

新疆于田县阿羌火山岩的时代再讨论

李博秦¹, 刘铭涛¹, 冯宝山¹, 张有军¹, 李宛荫²

LI Boqin¹, LIU Mingtao¹, FENG Baoshan¹, ZHANG Youjun¹, LI Wanyin²

1. 天津华北地质勘查局, 天津 300170; 2. 上海财经大学浙江学院, 浙江 金华 321013

1. Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China;

2. Shanghai University of Finance and Economics Zhejiang College, Jinhua 321013, Zhejiang, China

摘要:阿羌火山岩作为一个独立的地质构造单元在西昆仑的地质演化中扮演着重要的角色。为了调查阿羌火山岩的年龄,在阿羌火山岩的不同部位中采集了5件样品,进行LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb定年。其中2件样品没有获得有效年龄,另外3件样品得到4个年龄数据:485Ma、461Ma、432Ma、145Ma,反映该带经历了加里东、华力西、燕山等运动。该结果对重新认识和研究西昆仑的地质演化历史具有重要的地质意义。

关键词:阿羌火山岩; LA-MC-ICP-MS 锆石U-Pb定年; 地质演化

中图分类号: P588.14; P597^{+.3} **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2017)07-1169-06

Li B Q, Liu M T, Feng B S, Zhang Y J, Li W Y. A discussion on the age of Aqiang volcanic rocks from Yutian County, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(7):1169-1174

Abstract: As an independent geological tectonic unit, the Aqiang volcanic rocks play an important role in the geological evolution of the West Kunlun Mountains. In order to study the ages of the Aqiang volcanic rocks, the authors collected five samples from different parts of the Aqiang volcanic rocks. The zircon U-Pb age was obtained by LA-MC-ICP-MS. Two of the samples failed to get effective zircon U-Pb ages, whereas four zircon U-Pb ages were obtained from the other three samples: 485Ma, 461Ma, 432Ma, and 145Ma, suggesting that the belt experienced Caledonian, Variscan activities, such as Yanshanian movement. This result is of great significance for the study of the geological evolution history of West Kunlun Mountains.

Key words: Aqiang volcanic rocks; LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating; geological evolution

在塔里木板块南缘有一个比较特殊的地质体,即阿羌火山岩,属于北昆仑地体重要组成部分^{①②③[1-2]}。其特殊性主要表现在2个方面:①规模巨大,延伸稳定,有一定的变质变形,表明该火山岩见证了塔里木板块南缘地质发展、演化的历史;②随着地质工作程度的深入,在该火山岩中陆续发现了大量块状硫化物型铜铅锌矿产^[3-4]。对阿羌火山岩时代及该火山岩的深入研究,既能充分认识塔里木板块南缘地质演化各个阶段的地质特征,又能通过对火山岩地物化等特征研究,更好地为地质找矿服务。因此,对阿羌火山岩的深入研究,既有重要的地质意义,又有经济意义。

正因为阿羌火山岩的特殊性及重要性,引起了地质工作者对其时代探究的浓厚兴趣。关于阿羌火山岩的时代研究,始于20世纪60年代。1964年新疆区域地质调查大队在填制1:100万《和田幅》地质图时,根据火山岩地质特征及区域地质演化规律将阿羌火山岩确定为新元古代^①,1992年贾群子等在《西昆仑块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测》一书中,认为该火山岩时代应该是蓟县纪^[3];2002年陕西省地质调查院在测制1:25万地质大调查项目“于田幅”时,在阿羌一带的火山岩中发现了薄层紫红色硅质岩,其为一套深水相沉积岩,是火山沉积间隙形成的,其内发现了放射虫化石,经鉴定为早一中二叠世^{②[1]}。

收稿日期:2017-01-26;修订日期:2017-05-09

资助项目:天津市国土资源和房屋管理局科研项目《新疆和田东三县快速勘查找矿技术方法及远景评价》(编号:TGPC-2014-D-0239)

作者简介:李博秦(1966-),男,博士,教授级高级工程师,从事区域地质、矿产地质调查及研究工作。E-mail: lbq663@126.com

由上所述,该套火山岩时代研究意义重大,而前期工作认识存在较大分歧,归纳起来主要有以下2种不同认识:一种认为是新元古代(蓟县纪)^{①[3]},另一种认为是晚古生代(早—中二叠世)^{②[5]},且二者均有一定的依据。该套火山岩到底形成于什么时代,还需要进一步研究。激光剥蚀多接收等离子质谱法锆石U-Pb定年(LA-MC-ICP-MS)方法的问世及在基性、超基性岩中成功挑出锆石的事例^[6-8],使得对阿羌火山岩时代的进一步研究变成可能。

1 地质特征

阿羌火山岩位于塔里木板块南缘,属于北昆仑地体的重要组成部分^{①②③[1]},呈狭长的带状分布(图1),在新疆于田县普鲁—阿羌一带呈近NE向,向西呈NW向展布,与上、下地层呈断层接触。受多期构造运动的叠加作用,该火山岩已不同程度地变质、变形,局部为断块、构造透镜体等。阿羌火山岩组地层总体变形较弱,变质较强,岩石原生构造很少保

留,矿物大多为蚀变矿物,地层总体单斜,褶皱不发育,根据火山岩岩石特征及建造特征,将其分为上、下2段,底部有一套火山角砾岩^②。

2 样品采集及制作

阿羌火山岩在西昆仑分布较广,东西长近2000km,宽0.5~3km。考虑到该带规模较大,采集样品不能集中在同一个地方。笔者分别在阿羌乡变质变形较弱的地段采集了3件测年样品,在其东侧塔木其变质程度较深的地段采集了1件测年样品,在该带东段的上其汗采集了1件样品。样品采集过程中,每件样品1~2袋,重量达20kg,确保能挑出锆石。

在野外对样品进行初加工:用地质锤将样品敲碎至3~5cm,然后装入样品袋内,将袋口扎紧,以防漏样或外来物质混入。之后,送到河北省廊坊区调队实验室挑选锆石,且所有样品都挑出了锆石。

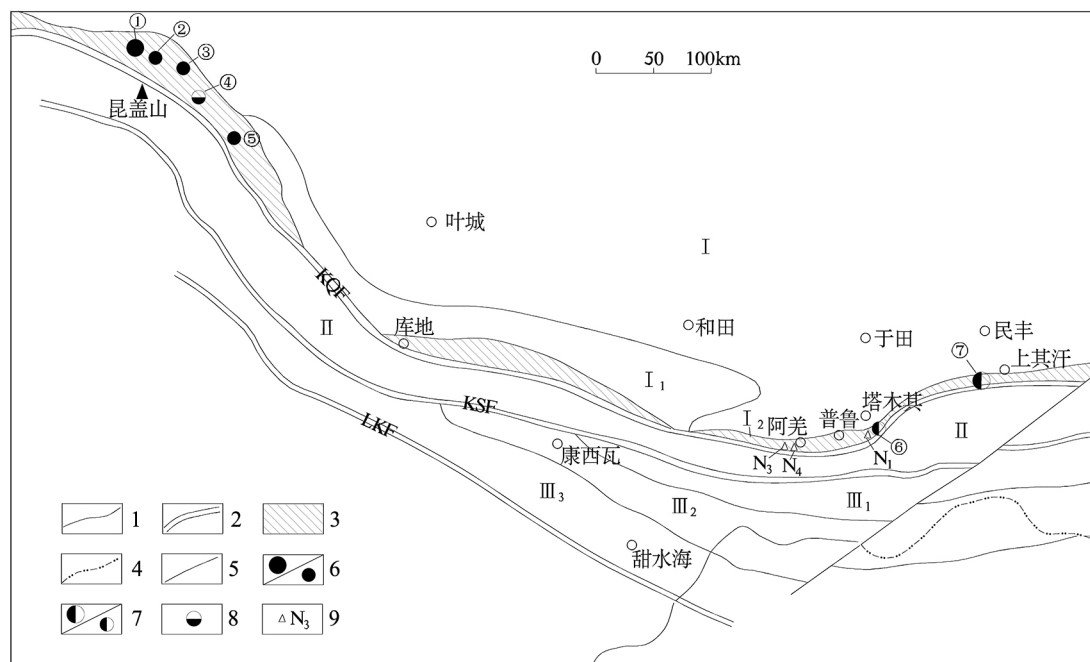


图1 阿羌火山岩带构造及矿产分布略图(据参考文献[4]修改)

Fig. 1 Schematic geological map of Aqiang volcanic rocks, showing structures and distribution of ore minerals

1—构造界线;2—缝合带;3—阿羌裂谷火山岩带(晚古生代活动带);4—省界;5—苦牙克断裂;6—铜矿床/矿点;
7—铜—锌矿床/矿点;8—铜—金矿点;9—采样位置及代号。I—昆北地块(I₁—铁克里克断隆;I₂—晚古生代活动带);II—昆南地块;III—羌塘地块(III₁—晚古生代弧盆带;III₂—晚三叠世活动带;III₃—本部台地);
KQF—库地—其曼于特早古生代缝合带;KSF—库地—苏巴什晚古生代缝合带;LKF—龙木错—可可西里晚古生代—中生代缝合带;①—阿克塔什铜矿床;②—一号铜矿点;③—卡斯卡苏铜矿点;④—大勒大铜(金)矿点;⑤—萨洛依铜矿点;⑥—塔木其铜—锌矿点;⑦—上其汗铜—锌矿床

3 年龄测试

(1) 测试方法及要求

将5件样品的锆石送到天津地质矿产研究所同位素实验室进行锆石U-Pb测年。采用仪器为激光烧蚀多接收器等离子质谱仪(LA-MC-ICP-MS)。为保证检测工作正常进行,确保检测数据准确可靠,锆石U-Pb测年须严格遵照LA-MC-ICP-MS操作规范的要求^[9]。

(2) 测试结果

尽管在5件测年样品中均挑到了锆石,但在锆石U-Pb定年测试(LA-MC-ICP-MS)时只有3件样品(N1、N3、N4)具有有效的阴极发光(CL)图像(图2)和年龄谐和图(图3),将没做出谐和图的样品分析结果舍弃。因此,这3件样品的分析结果是合理、可靠的。它们的谐和图及分析数据见图3和表1。

4 讨论及结论

阿羌火山岩的年龄问题,是讨论了半个世纪的地质问题,其形成时代涉及到西昆仑乃至整个昆仑造山带的演化问题。在20世纪60年代,新疆区调

队在测制1:100万“和田幅”时,根据两侧老地层(元古宙老基底)及火山岩的变形变质特征,将该套火山岩确定为新元古代。当时的地质路线位于什么地方现在无从查证,但至少可以认为岩石发生了较强的变形和较深的变质作用。这点笔者在野外调研这套火山岩时在有些地方也可以看到,如上其汗东区的片理化蚀变火山岩,岩石发生明显褶皱变形,变质明显,可见角闪岩化现象。随后,这种现象在塔木其、普鲁村等地也陆续发现。由此表明,该套火山岩中确有老的火山岩存在。贾群子等在《西昆仑块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测》^[3]一书中也提到,塔木其矿床一带的火山岩属于蓟县纪,但书中没提蓟县纪火山岩结论得来的依据。

本次在塔木其铜矿床矿体围岩中采集年龄样品N1,通过LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb测年得到的下交点年龄为 485.1 ± 3.8 Ma,归于早奥陶世。

从火山岩带两侧老基底是元古宙(青白口系丝路岩组(Qns)白云质灰岩、结晶灰岩、大理岩夹石英片岩,蓟县系流水岩组(Jxl)石英岩夹大理岩、石英片岩;长城系卡羌岩群(Chk)石英岩夹大理岩、黑云母斜长片麻岩,古元古界米兰岩群(Pt₁M)石榴子石

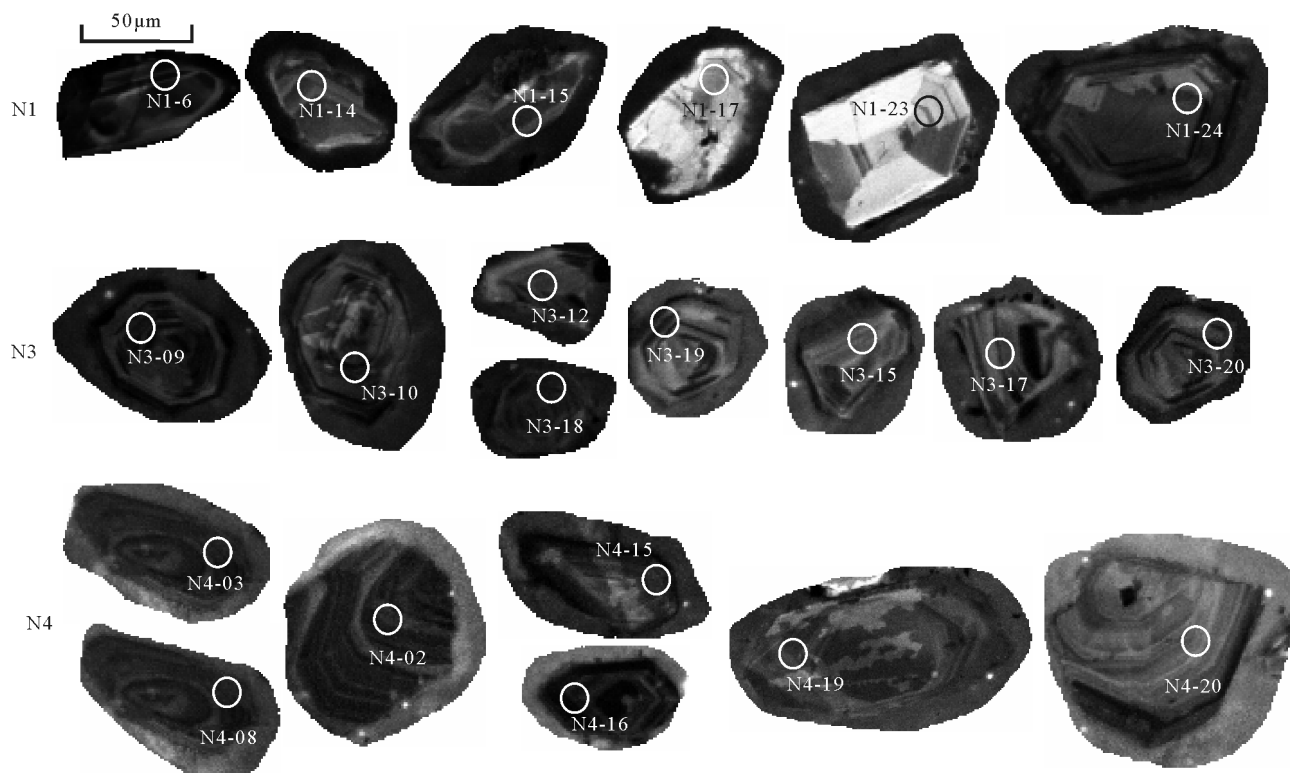


图2 样品N1、N3、N4的锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 2 Zircon CL images of samples N1, N2 and N4

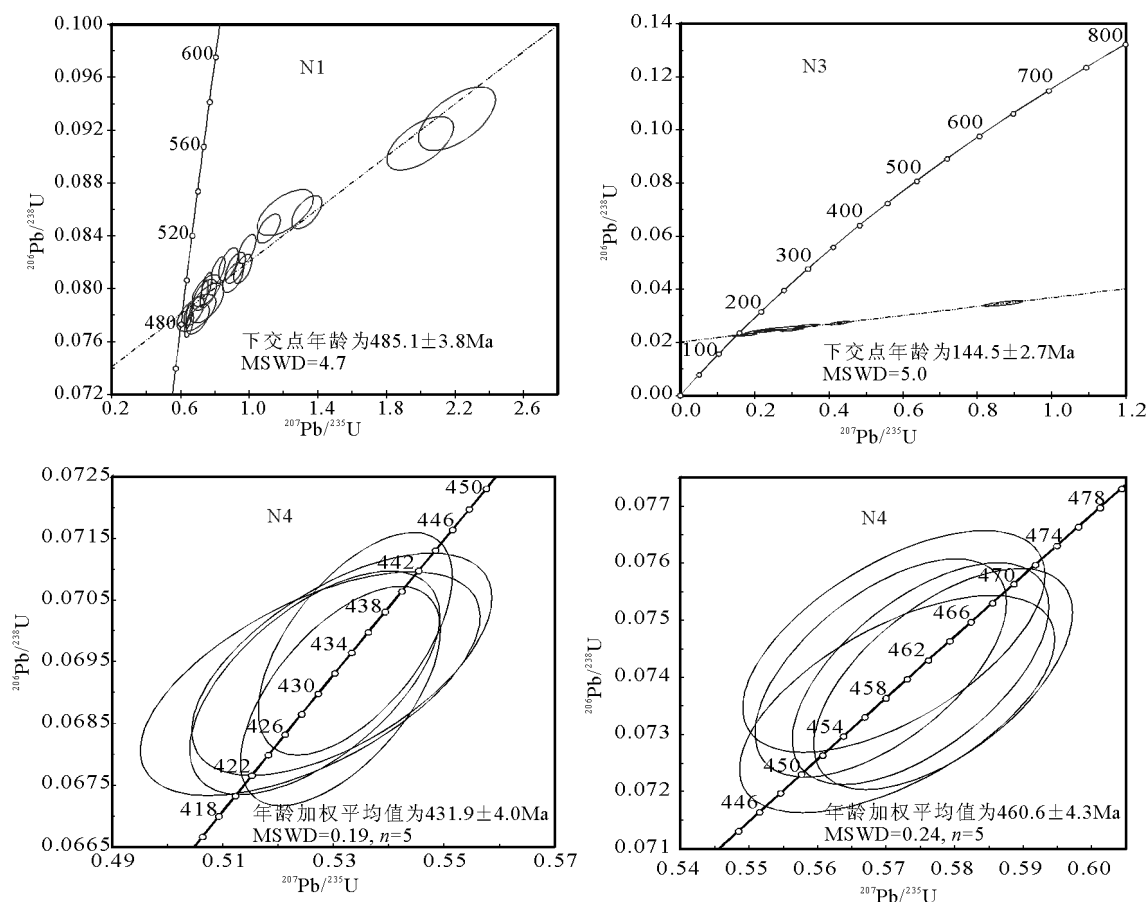


图3 样品N1、N3、N4的LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb谐和图

Fig. 3 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb concordia diagrams of samples N1, N3 and N4

角闪斜长片麻岩、透辉斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩)等来分析,该带形成于早奥陶世可能更合理。

从“和田幅”报告得出的火山岩是蓟县纪的依据,结合本次锆石U-Pb测年分析结果,将塔木其一带火山岩划归早奥陶世更合理。

另外,在阿羌3号火山岩蚀变带中,样品N4的锆石U-Pb测年结果(LA-MC-ICP-MS)为431.9~460.6Ma,为晚奥陶世—早志留世。从岩石外观观察,岩石片理化较强,变质达高绿片岩相。其与塔木其火山岩距离不到10km,两侧基底也是元古宙青白口纪变质岩,向东可以与塔木其火山岩相连。

在阿羌的3号蚀变带下盘,岩石变形较弱,变质程度低,仅为低绿片岩相。样品N3的LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb测年结果为144.5±2.7Ma,属于晚侏罗世,结合该带火山岩的岩性特征及区域地质演化特征,划归晚侏罗世火山岩是正常的。

1:25万“于田幅”在火山岩的硅质岩夹层中发现早—中二叠世放射虫化石,发现放射虫化石的地方位于普鲁村,阿羌西部,距离阿羌5km。该处火山岩呈块状,局部片理化,弱变质,仅出现绿泥石化、绿帘石化等蚀变,变质达低绿片岩相。放射虫处于紫红色硅质岩中,揭示了火山岩喷发的一个沉积间隙。硅质沉积岩说明沉积具有一定深度,硅质岩为紫红色,反映了氧化环境。说明火山岩形成于半浅—半深海环境。

综上所述,阿羌火山岩的围岩都是元古宙青白口系丝路岩组、蓟县系流水组的老变质岩,处于同一构造带内,但形成时间有差异。最早的为早奥陶世,其次为晚奥陶世—早志留世,然后是二叠纪,还有一期为晚侏罗世,说明阿羌火山岩组成较复杂,是4期火山活动的结果。同时反映,该裂谷带经历了加里东期、华力西期及燕山期3期大的构造运动。

表 1 阿羌火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 定年分析数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating data of Aqiang volcanic rocks

样品号	含量/ 10^{-6}			同位素比值										年龄/Ma	
	Th	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
N1-1	27	5	45	0.08579	0.00052	1.3368	0.0357	0.113	0.0029	0.0342	0.0004	0.6241	0.0019	862	531
N1-2	198	7	264	0.02343	0.00013	0.2132	0.0056	0.066	0.0016	0.0075	0.0001	0.7676	0.0008	196	149
N1-3	32	7	55	0.09286	0.00099	2.2146	0.0918	0.173	0.0061	0.0574	0.0018	0.5961	0.0011	1186	572
N1-4	56	8	86	0.08182	0.00052	0.8798	0.0236	0.078	0.0018	0.0245	0.0004	0.6644	0.001	641	507
N1-5	117	5	159	0.02389	0.00019	0.4186	0.0141	0.1271	0.004	0.0097	0.0002	0.7546	0.0029	355	152
N1-6	78	9	111	0.07827	0.00044	0.6791	0.0243	0.0629	0.0022	0.0202	0.0002	0.7204	0.0012	526	486
N1-7	71	9	99	0.08141	0.00042	0.8222	0.0163	0.0733	0.0014	0.0225	0.0002	0.7388	0.0004	609	505
N1-8	130	16	168	0.083	0.00045	0.991	0.0214	0.0866	0.0017	0.0239	0.0003	0.7938	0.0005	699	514
N1-11	66	8	93	0.08156	0.00049	0.923	0.0244	0.0821	0.0017	0.0213	0.0004	0.7328	0.0008	664	505
N1-12	57	7	83	0.08081	0.00047	0.909	0.025	0.0816	0.0021	0.0227	0.0004	0.7102	0.0045	657	501
N1-13	25	4	49	0.07951	0.00049	0.7445	0.0282	0.0679	0.0025	0.0243	0.0003	0.5277	0.0038	565	493
N1-14	26	4	46	0.07891	0.00061	0.7553	0.0405	0.0694	0.0036	0.0174	0.0004	0.5721	0.001	571	490
N1-15	101	10	114	0.07726	0.00039	0.6521	0.0111	0.0612	0.001	0.0165	0.0001	0.9066	0.0023	510	480
N1-16	111	19	282	0.06713	0.00034	0.5975	0.0083	0.0645	0.0009	0.0159	0.0001	0.4049	0.0008	476	419
N1-17	149	17	204	0.07794	0.00039	0.6506	0.0079	0.0605	0.0007	0.0143	0	0.7485	0.0009	509	484
N1-18	54	9	76	0.091	0.00083	1.9985	0.0795	0.1593	0.005	0.0341	0.0012	0.7304	0.0034	1115	561
N1-21	16	3	38	0.07986	0.0005	0.7525	0.0335	0.0683	0.003	0.0215	0.0004	0.4401	0.003	570	495
N1-22	61	9	98	0.08149	0.00045	0.9658	0.0225	0.086	0.0018	0.0198	0.0003	0.6371	0.0025	686	505
N1-23	42	6	70	0.07813	0.00058	0.694	0.0464	0.0644	0.0042	0.0186	0.0003	0.6172	0.001	535	485
N1-24	32	4	54	0.07765	0.00047	0.7044	0.0275	0.0658	0.0026	0.0177	0.0002	0.6007	0.0007	541	482
N1-25	53	8	79	0.08454	0.00045	1.1167	0.0269	0.0958	0.0022	0.0253	0.0004	0.6936	0.0031	761	523
N1-26	35	6	62	0.08575	0.00071	1.213	0.0664	0.1026	0.0046	0.0307	0.0012	0.5807	0.0024	807	530
N1-27	96	11	121	0.08021	0.00041	0.7548	0.0131	0.0683	0.0012	0.0192	0.0001	0.8118	0.0008	571	497
N1-28	224	21	231	0.07963	0.00042	0.7378	0.0094	0.0672	0.0009	0.0186	0.0001	0.996	0.0017	561	494
N3-1	450	60	823	0.07145	0.00067	0.5524	0.0077	0.0561	0.0007	0.0149	0.0003	0.5606	0.0012	447	445
N3-2	76	92	349	0.26632	0.00257	3.6518	0.0484	0.0994	0.0012	0.0529	0.0011	0.2246	0.0039	1561	1522
N3-3	190	68	537	0.12786	0.00122	1.5103	0.0211	0.0857	0.0011	0.0199	0.0004	0.3626	0.001	935	776
N3-4	191	125	369	0.32347	0.00309	5.206	0.0688	0.1167	0.0014	0.0529	0.0009	0.5322	0.0014	1854	1807
N3-5	865	97	1203	0.07698	0.00073	0.6962	0.0092	0.0656	0.0008	0.0147	0.0002	0.7377	0.0008	537	478
N3-6	227	111	229	0.406	0.00406	8.2304	0.1112	0.147	0.0017	0.0919	0.0016	1.0175	0.0046	2257	2197
N3-8	353	14	483	0.0252	0.00033	0.2785	0.025	0.0802	0.0068	0.0067	0.0002	0.7492	0.0013	249	160
N3-9	288	12	461	0.02413	0.00025	0.1903	0.0217	0.0572	0.0065	0.0062	0.0002	0.6411	0.0014	177	154
N3-10	297	13	506	0.02391	0.00024	0.1982	0.009	0.0601	0.0027	0.0066	0.0001	0.6013	0.0011	184	152
N3-11	537	42	1160	0.03306	0.00035	0.4988	0.0079	0.1094	0.0017	0.0109	0.0002	0.4748	0.0013	411	210
N3-12	369	14	519	0.0243	0.00029	0.2345	0.0147	0.07	0.0042	0.0065	0.0001	0.7295	0.0031	214	155
N3-13	424	16	550	0.02619	0.00027	0.3417	0.0134	0.0946	0.0039	0.0061	0.0002	0.7904	0.0008	298	167
N3-15	539	18	555	0.02808	0.00029	0.4238	0.0115	0.1095	0.0025	0.0063	0.0002	0.9965	0.0039	359	179
N3-16	335	18	401	0.03455	0.0004	0.8695	0.0223	0.1825	0.0041	0.0118	0.0003	0.8571	0.0022	635	219
N3-17	139	11	449	0.02471	0.00025	0.3008	0.0128	0.0883	0.0035	0.0068	0.0002	0.3169	0.0012	267	157
N3-18	448	13	557	0.02272	0.00023	0.1732	0.0139	0.0553	0.0044	0.0047	0.0001	0.8242	0.0011	162	145
N3-19	986	22	841	0.02287	0.00022	0.175	0.0041	0.0555	0.0012	0.0045	0.0001	1.2031	0.001	164	146
N3-20	21	8	342	0.02474	0.00025	0.2984	0.012	0.0875	0.0034	0.0069	0.0001	0.0628	0.0002	265	158
N3-21	131	216	706	0.29648	0.00298	5.8411	0.0801	0.1429	0.0017	0.0727	0.0012	0.1909	0.0012	1953	1674

续表 1

样品号	含量/ 10^{-6}			同位素比值										年龄/Ma	
	Th	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
N3-22	524	19	599	0.02718	0.0003	0.4296	0.0111	0.1146	0.0027	0.0076	0.0001	0.8972	0.0009	363	173
N3-23	126	181	1352	0.14158	0.00134	1.3447	0.0177	0.0689	0.0008	0.0307	0.0005	0.0959	0.0001	865	854
N4-1	426	116	1670	0.06471	0.00068	0.8731	0.0119	0.0979	0.0012	0.0335	0.0006	0.2618	0.0006	637	404
N4-2	356	59	790	0.07397	0.00079	0.5784	0.0077	0.0567	0.0007	0.0165	0.0003	0.4625	0.0043	463	460
N4-3	23	4	57	0.06916	0.00075	0.6447	0.0241	0.0676	0.0025	0.0228	0.0004	0.4222	0.0018	505	431
N4-4	147	42	548	0.07876	0.00083	0.6194	0.0084	0.057	0.0007	0.0193	0.0003	0.2755	0.0029	489	489
N4-5	285	84	1132	0.07238	0.00077	0.8458	0.0144	0.0848	0.0013	0.0284	0.0006	0.2582	0.0006	622	450
N4-6	211	71	1076	0.06548	0.0007	0.707	0.0093	0.0783	0.0009	0.0255	0.0004	0.2013	0.0002	543	409
N4-7	507	122	2270	0.0499	0.00057	0.7356	0.0096	0.1069	0.0013	0.0305	0.0006	0.2291	0.0018	560	314
N4-8	96	12	170	0.06945	0.00074	0.5316	0.0111	0.0555	0.0011	0.015	0.0003	0.5803	0.0003	433	433
N4-9	1487	127	1573	0.07406	0.00079	0.5751	0.0077	0.0563	0.0007	0.0157	0.0003	0.9698	0.0013	461	461
N4-10	91	36	458	0.08068	0.00087	0.639	0.01	0.0574	0.0008	0.0205	0.0004	0.2038	0.0013	502	500
N4-11	428	114	1899	0.05536	0.00059	0.7981	0.0106	0.1046	0.0013	0.0343	0.0009	0.2311	0.005	596	347
N4-12	4	4	13	0.18722	0.00312	8.5499	0.3493	0.3312	0.0143	0.3385	0.0092	0.309	0.0046	2291	1106
N4-13	145	7	230	0.02747	0.00042	0.3839	0.0159	0.1014	0.0032	0.0104	0.0003	0.6446	0.0007	330	175
N4-14	860	109	1823	0.04946	0.0006	0.9993	0.0228	0.1465	0.0035	0.0249	0.0006	0.4838	0.0012	703	311
N4-15	495	124	1854	0.06979	0.00074	0.534	0.0072	0.0555	0.0007	0.012	0.0003	0.2741	0.0045	434	435
N4-16	102	20	237	0.07409	0.00078	1.2286	0.0174	0.1203	0.0015	0.037	0.0008	0.4423	0.0015	814	461
N4-17	701	95	1326	0.06894	0.00073	0.5313	0.0074	0.0559	0.0007	0.0183	0.0004	0.5424	0.002	433	430
N4-18	154	31	455	0.06915	0.00074	0.5267	0.0092	0.0552	0.0008	0.0175	0.0004	0.3482	0.0016	430	431
N4-19	333	87	1211	0.07416	0.00078	0.5692	0.0075	0.0557	0.0007	0.017	0.0003	0.2819	0.0004	458	461
N4-20	75	13	186	0.06914	0.00074	0.5259	0.0125	0.0552	0.0013	0.015	0.0003	0.414	0.001	429	431
N4-21	262	101	1448	0.07463	0.00079	0.5711	0.009	0.0555	0.0008	0.011	0.0003	0.1857	0.0004	459	464
N4-22	137	27	367	0.07353	0.00078	0.5716	0.0094	0.0564	0.0008	0.018	0.0003	0.3819	0.0004	459	457
N4-23	115	63	394	0.16072	0.00174	1.7308	0.0232	0.0781	0.0009	0.0363	0.0007	0.2988	0.0033	1020	961
N4-24	9573	216	6238	0.02818	0.0003	0.7294	0.0143	0.1877	0.0032	0.0041	0.0001	1.5743	0.0256	556	179

注:表中所列误差均为 1σ 误差;N4-8、N4-15、N4-17、N4-18、N4-20号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $431.9\pm 4.0\text{Ma}$;N4-2、N4-9、N4-19、N4-21、N4-22号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $460.6\pm 4.3\text{Ma}$

致谢:在野外工作期间得到和田华勘矿业公司所有员工的大力支持,尤其是519项目组刘志军,跟笔者一起参与采样、样品初加工等工作;天津华北地质勘查局张连营教授完成锆石U-Pb定年测试工作。锆石挑选在河北省区调队实验室完成,激光剥蚀多接收等离子质谱法锆石U-Pb定年测试在天津地质矿产研究所同位素实验室完成,在此一并表示衷心感谢。

参考文献

[1]韩芳林.西昆仑增生造山带演化及成矿背景[D].中国地质大学博士学位论文,2006:1-216.
[2]李荣社,计文化,杨永成,等.昆仑山及邻区地质[M].北京:地质出版社2008:1-220.
[3]贾群子,王永凤.西昆仑块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测[M].北京:地质出版社,1999.

[4]李博秦.普鲁裂谷火山岩带块状硫化物矿床特征及找矿远景分析[J].陕西地质,2002,20(2):59-65.
[5]边小卫,李博秦,张俊良,等.新疆于田普鲁-阿羌石炭纪裂谷地质特征及成矿意义[J].陕西地质,2002,20(2):1-6.
[6]肖序常,王军,苏犁,等.再论西昆仑库地蛇绿岩和其构造意义[J].地质通报,2003,22(10):745-750.
[7]张传林,于海锋,沈家林,等.西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石SHRIMP年龄:库地蛇绿岩的解体[J].地质论评,2004,6:639-643.
[8]李博秦,姚建新,计文化,等.西昆仑叶城南部麻扎地区弧火成岩的特征及其锆石SHRIMP U-Pb测年[J].地质通报,2006,25(2/3):124-132.
[9]李怀坤,耿建珍,郝爽,等.用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究[J].矿物学报,2009,S1:600-601.
①新疆区域地质调查大队.1:100万《和田幅》地质图及说明书.1964.
②陕西省地质调查院.1:25万于田县幅区域地质调查报告.2002.
③陕西省地质调查院.1:25万康西瓦幅区域地质调查报告.2005.