

文章编号: 1000-0550(2014)01-0068-10

库车前陆盆地三叠系—新近系重矿物组合特征 与盆山构造演化关系^①

赵雪松¹ 高志勇^{2,3} 冯佳睿^{2,3} 李小陪¹ 郭美丽¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心 北京 100083;
3. 中国石油勘探开发研究院提高石油采收率国家重点实验室 北京 100083)

摘要 通过分析库车前陆盆地多口钻井中三叠系—新近系重矿物含量、种类组合以及砂岩碎屑组分特征,建立了由重矿物特征组合与砂岩碎屑组分反映沉积物源与构造演化关系的分析方法,显示出重矿物组合特征对构造运动存在明显的响应关系,反映出库车前陆盆地三叠纪—新近纪存在中—晚三叠世、晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世、古近纪和中新世5期明显构造运动。并且通过分析库车前陆盆地古近系库姆格列木群重矿物的颜色、含量以及特征组合与碎屑物的成分认为,库车坳陷北部山前带平面上存在三个主要的物源通道,即吐孜井区北侧、克拉井区北侧和大北井区北侧;西部温宿凸起存在一个物源通道,即却勒井区西侧的温宿凸起斜坡带上。

关键词 库车坳陷 三叠系—新近系 重矿物 沉积物源 盆山演化

第一作者简介 赵雪松 男 1985年出生 硕士研究生 矿物学、岩石学、矿床学 E-mail: zxs_cugb@163.com

通讯作者 高志勇 男 高级工程师 E-mail: gzybox@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

对造山带相邻盆地中沉积记录分析来认识造山带和盆山构造演化已有不少成功的实例^[1,2]。构造活动决定了母岩的类型和盆地的性质,从而影响重矿物的组合及特征。反之,可利用沉积盆地内重矿物所反馈的信息来研究构造演化及盆地与造山带的关系^[3]。即不同时代的地层中重矿物含量与组合不同,反映了物源、沉积环境以及古气候条件的差异,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,进而反映盆山分异活动和盆山构造的演化^[4]。前人对库车坳陷与天山的系的研究已经取得了一些进展,如李忠等^[5,6],李双建等^[7~9]通过对库车前陆盆地克拉苏河、库车河、克孜勒努尔以及阳霞野外露头剖面的砂岩碎屑组分及个别层段重矿物特征分析等研究提出了中—新生代的物源类型及南天山与库车坳陷的盆山耦合关系。然而前人的研究存在两方面的不足:(1)仅局限于野外露头的研究工作,而盆内钻井数据的分析不足甚至是很少涉及;(2)仅局限于砂岩碎屑组分的研究,并仅用了个

别层段内的重矿物资料。因此,笔者充分利用了盆地内钻井岩芯中的重矿物和砂岩碎屑组分等资料,通过对库车地区的14口钻井81件样品的重矿物特征组合、组合类型以及碎屑岩的物质组成特征,详细地对全区内三叠系—新近系的物源分布以及来源进行探讨,进一步揭示库车坳陷沉积体系物源特征及其与天山地区盆山演化关系。

1 区域地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北缘,其北部为天山南坡山麓带,南为秋立塔格山脉,东起库尔勒,西至阿合奇,中部为平坦的拜城坳陷,东西长约410 km,南北长约30~80 km,面积约 1.6×10^4 km²。库车坳陷盆地基底总体呈南高北低,北东东向展布。库车坳陷经历了多期构造运动的影响,但构造主要受燕山期、喜山期两幕构造运动的控制,尤其第三纪喜山末期的这一幕构造运动最强烈,形成了天山山前大型逆冲褶皱系及一系列逆冲断层,构成了库车坳陷现今“四带三凹”的构造格局,即北部单斜带,克拉苏—依奇克里克构造带,秋里塔格构造带、前缘隆起带以及乌什凹陷,拜城凹陷和阳霞凹陷^[10~12](图1)。

^①国家科技重大专项课题“中西部前陆盆地构造地质、储层特征及有利区评价”(编号:2011ZX05003-002)与中国石油股份公司科技项目“中西部前陆盆地沉积储层特征与有利储层地质评价”(编号:2011B-0402)联合资助
收稿日期:2012-09-05; 收修改稿日期:2013-01-14

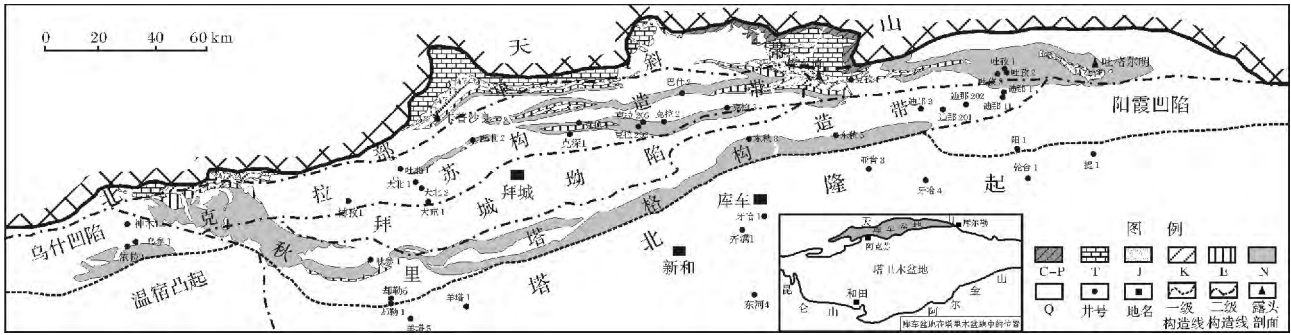


图 1 库车坳陷地质图及井位图(据新疆库车地区 1: 100000 地质图修改)

Fig. 1 The geological map of Kuqa depression and the well site

2 重矿物垂向演化特征

重矿物是指碎屑岩中密度大于 2.86 g/cm^3 的陆源碎屑矿物,分为稳定重矿物和不稳定重矿物两大类。重矿物在岩石中含量较少,但对于母岩的源区和沉积环境具有重要的指向意义。一般在从源区到沉积区的搬运过程中,随着搬运距离的增加,稳定的重矿物的相对含量逐渐增高,不稳定重矿物的相对含量随着搬运距离增加而逐渐降低。ZTR 指数是指稳定重矿物中的锆石、电气石和金红石占透明重矿物的百分含量,指数越小离物源越近,反之离物源越远^[13], ZTR 指数常作为重矿物稳定系数成为衡量重矿物成熟度的指标^[14, 15]。因此,可通过对重矿物含量、ZTR 指数以及重矿物组合的分析来判断物源方向以及物源区位置。

笔者对研究区内的 14 口钻井 81 件样品进行了重矿物类型及相对含量分析,认为库车坳陷三叠系—新近系具有多种重矿物(表 1),主要包括锆石、电气石、金红石、石榴子石、磁铁矿、赤褐铁矿、钛铁矿、白钛矿、重晶石、绿帘石、榍石、硬石膏,此外部分井中还出现刚玉、云母、辉石、磷灰石、锡石、天青石、黄铁矿等。

表 1 库车坳陷碎屑岩中的稳定及不稳定重矿物

Table 1 Stable and unstable heavy mineral in Kuqa depression

稳定重矿物	不稳定重矿物
石榴石、锆石、刚玉、电气石、锡石、金红石、白钛矿、板钛矿、磁铁矿、赤褐铁矿、榍石、十字石、蓝晶石、独居石、磷灰石	重晶石、绿帘石、绿帘石、黝帘石、阳起石、红柱石、矽线石、黄铁矿、透闪石、普通角闪石、透辉石、普通辉石、斜方辉石、橄榄石、黑云母

2.1 东部地区重矿物演化特征

东部地区的主要重矿物有:磁铁矿、赤褐铁矿、钛铁矿、锆石、石榴石、电气石;其次为金红石、榍石、绿帘石、绿帘石、磷灰石、云母、重晶石和黄铁矿等(表 2)。稳定重矿物含量较高,不稳定重矿物含量相对较少。

侏罗系重矿物特征为:稳定重矿物锆石含量 $1.0\% \sim 7.6\%$ (平均 2.8%) ,石榴石含量 $0.4\% \sim 68.9\%$ (平均 23.8%) ,电气石含量 $0.1\% \sim 5.6\%$ (平均 2.5%) ,榍石含量 $0 \sim 8\%$ (平均 1.9%) ,磷灰石含量 $0 \sim 5.6\%$ (平均 2.7%) ,赤褐铁矿含量 $17.5\% \sim 62.9\%$ (平均 29.1%) ,磁铁矿含量 $0.5\% \sim 7.6\%$ (平均 3.6%) 。不稳定重矿物绿帘石含量 $0.2\% \sim 12.5\%$ (平均 4.3%) ,黄铁矿含量 $0 \sim 47.8\%$ (平均 9.6%) 。

白垩系重矿物特征主要以磁铁矿—赤褐铁矿—绿帘石—石榴石—白钛矿为特征组合,不稳定矿物绿帘石含量较高 9.6% 。

古近系—新近系重矿物特征主要以赤褐铁矿—磁铁矿—石榴石—绿帘石—磷灰石—锆石为特征组合,不稳定矿物绿帘石含量高,达到 11.9% 。

2.2 中部地区重矿物演化特征

中部地区的主要重矿物有:磁铁矿、赤褐铁矿、锆石、石榴石、电气石、榍石;其次为金红石、磷灰石、白钛石、绿帘石、重晶石和黄铁矿等(表 3)。稳定重矿物含量高,不稳定矿物含量少。

侏罗系重矿物特征为:稳定重矿物锆石含量 $1.3\% \sim 46.8\%$ (平均 24.9%) ,石榴石含量 $6.6\% \sim 21.6\%$ (平均 14.7%) ,电气石含量 $0.6\% \sim 9.0\%$ (平均 5.4%) ,榍石含量 $0 \sim 11.7\%$ (平均 4.8%) ,磷灰石含量 $0 \sim 4.7\%$ (平均 1.7%) ,赤褐铁矿含量 $29.1\% \sim 84.9\%$ (平均 54.5%) ,磁铁矿含量 $5.3\% \sim 29.1\%$ (平均 17.7%) 。不稳定重矿物绿帘石含量 $0 \sim 1.4\%$ (平均

表2 库车坳陷东部地区重矿物组成及含量

Table 2 Heavy mineral composition and content of the eastern Kuqa depression

系	组	稳定重矿物/wt%							不稳定重矿物/wt%						造运动 期次
		锆石	金红石	石榴石	电气石	赤褐铁矿	磁铁矿	白钛石	楣石	磷灰石	绿泥石	绿帘石	重晶石	云母	
新近系	吉迪克组 N_{1j}	1.4	0.2	14.6	3.4	47.7	23.4	0.0	0.2	1.7	0.4	11.9	0.4	1.1	V
	苏维依组 E_{2-3s}	1.2	0.4	8.8	0.7	48.4	10.5	0.0	0.5	0.2	0.2	0.2	0.9	0.1	
古近系	库姆格列木群 E_{1-2km}	1.0	0.2	3.3	0.9	31.3	62.1	0.0	1.1	0.5	0.2	2.2	0.1	0.2	IV
白垩系	巴什基奇克组 K_{1bs}	2.0	0.2	5.7	1.8	20.0	53.8	3.4	0.9	1.9	9.6	0.3	1.2	0.4	II
	齐古组 J_{3q}	2.2	0.1	68.9	1.4	17.5	6.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.5	0.2	0.0	
侏罗系	恰克马克组 J_{2q}	2.2	2.2	3.3	5.6	24.4	2.2	1.1	0.0	1.1	4.4	0.0	0.0	5.6	
	克孜勒努尔组 J_{2k}	1.0	0.3	33.9	1.7	17.9	1.5	0.0	1.0	5.6	4.0	0.0	0.0	0.2	
	阳霞组 J_{1y}	1.1	0.3	0.4	0.1	62.9	0.5	0.0	8.0	3.4	12.5	1.1	0.4	0.0	
	阿合组 J_{1a}	7.6	0.4	12.4	3.5	22.9	7.6	0.0	0.4	3.4	0.2	6.2	0.0	8.2	

表3 库车坳陷中部地区重矿物组成及含量

Table 3 Heavy mineral composition and content of the middle Kuqa depression

系	组	稳定重矿物/wt%							不稳定重矿物/wt%						造运动 期次
		锆石	金红石	石榴石	电气石	赤褐铁矿	磁铁矿	白钛石	楣石	磷灰石	绿泥石	绿帘石	重晶石	云母	
古近系	苏维依组 E_{2-3s}	0.9	0.0	5.0	1.4	13.2	59.1	18.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.7	0.0	IV
	库姆格列木群 E_{1-2km}	7.3	0.2	7.3	0.7	10.2	69.7	2.5	0.2	0.2	0.2	0.0	1.5	0.0	
	巴什基奇克组 K_{1bs}	4.0	1.1	0.4	0.5	62.9	20.5	0.0	1.6	2.5	0.2	0.3	5.7	0.2	
白垩系	巴西盖组 K_{1b}	2.6	0.2	14.9	3.0	29.6	28.7	0.0	0.0	8.9	0.2	0.2	10.9	0.6	II
	亚格列木组 K_{1y}	2.9	0.4	11.1	1.4	11.7	70.0	0.0	1.9	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	
侏罗系	恰克马克组 J_{2q}	1.3	0.0	6.6	0.6	84.9	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	克孜勒努尔组 J_{2k}	17.9	1.1	21.6	3.8	56.3	10.7	0.0	4.5	4.7	0.4	0.0	0.0	0.0	
	阳霞组 J_{1y}	33.7	1.4	16.9	9.0	47.8	25.8	0.0	2.9	1.1	1.4	2.9	0.0	0.0	
	阿合组 J_{1a}	46.8	0.0	13.7	8.2	29.1	29.1	0.0	11.7	1.0	1.3	6.4	0.5	2.0	

表4 库车坳陷西部地区重矿物组成及含量

Table 4 Heavy mineral composition and content of the western Kuqa depression

系	组	稳定重矿物/wt%							不稳定重矿物/wt%						造运动 期次
		锆石	金红石	石榴石	电气石	赤褐铁矿	磁铁矿	白钛石	楣石	磷灰石	绿泥石	绿帘石	重晶石	云母	
新近系	库车组 N_{2k}	1.0	0.0	4.3	4.3	14.3	5.5	0.2	0.0	0.6	1.4	20.5	0.8	16.4	V
	康村组 N_{1-2k}	0.7	10.7	1.6	0.0	35.6	10.2	1.6	0.0	0.2	1.8	32.0	0.0	4.1	
	吉迪克组 N_{1j}	1.8	0.0	1.1	0.9	32.3	12.8	2.8	0.2	0.0	5.7	23.4	18.6	0.0	
古近系	库姆格列木群 E_{1-2km}	3.6	0.2	8.2	2.1	41.5	37.9	3.2	0.4	0.4	0.2	0.8	0.2	0.2	IV
白垩系	巴什基奇克组 K_{1bs}	0.5	0.0	15.5	0.9	19.4	58.5	2.3	1.4	0.9	0.4	0.2	0.0	0.0	II
	巴西盖组 K_{1b}	4.5	0.3	18.5	12.6	34.3	24.5	0.0	0.7	8.9	1.4	0.7	0.0	2.1	
三叠系	克拉玛依组 T_{2k}	1.6	0.0	12.2	1.0	43.2	8.1	4.7	0.2	0.0	0.0	7.3	3.7	0.2	I
	俄霍布拉克组 T_{1-2e}	2.9	0.0	18.7	1.5	41.0	27.5	3.8	0.2	0.0	0.2	4.0	0.2	0.0	

0.8%) ,黄铁矿含量 0 ~ 7.3% (平均 2.4%) 。

白垩系重矿物特征为: 稳定重矿物锆石含量 2.9% ~ 4.0% (平均 3.1%) ,石榴石含量 0.4% ~ 14.9% (平均 8.8%) ,电气石含量 0.5% ~ 3.0% (平均 1.6%) 楣石含量 0 ~ 1.9% (平均 1.2%) ,磷灰石含量 0 ~ 8.9% (平均 3.8%) ,赤褐铁矿含量 11.7% ~ 62.9% (平均 34.7%) ,磁铁矿含量 20.5% ~ 70.0% (平均 39.7%) 。不稳定重矿物绿泥石含量 0 ~ 0.4% (平均 0.3%) ,重晶石含量 0 ~ 10.9% (平均

5.5%) 。

古近系重矿物特征以磁铁矿—赤褐铁矿—白钛石—石榴石—锆石—电气石—重晶石为特征组合。

2.3 西部地区重矿物演化特征

西部地区的主要重矿物有: 赤褐铁矿、磁铁矿、绿帘石、石榴石、白钛石、电气石; 其次为锆石、磷灰石、楣石、绿泥石、重晶石、云母、硬石膏和黄铁矿等, 部分井段含有刚玉、辉石, 但含量极少(表 4) 。

三叠系重矿物以赤褐铁矿—磁铁矿—石榴石—

绿帘石—白钛石—黄铁矿—锆石为特征组合,稳定重矿物含量较高,不稳定重矿物含量低,但不稳定矿物中的绿帘石含量高,达到7.3%;黄铁矿达到17.2%。

白垩系重矿物以磁铁矿—赤褐铁矿—石榴石—电气石—磷灰石—锆石为特征组合,不稳定矿物主要有绿泥石、绿帘石,含有云母但不普遍。

古近系重矿物以赤褐铁矿—磁铁矿—石榴石—锆石—白钛石—电气石为特征组合,不稳定矿物主要有绿泥石、绿帘石、重晶石和云母,含量较低。

新近系重矿物特征为:稳定重矿物锆石含量0.7%~1.8%(平均1.2%),石榴石含量1.1%~4.3%(平均2.3%),电气石含量0~4.3%(平均1.7%),磷灰石含量0~0.6%(平均0.3%),赤褐铁矿含量14.3%~35.6%(平均27.4%),磁铁矿含量5.5%~12.8%(平均9.5%)。不稳定重矿物绿泥石含量1.4%~5.7%(平均3.0%),绿帘石含量20.5%~32.0%(平均25.3%),重晶石含量0~18.6%(平均6.5%),云母含量0~16.4%(平均6.8%)。

2.4 重矿物演化特征讨论

2.4.1 垂向演化特征

由重矿物特征组合和不稳定重矿物规律性的增减、出现消失等特征反映出,库车前陆盆地三叠系—新近系盆山构造演化包括以下几个阶段:

(1) 早—中三叠世盆地处于沉陷时期,晚三叠世由于印支构造运动的活跃使得部分地区缺失了上三叠统,重矿物特征表现为不稳定矿物绿帘石含量显著增高,组合类型为:赤褐铁矿—磁铁矿—绿帘石—石榴石—白钛矿—锆石。

(2) 早—中侏罗世盆地处于长期准平原化的构造背景,此时还并不存在地理分隔的天山山脉,重矿物特征表现为ZTR指数高,稳定矿物锆石、金红石、电气石含量相对高,重矿物磨圆度加强,组合类型为:赤褐铁矿—磁铁矿—锆石—石榴石—电气石—金红石。

(3) 晚侏罗世—早白垩世天山开始隆升、盆山开始发生较明显的分异,特别是盆地北缘普遍发育侏罗系喀拉扎组和白垩系亚格列木组砾岩,显示出这一时期构造运动较活跃,盆山边界开始向南迁移,南天山成为库车前陆盆地的主要物源供给区,重矿物特征表现为磁铁矿和绿泥石含量的显著增加,组合类型为:磁铁矿—赤褐铁矿—绿泥石—石榴石—白钛矿—锆石。

(4) 白垩纪—古近纪盆山演化不明显,ZTR指数

较低,白垩系重矿物组合类型为:磁铁矿—赤褐铁矿—石榴石—磷灰石—绿泥石—白钛矿,到晚白垩世构造运动再次活跃,致使盆地内不同程度的缺失上白垩统,上白垩统巴什基奇克组砾岩沉积特征也显示了晚白垩世天山地区再次发生了较大规模的隆升和剥蚀作用,而古近纪的沉积特征显示该时期盆山格局基本与白垩纪相近,并未发生较大变化^[4],古近系重矿物组合类型为:磁铁矿—赤褐铁矿—石榴石—绿帘石—锆石—金红石。

(5) 新近纪中新世喜山运动末期以来的强烈挤压构造背景使得天山快速隆升,盆地内堆积了大量不稳定重矿物,重矿物特征表现在不稳定重矿物绿帘石以及云母含量的陡然增加,含量达16%以上,重矿物组合类型为:绿帘石—云母—赤褐铁矿—磁铁矿—石榴石—电气石。显示强烈的剥蚀作用和快速堆积的沉积背景,反映出盆山演化最为强烈,形成了现今的盆山格局。

同时综合分析不同重矿物组合和不稳定重矿物的增加、白垩系与侏罗系之间的角度不整合、部分地区上侏罗统一白垩系砾岩的广泛分布以及上侏罗统的缺失,认为三叠纪—新近纪存在3个构造运动活跃期,即晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世和中新世。构造活跃期次也对应着库车盆地的演化阶段:经历了前陆盆地($T_1 \sim T_2$)、伸展盆地($T_3 \sim J$)、挤压剥蚀阶段($K_1 \sim K_2$)和再生前陆盆地($E \sim Q$)四个演化阶段^[17]。这也与贾承造等(1998)认为“现今库车前陆盆地的复杂面貌是经过多次构造运动而成”基本相符。

2.4.2 平面演化特征

东部地区的ZTR指数在早—中侏罗世时较高(图2),其他时期普遍较低,说明东部地区早—中侏罗世时物源区与沉积区距离较远,重矿物磨圆加强,进一步证明天山地区早—中侏罗世经历了长期的准平原化。稳定矿物锆石、电气石、石榴石的含量在整个中、新生界都有先降低,再升高,再降低的过程;赤褐铁矿和磁铁矿总体含量高,这与天山中—新生代活跃的构造活动有关。磁铁矿和绿泥石在早白垩世期显著增加,说明早白垩世时期燕山中期运动的活跃,天山的快速隆升为盆地内的沉积系统提供了较多的物源碎屑,推测该物源碎屑主要来自天山剥蚀下来的基性岩、超基性侵入岩源区。

中部地区的ZTR指数最高(图3),推测中部地区可能为一主要的沉积中心,特别是在早—中侏罗世

时期;早白垩世—古近纪 ZTR 指数变低,说明该时期物源区与沉积区的距离变小,磨蚀搬运的风化强度变弱,同时也说明天山开始逐渐隆升,为沉积区提供的物源开始快速堆积,不稳定矿物的含量也相对增高。赤褐铁矿在侏罗纪时含量要高于磁铁矿,晚白垩世—古近纪时磁铁矿又高于赤褐铁矿。古近系中白钛石、重晶石的含量明显增高,反映了该期沉积物源的变化,这些重矿物很可能来自南天山逆冲上来的沉积盖层岩系。

西部地区的 ZTR 指数最低(图 4),特别是在中新世阶段,只有 2.3%,说明该期时西部地区物源区与沉积区的距离较近。中三叠统和新近系中的不稳定矿物绿帘石含量显著增高,这可能与构造活跃期相对应^[16],反映天山物源区快速剥蚀隆升和沉积区快速堆积特征,因此不稳定矿物才得以保存。

3 重矿物平面组合特征与物源分析

前文已详细分析了库车前陆盆地中—新生代重矿物垂向演化特征,由于古近系重矿物与砂岩碎屑组分

等资料较为丰富,因此以古近系库姆格列木群为例,探讨库车前陆盆地古近系沉积物源平面分布特征。

3.1 重矿物组成特征

东部吐孜井区和迪那井区的 ZTR 指数都较低,均小于 3%,说明稳定矿物相对较少,不稳定矿物相对较多,反映了物源区距离井区较近。由于吐孜井区稳定重矿物含量以及 ZTR 指数均低于迪那井区,且石榴子石、白钛矿的含量较迪那井区也明显降低,因此推测可能为一个物源供给区,并且迪那井区更靠近沉积中心。

中部地区克拉井区库姆格列木群的稳定重矿物含量较高,一般都大于 92.5%,克拉 205 井达到 98.1%。重矿物仍以磁铁矿—赤褐铁矿—锆石—电气石—石榴子石—榍石—白钛石为组合特征(表 5),锆石为无色,双锥柱状;电气石为褐色,粒状;石榴子石为无色,肉红色,粒状;榍石为无色,浑圆粒状;绿帘石为淡黄绿色,粒状;辉石为淡灰色,柱状;磁铁矿为反射光下黑色,粒状,少见八面体;褐铁矿为反射光下红褐色,土状粒状;白钛石为灰白色,圆形粒状(图 5)。

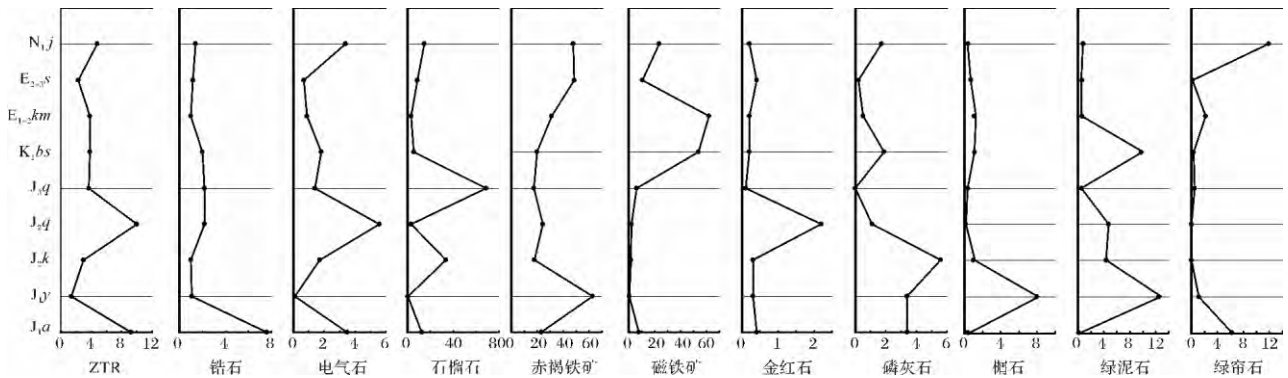


图 2 库车坳陷东部地区重矿物特征

Fig. 2 The character of heavy mineral composition in the eastern Kuqa depression

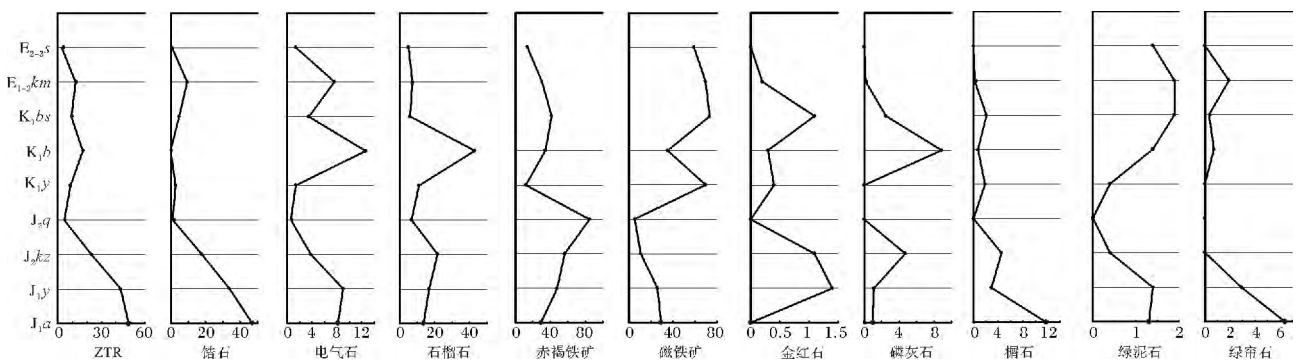


图 3 库车坳陷中部地区重矿物特征

Fig. 3 The character of heavy mineral composition in the middle Kuqa depression

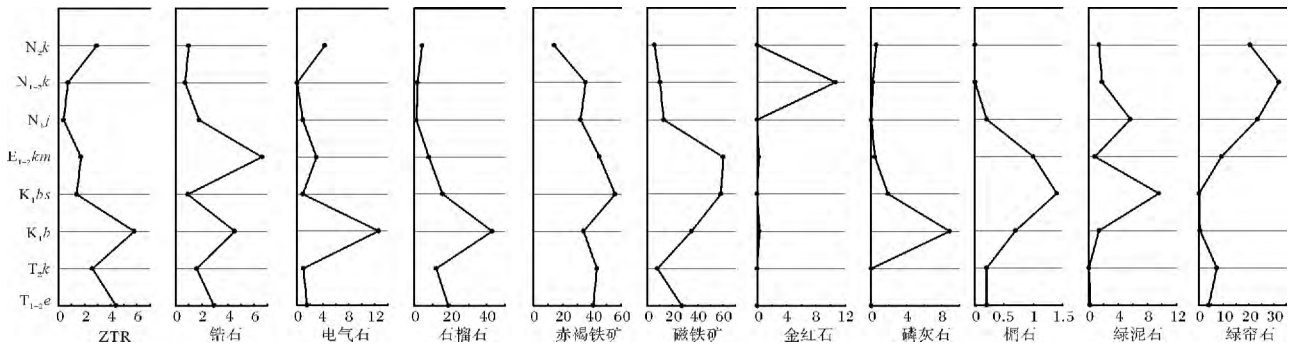


图 4 库车坳陷西部地区重矿物特征

Fig. 4 The character of heavy mineral composition in the western Kuqa depression

但较东部井区, 克拉井区的锆石、电气石含量更高, 且矿物磨圆度相对其他井区也较好, 与此同时克拉井区的 ZTR 指数也较其他井区高, 约为 17%, 反映了克拉井区沉积的碎屑岩是经过长距离的分选、搬运最后沉积于此, 因此推测克拉井区为一主要的稳定沉积区, 物源区也是以其北部的天山为主。

西部大北井区的重矿物组合特征为: 磁铁矿—赤褐铁矿—白钛矿—锆石—电气石(表 5), 其中锆石为无色、淡粉红色, 单锥柱状、粒状; 电气石为褐色, 粒状、柱状; 石榴石为无色, 粒状, 具阶梯状外形; 榍石为棕褐色, 粒状; 磁铁矿在反射光下呈黑色, 次圆粒状、球粒状、不规则粒状; 赤褐铁矿为赤红色、褐色, 粒状; 白钛矿为白色, 粒状; 重晶石为无色, 板粒状(图 5)。大北井区 ZTR 指数相对较低, 普遍小于 5%, 反映大北井区沉积中心距离物源区相对较近。

却勒井区却勒 1 井重矿物种类较多, 稳定重矿物含量为 97.2%, 其中赤褐铁矿、磁铁矿相对含量高, 分别为 41.5%、37.9%, 其次为锆石、石榴石、白钛矿, 含量超过 15%。不稳定重矿物中绿帘石的相对百分含量较高, 为 0.8%, 其它不稳定重矿物含量较少。却勒 1 井的重矿物组合为: 赤褐铁矿—磁铁矿—石榴石—锆石—白钛矿—电气石—绿帘石(表 5), 其中锆石颜色为无色, 有少部分为肉红色半自形, 椭圆状, 少量粒状, 少见双锥柱状; 电气石以褐色为主, 少见蓝色, 粒状、柱状; 绿帘石为黄绿色, 粒状、柱状; 石榴石为无色、粉红色, 粒状, 全消光; 白钛矿为灰白色, 圆形粒状; 磁铁矿为铁黑色, 粒状; 褐铁矿为褐色, 粒状(图 5)。判断母岩类型为偏基性的岩浆岩和变质岩类。

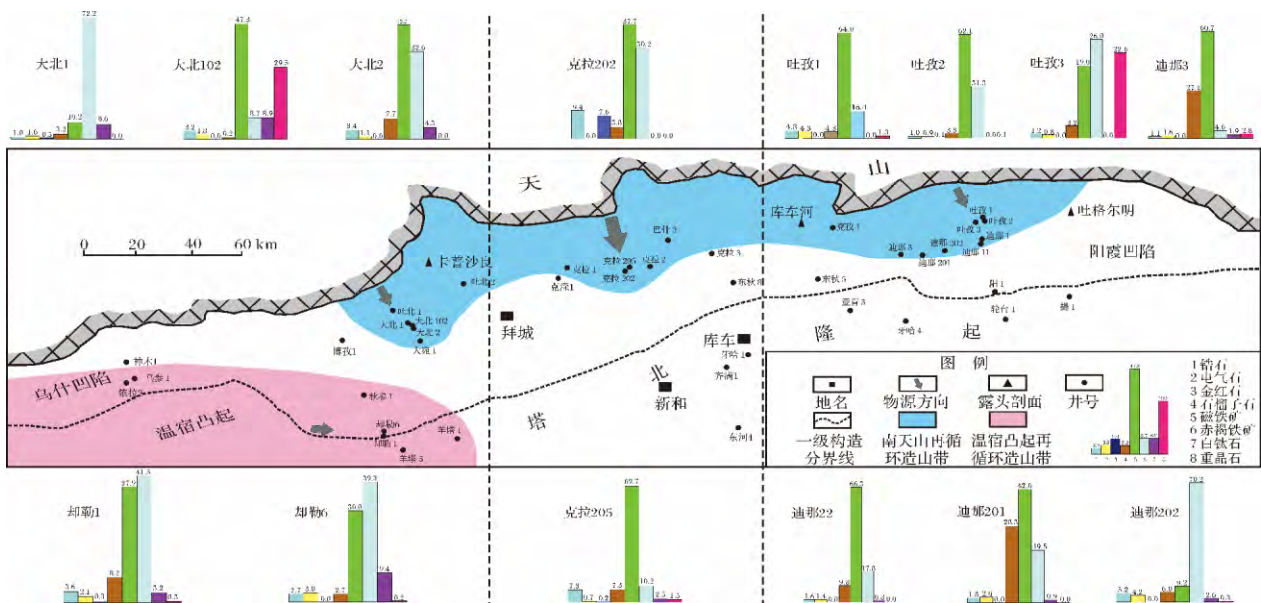


图 5 库车坳陷库姆格列木群东—中—西部部分重矿物分布图

Fig. 5 Map of the heavy mineral of the Kumugeliemu Group in Kuqa depression

表 5 库车坳陷库姆格列木群分区重矿物组合特征及含量统计(%)

Table 5 Statistics of the heavy mineral assemblages and contents of the Kumugeliemu Group in Kuqa depression (%)

地区	东部						
	吐孜 1	吐孜 2	吐孜 3	迪那 3	迪那 22	迪那 201	迪那 202
锆石	4.8	1.0	1.2	1.1	1.6	1.8	5.2
电气石	4.3	0.9	0.8	1.6	1.4	2.0	4.2
石榴石	4.3	3.3	3.2	27.1	9.8	28.3	6.0
磷灰石	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5
磁铁矿	64.0	62.1	19.0	60.7	66.3	42.0	9.2
赤褐铁矿	16.4	31.3	26.0	4.6	17.8	19.5	70.2
云母	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
绿泥石	0.8	0.4	0.3	0.1	1.0	1.8	0.5
绿帘石	0.0	0.2	0.2	0.0	0.4	0.0	0.3
黝帘石	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
榍石	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.8
辉石	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
金红石	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
锡石	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
钛铁矿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0
刚玉	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
板钛矿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
白钛矿	0.0	0.0	0.0	1.9	0.8	0.9	2.6
重晶石	1.3	0.1	22.6	2.8	0.0	0.0	0.3
黄铁矿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
天青石	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
硬石膏	2.4	0.0	26.8	0.0	0.0	0.0	0.3
ZTR	9.1	2.0	2.0	2.7	3.0	3.0	9.4
稳定重矿物	94.9	98.7	50.2	97.0	98.5	95.4	98.2
不稳定重矿物	5.0	1.4	49.9	2.9	1.4	4.6	1.9
重矿物组合	磁铁矿-赤褐铁矿- 锆石-电气石-石榴 石-硬石膏-榍石	磁铁矿-赤褐铁矿- 石榴石-锆石-电气 石-天青石-绿泥石	硬石膏-赤褐铁矿- 重晶石-磁铁矿-石 榴石-锆石-电气石	磁铁矿-石榴石-赤 褐铁矿-重晶石-白 钛矿-电气石-锆石	磁铁矿-赤褐铁矿- 石榴石-锆石-电气 石-绿泥石-白钛矿	磁铁矿-石榴石-赤 褐铁矿-钛铁矿-电 气石-锆石-绿泥石	赤褐铁矿-磁铁矿- 石榴石-锆石-电气 石-白钛矿
地区	中部			西部			
	克拉 202	克拉 205	大北 1	大北 102	大北 2	却勒 1	却勒 6
锆石	9.4	7.3	1.0	3.2	3.4	3.6	2.7
电气石	7.6	0.7	1.6	1.8	1.1	2.1	3.0
石榴石	3.8	7.3	3.2	0.2	7.7	8.2	2.7
磷灰石	1.9	0.2	0.0	0.0	6.3	0.4	0.0
磁铁矿	37.7	69.7	10.2	47.3	42.3	37.9	30.0
赤褐铁矿	30.2	10.2	72.2	8.7	32.6	41.5	39.3
云母	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
绿泥石	1.9	0.2	0.0	0.0	1.7	0.3	0.0
绿帘石	1.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	9.2
黝帘石	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
榍石	3.8	0.2	1.0	0.2	0.3	0.4	0.2
辉石	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
金红石	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
锡石	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
钛铁矿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
刚玉	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
板钛矿	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
白钛矿	0.0	2.5	8.6	8.9	4.3	3.2	9.4
重晶石	0.0	1.5	0.0	29.5	0.0	0.3	0.2
黄铁矿	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
天青石	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
硬石膏	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
ZTR	17.0	8.0	3.1	5.0	4.5	6.0	5.7
稳定重矿物	92.5	98.1	99.9	70.3	91.7	97.2	87.3
不稳定重矿物	7.6	1.9	0.0	29.7	8.3	2.7	12.8
重矿物组合	磁铁矿-赤褐铁矿- 锆石-电气石-石榴 石-榍石	磁铁矿-赤褐铁矿- 石榴石-石榴石-白 钛矿-重晶石-电气 石	赤褐铁矿-磁铁矿- 白钛矿-板钛矿-石 榴石-电气石-锆石	磁铁矿-重晶石-白 钛矿-赤褐铁矿-锆 石-电气石	磁铁矿-赤褐铁矿- 石榴石-磷灰石-白 钛矿-锆石-电气 石	赤褐铁矿-磁铁矿- 石榴石-锆石-白 钛矿-电气石	赤褐铁矿-磁铁矿- 白钛矿-绿帘石-电 气石-锆石-石榴石 -硬石膏

却勒井区与大北井区略有不同,却勒井区还出现了黝帘石、云母、刚玉、硬石膏,而缺少板钛矿和黄铁矿,说明古近纪时西部温宿凸起快速隆升也为却勒井区提供了一部分碎屑物而不同于大北井区重矿物特征,因此却勒 1 井的重矿物特征应属于混合区。

3.2 碎屑岩物质组成特征

盆地内的陆源碎屑物是由物源区母岩提供的,碎屑成分反映了物源、构造运动和气候的变化,物源区母岩的成分对碎屑沉积物的成分具有决定性的影响作用^[18,19]。由于库车坳陷分布范围较小因此不考虑气候对坳陷的影响,进而物源区及构造运动所引起的地壳变形和地形起伏控制着碎屑物形成过程以及影响盆地内的陆源碎屑物的组成^[20]。通过对研究区库姆格列木群的岩心薄片鉴定,将其碎屑组分与周边地区同层位砂岩组分的异同性进行对比,以此作为判别物质来源的依据^[21,22]。

东部地区的吐孜、迪那井区库姆格列木群的岩屑含量平均为 42%~78%,均高于石英、长石含量,说明砂岩组成熟度较低,且主要是由岩浆岩和变质岩岩屑组成,岩浆岩岩屑含量高于变质岩岩屑,吐孜井

区还有较高的沉积岩岩屑,根据砂岩碎屑成分 Qm—F—Lt 三角图的投影点判断是一种再旋回的沉积产物(图 5 f),即来自沉积岩区。

中部地区的克拉井区库姆格列木群多为石英砂岩,石英含量约为 50%~74%,说明大北井区砂岩组成熟度较高,碎屑物是经过长距离的搬运。克拉 202 井和克拉 205 井的砂岩成分主要集中于 Qm—F—Lt 三角图的再造山循环带的石英质区,岩屑成分上主要以变质岩岩屑和岩浆岩岩屑含量近似或以变质岩岩屑为主,因此判断盆内碎屑多来自于南天山的进一步隆升,构造背景属于南天山再循环造山带(图 5 f)。

西部地区的大北井区库姆格列木群也多为石英砂岩,石英含量约为 45%~59%,石英的含量变化由大北 1 井向大北 2 井,却勒 6,却勒 1 井方向逐渐增高,岩屑含量逐渐降低。大北 1 井和大北 2 井的砂岩成分主要集中于 Qm—F—Lt 三角图的再造山循环带的石英质区,而大北 102 井构造背景属于混合区。因此判断大北井区的主要物源区在其北部天山,构造背景亦属于南天山再循环造山带。而却勒井区属于温宿凸起再循环造山带(图 5 f)。

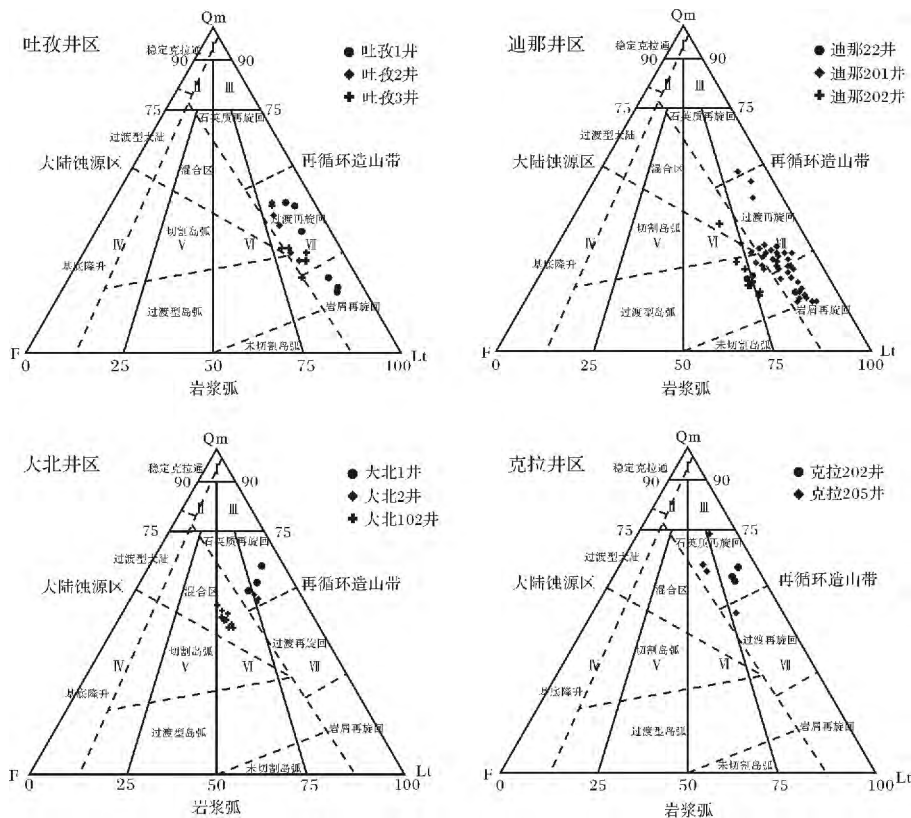


图 6 库车坳陷古近系库姆格列木群物源判别三角图

Fig. 6 Triangular diagrams for the discrimination of the source areas of the Paleogene Kumugeliemu Group in Kuqa depression

4 结论

(1) 库车前陆盆地三叠系—新近系内钻井岩芯的重矿物种类、组合特征对多期构造运动具有明显的响应关系,即①中—晚三叠世(Ⅰ),重矿物特征组合为:赤褐铁矿—磁铁矿—绿帘石—石榴石—白钛矿—锆石;②晚侏罗世—早白垩世(Ⅱ),重矿物特征组合为:磁铁矿—赤褐铁矿—绿泥石—石榴石—白钛矿—锆石;③晚白垩世(Ⅲ),重矿物组合类型为:磁铁矿—赤褐铁矿—石榴石—磷灰石—绿泥石—白钛矿;④古近纪(Ⅳ),重矿物组合为:磁铁矿—赤褐铁矿—石榴石—绿帘石—锆石—金红石;⑤中新世(Ⅴ),重矿物特征组合为:绿帘石—云母—赤褐铁矿—磁铁矿—石榴石—电气石。其中晚侏罗世—早白垩世(Ⅱ)、晚白垩世(Ⅲ)、中新世(Ⅴ)的构造运动相对活跃。

(2) 库车前陆盆地北部山前带存在三个主要的物源通道,即吐孜井区北侧、克拉井区北侧和大北井区北侧;西部存在一个主要的物源通道,即却勒井区西侧的温宿凸起斜坡带上。其中吐孜、迪那井区的物源区主要来自北部南天山带,部分来自井区东部及东南方向。而克拉、大北井区可能接受来自相同母岩类型的北部物源供给。却勒井区还接受来自其西部的温宿凸起的物源供给,因此却勒井区重矿物特征应属于混合区。

参考文献 (References)

- Hendrix M S, Dumitru T A, Graham S A. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tianshan: an early effect of India-Asia collision[J]. *Geology*, 1994, 22: 487-490
- Hendrix M S. Evolution of Mesozoic sandstone compositions, southern Junggar, northern Tarim, and western Turpan basins, Northwest China: A detrital record of the ancestral Tian Shan[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 520-532
- 和钟铨, 刘招君, 张峰. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J]. *地质科技情报*, 2001, 20(4): 29-32 [He Zhonghuan, Liu Zhaojun, Zhang Feng. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(4): 29-32]
- 方世虎, 郭召杰, 贾承造, 等. 准噶尔盆地南缘中—新生界沉积物重矿物分析与盆格局演化[J]. *地质科学*, 2006, 41(4): 648-662 [Fang Shihu, Guo Zhaojie, Jia Chengzao, et al. Meso-Cenozoic heavy minerals' assemblages in the Southern Junggar Basin and its implications for basin-orogen pattern[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(4): 648-662]
- 李忠, 王清晨, 王道轩, 等. 晚新生代天山隆升与库车拗陷构造转换的沉积约束[J]. *沉积学报*, 2003, 21(1): 38-45 [Li Zhong, Wang Qingchen, Wang Daoxuan, et al. Depositional record constraints on Late Cenozoic uplift of Tian Shan and tectonic transformation in Kuqa depression, West China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 38-45]
- 李忠, 王道轩, 林伟, 等. 库车拗陷中—新生界碎屑组分对物源类型及其构造属性的指示[J]. *岩石学报*, 2004, 20(3): 655-666 [Li Zhong, Wang Daoxuan, Lin Wei, et al. Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression, northwest China: Implication for provenance types and tectonic attributes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(3): 655-666]
- 李双建, 王清晨, 李忠. 库车拗陷库车河剖面重矿物分布特征及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(1): 54-61 [Li Shuangjian, Wang Qingchen, Li Zhong. Characteristics of Mesozoic and Cenozoic heavy minerals from Kuche River section in Kuqa depression and their geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(1): 54-61]
- 李双建, 王清晨, 李忠, 等. 砂岩碎屑组份变化对库车拗陷和南天山盆山演化的指示[J]. *地质科学*, 2006, 41(3): 465-478 [Li Shuangjian, Wang Qingchen, Li Zhong, et al. Detrital modes sandstones and their implications for basin-mountain evolution between the Kuqa depression and south Tian Shan Mountains[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(3): 465-478]
- 李双建, 石永红, 王清晨, 等. 白垩纪以来库车拗陷碎屑重矿物组成变化[J]. *地质科学*, 2007, 42(4): 709-721 [Li Shuangjian, Shi Yonghong, Wang Qingchen, et al. Changes of detrital heavy minerals' composition in the Kuqa depression from Cretaceous[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2007, 42(4): 709-721]
- 朱如凯, 郭宏莉, 高志勇, 等. 塔里木盆地北部地区中—新生界层序地层、沉积体系与储层特征[M]. 北京: 地质出版社, 2009 [Zhu Rukai, Guo Hongli, Gao Zhiyong, et al. Sequence Stratigraphy, Sedimentary System and Reservoir Characteristics during Mesozoic and Cenozoic in Northern Tarim Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009]
- 高志勇, 郭宏莉, 安海亭, 等. 库车拗陷东部山前带古近系不同体系域内扇三角洲沉积砂体的对比研究[J]. *地质科学*, 2008, 43(4): 758-776 [Gao Zhiyong, Guo Hongli, An Haiting, et al. Paleogene fan-delta sandbodies of different system tracts in foreland of the eastern Kuqa depression: A comparative study[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(4): 758-776]
- Gao Zhiyong, Guo Hongli, Zhu Rukai, et al. Sedimentary response of different fan types to the Paleogene-Neogene basin transformation in the Kuqa depression Xinjiang province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(2): 411-424
- 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. *沉积学报*, 2003, 21(3): 409-415 [Zhao Hongge, Liu Chiyang. Physical source analysis method and study[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(3): 409-415]
- 沈丽琪. 沉积岩重矿物研究中的几个重要概念及其应用[J]. *中国科学: B辑*, 1985, (1): 70-78 [Shen Liqi. Some important conceptions and their application in the study of heavy minerals of sedimenta-

- ry rocks[J]. *Science in China: Seri. B*, 1985, (1): 70-78]
- 15 邱芳强, 丁勇, 王辉. 库车盆地的沉积物源分析[J]. *新疆地质*, 2000, 18(3): 252-257 [Qiu Fangqiang, Ding Yong, Wang Hui. Provenance analysis of Kuqa depression[J]. *Xinjiang Geology*, 2000, 18(3): 252-257]
- 16 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏, 等. 酒西盆地晚新生代沉积物重矿物分析与高原北部隆升[J]. *沉积学报*, 2002, 20(4): 552-559 [Song Chunhui, Sun Shurong, Fang Xiaomin, et al. Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Jiuxi Basin in the northern margin of Tibetan Plateau since the Late Cenozoic[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 552-559]
- 17 王招明, 钟瑞, 赵培荣, 等. 库车前陆盆地露头区油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 [Wang Zhaoming, Zhong Rui, Zhao Peirong, et al. *Petroleum Geology of Outcrops Areas in Kuche Foreland Basin*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004]
- 18 林畅松, 于炳松, 刘景彦, 等. 叠合盆地层序地层与构造古地理——以塔里木盆地为例[M]. 北京: 科学出版社, 2011 [Lin Changsong, Yu Bingsong, Liu Jingyan, et al. *Superimposed Basin Sequence Stratigraphy and Tectonic Paleogeography: Taking the Tarim Basin as an example*[M]. Beijing: Science Press, 2011]
- 19 林畅松, 刘景彦, 张燕梅, 等. 库车坳陷第三系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应[J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2002, 32(3): 177-183 [Lin Changsong, Liu Jingyan, Zhang Yanmei, et al. Depositional architecture of the Tertiary tectonic sequences and their response to foreland tectonism in the Kuqa depression, the Tarim Basin [J]. *Science China(Seri. D): Earth Sciences*, 2002, 32(3): 177-183]
- 20 刘景彦, 林畅松, 赖兴运, 等. 塔里木盆地库车坳陷古近系库姆格列木群底砂岩段沉积古地理和物源体系[J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27(6): 538-546 [Liu Jingyan, Lin Changsong, Lai Xingyun, et al. Depositional paleogeography and source rock analysis of the lower sandstone part of Eogene Kumugeliemu Group in Kuqa depression [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2008, 27(6): 538-546]
- 21 郑荣才, 王昌勇, 李虹, 等. 鄂尔多斯盆地白豹—华池地区长6油层组物源区分析[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(1): 32-38 [Zheng Rongcai, Wang Changyong, Li Hong, et al. Provenance analysis of Chang 6 oil-bearing formation of Baibao-Huachi region in Ordos Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(1): 32-38]
- 22 赵俊兴, 吕强, 李凤杰, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组长6时期物源状况分析[J]. *沉积学报*, 2008, 26(4): 610-615 [Zhao Junxing, Lü Qiang, Li Fengjie, et al. Sediment provenance analysis of the Chang 6 oil-bearing of Yanchang Formation in the south of Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4): 610-615]

Triassic-Neogene Heavy Minerals' Assemblages Characteristics and Basin-Orogen Tectonic Evolution Relationship in the Kuqa Foreland Basin

ZHAO Xue-song¹ GAO Zhi-yong^{2,3} FENG Jia-rui^{2,3} LI Xiao-pei¹ GUO Mei-li¹

(1. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Petroleum Geology Research and Central Laboratory, Research Institute of Petroleum Exploration and Development of China, Beijing 100083;

3. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

Abstract: It established an analytical method to elucidate the relationship between sediment sources and tectonic evolution by the analyses on heavy minerals type and their assemblages and the characteristics of sandstone detrital component in Kuqa foreland basin, it shows the relationship of response to tectonic movement on the characteristics of heavy mineral assemblage. Meanwhile, it also shows that there are five periods tectogenesis during Triassic-Neogene, that are Middle-Late Triassic, Late Jurassic-Early Cretaceous, Late Cretaceous, Paleogene and Miocene. Different heavy minerals assemblages and increasing of unstable heavy minerals during Late Jurassic-Early Cretaceous, Late Cretaceous and Miocene might indicate tectonic activity during these three periods. By analyzing the color, content and their assemblages characteristics of the heavy mineral and sandstone detrital composition of the Kuqa foreland basin, there mainly existed three provenance channel that is the Tuzi-Dina, Dabei and Kela sediment sources areas in the northern piedmont zone of Kuqa depression and one that is the Quele sediment sources areas in the Wensu uplift. The Triassic-Neogene tectonic activities and evolution of the basin-orogen pattern in the Kuqa basin should be related to the heavy minerals' assemblages characteristics.

Key words: Kuqa depression; Triassic-Neogene; heavy mineral; provenance; basin-orogen evolution