

# 新疆东部哈尔里克山南麓石炭纪砂岩碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义

孙桂华<sup>1,2</sup> 李锦轶<sup>1</sup> 朱志新<sup>1,3</sup> 李亚萍<sup>1</sup> 杨之清<sup>1,4</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 国土资源部广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760;  
3. 新疆地质矿产局第一区域地质调查大队, 新疆 乌鲁木齐 830011; 4. 北京离子探针中心, 北京 100037)

**提要:**碎屑锆石研究是探讨其碎屑物质来源、源区特征、沉积时代和形成环境的一种有效途径。笔者通过对新疆东部哈尔里克山南麓石炭纪砂岩的 47 粒碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究, 获得的年龄为 388~949 Ma, 其主体为 418~482 Ma。结合锆石的矿物学特征、CL 图像特点以及哈尔里克山区域地质资料, 得出如下结论: (1) 哈尔里克山南麓所研究的砂岩中最年轻的碎屑锆石年龄是(388±9)Ma, 这意味着这套地层不落于中泥盆世, 结合区域地质资料, 笔者认为这套沉积岩应是在晚石炭世沉积的; (2) 所研究的砂岩的碎屑物质主要来源于哈尔里克山早古生代与岛弧演化相关的岩浆岩; (3) 哈尔里克山经历了中奥陶世—早志留世与康古尔塔格洋壳残片代表的洋岩石圈板块向北俯冲有关的岛弧、石炭纪弧后盆地和晚石炭世末期弧后隆起的构造演化历史; 晚石炭世末期弧后隆起是导致哈尔里克山与博格达山现今地质差异的主要原因。

**关键词:**哈尔里克山; 碎屑锆石; SHRIMP U-Pb 定年; 早古生代岛弧; 石炭纪弧后盆地; 晚石炭世末期弧后隆起

**中图分类号:** P597      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2007)05-0778-12

通过碎屑岩碎屑锆石定年研究确定碎屑岩物质来源、源区特征、沉积时代和形成环境, 具有其他方法不可替代的作用<sup>[1-4]</sup>。近年来, 造山带与盆地的耦合关系, 已经成为造山带演化研究的主要内容。越来越多的研究者试图通过对碎屑锆石年龄的测定, 确定其碎屑物质来源、源区特征及演化、沉积时代和形成环境, 从而讨论古造山带与古盆地的构造演化。

研究区位于天山山脉东段北部的吐哈盆地北缘, 哈尔里克山南麓(图 1-a)。大地构造位置上, 北侧自南向北依次为东准噶尔古生代造山系和阿尔泰造山系<sup>[5]</sup>; 南侧自北向南依次为托克逊—大南湖古生代岛弧、康古尔塔格石炭纪碰撞带、喀拉塔格—星星峡古生代岛弧和南天山晚古生代碰撞带, 以上 4 个构造单元与研究区合称为天山造山系; 天山造山系的南侧为塔里木古陆(图 1-a)。

作为天山造山系一部分的哈尔里克山在古生代期间的构造属性, 在地质界一直存在不同认识。有些学者<sup>[6-9]</sup>认为是与东准噶尔南部卡拉麦里—莫钦乌拉蛇绿岩带代表的洋盆

向南俯冲有关的岛弧, 有些学者<sup>[5,10,11]</sup>认为是与康古尔塔格一带洋盆向北俯冲有关的岛弧。近年获得的资料支持该区奥陶纪与志留纪岛弧是与康古尔塔格一带洋壳残片代表的洋盆向北俯冲有关的认识, 对该区晚古生代期间的构造环境, 虽然提出了一些大胆的推测<sup>[5,11-14]</sup>, 但还缺乏令人信服的证据。

哈尔里克山南麓由砂岩和火山岩组成的地层的时代, 一直缺乏令人信服的证据。原 1:20 万地质图根据区域地层对比, 将其置于晚石炭世; 近年在该区开展的 1:5 万区域地质调查, 根据其中火山岩的两个很不精确的全岩 Sm-Nd 等时线年龄(玄武岩: 707±190 Ma; 阳起石斜长片岩: 707±190 Ma)<sup>①</sup> 将这套地层划为震旦系, 以这两个年龄为基础, 将这套地层北侧遭受强烈变质作用的地层划分为前震旦纪小铺岩群, 并作为吐哈盆地的古老基底。很明显, 这套地层的时代与确定哈尔里克山古生代构造环境以及确定吐哈盆地是否存在古老基底等关键地质问题是密切相关的。获得其更精确的年代学证据, 不仅有助于确定这套地层的时代, 而且也有助于正

收稿日期: 2007-03-15; 改回日期: 2007-05-12

基金项目: 国家重点基础发展规划项目(2001CB409810)资助。

作者简介: 孙桂华, 男, 1977 年生, 博士生, 构造地质学专业; E-mail: sunguihua790327@126.com。

①新疆地矿局第一区域地质调查大队, 沁城幅, 上泉幅, 阿尔格即提山幅, 梧桐沟幅, 琼库尔幅, 代普台日幅, 塔水河幅, 1:5 万区域地质调查图及报告, 2005。

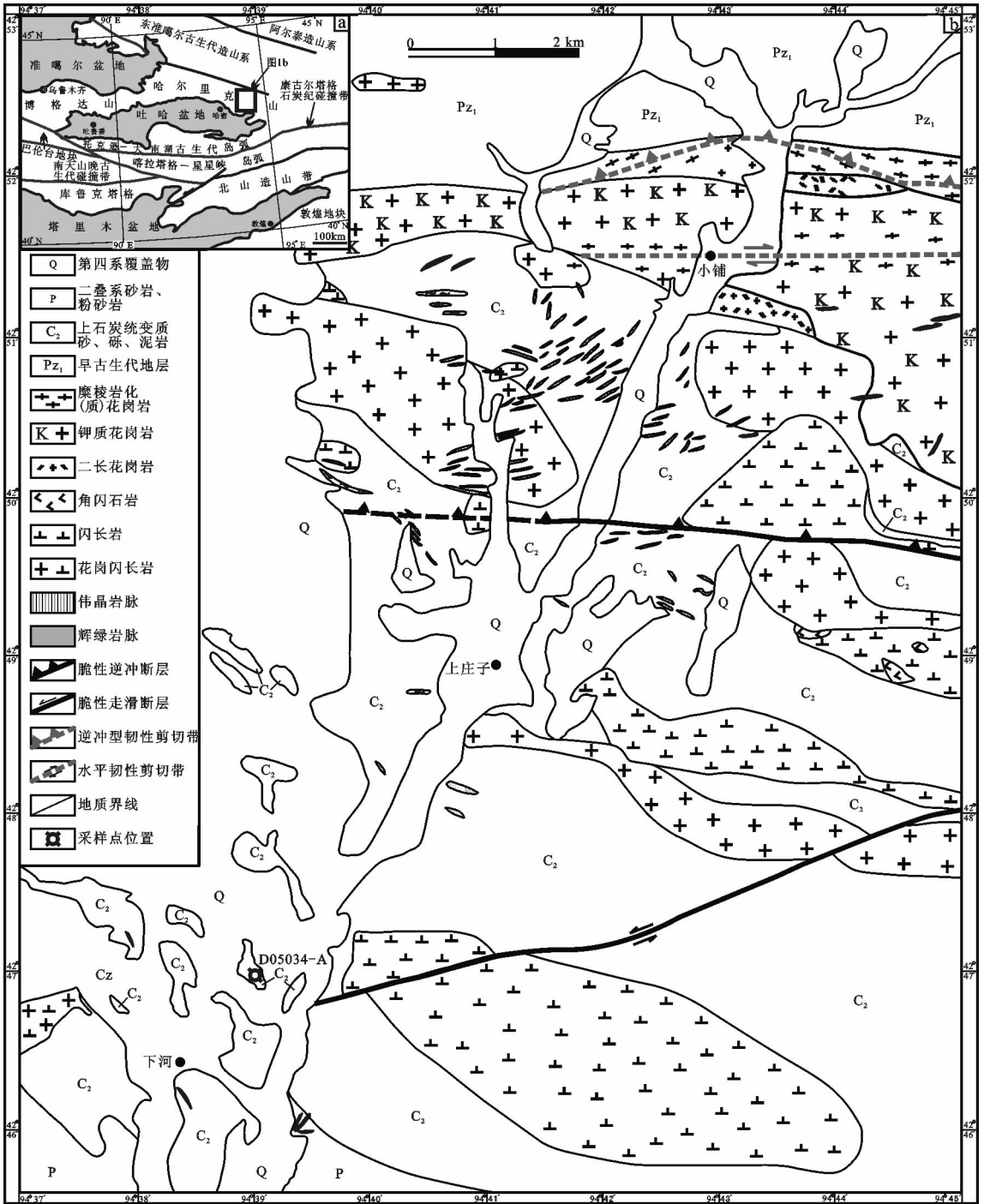


图 1 哈尔里克山大造构造位置(a)、地质简图(b)及其采样位置

Fig.1 Tectonic setting (a) and simplified geological map (b) of the Harlik Mountains and sampling site

确重建该区的地质历史。

哈尔里克山与博格达山一脉相连,均为天山东部高耸的山系。但二者的地质组成差别是有目共睹的,博格达山主要由石炭纪火山沉积岩系构成,出露很少的深成侵入体(如大河沿闪长岩体);哈尔里克山主要由中—上奥陶统火山

岩和大量的深成侵入体构成;笔者曾讨论过二者的地质组成差别问题,认为是由于二者的升降差异所致<sup>[13,14]</sup>。哈尔里克山隆升剥蚀何时开始,这是该区地质历史重建必须回答的问题,而且这一问题的研究也有助于确定博格达山与哈尔里克山在石炭纪期间是否具有相同的构造环境。

基于这一认识,笔者从该套地层的砂岩中采集了1个样品,对其中的碎屑锆石进行了研究,获得了确定其沉积时代的可靠资料,以及其源区特征的重要信息。本文报道这一研究成果,并对相关问题进行初步探讨。

### 1 样品采集位置及其地质特征

研究区前中生代地层主体是上石炭统,岩性主要为砂岩、含砾砂岩和凝灰质碎屑岩等沉积岩系。早古生代地层分布在研究区小铺岩体北侧;二叠系出露比较有限,分布在研究区的东南角,为以砂岩、粉砂岩为主的沉积岩系(图1-b)。

研究区出露大量侵入岩,岩石类型有花岗岩、闪长岩、伟晶岩脉、辉绿岩墙和角闪石岩(图1-b)。花岗岩和闪长岩岩体主要分布在哈尔里克山南坡;闪长岩岩体的分布构成大体与该山脉走向平行的岩带,其侵入时代分别为早古生代(430±6Ma<sup>[15]</sup>、447±11 Ma<sup>[16]</sup>、448±7 Ma<sup>[16]</sup>)和晚古生代(316±3Ma<sup>[13]</sup>);花岗岩岩体主要分布在闪长岩带的南侧,其侵位时代为早古生代(462±9 Ma<sup>[16]</sup>)和晚古生代(294±3Ma<sup>[17]</sup>、307±6Ma<sup>①</sup>和311±9Ma<sup>[16]</sup>);伟晶岩脉以北东走向为主,主要发育在小铺黑云母花岗岩岩体南侧;辉绿岩墙走向以近东西向为主,主要穿插在地层和花岗岩岩体中,为该区最晚的一期岩浆活动;角闪石岩出露面积有限,零星分布在闪长岩岩体边部。

用于定年研究的样品(D05034-A)采自下河村北东方向1 km 处的砂岩,样品采集地理坐标为东经 94°39'04", 北纬 42°46'55", 如图1-b所示。

所研究的地层岩性为含砾岩屑石英长石砂岩(图2),野外露头上呈中-薄层状,层状构造,层理发育,产状为 220°∠30°。

砾石含量约为10%,砾径为1 cm左右,其岩性主要为灰色变质粉砂岩和中酸性凝灰岩,有的砾石呈三角形,有的呈棱角明显的长板条状,反映其磨圆比较差。

所研究的该碎屑岩砂屑大小不一,其粒度从粗砂到细砂都有,含量约75%,主要由岩屑、长石和石英组成。岩屑主要为变质细砂岩和细粒黑云母石英岩,粒径上明显可分为两类,一类较大,粒径可达0.5cm左右,含量较少,另一类粒径较小,多数为1mm左右,含量较多;长石碎屑颗粒破碎,部分发育双晶,粒径为0.3mm左右;石英碎屑粒度变化较大,为0.1~0.8mm,具有波状消光的特点。局部有少量铁质矿物。

该砂岩属于基质支撑,基质主要为粉砂质长石、石英、黑云母和少量绿泥石,含量约15%。除此之外还有少量颗粒细小的绢云母,黑云母边部具有绿泥石化的特征。

上述碎屑分选及磨圆都较差的特征,表明该碎屑岩只经历了短距离的搬运,属于近源快速沉积。细小绢云母和绿泥

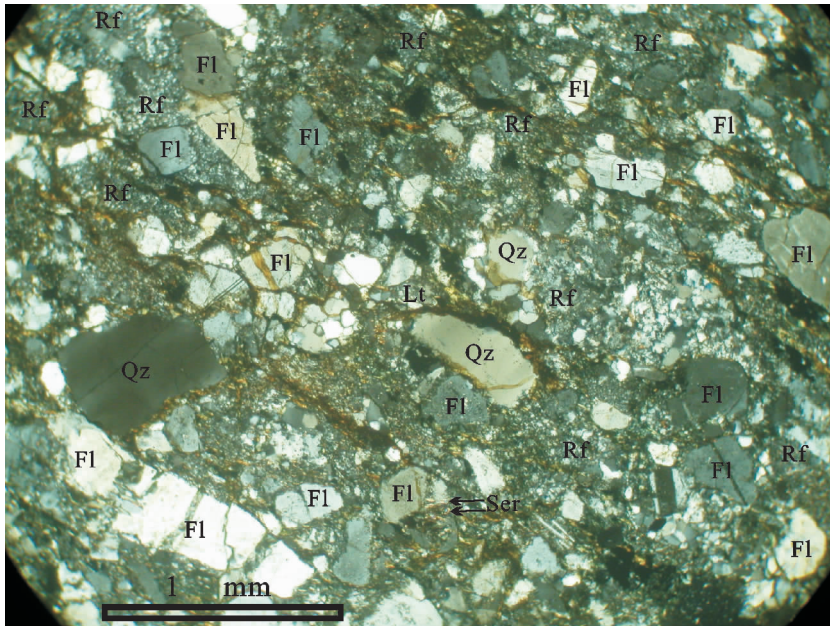


图2 所研究的砂岩样品的显微特征

Qz—石英;Fl—长石;Rf—岩屑;Ser—绢云母

Fig.2 Microscopic characteristics of studied sandstone samples

Qz—quartz; Fl—feldspar; Rf—rock fragment; Ser—sericite

①新疆地矿局第一区域地质调查大队. 1:5万区域地质调查图及报告(沁城幅,K46E008019;上泉幅,K46E008020;阿尔格郎提山幅,K46E008021;梧桐沟幅,K46E009021;琼库尔幅,K46E006019;代普台日幅,K46E006020;塔水河幅,K46E007020),2005.



石的存在,揭示该砂岩遭受了轻微变质作用。

## 2 样品测试与结果分析

锆石按照常规方法分选,然后在双目镜下进一步选出测

年的锆石颗粒,将其和标样一起置于环氧树脂中做成样品靶,将靶上锆石磨至约一半,以使锆石内部暴露,抛光后进行锆石透射光、反射光、CL(阴极发光)的照射;将靶清洗、镀金后进行 SHRIMP 分析。锆石的阴极发光在北京离子探针中

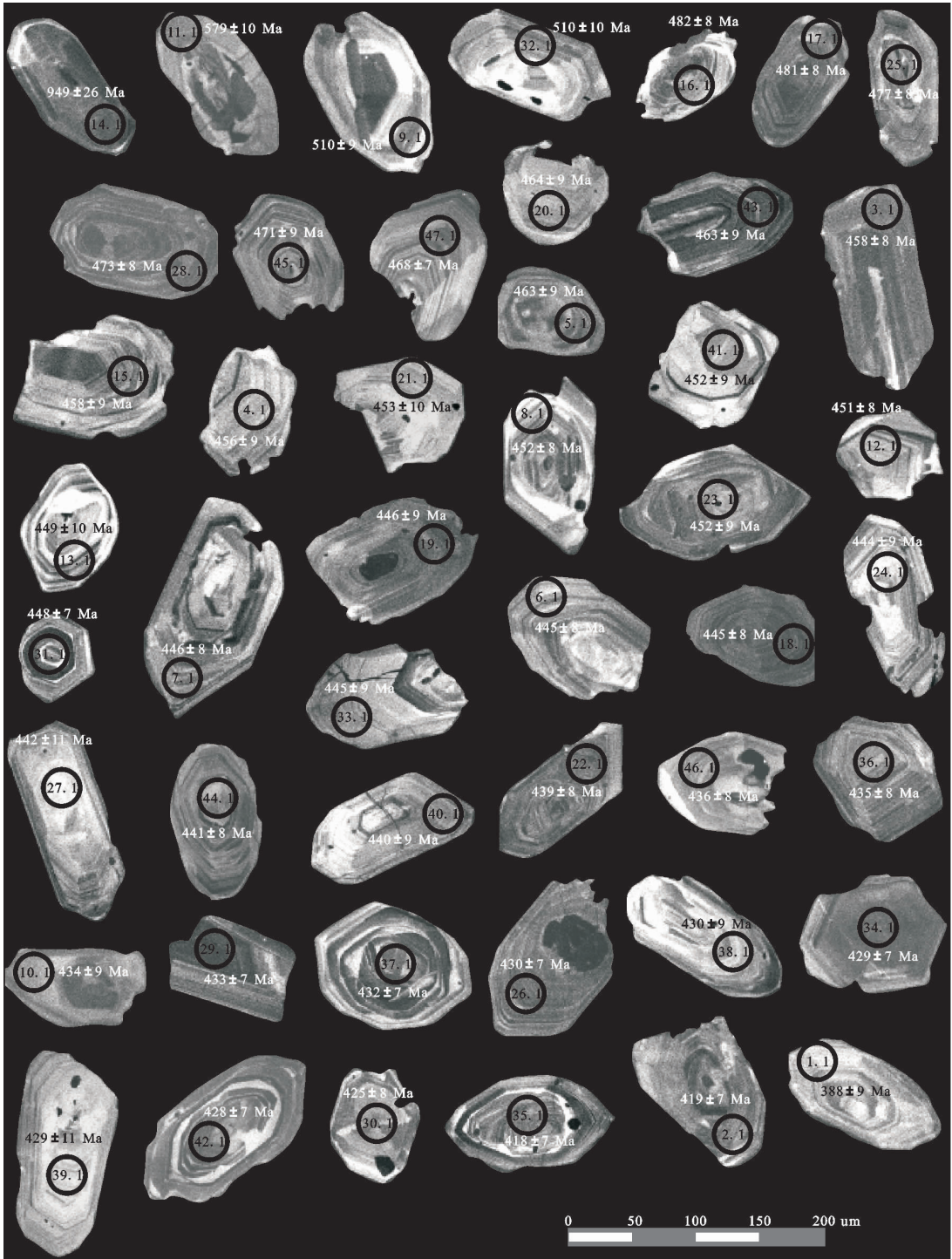


图 3 样品 D05034-A 砂岩碎屑锆石阴极发光图像

Fig.3 CL images of detrital zircons from sandstone sample D05034-A

表 1 砂岩 (D05034-A) 碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄  
Table 1 Detrital zircon SHRIMP U-Pb dating of sandstone sample D05034-A

点号	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		年龄/Ma		误差相关系数	
						测值	±%	测值	±%	测值	±%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
1.1	179	85	0.49	0.66	9.58	0.0612	10	0.523	10	0.0620	2.3	388.0±8.6	645±220	392±45	0.222
2.1	368	165	0.46	0.10	21.3	0.0583	2.5	0.540	3.0	0.0672	1.7	419.2±7.0	539±54	445±13	0.571
3.1	360	158	0.45	0.29	22.9	0.0575	2.6	0.584	3.1	0.0737	1.7	458.4±7.6	510±57	447±14	0.552
4.1	176	96	0.56	0.32	11.1	0.0556	5.0	0.562	5.4	0.0732	1.9	455.6±8.5	438±110	476±21	0.362
5.1	176	87	0.51	0.19	11.3	0.0606	3.6	0.623	4.2	0.0745	2.0	463.0±9.1	626±78	475±18	0.491
6.1	320	253	0.82	0.31	19.7	0.0556	2.7	0.548	3.2	0.0715	1.8	445.3±7.6	435±60	455±11	0.548
7.1	259	193	0.77	0.52	16.0	0.0547	5.4	0.540	5.7	0.0717	1.8	446.2±7.9	399±120	418±18	0.320
8.1	220	134	0.63	0.48	13.8	0.0543	4.6	0.544	5.0	0.0726	1.9	452.1±8.1	385±100	448±16	0.371
9.1	218	122	0.58	0.31	15.5	0.0555	3.7	0.629	4.2	0.0823	1.9	509.7±9.3	432±83	483±17	0.458
10.1	125	64	0.53	0.49	7.53	0.0605	4.6	0.581	5.1	0.0696	2.1	433.7±8.8	623±100	449±21	0.411
11.1	221	109	0.51	0.74	18.0	0.0586	4.6	0.759	4.9	0.0940	1.9	579.0±10	551±100	597±25	0.375
12.1	243	122	0.52	0.52	15.2	0.0563	5.3	0.563	5.6	0.0725	1.9	451.1±8.1	465±120	431±22	0.331
13.1	231	130	0.58	0.53	14.4	0.0556	4.0	0.553	4.6	0.0721	2.3	449.0±10	437±88	437±17	0.505
14.1	439	62	0.15	0.13	63.3	0.0707	1.3	1.634	2.1	0.1676	1.7	999.0±15	949±26	927±29	0.794
15.1	188	92	0.51	0.52	11.9	0.0548	4.9	0.557	5.2	0.0737	1.9	458.4±8.5	404±110	453±21	0.367
16.1	299	187	0.64	0.42	20.0	0.0544	2.9	0.583	3.4	0.0777	1.8	482.2±8.2	389±65	498±13	0.521
17.1	378	155	0.42	0.19	25.2	0.0556	2.6	0.593	3.1	0.0774	1.8	480.8±8.1	436±57	472±14	0.566
18.1	288	217	0.78	0.20	17.7	0.0593	3.3	0.584	3.7	0.0714	1.8	444.5±7.7	578±71	468±13	0.478
19.1	155	75	0.50	0.78	9.64	0.0542	6.6	0.535	6.9	0.0717	2.1	446.2±8.9	379±150	449±27	0.301
20.1	133	63	0.49	0.73	8.60	0.0575	6.6	0.591	7.0	0.0745	2.1	463.5±9.4	513±150	504±30	0.302
21.1	103	51	0.52	0.00	6.43	0.0666	4.2	0.668	4.8	0.0728	2.2	453.2±9.8	824±88	536±22	0.471
22.1	273	174	0.66	0.55	16.6	0.0572	6.1	0.556	6.4	0.0704	1.9	438.6±8.1	501±130	440±21	0.296
23.1	146	69	0.48	1.12	9.25	0.0564	8.6	0.566	8.8	0.0727	2.1	452.2±9.3	470±190	413±39	0.242
24.1	120	71	0.61	0.50	7.41	0.0612	6.7	0.601	7.0	0.0712	2.2	443.6±9.3	646±140	457±27	0.310
25.1	301	107	0.37	0.67	20.0	0.0534	5.7	0.565	6.0	0.0768	1.8	476.9±8.3	344±130	486±33	0.301

续表 1

26.1	359	194	0.56	0.62	21.4	0.0606	3.9	0.577	4.3	0.0690	1.8	430.4±7.4	624±85	446±20	0.412
27.1	71	40	0.58	1.30	4.41	0.0596	11	0.583	12	0.0709	2.5	442.0±11	590±250	433±38	0.216
28.1	393	197	0.52	0.78	25.9	0.0545	4.4	0.572	4.7	0.0762	1.7	473.3±7.9	391±99	437±19	0.365
29.1	672	389	0.60	1.86	40.9	0.0565	5.4	0.542	5.7	0.0695	1.7	433.4±7.0	471±120	430±21	0.296
30.1	193	121	0.65	1.27	11.4	0.0575	8.2	0.541	8.4	0.0682	2.0	425.3±8.1	511±180	411±24	0.234
31.1	389	287	0.76	0.48	24.2	0.0553	3.5	0.549	3.9	0.0719	1.7	447.9±7.4	426±78	425±14	0.439
32.1	182	119	0.68	1.31	13.0	0.0603	6.8	0.684	7.0	0.0823	1.9	509.9±9.5	612±150	511±28	0.275
33.1	144	89	0.64	1.80	8.99	0.0557	10	0.548	11	0.0714	2.1	444.6±9.1	438±230	389±34	0.201
34.1	353	237	0.69	1.68	21.2	0.0511	7.0	0.485	7.2	0.0688	1.8	429.0±7.4	244±160	402±20	0.249
35.1	315	114	0.37	0.64	18.2	0.0536	6.0	0.495	6.2	0.0670	1.8	417.9±7.3	355±140	394±28	0.290
36.1	231	188	0.84	0.79	14.0	0.0589	4.6	0.567	4.9	0.0699	1.9	435.4±7.9	563±100	443±15	0.378
37.1	529	337	0.66	0.84	31.8	0.0533	4.2	0.510	4.6	0.0693	1.7	432.2±7.1	343±96	366±15	0.372
38.1	123	80	0.67	0.92	7.34	0.0623	7.1	0.593	7.5	0.0690	2.2	430.2±9.3	685±150	414±25	0.300
39.1	79	36	0.47	1.03	4.72	0.0557	9.0	0.528	9.4	0.0688	2.6	429.0±11	441±200	461±39	0.281
40.1	159	94	0.61	2.04	9.86	0.0498	11	0.484	11	0.0706	2.1	439.5±8.8	185±250	382±32	0.192
41.1	117	102	0.90	1.14	7.39	0.0573	9.0	0.574	9.3	0.0726	2.2	452.1±9.4	502±200	470±22	0.232
42.1	372	153	0.43	1.31	22.2	0.0483	6.5	0.457	6.7	0.0686	1.8	427.5±7.3	115±150	382±28	0.262
43.1	496	256	0.53	0.34	31.9	0.0561	3.0	0.576	3.7	0.0745	2.1	463.3±9.3	456±67	455±15	0.568
44.1	208	154	0.77	0.50	12.7	0.0571	4.6	0.557	4.9	0.0708	1.9	441.0±8.1	495±100	432±17	0.385
45.1	203	121	0.62	0.32	13.2	0.0562	3.7	0.588	4.1	0.0759	2.0	471.3±9.0	460±81	460±16	0.475
46.1	300	110	0.38	0.87	18.2	0.0526	5.1	0.508	5.5	0.0700	1.8	436.2±7.6	312±120	403±25	0.332
47.1	642	405	0.65	0.40	41.7	0.0552	2.3	0.573	2.8	0.0754	1.6	468.4±7.4	419±51	442±12	0.583

注:年龄误差为  $1\sigma$ ; Pb<sub>c</sub> 和 Pb\* 分别表示普通铅和放射成因铅; 采用实测 <sup>206</sup>Pb 进行普通铅校正。

心实验室进行。

D05034-A 样品的大部分锆石呈柱状(图 3)。CL 图像中(图 3),具岩浆结晶环带和结构均匀的锆石都存在,且锆石的岩浆结晶环带多数比较清楚,说明碎屑锆石大部分来源于岩浆岩区;大部分碎屑锆石晶形完整,表明碎屑物质来自于近源区,或者以岩屑形式搬运沉积,这与显微镜下观察到的长石、石英碎屑分选、磨圆度较差的结果是一致的;部分锆石的外形显示出其是经历了搬运-沉积的碎屑锆石(图 3 中 4.1、12.1 和 16.1)。

锆石的 SHRIMP 分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上进行,按照标准测定流程<sup>[18-23]</sup>完成。数据处理及 U-Pb 谐和图绘制采用 Ludwig 编写的 Squid 1.01 版本和 ISOPLOT 2.49 h 版本。使用的标准锆石为 SL13(铀含量  $238 \times 10^{-6}$ , 年龄为 572 Ma)和 TEM(年龄为 417 Ma),前者用于标定 U、Th 和 Pb 的含量,后者用于校正年龄。TEM 和未知样品的分析按照 1:4 进行。本次定年研究每个数据点采用 5 组扫描获得。样品 D05034-A 共分析 47 个数据点,基本满足年龄分布统计分析的要求<sup>[24-26]</sup>。

表 1 中同位素比值的误差为  $1\sigma$  相对误差,单个点的年龄误差为  $1\sigma$  绝对误差,年龄加权平均值具 95% 的置信度。

样品 D05034-A 砂岩碎屑锆石的普通铅  $^{206}\text{Pb}$  占总铅比例为 0.00%~2.04%,但通常都 <1.00%,数据点沿谐和线分布(图 4~5),不存在明显铅丢失;所测得的 47 组年龄数据中,除 40.1 和 42.1 两组年龄数据不谐和度较大外,其余 45 组年龄数据不谐和度都较小。按照年龄分布,可以划分为以下 5 个年龄段:

(1)  $(388 \pm 9)\text{Ma}$ (图 3 中 1.1),U、Th 含量和 Th/U 比值分别为  $179 \mu\text{g/g}$ ,  $85 \mu\text{g/g}$  和 0.49;CL 结构和组成特征中岩浆结晶环带清楚,锆石晶形比较好,基本没有被磨圆。这些

特征表明它来自于近源的岩浆岩物源区。

(2) 418~482 Ma,这个年龄段占据了所得到的 47 组年龄数据的绝大部分,除 1.1、9.1、11.1、14.1 和 32.1 以外的其余 42 个数据点均分布在这个年龄段内,峰值为 445 Ma(图 6)。它们的 U、Th 含量分别为  $71\sim 642 \mu\text{g/g}$ ,  $36\sim 405 \mu\text{g/g}$ , Th/U 比值 0.37~0.90。CL 结构和组成特征中锆石特征大体相同,绝大部分锆石有核部和边部之分,边部结晶环带清晰,但锆石的核部与其他年龄段锆石的核部不同,这个年龄段大部分锆石核部都有岩浆结晶环带。本次研究大部分都是分析锆石边部,对于部分锆石的核部也进行了分析(图 3 中 23.1、31.1、35.1、37.1、42.1),结果显示这部分锆石的核部年龄

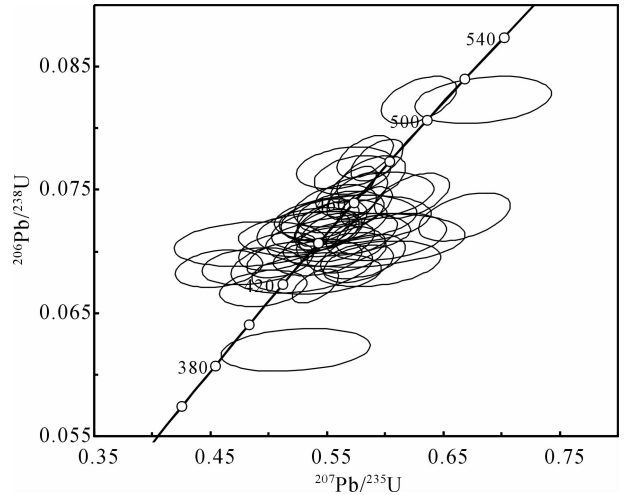


图 5 样品 D05034-A 砂岩碎屑锆石  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图

Fig.5 U-Pb concordia diagram of detrital zircons from sample D05034-A of sandstone

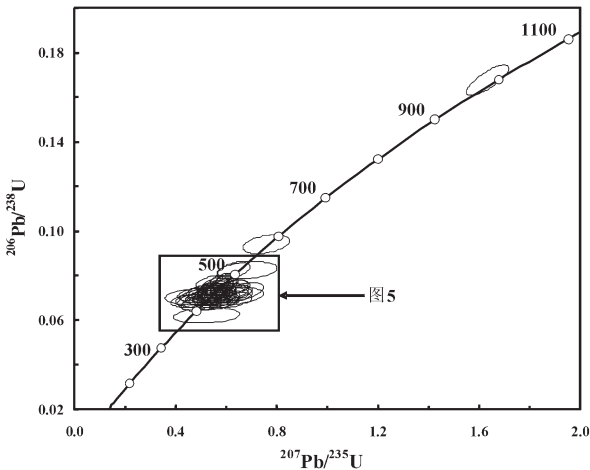


图 4 样品 D05034-A 砂岩碎屑锆石  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图

Fig.4 U-Pb concordia diagram of detrital zircons from sample D05034-A of sandstone

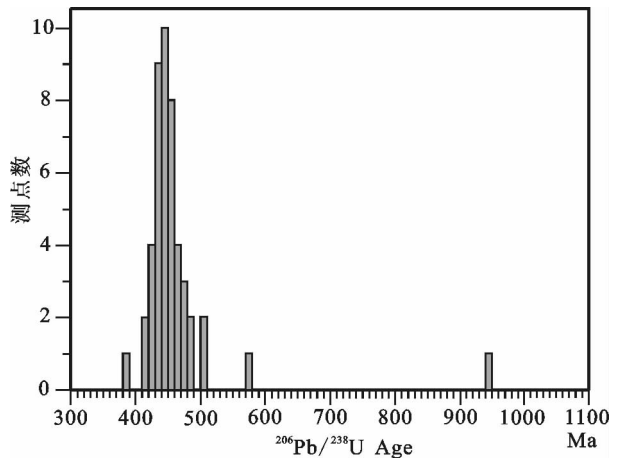


图 6 样品 D05034-A 砂岩碎屑锆石年龄分布图

Fig.6 Age distribution of detrital zircons from sandstone sample D05034-A



与边部的年龄大体相当,说明这部分锆石的核部和边部很可能是在同一次岩浆活动中环境发生变化所致。部分锆石中含有包裹体(图3中8.1、21.1、30.1、32.1、35.1、39.1、40.1和41.1),说明源区锆石在形成过程中受到过流体作用的影响;所有锆石的磨圆度都较差;以上特征综合表明本次研究所分析的绝大部分碎屑锆石其物质来源于近源的岩浆岩物源区。

(3)(510±10/9)Ma(图3中9.1和32.1),U、Th含量分别为182~218 μg/g,119~122 μg/g,Th/U比值为0.58~0.68。CL结构和组成特征中,这两粒锆石的发光性明显强于年龄较老的11.1和14.1两粒锆石,且锆石具有核部和边部之分,边部环带清晰,两粒锆石核部不一致,但测点均位于边部,可能代表研究区及其邻区510 Ma左右的一次岩浆事件。锆石的分选、磨圆较差,表明它们来自于近源的岩浆岩物源区。

(4)(579±10)Ma(图3中11.1),U、Th含量分别为221 μg/g,109 μg/g,Th/U比值0.51。CL结构和组成特征中锆石有一个明显的核部和边部,边部有弱的环带,核部比较复杂,无环带,测点位于边部,核部可能比较古老,核部与边部的成因可能不同。

(5)(949±26)Ma(图3中14.1),U、Th含量分别为439 μg/g,62 μg/g,Th/U比值0.15;由于该粒锆石的年龄值>8 Ga,所以取<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb的表面年龄。CL结构和组成特征中锆石外面有一个次生的边部,内部岩浆环带不发育;锆石具有磨圆特征,所测得的年龄为锆石核部的年龄。

### 3 问题讨论

#### 3.1 所研究的砂岩沉积时代

近年在哈尔里克山地区开展的1:5万区域地质调查成果中,将研究区内沁城至小铺一带1:20万地质图上划为上石炭统居里得能组的地层,由南向北依次解体为震旦系、志留系和前震旦系小铺岩群<sup>①</sup>,其中划分震旦系的依据是两个全岩Sm-Nd等时线年龄(玄武岩:707±190 Ma;阳起石斜长片岩:707±190 Ma);划分志留系的依据是地层中含有珊瑚等动物化石;划分前震旦系小铺岩群的依据是地层的变质程度比较深以及区域上的地层对比。上述被划分为震旦系的砂岩碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果中,最年轻的碎屑锆石年龄为(388±9)Ma,碎屑锆石的年龄峰期为445 Ma,表明把这套地层时代置于震旦纪是不符合实际的。在没有其他新资料的情况下,根据区域地层对比,笔者认为这套地层的时代还是应该采用1:20万区调划分方案,即暂时归入上石炭统居里得能组,但是不能排除其是在泥盆纪或石炭纪早期形成的可能性。

根据笔者的研究,1:5万区调成果中划分的震旦系、志留系和前震旦系小铺岩群之间为渐变过渡关系,其间唯一的区别是这些地层所经历的变质作用的强度不一样,但是笔者获得的资料说明该区的变质作用与早—中二叠世后碰撞伸展作用有直接联系(另文论述)。既然所研究的砂岩形成时代是

晚古生代,不是震旦纪,那么把其北侧的地层置于前震旦纪,也是不合适的。

#### 3.2 砂岩的物质来源

在所测的47组数据中,从这些锆石的U、Th含量和Th/U比值以及CL结构和组成特征表明47粒锆石绝大部分来自于岩浆岩区;这些数据可以划分为5个年龄段,其中42个数据为418~482 Ma,占总数的89%(图5~6),因此,这个时期的岩浆活动是哈尔里克山南麓砂岩的主要物质来源。

由前面介绍可知,哈尔里克山出露大量早古生代侵入岩。在哈尔里克山地区近年开展的1:5万区调中,识别出早古生代的岩浆活动,岩性主要有闪长岩和花岗岩两种。在哈尔里克山口门口附近识别出的闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(430±6)Ma<sup>[23]</sup>;在哈尔里克山东段主脊附近识别出的闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(447±11)Ma<sup>[16]</sup>和(448±7)Ma<sup>[16]</sup>;在哈尔里克山东段主脊附近识别出的花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(462±9)Ma<sup>[16]</sup>。这些岩浆岩是古生代期间向南逐渐迁移的吐哈盆地南缘活动陆缘的一部分,其形成与康古尔塔格一带洋壳残片代表的洋盆岩石圈板块向北的俯冲有关<sup>[27]</sup>。

从锆石的年代学资料看,哈尔里克山早古生代岩浆活动的侵入时代(430~460 Ma),与本研究获得的大部分碎屑锆石的年龄(418~482 Ma)是一致的,由碎屑锆石的U、Th、Th/U以及CL组成结构和特征均表明碎屑锆石的物质来源是近源的岩浆岩区。到目前为止,除了哈尔里克山以外的研究区周围其他地区都没有识别出奥陶—志留纪期间的岩浆活动,再考虑到上文所述的区域地质背景及该区古活动陆缘的演化,笔者推测哈尔里克山南麓所研究的砂岩的碎屑物质来源于哈尔里克山奥陶—志留纪期间的岩浆岩。

对于其他4个年龄段的数据,虽然数据组数有限,但由于本次SHRIMP U-Pb定年分析中,每个年龄数据均采用5组扫描获得,所以每个年龄值都具有很高的精度和可信度。综合分析,这4个年龄段的数据至少提供了以下信息:

(1)1.1 锆石的年龄值为(388±9)Ma,且锆石为典型的岩浆锆石。虽然测试结果中只有1粒锆石,但由于本次研究从碎样到最终测试,整个实验流程中严格按照实验要求操作,所以排除了样品被污染的可能性。位于研究区南侧的大南湖岩基锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(383±9)Ma<sup>[28]</sup>,位于研究区东南方向的四顶黑山黑云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(386±5)Ma<sup>[29]</sup>。除此之外,研究区附近目前还没有识别出这个时期的岩浆活动,因此,笔者推测砂岩的物质可能少部分来自于哈尔里克山东南侧的大南湖地区。

(2)年龄值为(510±10/9)Ma的2粒碎屑锆石(图3中9.1和32.1)和年龄值为579±10 Ma(图3中11.1)的1粒碎屑锆石,都具有岩浆结晶环带,显示出与中酸性岩浆岩或其变质成因的长英质变质岩中的锆石类似。这3粒锆石特征都

①新疆地质矿产局第一区域地质调查大队,沁城幅,上泉幅,阿尔格郎提山幅,梧桐沟幅,1:5万区域地质调查报告,2005。



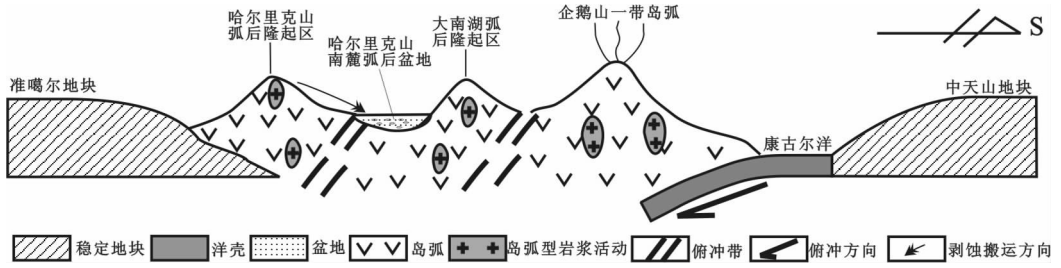


图 7 哈尔里克山及其邻区晚石炭世末期构造演化图

Fig.7 Tectonic evolution of the Harlik Mountains and adjacent areas during the terminal Late Carboniferous

显示出与上述<500 Ma 的碎屑锆石比较明显的区别,因此,它们不可能是与上述锆石相同地质事件形成的,有可能代表着区域上另一期重要的构造热事件。然而,在研究区及周边地区,目前还没有发现这一时代的相应成分的岩浆岩和变质岩。因此,其来源还不是很清楚。虽然在研究区北侧的俄罗斯萨彦岭和蒙古国北部等地有类似时代的岩浆活动<sup>[30-33]</sup>,但是目前还不能确定它们之间是否有成因联系。

(3)14.1 锆石的年龄值为(949±26)Ma,在全球演化中,1000 Ma 左右是超大陆聚合时期,在这个过程中发生了普遍的变质作用和岩浆活动。近年来,在新疆境内,陆续识别出了这一时期形成的地质体和构造热事件的年代学信息,包括天山东段天湖群变质岩的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为(1013±66)Ma,天山东段星星峡群变质岩的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为(998±54)Ma<sup>①</sup>;天山东段平顶山片麻状花岗岩锆石 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄为 960 Ma<sup>[34]</sup>。因此,笔者推测哈尔里克山可能有或曾经有新元古代早期形成的大陆地壳。

### 3.3 哈尔里克山古生代期间的构造背景

在哈尔里克山地区近年识别出来的早古生代岩浆活动,岩性主要有闪长岩和花岗岩两种,它们形成于岛弧环境,是向南逐渐迁移的吐哈盆地南缘活动陆缘的一部分<sup>[7]</sup>。

本次碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究,大部分碎屑锆石年龄为 418~482 Ma,推测其源区主要是哈尔里克山早古生代与岛弧演化相关的岩浆岩。

早志留世以后,吐哈盆地南缘活动陆缘逐渐向南迁移<sup>[7]</sup>,哈尔里克山地区不再是岛弧构造背景,而位于弧后区。

石炭纪期间,哈尔里克山南北两坡均发育一套浊积岩沉积,其北坡地层时代为早石炭世,南坡地层为本文研究的晚石炭世地层。指示该区石炭纪期间很可能为弧后盆地环境。

晚石炭世末期,哈尔里克山很有可能处于隆升剥蚀环境,只有这样才能导致早古生代的岩浆岩被抬升、剥蚀、并搬运到哈尔里克山南麓弧后盆地沉积成岩,形成上石炭统居里得能组砂岩。因此,哈尔里克山在晚石炭世末期很有可能处

于弧后隆起区。由此进一步推测,晚石炭世末期的隆升作用可能是哈尔里克山与博格达山现今地质差异的主要因素之一。与博格达相对应的石炭纪弧后盆地很有可能发育在哈尔里克山南麓(图 7)。

## 4 结论

(1)所研究的哈尔里克山南麓砂岩形成时代的下限年龄是(388±9)Ma,结合其他资料,笔者认为它们属于晚石炭世地层,而不是震旦纪地层。

(2)砂岩的主要物质来源于哈尔里克山中奥陶世—早志留世与岛弧演化相关的岩浆岩,也有少量物质可能来源于哈尔里克山东南侧的大南湖地区。

(3)哈尔里克山古生代期间经历了中奥陶世—早志留世岛弧,石炭纪弧后盆地和晚石炭世弧后隆起的演化过程。晚石炭世弧后隆升是导致哈尔里克山与博格达山现今地质差异的主要原因。

**致谢:** 本项研究中使用了部分新疆地矿局 1:20 万和 1:5 万区域地质资料,野外工作期间,得到了新疆第一区域地质调查大队和新疆第六地质调查大队的大力支持和帮助,同位素测试得到了北京离子探针中心的帮助,审稿人为本文提出了宝贵的修改意见。笔者对上述单位和个人表示衷心的感谢。

### 参考文献(References):

[1] Wysoczanski R J, Gibson G M, Ireland T R. Detrital zircon age patterns and provenance in late Paleozoic-early Mesozoic New Zealand terranes and development of the Pale-Pacific Gondwana margin[J]. *Geology*, 1977, 25:93-942.

[2] Geslin J K, Link P K, Fanning C M. High-precision provenance determination using detrital-zircon ages and petrography of Quaternary sands on the eastern Snake River Plain, Idaho [J]. *Geology*, 1999, 27: 295-298.

①胡霭琴,张国新,李启新.新疆北部主要地质事件同位素地质年代学研究.新疆人民政府国家三〇五项目办公室,1991.

- [3] Bohm C O, Heaman L A, Creaser R A, et al. Discovery of Pre-3.5 Ga exotic crust at the northwestern Superior Province margin, Manitoba[J]. *Geology*, 2000, 28:75-78.
- [4] Cawood P A, Nemchin A A. Provenance record of a rift basin: U-Pb ages of detrital zircons from the Perth Basin, Western Australia[J]. *Sedimentary Geology*, 2000, 134:209-234.
- [5] 李锦轶, 何国琦, 徐新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. *地质学报*, 2006, 80(1):148-168.  
Li Jinyi, He Guoqi, Xu Xin, et al. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (1): 148-168 (in Chinese with English abstract).
- [6] 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫, 等. 东天山构造格架及地壳演化[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993:1-225.  
Ma Ruishi, Wang Ciyin, Ye Shangfu, et al. Tectonic Framework and Crustal Evolution of Eastern Tianshan Mountains[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1993:1-225 (in Chinese with English abstract).
- [7] 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997:1-202.  
Ma Ruishi, Shu Liangshu, Sun Jiaqi. Evolution and Metallization in the Eastern Tianshan Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997:1-202(in Chinese with English abstract).
- [8] 王赐银, 舒良树, 赵明, 等. 东天山北部哈尔里克晚古生代推覆构造与岩浆作用研究[J]. *高校地质学报*, 1996, 2(2):198-206.  
Wang Ciyin, Shu Liangshu, Zhao Ming, et al. Late Paleozoic thrust tectonics and related magmatism in the Harlik area, north segment of Eastern Tianshan Belt[J]. *Geological Journal of Universities*, 1996, 2(2): 198-206(in Chinese with English abstract).
- [9] 楼法生, 唐春花. 新疆巴里坤红井子地区石炭纪火山岩及其大地构造环境分析[J]. *新疆地质*, 1995, 13(1):67-76.  
Lou Fasheng, Tang Chunhua. Carboniferous volcanics and its geotectonic setting in the Hongjinzi of Barkol, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 1995, 13(1):67-76(in Chinese with English abstract).
- [10] 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 等. 东天山中酸性侵入岩岩浆作用及其地球动力学意义[J]. *西北地质*, 2002, 35(4):41-64.  
Li Wenming, Ren Bingchen, Yang Xingke, et al. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance in Eastern Tianshan region[J]. *Northwestern Geology*, 2002, 35(4): 41-64(in Chinese with English abstract).
- [11] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. *地质论评*, 2004, 50(3):304-322.  
Li Jinyi. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China [J]. *Geological Review*, 2004, 50(3):304-322(in Chinese with English abstract).
- [12] 孙桂华, 李锦轶, 杨天南, 等. 天山造山带二叠纪后碰撞南北向挤压变形: 以哈尔里克山北坡口门子逆冲型韧性剪切带为例[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5):1359-1368.  
Sun Guihua, Li Jinyi, Yang Tiannan, et al. Permian post-collisional NS-compression deformation in Tianshan orogen: example from Koumenzi ductile shear zone of thrusting-type in northern slope of Harlik mountains [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (5):1359-1368(in Chinese with English abstract).
- [13] 孙桂华, 李锦轶, 高立明, 等. 新疆东部哈尔里克山闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [J]. *地质论评*, 2005, 51(4): 463-469.  
Sun Guihua, Li Jinyi, Gao Liming, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Age of a dioritic pluton in the Harlik Mountain, Eastern Xinjiang, and its tectonic implication [J]. *Geological Review*, 2005, 51(4): 463-469(in Chinese with English abstract).
- [14] 孙桂华, 李锦轶, 朱志新, 等. 新疆东部哈尔里克山花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [J]. *新疆地质*, 2007, 25(1): 4-10.  
Sun Guihua, Li Jinyi, Zhu Zhixin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of gneissoid-biotitic granite in Harlik Mountains, Eastern of Xinjiang and its geological implications[J]. *Xinjiang Geology*, 2007, 25(1):4-10(in Chinese with English abstract).
- [15] 郭华春, 钟莉, 李丽群. 新疆哈尔里克山口门子地区石英闪长岩年代研究及地质意义[J]. *地质通报*, 2006, 25(8):928-931.  
Guo Huachun, Zhong Li, Li Liqun. Zircon SHRIMP U-Pb dating of quartz diorite in the Koumenzi area, Harlik Mountains, east Tianshan, Xinjiang, China, and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25 (8):928-931 (in Chinese with English abstract).
- [16] 曹福根, 涂其军, 张晓梅, 等. 哈尔里克山早古生代岩浆弧的初步确定-来自塔水河一带花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年的证据[J]. *地质通报*, 2006, 25(8):923-927.  
Cao Fugen, Tu Qijun, Zhang Xiaomei, et al. Preliminary determination of the Early Paleozoic magmatic arc in the Harlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China-Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of granite bodies in the Tashuihe area [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25 (8):923-927 (in Chinese with English abstract).
- [17] 赵明, 舒良树, 朱文斌, 等. 东疆哈尔里克变质带的 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 2002, 76(3): 379-383.  
Zhao Ming, Shu Liangshu, Zhu Wenbin, et al. Zircon U-Pb dating of the rocks from the Harlik metamorphic belt in eastern Xinjiang and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(3):379-383(in Chinese with English abstract).
- [18] Compston W, Williams I S, Meyer C. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89(Supp.):325-534.
- [19] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time scale[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 1992, 149:171-184.
- [20] Williams I S. U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe[C]// McKibben M A, Shanks III W C, Ridley W I (eds.). *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Reviews in Economic Geology*, 1998, 7:1-35.

- [21] Williams I S, Claesson S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides: II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 97:205-217.
- [22] Williams I S. Some Observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granitic rocks [J]. Trans. R. Soc. Edinburgh-Earth Sci., 1992, 83:447-458.
- [23] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.  
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of the Shrimp dating [J]. Geological Review, 2002, 48 (Supp.):26-30(in Chinese with English abstract).
- [24] Dodson M H, W Compston, I S Williams, et al. A search for ancient detrital zircons in Zimbabwean sediments [J]. J. Geol. Soc., (London), 1988, 145(6):977-983.
- [25] Pieter Vermeesch. How many grains are needed for a provenance study?[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 224:441-451.
- [26] Tom Andersen. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance:limiting conditions from statistics and numerical simulation[J]. Chemical Geology, 2005, 216:249-270.
- [27] 李锦轶, 王克卓, 孙桂华, 等. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片: 中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录 [J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1087-1102.  
Li Jinyi, Wang Kezhao, Sun Guihua, et al. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan-Hami basin: geological records of subduction of the Paleo-Asian Ocean plate in central Asian regions [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5):1087-1102 (in Chinese with English abstract).
- [28] 宋彪, 李锦轶, 李文铅, 等. 吐哈盆地南缘克孜尔卡拉萨依和大南湖花岗岩基锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. 新疆地质, 2002, 20(4):342-345.  
Song Biao, Li Jinyi, Li Wenqian, et al. SHRIMP dating of zircons from Dananhu and Kezirkalasayi granitoid batholith in southern margin of Tuha Basin and their geological implication [J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(4):342-345(in Chinese with English abstract).
- [29] 李亚萍, 孙桂华, 李锦轶, 等. 东天山吐哈盆地东缘泥盆纪花岗岩的确定及其地质意义[J]. 地质通报, 2006, 25(8):932-936.  
Li Yaping, Sun Guihua, Li Jinyi, et al. Devonian granite on the eastern margin of the Tuha Basin in the east Tianshan, Xinjiang, China and its tectonic implication[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8):932-936(in Chinese with English abstract).
- [30] Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M. Geology of the USSR:A plate tectonics synthesis. Washington, D C, Amer. Geophys[J]. Union, Geodynamic Monograph, 1990, 21:1-242.
- [31] Dobretsov N L, Berzin N A, Bulslov M M. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian ocean [J]. International Geology Review, 1995, 37:335-360.
- [32] Dobretsov N L, M M Buslov, Uchio Yu. Fragments of oceanic islands in accretion-collision areas of Gorny Altai and Salair, southern Siberia, Russia: early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian-Early Cambrian time [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 23:673-690.
- [33] Salmikova E B, Kozakov I K, Kotov A B, et al. Age of Palaeozoic granites and metamorphism in the Tuvino-Mongolian Massif of the Central Asian Mobile Belt:loss of a Precambrian microcontinent[J]. Precambrian Research, 2001, 110:143-164.
- [34] 胡鸾琴, 章振根, 张积斌. 天山东段中天山隆起带前寒武纪变质岩系时代及演化——据 U-Pb 年代学研究 [J]. 地球化学, 1986, (1): 23-25.  
Hu Ai Qin, Zhang Zhenggen, Zhang Jibin. U-Pb age and evolution of Precambrian metamorphic rocks of central Tianshan uplift zone, eastern Tianshan, Chian [J]. Geochemica, 1986, (1):23-25 (in Chinese with English abstract).



## Detrital zircon SHRIMP U-Pb dating of Carboniferous sandstone from the southern foot of the Harlik Mountains, eastern Xinjiang, and its geological implications

SUN Gui-hua<sup>1,2</sup>, LI Jin-yi<sup>1</sup>, ZHU Zhi-xin<sup>1,3</sup>, LI Ya-ping<sup>1</sup>, YANG Zhi-qing<sup>4</sup>

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, Guangdong, China;

3.No.1 Geological Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Ürümqi 830011, Xinjiang, China;

4. Beijing SHRIMP Center, Beijing 100037, China; )

**Abstract:** Research into detrital zircons is an effective approach to the sources and provenance features of detrital materials and depositional ages and environment. The authors performed SHRIMP U-Pb dating of 47 detrital zircon grains from Carboniferous sandstone at the southern piedmont of the Harlik Mountains, eastern Xinjiang, and obtained ages of 388 to 949 Ma, clustering at 418 to 482 Ma. Based on these dating data, combined with the mineralogical characteristics and CL images of zircons as well as the regional geological data of the Harlik Mountains, we may draw the following conclusions: (1) the youngest detrital zircon age of the studied sandstone is  $388\pm 9$  Ma, implying that this sequence of the strata is not older than Middle Devonian in age and possibly was deposited in the Late Carboniferous according to the regional geological correlation; (2) the detrital materials of the studied sandstone were mainly derived from magmatic rocks related to the Early Paleozoic arc of the Harlik Mountains; and (3) the tectonic evolution of the Harlik Mountains progressed through the Middle Ordovician to Early Silurian magmatic arc related to northward subduction of the oceanic lithospheric plate represented by the Kanggurtag oceanic crustal fragment, Carboniferous back-arc basin and terminal Late Carboniferous back-arc uplift. The last event was probably the main cause for the present difference in geological outcrops between the Harlik and Bogda mountains.

**Key words:** Harlik Mountains; detrital zircon; SHRIMP U-Pb dating; Early Paleozoic magmatic arc; Carboniferous back-arc basin; terminal Late Carboniferous back-arc uplift

---

**About the first author:** SUN Gui-hua, male, born in 1977, Ph.D student of Chinese Academy of Geological Sciences, majoring in structural geology; E-mail: sunguihua790327@126.com.