

伊犁果子沟地区新元古代冰成沉积的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义

丁海峰^{1,2)}, 马东升¹⁾, 姚春彦³⁾, 蔺启忠²⁾

1) 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学与工程学院, 南京, 210023;

2) 中国科学院遥感与数字地球研究所 北京, 100094; 3) 南京地质矿产研究所, 南京, 210026

内容提要: 为了对新疆果子沟地区塔里萨依组冰成沉积进行时代限定及前寒武纪地质演化讨论, 开展了碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作。碎屑锆石最年轻年龄介于 620 ~ 610 Ma 和 580 ~ 572 Ma 之间, 表明塔里萨依组冰成杂砾岩代表了埃迪卡拉纪时期的产物, 而且在一次大冰期中发生了 2 次的小冰期旋回, 同库鲁克塔格地区的汉格尔乔克组冰碛砾岩对应。碎屑锆石年龄谱没有反映出 1000 ~ 700 Ma 的年龄分布, 但这个年龄段相关的岩浆活动在伊犁以北至温泉地区被广泛发现。而在年龄谱中大量存在的 650 ~ 600 Ma 年龄, 本区附近却没有相关岩浆活动记录, 结合本区同库鲁克塔格地区新元古代冰期沉积存在的相似性, 说明塔里萨依组冰期沉积物可能接收了更远的“伊犁块体”以南地区的物源。同时探讨了 650 ~ 600 Ma 岩浆活动可能与“伊犁块体”同塔里木板块分离, 向哈萨克斯坦板块聚合有关。

关键词: 新疆伊犁果子沟; 新元古代; 冰成沉积; 塔里萨依组; 碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

新元古代时期地球各个圈层均发生了巨大的变化, 例如超大陆的聚合裂解、海洋深部水体赋存状态变化、大气氧含量增加、真核生物到后生生物转变等等。如何研究各事件间的相互关系, 逐渐成为科学研究的前沿和热点 (Balgord et al., 2013; Canfield et al., 2007; Fike et al., 2006; Hoffman et al., 1998; Kirschvink et al., 2000; Nance et al., 2014; Och et al., 2012)。新元古代发生的全球性大冰期事件为此提供了良好的地质沉积记录—冰碛砾岩及相关沉积, 进而从地质学的角度分析了新元古代—寒武纪的地球系统演化。但是, 对于新元古代期间冰期发生的次数、冰川的分布规模、及其地质意义等都还存在着较大的争议。根据现有的新元古代沉积岩的地层学、同位素年代学 (U-Pb 锆石和全岩 Re-Os 地质年代学) 和地球化学研究, 新元古代成冰纪 (相当于我国南华纪) 时期发生了具有全球性规模的 Sturtian 冰期 (约 726 ~ 660 Ma) 和 Marinoan 冰期 (约 655 ~ 635 Ma), 而发生于埃迪卡拉纪 (相当于我国震旦纪) 的 Gaskiers (post-Marinoan) 冰期 (约 590 ~ 570 Ma) 的规模则小得多, 但其发生时代的特殊性, 对全

球气候的变化以及生物的演化仍具有重要的影响 (Halverson et al., 2010; Hoffman et al., 2009; Ivanov et al., 2013; Rooney et al., 2014; Trindade et al., 2007; 赵彦彦等, 2011)。

新疆作为新元古代冰期沉积记录最良好的地区之一 (高振家等, 1993), 冰成杂砾岩环绕整个新疆均有出露 (图 1): 塔里木板块东北缘库鲁克塔格地区发育贝义西、阿勒通沟、特瑞爱肯和汉格尔乔克组 (Xu Bei et al., 2009; Zhan Sheng et al., 2007; 何金有等, 2007; 刘兵等, 2007; 徐备等, 2002; 徐备等, 2008), 塔里木西北缘阿克苏地区发育巧恩布拉克和尤尔美那克组 (Wen Bin et al., 2013; 高振家等, 1993), 塔里木西南缘叶城地区发育波龙和雨塘组 (童勤龙等, 2013)。而在新疆伊犁北部, 赛里木湖南岸的果子沟地区出露有一套新元古代塔里萨依组冰成杂砾岩沉积 (Ding Haifeng et al., 2009; 高振家等, 1993), 笔者等之前通过地球化学研究, 认为其沉积于埃迪卡拉纪, 代表了 Post-Marinoan 冰期产物, 与新疆库鲁克塔格地区汉格尔乔克组冰碛岩层相对应, 并且该组中不同层位的冰成杂砾岩为同一

注: 本文为国家重点基础研究计划 (项目号 2007CB411301) 的成果。

收稿日期: 2013-11-20; 改回日期: 2014-04-10; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 丁海峰, 男, 1984 年生, 博士研究生。主要从事元素地球化学及遥感地质学研究。Email: haifeng920@gmail.com。通讯作者: 马东升, 男, 1952 年生, 教授, 博士生导师。主要从事矿床地球化学与元素地球化学的教学和科研。Email: dongmsa@nju.edu.cn。

次冰期不同沉积阶段的产物 (Ding Haifeng et al. , 2009)。后又有学者从本区发现的花岗斑岩中获得的 U-Pb 锆石年龄 $642 \pm 5\text{Ma}$ 认为冰期形成于成冰纪,与库鲁克塔格地区的特瑞爱肯组冰碛岩层对应 (高维等,2011)。为了进一步讨论冰期形成时代,考虑到本区缺少火山岩进行精确的岩浆锆石定年,故在地层剖面的基础上进行碎屑锆石取样,通过进行 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作,进一步讨论冰期时代。

同时“伊犁块体”作为新疆古块体之一,属于巴尔喀什—伊犁块体或巴尔喀什山的南部成员,其岩石组合、地层序列、构造环境与演化历史与塔里木板块等具有相似性 (舒良树等,2013)。但是其前寒武研究数据报道较少,因此其结晶基底特征、前寒武纪板块演化、与塔里木板块的关系等仍需要展开进一

步研究。而碎屑锆石 U-Pb 方法也广泛应用于示踪沉积物源、恢复古地理格局以及反演构造演化过程 (Yu Jinhai et al. ,2010),本文也利用碎屑锆石 U-Pb 年龄谱特征,为“伊犁块体”前寒武纪构造演化提供相关信息。

1 地质背景与样品采集

果子沟地区位于西北天山赛里木湖南缘 (图 1),地层分布从其东部科古尔琴山延伸到本区,北至温泉—博乐地区,同属于“伊犁块体”北缘的别珍套—汗吉尔晚古生代沉积构造区,但在不同地质时期显示出不同构造演化特征。本区基底为元古古界温泉群,包括了二云母石英片岩、黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩、黑云母片岩、斜长角闪片岩、绢云母变粒岩等,经历了混合岩化作用及动力变质作用,

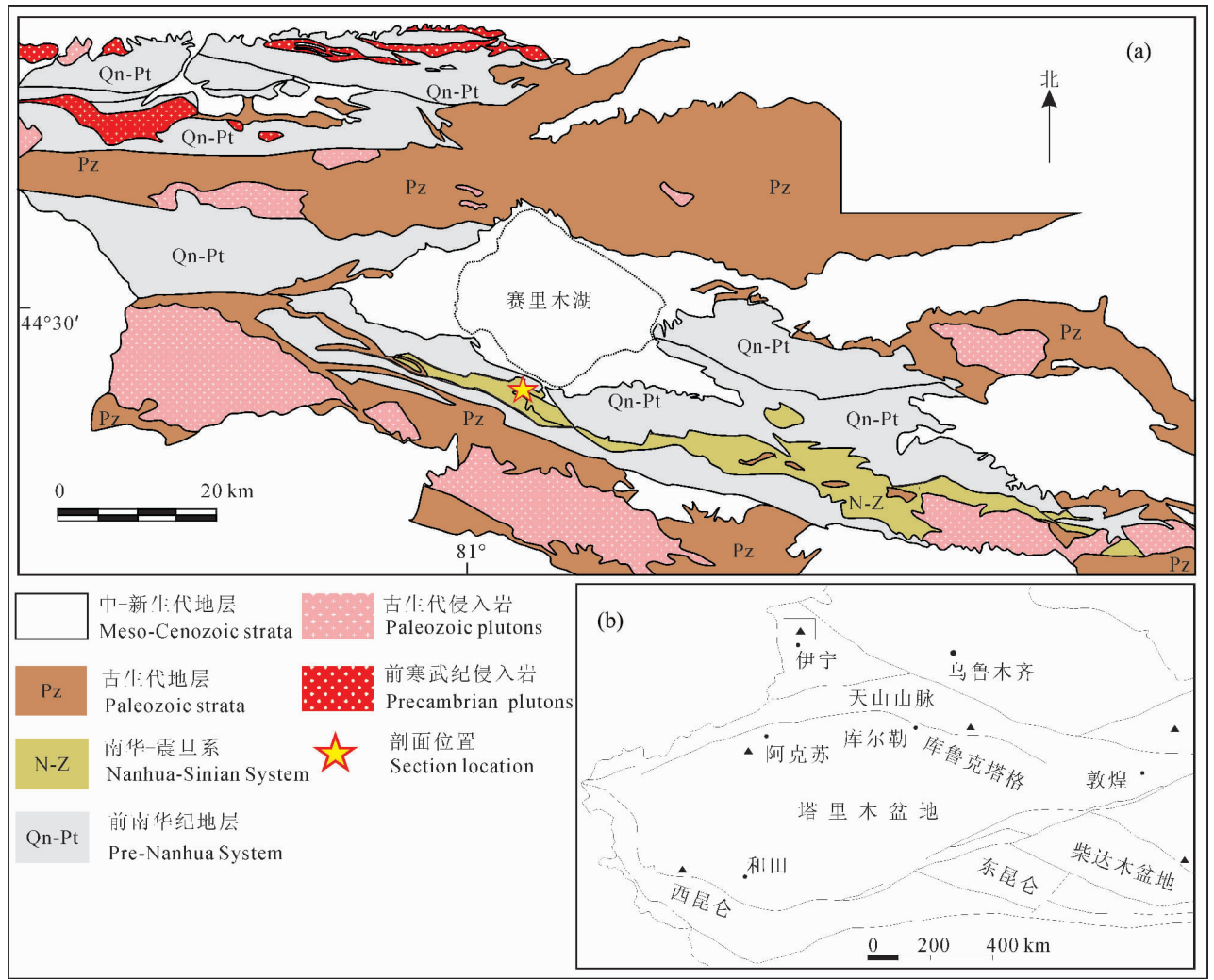


图 1 伊犁果子沟—科古尔琴山地质简图(a)及新疆周缘新元古代冰期沉积分布(b)
Fig. 1 Simplified geological map of the Guozigou—Kuguerqin area, Ili (a) and Neoproterozoic glacial sediments distribution in Xinjiang (b)

变质岩的母岩来源于亏损地幔,主要出露在伊犁盆地南北两侧,集中在赛里木湖以北的温泉地区,近 E—W 向展布 (Wang Bo et al. ,2011)。温泉群之上为中—新元古代到第四纪盖层,从上古生代志留纪开始地层发育不均,缺失整个中生代地层,新生代地层零星分布。而新元古代地层主要出露于果子沟—科古尔琴山地区,自下而上可划分为 6 组,即:库鲁铁列克提组、吐拉苏组、别西巴斯套组、喀英迪组、塔尔恰特组、塔里萨依组。其中库鲁铁列克提组、吐拉苏组、别西巴斯套组主要分布在科古尔琴山一带,而喀英迪组、塔尔恰特组和塔里萨依组则主要分布在赛里木湖南缘的果子沟地区,且埃迪卡拉纪底部喀英迪组与青白口系碳酸盐建造不整合接触。前人曾将果子沟地区的新元古代地层命名为“凯拉克提群”,包含了塔里萨依组冰成杂砾岩沉积,将科古尔琴山地区的新元古代地层沉积命名为“科古尔琴群”,包含别西巴斯套组和库鲁铁列克提组冰成杂砾岩沉积 (高振家等,1993)。而间冰期岩性主要为粉砂岩、泥质粉砂岩、砂岩、硅质灰岩等。

本文主要对果子沟内出露地层进行研究,实测了赛里木剖面(图 1,2),剖面坐标:E 81°08'41.9",N 44°29'44.4"。其中塔里萨依组含有 3 套砾岩岩性段,其中上部 2 套为冰成杂砾岩,而底部 1 套为断层角砾岩,与下伏塔尔恰特组粉砂岩不整合接触,顶部冰成杂砾岩与下寒武统磷矿沟组碎屑白云质灰岩呈假整合接触,而塔里萨依组非冰成沉积为泥质粉砂岩。为了对冰期进行初步的年龄限定,对塔里萨依组 2 套冰成杂砾岩下伏的泥质粉砂岩进行碎屑锆石取样(图 2 SLM1 和 SLM2)。

2 实验方法

2.1 样品预处理

样品从野外取回后,在实验室用去离子水清洗表面,干燥后进行整理。将岩石样品初碎之后采取重力选和磁选分离矿物,将剩余矿物在双目显微镜下进行手工挑选锆石,锆石标准要求长度大于 20 μm,晶型尽量完整,不含包体;锆石挑选好之后进行制靶工作:将选取好的具有代表性的大量锆石样品和人工合成的 NIST 612 硅酸盐玻璃分别用胶粘在载玻片上,放上 PVC 环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并对其进行抛光,直到样品露出一个光洁的平面,不镀金 (侯可军等,2009;宋彪等,2002)。锆石靶制好之后在西北大学大陆

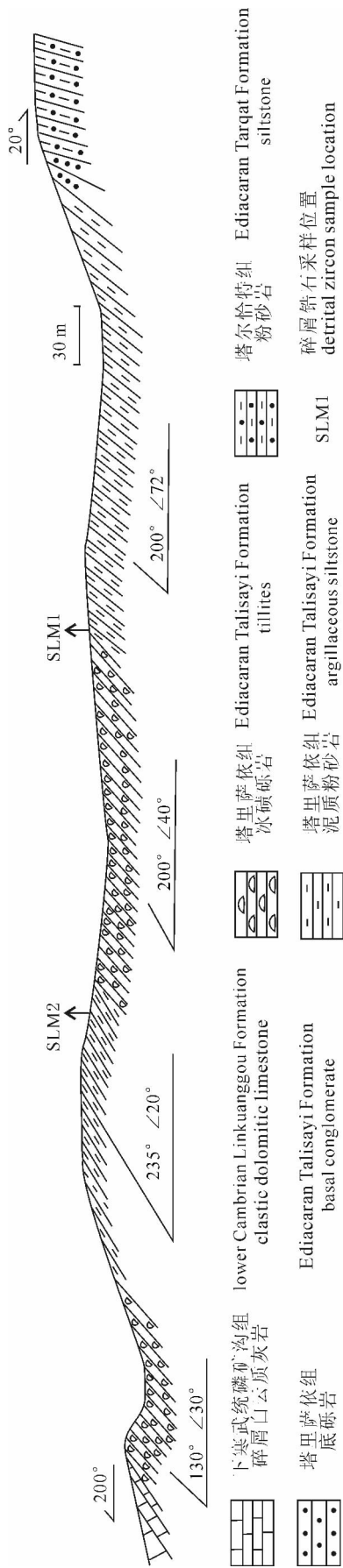


图2 赛里木剖面(位置见图1)及样品采集位置
Fig.2 Sailimu section (location in Fig. 1) and samples location

动力学国家重点实验室进行阴极发光照相,获取锆石清晰的晶型和形态,阴极荧光谱仪型号为美国 Gatan 公司的 Gatan MonoCL3 +,附加在捷克 FEI 公司 FEI Quanta 400 FEG 扫描电子显微镜系统之上使用进行阴极发光照相。

2.2 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学实验方法

LA-ICP-MS U-Pb 地质年代学分析实验在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验进行,仪器型号为 Agilent 7500s ICP-MS 和 New Wave 213 nm 组成的激光剥蚀系统,实验方法按照 Griffin 和 Jackson (Griffin et al. ,2004;Jackson et al. ,2004) 进行。分析过程中,激光束斑直径采用 20 μm,5 Hz 的重复频率,能量约为 0.08 ~0.1 mJ。U-Pb 同位素分馏用澳大利亚锆石标样 GEMOC GJ-1 (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄为 608.5 ±1.5 Ma) 进行校正 (Jackson et al. , 2004); 锆石标样 MudTank(截距年龄为 732 ±5Ma) 作为内标 (Black et al. ,1978),以保证测试分析精

度。每组样品包含 10 个样品点分析,4 个 GEMOC GJ-1 标样分析和 1 个 Mud Tank 标样分析。每个点经历时间约 120 s,前 40 s 为背景值时间,取后 80 s 为数据获取时间,样品经剥蚀后,由 He 气作为载气,再与 Ar 气混合后进入 ICP-MS 进行分析。U-Pb 年龄和 U、Th 的计数由 GLITTER 4.4 软件 (www. mq. edu. au/GEMOC) 获得。因为 ²⁰⁴Pb 的信号低,以及载气中 ²⁰⁴Hg 的干扰,该方法不能直接精确测得其含量,因此,使用嵌入 EXCEL 的 ComPbCorr#3.15G 程序来进行普通铅校正 (Andersen 2002)。最后用 Isoplot 程序制作锆石年龄频率直方图与年龄谐和图。

将 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄应用于比 1000 Ma 年轻的锆石,而 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 应用于年龄大于 1000 Ma 的锆石,碎屑锆石年龄取用选择和谐度在 ±10% 内。

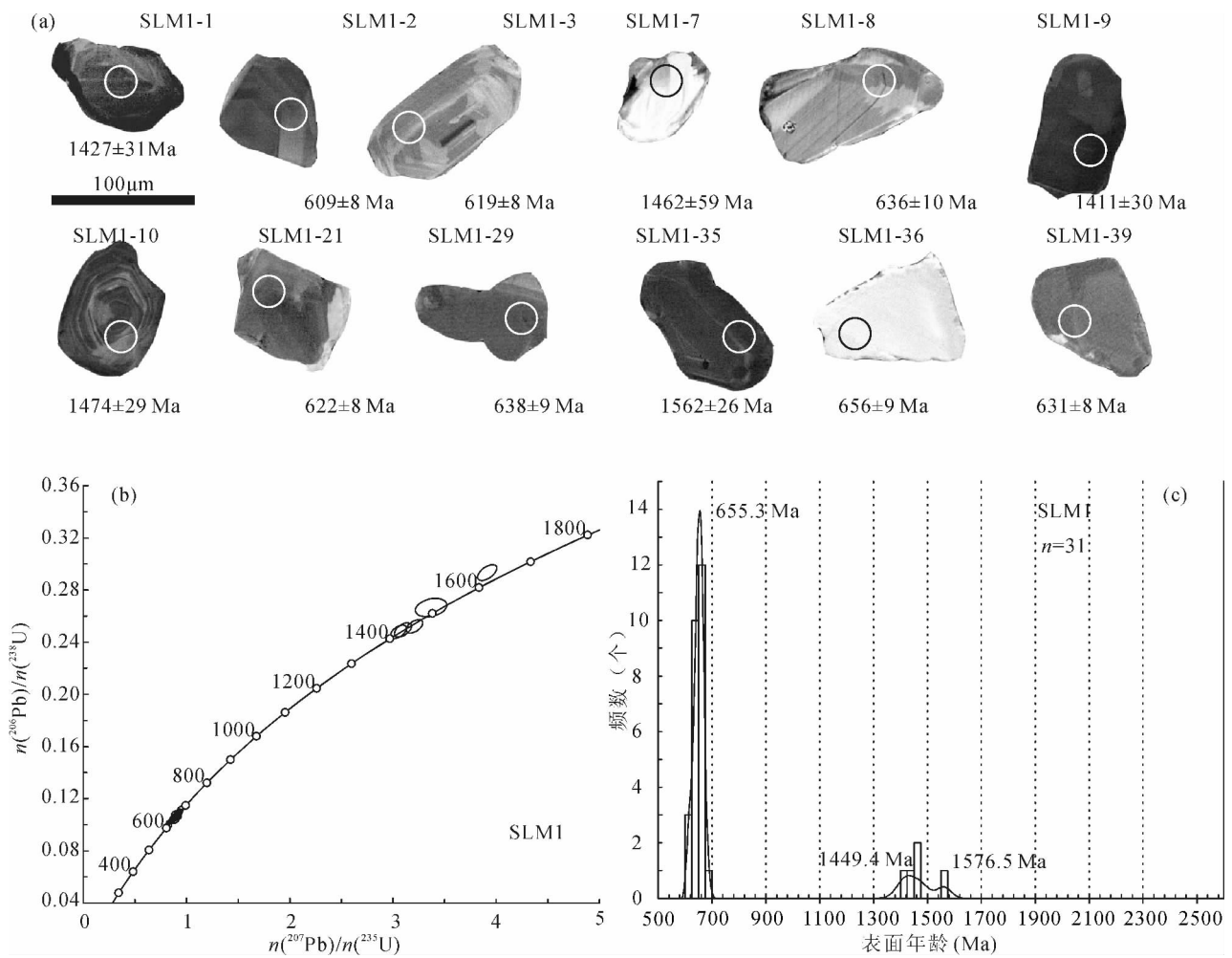


图 3 SLM1 样品碎屑锆石 CL 图像(a)、年龄谐和图(b)和年龄频谱图(c)
Fig. 3: (a) CL image of SLM1; (b) U-Pb concordia diagram of SLM1; (c) U-Pb histogram of SLM1

3 数据结果

SLM1 碎屑锆石在透射光下呈现黄白色、浅黄色、浅白色,较小,很多锆石小于 100 μm ,在阴极发光下呈现出比较破碎的形态,也有一小部分呈现圆形,说明锆石可能经历了较长距离的搬运,离物源区较远。将近 30% 的锆石在阴极发光下可以看到比较明显的环带与明暗相间的结构(图 3a),Th/U 比值全部大于 0.4,属于典型的岩浆源的锆石成因(表 1);另外大部分的锆石显示出不完全的环带,或者因为 Th、U 含量的增加,导致非晶质化,透明度下降,呈不透明状。在 40 颗锆石上打点分析 40 组数据,31 组数据属于 <10% 和谐误差的年龄数据(表 1),投影在谐和年龄图中(图 3b),对其进行了年龄频谱的分析,碎屑锆石的年龄从 609 $\pm$ 8 Ma 到 1562 $\pm$ 26 Ma,其中绝大部分属于成冰纪,介于 631 $\pm$ 8

Ma 和 683 $\pm$ 10 Ma 之间,共有 23 组,其余 3 组数据为埃迪卡拉纪年龄,另外有 5 组为古元古代—中元古代的年龄。年龄的峰值年龄为 655.3 Ma,1449.4 Ma 和 1576.5 Ma(图 3c)。年龄数据同锆石形态方面并没有明显的关系,小年龄中有的锆石可以看到比较清楚的环带,但也有的不见环带;较老年龄的锆石亦如此,不过老锆石颜色一般比年轻锆石颜色要深。

SLM2 锆石形态同 SLM1 类似,锆石大小基本在 100 μm 左右,在透射光下呈现黄白色、浅黄色,同时呈现自形环带的锆石数量增加,有近 40% 的锆石具有比较好的柱状晶型。其余锆石一部分显示出破碎的形态,但依然具有不完整的环带,同时呈现为圆形的锆石也逐渐增加,说明在冰期形成过程之后,经历了更为剧烈的搬运。受 Th、U 含量的增加,依然有部分锆石呈非晶质化,透明度下降,不透明状

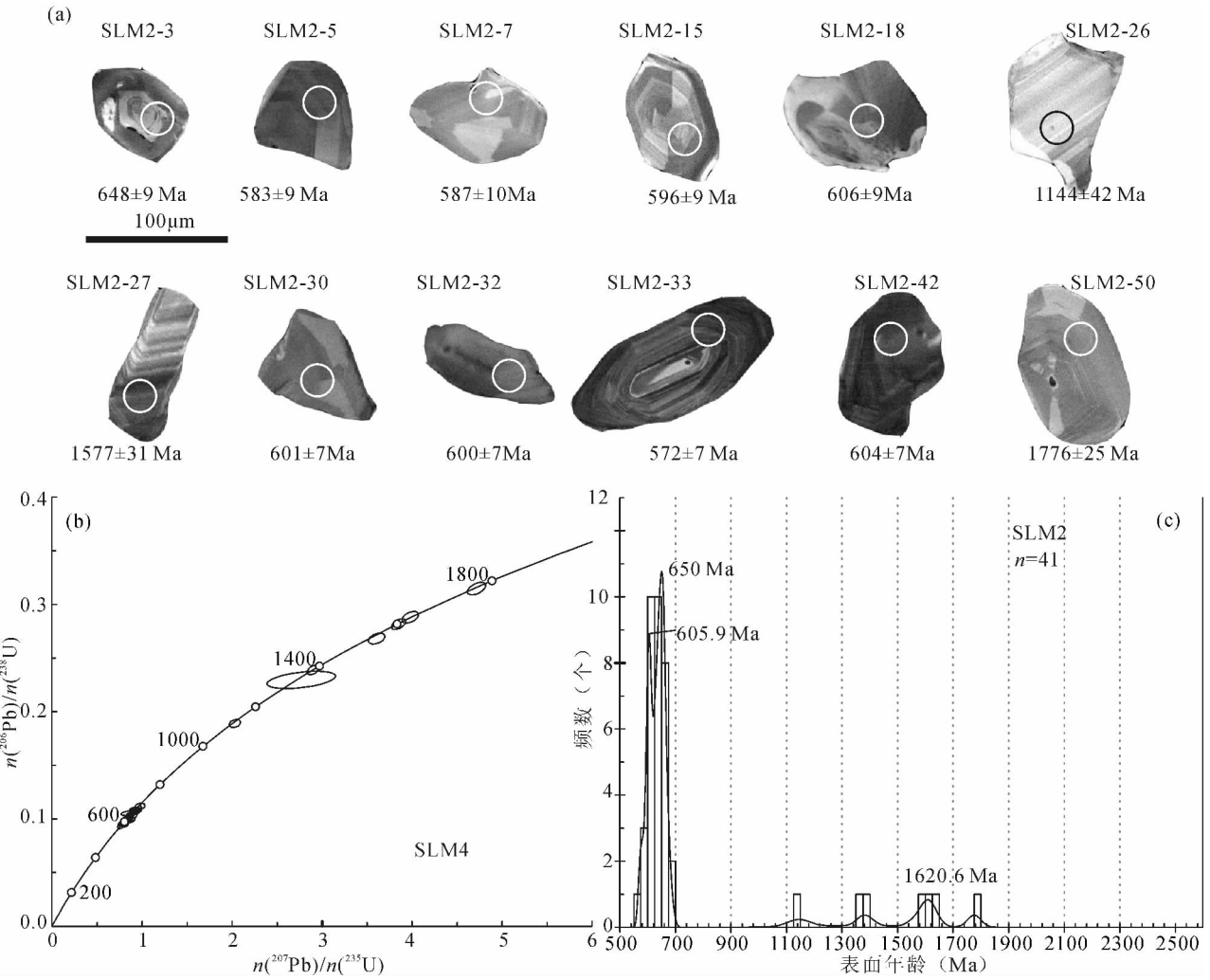


图 4 SLM2 样品碎屑锆石 CL 图像 (a)、年龄谐和图(b)和年龄频谱图(c)

Fig. 4 (a) CL image of SLM2;(b) U-Pb concordia diagram of SLM2;(c) U-Pb histogram of SLM2

表 1 塔里萨依组碎屑锆石样品 U – Pb 同位素表

Table 1 U – Pb isotopic analyses for the detrital zircons from Talisayi Formation

样品号	元素含量			同位素比值						表面年龄 (Ma)						和谐度
	Th	U	Th U	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
SLM1																
1	199	123	1.62	0.0901	0.0014	3.0971	0.0547	0.2494	0.0036	1427	31	1432	14	1436	19	101
2	79	99	0.8	0.0605	0.0013	0.8274	0.0187	0.0992	0.0014	623	48	612	10	609	8	98
3	477	296	1.61	0.0593	0.0009	0.8233	0.0140	0.1008	0.0014	576	34	610	8	619	8	107
4	489	495	0.99	0.0661	0.0012	0.8904	0.0165	0.0978	0.0013	809	37	647	9	601	8	74
5	151	314	0.48	0.0998	0.0017	3.1045	0.0547	0.2257	0.0031	1620	31	1434	14	1312	16	81
6	23	90	0.25	0.0588	0.0017	0.8265	0.0240	0.1019	0.0016	560	64	612	13	626	9	112
7	12	27	0.43	0.0918	0.0028	3.3691	0.1011	0.2665	0.0047	1462	59	1497	23	1523	24	104
8	82	124	0.66	0.0620	0.0019	0.8855	0.0268	0.1037	0.0017	673	66	644	14	636	10	95
9	40	81	0.49	0.0893	0.0014	3.0535	0.0511	0.2480	0.0034	1411	30	1421	13	1428	18	101
10	274	364	0.75	0.0923	0.0014	3.2087	0.0528	0.2521	0.0034	1474	29	1459	13	1449	18	98
11	314	309	1.02	0.0807	0.0012	1.1906	0.0199	0.1070	0.0015	1214	30	796	9	655	9	54
12	204	258	0.79	0.0605	0.0010	0.8826	0.0165	0.1058	0.0015	623	38	642	9	648	9	104
13	274	425	0.65	0.0602	0.0008	0.8743	0.0137	0.1054	0.0014	609	30	638	7	646	8	106
14	97	128	0.76	0.0634	0.0011	0.9240	0.0172	0.1058	0.0015	721	37	664	9	648	9	90
15	133	217	0.61	0.0615	0.0009	0.9157	0.0153	0.1080	0.0015	657	32	660	8	661	9	101
16	92	91	1.02	0.0619	0.0013	0.9240	0.0200	0.1083	0.0016	670	46	664	11	663	9	99
17	175	244	0.72	0.0612	0.0009	0.9039	0.0150	0.1072	0.0015	645	32	654	8	656	9	102
18	120	184	0.65	0.0678	0.0011	1.0323	0.0178	0.1104	0.0015	864	33	720	9	675	9	78
19	122	160	0.76	0.0614	0.0012	0.9107	0.0190	0.1076	0.0016	654	43	657	10	659	9	101
20	41	95	0.43	0.0613	0.0012	0.9183	0.0196	0.1088	0.0016	648	44	661	10	665	9	103
21	358	296	1.21	0.0591	0.0011	0.8266	0.0168	0.1014	0.0015	572	42	612	9	622	8	109
22	85	78	1.09	0.0611	0.0013	0.9416	0.0210	0.1119	0.0016	641	46	674	11	683	10	107
23	358	422	0.85	0.0602	0.0020	0.8977	0.0290	0.1081	0.0019	612	72	651	16	662	11	108
24	221	121	1.83	0.0577	0.0026	0.8233	0.0367	0.1035	0.0020	519	103	610	20	635	12	122
25	400	469	0.85	0.0641	0.0009	0.8317	0.0130	0.0942	0.0013	744	29	615	7	580	8	78
26	81	142	0.57	0.0606	0.0010	0.8953	0.0162	0.1072	0.0015	624	36	649	9	657	9	105
27	47	51	0.92	0.0591	0.0014	0.8556	0.0204	0.1050	0.0016	571	51	628	11	644	9	113
28	215	250	0.86	0.0605	0.0013	0.8729	0.0191	0.1047	0.0015	621	46	637	10	642	9	103
29	76	111	0.68	0.0611	0.0010	0.8763	0.0163	0.1041	0.0015	642	37	639	9	638	9	99
30	369	120	3.08	0.0929	0.0015	1.2083	0.0212	0.0943	0.0013	1486	31	804	10	581	8	39
31	139	201	0.69	0.0614	0.0009	0.9107	0.0152	0.1076	0.0015	653	32	657	8	659	9	101
32	212	307	0.69	0.0623	0.0009	0.9372	0.0150	0.1092	0.0015	683	30	671	8	668	9	98
33	164	307	0.53	0.0606	0.0009	0.8787	0.0145	0.1051	0.0014	626	32	640	8	644	8	103
34	323	415	0.78	0.0615	0.0009	0.9143	0.0150	0.1079	0.0015	655	31	659	8	661	9	101
35	61	170	0.36	0.0967	0.0013	3.9114	0.0620	0.2933	0.0040	1562	26	1616	13	1658	20	106
36	89	127	0.7	0.0606	0.0013	0.8951	0.0203	0.1072	0.0016	625	48	649	11	656	9	105
37	194	265	0.73	0.0607	0.0010	0.9188	0.0159	0.1098	0.0015	629	35	662	8	672	9	107
38	58	54	1.08	0.0601	0.0014	0.8700	0.0211	0.1050	0.0015	607	52	636	11	644	9	106
39	138	239	0.58	0.0599	0.0009	0.8491	0.0148	0.1029	0.0014	599	35	624	8	631	8	105
40	225	234	0.96	0.0620	0.0010	0.8986	0.0161	0.1052	0.0015	673	36	651	9	645	9	96
SLM2																
1	88	129	0.69	0.0616	0.0017	0.9141	0.0246	0.1076	0.0015	660	60	659	13	659	9	100
2	17	43	0.39	0.0620	0.0034	0.8503	0.0449	0.0994	0.0019	675	119	625	25	611	11	91
3	312	357	0.87	0.0599	0.0048	0.8726	0.0693	0.1057	0.0016	598	181	637	38	648	9	108
4	123	188	0.65	0.0622	0.0013	0.9033	0.0186	0.1053	0.0014	681	45	653	10	645	8	95
5	231	187	1.23	0.0610	0.0022	0.7971	0.0275	0.0947	0.0015	641	78	595	16	583	9	91
6	70	541	0.13	0.0623	0.0020	0.9164	0.0270	0.1067	0.0013	684	70	660	14	653	8	95

样品号	元素含量			同位素比值						表面年龄 (Ma)						和谐度
	Th	U	Th U	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
	(× 10 ⁻⁶)															
7	87	131	0.67	0.0603	0.0029	0.7933	0.0365	0.0954	0.0018	615	105	593	21	587	10	95
8	534	393	1.36	0.0614	0.0009	0.9079	0.0135	0.1072	0.0013	654	31	656	7	657	8	100
9	144	154	0.94	0.0642	0.0051	0.9522	0.0738	0.1076	0.0017	749	173	679	38	658	10	88
10	164	203	0.81	0.0635	0.0013	0.9256	0.0188	0.1057	0.0014	725	44	665	10	648	8	89
11	87	102	0.86	0.0629	0.0015	0.9360	0.0226	0.1080	0.0015	705	53	671	12	661	8	94
12	53	62	0.86	0.0617	0.0018	0.8978	0.0263	0.1056	0.0015	663	65	651	14	647	9	98
13	187	242	0.77	0.0626	0.0015	0.8563	0.0200	0.0992	0.0013	695	52	628	11	610	8	88
14	83	93	0.89	0.0658	0.0031	0.8350	0.0379	0.0921	0.0017	799	101	616	21	568	10	71
15	73	76	0.95	0.0605	0.0022	0.8071	0.0284	0.0968	0.0015	620	79	601	16	596	9	96
16	416	295	1.41	0.0606	0.0010	0.8495	0.0139	0.1016	0.0012	626	35	624	8	624	7	100
17	92	139	0.66	0.0663	0.0045	0.9919	0.0654	0.1086	0.0017	815	146	700	33	664	10	81
18	49	73	0.67	0.0620	0.0025	0.8427	0.0331	0.0986	0.0016	675	88	621	18	606	9	90
19	692	415	1.67	0.0612	0.0009	0.8421	0.0124	0.0998	0.0012	646	31	620	7	613	7	95
20	318	189	1.69	0.0991	0.0012	3.8490	0.0515	0.2817	0.0033	1607	24	1603	11	1600	17	100
21	272	315	0.86	0.0654	0.0045	0.8987	0.0601	0.0997	0.0015	787	148	651	32	613	9	78
22	23	21	1.07	0.0874	0.0082	2.7678	0.2515	0.2297	0.0053	1369	187	1347	68	1333	28	97
23	25	34	0.74	0.0602	0.0028	0.8247	0.0377	0.0993	0.0016	611	103	611	21	610	9	100
24	142	165	0.86	0.0666	0.0055	0.9063	0.0729	0.0987	0.0017	826	177	655	39	607	10	73
25	182	207	0.88	0.0641	0.0011	0.8574	0.0150	0.0970	0.0012	745	37	629	8	597	7	80
26	295	106	2.78	0.0779	0.0016	2.0302	0.0416	0.1891	0.0025	1144	42	1126	14	1116	13	98
27	222	145	1.53	0.0975	0.0016	3.6056	0.0588	0.2682	0.0033	1577	31	1551	13	1532	17	97
28	84	107	0.79	0.0634	0.0014	0.9161	0.0197	0.1049	0.0013	721	47	660	10	643	8	89
29	144	181	0.8	0.0665	0.0013	0.8719	0.0175	0.0952	0.0012	821	43	637	9	586	7	71
30	59	125	0.47	0.0615	0.0013	0.8271	0.0173	0.0976	0.0012	655	46	612	10	601	7	92
31	58	108	0.54	0.0627	0.0019	0.8468	0.0244	0.0980	0.0014	697	64	623	13	603	8	87
32	224	199	1.12	0.0611	0.0012	0.8226	0.0163	0.0976	0.0012	643	44	609	9	600	7	93
33	167	212	0.79	0.0592	0.0016	0.7572	0.0196	0.0928	0.0013	574	59	572	11	572	7	100
34	174	195	0.89	0.0608	0.0021	0.8488	0.0285	0.1013	0.0015	631	76	624	16	622	9	99
35	82	136	0.61	0.0610	0.0013	0.8689	0.0179	0.1033	0.0013	639	45	635	10	634	8	99
36	77	148	0.52	0.0610	0.0012	0.8304	0.0162	0.0987	0.0012	639	43	614	9	607	7	95
37	78	111	0.7	0.0630	0.0013	0.8795	0.0184	0.1013	0.0013	708	45	641	10	622	8	88
38	51	76	0.67	0.0620	0.0016	0.9130	0.0227	0.1069	0.0014	672	55	659	12	655	8	97
39	137	242	0.56	0.0624	0.0011	0.9042	0.0169	0.1051	0.0013	688	40	654	9	644	8	94
40	78	118	0.66	0.0624	0.0018	0.9359	0.0262	0.1089	0.0016	686	62	671	14	666	9	97
41	152	186	0.82	0.0619	0.0011	0.8862	0.0158	0.1038	0.0013	672	38	644	9	637	8	95
42	879	404	2.18	0.0598	0.0009	0.8101	0.0123	0.0982	0.0012	597	32	602	7	604	7	101
43	162	266	0.61	0.0617	0.0010	0.8908	0.0150	0.1047	0.0013	664	36	647	8	642	8	97
44	232	207	1.12	0.0619	0.0028	0.8839	0.0382	0.1035	0.0019	672	98	643	21	635	11	94
45	129	91	1.42	0.0633	0.0023	0.9779	0.0352	0.1120	0.0018	719	80	693	18	684	11	95
46	41	42	0.98	0.0621	0.0030	0.9256	0.0439	0.1081	0.0019	678	107	665	23	662	11	98
47	222	170	1.31	0.0608	0.0011	0.8698	0.0161	0.1037	0.0013	633	40	635	9	636	8	100
48	44	93	0.47	0.0626	0.0015	0.9247	0.0226	0.1072	0.0015	694	54	665	12	656	8	95
49	76	94	0.8	0.1001	0.0014	3.9785	0.0603	0.2882	0.0036	1627	27	1630	12	1632	18	100
50	127	158	0.8	0.1086	0.0014	4.7162	0.0671	0.3149	0.0039	1776	25	1770	12	1765	19	99
51	173	116	1.49	0.0880	0.0012	2.8988	0.0436	0.2390	0.0030	1382	28	1382	11	1382	15	100
52	254	277	0.92	0.0655	0.0010	0.9894	0.0159	0.1095	0.0014	791	33	698	8	670	8	85
53	607	513	1.18	0.0616	0.0008	0.8674	0.0124	0.1022	0.0012	659	29	634	7	627	7	95
54	158	239	0.66	0.0636	0.0010	0.9677	0.0160	0.1104	0.0014	727	34	687	8	675	8	93

(图4a)。Th/U 比值全部大于0.4(表1),属于典型的岩浆源的锆石成因。在54颗锆石上打点分析54组数据,41组数据属于<10%和谐误差的年龄数据(表1),投影在协和年龄图中(图4b),对其进行了年龄频谱的分析,碎屑锆石的年龄从 572 ± 7 Ma 到 1776 ± 25 Ma,年龄频谱分布同 SLM1 样品基本类似,绝大部分属于成冰纪,界于 634 ± 8 Ma 和 684 ± 11 Ma 之间,共有19组;埃迪卡拉纪年龄数据进一步增加,共有15组数据,从 572 ± 7 Ma 到 627 ± 7 Ma;另外有4组为中元古代年龄,从 1144 ± 42 Ma 到 1577 ± 31 Ma;古元古代的年龄有3组,分别为 1607 ± 24 Ma、 1627 ± 27 Ma、 1776 ± 25 Ma。年龄的峰值年龄主要为650 Ma 和605.9 Ma,其余峰值很低主要包括1620.6 Ma(图4c)。

4 讨论

4.1 冰期年龄限定

碎屑锆石虽然不能够准确确定地层地质时代,但是当本地区缺少火成岩以及有效古生物指标时,碎屑锆石中最年轻的年龄也可以作为一种有效的参考,因为地层的沉积时代肯定晚于碎屑锆石中最年轻的年龄。由于本地区塔里萨依组同下寒武统磷矿沟组接触,磷矿沟组的含磷硅质岩层为寒武纪与前寒武纪的标志界限,而且塔里萨依组普遍含有相当于埃迪卡拉纪的微古植物组合,直接上覆的下寒武统磷矿沟组产有早寒武世中晚期的三叶虫 *Redlichia* sp.、海绵骨针及小壳化石 *Hyolithes* sp., *Cambroclavus* sp. 等(高振家等,1993),因此可以确定塔里萨依组及以下地层为前寒武纪地层,同时在塔尔恰特组泥质粉砂岩内获得的 Rb-Sr 全岩等时线年龄(640 ± 33) Ma(高振家等,1993)也同样支持本组为前寒武纪地层。

根据以上讨论,可以判断塔里萨依组沉积时代早于寒武纪,为了确定塔里萨依组沉积时代的下限,对碎屑锆石年龄进行讨论。SLM1 样品内最年轻年龄为 609 ± 8 Ma,其次为 619 ± 8 Ma 和 622 ± 8 Ma,虽然不能得出准确年龄,但塔里萨依组较早的一次冰期形成应至少晚于约620~610 Ma。SLM2 位于两次冰期沉积之间,给出了更为年轻的年龄和更多的埃迪卡拉纪年龄(<630 Ma),最年轻年龄为 572 ± 7 Ma,其次为 583 ± 9 Ma 和 587 ± 10 Ma,说明塔里萨依组第二次冰期形成时代应晚于约580~570 Ma。同时两组锆石中最年轻的年龄变化不大,年龄谱分布趋势类似,说明两套冰成杂砾岩应代表了一

次较大冰期内的两套冰期旋回,而之间的泥质粉砂岩段则是属于间冰期的沉积产物,这一点同之前地球化学指数(CIA)研究的结论一致(Ding Haifeng et al., 2009)。

受到最年轻的碎屑锆石年龄约572 Ma 和上部下寒武统含磷标志层位的制约,基本可以确定果子沟地区的塔里萨依组冰成杂砾岩代表的冰期形成于埃迪卡拉纪,同库鲁克塔格地区的汉格尔乔克冰期对应。高维等(2011)报道了侵入于果子沟塔里萨依组顶部的花岗斑岩石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 642 ± 5 Ma,代表岩体形成时代,因此推测塔里萨依组冰成杂砾岩应与特瑞艾肯组冰碛岩相对应。但是,如果该花岗斑岩岩体形成于642 Ma,则该花岗斑岩不可能侵入于塔里萨依组顶部和寒武系磷块岩之间,岩体与寒武系应为不整合接触或断层接触。如果将塔里萨依组视为成冰纪的顶层对应,则在这些地区显然缺失整个埃迪卡拉系,然而根据已有的研究,赛里木湖—科古尔琴山地区缺失整个埃迪卡拉系(震旦系)的可能性看来不大。同时在塔里萨依组内获得的碎屑锆石峰值年龄在640~650 Ma 之间,同花岗斑岩的锆石年龄642 Ma 非常接近,因此可以判断出本地区在640~650 Ma 之间发生了比较广泛的岩浆活动事件,而花岗斑岩与地层之间的关系及具体形成年代则仍需进行深入研究。

4.2 沉积物源示踪和岩浆构造活动

两组碎屑锆石显示出极为相似的年龄频谱分布和最年轻年龄,绝大部分年龄分布在新元古代,而且属于晚成冰纪—埃迪卡拉纪。碎屑锆石样品中没有太古宙年龄的锆石出现,最古老年龄集中在晚古元古代,SLM1 样品中没有发现,而 SLM2 样品中有3组: 1607 ± 24 Ma、 1627 ± 27 Ma、 1776 ± 25 Ma。以上年龄数据同温泉变质杂岩体的可能年龄一致。温泉群的变质杂岩体虽然缺少有效的年龄制约,但是前人一般将其归结为古元古代岩体,角闪岩 Nd 模式年龄为1.7 Ga 同时也支持温泉地区存在古元古代的古老地壳物质存在(侯可军等,2010)。样品的中元古代的年龄个数增加,包括在 SLM1 样品中的5组和 SLM2 中的4组。前人通过对温泉群云母片岩中的碎屑锆石进行定年,认为其原岩沉积时代不早于中元古代晚期(1150 Ma),同时在侵入青白口系碳酸盐岩地层的基性岩脉中获取了较多的中元古代的继承锆石(1460~1150 Ma)(舒良树等,2013)。2.0~1.8 Ga 这个年龄段认为应该同哥伦比亚超大陆碰撞造山时所发生的构造岩浆活动有关,哥伦比

亚超大陆碰撞形成的过程发生在世界上许多地区包括:波罗的地区、古劳亚大陆、北芬兰、中国华北地区和印度地区 (Daly et al., 2001; Kroner et al., 2010; Rogers et al., 2009; Rogers et al., 2003; Rogers et al., 2002; Santosh et al., 2009; Santosh et al., 2006; Santosh et al., 2008; Shu Liangshu et al., 2011; Shu Liangshu et al., 2010; Xiao Wenjiao et al., 2009; Xiao Wenjiao et al., 2005; Zhao Guochun et al., 2002)。而 1.3 ~ 1.0 Ga 时间段认为属于典型的同罗迪尼亚 (Rodinia) 超大陆形成而发生的格林威尔 (Grenvillian) 造山活动有关, 格林威尔造山运动普遍发现在地球的各个大陆之上, 包括: 古劳亚大陆的南部、澳大利亚、亚马逊大陆、波罗的西南地区 and 东印度地区 (Boger et al., 2000; Fitzsimons et al., 2005; Jayananda et al., 2000)。由此说明“伊犁块体”有哥伦比亚超大陆活动的响应, 但是否相关仍需继续研究。

样品中新元古代年龄的分布也类似, SLM1 与 SLM2 中均没有 1000 ~ 700 Ma 的年龄出现。但是根据已有的年代学研究, 本区发现有这个年龄段的岩浆活动: 温泉地区的花岗片麻岩原岩的形成时代为 920 ~ 857 Ma (锆石 U-Pb SHRIMP 年龄) (Wang Bo et al., 2011; 胡霁琴等, 2001); 角闪岩的原岩为基性火山岩, 其形成时代可能是约 950 Ma (锆石 U-Pb LA-ICPMS 年龄; 王博, 未发表数据); 混合岩中浅色体的锆石年龄为 926 ~ 880 Ma。温泉群中混合岩的岩浆锆石进行 SHRIMP 和 LA-ICP-MS U-Pb 测年, 获取 930 ~ 850 Ma 年龄值, 侵入青白口系中的辉长岩和花岗岩, 其锆石 U-Pb 年龄为 840 ~ 788 Ma (舒良树等, 2013), 可是本文样品的碎屑锆石没有显示出这个年龄段的分布。根据前人总结研究, 结合其裂谷型地层层序, 认为 900 ~ 780 Ma 的年龄代表了对罗迪尼亚超大陆裂解事件的响应。

本次样品中最大量的锆石年龄数据集中在成冰纪—埃迪卡拉纪之间, SLM1 的峰值年龄 655.3 Ma, SLM2 出现 2 个峰值年龄分别为 650 Ma 和 605.9 Ma, 峰值年龄类似且要明显比前人研究认为代表裂解的年龄年轻。可是迄今, 尚未见到伊犁北部地区出现相关年龄的岩浆活动的报道出现。高维等 (2011) 在果子沟发现的认为侵入塔里萨依组的花岗斑岩 (642 ± 5 Ma) 是唯一本年龄段的岩石样品。在库鲁克塔格地区, 发现侵入基性岩墙的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 629 ± 7 Ma ($n = 12$), 652 ± 7 Ma ($n = 10$) 和 643 ± 7 Ma ($n = 14$) (Zhu Wenbin et al.,

2008), 也是不多的关于 650 Ma 左右岩浆活动的报道, 而约 650 Ma 认为代表了罗迪尼亚超大陆裂解作用结束的时间。根据本人未发表数据, 塔里萨依组样品体现出大陆弧 (活动大陆边缘) 的地球化学特征, 结合 SLM2 出现的 650 Ma 和 600 Ma 两个峰值, 说明“伊犁块体”的北缘在 650 ~ 600 Ma 可能完成了同罗迪尼亚超大陆的裂解, 并进入同哈萨克斯坦板块的聚合过程, 大陆边缘开始参与到冈瓦纳大陆形成的过程中, 开始同哈萨克斯坦板块聚合, 成为环巴尔喀什带的成员 (舒良树等, 2013)。

同时从碎屑锆石年龄分布中, 在伊犁以北至温泉地区存在的 1000 ~ 700 Ma 岩浆活动没有显示, 而 650 Ma 左右没有发现岩浆活动的却有大量显示, 说明其可能接收了更远处的物源。结合新元古代地层沉积层序, 果子沟—科古尔琴山地区新元古代沉积与库鲁克塔格地区新元古代沉积更类似: 下寒武统含磷硅质岩沉积以及至少 3 套冰成杂砾岩出露, 尤其是发生在埃迪卡拉纪的冰期沉积出露, 以及报道的 650 Ma 左右岩浆活动, 说明塔里萨依冰成杂砾岩可能接收了“伊犁块体”以南的物质来源。

5 结论

(1) 新疆伊犁以北, 赛里木湖以南果子沟地区出露的塔里萨依组冰成杂砾岩形成于埃迪卡拉纪, 同库鲁克塔格地区汉格爾乔克组冰碛砾岩对应。

(2) 碎屑锆石年龄谱给出的晚古元古代年龄说明“伊犁块体”可能存在着属于晚古元古代的基底。

(3) 塔里萨依组碎屑锆石年龄谱没有反映出果子沟周边, “伊犁块体”以北至温泉地区存在的 1000 ~ 700 Ma 岩浆活动年龄; 相反, 却反映出没有在果子沟周边发现岩浆活动报道的 650 ~ 600 Ma 年龄分布。综合碎屑锆石年龄谱分布特征及地层沉积特征, 表明果子沟塔里萨依组冰成杂砾岩可能接收了“伊犁块体”以南的物源。

参 考 文 献 / References

- 高维, 张传恒, 李永安. 2011. 伊犁地区果子沟南华系塔里萨依组冰碛岩顶部花岗斑岩年龄及其意义. 地质论评, 57(4): 495 ~ 504.
- 高振家, 陈晋镡, 陆松年, 彭昌文, 秦正永. 1993. 新疆北部前寒武系. 北京: 地质出版社.
- 何金有, 徐备, 孟祥英, 寇晓威, 刘兵, 王宇, 米合. 2007. 新疆库鲁克塔格地区新元古代层序地层学研究及对比. 岩石学报, 23(7): 1645 ~ 1654.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质, 28(4): 481 ~ 492.

- 侯可军,袁顺达. 2010. 宁芜盆地火山一次火山岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义. 岩石学报, 26(3): 888~902.
- 胡霁琴,张国新,陈义兵,张前锋. 2001. 新疆大陆基底分区模式和主要地质事件的划分. 新疆地质, 19(1): 12~19.
- 刘兵,徐备,孟祥英,寇晓威,何金有,卫巍,米合. 2007. 塔里木板块新元古代地层化学蚀变指数研究及其意义. 岩石学报, 23(7): 1664~1670.
- 舒良树,朱文斌,王博,吴昌志,马东升,马绪宣,丁海峰. 2013. 新疆古陆体的形成与演化. 中国地质, 40(1): 43~60.
- 宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(S1): 26~30.
- 童勤龙,卫巍,徐备. 2013. 塔里木板块西南缘新元古代沉积相和冰期划分. 中国科学:地球科学, 43(5): 703~715.
- 徐备,郑海飞,姚海涛,李永安. 2002. 塔里木板块震旦系碳同位素组成及其意义. 科学通报, 47(22): 1740~1744.
- 徐备,寇晓威,宋彪,卫巍,王宇. 2008. 塔里木板块上元古界火山岩 SHRIMP 定年及其对新元古代冰期时代的制约. 岩石学报, 24(12): 2857~2862.
- 赵彦彦,郑永飞. 2011. 全球新元古代冰期的记录和时限. 岩石学报, 27(2): 545~565.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report Pb-204. Chemical Geology, 192: 59~79.
- Balgord E A, Yonkee W A, Link P K, Fanning C M. 2013. Stratigraphic, geochronologic, and geochemical record of the Cryogenian Perry Canyon Formation, northern Utah: Implications for Rodinia rifting and snowball Earth glaciation. Geological Society of America Bulletin, 125: 1442~1467.
- Black L P, Gulson B L. 1978. The age of the Mud Tank carbonatite, Strangways Range Northern territory. BMR Journal of Australian Geology and Geophysics, 3: 227~232.
- Boger S D, Carson C J, Wilson C J L, Fanning C M. 2000. Neoproterozoic deformation in the Radok Lake region of the northern Prince Charles Mountains, east Antarctica; evidence for a single protracted orogenic event. Precambrian Research, 104: 1~24.
- Canfield D E, Poulton S W, Narbonne G M. 2007. Late-Neoproterozoic deep-ocean oxygenation and the rise of animal life. Science, 315: 92~95.
- Daly J S, Balagansky V V, Timmerman M J, Whitehouse M J, de Jong K, Guise P, Bogdanova S, Gorbatshev R, Bridgwater D. 2001. Ion microprobe U-Pb zircon geochronology and isotopic evidence for a trans-crustal suture in the Lapland—Kola Orogen, northern Fennoscandian Shield. Precambrian Research, 105: 289~314.
- Ding Haifeng, Ma Dongsheng, Yao Chunyan, Shu Liangshu. 2009. Sedimentary environment of Ediacaran glacial diamictite in Guozigou of Xinjiang, China. Chinese Science Bulletin, 54: 3283~3294.
- Fike D A, Grotzinger J P, Pratt L M, Summons R E. 2006. Oxidation of the Ediacaran ocean. Nature, 444: 744~747.
- Fitzsimons I C W, Hulscher B. 2005. Out of Africa: detrital zircon provenance of central Madagascar and Neoproterozoic terrane transfer across the Mozambique ocean. Terra Nova, 17: 224~235.
- Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, Pearson N J, O'Reilly S Y. 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. Precambrian Research, 131: 231~282.
- Halverson G P, Wade B P, Hurtgen M T, Barovich K M. 2010. Neoproterozoic chemostratigraphy. Precambrian Research, 182: 337~350.
- Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, Schrag D P. 1998. A Neoproterozoic snowball earth. Science, 281: 1342~1346.
- Hoffman P F, Li Z X. 2009. A palaeogeographic context for Neoproterozoic glaciation. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 277: 158~172.
- Ivanov A V, Mazukabzov A M, Stanevich A M, Paleskiy S V, Kozmenko O A. 2013. Testing the snowball Earth hypothesis for the Ediacaran. Geology, 41: 787~790.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, Belousova E A. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. Chemical Geology, 211: 47~69.
- Jayananda M, Moyen J F, Martin H, Peucat J J, Auvray B, Mahabaleswar B. 2000. Late Archaean (2550~2520 Ma) juvenile magmatism in the Eastern Dharwar craton, southern India: constraints from geochronology, Nd—Sr isotopes and whole rock geochemistry. Precambrian Research, 99: 225~254.
- Kirschvink J L, Gaidos E J, Bertani L E, Beukes N J, Gutzmer J, Maepa L N, Steinberger R E. 2000. Paleoproterozoic snowball earth: extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences. Proceeding of The National Academy of Sciences of United States of America, 97: 1400~1405.
- Kroner A, Lehmann J, Schulmann K, Demoux A, Lexa O, Tomurhuu D, Stipska P, Liu D Y, Wingate M T D. 2010. Lithostratigraphic and geochronological constraints on the evolution of the central Asian orogenic belt in SW Mongolia: early Paleozoic rifting followed by late Paleozoic accretion. American Journal of Science, 310: 523~574.
- Nance R D, Murphy J B, Santosh M. 2014. The supercontinent cycle: A retrospective essay. Gondwana Research, 25: 4~29.
- Och L M, Shields-Zhou G A. 2012. The Neoproterozoic oxygenation event: environmental perturbations and biogeochemical cycling. Earth-Science Reviews, 110: 26~57.
- Rogers J J W, Santosh M. 2009. Tectonics and surface effects of the supercontinent Columbia. Gondwana Research, 15: 373~380.
- Rogers J J W, Santosh M. 2003. Supercontinents in earth history. Gondwana Research, 6: 357~368.
- Rogers J J W, Santosh M. 2002. Configuration of Columbia, a mesoproterozoic supercontinent. Gondwana Research, 5: 5~22.
- Rooney A D, Macdonald F A, Strauss J V, Dudas F O, Hallmann C, Selby D. 2014. Re-Os geochronology and coupled Os—Sr isotope constraints on the Sturtian snowball Earth. Proceeding of the National Academy of Sciences, 111: 51~56.
- Santosh M, Wan Yusheng, Liu Danyi, Dong Chunyan, Li Jianghai. 2009. Anatomy of Zircons from an Ultrahot Orogen: The Amalgamation of the North China craton within the supercontinent Columbia. Journal of Geology, 117: 429~443.
- Santosh M, Sajeev K, Li Jianghai. 2006. Extreme crustal metamorphism during Columbia supercontinent assembly: evidence from North China craton. Gondwana Research, 10: 256~266.
- Santosh M, Omori S. 2008. CO₂ windows from mantle to atmosphere: models on ultrahigh-temperature metamorphism and speculations on the link with melting of snowball Earth. Gondwana Research, 14: 82~96.
- Shu Liangshu, Wang Bo, Zhu Wenbin, Guo Zhaojie, Charvet J, Zhang Yuan. 2011. Timing of initiation of extension in the Tianshan, based on structural, geochemical and geochronological analyses of bimodal volcanism and olistostrome in the Bogda Shan (NW China). International Journal of Earth Sciences, 100: 1647~

- 1663.
- Shu Liangshu, Deng Xinliang, Zhu Wenbin, Ma Dongsheng, Xiao Wenjiao. 2010. Precambrian tectonic evolution of the Tarim block, NW China: new geochronological insights from the Quruqtagh domain. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 774 ~ 790.
- Trindade R, Macouin M. 2007. Palaeolatitude of glacial deposits and palaeogeography of Neoproterozoic ice ages. *Comptes Rendus Geoscience*, 339: 200 ~ 211.
- Wang Bo, Jahn Borming, Lo Chinghua, Shu Liangshu, Wu Chieh-yu, Li Kongsan, Wang Fei. 2011. Structural analysis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of Proterozoic rocks in Sailimu area (NW China): Implication to polyphase tectonics of the North Chinese Tianshan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 839 ~ 853.
- Wen Bin, Li Yongxiang, Zhu Wenbin. 2013. Paleomagnetism of the Neoproterozoic diamictites of the Qiaonbrak formation in the Aksu area, NW China: constraints on the paleogeographic position of the Tarim Block. *Precambrian Research*, 226: 75 ~ 90.
- Xiao Wenjiao, Kusky T. 2009. Geodynamic processes and metallogenesis of the Central Asian and related orogenic belts: introduction. *Gondwana Research*, 16: 167 ~ 169.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Liu Dunyi, Jian Ping, Liu Chuanzhou, Yuan Chao, Sun Min. 2005. Accretionary tectonics of the Western Kunlun Orogen, China: A Paleozoic—early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. *Journal of Geology*, 113: 687 ~ 705.
- Xu Bei, Xiao Shuhai, Zou Hai-bo, Chen Yan, Li Zhengxiang, Song Biao, Liu Dunyi, Zhou Chuanming, Yuan Xunlai. 2009. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China. *Precambrian Research*, 168: 247 ~ 258.
- Yu Jinhai, O'Reilly S Y, Wang Lijuan, Griffin W L, Zhou Meifu, Zhang Ming, Shu Liangshu. 2010. 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. *Precambrian Research*, 181: 97 ~ 114.
- Zhan Sheng, Chen Yan, Xu Bei, Wang Bo, Faure M. 2007. Late Neoproterozoic paleomagnetic results from the Sugetbrak Formation of the Aksu area, Tarim basin (NW China) and their implications to paleogeographic reconstructions and the snowball Earth hypothesis. *Precambrian Research*, 154: 143 ~ 158.
- Zhao Guochun, Cawood P A, Wilde S A, Sun Min. 2002. Review of global 2.1 ~ 1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth-Science Reviews*, 59: 125 ~ 162.
- Zhu Wenbin, Zhang Zhiyu, Shu Liangshu, Lu Hua-fu, Su Jinbao, Yang Wei. 2008. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Neoproterozoic Korla mafic dykes in the northern Tarim Block, NW China: implications for the long-lasting breakup process of Rodinia. *Journal of the Geological Society*, 165: 887 ~ 890.

LA-ICP-MS U-Pb Dating of Detrital Zircons from Neoproterozoic Glacial Sediments in Guozigou Area, Ili and Its Geological Implication

DING Haifeng^{1,2)}, MA Dongsheng¹⁾, YAO Chunyan³⁾, LIN Qizhong²⁾

1) *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210023;*

2) *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100094;*

3) *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016*

Abstract: There is one unit of Neoproterozoic glacial sediment—Talisayi Formation outcrops in Guozigou area, which is located in the north of Ili and south of Sailimu Lake. LA-ICP-MS U-Pb dating works of detrital zircon were carried out in order to identify the glaciation age and the Precambrian geological evolution. Several younger ages are 620 ~ 610 Ma and 580 ~ 572 Ma, which indicates the glaciation happened in Ediacaran period, and contained two glacial cycles. The Talisayi Formation correlated with Hangelchaok diamictites in Quruqtagh area. There is no age from 1000 Ma to 700 Ma recorded in detrital zircons, but lots of ages from 650 ~ 600 Ma. The ages suggest that the provenance of the glaciogenic sediments was from the south of Yili. The tectonic events during 650 ~ 600 Ma correlated with the ending of breakup from Tarim and the beginning of assemblage to Kazakhstan.

Key words: Guozigou, Ili, Xinjiang; Neoproterozoic; glacial sediments; Talisayi Formation; LA-ICP-MS U-Pb data for detrital zircon