

文章编号: 1000-0550(2013)01-0139-10

西宁和贵德盆地新生代沉积物重矿物变化 对构造活动的响应^①

孟庆泉 吴小斌 刘善品 闫宝华 吴松 张洒 宋春晖

(兰州大学地质科学与矿产资源学院 & 甘肃省西部矿产资源重点实验室 兰州 730000)

摘要 位于青藏高原东北缘的西宁、贵德盆地的新生代沉积序列较完整的记录了盆地周围物源区构造变形过程。重矿物是碎屑物质的重要组成部分,是最直观、有效揭示源区母岩、构造—沉积过程的重要手段。通过重矿物的系统分析,结合沉积—构造变形,揭示出始新世—上新世末西宁—贵德盆地及其源区经历了几个构造活动阶段:古新世—始新世早期的隆升阶段、始新世中期—渐新世晚期的构造稳定阶段、渐新世末—中新世初的构造隆升阶段、中中新世构造稳定阶段和晚中新世以来的强烈隆升阶段。并结合特征矿物(绿泥石)及古水流分析,推断古近纪西宁—贵德盆地是东昆仑山前一个统一盆地。中新世早期青藏高原的扩张导致了拉脊山开始隆起,使原型盆地解体;约8.5 Ma以来拉脊山强烈隆升,两侧盆地逐渐转变为山间盆地。这为正确理解青藏高原东北缘盆山格局的形成和演化提供了重要依据。

关键词 重矿物 西宁—贵德盆地 盆地演化 盆山耦合

第一作者简介 孟庆泉 男 1977年出生 讲师 沉积盆地分析 E-mail: mengqq@lzu.edu.cn

通讯作者 宋春晖 E-mail: songchh@lzu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

0 引言

印度板块与欧亚大陆相碰撞,其垂向上的隆升形成青藏高原和珠穆朗玛等高大山脉,平面上的扩展挤压产生青藏高原东北部典型的盆岭地貌格局^[1,2,3]。高原纵、横两向紧密相连的时空关系,使之成为研究造山带和沉积盆地耦合关系的天然最佳场所^[4,5]。大量的研究表明,盆地的沉积记录是造山带山脉构造事件及隆升剥蚀的重要信息源,是研究和反演造山带造山作用的窗口^[6,7]。沉积物重矿物是碎屑物质的重要组成部分,伴随其它一些碎屑物质产生、搬运、沉积的全部过程,因此重矿物分析是最直观、有效揭示源区母岩、构造和沉积过程等重要信息的一种手段^[8-12]。地处高原东北缘祁连山系断裂、昆仑山断裂和秦岭北缘断裂交汇处的西宁盆地和贵德盆地是高原东北缘重要的新生代沉积盆地,其巨厚的新生代沉积记录着区域构造演化的历史^[13-18,24]。本文重点通过西宁盆地和贵德盆地沉积物重矿物组合以及重矿物由南向北时空变化特征分析,结合古流向和相关

沉积特征,揭示该区新生代构造与盆地形成和演化关系,为青藏高原东北部盆山格局形成和演化提供依据。

1 研究区地质概况

西宁盆地和贵德盆地位于青海省的东北部(图1),近东西向分布的海拔约4 000 m的拉脊山横亘其中,将其分列南北。西宁盆地西和北边界分别为日月山和中祁连山东延部分的达坂山,东部向兰州盆地开口。贵德盆地西、南和东边界分别为瓦里贡山、东昆仑山的巴吉山和札马杂日山。黄河及其支流湟水分别从贵德和西宁盆地流过,切穿整个新生代地层,为研究提供了绝好的天然剖面。盆地基底和周边山地的基岩主要为:拉脊山和日月山由震旦系(千枚岩、灰岩、白云岩、片岩)、寒武系(玄武岩、安山岩、火山碎屑岩、硅质岩、灰岩)、奥陶系(安山岩、火山碎屑岩、凝灰质粉砂岩、砂砾岩、大理岩)、志留系(砾岩、砂岩、英安岩)和三叠系(板岩)以及加里东花岗岩类组成。达坂山主要由下震旦统(片岩、片麻岩、千枚

①中国科学院战略性先导科技专项(编号: XDB03020402)、国家973重点基础研究发展计划项目(编号: 2013CB956400、2010CB833401)、国家自然科学基金项目(批准号: 41272128、40902015)和国家教育部博士点基金项目(编号: 20090211110021)共同资助。
收稿日期: 2011-12-30; 收修稿日期: 2012-02-12

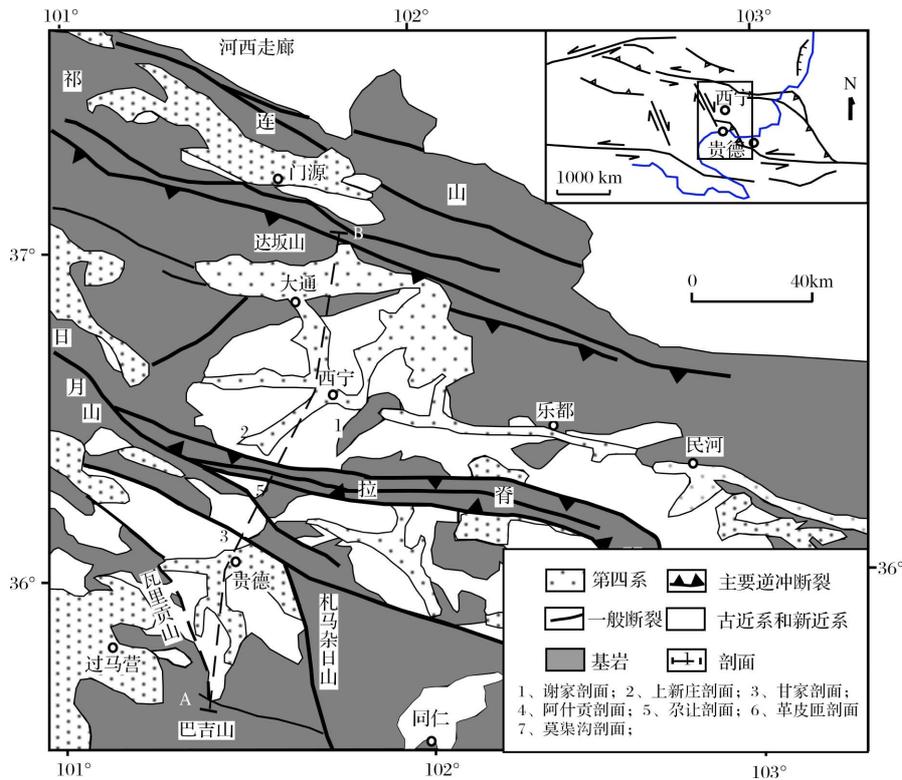


图 1 西宁—贵德盆地新生代地层分布及邻区地质特征图^[17]

Fig. 1 Cenozoic stratigraphy and geology in the Xining-Guide Basin and its surrounding area

表 1 西宁、贵德盆地新生代地层划分和岩性特征

Table 1 Division and lithology of Cenozoic stratigraphy in the Xining and Guide basins

年代序列	贵德盆地		西宁盆地	
	划分	岩性	划分	岩性
第四纪	阿米岗组	浅灰绿、土黄色粉砂岩和泥岩夹灰色细砾岩或砂岩、泥灰岩。盆地边缘主要为角砾岩和砂质砾岩		
上新世	贵德群 甘家组	灰至灰黑色砾岩夹含砾砂岩	贵德群 临夏组	灰色砾岩、砂岩和泥岩
	贺尔加组	盆地边缘为砾岩、砂岩和泥岩互层,盆地中部主要为杂色(褐、灰、灰绿、土黄色)泥岩、粉砂岩夹砂岩		
中 上	阿什贡组	杂色(红、灰、灰绿和褐色)泥岩和粉砂岩夹砾岩和蓝灰色泥灰岩	咸水河组	棕黄色泥岩夹灰色泥灰岩薄层
新 中	尕让组	褐红、土灰色粉砂岩、泥岩夹砾岩和灰绿色砂岩	车头沟组	棕红色泥岩与粉砂岩夹透镜状砂岩
	贵德门组	灰色砂质角砾岩、砾岩和含砾泥质粗砂岩	谢家组	棕红色—褐红色泥岩夹蓝绿色石膏质泥岩
渐新世	西宁群 下尕让组	上部紫红色泥岩为主;中部紫红泥岩夹灰绿色砂岩、泥灰岩和石膏层;下部紫红色泥岩、粉砂岩和砂岩韵律,夹砾岩底部紫红色砾岩夹砂岩	西宁群 马哈拉沟组	下部褐红色泥岩与石膏互层;上部褐红色泥岩夹薄层石膏
始新世			洪沟组	褐红色泥岩夹中薄层状砂岩、厚层石膏质泥岩
古新世	革皮匠组		祁家川组	下部紫红色砂岩夹含砾砂岩、砂质泥岩;上部褐红色泥岩夹厚层石膏层、薄层砂岩

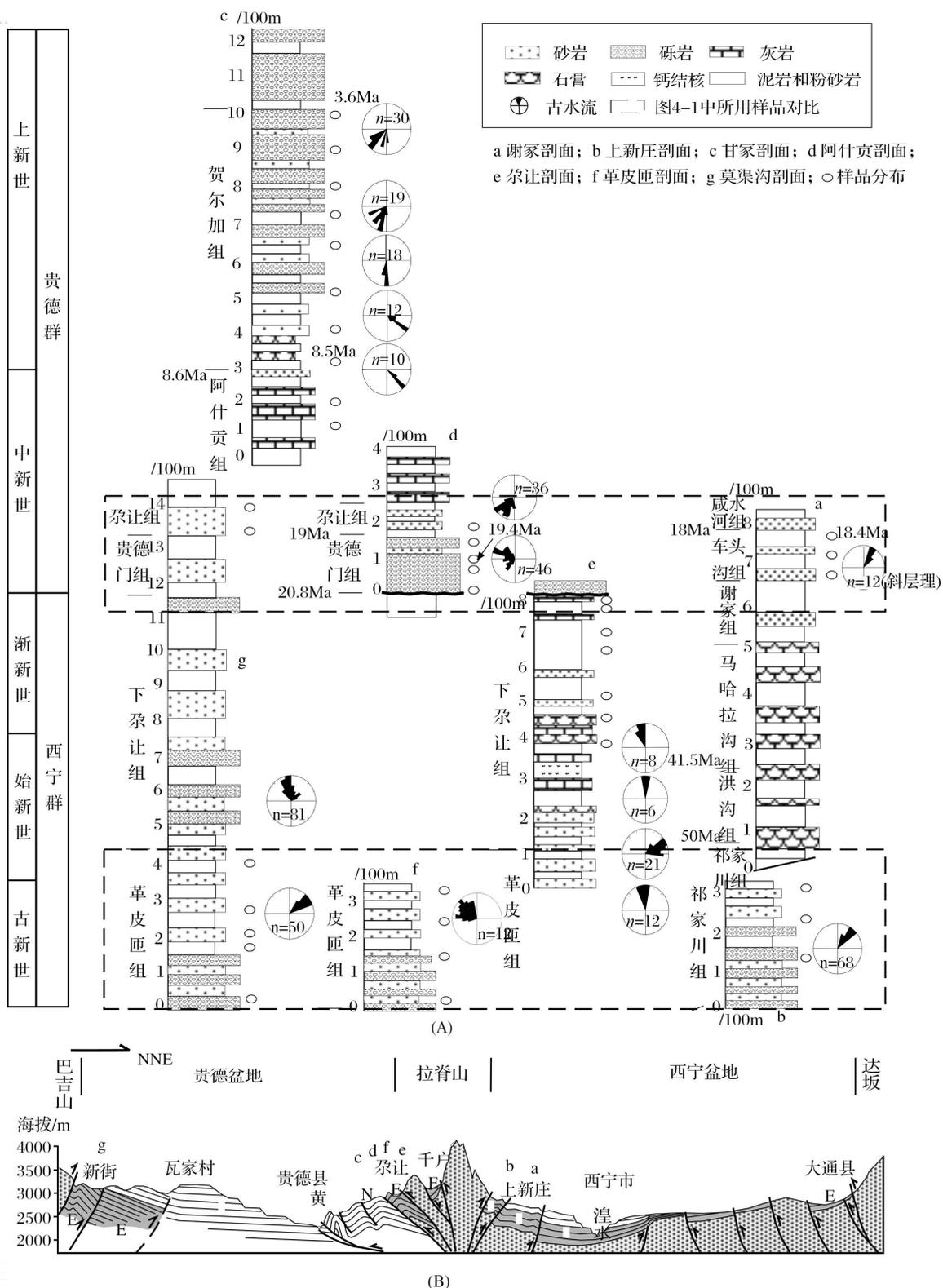


图 2 研究剖面地层对比、古流向和样品分布 (A) 和西宁—贵德盆地横剖面图 (B) (位置见图 1)

a 谢家剖面; b 上新庄剖面; c 甘家剖面; d 阿什贡剖面; e 杂让剖面; f 革皮匠剖面; g 莫渠沟剖面; ○ 样品分布; 地层年代据 Fang 等 (2005) 和 Dai 等 (2006)。图中古水流数据由野外砾石最大扁平面和砂岩斜层理前积纹层定向沉积组统计获得。

Fig. 2 Profile of the sample distribution of the study area and paleocurrent (A); The transverse section of Xining-Guide Basin (B) (a, Ganjia section; b, Ashengong section; c, Garang section; d, Gepiza section; e, Moqvgou section; f, Xiejia section; g, Shangxingzhuang section; ○, Profile of the sample distribution of the study area)

岩)、下志留统(砂岩、粉砂岩、页岩、泥灰岩)、上奥陶统(凝灰岩、安山岩、火山碎屑岩)和上三叠统(砾岩、砂岩、页岩)以及加里东花岗闪长岩和辉长岩组成,东昆仑山的巴吉山主要由三叠系(板岩、砂岩)和燕山期花岗岩和花岗闪长岩组成^[19, 20, 21],它们为盆地提供了丰富的物源。

两个盆地内发育新生代地层,并与下伏元古宙、三叠纪基岩呈不整合接触。其中古近纪地层称为西宁群,新近纪地层称为贵德群。关于贵德盆地和西宁盆地新生代地层的划分和年代,前人已开展了大量的研究工作,并取得了重要进展^[13, 14, 18]。两盆地各组地层特征及地层对比详见表1。地层岩性总体为:底部古近系主要由紫红-桔红色砂砾岩、砂岩和粉砂岩、泥岩组成,其中上部泥岩含大套石膏沉积。中部中新统主要由杂色(褐红、灰绿、褐黄)泥岩和粉砂岩夹砂岩和蓝灰色泥灰岩组成。上部上新统主要由大套灰黑色砾岩组成,顶部为第四纪灰绿色、灰黄色粉砂岩和黄土沉积。新生代地层在拉脊山两侧和昆仑山北侧已经被一系列向盆地扩展的生长断裂所冲断和褶皱,而盆地中心仅轻微弯折(图2B)。

本文在前人地层年代研究基础上,对西宁、贵德盆地多个剖面进行了系统研究和样品采集,并且通过测量砾石最大扁平面和砂岩斜层理前积纹层定向组构统计了古流向,其中莫渠沟剖面位于东昆仑山前的贵德盆地南部,甘家、阿什贡、尕让和革皮匠剖面位于

拉脊山南麓的贵德盆地北部,上新庄剖面位于拉脊山北麓的西宁盆地南部,谢家剖面位于西宁盆地的中部,因此这些剖面在时间和空间上由南向北组成较完整地层对比序列(图1 2)。

2 样品采集和重矿物分析

沉积物重矿物是指比重大于2.89,在沉积岩中重矿物含量常小于1%,颗粒比较细,化学性质稳定,抗风化能力强的一些矿物,它们是碎屑物质的重要组成部分。沉积重矿物的采集工作在上述多个剖面展开(图2A),采样间距除大套砾岩和膏岩、泥岩层外视砂岩的分布,基本控制在50 m左右,共采得重砂矿物样品39块。自然重砂样品通过室内筛析,提取碎屑粒径 $0.63 \sim 0.25 \text{ mm}$ 的样品,经 H_2O_2 和稀HCl处理,用三溴甲烷分离富集,获取密度大于 2.89 g/cm^3 的重矿物进行鉴定分析。重矿物鉴定用体视显微镜和油浸法(德国Leitz厂生产的OR THOCU X POX BX型偏光显微镜完成)。重矿物含量计算采用颗粒统计法,每个样品统计颗粒在1000粒以上。

研究共鉴定出重矿物近30种:磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿、钛铁矿、板钛矿、锐钛矿、石榴子石、电气石、普通角闪石、阳起石、透闪石、直闪石、绿帘石、黝帘石、斜黝帘石、白云石、绿泥石、白云母、黑云母、锆石、金红石、锡石、磷灰石、尖晶石、榍石、方硼石等。按重矿物化学性质和抗风化能力归类为不稳定

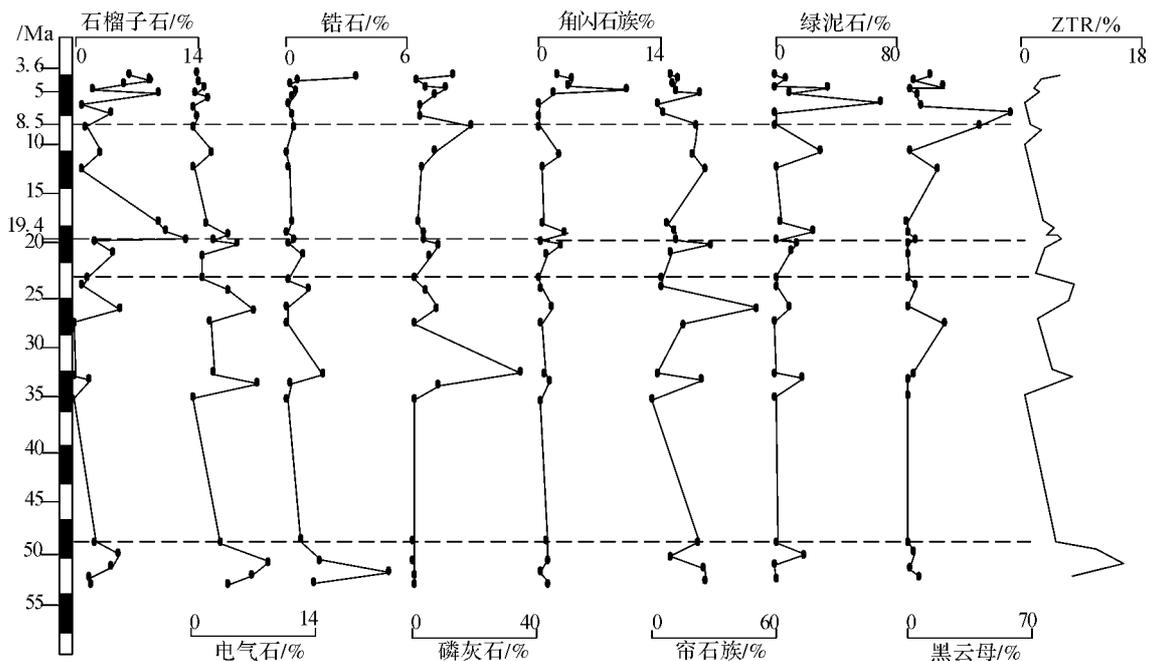


图3 贵德盆地甘家—革皮匠剖面新生代重矿物含量变化

Fig. 3 Contents of main heavy minerals of Ganjia-Gepiza section, Guide basin

表 2 西宁、贵德盆地沉积物中常见重矿物含量
Table 2 Contents of main heavy minerals of Xining-Guide basin

组	号码	重矿物 / %									ZTR	
		磷灰石	其他	石榴子石	电气石	角闪石族	帘石族	绿泥石	黑云母	锆石		
甘家一革皮匠剖面												
贺尔加组	1	6.4	0.7	2.1	9.7	0.0	13.7	3.5	13.2	50.7	4.7	
	2	8.4	0.9	3.8	11.8	7.2	2.6	0.5	1.6	63.3	1.5	
	3	5.7	1.4	3.5	10.6	0.0	22.1	0.2	4.0	51.9	1.6	
	4	1.9	0.6	10.6	10.9	36.0	1.1	0.4	11.3	26.6	1.1	
	5	9.6	1.8	1.8	24.4	9.4	4.9	0.3	7.1	40.7	2.2	
	6	0.8	0.3	0.0	2.8	71.9	7.0	0.0	2.1	15.1	0.4	
	7	4.2	0.5	0.0	5.1	0.0	61.2	0.2	2.2	26.3	0.9	
	8	1.3	0.1	0.0	22.4	0.0	42.9	0.3	19.8	13.3	1.2	
阿什贡组	9	3.1	2.4	2.4	20.8	31.3	0.0	0.0	7.2	19.1	2.6	
	10	0.9	0.3	0.3	27.0	0.0	19.0	0.0	2.8	20.8	0.3	
尕让组	11	9.5	1.6	0.5	7.7	4.8	0.0	0.3	1.4	73.4	2.0	
贵德门组	12	10.3	3.9	3.3	11.2	26.0	0.0	0.0	3.4	41.9	4.0	
	13	12.7	2.3	0.2	12.1	0.0	4.5	0.4	3.9	63.9	2.7	
	14	2.3	5.2	2.5	30.2	14.6	0.0	0.1	8.9	36.2	5.3	
	15	4.4	1.2	0.9	9.1	10.1	0.0	0.8	5.7	67.7	2.2	
	下尕让组	16	1.6	1.2	0.0	4.8	0.3	0.0	0.1	0.3	2.7	1.4
		17	0.9	4.0	0.3	4.2	0.0	4.9	1.0	4.2	78.0	5.2
18		5.0	6.9	1.7	53.0	9.5	0.0	0.0	7.9	15.9	7.0	
革皮匠组	19	0.0	2.0	0.2	15.2	0.0	22.7	0.0	0.0	57.3	2.0	
	20	0.0	2.4	0.8	1.8	0.0	3.5	1.8	36.6	7.3	4.3	
	21	1.9	7.4	1.3	25.4	18.5	0.0	0.2	8.2	6.9	7.7	
	22	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
	23	2.4	3.1	1.0	23.6	0.8	0.0	0.7	0.2	42.1	3.8	
	24	5.1	8.8	0.9	9.2	19.8	3.5	1.7	0.7	34.1	10.8	
	25	4.2	6.5	0.1	26.3	0.0	0.8	5.2	0.0	56.9	11.8	
	26	1.8	4.1	1.1	27.7	0.0	6.3	1.4	0.0	52.0	5.8	
莫渠沟剖面												
贵德群	27	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	93.1	0.5	0.6	1.4	0.7	
	28	4.4	3.8	0.0	17.1	0.0	34.6	2.4	12.1	25.5	6.3	
西宁群	29	0.4	2.9	0.0	9.3	0.0	55.1	0.2	0.3	31.8	3.1	
	30	2.6	5.4	0.0	12.9	0.0	11.0	0.2	0.4	57.5	5.6	
	31	4.1	4.9	0.0	8.5	0.0	2.3	1.0	2.3	72.8	6.0	
	32	1.4	6.3	0.1	20.4	0.0	19.8	0.1	2.1	47.0	6.4	
	33	2.7	2.0	0.0	4.8	0.0	0.2	0.7	0.2	84.5	3.0	
上新村—谢家剖面												
咸水河组	34	6.3	3.4	8.3	12.5	11.9	0.5	0.1	1.5	55.5	3.7	
	车头沟组	35	0.9	1.6	12.2	4.2	30.8	0.6	0.1	3.3	46.2	1.8
36		1.2	1.4	14.2	13.5	27.8	0.2	1.2	3.9	36.6	2.8	
祁家川组	37	12.7	14.6	0.0	0.1	0.0	0.2	1.7	0.0	70.8	16.4	
	38	6.7	6.4	0.0	2.0	0.0	2.3	0.2	0.0	82.4	6.8	
	39	10.8	3.3	0.0	2.9	0.9	0.0	2.6	1.2	78.1	6.2	

注: ZTR = (电气石 + 金红石 + 锆石) / 重矿物之和 × 100%。(其中金红石含量极少没有列出)

矿物、较稳定矿物、稳定矿物和最稳定矿物 其中稳定矿物包括石榴子石、电气石、锆石 较稳定矿物为磷灰石 不稳定矿物主要为绿泥石、黑云母、帘石族矿物和角闪石族矿物。根据重矿物磨圆情况、含量变化和组合等矿物学特征,依次对甘家一革皮匠剖面、莫渠沟

剖面、上新庄—谢家剖面重矿物进行分析讨论(表 2, 图 3)。

2.1 甘家一革皮匠剖面

2.1.1 不稳定重矿物阶段

位于革皮匠剖面革皮匠组,其地层年代大致对应

于古新世—始新世早期。该段稳定矿物主要有石榴子石、电气石、锆石、磷灰石(该剖面铁矿类平均含量在14.8%以上)等重矿物,其中石榴子石含量1.8%~5.1%(平均3.4%),电气石含量3.1%~8.8%(平均5.6%),锆石含量0.7%~5.2%(平均2.2%),磷灰石含量0~0.7%(平均0.2%)。不稳定矿物主要为帘石族矿物和绿泥石,含量分别为9.2%~27.7%(平均21.7%)和0~19.8%(平均5.2%),还有少量的角闪石(平均0.8%)和黑云母(平均2.6%)。因此该段不稳定矿物高于稳定矿物总和,同时该段矿物粒度较大、分选差、颗粒形态以次棱角形居多,表明该段重矿物可能是构造不稳定时期的产物。

2.1.2 较稳定重矿物阶段

分布于尕让剖面中部下尕让组,其地层年代大致为始新世中期—渐新世晚期。重矿物以次圆—次棱角为主,粒度中等,黑云母表面不新鲜。稳定矿物石榴子石平均含量1.4%,电气石平均含量3.4%,锆石平均含量0.4%,这三种矿物比前期含量略有下降(但磷灰石从前期的平均0.2%上升到了11.2%)。不稳定矿物帘石族矿物平均含量14.9%,绿泥石平均含量4%,黑云母平均含量3.4%和少量角闪石(平均0.6%)。可见,该阶段重矿物相对前期矿物成分成熟和磨圆度增加,可能属构造相对稳定时期的产物。

2.1.3 不稳定重矿物阶段

分布于阿什贡剖面顶部下部的下尕让组上部及贵德门组,其地层年代大致为渐新世末~19.4 Ma^[3]。重矿物特征相对前期有明显变化,矿物颗粒以棱角—次棱角为主,粒度偏大,稳定矿物中石榴子石含量1.6%~4.4%(平均2.8%),电气石含量1.2%~5.2%(平均2.5%),锆石平均含量0.3%,磷灰石含量0.3%~8.9%(平均5%)。不稳定矿物主要为绿泥石和帘石族矿物,平均含量分别为8.3%和14.7%,还有少量的角闪石(平均1.1%),明显不稳定矿物高于稳定矿物总和,表明该阶段重矿物可能属构造不稳定时期的产物。

2.1.4 相对稳定重矿物阶段

分布于阿什贡剖面贵德门组和尕让组以及甘家剖面的阿什贡组,其磁性地层年代19.4~8.5 Ma^[13]。该段重矿物相对前期最明显的变化是出现大量的石榴子石,其含量最高达12.7%(平均8.3%),电气石平均含量2%,磷灰石平均2.9%,不稳定矿物中绿泥

石和帘石族矿物平均含量分别为7.7%和14.5%,还有少量蚀变强烈的黑云母(平均5%)和角闪石(平均1.1%)。石榴子石的大量出现,表明该阶段重矿物可能属于构造相对稳定时期的产物。

2.1.5 极不稳定重矿物阶段

分布于甘家剖面贺尔加组,其磁性地层年代8.5~3.6 Ma^[13]。该阶段重矿物以稳定矿物含量降低、不稳定矿物大幅增加以及矿物较新鲜、形态大多呈棱角—次棱角(尤其是绿泥石)为特征。其中稳定矿物平均含量分别为石榴子石4.8%、电气石0.8%、锆石0.7%和磷灰石7.6%。不稳定矿物绿泥石和黑云母大量增加,前者含量0~71.9%,平均含量从前期的10.9%增加至15.6%。后者含量1.1%~61.2%,平均含量从前期2.9%升至19.4%。另外角闪石也有明显增加(平均含量为2.7%)以及帘石族矿物平均含量达12.2%。不稳定矿物总和明显大于稳定矿物,表明该阶段重矿物可能属构造强烈活动时期的产物。

2.2 莫渠沟剖面

2.2.1 不稳定重矿物阶段

该段位于莫渠沟剖面下部革皮匠组(该剖面铁矿类平均含量19.2%),对应地层年代属古新世—始新世早期。该段稳定矿物含量为石榴子石0.4%~4.1%(平均2%)、电气石2%~6.3%(平均4.6%),锆石和磷灰石平均含量分别为0.4%和1.2%。不稳定矿物主要有帘石族矿物和黑云母,前者含量4.8%~20.4%(平均12.2%),后者含量0.2%~55.1%(平均18.8%),不稳定矿物总和明显大于稳定矿物。矿物颗粒以棱角—次棱角为主,粒度大。上述特征表明该阶段重矿物可能属构造不稳定时期的产物。

2.2.2 极不稳定重矿物阶段

分布于莫渠沟剖面顶部尕让组,对应地层年代为渐新世末—中新世早期。重矿物颗粒形态以次棱角形为主,不稳定矿物黑云母含量34.6%~93.1%(平均63.9%)、帘石族矿物平均10.7%。稳定矿物平均含量分别为石榴子石2.2%、电气石1.9%、锆石1.5%、磷灰石6.7%。不稳定矿物总和明显大于稳定矿物,特别黑云母相对前期大量增加,表明该阶段重矿物可能为构造频繁活动期的产物。

2.3 上新庄—谢家剖面

2.3.1 稳定重矿物阶段

分布于上新庄剖面祁家川组(铁矿类平均含量38.3%),其地层年代属古新世—始新世早期^[14]。稳

定矿物中石榴子石含量 6.7% ~ 12.7% (平均 10%)、电气石含量 3.3% ~ 14.6% (平均 8.1%)、锆石含量 0.2% ~ 2.6% (平均 1.5%)、磷灰石平均含量 0.4%。不稳定矿物含量很少,其中黑云母平均含量 0.8%,帘石族矿物平均含量 1.7%,绿泥石平均含量 0.3%,未出现角闪石。可见,该段稳定矿物总和明显大于不稳定矿物,同时矿物颗粒不新鲜,表面有溶蚀小坑,粒度细,表明重矿物具长期风化、远距离搬运的沉积特征。

2.3.2 不稳定重矿物阶段

分布于谢家剖面车头沟组和咸水河组,其磁性地层年代 24 ~ 18.4 Ma^[14]。该阶段重矿物以不稳定矿物明显增加和稳定矿物含量减少为特征。其中稳定矿物石榴子石含量 0.9% ~ 6.3% (平均 2.8%),电气石、锆石和磷灰石平均含量分别为 2.1%、0.5% 和 2.9%。不稳定矿物主要见角闪石、绿泥石和帘石族矿物(平均含量分别为 11.6%、23.5% 和 10.1%),以及极少量的黑云母,其中绿泥石含量急剧的增加,不稳定矿物总和远大于稳定矿物,矿物颗粒表面新鲜,多为次棱角形,表明该阶段重矿物可能为构造活动期快速沉积产物。

3 重矿物特征与区域构造演化

青藏高原的构造隆升和挤压作用控制着高原腹地及其周边沉积盆地的形成和演化,而盆地沉积物是地壳差异升降运动的物质记录。影响重矿物的因素有气候、构造、沉积环境和源岩等。根据该区域揭示的古新世以来最大气候事件为 Oi-1 事件(大概在 34 Ma 左右)^[22],而该事件段地层中重矿物组合和矿物含量前后未发生明显变化,因此,气候变化可能不是影响该区重矿物变化的主导因素;前人通过贵德盆地沉积记录研究认为 8.5 Ma 以来持续构造隆升导致该区沉积环境发生了较明显的变化,使盆地砾岩沉积增多、砾径变粗、沉积速率增加,拉脊山的隆升使物源区发生变化^[15],因此,西宁、贵德盆地影响沉积物重矿物变化主导因素是构造活动使物源区剥蚀岩性变化所致。通过上述对各个剖面沉积物重矿物组合、形态、特征指数及其在地层剖面上变化的研究,结合前人磁性地层年代、沉积—构造等研究成果^[13-18],将该区古新世以来的构造演化划分为 4 个阶段:

3.1 早期构造活动阶段(古新世—始新世早期)

从上述研究可以看出,该时期从昆仑山前由南向北,从贵德盆地南部莫渠沟剖面到北部革皮匠剖面、

再至西宁盆地南部上新庄剖面,在矿物的总体组合上具高度的一致性,而重矿物成分成熟度呈逐渐增加(ZTR 值平均分别为 4.8%、8.0% 和 9.8%)(表 1),并且稳定矿物含量逐渐增加、不稳定矿物含量递减的总体趋势特征(图 4A)。同时该时期由南向北三个剖面位置的古水流方向显示都具由南向北的流向特征(图 2A),沉积物磨圆度由棱角形向次圆形变化的趋势、粒度具变细特征。上述证据说明西宁、贵德盆地可能是一个统一的发育于东昆仑山前的前陆盆地^[14,18],分隔西宁、贵德盆地的拉脊山在当时未隆起,沉积物主要从东昆仑向北搬运沉积。

3.2 早期构造相对稳定阶段(始新世中期—渐新世晚期)

该时期贵德盆地北部尕让剖面重矿物成分成熟度 ZTR 值 0.1% ~ 8% (平均值 4.3%),虽然较前期革皮匠剖面略低,但稳定矿物与不稳定矿物含量总体接近,整体含量不高(各占重矿物总体的 15% 和 21%)。古水流方向在该阶段依然主要由南向北(未有明显变化)。该时期贵德盆地西宁群上部主要以泥岩、泥灰岩和石膏层为主,而西宁盆地洪沟组和马哈拉沟组沉积了较厚的膏岩层。自东昆仑山前由南向北沉积相整体表现为由辫状河流相向湖泊相转变的特征^[15]。上述特征表明该时期该区处于相对稳定的沉积阶段。

3.3 中期构造活动阶段(渐新世末—中新世初)

该段时期贵德盆地与西宁盆地重矿物总体特征在时间上和空间上都有较明显的变化,并且不具始新世矿物由南向北有规律的变化特征(图 4B)。不论贵德盆地南部莫渠沟剖面,还是其北部的阿什贡剖面和尕让剖面上部以及西宁盆地中部谢家剖面,不稳定矿物含量都明显大于稳定矿物含量,由南向北矿物成分成熟度 ZTR 值依次为 3.5%、3.1% 和 2.8%,矿物成熟度低。其中绿泥石含量明显增加(由前期的 4% 增加至 8.3%),矿物颗粒以次棱角形居多,并且拉脊山二侧的贵德盆地北部和西宁盆地绿泥石矿物普遍较新鲜,贵德盆地南部样品表面粗糙暗淡。同时拉脊山南侧贵德盆地北部形成古近系与新近系不整合接触,以及阿什贡组和尕让组古水流方向相对前期发生了非常明显的变化,由前期向北流突变为向南流的方向(图 2A)。这些特征表明该段时期西宁、贵德盆地处于比较明显的构造活动阶段,分隔贵德盆地和西宁盆地的拉脊山开始隆升,使盆地早期地层被挤压变形,形成盆地中最显著的角度不整合^[18,23-25],同时导致

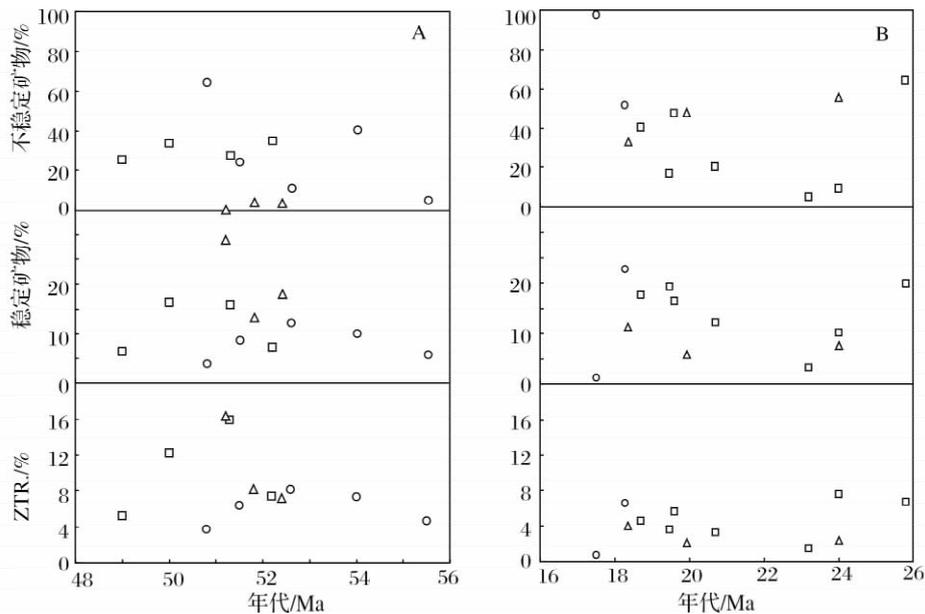


图 4 由东昆仑山前贵德盆地向北至西宁盆地重矿物含量变化趋势(A、古新世—始新世早期;B、渐新世末—中新世早期)

其中稳定矿物% = 石榴子石% + 电气石% + 锆石% + 磷灰石%; 不稳定矿物% = 帘石族% + 角闪石% + 黑云母% + 绿泥石%,

○代表莫渠沟剖面; □代表甘家—革皮匠剖面; △代表上新村—谢家剖面

Fig. 4 Content changes of main heavy minerals from the eastern Kunlun in the direction from south to north

(A. during Early Eocene ; B. during Late Oligocene and Early Miocene)

Stable heavy minerals% = Grt% + Tur% + Zrn% + Ap%; Unstable heavy minerals% = Ep% + Amp% + Bt% + Chl% ,

○: Moqvgou section , □: Ganjia-Gepiza section , △: Shangxinzhuan-Xiejia section

贵德盆地北部水系向北转向南西。同时拉脊山基岩中有震旦系片岩和寒武系玄武岩,其遭受剥蚀导致近拉脊山两侧的沉积物中含有大量新鲜的绿泥石。

3.4 中期构造相对稳定阶段(中中新世)

该段时期甘家—革皮匠剖面重矿物总体特征的变化主要表现在石榴子石的大量出现,该时期剖面出露了灰色泥岩和灰绿色泥灰岩,在近盆地边缘的甘家北部、阿什贡等地区形成浅湖与半深湖相和三角洲相沉积,反映当时盆地为湖相沉积^[17]。证明该区当时的构造活动比较稳定,高原处于相对的稳定剥蚀阶段。

3.5 晚期强烈构造隆升阶段(晚中新世以来)

该阶段贵德盆地北部靠拉脊山的甘家剖面重矿物特征发生明显变化,不稳定矿物黑云母和绿泥石大量增加,绿泥石含量最高达到 71.9%,颗粒极其新鲜,黑云母含量最高达到 62.1%,帘石族矿物和角闪石含量都位于剖面段高峰,矿物成分成熟度 ZTR 值平均降低为 1.7% (表 2),剖面出现大套砾石层。在约 8.5 Ma 开始贵德盆地北部迅速从湖相转变为扇三角洲—山麓洪积相,砾岩大量出现并逐步向盆地中央扩展,水流向南,沉积速率开始明显增加,盆地急剧旋

转^[14,16,17]指示拉脊山此时开始强烈隆升和边缘断裂向盆地快速扩展,盆地转变为山间盆地^[19]。

4 结论

根据贵德盆地和西宁盆地沉积物中重矿物含量、形态和组合变化等矿物学分析,表明古新世—上新世末高原东北部缘西宁、贵德盆地沉积物中的重矿物具规律性变化,自下而上分为 5 段:较不稳定矿物阶段、较稳定矿物阶段、不稳定重矿物阶段、相对稳定重矿物阶段和极不稳定重矿物阶段。依据重矿物具规律性变化和沉积物沉积特征,表明青藏高原东北缘始新世—上新世末期间区域构造活动经历了早期构造活动阶段(古新世—始新世早期),早期构造稳定阶段(始新世中期—渐新世晚期),中期构造活动阶段(渐新世末—中新世初),中期构造相对稳定阶段(中中新世)和晚期强烈构造隆升阶段(晚中新世以来)。

揭示了印度板块与欧亚板块的早期碰撞(约 55~45 Ma),变形就已传递到了青藏高原东北缘,导致东昆仑的隆升,并在其山前形成弯折下陷的统一的贵德—西宁陆内前陆盆地。渐新世晚期—中新世初青藏高原向外扩张,昆仑山前断褶和弯折盆地前渊向盆

内扩展,导致拉脊山开始隆起,并分割原统一盆地,分别形成贵德盆地和西宁盆地。中新世晚期约 8.5 Ma 左右高原东北部强烈构造活动,导致拉脊山整体的急剧隆起,并且断褶快速向盆地扩展,盆地逐渐缩短并最终消亡,转变成山间盆地。

致谢 感谢兰州大学西部重点实验室王修喜博士后在野外采样中的帮助,感谢兰州大学地质科学与矿产资源学院李万茂教授对实验和矿物鉴定的具体指导。

参考文献 (References)

- 1 Tapponnier P, Xu Z, Roger F. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[J]. *Science*, 2001, 294: 1671-1677
- 2 王成善, 朱利东, 刘志飞. 青藏高原北部盆地构造沉积演化与高原向北生长过程[J]. *地球科学进展*, 2004, 19(3): 373-381 [Wang Chengshan, Zhu Lidong, Liu Zhifei. Tectonic and sedimentary evolution of basins in the north of Qinghai Tibet plateau and northward growing process of Qinghai Tibet plateau[J]. *Advances in Earth Science*, 2004, 19(3): 373-381]
- 3 王成善, 戴紫根, 刘志飞, 等. 青藏高原与喜马拉雅的隆升历史和研究方法: 回顾与进展[J]. *地学前缘*, 2009, 16(3): 1-30 [Wang Chengshan, Dai Jingen, Liu Zhifei, et al. The uplift history of the Tibetan Plateau and Himalaya and its study approaches and techniques: A review[J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(3): 001-030]
- 4 Yin A, Kapp P, Murphy M, et al. Significant late Neogene eastwest extension in northern Tibet[J]. *Geology*, 1999, 27: 787-790
- 5 Yin A, Dang Y Q, Zhang M, et al. Cenozoic tectonic evolution of Qaidam basin and its surrounding regions (Part 2): wedge tectonics in the southern Qaidam basin and the eastern Kunlun range[J]. *Geological Society of America, Special Paper*, 2007, 433: 369-390
- 6 Metivier F, Gaudemer Y, et al. Mass transfer between eastern Tianshan and adjacent basins (central Asia): constraints on regional tectonics and topography[J]. *Geophysical Journal International*, 1997, 128: 1-17
- 7 肖庆辉, 李晓波, 贾跃明. 当代造山带研究中值得重视的若干前沿问题[J]. *地学前缘*, 1995, 2: 1-2 [Xiao Qinghui, Li Xiaobo, Jia Yueming. Frontiers on orogenic belt researches [J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2: 1-2]
- 8 Ajdanlijsky G, Dotzov D. Heavy mineral characteristics of the Neogene Quaternary sediments from the southern part of the Blagoevgrad Basin, SW Bulgaria[J]. *Ore Geology Reviews*, 2006, 28: 507-524
- 9 Hou B, Frakes L A, Sandiford M, et al. Cenozoic Eucla Basin and associated palaeovalleys, southern Australia-Climatic and tectonic influences on landscape evolution, sedimentation and heavy mineral accumulation[J]. *Sedimentary Geology*, 2008, 203: 112-130
- 10 冉波, 王成善, 朱利东. 距今 40 ~ 30 Ma 时期青藏高原北缘酒西盆地沉积物重矿物分析和构造意义[J]. *地学前缘*, 2008, 15(5): 388-397 [Ran Bo, Wang Chengshan, Zhu Lidong, et al. Analysis of heavy minerals in sediments of Jiuxi basin in north margin of the Tibet plateau in 40 ~ 30 Ma and its tectonic implication[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(5): 388-397]
- 11 王昆山, 石学法, 李珍. 东海 DGKS9617 岩芯重矿物及自生黄铁矿记录[J]. *海洋地质与第四纪*, 2005, 25(1): 42-44 [Wang Kunshan, Shi Xuefa, Li Zhen. Records of heavy mineral and authigenous pyrite in core DGKS9617 from the east China sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25(1): 42-44]
- 12 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏. 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): 553-558 [Song Chunhui, Sun Shurong, Fang Xiaomin. 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): 553-558]
- 13 Fang Xiaomin, Yan Maodu, Van dervoort, et al. Late Cenozoic deformation and uplift of the NE Tibetan Plateau: evidence from high-resolution magnetostratigraphy of the Guide Basin, Qinghai Province, China [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 2005, 117: 1208-1225
- 14 Dai Shuang, Fang Xiaomin, Dupont Nivet G, et al. Magnetostratigraphy of Cenozoic sediments from the Xining Basin: tectonic implications for the northeastern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111: B11102, doi: 10.1029/2005JB004187
- 15 宋春晖, 方小敏, 高军平. 青藏高原东北部贵德盆地新生代沉积演化与构造隆升[J]. *沉积学报*, 2001, 19(2): 495-499 [Song Chunhui, Fang Xiaomin, Gao Junping. Tectonic uplift and sedimentary evolution of the Guide Basin in the northeastern margin of Tibetan Plateau in Cenozoic Era [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 495-499]
- 16 宋春晖, 方小敏, 李吉均. 青藏高原东北部贵德盆地上新世沉积环境分析及其意义[J]. *第四纪研究*, 2003, 48(2): 188-193 [Song Chunhui, Fang Xiaomin, Li Jijun. Analysis on sedimentary environment of the Guide Basin in the northeastern margin of Tibetan Plateau in Cenozoic Era [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(2): 188-193]
- 17 宋春晖, 方小敏, 李吉均. 青海贵德盆地晚新生代沉积演化与青藏高原北部隆升[J]. *地质论评*, 2003, 49: 338-346 [Song Chunhui, Fang Xiaomin, Li Jijun. Sedimentary evolution of the Guide Basin in the Late Cenozoic and the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Review*, 2003, 49: 338-346]
- 18 方小敏, 宋春晖, 戴霜, 等. 青藏高原东北部阶段性变形隆升: 西宁、贵德盆地高精度磁性地层和盆地演化记录[J]. *地学前缘*, 2007, 14(1): 230-242 [Fang Xiaomin, Song Chunhui, Dai Shuang, et al. Cenozoic deformation and uplift of the NE Qinghai-Tibet Plateau: evidence from high resolution magnetostratigraphy and basin evolution [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(1): 230-242]
- 19 青海地质矿产局区域地质测量队. 1:20 万湟源幅地质图[M]. 北京: 地质出版社, 1965 [Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. 1:200 000 Geology Map of Huangyuan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1965]
- 20 青海地质矿产局区域地质测量队. 1:20 万西宁幅地质图[M]. 北京: 地质出版社, 1965 [Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. 1:200 000 Geology Map of Xining[M]. Beijing: Geological

- Publishing House ,1965]
- 21 青海地质矿产局地质志编写组. 青海省地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 662 [Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House ,1991: 662]
- 22 徐丽,苗运法,方小敏,等. 青藏高原东北部西宁盆地中始新世—渐新世沉积物颜色与气候变化[J]. 兰州大学学报, 2009, 45(1): 13-19 [Xu Li ,Miao Yunfa , Fang Xiaomin , *et al.* Middle Eocene-Oligocene climatic changes recorded by sedimentary colors in the Xining Basin , in northeastern Tibetan Plateau , NW China[J]. Journal of Lanzhou University ,2009 ,45(1) : 13-19]
- 23 Lease R , Burbank W D , *et al.* Middle Miocene reorganization of deformation along the northeastern Tibetan Plateau [J]. *Geology* ,2011 , 39: 359-362
- 24 Dupont-Nivet G , Krijgsman W , *et al.* Tibetan plateau aridification linked to global cooling at the Eocene Oligocene transition [J]. *Nature* ,2007 ,445: 635-63
- 25 Yan Maodu , VanderVoo R , Fang Xiaomin. Paleomagnetic evidence for a mid-Miocene clockwise rotation of about 25 of the Guide Basin area in NE Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters* ,2006 , 241: 234-247
- 26 Zachos J , Pagani M , Sloan L , *et al.* Trends , rhythms , and aberrations in global climate [J]. *Science* ,2001 ,292(5517) : 686-93

Analysis of Heavy Minerals in Sediments of Xining-Guide Basin in Northeastern Margin of the Tibet Plateau in Cenozoic Era and Its Tectonic Evolution

MENG Qing-guan WU Xiao-bin LIU Shan-pin YAN Bao-hua
WU Song ZHANG Sa SONG Chun-hui

(School of Earth Sciences Key Laboratory of Mineral Resources in Western China , Gansu Province , Lanzhou University , Lanzhou 730000)

Abstract: The Cenozoic sediments of the Xining-Guide basin , locates in the northeastern margin of the Tibetan plateau , recorded the uplift and deformation history of northeastern plateau. The detrital heavy mineral analysis is a sensitive tool to deciphering these records. Five heavy mineral stages of sedimentary evolution along this region have been revealed by the heavy minerals and tectonic-sedimentary analysis: ① the earliest tectonic uplift phase between Paleocene and Early Eocene , ② steady stage of middle Eocene-Late Oligocene , ③ late Oligocene-Early Miocene tectonic activity again , ④ middle Miocene tectonic clam stage , ⑤ stronger activity phases since Late Miocene. With the chlorite characteristics and the paleocurrent analysis , we suggest that the Guide-Xining was an uniform weakly flexural or rejuvenated Paleozoic foreland basin of the eastern Kunlun Mountain. The onset of deformation and rock uplift along the eastern part of the Laji Mountain , which was possibly effected by the surface uplift of the Tibetan plateau , divided the Guide and Xining basins. At about Late Miocene , the Laji Mountain began strongly deformation and surface uplift , and the Guide and Xining basins gradually recessed. These results provide a significant evidence to thoroughly understand the formation and evolution of the NE margin of Tibet.

Key words: heavy mineral; basin evolution; basin-range coupling; Xining-Guide basin