

文章编号:1000-0550(2005)03-0371-09

# 鄂尔多斯盆地东北部直罗组底部砂体成因分析<sup>①</sup>

## ——砂岩型铀矿床预测的空间定位基础

焦养泉<sup>1</sup> 陈安平<sup>2</sup> 王敏芳<sup>1</sup> 吴立群<sup>1</sup> 原海涛<sup>1</sup> 杨 琴<sup>1</sup> 张承泽<sup>1</sup> 徐志诚<sup>1</sup>

1(中国地质大学资源学院 武汉 430074)2(中国核工业地质局208大队 内蒙古包头 014010)

**摘 要** 砂体的结构和规模因沉积体系的不同而异,它们对铀成矿贡献的差别很大。作者通过露头调查、钻孔岩心分析和砂分散体系制图,对鄂尔多斯盆地东北部直罗组下段进行了成因分析。研究发现,直罗组底部砂体并非传统认识上的辫状河成因。实际上,它可以分为上、下两个亚段。虽然两个亚段的物源和砂分散方向具有很好的继承性(北西—南东向),但成因完全不同。下亚段主要由辫状河体系和辫状河三角洲体系构成,其中辫状河三角洲平原构成了研究区的主体。上亚段主要由曲流河体系和(曲流河)三角洲体系构成,虽然(曲流河)三角洲平原也是研究区的主体构成部分,但是(曲流河)三角洲前缘却占据了一定的空间,这是湖泊向西北方向扩展的结果。正是由于上、下亚段成因的不同,导致了下亚段砂体具有较大的规模和较好的连通性,而上亚段砂体规模变小、非均质性增强。砂岩型铀矿勘探的实践证明,矿体主要聚集于下亚段砂体中。因此看来,上述认识可以用于砂岩型铀矿成矿规律的总结和铀成矿空间的定位。

**关键词** 沉积体系 砂体成因 砂岩型铀矿床 直罗组 鄂尔多斯盆地

**第一作者简介** 焦养泉 男 1963年出生 博士 教授 博士生导师 沉积盆地与能源矿产分析

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 引言

砂体既是铀成矿流体的运移通道,也是铀成矿的储集空间。通常而言,大规模、连通性好的砂体有利于铀的富集。所以在沉积盆地中,对大型骨架砂体的研究有助于铀成矿的空间定位。在鄂尔多斯盆地东北部,铀矿勘探的实践证明直罗组底部砂体是主要的成矿层位(图1)<sup>[1]</sup>。但是在2001年以前,由于直罗组没有被解释出有益的矿产,所以研究程度极低,以至于缺乏专门的针对直罗组研究的参考文献。但是直罗组给人们的印象是深刻的,其底部具有大规模的砂体,并被解释为辫状河成因<sup>[2~9]</sup>。由于铀矿勘查生产的需要,2002~2004年作者在东胜和神木地区对砂体的空间展布规律、砂体的成因以及沉积体系的垂向演化进行了细致的研究,其中最大的发现是对直罗组底部砂体的成因认识,它并非传统认识上的辫状河道成因,事实上它很复杂,既有相对早期的辫状河和辫状河三角洲沉积体系,也有相对晚期的曲流河和(曲流河)三角洲沉积体系。

## 2 直罗组的地层结构

鄂尔多斯盆地东北部直罗组可供识别和对比的重要特征与标志层有(图1):

- (1)直罗组底部粗碎屑岩段的砂体是判别直罗组最突出的辨认标志;
- (2)直罗组底部局部具有底砾岩;
- (3)直罗组底部存在区域冲刷面和不整合面<sup>[10]</sup>;
- (4)延安组顶部具有风化壳,局部可以构成砂岩型高岭土矿床<sup>[10~14]</sup>;
- (5)延安组含煤岩系与直罗组冲积体系区别明显<sup>[10]</sup>;
- (6)直罗组顶部为区域不整合面,在东胜地区与白垩系接触,在神木地区可能与安定组接触。

从岩石地层学的角度看,直罗组内部可以划分为三段,直罗组下段( $J_2z^1$ )为粗碎屑岩段,直罗组中段( $J_2z^2$ )为细碎屑岩段,直罗组上段( $J_2z^3$ )再度演变为粗碎屑岩段。如图1所示,研究区直罗组下段还可以细分为两个亚段——下亚段( $J_2z^{1-1}$ )和上亚段( $J_2$

<sup>①</sup>中国核工业地质局“十五”重点生产科研项目(HDKY20020501);中国地质大学(武汉)博士后流动站研究专题;地质过程与矿产资源国家重点实验室(中国地质大学)(MGM2002-14)“基金项目共同资助。  
收稿日期:2004-09-23;收修改稿日期:2004-11-29

$z^{1-2}$ )。下亚段( $J_2z^{1-1}$ )被认为是研究区最重要的铀成矿段<sup>[9]</sup>。

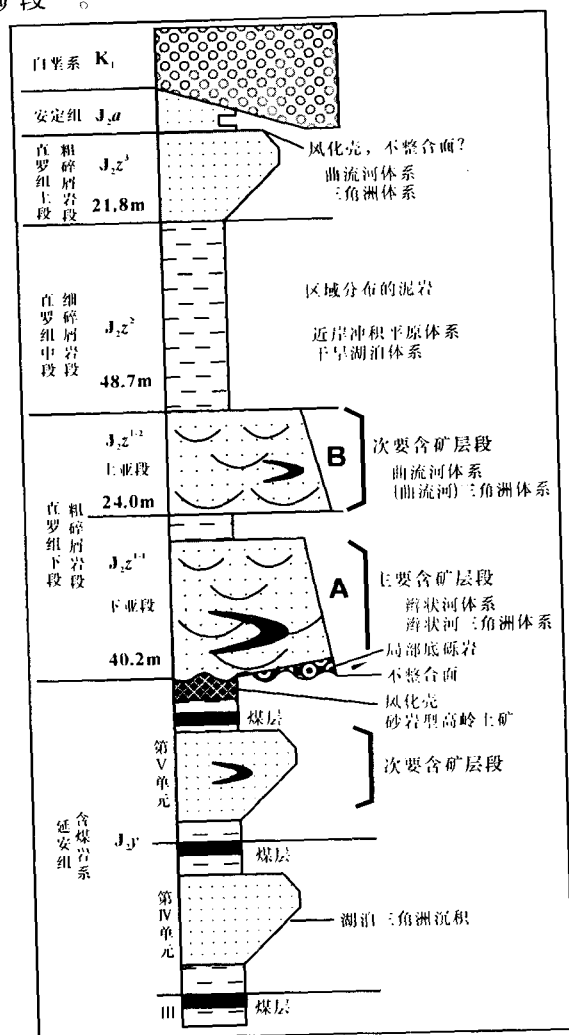


图1 研究区简化地层结构与主要标志模式图

Fig.1 Model chart of simplified strata structure and main symbols in the study area

### 3 直罗组下段下亚段( $J_2z^{1-1}$ )沉积体系域面貌

通过露头调查、钻孔岩心分析和砂分散体系制图,认为研究区直罗组下段下亚段主要发育辫状河沉积体系和辫状河三角洲沉积体系。辫状河沉积体系位于东胜西北部的局部地区,沿古水流方向延伸至伊金霍洛旗—东胜一带逐渐过渡为辫状河三角洲平原(图2)。辫状河三角洲前缘和前三角洲已被严重剥蚀、甚至丧失殆尽。

#### 3.1 辫状河沉积体系的主要证据

辫状河体系主要位于东胜地区西北部。其最大

的特点是砂体具有极大的宽/厚比值以及有限的泛滥平原(图2)。在钻孔剖面上,砂体通常表现为一种“泛连通”结构。砂体粒度以中、细砂岩为主,所以它具有砂质辫状河的特点。砂体的总体走向呈NW—SE向,说明物源来自盆地西北部(图2)。

#### 3.2 辫状河三角洲沉积体系的主要证据

##### 3.2.1 鸟足状的砂分散体系

至伊金霍洛旗—东胜一线以南的广大地区,辫状河体系过渡为辫状河三角洲体系。两种沉积体系的分界线大致是以河道开始明显分叉为标志的。从砂分散体系的形态上可以看出,进入三角洲平原后,辫状分流河道频繁向下游分叉,砂分散体系呈现鸟足状(图2)。

神山沟露头的下亚段砂体属于更次一级的辫状分流河道,河道规模相比东胜附近已经大为减小,而且河道边缘沉积组合(决口扇)以及废弃三角洲平原的细粒沉积物出露的几率也大大增加(图3A)。

##### 3.2.2 倒粒序垂向序列

在东胜地区,下亚段砂体在众多钻孔中显示出下细上粗的倒粒序。至大柳塔及其以南地区倒粒序更为发育(图3B),而且砂体结构已经由东胜西北部的“泛连通”式变为独立的、小规模透镜状,灰—灰绿色细粒沉积物占据了很大的比例(图4)。这些证据说明研究区存在一定量的辫状河三角洲前缘沉积。

##### 3.2.3 存在大型的分流间湾和淡水动物化石

野外调查发现,在南部的考考乌素沟(张家沟)一带,泥岩含量显著增加。一些地区甚至在延安组之上直接发育了具有“湖泊”特色的细粒沉积物(图5)。与区域砂分散体系的空间配置分析发现,这是一套与直罗组早期大型湖泊沟通的辫状三角洲大型分流间湾沉积(图2)。

### 4 直罗组下段上亚段( $J_2z^{1-2}$ )沉积体系域面貌

研究区直罗组下段上亚段的物源和砂分散体系面貌相似于下亚段,但是沉积体系类型发生了较大的变化。该亚段以发育曲流河和(曲流河)三角洲沉积体系为特征,其中曲流河沉积体系位于研究区西北部,中部和南部的大部分地区为(曲流河)三角洲沉积体系(图6)。为了区别于辫状河三角洲沉积体系,作者特别使用了“(曲流河)三角洲沉积体系”这个术语,其主要含义在于说明该三角洲是由曲流河沉积体系演化而来。

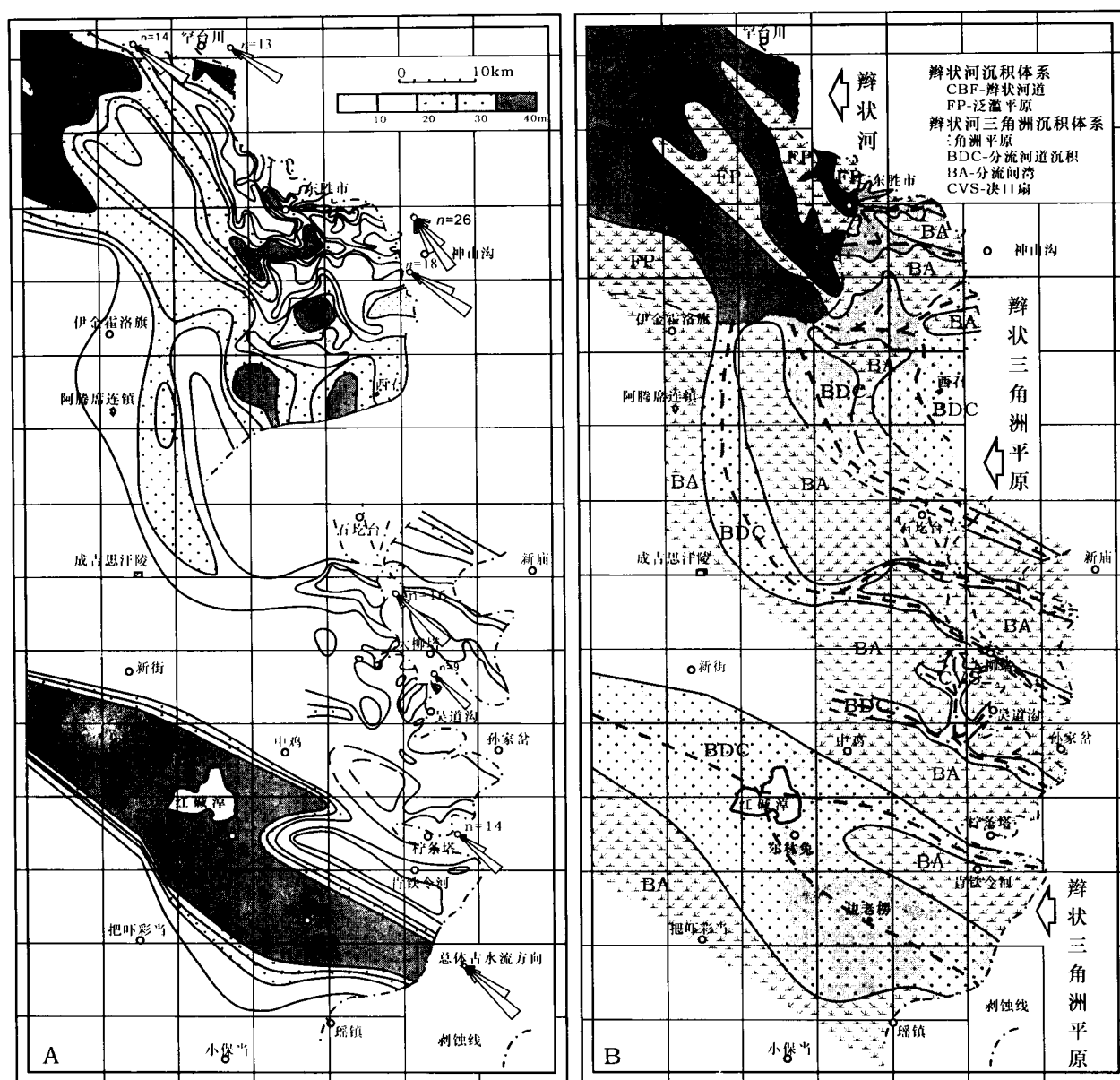


图2 鄂尔多斯盆地东北部直罗组下段下亚段砂体等厚图(A)和沉积环境解释图(B)

Fig. 2 The sandstone isopach map (A) and sedimentary environment map (B),  $J_2z^{1-1}$ , northeast part of Ordos basin

#### 4.1 曲流河沉积体系的主要证据

##### 4.1.1 河道砂体侧向迁移性明显

与辫状河的“泛连通”式砂体相比,上亚段砂体普遍具有侧向迁移性。它既可以表现为点坝的侧向加积,也可以表现为河道的侧向迁移(图7),这是曲流河沉积体系的特征标志。

##### 4.1.2 河道砂体规模变小、泛滥平原面积扩大

无论是露头剖面,还是钻孔剖面,所有资料都显示上亚段的砂体数量增加,砂体的非均质性增强,但

河道规模和宽/厚比明显变小。与此相反的现象是河道间的泛滥平原沉积增加(图7),这也是曲流河沉积体系的特点之一。由于众多河道砂体的侧向叠置,所以在砂分散体系图上并没有表现出曲流河所特有的高弯度(图6A)。

#### 4.2 (曲流河)三角洲沉积体系的主要证据

由图6A可见,砂分散体系在伊金霍洛旗—东胜市以南开始向下游分叉,再次呈现“鸟足”状结构,这预示着沉积体系已经由曲流河演化为(曲流河)三角洲。

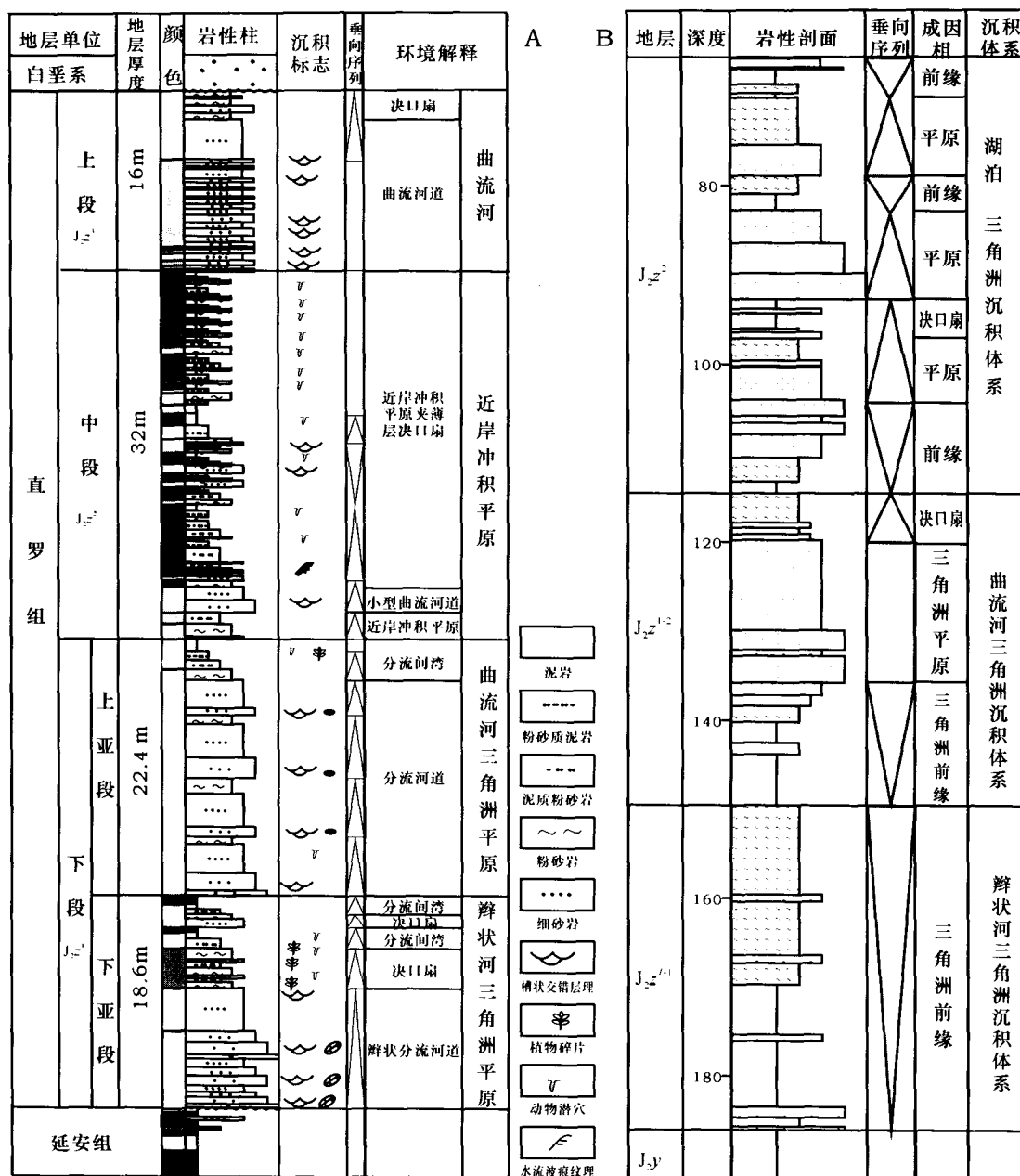


图3 直罗组垂向充填序列图(A:神山沟露头实测剖面,B:大柳塔地区浅 R5 井)

Fig.3 Vertical filling sequence charts,  $J_2z$  (A:actual measure profile in outcrops, Shenshangou, B:Qian R5, Daliuta area)

野外调查和钻探发现东胜至石圪台一带、红碱淖至肯铁令河一带,沉积物的垂向序列以先倒粒序后正粒序的组合序列为主,说明这些地区以(曲流河)三角洲平原沉积为主。

但是,在石圪台一大柳塔一拧条塔一带更多地出现了倒粒序(图3B、4、5B、8),这说明(曲流河)三角洲前缘有大面积出现。在该地区,源于三角洲平原上的分流河道演变为水下分流河道,三角洲前缘泥与之

共生(图6B)。

各种证据均显示上亚段比下亚段相对覆水,或者说更接近湖泊,这是上亚段沉积时期湖泊面积向西北方向扩展的结果。

## 5 直罗组的铀成矿空间

近年来的勘探实践证实,铀矿主要富集于直罗组下段的下亚段中,上亚段局部成矿(图9)。砂体规模

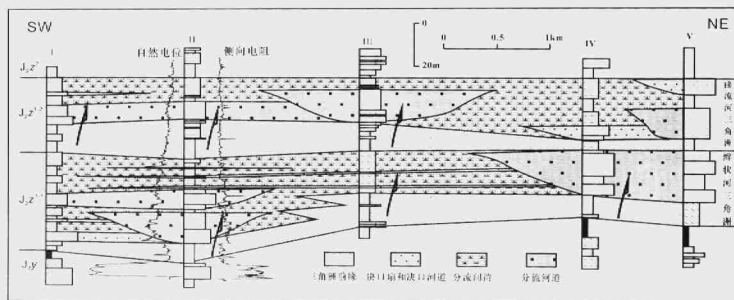


图4 直罗组下段沉积剖面, 太柳塔地区

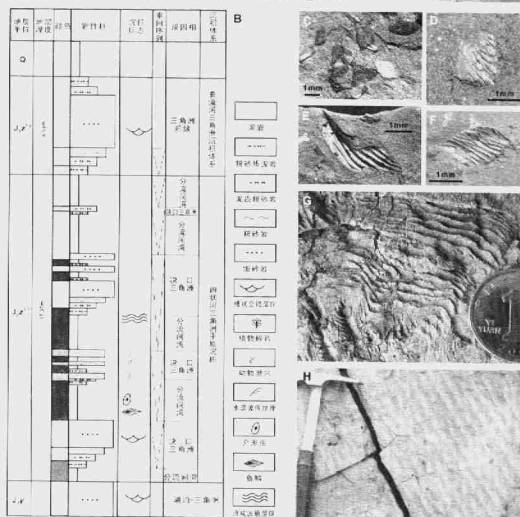
Fig. 4 The sedimentary profile,  $J_2^1$ , Dalituta area

图5 大型分流间湾沉积, 考考乌素沟(柠条塔)

(A—露头剖面; B—露头实测剖面; C, D, E—鱼鳞化石; F—动物碎片化石; G—微生物叠锥构造; H—波痕)

Fig. 5 The large-scale inter-distributary bay sediment, Kaokawusugou (A—profile in outcrops; B—actual measure profile in outcrops;

C, D, E—fossils of fish scale; F—fossils of beaver fragment; G—microbiota cone-in-a-cone structure; H—ripple mark)

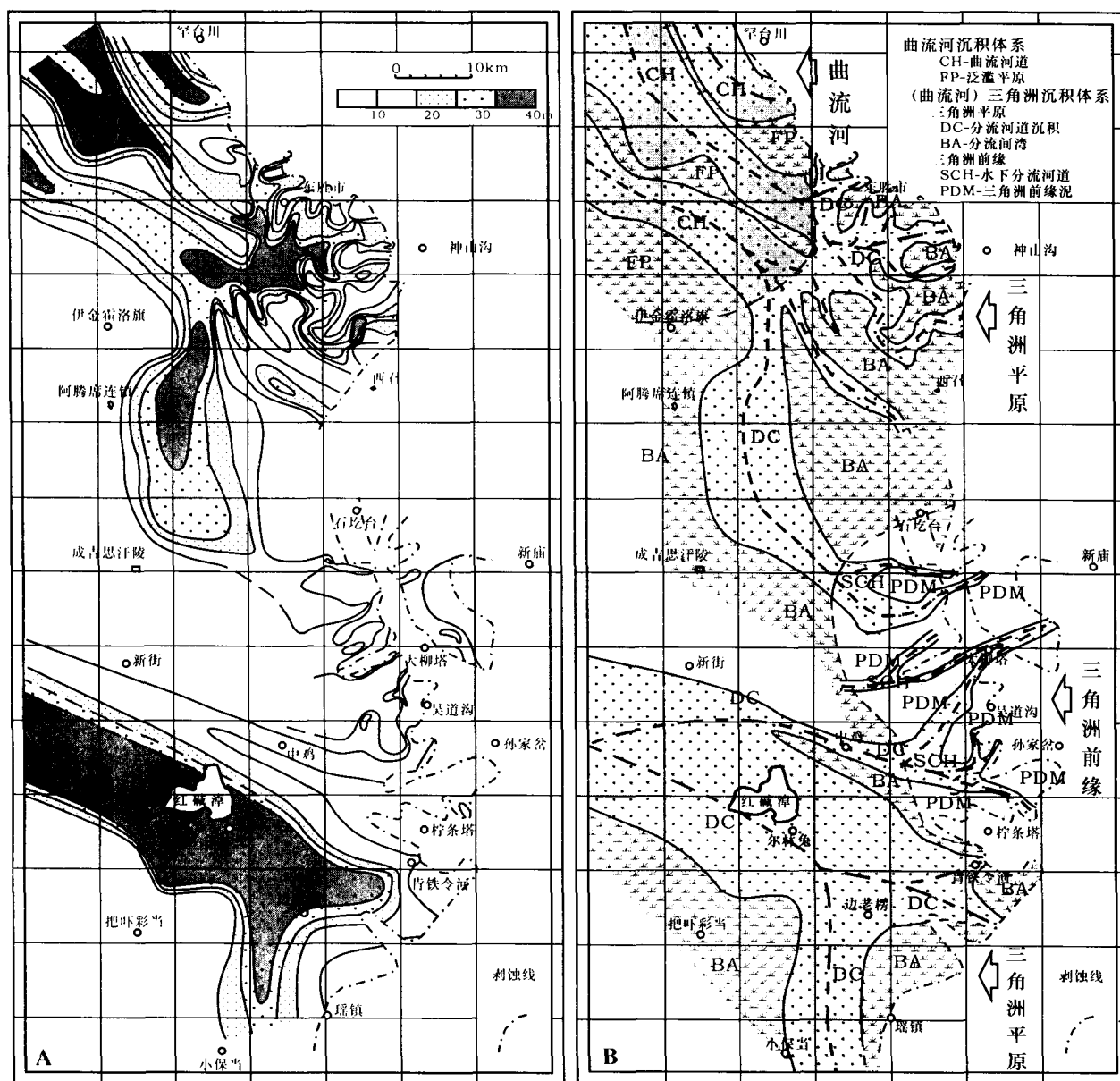


图6 鄂尔多斯盆地东北部直罗组下段上亚段砂体等厚图(A)和沉积环境解释图(B)

Fig.6 The sandstone isopach map (A) and sedimentary environment map (B),  $J_2^{1-2}$ , northeast part of Ordos basin

和结构可能是导致铀成矿差异的根本所在。那些大规模的、连通性好的砂体,如下亚段砂体,既可以提供成矿物质运移的通道,也可以提供铀成矿的空间。而那些规模较小、非均质性增强的砂体,如上亚段砂体就不利于铀的富集。所以,对砂体成因的研究有利于铀成矿的空间定位和阐明铀成矿的规律性。

## 6 结论

研究证明,直罗组下段并非传统认识上的辫状河成因。事实上,它可以分为上、下两个亚段。虽然这

两个亚段的物源和砂分散方向具有很好的继承性(北西—南东向),但成因却完全不同。下亚段主要由辫状河体系和辫状河三角洲体系构成,其中辫状河三角洲平原构成了研究区的主体,辫状河三角洲前缘遭受了严重剥蚀。上亚段主要由曲流河体系和(曲流河)三角洲体系构成,虽然(曲流河)三角洲平原也是研究区的主体构成部分,但是(曲流河)三角洲前缘却占据了一定的空间,这是湖泊向西北方向扩展的结果。

正是由于上、下亚段成因的不同,所以导致砂体

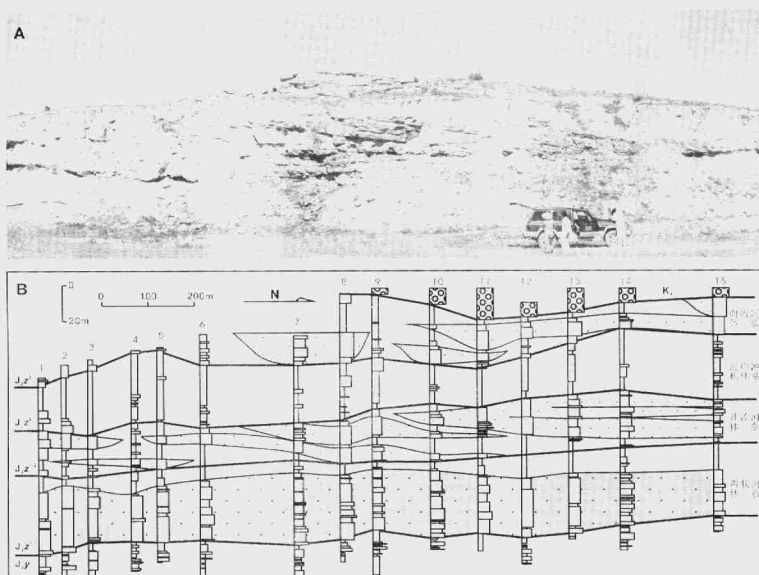


图7 曲流河道砂体的侧向迁移现象

A—露头点坝的侧向加积现象,高安窑;B—钻孔剖面揭示的河道砂体侧向迁移现象,东胜地区

Fig.7 The lateral transfer of sandstone, formed by meandering river

(A—lateral transfer of point bar in outcrops, Gaobaiyao; B—lateral transfer of channel sandstone, seen from section, Dongsheng area)



图8 直罗组下段上亚段(曲流河)三角洲前缘沉积剖面,吴道沟

Fig.8 The sedimentary profile of delta front (meandering stream), J<sub>2</sub>z<sub>2</sub><sup>-2</sup>, Wudaogou

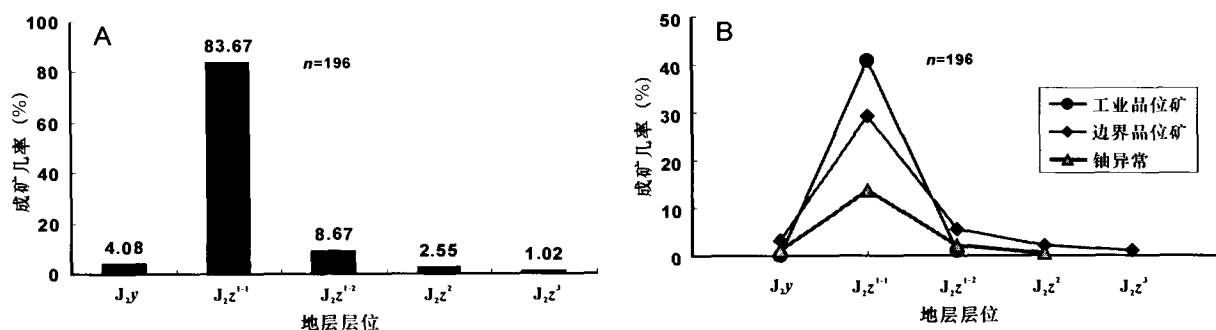


图9 东胜地区地层层位与成矿数量(A)、成矿质量(B)统计图

Fig. 9 The statistical charts of strata with number of mineralization (A); strata with quality of mineralization (B), Dongsheng area

结构和规模的明显区别。下亚段砂体具有较大的规模和较好的连通性,而上亚段砂体规模变小、非均质性增强。砂岩型铀矿勘探的实践证明,矿体主要聚集于规模大和连通性较好的下亚段砂体中。因此,上述认识可以应用于砂岩型铀矿的成矿规律总结和铀成矿空间的定位。

致谢 作者向关注此项研究并给予指导的李德连、陈跃辉、张金带、李子颖、简晓飞、李有良、郑大瑜、周维勋、彭云彪、杨建新、苗爱生等专家表示感谢。

#### 参考文献 (References)

- 1 焦养泉,陈安平,杨琴,等.砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一——鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨.铀矿地质,2005,21(1):8~15 [Jiao Yangquan, Chen Anping, Yang Qin, et al. Sand body heterogeneity: one of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos basin. Uranium Geology, 2005, 21(1): 8~15]
- 2 张抗.鄂尔多斯断块构造和资源.西安:陕西科学技术出版社,1989 [Zhang Kang. Tectonics and Resources of Ordos Fault Block. Xi'an: The Science and Technology Press of Shannxi, 1989]
- 3 李思田.含能源盆地沉积体系.武汉:中国地质大学出版社,1996. 32~45 [Li Sitian. Depositional Systems in Energy-resources Bearing Basins-Case Studies of the Continental and Paralic Depositional Systems in China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 32~45]
- 4 王双明.鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价.北京:煤炭工业出版社,1996. 333 [Wang Shuangming. Coal Accumulation and Coal Resource Evaluation of Ordos Basin. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1996. 333]
- 5 程守田,黄焱球,付雪洪.早中侏罗世大鄂尔多斯古地理重建与内陆拗陷的发育演化.沉积学报,1997,15(4):43~49 [Cheng Shoutian, Huang Yanqiu, Fu Xuehong. Paleogeography reconstruction of the Early-Middle Jurassic large Ordos basin and development and evolution of continental downwarping. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 43~49]
- 6 张泓,李恒堂,熊存卫.中国西北侏罗纪含煤地层与聚煤规律.北京:地质出版社,1998. 91~93 [Zhang Hong, Li Hengtang, Xiong Cunwei. Jurassic Coal-Bearing Strata and Coal Accumulation in Northwest China. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 91~93]
- 7 王仁农,李桂春.中国含煤盆地演化和聚煤规律.北京:煤炭工业出版社,1998. 49 [Wang Rennong, Li Guicun. The Evolution of Coal Bearing Basin and Coal Accumulation Rule in China. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1998. 49]
- 8 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律.北京:石油工业出版社,2002. 46 [Yang Junjie. Tectonic Evolution and Oil-gas Reservoirs Distribution in Ordos basin, Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 46]
- 9 吴仁贵,陈安平,余达淦,等.沉积体系分析与河道砂岩型铀矿成矿条件讨论——以鄂尔多斯中新世盆地东胜地区为例.铀矿地质,2003,19(2):94~99 [Wu Rengui, Chen Anping, Yu Dagan, et al. Analysis on depositional system and discussion on ore formation condition of channels and sandstone type uranium deposit-taking Dongsheng area, Ordos Meso-Cenozoic basin as an example. Uranium Geology, 2003, 19(2): 94~99]
- 10 李思田,程守田,杨士恭,等.鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析.北京:地质出版社,1992. 22~137, 163~174 [Li Sitian, Chen Shoutian, Yang Shigong, et al. Sequence Stratigraphy and Depositional System Analysis of the Northeastern Ordos Basin, Beijing: Geological Publishing House, 1992. 22~137, 163~174]
- 11 程守田,黄焱球.加强含煤岩系伴生矿产资源的综合研究——煤田地质工作拓宽领域之一.中国煤田地质,1994,6(2):35~39 [Cheng Shoutian, Huang Yanqiu. Stress on minor mineral resources of coal bearing strata- one of the broad regime of coal geologists. Coal Geology of China, 1994, 6(2): 35~39]
- 12 黄焱球,程守田.东胜煤系砂岩型高岭土的富集机理.煤田地质与勘探,1999,27(3):13~16 [Huang Yanqiu, Cheng Shoutian. The concentration mechanism of sandstone-type kaoline in coal-bearing strata in Dongsheng. Coal Geology & Exploration, 1999, 27(3): 13~16]



- ~16]
- 13 黄焱球,程守田,付雪洪. 东胜煤系高岭土矿床地质特征及开发利用前景. 煤田地质与勘探, 1997, 25(6): 10 ~ 13 [Huang Yanqiu, Cheng Shoutian, Fu Xuehong. The geological features of kaoline deposit in coal measures, Dongsheng, inner mongolia, and its prospect of development and utilization. Coal Geology & Exploration, 1997, 25 (6): 10 ~ 13]
- 14 陈戴生,李胜祥,蔡煜琦. 我国中新生代盆地砂岩型铀矿研究现状及发展方向的探讨. 沉积学报, 2003, 21(1): 113 ~ 117 [Chen Daisheng, Li Shengxiang, Cai Yuqi. A discussion on research situation and development direction of sandstone type uranium deposits in the Meso-Cenozoic Basin of China. Acta Sdeimentologica Sinica, 2003, 21(1): 113 ~ 117]

## Genetic Analysis of the Bottom Sandstone of Zhiluo Formation, Northeastern Ordos Basin: Predictive base of spatial orientation of sandstone-type uranium deposit

JIAO Yang-quan<sup>1</sup> CHEN An-ping<sup>2</sup> WANG Min-fang<sup>1</sup> WU Li-qun<sup>1</sup>  
YUAN Hai-tao<sup>1</sup> YANG Qin<sup>1</sup> ZHANG Cheng-ze<sup>1</sup> XU Zhi-cheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

<sup>2</sup> (Geologic Party No. 208, Bureau of Geology, CNNC, Baotou, Inner Mongolia 014010)

**Abstract** The sandstone structure and scale vary with different depositional systems, and have different contribution to uranium mineralization. According to outcrop research, drilling core analysis, and sand distributed system drawing, we analyzed the lower member of Zhiluo Formation, northeastern Ordos basin. The results show that the lower member of Zhiluo Formation is not formed by braided stream in traditional recognition. In fact, it can be divided into the upper and lower sub-members. Although the upper and lower sub-members have well inheritance in provenance and sand distributed direction—which is NW-SE, they have different genesis. The lower sub-member of Zhiluo Formation comprise braided stream system and braided delta regime, and braided stream delta plain is the main body; the upper sub-member of Zhiluo Formation comprise meandering river system and meandering river delta regime, and meandering river delta plain is the main body, meandering river delta front take up some space also, which is the result of lake extension to northwest. So, the low sub-member has larger scale and better connectivity, while up sub-member has smaller scale and higher heterogeneity. The practices of sandstone-type uranium exploration also prove that the ore mainly occurred in low sub-member of Zhiluo Formation. Therefore, the genetic recognition is favorable for the rule summary and space orientation of uranium mineralization.

**Key words** sedimentary system, sandstone genesis sandstone-type uranium deposit, Zhiluo Formation, Ordos basin