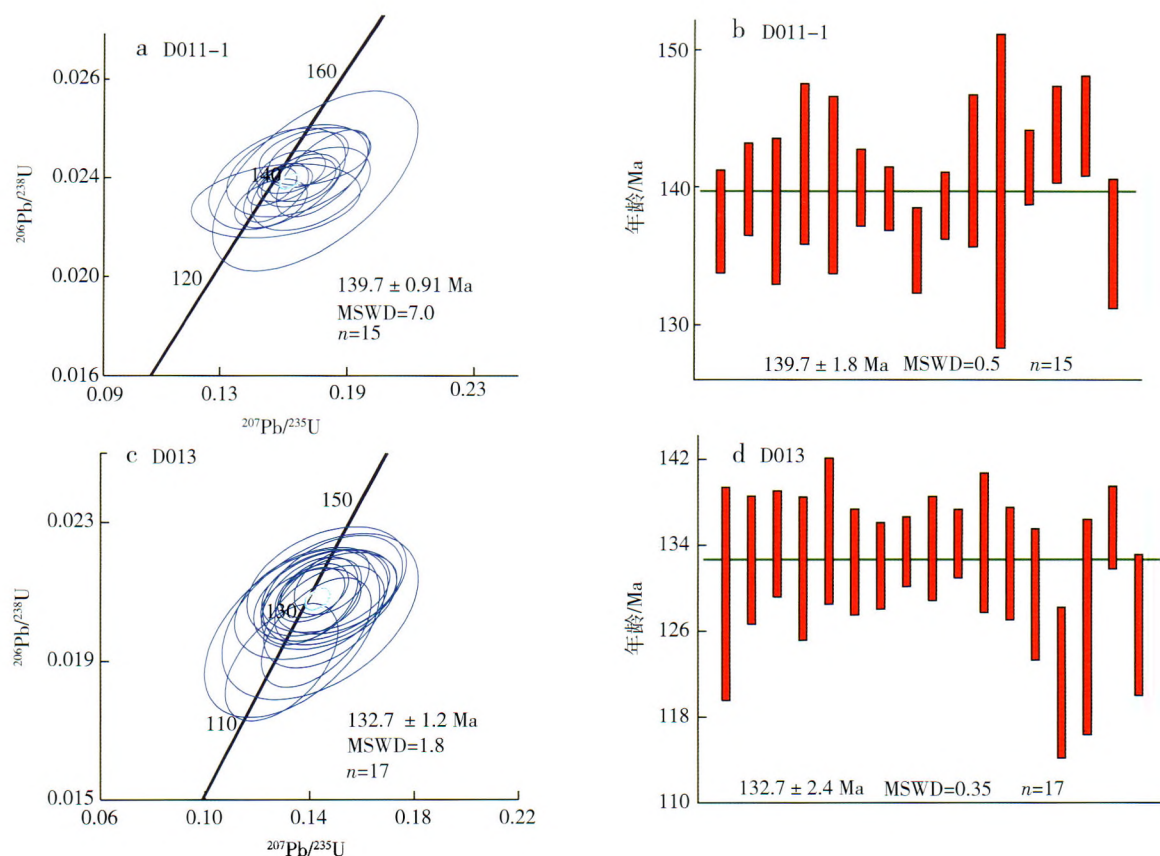


图 6 港里变质岩(a,b)和南园组火山岩(c,d)锆石 U-Pb 年龄谐和图和加权平均年龄图

Fig. 6 U-Pb concordia age and weighted average age diagrams for zircons from the Gangli metamorphosed rocks (D011-1) and Nanyuan Formation volcanic rocks (D013)

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $139.7 \pm 1.8 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.50$) (图 6b)。两种方法获得的年龄值一致,取后者 $139.7 \pm 1.8 \text{ Ma}$ 为岩浆结晶年龄。综上,港里变质岩锆石为火山碎屑锆石,其年龄为 $139.7 \pm 1.8 \text{ Ma}$,为主岩浆期的岩浆锆石年龄,代表火山岩年龄,属早白垩世。

(2) 南园组火山岩(D013)

南园组火山岩(D013)获得 17 组测年数据。 Th/U 为 $0.44 \sim 1.00$,一般为 $0.5 \sim 0.6 (>0.2)$,属岩浆锆石。 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谐和图获得谐和年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.8$) (图 6c)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $132.7 \pm 2.4 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.35$) (图 6d),二者年龄值基本一致。南园组酸性火山碎屑岩年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$,代表火山岩浆作用的时代,属早白垩世。

4.3 稀土元素特征

港里变质岩(D011-1)和南园组火山岩(D013)

的锆石稀土元素球粒陨石标准化配分曲线如图 7 所示,均为左低右高的曲线,表现为较低的 La、Pr、Eu,较高的 Ce、Sm、Gd—Lu。港里变质岩的锆石稀土元素配分曲线形态基本一致,铈亏损中等,重稀土基本形成一条直线。南园组火山岩(D013)的锆石稀土元素配分曲线形态基本集中分布于较窄的范围内,轻稀土曲线变化幅度较大,重稀土曲线基本呈直线。二者类似的分布特征说明港里变质岩与南园组火山岩锆石形成时,其岩浆稀土元素具有相似的地球化学特征。

5 讨论

5.1 港里变质岩的时代

港里变质岩的形成时代,早期研究者^[2-4]认为属前泥盆纪,主要依据上世纪的测年资料及与闽西北变质岩类比,将其归为亲营山组,时代也归前泥盆纪。现有资料表明^[9-10],华夏陆块在晚侏罗世($150 \sim$

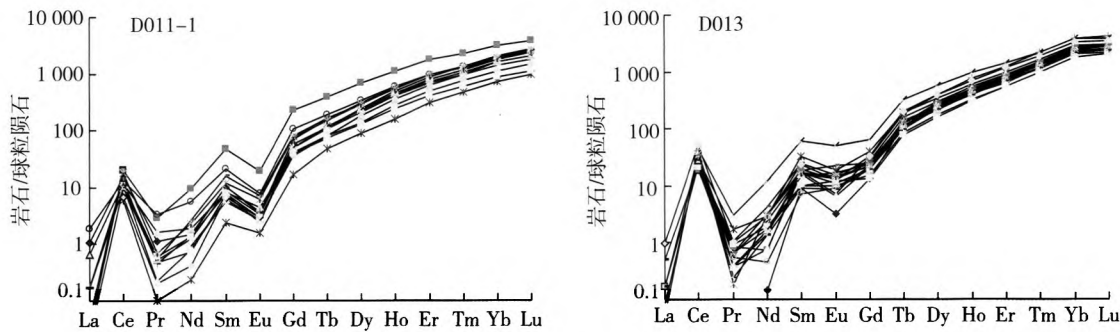


图 7 港里变质岩(D011-1)和南园组火山岩(D013)锆石稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图^[13]

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of the zircons of the Gangli metamorphosed rocks (D011-1) and Nanyuan Fm. volcanic rocks (D013)

表 3 港里变质岩 (D011-1)和南园组火山岩 (D013)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果

Table 3 Analytical data for LA-ICP-MS U-Pb isotopic values of zircons from the Gangli metamorphosed rocks (D011-1) and Nanyuan Fm. volcanic rocks (D013)

测点号	Pb	²³² Th /10 ⁻⁶	²³⁸ U /10 ⁻⁶	Th/ U	同位素比值				表面年龄/Ma								谐和度
					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	
D011-1-1	75.25	186.29	262.79	0.71	0.0516	0.0028	0.1481	0.0072	0.0216	0.0006	333.4	125.9	140.2	6.4	137.5	3.7	98%
D011-1-3	108.22	275.41	233.58	1.18	0.0537	0.0033	0.1564	0.0088	0.0219	0.0005	361.2	141.7	147.6	7.7	139.8	3.4	94%
D011-1-5	52.67	119.64	168.38	0.71	0.0555	0.0054	0.1598	0.0132	0.0217	0.0008	431.5	218.5	150.6	11.6	138.2	5.3	91%
D011-1-7	36.44	83.94	143.34	0.59	0.0530	0.0059	0.1552	0.0157	0.0222	0.0009	331.5	255.5	146.5	13.8	141.7	5.9	96%
D011-1-9	18.36	49.20	74.73	0.66	0.0487	0.0046	0.1485	0.0152	0.0220	0.0010	200.1	138.9	140.6	13.5	140.1	6.4	99%
D011-1-13	59.66	144.48	161.03	0.90	0.0532	0.0027	0.1572	0.0074	0.0219	0.0004	338.9	114.8	148.2	6.5	140.0	2.8	94%
D011-1-14	81.30	203.09	326.49	0.62	0.0502	0.0021	0.1511	0.0061	0.0218	0.0004	211.2	96.3	142.9	5.4	139.2	2.3	97%
D011-1-15	49.50	129.60	169.93	0.76	0.0528	0.0043	0.1463	0.0081	0.0212	0.0005	320.4	188.9	138.7	7.2	135.4	3.1	97%
D011-1-16	69.11	158.17	243.30	0.65	0.0498	0.0020	0.1467	0.0055	0.0217	0.0004	183.4	94.4	139.0	4.9	138.6	2.4	99%
D011-1-17	32.21	74.59	114.91	0.65	0.0560	0.0042	0.1639	0.0104	0.0221	0.0009	453.8	168.5	154.1	9.0	141.2	5.5	91%
D011-1-18	16.43	42.89	47.93	0.89	0.0674	0.0182	0.1613	0.0229	0.0219	0.0018	850.0	581.0	151.9	20.0	139.8	11.4	91%
D011-1-19	48.77	115.92	218.81	0.53	0.0518	0.0031	0.1532	0.0076	0.0222	0.0004	276.0	137.0	144.8	6.7	141.4	2.7	97%
D011-1-20	47.26	111.46	217.56	0.51	0.0530	0.0037	0.1589	0.0090	0.0226	0.0006	327.8	159.2	149.7	7.9	143.8	3.5	95%
D011-1-22	55.39	137.39	177.05	0.78	0.0523	0.0041	0.1612	0.0125	0.0227	0.0006	298.2	177.8	151.8	10.9	144.5	3.6	95%
D011-1-28	230.26	608.46	377.54	1.61	0.0518	0.0066	0.1481	0.0189	0.0213	0.0007	276.0	266.6	140.2	16.7	135.9	4.7	96%
D013-2	3.85	97.83	180.88	0.54	0.0511	0.0088	0.1441	0.0248	0.0203	0.0016	242.7	357.1	136.7	22.0	129.5	10.0	94%
D013-3	6.06	141.89	264.44	0.54	0.0508	0.0060	0.1461	0.0181	0.0208	0.0010	231.6	251.8	138.5	16.0	132.6	6.0	95%
D013-4	4.92	116.41	219.70	0.53	0.0517	0.0067	0.1464	0.0162	0.0210	0.0008	272.3	270.3	138.7	14.3	134.2	5.0	96%
D013-5	4.41	175.28	176.04	1.00	0.0504	0.0073	0.1408	0.0194	0.0207	0.0011	213.0	303.7	133.7	17.2	131.9	6.7	98%
D013-6	5.20	177.87	211.74	0.84	0.0532	0.0094	0.1467	0.0202	0.0212	0.0011	338.9	355.5	139.0	17.8	135.4	6.9	97%
D013-7	3.92	113.11	174.82	0.65	0.0543	0.0054	0.1433	0.0110	0.0208	0.0008	388.9	224.0	136.0	9.7	132.5	5.0	97%
D013-9	12.36	248.36	561.47	0.44	0.0491	0.0043	0.1406	0.0127	0.0207	0.0006	150.1	192.6	133.6	11.3	132.1	4.1	98%
D013-10	6.11	158.62	263.59	0.60	0.0504	0.0033	0.1408	0.0085	0.0209	0.0005	216.7	151.8	133.7	7.6	133.5	3.3	99%
D013-11	3.02	75.92	131.43	0.58	0.0598	0.0080	0.1503	0.0154	0.0210	0.0008	596.0	294.4	142.2	13.6	133.7	4.9	93%
D013-12	9.82	264.24	420.37	0.63	0.0510	0.0034	0.1420	0.0086	0.0210	0.0005	242.7	153.7	134.8	7.7	134.2	3.2	99%
D013-13	3.44	96.60	157.18	0.61	0.0576	0.0090	0.1490	0.0176	0.0210	0.0010	522.3	352.7	141.0	15.6	134.3	6.6	95%
D013-14	7.95	199.17	360.36	0.55	0.0512	0.0047	0.1401	0.0122	0.0207	0.0008	255.6	211.1	133.1	10.8	132.3	5.3	99%
D013-16	5.40	153.37	240.22	0.64	0.0547	0.0066	0.1457	0.0152	0.0203	0.0010	466.7	272.2	138.1	13.5	129.4	6.2	93%
D013-17	3.87	116.12	186.75	0.62	0.0539	0.0087	0.1294	0.0143	0.0190	0.0011	368.6	325.9	123.6	12.9	121.2	7.1	98%
D013-18	3.89	101.85	191.51	0.53	0.0482	0.0061	0.1334	0.0221	0.0198	0.0016	109.4	274.0	127.2	19.8	126.4	10.1	99%
D013-19	6.50	164.53	294.29	0.56	0.0522	0.0033	0.1486	0.0095	0.0213	0.0006	294.5	142.6	140.6	8.4	135.7	3.9	96%
D013-20	3.32	106.26	154.02	0.69	0.0593	0.0070	0.1427	0.0139	0.0198	0.0010	588.9	257.4	135.4	12.3	126.6	6.6	93%

130Ma)岩浆(火山)作用强烈,岩石分布广泛,侵入岩为花岗岩,火山岩为南园组,整个华夏陆块形成了岩性组合基本类同的地质单元。本次通过港里变质岩与南园组火山岩对比,证实该阶段的岩浆(火山)作用在长乐—南澳断裂带南东地区表现更为剧烈。本文获得港里变质岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 132.7 ± 1.2 Ma,南园组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 132.7 ± 1.2 Ma,二者基本一致,均属早白垩世,是同一构造岩浆事件的产物。

近年来研究者多将港里变质岩归为亲营山组,是否合适有待进一步研究。港里变质岩原岩为陆相火山碎屑岩,应归为地层。本文依托的子项目目前取得两个相关成果:(1)亲营山组建组地(东山)变粒岩(含火山物的沉积夹层)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $176.7\text{Ma}^{[9]}$;(2)龙海深澳亲营山组变质岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $186.4 \pm 6.6\text{Ma}^{[10]}$,上述两组年龄均属早侏罗世,故认为将早白垩世地质体划归为早侏罗世可能不妥。将港里变质岩归为南园组也存在问题,其强烈的变质作用使原岩成分发生重组,结构构造消失,野外难以确定其为变质火山岩。与南园组火山岩相比,港里变质岩至少经历一次强烈的变质作用。将同一时代的变质岩(原岩为火山岩)与未变质的火山岩归为同一地层单位是否合理有待进一步研究。

5.2 港里变质岩的原岩

3组港里变质岩的锆石与南园组火山碎屑锆石形态相似,认为港里变质岩的原岩属火山碎屑岩,甚至是陆相火山碎屑岩,这不同于前人认为其属沉积岩的观点。火山岩形成之后,经历强烈的变质作用形成云母石英片岩、矽线石云母片岩等,长英质发生重组,原岩特征消失,仅最稳定的锆石仍保留其火山晶屑特征。后经历早白垩世中、晚两期岩浆作用,岩石可能发生硅化和成分的变化,岩石主量元素含量发生改变,从而使基于主量元素的各种投影图解失效,或得出相互矛盾的结果。这与某些元素含量(如硅等)高异常有关,在港里变质岩样品中,硅质含量远高于岩浆岩(火山岩),且不均匀,单一的岩浆作用难以解释该现象。变质岩与早白垩世中、晚期花岗岩呈侵入接触关系,且硅化蚀变不强,可排除后期侵入岩致使硅质含量增高的可能性;构造—变质作用可能是硅富集和不均匀的原因,即火山岩在构造作用下迁移至深部,受变质作

用影响产生分异,硅质活化与增加。该解释在野外地质调查中找到了证据,在港里东南侧海边发现的石英片岩,岩石强烈片理化,除含少量白云母外,几乎全为石英,而在北西约 50 m 处却为白云母石英片岩。

微量元素原始地幔标准化蛛网图上港里变质岩 2 个样品均表现为 Nb、Sr 亏损和 Pb 富集,在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图上 2 个样品基本为重合曲线。港里变质岩的微量元素和稀土元素配分曲线图上,多个样品的曲线基本一致,仅在 Sr、Pb、Eu 等存在较小差异,这可能是变质岩原岩为类似火山岩在微量元素地球化学特征上的反映。综上,港里变质岩与南园组火山岩特征相似,其原岩为陆相火山岩。

6 结 论

(1)港里变质岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 139.7 ± 1.8 Ma,南园组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 132.7 ± 1.2 Ma,均属早白垩世,二者可能为同期构造—岩浆事件的产物。

(2)港里变质岩原岩为陆相火山碎屑岩,其特征与长乐—南澳断裂带以北的南园组火山岩相似。

志谢:锆石 U-Pb 年龄测定得到了中国地质科学院矿产资源所侯可军研究员的指导和帮助,成文过程中得到了陈润生总工程师、张必龙博士及徐维光副总工程师的帮助,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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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, 2016, 34(4): 261-271.
- [12] Chen W S, Yang H C, Wang X, et al. Tectonic setting 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.
- [13] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes [M]. Geological Society, London, Special Publications, 1989: 237-248.
- [14] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956-983.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 崔建军, 张岳桥, 董树文, 等. 华南陆缘晚中生代造山及其地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 86-105.

Comparative study on the geochemical features and zircon U-Pb age between the metamorphic rocks and Nanyuan Formation volcanic rocks in the Gangli region, Fujian Province

HUANG Chang-huang

(Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou, 350013)

Abstract: The Gangli region in Fujian is located in the northern section of the Changle-Nan'ao fault zone, with the Gangli metamorphic rocks in the southeastern side of the Changle-Nanao fault zone and the volcanic rocks of the Nanyuan Formation in its northwestern side. The study conducted comparative analysis on geochemical features and zircon U-Pb ages of the Gangli metamorphic rocks and the Nanyuan Fm. volcanic rocks. The results show that the zircons from both the Gangli metamorphic rocks and the Nanyuan Fm. volcanic rock have concordant ages of 139.7 ± 1.8 Ma and 132.7 ± 1.2 Ma, respectively, suggesting the both are early Cretaceous in age. The both belong to cal-alkaline series, characterized by high SiO_2 , low Ba, Nb, Sr, and high Pb and Nd, and low total REE content, enrichment in LREE, and medium Eu depletion in REE distribution diagram. This reflects the geochemical features of the middle Cretaceous volcanic rocks on both side of the fault zone.

Key words: Gangli metamorphosed rocks; volcanic rocks; LA-ICP MS zircon U-Pb dating; early Cretaceous