滇中易门地区古元古界易门群罗洼垤组火山岩 锆石 U-Pb 年龄及其构造热事件

刘军平^{1,2,3},宛胜⁴,李静^{1,3*},邓仁宏¹,赵江泰¹,陈棵¹,吴嘉林¹ LIU Junping^{1,2,3}, WAN Sheng⁴, LI Jing^{1,3*}, DENG Renhong¹, ZHAO Jiangtai¹, CHEN Ke¹, WU Jialin¹

1.云南省地质调查院,云南 昆明 650216;
 2.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,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.江西省地质调查院,江西 南昌 330000

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

2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

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

4. Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330000, Jiangxi, China

摘要:易门群是综合了元江撮科、易门铜厂、东川因民等地区的最新野外地质资料、同位素年代学资料后厘定的古元古界浅变 质地层。其记录了地球发展演化早期的一系列重大地质事件,如古元古代早期的休伦冰期事件及紧随其后的地幔柱事件、简 单多细胞生物的首现、狭义的 Lomagundi 碳同位素正漂移事件、富氧大气崩溃后的缺氧富硒沉积等。采用锆石激光剥蚀法 (LA-ICP-MS)对易门地区的易门群罗洼垤组微晶凝灰岩、英安质凝灰岩进行了年龄测定,获得锆石 U-Pb 年龄加权平均值 为 2241±16 Ma、2252±14 Ma,2 件样品的锆石 Th/U 值为 0.2~1.0,均具清晰的振荡环带结构,为岩浆成因的锆石。结果表明, 滇中易门地区罗洼垤组沉积时代为古元古代中期,可与元江撮科的地幔柱岩石构造组合及东川因民的罗洼垤组凝灰岩的时 代对比。罗洼垤组沉积时代可能是 Kenorland 超大陆裂解作用在扬子陆块的响应。

关键词:古元古界易门群;锆石 U-Pb 年龄;滇中易门地区;Kenorland 超大陆

中图分类号:P534.3;P597⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)07-1024-09

Liu J P, Wan S, Li J, Deng R H, Zhao J T, Chen K, Wu J L. Zircon U-Pb age and tectonic thermal event of the volcanic rocks from the Paleoproterozoic Yimen Group Luowadie Formation in Yimen area, Central Yunnan. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(7): 1024–1032

Abstract: Yimen Group is the Palaeoproterozoic weakly metamorphic strata determined by the latest "Yunnan Province Regional Geology" (second edition of revision) project, which integrates the latest field geological data and isotope chronology data of Yuanjiang Cuoke, Yimen Tongchang and Dongchuan Yinmin. It records a series of major geological events in the early stages of the Earth's evolution, such as the Early Paleoproterozoic Huron Ice Age event and the following mantle plume events, the first appearance of simple multicellular organisms, the narrow Lomagundi carbon isotope positive drift event, and hypoxic selenium—rich deposits after the collapse of oxygen—rich atmosphere. The LA–ICP–MS zircon dating method was used to date the Luowadie microcrystalline tuff and the dacite tuff in the Yimen Group of Yimen area. The zircon U–Pb dating yielded a weighted average age of $2241\pm16 \text{ Ma}(\text{MSWD}=0.64, n=14), 2252\pm16$

收稿日期:2019-12-10;修订日期:2020-04-16

资助项目:中国地质调查局项目《全国陆域及海区地质图件更新与共享》子项目《云南省系列地质图件数据处理与洋板块地质研究》(编号:DD20190370)、《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)及云南省国土资源厅基金项目《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)

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

^{*}通信作者:李静(1964-),男,硕士,教授级高工,从事区域地质调查及技术管理工作。E-mail:lijing641229@163.com

14 Ma(MSWD=0.71, n=13). The zircon Th/U ratio of the two samples is $0.2 \sim 1.0$, both of which have a clear oscillating ring structure, indicating the zircon of magmatic origin. The study indicates that the sedimentary time of the Luowadie Formation in the Yimen area of the Yime area is Middle Paleoproterozoic, which can be compared with the mantle plume tectonic combination of the Yuanjiang Couke and the tuff in the Luowadie Formation of Dongchuan Yimmin. The sedimentary time of the Luowadie Formation may represent the response of Kenorland supercontinent splitting in Yangtze.

Key words: Paleoproterozoic Yimen Group; zircon U-Pb age; Yimen area in central Yunnan; Kenorland supercontinent

滇中地区是研究扬子地台西缘前寒武纪地层 的重要窗口,一直以来受到广大地质学者的青睐。 1926年,朱庭祜将广泛出露于玉溪、晋宁、昆阳一带 的浅变质地层称为昆阳层,划归寒武系^[1];1942年, 德国学者米士(Misch)将晋宁地区下震旦统"澄江 砂岩"与下伏浅变质地层之间的区域性角度不整合 命名为"晋宁运动",并将该套浅变质地层命名为 "昆阳系", 划归下震旦统[2]。1944年, 许杰等将东 川、会泽一带的浅变质地层称为昆阳系;1962年,全 国地层委员会改称为前震旦系"昆阳群"[2],区域上 共划分为8个组级岩石地层单位,即黄草岭组、黑山 头组、大龙口组、美党组,被称为下亚群;因民组、落 雪组、鹅头厂组、绿汁江组,被称为上亚群。各组级 岩石地层单位的野外接触关系清晰,层序不存在争 议。但上亚群、下亚群之间均为断层,上、下关系一 直存在争议,并持续半个多世纪,简称"正八组"与 "倒八组"之争。持"正八组"观点的研究者认为下 亚群在上亚群之下,持"倒八组"观点的则相反;也 有学者主张二者属横向变化关系^[3-9]。

2010年,全国地层委员会在云南召开现场会, 结合近年的高精度同位素年龄值,决定将下亚群称 昆阳群,上亚群称东川群,仍划归中元古界;尹福光 等介绍了这一新认识^[10-13]。笔者认为,这一认识基 本符合滇中地区的地质事实,但对于东川地区被因 民组不整合覆盖的数千米厚的地层(即许杰 1944 年所称绿墩板岩、姑庄板岩)归属,并未提出具体的 意见。

2016年开始,云南省地质调查院在进行《云南 省区域地质志》(第二版,修编)及云南1:5万二街 幅等四幅区域地质调查工作中^{①②},通过大量的野外 地质调查及系统的锆石U-Pb 同位素年代学研究发 现,滇中地区真正的中元古界出露面积很小;除汤 丹—因民、晋宁—玉溪2个片区外,滇中其他地区出 露的前寒武系浅变质岩系属中太古界—古元古界, 并新建立了古元古界易门群、新太古界普渡河群、 中太古界元江群,并进一步细分为15个组级岩石地 层单元^[14]。古元古界易门群细分为6个组级单元, 包括阿不都组、罗洼垤组、亮山组、永靖哨组、西山 村组、杉木箐组;它们记录了地球发展演化早期的 一系列重大地质事件,如古元古代早期的休伦冰期 事件及紧随的地幔柱事件、简单多细胞生物的首 现、狭义的 Lomagundi 碳同位素正漂移事件、富氧大 气崩溃后的缺氧富硒沉积等^[14-21]。

李静等[14] 对撮科地区罗洼垤组中的火山岩进 行了锆石同位素年代学研究,获得 2.29~2.24 Ga 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;李静等^[18] 在易门地 区古元古界易门群罗洼垤组顶部、亮山组下部的凝 灰岩中获得锆石 U-Pb 年龄 2175±31 Ma 及 2049± 32 Ma;周邦国等^[19]、朱华平等^[20]在东川牛场坪一带 的罗洼垤组中也获得了 2.30~2.29 Ga 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄:刘军平等[15] 在易门县铜厂乡 易门群杉木箐组凝灰岩获得锆石 U-Pb 年龄为 1842±26 Ma 及 1860±25 Ma。为进一步探讨易门群 沉积时代、层序及大地构造属性等相关问题,依托 云南1:5万二街幅等四幅区域地质调查项目^①,通 过野外地质调查及剖面测制,在云南易门地区易门 群罗洼垤组发现多层微晶凝灰岩及英安质凝灰岩, 以微晶凝灰岩及英安质凝灰岩为研究对象,进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,准确确定了罗洼垤 组沉积时代,进而限定了易门群沉积时限。

1 区域地质背景

易门群在滇中地区分布较广泛,是《云南省区 域地质志》(第二版,修编)在前人工作成果基础上, 通过大量的野外地质调查、锆石 U-Pb 同位素测定, 综合了元江撮科、易门铜厂、东川牛场坪、东川小江 西岸的地质资料新建立的岩石地层单位^[8];研究区 位于滇中易门地区,位于扬子陆块区(\I)之上扬子 古陆块(\I-2)的楚雄陆内盆地(\I-2-12)和康滇 基底断隆带(\I-2-11)2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(\I4) 康滇地层分区(Π_4^2)的楚雄地层小区(Π_4^{2-1})和昆 明地层小区(Π_4^{2-2})的结合部。研究区出露地层为 太古宇及元古宇^{①②}(图 1),其中,罗洼垤组岩性组 合为灰色凝灰质粉砂岩、凝灰质砂岩、灰白色英安 质凝灰岩、微晶凝灰岩相间分布,局部夹硅质白云 岩、叠层石白云岩、含锰质板岩^①。

2 样品采集及测试

2.1 样品采样

本次研究的样品采自易门-罗茨断裂以西绿汁 江深大断裂以东,地点在易门县铜厂乡石老虎山及 大箐一带(图 2-e、f)。罗洼垤组新发现的微晶凝灰 岩、英安质凝灰岩与凝灰质粉砂岩、凝灰质砂岩相 间产出;本次以微晶凝灰岩(D001)及英安质凝灰岩 (D002)为研究对象。

浅灰白色微晶凝灰岩(D001):呈浅灰白色,玻 基交织结构、溶蚀构造,部分区域可见似流动构造。 标本切面中岩石由长英质微晶碎屑和隐晶质基质组 成。微晶碎屑多呈长条状、透镜状、针状,在基质中具 有明显的定向排列特征,并因为含量的不均一而表现 出一定的层状特征,展示出一定的沉积特征,且在基 质中发育一定量的气孔。隐晶质基质多为粘土物质。 主要矿物为斜长石(25%~35%)和石英(5%~10%)。 手标本及镜下特征见图 2~a、b。

浅灰绿色英安质凝灰岩(D002):呈浅灰绿色,岩 屑凝灰结构,块状构造,岩石由火山灰(60%~70%)、 岩屑(20%~25%)、角砾(2%~5%)组成,岩屑以粗安 岩、英安岩为主,少量安山岩,气孔少量发育,角砾为 斑状玄武岩,火山灰细小难辨,显微结构特征是破碎 状、无色透明的玻屑定向排列,且大部分已水化形成 粘土。手标本及显微镜下照片见图 2-c、d。

2.2 样品测试

将浅灰白色微晶凝灰岩(D001)和浅灰绿色英 安质凝灰岩(D002)2件样品经手工粉碎后,按常规 重力及电磁法浮选出锆石颗粒,最后在实体镜下挑 选出纯正锆石 200余粒。其中,样品 D001 共分选 出锆石 90余粒,样品 D002选出 110余粒。锆石多 为浅紫红色,个别呈褐色,粒状、短柱状、碎粒状,金



图 1 云南易门地区大地构造位置(a、b)、地质简图及采样点(c)

Fig. 1 Tectonic location(a,b) and simplified geological map(c) showing sampling location in Yimen area, Yunnan Pt₁s—古元古界易门群杉木箐组;Pt₁s—古元古界易门群亮山组;Pt₁l—古元古界易门群罗洼垤组;Pt₁a—古元古界易门群阿不都组; Ar₂e—中太古界元江群鹅头厂组;Ar₂m—中太古界元江群曼林组;ξγ—钾长花岗岩



图 2 样品 D001(a,b,e)和 D002(c,d,f)野外露头、显微照片及采样岩性柱 Fig. 2 Outcrop photos, micrographs and sampling lithology columns of sample D001(a,b,e) and sample D002(c,d,f) a-D001 野外露头;b-D001 显微照片;c-D002 野外露头;d-D002 显微照片;e-D001 采样岩性柱;f-D002 采样岩性柱

刚光泽,透明,部分具磨蚀特征,锆石长 80~150 μm, 少数达 200 μm。

锆石分选在南京宏创地矿实验室完成,原岩 样品经人工粉碎后,再经人工淘洗后去除轻矿物 部分,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少 量杂质的锆石样品,最后在双目镜下挑选出锆石 晶体。选择晶形较好、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,最后根据反射光、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。

U-Pb 同位素定年在湖北省地质实验室测试中 心岩石矿物研究室(D001)及武汉上谱分析科技有 限岩石矿物研究室(D002)利用 LA-ICP-MS 分析 完成。测试仪器采用的是由美国 Coherent Inc 公司 生产的 GeoLasPro 全自动版 193 nm 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,能有效地降低激光脉冲剥蚀 样品而产生的信号波动。锆石微量元素含量利用 NIST610 为外标,Si 为内标进行定量计算^[22-24]。锆石 U-Pb 定年分析采用锆石标准物质 91500 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 10 s,样品剥蚀 40 s,管路吹扫 10 s,信号采集时间总共为 60 s。样品 的同位素比值和元素含量采用 ICPMSDataCal 9.0 进 行处理分析,加权平均年龄的计算及锆石年龄谐和图 的绘制采用 Isoplot 3.0^[25] 完成。采用²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄, 其加权平均值的误差为 2σ,²⁰⁶ Pb/²³⁸ U(和²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb) 平均年龄误差为95%置信度。

3 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

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。根据阴

表 1 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析数据 Table 1 U-Th-Pb data of zircons using LA-ICP-MS method

		同位素比值						年龄/Ma					
测点	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
样品 D001(微晶凝灰岩)													
1	0.4	0.1513	0.0028	9.3205	0.2487	0.4445	0.0094	2261	31	2370	25	2371	42
2	0.2	0.1493	0.0027	8.8506	0.1959	0.4298	0.0087	2239	31	2323	20	2305	39
3	0.5	0.0821	0.0014	1.8998	0.0396	0.1673	0.0030	1250	33	1081	14	997	16
4	0.1	0.0931	0.0014	3.4197	0.0674	0.2657	0.0050	1500	28	1509	16	1519	25
5	0.6	0.0920	0.0017	2.8903	0.0611	0.2271	0.0040	1533	35	1379	16	1319	21
6	0.4	0.1349	0.0042	7.9974	0.2588	0.4288	0.0062	2163	55	2231	29	2301	28
7	0.2	0.1386	0.0025	7.0851	0.1350	0.3675	0.0032	2210	25	2122	17	2018	15
8	0.5	0.1489	0.0029	8.5814	0.1677	0.4151	0.0037	2333	33	2295	18	2238	17
9	0.3	0.1250	0.0044	5.3810	0.2137	0.3117	0.0076	2029	63	1882	34	1749	37
10	0.1	0.0649	0.0019	0.8373	0.0308	0.0934	0.0024	772	63	618	17	576	14
11	0.3	0.1464	0.0028	7.9844	0.1570	0.3921	0.0035	2266	32	2229	18	2133	16
12	1.5	0.0970	0.0023	3.2621	0.0765	0.2420	0.0022	1569	43	1472	18	1397	12
13	0.4	0.0832	0.0021	2.1315	0.0533	0.1848	0.0018	1273	44	1159	17	1093	10
14	0.4	0.1452	0.0027	8.4514	0.1623	0.4186	0.0035	2270	32	2281	18	2254	16
15	0.4	0.1459	0.0051	11.1252	0.6086	0.5440	0.0177	2298	60	2534	51	2800	74
16	1.0	0.1053	0.0025	4.6771	0.1110	0.3206	0.0035	1720	43	1763	20	1793	17
17	0.3	0.1418	0.0029	8.3667	0.1778	0.4244	0.0040	2250	35	2272	19	2280	18
18	0.3	0.1407	0.0027	8.0905	0.1673	0.4134	0.0042	2236	34	2241	19	2231	19
19	0.3	0.1407	0.0027	8.1905	0.1673	0.4341	0.0042	2233	32	2235	18	2231	19
20	0.3	0.1409	0.0025	8.0528	0.16/4	0.4128	0.0046	2234	34	2240	19	2231	19
21	0.2	0.1386	0.0025	7.0851	0.1350	0.36/5	0.0032	2210	25	2122	17	2018	15
22	0.8	0.1435	0.0021	8.5018	0.1212	0.4268	0.0054	2269	25	2286	15	2291	15
23	0.2	0.1398	0.0018	7.9435 9.7202	0.1432	0.4112	0.0052	2225	42	2225	10	2220	24 51
 样品	D002(0.1430 古字质凝 	0.0039	8.0393	0.4036	0.4250	0.0115	2212	42	2301	43	2283	51
1+111 1	0.3	交页远风石 0 130/	0.0031	7 2570	0 1956	0.3757	0.0081	2220	38	2144	24	2056	38
2	0.3	0.1394	0.0031	15 7408	0.1950	0.5757	0.0081	2220	36	2144	24	2630	50
3	0.2	0.2203	0.0049	7 0806	0.4407	0.3613	0.0150	2984	35	2122	27	1988	28
4	0.5	0.1390	0.0020	8 3100	0.1792	0.3980	0.0039	2342	33	2265	20	2160	18
5	0.3	0.1544	0.0030	7 8538	0.1752	0.3652	0.0036	2395	33	2205	18	2007	17
6	13	0.1391	0.0032	7 7147	0.2333	0.3946	0.0072	2216	40	2198	27	2144	33
7	0.8	0.1512	0.0032	7 7515	0.1900	0.3670	0.0060	2361	36	2203	22	2015	28
8	0.2	0.1512	0.0032	9.1010	0.2009	0.4306	0.0049	2359	37	2348	20	2308	22
9	0.1	0.1294	0.0028	5.8176	0.1859	0.3192	0.0074	2090	38	1949	28	1786	36
10	0.2	0.1157	0.0032	4.3521	0.1360	0.2703	0.0040	1891	50	1703	26	1542	20
11	0.3	0.1406	0.0034	6.6673	0.1858	0.3406	0.0032	2235	41	2068	25	1889	15
12	0.2	0.1623	0.0033	8.9415	0.2883	0.3913	0.0080	2480	29	2332	29	2129	37
13	0.3	0.1277	0.0032	5.4734	0.1501	0.3085	0.0040	2066	44	1896	24	1733	20
14	0.1	0.1231	0.0033	5.1251	0.1362	0.3002	0.0029	2067	47	1840	23	1692	14
15	0.2	0.1278	0.0027	5.7280	0.1523	0.3227	0.0057	2078	37	1936	23	1803	28
16	0.4	0.1486	0.0035	7.7632	0.2491	0.3714	0.0067	2329	40	2204	29	2036	31
17	1.3	0.2237	0.0058	15.6306	0.4189	0.5019	0.0066	3009	42	2854	26	2622	28
18	0.7	0.1704	0.0045	10.8101	0.4066	0.4400	0.0096	2562	45	2507	35	2351	43
19	0.7	0.1781	0.0042	11.8782	0.3834	0.4707	0.0088	2636	40	2595	30	2487	38
20	0.5	0.2880	0.0052	23.0218	0.4475	0.5750	0.0055	3407	28	3228	19	2928	23
21	0.8	0.1402	0.0020	7.5871	0.1422	0.3916	0.0061	2231	24	2183	17	2130	28
22	0.4	0.1417	0.0016	8.4561	0.1424	0.4325	0.0061	2250	20	2281	15	2317	27
23	0.8	0.1412	0.0023	7.3362	0.1773	0.3774	0.0099	2243	28	2153	22	2064	47
24	0.7	0.1432	0.0017	8.3691	0.1606	0.4233	0.0076	2266	16	2272	17	2275	35
25	0.5	0.1455	0.0019	8.7200	0.1648	0.4336	0.0074	2294	22	2309	17	2322	33
26	0.2	0.1442	0.0036	7.1560	0.2586	0.3537	0.0069	2280	43	2131	32	1952	33
27	0.3	0.1400	0.0031	9.1023	0.1847	0.4557	0.0086	2228	39	2348	19	2421	38
28	0.8	0.1414	0.0022	8.7799	0.1537	0.4491	0.0069	2244	26	2315	16	2391	31
29	0.6	0.1419	0.0022	9.1328	0.1608	0.4643	0.0072	2250	26	2351	16	2458	32





极发光(CL)图像,2件样品锆石可分为2类:第一 类锆石自形程度较好,棱角分明,发育韵律环带,为 典型的岩浆结晶锆石^[26-28];第二类锆石多呈自形-半 自形,边部有一定程度的磨圆,具核-边结构,无明 显环带结构,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);部分锆 石边部普遍发育灰白色较窄增生边,后期可能经历 了构造热事件的改造^[22-23]。

微晶凝灰岩(D001)的锆石均为无色透明,以柱 状、短柱状为主,长度变化于80~150 μm之间,长宽 比为1.0~2.0,少部分锆石边部具有熔蚀现象,锆石 CL图像显示明显的振荡韵律环带(图3-a)。选择 24颗锆石进行了定年分析。所有的分析点都位于 谐和线上或其附近(图4-a),其中有14颗锆石数据 较集中(图4-b),锆石的Th/U值为0.2~0.8,具有 典型的振荡环带,为岩浆成因,且获得了较一致的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄,年龄加权平均值为2241±16 Ma (MSWD=0.64, n=14),说明微晶凝灰岩形成于古 元古代中期,也代表了罗洼垤组的沉积年龄;D001-8 测点位于锆石继承核上,振荡环带结构不清,磨圆 度较好,且具核-边结构(图4-a),测得年龄应为继 承性锆石年龄^[27],锆石年龄为2333 Ma,为古元古代 继承性锆石;D001-3、4、5、6、9、10、12、13、16 共9个 测点位于振荡环带结构不明显的增生边上,且 Th/ U 值较低(D001-4、10 为0.1),年龄为618~1720 Ma,可能对应多期构造热事件年龄,但不能排除混 合年龄的可能性^[22]。

英安质凝灰岩(D002)的锆石为无色透明或浅 黄色,半自形-自形,形态有长柱状、短柱状、粒状和 不规则状,粒径大小在110~180 μm之间,颗粒长宽





比为 $1.2 \sim 2.5$ 。选择 29 颗锆石进行定年分析。所有 分析点位于谐和线上或其附近(图 4-c),其中,有 14 颗锆石数据较集中(图 4-d),具有典型的振荡环 带,为岩浆成因,且获得了较一致的²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄, 年龄加权平均值为 2252±14 Ma(MSWD=0.71, n= 13),代表了英安质凝灰岩的形成年龄,也代表了罗 洼垤组的沉积年龄,为古元古代中期;部分测点可 见继承性锆石的残留核,具典型的核一边结构,核部 表现为弱的发光性(测点 2、4、5、7、8、12、16、17、18、 19、20),Th/U值较小(D002-17 为 1.3),该年龄应 为捕获老锆石年龄值;锆石 D002-9、10、13、14、15 共 5 个点均位于振荡环带结构不明显的增生边上, Th/U 值较低(D001-9、14 为 0.1),锆石年龄在 1891~2090 Ma 之间,其中 4 个测点数据较集中,得 到的²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄为 2075±24 Ma,可能为一期重 要的构造热事件年龄[22-23]。

4 讨 论

4.1 锆石 U-Pb 年龄对易门群时代的约束

易门群是滇中地区扬子基底岩系的重要组成 部分,记录了地球发展演化早期的一系列重大地质 事件,如古元古代早期的休伦冰期事件及紧随其后 的地幔柱事件、简单多细胞生物的首现、狭义的 Lomagundi 碳同位素正漂移事件、富氧大气崩溃后 的缺氧富硒沉积等^[14]。在滇中易门群地层序列中, 罗洼垤组占据较重要的位置,发育大量的火山岩, 其上为亮山组碎屑岩系,其下为阿不都组冰碛杂砾 岩、滨海相砂岩夹白云岩,是沉积环境转换期的产 物,也是研究易门群时代及构造属性的重要层位。

本次研究的样品微晶凝灰岩和英安质凝灰岩

的锆石具有明显的岩浆结晶成因特征,所获得的岩浆结晶年龄分别为 2241±16 Ma、2252±14 Ma,该年龄限定了罗洼垤组属古元古代中期,与元江撮科、东川因民等地的罗洼垤组的地质年代相当;与元江撮科地区 2350~2200 Ma 的地幔柱岩石构造组合(刘桂春,未发表成果)为同一地质时期的产物,可能是 Kenorland 超大陆裂解作用在扬子陆块的响应。在易门群顶部的杉木箐组凝灰岩中获锆石 U-Pb 年龄 1.85 Ga^[15],撮科地区阿不都组近底部的火山岩获得了2.35 Ga 的 U-Pb 锆石 LA-ICP-MS 年龄^[14],与本文在罗洼垤组凝灰岩中所获年龄值构成了较完整的地层-年代序列,表明易门群为形成于 1.85~2.35 Ga 的连续沉积充填序列。

4.2 捕获锆石及变质锆石的指示意义

《云南省区域地质志》(第二版、修编)及云南 1:5万二街等四幅区调项目在滇中许多关键地区的 火山岩及侵入岩中获得了 3.08~1.85 Ga 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄, 指示扬子西缘存在太古宙— 古元古代地质体。本次2件样品共获得53个有效 的 U-Pb 同位素年龄值。其中,年龄值大于 2252 Ma 的 11 颗锆石应为岩浆上升过程中捕获的继承性 锆石,年龄为2329~3407 Ma。结合最新区域相关 同位素研究资料,笔者认为:①有1粒锆石的 ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄值为 3407 ±28 Ma, 说明滇中地区可 能还存在古太古代地质体;②有2粒锆石的207Pb/206Pb 年龄值为 2984 ± 29.3 Ma 及 3009 ± 42 Ma, 与全球 Kenorland 超大陆事件及板块构造体制启动时间一 致;与红龙厂地区中太古界元江群岔河组(Ar,c)火 山岩锆石年龄 3073~2977 Ma 相当(李静,未发表数 据);③有2粒锆石的207Pb/206Pb年龄值为2562±45 Ma、2636±40 Ma,属新太古代晚期;④有6粒锆石的 ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄值为 2329~2395 Ma, 与岔河花岗岩 2.36 Ga的锆石 U - Pb 年龄相当^[29],可能是 Kenorland 超大陆裂解初始阶段的岩浆活动。

年龄小于 2241 Ma 的锆石共 16 粒,其中 5 粒锆 石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄值为 2029~2090 Ma,与易门地区 侵入于西山村组的石英脉锆石 U-Pb 年龄相当^[30]。 5 粒锆石的²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄为 1858~1891 Ma,与易 门群杉木箐组时代相当,可能与 Columbia 超大陆的 汇聚时限一致^[15,30-32]。4 粒锆石的²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄为 1500~1720 Ma,与 Columbia 超大陆的裂解时限大致 相当^[33-35]。2 粒锆石的²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄为1250~1273 Ma,与区域上的格林威尔造山运动相当。以上继承 性锆石及后期热事件改造的锆石年龄可与扬子陆 块西缘重要的区域构造-热事件对比^[36-41]。

5 结 论

(1)易门群罗洼垤组微晶凝灰岩和英安质凝灰 岩锆石 U-Pb 年龄加权平均值分别为 2241±16 Ma、 2252±14 Ma,认为滇中易门地区罗洼垤组沉积时代 为古元古代中期,限定了易门群沉积时代为 1.85~ 2.35 Ga。

(2)微晶凝灰岩和英安质凝灰岩存在继承性锆 石及后期变质锆石年龄可与扬子陆块西缘 3.4 Ga、 2.5 Ga、2.3 Ga、2.0 Ga、1.8 Ga、1.5 Ga、1.2 Ga、0.6 Ga 等多期重要的区域构造-热事件对比。

致谢:锆石 LA-ICP-MS 分析和阴极发光照片 得到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试中心岩石矿物研究室朱丹、 潘诗洋及武汉上谱分析科技有限实验人员的帮助, 审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷 心感谢。

参考文献

- [1]《中国地层典》编委会,陈晋镳,等.中国地层典.中元古界[M].北 京:地质出版社,1999:39-40.
- [2] 张远志,张定辉,刘世荣,等.云南省岩石地层[M].武汉:中国地质 大学出版社,1996:8-21.
- [3] 吴懋德,段锦荪,宋学良,等.云南昆阳群地质[M].昆明:云南科技 出版社,1990: 1-265.
- [4] 李希勣, 吴懋德, 段锦荪. 昆阳群层序及顶底问题[J]. 地质论评, 1984, 30(5): 399-408.
- [5] 李复汉,王福星,申玉连,等.康滇地区的前震旦系[M].重庆:重庆 出版社,1988: 1-214.
- [6] 戴恒贵.康滇地区昆阳群和会理群地层、构造及找矿靶区研究[J]. 云南地质,1997,16(1):1-39.
- [7] 吕世琨,戴恒贵.康滇地区建立昆阳群(会理群)层序的回顾和重要 赋矿层位的发现[J].云南地质,2001,20(1):1-24.
- [8] 杜远生,张传恒,韩欣,等.滇中中元古代昆阳群的地震事件沉积及 其地质意义[J].中国科学(D辑),2001,31(4):283-288.
- [9] 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.
- [10] 尹福光,孙志明,白建科.东川、滇中地区中元古代地层格架[J].地 层学杂志,2011,35(1):49-54.
- [11] 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.
- [12] 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.

- [13] 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..
- [14] 李静,刘桂春,刘军平,等.滇中地区早前寒武纪地质研究进展[J].
 地质通报,2018,37(11):1957-1969.
- [15] 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.
- [16] 刘桂春,李静,胡绍斌,等.滇中元江早元古代浊积岩特征及地质 意义[J].地质通报,2018,58(11):2007-2014.
- [17] 刘军平,李静,孙柏东,等.滇中易门地区发现化石新物种[J].沉积 与特提斯地质,2018,38(1):37-40.
- [18] 李静,刘军平,孙柏东,等.滇中易门地区古元古界易门群亮山组 多细胞生物的年代学约束[J].地质通报,2018,37(11):2087-2098.
- [19] 周邦国,王生伟,孙晓明,等.云南东川望厂组熔结凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J].地质论评,2012,58(2):359-368.
- [20] 朱华平,范文玉,周邦国,等.论东川地区前震旦系地层层序:来自 锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据[J].高校地质学报, 2011,17(3):452-461.
- [21] 刘军平,李静,孙柏东,等.滇中易门地区早前寒武纪地层化石的 发现及其意义[J].沉积与特提斯地质,2019,39(4):57-65.
- [22] Hu Z C, Gao S, Liu Y S, et al.Signal enhance –ement in laser ablation ICP–MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J].Journal of Analytical Atomic Spectrometry,2008,23: 1093–1101.
- [23] Hu Z C, Liu Y S, 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(0): 50–57.
- [24] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf. trace element and REE analyses [J]. Geosta – ndards and Geoanalytical Research, 1995, 19(1): 1–23.
- [25] Ludwig K R.Isoplot 3.00: A Geochronological toolkit for Microsoft excel[M].Berkeley Geochronology Center Special Publication,2003.
- [26] 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): 229-242.
- [27] 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.
- [28] 刘军平,胡绍斌,李静,等.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[J].地质通报,2018,37(11):2079-2086.

- [29] Cui X Z, Wang J, Sun Z M, et al. Early Paleoproterozoic (ca.2.36 Ga)post-collisional granitoids in Yunnan, SW China: Implications for linkage between Yangtze and Laurentia in the Columbia supercontinent[J].Journal of Asian Earth Sciences, 2019, 169: 308–322.
- [30] 刘军平,李静,王根厚,等.扬子板块西南缘基性侵人岩锆石定年 及地球化学特征——Columbia 超级大陆裂解的响应[J].地质论 评,2020,66(2):350-364.
- [31] 陈超,苑金玲,郭盼,等.扬子陆块~2.0 Ga 的区域变质事件对南北 黄陵古元古代差异演化的启示[J].中国地质,2020,47(4):899-913.
- [32] 刘军平,王小虎,关学卿,等.Columbia 超大陆汇聚在扬子陆块西 南缘的响应——来自热液石英脉锆石 U-Pb 年龄的证据[J/OL].
 中国地质.https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200915.
 0908.004.html.2020.
- [33] 刘军平,孙柏东,王晓峰,等.滇中禄丰地区中元古代早期球颗玄 武岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大地构造意义[J].地 质论评,2020,66(1):35-51.
- [34] 陆松年,杨春亮,李怀坤,等.华北古大陆与哥伦比亚超大陆[J].地 学前缘,2002,9(9):226-233.
- [35] 任光明, 庞维华, 潘桂棠, 等. 扬子陆块西缘中元古代菜子园蛇绿 混杂岩的厘定及其地质意义[J]. 地质通报, 2017, 36(11): 2061-2075.
- [36] 刘军平, 熊波, 李静, 等. 扬子西缘东川落雪地区元古宙地层中 3890Ma 锆石的发现[J]. 地质学报, 2021, 95(5): 1606-1613.
- [37] Liu J P, Tian S M, Zhu X Z, et al. Rhyolitic tuffaceous slate discovered on the southwestern margin of Yangtze Craton: ages, significance and relevant tectonic – thermal events [J/OL]. China Geology, doi: 10.31035/cg 2021004.2021.
- [38] 王冬兵,尹福光,孙志明,等.扬子陆块西缘古元古代基性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及其地质意义[J].地 质通报,2013,32(4):617-630.
- [39]张恒,高林志,张传恒,等.扬子板块西南部古元古代岩浆及变质 事件——兼论扬子板块对 Nuna 超大陆事件的响应[J].地质通 报,2019,38(11):1777-1789.
- [40] 刘军平, 孙柏东, 关学卿, 等. 云南易门英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄(2.43Ga) 报道[J]. 中国地质, 2021, 48(3): 665-667.
- [41] 王翔, 马昌前, 邓佳良, 等. 扬子陆块中东部宿松县柳坪镇发现~2.5 Ga斜长角闪岩[J].中国地质, 2020, 47(4): 1262-1263.
- ①云南省地质调查院.云南1:5万二街、易门县等4幅区调项目.2018.
- ②云南省地质调查院.云南省区域地质志(第二版,修测).2019.