

赣东北贵溪地区片岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄、Hf 同位素及其地质意义

苏慧敏 张承帅

(地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:应用 LA-ICP-MS U-Pb 同位素原位微区定年方法及 Hf 同位素和微量元素分析方法, 对华夏地块北部赣东北地区 1 个云母石英片岩中 48 个碎屑锆石进行了系统研究。这些锆石大部分具特征的振荡环带, Th/U 比值较高 (> 0.4), 稀土元素配分型式左倾(富集 HREE), 具明显正 Ce 和负 Eu 异常, 属于特征的岩浆锆石。年代学研究显示, 华夏北部新元古代变沉积岩主要在~775 Ma 出现峰值并在~840 Ma 出现次高峰, 说明在此时期有两期大规模的岩浆活动。~840 Ma 的峰值锆石对应的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值明显分为两个区间, 既有正值, 也有负值, 而在~775 Ma 的峰值锆石对应测定的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值均为负值。结合前人的 Hf 同位素测试结果, 说明华夏地块新元古代中期岩浆活动主要表现为古老陆壳物质的再循环。形成于古元古代~1770 Ma 的一个次高峰的年龄数据非常一致, 单一的 Hf 同位素成分和较好的锆石晶形表明它们最可能捕获于深部的一个古元古代基底岩石。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; Hf 同位素; 云母石英片岩; 老虎塘组; 赣东北

中图分类号: P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)06-1577-16

华南陆块是亚洲大陆上一个很重要的地质单元, 由扬子板块与华夏地块组成, 这两地块大体以绍兴—江山—萍乡大断裂为界^[1](图 1)。两板块具有完全不同的前寒武纪演化历史。中、新元古代 Rodinia 超大陆的拼合—裂解机制是国内外众多地质学者关注的焦点^[2-4]。华南陆块作为这个超级大陆的重要组成部分之一, 此超大陆拼合—裂解时序内华夏与扬子板块的拼合以及之后的裂解成为了研究的重点^[7-10]。作为对 Rodinia 超大陆裂解的响应, 前人在扬子地块周边地区报道了大量新元古代 800~700 Ma 的岩浆活动^[11-12]。但对华夏地块的报道较少。近年来, 随着新的锆石年代学资料的积累, 根据在粤东、粤北、闽西南和赣南等地变质岩中碎屑锆石的年龄资料, 可以推断华夏地块同样发生过强烈的新元古代中期的岩浆活动^[13]。因为这些物质多呈碎屑颗粒存在于新元古代的沉积物中。因此, 它们可能是华夏地块对

Rodinia 超大陆裂解的响应^[14], 但也有学者认为它们是来自于相邻的扬子板块^[15]。本文报道了华夏地块北部贵溪地区新元古代地层老虎塘组一个变质沉积岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄分布和 Hf 同位素组成, 并对华夏地块(特别是华夏北部)新元古代中期岩石的 U-Pb-Hf 进行了收集整理, 以期望对华夏陆块新元古代岩浆事件提供新的研究思路。

1 区域地质概况和岩石样品特征

本次研究的样品采自华夏地块北部赣东北贵溪地区。区域出露的变质岩主要为新元古代老虎塘组, 岩性主要为深灰色、灰绿色中厚层状变余凝灰质砂岩、变余凝灰质长石石英砂岩及变余长石石英砂岩间夹绢云千枚岩、含炭千枚岩、凝灰质千枚岩, 上部主要为云母石英片岩、石英云母片岩和黑云斜长片麻岩等, 老虎塘组地层出露面积约 11 km², 被加里

收稿日期: 2012-11-26; 改回日期: 2012-12-10

基金项目: 国家重点基金项目(40930419)和国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200911007)资助。

作者简介: 苏慧敏, 女, 1984 年生, 博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: suhuimin1984@163.com。

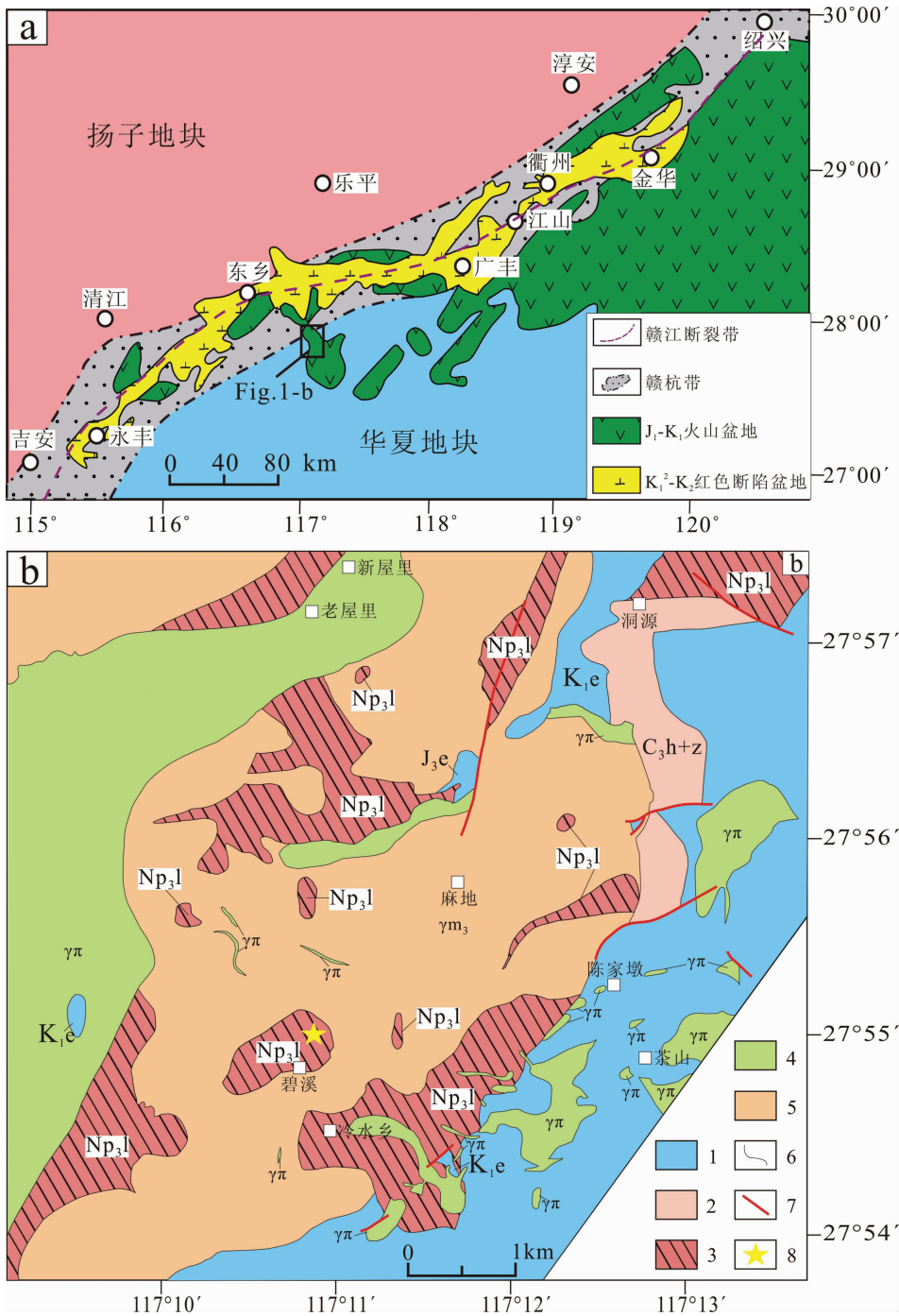


图1 华南赣杭带地质简图(a)(据 Yang et al.^[2]修改)和赣东北贵溪地区地质简图(b)

1—早白垩世鹅湖岭组火山岩;2—石炭系黄龙组 and 梓山组含电气石石英粗砂岩、含砾石英砂岩、石灰岩;3—新元古界老虎塘组云母石英片岩、黑云斜长片麻岩;4—燕山期花岗质岩石;5—加里东期混合花岗岩;6—地质界线;7—断层;8—采样位置

Fig.1 Geological sketch map showing the Gan-Hang belt in Southeast China (a) (modified after Yang et al.^[2]) and Geological map of Guixi area, northeastern Jiangxi Province (b)

1- Volcanic rocks of Ehuling Formation; 2- Carboniferous Laohutang Formation and Zishan Formation: tourmaline-bearing quartz gritstone, breccia-bearing quartz sandstone and limestone; 3- Neoproterozoic Laohutang Formation: mica-quartz schist and biotite plagiogneiss; 4- Yanshanian granitoids; 5- Caledonian migmatitic granites; 6- Geological boundary; 7- Fault; 8- Sampling site

①江西省地质矿产勘查开发局九一二大队.麻地—碧山工作区综合地质及工程部署图(比例尺 1:10000, 内部资料),2010.

东期混合花岗岩和燕山期的各类花岗质岩石所包围和侵入(图 1)。本次研究的样品是云母石英片岩(ZK12428-5),具片状粒状变晶结构,片状构造。主要由石英(65%左右)、黑云母(15%左右)、白云母(8%左右)和斜长石(6%左右)组成。石英,粒状,0.2~1 mm,波状消光明显。黑云母鳞片状、针状,多色性明显,淡绿—黄绿色。0.4~1.2 mm,可见一组极完全解理。白云母无色,针状,0.2~0.7 mm。部分云母可见挠曲现象。斜长石大多发生蚀变,粒度与石英相似,可见聚片双晶,简单双晶。另可见黄铁矿、闪锌矿等金属矿物。

2 分析技术

用于锆石年代学测试的样品首先经过破碎,经浮选和密度分选后,经过淘洗,最后在双目镜下挑纯,锆石的单矿物分选在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司完成。将待测样品锆石颗粒置于环氧树脂制靶,然后研磨抛光直至有足够的新鲜锆石截面使锆石内部结构暴露。对靶上锆石进行显微镜下透射光、反射光照相后,进行阴极发光成像。阴极发光 CL 图像在中国地质科学院北京离子探针中心 HITACHI S-3000N+GATAN 公司 Chroma 仪器上完成。

样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成。LA-ICP-MS 激光剥蚀系统为美国 Newwave 公司生产的 UP193FX 型 193 nm ArF 准分子系统,激光器来自于德国 ATL 公司,ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光器波长为 193 nm,脉冲宽度 < 4 ns。本次所用斑束直径为 25 μ m。激光剥蚀采样过程以氦气作为载气,氦气携带样品气溶胶在进入 ICP 之前通过一个 T 型三通接头与氦气(载气、等离子体气和补偿气)混合。通过调节氦气和氦气气流大小,以获得 NIST SRM 612(美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质)最佳信号为条件实现测试系统最优化,优化条件主要为信号灵敏度最高、氧化物产率最低、双电荷干扰最小、气体空白最低和信号强度最稳定。未知样品测试时采样方式为单点剥蚀、跳峰采集;单点采集时间模式为:15~20 s 气体空白+40 s 样品剥蚀+45~55 s 冲洗;每 6 个未知样品点插入一组标样(锆石标样和成分标样)。本次样品分析过程中,Plesovice 标样作为未知样品的分析结果为 $(337.3 \pm 1.3)\text{Ma}$ ($n=$

10, 2σ), 对应的年龄推荐值为 $(337.13 \pm 0.37)\text{Ma}$ (2σ)^[16],两者在误差范围内完全一致。成分标样采用 NIST SRM 612,其中 ^{29}Si 作为内标元素。样品的同位素比值及元素含量计算采用 GLITTER_ver 4.0 程序,普通铅校正采用 Anderson 提出的 ComPbCorr#3.17 校正程序^[17],U-Pb 谐和图、年龄分布频率图绘制和年龄权重平均计算采用 Isoplot/Ex_ver 3^[18]程序完成。

锆石 Hf 同位素测试是在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室 Neptune 多接受等离子质谱和 Newwave UP213 紫外激光剥蚀系统(LA-MC-ICP-MS)上进行的,Hf 同位素分析点在 U-Pb 分析点上进行,实验过程中采用 He 作为剥蚀物质载气,剥蚀直径采用 55 μ m,测定时使用锆石国际标样 GJ1 作为参考物质,分析点与 U-Pb 定年分析点为同一位置。相关仪器运行条件及详细分析流程见侯可军等^[19]。分析过程中锆石标准的 GJ1 的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 测试加权平均值为 $0.282\ 028 \pm 9$ (2σ , $n=3$),与文献报道值 $0.282\ 015 \pm 19$ (2σ)^[19-20]在误差范围内完全一致。

3 锆石 CL 图像和微量元素原位分析

贵溪云母石英片岩含有大量大小不等的碎屑锆石,这些锆石主要是无色透明的颗粒(图 2)。较年轻的锆石颗粒以自形,长柱状为主,反映碎屑近距离搬运的特征。较老的锆石颗粒粒度较小,大部分呈浑圆状。大部分锆石显示了特征的振荡环带,显示了岩浆锆石的特征。48 颗锆石中有一颗锆石(43 号点)的 Th/U 比值小于 0.1,一颗锆石的值小于 0.4 但大于 0.1(03 号点),为 0.20,其余 46 个点 Th/U 比值变化范围为 0.50~2.83。虽然大量研究表明,岩浆锆石的 Th、U 含量一般较高,Th/U 比值较大(一般大于 0.4)^[21-22],但是一些成分特殊的岩浆中结晶的锆石具有异常的 Th/U 比值,所以,仅凭锆石的 Th/U 比值有时并不能有效地鉴别岩浆锆石和变质锆石^[23-25]。为了进一步探索锆石的性质,笔者对所测锆石进行了微量元素原位分析,结果如表 1 所示。从锆石稀土元素配分型式图上可以看出(图 3)大部分锆石稀土元素配分型式左倾(蓝线表示),HREE 富集,具明显正 Ce 异常和负 Eu 异常,类似于岩浆锆石和深熔作用成因锆石的特征^[21-22, 26]。但也有部分样品并没有明显的韵律环带,其微量元素(红线表示)显示平的 LREE 分布

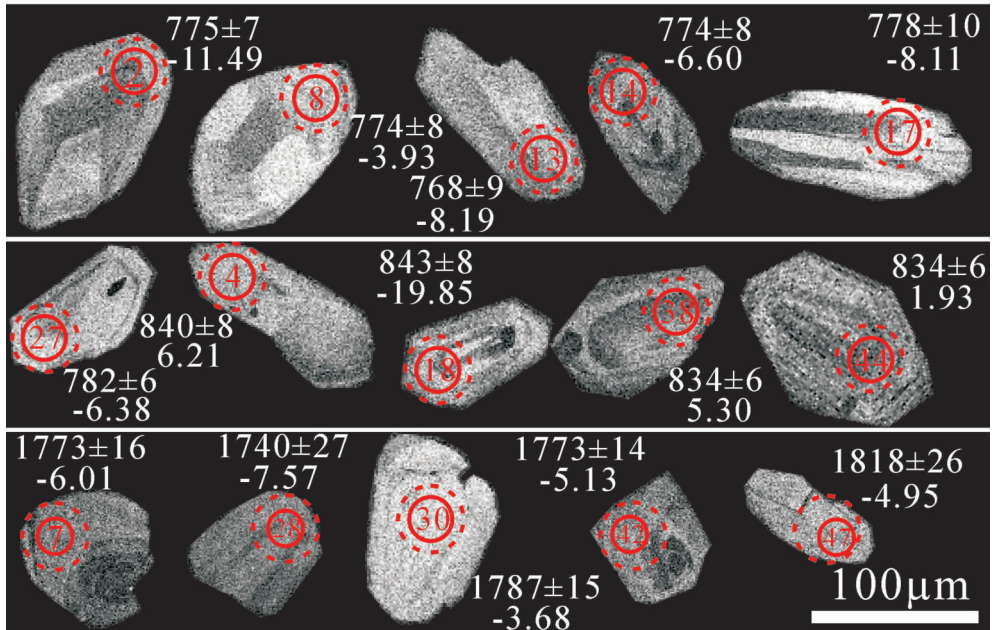


图2 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石阴极发光(CL)图像及测试位置
小圈是定年位置,大圈是 Hf 分析点,附近的两个数字分别代表年龄值(Ma)和 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值

Fig.2 Representative cathodoluminescence (CL) images of zircons from quartz mica schist in Guixi, northwestern Jiangxi Province
Small circles refer to dating spots, big ones to Hf-isotope analysis positions; numerals near the circles are U-Pb ages (Ma) and $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values

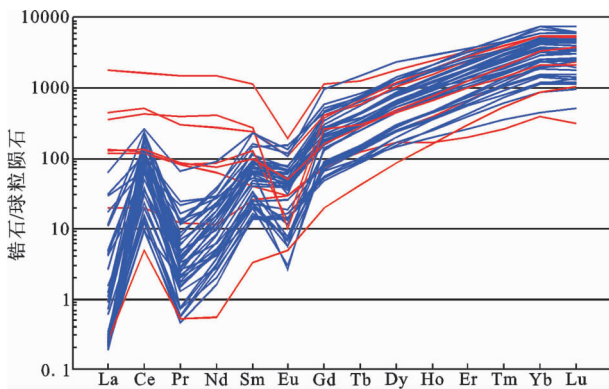


图3 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石稀土元素配分型式图

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of zircon grains from quartz mica schist in Guixi, northwestern Jiangxi Province

模式,没有明显的正 Ce 或负 Eu 异常,这类锆石可能经受了后期的多次高温事件或流体的影响^[27]。

4 锆石 U-Pb 定年结果

对产自新元古界老虎塘组的云母石英片岩

ZK12428-5 样品中 48 粒碎屑锆石进行了 U-Pb 定年测试,结果见表 2。结果显示,数据的年龄变化区间较大,为 2 052~639 Ma,说明岩石中的锆石是多来源的。这些锆石大多具有较好的谐和性,在 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 投影图上全部落在谐和线上或者附近(图 4),这些谐和线上的锆石年龄即可代表它们的真实形成年龄。在 ZK12428-5 样品碎屑锆石数据的年龄频率直方图上(图 5),绝大多数测年数据集聚成 3 个峰,岩石中出现频率最高的锆石是形成于新元古代中期 775 Ma 左右的锆石,在年龄谱上构成一个明显的峰值,其次是形成于新元古代中期 840 Ma 左右的和形成于古元古代 1770 Ma 左右的次高峰。岩石中还发现了其他时代的锆石,其中两个最老的锆石形成于古元古代(~2.1 Ga)。另外还有两颗形成于 Grenville 造山期的~1.0 Ga 的锆石。此外,还获得两颗年轻的晚新元古代的锆石(669 Ma 和 639 Ma)。

5 锆石的 Hf 同位素组成

由于变质作用可能对锆石的 Hf 同位素产生影响^[28],因此本文剔除了锆石稀土配分模式不是典型

表 1 赣东北贵溪地区云母石英片岩中 LA-ICP-MS 锆石微量元素测定结果 (10⁻⁶)
Table 1 LA-ICP-MS zircon trace element analyses for mica quartz schist in Guixi, northeastern Jiangxi Province (10⁻⁶)

测试点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	HREE/LREE	δCe	δEu
ZK12428-5-01	0.07	12.05	0.14	2.23	5.13	0.44	27.33	9.16	117.80	40.30	171.14	40.41	416.37	50.26	893	43	22.02	0.09
ZK12428-5-02	0.06	115.02	0.40	6.46	12.70	4.56	60.40	20.69	264.88	100.23	449.81	110.84	1239.14	158.49	2544	17	85.46	0.42
ZK12428-5-03	4.63	11.97	1.14	5.26	3.90	1.68	16.36	4.46	42.75	9.30	32.49	6.66	66.28	7.97	215	7	1.24	0.55
ZK12428-5-04	0.14	14.47	0.12	1.27	2.13	0.80	11.09	3.85	51.54	20.36	103.48	28.87	336.45	54.37	629	32	25.00	0.41
ZK12428-5-05	0.29	127.05	1.16	17.58	24.77	6.69	102.00	26.93	302.38	97.41	393.45	84.89	815.75	115.24	2116	11	30.90	0.35
ZK12428-5-06	417.50	1018.18	143.30	698.36	175.71	10.91	232.16	45.75	449.90	135.56	542.62	111.63	1015.66	147.69	5145	1	1.02	0.17
ZK12428-5-07	0.06	9.64	0.07	1.77	3.50	0.40	16.12	5.26	63.71	22.49	98.70	23.26	240.01	32.33	517	33	31.42	0.13
ZK12428-5-08	0.22	56.59	0.26	3.91	7.34	2.56	35.86	11.61	151.70	57.31	268.41	65.26	689.87	102.61	1454	20	49.72	0.40
ZK12428-5-09	31.30	75.37	7.82	28.83	6.23	1.67	14.96	4.71	60.14	22.67	110.70	29.49	348.91	58.94	802	4	1.15	0.51
ZK12428-5-10	6.87	40.53	2.03	13.63	17.31	4.43	82.54	24.23	236.54	59.33	208.34	43.82	427.53	60.82	1228	13	2.63	0.30
ZK12428-5-11	1.15	69.15	0.68	6.94	12.83	3.82	76.33	26.61	323.45	107.01	479.70	114.71	1132.58	161.48	2516	26	18.85	0.29
ZK12428-5-12	0.05	136.38	0.57	8.53	18.51	1.74	95.38	29.26	354.03	122.91	521.51	110.41	1013.51	155.51	2568	14	71.61	0.10
ZK12428-5-13	0.07	39.18	0.28	4.97	9.53	2.89	40.66	12.25	157.11	56.30	254.96	60.81	630.71	92.46	1362	23	39.82	0.38
ZK12428-5-14	0.07	81.68	0.36	7.20	11.36	3.96	52.48	16.65	212.26	77.84	359.18	85.63	900.76	131.68	1941	18	66.13	0.41
ZK12428-5-15	104.13	309.09	27.88	128.88	35.98	6.08	83.57	22.34	264.52	90.03	395.84	91.07	922.04	134.69	2616	3	1.38	0.33
ZK12428-5-16	7.27	67.80	2.31	12.90	8.03	2.47	33.65	11.38	152.65	56.60	274.32	68.44	744.79	109.99	1553	14	4.03	0.39
ZK12428-5-17	0.22	44.55	0.38	5.47	9.46	3.50	36.79	10.78	135.89	47.10	207.54	50.31	540.84	77.31	1170	17	29.80	0.50
ZK12428-5-18	0.95	22.25	0.30	2.86	3.67	1.44	16.47	5.30	69.20	26.44	130.81	33.94	394.43	61.32	769	23	10.08	0.48
ZK12428-5-19	2.59	87.88	1.53	12.66	12.05	2.61	43.20	11.40	133.71	45.72	192.65	43.47	438.01	63.67	1091	8	10.62	0.31
ZK12428-5-20	0.06	50.68	0.17	3.00	6.11	2.19	31.72	11.17	155.61	60.94	299.61	74.60	797.59	120.22	1614	25	82.10	0.39
ZK12428-5-21	0.06	18.69	0.19	3.72	9.54	0.33	49.72	15.67	195.20	68.43	299.67	66.26	612.89	88.82	1429	43	26.66	0.04

续表 1

测试点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	RBE	HRE/LREE	δCe	δEu
ZK12428-5-22	0.37	18.61	0.20	2.37	3.41	1.11	17.36	5.38	70.89	25.87	129.43	32.34	350.25	53.44	711	26	16.48	0.36
ZK12428-5-23	0.06	65.21	0.54	9.91	14.36	4.60	56.09	16.71	204.54	69.73	310.23	72.64	739.51	107.46	1672	17	35.74	0.43
ZK12428-5-24	0.17	53.89	0.74	13.47	22.41	8.99	92.92	25.79	296.03	94.52	395.15	85.92	836.45	121.46	2048	20	20.72	0.52
ZK12428-5-25	0.05	76.50	0.33	6.33	9.62	2.58	41.03	10.74	125.39	43.05	186.89	42.53	428.63	66.29	1040	10	67.46	0.34
ZK12428-5-26	0.05	21.46	0.43	8.12	13.16	2.73	57.22	16.44	200.09	67.65	291.29	65.40	637.68	93.14	1475	31	15.00	0.26
ZK12428-5-27	2.70	146.58	1.10	10.45	13.72	3.05	70.16	24.55	332.26	123.41	579.48	134.08	1283.16	185.75	2910	15	20.82	0.24
ZK12428-5-28	0.06	5.59	0.19	2.00	3.40	0.32	14.03	4.75	60.04	20.47	90.85	20.21	192.40	28.44	443	37	7.90	0.12
ZK12428-5-29	0.06	65.59	0.07	1.45	4.54	0.66	26.48	10.49	156.91	61.52	312.08	76.58	780.87	116.38	1614	21	226.14	0.14
ZK12428-5-30	0.05	11.89	0.15	2.34	5.19	0.15	28.59	9.15	115.29	38.89	167.73	35.16	311.54	44.82	771	38	22.50	0.03
ZK12428-5-31	0.25	73.75	0.84	10.93	14.08	3.86	54.58	14.00	159.59	52.99	226.93	48.34	482.54	75.24	1218	11	24.36	0.37
ZK12428-5-32	28.14	70.88	7.64	40.23	19.86	0.75	75.66	24.61	307.00	107.14	462.14	99.47	910.27	130.44	2284	13	1.16	0.05
ZK12428-5-33	1.03	81.78	0.47	4.42	6.66	2.35	35.44	12.02	164.28	63.23	307.62	74.37	777.99	126.71	1658	16	28.93	0.38
ZK12428-5-34	0.07	7.41	0.07	0.92	2.08	0.95	11.33	3.36	41.46	14.17	64.02	15.39	149.95	24.49	336	28	23.85	0.48
ZK12428-5-35	0.06	79.78	0.23	5.59	10.87	3.53	51.13	16.85	223.86	79.07	366.50	84.07	806.56	124.81	1853	18	98.03	0.38
ZK12428-5-36	0.05	6.20	0.04	0.74	2.27	0.78	9.63	3.23	39.19	14.87	70.46	18.19	195.13	34.41	395	38	30.25	0.44
ZK12428-5-37	0.06	8.46	0.05	1.37	3.04	0.17	18.19	5.75	74.88	26.71	121.16	27.26	258.85	39.91	586	44	33.65	0.05
ZK12428-5-38	4.09	42.16	1.30	9.41	9.21	2.00	40.53	11.99	148.15	51.75	235.09	53.72	533.68	85.33	1228	17	4.45	0.27
ZK12428-5-39	0.08	23.15	0.14	2.20	3.90	0.76	13.18	3.71	37.65	11.09	42.83	8.87	76.30	12.86	237	7	41.19	0.29
ZK12428-5-40	0.61	102.71	1.12	16.43	35.18	6.34	192.06	55.85	582.31	165.51	604.34	114.42	986.49	151.22	3015	18	23.37	0.19
ZK12428-5-41	0.06	30.55	0.36	6.32	9.89	3.56	44.03	13.26	169.66	58.53	261.67	59.40	580.16	89.91	1327	25	24.59	0.44
ZK12428-5-42	0.05	5.52	0.05	1.17	2.48	0.45	15.45	4.89	62.37	21.06	94.38	20.77	200.69	30.84	460	46	22.96	0.17
ZK12428-5-43	0.06	2.98	0.05	0.25	0.50	0.29	4.00	1.53	21.71	8.93	48.50	13.30	148.77	26.58	277	66	12.66	0.43
ZK12428-5-44	1.11	39.72	0.24	1.91	2.21	0.84	10.98	3.48	50.01	20.37	107.40	28.90	331.09	61.66	660	13	17.89	0.43
ZK12428-5-45	82.68	262.95	37.81	187.89	42.51	0.59	52.88	11.05	113.96	37.28	164.61	36.73	354.55	54.69	1440	1	1.15	0.04
ZK12428-5-46	14.71	157.68	6.25	42.31	35.52	7.66	120.87	30.65	330.77	104.64	434.66	88.80	808.67	128.58	2312	8	4.03	0.32
ZK12428-5-47	0.06	38.64	0.16	1.95	3.16	0.41	16.55	5.74	72.60	25.14	111.25	26.17	255.11	36.56	593	12	65.11	0.14
ZK12428-5-48	30.08	81.41	7.94	35.33	14.53	2.95	32.51	10.02	123.15	42.36	207.88	52.00	570.84	96.46	1307	7	1.26	0.40

$$\delta\text{Ce} = 2(\text{Ce})_n / (\text{La} + \text{Pr})_n, \delta\text{Eu} = 2(\text{Eu})_n / (\text{Sm} + \text{Gd})_n$$

表 2 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石 U-Pb 年龄的 LA-ICP-MS 分析结果
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical results of mica quartz schist in Guixi, northwestern Jiangxi Province

样品号	Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ				
ZK12428-5-01	0.63	0.07410	0.00123	1.82083	0.02639	0.17825	0.00134	1044	17	1053	9	1057	7
ZK12428-5-02	1.61	0.06514	0.00179	1.14710	0.02975	0.12774	0.00124	779	38	776	14	775	7
ZK12428-5-03	0.20	0.11290	0.00173	4.98440	0.06620	0.32020	0.00244	1847	28	1817	11	1791	12
ZK12428-5-04	0.61	0.06713	0.00216	1.28853	0.03976	0.13925	0.00141	842	47	841	18	840	8
ZK12428-5-05	2.26	0.06511	0.00246	1.14951	0.04183	0.12807	0.00146	778	57	777	20	777	8
ZK12428-5-06	2.58	0.06463	0.00286	1.10741	0.04740	0.12431	0.00171	762	67	757	23	755	10
ZK12428-5-07	1.09	0.10862	0.00227	4.74039	0.09225	0.31661	0.00325	1776	21	1774	16	1773	16
ZK12428-5-08	1.20	0.06506	0.00277	1.14482	0.04740	0.12765	0.00135	776	69	775	22	774	8
ZK12428-5-09	1.54	0.06605	0.00404	1.26924	0.07573	0.13940	0.00253	808	94	832	34	841	14
ZK12428-5-10	1.39	0.06707	0.00142	1.18674	0.02306	0.12837	0.00106	840	27	794	11	779	6
ZK12428-5-11	1.14	0.06480	0.00119	0.97629	0.01592	0.10930	0.00082	768	22	692	8	669	5
ZK12428-5-12	1.95	0.06327	0.00235	1.09068	0.03897	0.12505	0.00146	717	56	749	19	760	8
ZK12428-5-13	1.42	0.06437	0.00259	1.12334	0.04364	0.12660	0.00151	754	62	765	21	768	9
ZK12428-5-14	1.54	0.06506	0.00209	1.14459	0.03520	0.12763	0.00132	776	47	775	17	774	8
ZK12428-5-15	2.38	0.07000	0.00135	1.24066	0.02148	0.12858	0.00099	928	23	819	10	780	6
ZK12428-5-16	1.04	0.06516	0.00255	1.14133	0.04307	0.12707	0.00155	780	59	773	20	771	9
ZK12428-5-17	1.65	0.06581	0.00379	1.16369	0.06575	0.12829	0.00180	800	95	784	31	778	10
ZK12428-5-18	1.83	0.06900	0.00206	1.32800	0.03764	0.13962	0.00142	899	42	858	16	843	8
ZK12428-5-19	1.71	0.06679	0.00346	1.18591	0.05990	0.12882	0.00185	831	81	794	28	781	11
ZK12428-5-20	1.21	0.06509	0.00162	1.15000	0.02686	0.12818	0.00113	777	34	777	13	777	6
ZK12428-5-21	1.21	0.10607	0.00208	4.62204	0.08331	0.31614	0.00305	1733	19	1753	15	1771	15

续表 2

样品号	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)							
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ				
ZK12428-5-22	1.04	0.06429	0.00197	1.21802	0.03567	0.13745	0.00135	751	45	809	16	830	8
ZK12428-5-23	2.04	0.06503	0.00238	1.14724	0.04041	0.12799	0.00145	775	55	776	19	776	8
ZK12428-5-24	2.26	0.06512	0.00413	1.14871	0.07168	0.12796	0.00185	778	107	777	34	776	11
ZK12428-5-25	1.65	0.06543	0.00398	1.14017	0.06789	0.12643	0.00207	788	98	773	32	767	12
ZK12428-5-26	0.88	0.06582	0.00234	1.16598	0.03969	0.12851	0.00147	801	52	785	19	779	8
ZK12428-5-27	1.35	0.06492	0.00135	1.15472	0.02188	0.12904	0.00103	772	26	779	10	782	6
ZK12428-5-28	0.95	0.10434	0.00431	4.45537	0.18064	0.30978	0.00549	1703	49	1723	34	1740	27
ZK12428-5-29	1.02	0.06537	0.00128	1.15312	0.02032	0.12797	0.00100	786	24	779	10	776	6
ZK12428-5-30	1.03	0.10671	0.00200	4.69727	0.08018	0.31937	0.00297	1744	18	1767	14	1787	15
ZK12428-5-31	2.09	0.06621	0.00506	1.18607	0.08886	0.12996	0.00274	813	122	794	41	788	16
ZK12428-5-32	0.99	0.06540	0.00098	1.15861	0.01461	0.12852	0.00090	787	15	781	7	779	5
ZK12428-5-33	1.49	0.06532	0.00133	1.15276	0.02129	0.12803	0.00100	785	26	779	10	777	6
ZK12428-5-34	1.39	0.06635	0.01163	1.27080	0.22089	0.13896	0.00457	817	322	833	99	839	26
ZK12428-5-35	1.33	0.06522	0.00230	1.13936	0.03857	0.12674	0.00144	781	52	772	18	769	8
ZK12428-5-36	0.63	0.06882	0.00363	1.46129	0.07532	0.15404	0.00232	893	82	915	31	924	13
ZK12428-5-37	0.97	0.10364	0.00285	4.17767	0.10957	0.29245	0.00348	1690	31	1670	21	1654	17
ZK12428-5-38	1.40	0.06941	0.00146	1.32220	0.02545	0.13820	0.00114	911	26	855	11	834	6
ZK12428-5-39	1.06	0.13221	0.00291	6.83214	0.14182	0.37490	0.00433	2128	21	2090	18	2052	20
ZK12428-5-40	1.23	0.06674	0.00192	0.95915	0.02600	0.10426	0.00102	830	40	683	13	639	6
ZK12428-5-41	1.67	0.06506	0.00415	1.14857	0.07163	0.12808	0.00222	776	102	777	34	777	13
ZK12428-5-42	0.50	0.10585	0.00199	4.61777	0.07865	0.31649	0.00289	1729	18	1752	14	1773	14
ZK12428-5-43	0.08	0.13559	0.00249	6.95872	0.10958	0.37222	0.00349	2172	33	2106	14	2040	16
ZK12428-5-44	1.88	0.06694	0.00123	1.27511	0.02080	0.13819	0.00105	836	21	835	9	834	6
ZK12428-5-45	0.94	0.11024	0.00137	4.83594	0.04639	0.31825	0.00221	1803	8	1791	8	1781	11
ZK12428-5-46	2.83	0.06563	0.00300	1.16235	0.05150	0.12848	0.00172	795	70	783	24	779	10
ZK12428-5-47	2.54	0.11584	0.00732	5.20313	0.31783	0.32576	0.00529	1893	117	1853	52	1818	26
ZK12428-5-48	0.95	0.06702	0.00146	1.15429	0.02303	0.12495	0.00105	838	28	779	11	759	6

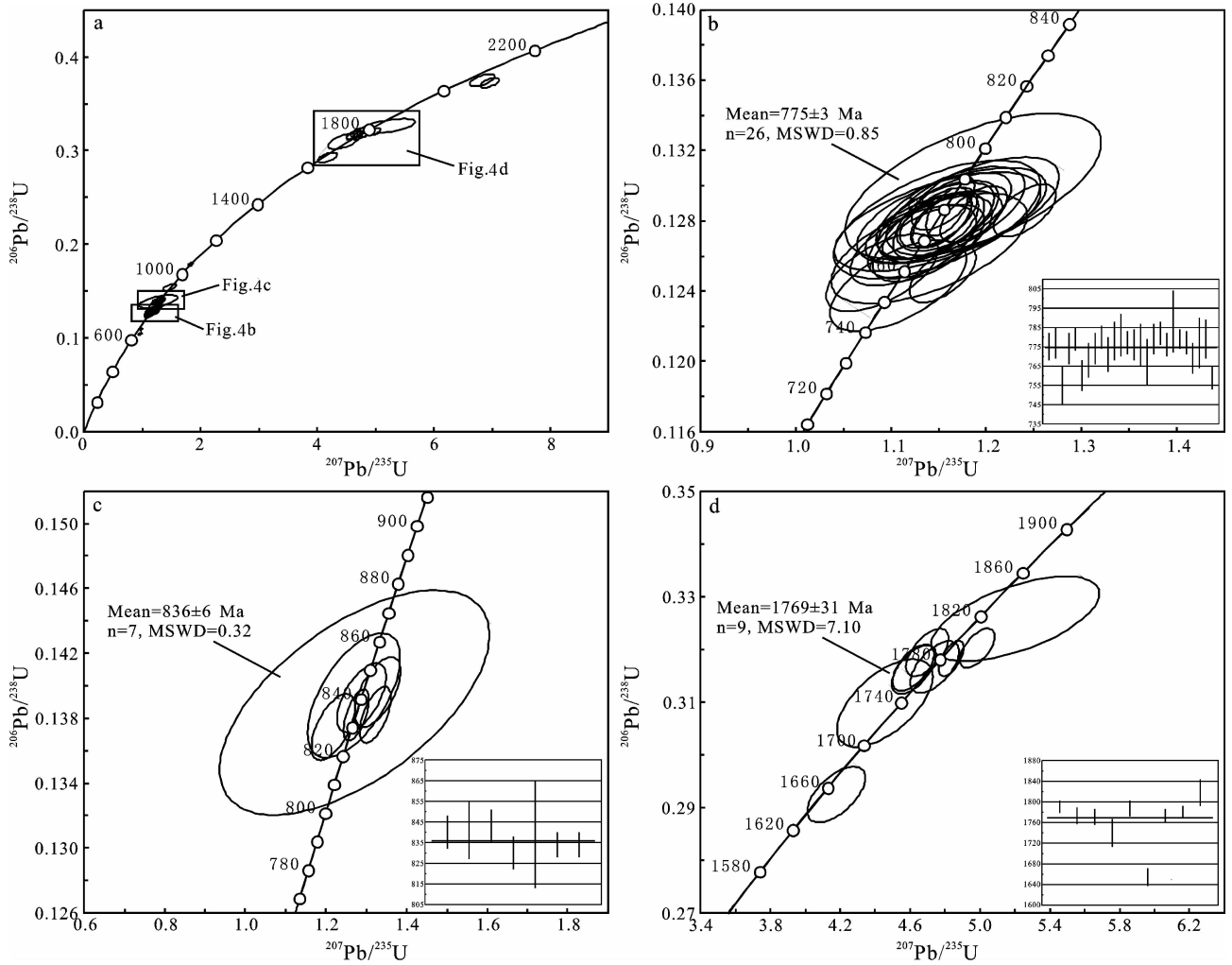


图 4 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石 U-Pb 年龄谐和图 (a) 和 ~775 Ma, ~840 Ma, ~1770 Ma 3 组年龄谐和图 (b, c, d) (Fig.4 U-Pb concordia diagrams of zircons (a) and three groups of zircons (~775 Ma (b), ~840 Ma (c) and ~1770 Ma (d), respectively) from quartz mica schist in Guixi, northwestern Jiangxi Province

岩浆和深熔成因的锆石。在剩余的锆石中,本文对 3 个主要峰期 (~775 Ma, ~840 Ma, ~1770 Ma) 的 28 个锆石样品进行了 Hf 同位素分析 (表 3, 图 6)。16 个 ~775 Ma 锆石的 Hf 同位素组成变化范围较大, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值变化于 0.28178 ~ 0.28218, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t) = -12.41 \sim -3.93$, 平均值为 -7.72, 相应的 T_{DM2} 变化于 1.9 ~ 2.5 Ga, 平均值为 2.2 Ga, 指示这个时期的岩浆活动以古老物质的再循环为特征。6 个 ~840 Ma 锆石的 Hf 同位素组成可以分为截然不同的两组, 第一组 3 颗锆石具有低的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值 (0.28169 ~ 0.28199) 和负的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 (-19.85 ~ -9.16); 第二组具有稍高的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值 (0.28231 ~ 0.28242) 和正的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 (1.93 ~ 6.21), 说明它们由不同源岩形成。第一组锆石极负的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值表明它们的源岩经历了较

长的地质历史, 相应的 Hf 二阶段模式年龄为 2.3 ~ 2.7 Ga, 指示其源岩可能是在古元古代—新太古代从地幔分异出来的。而第二组锆石大多具有正的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值, 表明其母岩浆可能是由形成不久 (中元古代) 的地壳组分熔融产生, 也可能是由更老的物质熔融产生的岩浆中混入了较多新生地壳物质形成。6 个 ~1770 Ma 的锆石具有相似的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值和新太古代的模式年龄, 表明它们的母岩浆可能是由 2.7 ~ 2.9 Ga 的地壳物质熔融产生。

6 讨论

6.1 原岩沉积时间的限定

沉积物中最年轻的碎屑锆石年龄可以限定沉积时间的上限, 本样品中最年轻的两粒碎屑锆石的

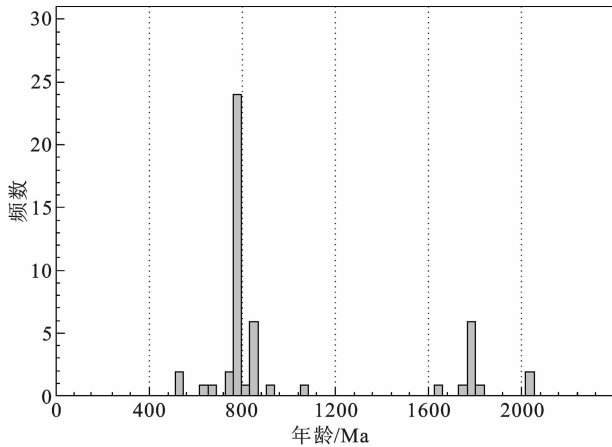


图5 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石年龄频率直方图
Fig.5 Age histogram of zircons from quartz mica schist in Guixi, northeastern Jiangxi Province

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $(669\pm 5)\text{Ma}$ 和 $(639\pm 6)\text{Ma}$, 表明原岩的沉积时间不会早于此年龄。又因为华夏地块自古元古代形成后, 受到了加里东期构造-热事件的强烈再造^[29-31], 但本样品中不包含任何早古生代加里东期(470~410 Ma)的碎屑锆石。所以此沉积岩最有可能形成于晚新元古代。这与粤北、粤东北、粤中、赣南及闽西地区基底变质岩的原岩形成时代是一致的^[15,27,32-36]。这些数据指示在新元古代中晚期华夏地块曾经是一个大陆边缘或沉积盆地。

6.2 新元古代中期锆石的意义

华南新元古代中期的岩浆活动非常发育, 大量 800~700 Ma 的岩浆活动在扬子板块周边地区被报道^[8,11,12,37-38]。但华夏板块的报道却非常少。近年来, 随着新的锆石年代学资料的积累, 在华夏地块发现越来越多的新元古代中期岩浆活动。Yu et al.^[14] 用 LAM-ICPMS U-Pb 法在武夷南段测得一个桃溪片麻岩(TX-1)和花岗变晶岩(ZX-7-1)中碎屑锆石的主要年龄值分布在 580~770 Ma 和 550~820 Ma, 峰值分别为~710 Ma 和~690 Ma。于津海等^[33]对南岭东段的桃溪片麻岩中的碎屑锆石进行了单颗粒锆石 U-Pb 定年表明其碎屑物质主要来源于新元古代中期(~736 Ma)。同样的, Wan et al.^[36]对福建西北部 8 个基底变质岩进行了详细的 SHRIMP U-Pb 定年, 这些样品中来自南山组的一个黑云片麻岩样品和马面山群的两个细粒黑云片麻岩样品的主要年龄值分别分布在 807 Ma 和 751~728 Ma。本次测得的云母石英片岩样品中有一个明显的 775 Ma 的年龄峰

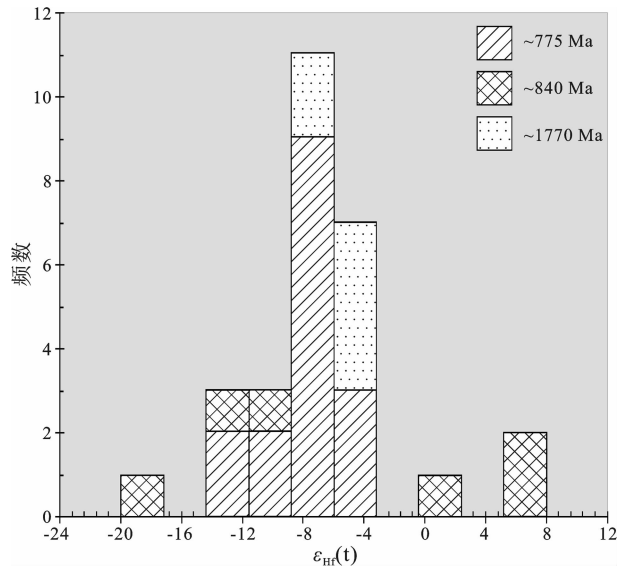


图6 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 频率直方图

Fig.6 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ histogram of zircons from quartz mica schist in Guixi, northeastern Jiangxi Province

值。这些样品都具有相对一致的年龄峰值, 其余组分仅占很少的比例, 表明其沉积物的来源单一, 暗示源区较近, 证明在华夏地块(特别是华夏北部)也存在着明显的 700~820 Ma 的新元古代中期岩浆活动。

近年来, 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素的结合成为了了解岩石成岩和揭示地壳演化历史等的有力工具^[39-41]。新元古代岩浆活动在环扬子地块主要分为两个活动峰期(780~745 Ma 和 830~795 Ma)^[8]。本次样品中~775 Ma 的主峰值和~840 Ma 的次峰, 可分别对应扬子地块的两期岩浆活动高峰期, 都是对 Rodina 超大陆裂解的响应, 但相对应的 Hf 同位素, 却与扬子地块的有明显差别。对于第一个活动峰期(780~745 Ma), Zheng et al.^[42]对扬子南缘西段(桂北、川西和滇中)新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素进行了系统研究, 发现成岩时代在~750 Ma 的岩石, 具有正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值。而扬子北东缘新元古代岩浆活动的产物普遍具有正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值^[6,43], 可与扬子南西缘第二期岩浆活动的产物相对应^[44]。而本次测定的华夏地块北部贵溪地区的变沉积岩中的碎屑锆石年龄在~775 Ma 的峰值锆石对应测定的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值变化于 -12.41~-3.93, 平均值为 -7.72, 全部为负值, 与扬子地块的截然不同。为了对此问题进行深入分析, 笔者收集了华夏地块 700~800 Ma 的碎屑锆石的 ϵ_{Hf}

表 3 赣东北贵溪地区云母石英片岩中锆石的 Hf 同位素组成

Table 3 Zircon Lu-Hf isotopic composition of mica quartz schist in Guixi, northwestern Jiangxi

样品号	Age/Ma	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\varepsilon\text{Hf}(0)$	$\varepsilon\text{Hf}(t)$	T_{DM1}/Ma	T_{DM2}/Ma	f_{LuHf}
02	775	0.18209	0.00320	0.28201	0.00003	0.28196	-26.93	-11.49	1854	2398	-0.90
04	840	0.06777	0.00151	0.28245	0.00002	0.28242	-11.52	6.21	1154	1336	-0.95
07	1773	0.06933	0.00103	0.28152	0.00002	0.28149	-44.27	-6.01	2424	2813	-0.97
08	774	0.15691	0.00276	0.28222	0.00003	0.28218	-19.59	-3.93	1529	1924	-0.92
12	760	0.07643	0.00130	0.28209	0.00002	0.28207	-24.02	-7.91	1645	2163	-0.96
13	768	0.23728	0.00426	0.28212	0.00003	0.28206	-22.96	-8.19	1740	2186	-0.87
14	774	0.17348	0.00362	0.28216	0.00003	0.28210	-21.81	-6.60	1660	2091	-0.89
16	771	0.13638	0.00252	0.28204	0.00003	0.28200	-25.96	-10.24	1779	2317	-0.92
17	778	0.10257	0.00177	0.28208	0.00003	0.28206	-24.36	-8.11	1680	2190	-0.95
18	843	0.06991	0.00138	0.28171	0.00002	0.28169	-37.66	-19.85	2187	2970	-0.96
19	781	0.13515	0.00269	0.28213	0.00003	0.28209	-22.55	-6.71	1648	2104	-0.92
21	1771	0.11897	0.00190	0.28161	0.00002	0.28155	-41.11	-3.91	2354	2681	-0.94
22	830	0.06098	0.00116	0.28191	0.00003	0.28189	-30.38	-12.71	1889	2516	-0.97
23	776	0.08578	0.00163	0.28196	0.00002	0.28194	-28.68	-12.41	1846	2457	-0.95
25	767	0.13403	0.00250	0.28212	0.00003	0.28208	-23.16	-7.52	1664	2144	-0.92
26	779	0.13060	0.00230	0.28215	0.00002	0.28211	-22.08	-6.08	1611	2063	-0.93
27	782	0.41661	0.00902	0.28224	0.00004	0.28210	-18.94	-6.38	1817	2081	-0.73
28	1740	0.04000	0.00072	0.28149	0.00002	0.28146	-45.46	-7.57	2450	2884	-0.98
29	776	0.13025	0.00272	0.28216	0.00002	0.28212	-21.72	-6.00	1615	2055	-0.92
30	1787	0.05085	0.00085	0.28157	0.00002	0.28154	-42.47	-3.68	2343	2679	-0.97
31	788	0.11704	0.00248	0.28220	0.00003	0.28216	-20.28	-4.19	1546	1951	-0.93
33	777	0.12292	0.00241	0.28199	0.00002	0.28196	-27.62	-11.73	1842	2414	-0.93
34	839	0.05155	0.00097	0.28200	0.00002	0.28199	-27.14	-9.16	1753	2301	-0.97
38	834	0.07846	0.00150	0.28242	0.00002	0.28240	-12.30	5.30	1185	1388	-0.95
41	777	0.11136	0.00211	0.28215	0.00002	0.28211	-22.15	-6.10	1606	2062	-0.94
42	1773	0.04622	0.00082	0.28154	0.00002	0.28151	-43.64	-5.13	2386	2758	-0.98
44	834	0.17795	0.00349	0.28236	0.00003	0.28231	-14.56	1.93	1348	1601	-0.89
47	1818	0.26976	0.00463	0.28165	0.00003	0.28149	-39.81	-4.95	2485	2781	-0.86

表 4 华夏地块新元古代中期变质岩中锆石的 U-Pb 年龄和 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值总结Table 4 Zircon U-Pb ages and $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values of Neoproterozoic metamorphic rocks in Cathaysia Block

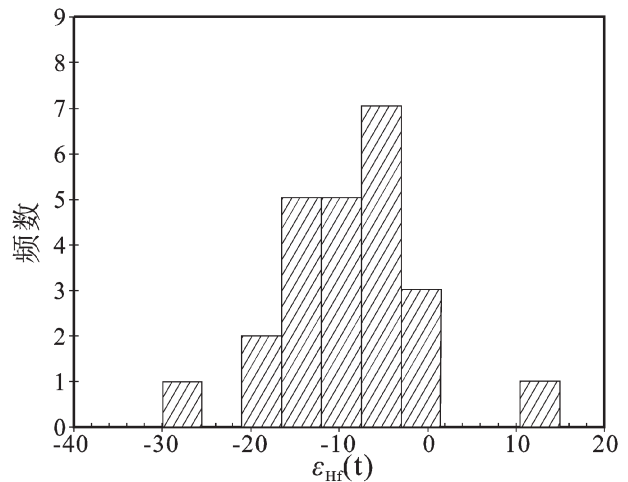
样品号	Age/Ma	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	T_{DM2}/Ga	样品号	Age/Ma	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	T_{DM2}/Ga
TX-1(透辉石片麻岩)				-14c	765	-11.3	2.27
-15	759	-15.4	2.52	-15c	737	-26.2	3.14
-16c	786	-3.07	1.8	-16	767	-16.1	2.56
-22c	727	-6.51	1.96	-22	760	0.08	1.59
-2-23c	704	-3.85	1.79	XW-12(片麻岩)			
-2-7c	762	-18.4	2.7	-24	751	-9.94	2.19
-4r	709	-21	2.81	XN-2(片麻岩)			
-6r	718	-8.19	2.06	-15	701	-12.2	2.29
ZX-7-1(花岗岩变晶岩)				-23	789	-11.6	2.31
-21r	715	-10.8	2.21	-27	700	-0.6	1.59
-22r	760	-14.1	2.48	-32	700	-3.68	1.77
-2r	715	-7.42	2.01	YK-27(片麻岩)			
-3	755	-2.37	1.73	s-25	780	13.79	0.77
-7	736	-4.8	1.87	s-32	793	-13.14	2.41
MX-5(片麻岩)				s-47	709	-7.09	1.98

数据引自 Yu et al.^[14]。

(t)值(表 4, 图 7), 除了一个 780 Ma 的锆石具有极大的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ (为 13.79), 其余此年龄段中的锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值均小于 0, 与本文结论一致。这就排除了华夏地块的锆石来源于扬子地块的可能, 说明华夏地块新元古代中期第二个活动峰期岩浆活动主要表现为古老陆壳物质的再循环。本次样品中~840 Ma 的峰值锆石对应 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值明显分为两个区间, 3 个样品中的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为正值, 变化范围在 6.21~1.93, 另外 4 个样品的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为负值, 范围在 -9.16~-19.85。类似的情况在扬子地块也有报道, 谢世稳等^[45]测定了扬子板块宜昌三峡地区南华纪沉积岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素, 发现在~840 Ma 的碎屑锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值既有正值也有负值。这种截然不同的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值表明了此时期的锆石有不同的来源, 正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值可能表明地幔柱的活动, 而负的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值则指示地壳的熔融作用。Li et al.^[11]提出的华南地幔柱模型, 840~830 Ma 是地幔柱柱头上涌和有限的基性/超基性岩墙侵入时期。因此, ~840 Ma 的碎屑锆石大于 0 的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值与此事幔源岩浆的侵入或喷发有关。

6.3 ~1 770 Ma 和~1 000 Ma 的锆石的意义

本次研究还在此云母石英片岩中发现了一组形成于古元古代~1 770 Ma 的锆石。这 7 个古元古代

图 7 华夏地块 700~800 Ma 碎屑锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 频率直方图Fig.7 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ histogram of detrital zircons of 700~800 Ma in Cathaysia craton

的锆石年龄非常一致, Hf 同位素分析显示这些古元古代锆石不仅具有一致的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值, 而且它们的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 和 $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$ 比值也是非常相似。如此单一的成分以及部分锆石具有较好的自形晶形排除了其来自地表沉积岩的可能, 它们最可能是捕获于深部的一个古元古代基底岩石。这些古元古代锆石的年龄与出露在浙西南—闽西北地区的前寒武系变

质岩系八都群(麻源群)的形成时代基本一致(1.75~1.9 Ga)。特别与李献华等^[46]在此地区用 SHRIMP U-Pb 法所测的古元古代斜长角闪岩的年龄(1 766±19 Ma)具有高度的一致性。

本区还存在两颗~1 000 Ma 的碎屑锆石,前人在华夏地块南部的研究中,发现了众多 Grenville 期年龄信息的存在。例如,在广东兴宁县,出露有 SHRIMP 岩浆锆石 U-Pb 年龄为(972±8)Ma 的变质流纹岩^[47];覃小锋等^[48]在广东云开的云开群各种变质岩中测得 4 颗锆石的年龄变化于 1 035~900 Ma;王丽娟等^[27]对华夏地块南部粤中增城和赣南鹤仔 3 个基底变质岩进行了锆石 U-Pb 定年结果表明,它们主要是由新元古代早期(1.0~0.9 Ga)的碎屑锆石组成。虽然有一部分学者认为华夏和扬子之间的江南造山带与 Grenville 造山运动时代相当,是一条 Grenville 期的造山带^[49-51],但在此造山带中没有发现 Grenville 期的岩浆活动和高级变质作用,而周金城等^[52]通过总结近几年利用 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法及其他新的定年方法获得的结果,认为扬子和华夏板块的拼合发生在 870~820 Ma,碰撞事件比 Grenville 造山带“陆陆碰撞”事件要滞后 320~160 Ma。因此华夏地块的南缘很可能存在或者及其靠近一个 Grenville 期的造山带^[27,53]。由此推断本区两颗 1.0 Ga 的锆石可能来自于华夏南部,而两颗锆石的浑圆状的外形也表明其可能经历了长时间的搬运。如上所述,在华夏地块北部主要由 700~800 Ma 的锆石组成,而华夏南部则存在一期主要为~1.0 Ga 的碎屑锆石。这与 Yu et al.^[14]通过对大量华夏地块的锆石年龄进行统计得到的结论一致。

7 结 论

华夏北部赣东北贵溪地区老虎塘组石英云母片岩中的锆石为碎屑锆石,其原岩最有可能形成于晚新元古代。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学显示,云母石英片岩中碎屑锆石的年龄主要在~775 Ma 出现峰值并在~840Ma 出现次高峰,可分别对应扬子地块的两期岩浆活动高峰期,都是对 Rodinia 超大陆裂解的响应。~840 Ma 的峰值锆石对应的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值既有正值也有负值,而在~775 Ma 的峰值锆石对应测定的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值均为负值。结合前人的 Hf 同位素测试结果,说明华夏地块新元古代中期岩浆活动主要表现为古老陆壳物质的再循环。形成于古元古代

~1 770 Ma 的一个次高峰的年龄数据非常一致,具有单一的 Hf 同位素成分和较好的锆石晶形,指示它们最可能捕获于深部的一个古元古代基底岩石。

参考文献(References):

- [1] 赵凤清. 华夏地块前加里东期变质基底的年代构造格架 [J]. 前寒武纪研究进展, 1999, 22(2):39-46.
Zhao Fengqing. The chronotectonic framework of Precambrian basements from Cathaysia Block [J]. Progress in Precambrian, 1999, 22(2):39-46(in Chinese with English abstract).
- [2] Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, et al. Geochemical, zircon U-Pb dating and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and petrogenesis of an Early Cretaceous volcanic-intrusive complex at Xiangshan, Southeast China [J]. Mineralogy and Petrology, 2011, 101:21-48.
- [3] Lindsay J F, Korsch R J, Wilford J R. Timing the breakup of a Neoproterozoic supercontinent: Evidence from Australian intracratonic basins[J]. Geology, 1987, 15:1061-1064.
- [4] McLelland J, Daly J S, McCulloch J M. The Grenville orogenic cycle (ca. 1350-1000 Ma): An Adirondack perspective [J]. Tectonophysics, 1996, 256:1-28.
- [5] Meert J G, Torsvik T H. The making and unmaking of a supercontinent: Rodinia revisited [J]. Tectonophysics, 2003, 375(1-4):261-288.
- [6] Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Chen Fukun, et al. Zircon U-Pb and oxygen isotope evidence for a large-scale ^{18}O depletion event in igneous rocks during the Neoproterozoic [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2004, 68(20):4145-4165.
- [7] Li Xianhua. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yanhtze Block: Timing of Neoproterozoic Jinning orogeny in SE China and implications of for Rodinia assembly [J]. Precambrian Research, 1999, 97:43-57.
- [8] Li Zhengxiang X, Li Xianhua, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia [J]. Precambrian Research, 2003, 122:85-109.
- [9] Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, et al. Geochemistry of the Meso- to Neoproterozoic basic-acid rocks from Hunan province, South China: implications for the evolution of the western Jiangnan Orogen [J]. Precambrian Research, 2004, 135:79-103.
- [10] Wu Rongxin, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, et al. Reworking of juvenile crust: Element and isotope evidence from Neoproterozoic granodiorite in South China [J]. Precambrian Research, 2006, 146(3-4):179-212.
- [11] Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1999, 173(3):171-181.
- [12] Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. U-Pb zircon

- geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: implications for the initial rifting of Rodinia [J]. *Precambrian Research*, 2002, 113: 135–154.
- [13] 于津海, 王丽娟, O'Reilly S Y, 等. 赣南存在古元古代基底: 来自上犹陡水煌斑岩中捕虏锆石的 U-Pb-Hf 同位素证据 [J]. *科学通报*, 2009, 54(7): 898–905.
- Yu Jinhai, Wang Lijuan, O'Reilly S Y, et al. Paleoproterozoic basement beneath the southern Jiangxi Province from U-Pb ages and Lu-Hf isotopes in zircons from the Doushui lamprophyre [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(9): 1555–1563 (in Chinese).
- [14] Yu Jinhai, O'Reilly S Y, Wang Lijuan, et al. Components and episodic growth of Precambrian crust in the Cathaysia Block, South China: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of zircons in Neoproterozoic sediments [J]. *Precambrian Research*, 2010, 181: 97–114.
- [15] 于津海, O'Reilly S Y, 王丽娟, 等. 华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成 [J]. *科学通报*, 2007, 52(1): 11–18.
- Yu Jinhai, O'Reilly S Y, Wang Lijuan, et al. Finding of ancient materials in Cathaysia and implication for the formation of Precambrian crust [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(1): 13–22 (in Chinese).
- [16] Sláma J, Košler J, Condon D J, et al. Plesovice zircon—A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis [J]. *Chemical Geology*, 2008, 249(1–2): 1–35.
- [17] Andersen T. Correction of Common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59–79.
- [18] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot/Ex. Version 3.00; A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 1–70.
- [19] 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.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation—multi ion counting—ICP—MS [J]. *Mineral Deposit*, 2009, 28(4): 481–492 (in Chinese with English abstract).
- [20] Elhlou S, Belousova E, Griffin W L, et al. 2006. Trace element and isotopic composition of GJ-red zircon standard by laser ablation [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(18): A158.
- [21] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2000, 18: 423–439.
- [22] Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002, 143: 602–622.
- [23] Vavra G, Gebauer D, Schmid R. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1996, 122: 337–358.
- [24] Vavra G, Schmid R, Gebauer D. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibole to granulite facies zircon: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1999, 134: 380–404.
- [25] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约 [J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589–1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(15): 1554–1569 (in Chinese).
- [26] Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. *Chemical Geology*, 2002, 184(1–2): 123–138.
- [27] 王丽娟, 于津海, O'Reilly S Y, 等. 华夏南部可能存在 Grenville 期造山作用: 来自基底变质岩中锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素信息 [J]. *科学通报*, 2008, 53(14): 1680–1692.
- Wang Lijuan, Yu Jinhai, O'Reilly S Y, et al. Grenvillian orogeny in the Southern Cathaysia Block: Constraints from U-Pb ages and Lu-Hf isotopes in zircon from metamorphic basement [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(19): 3037–3050 (in Chinese).
- [28] Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, et al. Metamorphic effect on zircon Lu-Hf and U-Pb isotope systems in ultrahigh-pressure eclogite-facies metagranite and metabasite [J]. *Earth and Planet Science Letters*, 2005, 240: 378–400.
- [29] 曾雯, 张利, 周汉文, 等. 华夏地块古元古代基底的加里东期再造: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和微量元素制约 [J]. *科学通报*, 2008, 53(3): 335–344.
- Zeng Wen, Zhang Li, Zhou Hanwen, et al. Caledonian reworking of Paleoproterozoic basement in the Cathaysia Block: Constraints from zircon U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(6): 895–904 (in Chinese).
- [30] Li Wuxian, Li Xianhua, Li Zhengxiang. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance [J]. *Precambrian Research*, 2005, 136(1): 51–66.
- [31] Chen Chenghong, Lu H Y, Lin W, et al. Thermal event records in SE China coastal areas: Constraints from monazite ages of beach sands from two sides of the Taiwan Strait [J]. *Chemical Geology*, 2006, 231: 118–134.
- [32] 陈忠权, 李文辉, 郭良. 粤东北发现元古宙花岗岩 [J]. *广东地质*, 2001, 16(4): 16–21.
- Chen Zhongquan, Li Wenhui, Guo Liang. Granite of Proterozoic Eon found in northeast Guangdong [J]. *Guangxi Geology*, 2001, 16(4): 16–21 (in Chinese with English abstract).
- [33] 于津海, 周新民, O'Reilly S Y, 等. 南岭东段基底麻粒岩相变质岩的形成时代和原岩性质——锆石的 U-Pb-Hf 同位素研究 [J]. *科学通报*, 2005, 50(16): 1758–1767.
- Yu Jinhai, Zhou Xinmin, O'Reilly S Y, et al. Formation history and protolith characteristics of granulite facies metamorphic rock in Central Cathaysia deduced from U-Pb and Lu-Hf isotopic studies of single zircon grains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(18): 2080–2089 (in Chinese).
- [34] 于津海, 王丽娟, 周新民, 等. 粤东北基底变质岩的组成和形成

- 时代[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(1):38-48.
- Yu Jinhai, Wang Lijuan, Zhou Xinmin, et al. Compositions and formation history of the basement metamorphic rocks in northeastern Guangdong Province [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31 (1):38-48 (in Chinese with English abstract).
- [35] Xu Xisheng, O'Reilly S Y, Griffin W L, et al. Relict Proterozoic basement in the Nanling Mountains (SE China) and its tectonothermal overprinting[J]. Tectonics, 2005, 24, TC2003, doi: 10.1029/2004 TC 001652.
- [36] Wan Yusheng, Liu Dunyi, Xu Meihui et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia Block, China: Tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units[J]. Gondwana Research, 2007, 12:166-183.
- [37] 周汉文, 李献华, 王汉荣, 等. 广西鹰扬关群基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):22-25.
- Zhou Hanwen, Li Xianhua, Wang Hanron, et al. U-Pb zircon geochronology of basic volcanic rocks of the Yingyangguan Group in Hezhou, Guangxi, and its tectonic implications [J]. Geological Review, 2002, 48(Suppl.):22-25 (in Chinese with English abstract).
- [38] Ling Wenli, Gao Shan, Zhang Benren, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze Craton, South China: implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent[J]. Precambrian Research, 2003, 122:111-140.
- [39] Amelin Y, Lee D C, Halliday A N. Early-middle Archaean crustal evolution deduced from Lu-Hf and U-Pb isotopic studies of single zircon grains [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64:4205-4225.
- [40] Kundsén T L, Griffin W L, Hartz E H, et al. In situ hafnium and lead isotope analysis of detrital zircons from the Devonian sedimentary basin of NE Greenland: a record of repeated crustal reworking [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2001, 141:83-94.
- [41] Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, et al. Archaean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons [J]. Precambrian Research, 2004, 131:231-282.
- [42] Zheng Yongfei, Zhang Shaobin, Zhao Zifu, et al. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: Implications for growth and reworking of continental crust[J]. Lithos, 2006, 96(1/2):127-150.
- [43] Zheng Yongfei, Zhao Zifu, Zhang Shaobin, et al. Zircon U-Pb age, Hf and O isotope constraints on protolith origin of ultrahigh-pressure eclogite and gneiss in the Dabie orogen [J]. Chemical Geology, 2006, 231:135-158.
- [44] 胡建, 邱检生, 王汝成, 等. 新元古代 Rodinia 超大陆裂解事件在扬子北东缘的最初响应: 东海片麻状碱性花岗岩的锆石 U-Pb 年代学及 Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(6):1321-1333.
- Hu Jian, Qiu Jiansheng, Wang Rucheng, et al. Earliest response of the Neoproterozoic Rodinia break-up in the northeastern Yangtze craton: Constraints from zircon U-Pb geochronology and Nd isotopes of the gneissic alkaline granites in Donghai area [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (6):1321-1333 (in Chinese with English abstract).
- [45] 谢士稳, 高山, 柳小明, 等. 扬子克拉通南华纪碎屑锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素对华南新元古代岩浆事件的指示 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(1):117-126.
- Xie Shiwen, Gao Shan, Liu Xiaoming, et al. U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons of Nanhua sedimentary rocks from the Yangtze Gorges: Implications for genesis of Neoproterozoic magmatism in South China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(1):117-126 (in Chinese with English abstract).
- [46] 李献华, 王一先, 赵振华, 等. 闽浙古元古代斜长角闪岩的离子探针锆石 U-Pb 年代学[J]. 地球化学, 1998, 27(4):327-334.
- Li Xianhua, Wang Yixian, Zhao Zhenhua, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology for amphibolite from the Precambrian basement in SW Zhejiang and NW Fujian Province [J]. Geochimica, 1998, 27 (4):327-334 (in Chinese with English abstract).
- [47] 舒良树, 邓平, 于津海, 等. 武夷山西缘流纹岩的形成时代及其地球化学特征[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(8):950-959.
- Shu Liangshu, Deng Ping, Yu Jinhai, et al. The age and tectonic environment of the rhyolitic rocks on the western side of Wuyi Mountain, South China [J]. Science China (Ser D), 2008, 51(8): 1053-1063(in Chinese).
- [48] 覃小锋, 潘元明, 李江, 等. 桂东南云开地区变质杂岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学[J]. 地质通报, 2006, 25(5):53-59.
- Tan Xiaofeng, Pan Yuanming, Li Jiang, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of the Yunkai metamorphic complex in southeastern Guangxi, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(5):53-59(in Chinese with English abstract).
- [49] Li Zhengxiang, Zhang Linghua, Powell C M. South China in Rodinia: Part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia?[J]. Geology, 1995, 23(5):407-410.
- [50] Li Xianhua, Zhao Jianxin, McCulloch M T, et al. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of Neoproterozoic Ophiolites from southeastern China: Petrogenesis and tectonic implication [J]. Precambrian Research, 1997, 81(1-2):129-144.
- [51] Li Zhengxiang, Li Xianhua, Zhou Hanwen, et al. Grenvillian continental collision in South China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia [J]. Geology, 2002, 30(2):163-166.
- [52] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带是否格林威尔期造山带? ——关于华南前寒武纪地质的几个问题 [J]. 高校地质学报, 2008, 14(1):64-72.
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. Is the Jiangnan orogenic belt a Grenvillian orogenic belt: Some problems about the Precambrian geology of South China [J]. Geological Journal of

China Universities, 2008, 14 (1):64–72 (in Chinese with English abstract).

[53] 向磊, 舒良树. 华南东段前泥盆纪构造演化:来自碎屑锆石的证据[J]. 中国科学(D辑), 2010, 40(10):1377–1388.

Xiang Lei, Shu Liangshu. Pre-Devonian tectonic evolution of the eastern South China Block: Geochronological evidence from detrital zircons[J]. Science China (Ser D), 2010, 53(10):1427–1444 (in Chinese).

U–Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons from mica quartz schist in Guixi area of northeastern Jiangxi Province and their geological significance

SU Hui–min, ZHANG Cheng–shuai

(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Detailed LA–ICP–MS U–Pb dating and LAM–MC–ICPMS Lu–Hf isotope analysis were carried out for zircons in a mica quartz schist sample from Guixi area of northern Cathaysia Block, South China. These zircons are characterized by zoning, higher Th/U ratios (>0.4), HREE enrichment and positive Ce and negative Eu anomalies, and are similar to magmatic zircons in some aspects. Zircon U–Pb geochronological results of the mica quartz schist show a peak at ~ 775 Ma and a secondary peak at ~ 840 Ma, probably corresponding to two large-scale magmatic events. $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values for the ~ 840 Ma zircons could be divided into two intervals with both negative or positive values, whereas $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values for the ~ 775 Ma zircons are all negative values. Combined with previous zircon U–Pb dating and Hf isotopic results, the authors conclude that the Neoproterozoic magmatism in the Cathaysia Block mainly found expression in recycling of ancient crustal components. Nine zircon grains from the mica quartz schist with the other secondary peak at around 1770 Ma have very constant U–Pb ages and Hf isotopic composition, implying that they were most probably captured from the Paleoproterozoic basement rock.

Key words: LA–ICP–MS zircon U–Pb dating; Hf isotope; mica quartz schist; Laohutang Formation; northeastern Jiangxi

About the first author: SU Hui–min, female, born in 1984, doctor candidate, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits; E–mail: suhuimin1984@163.com.