

西昆仑中新世晚期—上新世早期隆升活动的 沉积记录:来自塔西南棋北3井沉积物重矿物的证据

雷刚林¹⁾, 廖林^{2,3)}, 师俊¹⁾, 杜治利¹⁾, 罗俊成¹⁾, 程晓敢²⁾, 陈汉林²⁾

1) 中石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒, 841000;

2) 浙江大学地球科学系, 杭州, 310027; 3) 广州海洋地质调查局, 广州, 510760

内容提要:中新世晚期—上新世早期是塔里木盆地西南缘盆山作用机制发生重大转折的时期, 奠定了现今的盆山构造格局。本文通过对棋北3井中新统一上新统沉积物岩性和重矿物组合的分析, 建立了重矿物特征在地层剖面垂直方向上的变化规律。根据棋北3井重矿物含量及其组合随剖面向上变化的特征, 自下而上可划分为稳定重矿物段、较不稳定重矿物段和不稳定重矿物段; 重矿物源区分析表明, 源区变质岩隆升剥蚀的分布范围随着剖面向上不断地增大, 而中酸性岩浆岩分布范围在逐步减小。结合棋北3井沉积特征, 提出了盆山过程的构造-沉积响应关系, 并将西昆仑中新世晚期—上新世早期的隆升活动划分为中新统安居安组 and 帕卡布拉克组下部沉积时期的相对稳定期、中新统帕卡布拉克组中上部沉积时期的阶段隆升期和上新统阿图什组沉积时期的强烈隆升期3个阶段。

关键词:西昆仑; 中新世晚期—上新世早期; 构造事件; 沉积记录; 重矿物组合

受印度—欧亚板块碰撞和持续汇聚作用的影响, 古老的西昆仑造山带在新生代重新活化 (Molnar and Tapponnier, 1975, 1978), 并向塔里木板块强烈冲断, 形成了盆山之间巨大的地貌高差和一系列山链 (图1), 成为印度-欧亚板块碰撞能量的重要调节器之一 (Tapponnier et al., 1990, 2001; Meyer et al., 1998; Xu et al., 1999)。

对于西昆仑造山带新生代隆升过程及其隆升所引起的沉积响应, 前人通过沉积特征、构造变形特征、磁性地层学以及低温热年代学等多方面研究, 已经认识到西昆仑造山带及其邻区在中新世晚期—上新世早期强烈的隆升活动导致陆相磨拉石建造开始出现 (陈杰等, 2001; 郑洪波, 2002; 郑洪波等, 2002a, 2002b; 李喜臣等, 2005; 王永等, 2006; 司家亮等, 2007), 塔西南山前盆地沉积环境由相对平静的河湖相转变为快速堆积的山前冲积扇和河流环境 (Zheng et al., 2000; 陈杰等, 2000; 金小赤等, 2001; Jin et al., 2003; 司家亮等, 2007; 廖林, 2010), 沉积速率也由早期 0.015 mm/a 增大到 0.95 mm/a

(Zheng et al., 2000), 古流方向发生改变 (郑洪波等, 2002a, 2009; 裴军令等, 2008), 盆地沉降中心发生迁移 (廖林, 2010)。同时, 源自造山带方向的冲断挤压作用导致塔西南山前冲断带开始形成 (廖林, 2010), 并表现为由造山带向前陆方向逐渐变新的“前展式”变形 (刘胜等, 2004; 伍秀芳等, 2004; 胡建中等, 2008; 廖林, 2010)。

在这种环境下, 沉积系统中新碎屑的输入速率很高, 沉积物埋藏速度快, 这些因素大大减弱了风化、搬运、埋藏成岩作用对沉积物重矿物含量及组合的影响作用 (Morton and Hallsworth, 1994, 1999), 不同时代地层中重矿物含量及其组合的变化应是物源变化、沉积环境变化在盆地中的响应, 可以反映盆山分异活动和盆山格局的演化 (宋春晖等, 2002; 李双建等, 2006; Morton et al., 2008, 2009)。本文利用位于西昆仑山前冲断带的棋北3井中新安居安组至上统阿图什组下段的录井岩屑和钻井岩芯资料, 进行了重矿物含量及其组合分析, 探讨了中新世晚期—上新世早期西昆仑造山带的隆升活动。

注: 本文为国家自然科学基金项目 (编号 40972138 和 41072154) 的资助成果。

收稿日期: 2010-10-22; 改回日期: 2011-06-02; 责任编辑: 周健。

作者简介: 雷刚林, 男, 1970年生。高级工程师, 主要从事造山带与盆地构造分析、石油地质方面的研究。Email: leigl-tlm@petrochina.com.cn。通讯作者: 廖林, Email: geollin@zju.edu.cn。

DOI: CNKI:11-1951/P.20110804.1239.006 网络出版时间: 2011-8-4 12:39

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20110804.1239.006.html>

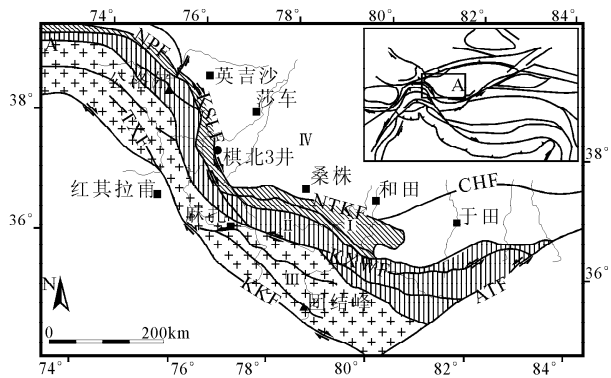


图 1 西昆仑造山带区域地质简图

Fig.1 Schematic map of the West Kunlun showing the location of well Qibei-3 and the major tectonic boundaries and faults

NPF—帕米尔北缘断裂;KSLF—库什拉甫断裂;NTKF—铁克里克北缘断裂;TXF—塔什库尔干断裂;KKF—喀喇昆仑断裂;KXWF—康西瓦断裂;CHF—车尔臣断裂;I—西昆仑北带;II—西昆仑中带;III—西昆仑南带;IV—塔里木盆地
NPF—The northern Pamir fault; KSLF—the Kushilafu fault; NTKF—the northern Tekelike fault; TXF—the Tashikurgan fault; KKF—the karakorum fault; KXWF—the Kangxiwa fault; CHF—the Cherchen fault; I—north West Kunlun; II—middle West Kunlun; III—south West Kunlun; IV—Tarim basin

1 新生界沉积物特征

棋北 3 井位于西昆仑山前棋北-柯克亚逆冲构造段的棋北-固满构造带北端(图 1),该井自上而下钻遇了全新统(Q₄)、上新统阿图什组(N_{2a})、中新统帕卡布拉克组(N_{1p})和安居安组(N_{1a})。渐新统一中新统克孜洛依组((E₃—N₁)k)(未穿)(图 2),缺失更新统。其中,全新统与下伏上新统阿图什组之间呈不整合接触关系,新近系各地层单元之间均呈整合接触关系。

全新统为一套灰色砾石、砂砾及土黄色泥沙混杂堆积,未成岩,钻遇厚度约 33 m。

上新统阿图什组可进一步划分为阿图什组上段(N_{2a}²)和阿图什组下段(N_{2a}¹)。其中,阿图什组上段主要以灰色砾岩为主,夹灰色细砂岩和黄灰色砂质泥岩,随剖面向上依次发育冲积扇中相—扇缘亚相—扇中相—扇缘亚相—扇根亚相沉积。阿图什组下段岩性以灰色细砂岩为主,夹灰色粉砂岩、灰黄色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和零星的灰色砾岩,其顶部发育一套厚层状富含辉石的灰色砂岩。依据西昆仑山前地层划分方案,“辉石条带砂岩”是区分上新统阿图什组上段和下段的标志层,其基本上平

分阿图什组,该砂层的顶界即为阿图什组下段的顶界(杨晓明和王加佳,2000;伍秀芳等,2004)。阿图什组下段的上部为砾岩、细砂岩、粉砂质泥岩和泥岩不等厚互层组成多个正旋回沉积,属辫状河流相层序,钻井岩芯见明显的冲刷面和泥砾、波纹层理和斜层理,生物扰动构造强烈(图 3a);下部为细砂岩、泥质粉砂岩、泥岩不等厚互层组成多个向上变细的正旋回沉积,属曲流河沉积。

中新统帕卡布拉克组以厚层的粉砂岩、泥质粉砂岩为主,夹薄层状棕褐色泥质粉砂岩、页岩,以河流泛滥平原亚相沉积为主,局部见河漫滩亚相沉积,可进一步划分出多个向上变细的岩性-沉积旋回,每个旋回的底部均以冲刷、冲填构造为主(图 2)。

中新统安居安组上部为薄层粉砂岩、泥质粉砂岩和厚层泥岩互层组成多个向上变细的正旋回沉积,底冲刷面的频繁出现表明多次泛滥沉积的叠加,属河流相泛滥平原亚相沉积;下部则由细砂岩、粉砂岩、泥岩不等厚互层组成正旋回沉积,向上泥岩增多增厚,属曲流河沉积,钻井岩芯可识别出大小不等的 3 期较为完整曲流河沉积(图 3b),河流二元沉积结构清楚,河床亚相和堤岸亚相厚度之比达 1 : 1。

渐新统一中新统克孜洛依组以褐紫色、棕褐色粉砂岩、泥岩为主,具有明显的砂泥二元组合特征,为典型的曲流河沉积(图 2)。

2 样品的采集与处理

本文收集了棋北 3 井 2500~5000 m 井段的录井岩屑和钻井岩芯,重矿物分析样品一般为中—粗砂岩。其中对录井岩屑的采样间隔为 2~5 m,钻井岩芯采样间距为 0.3~0.5 m。样品经过室内筛析后,选取粒径为 0.1~0.45 mm 的筛样,以保证获得的重矿物为碎屑成因颗粒,然后经过重液、精淘分离和电磁分离,在双目镜下鉴定分离出不同的重矿物。重矿物含量统计采用颗粒统计法,每个样品统计颗粒在 300 粒以上。重矿物分选和统计工作均由渤海石油研究院地质实验室完成。

3 重矿物含量及其组合特征

3.1 重矿物组成基本特征

棋北 3 井共鉴定出重矿物 20 余种,依据其化学性质和抗风化能力(陈国英等 1995;宋春晖等,2002)可划分为稳定矿物(锆石、电气石、金红石、板钛矿、刚玉、磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿、白铁矿、黄铁矿、榍石)、较稳定矿物(石榴子石、绿帘石、褐帘石、

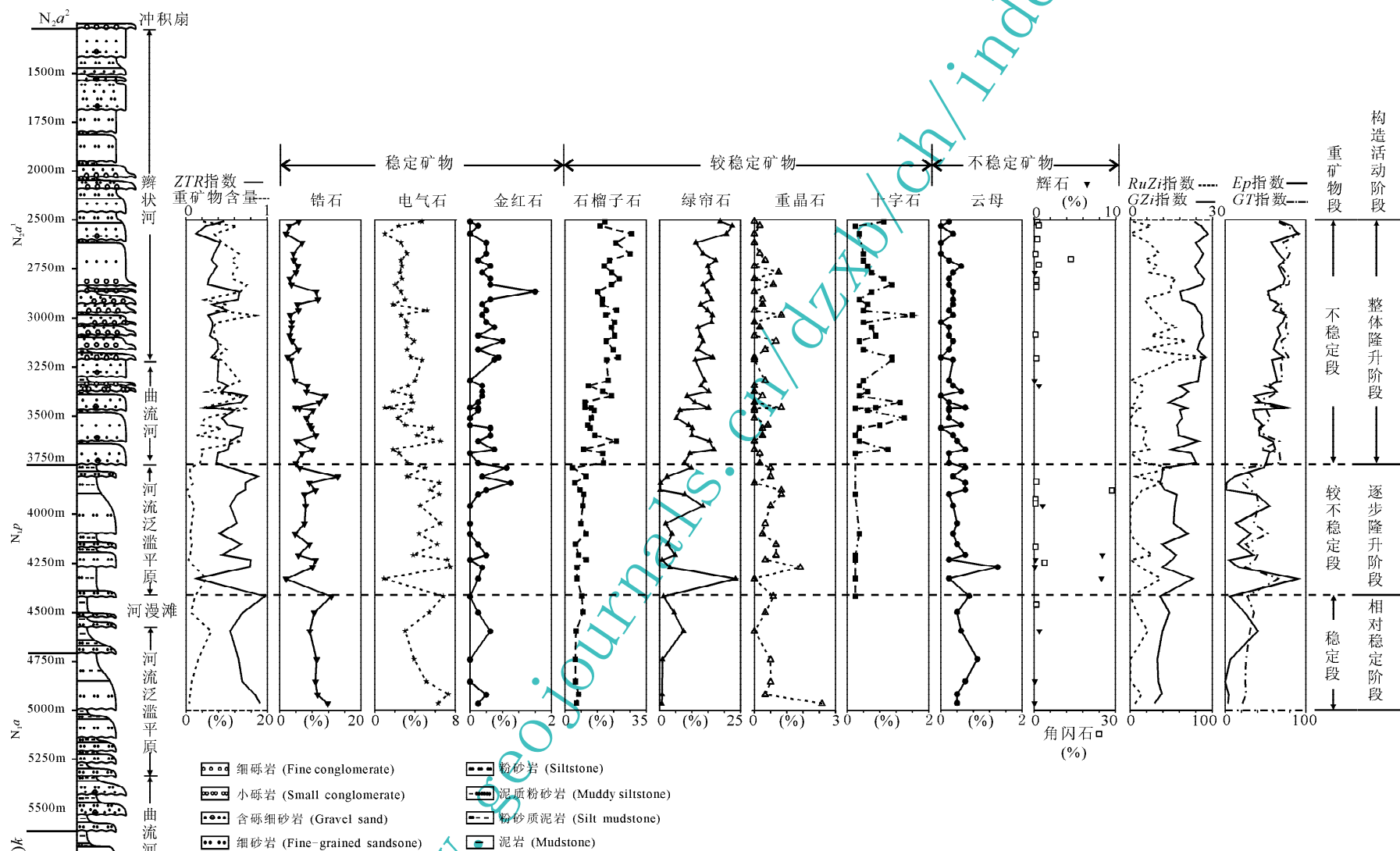


图 2 棋北 3 井新近系岩性组合及重矿物分布特征

Fig. 2 Integrated lithology and the distribution of heavy mineral in well Qibei-3

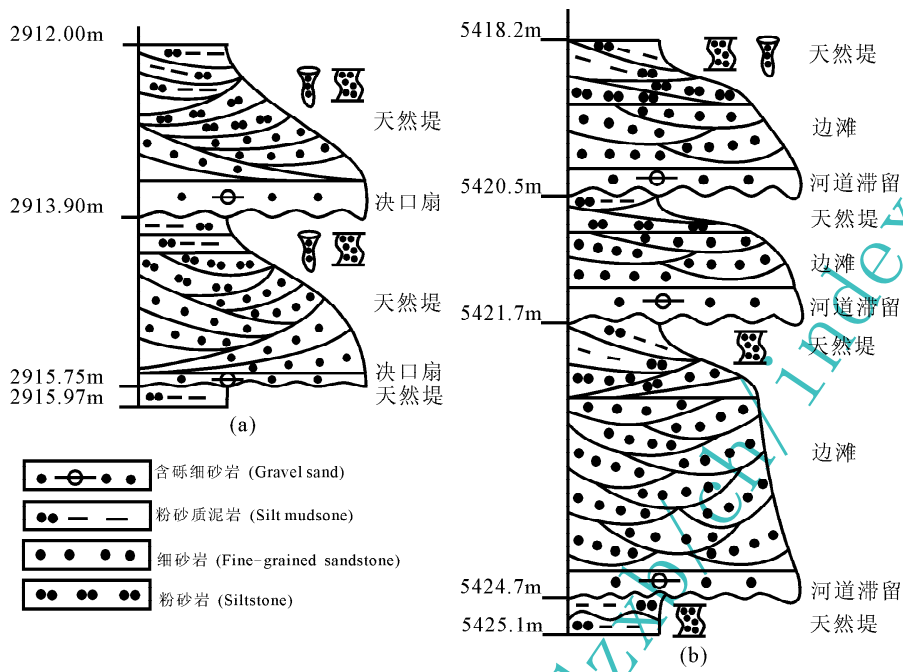


图 3 棋北 3 井钻井岩芯中阿图什组下段辫状河(a)和安居安组曲流河(b)沉积特征
Fig. 3 The braid-river sequence of Atushi Formation (a) and the meandering-river sequence of Anju'an Formation (b) in the well core of well Qibei-3

重晶石、十字石)和不稳定矿物(辉石、角闪石、云母)(表 1),并可根据各种不稳定矿物组合和含量,自下而上划分为稳定重矿物段、较不稳定重矿物段和不稳定重矿物段(图 2):

(1)稳定重矿物段:对应的地层单元为中新统安居安组上部和帕卡布拉克组下部。本段重矿物以浑圆稳定的颗粒形态和稳定矿物含量高、不稳定矿物含量极低为特征:①含磁铁矿、钛铁矿、白铁矿、锆石、电气石、金红石、板钛矿和刚玉等稳定矿物,其中锆石平均含量为 9.66%,电气石平均含量为 5.40%,金红石平均含量为 0.33%;②较稳定矿物有石榴子石、绿帘石以及重晶石,其中石榴子石平均含量为 5.70%,绿帘石平均含量为 2.58%,重晶石平均含量为 0.87%;③含少量辉石和角闪石等不稳定矿物;④重矿物颗粒圆化程度高,以沿长轴方向延伸的椭圆形居多。

(2)较不稳定矿物段:对应的地层单元为中新统帕卡布拉克组中—上部。本段以重矿物总含量降低,各种矿物含量曲线呈现大幅度变化为特征:①稳定重矿物含量较前期明显降低,其中锆石平均含量为 6.78%,电气石平均含量为 5.19%,金红石平均含量为 0.43%;②较稳定矿物含量明显增加,石榴子石平均含量为 6.54%,绿帘石平均含量为 5.72%,并在局部层段含量高达 23.5%,十字石开

始出现,平均含量为 0.22%;③不稳定的辉石平均含量为 10.84%,在局部层段富集含量高达 25.2%,角闪石含量也高于前期;④各种重矿物粒度不均匀,形态、晶面特征也呈现多样化,多为次棱角—次圆状,其次为不规则状。

(3)不稳定重矿物段:对应的地层单元为上新统阿图什组下段下部。本段不稳定和较稳定矿物随剖面向上含量逐步增加,尤其是以十字石大量出现为特征:①重矿物总含量在砂岩样品中显著增加,平均高达 0.45%,矿物种类也较前三段明显增多;②钛铁矿、褐铁矿、白铁矿、磁铁矿、锆石、电气石、金红石等稳定矿物含量有所降低,其中锆石平均含量为 5.09%,电气石平均含量为 3.12%,金红石平均含量为 0.42%,并见前期未曾出现的微量榍石;③不稳定和较稳定矿物呈现为随剖面向上含量逐步增加的趋势,其中石榴子石平均含量 17.20%,绿帘石平均含量 13.49%,重晶石平均含量 0.45%;④最为显著的是,十字石大量出现在样品中,含量 0.2%~1.6%,平均高达 0.60%;⑤各种矿物颗粒粒度不均匀,形态以次棱角状为主,不规则状和次圆状次之,透明度较好,石榴子石见贝壳状断口,黑褐色电气石见规则的复三方柱状晶体,纵纹明显,角闪石则呈柱状或柱状集合体。

表 1 棋北 3 井中新统一上新统重矿物分布
Table 1 The distribution of Neogene heavy mineral in well Qibei-3

地层 单元	样品号	采样深度 (m)	陆源矿物 (个)	自生矿物 (个)	重矿物含量 (%)	锆石 (%)	电气石 (%)	金红石 (%)	石榴子石 (%)	绿帘石 (%)	重晶石 (%)	十字石 (%)	辉石 (%)	角闪石 (%)	云母 (%)
N ₂ a	1	2508	466		0.21	4.7	4.7		17.2	18.7		0.9		0.4	0.2
	2	2530	536	1	0.63	2.4	2.4	0.2	15.1	22.4	0.2	0.2		0.6	
	3	2571	387		0.35	1.6	1		28.7	20.7		0.3			0.3
	4	2615	507		0.45	5.5	2.6	0.4	21.9	11.2				0.4	
	5	2670	528	2	0.65	3.4	3.2	0.4	28	13.4	0.2	0.4			
	6	2704	537	2	0.56	3.5	2.6	0.2	19.2	17.3	0.4	0.4		0.2	0.2
	7	2735	443	4	0.64	4.5	2.7	0.5	16.9	14.9		0.5		4.5	0.5
	8	2769	324	3	0.58	4	2.5	0.3	20.1	15.4	0.9	0.6	0.3	0.6	0.3
	9	2800	440	1	0.57	2.5	2.7	0.5	23.4	16.1		0.9			0.2
	10	2830	441	4	0.75	2.9	2	0.5	20	13.4	0.7	1.1			0.2
	11	2865	311	3	0.67	9	2.6	1.6	14.1	14.8		0.6		0.3	0.3
	12	2905	394	3	0.23	9.4	3	0.5	16.2	16	0.3	0.3		0.3	0.3
	13	2930	385	1	0.5	4.4	1.8	0.3	16.1	12.7	0.3	0.5			0.3
	14	2960	479		0.38	4.6	5.2	0.4	22.3	14.8		0.4			0.2
	15	2984	380	4	0.85	2.6	2.6	0.3	17.6	16.3	1	1.6			0.3
	16	3020	463		0.37	3	3.2	0.4	21.4	16		0.4			
	17	3048	489	3	0.34	2.9	3.1	0.6	20	11.9	0.2	0.6			0.2
	18	3091	406		0.35	2.5	3.2	0.2	21.4	12.6		0.7			0.2
	19	3118	387	4	0.37	3.1	3.9	0.8	17.8	13.4	0.8	0.3			0.3
	20	3161	476	2	0.5	4.6	3.2	0.2	20.8	11.8	0.4	0.4			0.2
	21	3200	444		0.35	2	3.6	0.7	23	16.4		1.1		0.2	
	22	3213	362		0.45	2.8	4.7	0.6	18	11		1.1			0.3
	23	3318	446	2	0.66	3.8	4		18.6	13.9	0.4	0.4	0.2		0.2
	24	3346	367		0.52	6.8	3.3	0.3	10.1	12.8		0.3	1.9	0.3	0.3
	25	3376	381	1	0.25	6.6	1.8	0.3	16.3	15.2		0.5			0.5
	26	3398	330	1	0.69	11.2	3.6	0.3	20	8.5	0.3	0.3			
	27	3431	442		0.46	9.7	3.8	0.2	8.6	10.9		1.3			0.2
	28	3457.28	309	3	0.21	3.9	1		8.7	15.2	1	0.7			0.6
	29	3460.19	406	1	0.77	4.9	1.7	0.2	11.3	15		0.2			0.2
	30	3470	478		0.66	8.2	3.6	0.2	12.6	6.3		0.5			0.2
	31	3510	440		0.23	6.6	2.3		11.4	5.2		1.4			0.2
	32	3545	366	2	0.19	7.4	3		9.8	9	0.5	0.8			0.5
	33	3560	385	1	0.44	7.8	5.7	0.5	10.9	10.1	0.3	0.3			
	34	3597	381	1	0.13	8.9	4.2	0.5	12.9	10	0.3	0.2			0.3
	35	3626	478		0.69	4.2	6.5	0.2	22.2	15.5		0.3			0.4
	36	3670	339		0.19	8	1.8	0.6	8	16.8		1			0.6
	37	3690	417	1	0.2	5.5	2.4		16.3	9.4	0.2	0.2			0.2
	38	3740	421	1	0.17	4	3.3	0.2	16.6	7.6	0.2				0.2
N ₁ p	39	3764	337	2	0.05	5	5	0.9	3.3	9.8	0.6				0.6
	40	3808	308	3	0.05	14.3	3.2	0.3	9.1	2.3	0.6				0.3
	41	3840	313		0.09	7.3	6.4	1	4.2	0.3					0.6
	42	3876	476	5	0.01	8.8	5.5	0.4	6.5	0.2	1				0.6
	43	3898	577	7	0.03	6.1	6.4	0.2	8.1	7.8	1	0.2			0.2
	44	3956	631	2	0.1	6.4	4.5		7.7	13.4	0.6		3.2		0.3
	45	4048	479	2	0.07	6.1	6.5		6.9	1.9	0.4				0.4
	46	4100	339	1	0.05	3.8	4.4		9.1	3.8	0.3	0.3		0.3	0.3
	47	4153	528	4	0.07	7.3	6.2	0.2	4.6	2.5	0.8			9.5	0.4
	48	4208	524	4	0.05	4.6	3.8	0.4	5.9	4.8	0.8	0.2	25.2	0.2	0.6
	49	4232	501	24	0.03	8.8	7.2		9.2	0.8	0.4	0.2	0.6	0.2	0.2
	50	4270	345	14	0.11	8.1	7.5	0.3	5.2	3.2	1.7		0.3		1.4
	51	4330	426		0.25	1.6	0.9	0.2	5.2	23.5		0.2	24.9		0.2
	52	4419	426	7	0.11	12.7	6.8		7.3	1.2	0.7	0.2			0.7
	53	4500	552	2	0.06	8.5	5.4	0.2	7.8	4.5	0.4			0.2	0.4
	54	4595	394		0.31	7.4	3	0.5	4.8	7.4			2	1.3	0.5
N ₁ a	55	4740	331	30	0.15	9.1	3.9		4.5	0.9	0.6				0.9
	56	4852	351	4	0.07	8.8	5.1		4.6		0.6		0.3	0.3	0.6
	57	4920	508	3	0.05	9.3	7.3	0.4	5.9	0.8	0.4				0.4
	58	4966	543	24	0.04	11.8	6.3	0.2	5	0.7	2.5		0.2		0.4

3.2 重矿物特征指数

为了提高重矿物分析物源的精确性,前人提出利用某些重矿物的比值(即重矿物指数)来反映物源的变化(Morton and Hallsworth,1994,1999)。根据棋北 3 井重矿物组合的基本特征,本文采用了 *ZTR* 指数(锆石、金红石和电气石组成的透明矿物组合的百分含量)、*RuZi* 指数(金红石×100/(金红石+锆石))、*GZi* 指数[石榴子石×100/(石榴子石+锆石)]、*EP* 指数[绿帘石×100/(金红石+锆石+电气石+绿帘石)]以及 *GT* 指数[石榴子石×100/(金红石+锆石+电气石+石榴子石)]。

从图 2 中可以看出,随剖面向上 *ZTR* 指数呈现为高一较低一低的变化,其低值对应了不稳定重矿物段;而 *RuZi*、*GZi*、*EP* 和 *GT* 指数则呈现为低—较高—高的变化。尤其是上新统阿图什组的指数值明显不同于中新统,*RuZi*、*GZi*、*EP* 和 *GT* 指数向上不断增大而 *ZTR* 指数则逐步降低,各项指数本身的变化幅度也逐步减小。这表明在上新统阿图什组沉积时期,盆山格局之间发生了较大变化,物源距离沉积区更近,剥蚀物只经历了短暂的水动力搬运过程就快速沉积,未遭受长时间的风化作用,因而矿物成熟度较中新统低。

3.3 重矿物母岩类型分析

对比棋北 3 井周缘造山带出露岩石类型,将其所提供的重矿物组合归纳为表 2。根据重矿物的分布特征和母岩类型对比可以发现,来自高级变质岩的石榴子石和绿帘石含量随着剖面向上,含量逐步增加;来自低级变质岩的电气石含量则随剖面向上,含量逐渐减少,而十字石则随剖面向上,含量急剧增加;来自基性岩浆岩的金红石在剖面下段含量并不高,至中新统帕卡布拉克组中部才陡然增加,而角闪石则集中出现在中新统帕卡布拉克组上部 and 上新统阿图什组;来自沉积岩的重晶石在全剖面中均可见,其含量随着剖面向上逐渐减小。为了进一步区分重矿物母岩类型和指示源区变化,本文制作了 *Gzi-Ruzi* 交汇图(图 4)。

从 *Gzi-Ruzi* 交汇图中可以看出,中新统安居安组的样品点集中落入 *Gzi* 指数值 30~40 和 *Ruzi* 指数值 0~5 的区间之内说明,相对于中酸性岩浆岩来源的锆石来讲,来自高级变质岩中的石榴子石和来自基性岩的金红石比例较小,进而反映源区的变质岩和基性岩分布比中酸性岩浆岩要小的多;中新统帕卡布拉克组的样品点集中在 *Gzi* 指数值 30~60 和 *Ruzi* 指数值 0~10 的区间之内说明,中酸性岩浆

表 2 棋北 3 井重矿物组合特征
Table 2 The Characteristics of heavy mineral assemblages in well Qibei-3

物源区母岩类型	碎屑重矿物组合
高级变质岩(古生界、元古宇)	石榴子石、绿帘石、磁铁矿、刚玉
低级变质岩(古生界及三叠系)	电气石、十字石、云母
基性岩浆岩(古生界)	金红石、辉石、钛铁矿
中酸性岩浆岩(古生界、中生界、新生界)	锆石、角闪石
沉积岩(中生界以上地层)	白钛石、褐铁矿、黄铁矿、重晶石

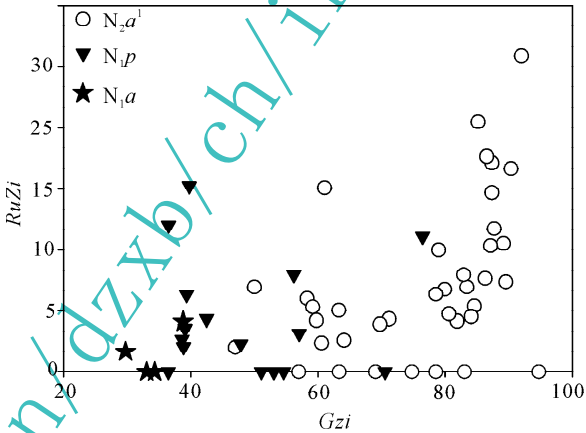


图 4 棋北三井 *GZi* 与 *RuZi* 指数交汇图
反映各时期源区变化

Fig. 4 The *GZi*-*RuZi* ratio of heavy mineral showing the change of denudate source in well Qibei-3

岩来源的锆石与来自高级变质岩中的石榴子石含量差别不大,而基性岩的金红石则较少,反映源区变质岩和中酸性岩浆岩分布范围大小相差不大,但基性岩分布较少;上新统阿图什组下段的样品点集中在 *Gzi* 指数值 60~90 和 *Ruzi* 指数值 5~15 的区间之内说明,来自高级变质岩中的石榴子石比例较大而来自基性岩的金红石比例仍较小,反映源区的变质岩分布比中酸性岩浆岩要大的多,基性岩分布较少。上述特征表明,源区变质岩隆升剥蚀的分布范围随着剖面向上不断地增大,而中酸性岩浆岩分布范围在逐步减小。

4 重矿物演化、沉积特征与西昆仑隆升

通过上述沉积物岩性组合特征和重矿物组合分析及其在地层剖面垂直方向上变化的研究,将中新世晚期—上新世早期西昆仑隆升活动划分为相对稳定期、阶段隆升期和强烈隆升期 3 个阶段(图 2)。

4.1 相对稳定期

对应中新统安居安组和帕卡布拉克组下部沉积

时期,地层岩性以薄层粉砂岩、泥质粉砂岩和厚层泥岩不等厚互层组成多个向上变细的正旋回沉积,处于相对平静的曲流河和泛滥平原沉积环境中;重矿物颗粒圆化程度高,以椭圆形居多,稳定矿物含量高、不稳定矿物含量极低;重矿物各项指数也表明沉积物经过较长的水动力搬运和风化作用,矿物成熟度较高;源区中酸性岩浆岩分布范围较变质岩和基性岩要广。上述特征表明,西昆仑造山带此时处于构造相对稳定期。

4.2 阶段隆升期

对应中新统帕卡布拉克组中—上部沉积时期,虽然地层岩性以厚层的粉砂岩、泥质粉砂岩为主,但是稳定重矿物含量较前期降低,不稳定重矿物含量增加,并且在局部层段可见绿帘石、辉石富集,各种矿物含量曲线呈现大幅度变化,矿物粒度不均,形态、晶面特征也呈现多样化。上述特征表明,西昆仑开始出现阶段性隆升活动,从而造成盆地内短暂的不稳定沉积与相对稳定沉积交替的现象。区域上,喀喇昆仑 8.75 ± 0.25 Ma 至 6.88 ± 0.36 Ma 发生右旋走滑,并在断层两盘形成垂向差异运动(周勇等,2000),西昆仑普遍发育的一组 $6.69 \sim$ 约 6.8 Ma 拉伸线理也反映了山前断裂右行走滑的挤出作用和变形(丁道桂等,1997)。

4.3 强烈隆升期

对应上新统阿图什组沉积时期,阿图什组沉积物由中—厚层状细砂岩、粉砂岩与粉砂质泥岩、泥岩互层转变为砾岩、细砂岩和粉砂质泥岩不等厚交互沉积,直至上段变为厚层状砾岩和含砾砂岩,砂砾岩含量已经较中新统明显增多。同时,重矿物总含量和种类也较中新统显著增加。钛铁矿、褐铁矿、白铁矿、磁铁矿、锆石、电气石、金红石等稳定矿物含量较中新统有所降低;而石榴子石、绿帘石、重晶石等较稳定和不安定矿物则呈现为随剖面向上含量逐步增加的趋势,尤其是十字石大量出现,平均含量高达 0.60% 。各种矿物颗粒形态多呈现为次棱角状。 $RuZi$ 、 GZi 、 EP 和 GT 指数随剖面向上逐步增大,而 ZTR 指数则逐步降低,并且各项指数本身的变化幅度也逐步减小,反映矿物成熟度降低,物源区逐步靠近沉积区。从 Gzi - $Ruzi$ 数值变化来看,阿图什组沉积时期来自高级变质岩中的石榴子石比例明显较前期增大,反映物源区深层变质岩剥蚀范围较中新世扩大,中酸性岩浆岩分布范围减小。上述特征表明,西昆仑造山带此时强烈隆升,造山带和盆地高差加大,不仅导致深层变质岩抬升,物源区母岩类型发生

变化,而且使得物源区扩大并不断向沉积区靠近,使得母岩能被快速风化和剥蚀,仅经过短距离的搬运就迅速沉积在棋北 3 井区。

前人通过对柯克亚和阿尔塔什剖面岩性组合、沉积相、古流和磁性地层分析,也认为西昆仑山从 4.5 Ma 以来开始快速抬升并遭受剥蚀,山前带沉积环境也从远源冲积平原转变为近源冲积扇—碎屑流相(Zheng et al., 2000; 郑洪波, 2002; 郑洪波等, 2002a, 2002b, 2009),区域古流向由中新世的南东流向北西转变为上新世的南西流向北东(Zheng et al., 2000; 裴军令等, 2008; 黎敦朋, 2008),山前快速堆积过程持续到更新世早期(金小赤等, 2001; Jin et al., 2003)。磷灰石裂变径迹记录主要集中在约 5 ± 0.3 Ma,分布在沿策勒—普鲁(黎敦朋等, 2007a, 2007b; 万景林和王二七, 2002)和公格尔—塔什库干地区(Arnaud et al., 1993; 王军, 1998; Robinson et al., 2004, 2007)以及麻扎达坂花岗岩体上部岩片(黎敦朋, 2008);构造变形分析也表明山前冲断带在上新统阿图什组沉积早期开始形成,并奠定了现今塔里木盆地西南缘的盆地格局(廖林, 2010)。

5 结论

(1)根据棋北 3 井重矿物含量及其组合随剖面向上变化的特征,自下而上可划分为稳定重矿物段、较不稳定重矿物段和不稳定重矿物段,其分别对应了中新统安居安组上部 and 帕卡布拉克组下部、中新统帕卡布拉克组中—上部 and 上新统阿图什组下段。

(2)重矿物源区分析表明,源区变质岩隆升剥蚀的分布范围随着剖面向上不断地增大,而中酸性岩浆岩分布范围在逐步减小;中新统安居安组沉积时期,源区的变质岩和基性岩分布比中酸性岩浆岩要小的多;中新统帕卡布拉克组沉积时期,源区变质岩和中酸性岩浆岩分布范围大小相差不大,但基性岩分布较少;上新统阿图什组下段沉积时期,源区的变质岩分布比中酸性岩浆岩要大的多,基性岩分布较少。

(3)棋北 3 井中新统一上新统沉积物和重矿物组合变化规律反映了西昆仑中新世晚期—上新世早期的构造隆升事件。根据沉积物岩性组合特征和重矿物组合分析及其在地层剖面垂直方向上变化特征,将其划分为相对稳定期(中新统安居安组和帕卡布拉克组下部沉积时期)、阶段隆升期(中新统帕卡布拉克组中—上部沉积时期)和强烈隆升期(上新统

阿图什组沉积时期)3个阶段。

致谢:感谢两位匿名评审人极富建设性的修改意见。本文在研究过程中得到了中石油塔里木油田分公司勘探开发研究院杨海军院长、谢会文副院长、勘探事业部王清华经理、浙江大学肖安成教授和南京大学郑洪波教授的指导和帮助,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 陈国英,戴雪荣,张铭杰. 1995. 兰州“930505”特大尘暴沉积物重矿物研究. *中国沙漠*, 15(4): 374~377.
- 陈杰,尹金辉,曲国胜,等. 2000. 塔里木盆地西缘西域组的底界、时代、成因与变形过程的初步研究. *地震地质*, 22(S): 104~116.
- 陈杰,卢演传,丁国瑜. 2001. 塔里木西缘晚新生代造山过程的记录——磨拉石建造及生长地层和生长不整合. *第四纪研究*, 21(6): 528~539.
- 丁道桂,刘伟新,崔可锐,等. 1997. 塔里木中新世前陆盆地构造分析油气领域. *石油实验地质*, 19(2): 97~107.
- 胡建中,谭应佳,张平,等. 2008. 塔里木盆地西南缘山前带逆冲推覆构造特征. *地质前缘*, 15(2): 222~231.
- 金小赤,王军,陈炳蔚,等. 2001. 新生代西昆仑隆升的地层学和沉积学记录. *地质学报*, 75(4): 459~467.
- 黎敦朋,赵越,胡健民,等. 2007a. 青藏高原西北缘高原面与陡坡地貌形成过程的裂变径迹热年代学约束. *岩石学报*, 23(4): 900~910.
- 黎敦朋,赵越,胡健民,等. 2007b. 西昆仑山奇台达坂花岗岩锆石 TIMS U-Pb 测年及热演化历史分析. *中国地质*, 34(6): 1013~1021.
- 黎敦朋. 2008. 青藏高原西北缘上新世—早更新世构造变形与高原隆升. 中国地质科学院博士学位论文.
- 李双建,石永红,王清晨. 2006. 碎屑重矿物分析对库车坳陷白垩—第三纪物源变化的指示. *沉积学报*, 24(1): 28~35.
- 李喜臣,王永,丁孝忠. 2005. 西昆仑山前晚新生代磨拉石时代及意义. *地质力学学报*, 11(2): 181~186.
- 刘胜,汪新,伍秀芳,等. 2004. 塔西南山前晚新生代构造生长地层与变形时代. *石油学报*, 25(5): 24~28.
- 廖林. 2010. 西昆仑新生代构造事件及其沉积响应. 浙江大学博士学位论文.
- 裴军令,孙知明,李海兵,等. 2008. 青藏高原西北缘晚新生代沉积岩古流向的磁化率各向异性确定及其构造意义. *岩石学报*, 24(7): 1613~1620.
- 宋春晖,孙淑荣,方小敏,等. 2002. 酒西盆地晚新生代沉积物重矿物分析与高原北部隆升. *沉积学报*, 20(4): 552~559.
- 司家亮,李海兵,Barrier L,等. 2007. 青藏高原西北缘晚新生代的隆升特征——来自西昆仑山前盆地的沉积学证据. *地质通报*, 26(10): 1356~1367.
- 万景林,王二七. 2002. 西昆仑北部山前普鲁地区山体抬升的裂变径迹研究. *核技术*, 25(7): 565~567.
- 王军. 1998. 西昆仑卡日巴生岩体和苦子干岩体的隆升——来自磷灰石裂变径迹分析的证据. *地质论评*, 44(4): 435~442.
- 王永,李德贵,肖序常,等. 2006. 西昆仑山前晚新生代构造活动与青藏高原西北缘的隆升. *中国地质*, 33(1): 41~47.
- 伍秀芳,刘胜,汪新,等. 2004. 帕米尔—西昆仑北麓新生代前陆褶皱冲断带构造剖面分析. *地质科学*, 39(2): 260~271.
- 杨晓明,王加佳. 2000. 柯克亚地区第三系微量元素划分对比地层研究. *新疆石油学院学报*, 12(2): 1~7.
- 郑洪波. 2002. 从新疆叶城剖面砂岩和砾岩组分看西昆仑山的剥蚀历史. *地质力学学报*, 8(4): 297~305.
- 郑洪波,Butcher K, Powell C. 2002a. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升——I 地层学与岩石学证据. *沉积学报*, 20(2): 274~281.
- 郑洪波,Butcher K, Powell C. 2002b. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升——II 沉积相与沉积盆地演化. *沉积学报*, 21(1): 46~51.
- 郑洪波,贾军涛,王可. 2009. 塔里木盆地南缘新生代沉积:对青藏高原北缘隆升和塔克拉玛干沙漠演化的指示. *地质前缘*, 16(6): 154~161.
- 周勇,许荣华,陶月华,等. 2000. 喀喇昆仑断裂带磁组构特征及其构造意义. *岩石学报*, 16(1): 134~144.
- Arnaud M O, Brunel M, Cantagrel J M, et al. 1993. High cooling and denudation rates at Kongur Shan, eastern Pamir (Xinjiang, China) revealed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ alkali feldspar thermochronology. *Tectonics*, 12(6): 1335~1346.
- Jin X Ch, Wang J, Chen B W, et al. 2003. Cenozoic depositional sequences in the piedmont of the west Kunlun and their paleogeographic and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 755~765.
- Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. 1998. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet Plateau. *Geophysical Journal International*, 135(1): 1~47.
- Molnar P, Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia; effects of a continental collision. *Science*, 189: 419~426.
- Molnar P, Tapponnier P. 1978. Active tectonics of Tibet. *Journal of Geophysical Research*, 83: 5361~5375.
- Morton A C, Hallsworth C. 1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90(3~4): 241~256.
- Morton A C, Hallsworth C R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124(1~4): 3~29.
- Morton A C, Fanning M, Milner P. 2008. Provenance characteristics of Scandinavian basement terrains: constraints from detrital zircon ages in modern river sediments. *Sedimentary Geology*, 210(1~2): 61~85.
- Morton A C, Hallsworth C, Strogon D, et al. 2009. Evolution of provenance in the NE Atlantic rift: the Early-Middle Jurassic succession in the Heidrun Field, Halten Terrace, offshore Mid-Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 26(7): 1100~1117.
- Robinson A C, Yin A, Manning C E, et al. 2004. Tectonic evolution of the northeastern Pamir: constraints from the northern portion of the Cenozoic Kongur Shan extensional system,

western China. *GSA Bulletin*, 116(7~8): 953~973.

Robinson A C, Manning C E, et al. 2007. Cenozoic evolution of the eastern Pamir: implications for strain-accommodation mechanisms at the western end of the Himalayan-Tibetan orogen. *GSA Bulletin*, 119(7/8): 882~896.

Tapponnier P, Meyer B, Avouac J P, et al. 1990. Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 97(3/4): 382~403.

Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, 294:1671~1677.

Xu Z Q, Jiang M, Yang J S. 1999. Mantle diaper inward intracontinental subduction: a discuss on the mechanism of uplift of the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Society of America, Special Paper*, 328:19~31.

Zheng H B, Powell C M, An Z, et al. , 2000. Pliocene uplift of the northern Tibetan Plateau. *Geology*, 28(8):715~718.

Sedimentary Records of Uplifting in West Kunlun during Late Miocene-Early Pliocene: Evidence from the Heavy Mineral Assemblages of Well Qibei-3 in the Southwestern Tarim

LEI Ganglin¹⁾, LIAO Lin^{2,3)}, SHI Jun¹⁾, DU Zhili¹⁾,
LUO Juncheng¹⁾, CHEN Xiaogan²⁾, CHEN Hanlin²⁾

- 1) *Petroleum Exploration and Development of Tarim Oil Field*, Korla, Xinjiang, 841000;
2) *Department of Earth Sciences, Zhejiang University*, Hangzhou, 310027;
3) *Guangzhou Marine Geological Survey*, Guangzhou, 510760

Abstract

Late Miocene to Early Pliocene is a significant transition period of basin-mountain mechanism on the southwestern margin of Tarim basin, which laid a foundation for the current basin-mountain tectonic pattern. The sediment lithology and heavy mineral assemblages of the Miocene—Pliocene in well Qibei-3 were analyzed in this study to establish variational rules of heavy mineral characteristics in vertical direction of stratigraphic profiles. Based on contents of heavy minerals from well Qibei-3 and features of their assemblages, three mineral sections were identified from bottom to top: stable heavy mineral segment, slightly unstable heavy mineral segment, and unstable heavy mineral segment. Analysis of the source area for heavy minerals shows that the erosion area of metamorphic rock in the source area constantly increases with rising of the profile but the erosion area of intermediate and acid igneous rocks reduces. Combining with sedimentary characteristics of well Qibei-3 , this study established response relationship between tectonic events and sedimentation and classified uplifting activities of the West Kunlun during Late Miocene—Early Pliocene into three stages: the relatively stable stage during deposition of the Anju'an Formation to the lower Pakabulake Formation, the uplifting stage during deposition of the mid-upper Pakabulake Formation, and the strongly uplifting stage during deposition of the Atushi Formation in the Pliocene.

Key words: West Kunlun; the Later Miocene—Early Pliocene; tectonic event; sedimentary records; heavy mineral assemblages