

# 浙西开岭脚和里陈家花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义

汪建国 汪隆武 陈小友 赵旭东 姜 禹 周宗尧 余国春 俞云文

(浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203)

**提要:** 浙江中生代侵入岩遍布全省, 且绝大多数岩体与火山岩共生。其时代也随火山岩划分为燕山早期与燕山晚期。近年来, 随着生物地层与年代地层的研究表明, 浙江晚侏罗世—白垩纪火山沉积岩系时代改为白垩纪; 中生代侵入岩同位素年龄为 135~85 Ma, 据此, 侵入岩也由分燕山早、晚两期改为燕山晚期。通过对浙江西部与金属矿产有密切关系的开岭脚、里陈家花岗闪长岩体进行锆石 SHRIMP U-Pb 同位素测年, 其加权平均年龄值分别为  $(151 \pm 3) \text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.74$ ),  $(148 \pm 2) \text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=1.2$ ), 说明浙西存在晚侏罗世侵入岩, 该时期也为重要的成矿期。

**关键词:** 开岭脚; 里陈家; 花岗闪长岩体; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 浙西

**中图分类号:** P597      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2010)06-1559-07

浙江晚中生代岩浆活动十分强烈, 形成巨厚的火山-沉积地层, 分布面积达  $55670 \text{ km}^2$ 。侵入岩出露面积虽不大 (约  $6400 \text{ km}^2$ ), 但大小岩体 1400 多个, 遍布全省, 且绝大多数岩体与火山岩共生。由于从 20 世纪 50 年代以来, 浙江晚中生代火山岩习惯上分为上、下两个岩系, 下岩系为建德群和磨石山群, 时代为晚侏罗世; 上岩系为永康群、天台群和衢江群, 时代为白垩纪<sup>[1-2]</sup>; 对这一时间的侵入岩分为燕山早期(晚侏罗世)和燕山晚期(白垩纪)<sup>[3]</sup>。近年来生物地层和年代地层的研究表明, 浙江建德群和磨石山群时代为早白垩世早期, 而非晚侏罗世<sup>[4-7]</sup>, 因此浙江可能缺失晚侏罗世地层<sup>[8]</sup>。浙江晚中生代火山沉积岩系时代由晚侏罗世至白垩纪改为白垩纪。据统计, 浙江中生代侵入岩已有 83 个同位素年龄在 135~85 Ma 之间。据此, 侵入岩时代也由燕山早期和燕山晚期改为燕山晚期。由此带来疑问: 燕山早期浙江是否还有岩浆活动, 是否存在晚侏罗世的侵入岩。

近年, 笔者在浙江西部淳安一带进行 1:5 万区

域地质矿产调查时发现, 古生界地层中出露一些花岗岩和花岗闪长岩体, 这些岩体与建德群火山沉积地层未直接接触, 与矿产存在密切的关系, 其时代归属一直有争议, 因此对这些花岗岩体进行同位素测年研究十分必要, 不仅能确定其形成时代, 恢复岩浆活动时期, 还可以为今后的找矿方向提供指导。笔者选择该区具有一定代表性的开岭脚和里陈家 2 个花岗闪长岩体进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年。

## 1 区域地质概况

研究区位于下扬子陆块东南侧的钱塘陆缘斜坡带, 其南东侧以江山—绍兴拼合带为界与华夏地块相接。由北西向南东依次为新元古界浅变质岩系、古生界海相沉积地层。中北部马金—乌镇断裂附近出露少量中生界陆相火山-沉积地层。花岗岩类分布有限, 岩性为花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩等(图 1), 主要侵入古生界地层中, 局部侵入新元古界、中生界地层。

收稿日期: 2009-11-09; 改回日期: 2010-03-08

基金项目: 浙江省国土资源厅地质勘察项目“淳安唐村—临岐地区区域地质矿产调查”(2007001)资助。

作者简介: 汪建国, 男, 1977 年生, 工程师, 从事区域地质调查工作; E-mail: WJGLYP09@sina.com。

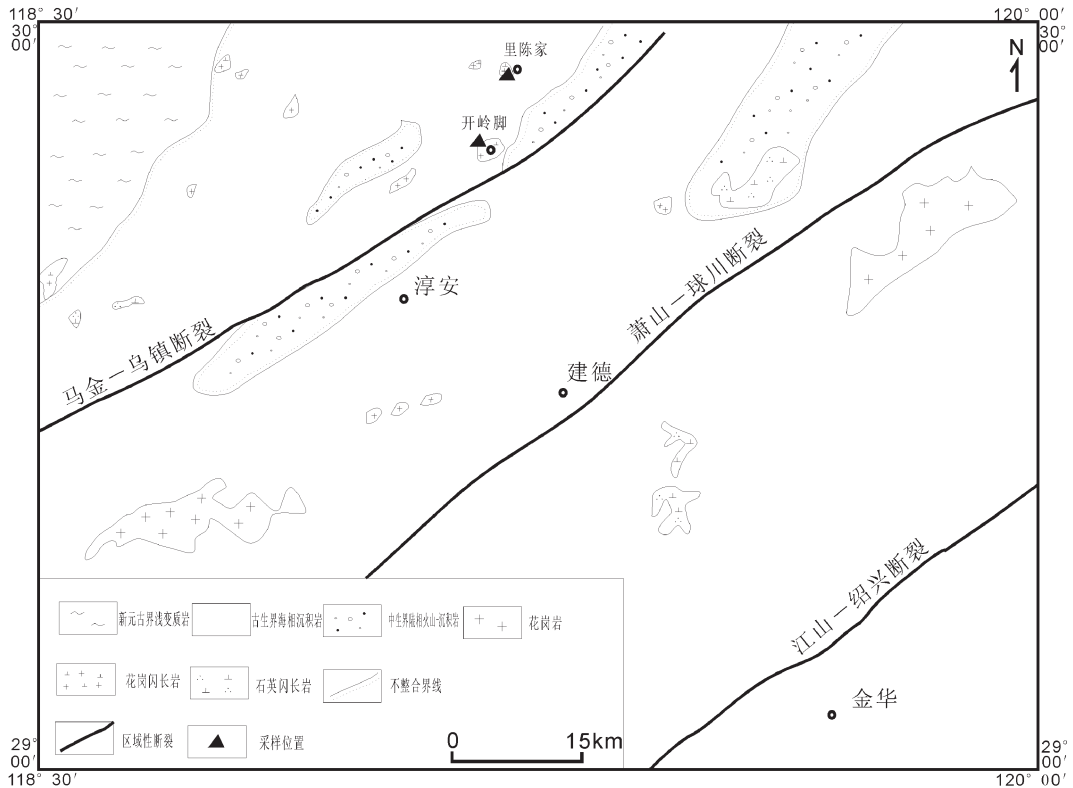


图1 浙西地区花岗岩地质略图

Fig.1 Sketch geological map of granite in western Zhejiang

## 2 岩体特征

开岭脚花岗闪长岩体位于淳安县临岐镇东侧约4 km 开岭脚村,里陈家花岗闪长岩体位于临岐镇北东侧约12 km 里陈家村。两岩体呈南北排列,相距约11 km。开岭脚岩体位于马金—乌镇断裂带附近,沿奥陶纪地层组成的轴面北东走向的复式向斜轴部侵入,出露面积约6.5 km<sup>2</sup>。岩体出现钼、铜矿化,有Cu、Pb、Ag、W等化探异常。

开岭脚岩体样品为灰色花岗闪长岩,半自形粒状结构,块状构造,矿物粒径为1~2 mm。主要矿物为:斜长石(40%~45%)、钾长石(15%~20%)、石英(20%)、角闪石(8%)与黑云母(12%)。其中:斜长石呈板状,发育卡—钠复合双晶和环带构造,斜长石核部An<sub>33~35</sub>,为偏酸性的中长石;钾长石呈不规则的板状,显微条纹结构,属条纹长石;石英呈他形粒状充填在其他矿物颗粒之间;角闪石呈柱状,单偏光镜下,见有黄绿—绿色的多色性和较明显的{110}完全解理,柱面斜消光,消光角小于25°,属普通角闪石;黑云母具棕—黄的多色性,近平行消光。

里陈家岩体位于马金—乌镇断裂带西侧,主要侵入于早奥陶世地层中,出露面积约2.5 km<sup>2</sup>。岩体产黄铜矿、硫铁矿与方铅矿。有Cu、W等化探异常。

里陈家岩体样品为灰白色花岗闪长岩,半自形粒状结构,块状构造,矿物粒径1~1.5 mm。主要矿物为:斜长石(50%)、钾长石(20%~25%)、石英(15%~18%)及少量角闪石(10%~12%)与黑云母。其中:斜长石呈板状或粒状,发育卡—钠复合双晶,斜长石核部An<sub>35</sub>,为偏酸性的中长石;钾长石偶见显微条纹结构;石英、角闪石颗粒较小,呈填隙状;黑云母较为新鲜,呈片状,片径约0.5~1 mm,正交偏光镜下呈II级干涉色。

## 3 锆石 U—Pb 年龄

### 3.1 分析方法

样品均采自采石场的新鲜岩石,开岭脚岩体(样品号KLJ)采样点位置为:东经119°09'04",北纬29°50'23";里陈家岩体(样品号LCJ)采样点位置为:东经119°10'49",北纬29°56'56"。样品重约10 kg。破碎后经人工淘洗分离出重砂,经重液分离和磁选后,在

双目镜下挑选出代表性的锆石。

样品 KLJ 中锆石颗粒在反射光下为浅灰色,透射光下为灰色;锆石颗粒较大,一般 100~300 μm,大者可达 350 μm,长宽比主要 2:1~3:1,偶见 5:1;晶体内部常见暗色不透明包裹体,部分出现裂纹,部分锆石颗粒有一定破碎;锆石晶体大多自形程度较好,呈长柱状与短柱状。

与样品 KLJ 相比,样品 LCJ 中锆石颗粒较小,一般为 50~200 μm,大者可达 280 μm,长宽比主要 2:1~4:1;晶体内部可见暗色不透明包裹体;锆石晶体大多自形程度较好,常呈长柱状,表面光滑。

将挑选好的锆石与数粒 RSES 标准锆石 TEM 置于环氧树脂中<sup>[9]</sup>,然后进行抛光,使锆石内部暴露,进行阴极发光和背散射电子图像研究及 SHRIMP U-Pb 分析。这些均在中国地质科学院北京离子探针中心完成。应用 RSES 标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素之间的分馏校正,SLB (年龄 572 Ma;U 含量

为  $238 \times 10^{-6}$ ) 标定所测锆石的 U、Th、Pb 含量。数据处理、年龄计算与绘图使用 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2003)。

### 3.2 分析结果

SHRIMP U-Pb 分析结果见表 1,各个数据点对应的锆石形态及分析区域见图 2。表 1 中所列单个数据点的误差均为 1σ,采用年龄为 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄,其加权平均年龄误差为 2σ,具有 95%的置信度。

开岭脚花岗闪长岩体中锆石 U 含量为 (60~453) × 10<sup>-6</sup>, Th 含量为 (35~209) × 10<sup>-6</sup>, Th/U 值为 0.39~0.97,均大于 0.1,表明锆石具有典型岩浆成因的特点。从锆石的阴极发光图像(图 2)可以看出,锆石均发育岩浆振荡环带结构,表明其为岩浆成因。在 14 个测点中,有 2 个偏离了年龄谐和线:其中一个点(KLJ-12.1)年龄值偏低,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄值为 87.7 Ma,可能是经历了放射性成因铅丢失;另一个点(KLJ-14.1)年龄值偏高,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄值为

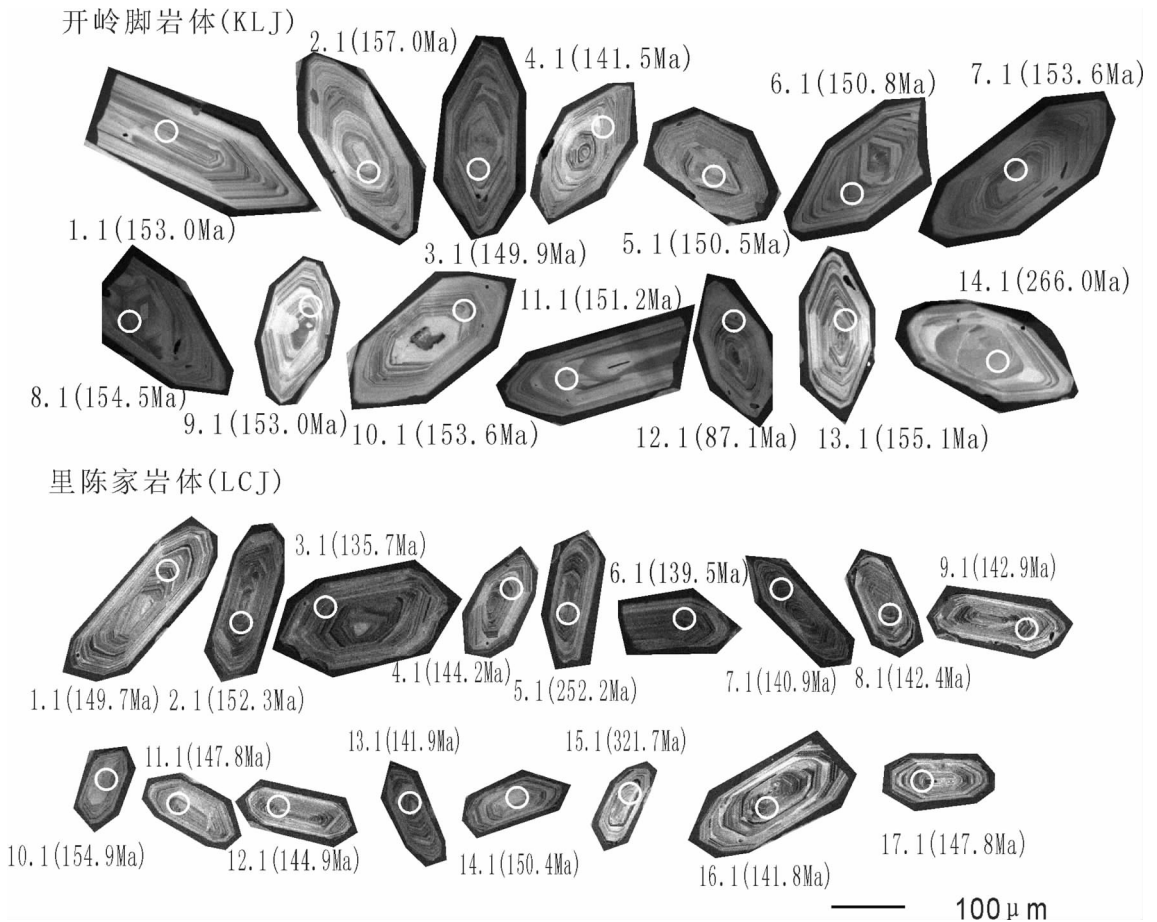


图 2 开岭脚、里陈家花岗闪长岩体中代表性锆石的阴极发光图像

Fig.2 Cathodoluminescence images of representative zircons from Kailingjiao and Lichenjia granodiorites

表 1 浙西开岭脚、里陈家花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果

Table 1 U-Pb SHRIMP zircon data of Kailingjiao and Lichenjia granodiorites in western Zhejiang

<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> /%	U /10 <sup>6</sup>	Th /10 <sup>6</sup>	<sup>232</sup> Th / <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb*/10 <sup>6</sup>	同位素比值						误差	表面年龄/Ma				Discordant/%
					<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	±%		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb			
开岭脚岩体 (KLJ)																
2.47	149	92	0.64	3.16	0.0404	20	0.134	21	0.02402	3.9	.187	153.0	±5.9	-325	±530	147
4.07	132	90	0.70	2.91	0.0340	34	0.117	34	0.02465	3.6	.106	157.0	±5.6	-752	±950	121
7.74	81	64	0.81	1.72	0.0230	86	0.074	86	0.02290	4.2	.049	145.9	±6.1	-2,000	±3200	107
2.14	283	209	0.76	5.51	0.0376	15	0.115	16	0.02219	3.4	.221	141.5	±4.8	-514	±400	128
2.19	140	97	0.72	2.91	0.0477	6.4	0.155	7.2	0.02362	3.3	.454	150.5	±4.9	86	±150	-74
1.38	290	119	0.42	5.97	0.0478	6.8	0.156	7.5	0.02368	3.1	.415	150.8	±4.6	92	±160	-65
2.71	133	76	0.59	2.82	0.0546	18	0.181	18	0.02410	4.4	.240	153.6	±6.7	396	±400	61
4.13	90	84	0.97	1.96	0.0450	31	0.152	31	0.02426	3.8	.121	154.5	±5.8	-31	±760	599
1.34	174	126	0.75	3.49	0.0528	9.6	0.167	10	0.02297	3.3	.321	146.4	±4.7	319	±220	54
3.16	159	86	0.55	3.41	0.0410	33	0.136	33	0.02412	3.6	.109	153.6	±5.5	-299	±840	151
3.73	122	46	0.39	2.59	0.0420	25	0.139	25	0.02373	3.5	.141	151.2	±5.3	-206	±620	173
1.06	453	215	0.49	5.38	0.0559	7.3	0.106	8.0	0.01369	3.1	.392	87.7	±2.7	449	±160	80
1.45	283	168	0.61	6.01	0.0481	10.0	0.161	10	0.02435	3.2	.306	155.1	±4.9	104	±240	-50
4.73	60	35	0.59	2.29	0.0390	37	0.225	37	0.04210	3.8	.104	266	±10	-432	±960	162
里陈家岩体 (LCJ)																
0.75	571	300	0.54	11.6	0.0414	5.3	0.134	6.1	0.02350	3.0	.498	149.7	±4.5	-266	±130	156
0.98	385	393	1.05	7.99	0.0456	7.8	0.150	8.4	0.02390	3.1	.369	152.3	±4.6	-22	±190	779
0.32	741	572	0.80	13.6	0.0501	3.4	0.147	5.0	0.02127	3.7	.734	135.7	±4.9	199	±79	32
1.36	301	189	0.65	5.93	0.0442	8.2	0.138	8.8	0.02262	3.1	.353	144.2	±4.4	-99	±200	246
0.43	293	122	0.43	10.1	0.0546	3.3	0.301	4.5	0.03990	3.0	.679	252.2	±7.5	398	±74	37
0.89	598	337	0.58	11.3	0.0451	5.1	0.136	6.0	0.02188	3.0	.506	139.5	±4.2	-48	±120	393
0.29	707	461	0.67	13.5	0.0477	2.5	0.145	3.9	0.02210	3.0	.767	140.9	±4.2	82	±60	-72
0.72	478	343	0.74	9.23	0.0473	5.0	0.146	5.8	0.02233	3.0	.520	142.4	±4.3	64	±120	-122
0.63	562	346	0.64	10.9	0.0476	7.0	0.147	7.7	0.02241	3.1	.404	142.9	±4.4	80	±170	-78
2.03	223	91	0.42	4.76	0.0547	13	0.184	13	0.02433	3.3	.251	154.9	±5.0	402	±280	61
0.92	363	150	0.43	7.29	0.0485	6.6	0.155	7.3	0.02319	3.1	.421	147.8	±4.5	126	±160	-17
0.49	422	146	0.36	8.29	0.0507	4.3	0.159	5.7	0.02274	3.8	.663	144.9	±5.4	226	±98	36
1.26	414	192	0.48	8.02	0.0479	7.6	0.147	8.2	0.02226	3.1	.377	141.9	±4.3	92	±180	-54
1.83	155	159	1.06	3.20	0.0487	15	0.159	16	0.02360	4.2	.270	150.4	±6.3	135	±350	-12
0.35	384	143	0.38	17.0	0.0589	2.6	0.415	4.1	0.05120	3.2	.775	321.7	±9.9	563	±56	43
0.41	724	582	0.83	13.9	0.0483	3.9	0.148	5.0	0.02224	3.0	.612	141.8	±4.3	115	±93	-23
0.56	628	497	0.82	12.6	0.0467	3.3	0.149	4.5	0.02319	3.0	.670	147.8	±4.4	36	±80	-315

266 Ma,可能是岩体形成时捕获了更老的锆石残留核,因此这两个年龄值不参与最终的年龄计算.其余 12 个测点集中分布于谐和线附近 (图 3),<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄为 141.5~157 Ma, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄

为 (151 ± 3)Ma(MSWD = 0.74),该年龄代表岩体的形成时代.

里陈家花岗闪长岩体中锆石 U 含量为 (155~728)×10<sup>-6</sup>,Th 含量为 (91~491)×10<sup>-6</sup>,Th/U 值为

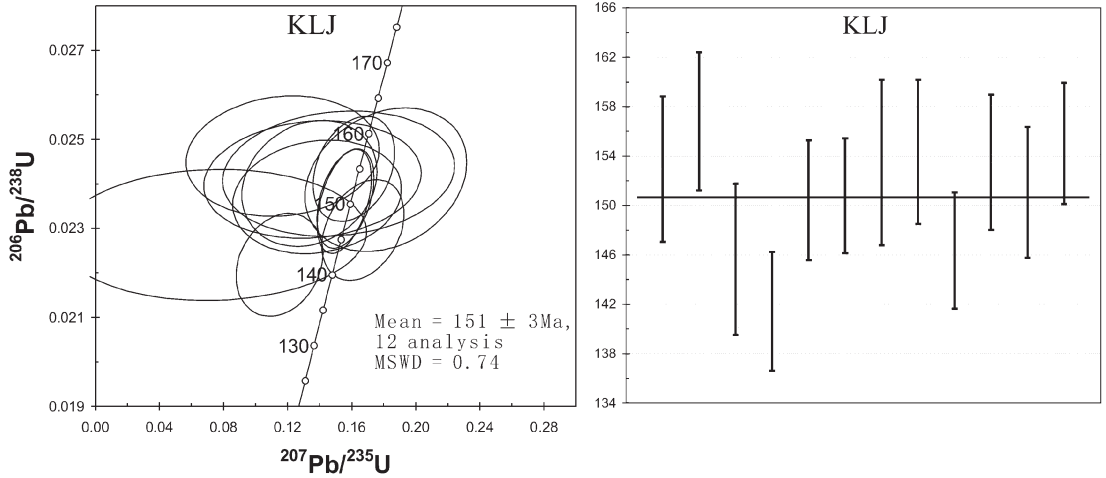


图 3 开岭脚花岗闪长岩中锆石 U-Pb 谐和图(12 个测点)

Fig.3 U-Pb concordia diagram of zircons from Kailingjiao granodiorites (12 analytical spots)

0.36~1.06, 均大于 0.1, 同样表明锆石为典型岩浆成因的特点; 锆石的阴极发光图像显示(图 2), 锆石都具有较典型的岩浆振荡环带结构, 也表明其为岩浆成因。在 17 个测点中, 有 2 个(LCJ-5.1, LCJ-15.1) 偏离了年龄谐和线, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄值分别为 252.2 Ma、321.7 Ma, 可能是岩体形成时捕获或继承了更老的锆石残留核, 因此两个年龄值不参与最终的年龄计算。其余 15 个测点集中分布于谐和线附近(图 4),  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄为 135.7~154.9 Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $(148 \pm 2)\text{Ma}$  (MSWD = 1.2), 该年龄即为岩体的形成时代。

### 4 讨论

(1) 浙江西部中生代侵入岩较少, 对其运用最新的 SHRIMP U-Pb 测年法进行测年具有十分重要的意义。其一, 该方法误差小、精度高, 测得的年龄数据接近真实年龄, 可以开启浙西同位素年代学的研究; 其二, 该方法的运用, 可以为下一步浙江西部侵入岩 SHRIMP U-Pb 测年提供借鉴作用。

(2) 浙江首次发现了晚侏罗世侵入岩。说明在燕山晚期火山活动之前, 该地区还存在岩浆活动, 岩浆演化过程中, 没有缺失晚侏罗世的地质记录。

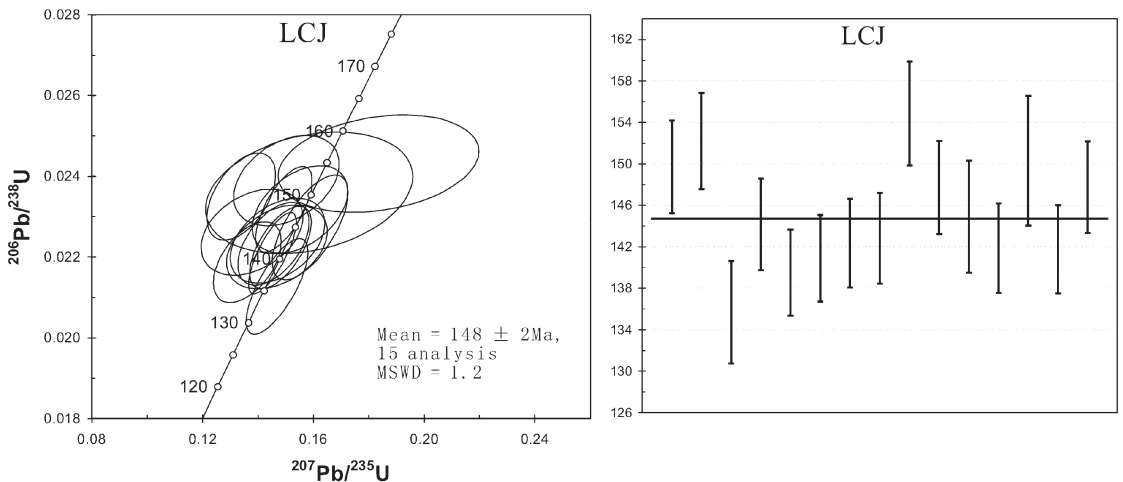


图 4 里陈家花岗闪长岩中锆石 U-Pb 谐和图(15 个测点)

Fig.4 U-Pb concordia diagram of zircons from Lichenjia granodiorites (15 analytical spots)

(3)浙江西部晚中生代中-酸性侵入岩出露不多,与矿产有关的岩体亦较少。通过两个含矿岩体时代的研究,说明晚侏罗世是浙江省内一个十分重要的成矿时代。成矿与晚侏罗世中-酸性侵入岩关系十分密切。

## 5 结 论

开岭脚花岗闪长岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果为 $(151 \pm 3)$  Ma(MSWD = 0.74),里陈家花岗闪长岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果为 $(148 \pm 2)$  Ma(MSWD = 1.2),表明两个花岗闪长岩体均形成于晚侏罗世,说明浙西存在晚侏罗世的侵入岩。

**致谢:**年龄测试、数据处理得到中国地质科学院北京离子探针中心颜颀强博士的指导、帮助,在此表示衷心的感谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 顾知微. 浙江侏罗系和白垩系研究 [C]//中国科学院南京地质古生物研究专著. 浙皖中生代火山沉积岩地层的划分及对比.北京:地质出版社, 1980:2-68.
- [2] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1989:138-164.
- [3] 俞国华, 方柄兴, 马武平, 等. 浙江省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996:136-143.
- [4] 俞云文, 徐步台. 浙江中生代晚期火山-沉积岩系层序与时代[J]. 地层学杂志, 1999, 4:136-145.
- [5] 陶奎元, 刑光福, 杨祝良, 等. 浙江中生代火山岩时代厘定和问题讨论[J]. 地质评论, 2000, 1:14-21.
- [6] 汪庆华. 试论浙江建德群和磨石山群时代 [J]. 火山地质与矿产, 2001, 22(3):163-169.
- [7] 邢光福. 中国东南部中生代火山岩地层调查研究新进展[C]//南京地质矿产研究所编.华东地区地质调查成果论文集.北京:中国大地出版社, 2006:11-17.
- [8] 陈丕基. 中国陆相侏罗-白垩系划分对比述评 [J]. 地层学杂志, 2000, 24(2):114-119.
- [9] 宋彪, 张玉海, 万渝生. 锆石 SHRIMP 样品制靶、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质评论, 2002, 48(增刊):26-30.
- [10] Yu Guohua, Fang Bingxing, Ma Wuping, et al. Stratigraphy (Lithostratic ) of Zhejiang Province [M]. Wuhan : China University of Geosciences Press, 1996:136-143(in Chinese).
- [11] Yu Yunwen, Xu Butai. Stratigraphical sequence and geochronology of the Upper Mesozoic volcano-sedimentary rock series in Zhejiang [J]. Journal of stratigraphy, 1999, 4:136-145 (in Chinese with English abstract).
- [12] Tao Kuiyuan, Xing Guangfu, Yang Zhuliang, et al. Determination of and discussion on the ages of Mesozoic volcanic rocks in Zhejiang [J]. Geological Review, 2000, 1:14-21 (in Chinese with English abstract).
- [13] Wang Qinghua. Discussion of ages of the Jiande Group and the Moshishan Group in Zhejiang [J]. Volcanology & Mineral Resources,2001, 22(3):163-169(in Chinese).
- [14] Xing Guangfu. Mesozoic volcanic rocks in southeastern China Research Progress [C]// Nanjing Research Institute of Geology and Mineral Resources. The outcome of proceedings in East China Geological Survey. Beijing:China Land Press, 2006:11-17(in Chinese).
- [15] Chen Piji. Chinese terrestrial Jurassic -Cretaceous division and correlation commentary[J]. Journal of stratigraphy, 2000, 24(2):114-119 (in Chinese with English abstract).
- [16] Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng. Zircon SHRIMP sample preparing, dating and discussion about related phenomena [J]. Geological Review, 2002, 48(Supp.):26-30(in Chinese).

## SHRIMP U-Pb ages of zircons from Kailingjiao and Lichenjia granodiorites in western Zhejiang and their geological implications

WANG Jian-guo, WANG Long-wu, CHEN Xiao-you, ZHAO Xu-dong, JIANG Yu,  
ZHOU Zong-yao, YU Guo-chun, YU Yun-wen

(Geological Survey Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 311203, Zhejiang, China)

**Abstract:** Mesozoic intrusive rocks are distributed in whole Zhejiang Province, mostly coexistent with volcanic rocks. Their ages can be divided into Early Yanshanian period and Late Yanshanian period in consistency with ages of volcanic rocks. However, recent researches on biostratigraphy and chronostratigraphy show that the age of Late Jurassic - Cretaceous volcanic-sedimentary rocks should be changed to Cretaceous. The isotopic ages of the Mesozoic intrusive rocks are between 135 Ma and 85Ma. Therefore, the ages of Mesozoic intrusive rocks should be changed from Early and Late Yanshanian period to Late Yanshanian period. The authors conducted zircon SHRIMP U-Pb dating of Kailingjiao and Lichenjia granodiorite closely related to the metallic ore resources in western Zhejiang. Weighted average ages of  $(151 \pm 3)$  Ma (MSWD=0.74) and  $(148 \pm 2.4)$  Ma (MSWD=1.2) are interpreted as the formation time of the granodiorite, suggesting the existence of Late Jurassic intrusive rocks in western Zhejiang. This period is also important for mineralization.

**Key words:** western Zhejiang; Kailingjiao; Lichenjia; granodiorites; zircon SHRIMP U-Pb age

**About the first author:** WANG Jian-guo, male, born in 1977, engineer, engages in regional geological survey; E-mail: WJGLYP09@sina.com.

### 2009 年度地质科学类期刊前 30 名影响因子排序表

1	地质科学	2.735	16	岩矿测试	0.868
2	岩石学报	2.603	17	工程地质学报	0.844
3	矿床地质	2.224	18	地质与勘探	0.822
4	地质学报	1.871	19	地质科技情报	0.782
5	高校地质学报	1.611	20	矿物岩石	0.774
6	石油实验地质	1.581	21	西北地质	0.615
7	中国科学(D 辑)	1.500	22	中国岩溶	0.562
<b>8</b>	<b>中国地质</b>	<b>1.487</b>	23	海洋地质与第四纪地质	0.559
9	地质论评	1.470	24	地层学杂志	0.522
10	地质通报	1.373	25	世界地质	0.494
11	地质力学学报	1.256	26	水文地质工程地质	0.442
12	现代地质	1.172	27	水文	0.377
13	岩石矿物学杂志	1.118	28	新疆地质	0.319
14	沉积学报	1.045	29	铀矿地质	0.316
15	冰川冻土	0.888	30	地质与资源	0.252

注:表中数据引自中国科学技术信息研究所编《2010 年版中国科技期刊引证报告(核心版)》.北京:科学技术文献出版社.