

文章编号:1009-3850(2019)01-0014-08

滇中易门地区新元古代澄江组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

刘军平, 夏彩香, 孙柏东, 胡绍斌, 王晓峰,

王 伟, 关学卿, 宋冬虎, 吕勃焯

(云南省地质调查院, 云南 昆明 650216)

摘要: 扬子西缘广泛出露的新元古代澄江组是一套与晋宁运动密切相关的沉积岩夹火山岩系, 其形成时限对华南新元古代区域地层格架、地层划分对比及古大陆再造具有重要意义。出露于滇中易门地区的新元古代澄江组底部发育有厚数米的凝灰岩夹层, 本次采集凝灰岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究, 结果表明, 锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 812 ± 5.5 Ma ($n = 17$, MSWD = 0.46), 可以代表滇中澄江组的底界年龄, 从而进一步确定澄江组底界年龄为 812 Ma 左右。此外, 凝灰岩中捕获的锆石年龄信息指示扬子西缘可能存在 2.5 Ga、1.8 ~ 1.6 Ga、1.5 Ga、1.3 Ga 及 1.0 Ga 等数期重要的区域构造-热事件。

关键词: 澄江组; 凝灰岩; 锆石 U-Pb 年龄; 新元古代; 易门地区; 滇中

中图分类号: P534.1

文献标识码: A

引言

澄江组出露于华南新元古代裂谷盆地系统的康滇次级盆地中南段, 在云南澄江、玉溪、东川、巧家等地区, 主要为是一套紫红色陆源碎屑夹火山岩沉积建造; 区域上, 澄江组发育于晋宁运动不整合面之上、澄江运动不整合面之下^[1-3]。由于缺乏生物年代学的相对年龄, 其沉积时限一直存在较大争议。

20 世纪 90 年代初, 刘鸿允等根据 Rb-Sr 法定年分析结果将澄江组底界年龄标定为 $900 \text{ Ma} \pm 20 \text{ Ma}$, 孙家聪在罗茨澄江组底部玄武岩获得的 Rb-Sr 等时线年龄为 885 Ma, 两人认为 900 Ma 代表了晋宁运动

的不整合面时限^[4-6]; 曹仁关、李自强等认为晋宁运动不整合面时限应为 800 Ma 左右^[7]。随着定年技术及精度的不断提高, 加上许多最新的年代学和沉积学证据, 多数学者认为华南新元古代裂谷盆地的开启时间应为 $\sim 820 \text{ Ma}$ ^[8-10], 即澄江组的沉积下限年龄要晚于 820 Ma。

近年来, 一些学者对澄江组作了大量的工作。江新胜等在滇中地区澄江组底部凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄为 $797.8 \text{ Ma} \pm 8.2 \text{ Ma}$ 和 $803.1 \text{ Ma} \pm 8.7 \text{ Ma}$ ^[11]; 崔晓庄等在澄江组层型剖面顶部凝灰岩获得锆石 U-Pb 年龄为 $725 \text{ Ma} \pm 11 \text{ Ma}$ ^[12-13]; 陆俊泽等在滇东北巧家地区澄江组中部凝灰岩获得的锆石

收稿日期: 2018-10-08; 改回日期: 2018-12-01

作者简介: 刘军平(1983 -), 男, 工程师, 从事区域地质与构造地质调查研究。E-mail: 271090834@qq.com

通信作者: 夏彩香(1971 -), 女, 工程师, 从事区域地质与矿产调查研究。E-mail: 1494674316@qq.com

资助项目: 中国地质调查局项目(云南 1:5 万二街、易门、鸣矣河、上浦贝幅区域地质调查, 编号: DD20160017; 云南区域地质调查片区总结与服务产品开发, 编号: DD20160345-02)

U-Pb 年龄为 $785\text{Ma} \pm 12\text{Ma}^{[14]}$, 因此将滇中地区新元古界澄江组的沉积时限限定为 $800\text{Ma} \sim 725\text{Ma}$ 。本文对滇中易门地区新元古代澄江组火山岩进行研究, 利用锆石 U-Pb 测年方法进行了定年, 为准确地标定澄江组时代和层序、探讨华南新元古代古地理格局和盆地形成、演化过程提供了新的依据。

1 地质背景

研究区位于滇中易门地区, 处于扬子陆块区(VI)之上扬子古陆块(VI-2)的楚雄陆内盆地(VI-2-12)和康滇基底断隆带(VI-2-11)两个三级构造单元的接壤地段, 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)之楚雄地层小区(VI₄₂₋₁)和昆明地层小区(VI₄₂₋₂)的结合部(图 1)。研究区出露地层为中元古界昆阳群、新元古界澄江组及第四系(图 1)。中元古界昆阳群为一套浅变质的陆源碎屑-碳酸盐岩及少量火山岩; 澄江组上部岩性以紫色砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩为主, 中部发育厚度不等的凝灰岩及凝灰质砂岩, 底部常以砾岩或含砾砂岩与下伏昆阳群黑山头组呈角度不整合接触; 低洼处发育少量第四系松散堆积(Qh)。

2 样品采集及测试

2.1 样品采样

本次研究的澄江组样品采自易门-罗茨断裂以东, 地点在易门县六街镇白泥田村, (图 1)。在六街-泥田村, 澄江组总体呈南北向展布, 东与昆阳群黑山头组呈角度不整合接触, 西被第四系覆盖(图 1)。采样剖面上澄江组出露厚度 110m, 可划分为 8 层, 其中含火山岩段可划分出 1 层, 出露厚度 6.5m, 采品 PM016-14-3 采自岩性层③。剖面上澄江组岩性由紫色砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩、砾岩及纹层状凝灰岩、凝灰质砂岩组成(图 2a)。剖面列述如下:

8. 紫色厚层状砂岩	6.0m
7. 紫色中层状粉砂岩	6.5m
6. 紫色中厚层状长石石英砂岩夹粉砂岩	30.0m
5. 紫色中层状粉砂岩	12.0m
4. 紫色厚层状砂岩	10.0m
3. 灰白色凝灰岩、凝灰质砂岩	6.5m
2. 灰色砾岩为主少量含砾砂岩	12.0m
1. 灰色薄层状粉砂质板岩	2.0m

纹层状凝灰岩(PM016-14-3): 由微晶岩屑和隐

晶质玻璃基质组成。微晶岩屑主要由粒径小于 2mm 的碎屑颗粒组成, 多为石英、斜长石和黑云母, 呈针状、透镜状以及不规则棱角状。斜长石含量 20% ~ 30%, 钾长石含量 < 10%, 黑云母含量 5% ~ 10%, 石英 < 5%; 微晶岩屑与玻质基质构成明显的韵律层, 成层性显著。部分区域长英质发育有明显的霏细结构。部分地区岩屑发生明显的褐帘石化, 也可在基质中见到褐铁矿, 镜下特征见图 2d。

2.2 样品测试

样品 PM016-14-3 岩性为灰白色纹层状凝灰岩, 薄-中层状构造, 发育似流动构造, 见少量石英、长石斑晶。将样品先经手工粉碎, 后按常规重力及电磁法浮选出锆石颗粒, 最后在双目镜下挑选出纯正锆石约 200 余粒。锆石多为无色透明, 个别呈浅黄色, 粒状、短柱状、碎粒状, 金刚光泽, 透明, 表面多具磨蚀特征, 锆石长度一般为 100 ~ 150 μm , 少数达 200 μm 。

锆石分选在河北区域地质矿产调查研究所实验室完成。选择晶型较好, 无裂隙的锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶, 打磨样品靶, 使锆石的中心部位暴露出来, 然后进行抛光。对锆石进行反射光、透射光显微照相和阴极发光(CL)图像分析, 根据反射光、透射光及锆石 CL 图像, 选择代表性的锆石颗粒和区域进行 U-Pb 测年。锆石 U-Pb 定年是在湖北省地质实验室测试中心岩石矿物研究室利用 LA-ICP-MS 同时分析完成的。测试仪器采用的是由美国 Coherent Inc 公司生产的 GeoLasPro 全自动版 193nm ArF 准分子激光剥蚀系统(LA)和美国 Agilent 公司生产的 7700X 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)联用构成的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱分析系统(LA-ICP-MS)。另外激光剥蚀系统配置了由澳大利亚国立大学开发研制的匀化器, 由 10 根长度不同的细 PV 管组成, 激光剥蚀产生的细小粉末样品通过匀化器装置后, 因通过长短不同的管道所需的时间略有不同而使样品脉冲信号得到平滑, 从而能有效降低激光脉冲剥蚀样品而产生的信号波动。锆石 U-Pb 定年分析采用锆石标准年龄物质 91500 作为外标进行同位素分馏校正, 每分析 6 ~ 8 个样品点分析 2 次 91500。样品测试时, 背景信号采集 10s, 样品剥蚀 40s, 管路吹扫 10s, 信号采集时间总共为 60s。样品的同位素比值和元素含量采用 ICPMSDataCal 9.0 进行处理分析, 加权

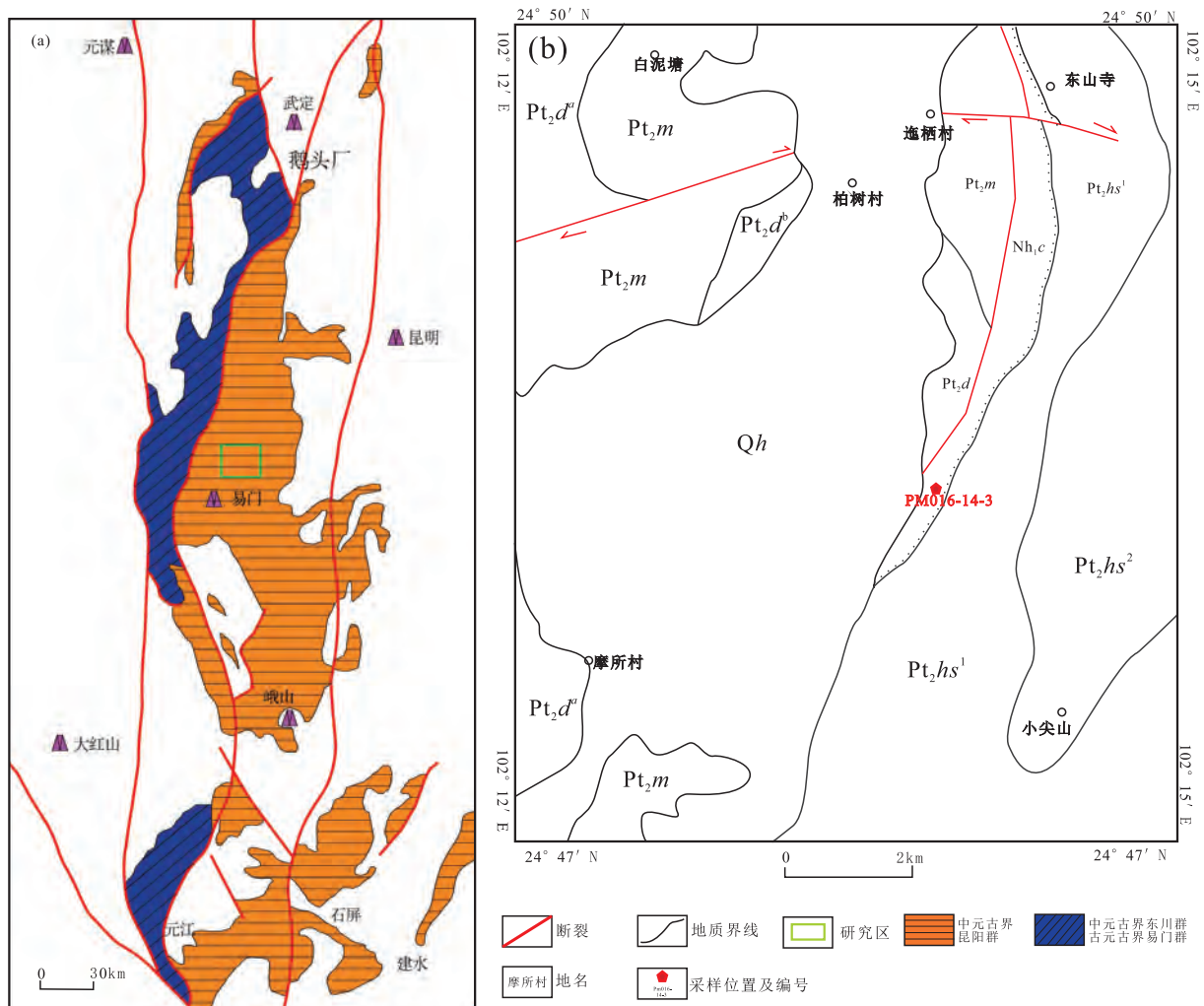


图1 研究区位置(a)及采样位置图(b)

Qh. 第四系; Pt₂m. 美党组; Pt₂d^a. 大龙口组 a 段; Pt₂d^b. 大龙口组 b 段; Pt₂hs². 黑山头组富良棚段; Pt₂hs¹. 黑山头组一段; Nh_{1,c}. 澄江组

Fig. 1 Location of the Yimen region, central Yunnan (a) and sampling site (b)

平均年龄的计算及锆石年龄谐和图的绘制采用 Isoplot 3.0 (Ludwing, 2003)^[16-17] 来完成。采用年龄为 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄, 其加权平均值的误差为 2σ, ²⁰⁶Pb/²³⁸U (和 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb) 平均年龄误差为 95% 置信度。

3 锆石 U-Pb 年龄

本次用于锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试的样品采集位置见图 1, 样品分析数据见表 1。锆石均为无色透明, 以柱状、短柱状为主, 少数为半截锥状, 自形程度较好, 无裂隙和包裹体。长度变化于 100 ~ 200 μm, 长宽比 1.5 ~ 3.5。根据阴极发光 (CL) 图像可将这些锆石分为两类: 第一类锆石自形程度较好, 棱角分明, 发育较窄的韵律环带, 为典型的酸性

岩浆结晶锆石^[18]; 第二类锆石多呈自形 - 半自形, 边部常有一定程度的磨圆, 无明显环带结构, 锆石核部具扇形结构或椭圆状结构, 可能为岩浆上升过程中捕获的围岩锆石 (图 3)。选择 41 颗锆石进行了定年分析, 锆石的 Th/U 比值为 0.2 ~ 1.5; 除去测点 36 明显偏离谐和线, 其余分析点都位于谐和线上或其附近 (图 4a); 根据年龄结果, 这 40 个测点明显分为 2 组 (图 4a): 一组 17 颗锆石数据较为集中, 具有典型的振荡环带, 为岩浆成因, 且获得了较为一致的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄 812.1 ± 5.5 Ma (MSWD = 0.46, n = 17) (图 4b, 4d); 结合阴极发光 (CL) 图像, 笔者认为 812.1 ± 5.5 Ma 应代表样品 PM016-14-3 形成年龄。

另一组为年龄值较老的 22 个测点, 部分测点可

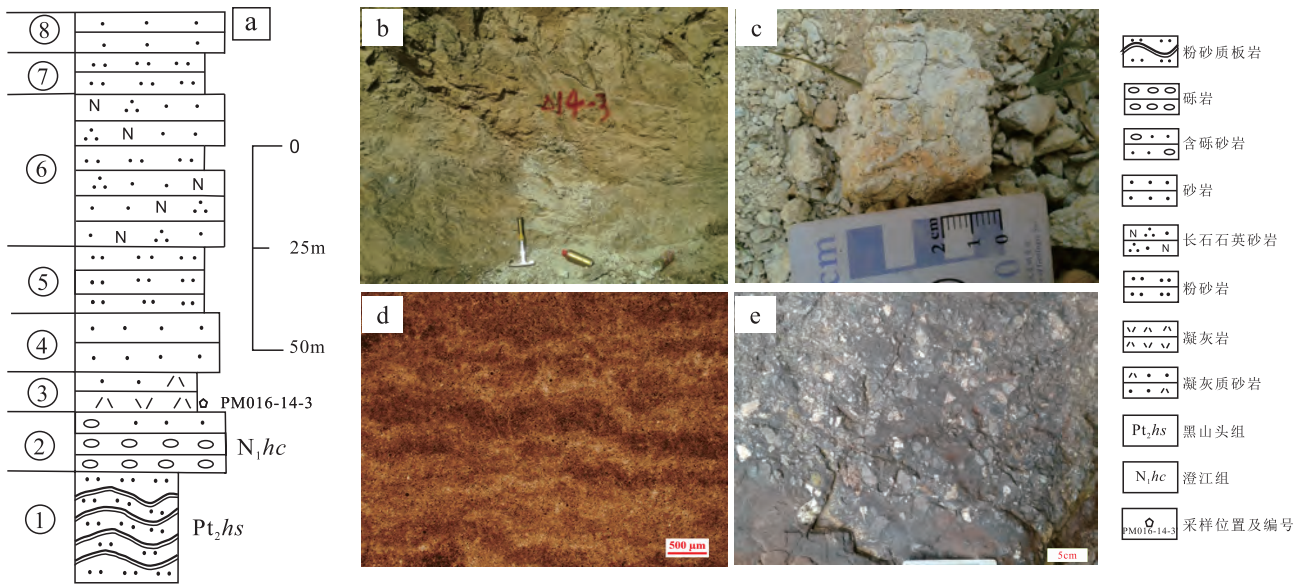


图2 采样剖面的地层柱(a)、凝灰岩野外露头(b)、手标本(c)、显微照片(d)及澄江组底砾岩(e)

Fig. 2 Stratigraphic column through the Chengjiang Formation in the sampling section (a), tuff outcrops (b), hand specimen (c), photomicrograph (d) and basal conglomerates in the Chengjiang Formation (e)

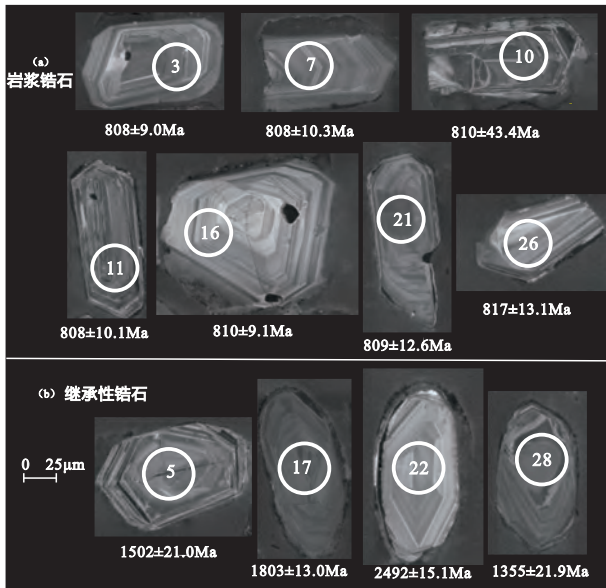


图3 样品代表性锆石阴极发光 (CL) 图像及年龄

Fig. 3 CL images and ages of the representative zircons in the tuff sample PM 016-14-3

见继承性锆石的残留核,具典型的核-边结构。其中测点 02、05、09、14、41 获得了较为一致的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄 1522 ± 19Ma (MSWD = 0.91, n = 5), 与昆阳群黑山组年龄高度一致;测点 12、28、40 获得了较为一致的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄 1358 ± 8Ma (MSWD = 0.41, n = 3), 与扬子陆块西缘中元古代菜子园蛇绿混杂岩

辉长岩的年龄 1375 ± 7Ma (MSWD = 1.2, n = 21) 一致;其它 14 个测点的年龄值范围为 914 ± 11.5Ma ~ 2492 ± 15.1Ma, 阴极发光 (CL) 图像和年龄均表明, 以上年龄值较老的锆石均为捕获锆石, 值得注意的是, 测点 8 年龄值为 723 ± 11.6Ma, 可能为澄江组顶界面年龄。

4 讨论

4.1 锆石 U-Pb 年代学意义及对澄江组时代的制约

澄江组是华南新元古代地层中的重要地层单元之一,也是 Rodinia 超大陆的重要组成部分,其顶、底界面分别是澄江运动、晋宁运动重要不整合界面^[1-6]。因此,准确标定澄江组时代对重塑华南新元古代地层格架及南化系底界尤为重要。前人围绕澄江组的时代问题开展了大量年代学研究,获得了一批重要的年龄数据,澄江组年龄数据集中在 800 ~ 725Ma^[1-15]。

本文采集的澄江组凝灰岩夹层距离底界砾岩层仅 15m,对其进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究,共获得 17 个棱角分明、内部发育较窄的岩浆环带的锆石,且获得了谐和度高的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄 812.1 ± 5.5Ma (MSWD = 0.46, n = 17) (图 4b, 4d)。结合阴极发光 (CL) 图像,812.1 ± 5.5Ma 应该代表了澄江组凝灰岩的形成时代。澄江组底界面年龄应在

表1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

Table 1 LA ICP-MS zircon U-Pb age determinations of the tuff sample PM 016-14-3

测点号	w(B)/10 ⁻⁶		同位素比值								U-Pb 年龄 (Ma)								谐和度 (%)	Th/U	采用年龄
	Th	U	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							
1	262.5	352.2	0.0683	0.0008	1.2606	0.0169	0.1338	0.0015	880	24.1	828	7.6	809	8.7	97%	0.7	809				
2	945.6	1429.5	0.0951	0.0011	2.2380	0.0341	0.1711	0.0029	1531	23.3	1193	10.7	1018	15.7	84%	0.7	1531				
3	410.0	647.8	0.0752	0.0009	1.3882	0.0221	0.1336	0.0016	1076	23.6	884	9.4	808	9.0	91%	0.6	808				
4	207.7	219.7	0.1032	0.0011	3.6601	0.0598	0.2566	0.0031	1683	20.4	1563	13.0	1472	16.1	94%	0.9	1683				
5	438.5	441.5	0.0937	0.0010	3.2548	0.0551	0.2519	0.0039	1502	21.0	1470	13.1	1448	19.9	98%	1.0	1502				
6	508.5	464.5	0.1052	0.0012	3.4822	0.0580	0.2398	0.0034	1718	21.1	1523	13.1	1386	17.9	90%	1.1	1718				
7	235.0	401.5	0.0677	0.0008	1.2470	0.0211	0.1336	0.0018	861	25.9	822	9.5	808	10.3	98%	0.6	808				
8	237.0	246.4	0.0734	0.0016	1.1978	0.0263	0.1188	0.0020	1026	75.0	800	12.2	723	11.6	90%	1.0	723				
9	283.5	463.8	0.0937	0.0010	3.1276	0.0638	0.2415	0.0039	1502	21.5	1439	15.7	1394	20.1	96%	0.6	1502				
10	601.9	1223.4	0.0821	0.0013	1.4625	0.0394	0.1338	0.0076	1247	30.4	915	16.3	810	43.4	87%	0.5	810				
11	967.0	1161.1	0.0837	0.0011	1.5424	0.0299	0.1336	0.0018	1285	24.1	947	12.0	808	10.1	84%	0.8	808				
12	686.6	541.2	0.0864	0.0010	3.0361	0.0481	0.2552	0.0032	1347	22.4	1417	12.1	1465	16.3	96%	1.3	1347				
13	314.8	799.6	0.0703	0.0009	1.2963	0.0301	0.1339	0.0026	1000	25.2	844	13.3	810	15.0	95%	0.4	810				
14	368.8	859.1	0.0961	0.0012	2.5301	0.0364	0.1915	0.0026	1550	22.4	1281	10.5	1130	14.1	87%	0.4	1550				
15	225.3	232.0	0.0840	0.0050	1.5646	0.1319	0.1335	0.0032	1294	116.7	956	52.3	808	18.0	83%	1.0	808				
16	130.2	164.6	0.0659	0.0009	1.2159	0.0206	0.1339	0.0016	806	29.6	808	9.5	810	9.1	99%	0.8	810				
17	108.9	476.6	0.1102	0.0008	4.7839	0.0558	0.3149	0.0036	1803	13.0	1782	9.8	1765	17.7	99%	0.2	1803				
18	208.2	367.2	0.0732	0.0008	1.6213	0.0244	0.1606	0.0021	1020	21.1	978	9.4	960	11.7	98%	0.6	960				
19	118.8	271.6	0.0677	0.0009	1.2667	0.0225	0.1356	0.0018	861	27.8	831	10.1	820	10.5	98%	0.4	820				
20	529.8	904.5	0.0675	0.0006	1.2459	0.0150	0.1338	0.0015	854	17.4	822	6.8	809	8.3	98%	0.6	809				
21	414.1	704.3	0.0741	0.0009	1.3607	0.0218	0.1337	0.0022	1043	58.3	872	9.4	809	12.6	92%	0.6	809				
22	90.2	135.9	0.1634	0.0015	10.7450	0.1542	0.4760	0.0063	2492	15.1	2501	13.3	2510	27.4	99%	0.7	2492				
23	269.9	223.6	0.0709	0.0009	1.3698	0.0283	0.1396	0.0023	955	26.7	876	12.1	842	12.7	96%	1.2	842				
24	205.2	418.5	0.0721	0.0009	1.5188	0.0239	0.1524	0.0020	991	24.8	938	9.6	914	11.5	97%	0.5	914				
25	428.8	621.3	0.1006	0.0012	3.8489	0.0657	0.2765	0.0040	1635	22.7	1603	13.8	1574	20.3	98%	0.7	1635				
26	164.7	205.0	0.0671	0.0011	1.2523	0.0276	0.1350	0.0024	839	36.3	824	12.5	816	13.5	99%	0.8	816				
27	118.3	205.8	0.0658	0.0011	1.2168	0.0242	0.1338	0.0021	1200	35.2	808	11.1	810	12.0	99%	0.6	810				
28	231.5	565.8	0.0867	0.0010	2.9648	0.0499	0.2474	0.0041	1355	21.9	1399	12.8	1425	21.0	98%	0.4	1355				
29	234.3	367.5	0.1037	0.0012	3.8168	0.0494	0.2670	0.0037	1691	26.4	1596	10.4	1526	18.6	95%	0.6	1691				
30	378.9	898.2	0.0727	0.0008	1.6491	0.0244	0.1644	0.0022	1006	23.6	989	9.3	981	12.3	99%	0.4	981				
31	183.5	270.9	0.0663	0.0009	1.2237	0.0197	0.1338	0.0019	817	27.8	811	9.0	810	10.6	99%	0.7	810				
32	298.2	505.8	0.1083	0.0014	3.5657	0.0546	0.2392	0.0041	1772	23.8	1542	12.2	1383	21.1	89%	0.6	1772				
33	331.4	252.4	0.1028	0.0012	3.3529	0.0513	0.2367	0.0043	1676	20.7	1493	12.0	1369	22.5	91%	1.3	1676				
34	74.3	122.7	0.1097	0.0024	3.5580	0.0966	0.2336	0.0037	1795	40.6	1540	21.6	1353	19.5	87%	0.6	1795				
35	253.4	201.0	0.1120	0.0026	4.7752	0.2982	0.3188	0.0244	1831	42.6	1781	52.4	1784	119	99%	1.3	1831				
36	536.5	643.9	0.0925	0.0014	1.6744	0.0483	0.1335	0.0048	1477	29.3	999	18.3	808	27.2	78%	0.8	808				
37	217.7	145.6	0.0742	0.0014	1.3414	0.0381	0.1348	0.0074	1048	38.9	864	16.6	815	41.9	94%	1.5	815				
38	154.5	266.2	0.1048	0.0014	3.9887	0.0519	0.2760	0.0041	1710	56.5	1632	10.6	1571	20.9	96%	0.6	1710				
39	111.9	197.8	0.0674	0.0009	1.2506	0.0208	0.1350	0.0028	850	28.9	824	9.4	816	15.6	99%	0.6	816				
40	143.3	320.4	0.0876	0.0011	2.8515	0.0383	0.2363	0.0037	1374	24.1	1369	10.1	1367	19.5	99%	0.4	1374				
41	327.0	815.0	0.0950	0.0011	2.2789	0.0528	0.1729	0.0033	1528	22.7	1206	16.4	1028	18.3	84%	0.4	1528				

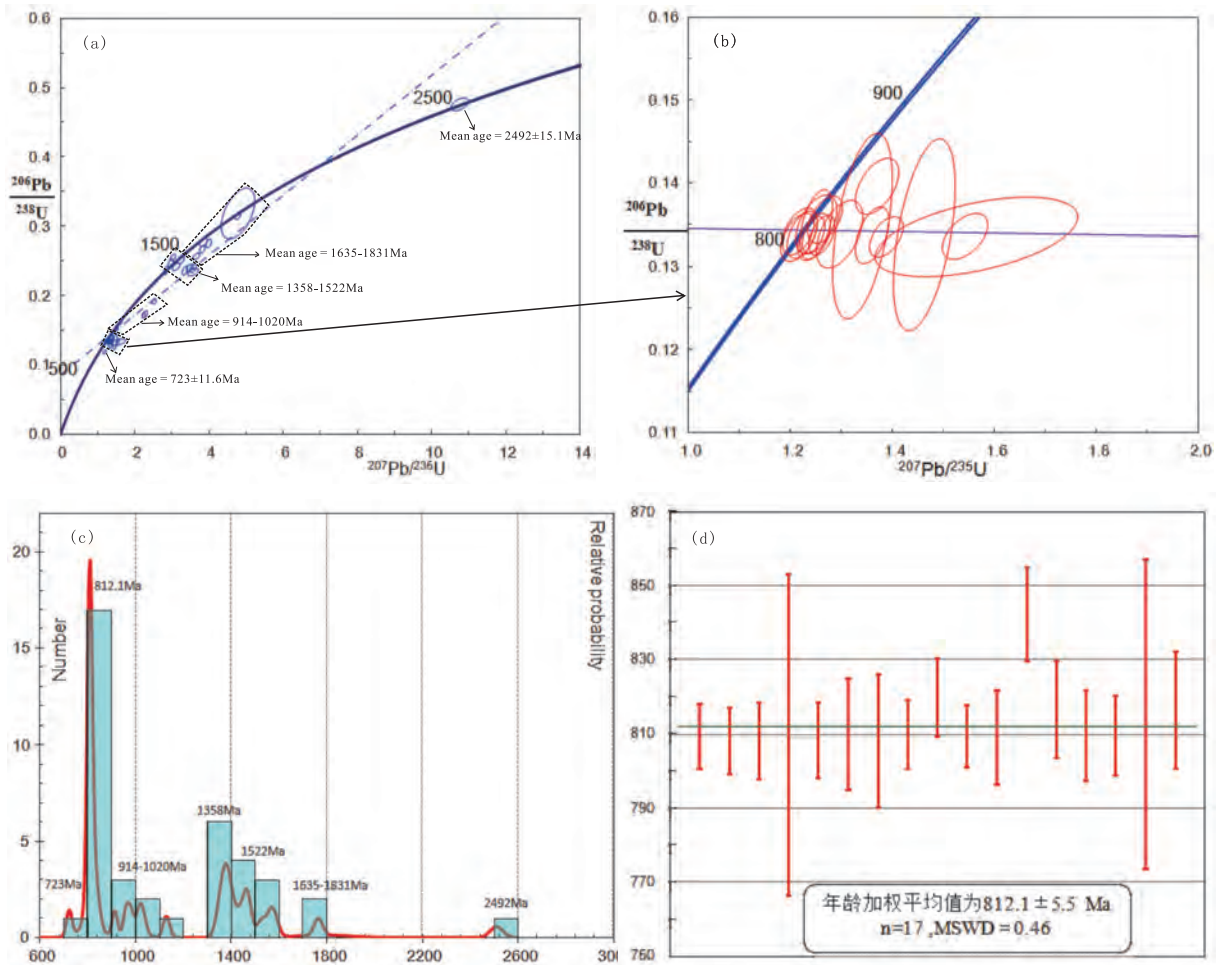


图4 锆石 U-Pb 年龄谐和图(a,b)与年龄频谱图(c,d)

Fig. 4 Concordia plots (a, b) and age spectra (c, d) of the zircon U-Pb age data for the tuff sample PM 016-14-3

812Ma 左右。近期刘兵等在云南元谋地区澄江组底部凝灰岩中获得 $781.3 \pm 1.9\text{Ma}$ 年龄(另文报道)。值得注意的是测点 8 的年龄值为 $723 \pm 11.6\text{Ma}$, 与崔晓庄等澄江组层型剖面顶部凝灰岩获得锆石 U-Pb 年龄为 $725 \pm 11\text{Ma}$ ^[12] 相一致。因而本文认为澄江组的沉积时限应为 812 ~ 723Ma, 比前人报道的澄江组底界年龄早 12Ma。康滇裂谷盆地的开启在易门、澄江及玉溪地区较早, 在滇东北巧家、东川及元谋地区较晚。

澄江组作为康滇裂谷盆地开启的物质记录, 是华南新元古代裂谷盆地开启的物质记录, 也是下南华统的物质记录, 可代表南华系底界时限。大量年代学和沉积学证据^[8-12] 表明, 华南新元古代裂谷盆地的开启时间约为 820Ma。而澄江组记录了滇中南华纪的底界沉积, 因此澄江组底界时代代表了南华系的底界时代, 结合本文所获得年龄, 将滇中南华

系底界应置于 820Ma 较为合理。

4.2 捕获锆石的指示意义

本文共获得了样品 PM016-14-3 的 40 个有效的 U-Pb 同位素年龄值。其中, 年龄值较老的 22 颗锆石应为岩浆上升过程中捕获的通道围岩的岩浆锆石, 年龄值范围为 842 ~ 2492Ma。结合最新区域相关研究资料, 笔者认为: (1) 最老的一颗锆石的 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄值为 $2492 \pm 15.1\text{Ma}$, 与古元古界易门群阿不都组底界锆石年龄相吻合(另有文章报道), 云南 1:5 万二街等四幅区调及《云南省区域地质志》(第二版、修编) 近期在滇中地区的火山岩及侵入岩中获得了 3.08 ~ 1.84Ga 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄, 指示扬子西缘存在古元古代—太古代地质体^[20], 且 2.5Ga 左右存在一期重要的岩浆事件; (2) 9 个中元古界早期年龄值范围为 1635 ~ 1831Ma, 与扬子西缘 1.8 ~ 1.6Ga 期间的大规模裂

解事件相符合,该时期区域内广泛发育非造山岩浆作用^[21-22],可能与 Columbia 超大陆的初始裂解有关;(3)5 颗中元古界中晚期的锆石^{207Pb/206Pb} 加权平均年龄 $1522 \pm 19\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.91, n = 5$),与昆阳群黑山组年龄高度一致^[23-25],与 Columbia 超大陆裂解高峰期时代一致;(4)3 颗中元古代晚期的锆石^{207Pb/206Pb} 加权平均年龄为 $1358 \pm 8\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.41, n = 3$),与扬子陆块西缘中元古代菜子园蛇绿混杂岩辉长岩的年龄 $1375 \pm 7\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.2, n = 21$)一致^[26],可能代表菜子园-通安洋洋壳初始俯冲的时间;(5)另外 3 颗锆石的^{206Pb/238U} 年龄值分别为 $981 \pm 12.3\text{Ma}$ 、 $960 \pm 11.7\text{Ma}$ 、 $914 \pm 11.5\text{Ma}$ 和 $842 \pm 12.7\text{Ma}$,与扬子西缘格林威尔期岩浆活动记录相一致,为造山型火山岩系列^[27-30],与 Rodinia 超大陆的汇聚有关。

5 结论

(1)在澄江组凝灰岩中获得 $812.1 \pm 5.5\text{Ma}$ 和 $723 \pm 11.6\text{Ma}$ 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄,表明澄江组的沉积时限应为 $812 \sim 723\text{Ma}$, 820Ma 作为南华系底界年龄较为合理。

(2)22 颗捕获锆石的年龄值范围为 $842 \sim 2492\text{Ma}$,指示扬子西缘可能存在 2.5Ga 、 $1.8 \sim 1.6\text{Ga}$ 、 1.5Ga 、 1.3Ga 及 1.0Ga 等数期重要的区域构造-热事件,表明滇中地区可能存在古元古代—太古代的地质体。

致谢:锆石 LA-ICP-MS 分析和阴极发光照相得到了南京宏创地质勘查技术服务有限公司袁秋云及湖北省地质实验室测试中心岩石矿物研究室朱丹、潘诗洋的帮助。审稿人提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

参考文献:

[1] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990. 236-255.
 [2] 云南省地质矿产局. 云南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996. 1-100.
 [3] 《中国地层典》编委会. 中国地层典—新元古界[M]. 北京:地质出版社,1996. 1-117.
 [4] 刘鸿允. 中国震旦系[M]. 北京:科学出版社,1991. 1-388.
 [5] 孙家聪. 云南罗次澄江组下部火山岩系的发现与震旦系底界年龄的讨论[J]. 地质科学,1985,(4): 334-363.

[6] 郝杰,李曰俊,胡文虎. 晋宁运动和震旦系有关问题[J]. 中国区域地质,1992,(2):131-140.
 [7] 曹仁关,张为鹏,李季. 云南东部震旦系的划分与对比[J]. 地层学杂志,1985,9(3): 170-179.
 [8] 王剑. 华南新元古代裂谷盆地演化:兼论与 Rodinia 解体的关系[M]. 北京:地质出版社,2000,1-131.
 [9] Wang J, Li Z X. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up [J]. Precambrian Research,2003,122:141-158.
 [10] 崔晓庄,江新胜,王剑,等. 滇中新元古代裂谷盆地充填序列及演化模式:对 Rodinia 超大陆裂解的响应[J]. 沉积学报,2014,32(3):399-409.
 [11] 江新胜,王剑,崔晓庄,等. 滇中新元古代澄江组锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究及其地质意义[J]. 中国科学:地球科学,2012,42(10):1496-1507.
 [12] 崔晓庄,江新胜,王剑,等. 滇中新元古代澄江组层型剖面锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 现代地质,2013,27(3): 547-556.
 [13] 崔晓庄,江新胜,王剑,等. 扬子西缘澄江组底部玄武岩形成时代新证据及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志,2015,33(1):1-13.
 [14] 陆俊泽,江新胜,王剑,等. 滇东北巧家地区新元古界澄江组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿物学报,2013, 33(2):65-71.
 [15] Hu Z, Liu Y, Gao S, et al. A "wire" signal smoothing device for laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry analysis[J]. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy, 2012,78(78):50-57.
 [16] Ludwig K R. Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California 39,2003.
 [17] 王海然,赵红格,乔建新,等. 锆石 U-Pb 同位素测年原理及应用[J]. 地质与资源,2013,22(3):229-42.
 [18] 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.
 [19] 胡世玲,刘鸿允,劳秋元. 震旦系地质年代学新研究[J]. 地质科学,1991,4: 325-336.
 [20] 刘军平,曾文涛,徐云飞,等. 滇中易门地区约 1.85Ga 凝灰岩的厘定及其地质意义[J]. 地质通报,2018,37(11):2055-2062.
 [21] 王子正,郭阳,杨斌,等. 扬子克拉通西缘 1.73Ga 非造山型花岗岩斑岩的发现及其地质意义[J]. 地质学报,2013,87(7): 931-942.
 [22] 郭阳,王生伟,孙晓明,等. 云南省武定县迤纳厂铁铜矿区古元古代辉绿岩锆石的 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学,2014,38(1):208-215.
 [23] 刘军平,曾文涛,孙柏东,等. 云南峨山地区东川群黑山组流纹质碎斑熔岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质,2018,38(3):19-25.
 [24] 孙志明,尹福光,关俊雷,等. 云南东川地区昆阳群黑山组凝

- 灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义[J]. 地质通报, 2009, 28(7): 898 - 900.
- [25] 尹福光, 王冬兵, 孙志明, 等. 哥伦比亚超大陆在扬子陆块西缘的探秘[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(3): 31 - 40.
- [26] 任光明, 庞维华, 潘桂棠, 等. 扬子陆块西缘中元古代菜园蛇绿混杂岩的厘定及其地质意义[J]. 地质通报, 2017, 36(11): 2061 - 2074.
- [27] 张传恒, 高林志, 武振杰, 等. 滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄华南格林威尔期造山的证据[J]. 科学通报, 2007, 52(7): 818 - 824.
- [28] 刘军平, 曾文涛, 徐云飞, 等. 滇中峨山地区中元古界昆阳群黑山头组火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(11): 2063 - 2070.
- [29] 周朝宪, 魏春生, 李朝阳. 扬子地块西南缘下震旦系火成岩系研究[J]. 矿物学报, 1998, 18(4): 401 - 410.
- [30] 杨崇辉, 耿元生, 杜利林, 等. 扬子地块西缘 Grenville 期花岗岩的厘定及其地质意义[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 647 - 657.

Tuffs from the Neoproterozoic Chengjiang Formation in the Yimen region, central Yunnan: Zircon U-Pb dating and its geological implications

LIU Junping, XIA Caixiang, SUN Baidong, HU Shaobin, WANG Xiaofeng, WANG Wei, GUAN Xueqing, SONG Donghu, LU Boye

(Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, Yunnan, China)

Abstract: The widespread Chengjiang Formation strata on the western margin of the Yangtze platform consist dominantly of sedimentary rocks intercalated with the volcanic rock series associated with the Jinning Movement. The timing of the formation of the sedimentary rocks is important to the establishment of the Neoproterozoic regional stratigraphic framework, stratigraphic division and correlation and palaeogeographic reconstruction. In this study, the tuffs with several meters of thickness are found in the basal part of the Neoproterozoic Chengjiang Formation in the Yimen region, central Yunnan. The LA ICP-MS zircon U-Pb dating of the tuff samples shows that the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age of zircons equals to 812 ± 5.5 Ma ($n = 17$ MSWD = 0.46), and thus the basal boundary of the Chengjiang Formation may be dated at about 812 Ma. The additional age of 723 ± 11.6 Ma represents the age of the top boundary of the Chengjiang Formation. The above mentioned ages indicate that the volcanic rocks in the Chengjiang Formation may be traced back to the late Neoproterozoic. The age data for the zircons trapped in the tuffs may also imply that several phases of important regional tectonic-thermal events once took place at 2.5 Ga, 1.8-1.6 Ga and 1.0 Ga.

Key words: Chengjiang Formation; tuff; zircon U-Pb dating; Neoproterozoic; Yimen region; central Yunnan