中国科学: 地球科学 2011 年 第 41 卷 第 3 期: 291 ~ 298
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

库鲁克塔格地区最古老岩石的发现及其地质意义

龙晓平[①*], 袁超[①], 孙敏[②], 肖文交[③], 赵国春[②], 周可法[④], 王毓婧[①], 胡霭琴[①]

① 中国科学院同位素年代学和地球化学重点实验室, 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;
② 香港大学地球科学系, 香港薄扶林道;
③ 岩石圈演化国家重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;
④ 新疆自然资源与生态环境研究中心, 乌鲁木齐 830011
* E-mail: longxp@gig.ac.cn

收稿日期: 2010-02-03; 接受日期: 2010-08-12
国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2007CB411308)、国家自然科学基金(批准号: 40803009, 40772130)和中国科学院、国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划项目资助

摘要 TTG 岩系是塔北库鲁克塔格地区基底岩系的主要组成部分, 主要分布在辛格尔和库尔勒附近. 对库尔勒附近 TTG 质片麻岩锆石 U-Pb 原位微区定年结果显示, 该 TTG 岩石为区内发现的最古老岩石, 形成于 2.65 Ga, 显示库鲁克塔格地区的太古代地体形成于晚太古代末期. 该结果明显晚于塔东阿尔金山北坡的 TTG 岩石, 说明塔里木克拉通最古老的地体可能最早形成于阿尔金山北坡, 到新太古代晚期古陆的规模才延伸至塔北库鲁克塔格地区, 最终形成具有一定规模的太古代克拉通基底. 该 TTG 质片麻岩中锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$值介于–5~1, 两阶段模式年龄 T_{DM2} 主要集中在古-中太古代(3.0~3.3 Ga), 这表明该区新太古代基底岩系主要来自古-中太古代的新生地壳物质的部分熔融, 进而说明库鲁克塔格地区可能不存在>3.3 Ga 的陆壳.

关键词
塔里木克拉通
太古代
地壳生长
锆石定年
Hf 同位素

早前寒武纪是全球克拉通形成的重要时期, 对理解大陆形成和地壳生长极为重要[1~3]. 然而地层记录的不完整以及后期构造活动和变质作用的强烈改造, 往往使得此类研究难度较大[2,4,5]. 中国大陆发育三个古老的克拉通, 分别是华北、扬子和塔里木克拉通. 20 世纪 80 年代开始, 我国地质学家对塔里木地区的太古宙岩石时代和地质演化问题开展了一些重要研究[6~10], 但是与华北和杨子克拉通相比, 其研究工作还处于起步阶段, 相对缺乏精确的年代学资料, 研究程度比较薄弱. 近年来, 华北和扬子克拉通的太古代研究取得了长足的进展, 极大地促进了对地壳物质生长和克拉通形成演化规律的认识[11~19]. 目前华北克拉通已确认的最古老岩石形成于始太古代(3.8 Ga), 为变形的奥长花岗岩及变质的石英闪长岩, 此外还有大量 2.9~3.0 Ga 的 TTG 岩系及~2.5 Ga 的表壳岩等[11~14]. 最近在扬子克拉通的崆岭杂岩中, 也发现了 3.2 Ga 的 TTG 片麻岩和 2.9~3.0 Ga 的 TTG 岩系及混合岩[15~17]. 两个克拉通相似的锆石 U-Pb 年龄, 以及类似的古太古代两阶段 Hf 模式年龄 T_{DM2} (3.4~3.7 Ga)和$\varepsilon_{Hf}(t)$值(0~−10), 反映了华北和扬子克拉通在早前寒武纪可能具有相似的演化历史[13~16]. 而对于塔里木克拉通, 目前对其早期基底岩系的分布及形成时代的研究还不够深入系统, 认识尚不够清楚, 特别是其中的 TTG 岩系. 这些基础研究资料的严重缺乏, 阻碍了塔里木克拉通早前寒武纪演化历史的恢复, 使得塔里木克拉通与华北克拉通、扬子

英文引用格式: Long X P, Yuan C, Sun M, et al. The discovery of the oldest rocks in the Kuluketage area and its geological implications. Sci China Earth Sci, 2011, 54: 342−348, doi: 10.1007/s11430-010-4156-z

克拉通以及全球其他典型古老克拉通的对比研究进展缓慢. 本文通过锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素组成研究, 揭示了库鲁克塔格地区最古老的 TTG 岩石, 结合锆石 Hf 同位素组成及区域最新进展, 探讨了塔里木北缘库鲁克塔格地区早前寒武纪地质演化历史.

1 研究概况

塔里木盆地北缘的库鲁克塔格地区是塔里木克拉通基底的典型出露地区, 近年来的年代学研究工作显示该地区可能发育太古代的地质体[6~10]. 库鲁克塔格地区最古老的前寒武纪结晶基底主要由 TTG 岩系组成, 出露于托格杂岩, 部分混杂出露于原兴地塔格群之中. 托格杂岩分布在辛格尔以南地区, 最初被命名为早太古界达格拉格布拉克群, 此后《新疆维吾尔自治区区域地质志》将托格杂岩及不整合其上的兴地塔格群均划入古元古代[6,20]. 这一时期的研究工作主要集中在岩石的结构构造及矿物组成等方面, 缺少必要的地质年代学研究工作.

20 世纪 90 年代以后, 对托格杂岩形成时代的研究取得了较大进展, 获得了一些太古代同位素年龄, 诸如辛格尔南托格杂岩中斜长角闪岩的~33 亿年 Sm-Nd 等时线年龄[21], 在具 TTG 成分的含蓝石英片麻状花岗岩中得到~2.5 Ga 的颗粒锆石蒸发年龄[22,23], Rb-Sr 等时线年龄、Nd 模式年龄及锆石表面年龄(2.8~3.4 Ga)等[7,24~28]. 基于这些同位素年龄结果, 多数学者倾向认为托格杂岩形成于新太古代[7,22,23,27,28]. 然而, 托格杂岩变质变形强烈, 其 Rb-Sr 和 Sm-Nd 体系易受后期变质作用影响, 难以准确记录岩石形成的年龄. 托格杂岩中锆石内部结构非常复杂, 制约了 U-Pb 年龄地质意义的解释, 尤其是颗粒锆石 U-Pb 定年结果. 因此, 上述年代学资料需要进一步深入细致的工作加以验证.

最近的研究相继发现, 在尉犁蛭石矿附近及库尔勒地区的早元古代兴地塔格群之中, 混杂分布少量早元古代-新太古代的 TTG 质片麻岩[29,30]. 结合 CL 图像特征和 Hf 同位素结果, 本文通过 LA-MC-ICPMS 方法对出露于库尔勒东北的兴地塔格群之中 TTG 质片麻岩进行了锆石 U-Pb 微区定年和 Hf 同位素分析, 进一步确认了该区太古宙岩石的存在并制约了塔北库鲁克塔格地区的地壳形成及演化历史.

2 地质背景及样品描述

库鲁克塔格地区位于塔里木盆地北缘, 北与南天山造山带断层相接, 呈东西向展布(图 1). 区内兴地断裂横贯东西, 出露大量片麻状花岗岩. 最近的研究发现这一地区发育一定量与 Rodinia 超大陆裂解有关的新元古代花岗岩和火山岩[31,32]. 该区地层主要为元古宙地层, 古生界地层分布相对比较局限[6]. 古元古-中元古界地层为一套海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积建造, 新元古界为一套海相碎屑岩和冰碛岩沉积建造[6,10,22].

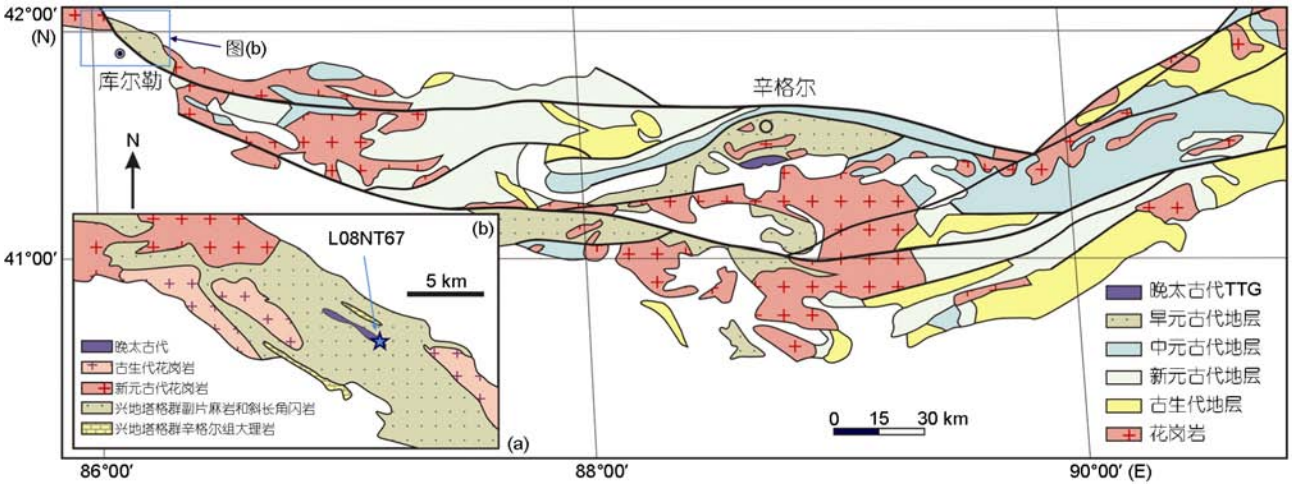

图 1 塔北库鲁克塔格地区地质简图[6]

该区 TTG 岩石主要出露在辛格尔以南的托格杂岩中, 在库尔勒东北也有少量出露. TTG 岩石的主体部分为一套灰色的正片麻岩, 主要岩性为灰色白云母斜长片麻岩、二云母斜长片麻岩和黑云母斜长片麻岩, 多具条带状构造, 局部受强烈的变质变形作用已经混合岩化或已转变为结晶片岩[7,27]. TTG 质片麻岩富钠, 地球化学特征显示其原岩为一套英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩组合, 属 TTG 岩石组合[8,9,22,27].

本文的研究区位于库尔勒以北(图 1(b)), 主体为早元古代的兴地塔格群副片麻岩、斜长角闪岩和大理岩, 被新元古代和古生代花岗岩侵入. TTG 岩石零星混杂于兴地塔格群中, 分布规律不明. 由于该地区构造作用强烈, 兴地塔格群形成于早元古代并且其中广泛发育斜长角闪岩和碳酸盐透镜体, 因而推测 TTG 片麻岩体可能与兴地塔格群构造接触. 本文所采样品为灰黑色黑云斜长片麻岩(41°48′2.3″N, 86°13′56.2″E), 采样位置见图 1(b)所示. 样品成分介于花岗质-花岗闪长质(图 2), 主要矿物为黑云母、石英和斜长石, 此外还有少量角闪石、钾长石及白云母, 局部过渡为条带状混合岩.

3　分析方法

锆石原位 U-Pb 定年在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成, 所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统. 激光剥蚀斑束直径为 25 μm, 频率为 10 Hz, 能量密度约为 2.5 J cm^{-2},以高纯 He 为载气. ^{208}Pb, ^{232}Th 和 ^{238}U 信号用法拉第杯接收, 信号较小的 ^{207}Pb, ^{206}Pb, ^{204}Pb(+^{204}Hg)和 ^{202}Hg 用离子计数器(multi-ion-counters)接收. ^{207}Pb/^{206}Pb, ^{206}Pb/^{238}U 和 ^{207}Pb/^{235}U 的测试精度(2σ)约为 2%, 对标准锆石的精度和准确度约 1%(2σ). 锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标, U 和 Th 含量以锆石 M127(U: 923 ppm, Th: 439 ppm, Th/U: 0.475, Nasdala 等[33])为外标进行校正. 数据处理采用 ICPMSDataCal 4.3 程序[34], 锆石年龄谐和图采用 Isoplot 3.0 程序[35]绘制. 详细实验测试过程见侯可军[36]. 锆石 Hf 同位素采用同一仪器分析, 剥蚀直径为 55 μm, 采用标样锆石 GJ1 作为外标, 分析点与 U-Pb 定年分析点为同一位置. 相关仪器运行条件及详细分析流程见侯可军等[37]. 分析过程中标准锆石 GJ1 的 ^{176}Hf/^{177}Hf 测试加权平均值为 0.282019±0.000018(2SD, n=9), 与推荐值在误差范围内完全一致[38]. 本文计算过程中采用的 ^{176}Lu 衰变常数推荐值为 1.867×10^{-11} a^{-1}[39], 球粒陨石现今推荐值: ^{176}Hf/^{177}Hf=0.282772, ^{176}Lu/^{177}Hf= 0.0332[40]; 亏损地幔现今推荐值: ^{176}Hf/^{177}Hf=0.28325, ^{176}Lu/^{177}Hf= 0.0384[41]; 两阶段 Hf 模式年龄(T_{DM2})采用上地壳 ^{176}Lu/^{177}Hf 平均值 0.0093[42]计算.

4　分析结果

该 TTG 质片麻岩中锆石为无色棱柱状或柱状, 阴极发光图像中可见微弱的岩浆环带结构(图 2). 锆石 U-Pb 定年共分析 26 个点, 分析结果见表 1. 其中

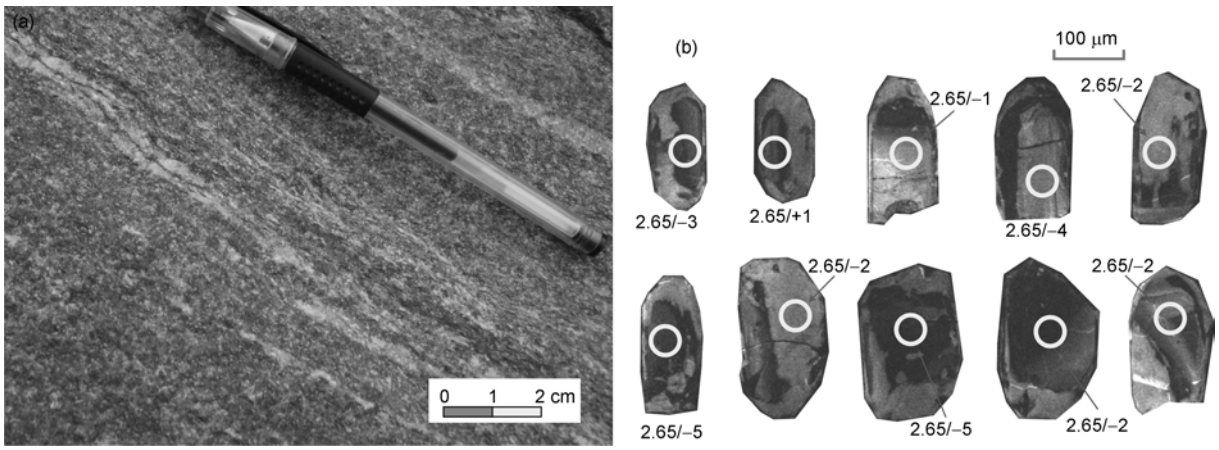

图 2　库尔勒 TTG 岩石照片和锆石阴极发光(CL)图像

年龄单位: Ga

表 1　库尔勒 TTG 岩石(L08NT67)锆石 U-Pb 同位素定年结果

点号	Th (ppm)	U (ppm)	Th/U	比值						年龄(Ma)					
				$^{207}Pb/^{206}Pb$	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	131	261	0.50	0.18011	0.00101	12.617	0.13819	0.50760	0.00543	2654	5	2651	10	2646	23
2	150	386	0.39	0.17841	0.00109	12.619	0.15036	0.51432	0.00673	2638	11	2652	11	2675	29
3	138	320	0.43	0.17938	0.00106	12.501	0.15773	0.50636	0.00688	2647	9	2643	12	2641	29
4	173	319	0.54	0.18496	0.00110	12.891	0.24523	0.50509	0.00962	2698	11	2672	18	2636	41
5	104	178	0.58	0.17489	0.00109	10.923	0.17923	0.45275	0.00733	2605	11	2517	15	2407	33
6	224	319	0.70	0.17607	0.00102	10.648	0.16383	0.43780	0.00636	2616	10	2493	14	2341	28
7	193	196	0.99	0.17744	0.00101	12.522	0.13046	0.51155	0.00528	2629	10	2644	10	2663	23
8	155	292	0.53	0.17948	0.00105	12.518	0.20040	0.50483	0.00772	2648	10	2644	15	2635	33
9	128	279	0.46	0.17835	0.00107	12.701	0.21253	0.51643	0.00868	2639	10	2658	16	2684	37
10	194	357	0.54	0.18073	0.00106	12.507	0.14064	0.50218	0.00588	2661	10	2643	11	2623	25
11	157	301	0.52	0.17996	0.00105	12.692	0.17851	0.51182	0.00731	2654	10	2657	13	2664	31
12	138	321	0.43	0.18027	0.00116	12.750	0.24583	0.51403	0.01007	2655	5	2661	18	2674	43
13	150	304	0.49	0.17764	0.00099	12.394	0.19461	0.50529	0.00770	2631	9	2635	15	2636	33
14	93	222	0.42	0.17776	0.00103	12.600	0.21516	0.51342	0.00854	2632	5	2650	16	2671	36
15	171	273	0.63	0.18227	0.00102	12.790	0.22403	0.50918	0.00908	2674	9	2664	16	2653	39
16	155	265	0.58	0.17954	0.00105	12.681	0.20042	0.51062	0.00760	2650	10	2656	15	2659	32
17	435	390	1.12	0.19085	0.00106	14.148	0.16734	0.53710	0.00610	2750	9	2760	11	2771	26
18	92	242	0.38	0.17595	0.00134	9.4214	0.12158	0.38863	0.00498	2617	13	2380	12	2116	23
19	47	103	0.45	0.17112	0.00110	10.672	0.16963	0.45202	0.00696	2569	11	2495	15	2404	31
20	150	255	0.59	0.18342	0.00100	12.988	0.14585	0.51300	0.00557	2684	10	2679	11	2669	24
21	85	156	0.54	0.17972	0.00097	12.626	0.13065	0.50887	0.00504	2650	8	2652	10	2652	22
22	174	329	0.53	0.18734	0.00104	12.998	0.15193	0.50347	0.00617	2720	9	2679	11	2629	26
23	97	238	0.41	0.17455	0.00131	12.513	0.29027	0.51263	0.01027	2602	12	2644	22	2668	44
24	128	198	0.65	0.18460	0.00109	13.053	0.15870	0.51226	0.00607	2695	10	2683	11	2666	26
25	89	306	0.29	0.17463	0.00107	11.178	0.18726	0.46342	0.00751	2603	10	2538	16	2455	33
26	89	416	0.21	0.17590	0.00119	11.260	0.21038	0.46710	0.00963	2615	11	2545	17	2471	42

25 个分析点给出了比较一致的新太古代 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄(~2.65 Ga), 并构成一条较好的不一致线, 其 Th/U 比值介于 0.21~1.12, 且绝大多数数据点靠近不一致线的上交点, 其上交点年龄为(2659±15) Ma (MSWD=4.2)(图 3). 这一结果与谐和度大于 98%的分析点的 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 加权平均年龄(2652±11) Ma(MSWD=9.0, n=20)非常一致, 说明该 TTG 岩石形成于新太古代(2.65 Ga). 该年龄是塔北库鲁克塔格地区迄今发现的最古老的太古代地质体可靠成岩年龄. 此外, 我们还获得了一个较老的继承锆石核部年龄, $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄为(2720±9) Ma.

我们在对上述 26 个分析点做原位 Hf 同位素分析的基础上, 还分析了 5 个棱柱状岩浆锆石的核部 Hf 同位素组成, 分析结果列于表 2. 所有分析点具有比较接近的初始 Hf 同位素组成(图 4(a)), $^{176}Hf/^{177}Hf(t)$= 0.280964~0.281123, 其 $\varepsilon_{Hf}(t)$值介于–5~1, 两阶段模式年龄(T_{DM2})介于 3.0~3.3 Ga 之间, 类似于辛格尔等地的新太古代 TTG 岩石[30], 显示其物质可能来自早-中太古代的新生地壳物质(图 4(b)).

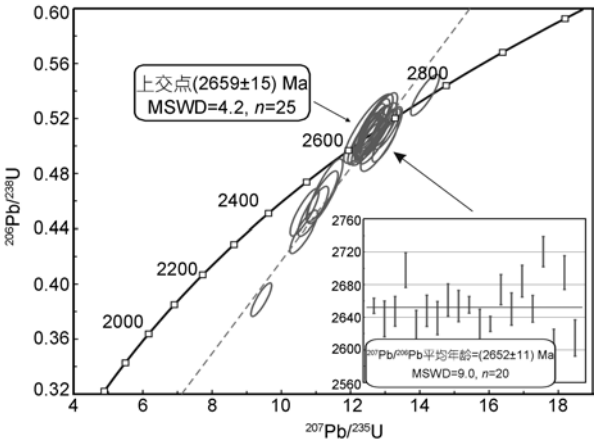

图 3　锆石 U-Pb 谐和图

表 2　库尔勒 TTG 岩石锆石 Hf 同位素数据 [a)]

样号	$^{176}Yb/^{177}Hf$	2σ	$^{176}Lu/^{177}Hf$	2σ	$^{176}Hf/^{177}Hf$	2σ	年龄(Ga)	$^{176}Hf/^{177}Hf(t)$	$\varepsilon_{Hf}(t)$	T_{DM2}	2σ	$f_{Lu/Hf}$
1	0.0312	0.0002	0.000663	0.000002	0.281030	0.000020	2.65	0.280996	–3	3.21	0.04	–0.98
2	0.0424	0.0018	0.000993	0.000041	0.281041	0.000021	2.65	0.280991	–4	3.22	0.03	–0.97
3	0.0393	0.0025	0.001173	0.000105	0.281182	0.000018	2.65	0.281123	1	2.98	0.01	–0.96
4	0.0302	0.0003	0.000662	0.000004	0.281030	0.000019	2.65	0.280996	–3	3.21	0.04	–0.98
5	0.0757	0.0015	0.002091	0.000035	0.281162	0.000026	2.65	0.281056	–1	3.10	0.04	–0.94
6	0.0438	0.0005	0.000952	0.000014	0.281105	0.000022	2.65	0.281056	–1	3.10	0.04	–0.97
7	0.0408	0.0004	0.000878	0.000008	0.281011	0.000024	2.65	0.280967	–4	3.27	0.04	–0.97
8	0.0234	0.0005	0.000555	0.000010	0.281054	0.000020	2.65	0.281026	–2	3.16	0.04	–0.98
9	0.0551	0.0011	0.001324	0.000042	0.281030	0.000020	2.65	0.280963	–5	3.27	0.03	–0.96
10	0.0336	0.0005	0.000784	0.000026	0.281053	0.000016	2.65	0.281013	–3	3.18	0.03	–0.98
11	0.0414	0.0009	0.000945	0.000018	0.281109	0.000020	2.65	0.281061	–1	3.09	0.03	–0.97
12	0.0526	0.0007	0.001165	0.000016	0.281094	0.000020	2.65	0.281035	–2	3.14	0.03	–0.96
13	0.0257	0.0008	0.000625	0.000019	0.281067	0.000016	2.65	0.281035	–2	3.14	0.03	–0.98
14	0.0297	0.0010	0.000669	0.000023	0.281003	0.000017	2.65	0.280969	–4	3.26	0.03	–0.98
15	0.0361	0.0008	0.000843	0.000024	0.281033	0.000019	2.65	0.280991	–4	3.22	0.03	–0.97
16	0.0400	0.0002	0.000898	0.000006	0.281011	0.000019	2.65	0.280966	–4	3.27	0.03	–0.97
17	0.0157	0.0001	0.000375	0.000002	0.281067	0.000016	2.65	0.281048	–2	3.12	0.03	–0.99
18	0.0397	0.0005	0.000925	0.000013	0.281088	0.000022	2.65	0.281041	–2	3.13	0.04	–0.97
19	0.0434	0.0010	0.001090	0.000043	0.281019	0.000020	2.65	0.280964	–5	3.27	0.03	–0.97
20	0.0736	0.0002	0.001625	0.000005	0.281060	0.000020	2.75	0.280975	–2	3.21	0.04	–0.95
21	0.0345	0.0007	0.000787	0.000014	0.281074	0.000017	2.65	0.281034	–2	3.14	0.03	–0.98
22	0.0289	0.0002	0.000695	0.000005	0.281057	0.000018	2.65	0.281022	–2	3.17	0.03	–0.98
23	0.0307	0.0004	0.000717	0.000007	0.281084	0.000017	2.65	0.281048	–2	3.12	0.03	–0.98
24	0.0226	0.0002	0.000558	0.000006	0.281056	0.000020	2.65	0.281028	–2	3.16	0.04	–0.98
25	0.0265	0.0004	0.000621	0.000008	0.281023	0.000019	2.65	0.280991	–4	3.22	0.03	–0.98
26	0.0266	0.0001	0.000643	0.000003	0.281039	0.000017	2.65	0.281007	–3	3.19	0.03	–0.98
27	0.0308	0.0002	0.000690	0.000002	0.281060	0.000014	2.65	0.281025	–2	3.16	0.03	–0.98
28	0.0292	0.0010	0.000747	0.000021	0.281122	0.000020	2.65	0.281084	0	3.05	0.03	–0.98
29	0.0331	0.0015	0.000816	0.000032	0.281097	0.000021	2.65	0.281055	–1	3.11	0.03	–0.98
30	0.0218	0.0002	0.000528	0.000004	0.281054	0.000017	2.65	0.281028	–2	3.16	0.03	–0.98
31	0.0282	0.0008	0.000724	0.000030	0.281043	0.000019	2.65	0.281007	–3	3.19	0.03	–0.98

a) $T_{DM2}=t+(1/\lambda)\times\ln[1+((^{176}Hf/^{177}Hf)_{S,t}-(^{176}Hf/^{177}Hf)_{DM,t})/((^{176}Lu/^{177}Hf)_{UC}-(^{176}Lu/^{177}Hf)_{DM})]$, 其中 UC, S 和 DM 分别代表上地壳、样品和亏损地幔. 岩石样品 L08NT67

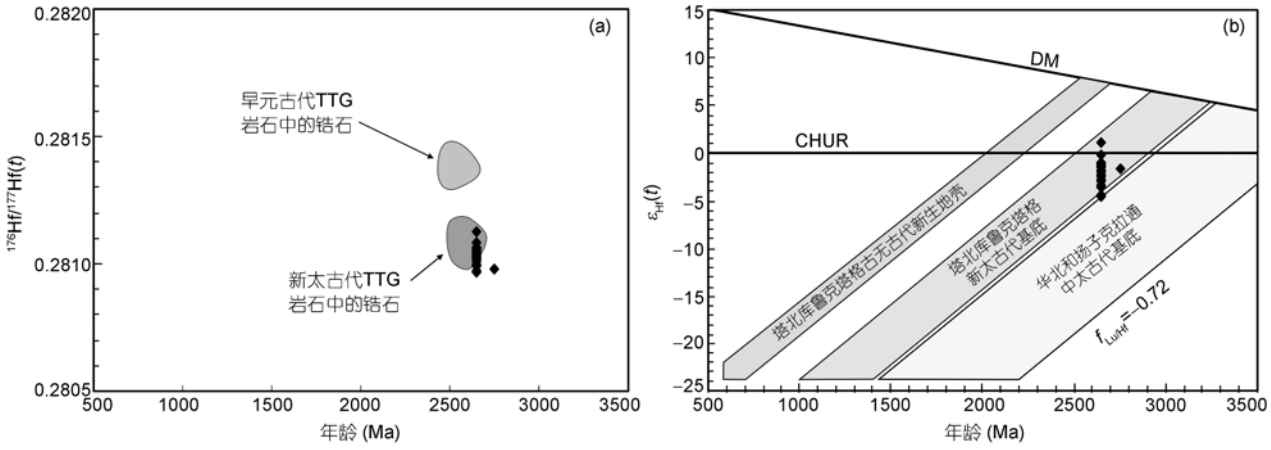

图 4　锆石 $^{176}Hf/^{177}Hf(t)$和$\varepsilon_{Hf}(t)$值与 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄图解

图中所示区域引自文献[30]

5 地质意义

5.1 库鲁克塔格地区古老地体的形成时代

塔北最古老的基底岩系为分布于辛格尔和库尔勒等地的 TTG 岩石, 构成了该地区的太古代古老地体. 目前, 基于大量的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄, 以及 Nd 模式年龄和颗粒锆石表面年龄等, 多数学者倾向认为这些 TTG 岩石形成于新太古代[7,22~28]. 最近, 郭召杰等[9]对库尔勒铁门关的斜长角闪岩和辛格尔附近的 TTG 岩系中的灰色片麻岩进行了颗粒锆石 TIMS 定年研究, 分别获得了~2.49 和~2.34 Ga 的上交点年龄, 未得到太古代的成岩年龄, 仅发现了两个新太古代的 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄(2.66 和 2.78 Ga). 此后胡霭琴和韦刚健[8]对辛格尔南托格杂岩中具 TTG 特征的灰色片麻岩进行的锆石 SIMS 定年工作给出了一组 2.05~2.57 Ga 的 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄, 其中两点给出新太古代 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 加权平均年龄(~2.56 Ga).

最近, 我们的研究发现库鲁克塔格地区 TTG 岩系中的锆石结构比较复杂, 发育核-边结构, 边部多变质成因. 为了获得可靠的成岩年龄, 我们重点分析了能够代表成岩年龄的岩浆锆石核部. 库尔勒 TTG 质片麻岩锆石核部给出了比较一致的 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄, 其加权平均值代表了岩体的成岩年龄(2.65 Ga). 对辛格尔附近的灰色片麻岩锆石核部 U-Pb 定年, 也获得了比较一致的新太古代成岩年龄, 分别为 2.52 和 2.58 Ga[30]. 此外, Shu 等[29]对侵入 TTG 岩石的辉长岩锆石 U-Pb 定年也给出类似的年龄(2.50 Ga). 上述结果说明, 塔北库鲁克塔格地区的太古代地体可能最早形成于晚太古代末期(2.65 Ga).

塔里木盆地东缘的阿尔金山北坡地区也是塔里木克拉通早前寒武纪古老基底出露的代表性地区. 最近, Lu 等[10]对阿尔金山北坡的 TTG 质片麻岩的锆石 U-Pb 定年研究表明, 这一地区的 TTG 质片麻岩最早形成于中太古代(~2.83 Ga), 明显早于塔北库鲁克塔格地区的 TTG 岩石. 这一显著的差别说明, 塔里木克拉通最古老的地体可能最早形成于阿尔金山北坡, 到新太古代晚期古陆的规模才扩展至塔北库鲁克塔格地区, 从而最终形成具有一定规模的太古代克拉通结晶基底.

5.2 库鲁克塔格地区地壳演化

自 Hu 和 Rogers[21]对辛格尔南托格杂岩中的角闪岩包体获得(3263±129) Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄并将该年龄作为这套正变质的角闪岩包体的形成年龄后, 塔北库鲁克塔格地区是否存在古太古代或更古老的地壳受到前寒武纪地质工作者的关注. 此后, 董富荣等[27]将 Hu 和 Rogers[21]获得的灰色片麻岩 Sm-Nd 等时线年龄(3362±691) Ma 解释为灰色片麻岩的形成年龄. 最近, 郭召杰等[9]对库尔勒附近的角闪岩进行了 Sm-Nd 同位素研究, 也获得了 3 个~3.3 Ga 的 Nd 同位素模式年龄. 这些结果似乎支持该区存在古太古代早期或是更古老的地壳物质.

尽管全岩 Nd 同位素模式年龄常用于早期地壳形成演化的研究, 但该体系易受后期变质及蚀变作用影响[43]. 相比 Nd 同位素模式年龄, 锆石 Hf 同位素两阶段模式年龄在地壳生长示踪研究中具有诸多优点, 如锆石具有很高的 Hf 同位素体系封闭温度, 一般的变质作用不会破坏其同位素体系; 锆石高的 Hf 含量和极低的 Lu/Hf 比值可以极大地减小年代不确定性造成的 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 比值误差[44]. 塔北地区晚太古代 TTG 岩石的锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素分析结果显示, 岩浆锆石核部的初始 Hf 同位素组成介于 0.280964~0.281123, 显示比较一致的古-中太古代两阶段模式年龄 3.0~3.3 Ga(T_{DM2}≤3.3 Ga), 加权平均值为 3.12 Ga, 未发现古太古代早期或是更老的两阶段模式年龄(表 2, 图 5). 上述结果表明库鲁克塔格地区新太古代 TTG 岩石是古-中太古代地壳物质改造的产物, 其源区不存在更老的地壳物质. 因此, 就现有资料分析, 塔北库鲁克塔格地区可能不存在>3.3 Ga 的陆壳.

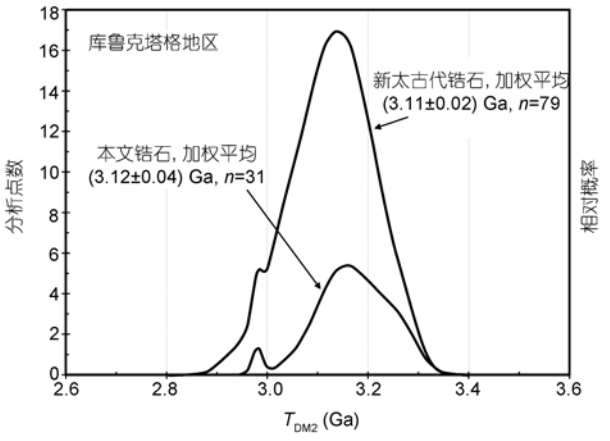

图 5 锆石 U-Pb 年龄分布

库鲁克塔格新太古代锆石数据来自文献[30]

6　结论

(1) 库尔勒附近 TTG 质片麻岩形成于 2.65 Ga, 显示库鲁克塔格地区的太古代地体形成于晚太古代末期.

(2) 该 TTG 质片麻岩中锆石$\varepsilon_{Hf}(t)$值介于−5~1, 两阶段模式年龄 T_{DM2} 主要集中在古-中太古代(3.0~3.3 Ga), 这表明该区新太古代基底岩系主要来自古-中太古代的新生地壳物质的部分熔融.

致谢　衷心感谢两位审稿专家的建设性意见和中国地质科学院矿产资源研究所侯可军博士等提供的实验帮助.

参考文献

1　翟明国. 新太古代全球克拉通事件与太古宙-元古宙分界的地质涵义. 大地构造与成矿学, 2006, 30: 419–421
2　李江海, 牛向龙, 程素华, 等. 大陆克拉通早期构造演化历史探讨: 以华北为例. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31: 285–293
3　Hawkesworth C J, Kemp A I S. Evolution of the continental crust. Nature, 2006, 443: 811–817
4　沈其韩. 太古宙地层研究中应注意的几个问题. 中国地质, 2002, 29: 113–116
5　钱祥麟, 李江海, 程素华. 前寒武纪大陆地壳地质构造演化研究进展与问题. 高校地质学报, 2005, 11: 145–153
6　新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993
7　胡霭琴, 王中刚, 涂光炽, 等. 新疆北部地质演化及其成岩成矿规律. 北京: 科学出版社, 1997
8　胡霭琴, 韦刚健. 塔里木盆地北缘新太古代辛格尔灰色片麻岩形成时代问题. 地质学报, 2006, 80: 126–134
9　郭召杰, 张志诚, 刘树文, 等. 塔里木克拉通早前寒武纪基底层序与组合: 颗粒锆石 U-Pb 年龄新证据. 岩石学报, 2003, 19: 537–542
10　Lu S N, Li H K, Zhang C L, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments. Precambrian Res, 2008, 160: 94–107
11　Song B, Nutman A P, Liu D Y, et al. 3800 to 2500 Ma crustal evolution in the Anshan area of Liaoning Province, northern China. Precambrian Res, 1996, 78: 79–94
12　Wan Y S, Zhang Z Q, Wu J S, et al. Geochemical and Nd isotopic characteristic of some rocks from the Paleoarchean Chentaigou supracrustal, Anshan area, NE China. Cont Dynam, 1997, 2: 39–46
13　刘敦一, 万渝生, 伍家善, 等. 华北克拉通太古宙地壳演化和最古老的岩石. 地质通报, 2007, 26: 1131–1138
14　万渝生, 刘敦一, 殷小艳, 等. 鞍山地区铁架山花岗岩及表壳岩的锆石 SHRIMP 年代学和 Hf 同位素组成. 岩石学报, 2007, 23: 241–252
15　焦文放, 吴元保, 彭敏, 等. 扬子板块最古老岩石的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39: 972–978
16　Zhang S B, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Zircon U-Pb age and Hf-O isotope evidence for Paleoproterozoic metamorphic event in South China. Precambrian Res, 2006, 151: 265–288
17　Qiu Y M, Gao S, McNaughton N J, et al. First evidence of ≥3.2 Ga continental crust in the Yangtze craton of South China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. Geology, 2000, 28: 11–14
18　郑永飞, 张少兵. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. 科学通报, 2007, 52: 1–10
19　于津海, O'Reilly Y S, 王丽娟, 等. 华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成. 科学通报, 2007, 52: 11–18
20　新疆地质局区域地质调查大队. 辛格尔幅(1∶20 万)地质图及说明书, 1965
21　Hu A Q, Rogers G. Discovery of 3.3 Ga Archean rocks in north Tarim Block of Xinjiang, westernChina. Chin Sci Bull, 1992, 37: 1546–1549
22　高振家, 陈晋镳, 陆松年, 等. 新疆北部前寒武系. 见: 地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会, 主编. 前寒武纪地质. 北京: 地质出版社, 1993
23　陆松年. 新疆库鲁克塔格地区元古代地质演化. 中国地质调查局天津地质矿产研究所所刊, 1992, 26-27: 279–292
24　冯本智, 周裕文, 迟仕福, 等. 新疆库鲁克塔格地区前震旦纪地质与贵重、有色金属矿床. 北京: 地质出版社, 1995
25　冯新昌, 董富荣, 李嵩龄. 新疆南天山奥图拉托格拉克一带前震旦系基底地质特征. 新疆地质, 1998, 16: 108–117
26　张志诚, 郭召杰. 新疆库鲁克塔格阔克苏地区斜长角闪岩 Nd 同位素特征及其地质意义. 科学通报, 1998, 43: 2092–2095
27　董富荣, 李嵩龄, 毛松林. 对"托格拉克布拉克杂岩"的认识. 新疆地质, 1998, 16: 31–38
28　Hu A Q, Jahn B M, Zhang G X, et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotope evidence. 1. Isotopic characterization of basement rocks. Tectonophysics, 2000, 328: 15–51

29 Shu L S, Deng X L, Zhu W B, et al. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: New geochronological insights from the Quruqtagh domain. J Asian Earth Sci, 2010, doi: 10.1016/j.jseaes.2010.08.018
30 Long X P, Yuan C, Sun M, et al, Archean crustal evolution of the northern Tarim Craton, NW China: Zircon U-Pb and Hf isotopic constraints. Precambrian Res, 2010, 180: 272–284
31 Xu B, Jian P, Zheng H F, et al. U-Pb zircon geochronology and geochemistry of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China: Implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations. Precambrian Res, 2005, 136: 107–123
32 Zhang C L, Li X H, Li Z X, et al. Neoproterozoic ultramafic-mafic-carbonatite complex and granitoids in Quruqtagh of northeastern Tarim Block, western China: Geochronology, geochemistry and tectonic implications. Precambrian Res, 2007, 152: 149–169
33 Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, et al. Plesovice zircon—A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. Chem Geol, 2008, 249: 1–35
34 Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chem Geol, 2008, 257: 34–43
35 Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 4a, 2003
36 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质, 2009, 28: 481–492
37 侯可军. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用. 岩石学报, 2007, 23: 2595–2604
38 Elhlou S, Belousova E, Griffin W L, et al. Trace element and isotopic composition of GJ-red zircon standard by laser ablation. Geochim Cosmochim Acta, 2006, (Suppl): A158
39 Soderlund U, Patchett P J, Vervoort J D, et al. The ^{176}Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. Earth Planet Sci Lett, 2004, 219: 311–324
40 Blichert-Toft J, Albarède F. The Lu-Hf geochemistry of the chondrites and the evolution of the mantle-crust system, Earth Planet Sci Lett, 1997, 148: 243–258
41 Grifin W L, Pearson N J, Belousova E, et al. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites. Geochim Cosmochim Acta, 2000, 64: l33–147
42 Amelin Y, Lee D C, Halliday A N, et al. Nature of the Earth's earliest crust from hafnium isotopes in single detrital zircons. Nature, 1999, 399: 252–255
43 DePaolo D J, Wasserburg G J. Nd isotopic variations and petrogenetic models. Geophys Res Lett, 1976, 3: 249–252
44 吴福元, 李献华, 郑永飞, 等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用. 岩石学报, 2007, 23: 185–220