

新疆塔里木北缘新元古代最晚期岩浆事件

张传林¹, 叶现韬¹, 李怀坤²

ZHANG Chuan-lin¹, YE Xian-tao¹, LI Huai-kun²

1. 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016;

2. 天津地质矿产研究所, 天津 300170

1. *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*

2. *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China*

摘要:报道了塔里木库鲁克塔格地区新元古代晚期花岗闪长岩和钾长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成。花岗闪长岩锆石 U-Pb 谐和年龄为 630.1 ± 1.3 Ma, 钾长花岗岩锆石 U-Pb 谐和年龄为 630.6 ± 1.3 Ma。Hf 同位素组成表明, 这 2 种岩石主要来自古老(中)基性地壳的重熔, 可能有部分地幔物质的加入。结合已有的研究表明, 650~615 Ma 期间的岩浆活动代表了塔里木地块新元古代最晚期的岩浆活动, 是 Rodinia 超大陆解体过程中的产物, 与泛非造山事件无关。塔里木地块自新元古代中期到早寒武世, 持续接受了被动大陆边缘沉积, 表明在这一时期塔里木为冈瓦那大陆之外独立的大陆块体, 或是位于冈瓦那大陆最边缘的稳定大陆块体。

关键词:塔里木; 新元古代花岗岩; 锆石 U-Pb 年龄; Hf 同位素; 构造意义

中图分类号: P534.3; P597^{+.1} **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2014)05-0606-08

Zhang C L, Ye X T, Li H K. The latest Neoproterozoic igneous activity on the northern margin of the Tarim Craton. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(5):606-613

Abstract: Zircon U-Pb dating reveals that the K-feldspar granite and granodiorite in Quruqtagh on the northern margin of the Tarim block crystallized at 630.1 ± 1.3 Ma and 630.6 ± 1.3 Ma, respectively. Zircon Hf isotopes indicate that these granitic rocks were mainly derived from partial melting of old andesitic-basic crust with possible involvement of basaltic magma from mantle sources. Based on a comprehensive analysis of the Neoproterozoic igneous activities in Tarim, the authors argue that the 650~615 Ma igneous rocks in Quruqtagh were the latest phase of the Neoproterozoic igneous activities and genetically related to the breakup of the Rodinia supercontinent, i.e., they had nothing to do with the Pan-Africa orogeny. From Neoproterozoic to Cambrian, sedimentary sequences in Quruqtagh exhibited typical sedimentation features on a passive continental margin, which indicates that the Tarim block had never incorporated into the Gondwana Land.

Key words: Tarim; Neoproterozoic granites; zircon U-Pb ages; Hf isotope; tectonic implications

塔里木地块是中国三大主要的陆块(华南、华北、塔里木)之一。北邻天山造山带(中亚造山带的一部分), 南侧与西昆仑—阿尔金造山带连接(中央造山带西段), 面积逾 $60 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。塔里木大部分地区被沙漠覆盖, 仅在塔里木北缘、西南及东侧, 断续出露一些前寒武纪基底。研究表明, 塔里木地块具有典型的双层结构特征, 即由前南华纪基底和南华

纪—寒武纪盖层组成^[1-3]。区内岩浆岩可以划分出以下几个演化阶段: 太古宙 TTG 演化阶段、古元古代早期 A 型花岗岩—基性岩墙发育阶段、新元古代巨量花岗岩—大规模基性岩墙—多阶段超镁铁—镁铁岩发育阶段及二叠纪大火成岩省发育阶段(大规模玄武岩—基性岩墙—花岗岩—超镁铁岩—镁铁岩组合)^[4-7]。

收稿日期: 2013-12-02; 修订日期: 2014-03-19

资助项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 41172175)

作者简介: 张传林(1968-), 男, 研究员, 从事区域构造地质学和岩石学研究。E-mail: zchuanlin1968@gmail.com

近年来,对塔里木新元古代岩浆活动做了大量的研究,大致可分为以下几个阶段:825~800 Ma、780~760 Ma、735Ma及650~615 Ma。其中,以前2个阶段最为显著,735Ma阶段的岩浆活动仅有双峰式侵入岩和少量的双峰式火山岩^[4,7-11],而650~615Ma的岩浆活动仅报导了极少量的基性岩墙^[10,12]。对这一时期的岩浆活动性质、构造意义等,现在还存在很大争议^[7,12]。本文报道了塔里木北缘约630Ma的钾长花岗岩及花岗闪长岩侵入体的锆石U-Pb年龄及Hf同位素组成。综合前人的研究成果,650~615Ma阶段的岩浆活动代表了塔里木新元古代最晚期的岩浆事件,是Rodinia超级地幔柱末期的产物。从740Ma开始(以贝义西组沉积为代表),塔里木从Rodinia超大陆裂解出去,接受长期的被动大陆边缘沉积,表明在相当长的时期内(新元古代中期—早寒武世),塔里木是一个独立于冈瓦那大陆之外的大陆块体或是位于冈瓦那大陆最北部边缘的稳定大陆块体^[13]。

1 区域地质及岩体、岩石学特征

在库尔勒以北地区广泛出露了一套前寒武纪角闪岩相变质岩,前人将这套变质岩命名为兴地塔格群,时代为古元古代。依据最近研究成果,这套地层角闪岩相变质的时间大约为1.8Ga^[5,7]。在这套片(麻)岩中,呈条带状分布,有少量的太古宙TTG岩石,并有新元古代花岗岩侵入^[14](图1-a)。Zhu等^[10]最早报导了在铁门关水库附近发现的650~630Ma基性岩墙。地球化学研究表明,这套基性岩墙具有板内玄武岩的地球化学特征,其原始岩浆来自俯冲带流体交代的岩石圈地幔^[12]。对该地区的调查发现,在古元古代片麻岩中发育少量的花岗闪长岩及钾长花岗岩侵入体(图1-b)。其中,花岗闪长岩呈条带状沿片(麻)岩面理侵入,宽度为2~3m,延伸20~30m。钾长花岗岩呈条带状、岩株状侵入于片(麻)岩中,条带宽2~3m,延伸10~20m。岩株的出露面积100~150m²。钾长花岗岩为中粗粒花岗结构、块状构造。主要矿物组成为微斜长石(30%~35%)、斜长石(20%~25%)、石英(35%~45%)和黑云母(2%~5%)(图2-a),在薄片偶见角闪石。副矿物有磷灰石、铁氧化物及锆石。花岗闪长岩为中粗粒结构,块状构造,无变形。主要的矿物组成为斜长石(40%~45%)、微斜长石(5%~10%)、石英(25%~

35%)、角闪石(10%~15%)、黑云母(1%~5%)、磁铁矿(1%~5%)等(图2-b)。副矿物包括磷灰石、锆石和金红石。

2 测试方法

测试样品为钾长花岗岩(样品号:2009KR015)和花岗闪长岩(样品号:2009KR016),采样位置分别为N41°49'15"、E86°12'15"和N41°49'33"、E86°11'34"。样品破碎后手工淘洗分离出重砂,经磁选和电磁选后,在双目镜下挑出锆石(均大于1000粒)。选取代表性锆石(大于200粒)制成样品靶,然后进行透射光和反射光照相,并在北京离子探针中心对锆石进行阴极发光照相,对锆石内部结构进行研究。在此基础上,在天津地质矿产研究所采用LA-ICP-MS技术对上述2件样品进行U-Pb定年和Hf同位素测试分析。分析方法见文献[15-16]。大多数进行Hf同位素测试的锆石进行了U-Pb年龄测试,少数点未测定U-Pb年龄,锆石在外观上没有明显的区别。U-Pb年龄及Hf同位素测试结果分别见表1和表2。

3 测试结果

3.1 锆石U-Pb年龄

钾长花岗岩中的锆石(2010KR015)均呈自形长柱状晶体,长轴一般在150~250μm之间,长短轴之比为2~4,无色透明。在CL图像中,大多数锆石具有显著的生长环带结构。对该样品23粒锆石进行了23次分析。结果表明,Th含量为 117×10^{-6} ~ 995×10^{-6} ,U含量为 168×10^{-6} ~ 1404×10^{-6} ,Th/U值为0.75~1.00。所有测试点具有一致的谐和年龄,也没有显著的放射性成因Pb丢失(图2-c)。23次分析获得²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为 630.1 ± 1.5 Ma(MSWD=0.83)。花岗闪长岩和钾长花岗岩中的锆石具有相似的特征,只是在粒度上稍小,一般在100~200μm之间。获得25个测点的Th含量为 107×10^{-6} ~ 4081×10^{-6} ,U含量为 154×10^{-6} ~ 2256×10^{-6} ,Th/U值为0.7~1.8。在25个测点中,只有1个测点显示偏低的谐和年龄,可能是包裹体或是其他不明原因造成的。其他24个测点具有一致的²⁰⁶Pb/²³⁸U和²⁰⁷Pb/²³⁵U年龄(图2-d),获得²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为 630.6 ± 1.3 Ma(MSWD=0.38)。上述分析表明,花岗闪长岩和钾长花岗岩结晶年龄完全一致,

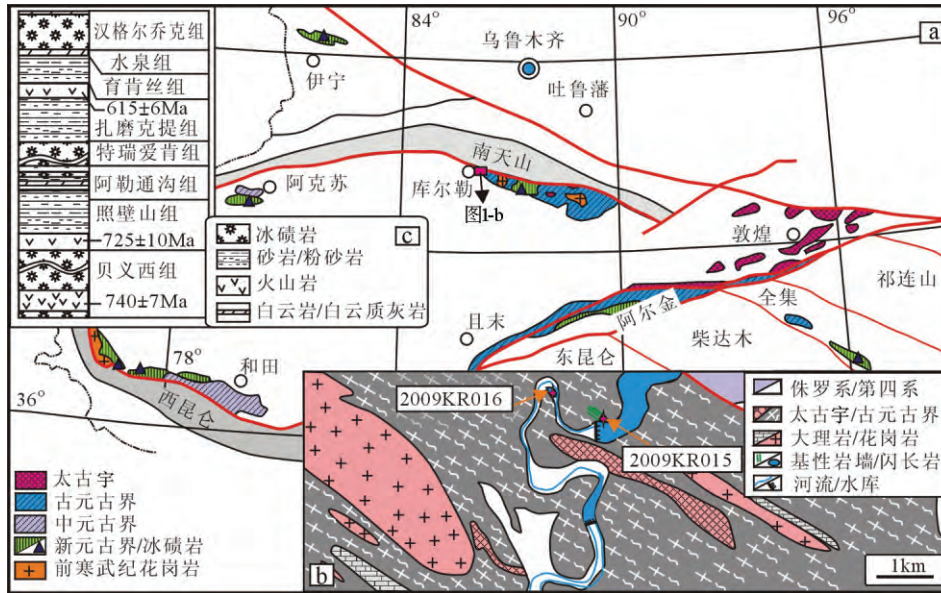


图1 塔里木前寒武系分布略图(a)、库鲁克塔格地区650~615Ma基性岩墙及花岗质侵入岩(示取样位置)(b)和库鲁克塔格地区新元古界综合柱状图(c)^[10]

Fig. 1 Distribution of Precambrian strata in Tarim Basin (a), 650~615Ma basic dykes and granitic intrusive rocks with sampling sites (b) and composite columnar section of Neoproterozoic strata in Quruqtagh area(c)

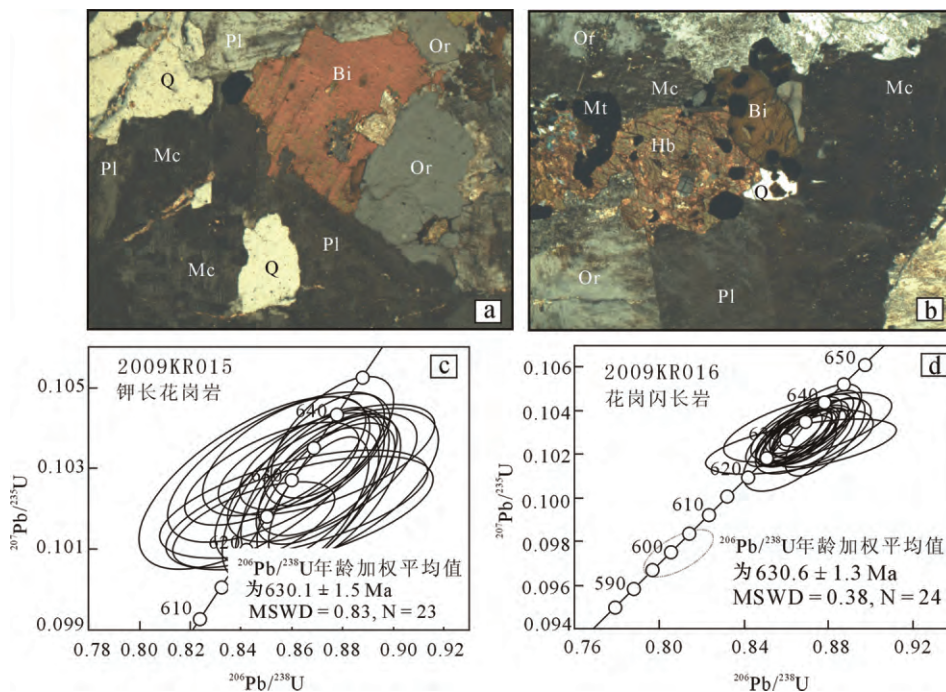


图2 塔里木库鲁克塔格地区新元古代钾长花岗岩及花岗闪长岩锆石U-Pb谐和图

Fig. 2 U-Pb concordia diagram of zircons from Neoproterozoic K-feldspar granite and granodiorite in Quruqtagh area of Tarim Basin

Bi—黑云母; Hb—角闪石; Pl—斜长石; Mc—微斜长石; Or—正长石; Q—石英; Mt—磁铁矿

表 1 库鲁克塔格新元古代钾长花岗岩及花岗闪长岩锆石 U-Th-Pb 同位素测试结果

Table 1 U-Th-Pb isotopic data of zircons from Neoproterozoic K-feldspar granite and granodiorite in Qurqtagh area

测点	Th	U	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	1 σ	1 σ
	/10 ⁶							年龄/Ma					
2009KR015(钾长花岗岩)													
1	413	427	0.97	0.1031	0.44	0.8624	1.08	632	3	631	7	628	22
2	331	418	0.79	0.1016	0.43	0.8450	1.56	624	3	622	10	615	34
3	127	219	0.58	0.1028	0.48	0.8510	1.60	631	3	625	10	605	34
4	355	359	0.99	0.1030	0.63	0.8714	1.38	632	4	636	9	652	29
5	154	168	0.91	0.1029	0.70	0.8553	2.16	632	4	628	14	612	45
6	377	386	0.98	0.1030	0.72	0.8709	1.31	632	5	636	8	650	27
7	312	357	0.87	0.1026	0.76	0.8689	1.41	629	5	635	9	653	28
8	147	169	0.87	0.1025	0.82	0.8425	2.09	629	5	621	13	588	45
9	167	193	0.87	0.1024	0.85	0.8662	2.43	628	5	634	15	652	48
10	198	263	0.75	0.1023	0.89	0.8635	1.49	628	6	632	9	646	30
11	194	208	0.93	0.1028	0.66	0.8720	1.76	631	4	637	11	657	36
12	388	416	0.93	0.1025	0.54	0.8695	1.10	629	3	635	7	658	23
13	289	325	0.89	0.1021	0.74	0.8646	1.28	626	5	633	8	655	27
14	251	309	0.81	0.1024	0.76	0.8735	1.37	629	5	637	9	669	28
15	136	194	0.70	0.1033	0.57	0.8577	1.58	634	4	629	10	611	34
16	320	348	0.92	0.1035	0.54	0.8729	1.11	635	3	637	7	646	23
17	117	168	0.70	0.1032	0.56	0.8730	2.01	633	4	637	13	651	42
18	242	303	0.80	0.1038	0.59	0.8763	1.12	636	4	639	7	648	23
19	304	368	0.83	0.1028	0.62	0.8721	1.18	631	4	637	8	658	25
20	408	428	0.95	0.1030	0.49	0.8674	1.07	632	3	634	7	643	23
21	995	1404	0.71	0.1022	0.63	0.8704	0.92	627	4	636	6	667	19
22	258	256	1.01	0.1019	0.56	0.8631	2.50	626	4	632	16	654	52
23	272	304	0.90	0.1021	0.54	0.8609	2.51	627	3	631	16	644	53
2009KR016(花岗闪长岩)													
1	310	411	0.76	0.1020	0.65	0.8616	1.04	626	4	631	7	649	25
2	172	190	0.91	0.1032	0.65	0.8703	1.87	633	4	636	12	644	38
3	750	834	0.90	0.1028	0.74	0.8779	0.88	631	5	640	6	671	17
4	287	357	0.80	0.1030	0.60	0.8785	1.02	632	4	640	7	669	21
5	434	585	0.74	0.1038	0.56	0.8771	0.88	636	4	639	6	650	18
6	845	788	1.07	0.1030	0.60	0.8795	0.84	632	4	641	5	671	17
7	102	752	1.36	0.1033	0.60	0.8732	0.86	634	4	637	5	651	17
8	702	638	1.10	0.1028	0.69	0.8642	0.89	631	4	632	6	638	17
9	969	849	1.14	0.1031	0.52	0.8707	0.85	633	3	636	5	647	17
10	782	825	0.95	0.1030	0.48	0.8624	0.82	632	3	631	5	630	17
11	687	718	0.96	0.1027	0.45	0.8619	0.86	630	3	631	5	634	18
12	1061	1016	1.04	0.1029	0.40	0.8647	0.80	631	3	633	5	638	17
13	451	641	0.70	0.1028	0.47	0.8638	0.88	631	3	632	6	637	18
14	107	154	0.69	0.1024	0.52	0.8669	2.14	628	3	634	14	654	44
15	287	321	0.89	0.1026	0.54	0.8731	1.35	630	3	637	9	664	27
16	528	573	0.92	0.1027	0.49	0.8653	0.92	630	3	633	6	644	19
17	717	609	1.18	0.1024	0.39	0.8640	0.95	629	2	632	6	645	20
18	392	558	0.70	0.1025	0.39	0.8621	1.02	629	2	631	6	640	22
19	2273	1709	1.33	0.1026	0.40	0.8671	0.80	630	3	634	5	649	16
20	925	902	1.02	0.1025	0.39	0.8660	0.85	629	2	633	5	649	18
21	600	578	1.04	0.1028	0.46	0.8725	0.95	631	3	637	6	658	19
22	4081	2256	1.81	0.1027	0.45	0.8680	0.78	630	3	634	5	650	16
23	937	989	0.95	0.0975	0.46	0.8093	0.82	600	3	602	5	611	17
24	510	494	1.03	0.1029	0.49	0.8680	1.00	631	3	635	6	646	21

表2 库鲁克塔格新元古代钾长花岗岩及花岗闪长岩锆石 Hf 同位素组成
 Table 2 Hf isotopic composition of Neoproterozoic K-feldspar granite and granodiorite in Quruqtagh area

测点	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	T_{DM}/Ma	$T_{\text{DM}}^{\text{c}}/\text{Ma}$	$f_{\text{LW}}^{\text{Hf}}$
2009KR015(钾长花岗岩)										
1	0.0815	0.0020	0.282228	0.000021	0.282205	-19.2	-6.2	1484	2509	-0.94
2	0.0501	0.0015	0.282277	0.000020	0.282258	-17.5	-4.3	1398	2340	-0.95
3	0.0418	0.0014	0.282220	0.000016	0.282204	-19.5	-6.2	1470	2511	-0.96
4	0.0381	0.0012	0.282238	0.000016	0.282223	-18.9	-5.5	1440	2450	-0.96
5	0.0468	0.0014	0.282247	0.000017	0.282230	-18.6	-5.3	1436	2430	-0.96
6	0.0542	0.0020	0.282223	0.000014	0.282200	-19.4	-6.4	1490	2524	-0.94
7	0.0696	0.0021	0.282213	0.000022	0.282188	-19.8	-6.8	1511	2561	-0.94
8	0.0350	0.0011	0.282235	0.000018	0.282222	-19.0	-5.6	1439	2454	-0.97
9	0.0502	0.0014	0.282230	0.000019	0.282213	-19.2	-5.9	1460	2484	-0.96
10	0.0342	0.0010	0.282259	0.000020	0.282248	-18.1	-4.7	1402	2374	-0.97
11	0.0555	0.0017	0.282279	0.000020	0.282259	-17.4	-4.3	1400	2337	-0.95
12	0.0378	0.0011	0.282253	0.000020	0.282241	-18.3	-4.9	1413	2396	-0.97
13	0.0647	0.0018	0.282205	0.000021	0.282184	-20.0	-6.9	1509	2574	-0.95
14	0.0265	0.0008	0.282218	0.000018	0.282209	-19.6	-6.0	1450	2494	-0.98
15	0.0787	0.0022	0.282275	0.000020	0.282248	-17.6	-4.7	1427	2372	-0.93
16	0.0442	0.0010	0.282268	0.000019	0.282257	-17.8	-4.4	1389	2345	-0.97
17	0.0661	0.0015	0.282180	0.000023	0.282162	-20.9	-7.7	1533	2643	-0.95
18	0.0402	0.0011	0.282240	0.000025	0.282228	-18.8	-5.4	1430	2436	-0.97
19	0.0614	0.0016	0.282229	0.000024	0.282210	-19.2	-6.0	1468	2492	-0.95
20	0.0453	0.0012	0.282243	0.000022	0.282229	-18.7	-5.3	1431	2432	-0.96
21	0.0610	0.0012	0.282252	0.000020	0.282237	-18.4	-5.0	1421	2407	-0.96
22	0.1971	0.0049	0.282187	0.000023	0.282129	-20.7	-8.9	1674	2746	-0.85
23	0.0505	0.0013	0.282275	0.000021	0.282260	-17.6	-4.2	1389	2334	-0.96
24	0.0531	0.0013	0.282247	0.000020	0.282232	-18.6	-5.2	1429	2422	-0.96
2009KR016(花岗闪长岩)										
1	0.1286	0.0031	0.282279	0.000021	0.282242	-17.4	-4.9	1457	2392	-0.91
2	0.0289	0.0008	0.282270	0.000016	0.282260	-17.7	-4.2	1380	2333	-0.97
3	0.0989	0.0027	0.282263	0.000019	0.282231	-18.0	-5.3	1463	2426	-0.92
4	0.0294	0.0008	0.282263	0.000015	0.282253	-18.0	-4.5	1391	2357	-0.97
5	0.0359	0.0010	0.282286	0.000016	0.282274	-17.2	-3.7	1364	2289	-0.97
6	0.0243	0.0007	0.282310	0.000015	0.282302	-16.3	-2.8	1320	2203	-0.98
7	0.0412	0.0012	0.282312	0.000015	0.282299	-16.3	-2.9	1333	2212	-0.97
8	0.0400	0.0010	0.282267	0.000016	0.282254	-17.9	-4.4	1393	2353	-0.97
9	0.0512	0.0013	0.282280	0.000017	0.282265	-17.4	-4.1	1384	2320	-0.96
10	0.0574	0.0016	0.282274	0.000015	0.282255	-17.6	-4.4	1403	2350	-0.95
11	0.0233	0.0007	0.282281	0.000016	0.282273	-17.4	-3.8	1360	2294	-0.98
12	0.0391	0.0011	0.282252	0.000015	0.282239	-18.4	-5.0	1415	2401	-0.97
13	0.0145	0.0004	0.282283	0.000015	0.282278	-17.3	-3.6	1348	2279	-0.99
14	0.0640	0.0016	0.282310	0.000018	0.282291	-16.3	-3.1	1351	2236	-0.95
15	0.0467	0.0012	0.282295	0.000016	0.282282	-16.9	-3.5	1357	2267	-0.97
16	0.0947	0.0024	0.282304	0.000020	0.282276	-16.5	-3.7	1390	2284	-0.93
17	0.0253	0.0007	0.282281	0.000016	0.282273	-17.4	-3.8	1360	2293	-0.98
18	0.0642	0.0017	0.282277	0.000018	0.282257	-17.5	-4.3	1402	2344	-0.95
19	0.0740	0.0019	0.282230	0.000019	0.282207	-19.2	-6.1	1479	2502	-0.94
20	0.1164	0.0032	0.282274	0.000018	0.282236	-17.6	-5.1	1467	2410	-0.90
21	0.0286	0.0008	0.282272	0.000017	0.282263	-17.7	-4.1	1375	2325	-0.98
22	0.0334	0.0008	0.282260	0.000018	0.282250	-18.1	-4.6	1395	2366	-0.97
23	0.0248	0.0007	0.282263	0.000016	0.282255	-18.0	-4.4	1385	2351	-0.98
24	0.0619	0.0015	0.282313	0.000017	0.282295	-16.2	-3.0	1345	2223	-0.95
25	0.0517	0.0014	0.282308	0.000023	0.282291	-16.4	-3.1	1349	2237	-0.96
26	0.0547	0.0016	0.282267	0.000017	0.282249	-17.8	-4.6	1412	2370	-0.95

与铁门关水库附近的基性岩墙形成时代也一致,说明其为同一时代的产物^[10]。

3.2 锆石 Hf 同位素组成

2 件样品的 Hf 同位素组成接近一致,计算获得钾长花岗岩和花岗闪长岩的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t=630\text{Ma})$ 分别为 $-8.9\sim-4.2$ 和 $-5.3\sim-2.8$ 。花岗闪长岩的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t=630\text{Ma})$ 值略高于钾长花岗岩(表 2)。从 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 的变化情况分析,钾长花岗岩的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值集中在 $-6\sim-4$ 之间,个别测试点达到 -9 。而花岗闪长岩的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 均集中在 $-5\sim-3$ 之间。2 件样品具有相似的单阶段 Hf 模式年龄,均分布在 $1.3\sim 1.5\text{Ga}$ 之间。对于花岗质岩石,两阶段模式年龄可以获得其真正的壳幔分异作用发生的时间^[17]。从计算结果看,钾长花岗岩的两阶段 Hf 模式年龄(T_{DM}^{c})为 $2.3\sim 2.5\text{Ga}$,而花岗闪长岩两阶段 Hf 模式年龄(T_{DM}^{c})集中在 $2.2\sim 2.4\text{Ga}$ 之间。

4 讨论

4.1 岩浆源区

从花岗闪长岩和钾长花岗岩的野外产状、岩石

学特征及锆石的 Hf 同位素组成分析,这 2 种岩石来自相似的地壳源区。已有的资料表明,塔里木太古宇以 TTG 质(英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗岩闪长岩)和 TTD 质(英云闪长岩—奥长花岗岩—闪长岩)岩石为主(有少量辉长岩)^[4-5,18],古元古界主要为一套片岩和片麻岩,夹有少量的变质基性火山岩或侵入岩(斜长角闪岩)^[4,14,18]。从岩石中普遍含有角闪石这一特征矿物及稳定的 Hf 同位素组成判断,应主要来自古元古代中基性地壳的部分熔融。同时注意到,Hf 初始值有一定的变化范围,且位于早前寒武纪基底 Hf 同位素演化线之上(图 3),据此推测有少量地幔物质加入。这一推测与该地区发育同时代的基性岩脉这一地质事实相吻合。在花岗岩结晶年龄对 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 的图 3 中,库鲁克塔格地区新元古代花岗岩从 820Ma 到 630Ma ^[19-20], $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值表现为出逐渐增高的趋势。从 Nd-Hf 同位素判断, $800\sim 820\text{Ma}$ 的花岗岩均来自于太古宙物质的部分熔融,而 735Ma 、 630Ma 的花岗岩,可能有来自地幔的物质不同程度地参与^[20]。综合考虑 Hf 两阶段模式年龄、 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值,以及库鲁克塔格地区基底岩石的 Hf 同位

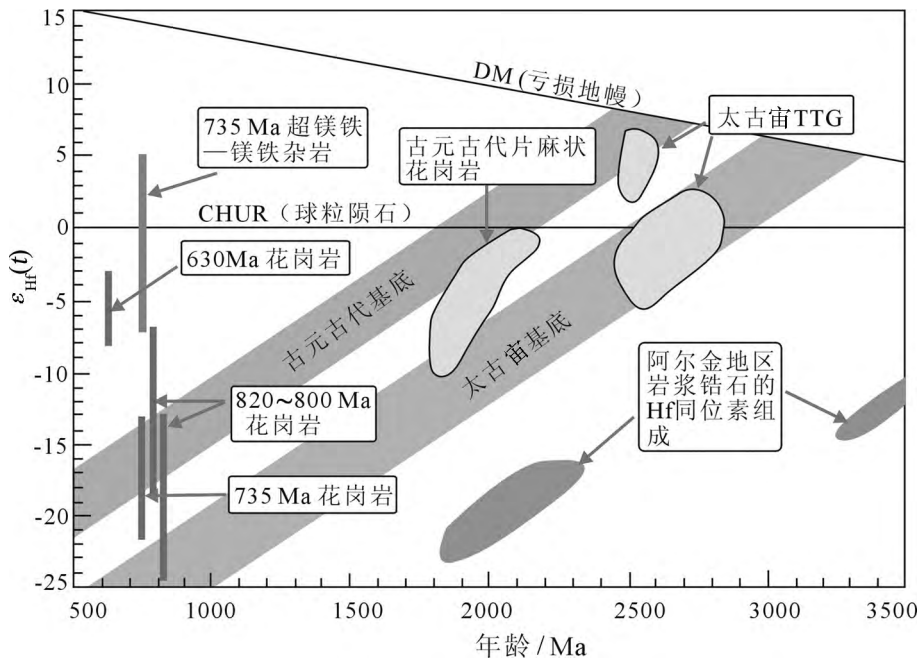


图 3 塔里木前寒武纪岩石年龄- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 图解

(阿尔金地区 $3.6\sim 2.2\text{Ga}$ 的锆石资料据参考文献[17];太古宙及古元古代基底演化区域据参考文献[14]; $820\sim 800\text{Ma}$ 花岗岩据参考文献[28];
 735Ma 花岗岩及 735Ma 超镁铁—镁铁岩据参考文献[9])

Fig. 3 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ diagram of ages of Precambrian rocks in Tarim Basin

素演化趋势,推测 630Ma 花岗质岩石主要来自于古老中基性地壳物质的部分熔融,并有部分地幔物质的加入(如同时代的基性岩墙)。

4.2 构造意义

Zhu 等^[10,12]对铁门关水库的基性岩墙研究表明,它们形成于板内伸展构造背景,其原始岩浆来自于被俯冲带流体交代的岩石圈地幔。Zhu 等^[21]结合对阿克苏群的锆石 U-Pb 定年分析,认为阿克苏群发生蓝片岩相变质的时间约为 700Ma。据此推测:①阿克苏蓝片岩是塔里木地区泛非造山事件的产物;②铁门关水库的基性岩墙是泛非造山后伸展背景的产物。Zhu 等^[22]在后来的文章中又认为,650~630Ma 的花岗岩属于大陆边缘岛弧的产物。

然而,对于新元古代最末期岩浆事件的构造背景,必须综合考虑以下几个方面的事实:①库鲁克塔格地区保留了完整的新元古代沉积地层(库鲁克塔格群)^[2],自下而上分别为贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组、特瑞爱肯组、扎磨克提组、育肯丝组、水泉组和汉格尔乔克组。其中,在贝义西组、特瑞爱肯组和汉格尔乔克组中至少发育 3 期冰碛岩(图 1-c)^[11,23]。库鲁克塔格地区的新元古界几乎没有任何显著的变质变形,也没有显著的沉积间断。Xu 等^[11]报道的贝义西组、照壁山组和扎磨克提组中火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 740Ma、725Ma 和 615Ma,表明 740~600Ma 期间库鲁克塔格接受了连续稳定的被动大陆边缘沉积^[11];②对 Zhu 等^[7]报道的阿克苏群锆石 U-Pb 年龄作了详细的分析,认为阿克苏群发生变质的时间不晚于 760Ma。结合对库鲁克塔格地区新元古代岩浆岩的研究,认为新元古代洋壳俯冲可能持续到 760Ma,在 820~760Ma 期间板块俯冲和地幔柱的共同作用形成该地区独特的岩浆岩组合和变质作用^[9]。

Li 等^[13,24]对主要的 Rodinia 大陆块体古地磁资料的系统研究表明,塔里木和澳大利亚西缘(西北缘)在新元古代很长时期内是连在一起的^[13,24],甚至持续到寒武纪早期^[13]。尽管澳大利亚和东南极在 630Ma 左右向冈瓦那会聚,直到 530Ma 才成为西冈瓦那的一部分,但这一时期,塔里木即使和澳大利亚连接,也没有相关的地层学记录支持该时期的造山事件。综上所述,无论是从全球构造演化角度,还是在塔里木地区观察到的基本地质事实,从新元古代

中晚期到早古生代漫长的地质时期,塔里木是一个相对稳定的大陆块体。

尽管地幔柱导致的大规模岩浆活动一般在 2~3Ma 以内^[25-26],但地幔柱对地壳的加热作用所形成的花岗岩可以从地幔柱主期岩浆爆发前一直持续到地幔柱活动结束,持续的时间可以从几十百万年到上亿年之久^[26-27]。从塔里木新元古代岩浆活动的表现来看,岩浆活动主要发生在 820~800Ma 和 780~760Ma 之间,740~730Ma 期间的岩浆活动显著减弱,仅发育少量双峰式的侵入杂岩和火山岩。650~615Ma 期间的岩浆活动更显微弱,目前仅见到有数条煌斑岩脉、几百平方米的花岗质侵入岩和少量凝灰岩^[22]。根此推测,650~615Ma 期间的岩浆活动代表了塔里木新元古代最晚期的岩浆事件,是 Rodinia 解体过程中的岩浆作用,可能是 Rodinia 超级地幔柱末期的岩浆岩效应,而与泛非造山事件无关。

5 结 论

(1)塔里木新元古代岩浆活动从 820Ma 一直持续到 615Ma,具有显著的阶段性。650~615Ma 的岩浆活动是塔里木新元古代最晚也是最微弱的一期岩浆活动。

(2)650~615Ma 期间的岩浆活动与泛非造山事件无关,而是 Rodinia 超大陆解体过程中的产物,可能是 Rodinia 超级地幔柱末期的岩浆岩效应。塔里木从 740Ma 开始一直到寒武纪,接受了长期的被动大陆边缘沉积,表明塔里木为独立于冈瓦那超大陆之外的一个大陆块体,或是位于冈瓦那最北部边缘的一个稳定大陆块体。

致谢:天津地质矿产研究所的张永清协助进行锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素分析,在此深表感谢。

参考文献

- [1]新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2]高振家,朱诚顺. 新疆前寒武纪地质[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1984.
- [3]陆松年. 新疆库鲁克塔格地区前寒武纪地质演化[J]. 前寒武纪地质研究[J],1992,(26/27):1-15.
- [4]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[J]. Precambrian Research, 2008, 160: 94-107.
- [5]Zhang C L, Li H K, Santosh M, et al. Precambrian evolution and

- cratonization of the Tarim Block, NW China: Petrology, geochemistry, Nd-isotopes and U-Pb zircon geochronology from Archaean gabbro-TTG-potassic granite suite and Paleoproterozoic metamorphic belt[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 47: 5-20.
- [6]Shu L S, Deng X L, Ma D S, et al. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: New geochronological insights from the Quruqtagh domain[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42: 774-790.
- [7]Zhang C L, Zou H B, Li H K, et al. Tectonic framework and evolution of the Tarim Block, NW China[J]. *Gondwana Research*, 2013 23:1306-1315.
- [8]Zhang C L, Li Z X, Li X H, et al. Neoproterozoic mafic dyke swarm in north margin of the Tarim, NW China: age, geochemistry, petrogenesis and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 35: 167-179.
- [9]Zhang C L, Zou H B, Wang H Y. Multiple phases of the Neoproterozoic igneous activity in Quruqtagh of the northeastern Tarim Block, NW China: Interaction between plate subduction and mantle plume?[J]. *Precambrian Research*, 2011, doi. org/10.1016/j. precamres. 2011.08.005.
- [10]Zhu W B, Zhang Z Z, Shu L S, et al. 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[J]. *Journal of Geology Society, London*, 2008, 165: 887-890.
- [11]Xu B, Xiao S H, Zou H B, et al. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China[J]. *Precambrian Research*, 2009, 168: 247-258.
- [12]Zhu W B, Zheng B H, Shu L S, et al. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Korla mafic dykes: Constrains on the Neoproterozoic continental breakup in the Tarim Block, northwest China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2010.11.018>.
- [13]Li Z X, C McA Powell. An outline of the palaeogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic[J]. *Earth-Science Reviews*, 2001, 53, 237-277.
- [14]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[J]. *Precambrian Research*, 2010, 180: 272-284.
- [15]侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICPMS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. *矿床地质*, 2009, 28:481-492.
- [16]侯可军, 李延河, 邹天人, 等. LA-MC-ICPMS 锆石 Hf 同位素分析方法及地质应用[J]. *岩石学报*, 2007, 23: 2595-2504.
- [17]吴福元, 李献华, 郑永飞, 等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用[J]. *岩石学报*, 2007, 23:185-220.
- [18]Hu A Q, Jahn B M, Zhang G X, et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks[J]. *Tectonophysics*, 2000, 328: 15-51.
- [19]Long X P, Yuan C, Sun M, et al. Reworking of the Tarim Craton by underplating of mantle plume-derived magmas: Evidence from Neoproterozoic granitoids in the Kuluketage area, NW China[J]. *Precambrian Research*, 2011, 187: 1-14.
- [20]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[J]. *Precambrian Research*, 2007, 152: 149-169.
- [21]Zhu W B, Zheng B H, Shu L S, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the Precambrian Aksu blueschist terrane, northwestern Tarim, China: Insights from LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and geochemical data[J]. *Precambrian Research*, 2011, 185: 215-230.
- [22]Ge R F, Zhu W B, Zheng B H, et al. Early Pan-African magmatism in the Tarim Craton: Insights from zircon U-Pb-Lu-Hf isotope and geochemistry of granitoids in the Korla area, NW China [J]. *Precambrian Research*, 2012, 222-223:117-138.
- [23]Xu B, Jiang P, Zheng H F, et al. U-Pb zircon geochronology of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China: implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations[J]. *Precambrian Research*, 2005, 136: 107-123.
- [24]Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis[J]. *Precambrian Research*, 2008, 160: 179-210.
- [25]Coffin M F, Eldholm O. Large igneous provinces: crustal structure, dimension, and external consequences[J]. *Review on Geophysics*, 1994, 32: 1-36.
- [26]Xu Y G, Luo Z Y, Huang X L, et al. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on crustal melting associated with the Emeishan mantle plume[J]. *Geochimica et Cosmochimica*, 2008, 72: 3084-3104.
- [27]Li X H, Li Z X, Ge W, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma?[J]. *Precambrian Research*, 2003, 122: 45-83.