

准噶尔盆地东南缘侏罗系重矿物演化特征及 对博格达山隆升的响应

郑有伟^{1,2,3} 王亚东¹ 郭建明¹ 刘兴旺¹ 赵光亮⁴ 苏龙¹ 郑建京¹

(1.甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000; 2.中国科学院大学 北京 100049;
3.内蒙古科技大学 内蒙古包头 014010; 4.中国石油塔里木油田勘探开发研究院 新疆库尔勒 841000)

摘要 准噶尔盆地是我国大型含油气盆地之一,其南缘发现了一系列油气田,但博格达山前带油气勘探没有取得大的突破,究其原因可能为博格达山体与周缘凹陷的盆山关系认识不够,以及后期演化对成盆成烃的控制与约束作用认识不够深入。沉积盆地中保存的碎屑物质记录了盆地在沉积过程中周缘造山带岩石圈特征和盆地动力学性质,而沉积重矿物由于其自身的稳定性全程参与在这漫长而复杂的地质过程中,所以碎屑重矿物是源区母岩信息的重要载体。根据重矿物碎屑的磨圆情况、含量变化、组合特征以及不同重矿物指数等矿物岩石学特征,研究侏罗纪时期博格达山隆升过程,为博格达山隆升发生在中侏罗世头屯河时期提供有力的佐证。依据重矿物特征将侏罗纪博格达地区构造演化分为两个阶段:早侏罗世—中侏罗晚期,构造相对稳定阶段;中侏罗晚期—晚侏罗世,构造隆升强烈阶段。并结合前人的构造热年代学、U-Pb 年龄、古水流等研究成果,认为在早侏罗世—中侏罗晚期,博格达山地区为汇水沉积区,物源主要来自卡拉美丽山,在中侏罗晚期—晚侏罗世,物源来自于博格达山,认为此时博格达山已经隆升。

关键词 准噶尔盆地 东南缘 侏罗系 重矿物分析 博格达山 隆升

第一作者简介 郑有伟 男 1988 年出生 博士研究生 含油气盆地构造 E-mail: ywzheng1988@163.com

通讯作者 郑建京 男 研究员 E-mail: jjzheng@lzb.ac.cn

中图分类号 P534.52 P597.3 **文献标识码** A

0 引言

博格达山作为北天山东段的分支,现今的区域地质呈现地块与造山带镶嵌、盆地与山脉共存,构成了中亚独具特色的复杂地质结构构造格局,造就了巨大的中亚成矿域,同时孕育着丰富的能源、矿产资源;其中新生代的隆升堪称欧亚大陆新生代地质史上的标志性重大事件^[1-2]。对博格达山的研究不仅是探索大陆岩石圈动力学机制和造山带模型的理想场所,也是检验盆山耦合关系的关键。但是目前对博格达山隆升的研究存在很大的争议,阻碍了山前带油气勘探的突破。沉积盆地中保存着造山带岩石经内外动力地质作用搬运来的碎屑物质,这些沉积碎屑物记录了盆地在沉积过程中周缘造山带岩石圈特征和盆地动力学性质,而沉积重矿物由于其自身的稳定性全程参与在这漫长而复杂的地质过程中,所以碎屑重矿物是源区母岩信息的重要载体。不同时代的沉积地层其重矿物含量、重矿物组合特征都不相同,重矿物组合特

征以及不稳定重矿物规律性的增减和消失等特征均可反映物源、沉积环境、古气候条件差异以及当时的盆山格局与演化等信息^[3-6]。很多学者对博格达山地区开展了古水流、地层学、U-Pb 年代学和构造热年代学研究^[7-15],但对山前带重矿物组合特征研究较少,笔者通过对山前带重矿物重矿物磨圆情况、含量变化、组合特征以及不同重矿物指数等矿物岩石学特征,研究侏罗纪时期博格达山隆升过程,为博格达山隆升发生在中侏罗世头屯河时期提供有力的佐证。

1 区域地质背景

博格达山是一个东西走向,向北凸出的弧形构造带,是准噶尔盆地东部地区的南边界和吐哈盆地的北边界(图 1)。在博格达山出露的地层主要有石炭系,二叠系主要出露在博格达山南北两侧,岩性以基性—酸性火山岩及火山—沉积组合为特征,其中侵入有大量的晚石炭世—二叠世辉绿岩和中酸性岩体。在山体南北两侧还有大量侏罗系砂岩。白垩系零星出露。

收稿日期: 2015-10-12; 收修改稿日期: 2016-04-18

基金项目: 中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB3-12); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(Y404RC1); 甘肃省重点实验室专项(1309RTSA041) [Foundation: Action Plan for the Western Academy of Sciences, No. KZCX2-XB3-12; The Key Project of West Light, No. Y404RC1; Fund of Gansu Provincial Key Laboratory, No. 1309RTSA041]

准噶尔盆地东部地区夹持卡拉美丽山脉与博格达山之间,沉积了厚层的侏罗系。

研究区侏罗系地层总体上南厚北薄,白杨沟剖面侏罗系出露最完整,从下侏罗统到中侏罗统发育以潮湿、温暖气候为特征的含煤系碎屑岩,以河流—沼泽相为主,总体上沉积物粒度由下向上呈现由粗变细的过程。上侏罗统是一套发育在干旱的气候环境下形成的,以紫红色、暗紫红色碎屑岩系,整体呈现出下细上粗的反沉积旋回。白垩系为一套冲积扇、河流相、泛滥平原相、湖相砂泥岩沉积地层,发育在较干旱气候条件下,沉积物粒度呈现由粗变细再变粗的过程。甘河子剖面主要是中下侏罗统(八道湾组、三工河组、西山窑组)地层,其中二叠系与侏罗系西山窑组以角度不整合接触,侏罗系内部以整合或者平行不整

合接触。

2 样品采集与分析处理

沉积岩中分选的重矿物是指比重大于 2.89 g/cm³部分,重矿物部分在沉积岩中所占的比例很小,通常小于1%;其颗粒相对较细,具有化学性质稳定,抗风化能力强等特征。文中的沉积岩样品的采集主要集中在甘河子剖面和白杨沟剖面(图2,3)。重矿物样品的分离和挑选在诚信地质服务有限公司实验室完成,主要操作流程如下:①前处理:将样品破碎30~100目,提取碎屑粒径在0.25~0.63mm之间的样品,经双氧水和稀盐酸处理;②重液粗选分离:选用三溴甲烷重液分离富集,获取比重大于2.89g/cm³的重矿物进行显微镜下鉴定。

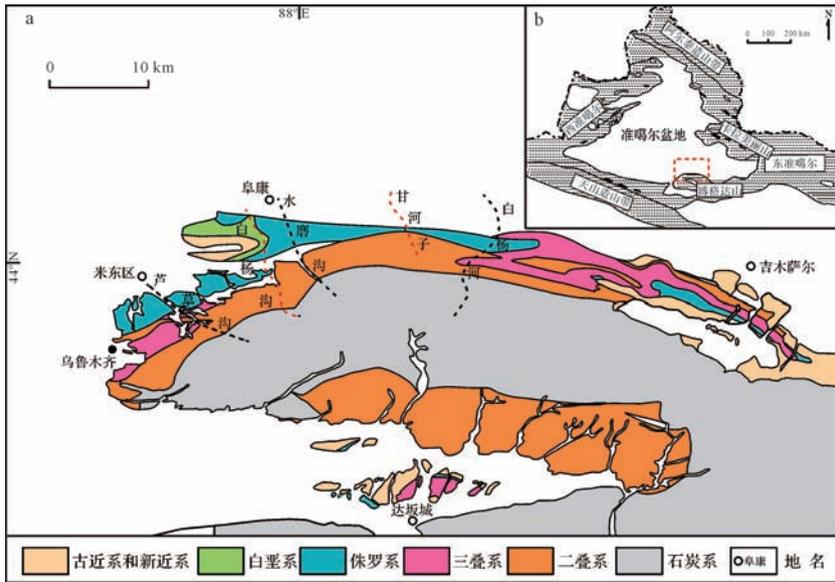


图1 博格达山地质构造简图(据陈科^[16])

Fig.1 The simplified geological map of Bogda mountain (after Chen^[16])

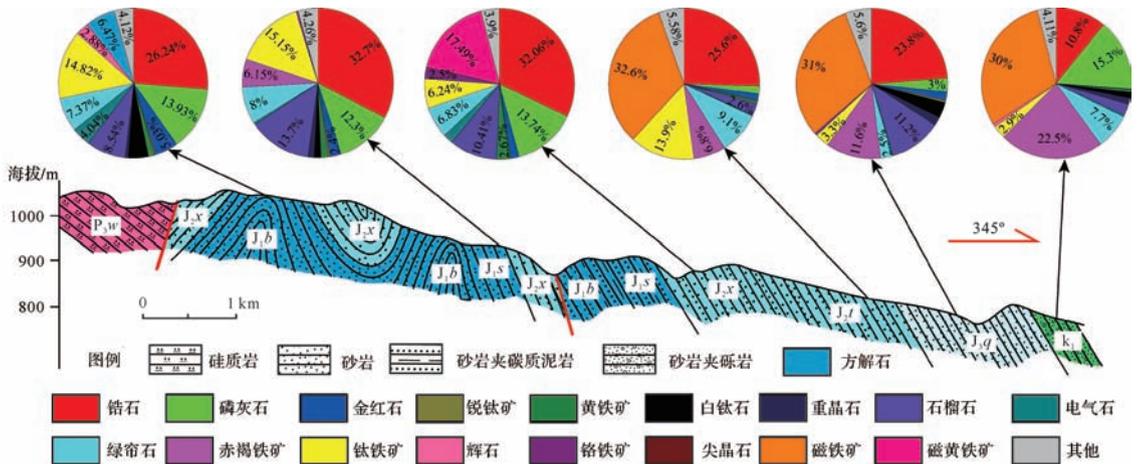


图2 白杨沟地质剖面及主要重矿物含量平均值

Fig.2 The geological section of Baiyanggou and heavy mineral average content

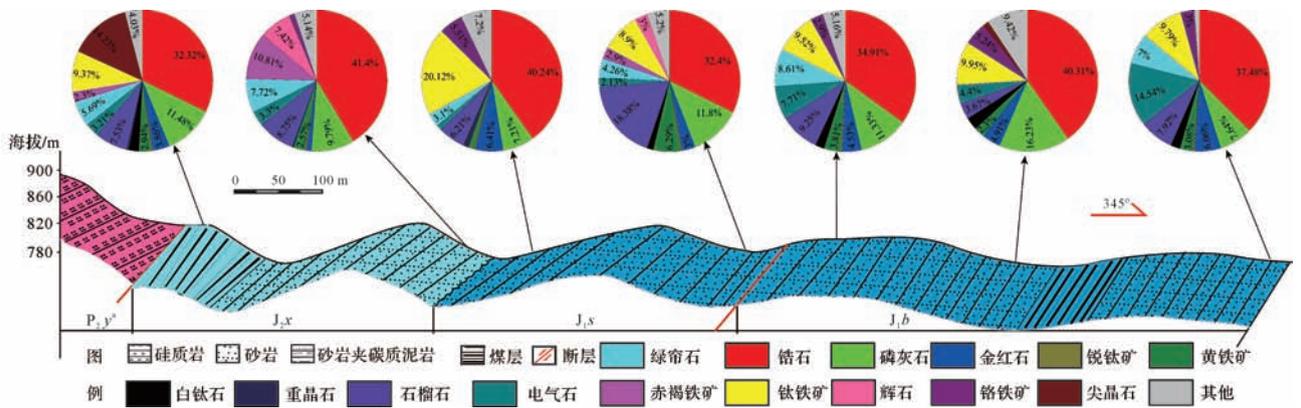


图 3 甘河子地质剖面及主要重矿物含量平均值

Fig.3 The geological section of Ganhezi and heavy mineral average content

本次实验共鉴定出的重矿物根据矿物的电磁性特征分为:无磁性矿物、弱磁性矿物和强磁矿物。其中无磁性矿物主要有:锆石、磷灰石、金红石、锐钛矿、白钛石、黄铁矿、重晶石、榴石等。弱磁性矿物主要由:石榴石、电气石、绿帘石、赤褐铁矿、钛铁矿、铬铁矿等。以及强磁性的代表矿物磁铁矿。

3 重矿物特征

源区物质在一定的地质历史中,经过内外动力地质作用,风化、剥蚀、搬运到沉积盆地,而碎屑重矿物全程参与在这一漫长而复杂的地质过程中,所以碎屑重矿物是源区母岩信息的重要载体。不同时代的沉积岩地层其重矿物含量、重矿物组合特征都不相同;重矿物组合特征以及不稳定重矿物规律性的增减和消失等特征均可反映物源、沉积环境、古气候条件差异以及当时的盆山格局与演化等信息^[3-6]。一般碎屑物质在从物源区到沉积区搬运的过程中,随着搬运距离的增加,稳定重矿物的相对含量会逐渐增加,不稳定重矿物的相对含量逐渐降低。笔者根据重矿物磨圆情况、含量变化、组合特征以及不同重矿物指数等矿物岩石学特征,依次对博格达山北麓的白杨沟剖面 and 甘河子剖面重矿物进行分析讨论。

3.1 重矿物形态特征及组成

本次实验所挑选出的重矿物中,碎屑锆石表现为浅黄到浅玫瑰红色,以次棱角状和次圆状为主。可见四方双锥状,分选磨圆好,透明,玻璃至金刚光泽。磷灰石以白色为主,柱状和粒状,透明,丝绢光泽。金红石以深红色为主,次棱角状、粒状和柱状,金刚光泽,透明至半透明。石榴石以浅红色、橙红色为主,次滚圆状和不规则粒状,透明,玻璃光泽。

重矿物虽非砂岩的主要成分,但是其包含了物源区母岩的重要信息,研究地层中现存的重矿物组合特征,能为研究盆山耦合动力学提供重要的支撑^[17]。在博格达山北麓的准噶尔盆地东部采集的十多个晚中生代样品中,共鉴定出 20 余种重矿物(具体详见表 1),主要有:锆石、磷灰石、金红石、锐钛矿、黄铁矿、白钛石、重晶石、石榴石、电气石、绿帘石、赤褐铁矿、磁铁矿等。实际中,北天山和克拉美丽山,以及博格达山能提供的重矿物远不止这些,其中很多不稳定重矿物在风化、搬运、成岩过程中消失了。所有样品中锆石、磷灰石、金红石、锐钛矿、黄铁矿、白钛石、石榴石、电气石、钛铁矿都有出现,在早侏罗—中侏罗世沉积的样品中,这几种矿物占据所有重矿物部分总量的 85% 以上,其中锆石占绝对优势。晚侏罗世—早白垩世的沉积样品中磁铁矿在重矿物碎屑中占据很大的质量分数。所有沉积样品中重晶石、辉石、榴石、海绿石、方铅矿等总含量普遍小于所有重矿物部分总量的 7%。

3.2 重矿物组合特征

博格达山北麓白杨沟剖面(图 2),早中侏罗世主要以锆石—磷灰石—石榴石—钛铁矿重矿物组合。锆石相对含量在重矿物总含量中所占的百分含量为超过 30,磷灰石为 15 左右,与晚侏罗—早白垩比较以锆石、磷灰石含量急剧增加,钛铁矿大量出现,指示还原环境的黄铁矿出现为特征。该时期盆地整体处于水体相对较深的弱还原环境。

头屯河组重矿物是以磁铁矿—锆石—钛铁矿—绿帘石—赤褐铁矿组合为特征。稳定重矿物锆石在重矿物总含量中所占的百分含量为 25.6,磷灰石占 1.6,赤褐铁矿占 6.8,磁铁矿占 32.6,石榴石占 2.6。不

表1 准噶尔盆地东南缘白杨沟剖面和甘河子剖面主要重矿物组成及相对含量(%)

Table 1 The heavy mineral composition and relative content in the geological section of Baiyang river and Ganhezi in southeastern margin of the Junggar Basin

组	锆石	金红石	石榴石	赤褐铁矿	钛铁矿	磁铁矿	白钛石	铬铁矿	锐钛矿	磷灰石	黄铁矿	绿帘石	辉石	重晶石	电气石	
白杨沟剖面	K ₁₋₂	10.8	0.12	2.6	22.5	2.9	30	1.3	0	0.12	15.3	0.48	7.7	0.6	1.3	0.17
	J _{3q}	23.8	1.9	11.2	11.6	3.3	31	3.3	0.3	0.3	3	0.12	2.5	0	1.9	0.18
	J _{3t}	25.6	1.4	2.6	6.8	13.9	32.6	0	0	0.19	1.6	0.5	9.1	0	0	0.13
	J _{2x}	32.06	1.83	10.41	0	6.24	0	0	2.5	0.25	13.74	2.67	6.83	0	0	2.08
	J _{1s}	32.7	2.4	13.7	6.15	15.15	0	1.5	0.19	0.38	12.3	1.5	8	0.19	1.3	0.28
	J _{1b}	26.24	5.03	8.54	0	14.82	0	4.4	0	0.27	13.93	1.26	7.37	2.88	0.63	4.04
甘河子剖面	J _{2s} 顶	32.32	3.86	7.53	2.3	9.37	0	2.3	0	0.28	11.48	2.94	5.69	0	0.46	3.21
	J _{2s} 底	41.4	1.24	8.75	10.81	0	0	1.24	0.31	9.79	2.57	7.72	7.42	0.31	3.3	
	J _{1s} 顶	40.24	6.41	6.21	0	20.12	0	0	5.51	0.4	7.21	1.2	3.1	0	1.2	1.2
	J _{1s} 底	32.4	3	18.38	2.9	8.9	0	1.35	0	0.39	11.8	6.29	4.26	3	0	2.13
	J _{1b} 顶	34.91	4.53	9.25	0	9.52	0	2	2.9	0.27	11.33	3.81	8.61	0	0	7.71
	J _{1b} 中	40.31	4.19	3.67	0	9.95	0	2.93	5.24	0	16.23	2.3	0	0	0	4.4
	J _{1b} 底	37.48	6.06	7.92	0	9.79	0	2.14	3	0.19	7.64	3.08	7	0	0	14.45

注:本次实验结果由河北省廊坊市诚信地质服务有限公司提供重矿物分离与鉴定。

稳定重矿物绿帘石含量为9.1。齐古组重矿物以磁铁矿—赤褐铁矿—石榴石—锆石为特征组合。稳定重矿物锆石在重矿物总含量中所占的百分含量为23.8,磷灰石为3,赤褐铁矿为11.6,磁铁矿为31,石榴石占11.2。不稳定重矿物绿帘石在重矿物总含量中所占的百分含量为2.5,重晶石占1.9。下白垩统地层重矿物主要以磁铁矿—赤褐铁矿—磷灰石—锆石为特征组合。碎屑重矿物分别在重矿物总含量中所占的百分含量为:稳定重矿物锆石占10.8,磷灰石为15.3,赤褐铁矿为22.5,磁铁矿为30,石榴石为2.6。不稳定重矿物绿帘石占7.7,重晶石占1.3。总体表现为稳定重矿物含量相对较高,不稳定重矿物含量相对较少,与下覆齐古组地层有相似的重矿物组合特征。以上三组地层都是以磁铁矿大量出现,以绿帘石等为代表的稳定矿物出现和增加为特征,赤褐铁矿增加显示晚侏罗世—早白垩早期盆地整体处于水体较浅而富氧的强氧化环境,以曲流辫状河和滨浅湖沉积为主。赤褐铁矿的这种变化特征与野外剖面中上侏罗统红色沉积明显增加有着很好的对应关系,同时显示了该时期构造活动较为活跃。

甘河子剖面主要采集的早中侏罗世样品(图3),以锆石—磷灰石—石榴石—钛铁矿重矿物组合为特征,稳定重矿物锆石在重矿物总含量中占绝对优势,所占比例在32%~42%之间;磷灰石含量在7%~17%之间,石榴石含量在7%~18%之间。

3.3 重矿物指数特征

Morton *et al.*^[18]认为影响物源的因素有很多,其

中水动力条件就是其中之一,但在相似水动力条件下,稳定重矿物比值能够更好地反映物源区特征,利用一种重矿物与另一种重矿物或者多种重矿物比值来作为反映源区特征的一个指标,这些特征指数包括ATI指数、Gzi指数和ZTR指数等。ATI指数用于判断物源为火山岩的样品数量和风化程度,以及当时的沉积环境,ATI值越高,反映沉积碎屑中火山岩成分越高,同时也指示处于高位体系域或者水进体系域,反之处于低水位体系域。Gzi指数用来分析是否存在角闪岩或麻粒岩物源,ZTR指数是指由稳定矿物锆石、电气石和金红石在透明矿物中所占的比例,反映物源搬运距离和重矿物的成熟度,ZTR指数越大,代表重矿物成熟度越高。

研究区重矿物ATI指数都比较高(如图4),平均高达80.3%,其中白杨沟剖面ATI指数平均值为91.3%,除八道湾组样品外,其余样品均超过86.9%;甘河子剖面ATI指数平均值为70.9%,除八道湾组顶部和底部两个样品之外,其余样品ATI指数值均在80%左右,和白杨沟剖面中同时期样品值相当。白杨沟剖面的样品中ZTR指数在八道湾组、三工河组和西山窑组表现出很强的稳定性,其值均在35左右,头屯河组和齐古组其ZTR值逐渐下降,在早白垩时期表现出很强的而不稳定性,ZTR值为最低的11.1,甘河子剖面ZTR指数值在40~58之间,随地层由老到新逐渐减低的趋势,成熟度相对较高。Gzi指数与ATI指数和ZTR指数相比要小的多,平均不到20%,代表以角闪岩和麻粒岩为物源的岩石较少。

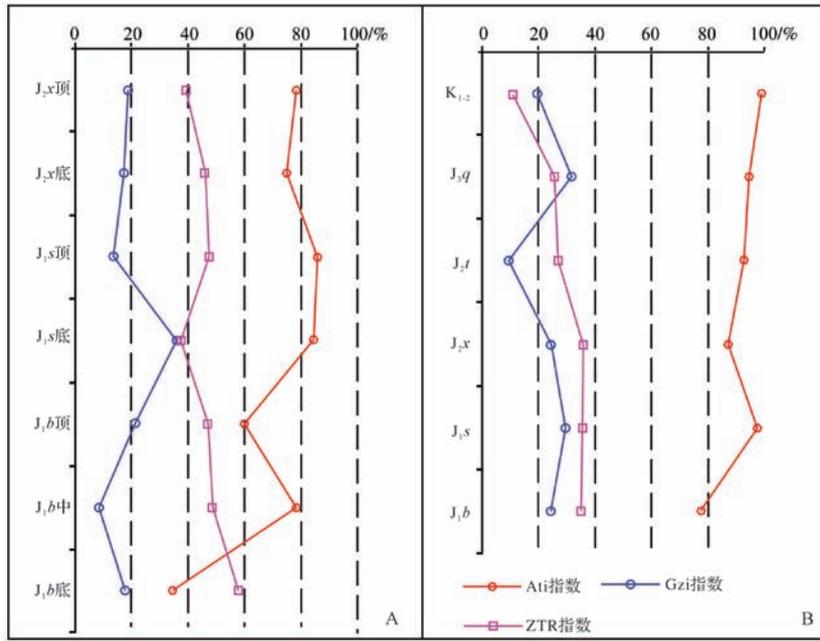


图4 主要重矿物指数变化曲线

A.甘河子剖面;B.白杨沟剖面

Fig.4 Main heavy minerals index curve

A. the section of Ganhezi; B. the section of Baiyang river

4 重矿物的地质意义

4.1 指示沉积环境

通常,重矿物组合可以作为物源区母岩的指示剂,如:晶型完好的锆石、磷灰石和电气石并伴有少量黑云母的矿物组合指示母岩为花岗岩;有磁铁矿、钛铁矿、锐钛矿、辉石和角闪石的矿物组合通常被认为是基性火山岩存在的标志;大量没有韵律环带的锆石、石榴石、绿帘石、绿泥石矿物组合为特征的岩石,代表变质岩。重矿物特征不仅能够反映母岩组成,而且反映沉积物离物源区的距离,如抗风化能力较弱的辉石和角闪石能够大量保存下来,说明沉积物离物源区距离很近,搬运距离较短;以及在搬运、沉积过程中的物理分选、机械破碎、化学溶蚀作用和当时的沉积环境等,比如,一定数量的赤铁矿和褐铁矿出现,表明当时气候干旱,水体较浅的氧化环境;还有一些特定的矿物出现,就基本确定的当时的沉积环境,如海绿石、鲕绿泥石是海相浅海沉积的标型矿物。

研究区几乎所有的样品中都含有赤褐铁矿和黄铁矿,早中侏罗统八道湾组至中侏罗统西山窑组地层中黄铁矿的含量是头屯河组至晚侏罗统样品的3~50倍,在早白垩统地层中赤褐铁矿含量最高,晚侏罗统含量次之,早中侏罗统含量最低,或者不含赤褐铁矿。

这些现象说明在八道湾至西山窑时期,博格达构造区已经处于水体较浅的氧化环境,中上侏罗统赤褐铁矿含量有明显增加的趋势,它们是由黄铁矿、磁铁矿氧化而成,其富集表示一种极端氧化的环境,反映了中上侏罗统的沉积环境发生明显的变化,它有早中侏罗世的潮湿型变成中晚侏罗世的干旱—半干旱型气候环境,形成了一套以紫红色、棕红色为主体的杂色碎屑岩沉积组合。

4.2 物源区母岩类型

由重矿物组合及各种组合指数的构成特征来看,博格达地区侏罗系地层物源存在多种成因的岩石类型,但含量有差别,以基性火山岩居多,中酸性侵入岩次之,变质岩组分较少。Ati指数在所有实验样品中很高,反映了其物源区火山岩物质较为丰富,Gzi指数虽然不是很高,但是在各个样品中或多或少地出现,这表明在物源区存在富含角闪岩类和麻粒岩类的变质岩。

此外,在中侏罗统头屯河组开始大量出现磁铁矿,反映了存在基性火山岩和高温热液的源区,研究认为这与博格达山在此时隆升有关,该时期博格达山已经能够提供大量物源。这一结论与前人研究成果相吻合(关宝文,2015^[19]),说明在中侏罗世晚期博格达山已经开始隆升,之后持续为准噶尔盆地东部地区

提供物源。

4.3 物源分析

重矿物作为连接沉积盆地与造山带的纽带,其物源分析已成为研究盆山耦合关系的有效手段。碎屑组分和结构特征反映着物源的大致方向,在搬运的过程中随着搬运距离的增加,碎屑组分中的稳定矿物逐渐增加,不稳定的矿物逐渐减少,岩石的成分成熟度和结构成熟度逐渐增加,这是分析物源区所用的理论基础^[20-22]。通过实验结果分析并结合生产单位钻井资料的重矿物分析,认为准东地区侏罗系地层主要重矿物类型相对含量存在两个明显的主要类型区间。侏罗纪时期准东地区在东北方向,重矿物除锆石、磷灰石、石榴石之外含有较多的绿帘石,重矿物成分基本一致,指示了东北方向的克拉美丽山在侏罗系持续为准东地区提供物源。而在南西方向,从头屯河时期开始,重矿物类型较多,含量不均,磁铁矿、赤褐铁矿、钛铁矿占据很高的比重,研究认为从头屯河时期开始,准东地区有南西方向的物源流入。该分析结果与聚类分析结果相一致(图5),也表明准东地区可能有北东向个南西向两个不同的物质来源方向。

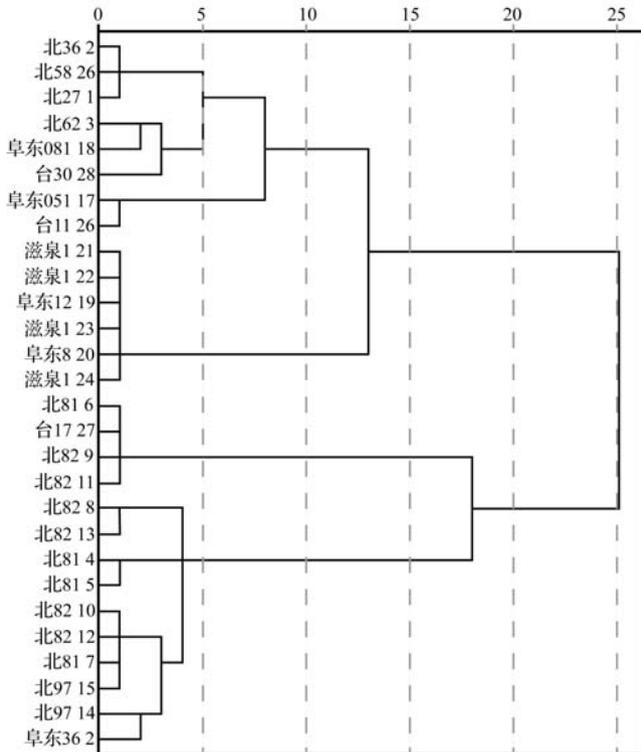


图5 准东地区头屯河组重矿物聚类分析

(据新疆油田研究院)

Fig.5 Toutunhe heavy minerals cluster analysis in the eastern Junggar Basin

5 对博格达山隆升的响应

在详细对比分析研究区关于博格达山隆升资料的基础上,结合前人获得的构造热年代学资料和古水流研究^[11-12,23],本文进一步探讨准噶尔盆地东南缘中生代盆地演化与构造隆升时间之间的耦合关系。

关宝文^[19]报道了在博格达山北缘采集的样品的U-Pb年代学数据,其中,下侏罗统八道湾组样品U-Pb年龄主要集中在250~270 Ma、280~350 Ma、360~440 Ma之间,中上侏罗统头屯河组和齐古组以及白垩纪样品U-Pb年龄都集中在160~180 Ma、280~350 Ma之间,汪新伟^[11]通过在博格达山西段不同部位所做的磷灰石裂变径迹研究发现,在博格达山西段北缘一带的数据以155~135 Ma最为集中。此外结合前人关于古水流的研究成果,博格达山北缘在西山窑时期之后古水流方向由南南西转为北北西。上述事实充分说明在西山窑时期之后,博格达地区发生了一次强烈的构造隆升。

在早侏罗世到中侏罗世晚期,博格达地区主要物源来自于克拉美丽山,成分以凝灰岩、凝灰质角砾岩为主,表现出矿物成熟度较高,搬运距离较远等特征。在中侏罗世晚期之后,不稳定矿物少量出现,以160~180 Ma年龄为代表的碎屑物质出现,结合前人在博格达地区达到年代学和古水流研究,显示了以博格达山为物源的特征,成分以中基性岩、闪长岩为主,矿物成熟度相对早侏罗世时期低,搬运距离近等特征。证明此时博格达山已经隆升。早白垩时期,重矿物稳定指数急剧下降,重矿物碎屑成分与晚侏罗时期相似,显示了该时期博格达山存在一次快速隆升剥蚀。

6 结论

(1) 重矿物指数中ATi指数较高,反映了物源区以火山岩物质为主,早中侏罗世ZTR指数较为稳定,指示该阶段物源区稳定,没有发生大的构造事件,从中侏罗晚期到白垩纪时期,ZTR指数依次减低,不稳定成分相对增加,重矿物ZTR指数随着地层由老到新逐渐减小。

(2) 早中侏罗世,博格达构造区北缘以稳定重矿物组合为主,ZTR指数相对稳定,不同层段重矿物组分差异较小,表明早中侏罗世源区相对稳定,沉积物经历了较长距离的搬运,母岩类型以火山岩为主,变质岩含量相对很低。中晚侏罗世—白垩纪时期,不稳定成分逐渐增加,母岩以基性侵入岩为主。

(3) 中侏罗世, 博格达山褶皱带逐渐形成, 在中侏罗晚期博格达山已经出露水面之上遭受剥蚀, 沉积区砂岩样品重矿物中以磁铁矿大量出现为特征, 表明有新的物源区出现, 笔者认为这与博格达山在此时隆升有关, 博格达山在西山窑晚期隆升, 在头屯河时期作为盆地新的物源区。

致谢 非常感谢两位评审专家, 你们提出的宝贵意见和建议显著提高了论文的质量, 另外非常感谢兰州油气中心的陶辉飞副研究员和吉鸿杰博士给予的帮助。

参考文献 (References)

- Shu Liangshu, Wang Bo, Yang Fan, et al. Polyphase tectonic events and Cenozoic basin-range coupling in the Tianshan belt, northwestern China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2003, 77(4): 457-467.
- Charvet J, Shu Liangshu, Laurent-Charvet S, et al. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(2): 166-184.
- 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.
- 宋春辉, 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 in Jiuxi Basin in the northern margin of Tibetan Plateau since the Late Cenozoic[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 552-559.]
- 李忠, 王道轩, 林伟, 等. 库车坳陷中—新生界碎屑组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.]
- Li Zhong, Peng Shoutao. Detrital zircon geochronology and its provenance implications: responses to Jurassic through Neogene basin-range interactions along northern margin of the Tarim Basin, Northwest China[J]. *Basin Research*, 2010, 22(1): 126-138.
- 张传恒, 刘典波, 张传林, 等. 新疆博格达山初始隆升时间的地层学标定[J]. *地学前缘*, 2005, 12(1): 294-302. [Zhang Chuanheng, Liu Dianbo, Zhang Chuanlin, et al. Stratigraphic constraints on the initial uplift age of Bogda Shan, Xinjiang, north-west China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(1): 294-302.]
- 柳永清, 王宗秀, 金小赤, 等. 天山东段晚中生代—新生代隆升沉积响应、年代学与演化研究[J]. *地质学报*, 2004, 78(3): 319-331. [Liu Yongqing, Wang Zongxiu, Jin Xiaochi, et al. Evolution, chronology and depositional effect of uplifting in the eastern sector of the Tianshan mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(3): 319-331.]
- 沈传波, 梅廉夫, 刘麟, 等. 新疆博格达山裂变径迹年龄特征及其构造意义[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2005, 27(2): 273-277. [Shen Chuanbo, Mei Lianfu, Liu Lin, et al. Characteristics of fission track age of Bogedashan in Xinjiang and its structural significance[J]. *Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI)*, 2005, 27(2): 273-277.]
- 朱文斌, 舒良树, 万景林, 等. 新疆博格达—哈尔里克山白垩纪以来剥露历史的裂变径迹证据[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 16-22. [Zhu Wenbin, Shu Liangshu, Wan Jinglin, et al. Fission-track evidence for the exhumation history of Bogda-Harlik Mountains, Xinjiang since the Cretaceous[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 16-22.]
- 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[J]. *地质学报*, 2007, 81(11): 1507-1517. [Wang Xinwei, Wang Xinwen, Ma Yongsheng. Differential exhumation history of Bogda Mountain, Xinjiang, northwestern China since the Late Mesozoic[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(11): 1507-1517.]
- 李玮, 胡健民, 黎敦朋, 等. 新疆博格达山北缘晚古生代—中生代古水流样式转折及其构造意义[J]. *沉积学报*, 2007, 25(2): 283-292. [Li Wei, Hu Jianmin, Li Dudpeng, et al. Analysis of the Late Paleozoic and Mesozoic Paleocurrents and its constructional significance of the northern Bogdashan, Xinjiang[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(2): 283-292.]
- 孙国智, 柳益群. 新疆博格达山隆升时间初步分析[J]. *沉积学报*, 2009, 27(3): 487-493. [Sun Guozhi, Liu Yiqun. The preliminary analysis of the uplift time of Bogda Mountain, Xinjiang, Northwest China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(3): 487-493.]
- 章惠, 旷红伟, 柳永清, 等. 北疆东部三塘湖与吐哈地区中侏罗统西山窑组沉积差异性对博格达山隆升时间的约束[J]. *地质通报*, 2013, 32(2/3): 443-455. [Zhang Hui, Kuang Hongwei, Liu Yongqing, et al. The sedimentary differences of the Middle Jurassic Xishanyao Formation between Santanghu area and Turpan-Hami area and their constraint on the uplifting of the Bogda Mountain[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(2/3): 443-455.]
- 张妍, 李振生, 聂峰, 等. 新疆博格达山晚古生代地层的形成时代、物源及其演化: 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. *地质科学*, 2015, 50(1): 155-181. [Zhang Yan, Li Zhensheng, Nie Feng, et al. Age, provenance and tectonic evolution of Late Paleozoic strata in Bogda Mountain, Xinjiang: evidence from detrital zircon U-Pb geochronology[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2015, 50(1): 155-181.]
- 陈科, 王镇远, 刘飞, 等. 博格达山北缘前陆褶皱冲断带构造特征及其动力学意义[J]. *地质科学*, 2012, 47(4): 1041-1051. [Chen Ke, Wang Zhenyuan, Liu Fei, et al. The structural characteristics along the northern piedmont of Bogedashan and its dynamic significances[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2012, 47(4): 1041-1051.]
- 李双建, 石永红, 王清晨, 等. 白垩纪以来库车坳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.]
- Morton A C, Hallsworth C R. Processes controlling the composition of

- heavy mineral assemblages in sandstones [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 124(1/2/3/4): 3-29.
- 19 关宝文. 阜康凹陷东斜坡及北三台地区构造演化研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015: 43-65. [Guan Baowen. Research of structural evolution of the eastern slope of Fukang Sag and Beisantai region [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015: 43-65.]
- 20 吴世敏, 陈汉宗. 沉积物物源分析的现状[J]. 海洋科学, 1999 (2): 35-37. [Wu Shimin, Chen Hanzong. The status and developments in sedimentary provenance analysis[J]. *Marine Sciences*, 1999 (2): 35-37.]
- 21 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. Approaches and prospects of provenance analysis[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(3): 409-415.]
- 22 姜在兴. 沉积体系及层序地层学研究现状及发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 535-541. [Jiang Zaixing. Studies of depositional systems and sequence stratigraphy: the present and the future[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(5): 535-541.]
- 23 党胜国. 准噶尔盆地南缘山前带构造—沉积演化与油气聚集关系[D]. 西安: 西北大学, 2007. [Dang Shengguo. The relationship between evolution of tectonic-sedimentation and hydrocarbon accumulation in southern Junggar foreland thrust belt [D]. Xi'an: Northwest University, 2007.]

Heavy Mineral Evolution Characteristics of Jurassic Deposits in the Southeastern Margin of the Junggar Basin and its Response to Bogda Mountains Uplift

ZHENG YouWei^{1,2,3} WANG YaDong¹ GUO JianMing¹ LIU XingWang¹
ZHAO GuangLiang⁴ SU Long¹ ZHENG JianJing¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province/ Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010, China;

4. Research Institution of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oilfield, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Junggar basin is one of the largest petroliferous basins in China, although a series of oil and gas fields had been found in the south of the basin, the oil-gas exploration in the fore mountain belt of Bogda Mountain did not make great breakthroughs. The reason may be associated with the few awareness of the evolution of the Bogda Mountain to control, restrain the evolution of the late peripheral sags and the hydrocarbon generation and the basin formation. The conservative fragmentary materials in sedimentary basins had recorded the lithosphere features of the orogenic belts at the margin of the South China block and kinetics characterization of basins during the sedimentary evolution. At the same time, as sedimentary heavy minerals were very stable and they had been participating in this long and complicated geological processes, which could provide the important information to the source rocks. Thus, in this text, based on the mineral petrology characteristics of heavy minerals, such as roundings, content changes, combination features and the different heavy mineral indexes, to study the uplift processes of Bogda Mountain in the period of Jurassic, which could provide strong evidence that Bogda Mountain uplifted in Toutunhe Formation of Middle Jurassic. Moreover, according to the features of heavy minerals, the tectonic evolution stages of Bogda Mountain during Jurassic period were divided into two parts: 1) from early Jurassic to the late period of middle Jurassic, the tectonic evolution was relatively stable, and 2) from the late period of middle Jurassic to late Jurassic, tectonic uplifting was strong. In addition, combined with the previous research results such as tectono-thermochronology, U-Pb age and paleocurrent, we considered that the provenances of Bogda area were from Kalameili Mountain during early Jurassic to the late period of middle Jurassic and Bogda Mountain during the late period of middle Jurassic to late Jurassic. And that, in the later period, the Bogda Mountain had been uplifted.

Key words: Junggar Basin; southeastern margin; Jurassic; heavy minerals analysis; Bogda Mountains; uplift