

扬子西缘东川落雪地区元古宙地层中 3890 Ma 锆石的发现

刘军平^{1,2,3)}, 熊波^{3,4)}, 李静^{1,3)}, 王小虎^{1,3)}, 胡绍斌^{1,3)},
俞赛赢^{1,3)}, 张虎^{1,3)}, 杨爱平^{1,3)}, 吴清华¹⁾

1) 云南省地质调查院, 云南昆明, 650216; 2) 中国地质大学, 北京, 100083;
3) 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 云南昆明, 650051;
4) 云南省国土资源规划设计研究院, 云南昆明, 650216

内容提要:利用 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测定技术, 在扬子西缘滇中东川地区古元古界阿不都组流纹质玻屑熔结凝灰岩中发现了 1 颗冥古宙锆石, 锆石具有明显的核-幔-边结构, 其核部的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3890 \pm 47\text{ Ma}$, 此年龄被解释为岩浆结晶, Th/U 比值为 0.34; 变质边的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3561 \pm 45 \sim 3616 \pm 55\text{ Ma}$, Th/U 比值为 0.07~0.19。锆石的原位 Hf 同位素测定给出了 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.280317 \sim 0.280451$, $\epsilon_{\text{Hf}}(t) = -4.6 \sim 0.6$ (平均值为 -2.5), $T_{\text{DM1}} = 3861 \sim 3980\text{ Ma}$, $T_{\text{DM2}} = 4036 \sim 4106\text{ Ma}$ (平均值为 4059 Ma)。这颗锆石为扬子陆块目前发现的最老锆石, 其 Hf 同位素及微量元素特征说明扬子陆块存在 4.0 Ga 的地壳增生作用及古老陆壳的再循环; 结合前人同位素研究资料, 说明扬子西缘东川落雪地区元古宙时同华北陆块可能具有亲缘性; 本次的发现, 为扬子陆块寻找冥古宙和始太古代物质实体提供重要依据, 也为认识地球早期大陆演化过程提供了重要新信息。

关键词:冥古宙; 锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄; Hf 同位素; 3890 Ma; 滇中东川落雪地区; 扬子陆块

众所周知, 地球的形成及早期演化是地球科学中最重要的研究课题之一, 古老陆壳物质的发现与鉴别是探索地球早期陆壳形成与演化历史的重要内容, 而锆石 U-Pb 年龄结合 Hf 同位素研究是该研究的重要手段 (Wan Yusheng et al., 2009; Liu Jianhui et al., 2014; Xing Guangfu et al., 2015)。目前扬子陆块最古老岩石是黄陵地区的崧岭杂岩 (3.2~2.9 Ga) 及滇中地区的元江群 (3.2~2.8 Ga) (Wan Yusheng et al., 2009; Xing Guangfu et al., 2015; Li Jing et al., 2018; Liu Junping et al., 2018a, 2018b, 2018c, 2019a, 2020a, 2020b, 2020c), 更老的岩石目前尚未发现。迄今为止, 仅在扬子陆块两处发现年龄 $> 3.5\text{ Ga}$ 的锆石。一处为宜昌三峡地区震旦纪地层, 用 LA-ICP-MS 测得其中 10 颗

碎屑锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3.32 \sim 3.51\text{ Ga}$ (Liu Xiaoming et al., 2005); 另一处为湖北宜昌南华纪莲沱组砂岩, 由 SHRIMP 仅测得其中一颗碎屑锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 3.80 Ga , 它具有更老的 Hf 模式年龄, 其 T_{DM1} 和 T_{DM2} 分别为 3.96 Ga 和 4.00 Ga (Zhang Shaobing et al., 2006)。

扬子陆块是中国东部大陆重要的组成部分之一, 主要由太古宙—古元古代结晶基底岩系、中元古代褶皱基底岩系、古生代—新生代盖岩以及古元古代、中元古代花岗岩类及基性岩类等组成。研究区位于滇中东川地区, 地处于扬子陆块区 (VI) 之上扬子古陆块 (VI-2) 的康滇基底断隆带 (VI-2-11), 地层区划隶属华南地层大区扬子地层区 (VI₄) 康滇地层分区 (VI₄²) 之昆明地层小区 (VI₄²⁻²) (图 1)。研究区

注: 本文为云南省 1:5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅区域地质调查 (编号 D201905)、云南区域地质调查片区总结与服务产品开发 (编号 121201102000150012-02)、云南省战略矿产资源储备调查与评价 (编号 KD-[2020]-XZ-181) 资助的成果。

收稿日期: 2020-04-23; 改回日期: 2020-12-04; 网络发表日期: 2021-02-07; 责任编辑: 张招崇; 责任编辑: 李曼。

作者简介: 刘军平, 男, 1983 年生。高级工程师, 硕士, 从事区域地质与构造地质调查研究。E-mail: 271090834@qq.com。通讯作者: 王小虎, 男, 1986 年生。高级工程师, 硕士, 从事区域地质与矿产地质调查研究。E-mail: 339078312@qq.com。

引用本文: 刘军平, 熊波, 李静, 王小虎, 胡绍斌, 俞赛赢, 张虎, 杨爱平, 吴清华. 2021. 扬子西缘东川落雪地区元古宙地层中 3890 Ma 锆石的发现. 地质学报, 95(5): 1606~1613, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2021209.

Liu Junping, Xiong Bo, Li Jing, Wang Xiaohu, Hu Shaobin, Yu Saiying, Zhang Hu, Yang Aiping, Wu Qinghua. 2021. The discovery of 3890 Ma zircon in Proterozoic strata in the Dongchuan Luoxue area, western margin of the Yangtze plate. Acta Geologica Sinica, 95(5): 1606~1613.

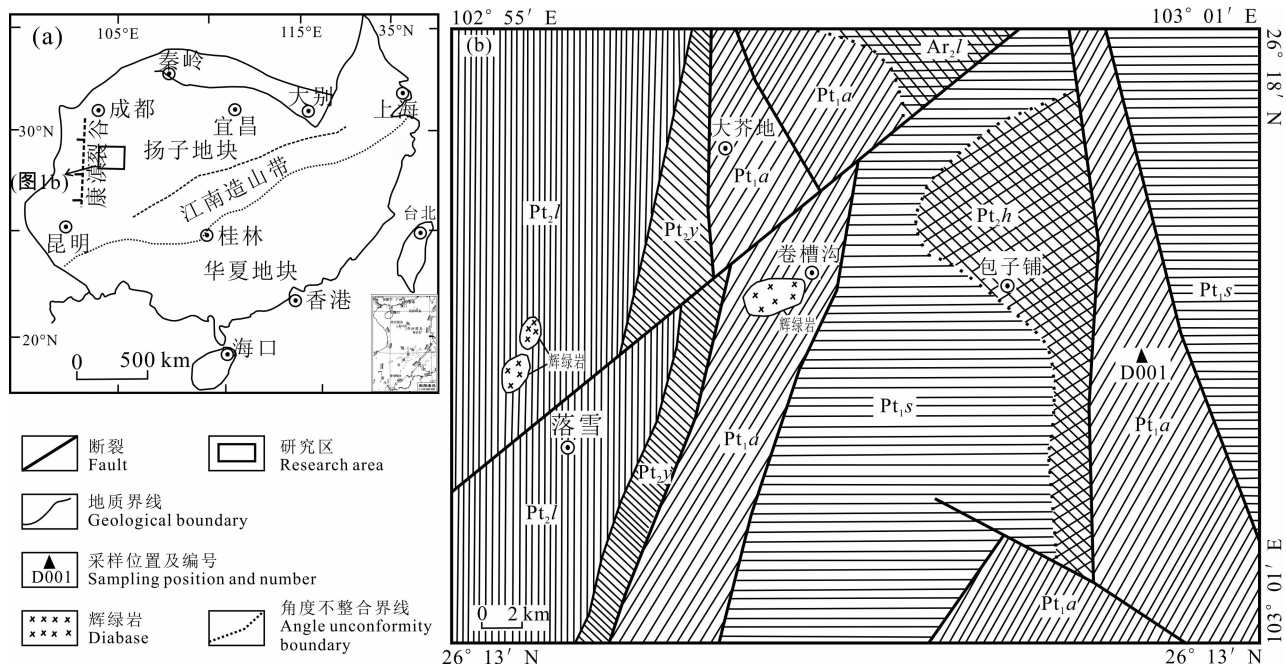


图 1 滇中东川落雪地区大地构造位置图(a)及地质简图(b)

Fig. 1 Geotectonic location map (a) and simplified geological map (b) in Dongchuan Luoxue area, central Yunnan
Ar₂l—中太古界绿汁江组;Pt₁a—古元古界阿不都组;Pt₁s—古元古界杉木箐组;
Pt₂y—中元古界因民组;Pt₂l—中元古界落雪组;Pt₂h—中元古界黑山组
Ar₂l—Mesoarchean Luzhijiang Formation; Pt₁a—Paleoproterozoic Abudou Formation; Pt₁s—Paleoproterozoic Shanmuqing Formation;
Pt₂y—Mesoproterozoic Yinmin Formation; Pt₂l—Mesoproterozoic Luoxue Formation; Pt₂h—Mesoproterozoic Heishan Formation

出露的前寒武纪变质岩系可以划分为中太古界元江群绿汁江组,古元古界易门群阿不都组、杉木箐组及中元古界东川群因民组、落雪组(Li Jing et al. , 2018; Liu Junping et al. , 2018a, 2018c, 2019a, 2020a, 2020c);其中中太古界元江群绿汁江组(Ar₂l)为一套碳酸盐岩夹碎屑岩建造;古元古界易门群阿不都组(Pt₁a)为一套碎屑岩夹碳酸盐岩建造;古元古界易门群杉木箐组(Pt₁s)为一套火山岩夹碎屑岩建造;中元古界东川群因民组(Pt₂y)为一套碎屑岩夹碳酸盐岩、火山岩建造,中元古界东川群落雪组(Pt₂l)为一套含铜碳酸盐岩建造;本文报道的这颗锆石采自古元古界易门群阿不都组流纹质玻屑熔结凝灰岩,此凝灰岩的年龄为 2318±19 Ma(MSWD=1.6,n=14)^①。

1 样品特征

本次研究的样品岩性为流纹质玻屑熔结凝灰岩(D001),采自汤丹镇一因民镇公路边,地点在云南东川因民镇包子铺一带(图 1b);呈夹层夹于灰黑色炭泥质板岩间,人工开挖露头较好,岩石较新鲜,岩石呈灰白色,风化后多呈黄色,似斑状结构,薄层构造,见有少量石英、斜长石、角闪石斑晶,其外缘发育似流动构造。岩石部分发生次生变化,角闪石部分

绿泥石化,斜长石大部分绢云母化。

2 锆石特征及实验条件

流纹质玻屑熔结凝灰岩中的锆石单矿物分选在南京宏创地矿实验室完成。原岩样品粉碎成 200 目粉末,淘洗后除去轻矿物,将得到的重砂部分经电磁选后得到含少量杂质的锆石样品,最后在双目镜下挑选出锆石晶体,选择晶型较好,无裂隙的锆石颗粒,制作成环氧树脂样品靶,打磨样品靶,使锆石的中心部位暴露出来,然后进行抛光。拍摄锆石颗粒的反射光、透射光和阴极发光(CL)图像,U-Pb 和 Lu-Hf 同位素测定需根据其特点来选取合适的颗粒及区域。U-Pb 同位素测定在湖北省地质实验室测定中心使用 LA-ICP-MS 完成。激光剥蚀系统为 GeoLasPro,ICP-MS 为 Agilent 7700。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气、氩气为补充气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度。激光剥蚀系统配置了使激光脉冲频率低达 1 Hz 的信号平滑装置,可使系统获得光滑的分析信号。每个时间分辨分析数据包括大约 20~30 s 的空白信

号和 50 s 的样品信号,激光束斑直径 24 μm ,锆石年龄标样是 91500, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄是 $1064 \pm 10 \text{ Ma}$ (Wiedenbeck et al., 1995; Yuan Honglin et al., 2004)。锆石年龄采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,用 Isoplot 程序(3.0 版)计算加权平均值及绘制 U-Pb 谐和图(Ludwig, 2003)。

锆石 Hf 同位素分析在武汉上谱分析科技有限责任公司完成。锆石原位 Hf 同位素测定由激光剥蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪完成,激光进样系统为 NWR213nm 固体激光器,分析系统为多接收等离子体质谱仪(NEPTUNE plus),激光剥蚀的斑束直径一般为 40 μm ,能量密度为 $7 \sim 8 \text{ J}/\text{cm}^2$,频率为 10 Hz, ^{176}Lu 和 ^{176}Yb 对 ^{176}Hf 的同质异位素干扰通过监测 ^{175}Lu 和 ^{172}Yb 信号强度,采用 $^{175}\text{Lu}/^{176}\text{Lu}=0.02655$ 和 $^{176}\text{Yb}/^{172}\text{Yb}=0.5886$ 进行校正,以标准锆石 91500、GJ-1 与样品锆石交叉分析对仪器漂移进行外部监控。分析结果所获得标准样品 91500 和 GJ-1 的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值分别为 $0.282283 \pm 0.000041(n=4, 2\sigma)$ 和 $0.282019 \pm 0.000029(n=4, 2\sigma)$,在误差范围内与参考值吻合(Blichert-Toft and Albarede, 1997)。计算 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 时,球粒陨石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.282772, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.0332,单阶段 Hf 模式年龄(T_{DM1})计算时,亏损地幔的值采用 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}=0.28325$, $\chi=0.0384$,两阶段 Hf

模式年龄(T_{DM2})计算时,平均地壳的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.015(Vervoort et al., 1996)。

3 测定结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

锆石 U-Pb 同位素样品采集位置见图 1,测定数据见表 1。锆石呈椭圆—圆状,表面具凹坑(图 2a),为典型碎屑锆石成因(Hoskin, 2003; Wu Yuanbao et al., 2004; Liu Junping et al., 2018b, 2019b)。阴极发光图像中(图 2b),锆石具明显核-幔-边结构。核部锆石呈板状,内部发育岩浆韵律环带,且 Th/U 比值较大,保留了岩浆锆石形态特征,位于锆石核部的 15.3 测点的 U、Th 含量和 Th/U 比值分别为 301 $\mu\text{g}/\text{g}$ 、102 $\mu\text{g}/\text{g}$ 和 0.34, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3890 \pm 47 \text{ Ma}$,谐和度 98%(图 3a),该年龄可被解释为核部锆石的形成年龄。

其他 5 个测点(15.1、15.2、15.4、15.5 和 15.7)的 U、Th 含量和 Th/U 比值分别为 368~712 $\mu\text{g}/\text{g}$, 42~117 $\mu\text{g}/\text{g}$ 和 0.07~0.19, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3561 \pm 45 \sim 3616 \pm 55 \text{ Ma}$,谐和度为 90%~99%(图 3a),这 5 个点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄加权平均值 $3584 \pm 38 \text{ Ma}$ (MSWD=0.28)可解释为后期变质或构造热事件年龄。15.6 测点位于幔部与核部结合处, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3711 \pm 28 \text{ Ma}$,应为两者混合年

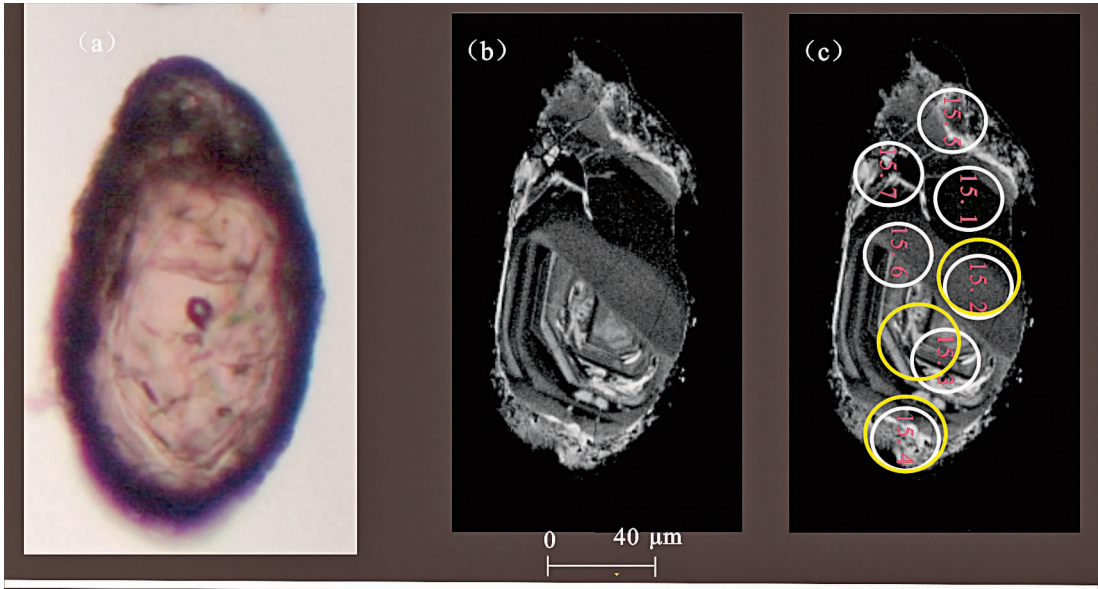


图 2 滇中东川落雪地区流纹质玻屑熔结凝灰岩中锆石的透射光和 CL 图像

Fig. 2 Image of zircon of the rhyolitic vitreous sintered tuff in Dongchuan Luoxue area, central Yunnan
(a)—透射光图像;(b,c)—白圈和黄圈分别代表 U-Pb 和 Hf 同位素测点位置;圈内数字为测点号
(a)—Transmitted light image; (b, c)—white circles indicate position U-Pb analytical spots, yellow circles indicate the analytical sports for Hf isotopes; the number in the circle is the measuring point number

龄。根据锆石 Th/U 比值、年龄和锆石 CL 形态特征认为核部锆石形成于 3.9 Ga 酸性岩浆作用,在约 3.6 Ga 时发生变质和深熔作用形成增生边,在后期可能还遭受了有流体参与条件下的改造(Yuan Wei et al. , 2012;Liu Junping et al. , 2019b, 2020a, 2020b)。

3.2 锆石 Hf 同位素和微量元素

锆石 Hf 同位素数据见表 2。测得的所有 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值均小于 0.002,表明锆石形成以后具有较低的放射成因 Hf 的积累(Liu Junping et al. , 2020a)。U-Pb 年龄为 3890 Ma 的锆石获得原位 Hf 同位素结果: $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i = 0.280289, \epsilon_{\text{Hf}}(t) = 0.6, T_{\text{DM1}} = 3980\text{ Ma}, T_{\text{DM2}} = 4036\text{ Ma}; ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 3568~3581 Ma 锆石的原位 Hf 同位素结果

为: $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i = 0.280348 \sim 0.280385, \epsilon_{\text{Hf}}(t) = -4.6 \sim -3.5, T_{\text{DM1}} = 3861 \sim 3908\text{ Ma}, T_{\text{DM2}} = 4036 \sim 4106\text{ Ma}$ 。

锆石稀土元素均表现为轻稀土(LREE)亏损而重稀土(HREE)富集,均具有 Ce 正异常,3.9 Ga 锆石具有明显的 Eu 负异常,为典型的岩浆锆石特征;3.6 Ga 锆石 Eu 负异常不明显,为典型的变质锆石特征,与全球早期构造事件时代同步(表 3)(Kinny et al. , 1986; Wen Chunqi et al. , 2006; Xing Guangfu et al. , 2015;Lu Songnian et al. , 2016)。

4 讨论及结论

古老锆石的发现及研究可有效追溯冥古宙大陆

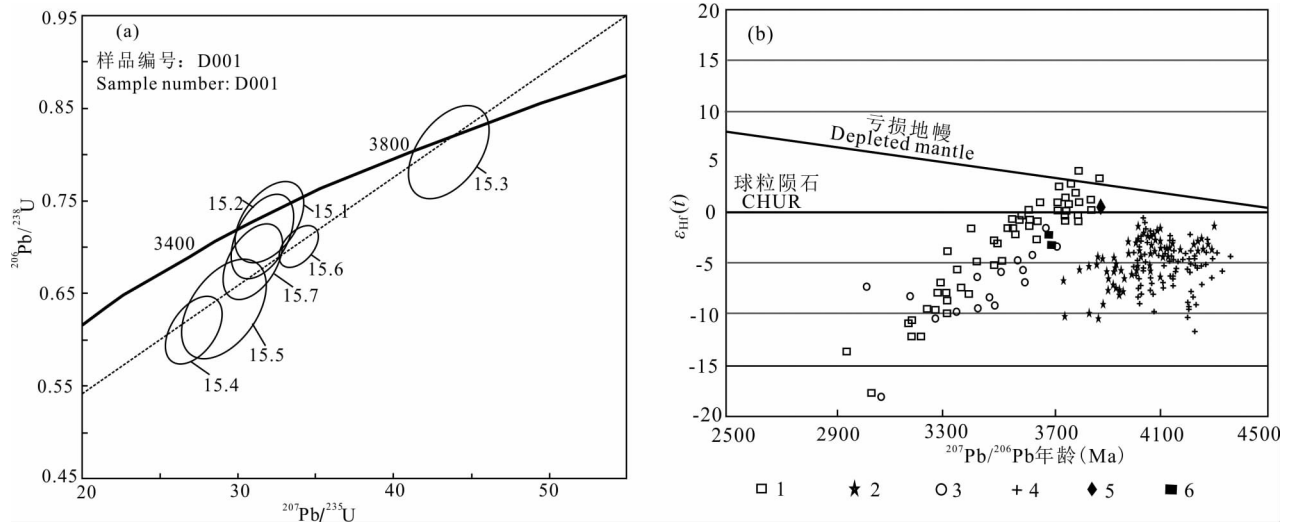


图 3 滇中东川落雪地区流纹质玻屑熔结凝灰岩锆石 U-Pb 谐和图(a)及 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ (b)

Fig. 3 U-Pb concordia diagram (a) and ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age)- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$

(b) for single zircon of the rhyolitic vitreous sintered tuff in Dongchuan Luoxue area, central Yunnan

1—华北冀东地区(Wu Fuyuan et al. , 2005);2—Jack Hills 地区(Kemp et al. , 2010);3—华北信阳地区(Zheng Jianping et al. , 2004);
4—Jack hills 地区(Harrison et al. , 2008);5—3.9 Ga 锆石(本文);6—3.6 Ga 锆石(本文)
1—North China Jidong area (Wu Fuyuan et al. , 2005); 2—Jack Hills area (Kemp et al. , 2010); 3—North China Xinyang area (Zheng Jianping et al. , 2004); 4—Jack hills area(Harrison et al. , 2008); 5—3.9 Ga zircon (this article); 6—3.6 Ga zircon (this article)

表 1 滇中东川落雪地区流纹质玻屑熔结凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素数据表

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope data of the rhyolitic vitreous sintered tuff in Dongchuan Luoxue area, central Yunnan

测点号	Pb	Th	U	Pb _c	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)							
	元素含量(μg/g)					²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	谐和度 (%)	
15.1	834	109	581	5	0.19	0.727	0.029	32.1	1.4	0.318	0.009	3521	108	3554	44	3561	45	99	
15.2	718	98	537	7	0.18	0.632	0.031	28.6	1.5	0.327	0.010	3429	118	3536	49	3581	45	97	
15.3	519	102	301	0	0.34	0.802	0.033	43.5	1.7	0.395	0.012	3795	118	3854	39	3890	47	98	
15.4	785	117	712	77	0.16	0.610	0.025	27.1	1.2	0.319	0.008	3069	99	3389	44	3568	37	90	
15.5	869	113	608	0	0.19	0.699	0.036	29.2	1.8	0.329	0.012	3162	140	3459	62	3616	55	91	
15.6	582	85	368	0	0.23	0.633	0.015	33.9	0.8	0.3509	0.0065	3418	57	3606	24	3711	28	94	
15.7	563	42	585	43	0.07	0.683	0.027	31.0	1.2	0.328	0.009	3355	104	3518	39	3609	42	95	

注:谐和度(%)=[($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄)+($^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄)]/2/($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄)×100。

表 2 滇中东川落雪地区流纹质玻屑熔结凝灰岩锆石 Lu-Hf 同位素数据表

测点号	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	2σ	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	(¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf) _i	¹⁷⁶ Yb/ ¹⁷⁷ Hf	ε _{Hf} (0)	ε _{Hf} (t)	T _{DM1} (Ma)	T _{DM2} (Ma)	f _{Lu/Hf}
15.2	3581	0.28040	0.00026	0.000708	0.280348	0.019	−84.0	−4.6	3908	4106	−0.98
15.3	3890	0.280317	0.000056	0.000378	0.280289	0.0094	−86.8	0.6	3980	4036	−0.99
15.4	3568	0.2804	0.0015	0.000945	0.280385	0.025	−82.1	−3.5	3861	4036	−0.97

表 3 滇中东川落雪地区流纹质玻屑熔结凝灰岩锆石稀土、微量元素数据表(μg/g)

测点号	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Th	U	Y
15.1	3561	0.52	4.71	0.10	2.95	0.75	0.31	8.35	2.37	33.5	13.4	81.3	18.3	179	29.4	10821	92.1	543	439
15.2	3603	0.11	3.63	0.11	2.92	9.86	4.20	34.2	9.06	83.9	26.5	103	21.9	208	35.0	10293	82.7	503	843
15.3	3890	0.54	9.62	0.43	0.82	5.20	0.85	9.31	3.15	42.6	14.1	74.9	16.5	123	22.4	8237	95.6	293	490
15.4	3568	0.11	4.53	0.41	3.14	3.98	1.65	12.9	4.01	49.4	15.4	73.2	19.7	170	32.0	10104	92.1	672	481
15.5	3616	0.12	3.67	0.097	0.56	2.83	0.39	13.6	5.87	84.5	30.2	133	30.7	281	40.6	8177	98.8	194	887
15.6	3711	0.42	8.46	0.29	3.35	8.01	2.41	22.8	6.32	60.8	20.2	81	18.6	174	31.0	11750	85.4	368	599
15.7	3609	0.31	9.89	0.014	0.014	2.78	0.11	13.6	4.26	57.5	23.1	104	23.3	212	31.6	9447	62.2	233	685

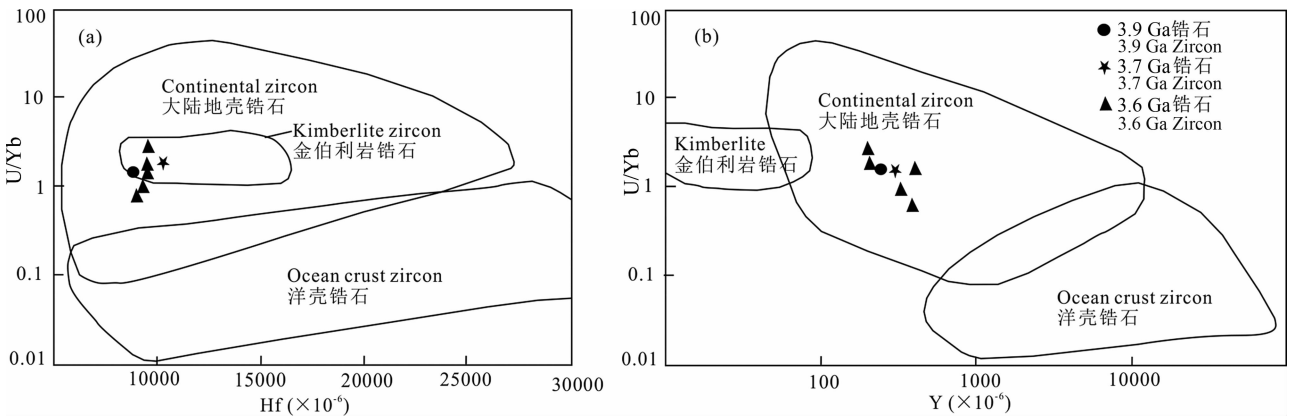


图 4 滇中东川落雪地区冥古宙锆石 Hf-(U/Yb)图解(a)和 Y-(U/Yb)图解(b)(据 Yuan Wei et al. ,2012)

Fig. 4 Hf-(U/Yb) (a) and Y-(U/Yb) (b) for Hadean zircon in Dongchuan Luoxue area, central Yunnan (after Yuan Wei et al. ,2012)

地壳的形成及演化(Yuan Wei et al. ,2012)。目前全球范围内 ≥ 3.8 Ga 岩石仅在格棱兰、东南极、北美和中国华北陆块鞍山、西藏普兰县及华夏陆块龙泉地区等发现(Kinny et al. ,1986;Liu Dunyi et al. ,1992;Wen Chunqi et al. ,2006;Duo Ji et al. ,2006;Xing Guangfu et al. ,2015;Lu Songnian et al. ,2016);迄今为止,仅在扬子陆块一处发现年龄 ≥ 3.8 Ga 的锆石。产于湖北宜昌南华纪莲沱组砂岩,由 SHRIMP 仅测得其中一颗碎屑锆石的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年龄为 3.80 Ga,它具有更老的 Hf 模式年龄,其 T_{DM1} 和 T_{DM2} 分别为 3.96 Ga 和 4.00 Ga (Zhang Shaobing et al. ,2006)。笔者在本研究中获得

的东川地区凝灰岩中年龄为 3890 Ma 的碎屑锆石,是迄今扬子陆块发现的最老的锆石。以上古老锆石的发现,说明扬子陆块、华夏陆块、华北陆块等不同块体都可能存在冥古宙地壳实体,也可能有类似的早期地质演化历史;本次发现的锆石 $\epsilon_{Hf}(t) = -4.6 \sim 0.6$ (平均值为 -2.5),二阶模式平均年龄值为 4059 Ma,说明扬子陆块可能存在 4.0 Ga 的地壳增生作用及古老陆壳的再循环。本文 3.9 Ga、3.7 Ga 和 3.6 Ga 锆石在 (U/Yb)-Hf 和 (U/Yb)-Y 图解中均落入大陆地壳锆石区域(图 4),说明地球可能在冥古宙已有地壳的存在,由此说明扬子陆块有找到冥古宙地质体残留的可能性(Zhang Shaobing et al. ,2006;Wan Yusheng et al. ,2009;Yuan Wei et al. ,2012)。此外,本文发现的 3.9 Ga 锆石边部还发育 3.6 Ga 变质深熔锆石增生边,这一年龄在格棱兰、鞍山、冀东、西藏普兰、华夏龙泉及武夷等地也

存在,有可能 3.6 Ga 时期存在全球性的变质事件(Wan Yusheng et al. , 2009; Yuan Wei et al. , 2012;Xing Guangfu et al. , 2015)。

本次中国滇中东川地区获得的 3.9 Ga 和 3.6 Ga 锆石原位 Hf 同位素结果与中国华北陆块 3.8 Ga 左右岩石中锆石的 Hf 同位素结果非常相近(Zheng Jianping et al. ,2004; Wu Fuyuan et al. , 2005),而与澳大利亚西北部 Jack Hills>4. 0Ga 锆石的 Hf 同位素特征(Harrison et al. ,2008;Kemp et al. ,2010; Yuan Wei et al. ,2012)明显不同(图 3b)。则说明中国滇中东川地区在元古宙时与华北陆块沉积物源区可能具有成因联系或有亲缘性。

本研究用 LA-ICP-MS 技术首次在扬子西南缘的滇中东川地区古元古界阿不都组沉积地层中发现的 3890 Ma 的碎屑锆石,是扬子陆块目前发现的最老的锆石。这颗锆石的 Hf 同位素及微量元素特征,说明在冥古宙时地球上可能已存在地壳,且扬子陆块元古宙与华北陆块沉积物源区可能具有成因联系,可能来自同一物源区。

致谢:锆石 LA-ICP-MS 分析、Hf 同位素和阴极发光照片得到了南京宏创地质勘查技术服务有限公司袁秋云、湖北省地质实验室测定中心岩石矿物研究室潘诗洋及武汉上谱分析科技有限责任公司实验室工作人员的帮助。审稿专家提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

注 释

- ① 云南省地质调查院. 2019. 云南省 1 : 5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅区域地质调查总体设计.
- ② 云南省地质调查院. 2018. 云南省区域地质志(第二版,修测)地质调查报告.
- ③ 云南省地质调查院. 2018. 云南 1 : 5 万二街幅、易门县幅、鸣矣河幅、上浦贝幅区域地质调查报告.

References

Blichert-Toft J, Albarede F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system. *Earth and Planetary Science Letters*, 148(1~2):243~258.

Duo Ji, Wen Chunqi, Fan Xiaoping, Guo Jianci, Ni Zhiyao, Li Xiaowen, Shi Yuruo, Wen Quan. 2006. Detrital Zircon of 4100 Ma in Quartzite in Burang, Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 6(6):954~956.

Diwu Chunrong, Sun Yong, Dong Zengchan, Wang Hongliang, Chen Danling, Zhang Hong. 2010. In situ U-Pb geochronology of Hadean zircon xenocryst (4. 1~3. 9 Ga) from the western of the Northern Qinling Orogenic Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4):1171~1174(in Chinese with English abstract).

Hoskin P W O, Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53:27~62.

Harrison T M, Schmitte A K, McCulloch M T, Oscar M. 2008. Loveraa early($\geq 4. 5$ Ga) formation of terrestrial crust: Lu-Hf, $\delta^{18}\text{O}$, and Ti thermometry results for Hadean zircons. *Earth and*

Planetary Science Letters, 268: 476~486.

Kinny P D. 1986. 3820 Ma zircons from a tonalitic Amitsoq gneiss in the Godthab district of southern West Greenland. *Earth and Planetary Science Letters*, 79:337~347.

Kemp A I S, Wilde S A, Hawkesworth C J et al. 2010. Hadean crustal evolution revisited: new constraints from Pb-Hf isotope systematics of the Jack Hills zircons. *Earth and Planetary Science Letters*, 296:45~56.

Li Jing, Liu Guichun, Liu Junping, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Sun Baidong, Zhang Hu, Deng Renhong, Zhang Zhibin, Liu Fagang, Duan Xiangdong, Yu Saiying, Wang Xiaofeng, Zhao Yunjiang, Zhou Kun. 2018. New progress in the study of early Pre-Cambrian geology of central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37(11):1957~1969(in Chinese with English abstract).

Liu Jianhui, Liu Fulai, Ding Zhengjiang, Liu Pinghua, Wang Fang. 2014. U-Pb dating and Hf isotope study of Early Archean zircons from the Jiaobei Terrane, North China Craton: evidence for growth and recycling of ancient continental crust. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 2941 ~ 2950 (in Chinese with English abstract).

Liu Xiaoming, Gao Shan, Ling Wenli, Yuan Honglin, Hu Zhaochu. 2005. Discovery of 3. 5 Ga detrital zircons in the Yangtz Cmtion and its geological significance. *Progresses in natural Sciences*, 15(11):1334~1337 (in Chinese with English abstract).

Liu Dunyi, Nutman A P, Williams J S, Wu Jiashan, Shen Qihan. 1992. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton. *Geology*, 20, 339~342.

Liu Junping, Sun Baidong, Wang Xiaofeng, Liu Wei, Ma Jinhua, Guan Xueqing, Song Donghu, Lü Boye. 2020a. The zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of the spherical basalt in the early Mesoproterozoic in Lufeng area central Yunnan. *Geological Review*, 66(1):35~51(in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Li Jing, Wang Genhou, Sun Baidong, Hu Shaobin, Yu Saiying, Wang Xiaohu, Song Donghu. 2020b. Geochemistry and U-Pb age of zircons of mafic intrusion in the southwestern margin of the Yangtze plate: Response to breakup of the Columbia supercontinent. *Geological Review*, 66(2):350~364 (in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Li Jing, Duan Xiangdong, Cao Xiaomin, Hu Shaobin, Li Kaibi, Wang Lu, Guan Xueqing, Zeng Wentao, Liu Fagang, Zhang Hu, Yu Saiying. 2020c. Material sources of selenium-rich soil and its natural selenium-rich wild bacteria in Yimen area, central Yunnan. *Geological Review*, 66(3): 786 ~ 794 (in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Li Jing, Wang Wei, Sun Baidong, Zeng Wentao, Song Donghu, Guan Xueqing, Lü Boye, Hao Xuefeng, Sun Peng. 2019a. The discovery and significance of the fossils from the Early Precambrian strata in the Yimen region, central Yunnan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 39(4):57~65.

Liu Junping, Hu Shaobin, Tian Sumei, Lu Xiaoping, Sun Baidong, Yu Saiying, Zhu Xunzao, Sun Peng, Wang Xiaofeng. 2019b. U-Pb ages of zircon from metamorphic dolomite of the Wuliangshan Rock Group in Nanjian area, western Yunnan, and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 38(8):1327~1334(in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Zeng Wentao, Xu Yunfei, Sun Baidong, Hu Shaobin, Liu Guichun, Song Donghu, Lü Boye, Wang Xiaofeng. 2018a. The definition and geological significance of tuffs about 1. 85Ga in Yimen area, central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37(11):2055~2062(in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Hu Shaobin, Li Jing, Sun Baidong, Sun Zaibo, Wang Wei, Guan Xueqing, Xu Guixiang. 2018b. U-Pb age of zircon from metamorphic rocks of the Tuanliangzi Formation in western Yunnan Province and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 37(11):2079~2086 (in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Li Jing, Sun Baidong, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Liu

- Fagang, Sun Zhiming, Cong Feng, Xu Yunfei. 2018c. The discovery of new fossil species in the Yimen region, central Yunnan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38(1):37~40(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. Isoplot 3. 00: A geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California 39.
- Vervoort J D, Pachett P J, Gehrels G E, Nutman A P. 1996. Constraints on early Earth differentiation from hafnium and neodymium isotopes. *Nature*, 379(6566):624~627.
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin W L, Meier M, Oberli F, Vonquadt A, Roddick J C, Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1):1~23.
- Wan Yusheng, Liu Danyi, Dong Chunyan, Nutman A P, Wilde S A, Wang Wei, Xie Hangqiang, Yan Xiaoyan, Zhou Hongying. 2009. The oldest rocks and zircons in China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(8):1793~1807(in Chinese with English abstract).
- Wen Chunqi, Duo Ji, Fan Xiaoping, Guo Jianci, Ni Zhiyao, Li Xiaowen, Shi Yurao, Wen Quan. 2006. Detrital Zircon of 4100 Ma in Quartzite in Burang, Tibet. *Acta Geological Sinica*, 80(9):1249~1261(in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Liu Xiaoming, Li Tiesheng, Xie Liewen, Yang Yueheng. 2005. Hf isotopes of the 3.8 Ga zircons in eastern Hebei Province, China: implications for early crustal evolution of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 50(21):2473~2480(in Chinese with English abstract).
- Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Chen Zhihong, Jiang Yang, Hong Wentao, Jin Guodong, Yu Minggang, Zhao Xilin, Duan Zheng. 2015. The discovery of the Asian oldest zircons in Longquan, Cathaysia block. *Acta Geoscientia Sinica*, 36(4):395~402(in Chinese with English abstract).
- Yuan Wei, Yang Zhenyu, Yang Jinhui. 2012. The discovery of Hadean detrital zircon in Late Devonian strata in Hexi Corridor, Northwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4):1029~1036(in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xiaoming, Li Huiming, Gunther Detlef, Wu Fuyan. 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostand News*, 28:353~370.
- Zheng Jianping, Griffin W L, O'Reilly Suzanne Y, Lu Fengxiang, Suzanne Y, Wang Chunyang, Zhang Ming, Wang Fangzheng, Suzanne Y, Li Huimin. 2004. 3.6Ga lower crust in central China: New evidence on the assembly of the North China craton. *Geology*, 32:229~232.
- Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006. Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 252:56~71.
- (4): 1171~1174.
- 柳小明, 高山, 凌文黎, 袁洪林, 胡兆初. 2005. 扬子克拉通 35 亿年碎屑锆石的发现及其地质意义. *自然科学进展*, 15(11):1334~1337.
- 李静, 刘桂春, 刘军平, 胡绍斌, 曾文涛, 孙柏东, 张虎, 邓仁宏, 张志斌, 刘发刚, 段向东, 俞赛赢, 王晓峰, 赵云江, 周坤. 2018. 滇中地区早前寒武纪地质研究新进展. *地质通报*, 37(11):1957~1969.
- 刘建辉, 刘福来, 丁正江, 刘平华, 王舫. 2014. 胶北太古宙早期锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素研究: 华北克拉通古老陆壳增生及再循环的证据. *岩石学报*, 30(10):2941~2950.
- 刘军平, 孙柏东, 王晓峰, 刘伟, 马进华, 关学卿, 宋冬虎, 吕勃烨. 2020a. 滇中禄丰地区中元古代早期球状玄武岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大地构造意义. *地质论评*, 66(1):35~51.
- 刘军平, 李静, 王根厚, 孙柏东, 胡绍斌, 俞赛赢, 王小虎, 宋冬虎. 2020b. 扬子板块西南缘基性侵入岩锆石定年及地球化学特征——Columbia 超级大陆裂解的响应. *地质论评*, 66(2):350~364.
- 刘军平, 李静, 段向东, 曹晓民, 胡绍斌, 李开毕, 王路, 关学卿, 曾文涛, 刘发刚, 张虎, 俞赛赢. 2020c. 滇中易门地区富硒土壤物质来源及其天然富硒野生菌初步研究. *地质论评*, 66(3):786~794.
- 刘军平, 李静, 王伟, 孙柏东, 曾文涛, 宋冬虎, 关学卿, 吕勃烨, 郝学锋, 孙鹏. 2019a. 滇中易门地区早前寒武纪地层化石的发现及其意义. *沉积与特提斯地质*, 39(4):57~65.
- 刘军平, 胡绍斌, 田素梅, 卢晓萍, 孙柏东, 俞赛赢, 朱勋早, 孙鹏, 王晓峰. 2019b. 滇西南涧地区无量山岩群变质英安岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. *地质通报*, 38(8):1327~1334.
- 刘军平, 曾文涛, 徐云飞, 孙柏东, 胡绍斌, 刘桂春, 宋冬虎, 吕勃烨, 王晓峰. 2018a. 滇中易门地区约 1.85Ga 凝灰岩的厘定及其地质意义. *地质通报*, 37(11):2055~2062.
- 刘军平, 胡绍斌, 李静, 孙柏东, 孙载波, 王伟, 关学卿, 徐桂香. 2018b. 滇西云县地区团梁子岩组变质岩锆石 U-Pb 定年及其构造意义. *地质通报*, 37(11):2079~2086.
- 刘军平, 李静, 孙柏东, 胡绍斌, 曾文涛, 刘发刚, 孙志明, 丛峰, 徐云飞. 2018c. 滇中易门地区发现化石新物种. *沉积与特提斯地质*, 38(1):37~40.
- 吴福元, 杨进辉, 柳小明, 李铁胜, 谢烈文, 杨岳衡. 2005. 冀东 3.8 Ga 锆石 Hf 同位素特征与华北克拉通早期地壳时代. *科学通报*, 50(18):1996~2003.
- 万渝生, 刘敦一, 董春艳, Nutman AP, Wilde SA, 王伟, 颜炳强, 殷小艳, 周红英. 2009. 中国最老岩石和锆石. *岩石学报*, 25(8):1793~1807.
- 温春齐, 多吉, 范小平, 郭建慈, 倪志耀, 李小文, 石玉若, 温泉. 2006. 西藏普兰石英岩中发现 41 亿年碎屑锆石. *地质学报*, 80(9):1249~1261.
- 邢光福, 杨祝良, 陈志洪, 姜杨, 洪文涛, 靳国栋, 余明刚, 赵希林, 段政. 2015. 华夏地块龙泉地区发现亚洲最古老的锆石. *地球学报*, 36(4):395~402.
- 袁伟, 杨振宇, 杨进辉. 2012. 河西走廊晚泥盆世地层中冥古宙碎屑锆石的发现. *岩石学报*, 28(4):1029~1036.

参 考 文 献

第五春荣, 孙勇, 董增产, 王洪亮, 陈丹玲, 陈亮, 张红. 2010. 北秦岭西段冥古宙锆石(4.1~3.9Ga)年代学新进展. *岩石学报*, 26

The discovery of 3890 Ma zircon in Proterozoic strata in the Dongchuan
Luoxue area, western margin of the Yangtze plate

LIU Junping^{1,2,3)}, XIONG Bo^{3,4)}, LI Jing^{1,3)}, WANG Xiaohu^{* 1,3)}, HU Shaobin^{1,3)},
YU Saiying^{1,3)}, ZHANG Hu^{1,3)}, YANG Aiping^{1,3)}, WU Qinghua^{1,3)}

1) Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, Yunnan 650216, China;

2) China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3) Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization,
MNR, Kunming, Yunnan 650051, China;

4) Yunnan Institute of Land and Resources Planning and Design, Kunming, Yunnan 650216, China

* Corresponding author: 339078312@qq.com

Abstract

Using the LA-ICP-MS U-Pb isotope measurement technique, a Hadean zircon was found in the rhyolitic vitreous sintered tuff of the Paleoproterozoic Abudu Formation in Dongchuan Luoxue area, western margin of the Yangtze plate. The zircon has an obvious core-mantle-edge structure. The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of the core is 3890 ± 47 Ma. This age is interpreted as magmatic crystallization, and the Th/U ratio is 0.34. The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of the metamorphic edge is $3561 \pm 45 \sim 3616 \pm 55$ Ma, Th/U ratio is 0.07 ~ 0.19 . The in-situ Hf isotope measurement of zircon yields $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.280317 \sim 0.280451$, $\epsilon_{\text{Hf}}(t) = -4.6 \sim 0.6$ (average value is -2.5), $T_{\text{DMI}} = 3861 \sim 3980$ Ma, $T_{\text{DM2}} = 4036 \sim 4106$ Ma (average value 4059 Ma). This zircon is the oldest zircon found in the Yangtze block. Its Hf isotope and trace element characteristics indicate that there is 4.0 Ga crustal hyperplasia in the Yangtze block and recycling of the ancient continental crust. Combined with the data of previous isotope studies, it shows that the Proterozoic in the Dongchuan area on the western margin of the Yangtze may be related to the North China block during this period. This discovery provides an important basis for the Yangtze block to be investigated for the pseudo-continent and Archaean material entities, and also provides important new information for understanding the evolution process of the early continent.

Key words: Hadean; zircon $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age; Hf isotope; 3890 Ma; Dongchuan Luoxue area of central Yunnan; Yangtze block