

准噶尔盆地周边硅质岩激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年*

涂继耀¹ 季建清^{1**} 周晶¹ 徐芹芹² 龚俊峰¹

TU JiYao¹, JI JianQing^{1**}, ZHOU Jing¹, XU QinQin² and GONG JunFeng¹

1. 北京大学地球与空间科学学院 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871

2. 中国科学院地质与地球物理研究所 岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

1. Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2012-10-25 收稿, 2013-02-22 改回.

TU JY, JI JQ, ZHOU J, XU QQ and GONG JF. 2013. Laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the siliceous rocks in North Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 29(8): 2796–2802

Abstract In the past, it was difficult to get the accurate $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating results of siliceous rocks with low potassium and high excess ^{40}Ar content. In recent years, due to the improvement of instruments and the application of new techniques and methods, in particular, the application of laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method has both high enough precision and low enough background level to meet the requirements of getting precise age for siliceous rocks with low potassium. The method using data of multiple sets of mineral particles to calculate isochrone age can be adopted to eliminate the impact of excess ^{40}Ar on the age of siliceous rocks. This paper use laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method to date two siliceous rocks collected from the edge of the Junggar Basin in north Xinjiang. The age of the sample 08BJT-3 collected from Baijiantan area is $294 \pm 14\text{Ma}$. It is basically consistent with the depositional age of the Late Carboniferous strata which the siliceous rock sample lies in. The age of the sample KML-2 collected from Karamaili area is $266 \pm 14\text{Ma}$. It is fully consistent with the activity age of the Karamaili fault zone which strongly transforms the siliceous rock sample. Both of these indicate that the laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method can accurately date the siliceous rocks.

Key words Laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating; Siliceous rocks; Junggar Basin

摘要 由于较低的钾元素含量以及过剩氩的存在, 长期以来对硅质岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年一直存在较大难度。近年来, 由于仪器水平的不断提高, 新实验技术和方法的应用, 特别是激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年技术的应用, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法具有了足够高的测试精度和稳定的低本底水平, 可以满足测试极低钾元素含量的硅质岩样品的要求。利用多组矿物颗粒测试数据计算等时线年龄的方法可以很好地去除过剩氩对硅质岩年龄的影响。本文利用激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法对新疆准噶尔盆地边缘的两个硅质岩样品进行了定年研究。采自白碱滩地区的08BJT-3样品的年龄测试结果为 $294 \pm 14\text{Ma}$, 该年龄结果与硅质岩样品所处的晚石炭世地层沉积年代基本一致。采自卡拉麦里地区的KML-2样品的年龄测试结果为 $266 \pm 14\text{Ma}$, 该年龄结果与强烈变形改造硅质岩样品的卡拉麦里构造变形带活动年代十分一致, 表明激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法可以准确地对硅质岩进行定年。

关键词 激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年; 硅质岩; 准噶尔盆地

中图法分类号 P597.3

* 本文受国家青年自然科学基金项目(41202159)资助。

第一作者简介: 涂继耀, 男, 1988年生, 博士生, 构造地质学与同位素年代学专业, E-mail: tjy1988@sohu.com

** 通讯作者: 季建清, 男, 1968年生, 博士, 副教授, 岩石学、构造地质学与同位素年代学专业, E-mail: gsrange@pku.edu.cn

1 引言

硅质岩、含泥硅质岩是一种常见的沉积岩类型,它的定年对确定沉积地层时代具有重要意义。硅质岩定年常用的方法是根据其中的古生物化石确定其沉积年代(王玉净等, 2006;舒良树和王玉净, 2003)。但由于古生物化石定年结果的年龄范围较宽,所以无法准确测定硅质岩成岩的绝对年龄。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法作为一种准确测定岩石绝对年代的定年方法,已经在多种类型的岩石或矿物定年中取得了成功(McDougall and Harrison, 1999)。但由于硅质岩中的钾元素含量一般较低,以及在成岩过程中硅质岩可能会从周围环境获得大量非放射性成因氩,使得硅质岩具有较高的过剩氩值;所以对硅质岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年一直存在较大难度(Alexander, 1975)。王松山(1993)、王松山等(1995)、王松山和裘冀(1999)通过利用氩元素和氯元素的相关性来校正

过剩氩的方法尝试对硅质岩进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年。邱华宁等(2000)利用真空破碎技术以及阶步加温技术尝试对硅质岩中的流体包裹体进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年。但由于受到仪器测试精度以及仪器测试本底水平的影响,前人对硅质岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年都较难获得非常精确的年龄结果。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法在硅质岩定年中一直没能得到广泛地运用。

近年来,由于仪器水平的不断提高,新实验技术和方法的应用,特别是激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年技术的应用,激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法具有了足够高的测试精度和稳定的低本底水平,可以满足测试极低钾元素含量样品的要求。同时利用多组矿物颗粒激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测量数据计算等时线年龄的方法可以很好地消除样品中存在的过剩氩对年龄的影响(周晶, 2010)。这些条件使得通过 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法准确测定硅质岩年龄的可能性大大提高。为了探索硅质岩、含泥硅质岩的准确定年方法,本文利用激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法对硅质岩所处地层沉积时代以及后期构造变形改造时代较明确(舒良树和王玉净, 2003;徐新等, 2006;何国琦等,

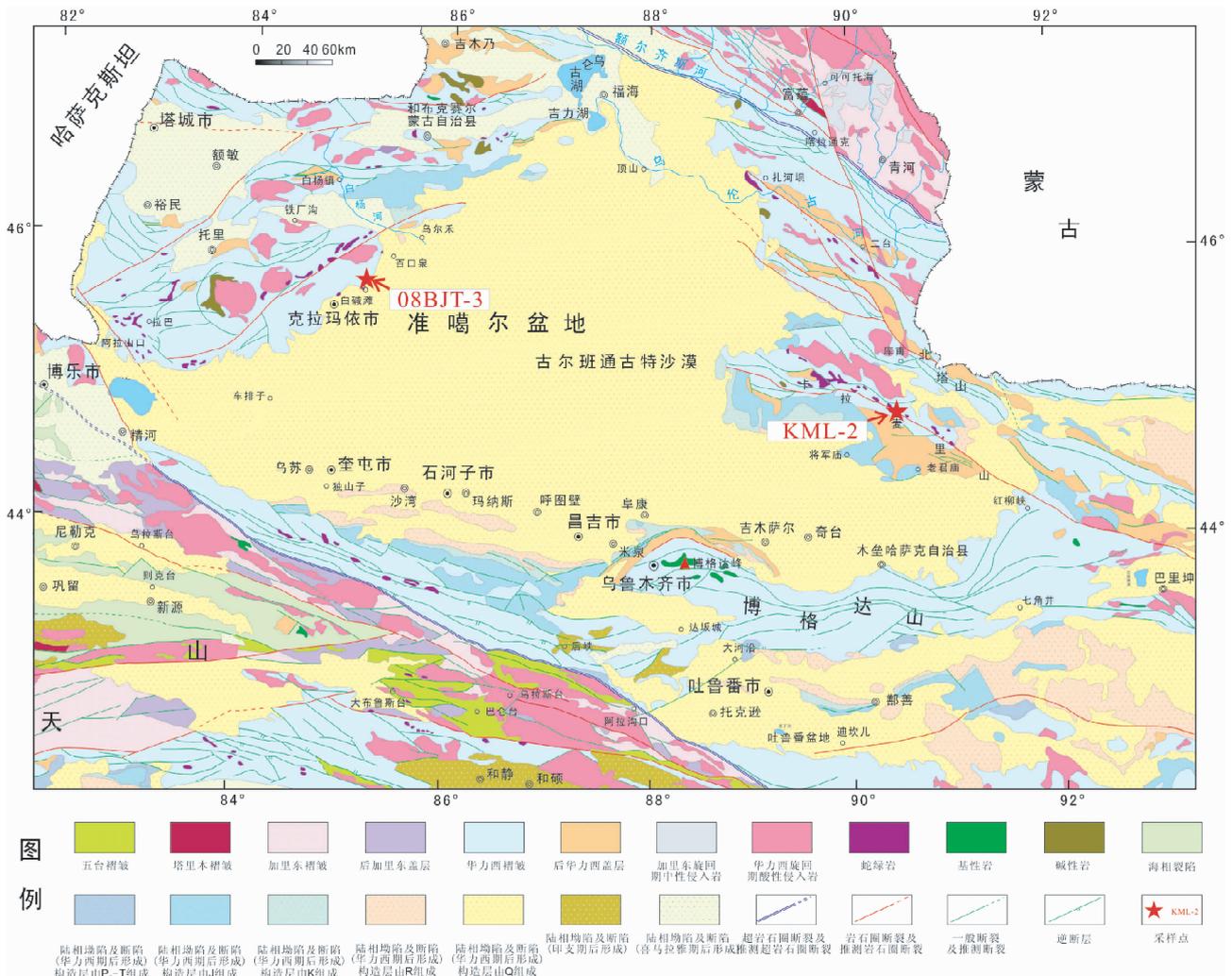


图1 准噶尔盆地及周边地区大地构造简图(据徐芹芹等, 2008, 有修改)

Fig.1 The sketch geological map of the Junggar Basin and surrounding area(modified after Xu *et al.*, 2008)

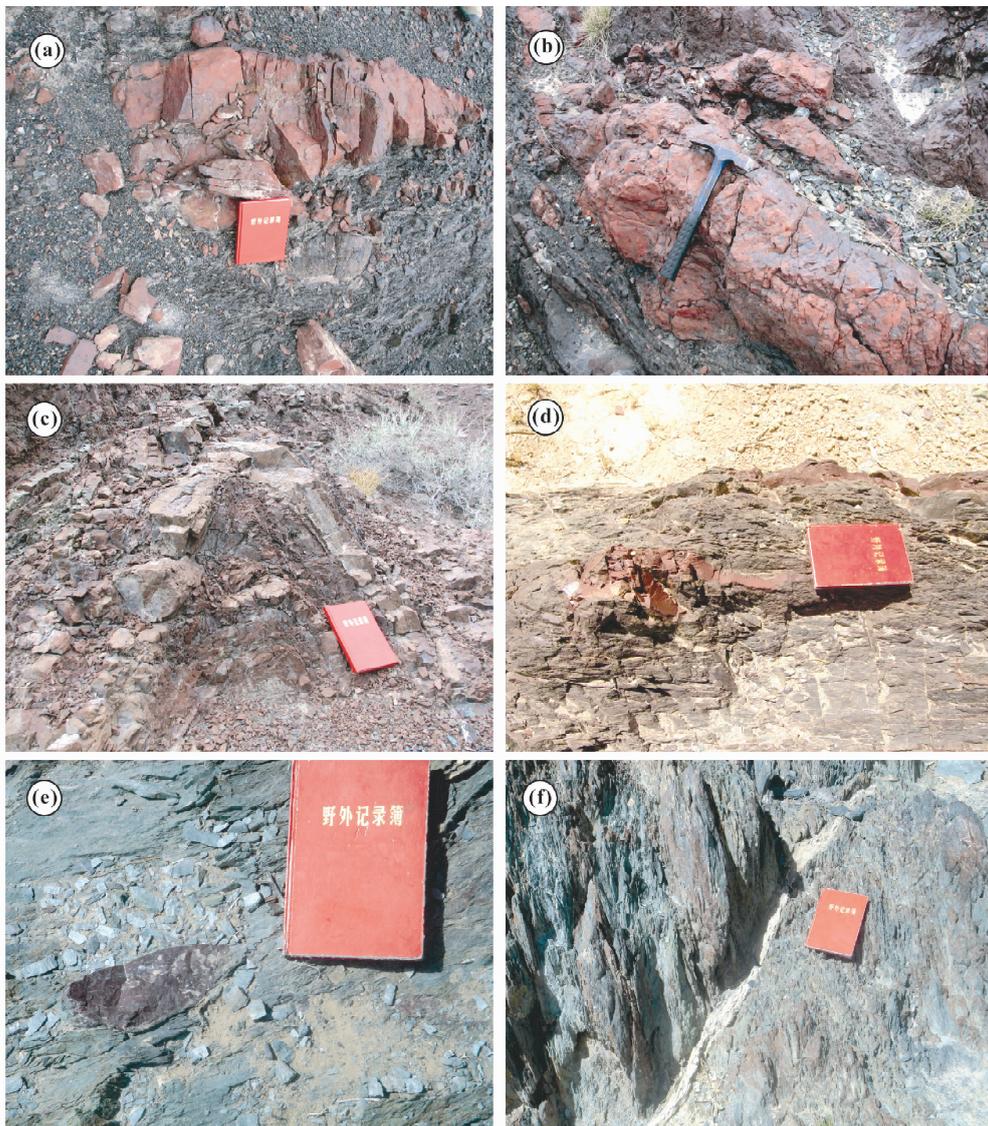


图2 准噶尔盆地边缘硅质岩野外产状

(a,b)-克拉玛依白碱滩地区砖红色含泥硅质岩呈团块状、角砾状产出于石炭纪黑色页岩、粉砂岩中;(c)-克拉玛依白碱滩地区砖红色含泥硅质岩与厚层棕褐色石炭纪粉砂岩互层并一起发生弯曲形成褶皱;(d,e)-卡拉麦里野马泉地区暗红色含泥硅质岩受到卡拉麦里构造带的强烈变形改造,呈拉长脉状或是透镜体状夹在褐色粉砂岩、绿色蚀变辉长岩中;(f)-卡拉麦里野马泉地区暗红色含泥硅质岩与蚀变辉长岩构成互层状置换构造面理,其上发育密集劈理

Fig.2 Occurences of siliceous rocks around Junggar Basin

2007;徐芹芹等,2008,2009;赵磊等,2012)的新疆准噶尔盆地边缘地区的两个硅质岩、含泥硅质岩样品进行了定年测试,并把测年结果与硅质岩、含泥硅质岩样品所处的地层时代或是构造变形带变形活动时代进行对比,以求检验利用激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法对硅质岩进行精确定年的可行性以及探讨定年中可能存在的问题。

2 地质背景与样品采集

新疆准噶尔盆地及其周缘地区的大地构造演化大致可

以分为三个阶段(1)晚古生代以前,陆壳的拼贴与增生,形成了新疆及周边地区大地构造格局的基本形态;(2)与晚古生代亏损地幔事件相关的陆壳垂向增生与基底生成过程,标志陆块的正式形成;(3)始于晚古生代,贯穿中、新生代延续至今的陆内变形和盆山演化,是陆壳形成后的陆内变形演化阶段(何国琦等,1995;徐芹芹等,2008)。区内没有寒武纪或前寒武纪地层出露,寒武纪之后,以古生代地层出露为主,中生代地层次之,新生代地层主要分布在盆地中。奥陶系下部为火山碎屑-粉砂泥质岩建造,上部为火山硅质岩建造;志留系以灰绿色、黄绿色砂质泥岩、砂岩、粉砂岩为主,夹碧玉岩、硅

表1 准噶尔盆地边缘硅质岩激光⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学数据Table 1 Laser ⁴⁰Ar/³⁹Ar results of siliceous rocks around Junggar Basin

Run ID	% ⁴⁰ *	Age (Ma)	±	Ar ³⁹ (Moles)	40	± 40	39	± 39	38	± 38	37	± 37	36	± 36
08BJT-3, 硅质岩, J=0.0055477														
1794-01	9.50	289	13	3.04E-16	1.3343	0.0016	0.004056	0.000032	0.002138	0.000013	0.0705	0.0014	0.004087	0.000010
1794-02	6.43	358	23	1.65E-16	1.1675	0.0011	0.001896	0.000019	0.001979	0.000014	0.0947	0.0014	0.003698	0.000009
1794-03	9.47	356	15	3.11E-16	1.4710	0.0013	0.003548	0.000022	0.002566	0.000019	0.0552	0.0012	0.004507	0.000011
1794-04	6.94	324	20	2.28E-16	1.3309	0.0017	0.002601	0.000027	0.002225	0.000017	0.1063	0.0014	0.004192	0.000011
1794-05	6.14	356	23	2.28E-16	1.6672	0.0013	0.002605	0.000020	0.002793	0.000019	0.1197	0.0017	0.005296	0.000012
1794-06	12.39	293	10	5.38E-16	1.5754	0.0019	0.006145	0.000037	0.002827	0.000018	0.0852	0.0012	0.004672	0.000013
1794-07	4.94	333	27	2.30E-16	1.9410	0.0017	0.002623	0.000021	0.003556	0.000020	0.0781	0.0013	0.006246	0.000013
1794-08	9.25	349	15	2.51E-16	1.4521	0.0015	0.003496	0.000024	0.002437	0.000017	0.0523	0.0015	0.004460	0.000010
1794-09	11.33	317	11	5.51E-16	1.9216	0.0017	0.006294	0.000036	0.003567	0.000018	0.1055	0.0020	0.005767	0.000013
1794-10	9.52	335	14	4.20E-16	1.8529	0.0017	0.004795	0.000029	0.003287	0.000018	0.0860	0.0013	0.005675	0.000012
1794-11	3.79	365	39	1.29E-16	1.5774	0.0011	0.001479	0.000016	0.002820	0.000016	0.0667	0.0016	0.005137	0.000011
1794-12	3.60	340	42	8.06E-17	1.1459	0.0015	0.001103	0.000016	0.002328	0.000016	0.0611	0.0013	0.003739	0.000010
1794-13	5.59	313	26	1.70E-16	1.1899	0.0015	0.001949	0.000020	0.002316	0.000020	0.0424	0.0012	0.003802	0.000012
1794-14	3.93	357	39	1.19E-16	1.5662	0.0024	0.001562	0.000019	0.003109	0.000021	0.0653	0.0012	0.005093	0.000011
1794-15	3.57	320	37	1.25E-16	1.7004	0.0021	0.001737	0.000016	0.002927	0.000018	0.0527	0.0014	0.005550	0.000011
1794-16	5.33	284	28	9.97E-17	0.6575	0.0009	0.001141	0.000015	0.001391	0.000010	0.0438	0.0013	0.002107	0.000009
1794-17	4.40	308	29	1.68E-16	1.7187	0.0021	0.002253	0.000015	0.003540	0.000017	0.0391	0.0014	0.005561	0.000011
KML-2, 含泥硅质岩, J=0.0055617														
1793-01	53.11	267	3	5.86E-16	0.4490	0.0007	0.008318	0.000027	0.000268	0.000014	0.0964	0.0013	0.000713	0.000007
1793-02	47.46	265	3	8.76E-16	0.5999	0.0007	0.009992	0.000037	0.000388	0.000023	0.2201	0.0014	0.001067	0.000007
1793-03	34.50	269	4	5.86E-16	0.5605	0.0006	0.006681	0.000028	0.000363	0.000015	0.1687	0.0018	0.001242	0.000008
1793-04	32.74	268	5	4.76E-16	0.4777	0.0007	0.005426	0.000030	0.000332	0.000015	0.0821	0.0014	0.001087	0.000008
1793-05	32.87	271	4	7.56E-16	0.7656	0.0010	0.008620	0.000035	0.000519	0.000021	0.1113	0.0012	0.001739	0.000008
1793-06	26.08	254	5	4.92E-16	0.5845	0.0007	0.005608	0.000029	0.000410	0.000015	0.1200	0.0013	0.001462	0.000008
1793-07	34.07	266	5	4.47E-16	0.4280	0.0006	0.005109	0.000021	0.000331	0.000010	0.0783	0.0014	0.000955	0.000008
1793-08	35.41	273	5	4.76E-16	0.4504	0.0006	0.005428	0.000024	0.000318	0.000014	0.0960	0.0011	0.000985	0.000008
1793-09	19.26	268	7	4.02E-16	0.8205	0.0010	0.005485	0.000032	0.000627	0.000011	0.1048	0.0014	0.002242	0.000009
1793-10	37.97	252	4	6.02E-16	0.4868	0.0007	0.006867	0.000035	0.000333	0.000018	0.1751	0.0016	0.001022	0.000008
1793-11	39.30	284	5	4.03E-16	0.4033	0.0006	0.005176	0.000025	0.000273	0.000014	0.0580	0.0011	0.000828	0.000007
1793-12	33.59	279	4	7.50E-16	0.7667	0.0009	0.008563	0.000032	0.000523	0.000024	0.1096	0.0014	0.001723	0.000009
1793-13	39.94	281	4	5.66E-16	0.4907	0.0007	0.006459	0.000021	0.000356	0.000015	0.0789	0.0012	0.000997	0.000007
1793-14	29.02	278	5	5.09E-16	0.6872	0.0008	0.006666	0.000029	0.000505	0.000015	0.1022	0.0012	0.001651	0.000008
1793-15	37.02	268	4	1.04E-15	0.9191	0.0010	0.011824	0.000043	0.000608	0.000023	0.1829	0.0015	0.001959	0.000008
1793-16	36.19	279	4	7.17E-16	0.6797	0.0010	0.008187	0.000035	0.000498	0.000018	0.1254	0.0013	0.001468	0.000008
1793-17	25.56	253	5	4.89E-16	0.5919	0.0007	0.005578	0.000028	0.000444	0.000016	0.1148	0.0011	0.001491	0.000008
1793-18	31.73	276	5	4.78E-16	0.6338	0.0008	0.006768	0.000031	0.000442	0.000013	0.1181	0.0015	0.001464	0.000008
1793-19	25.05	268	5	5.38E-16	0.7072	0.0009	0.006144	0.000028	0.000586	0.000013	0.1166	0.0012	0.001794	0.000008
1793-20	23.80	276	6	4.61E-16	0.8028	0.0010	0.006423	0.000026	0.000647	0.000015	0.1149	0.0013	0.002070	0.000008
1793-21	31.70	258	4	8.91E-16	0.8875	0.0010	0.010174	0.000036	0.000724	0.000025	0.1612	0.0018	0.002051	0.000009
1793-22	34.68	254	4	5.40E-16	0.4834	0.0007	0.006168	0.000024	0.000354	0.000014	0.1312	0.0013	0.001069	0.000007

质岩等;泥盆-石炭系主要为一套火山-沉积岩建造,岩性主要为浅灰绿色、灰色中酸性火山凝灰岩、凝灰质砂岩、粉砂质泥岩以及砖红色硅质岩;二叠系以黄褐色、紫红色砂砾岩、砂岩为主;中生界为一套典型的大陆湖相沉积,与古生界呈角度不整合接触(徐芹芹等,2009)。

本文测试的两个硅质岩样品分别采集于准噶尔盆地西缘的白碱滩地区和东缘的卡拉麦里地区(图1)。其中08BJT-3样品是采集于克拉玛依白碱滩地区的硅质岩样品。

该套硅质岩呈砖红色,呈团块状、似角砾状或是与粉砂岩呈互层状(图2a-c)大量出于石炭纪地层中,该地区的石炭纪地层为一套深海建造,主要为深海硅泥质和火山灰凝灰质复理石沉积,地层厚度大于3000m(徐新等,2006)。该套硅质岩没有发生较强烈的变形,与何国琦等(2007)采集的发生强烈塑性变形的蛇绿岩套中的硅质岩截然不同。KML-2样品是采集于卡拉麦里野马泉地区的含泥硅质岩样品,该套含泥硅质岩呈暗红色,受到了290°左右走向近直立的卡拉麦里走

表2 准噶尔盆地边缘硅质岩样品信息及激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果Table 2 Sample information and the laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating results of siliceous rocks around Junggar Basin

样品号	采样点	岩性	表观年龄概率统计结果		正等时线年龄结果			反等时线年龄结果		
			年龄 (Ma)	MSWD	年龄 (Ma)	初始 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	MSWD	年龄 (Ma)	初始 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	MSWD
08BJT-3	N45°43'40" E85°05'36"	硅质岩	320 ± 5	2.10	295 ± 14	297.7 ± 1	1.6	300 ± 30	298 ± 2	1.6
KML-2	N45°01'10" E90°14'20"	含泥 硅质岩	268 ± 2	5.56	266 ± 7	297 ± 4	4.5	266 ± 13	297 ± 7	5.3

滑构造带的强烈变形改造,呈拉长透镜体状夹在粉砂岩之中(图2d, e)或是与蚀变辉长岩构成互层状置换构造面理(图2f)。采集的两件样品都为新鲜的,未蚀变的样品。

3 样品测试

3.1 测试样品的制备

对野外采集的岩石样品通过显微镜下观察,选择无风化边、无杂质、无裂隙充填物的新鲜岩石进行破碎。用钢制碎样器反复对岩石样品进行破碎。破碎好的样品倒入样品筛中进行筛选,选择60~80目的样品粉末进行分析测试。

将筛选好的样品粉末放入盛有丙酮的烧杯中,再把烧杯放入超声波清洗器中,超声波清洗30min。清洗过程中不断更换丙酮。之后再用于去离子水超声波清洗样品30min。清洗完的样品低温(80°C)烘干。将待测样品和用于诱发同位素校正的 K_2SO_4 、 CaF_2 、 KCl 以及标准样品称量后,用铝箔纸包装并制成圆球状,密封于真空石英瓶中,将其送至中国原子能科学研究院49-2核反应堆B8通道进行快中子照射。照射时间为24h,中子通量为 5.44×10^{17} 。(周晶,2008;孙荣双等,2010)两件样品均放置在真空石英瓶的最外圈,经标样监测得到的J值见表1。用作中子通量监测的标准样是北京周口店花岗岩ZBH-25中的黑云母,标样的年龄为132.7Ma。

3.2 测试方法

样品的激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学测试在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室进行。具体实验测试流程参见周晶(2010)。实验所采用的全自动高精度激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 显微定年系统主要由激光熔样系统、纯化系统及其自动控制阀门、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 质谱氦同位素分离探测系统以及计算机程序全自动控制系统四部分组成。熔样系统采用美国New Wave Research公司生产的射频放电激励 CO_2 连续激光器。激光波长10.6 μm ,激光束斑大小为0.5mm,能量为3.5W。所激发的气体经纯化系统纯化后由VG5400惰性气体质谱仪进行氦同位素测试,该仪器的质量分辨率约为400,灵敏度大于 $1.25 \times 10^{-3} \text{A/Torr}$ 。样品在反应堆照射中,Ca和K产生的干扰反应校正因子进行校正,本次实验测定的校正参数为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002775 \pm 0.0000253$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} =$

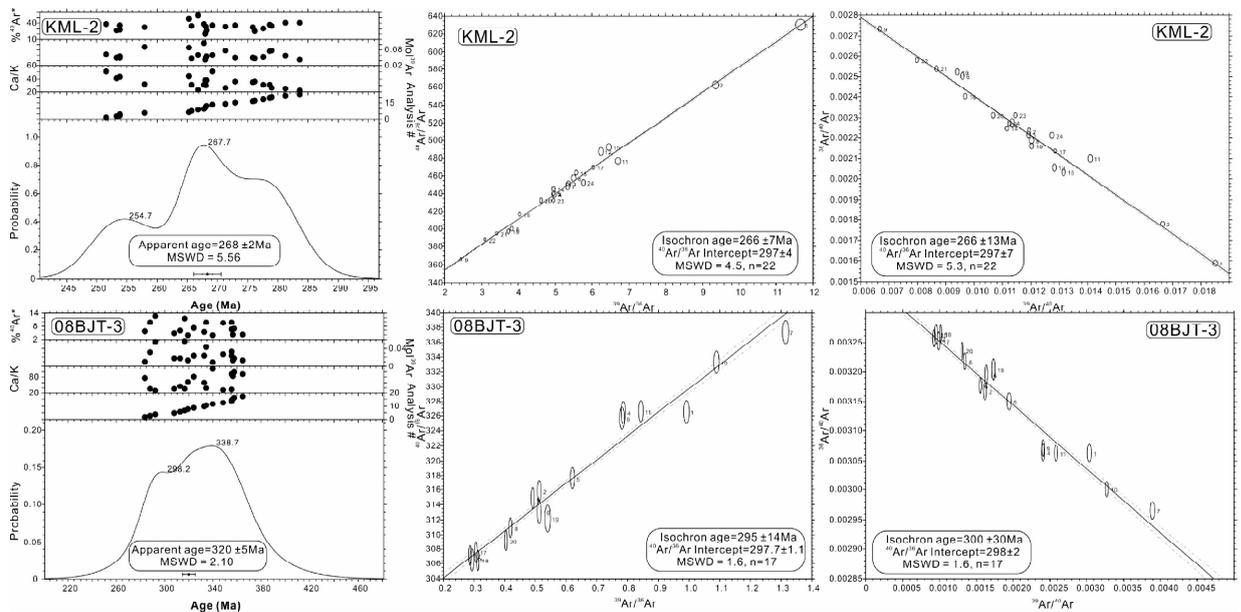
0.0006633 ± 0.0003535 , $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.0039448 \pm 0.0015421$ 。 ^{37}Ar 放射性衰变常数取35.1d。年龄计算中 ^{40}K 的衰变常数取Steiger and Jäger(1977)的推荐值。质量歧视因子 $D = 1.0045 \pm 0.0013$ 。全自动测样采用Berkley地质年代中心Alan Deino编写的Mass spec 5.26程序控制(Deino and Potts,1992),并进行数据处理。本文两个样品数据测试的平均本底信号为: $^{40}\text{Ar} = 0.002287 \pm 0.000038\text{nA}$, $^{39}\text{Ar} = 0.000024 \pm 0.0000051\text{nA}$, $^{38}\text{Ar} = 0.000012 \pm 0.0000044\text{nA}$, $^{37}\text{Ar} = 0.000019 \pm 0.0000035\text{nA}$, $^{36}\text{Ar} = 0.000029 \pm 0.0000013\text{nA}$ 。

3.3 测试结果

取自准噶尔盆地边缘的两个硅质岩的激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果见表2,原始数据见表1。两个硅质岩样品的K含量都非常低,样品释放的 ^{39}Ar 摩尔量较低,放射性成因 ^{40}Ar 含量比较低。样品KML-2的放射性成因 ^{40}Ar 比值为19%~53%,样品08BJT-3更低为1%~16%。但两个样品的 ^{40}Ar 、 ^{39}Ar 、 ^{36}Ar 的实际测定值的误差都要远小于测量值($<1\%$),测试过程中样品的 ^{40}Ar 、 ^{39}Ar 、 ^{36}Ar 的测量值要远大于仪器自身的本底值2~3个数量级。所以该仪器的测试精度以及本底水平都能满足测试这两个硅质岩样品的要求,所得出的测试结果是可靠的。

KML-2样品为含泥硅质岩,样品含有一定的泥质成分,样品具有相对更高的K含量以及放射性成因 ^{40}Ar 含量比值。所以KML-2样品在数据误差以及等时线年龄和表观年龄一致性上要比08BJT-3样品好一些(图3)。由于KML-2样品Ar同位素浓度较高,其干扰成分相对较大。所以造成不同测量点的放射性成因 ^{40}Ar 变化较大,等时线图中不同数据点的偏差也要大于仪器本身的测试误差。所以等时线年龄的MSWD值偏高。

08BJT-3样品为硅质岩,样品钾含量非常低,放射性成因 ^{40}Ar 含量比值非常低。所以08BJT-3样品的测试结果误差偏大。08BJT-3样品等时线年龄图中不同测试点偏差更接近于仪器测试误差,所以等时线年龄的MSWD值相对于KML-2样品更接近于1(图3)。总体而言,KML-2和08BJT-3两个硅质岩样品的测定结果的精度都在 2σ 的置信范围内。

图3 激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 表观年龄概率统计和等时线年龄结果图Fig. 3 Laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age-probability and isochron age diagrams

4 讨论

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法所测得的年龄是岩石样品 K-Ar 同位素体系封闭的年龄,或是后期热事件、构造活动事件使得 K-Ar 同位素体系重置的年龄 (McDougall and Harrison, 1999)。利用激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法对硅质岩、含泥硅质岩定年得出的年龄值应该是其沉积后完全固结成岩使得 K-Ar 同位素体系完全封闭的年龄或是后期热事件、构造活动事件使得硅质岩同位素体系完全重置的年龄。因为硅质岩沉积时并没有完全固结,所以激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法所测得的年龄应该稍晚于其沉积年龄。

08BJT-3 样品测得的年龄值为 300Ma 左右,表明该套含泥硅质岩大概在 300Ma 左右即晚石炭世固结成岩,它的沉积年龄应该稍早一些。该样品是采自白碱滩石炭纪地层中的硅质岩。该地区的石炭纪地层不整合覆盖于一套蛇绿混杂岩之上。徐新等 (2006) 对该套蛇绿混杂岩中的辉长岩进行锆石 SHRIMP 定年,得出的最年轻年龄为 332Ma,表明该套石炭纪地层于 332Ma 之后即晚石炭世沉积。所以本文利用激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法测得白碱滩地区硅质岩的年龄与其所处地层的年龄基本一致。硅质岩可以利用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法来确定其固结成岩年龄。

KML-2 样品是采自卡拉麦里走滑构造带的含泥硅质岩。该套含泥硅质岩受到卡拉麦里构造带的强烈变形改造。舒良树和王玉净 (2003) 利用古生物化石确定它的沉积时代为晚泥盆世-早石炭世。本文利用激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法测得该套含泥硅质岩的年龄为 266Ma,要晚于它的沉积年

龄,却与卡拉麦里走滑构造带的活动时限 270 ~ 260Ma (赵磊等, 2012) 十分一致。表明强烈的构造活动重置了该套含泥硅质岩的 K-Ar 同位素体系,使其具有了与构造活动时间相一致的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄。本文利用激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法测得卡拉麦里地区含泥硅质岩的年龄很好地反映其所处强烈构造变形带的变形年龄。硅质岩的 K-Ar 同位素体系易受后期热事件或是构造活动事件影响甚至重置,而使其具有与热事件或是构造活动事件年龄相同的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄。

5 结论

(1) 本文利用激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法对准噶尔盆地边缘白碱滩地区硅质岩样品进行定年测试得出的 300Ma 的年龄结果与硅质岩所处的晚石炭世地层时代基本一致;利用同样方法对卡拉麦里地区含泥硅质岩样品进行测试得出的 266Ma 的年龄与含泥硅质岩所处的卡拉麦里构造变形带的变形活动时代十分一致。表明激光全熔 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法具有足够高的测试精度,可以满足对钾元素含量较低的硅质岩、含泥硅质岩样品进行精确定年的要求。利用多组矿物颗粒测试数据计算等时线年龄的方法可以很好地去除硅质岩、含泥硅质岩中过剩氩对年龄结果的影响。

(2) 当硅质岩中含有一定的泥质成分,钾元素含量增加时,激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法得出的年龄结果更精确。

(3) 当不存在后期扰动时,激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法得出的年龄结果反映了硅质岩完全固结成岩的年龄。该年龄要稍晚于硅质岩的沉积年龄。

(4) 当存在后期扰动时,硅质岩的 K-Ar 同位素体系较易

受后期扰动事件影响,甚至完全重置,而使硅质岩具有与后期扰动事件年龄相同的激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄。

(5)激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法中,样品用量极小(毫克级);纯化系统体积小,本底低而稳定,从根本上保证了硅质岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年的成功。

致谢 感谢审稿人对本文的修改所提出的宝贵意见。

References

- Alexander EC. 1975. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ studies of Precambrian chert: An unsuccessful attempt to measure the time evolution of the atmospheric $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratio. *Precambrian Research*, 2(4): 324–344
- Deino A and Potts R. 1992. Age-probability spectra for examination of single-crystal $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating results: Examples from Olorgesailie, southern Kenya Rift. *Quaternary International*, 7(8): 81–89
- He GQ, Liu DQ, Li MS, Tang YL and Zhou RH. 1995. The five-stage model of crust evolution and metallogenic series of chief orogenic belts in Xinjiang. *Xinjiang Geology*, (2): 99–196 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Liu JB, Zhang YQ and Xu X. 2007. Karamay ophiolitic mélange formed during Early Paleozoic in western Junggar basin. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1573–1576 (in Chinese with English abstract)
- McDougall I and Harrison TM. 1999. *Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Method*. 2nd Edition. Oxford: Oxford University Press, 1–269
- Qiu HN, Zhu BQ and Sun DZ. 2000. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating techniques for a hydrothermal siliceous breccias sample from the Luoxue mine, Dongchuan copper deposits, Yunnan, by crushing in vacuum and then by stepped heating on its powders. *Geochimica*, 29(1): 21–27 (in Chinese)
- Shu LS and Wang YJ. 2003. Late Devonian-Early Carboniferous radiolarian fossils from siliceous rocks of the Kelameili ophiolite, Xinjiang. *Geological Review*, 49(4): 408–412 (in Chinese with English abstract)
- Steiger RH and Jäger E. 1997. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(3): 359–362
- Sun RS, Ji JQ, Gao KQ, Zhang Y, Zhou J, Ma F and Xu QQ. 2010. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of volcanic rocks and constraints for stratum age of Xintaimen area in western Liaoning. *Acta Petrologica Sinica*, 26(11): 3397–3410 (in Chinese with English abstract)
- Wang SS. 1993. The relationship between Ar and Cl in cherts and vein quartz and its significance for geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 9(4): 319–328 (in Chinese with English abstract)
- Wang SS, Sang HQ, Qiu J, Chen MH and Li MR. 1995. The forming ages of Yangzhuang and Wumishan formations in Jixian section, northern China. *Scientia Geologica Sinica*, 30(2): 166–173 (in Chinese with English abstract)
- Wang SS and Qiu J. 1999. A study of saddle-shaped $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum of chert: Examples from Tieling Formation, Jixian section. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(4): 363–367 (in Chinese with English abstract)
- Wang YJ, Yang Q, Yin LM, Shu LS, Lou FS and Wang B. 2006. The putative “radiolarian cherts” from ophiolitic and metamorphic complexes in Northeast Jiangxi: A re-examination. *Geological Journal of China Universities*, 12(1): 98–105 (in Chinese with English abstract)
- Xu QQ, Ji JQ, Han BF, Zhu MF, Chu ZY and Zhou J. 2008. Petrology, geochemistry and geochronology of the intermediate to mafic dykes in

- northern Xinjiang since Late Paleozoic. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 977–996 (in Chinese with English abstract)
- Xu QQ, Ji JQ, Gong JF, Zhao L, Tu JY, Sun DX, Tao T, Zhu ZH, He GQ and Hou JJ. 2009. Structural style and deformation sequence of western Junggar, Xinjiang, since Late Paleozoic. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 636–644 (in Chinese with English abstract)
- Xu X, He GQ, Li HQ, Ding TF, Liu XY and Mei SW. 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. *Geology in China*, 33(3): 470–475 (in Chinese with English abstract)
- Zhao L, Ji JQ, Xu QQ, Gong JF, Tu JY and Wang JD. 2012. Karamaili strike-slipping fault and deformational sequence since Late Paleozoic in the northern Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 28(7): 2257–2268 (in Chinese with English abstract)
- Zhou J, Ji JQ, Han BF, Ma F, Gong JF, Xu QQ and Guo ZJ. 2008. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of mafic dykes in North Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 997–1010 (in Chinese with English abstract)
- Zhou J. 2010. *Precise $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronological dating of young volcanic rocks*. Ph. D. Dissertation. Beijing: Peking University, 1–181 (in Chinese with English summary)

附中文参考文献

- 何国琦, 刘德权, 李茂松, 唐延龄, 周汝洪. 1995. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列. *新疆地质*, (2): 99–196
- 何国琦, 刘建波, 张越迁, 徐新. 2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定. *岩石学报*, 23(7): 1573–1576
- 邱华宁, 朱炳泉, 孙大中. 2000. 东川铜矿硅质角砾 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年探讨. *地球化学*, 29(1): 21–27
- 舒良树, 王玉净. 2003. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石. *地质论评*, 49(4): 408–412
- 孙荣双, 李建清, 高克勤, 张越, 周晶, 马芳, 徐芹芹. 2010. 辽西新台门白垩纪火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年及其对蟒蜥化石层时代的约束. *岩石学报*, 26(11): 3397–3410
- 王松山. 1993. 燧石和脉石英中氩、氯的相关性对 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年意义. *岩石学报*, 9(4): 319–328
- 王松山, 桑海清, 裘冀, 陈孟荻, 李明荣. 1995. 蓟县剖面杨庄组和雾迷山组形成年龄的研究. *地质科学*, 30(2): 166–173
- 王松山, 裘冀. 1999. 燧石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 马鞍形年龄谱形成机制探讨——以蓟县剖面铁岭组燧石为例. *地球学报*, 20(4): 363–367
- 王玉净, 杨群, 尹磊明, 舒良树, 楼法生, 王博. 2006. 赣东北蛇绿混杂岩带和变质岩系中“放射虫硅质岩”的再研究. *高校地质学报*, 12(1): 98–105
- 徐芹芹, 李建清, 韩宝福, 朱美妃, 储著银, 周晶. 2008. 新疆北部晚古生代以来中性岩脉的年代学、岩石学、地球化学研究. *岩石学报*, 24(5): 977–996
- 徐芹芹, 李建清, 龚俊峰, 赵磊, 涂继耀, 孙东霞, 陶涛, 朱自虎, 何国琦, 侯建军. 2009. 新疆西准噶尔晚古生代以来构造样式与变形序列研究. *岩石学报*, 25(3): 636–644
- 徐新, 何国琦, 李华芹, 丁天府, 刘兴义, 梅绍武. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. *中国地质*, 33(3): 470–475
- 赵磊, 李建清, 徐芹芹, 龚俊峰, 涂继耀, 王金铨. 2012. 新疆北部卡拉麦里晚古生代走滑构造及其叠加变形序次. *岩石学报*, 28(7): 2257–2268
- 周晶, 李建清, 韩宝福, 马芳, 龚俊峰, 徐芹芹, 郭召杰. 2008. 新疆北部基性岩脉 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究. *岩石学报*, 24(5): 997–1010
- 周晶. 2010. (板)年轻火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 精细定年研究. 博士学位论文. 北京: 北京大学, 1–181