

# 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组重矿物、 U-Pb年代学特征及物源分析

李严<sup>1,2</sup> 吴朝东<sup>1,2,†</sup> 张学才<sup>3</sup> 谢利华<sup>1,2</sup> 冷佳宣<sup>1,2</sup> 关旭同<sup>1,2</sup>

1. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 北京大学石油与天然气研究中心, 北京 100871; 3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司油气勘探管理中心, 东营 257000;

† 通信作者, E-mail: cdwu@pku.edu.cn

**摘要** 综合岩石学特征、砂岩碎屑组分特征、重矿物组合特征和锆石 U-Pb 年代学特征, 探讨准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组沙一段的沉积特征和物源演化过程。结果表明, 车排子凸起存在南北双物源体系, 沙一段以粗碎屑沉积为主。在一砂组沉积阶段, 扎依尔山为北部物源区, 发育小规模扇三角洲沉积; 中天山及北天山造山带为南部物源区, 发育辫状河三角洲沉积。在二砂组沉积阶段, 中天山供给减弱, 北天山供给加强, 盆地水体加深, 南部辫状河三角洲前端分布小型滨浅湖滩坝。南部物源变化的主要原因可能是受印度板块和欧亚板块碰撞的远程影响, 天山在新生代中新世中期经历强烈的挤压和抬升过程, 造成北天山隆升, 为车排子凸起提供物源。

**关键词** 物源分析; 沉积特征; 沙湾组; 车排子凸起; 准噶尔盆地

## Heavy Minerals Characteristics, U-Pb Geochronology and Provenance Analysis of Neogene Shawan Formation in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

LI Yan<sup>1,2</sup>, WU Chaodong<sup>1,2,†</sup>, ZHANG Xuecai<sup>3</sup>, XIE Lihua<sup>1,2</sup>, LENG Jiakuan<sup>1,2</sup>, GUAN Xutong<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE, Peking University, Beijing 100871; 2. Institute of Oil & Gas, Peking University, Beijing 100871; 3. Manage Center of Oil and Gas Exploration of Shengli Oilfield Company, Sinopec, Dongying 257000; † Corresponding author, E-mail: cdwu@pku.edu.cn

**Abstract** Based on the petrological characteristics, sandstone detrital composition, analysis of heavy minerals assemblages and U-Pb zircon age, the sedimentary characteristics and provenance evolution of Sha 1 member of Neogene Shawan Formation in Chepaizi Uplift are discussed. The results show that there were double-provenance systems of north and south in Chepaizi Uplift and Sha 1 member of Shawan Formation was dominated by coarse clastic deposits. In the sedimentary period of first sand group of Sha 1 member, the Zaire Mountains was the northern provenance, with small-scale fan delta deposits. The Central Tianshan and North Tianshan orogenic belts were the southern provenances, with braided river delta deposits. In the sedimentary period of second sand group of Sha 1 member, the sediments derived from the Central Tianshan were weakened, while those from the North Tianshan were strengthened, and the water body of the basin was deepened. Small shore-lake beach bars were distributed in front of the southern braided river delta. The main reason for the variation of the provenance in the south may be that the Tianshan experienced a strong extrusion and uplift process in the middle Miocene due to the remote collision between the Indian plate and the Eurasian plate, resulting in the uplift of the North Tianshan, which provided the provenance for Chepaizi Uplift.

**Key words** provenance analysis; sedimentary characteristics; Shawan Formation; Chepaizi Uplift; Junggar Basin

物源分析是沉积地质学研究的重要手段之一,在判别古侵蚀区、重塑古地貌特征、追踪物源区母岩性质以及含油气盆地勘探等方面具有重要的作用<sup>[1-4]</sup>。传统的物源分析方法包括沉积学、岩石学、重矿物组合及元素地球化学等方法。

经过60余年的油气勘探,准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组的油气勘探取得较大的突破。作为预测有利储层分布和烃源岩展布的有效手段,物源分析为沙湾组的油气勘探提供了可靠证据。杨少春等<sup>[5]</sup>通过钻井和地震勘探等资料,建立盆地地层与沉积格架,并分析车排子凸起沙湾组的沉积特征,认为沙湾组从沉积早期到晚期,发育辫状河三角洲-湖泊沉积体系,其中沉积物主要来自北西方向的扎依尔山。杨恺等<sup>[6]</sup>和樊晓伊<sup>[7]</sup>通过地球化学及地震沉积学等手段,识别出在沙湾组沉积阶段,车排子凸起存在西南方向和西北方向两个物源体系,认为南物源体系主要发育辫状河三角洲,为长距离搬运的牵引流沉积,北物源体系主要发育近物源沉积的扇三角洲,为典型的重力流沉积。

虽然对准噶尔盆地车排子凸起沙湾组已开展一定程度的研究,但对其物源演化分析的精细程度还不够。本文综合利用区域地质资料,通过砂岩碎屑组分、重矿物组合和锆石U-Pb年代学等分析手段,对车排子凸起沙一段的沉积特征和物源演化从宏观到微观进行研究,旨在为后续油气勘探开发提供更多的依据。

## 1 地质背景

准噶尔盆地地处中亚造山带中部,为典型的叠合盆地<sup>[8-10]</sup>。车排子凸起位于准噶尔盆地西部,是该盆地油气资源富集的区域之一<sup>[11]</sup>。车排子凸起是以石炭系火成岩为基底发育的凸起,构造区划上归属准噶尔类前陆盆地前隆-隆后斜坡带,是盆地西部隆起的次级构造单元(图1)<sup>[5-6,8,12]</sup>,东面以红车断裂带为界,西面和北面邻近扎依尔山,南面为四棵树凹陷<sup>[13-14]</sup>。车排子凸起的形成和演化分为3个阶段:石炭纪末至侏罗纪的强烈隆升阶段,白垩纪至古近纪的缓慢沉降阶段,新近纪至第四纪的快速沉降阶段<sup>[15-16]</sup>。车排子凸起的主体形成时间较早,在后期演变历史中,长期继承性地发展,具有不均衡隆升特点,在西北部扎依尔山前隆起最高,东部、南部和东南部隆起幅度逐渐降低,其东南角至奎屯-安集海一带逐渐隐伏并消失。

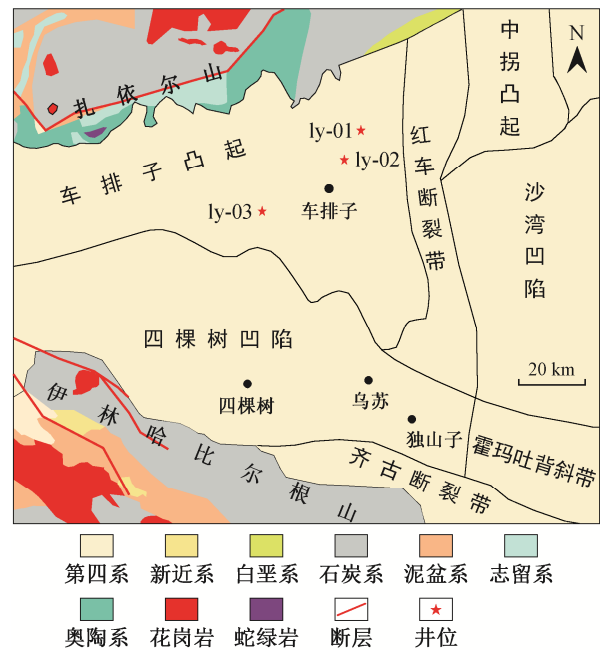


图1 准噶尔盆地车排子凸起地质简图(据文献[8]修改)

Fig. 1 Structural map of Chepaizi Uplift, Junggar Basin (according to Ref. [8])

现今车排子凸起的地层倾角约为 $2^{\circ}$ ,地层展布较宽缓,主体基底为石炭系,自下而上发育下白垩统吐谷鲁群、古近系、新近系沙湾组、塔西河组、独山子组及第四系,东部局部(红车断裂带上下盘附近)及凸起的上部分沟谷中残存较薄的二叠系、三叠系及侏罗系等多套地层。

新近系沙湾组可细分为沙一段( $N_1S_1$ )、沙二段( $N_1S_2$ )和沙三段( $N_1S_3$ ),其中沙一段是车排子凸起最富集油气的地层。如图2所示,沙一段自下而上分为3个砂组,地层南厚北薄,与上下地层均为不整合接触。沙一段一砂组( $N_1S_1^1$ )主要由厚层砂砾岩、含砾砂岩及中粗砂岩组成,局部夹薄层泥岩;二砂组( $N_1S_1^2$ )主要由厚层泥岩组成;三砂组( $N_1S_1^3$ )主要由厚层细砂岩组成。本文主要采集一砂组和二砂组的样品进行研究。

## 2 沉积环境

准噶尔盆地车排子凸起岩芯和录井资料分析结果表明,沙湾组沙一段的岩性具有向上变细的特征,主要为砾岩、砂砾岩和中细砂岩等。

一砂组沉积阶段,车排子凸起中部以北的地区以青灰色中-粗砾岩及灰色细砾岩为主(图3(a)),岩屑含量较高,存在冲刷面(图3(b))。显微镜下见方解石胶结,砾石含量为29%(图3(c)),颗粒间为点-

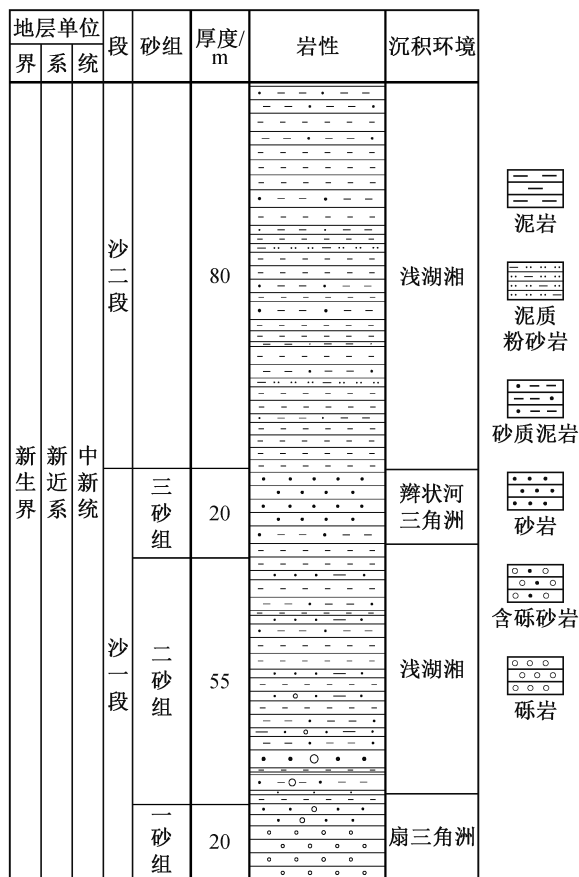


图 2 准噶尔盆地车排子地区沙湾组综合柱状图  
Fig. 2 Comprehensive histogram of Shawan Formation in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

线接触(图 3(d)), 碎屑颗粒分选性比较差, 粒径为 0.5~7.2 mm, 棱角-次棱角状, 结构成熟度和成分成熟度较低, 属扇三角洲沉积环境。车排子凸起南部地区沉积碎屑物成分成熟度高, 石英等稳定矿物含量增加(图 3(e)), 分选性较好, 指示搬运距离远, 发育范围较广的辫状河三角洲沉积。两大沉积体系在中部地区交汇分布, 没有明显的界线。

二砂组沉积阶段, 车排子凸起中部地区沉积碎屑物粒度变细, 粒径主要分布在 0.2~3.3 mm 之间, 钙质胶结度强, 孔隙不发育(图 3(f))。此时盆地水体加深, 南部辫状河三角洲前端分布小型的滨浅湖滩坝。

### 3 物源分析

通过砂岩碎屑成分、岩屑组分和重矿物组合特征分析和锆石 U-Pb 定年, 研究车排子凸起沙湾组一段的物源。为了更准确地了解物源区特征, 对潜在物源区的母岩年龄、母岩岩性、主要重矿物组合

和砂岩碎屑成分进行总结归纳(表 1)。

#### 3.1 砂岩碎屑成分成熟度分析

对车排子凸起沙湾组一段的 18 个样品进行薄片观察, 并统计碎屑成分, 结果如图 4(a)所示。一砂组沉积阶段, 车排子凸起北部地区沉积物以长石岩屑砂岩和岩屑砂岩为主, 岩屑含量较高(16%~82%, 平均 58%), 石英和长石含量较低(平均含量分别为 15%和 23%)。稳定性矿物含量少于不稳定性矿物, 指示碎屑颗粒被搬运的距离较短, 表现为不稳定沉积环境特征。车排子凸起南部地区样品中, 沉积碎屑成分石英等稳定性较好的矿物含量增加, 石英、长石和岩屑的含量比值为 36:23:28。南、北部砂岩碎屑成分有所差异, 指示存在南北双向物源, 且南部搬运距离远, 成分成熟度高。

#### 3.2 岩屑组分分析

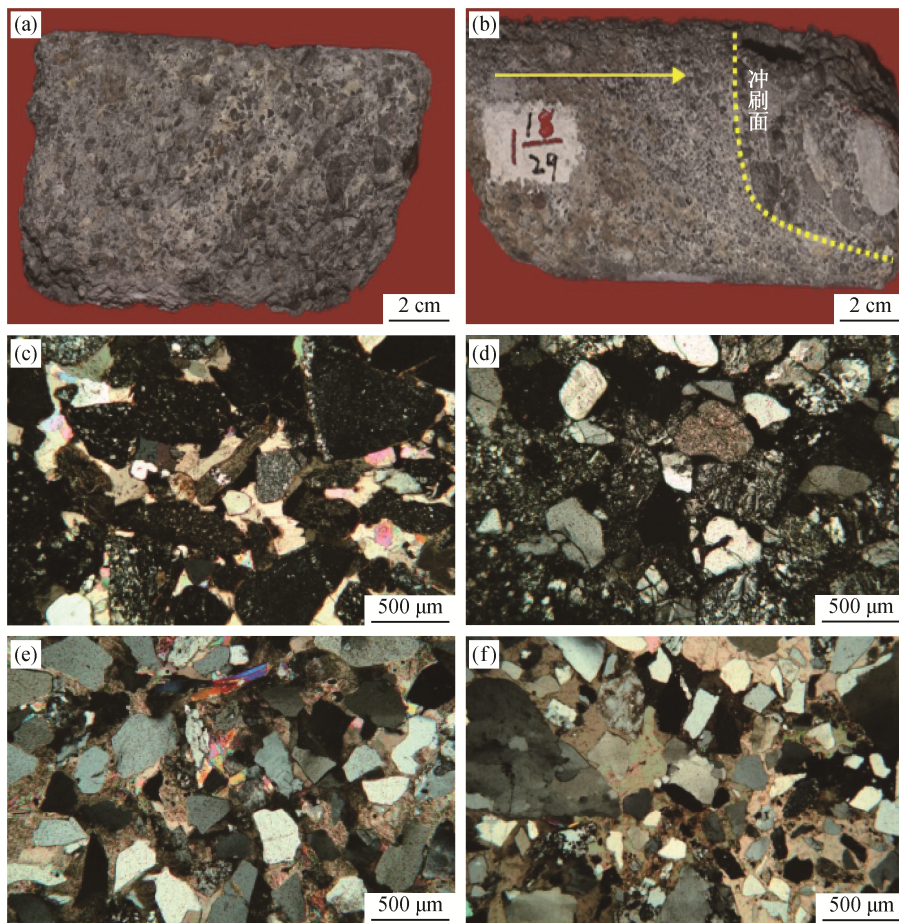
沙湾组 18 个样品的岩屑组分分析结果显示, 车排子凸起沙一段砂岩岩屑含量较高, 以花岗岩岩屑、泥岩岩屑、石英岩岩屑和片岩岩屑等为主。

图 4(b)显示, 岩屑组合特征表明物源区较为复杂, 一砂组沉积阶段岩屑类型丰富, 三大岩屑均占一定的比例, 火山岩岩屑以花岗岩岩屑为主, 在车排子凸起北部地区分布较多; 沉积岩岩屑以砂岩和泥岩岩屑为主, 变质岩岩屑主要是石英岩岩屑和片岩岩屑。二砂组沉积阶段, 砂岩岩屑以火山岩岩屑和沉积岩岩屑为主, 变质岩岩屑含量比一砂组少。

#### 3.3 重矿物组合及其分布特征

重矿物分析是通过沉积岩中矿物组合来指示物源方向和母岩性质<sup>[26]</sup>。本研究对车排子凸起沙湾组沙一段 21 口井的 63 个样品进行重矿物分析。重矿物鉴定在河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司进行。剔除自生矿物和不透明矿物的数据, 并对剩余的透明重矿物数据进行百分化归一处理, 得出车排子凸起沙一段沉积地层主要存在钛铁矿+磁铁矿、白钛矿+石榴石以及电气石+磷灰石 3 种重矿物组合(图 5)。

图 5(a)显示, 一砂组沉积阶段, 车排子凸起北部地区钛铁矿+磁铁矿组合分布范围较广, 占比也较大; 南部地区钛铁矿+磁铁矿组合占比减小, 白钛矿+石榴石组合与电气石+磷灰石组合占比增加, 约为 71%。图 5(b)显示, 二砂组沉积阶段, 车排子凸起北部地区仍主要分布钛铁矿+磁铁矿组合, 与一砂组沉积阶段相比, 白钛矿+石榴石组合明显减少, 电气石+磷灰石组合有所增加。



(a) 苏 8 侧井, 1459.1 m,  $N_1S_1^1$ , 青灰色细砾岩, 水下分流河道沉积(岩芯照片); (b) 苏 8 侧井, 1460 m,  $N_1S_1^1$ , 青灰色钙质胶结细砾岩, 具有冲刷面, 水下分流河道沉积(岩芯照片); (c) 苏 11 井, 1401.3 m,  $N_1S_1^1$ , 粗粒岩屑砂岩, 颗粒间点-线接触, 分选差(正交偏光); (d) 排 612 井, 317.5 m,  $N_1S_1^1$ , 中粒岩屑砂岩, 颗粒间点-线接触(正交偏光); (e) 排 703 井, 593.5 m,  $N_1S_1^1$ , 中粒岩屑长石砂岩(正交偏光); (f) 排 630 井, 320.52 m,  $N_1S_1^2$ , 岩屑长石砂岩(正交偏光)

图 3 准噶尔盆地车排子凸起沙一段岩芯照片和显微镜下的沉积特征

Fig. 3 Core photographs and microscopic sedimentary features of Sha 1 member in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

表 1 车排子凸起潜在物源区母岩特征

Table 1 Parent rock characteristics of potential source area in Chepaizi Uplift

物源区	母岩年龄/Ma	母岩岩性	主要重矿物组合	砂岩碎屑组分
扎依尔山	360-425, 220~350	花岗岩、蛇绿岩带和中性岩体	钛铁矿+磁铁矿+锆石	石英、火山岩岩屑
北天山	360-420, 250~316	中-酸性火山岩、火山碎屑岩	电气石+磷灰石+锆石	火山岩岩屑和长石
中天山	410-485, 320~410, 230~300	变质岩、火山岩和花岗岩	白钛矿+石榴石+磷灰石+锆石	石英、火山岩屑和变质岩屑

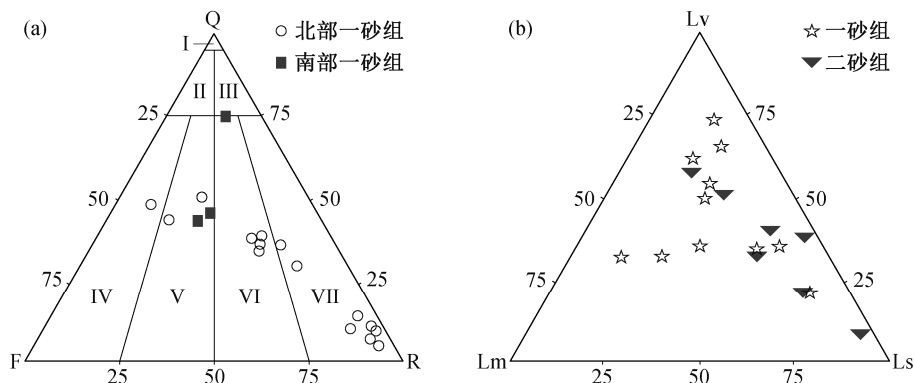
说明: 扎依尔山数据来自文献[17-21], 天山山脉数据来自文献[4,22-24]。

#### 4 碎屑锆石年龄分布及物源分析

对车排子凸起沙一段一砂组的两个样品(ly-01, ly-02)和二砂组的一个样品(ly-03)中 248 粒锆石进行 U-Pb 定年, 其中 ly-01 测点数为 85 个, ly-02 测点数为 80 个, ly-03 测点数为 83 个。锆石分选在河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司进行,

制靶及透射光、反射光和阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司完成, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成。表 2 列出部分测试数据。

剔除谐和度小于 95% 的锆石定年数据, 得到 239 个有效数据, 碎屑锆石 U-Pb 年龄分布在 160~915 Ma 之间。阴极发光照相(图 6)显示, 大多数锆



Q: 石英; F: 长石; R: 岩屑; I: 石英砂岩; II: 长石英砂岩; III: 岩屑石英砂岩; IV: 长石砂岩; V: 岩屑长石砂岩; VI: 长石岩屑砂岩; VII: 岩屑砂岩; Lv: 火山岩岩屑; Lm: 变质岩岩屑; Ls: 沉积岩岩屑。(a)的底图引自文献[25]

图 4 准噶尔盆地车排子沙一段砂岩碎屑三角图(a)和岩屑组分三角图(b)

Fig. 4 Clastic triangulation (a) and lithic composition (b) of Sha 1 member in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

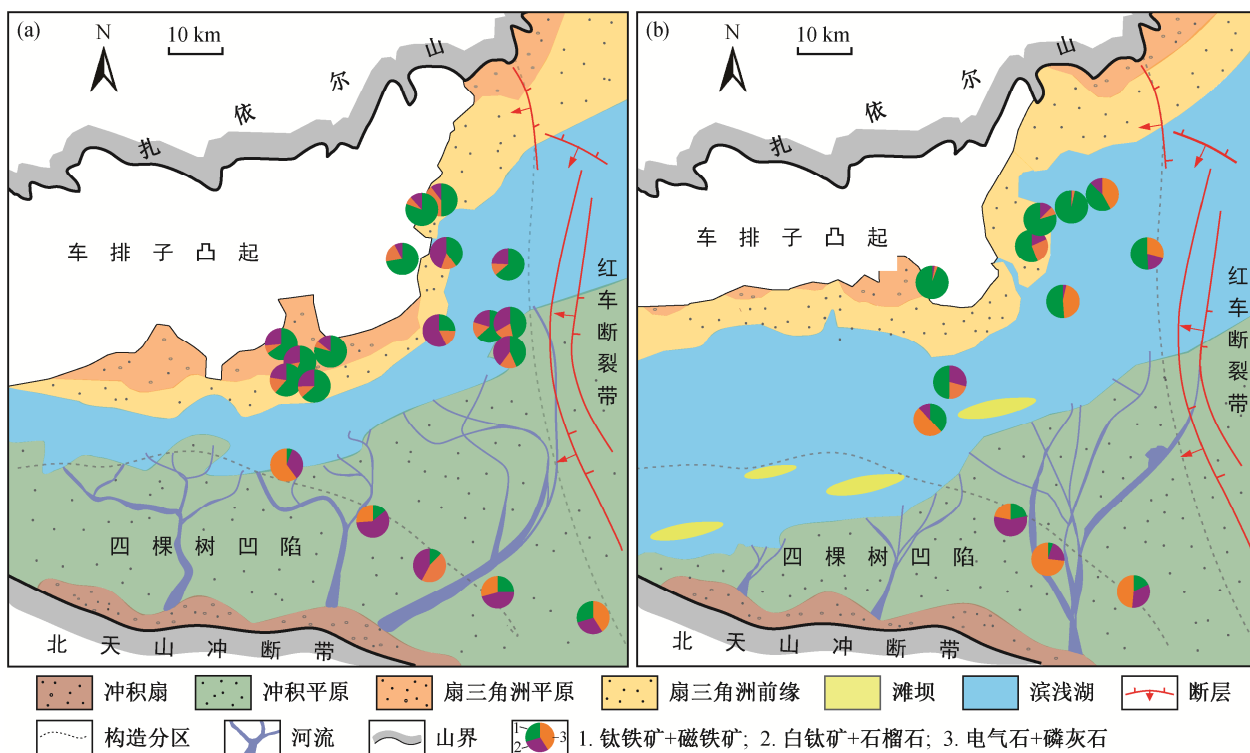


图 5 准噶尔盆地车排子凸起沙一段一砂组(a)和二砂组(b)重矿物组合分布

Fig. 5 Distribution map of heavy mineral assemblage of the first sand group (a) and the second sand group (b) of Sha 1 member in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

石颗粒为自形-半自形, 不同程度地保留岩浆成因振荡环带, 且具有较高的 Th/U 值(0.21~1.15), 表明绝大多数锆石为岩浆结晶锆石<sup>[23]</sup>。

沙一段一砂组砂岩样品 ly-01 中谐和度大于 95% 的锆石有 80 粒(图 7(a)), 年龄分布范围为 261~556 Ma (图 8(a1)), 主要峰值年龄为 312 和 336 Ma, 集中在石炭纪时期, 车排子凸起西北缘主要的岩浆

活动也发生在该时期。通过对比前人收集的大量潜在物源区锆石数据<sup>[22-24]</sup>, 推测该时期沉积物主要来自扎依尔山。

沙一段一砂组砂岩样品 ly-02 中谐和度大于 95% 的锆石有 79 粒(图 7(b)), 年龄分布范围为 209~871 Ma(图 8(a2)), 主要峰值年龄为 431 和 257 Ma, 次要峰值年龄为 380, 274 和 224 Ma。锆石年龄呈现

表 2 车排子凸起沙湾组砂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试数据  
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of sandstone of Shawan Formation in Chepaizi Uplift

测点号	同位素比值						同位素年龄/Ma					
	Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>		Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>	
	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)
ly-01-3	0.05340	0.00151	0.40646	0.01106	0.05525	0.00058	346	42	346	8	347	4
ly-01-18	0.05640	0.00191	0.37866	0.01224	0.04872	0.00062	468	49	326	9	307	4
ly-01-24	0.05308	0.00148	0.39551	0.01051	0.05407	0.00060	332	40	338	8	339	4
ly-01-27	0.05534	0.00126	0.53388	0.01144	0.07000	0.00072	426	30	434	8	436	4
ly-01-28	0.05886	0.00100	0.73103	0.01127	0.09012	0.00083	562	18	557	7	556	5
ly-01-30	0.05629	0.00114	0.42512	0.00801	0.05479	0.00054	464	25	360	6	344	3
ly-01-31	0.05263	0.00154	0.36399	0.01014	0.05017	0.00057	313	43	315	8	316	3
ly-01-34	0.05339	0.00131	0.30437	0.00705	0.04136	0.00043	345	34	270	5	261	3
ly-01-37	0.05357	0.00269	0.37879	0.01824	0.05112	0.00087	361	78	326	13	340	4
ly-01-42	0.05779	0.00145	0.49863	0.01173	0.06259	0.00069	522	32	411	8	391	4
ly-01-44	0.05301	0.00203	0.36337	0.01332	0.04972	0.00067	329	59	315	10	313	4
ly-01-45	0.05259	0.00141	0.33689	0.00853	0.04647	0.00051	311	38	295	6	293	3
ly-01-48	0.05649	0.00119	0.58201	0.01137	0.07473	0.00073	472	26	466	7	465	4
ly-01-49	0.05305	0.00157	0.40612	0.01143	0.05553	0.00064	331	43	346	8	348	4
ly-01-52	0.05613	0.00112	0.55360	0.01016	0.07154	0.00071	458	24	447	7	445	4
ly-01-53	0.05308	0.00216	0.38653	0.01513	0.05281	0.00073	332	64	332	11	332	4
ly-01-54	0.05388	0.00234	0.38728	0.01620	0.05214	0.00075	366	68	332	12	328	5
ly-01-55	0.05735	0.00186	0.37819	0.01163	0.04783	0.00060	505	46	326	9	301	4
ly-01-56	0.05455	0.00323	0.32850	0.01875	0.04368	0.00084	394	93	288	14	276	5
ly-01-57	0.05649	0.00235	0.37743	0.01506	0.04846	0.00069	472	63	325	11	305	4
ly-01-58	0.05233	0.00255	0.35599	0.01679	0.04934	0.00073	300	80	309	13	310	4
ly-01-59	0.10871	0.00345	0.76172	0.02242	0.05082	0.00074	947	21	391	32	304	5
ly-01-60	0.05550	0.00206	0.51471	0.01828	0.06726	0.00092	432	55	422	12	420	6
ly-01-61	0.05321	0.00449	0.36759	0.03018	0.05010	0.00120	338	14	318	22	315	7
ly-01-62	0.05172	0.00508	0.34126	0.03245	0.04786	0.00142	273	16	298	25	301	9

续表

测点号	同位素比值				同位素年龄/Ma							
	$Pb^{207}/Pb^{206}$		$Pb^{207}/U^{235}$		$Pb^{206}/U^{238}$		$Pb^{207}/Pb^{206}$		$Pb^{207}/U^{235}$		$Pb^{206}/U^{238}$	
	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )
ly-01-63	0.05313	0.00230	0.38994	0.01630	0.05324	0.00073	334	70	334	12	334	4
ly-01-64	0.05265	0.00179	0.37763	0.01224	0.05202	0.00064	314	51	325	9	327	4
ly-01-65	0.05456	0.00188	0.45627	0.01500	0.06066	0.00076	394	51	382	10	380	5
ly-01-66	0.05356	0.00226	0.40141	0.01632	0.05435	0.00074	353	67	343	12	341	5
ly-01-67	0.05400	0.00186	0.42975	0.01415	0.05772	0.00072	371	52	363	10	362	4
ly-01-68	0.05391	0.00182	0.39359	0.01271	0.05295	0.00065	367	51	337	9	333	4
ly-01-69	0.05367	0.00202	0.37249	0.01335	0.05033	0.00070	357	56	321	10	317	4
ly-01-70	0.05315	0.00207	0.39760	0.01485	0.05425	0.00072	335	60	340	11	341	4
ly-01-71	0.05160	0.00285	0.31205	0.01660	0.04386	0.00079	268	89	276	13	277	5
ly-01-72	0.05324	0.00137	0.41275	0.00994	0.05622	0.00062	339	35	351	7	353	4
ly-01-73	0.05586	0.00160	0.54160	0.01472	0.07031	0.00080	447	40	439	10	438	5
ly-01-74	0.05257	0.00440	0.34925	0.02842	0.04818	0.00116	310	14	304	21	303	7
ly-01-75	0.05266	0.00237	0.35520	0.01545	0.04892	0.00070	314	73	309	12	308	4
ly-01-76	0.05342	0.00164	0.39644	0.01150	0.05382	0.00064	347	44	339	8	338	4
ly-01-77	0.05554	0.00131	0.54931	0.01220	0.07172	0.00073	434	31	445	8	447	4
ly-01-78	0.05467	0.00144	0.50236	0.01258	0.06664	0.00070	399	37	413	9	416	4
ly-02-2	0.05303	0.00097	0.36546	0.00613	0.04998	0.00045	330	22	316	5	314	3
ly-02-3	0.05494	0.00115	0.50999	0.00999	0.06732	0.00065	410	27	418	7	420	4
ly-02-5	0.05651	0.00114	0.53754	0.01004	0.06898	0.00066	472	25	437	7	430	4
ly-02-6	0.05613	0.00109	0.56214	0.01019	0.07263	0.00067	458	24	453	7	452	4
ly-02-10	0.05537	0.00086	0.46385	0.00647	0.06075	0.00053	427	16	387	4	380	3
ly-02-11	0.05012	0.00093	0.23281	0.00396	0.03369	0.00031	201	23	213	3	214	2
ly-02-13	0.05457	0.00108	0.48496	0.00887	0.06445	0.00061	395	24	401	6	403	4
ly-02-14	0.05516	0.00111	0.48568	0.00911	0.06386	0.00061	419	25	402	6	399	4
ly-02-19	0.05469	0.00127	0.48819	0.01063	0.06474	0.00065	400	31	404	7	404	4
ly-02-20	0.05704	0.00109	0.60056	0.01064	0.07636	0.00072	493	23	478	7	474	4

续表

测点号	同位素比值						同位素年龄/Ma					
	Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>		Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>	
	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)
ly-02-22	0.05440	0.00153	0.40692	0.01085	0.05425	0.00059	388	40	347	8	341	4
ly-02-24	0.05605	0.00080	0.44786	0.00562	0.05795	0.00049	454	14	376	4	363	3
ly-02-26	0.05111	0.00156	0.28635	0.00835	0.04063	0.00044	246	47	256	7	257	3
ly-02-27	0.05018	0.00112	0.24347	0.00506	0.03519	0.00034	203	30	221	4	223	2
ly-02-28	0.05403	0.00131	0.44910	0.01033	0.06028	0.00061	372	34	377	7	377	4
ly-02-29	0.05515	0.00135	0.51002	0.01179	0.06707	0.00069	418	33	418	8	418	4
ly-02-30	0.05401	0.00145	0.44099	0.01121	0.05922	0.00063	371	38	371	8	371	4
ly-02-31	0.05681	0.00103	0.60748	0.01008	0.07755	0.00071	484	21	482	6	481	4
ly-02-32	0.05488	0.00148	0.49990	0.01280	0.06605	0.00071	407	38	412	9	412	4
ly-02-33	0.05499	0.00133	0.48562	0.01109	0.06404	0.00063	412	33	402	8	400	4
ly-02-36	0.05498	0.00093	0.51383	0.00793	0.06778	0.00061	411	19	421	5	423	4
ly-02-38	0.05185	0.00142	0.29562	0.00768	0.04135	0.00044	279	40	263	6	261	3
ly-02-39	0.05308	0.00127	0.29192	0.00655	0.03988	0.00039	332	33	260	5	252	2
ly-02-40	0.05077	0.00084	0.27069	0.00405	0.03866	0.00034	230	19	243	3	245	2
ly-02-41	0.05168	0.00123	0.29036	0.00649	0.04075	0.00040	271	33	259	5	257	2
ly-02-42	0.05478	0.00195	0.50578	0.01737	0.06695	0.00082	403	55	416	12	423	4
ly-02-44	0.05592	0.00114	0.58044	0.01099	0.07528	0.00072	449	25	465	7	468	4
ly-02-46	0.05430	0.00086	0.44419	0.00631	0.05932	0.00051	384	17	373	4	371	3
ly-02-47	0.05528	0.00086	0.54110	0.00750	0.07098	0.00062	424	16	439	5	442	4
ly-02-48	0.05762	0.00093	0.67765	0.00988	0.08529	0.00076	515	17	525	6	528	5
ly-02-49	0.05501	0.00128	0.38801	0.00850	0.05115	0.00050	413	32	333	6	322	3
ly-02-50	0.05856	0.00108	0.71707	0.01214	0.08880	0.00083	551	21	549	7	548	5
ly-02-51	0.05511	0.00119	0.51543	0.01038	0.06782	0.00066	417	28	422	7	423	4
ly-02-52	0.05535	0.00121	0.52430	0.01072	0.06869	0.00068	426	28	428	7	428	4
ly-02-53	0.05234	0.00127	0.30315	0.00694	0.04201	0.00042	300	34	269	5	265	3
ly-02-54	0.05231	0.00125	0.40923	0.00927	0.05673	0.00055	599	34	548	7	528	5

续表

测点号	同位素比值				同位素年龄/Ma							
	$Pb^{207}/Pb^{206}$		$Pb^{207}/U^{235}$		$Pb^{206}/U^{238}$		$Pb^{207}/Pb^{206}$		$Pb^{207}/U^{235}$		$Pb^{206}/U^{238}$	
	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )
ly-02-55	0.05619	0.00093	0.60661	0.00910	0.07830	0.00070	460	18	481	6	486	4
ly-02-57	0.05227	0.00127	0.31090	0.00712	0.04313	0.00043	297	34	275	6	272	3
ly-02-58	0.05104	0.00101	0.28505	0.00523	0.04050	0.00038	243	25	255	4	256	2
ly-02-59	0.05871	0.00090	0.72343	0.00982	0.08935	0.00078	556	15	553	6	552	5
ly-02-60	0.05391	0.00096	0.43572	0.00711	0.05861	0.00053	367	21	367	5	356	3
ly-02-61	0.05531	0.00124	0.52956	0.01112	0.06944	0.00069	425	29	432	7	433	4
ly-02-62	0.05657	0.00090	0.51772	0.00741	0.06637	0.00058	475	17	424	5	414	4
ly-02-63	0.05374	0.00093	0.46540	0.00735	0.06280	0.00056	360	20	388	5	393	3
ly-02-65	0.05410	0.00104	0.44062	0.00776	0.05907	0.00055	375	23	371	5	370	3
ly-02-66	0.05058	0.00115	0.27211	0.00580	0.03901	0.00038	222	31	244	5	247	2
ly-02-67	0.05769	0.00099	0.67039	0.01041	0.08427	0.00076	518	19	521	6	522	5
ly-02-68	0.05462	0.00112	0.49440	0.00939	0.06565	0.00063	397	26	408	6	410	4
ly-02-70	0.05442	0.00126	0.49130	0.01066	0.06547	0.00066	388	31	406	7	409	4
ly-02-74	0.05302	0.00136	0.31344	0.00764	0.04287	0.00042	330	37	277	6	271	3
ly-02-75	0.05430	0.00117	0.47133	0.00944	0.06294	0.00061	384	28	392	7	393	4
ly-02-78	0.05464	0.00108	0.49711	0.00907	0.06598	0.00062	398	24	410	6	412	4
ly-02-79	0.05289	0.00128	0.31635	0.00721	0.04338	0.00044	324	33	279	6	274	3
ly-03-1	0.05427	0.00101	0.44329	0.00752	0.05924	0.00054	382	22	373	5	371	3
ly-03-2	0.05317	0.00191	0.37082	0.01286	0.05058	0.00058	336	58	320	10	318	4
ly-03-5	0.05068	0.00179	0.23527	0.00794	0.03366	0.00041	226	55	215	7	213	3
ly-03-6	0.05490	0.00113	0.50574	0.00961	0.06681	0.00064	408	26	416	6	417	4
ly-03-7	0.05833	0.00202	0.42960	0.01415	0.05342	0.00071	542	49	363	10	335	4
ly-03-8	0.05517	0.00095	0.50672	0.00786	0.06661	0.00060	419	19	416	5	416	4
ly-03-9	0.05573	0.00151	0.53894	0.01379	0.07014	0.00077	442	37	438	9	437	5
ly-03-21	0.05442	0.00097	0.48352	0.00786	0.06443	0.00059	388	21	400	5	403	4
ly-03-23	0.05244	0.00203	0.32905	0.01224	0.04551	0.00058	305	61	289	9	287	4

续表

测点号	同位素比值				同位素年龄/Ma							
	Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>		Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>		Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>	
	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )
ly-03-25	0.05395	0.00128	0.43989	0.00978	0.05913	0.00059	369	32	370	7	370	4
ly-03-26	0.05338	0.00132	0.40892	0.00951	0.05556	0.00058	345	34	348	7	349	4
ly-03-27	0.05212	0.00157	0.20866	0.00599	0.02903	0.00032	772	22	787	10	702	6
ly-03-29	0.05661	0.00117	0.56969	0.01090	0.07298	0.00070	476	26	458	7	454	4
ly-03-30	0.05508	0.00148	0.49380	0.01258	0.06502	0.00070	415	38	407	9	406	4
ly-03-32	0.05714	0.00126	0.29974	0.00609	0.03804	0.00038	383	82	254	8	240	2
ly-03-35	0.05288	0.00163	0.38277	0.01124	0.05249	0.00059	324	46	329	8	330	4
ly-03-37	0.05719	0.00112	0.57850	0.01039	0.07336	0.00070	499	23	463	7	456	4
ly-03-38	0.05410	0.00122	0.49803	0.01052	0.06677	0.00064	375	30	410	7	417	4
ly-03-39	0.05552	0.00143	0.53202	0.01295	0.06950	0.00072	433	36	433	9	433	4
ly-03-40	0.05490	0.00117	0.47918	0.00950	0.06330	0.00061	408	27	398	7	396	4
ly-03-42	0.05771	0.00167	0.64863	0.01782	0.08151	0.00095	319	40	308	11	302	5
ly-03-44	0.05284	0.00162	0.36373	0.01061	0.04992	0.00056	322	46	315	8	314	3
ly-03-45	0.05337	0.00126	0.39939	0.00882	0.05427	0.00054	345	32	341	6	341	3
ly-03-46	0.05514	0.00115	0.52308	0.01012	0.06880	0.00067	418	26	427	7	429	4
ly-03-48	0.05574	0.00183	0.54770	0.01719	0.07126	0.00087	342	48	343	11	341	3
ly-03-49	0.05230	0.00111	0.32602	0.00641	0.04521	0.00043	499	28	427	5	429	4
ly-03-52	0.05610	0.00116	0.48670	0.00926	0.06292	0.00061	456	25	403	6	393	4
ly-03-57	0.05407	0.00099	0.42402	0.00702	0.05687	0.00052	374	21	359	5	357	3
ly-03-61	0.05840	0.00117	0.54516	0.01001	0.06771	0.00065	545	24	442	7	422	4
ly-03-62	0.05254	0.00152	0.35713	0.00981	0.04930	0.00055	309	42	310	7	310	3
ly-03-66	0.05392	0.00108	0.44976	0.00829	0.06050	0.00058	368	25	377	6	379	4
ly-03-67	0.05348	0.00125	0.40942	0.00896	0.05552	0.00056	349	31	348	6	348	3
ly-03-70	0.05204	0.00161	0.32692	0.00964	0.04557	0.00052	287	46	287	7	287	3
ly-03-71	0.05319	0.00168	0.37996	0.01142	0.05181	0.00060	337	47	327	8	326	4
ly-03-72	0.05614	0.00140	0.55103	0.01292	0.07119	0.00075	458	33	446	8	443	5

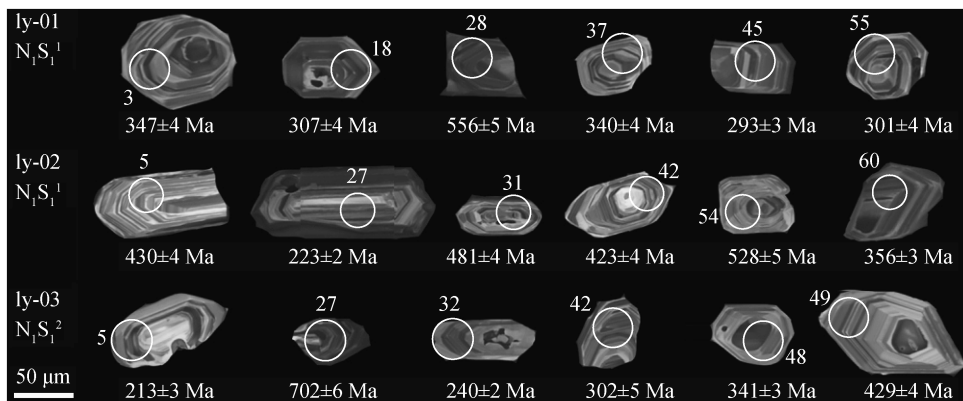


图 6 准噶尔盆地车排子凸起沙一段砂岩碎屑锆石阴极发光照片

Fig. 6 Cathodoluminescence photo of sandstone detrital zircon of Sha 1 member in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

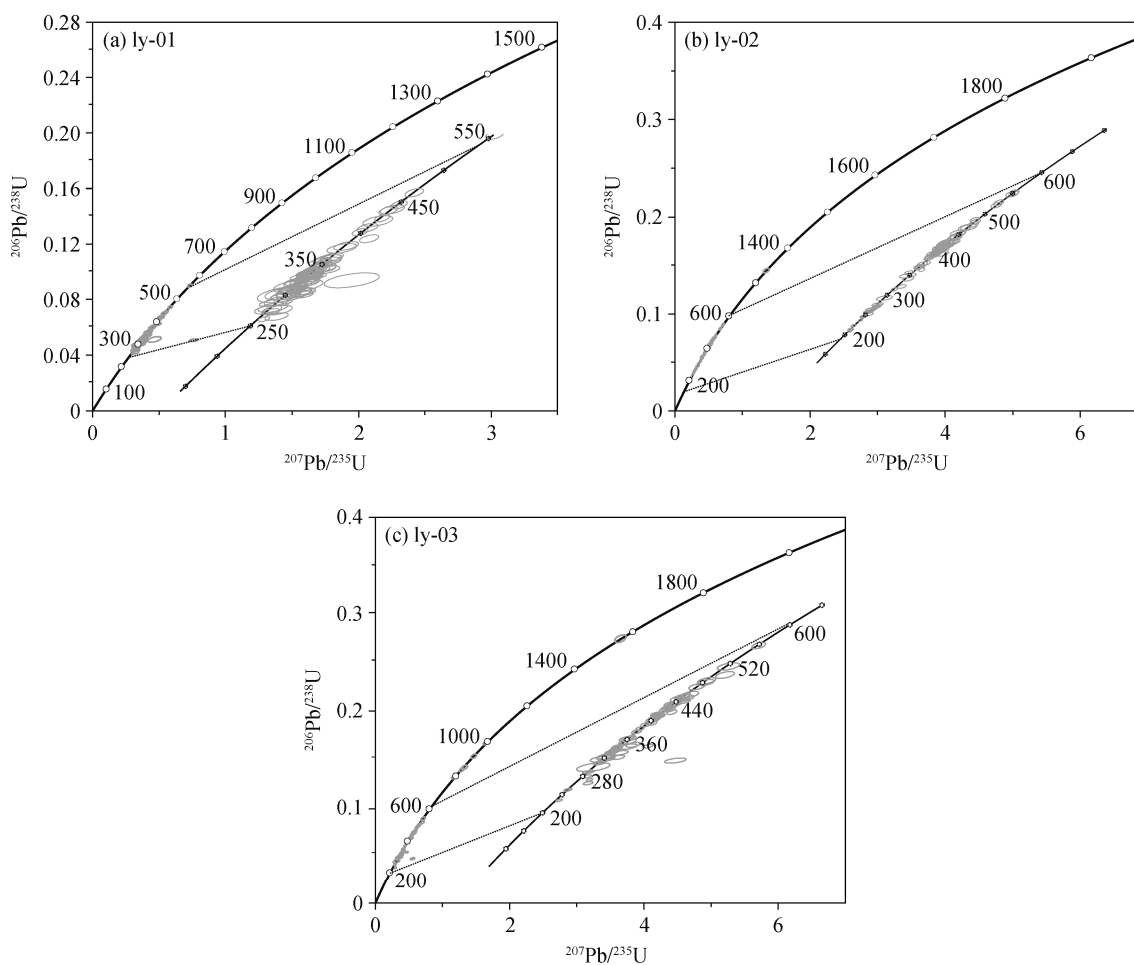


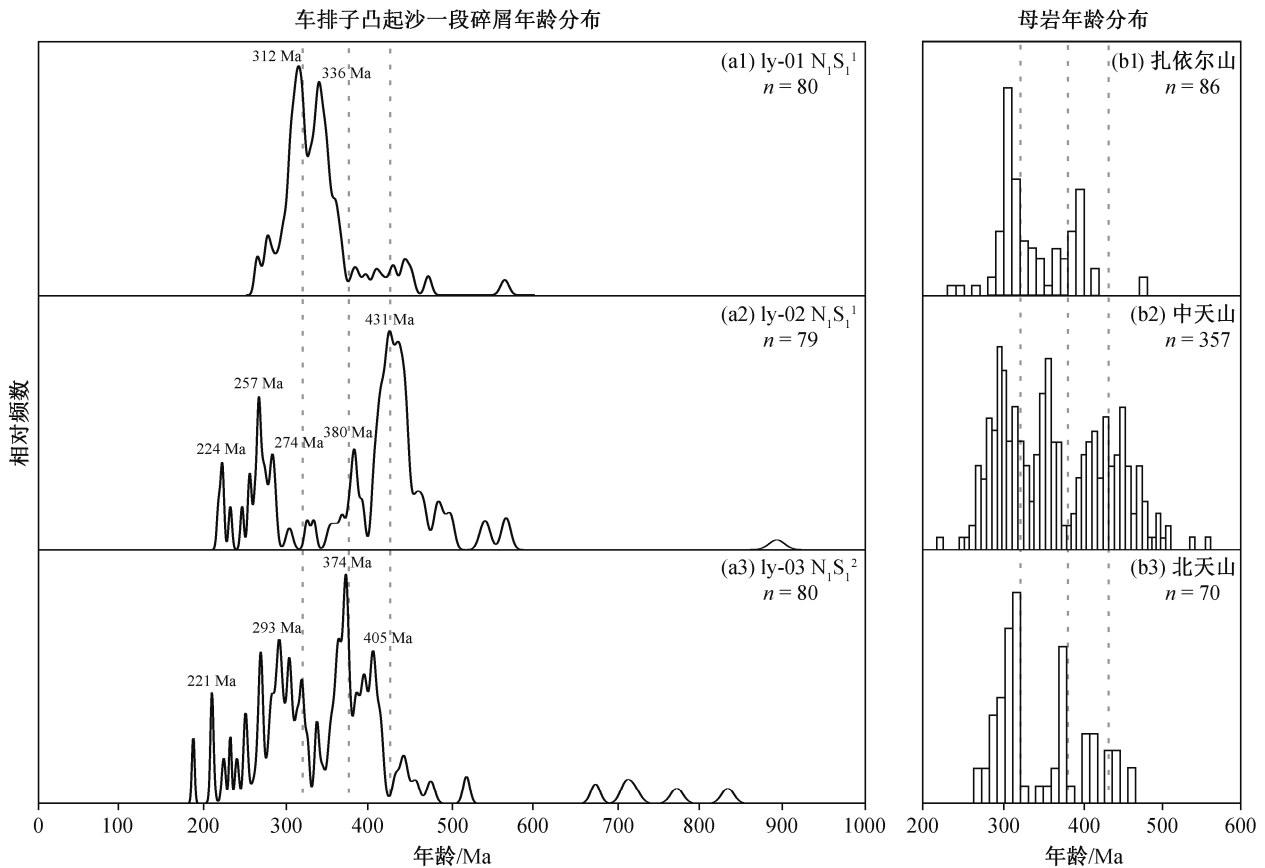
图 7 准噶尔盆地车排子凸起沙一段碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 7 U-Pb concordia diagrams for detrital zircons of Sha 1 member in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

多个峰值, 对比潜在物源区锆石年龄谱(图 8(b1)~(b3)), 推段车排子凸起中部地区为南北双向混合物源, 扎依尔山、中天山和北天山均提供碎屑物。

沙一段二砂组砂岩样品 ly-03 中谐和度大于 95% 的锆石有 80 粒(图 7(c)), 年龄分布范围为 160~

915 Ma(图 8(a3)), 主要峰值年龄为 374 Ma, 两个次要峰值年龄分别为 293 和 405 Ma。有 8 颗粒的锆石年龄大于 600 Ma, 占总数的 10%。对比峰值年龄谱(图 8(b1)~(b3))可以看出, 二砂组沉积时期, 北天山已成为南部主要物源区。



(a1)~(a3)为本文实验数据; (b1)中数据引自文献[17-21]; (b2)和(b3)中数据引自文献[4,22-24]

图 8 准噶尔盆地车排子凸起沙一段碎屑锆石 U-Pb 年龄分布

Fig. 8 U-Pb age distribution map for detrital zircons of Sha 1 member in Chepaizi Uplift, Junggar Basin

## 5 结论

本文通过砂岩碎屑成分、岩屑组分、重矿物组合特征分析和锆石 U-Pb 定年, 研究准噶尔盆地车排子凸起沙湾组沙一段的沉积特征和物源演化, 得到以下结论。

1) 车排子凸起沙一段以粗碎屑为主。一砂组沉积阶段, 北部发育小规模扇三角洲沉积, 南部发育远距离的辫状河三角洲沉积; 二砂组沉积阶段, 水体加深, 南部辫状河三角洲前端分布小型的滨浅湖滩坝。

2) 车排子凸起存在南北双物源体系。沙一段一砂组沉积阶段, 北部地区沉积物成分成熟度低, 岩屑含量高, 砂岩中以钛铁矿为标志的重矿物组合占比大, 锆石峰值年龄较年轻, 指示扎依尔山为主要物源供给区; 中部地区钛铁矿+磁铁矿、白钛矿+石榴石以及电气石+磷灰石 3 种重矿物组合均有分布, 锆石年龄呈现多个峰值, 为物源叠加区, 扎依

尔山、中天山和北天山均提供碎屑物。二砂组沉积阶段, 南部中天山供给减弱, 北天山供给加强, 物源主要来自西北部扎依尔山中酸性岩体和南部北天山火山岩岩体。

3) 新生代以来, 受印度板块和欧亚板块碰撞的远程影响, 在区域挤压应力作用下, 天山山脉的构造活动是一种北(南)天山冲断层向南(北)倾斜、向北(南)逆冲的双向逆冲缩短过程, 并伴随走滑作用和不同程度的差异隆升剥蚀作用<sup>[22,27]</sup>。一砂组沉积时期至二砂组沉积时期, 车排子凸起南部物源变化的主要原因可能是, 天山在新生代中新世中期经历强烈的挤压和抬升过程, 使得北天山隆升, 为车排子凸起提供碎屑物。这一结论与部分学者提出的天山构造隆升过程<sup>[13,22,28-29]</sup>相吻合。

## 参考文献

- [1] Bahlburg H, Vervoort J D, Dufrane S A. Plate tectonic significance of Middle Cambrian and Ordovician

- siliciclastic rocks of the Bavarian Facies, Armorican Terrane Assemblage, Germany U-Pb and Hf isotope evidence from detrital zircons. *Gondwana Research*, 2010, 17( 2/3): 223–235
- [2] Long X P, Yuan C, Sun M, et al. Detrital zircon ages and Hf isotopes of the early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, NW China: new constraints on depositional age, provenance and tectonic evolution. *Tectonophysics*, 2009, 480(1): 213–231
- [3] 杨仁超, 李进步, 樊爱萍, 等. 陆源沉积岩物源分析研究进展与发展趋势. *沉积学报*, 2013, 31(1): 99–107
- [4] Silke T, Hilmar V E, Thomas Z. A recipe for the use of rutile in sedimentary provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 2012, 282(30): 268–275
- [5] 杨少春, 孟祥梅, 陈宁宁, 等. 准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 35(2): 20–24
- [6] 杨恺, 董臣强, 徐国盛. 车排子地区新近系沙湾组物源与沉积相分析. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2012, 36(3): 7–13
- [7] 樊晓伊. 准噶尔盆地春光区块沙湾组地震沉积学分析及砂体结构研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2017
- [8] 苏朝光, 仲维莘. 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组物源分析. *石油与天然气地质*, 2010, 31(5): 648–655
- [9] 陈祥, 王敏, 王勇, 等. 准噶尔盆地西缘春光油田地层-岩性油气藏特征. *石油与天然气地质*, 2015, 36(3): 356–361
- [10] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society*, 2007, 164: 31–47
- [11] 胡宗全. 准噶尔盆地西北缘车排子地区油气成藏模式. *断块油气田*, 2004, 11(1): 12–15
- [12] Dong Y L, Zhang M Y, Zhu X M, et al. Corrigendum to “Seismic geomorphology and depositional system of delta and terminal fan: a case study of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi Uplift, Junggar Basin, China”. *Marine and Petroleum Geology*, 2017, 83: 362–381
- [13] 金鑫, 陆永潮, 卢林. 准噶尔盆地车排子地区中、新生代沉降史分析. *海洋石油*, 2007, 27(3): 51–56
- [14] 马瑞国, 席伟军. 准噶尔盆地车排子凸起沙湾组油气成藏模式及主控因素. *内江科技*, 2019, 40(6): 63–64
- [15] 杨勇, 陈世悦, 王桂萍, 等. 准噶尔盆地车排子地区古近系沉积相研究. *油气地质与采收率*, 2011, 18(3): 5–9
- [16] 熊丽. 准噶尔盆地车排子西部地区古近系沉积相研究[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2016
- [17] Tan C P, Yu X H, Li S L, et al. Sedimentology and stratigraphic evolution of the fan delta at the Badaowan formation (lower Jurassic), Southern Junggar Basin, Northwest China. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, 9(2): 115
- [18] 黄飞. 准噶尔盆地西北缘石炭系火山岩岩相与储层特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011
- [19] 徐新, 陈川, 丁天府, 等. 准噶尔西北缘早侏罗世玄武岩的发现及地质意义. *新疆地质*, 2008, 26(1): 9–16
- [20] 汪新伟, 汪新文, 马永生. 新疆博格达山晚中生代以来的差异剥露史. *地质学报*, 2007, 81(11): 1507–1517
- [21] Yang S H, Zhou M F. Geochemistry of the 430-Ma Jingbulake mafic-ultramafic intrusion in Western Xinjiang, NW China: implications for subduction related magmatism in the South Tianshan orogenic belt. *Lithos*, 2009, 113(1/2): 259–273
- [22] 陈熠, 方小敏, 宋春晖, 等. 准噶尔盆地南缘新生代沉积物碎屑锆石记录的天山隆升剥蚀过程. *地学前缘*, 2012, 19(5): 225–233
- [23] Fang Y N, Wu C D, Guo Z J, et al. Provenance of the southern Junggar Basin in the Jurassic: evidence from detrital zircon geochronology and depositional environments. *Sedimentary Geology*, 2015, 315(1): 47–63
- [24] 辜平阳, 李永军, 张兵, 等. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年. *岩石学报*, 2009, 25(6): 1364–1372
- [25] Folk R L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill Publishing Company, 1980
- [26] 王子腾, 王康乐, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地西缘羊虎沟组物源区分析. *地球科学与环境学报*, 2019, 41(3): 281–296
- [27] 孙岳, 陈正乐, 王永, 等. 天山山脉新生代差异隆升及其机制探讨. *大地构造与成矿学*, 2016, 40(2): 335–343
- [28] 高志勇, 周川闽, 冯佳睿, 等. 中生代天山隆升及其南北盆地分异与沉积环境演化. *沉积学报*, 2016, 34(3): 415–435
- [29] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 中生代天山及其两侧盆地性质与演化. *北京大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(6): 886–897