

新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯冰期下限 及沉积物源分析

邓俊¹⁾, 刘传朋^{1,2,3)}, 葛跃进¹⁾, 刘同¹⁾, 王凯凯¹⁾

1) 山东省第七地质矿产勘查院, 山东临沂, 276006;

2) 山东省金刚石成矿机理与探测重点实验室, 山东临沂, 276006;

3) “山东省金刚石成矿机理与探测”院士工作站, 山东临沂, 276006

内容提要: 本文通过对新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯组底部含冰碛砾砂质泥岩的碎屑锆石进行 U-Pb 年龄测定, 获得 100 组 U-Pb 年龄有效数据, 最年轻碎屑锆石 U-Pb 年龄 652.5 ± 12.0 Ma, 该年龄代表了特瑞爱肯组的最大沉积年龄, 也表示特瑞爱肯冰期的下限。本文获得的特瑞爱肯冰期下限与南沱冰期、Marinoan 冰期下限较为一致, 认为三者的发生具有等时性。对其余较老年龄分析, U-Pb 年龄峰值为 800 Ma 和 1911 Ma 的碎屑锆石具有显著优势, 特瑞爱肯冰期的沉积物源主要为来自 715~887 Ma、1700~2300 Ma 及 2400~2800 M 的岩石。

关键词: 碎屑锆石; U-Pb 年代; 新元古代特瑞爱肯冰期; 新疆库鲁克塔格

新元古代的冰期事件一直以来备受地质学者的关注, “雪球地球”事件假说的提出掀起了研究新元古代全球性冰期事件的热潮 (Hoffman et al., 1998; Kirschvink, 1992)。新元古代存在有四期冰期, 从早到晚分别为 Kaigas 冰期、Sturtian 冰期、Marinoan 冰期以及 Gaskiers 冰期。其中 Gaskiers 冰期起始时间为 580~590 Ma; Marinoan 冰期结束时间大约为 635 Ma; Sturtian 冰期发生在 710~720 Ma; Marinoan 冰期的开始时间需要进一步研究 (黄晶等, 2007)。

我国新疆塔里木板块库鲁克塔格地区出露有四套新元古代冰碛岩层, 南华纪和震旦纪冰碛层按层位自下而上分为: 下南华统下部贝义西组; 上南华统阿勒通沟组; 上南华统特瑞爱肯组; 上震旦统顶部汉格桥桥组 (高振家等, 1984; Gao Zhenjia et al., 1985; 曹仁关, 1991; 寇晓威等, 2008)。该四期冰碛岩层分别与 Kaigas 冰期、Sturtian 冰期、Marinoan 冰期及 Gaskiers 冰期对应 (何景文, 2012; 高林志等, 2013)。高林志等 (2013) 认为库鲁克塔格地区冰碛岩的年代地层学具有重大意义, 可以为研究全球“雪球事件”的等时性提供年代学依据。

随着碎屑锆石 U-Pb 定年技术的发展, 沉积岩

中碎屑锆石可以判断沉积物源及确定地层时代、沉积作用年龄 (Bruguier et al., 1997; Richards et al., 2005; Zhang Shuanhong et al., 2007)。众多学者已成功利用碎屑锆石 U-Pb 定年技术来确定地层的最大沉积年龄 (李怀坤等, 2007; 李洪颜等, 2009; Dickinson et al., 2009; Abati et al., 2010; 葛玉魁等, 2012; 宋卫卫等, 2012; Xie Hangqiang et al., 2012; Tucker et al., 2013), 为确定地层形成时限、划分、对比以及盆地演化提供了年代学依据。

徐备等 (2008) 通过火山岩 SHRIMP 定年结果将阿勒通沟组和特瑞爱肯组时限限定在 732~615 Ma, 但未能得出特瑞爱肯组沉积下限; 高林志等 (2010) 获得特瑞爱肯组枕状玄武岩的 U-Pb 年龄为 705 ± 10 Ma, 不能约束特瑞爱肯组时限; 何景文 (2012, 2015) 分别获得的阿勒通沟组上部火山岩的 U-Pb 年龄为 642 ± 8 Ma 和 655.9 ± 4.4 Ma, 654 ± 10 Ma, 这些年龄为研究特瑞爱肯组的最大沉积年龄提供了依据; 罗志文等 (2016) 在特瑞爱肯组冰碛岩顶部含砾粉砂岩中得到最年轻锆石年龄为 629 ± 8 Ma, 代表特瑞爱肯组沉积时代上限, 但没有得出沉积时代下限。此外, 高维等 (2011) 报道了侵入于伊犁地

注: 本文为新疆地质勘查基金两权价款项目“新疆南天山东段大草湖一带 1:5 万 K45E014016 K45E014017、K45E015015、K45E015016、K45E015017 五幅区域地质矿产调查” (编号: T15-1-LQ25) 的成果。

收稿日期: 2018-11-27; 改回日期: 2020-02-22; 责任编辑: 李曼, 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.02.005

作者简介: 邓俊, 男, 1990 年生, 工程师, 主要从事区域地质矿产调查工作; Email: 645648152@qq.com。通讯作者: 刘传朋, 男, 1981 年生, 高级工程师, 主要从事区域地质矿产调查工作; Email: liuchuanpeng666@163.com。

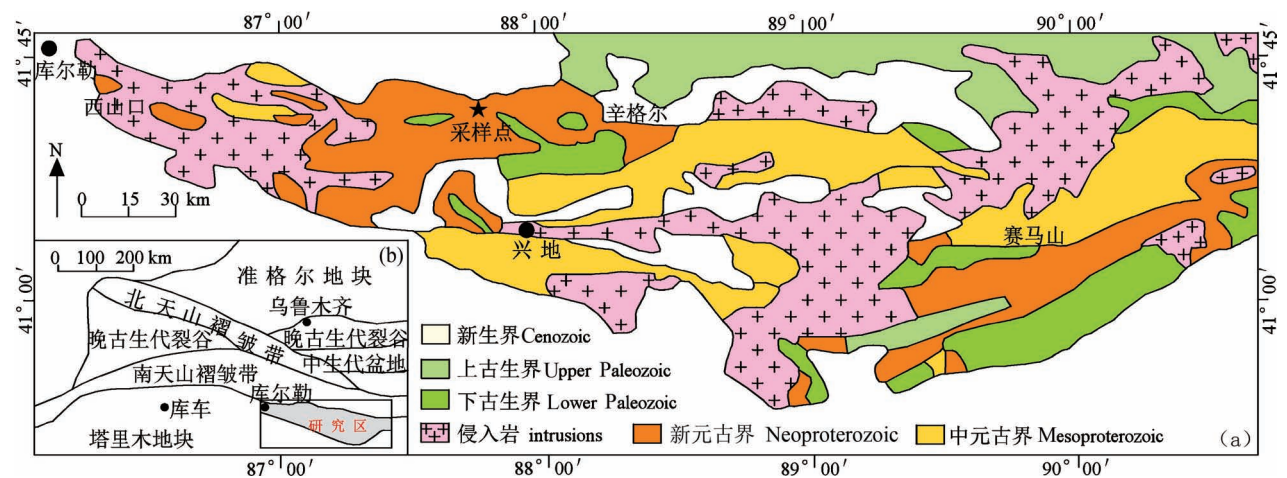


图 1 新疆库鲁克塔格地区地质简图(据徐备等,2008 修改)
Fig. 1 Simplified geological map of the Quruqtagh area, Xinjiang(modified from Xu Bei et al. , 2008&)

区的果子沟—科古琴剖面塔里萨依组(上冰碛岩)顶部的花岗斑岩中岩浆锆石 $\text{Shrimp } n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄为 $642\pm5\text{ Ma}$,可限定果子沟剖面塔里萨依组冰碛岩的沉积上限,且推测塔里萨依组冰碛岩应与特瑞艾肯组冰碛岩对比。本文首次对库鲁克塔格地区特瑞爱肯组底部的冰碛岩进行锆石 U-Pb 年龄测定,分析其年龄谱特征,探讨其沉积物源区及推定特瑞爱肯冰期的开始时间,为研究全球范围的 Marinoan 冰期开始时间提供年代学依据。

1 区域地质概况

库鲁克塔格地区位于塔里木地块北缘(图 1),新元古界十分发育,出露有青白口纪塞纳尔塔格组、北塞纳尔塔格组;南华纪贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组、特瑞爱肯组;震旦纪扎摩克提组、育肯沟组、水泉组、汉格尔乔克组,地层柱状图见图 2。

贝义西组底部与青白口系顶部的北塞纳尔塔格组碳酸盐岩呈角度不整合接触。贝义西组为一套冰碛岩、火山岩及碎屑岩沉积,冰碛砾岩常夹于海相碎屑岩及火山熔岩、火山碎屑岩等海相喷发岩中,常见有由火山凝灰胶结的冰碛砾岩,该冰期被命名为贝义西冰期。

照壁山组与下伏地层贝义西组之间为整合接触,其上部以灰色长石石英砂岩、砂板岩及灰黑色粉砂质泥岩为主,砂砾岩多呈凸镜体,下部主要为石英砂岩,砂砾岩、薄层状粉砂岩呈夹层出现。

阿勒通沟组与下伏地层照壁山组之间为整合接触,该组以海相碎屑沉积物为主,夹火山碎屑岩和碳

酸盐岩薄层,其中有 1~2 层冰碛泥砾岩或冰碛砾岩及冰川漂砾,该冰期被命名为阿勒通沟冰期。

特瑞爱肯组与下伏地层阿勒通沟组之间为平行不整合接触,与上覆地层扎摩克提组为平行不整合接触。该组冰碛沉积物主要为巨大冰川漂砾夹杂着含砾冰碛泥板岩、冰碛泥砾岩及冰碛砾岩,中间夹有正常海相碎屑沉积岩层,该冰期被命名为特瑞爱肯冰期。

扎摩克提组与下伏地层特瑞爱肯组之间为平行不整合接触,底部发育有特瑞爱肯组冰碛岩之上的盖帽白云岩,下部以绿色砂岩和粉砂岩为主,常呈互层,而下部常呈不均匀互层,其中夹灰绿色砂岩、粉砂岩,顶部常夹火山岩。

育肯沟组与下伏地层扎摩克提组之间为整合接触,下部岩性为黄绿色、灰色、灰白色泥质粉砂岩,上部为灰绿色、灰色泥质粉砂岩。

水泉组与下伏地层育肯沟组为整合接触,其下部为浅灰色薄层、中厚层微晶灰岩,上部为灰绿色、灰色薄层粉砂岩夹灰色薄层微晶灰岩。

汉格尔乔克组与下伏地层水泉组为整合接触,与上覆地层西山布拉克组为平行不整合接触,该组为大陆型冰川沉(堆)积,主要为一套冰碛泥砾岩,顶部有一层稳定的白云质、泥质冰碛纹泥层,该冰期被命名为汉格尔乔克冰期。

2 样品采集和测制方法

样品 P13U-Pb4-1 为特瑞爱肯组下部的灰绿色含冰碛砾砂质泥岩,采样点 GPS 坐标为 $87^{\circ}55'50''$

界	系	群	组	柱状图	厚度(m)
下古生界	寒武系		西山布拉克组		35~500
			汉格尔乔克组		243~467
新元古界	震旦系	库鲁塔格群	水泉组		135~308
			育肯沟组		80~587
			扎莫克提组		589~783
			特瑞爱肯组		589~1845
			阿勒通沟组		484~1825
			照壁山组		358~570
			贝义西组		640~1670
			北塞纳尔塔格组		1386

图2 新疆库鲁克塔格地区新元古界地层柱和火山岩

Fig. 2 The Neoproterozoic stratigraphic column and volcanic rocks in the Quruqtagh area, Xinjiang

E,41°34'44 N,其底部为阿勒通沟组含细一粉砂质泥质岩,两者之间平行不整合接触关系。

灰绿色含冰碛砾砂质泥岩,宏观上具有含砾砂状结构(图3a),显微镜下具含砂泥状结构(图3b),砾石含量约25%~30%,成分复杂,粒间具杂基支撑;填隙物含量约70%~75%,主要为隐晶质,较少石英、长石碎屑及岩屑,呈基底式充填胶结。砾石粒度悬殊,较小者几毫米不等,多集中于十几厘米,较大者可达1 m以上,形成漂砾,砾石成分复杂,有含粉砂质泥岩、花岗岩、细粒石英岩、含晶屑熔结凝灰岩及安山岩和粗安岩,形态次棱角至棱角状,少数呈次圆状,粒间不相接触呈漂浮状不甚均匀分布于填隙物中。填隙物,主要为隐晶泥质或火山灰,较少粒

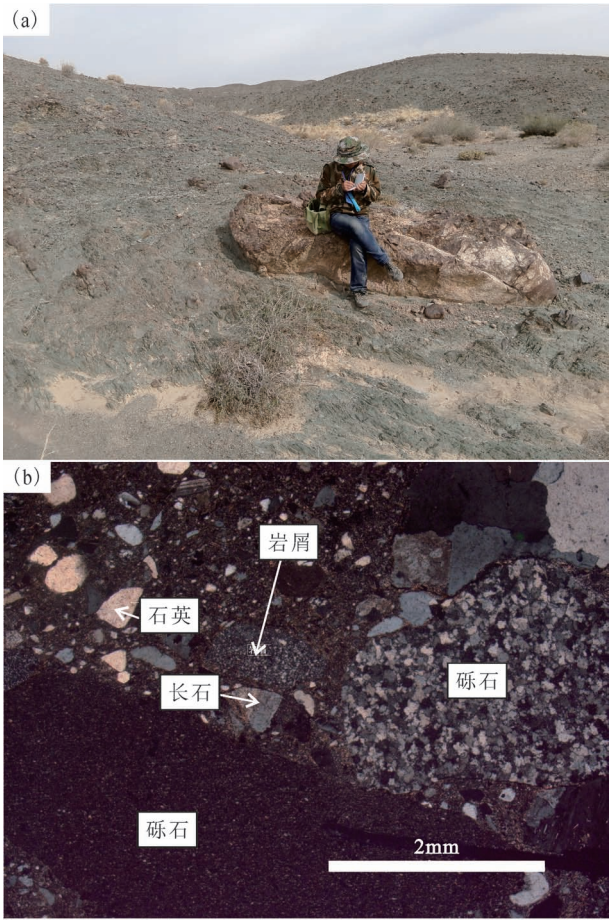


图3 新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯组露头(a)和显微镜下照片(b)

Fig. 3 Photos of the outcrop (a) and microscope (b) of the Neoproterozoic Tereekan Formation in Quruqtagh area, Xinjiang

度0.01~2 mm的石英、长石碎屑或晶屑及岩屑,大致均匀混杂,呈基底式充填于砾石间。

锆石微量元素含量和U-Pb同位素定年在西安兆年矿物测试技术有限公司LA-ICP-MS实验室完成。激光剥蚀系统为New Wave UP 213,ICP-MS为Agilent7500ce。激光剥蚀所用斑束直径为24 μm,频率为7 Hz,能量密度约为2.6 J/cm²,激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入ICP之前通过一个T型接头混合。每个时间分辨分析数据包括大约10 s的空白信号和40 s的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及U—Th—Pb同位素比值和年龄计算)采用软件Glitter4.4完成。

U-Pb同位素定年中采用锆石标准91500作外

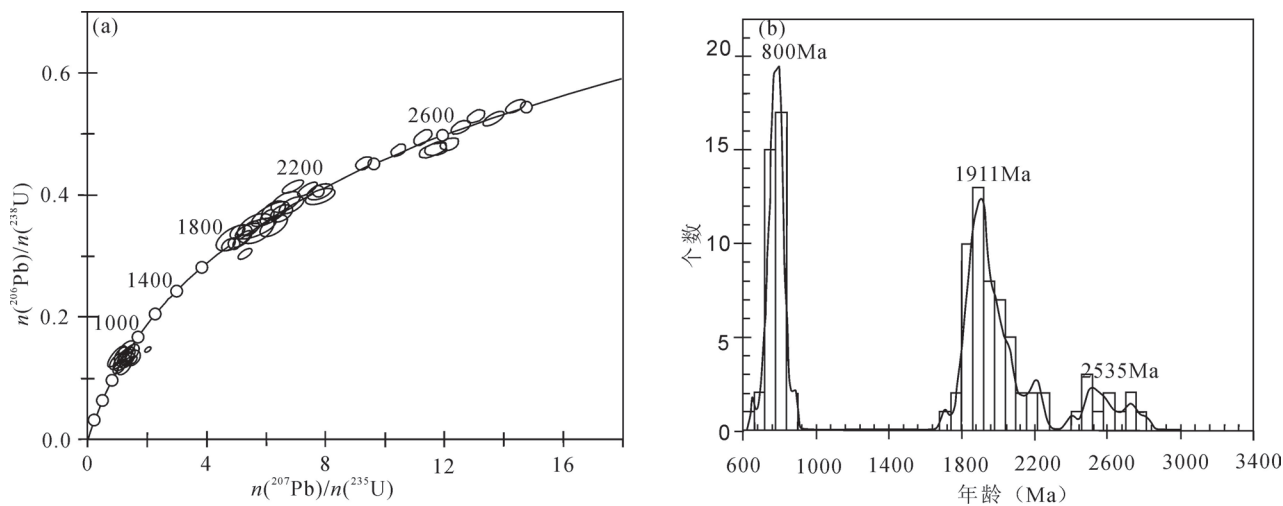


图 4 新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯组样品 P13U-Pb4-1 碎屑锆石谐和曲线 (a) 和 U-Pb 年龄谱图 (b)

Fig. 4 Concordia diagram (a), histograms and relative probability plots (b) of U-Pb ages of the detrital zircons (sample No. P13U-Pb4-1) from the Neoproterozoic Tereekan Formation in Quruqtagh area, Xinjiang

标进行同位素分馏校正。对于与分析时间有关的 U—Th—Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石标准 91500 的 U—Th—Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等 (1995)。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3 (Ludwig, 2003) 完成。锆石微量元素含量利用参考标样

NIST610 玻璃作为多外标、Si 作内标的方法进行定量计算。这些 USGS 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库。在讨论中,年龄小于 1000 Ma 的锆石采用 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄,年龄大于 1000 Ma 的锆石则采用 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 年龄。不和谐度大于 10% 或者普通铅校正大于 2% 的数据将不参与讨论。

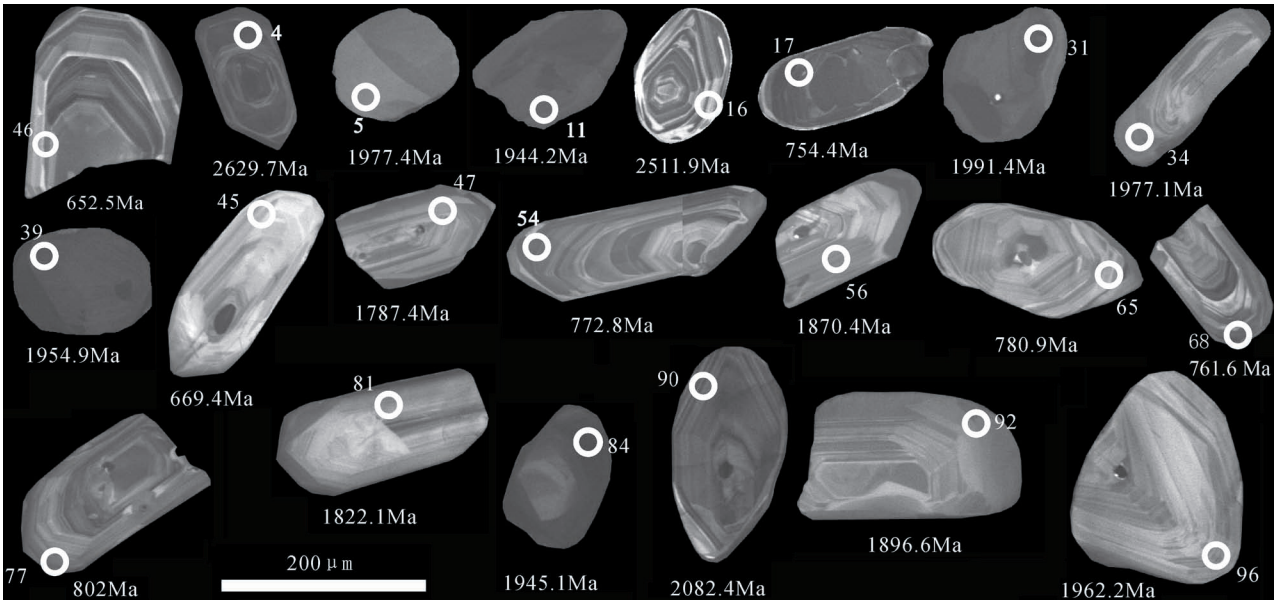


图 5 新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯组代表性锆石阴极发光图像

Fig. 5 Cathodoluminescence (CL) images of selected zircons from the Neoproterozoic Tereekan Formation in Quruqtagh area, Xinjiang

表 1 新疆库鲁克塔格地区元古代特瑞爱肯组样品 P13U-Pb4-1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analyses for sample P13U-Pb4-1 from the Neoproterozoic Tereekan Formation in the Quruqtagh area, Xinjiang

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			
					1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值			
1	23.1	69.5	114.6	0.62	0.06655	0.00382	1.16024	0.0655	0.12601	0.00236	823.8	115.32	782.1	30.79	765.1	13.54	98
2	20.8	58.9	107.6	0.54	0.06269	0.00382	1.07825	0.0647	0.12433	0.00241	697.6	124.89	742.8	31.61	755.4	13.84	102
3	213	281	214.1	1.19	0.12022	0.00254	5.54611	0.12129	0.33349	0.00477	1959.4	37.29	1907.8	18.81	1855.3	23.06	97
4	196	167	249	0.64	0.17751	0.00285	12.52546	0.21761	0.51009	0.00704	2629.7	26.46	2644.6	16.34	2657	30.05	100
5	53.5	59.1	54.1	1.04	0.12144	0.00487	5.8189	0.22918	0.34641	0.00659	1977.4	69.79	1949.2	34.13	1917.4	31.56	98
6	43	131	201	0.59	0.06293	0.0032	1.0552	0.05291	0.12123	0.00214	705.9	104.57	731.5	26.14	737.6	12.28	101
7	39.4	47.9	48	0.91	0.11669	0.00525	5.33545	0.23442	0.33059	0.00669	1906.1	78.59	1874.6	37.57	1841.3	32.41	98
8	30.8	97.6	62.6	1.38	0.06801	0.0058	1.06827	0.0891	0.11357	0.0028	868.9	167.43	737.9	43.74	693.5	16.19	94
9	94.2	259	322	0.72	0.06918	0.00232	1.29125	0.04333	0.13497	0.00204	904.1	67.73	841.9	19.2	816.1	11.61	97
10	101.9	113	328	0.30	0.11965	0.00216	6.2262	0.11898	0.3763	0.00515	1951	31.86	2008.1	16.72	2059	24.13	103
11	90.8	97.8	172	0.50	0.11919	0.00269	5.95202	0.13746	0.36113	0.00525	1944.2	39.73	1968.9	20.08	1987.5	24.87	101
12	211	250	283	0.83	0.11932	0.00237	5.42845	0.11239	0.32901	0.0046	1946.1	35.1	1889.4	17.75	1833.6	22.31	97
13	270	352	375	0.82	0.11618	0.00219	5.17379	0.10244	0.32214	0.00443	1898.2	33.58	1848.3	16.85	1800.2	21.58	97
14	61.9	75.2	54.9	1.22	0.11397	0.0047	5.25539	0.21259	0.33355	0.00631	1863.7	72.62	1861.6	34.51	1855.6	30.52	100
15	37.3	106.7	54.97	1.71	0.06328	0.00591	1.086	0.09952	0.12415	0.00306	717.6	186.68	746.6	48.44	754.4	17.56	101
16	164	133	215	0.54	0.16543	0.00312	11.25654	0.22153	0.49227	0.00705	2511.9	31.32	2544.6	18.35	2580.5	30.43	101
17	152	121	319	0.34	0.16452	0.00286	11.28409	0.2078	0.49623	0.00691	2502.6	28.95	2546.9	17.18	2597.6	29.78	102
18	14.5	35.2	63.2	0.48	0.06856	0.00679	1.28812	0.12449	0.13593	0.00383	885.6	192.24	840.5	55.24	821.6	21.72	98
19	85	90.7	225.7	0.37	0.12115	0.00307	6.04524	0.15454	0.36104	0.00547	1973.3	44.42	1982.4	22.27	1987.1	25.89	100
20	41.1	41.9	95.3	0.40	0.13026	0.00463	6.86671	0.24032	0.38145	0.00691	2101.5	61.13	2094.4	31.02	2083	32.26	99
21	37.6	103.4	123.7	0.76	0.06792	0.00484	1.11346	0.0775	0.11863	0.00264	866.2	141.11	759.8	37.23	722.7	15.23	95
22	27.9	79.8	65.1	1.12	0.07026	0.00662	1.21981	0.11183	0.12564	0.00355	935.9	182.13	809.7	51.16	763	20.3	94
23	244	294	375	0.73	0.11341	0.0023	5.39192	0.11308	0.34409	0.00479	1854.7	36.15	1883.6	17.96	1906.3	22.96	101
24	10.3	33.4	84.7	0.37	0.06863	0.00517	1.24406	0.09167	0.13119	0.00302	887.7	148.46	820.7	41.48	794.6	17.22	97
25	462	389	734	0.52	0.15988	0.00221	10.44971	0.16029	0.47311	0.00616	2454.4	23.2	2475.5	14.21	2497.2	26.96	101
26	49.1	125.2	198.7	0.62	0.06859	0.00322	1.30928	0.06059	0.13818	0.00239	886.5	94.18	849.8	26.64	834.4	13.52	98
27	146	453	191	2.30	0.06111	0.00348	1.02327	0.05738	0.12123	0.00224	643	118.01	715.6	28.8	737.6	12.87	103
28	102	99	364	0.27	0.12627	0.00242	6.6132	0.13208	0.37916	0.00524	2046.7	33.54	2061.1	17.62	2072.4	24.5	101
29	35.4	87.8	132	0.66	0.06948	0.00416	1.3699	0.08045	0.14275	0.00283	913.1	118.67	876.1	34.47	860.2	15.98	98
30	80	205	225	0.85	0.06796	0.00283	1.24225	0.05117	0.13235	0.00216	867.2	84.1	819.9	23.17	801.3	12.27	98
31	410	465	216	2.18	0.1224	0.00286	5.99037	0.14219	0.35439	0.00518	1991.4	41.05	1974.4	20.65	1955.5	24.66	99
32	255	288	206	1.43	0.11885	0.0028	5.78582	0.13801	0.35251	0.00514	1939.1	41.45	1944.3	20.65	1946.6	24.5	100

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值				同位素年龄(Ma)				谐和度 (%)				
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$						
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ					
33	33.7	93.9	138.2	0.69	0.06743	0.00369	1.20935	0.06501	0.12988	0.00241	851	109.81	804.9	29.88	787.2	13.75	98
34	62.4	66.3	128.7	0.52	0.12141	0.00318	5.8947	0.155	0.3516	0.00534	1977.1	45.94	1960.5	22.83	1942.2	25.47	99
35	83	100	65.1	1.29	0.11213	0.00427	5.01099	0.18762	0.32366	0.0058	1834.1	67.51	1821.2	31.69	1807.6	28.26	99
36	160	157	185	0.80	0.12526	0.00267	6.45938	0.14109	0.37349	0.0053	2032.4	37.29	2040.4	19.2	2045.8	24.89	100
37	40.5	117.4	115.2	1.05	0.06703	0.0035	1.08661	0.05571	0.11742	0.00213	838.8	105.13	746.9	27.11	715.7	12.26	96
38	226	263.2	204.5	1.33	0.12027	0.00241	5.54699	0.11463	0.33411	0.00462	1960.2	35.38	1907.9	17.78	1858.3	22.31	97
39	87.5	87.5	397	0.23	0.11991	0.00192	5.66365	0.09694	0.34217	0.00447	1954.9	28.33	1925.8	14.77	1897.1	21.48	99
40	0.6	1.61	242	0.01	0.07045	0.00238	1.29123	0.04345	0.13279	0.00199	941.4	67.86	841.8	19.25	803.7	11.35	95
41	51.4	128.9	105.3	1.29	0.06494	0.00353	1.18632	0.06335	0.13235	0.00239	772.4	110.27	794.3	29.42	801.3	13.59	101
42	96	100	163	0.62	0.12013	0.00261	5.70174	0.12638	0.34387	0.00486	1958.2	38.3	1931.6	19.15	1905.2	23.31	99
43	13.9	33.9	59.3	0.58	0.07074	0.00489	1.32642	0.08971	0.13587	0.00292	949.9	135.39	857.3	39.15	821.2	16.58	96
44	29.3	30	105.8	0.29	0.11779	0.00315	5.62834	0.15044	0.34624	0.00526	1922.9	47.13	1920.4	23.04	1916.6	25.19	100
45	10.2	28.6	26.9	1.05	0.07663	0.00847	1.3407	0.1445	0.12677	0.00391	1111.7	206.23	863.5	62.68	769.4	22.37	89
46	18	61.5	101	0.63	0.06179	0.00421	0.9083	0.06079	0.10653	0.00211	666.8	139.46	656.2	32.35	652.5	12.27	99
47	45.9	52.2	57.1	0.93	0.10928	0.00429	5.10206	0.1967	0.33834	0.00606	1787.4	69.84	1836.4	32.73	1878.7	29.18	102
48	44.2	36.6	60.4	0.62	0.17787	0.00471	11.61049	0.30553	0.47306	0.00782	2633.1	43.38	2573.5	24.6	2496.9	34.23	97
49	65.1	66	203	0.34	0.12591	0.00279	6.13568	0.13796	0.35322	0.00504	2041.6	38.69	1995.3	19.63	1950	23.99	98
50	195	157	253	0.63	0.18245	0.00289	12.18604	0.20422	0.48413	0.00647	2675.3	25.94	2618.8	15.73	2545.3	28.11	97
51	126.4	134.8	239	0.58	0.12472	0.00259	6.32151	0.13416	0.36743	0.00512	2024.8	36.35	2021.4	18.61	2017.3	24.15	100
52	31.5	88.1	88.9	1.03	0.06663	0.00471	1.19958	0.08279	0.13051	0.00286	826.2	140.81	800.4	38.22	790.8	16.28	99
53	86.3	104.4	174.4	0.62	0.11791	0.00296	5.64591	0.1422	0.34712	0.00513	1924.8	44.33	1923.1	21.73	1920.8	24.55	100
54	140.7	394	465	0.87	0.06336	0.00208	1.113	0.03638	0.12736	0.00185	720.2	68.13	759.6	17.48	772.8	10.56	102
55	99.2	106	365	0.30	0.1204	0.00235	5.77461	0.11587	0.34775	0.00473	1962.1	34.42	1942.6	17.37	1923.9	22.61	99
56	76.4	89.7	65.7	1.40	0.1144	0.0051	5.27825	0.22956	0.33454	0.00659	1870.4	78.3	1865.4	37.13	1860.3	31.85	100
57	89.5	98.3	98.4	1.02	0.12163	0.00449	6.01002	0.21742	0.35829	0.00643	1980.2	64.33	1977.3	31.49	1974.1	30.52	100
58	53	159	251	0.63	0.06734	0.00339	1.16592	0.0576	0.12554	0.00223	848.4	101.32	784.7	27	762.4	12.74	97
59	106.3	124.8	238	0.54	0.1115	0.00326	4.93195	0.1432	0.32075	0.00499	1824	52.17	1807.7	24.51	1793.4	24.33	99
60	124.1	93.4	105.3	0.91	0.18052	0.00563	11.89935	0.36375	0.47802	0.00869	2657.6	50.8	2596.5	28.63	2518.6	37.91	97
61	168.3	486	322	1.56	0.06717	0.00386	1.19782	0.06745	0.12933	0.00248	843	115.34	799.6	31.16	784	14.17	98
62	65.2	186	101.6	1.90	0.07196	0.00738	1.2712	0.12676	0.12812	0.00384	984.9	195.77	832.9	56.67	777.1	21.96	93
63	11.9	28	33.5	0.83	0.07835	0.01206	1.37767	0.20593	0.12754	0.00549	1155.7	278.32	879.4	87.94	773.8	31.41	88
64	52.1	63.1	82.1	0.80	0.11173	0.005	5.09119	0.2223	0.33053	0.0065	1827.7	79.04	1834.6	37.06	1840.9	31.5	100
65	24.5	66.8	195	0.37	0.06571	0.00363	1.16659	0.06321	0.12878	0.00239	797.1	111.83	785	29.62	780.9	13.67	99
66	23.4	67.9	145.8	0.48	0.0649	0.00378	1.12198	0.06411	0.12541	0.00237	771.1	118.14	763.9	30.68	761.6	13.55	100
67	91.2	78.3	224	0.36	0.14871	0.00283	9.26333	0.18082	0.4519	0.00622	2331.1	32.26	2364.4	17.89	2403.7	27.64	102

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值				同位素年龄(Ma)				谐和度 (%)				
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$						
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ					
68	51.1	157	151	1.04	0.06705	0.00348	1.27081	0.06482	0.13751	0.00245	839.2	104.64	832.8	28.99	830.6	13.89	100
69	60	60.2	234	0.24	0.13423	0.00263	7.62369	0.15267	0.41205	0.00564	2154.1	33.81	2187.7	17.98	2224.3	25.75	102
70	102.2	121	81	1.56	0.12289	0.00391	5.76408	0.1803	0.34032	0.00559	1998.6	55.43	1941	27.07	1888.2	26.9	97
71	36.2	42.5	159.5	0.28	0.12209	0.00295	6.32151	0.15327	0.37569	0.00545	1986.9	42.43	2021.4	21.26	2056.1	25.55	102
72	692	531	579	0.97	0.17914	0.00243	13.06732	0.19181	0.52927	0.00669	2645	22.35	2684.5	13.84	2738.4	28.2	102
73	306	225.1	490	0.48	0.19132	0.00258	14.39038	0.20995	0.54577	0.00691	2753.6	21.98	2775.8	13.85	2807.6	28.8	101
74	84.7	99.8	192	0.55	0.11181	0.00272	5.24045	0.12766	0.34011	0.00487	1829	43.43	1859.2	20.77	1887.2	23.44	102
75	94.3	109.1	131.6	0.88	0.11107	0.00322	5.09784	0.14684	0.33418	0.00513	1810.9	51.9	1835.7	24.45	1858.6	24.8	101
76	62.8	170.1	179.9	1.01	0.06649	0.0032	1.2174	0.05741	0.13287	0.00228	821.9	97.24	808.6	26.29	804.2	12.99	99
77	51.4	145.4	152.5	1.00	0.06674	0.00333	1.21829	0.0597	0.13248	0.00231	829.8	100.85	809	27.33	802	13.17	99
78	21.9	24.5	76.6	0.34	0.12127	0.0039	6.89365	0.21829	0.41259	0.00685	1975	56.15	2097.8	28.08	2226.8	31.24	106
79	137	151	319	0.50	0.12675	0.00268	5.29652	0.11279	0.30331	0.00417	2053.4	36.83	1868.3	18.19	1707.7	20.64	91
80	71.2	85.5	111.8	0.80	0.10853	0.00336	4.98975	0.15263	0.33374	0.00523	1774.8	55.53	1817.6	25.87	1856.5	25.29	102
81	39.3	49.2	44	1.16	0.11139	0.00528	5.14378	0.23744	0.33522	0.00684	1822.1	83.69	1843.4	39.24	1863.6	33.03	101
82	43.7	139	85.4	1.69	0.06259	0.00498	1.06197	0.08274	0.12317	0.00276	694.4	161.04	734.8	40.74	748.8	15.83	102
83	57.2	63	77.2	0.84	0.12058	0.00423	6.09172	0.20972	0.36675	0.00629	1964.8	61.31	1989.1	30.03	2014.1	29.67	101
84	110.9	128.2	413	0.32	0.11926	0.00216	5.71249	0.10627	0.34774	0.00455	1945.1	32.05	1933.3	16.07	1923.8	21.77	100
85	302	351	274	1.30	0.11894	0.0025	5.92185	0.12576	0.36146	0.00494	1940.4	37.14	1964.4	18.45	1989.1	23.39	101
86	63.3	71.1	107	0.68	0.12159	0.00378	6.08974	0.18609	0.36364	0.00587	1979.6	54.33	1988.8	26.65	1999.4	27.76	101
87	48.1	49	66.2	0.74	0.13226	0.00459	7.38284	0.25068	0.40529	0.00715	2128.2	59.51	2158.9	30.36	2193.4	32.8	102
88	36.9	105.8	72.5	1.44	0.06333	0.0052	1.17135	0.09398	0.13429	0.00319	719.4	165.3	787.3	43.95	812.3	18.14	103
89	60.4	58.7	76.3	0.76	0.14071	0.00484	7.83424	0.26314	0.40428	0.00721	2236	58.33	2212.1	30.25	2188.7	33.11	99
90	59.4	60.5	231	0.26	0.12885	0.00275	6.93615	0.14872	0.39088	0.00542	2082.4	37.02	2103.3	19.03	2126.9	25.12	101
91	66	98	327	0.22	0.09796	0.00283	1.99109	0.0567	0.1476	0.00215	1585.6	53.1	1112.5	19.25	887.5	12.1	80
92	58.8	73.2	88.3	0.81	0.11608	0.00412	5.50727	0.1914	0.34455	0.00592	1896.6	62.53	1901.7	29.87	1908.5	28.36	100
93	57.4	159.8	232.1	0.67	0.06606	0.00298	1.14672	0.05082	0.12606	0.00208	808.2	91.76	775.7	24.04	765.4	11.89	99
94	309	251.3	280	0.87	0.18904	0.00318	13.64733	0.23597	0.52433	0.007	2733.9	27.46	2725.6	16.36	2717.5	29.6	100
95	80.1	99	53.5	1.73	0.11166	0.006	4.90328	0.2555	0.31895	0.00703	1826.6	94.35	1802.8	43.95	1784.6	34.34	99
96	65.1	87.3	70.9	1.18	0.1204	0.005	5.6055	0.22642	0.33817	0.00644	1962.2	72.32	1916.9	34.81	1877.9	31.01	98
97	83	100.1	67.2	1.41	0.1146	0.00488	5.46156	0.22662	0.34617	0.00661	1873.6	74.91	1894.6	35.61	1916.3	31.63	101
98	50	147.6	141.4	0.99	0.07747	0.00442	1.38825	0.07706	0.13018	0.00256	1133.2	109.49	884	32.76	788.9	14.59	89
99	48.7	55.5	88.5	0.59	0.12208	0.00439	6.10044	0.21414	0.36299	0.00635	1986.9	62.61	1990.3	30.62	1996.3	30.03	100
100	52.7	56.4	46.3	1.12	0.14295	0.00614	7.82456	0.32525	0.39761	0.00825	2263.3	72.24	2211	37.42	2158	38.03	98

3 测试结果

本次对样品 P13U-Pb4-1 的 100 粒锆石进行了 U-Pb 年龄测试(表 1)。100 粒碎屑锆石的谐和曲线图及年龄频谱图见图 4。最年轻的锆石 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄为 652.5 Ma(46 号锆石),CL 图像(图 5)显示,该锆石可见较为明显的岩浆振荡生长环带,自形程度较高,呈长柱状,个别棱角较为尖锐,CL 图像为亮色,Th/U 为 0.63,为岩浆锆石,具有近源沉积的特点。其余 99 颗锆石形成 3 个点群,分别为 715~887 Ma、1700~2300 Ma、2400~2800 Ma。

715~887 Ma 区间共有 35 个碎屑锆石测点,占总测点的 35.0%,峰值年龄为 800 Ma。CL 图像显示,分析点 45、54、65、68、77 等锆石可见明显的岩浆振荡生长环带,自形程度较高,多呈长柱状,可达 150~250 μm ,个别棱角较为尖锐,CL 图像为亮色,Th/U 一般大于 0.4,为岩浆锆石,具有近源沉积的特点。

1700~2300 Ma 区间共有 53 个碎屑锆石测点,占总数的 53.0%,峰值年龄为 1911 Ma。CL 图像显示,以分析点 56、81、96、47、34、90 等为代表的锆石呈现出较为清晰的岩浆振荡生长环带,具有一定的磨圆度,CL 图像为亮色,Th/U 一般大于 0.4,为岩浆锆石;分析点 39、5、11 等锆石呈面状分布、分析点 84 呈面形分带增生、分析点 31 呈班杂状,该类锆石多呈圆卵形、不规则状,CL 图像呈暗色,以这些为代表的锆石多为变质锆石,该类锆石 Th/U 大于 0.1,李长民(2009)指出麻粒岩相中的变质增生锆石有时会出现 Th/U 大于 0.1 的例外。该年龄段的锆石

呈磨圆状,可能为远距离搬运所致。

2400~2800 Ma 区间共有 12 个碎屑锆石点,占总数的 12.0%,峰值年龄为 2535 Ma。CL 图像显示,以 04、16、17 等为代表的锆石内部具有较弱的岩浆振荡生长环带,虽然棱角已被磨去,外形具一定磨圆,但其自形、柱状的特征仍可显现,Th/U 一般大于 0.4,表现为岩浆成因。该年龄段的锆石呈磨圆状,可能为远距离搬运所致。

4 讨论

4.1 特瑞爱肯冰期下限的讨论

关于国内对特瑞爱肯冰期、南沱冰期底界年龄的研究成果见表 2。本次测得最年轻的锆石 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄为 652.5 Ma,可能代表了特瑞爱肯组的最大沉积年龄。何景文(2012)获得的阿勒通沟组上部流纹岩的 U-Pb 年龄为 642 ± 8 Ma,限定了阿勒通沟冰期顶界年龄,也说明特瑞爱肯冰期的底界年龄应该晚于 642 ± 8 Ma。何景文(2015)获得的阿勒通沟组上部火山岩的年龄为 655.9 ± 4.4 Ma 和 654 ± 10 Ma,认为该特瑞爱肯冰期的下限为 655 Ma,与本文获得的 652.5 Ma 接近,也说明本文中 youngest 碎屑锆石并未经过长时间的搬运,应为同喷发锆石或准同喷发锆石。虽然本文 652.5 Ma 的锆石测年数据仅有一个,但是该数据与区域上冰期的发生时限具有很好地对应性,且本文中 youngest 碎屑锆石为同喷发锆石或准同喷发锆石,间接说明该数据具有可信度,同时考虑到本文所分析的样品直接采自特瑞爱肯组底部,因此认为 652.5 Ma 限定特瑞爱肯组的最大沉积年龄更有说服力。

表 2 新疆库鲁克塔格地区新元古代特瑞爱肯冰期、南沱冰期及 Marinoan 冰期下限年龄统计
Table 2 Statistics of the lower limit ages of the Neoproterozoic Tereekan glaciation, Nantuo glaciation and Marinoan glaciation in Quruqtagh area, Xinjiang

编号	采样层位	岩性	年龄 (Ma)	数据来源	含义
1	特瑞爱肯组底部	含冰砾砾砂质泥岩	652.5 $\pm$ 12.27	本文	特瑞爱肯冰期下限
2	阿勒通沟组上部	流纹岩	642 $\pm$ 8	何景文,2012	特瑞爱肯冰期下限
3	阿勒通沟组上部	火山岩	655.9 $\pm$ 4.4; 654 $\pm$ 10	何景文,2015	特瑞爱肯冰期下限
4	大塘坡组顶部	凝灰岩	654.5 $\pm$ 3.8	Zhang Shihong et al. , 2008	南沱冰期下限
5	大塘坡组底部	凝灰岩	667.3 $\pm$ 9.9	尹崇玉等,2006	南沱冰期下限
6	大塘坡组底部	凝灰岩	664.2 $\pm$ 2.4	余文超等,2016	南沱冰期下限
7	大塘坡组底部	凝灰岩	662.9 $\pm$ 4.3	Zhou Chuanming et al. ,2004	南沱冰期下限
8	大塘坡组中部	凝灰岩	654.2 $\pm$ 2.7	Liu Pengju et al. ,2015	南沱冰期下限
9	南沱组底部	含砾泥质砂岩	649.3 $\pm$ 6.2	蔡娟娟等,2018	南沱冰期下限
10	南沱组底部	含砾泥质砂岩	652.1 $\pm$ 6.7	蔡娟娟等,2018	南沱冰期下限
11	阿曼 Fiq 组	火山碎屑沉积	645	Bowring et al. ,2007	Marinoan 冰期沉积时代
12	Tapley Hill 组	黑色页岩	643.0 $\pm$ 2.4	Kendall et al. ,2006	Marinoan 冰期下限
13	Appila 组	火山灰	659.7 $\pm$ 5.3	Fanning et al. ,2008	Marinoan 冰期下限

除库鲁克塔格地区以外,在我国华南地区也发育有与特瑞爱肯冰期启动年龄相近的南沱冰期。Zhang Shihong 等(2008)研究表明我国华南地区南沱组之下大塘坡组顶部凝灰岩层的锆石 U-Pb 年龄为 654.5 ± 3.8 Ma, Liu Pengju 等(2015)获得大塘坡组中部凝灰岩年龄为 654.2 ± 2.7 Ma, 两者表明南沱组的沉积年龄晚于 654 Ma。蔡娟娟等(2018)获得的南沱组底部含砾泥质砂岩的碎屑锆石年龄为 649.3 ± 6.2 Ma 和 652.1 ± 6.7 Ma, 说明南沱组冰成杂砾岩最大沉积年龄应小于 650 Ma。Zhou Chuanming 等(2004)、尹崇玉等(2006)、余文超等(2016)分别获得大塘坡组底部凝灰岩年龄为 662.9 ± 4.3 Ma、 667.3 ± 9.9 Ma、 664.2 ± 2.4 Ma, 三组年龄既约束了大塘坡组底界年龄, 也间接说明南沱组冰成杂砾岩的最大沉积年龄应远小于 663 Ma。通过对比我国华南地区南沱冰期和塔里木地区特瑞爱肯冰期的下限年龄(图 6), 进一步说明特瑞爱肯冰期和南沱冰期在启动时间上基本吻合。特瑞爱肯冰期可以与 Marinoan 冰期相对比, 已得到众多研究者的认可(Xiao Shuhai et al., 2004; Xu Bei et al., 2009; 高林志等, 2013; 何景文, 2015)。关于 Marinoan 冰期下限的研究成果见表 2。Bowring 等(2007)认为 Marinoan 冰期的沉积时代为 645 Ma, 说明 Marinoan

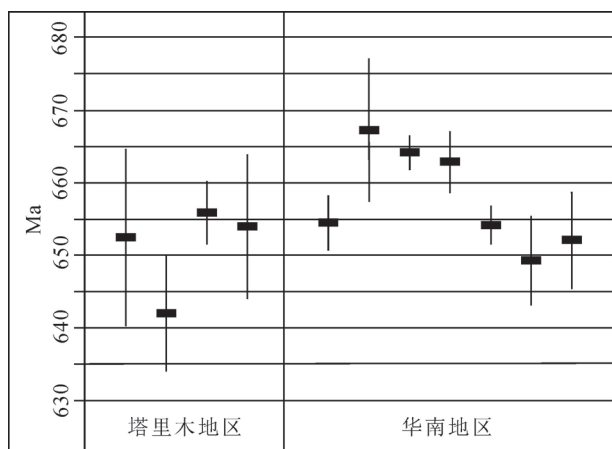


图 6 新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯冰期和南沱冰期启动时间对比(由表 2 中编号为 1~10 的年龄数据绘制,黑色方块代表冰期下限年龄,相应的竖线长度代表数据误差范围)

Fig. 6 Comparison of lower limit ages of the Neoproterozoic Tereekan glaciation and Nantuo glaciation in Quruqtagh area, Xinjiang (Drawn from the ages data numbered 1~10 in Table 2, the black block represents the lower limit of the Tereeken glaciation, and the corresponding vertical line length represents the data error range)

冰期的下限应该早于 645 Ma。Kendall 等(2006)获得 Marinoan 冰期的底界年龄为 643.0 ± 2.4 Ma, 考虑到年龄误差, 与本文结果较为相近。Fanning 等(2008)认为 Marinoan 冰期的底界年龄为 659.7 ± 5.3 Ma, 与本文结果较为相近。综上所述, 特瑞爱肯冰期及 Marinoan 冰期在起始时间上具有等时性。

4.2 库鲁克塔格新元古代沉积源区分析

通过对特瑞爱肯底部含冰砾砾砂质泥岩的碎屑锆石年代学分析,其测年数据主要集中在 715~887 Ma、1700~2300 Ma、2400~2800 Ma 三个区间,峰值分别为 800 Ma、1911 Ma、2525 Ma。

从 U-Pb 年龄谱图可以看出,碎屑锆石 715~887 Ma 区间最为显著。该时间与吕彪(2017)指出的新元古代中晚期(730~840 Ma)岩浆活动相符,说明广泛发育于塔里木克拉通北缘的新元古代中晚期花岗岩类均可以为特瑞爱肯组冰碛岩提供物源。从 CL 图像来看,715~887 Ma 年龄区间的锆石显示岩浆锆石成因的特点,锆石内部结构具有清晰振荡环带,个别锆石呈自形,棱角较为尖锐,说明其未经过远距离搬运,表现为近源沉积。因此,新元古代中晚期岩浆岩可以作为特瑞爱肯冰期的剥蚀源,且为主要物源。

从 U-Pb 年龄谱图可以看出,碎屑锆石 1700~2300 Ma 区间较为显著,峰值为 1911 Ma,这与古元古代晚期连续的岩浆活动及变质事件时限 2.1~1.8 Ga 较为接近。从 CL 图像来看,1700~2300 Ma 年龄区间的锆石可以分为两类,一类为岩浆锆石,内部具有较为清晰的岩浆振荡生长环带,CL 图像为亮色,具有一定的磨圆度,该类锆石可能来源于本地的古元古代岩体,如 Shu 等(2011)报告的 1931 ± 131 Ma 的花岗片麻岩、Long 等(2010)报告的 1915 ± 13 Ma 的花岗岩以及 Lei Ruxiong 等(2012)报告的 1944 ± 19 Ma 的花岗闪长岩。另一类锆石为变质锆石,该类锆石具有面状分布、面形分带增生、斑杂状的特点,可能来源于具有角闪岩相至麻粒岩相的古元古代兴地塔格群。因此,库鲁克塔格地区 1700~2300 Ma 的变质岩和岩浆岩在经历了较远搬运后为特瑞爱肯冰期提供物源,为次要物源。

2400~2800 Ma 区间段没有特别明显的峰值,微弱的峰值出现在 2535 Ma,该年龄与辛格尔片麻岩的形成年龄 2565 ± 18 Ma (胡霁琴等, 2006)、兴地变质岩浆杂岩结晶年龄 2.64~2.46 Ga (邓兴梁等, 2008; Long et al., 2010; Shu et al., 2011) 较为一致。2800~2350 Ma 年龄区间的锆石内部具有较弱的岩浆振荡生长环带, Cl 图像较为明亮, 其外形个

别具有棱角状,个别具有一定磨圆,但仍可看出很好的柱状晶体特征,表现为岩浆锆石成因,说明新太古代—古元古代早期的火成岩在经历搬运后可以为特瑞爱肯冰期提供少量物源。

5 结论

(1)本文首次通过对新疆库鲁克塔格地区特瑞爱肯组底部的含冰碛砾砂质泥岩进行锆石 U-Pb 同位素测年,获得最年轻锆石年龄为 652.5 Ma,代表特瑞爱肯冰期时代下限,为特瑞爱肯冰期的开始时间提供了年代学依据。通过对比南沱冰期、Marinoan 冰期与特瑞爱肯冰期的开始时间,认为本文获得的 652.5 Ma 的年龄与 Marinoan 冰期及南沱冰期下限年龄的研究结果较为一致,说明三者具有等时性。

(2)本次锆石 U-Pb 同位素测年获得较为集中的三组数据,分别为 715~887 Ma、1700~2300 Ma、2400~2800 Ma。通过分析认为:715~887 Ma 的新元古代中晚期岩浆岩为特瑞爱肯冰期的主要物源,且为近源沉积;1700~2300 Ma 的变质岩和岩浆岩在经历了较远搬运后为特瑞爱肯冰期提供物源,为次要物源;2800~2400 Ma 的新太古代—古元古代早期的火成岩在经历搬运后可以为特瑞爱肯冰期提供少量物源。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

曹仁关. 1991. 新疆南雅尔当山震旦系的新观察. 地质通报, (1): 30~34.

蔡娟娟, 崔晓庄, 兰中伍, 王剑, 江卓斐, 邓奇, 卓皆文, 陈凤霖, 江新胜. 2018. 华南扬子陆块成冰纪冰川作用的启动时限及其全球对比. 古地学报, 20(1): 66~86.

邓兴梁, 舒良树, 朱文斌, 马东升, 王博. 2008. 新疆兴地断裂带前寒武纪构造—岩浆—变形作用特征及其年龄. 岩石学报, 24(12): 2800~2808.

葛玉魁, 王成善, 李亚林, 张玉修. 2012. 松潘地区尕斯库勒白垩统热鲁组物源分析及其意义. 大地构造与成矿学, 36(2): 301~311.

高振家, 朱诚顺. 1984. 新疆前寒武地质. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社: 1~151.

高林志, 王宗起, 许志琴, 杨经绥, 张维. 2010. 塔里木盆地库鲁克塔格地区新元古代冰碛岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄新证据. 地质通报, 29(2~3): 205~213.

高林志, 郭宪璞, 丁孝忠, 宗文明, 高振家, 张传恒, 王自强. 2013. 中国塔里木板块南华纪成冰事件及其地层对比. 地球学报, 34(1): 39~57.

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.

胡霭琴, 韦刚健, 邓文峰, 张积斌, 陈林丽. 2006. 天山东段 1.4 Ga 花岗岩长质片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球化学, 35(4): 333~345.

黄晶, 储雪蕾, 张启瑞, 冯连君. 2007. 新元古代冰期及其时代. 地质前缘, 14(2): 249~256.

何景文. 2012. 塔里木库鲁克塔格地区新元古代冰期和前寒武纪地壳演化的初步探讨. 导师: 朱文斌. 南京: 南京大学硕士学位论文: 1~102.

何景文. 2015. 塔里木克拉通北缘与伊利地块新元古代冰碛岩地层对比研究. 导师: 朱文斌. 南京: 南京大学博士学位论文: 1~246.

寇晓威, 王宇, 卫巍, 何金有, 徐备. 2008. 塔里木板块上元古界阿勒通沟组和黄羊沟组: 新识别的冰期和间冰期? 岩石学报, 24(12): 2863~2868.

吕彪. 2017. 新疆库鲁克塔格新元古代花岗岩类年代学及成因研究. 导师: 郭瑞卿. 乌鲁木齐市: 新疆大学硕士学位论文: 1~62.

李怀坤, 陆松年, 相振群, 周红英, 李惠民, 刘敦一, 宋彪, 郑健康, 顾瑛. 2007. 北祁连山西段北大河岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究. 地质论评, 53(1): 132~140.

李长民. 2009. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述. 地质调查与研究, 33(3): 161~174.

李洪颜, 徐义刚, 黄小龙, 何滨, 罗震宇, 燕滨. 2009. 华北克拉通北缘晚古生代活化: 山西宁武—静乐盆地石炭统太原组碎屑锆石 U-Pb 测年及 Hf 同位素证据. 科学通报, 54(5): 632~640.

罗志文, 徐备, 何金有. 2016. 新疆库鲁克塔格地区特瑞艾肯冰期时代的碎屑锆石年代学制约. 北京大学学报(自然科学版), 52(3): 467~474.

宋卫卫, 周建波, 郭晓丹, 李雨珂. 2012. 松辽地块大地构造属性: 古生界碎屑锆石年代学的制约. 世界地质, 31(3): 522~535.

徐备, 寇晓威, 宋彪. 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.

尹崇玉, 王砚耕, 唐烽, 万渝生, 王自强, 高林志, 邢裕盛, 刘鹏举. 2006. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRIMP II U-Pb 年龄. 地质学报, 80(2): 273~278.

余文超, 杜远生, 周琦, 王萍, 袁良军, 徐源, 潘文, 谢小峰, 齐靓, 焦良轩. 2016. 黔东南松桃地区大塘坡组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质论评, 61(3): 539~549.

Abati J, Aghzer A M, Gerdes A, Ennih N. 2010. Detrital zircon ages of Neoproterozoic sequences of the Moroccan Anti-Atlasbelt. Precambrian Research, 181: 115~128.

Bowring S A, Grotzinger J P, Condon D J, Ramezani J, Newall M J, Allen P A. 2007. Geochronologic constraints on the chronostratigraphic frame work of the Neoproterozoic Huqf Supergroup, Sultanate of Oman. American Journal of Science, 307(10): 1097~1145.

Bruguiet O, Lancelot J R, Malavieille J. 1997. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan Ganze flysch(Central China): provenance and tectonic correlations. Earth and Planetary Science Letters, 152: 217~231.

Cao Rengguan. 1991&. New observations of the Sinian System in the southern Yardang Mountains, Xinjiang. Geological Bulletin of China, (1): 30~34.

Cai Juanjuan, Cui Xiaozhuang, Lan Zhongwu, Wang Jian, Jiang Zhuofei, Deng Qi, Zhuo Jiewen, Chen Fenglin, Jiang Xinsheng.

- 2018&. Onset time and global correlation of the Cryogenian glaciations in Yangtze Block, South China. *Journal of Palaeogeography*, 20(1): 66~86.
- Deng Xingliang, Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Ma Dongsheng, Wang bo. 2008&. Precambrian tectonism, magmatism, deformation and geochronology of igneous rocks in the Xingdi fault zone, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2800~2808.
- Dickinson W R, Gehrels G E. 2009. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters*, 288: 115~125.
- Fanning C M, Link P K. 2008. Age constraints for the Sturtian glaciation: date from the Adelaide Geosyncline, South Australia and Pocatello Formation, Idaho, USA. *Geological Society of Australia Abstracts*, 91: 57~62.
- Gao Zhenjia, Zhu Chengshun. 1984#. *Precambrian Geology in Xinjiang, China*. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House: 1~151.
- Gao Zhenjia, Qian Jianxin. 1985. Sinian glacial deposits in Xinjiang, Northwest China. *Precambrian Research*, 29: 143~147.
- Gao Linzhi, Wang Zongqi, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Wei. 2010&. A new evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of the Neoproterozoic diamictite in Quruqtagh area, Tarim basin, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 29(2~3): 205~213.
- Gao Linzhi, Guo Xianpu, Ding Xiaozhong, Zong Wenming, Gao Zhenjia, Zhang Chuanheng, Wang Ziqiang. 2013&. Nanhuan glaciation event and its stratigraphic correlation in Tarim Plate, China. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(1): 39~57.
- Gao Wei, Zhang Chuanheng, Li Yong'an. 2011. Granite porphyry SHRIMP U-Pb age at top of the Nanhuan Talisaye Formation in Guozigou, Ili area, and implications for glaciogenic diamictite. *Geological Review*, 57(4): 495~504.
- Ge Yukui, Wang Chengshan, Li Yalin, Zhang Yuxiu. 2012&. Provenance study on sediments in the Gahai Basin of the Songpan and its geological significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(2): 301~311.
- Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, Schrag D P. 1998. Aneoproterozoic Snowball Earth. *Science*, 281: 1342~1346.
- Hu Aiqin, Wei Gangjian, Deng Wenfeng, Zhang Jibin, Chen Linli. 2006&. 1.4 Ga SHRIMP U-Pb age for zircons of granodiorite and its geological significance from the eastern segment of the Tianshan Mountains, Xinjiang, China. *Geochimica*, 35(4): 333~345.
- Huang Jing, Chu Xuelei, Zhang Qirui, Feng Lianjun. 2007&. Constraints on the age of Neoproterozoic global glaciations. *Earth Science Frontiers*, 14(2): 249~256.
- He Jingwen. 2012&. The preliminary discussion on the era of Neoproterozoic glaciations in Quruqtagh and the Precambrian crustal evolution of the Tarim Craton. Supervisor: Zhu Wenbin. Nanjing: Master Degree Dissertation of Nanjing University: 1~102.
- He Jingwen. 2015&. The comparison study of Neoproterozoic diamictites-bearing strata in the northern Tarim Craton and Yili Block. Supervisor: Zhu Wenbin. Nanjing: Doctoral Dissertation of Nanjing University: 1~246.
- Kirschvink J L. 1992. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the Snowball Earth. *The Proterozoic Biosphere*. New York: Cambrian University Press: 51~52.
- Kendall B S, Creaser R A, Selby D. 2006. Re-Os geochronology of postglacial black shales in Australia: constraints on the timing of "Sturtian" glaciation. *Geology*, 34: 729~732.
- Kou Xiaowei, Wang Yu, Wei Wei, He Jinyou, Xu Bei. 2008&. The Neoproterozoic Altungol and Huangyanggou formations in Tarim plate: Recognized newly glaciation and interglaciation? *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2863~2868.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.0: Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 1~70.
- Long X P, Yuan C, Sun M, Zhao G C, Xiao W J, Wang Y J, Yang Y H, Hu A Q. 2010. Archean crustal evolution of the Taim Craton, NW China: Zircon U-Pb and Hf isotopic constraints and implications. *Precambrian Research*, 180: 272~284.
- Lei Ruxiong, Wu Changzhi, Chi Guoxiang, Chen Gang, Gu Lianxing, Jiang Yaohui. 2012. Petrogenesis of the Palaeoproterozoic Xishankou pluton, northern Tarim block, northwest China: implications for assembly of the supercontinent Columbia. *International Geology Review*, 54: 1829~1842.
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, Zhou Hongying, Li Huimin, Liu Dunyi, Song Biao, Zheng Jiankang, Gu Ying. 2007&. SHRIMP U-Pb geochronological research on detrital zircons from the Beidahe Complex-Group in the western segment of the North Qilian Mountains, Northwest China. *Geological Review*, 53(1): 132~140.
- Li Changmin. 2009&. A review on the mineralogy and situ microanalytical dating techniques of zircons. *Geological Survey and Research*, 33(3): 161~174.
- Li Hongyan, Xu Yigang, Huang Xiaolong, He Bin, Luo Zhenyu, Yan Bin. 2009#. Activation of northern margin of the North China Craton in Late Paleozoic: Evidence from U-Pb dating and Hf isotopes of detrital Zircons from The Carboniferous Taiyuan Formation in the Ningwu-Jingle basin. *Chinese Science Bulletin*, 54(5): 632~640.
- Liu Pengju, Li Xianhua, Chen Shouming, Lan Zhongwu, Yang Ben, Shang Xiaodong, Yin Chongyu. 2015. New SIMS U-Pb zircon age and its constraint on the beginning of the Nantuo glaciation. *Science Bulletin*, 60(19): 958~963.
- Luo Zhiwen, Xu Bei, He Jinyou. 2017&. U-Pb detrital zircon age constraints on the Neoproterozoic Tereeken Glaciation in the Quruqtagh area, Northwestern China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 52(3): 467~474.
- Lü Biao. 2017&. Geochronology and petrogenesis of Neoproterozoic granitoid in Quruqtagh, Xinjiang. Supervisor: Guo Ruiqin. Urumqi: Master degree dissertation of Xinjiang University: 1~162.
- Richards A, Argles T, Harris N, Parrish R, Ahmad T, Darbyshire F, Draganits E. 2005. Himalayan architecture constrained by isotopic tracers from clastic sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 236: 773~796.
- Shu L S, Deng X L, Zhu W B, Ma D S, Xiao W J. 2011. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: new geochronological insights from the Quruqtagh domain. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 774~790.
- Song Weiwei, Zhou Jianbo, Guo Xiaodan, Li Yuke. 2012&. Geotectonic setting of Songliao block: restriction from Paleozoic detrital zircon U-Pb dating. *Global Geology*, 31(3): 522~535.
- Tucker R T, Roberts E M, Hu Y, Kemp A I S, Salisbury S W. 2013. Detrital zircon age constraints for the Winton Formation, Queensland: Contextualizing Australia Late Cretaceous dinosaur faunas. *Gondwana Research*, 24: 767~779.
- Wiedenbeck M, Alle P, Griffin W L. 1995. Three natural zircon

standards for U—Th—Pb, Lu—Hf, trace-element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1): 1~23.

Xu Bei, Kou Xiaowei, Song Biao, Wei Wei, Wang Yu. 2008&. SHRIMP dating of the uper Proterozoic volcanic rocks in the Tarim plate and constraints on the Neoproterozoic glaciation. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2857~2862.

Xu Bei, Xiao Shuhai, Zou Haibo, 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.

Xie Hangqiang, Liu Dunyi, Yin Xiaoyan, Zhou Hongyi, Du Lilin, Wan Yusheng. 2012. Formation age and tectonic environment of the Gantaohu Group, North China Craton: Geology, geochemistry, SHRIMP zircon geochronology and Hf—Nd isotopic systematics. *Chinese Science Bulletin*, 57(36): 4735~4745.

Xiao Shuhai, Bao Huiming, Wang Haifeng, Kaufman Alan J, Zhou chuanming, Li Guoxiang, Yuan Xunlai, Ling Hongfei. 2004. The Neoproterozoic Quruqtagh Group in Eastern Chinese Tianshan: evidence for a post-Marinoan glaciation. *Precambrian Research*, 130(4): 1~26.

Yin Chongyu, Wang Yangeng, Tang Feng, Wan Yusheng, Wang Ziqiang, Gao Linzhi, Xing Yusheng, Liu Pengju. 2006&. SHRIMP II U-Pb Zircon date from the Nanhua Datangpo Formation in Songtao County, Guizhou Province. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 273~278.

Yu Wenchao, Du Yuansheng, Zhou Qi, Jin Zhongguo, Wang Xiaomei, Qin Yongjun, Cui Tao. 2014&. Provenance of bauxite beds of the Lower Permian in Wuchuan—Zheng’ an—Daozhen area, northern Guizhou Province; Evidence from detrital zircon chronology. *Journal of Palaeogeography*, 16(1): 19~29.

Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Biao, Yang Yueheng. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb and in-situ Lu-Hf isotope analyses of a tuff from Western Beijing: Evidence For missing Late Paleozoic arc volcano eruptions at the northern margin of the North China block. *Gondwana Research*, 12: 157~165.

Zhang Shihong, Jiang Ganqing, Han Yigui. 2008. The age of the Nantuo Formation and Nantuo glaciation in South China. *Terra Nova*, 20: 289 ~ 294. Zhou Chuanming, Tucker R, Xiao Shuhai, Peng Zhanxiong, Yuan Xunlai, Zhe Chen. 2004. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in south China. *Geology*, 32(5): 437~440.

Zhou Chuanming, Tucker R, Xiao Shuhai, Peng Zhanxiong, Yuan Xun Lai, Zhe Chen. 2004. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in south China. *Geology*, 32(5): 437~440.

The lower limit and provenance analysis of the Neoproterozoic Tereeken glaciation in Quruqtagh area, Xinjiang

DENG Jun¹⁾, LIU Chuanpeng^{1, 2, 3)}, GE Yuejin¹⁾, LIU Tong¹⁾, WANG Kaikai¹⁾

1) The 7th Institute of Geology & Mineral Exploration of Shandong Province, Linyi, Shandong, 276006;
2) Key Laboratory of Metallogenic Mechanism and Exploration of Diamonds in Shandong Province, Linyi, Shandong, 276006;
3) Academician Workstation of Diamond Metallogenic Mechanism and Exploration in Shandong Province, Linyi, Shandong, 276006

Objectives: The Quruqtagh area is located in the northeastern of the Tarim Block. The Quruqtagh area has four Neoproterozoic tillite units. It is of great significance to study the response of the Tarim block to the Neoproterozoic global glacial time. Due to the lack of chronological research, the start-up time of the Neoproterozoic Tereeken Glaciation is controversial. In this paper, zircon U-Pb ages of the tillites at the bottom of the Neoproterozoic Tereeken Formation were determined for the first time. The start time of the Tereeken Glaciation is estimated and the provenances are discussed.

Methods: On the basis of detailed field geological survey, we performed the petrology and the zircon U-Pb dating of tillite at the bottom of the Tereeken Formation.

Results: We obtained 100 sets of valid data, the youngest zircon age is 652. 5±12. 0 Ma, and the other three groups are 715~887 Ma, 1700~2300 Ma and 2400~2800 Ma.

Discussion and Conclusion: U-Pb dating of detrital zircons from the tillite at the bottom of the Tereeken Formation yielded 100 groups of U-Pb effective age and the youngest zircon ages 652. 5±12 Ma, represent the maximum depositional age (lower limit time) of the Tereeken Formation and the lower limit of the Tereeken glaciation, which is consistent with the global Marinoan glaciation and Nantuo glaciation. We consider that the Tereeken glaciation, Nantuo glaciation and Marinoan glaciation are isochronous. The peak ages of the detrital zircons from the Tereeken Formation are 800 Ma and 1911 Ma, indicating that the provenances of the Tereeken Formation are the rocks aged 715~887 Ma, 1700~2300 Ma and 2400~2800 Ma.

Keywords: detrital zircon; U-Pb geochronology; Neoproterozoic Tereeken glaciation; Quruqtagh, Xinjiang

Acknowledgements: This research was supported by Two Power Price Items of Xinjiang Geological Exploration Fund: 1 : 50000 Investigation of Geological Mineral (Nos: K45E014016, K45E014017, K45E015015, K45E015016, K45E015017) in Dacahu, East Section of Chinese South Tianshan Mountains, Xinjiang(No. T15-1-LQ25)

First author: DENG Jun, male, born in 1990, engineer, mainly engaged in regional geology and mineral survey; Email: 645648152@qq. com

Corresponding author: LIU Chuanpeng, male, born in 1981, senior engineer, mainly engaged in regional geology and mineral survey; Email: liuchuanpeng666@163. com

Manuscript received on: 2018-11-27; Accepted on: 2020-02-22; Edited by: LI Man, LIU Zhiqiang

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 02. 005

加强堡垒,共抗新型冠状病毒

2020 年 2 月 3 日,在新型冠状病毒感染肺炎疫情防控工作的关键时刻,中国地质学会党委向全体中国地质学会会员发出了“关于‘抗击新型冠状病毒、打赢疫情防控阻击战’的倡议书”(<http://www.geosociety.org.cn/?category=bmV3cw==&catiegodry=OTUzOA==>)。

倡议书号召各理事单位、各分支机构、各省级地质学会和全国广大会员,要进一步落实《中共中央关于加强党的领导和打赢疫情防控阻击战提供坚强政治保证的通知》,深入贯彻落实习近平总书记关于各级党组织和广大党员干部要“团结带领广大人民群众,坚定不移把党中央决策部署落到实处,坚决打赢疫情防控阻击战”的重要指示精神,坚定信心、共克时艰,为坚决打赢疫情防控阻击战继续贡献智慧和力量。

(1) 坚决同以习近平总书记为核心的党中央保持高度一致,全面落实党中央的决策部署:要不断增强“四个意识”(即:政治意识、大局意识、核心意识、看齐意识)、坚定“四个自信”(即:中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信)、做到“两个维护”(即:坚决维护习近平总书记党中央的核心、全党的核心地位,坚决维护党中央权威和集中统一领导),切实把思想和行动统一到习近平总书记重要指示精神上来,按照坚定信心、同舟共济、科学防治、精准施策的要求切实做好工作,坚定不移地把党中央的各项决策部署落到实处。

(2) 党员引领,做出表率:党员干部要以身作则,客观、科学地对待当前的疫情防控工作,在疫情防控中积极作为、听从指挥、认真落实,要以疫情抗击第一线的医疗卫生科技工作者为榜样,充分发挥党组织战斗堡垒作用和共产党员先锋模范作用。发挥学会的科技社团优势,带头遵守疫情防控各

项制度规定,主动传播疫情防控科普知识,不信谣、不传谣,做好舆论引导工作。

(3) 坚定信心,科学防控:全国广大地质科技工作者要坚定信心,按照当地政府要求严格做好个人防护,科学防控疫情。做好工作区域防护、居家个人防护,做到室内常通风,尽量减少外出,外出戴口罩,勤洗手。发现疫情主动报告、主动隔离、主动就诊。科学防控、精准防控、全民防控,为防控疫情贡献自己的力量。

(4) 加强宣传,弘扬社会正能量:要及时总结宣传党员、会员在疫情防控工作中涌现出的先进典型和感人事迹,凝聚众志成城、全力以赴、共克时艰的强大正能量。

(5) 奉献爱心,共克时艰:当前,面对严峻形势和巨大危险,广大医疗卫生科技工作者正在为遏制疫情蔓延势头和保障群众生命健康而努力奋战。支援一线、助力打赢是我们义不容辞的责任,学会党委希望学会各理事单位、分支机构、省级地质学会、全国广大会员和地质科技工作者献出自己的爱心,为疫情严重地区和医疗机构提供力所能及的帮助。

倡议书指出,在以习近平同志为核心的党中央的坚强领导下,在各级党委和政府的共同努力下,只要我们从自身做起,坚定信心、同舟共济、科学防治、精准施策,就一定能够打赢这场疫情防控阻击战!

(华丽娟, 王涛 据 <http://www.geosociety.org.cn/?category=bmV3cw==&catiegodry=OTUzOA==>)

HUA Lijuan, WANG Tao: To strengthen the castle for fighting the new coronavirus