

文章编号: 1000-0550(2012)04-0654-07

贺兰山北段晚三叠世沉积物源分析^①

赵红格 刘池洋 王海然 乔建新 王建强 冯晓博

(西北大学地质系 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西安 710069)

摘要 贺兰山北段晚三叠世地层分布较广泛,其物源问题是进行鄂尔多斯盆地西北部原盆边界恢复和其两侧盆地该时期面貌恢复的关键,而对此存在一定的争议。该研究以贺兰山北段的沉积—构造背景为约束,通过晚三叠世地层的砾石成分、古流向、稀土元素、锆石测年及沉积趋势等物源分析方法综合运用,指出贺兰山北段晚三叠世不存在东部物源,银川古隆起不存在;物源来自西北部的阿拉善地块和兴蒙造山带太古代—古元古代的变质岩(片麻岩和变粒岩等)和岩浆岩,部分为阿拉善地块古生代和早中三叠世的沉积岩及岩浆岩。贺兰山西北部具有近物源和快速堆积的特点。同时,贺兰山北段晚三叠世物源具有多源性,其经历了多期的构造改造,恢复物源区演化模式对周邻造山带和块体的演化具有深远意义。

关键词 晚三叠世 砾石成分 稀土元素 西北部物源 变质岩

第一作者简介 赵红格 女 1975年出生 副教授 沉积盆地动力学 E-mail: zhaohg_75@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

贺兰山位于鄂尔多斯盆地西北缘,东以银川地堑与鄂尔多斯盆地相隔;西与阿拉善地块上发育的巴彦浩特盆地相邻,西北部与河套盆地吉兰泰凹陷相接;南被(中)宁—(中)卫断裂所截,总体呈北北东向展布,南北延伸约200 km(图1)。贺兰山以苏峪口—阿拉善左旗东西一线为界,可分为南、北两段。由于贺兰山现今两侧均为新生代为主的断陷盆地,对于贺兰山晚三叠世的沉积物源来自何方,范围有多大等问题一直未有定论。目前未进行系统物源分析,对其认识较为模糊,甚至存在分歧。有观点认为物源来自西北侧的阿拉善古陆,也有认为来自东侧的“银川晚三叠世古隆起”。而物源问题又与贺兰山晚三叠世盆地性质及其与鄂尔多斯盆地的关系密切相关,对此有“独立的拗陷盆地”和“与鄂尔多斯盆地相连通”两种截然相反的观点^[1~8]。魏红红^[1]通过沉积古水流分析,发现贺兰山古流向为自东向西,故认为贺兰山汝箕沟盆地是独立于鄂尔多斯盆地的一个小型盆地。张进^[2]指出贺兰山晚三叠世盆地与鄂尔多斯盆地具有不同的沉降机制,不是同一盆地。Liu^[3]认为该时期贺兰山与鄂尔多斯盆地西南缘具有不同的沉积环境,但其与盆地北部的沉积相是渐变的。叶连俊、柯保嘉^[4,5]认为贺兰山沉积为鄂尔多斯盆地西北部的边缘相沉积。孙国凡^[6,7]推测贺兰山延长群沉积向

东可能进入鄂尔多斯盆地,认为银川地堑是侏罗纪以后隆起的。王锋、刘池阳^[8,9]认为该时期两个盆地是相连通的,为统一的大鄂尔多斯盆地的一部分。赵文智^[10]、Ritts^[11]认为两者是相连通的,沉降机制相同。白云来^[12]认为“银川古隆起”在印支期不存在,晚三叠世鄂尔多斯盆地西北部边界为贺兰山西缘断裂。苏春乾^[13]通过对贺兰山现存三叠纪地层的沉积环境分析认为贺兰山盆地与其东的灵武盆地都属于鄂尔多斯盆地的一部分,但两者之间为银川隆起带。故从贺兰山晚三叠世物源分析入手,探讨物源的方向和性质,可为该争论的问题提供侧面证据;同时对该时期贺兰山的盆山格局和银川地堑该时期的隆拗状态等重大科学问题都具有重要的借鉴作用。

由于贺兰山晚三叠世地层遭受到了晚燕山期—喜山期的强烈改造,主体分部在贺兰山北段,故本次研究主要在贺兰山北段展开工作,以期利用各种物源分析方法恢复该时期的物源方向和物源性质,为进一步分析物源的演变提供直接依据。

1 区域沉积背景

1.1 贺兰山北段前中生代地层分布

贺兰山北段为其主体部分,呈现北北东走向的复向斜结构,主要由中生界和部分古生界组成(图1)。

^①国家自然科学基金项目(批准号:40902032);西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项经费;国家自然科学基金重点项目(批准号:90814005);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(编号:2003CB214607)资助。

收稿日期:2011-05-10;收修稿日期:2011-10-18

在正谊关断裂—小松山断裂以北主要为贺兰山群(又称宗别立群)^[14]变质岩集中分布区,其岩性主要为黑云母斜长片麻岩、黑云变粒岩、石榴黑云二长片麻岩、石榴黑云斜长片麻岩和黑云变粒岩等,总厚度逾万米^[15]。对贺兰山群的时代,有一定的争议^[16-19]综合认为其形成主体时代为古元古代,可能部分延伸至太古代。另外有部分中元古界长城系黄旗口群出露,岩性主要由石英岩、石英砂岩、板岩、砂质及硅质板岩组成的碎屑岩组合。中元古界蓟县系王全口群为一套以硅质条带和结核状白云岩为主体的碳酸盐岩组合。古生界主要分布于石嘴山至正谊关断裂之间,为北西走向,主要为晚古生代的含煤碎屑岩,部分地区残留有早古生代的灰岩。贺兰山西部现今为阿拉善地块上形成的晚中生代—新生代的巴彦浩特断陷盆地,在其西北部出露加里东—印支期的花岗岩和变质岩。

背向斜相间分布,沉积地层保存较全,地层厚度大。延长组(群)沉积环境和沉积相具有由陆上向水下、由浅水向深水演化的明显趋势^[1],具有近源沉积和相变较快的特点,自下而上由河流相过渡为湖泊相。晚三叠世延长组的五个岩组发育齐全,组成一个完整的沉积旋回。第一、二岩组从黄绿色砾岩、砂砾岩逐渐过渡为黄绿色中厚层硬砂质长石石英砂岩,横向粒度自西向东逐渐变细,且厚度也随之变薄。第三岩组为黄绿色中厚层粗—中粒硬砂质长石石英砂岩夹灰黑色薄层细砂岩、粉砂岩、砂质泥岩。第四岩组以黄绿色厚—中厚层状细粒硬砂质长石石英砂岩、石英砂岩为主,夹少量黑色页岩。第五岩组为黑色纸片状页岩、灰色粉砂岩夹薄—中厚层状砂岩^[15]。贺兰山区的延长组在宁夏境内总厚为1543 m,向西至内蒙古阿拉善左旗境内的哈拉乌—水磨沟一带,总厚度可达2949 m^[15]。

2 晚三叠世沉积物源分析

2.1 砾岩组分分析

砾岩组份分析对判断物源区岩性、距离物源远近等具有重要的作用,一直作为物源分析的最有利的手段^[20]。贺兰山晚三叠世的砾岩主要分布于西部,在中部汝箕沟地区也有出露。

(1) 塔尔岭砾岩

沿塔尔岭南部公路边断续出露,为延长组第二段。砾岩呈现紫红色,砾石成分以灰绿色细砂岩为主,有少量紫红色砂岩,胶结物为紫红色砂泥质物质。砾石磨圆中等—差,分选较差,最大砾径可达30 cm。该套紫红色砾岩与二叠系石干峰组紫红色粉砂岩很接近,可能来源于西北部的二叠系。向东逐渐过渡为中—厚层砾岩与中—薄层灰绿色砂岩互层,砾径明显变小,磨圆分选较好。

(2) 北寺砾岩

为延长组第二段砾岩,厚度100多m。砾石成分以灰绿色、紫红色砂岩为主,其余为石英岩砾石。砾石磨圆分选中等,胶结物为紫红色砂质。砾径整体较塔尔岭小,最大砾径约20 cm。由西向东,砾径变小。砾岩具有韵律层,其中可见石英脉体。砾岩层中夹有部分紫红色泥岩。

(3) 水磨沟砾岩

出露于水磨沟水库北侧,为延长组第二段砾岩。砾石成分以紫红色长石石英砂岩为主(约80%),灰色灰岩约占15%,石英岩砾石约4%,其余1%。胶

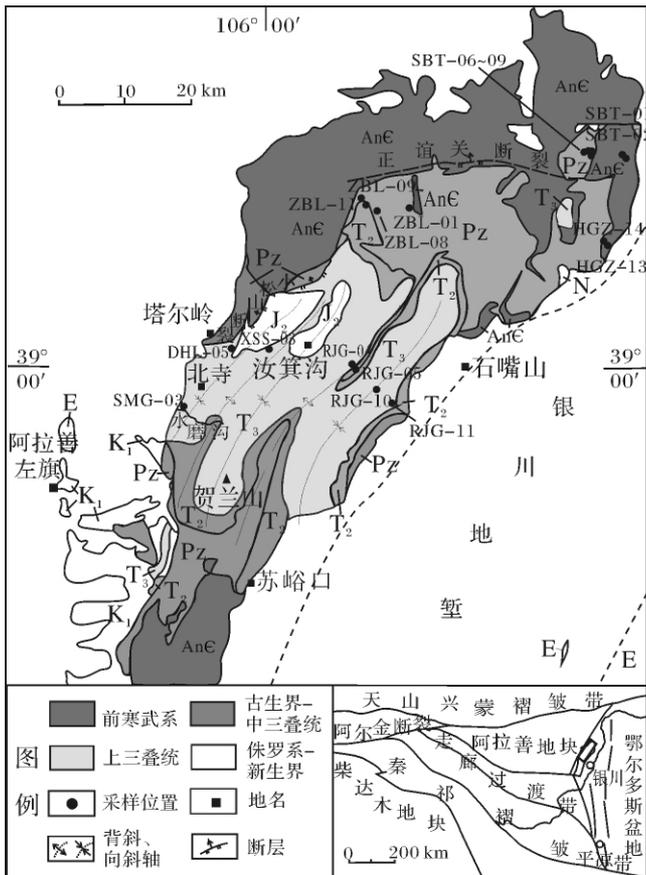


图1 贺兰山北段地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the north of Helan Mountain

1.2 贺兰山北段晚三叠世沉积特征

贺兰山北段晚三叠世延长组各段呈北东东向的

胶结物以灰白、紫红色砂质、泥质为主。砾石最大砾径 15 cm,磨圆中等—差,分选差。推测紫红色砂岩砾石来自二叠系石千峰组,灰岩砾石可能来自古生代地层(寒武系或奥陶系)。厚层砾岩中夹少量含砾粗砂岩。砾岩层由沟口向里呈现由粗—细—粗的多个旋回,最终过渡为延长组三段的灰黄、灰绿色硬砂质长石砂岩,夹页岩、粉砂岩。

在水磨沟水库北侧向东延伸,砾岩中出现了花岗岩砾石,而其在贺兰山晚三叠世砾岩中很少见,由于该花岗岩砾岩分布范围很有限,故推测应该来源于西部的阿拉善地块,可能由于部分断块的活动而出露地表遭受剥蚀。该花岗岩砾石虽已经部分发生蚀变,但仍可见其结晶程度较好,故此距离物源区较近。

据阿拉善左旗幅 1:20 万区域地质报告,水磨沟延长组第一段主要为黄绿色厚层砾岩夹少量中厚层—厚层中—粗粒长石质硬砂岩,中厚层含砾细粒长石石英砂岩。砾岩中砾石约占 70%~80%,主要由磨圆度较好的石英岩、石英砂岩组成,砾径 5~15 cm,胶结物为泥砂质^[21]。表明水磨沟延长组为近物源沉积,且后期(第二段)距离物源区更近。

(4) 汝箕沟砾岩

出露延长组第一段的砾岩,砾石分选和磨圆较好,砾序层理清晰,可见叠瓦状排列的砾石。砾石层厚度约 5 m,砾径大部分小于 5 cm。砾岩以灰白色石英岩砾石为主(82%),砂岩砾石次之(18%),灰绿色砂质胶结。该套砾岩磨圆较好,砾径较小,表明此处距离物源较远。与水磨沟第一段砾岩相比,砾岩具有由西向东砾度变小的特点。同时,汝箕沟砾岩中的叠瓦状砾石显示了由西(北)向东(南)的古水流,故推测该时期物源应该来自贺兰山西北部。而砾石中石英岩的大量出现,表明物源可能为阿拉善地区的变质岩系。

2.2 古流向分析

对贺兰山晚三叠世延长组的古流向,前人做了较多的研究^[11,22~24]。本次研究在汝箕沟测得一系列的斜层理、叠瓦状砾石及层面波痕的产状,进行了整理和校正,并结合前人资料,编绘了古流向玫瑰花图(图2)。由图可见,贺兰山地区晚三叠世的古流向继承了中三叠世的趋势,整体为由西向东和由西北向东南流动。该方向与鄂尔多斯盆地西缘的石沟驿、磁窑堡等地的古流向具有一致性,表明其具有共同的北西方向物源。

2.3 稀土元素分析

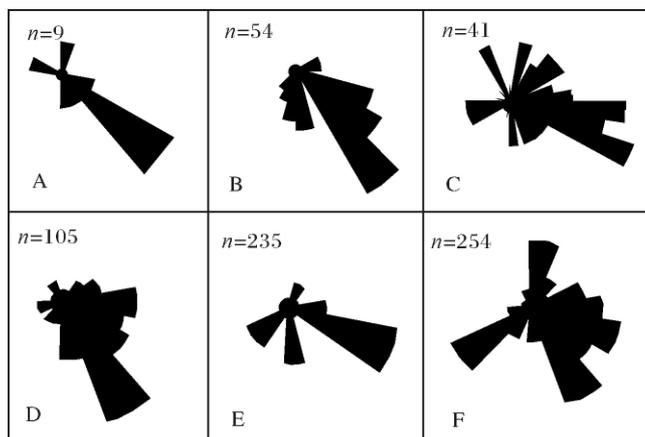


图2 贺兰山汝箕沟三叠纪古流向分析图
(D为中三叠世,其余均为晚三叠世;B据文献[22],修改;
C据文献[23],修改;D—E据文献[24],修改)

Fig. 2 Triassic paleocurrent direction directions in Helan Mountains

沉积岩中稀土元素含量的差异主要是由源区化学风化作用或搬运和沉积过程中的交换反应所造成的,稀土分布模式从源岩到沉积物没有明显的变化^[25~27]。REE及一些微量元素比值在沉积和变质作用过程中也具有较强的抗迁移性,因此它们被转移到沉积物中而反映了母岩的地球化学学习性^[28],是很好的物源指示剂^[25,29~31]。碎屑岩的稀土元素特征主要受控于其物源区岩石组成,可代表物源区源岩的稀土特征。

本次在贺兰山地区分别采集了晚三叠世延长组、前寒武纪和寒武纪—中三叠世地层(共19块)样品进行了主微量元素测试分析,样品均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。主微量元素测试仪器为ELAN6100DRC等离子质谱仪(ICP—MS),分析数据均通过国际标样(BHVO-2,AGV-2和GSP-1)的质量监控得到保障。同时收集了前人的部分测试数据^[32,33]统一进行了分析。

晚三叠世延长组稀土含量呈现出很强的一致性,轻稀土富集,重稀土亏损,呈现右倾型,具有Eu负异常(图3a)。 ΣREE 为121.5~235.8 $\mu\text{g/g}$,平均为179.8 $\mu\text{g/g}$ 。LREE含量为(111.9~213.7) $\mu\text{g/g}$,平均值为163.1 $\mu\text{g/g}$,HREE含量为(9.58~22.10) $\mu\text{g/g}$,平均值为16.71 $\mu\text{g/g}$ 。其中 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=9.34\sim12.99$,平均为11.13; $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}=7.25\sim10.37$,平均为8.58; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=3.75\sim4.67$,平均为4.15。 $\delta\text{Eu}=0.48\sim0.93$, $\delta\text{Ce}=0.95\sim1.01$ 。

晚三叠世延长组地层Gd/Yb比值为1.89~

2.49, 平均为 2.16, 反映物源主要来自太古代地层, 其中 XMG-03 样品的 Gd/Yb 比值 (1.89) 小于 2.0, 反映该地区可能有来自后太古代的物源。而前文所述的水磨沟砾岩的砾石成分分析也表明, 其物源可能部分为古生代地层 (寒武—奥陶纪的灰岩和二叠纪石千峰组的砂岩), 两者的结论相一致。

晚三叠世延长组 (图 3a) 与前寒武纪基底岩石的稀土元素的分布模式 (图 3b) 显示两者具有较强的一致性 (尤其是贺兰山群的变质岩), 均为轻稀土富集, 重稀土亏损的右倾模式, 具有 Eu 的负异常, 反映其物源可能为贺兰山西北部贺兰山群的片麻岩和变粒岩。

同时, 与贺兰山前晚三叠世地层相比较, 两者稀土配分模式也具有较好的一致性 (图 3c)。故贺兰山前晚三叠世地层可能在一定程度上也为晚三叠世沉积提供了物源, 这从与前述不同地区出现的可能来自古生界的紫红色砂岩砾石、灰岩砾石等分析结果相一致。结合贺兰山西北部阿拉善地块 (巴音诺尔公地区) 海西晚期—印支期露头花岗岩的稀土元素分析 (图 3d) [33], 可见两者的相似性很好。

2.4 砂岩锆石测年

通过对汝箕沟晚三叠世砂岩样品的锆石 U—Pb 测年表明 [23], 75% 的锆石表面年龄集中在 1 821 ~ 2 577 Ma, 19.4% 的表面年龄 254 ~ 322 Ma, 其分别与

西北部阿拉善—兴蒙造山带太古—古元古代变质岩、岩浆岩和阿拉善北缘陆缘弧区早印支期、华力西期的岩浆岩有关。而贺兰山群的砂线石榴黑云二长片麻岩锆石测年显示, 其 90% 的碎屑锆石年龄集中在 1.9 ~ 2.1 Ga [19], 与汝箕沟晚三叠世锆石的年龄峰值具有较好的一致性。

2.5 晚三叠世沉积趋势分析

贺兰山沉积环境分析表明, 晚三叠世延长组沉积西粗东细, 自西向东砾径明显变细; 由砾岩到砂岩再到暗色泥岩逐渐过渡。结合区域晚三叠世沉积环境, 反映水体由西向东有加深的趋势。在层位上由下向上粒度变细, 由冲积扇向上部逐渐变为河流—湖泊相。假如存在所谓的“银川古隆起”, 应存在由隆起所在位置向东西两方向提供物源, 应该在贺兰山东部出现砾岩且砾径向西逐渐变细, 即在“古隆起”东西两方向上的砾径和沉积相的递变规律。但在贺兰山东部靠近银川地堑地区并未发现粗砾碎屑物沉积, 同时银川地堑东部钻井相应层位中也未见到粗粒相沉积, 故表明“银川古隆起”在晚三叠世尚未形成。

2.6 其他物源指示证据

已有研究表明, 鄂尔多斯盆地西部石沟驿地区的古流向也为自西北向东南, 与贺兰山汝箕沟地区具有较好的一致性, 锆石 U—Pb 年龄峰值相似性很好, 重矿物标型特征及沉积相分析显示两地区同属于盐定

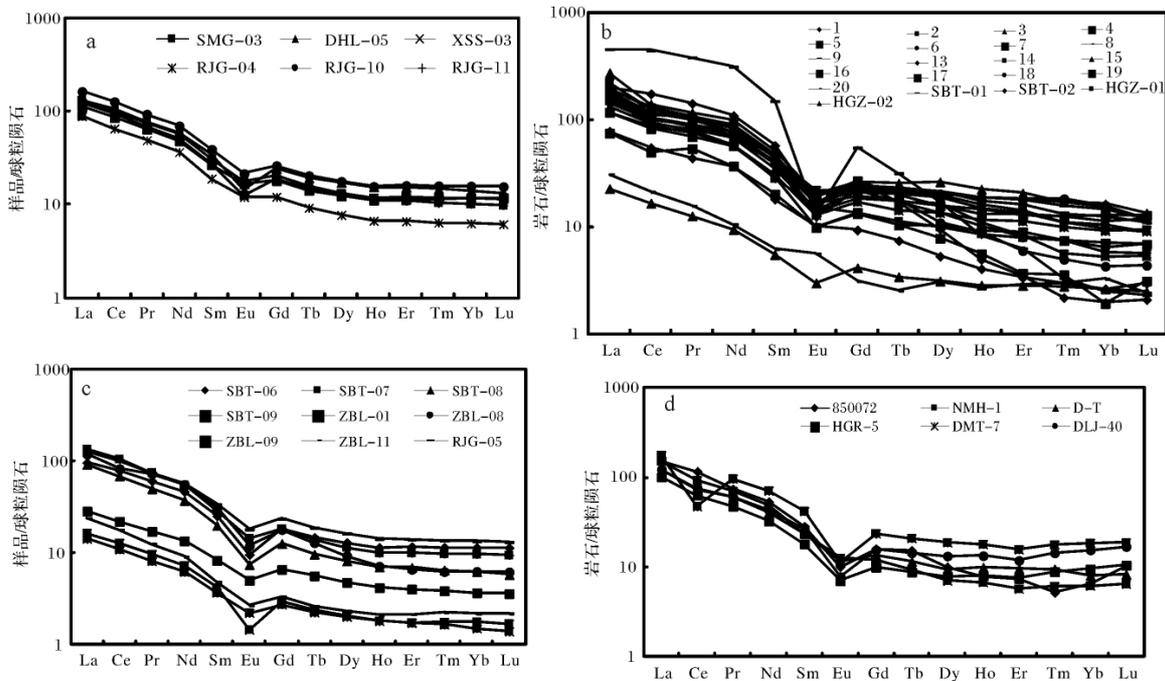


图3 贺兰山及邻区样品稀土元素分布图

a. 上三叠统; b. 前寒武系 (部分数据据文献 [32]); c. 寒武系—中三叠统; d. 海西—印支期花岗岩 (据文献 [33])

Fig. 3 Distribution patterns of rare earth elements in samples from Helan Mountains and adjacent areas

古河流道的一部分,为同一物源组合区^[10,34]。穿过银川地堑的地震剖面显示,其东部晚三叠世地层向银川地堑方向为削截接触关系,表明晚三叠世并没有隆升,更不可能作为贺兰山晚三叠世沉积物源区。

贺兰山不同时期地层的裂变径迹年龄显示,贺兰山东部地区抬升较晚,最早的抬升年龄为晚侏罗世^[35]。同时,在小松山和汝箕沟地区分别具有252.0 Ma和253.3 Ma的锆石裂变径迹年龄^[36],均大于其所寄地层(中侏罗世和晚三叠世)年龄,指示其物源区在二叠纪末发生过构造热事件,可能已经抬升冷却,为贺兰山地区中生代沉积提供物源,这与区域地质背景相吻合。这些共同表明贺兰山晚三叠世西北部存在物源区。

3 结论与讨论

通过贺兰山晚三叠世延长组沉积趋势、砾岩组分、古流向、地球化学和锆石测年等物源分析方法综合运用,指出其物源来自西北部,不存在东部物源,即“银川古隆起”不存在。贺兰山西部距离物源近,沉积地层厚度大、沉积粒度粗,向东部逐渐减薄,粒度变细。物源主要为阿拉善—兴蒙造山带太古代—古元古代变质岩和岩浆岩,部分为周邻寒武纪—早中三叠世沉积岩及岩浆岩。

晚三叠世贺兰山西北部物源区受兴蒙造山带和阿拉善地块演化的共同影响,其形成具有一定的区域背景,但由于物源区构造演化的多阶段性和复杂性,导致不同地区的物源可能有一定的差别,有待于进一步的年代学和地层学资料来精细刻画物源的时空演化模式。

参考文献 (References)

- 魏红红,李文厚,邵磊,等. 汝箕沟盆地上三叠统延长组沉积环境[J]. 西北大学学报, 2001, 31(2): 171-174 [Wei Honghong, Li Wenhong, Shao Lei, et al. Sedimentary environment of Yanchang formation of the Upper Triassic in Ruqigou basin[J]. Journal of Northwest University, 2001, 31(2): 171-174]
- 张进,李锦铁,马宗晋,等. 贺兰山三叠纪盆地构造属性再分析[J]. 地质学报, 2009, 83(9): 1233-1246 [Zhang Jin, Li Jingtie, Ma Zongjin, et al. The tectonic setting of the Triassic basin in the Helanshan Mt[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(9): 1233-1246]
- Liu Shaofeng. The coupling mechanism of basin and orogen in the western Ordos Basin and adjacent regions of China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1998, 16(4): 369-383
- 叶连俊. 华北地台沉积建造[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 110-128 [Ye Lianjun. Sedimentary Buildings in North China Block[M]. Beijing: Science Press, 1983: 110-128]
- 柯保嘉,陈昌明,陈志明,等. 鄂尔多斯盆地西缘砾质冲积扇沉积学特征[J]. 沉积学报, 1991, 9(3): 11-21 [Ke Baojia, Chen Changming, Chen Zhiming, et al. Sedimentology of gravelly alluvial fans on the western margin of late Triassic, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(3): 11-21]
- 孙国凡. 贺兰山南北向构造带的形成发展及含油气性[J]. 石油实验地质, 1980, 2(4): 11-17 [Sun Guofan. Development and petroleum features of the South-North structure belt in Helan Mountains[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1980, 2(4): 11-17]
- 孙国凡,刘景平. 贺兰坳拉槽与前渊盆地及其演化[J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 236-245 [Sun Guofan, Liu Jingping. Helan aulacogen and front basin and their evolution[J]. Oil & Gas Geology, 1983, 4(3): 236-245]
- 王锋,刘池洋,赵红格,等. 贺兰山盆地与鄂尔多斯盆地的关系[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 15-17, 22 [Wang Feng, Liu Chiyang, Zhao Hongge, et al. Relationship between Helanshan Basin and Ordos Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 27(4): 15-17, 22]
- 刘池洋,赵红格,桂小军,等. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及成藏(矿)效应[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617-638 [Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 617-638]
- 赵文智,王新民,郭彦如,等. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世原形盆地恢复及其改造演化[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 6-13 [Zhao Wenzhi, Wang Xinmin, Guo Yanru, et al. Restoration and tectonic reworking of the Late Triassic basin in western Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 6-13]
- Ritts Bradley D, Andrew D Hanson, Brian J Darby, et al. Sedimentary record of Triassic intraplate extension in North China: evidence from the nonmarine NW Ordos Basin, Helanshan and Zhuozishan[J]. Tectonophysics, 2004, 386: 177-202
- 白云来,王新民,刘华清,等. 鄂尔多斯盆地西部边界的确定及其地球动力学背景[J]. 地质学报, 2006, 80(6): 792-813 [Bai Yunlai, Wang Xinmin, Liu Huaqing, et al. Determination of the border line of the Western Ordos Basin and its geodynamics background[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(6): 792-813]
- 苏春乾,杨兴科,刘继庆,等. 从贺兰山区的三叠—侏罗系论国内前陆盆地的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 24(4): 318-326 [Su Chunqian, Yang Xingke, Liu Jiqing, et al. A study of foreland basins in the light of Triassic-Jurassic strata of the Helan Mountain[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2004, 24(4): 318-326]
- 宁夏地质局区域地质调查队. 石咀山市幅 1:200000 区域地质调查报告[R]. 1982 [The Regional Geological Survey Team of Geological Bureau of Ningxia. 1:200000 Regional Geological Maps and Instruction of Shizuishan[R]. 1982]
- 宁夏回族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 15: 152-153 [Regional Geology of Ningxia Hui Autonomous Region[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1990: 15: 152-153]
- 董春艳,刘墩一,李俊建,等. 华北克拉通西部孔兹岩带形成时

- 代新证据: 巴彦乌拉—贺兰山地区锆石 SHRIMP 定年和 Hf 同位素组成[J]. 科学通报, 2007, 52(16): 1913-1922 [Dong Chunyan, Liu Dunyi, Li Junjian, *et al.* New evidences about the formation age of the khondalite belt in west North Craton: from the zircon SHRIMP dating and Hf isotopic composition in Bayanura and Helan Mountain region [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(16): 1913-1922]
- 17 耿元生, 周喜文, 王新社, 等. 内蒙古贺兰山地区古元古代晚期的花岗岩浆事件及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1830-1842 [Geng Yuansheng, Zhouxiwen, Wang Xinshe, *et al.* Late-Paleoproterozoic granite events and their geological significance in Helanshan area, Inner Mongolia: Evidence from geochronology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(8): 1830-1842]
- 18 周喜文, 耿元生. 贺兰山孔兹岩系的变质时代及其对华北克拉通西部陆块演化的制约[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1843-1852 [Zhou Xiwen, Geng Yuansheng. Metamorphic age of the khondalite series in the Helanshan region: evolution of the western block in the North China Craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(8): 1843-1852]
- 19 校培喜, 由伟丰, 谢从瑞, 等. 贺兰山北段贺兰山岩群富铝片麻岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及区域对比[J]. 地质通报, 2011, 30(1): 26-36 [Xiao Xipei, You Weifeng, Xie Congrui, *et al.* LA-ICP-MS U-Pb detrital zircon geochronology of alumina-rich gneiss of the Helanshan complex-group in the northern segment of Helanshan Mountains and regional comparison [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(1): 26-36]
- 20 王建强, 贾楠, 刘池洋, 等. 鄂尔多斯盆地西南部下白垩统宜君组砾岩砾组分析及其意义[J]. 沉积学报, 2011, 29(2): 226-234 [Wang Jianqiang, Jia Nan, Liu Chiyang, *et al.* Fabric analysis of Yijun gravels of Lower Cretaceous in the Southwestern Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(2): 226-234]
- 21 宁夏地质局区域地质调查队. 阿拉善左旗幅 1:200000 区域地质调查报告[R]. 1982 [The Regional Geological Survey Team of Geological Bureau of Ningxia. 1:200000 Regional Geological Maps and Instruction of Alxa Zuoqi [R]. 1982]
- 22 李元昊. 鄂尔多斯盆地西部中区延长组下部石油成藏机理及主控因素[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2008 [Li Yuanhao. The oil reservoir forming mechanisms and its main controlling factors of the lower Yanchang formation in the middle of the west Ordos Basin [D]. Xi'an: Dissertation of Northwest University, 2008]
- 23 张义楷. 鄂尔多斯西缘中生代构造体制转换与油气聚集[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2007 [Zhang Yikai. Transition of the Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and hydrocarbon accumulation in western Ordos Region [D]. Xi'an: Dissertation of Northwest University 2007]
- 24 王锋. 贺兰山中段中生代构造环境分析[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2007 [Wangfeng. Analysis of Mesozoic tectonic environment in the middle part of Helan Mountain [D]. Xi'an: Dissertation of Northwest University, 2007]
- 25 Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution: An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985
- 26 Condie K C. Another look at rare earth elements in shales [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55: 2527-2531
- 27 Huertas M O, Palomo I, Moresi M, *et al.* A mineralogical and geochemical approach to establish a sedimentary model in a passive continental margin Sabetic Zone, Betic Cordilleras, Sepein [J]. Clay Minerals, 1991, 26: 389-407
- 28 邵磊, 朱伟林, 吴国璋, 等. 渤中凹陷及周边地区沉积岩若干稀土元素特征[J]. 同济大学学报, 2001, 29(6): 662-665 [Shao Lei, Zhu Weilin, Wu Guoxuan, *et al.* Characteristic of some trace elements of sedimentary rock from the Bozhong and neighbor areas, Bohai-Gulf Basin [J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(6): 662-665]
- 29 Pearce J A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins [M] // Hawkesworth C J, *et al.* eds. Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva, Nantwich, 1983: 230-249
- 30 McLennan S M, Taylor S R. Geochemical evolution of Archean shales from South Africa I: The Swaziland and Pongola Supergroups [J]. Precambrian Research, 1983, 22: 93-124
- 31 Crichton J G, Condie K C. Trace elements as source indicators in Cratonic sediments: A case study from the Early Proterozoic Libby Creek group, southeastern Wyoming [J]. The Journal of Geology, 1993, 101: 319-332
- 32 胡能高, 杨家喜. 贺兰山群变质岩的地球化学特征[J]. 矿物学报, 1995, 15(1): 104-110 [Hu Nenggao, Yang Jiayi. Geochemical characteristics of the Helanshan Group metamorphic rocks [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1995, 15(1): 104-110]
- 33 王廷印, 高军平, 王金荣, 等. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用[J]. 地质学报, 1998, 72(2): 126-137 [Wang Tingyin, Gao Junping, Wang Jinrong, *et al.* Magmatism of collisional and post-orogenic period in Northern Alaxa Region in Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(2): 126-137]
- 34 杨华, 田景春, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地三叠纪延长组沉积期湖盆边界与底形及事件沉积研究[M]. 北京: 地质出版社, 2009 [Yang Hua, Tian Jingchun, Wangfeng, *et al.* Research of the Lake Boundary, Bottom Topographic and Event Deposits during Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009]
- 35 赵红格, 刘池洋, 王锋, 等. 贺兰山隆升时限及其演化[J]. 中国科学, 2007, 37(增刊 I): 185-192 [Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Feng, *et al.* Uplift and evolution of Helan Mountain [J]. Science in China: Series D, 2007, 37(Suppl. I): 185-192]
- 36 赵红格. 鄂尔多斯盆地西部构造特征及演化[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2003 [Zhao Hongge. Structural characteristics and evolution in Western Ordos Basin [D]. Xi'an: Dissertation of Northwest University, 2003]

Analysis of Late Triassic Sedimentary Provenance in the North of Helan Mountain

ZHAO Hong-ge LIU Chi-yang WANG Hai-ran QIAO Jian-xin WANG Jian-qiang FENG Xiao-bo
(Geology of Northwest University, State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Xi'an 710069)

Abstract: Based on the sedimentary and tectonic background of the north of Helan Mountains, the paper discussed the features of the provenance through comprehensive analysis of the conglomerate component and gravel features, paleo-current direction, rare earth element, zircon dating and sedimentary trending. The conglomerate at the bottom of Upper Triassic mainly distributed in four different areas of Taerlin, Beisi, Shuimogou and Rujigou in Helan Mountain shows that the gravels were composed of quartzite, quartz sandstone, carbonate and granite.

Paleocurrent data from various researchers reveal that the main current direction was northwestwards which meant the river flowed from the northwest to the southeast in Triassic. And there was a successive paleo-current direction throughout the Triassic. The result is also closely consistent to the paleocurrent in Shigouyi and Ciyaobao area in the west margin of Ordos Basin and they all indicate that there was a common provenance from the northwest. The rare earth element in sandstone can also give certain clues of the provenance. Nineteen samples were chosen to detect the quantity of rare elements from the Upper Triassic, Pre-Cambrian and Cambrian to Middle Triassic. The paper also collects other rare element data of the gneiss and granulite of Helanshan Group in the northwest margin of Helan Mountain and of the granite formed during Hercynian to Indosinian period to the west of Helan Mountains. This pattern is almost the same as that in strata from Cambrian to Mid-Triassic and Pre-Cambrian as well as the granite formed between Hercynian and Indosinian period, which supports that the provenance is from the corresponding rocks formed earlier than Late Triassic. The age peaks of the U-Pb dating of zircon show the provenance of Late Triassic is related to the metamorphic rock in Archean and Paleoproterozoic and also the magnetic rock during Hercynian and Indosinian period.

Meanwhile, sedimentary environment analysis indicates that the gravels become smaller and sedimentary facies turns from alluvial fan, fluvial to lake from the west to the east of Helan Mountains. This proves that the Yinchuan Paleouplift did not appear in Late Triassic. Therefore the eastward provenance does not exist in Late Triassic of Helan Mountains.

The paleo-current data, heavy minerals and zircon U-Pb dating in Shigouyi area of the west of Ordos Basin suggest a similar provenance with Helan Mountains in direction and rock feature in Late Triassic. The fission track analysis shows that the uplift age of the whole Helan Mountains is later than Late Triassic. Two zircon fission track ages are 252Ma and 253Ma, older than the strata (Mid-Jurassic and Late Triassic) from which they were chosen, which might propose that the provenance area had gone through the structure and thermal event and had been uplift in the late of Permian to supply major sedimentary source for Mesozoic.

It is concluded that there is no east provenance and main northwest provenance in the north part of Helan Mountains. The provenance is predominant the metamorphic rocks (such as Helan Group and Alxa Group) and magmatic rocks from Alxa block and Xing'anling Mongolian Orogenic Belt in Archean and Paleoproterozoic. Several sedimentary and magmatic rocks rolled into the old orogenic belt partly provide the Late Triassic provenance. Meanwhile there are multiple provenances with various tectonic reformations and restoration of the model of the provenance evolution is significant to the evolution of the periphery orogenic belt and blocks.

Key words: Late Triassic, provenance analysis; conglomerate component; rare earth element; northwest provenance, metamorphic rocks