

鄂尔多斯延长探区本溪组物源及沉积体系分析

林 进^{1,2} 李 云^{1,2} 何 剑¹

(1. 延长石油集团油气勘探公司, 陕西 延安 716000; 2. 西北大学地质系, 陕西 西安 710069)

摘要: 本文通过对钻井岩心、野外露头样品及薄片观察描述以及阴极发光、分析化验资料的综合应用, 从矿物组分及成因类型、古水流特征、稀土元素的富集规律等方面对鄂尔多斯延长探区本溪组物源方向进行了综合判定, 在此基础上对沉积相分布及演化进行了分析。研究表明, 延长探区石炭系本溪组砂岩颗粒自北向南具有粒度由粗变细、磨圆度由低变高的趋势; 石英组分阴极发光类型以暗褐色、浅-深棕色为主, 具变质岩型成因类型; 岩屑组分以变质岩岩屑为主, 达 85.1%; 野外露头古水流方向测量结果显示出其具有北部、东北→南部、西南方向的趋势; 稀土元素的分配规律与盆地东北缘大青山古陆类似。综合判定研究区本溪组物源主要来自北部的阴山—阿拉善古陆。晚石炭世本溪组本 2 期为鄂尔多斯地区上古生界沉积发育史的一个重要转折, 研究区受区域上缓慢沉降海水自东部侵入的影响, 形成了浅海泥质陆棚、障壁岛—潟湖及潮坪沉积体系; 本 1 期整体面貌与本 2 期类似, 受进一步海侵影响, 泥质陆棚及潟湖面积有所扩大; 砂体连通性平行海岸线方向好。

关键词: 物源分析; 沉积; 本溪组; 石炭系; 延长探区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P534.45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1542-10

物源分析是含油气盆地分析的重要组成部分, 它可以很好地确定物源区位置、性质、沉积物搬运路径, 再现盆地沉积演化、恢复古沉积环境, 在原盆地恢复、古地理再造、限定造山带的侧向位移量、确定地壳的特征、验证断块或造山带演化模型、绘制沉积体系图进行井下地层对比以及评价储层的品质方面都起到重要作用^[1-8]。物源分析方法有多种, 如重矿物分析法、碎屑岩类分析法、裂变径迹法、同位素法和地球化学法等, 这些方法相辅相成^[9,10]。近年来, 电子探针、质谱分析、阴极发光等先进技术在物源分析中的广泛应用, 以及各种沉积, 如根据矿物和自生矿物的发光特征, 可分析其母岩性质, 判断其物源方向, 进而分析其环境; 另外, 构造、地震、测井等地质方法与化学、物理、数学等学科的应用及相互结合, 使得物源分析已发展成为多方法、多技术、多手段的综合性研究领域, 物源判定也更具说服力^[11-16]。

鄂尔多斯盆地东部伊陕斜坡自 2003 年天然气勘探以来, 在石炭系本溪组试气多口井获得工业气

流, 最高无阻流量达 $150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 是研究区主要勘探目的层系之一。但目前对该区本溪组物源方向的研究相对较滞后, 限制了沉积体系及相带、砂体规模及平面展布格局的研究精度, 并在一定程度上制约了该区油气勘探的进度。本文结合周缘古陆特征(母岩性质), 通过对碎屑岩的岩石类型、轻、重矿物及其组合、阴极发光、古流向等标志对研究区石炭系本溪组沉积物的物源问题进行综合研究。

1 区域地质概况及盆地周缘古陆特征

鄂尔多斯盆地可分为伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、陕北斜坡、天环拗陷及西缘冲断构造带六个一级构造单元^[17], 研究区主体位于鄂尔多斯盆地东部伊陕斜坡上, 面积为 $1.07 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。研究区受整个鄂尔多斯盆地沉积、构造演化的影响, 上古生界主要发育了二叠系上统石千峰组、中统石盒子组及下统山西组、太原组和石炭系上统的本溪组, 目的层本溪组自下而上划分为本 2 段及本 1 段^[18-22], 该

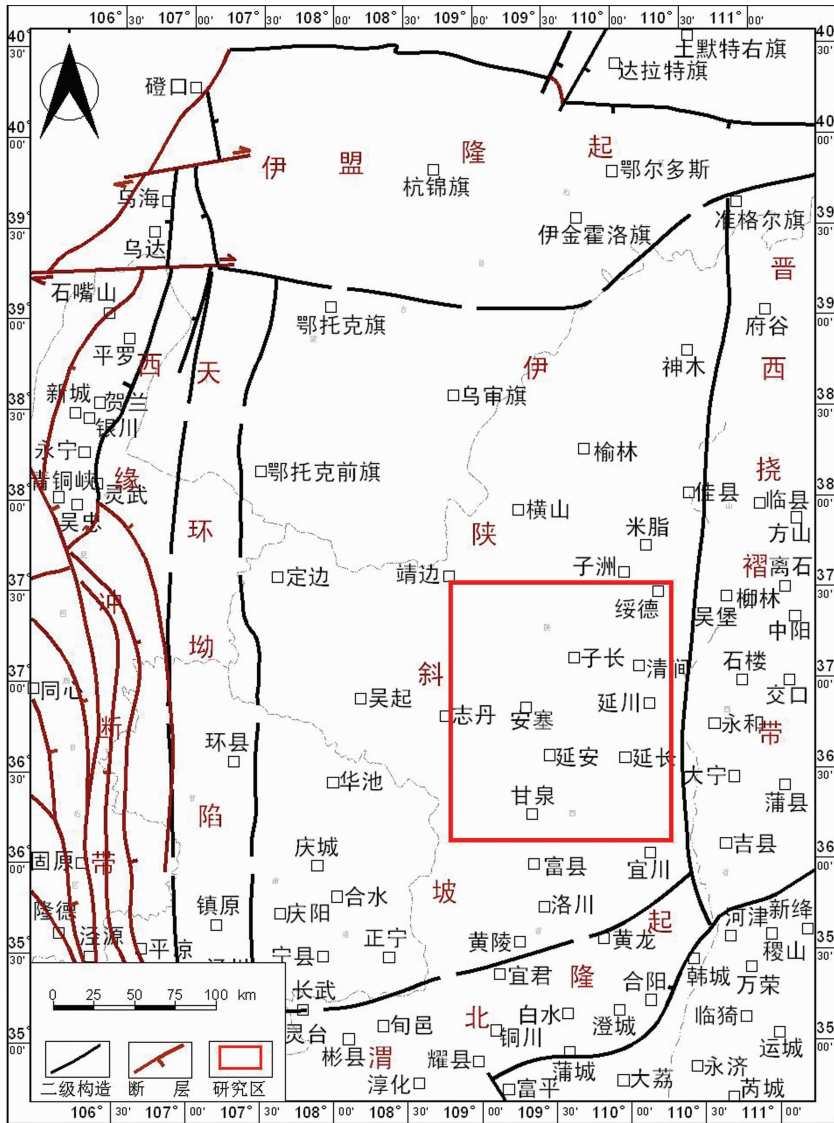


图 1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

组因沉积基础为加里东期奥陶系侵蚀风化地貌,故沉积具填平补齐性质,沉积厚度主要受古地貌控制,低凹处一般沉积较厚,高地部位沉积较薄或缺失,总体呈现出东厚西薄的趋势,一般为 10~60 m。

鄂尔多斯盆地周缘地区古老地层及其结晶基底主要为太古界、元古界的各类变质岩-火山岩-沉积岩组成的多套古老变质岩系,元古宙以后长期处于剥蚀隆起地区,形成盆地北部的阴山-阿拉善古陆,南部的祁连-北秦岭古陆和西南部的六盘山古陆。盆地北部物源区主要由太古界的集宁群、千里山群、乌拉山群及元古界的色尔腾山群、阿拉善群、二道凹群、白云鄂博群等前寒武系结晶变质岩系组成;NW

方向为新太古界和元古宇的黑云-斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩等组成的变质岩系和沉积岩系;NE 方向为元古宇、古太古界的石榴片麻岩、黑云斜长片麻岩、麻粒岩、长石石英岩、变粒岩、绿片岩等组成的变质岩和火山岩系,并经历了不同程度的花岗岩化和混合岩化作用。盆地南缘剥蚀古陆形成于加里东运动时期,并长期处于隆起剥蚀状态,其中太古界是以太华群、阜平群、集宁群、贺兰山群和下阿拉善群为代表的中深变质、强烈岩浆活动和混合岩化的复杂变质岩系;新元古界是由五台-滹沱群、铁洞沟组、秦岭群、赵池沟组 and 上阿拉善群,以及中、新元古界宽坪群、陶湾群和海原群组

成的一套变火山-沉积岩系。源区母岩类型及区域构造演化不同导致了盆地不同地区、不同层位岩石类型和成分的差异(图2)。

2 矿物特征与物源分析

砂岩中碎屑物质来源于母岩机械破碎的产物,是物质来源的重要识别标志。统计表明,研究区砂岩中以石英为主,占95%,其次为岩屑,占3.5%,长石含量仅1.5%。砂岩自北向南具有粒度由粗变细、磨圆度由低变高的趋势(图3),表明研究区沉积物可能来自北部。

阴极发光技术可用于判定岩石来源,并进一步判定其形成环境^[23-25]。通过对研究区10口探井和2条野外剖面制备的74块阴极发光薄片观察表明(图4),发紫色-紫色光、蓝色光、暗褐色-深棕色光、浅棕色光、不发光的碎屑岩中石英含量分别为6.5%、39.7%、38.3%、12.3%和3.2%,表明石英成因类型以变质成因为主,其次为火成岩型,沉积岩型少并以燧石

为主,表明研究区大部分陆源碎屑中石英组分来源于盆地北缘地区的古老结晶基底岩系。根据岩石薄片资料统计,研究区本溪组砂岩中岩屑组分主要以变质岩岩屑为主,平均含量高达85.1%;其次为云母及火成岩岩屑,平均含量分别达到7.2%和5.2%,沉积岩岩屑和燧石极少见,仅占岩屑总量的2.1%和0.5%,研究区的岩屑类型特征说明其来源与古陆出露前寒武系杂岩系的岩性有关。

3 古流水特征与物源分析

结合区域特征,从北向南选取了能够覆盖研究区不同方向,不同物源的6条野外露头剖面,即磁窑沟、旧县、海则庙、贾家崓、扒楼沟、关家崖,分析了各剖面中砾石最大扁平面的排列方向、波痕、槽模、交错层理等能够反映古水流方向的沉积构造。结果显示,盆地东部本溪组的古水流方向多为由海则庙-磁窑沟一带向南经贾家崓至扒楼沟方向(图5),这说明在上古生界砂岩沉积时,该地区为南倾的古地

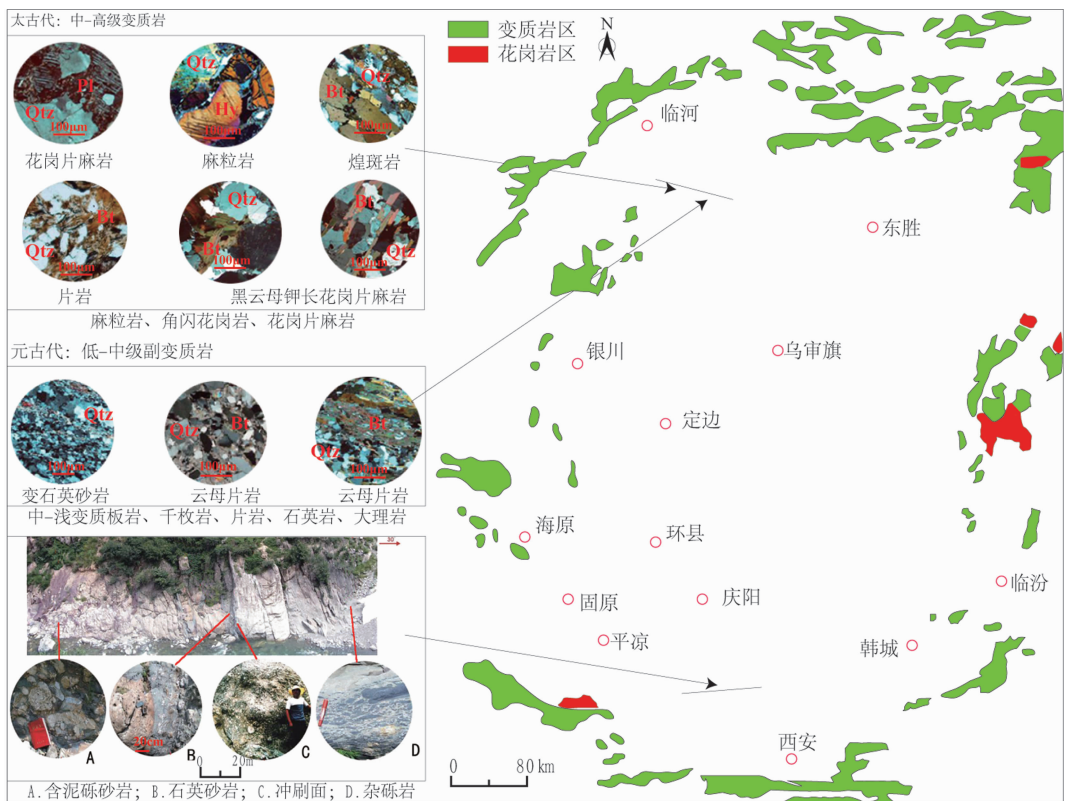


图2 鄂尔多斯盆地及周缘结晶基底露头及岩石类型分布图

Pl—斜长石; Qtz—石英; Hy—紫苏辉石; Bt—黑云母

Fig.2 Distribution of crystalline basement outcrop and rock types in Ordos Basin and Its vicinities

Pl—Plagioclase; Qtz—Quartz; Hy—Hypersthene; Bt—Biotite

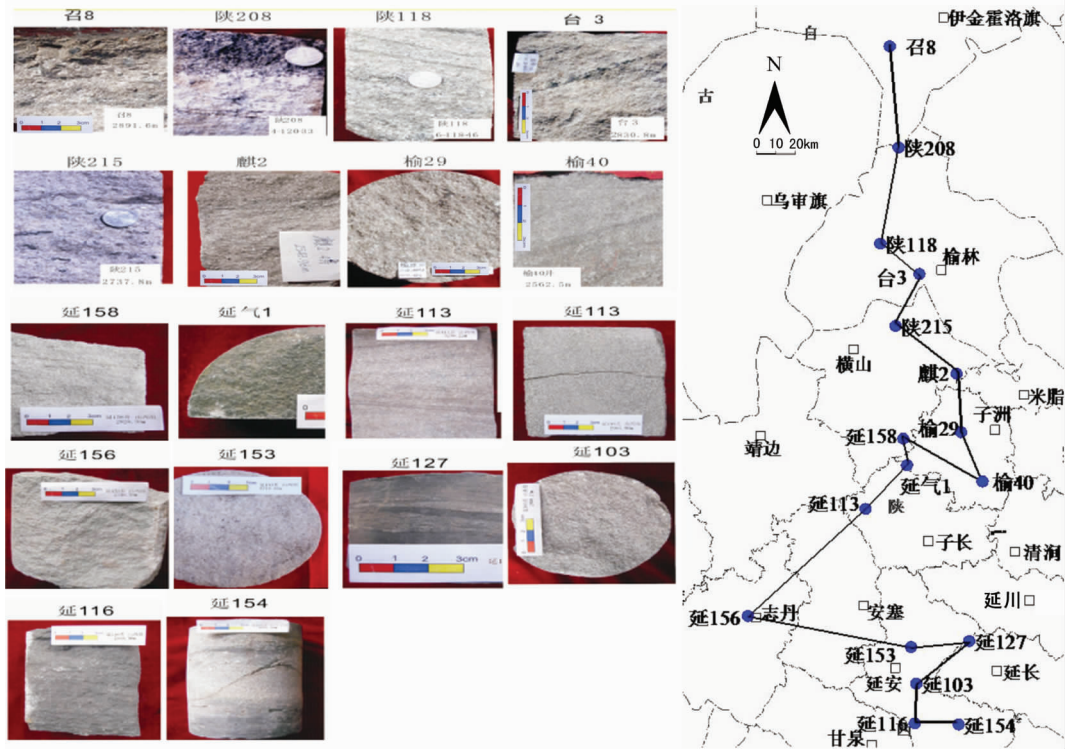


图 3 研究区不同位置砂岩类型及特征分布图

Fig.3 Profile of sandstone types and features at different sites

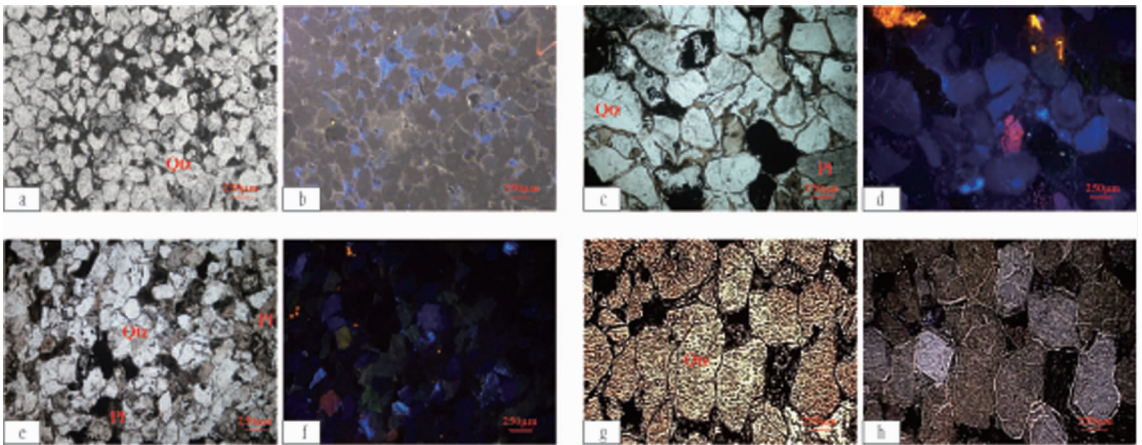


图 4 鄂尔多斯延长探区本溪组典型岩石阴极发光照片

a, b—延 223 井, 2456.31~2456.36 m, 砂岩, 石英主要发暗光, 少量发蓝紫色光; 粒间自生高岭石胶结物发靛蓝色光; 常见石英次生加大, 加大边发深棕色光; 粒间少量铁白云石不发光; c, d—延 125 井, 2787.52~2787.57 m, 砂岩, 岩石胶结致密, 石英发蓝色光, 石英次生加大发育, 长石发暗红色光, 可见碳酸盐矿物呈团块状, 发橙黄色光; e, f—延 125 井, 2746.41~2746.46 m, 砂岩, 岩石致密, 石英发蓝色光, 石英次生加大发育, 长石发暗红色、褐色、蓝绿色光, 碳酸盐零星分布, 发橙黄色光; g, h—延 150 井, 2487.26~2487.31 m, 砂岩, 石英发蓝色-蓝紫色, 或浅棕色-褐色光, 部分蓝色石英发光相对较亮; 发育次生加大边、破裂愈合缝, 自生部分不发光; 有高岭石胶结零星分布, 发靛蓝色光; Pl—斜长石; Qtz—石英

Fig.4 Cathodoluminescence images of typical rocks in Benxi Formation

a, b—Y223, 2456.31~2456.36 m, sandstone, most of the quartzite stones assume dark light, while a small part of it shows blue violet light; the intergranular authigene kaolinite cements have indigo blue light; the common quartzite stone is regenerated, and the regenerated side has dark brown light; there is a little intergranular ankerite assuming no light. c, d—Y125, 2787.52~2787.57 m, sandstone, massively cemented; the quartzite stone has blue light, getting regenerated and the regenerated parts have dark red light; the carbonate minerals are in the shape of lumps, having orange color. e, f—Y125, 2746.41~2746.46 m, sandstone, massively cemented; the quartzite stone has blue light, getting regenerated and the regenerated parts have dark red, brown, blue green light; the carbonate minerals are randomly distributed, having orange color. g, h—Y150, 2487.26~2487.31 m, sandstone, its quartzite stone glows between blue and blue violet, or between light brown and brown; some of the blue quartzite glows more brightly than the rest; its regenerated parts have no light; its kaolinite cements are randomly distributed and have indigo blue light. Pl—Plagioclase; Qtz—Quartz

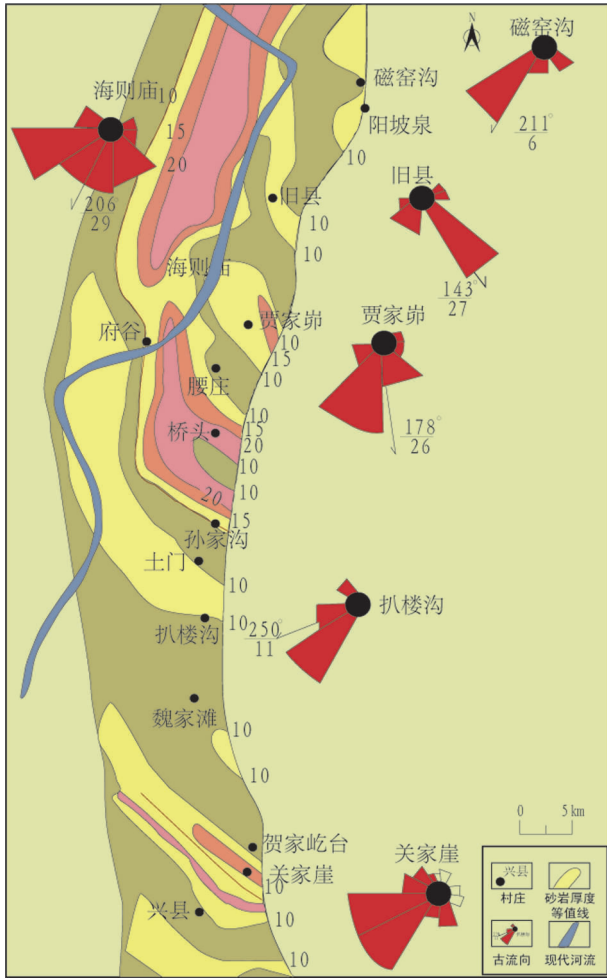


图5 研究区本溪组古流向分布图

Fig.5 Distribution of palaeocurrent directions in Benxi Formation

形斜坡, 研究区古生界碎屑岩物源主要来自北部的阴山—阿拉善古陆, 并体现出较好的继承性。

4 稀土元素的富集规律与物源分析

稀土元素因其独特的地球化学性质, 可用于物源分析^[26-30]。本次样品岩性为采自鄂尔多斯盆地延长探区本溪组地层取心井的泥岩及盆地北缘、西南缘古陆地层泥岩、变质岩及岩浆岩, 其稀土元素和微量元素数据由西北大学大陆动力实验室采用等离子质谱仪测试并经球粒陨石标准化处理。

对沉积岩的稀土元素特征分析被广泛应用于物源和沉积介质性质的研究工作中^[31]。通过对研究区135口井的 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu 等稀土元素的分析表明(表 1), 盆地

周缘稀土元素富集规律及分配模式表现为: 盆地东北缘古陆大青山主要由太古宙及元古古代变质岩系组成, 包括花岗片麻岩、闪长片麻岩、角闪斜长片麻岩等。大青山千枚岩及和林格尔闪长片麻岩的地球化学特征为: Gd/Yb 的范围为 2.4~2.9, 形成于太古宙, ΣREE 为 $82.6 \times 10^{-6} \sim 247.2 \times 10^{-6}$, 平均值 164.9×10^{-6} ; LREE/HREE 为 5.7~17.8, 平均值 8.8; 钕轻微亏损, δEu 平均值 0.72。轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, 稀土元素分配模式表现为折线向右倾斜型。盆地西南缘陇西古陆混合花岗岩及变质岩的地球化学特征为: $\Sigma REE = (109.9 \sim 119.8) \times 10^{-6}$, 平均值 114.8×10^{-6} ; LREE/HREE = (16.1~16.5), 平均值 16.3。钕轻微亏损, δEu 平均值 0.86, Gd 轻微富集, δGd 平均值 1.12, Gd/Yb 的范围在 2.2~3.0 之间。其稀土分配模式显示为右倾斜。

研究区本溪组 6 个泥岩样品稀土元素分布模式基本一致, 轻稀土元素富集, 曲线较陡, 重稀土元素亏损, 曲线平缓, 稀土元素分配模式表现为向右倾斜型。地球化学特征为 $\Sigma REE = (265.4 \sim 336.4) \times 10^{-6}$, 平均值 304.7×10^{-6} ; LREE/HREE = 7.4~10.3, 平均值 8.85, 钕亏损, δEu 平均值 0.60, Gd 轻微富集, δEu 平均值 1.34, Gd/Yb 全部小于 2。稀土元素的分配规律与盆地东北缘大青山古陆类似, 而与陇西古陆差别较大, 因此推测盆地东部的物源应主要来源于盆地北部。

5 沉积相分布及演化

在以上矿物、古流水、稀土元素的富含规律等物源分析研究的基础上, 对沉积相分布进行了研究, 建立了不同时间沉积相演化图。华北克拉通在经历了早古生代的隆起剥蚀后, 从晚石炭世晚期开始, 鄂尔多斯盆地东北部开始整体下沉接受沉积。此时的鄂尔多斯盆地被中央古隆起分割成东西两个海域, 东部的华北海由东向西侵入, 沉积作用向西超覆, 形成总体上东厚西薄的楔状体。研究区沉积面貌表现为由东向西以浅海陆棚—障壁岛—潟湖—潮坪环境, 不同时期又各具特征的沉积特征^[32-33]。

晚石炭世本溪组本 2 期是鄂尔多斯地区上古生界沉积发育史的一个重要转折阶段, 自此, 鄂尔多斯地区开始缓慢沉降, 海水从东部、东南部侵入, 形成东高西低的沉积格局。沉积中心为槐树岔—老君庙—清涧—延川—云岩镇以东及张渠、王窑、白庙、

表 1 鄂尔多斯延长探区本溪组稀土元素分析结果 (10⁻⁶)

Table 1 Analyses of rare earth elements of Benxi Formation in Yanchang area of Ordos Basin (10⁻⁶)

岩石类型	样数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
大青山千枚岩	135	47.74	36.29	35.82	28.78	18.56	13.06	14.63	13.08	10.40	10.03	8.24	8.02	7.51	7.23
林格尔闪长片麻岩	135	179.68	132.30	93.44	73.95	40.46	20.82	26.18	20.89	15.53	13.93	11.38	11.73	11.29	11.14
陇西古陆混合花岗岩	135	86.4	68.9	47.0	33.7	18.3	11.6	10.4	7.0	4.7	4.2	4.0	3.8	4.4	4.4
陇西古陆混合变质岩	135	80.4	60.9	46.2	32.5	17.1	10.9	8.9	6.3	4.5	3.8	3.9	3.7	4.9	4.7

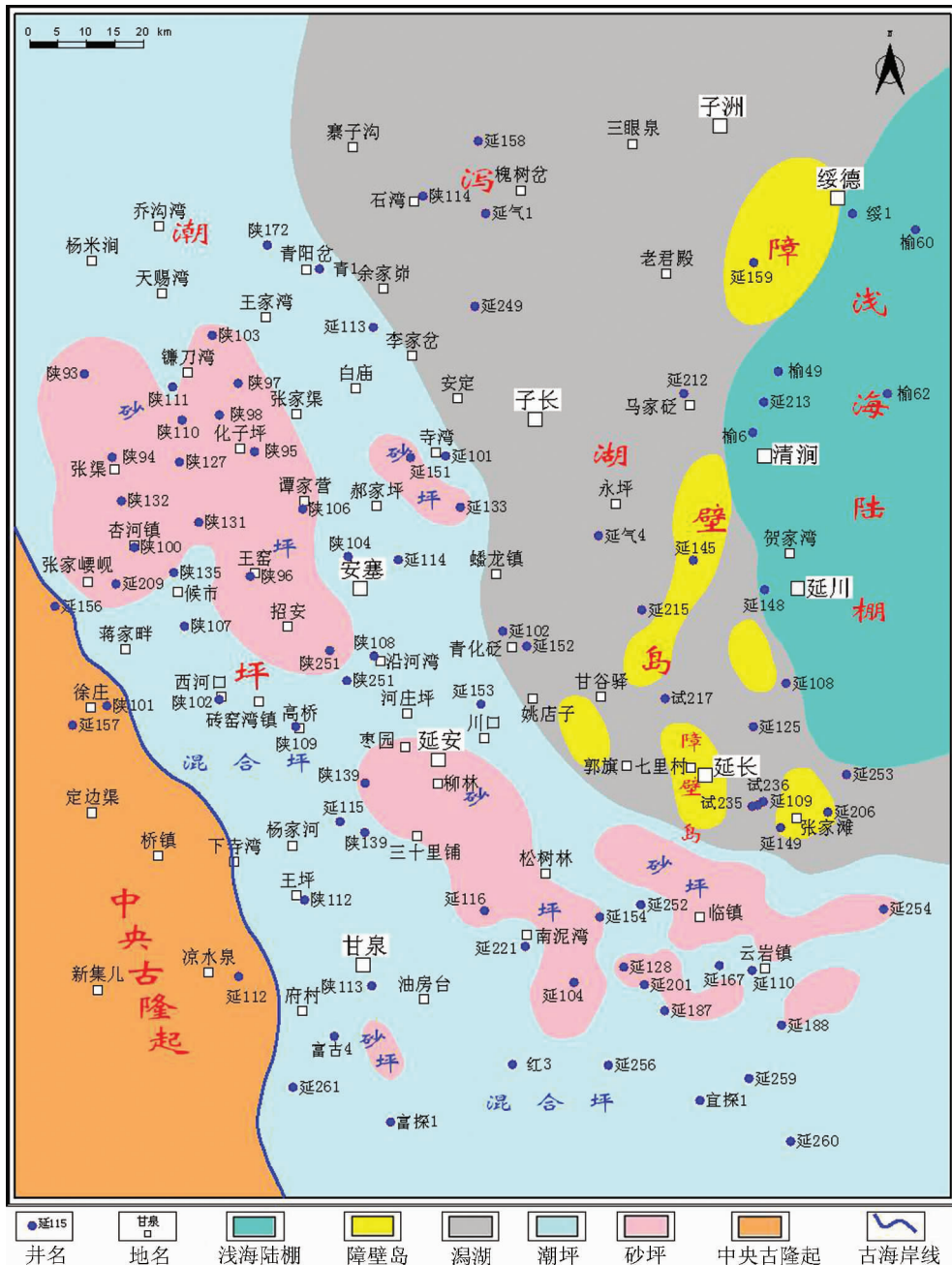


图 6 研究区本溪组本 2 段沉积相平面图

Fig.6 Plan view of sedimentary facies in 2nd member of Benxi Formation

延安、延气4井及延252井的局部的地区,沉积厚度一般为10~30 m,局部地区可达38.5 m。在研究区形成浅海泥质陆棚沉积、障壁岛—潟湖沉积及潮坪沉积,有利砂体主要沿平行海岸线方向分布(图6)。

晚石炭世本溪组本1期沉积面貌整体与本2期基本相似,由东向西依然发育浅海泥质陆棚—障壁岛—潟湖—潮坪沉积。东部沉积中心基本不变,西部

沉积中心迁移至镰刀湾—白庙、招安、甘泉—松树林等地区,沉积厚度一般在15~35 m,局部地区可达40 m,如陕97井、延116井、榆6井沉积厚度都在45 m以上。

受到海侵作用的影响,浅海泥质棚沉积范围较本2期有所扩大,海岸线延伸至榆78井—绥2井—清涧—延川—延108井一带。泻湖沉积范围比本2

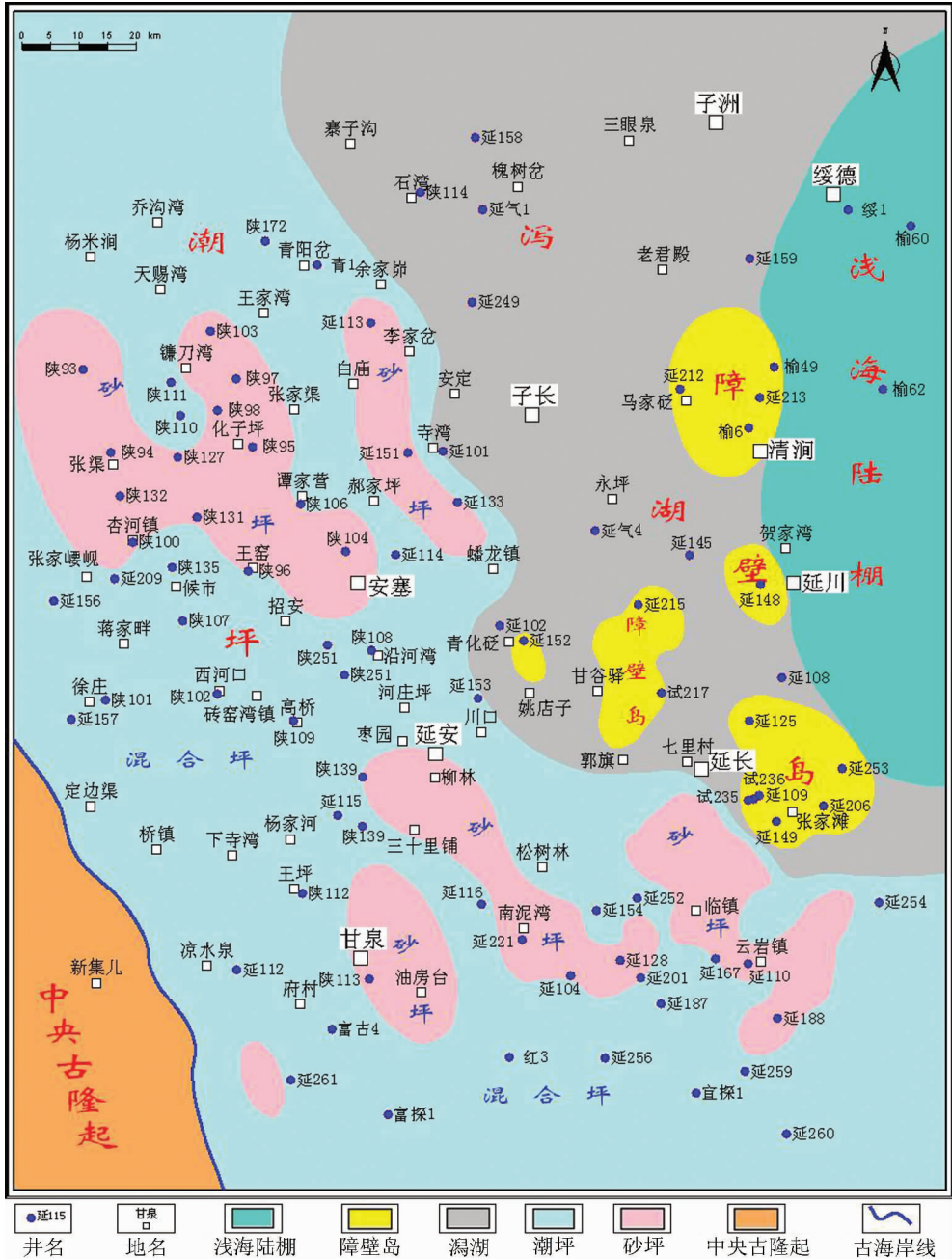


图7 研究区本溪组本1段沉积相平面图

Fig.7 Plan view of sedimentary facies in 2nd member of Benxi Formation

期略有扩大。障壁岛主要发育在延 212-延 213、延 152、延 215-延 217、延 125-延 235-延 149-延 206-延 253 井区附近。潮坪沉积主要出现在研究区西部,其主体依然为一套混合坪沉积。研究区西北部的中央古隆起范围有所缩小,剥蚀线缩至新集儿一带,沉积体系决定了在垂直海岸线方向砂体连通性均较差,而在平行海岸线方向连通性较好(图 7)。

6 结论

鄂尔多斯延长探区本溪组砂岩自北向南具有粒度由粗变细、磨圆度由低变高的趋势;盆地东部本溪组砂岩的古水流方向多为北部、东部向南部、西部方向;稀土元素特征同样指示盆地东部的物源应主要来源于盆地北部。盆地周缘元古代以来长期处于剥蚀隆起地区而形成的盆地北部的阴山—阿拉善古陆、南部的祁连—北秦岭古陆和西南部的六盘山古陆为鄂尔多斯盆地延长探区石炭系本溪组提供了沉积物源。晚石炭世本溪组本 2 期研究区受区域上缓慢沉降海水自东部侵入的影响形成了浅海泥质陆棚、障壁岛—潟湖及潮坪沉积体系;本 1 期整体面貌与本 2 期类似,受进一步海侵影响,泥质陆棚及潟湖面积有所扩大。受沉积体系的影响,砂体连通性在垂直海岸线方向较差,平行海岸线方向好。

参考文献 (References):

- [1] Haughton D W, Todd S P, Morton A C. Sedimentary provenance studies [C]//Haughton D W, Morton A C, Todd S P, et al. *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. Bath: The Geological Society Publishing House, 1991:1-11.
- [2] 申延平, 吴朝东, 岳来群, 等. 库车坳陷侏罗系砂岩碎屑组及物源分析[J]. 地球学报, 2005, 26(3):235-240.
Shen Yanping, Wu Chaodong, Yue Laiqun, et al. An analysis of Jurassic sandstone fragment components and their provenance in Kuche depression[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2005, 26(3):235-240 (in Chinese with English abstract).
- [3] Weltje G J, Eynatten H V. Quantitative provenance analysis of sediments review and outlook [J]. *Sedimentary Geology*, 2004, 171 (1/4):1-11.
- [4] 孙金凤, 杨进辉. 含 U 副矿物的原位微区 U-Pb 定年方法 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(4): 630-641, 649.
Sun Jinfeng, Yang Jinhui. A review of in-situ U-Pb dating methods for the accessory U-bearing minerals [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2009, 39 (4):630-641, 649 (in Chinese with English abstract).
- [5] 和钟铎, 刘招君, 张峰, 等. 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 Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Feng, et al. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(4):29-32(in Chinese with English abstract).
- [6] 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 物源分析的研究与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4):104-110.
Wang Zhengjiang, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Research and prospects of provenance analysis [J]. *Sediment Geology Tethyan Geology*, 2000, 20(4):104-110(in Chinese with English abstract).
- [7] 魏斌, 魏红红, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2003, 33(4):447-450.
Wei Bin, Wei Honghong, Chen Quanhong, et al. Sediment provenance analysis of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2003, 33 (4):447-450(in Chinese with English abstract).
- [8] Andrew C, Claire R H. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstone [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 124(1/4):3-29.
- [9] 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(in Chinese with English abstract).
- [10] 张英利, 王宗起. 西秦岭造山带徽县—成县盆地早白垩世沉积物源分析——锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学的约束 [J]. 地质通报, 2011, 30(1):37-50.
Zhang Yingli, Wang Zongqi. Provenance analysis of Early Cretaceous Huixian-Chengxian basin, western Qinling orogenic belt, China: Constraints from zircon U-Pb geochronology [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(1):37-50(in Chinese with English abstract).
- [11] 吴朝东, 林松松, 申延平, 等. 库车坳陷侏罗系砂岩组合和重矿物组合特征及其源区属性[J]. 自然科学进展, 2005, 15(3):291-297.
Wu Chaodong, Lin Changsong, Shen Yanping, et al. Sandstone combination and heavy mineral assemblages and its source area attribute of Jurassic in Kuche depression [J]. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(3):291-297(in Chinese with English abstract).
- [12] Sun W H, Zhou M F, Yan D P, et al. Provenance and tectonic setting of the Neoproterozoic Yanbian Group, western Yangtze Bolck (SW China)[J]. *Precambrian Research*, 2008, 167:213-236.
- [13] 和钟铎, 刘招君, 郭宏伟, 等. 漠河盆地中侏罗世沉积源区分析及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(3):398-404.
He Zhonghua, Liu Zhaojun, Guo Hongwei, et al. Provenance analysis of Middle Jurassic sediments and its geological significance in Mohe basin[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2008, 38(3): 398-404(in Chinese with English abstract).
- [14] 王华, 白云凤, 黄传炎, 等. 歧口凹陷古近纪东期古物源体系重建与应用 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(3):

- 448-456.
Wang Hua, Bai Yunfeng, Huang Chuanyan, et al. Reconstruction and application of the Paleogene provenance system of the Dongying Formation in Qikou depression [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2009, 34 (3):448-456 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张本琪, 余宏忠, 姜在兴, 等. 应用阴极发光技术研究母岩性质及成岩环境[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2):117-120.
Zhang Benqi, Yu Hongzhong, Jiang Zaixing, et al. Characteristics and diagenetic environments of source rocks by cathodoluminescence [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2):117-120(in Chinese with English abstract).
- [16] 李敬敬, 张希雨. 阴极发光技术在地学研究中的应用现状[J]. 石家庄学院学报, 2011, 13(3):29-32.
Li Jingjing, Zhang Xiyu. Application of cathodoluminescence to geology[J]. Journal of Shijiazhuang University, 2011, 13(3):29-32 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈全红. 鄂尔多斯盆地上古生界沉积体系及油气富集规律研究[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2007, 12-13.
Chen Hongquan. Research on Sedimentary Systems and Hydrocarbons Enrichment of the Upper Palaeozoic of the Ordos Basin [D]. Xi'an: Northwestern University Ph.D. Thesis, 2007, 12-13(in Chinese with English abstract).
- [18] 杨华, 席胜利, 魏新善, 等. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集[J]. 石油地质, 2005, 17(1):18-24.
Yang Hua, Xi Shengli, Wei Xinshan, et al. Multi-cycle coincident basin evolution and hydrocarbons enrichment of the Ordos Basin [J]. Petroleum Geology, 2005, 17 (1):18-24 (in Chinese with English abstract).
- [19] 邓军, 王庆飞, 高帮飞, 等. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产分布及其构造背景 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(3):330-335.
Deng Jun, Wang Qingfei, Gao Bangfei, et al. Distribution and tectonic background of various energy resources in Ordos basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(3):330-335(in Chinese with English abstract).
- [20] 付金华, 段晓文, 席胜利. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏特征[J]. 天然气工业, 2000, 20(6):16-19.
Fu Jinhua, Duan Xiaowen, Xi Shengli. Characteristics of Upper Paleozoic gas reservoirs in Orodos basin [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6):16-19(in Chinese with English abstract).
- [21] 赵林, 夏新宇, 戴金星, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集的主要控制因素[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2):136-139.
Zhao Lin, Xia Xinyu, Dai Jinxing, et al. Major factors controlling the enrichment of the Upper Paleozoic natural gas in the Ordos Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(2):136-139 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张晓莉. 鄂尔多斯盆地中部上古生界沉积相演化[J]. 地质科学与环境学报, 2005, 27(3):26-28.
Zhang Xiaoli. Sedimentary facies evolution of Upper Palaeozoic formation in Ordos Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2005, 27(3):26-28(in Chinese with English abstract).
- [23] 杨勇, 陈能松. 电子探针微区紫外阴极荧光分析系统及在沉积碎屑岩分析中的应用 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003, 28(3):357-360.
Yang Yong, Chen Nengsong. An EPMA ultraviolet cathodoluminescence microarea measuring system and its application to petrogenetic analysis for clastic rocks [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2003, 28 (3): 357-360(in Chinese with English abstract).
- [24] 魏红红, 李文厚, 邵磊, 等. 苏里格庙地区二叠系储层特征及影响分析[J]. 矿物岩石, 2002, 22(3):42-46.
Wei Honghong, Li Wenhou, Shao Lei, et al. The effect factors and characteristics of Permian reservoir in Suligemiao region [J]. Journal. Mineral. Petrol., 2002, 22 (3):42-46 (in Chinese with English abstract).
- [25] 陈蓉, 王峰, 田景春. 鄂尔多斯盆地中西部延长组碎屑岩物源分析及储层特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(1):21-26.
Chen Rong, Wang Feng, Tian Jingchun. Provenance analysis and reservoirs characteristics of the clastic rocks from the Yanchang Formation in West-Central Ordos Basin[J]. Sediment Geology and Tethyan Geology, 2009, 29 (1):21-26 (in Chinese with English abstract).
- [26] 章雨旭, 江少卿, 张绮玲, 等. 论内蒙古白云鄂博群和白云鄂博超大型稀土-铌-铁矿床成矿的年代 [J]. 中国地质, 2008, 35(5):1130-1137.
Zhang Yuxu, Jiang Shaoqing, Zhang Qiling, et al. A discussion on forming time of the Bayan Obo Group and ore-forming time of the Bayan Obo giant REE-Nb-Fe deposit, Inner Mongolia [J]. Geology in China, 2008, 35 (5): 1130-1137 (in Chinese with English abstract).
- [27] 刘宁, 樊德华, 郝运轻, 等. 稀土元素分析方法研究及应用——以渤海湾盆地东营凹陷永安地区物源分析为例 [J]. 石油实验地质, 2009, 31(3):427-432.
Liu Ning, Fan Dehua, Hao Yunqing, et al. REE analysis method and application—taking source rocks in Yong'an Region of the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin as example [J]. Experimental Petroleum Geology, 2009, 31 (3): 427-432 (in Chinese with English abstract).
- [28] 宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系 [J]. 古地理学报, 2002, 4(3):59-66.
Song Kai, Lv Jianwen, Du Jinliang, et al. Source direction analysis and delta depositional systems of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the central Ordos basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(3): 59-66(in Chinese with English abstract).
- [29] 杨守业, 李从先. REE 示踪沉积物物源研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(2):164-167.
Yang Shouye, Li Congxian. Research progress in REE tracer for sediment source [J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(2):164-

- 167(in Chinese with English abstract).
- [32] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes[C]//Lipin B R, Mckay G A. Reviews in Mineralogy 21, Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Washington, DC: Mineralogical Society of America, 1989:169–200.
- [30] 宋健, 赵省民, 陈登超, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠纪暗色泥岩微量元素和稀土元素地球化学特征 [J]. 地质学报, 2012, 86(11):175–1780.
- Song Jian, Zhao Shengmin, Chen Dengchao, et al. Rare earth and trace elements geochemical characteristics of the dark Permian mudstones in Ejinaqi and its surrounding areas, Western Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86 (11):175–1780(in Chinese with English abstract).
- [31] 陈全红, 李可永, 张道锋, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组—太原组扇三角洲沉积与油气聚集的关系 [J]. 中国地质, 2010, 37(2):421–429.
- Chen Quanhong, Li Keyong, Zhang Daofeng, et al. The relationship between fan delta and hydrocarbon accumulation in Benxi–Taiyuan Formation, Ordos Basin [J]. Geology in China, 2010, 37(2):421–429(in Chinese with English abstract).
- [32] 刘海龙. 鄂尔多斯盆地中南部本溪组障壁岛沉积特征及沉积相演化 [J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2012, 27(4):88–94.
- Liu Hailong. Study on sedimentary characteristics of barrier island of Benxi formation in the Mid–Southern of Ordos Basin [J]. Journal of Qingdao University (Engineering & Technology Edition), 2012, 27(4): 88–94(in Chinese with English abstract).

An analysis of the source and the sedimentary system of the Carboniferous Benxi Formation in Yanchang area of Ordos Basin

LIN Jin^{1,2}, LI Yun^{1,2}, HE Jian¹

(1. Oil and Gas Exploration Company, Yanchang Petroleum Group, Yan'an 716000, Shaanxi, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract: By investigating data extracted from well cores, field outcrop samples, thin sections, cathodoluminescence images and the laboratory tests, the authors conducted a comprehensive study of the Carboniferous Benxi Formation in Yanchang area of Ordos Basin and then deduced its source directions from the angles of the mineral composition, genetic type, paleocurrent features, and enrichment regularities of rare earth elements. On such a basis, the authors analyzed the sedimentary facies distribution and evolution. It is revealed that from north to south in the study area, the sandstone grains decrease in size and increase in pseplicity; the quartz cluster cathodoluminescence images are mainly fuscous, light–dark brown in color, indicating metamorphic genesis. The debris component is chiefly metamorphic debris, which is up to 85.1%. The paleocurrent of field outcrop moved northward, from northwest southward and southeastward. the distribution of the rare earth elements is quite similar to the Daqingshan old land at the northeast edge of the basin. It is thus concluded that the Benxi Formation primarily originated from Yinshan–Alxa in the north. The second stage of Benxi Formation in late Carboniferous epoch constituted a major turning point in the Upper Palaeozoic evolutionary history of Ordos. Due to the invasion of the slowly–subsiding sea water from the east, the study area formed a system composed of shallow argillaceous shelf, barrier island–lagoon and lagoon. The first stage was similar to the second stage in general features, but had larger argillaceous shelf and lagoon because of the intense water invasion, which had a good performance in the sand body continuity in parallel with the coastline.

Key words: source analysis; sedimentary system; Benxi Formation; Carboniferous; Yanchang exploratory area; Ordos Basin

About the first author: LIN Jin, male, born in 1968, master, senior engineer, engages in petroleum and gas exploration and management; E–mail: linjinn@163.com.