

文章编号: 1009-3850(2005)03-0074-06

# 开鲁盆地钱家店凹陷含铀岩系姚家组沉积环境 及其富铀意义

陈方鸿<sup>1</sup>, 张明瑜<sup>2</sup>, 林畅松<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 辽河石油勘探局 通辽铀矿, 辽宁盘锦 124010)

**摘要:** 利用 10 多口钻孔岩心、电测曲线和分析化验资料, 对钱家店凹陷含铀岩系姚家组沉积环境及古气候进行了分析。姚家组为一套以中细粒为主的砂质辫状河沉积产物。含矿层主岩为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩, 粒度概率累积曲线以悬浮总体含量较高为特征的两段式。一个完整的垂向序列由含砾砂岩或中细砂岩向上变细为粉砂岩和少量泥岩组成的正韵律。碎屑组分含量变化和重矿物分析表明, 沉积物源主要来自盆地西北部古隆起的酸性岩浆岩和变质岩。泥岩元素分析、孢粉分析及泥岩颜色等指示, 姚家组沉积期古气候主要为亚热带干旱气候, 在这一大的气候背景下有过程度较弱的短暂潮湿化事件发生。干旱—半干旱气候为层间氧化带的形成提供了有利的气候条件, 周边古隆起或更远山地的酸性火山岩、古老结晶岩和变质岩为该区提供了丰富的铀源, 广泛发育、物性较好的辫状河道砂体为铀矿化提供了良好的储渗空间。

**关键词:** 下白垩统; 姚家组; 沉积环境; 钱家店凹陷; 开鲁盆地; 内蒙古

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

## 1 概述

开鲁盆地位于内蒙古东部, 钱家店凹陷位于开鲁盆地的东北部, 是其一个次级负向构造单元, 呈北北东—北东向狭长带状展布, 面积约 1280 km<sup>2</sup>, 是一个在海西褶皱基底上发育起来的中、新生代断拗叠合型凹陷。凹陷内基底为前震旦纪花岗片麻岩和石炭—二叠系变质岩组成; 盖层主要为侏罗系上统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组的断陷湖盆沉积和白垩系泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组的拗陷型河流相—湖相沉积; 其上为古近系—第四系松散堆积物。

下白垩统姚家组与下伏青山口组和上覆嫩江组均为假整合接触, 岩性为杂色、黄色、浅灰色细砂岩、含砾砂岩与紫红色泥岩、灰色粉砂岩不等厚互层, 地层中含孢粉和介形虫化石, 钻井揭示最大厚度

200m。依岩电特征, 地层可明显地分成两段, 每段由多个小的沉积旋回组成下粗上细的韵律, 局部可见下细上粗的反粒序。

钱家店凹陷具有丰富的油气资源, 目前已在多个洼陷里找到了工业油气流<sup>[1~3]</sup>。钱家店凹陷钱 2 块铀矿是辽河油田在进行外围盆地勘探过程中因浅层伽玛异常引起重视而发现的。铀矿化层主要赋存于姚家组上段中下部和下段中上部地层。研究表明, 钱 2 块铀矿类型为层间氧化带砂岩型铀矿床, 铀矿形成受岩相带的控制明显, 良好的地层结构为铀矿的形成和保存提供了有利的条件<sup>[4]</sup> (图 1)。而可地浸砂岩型铀矿因其开采成本低和对环境的负面影响小而成为世界各国找矿的首选类型。因此, 研究含铀岩系的古沉积环境对矿床成因研究和矿体预测具有十分重要的意义, 同时也对类似地质背景盆地的铀矿勘探具有借鉴意义。

收稿日期: 2004-12-30

第一作者简介: 陈方鸿, 1968 年生, 讲师, 博士生, 主要从事沉积学与层序地层学研究。

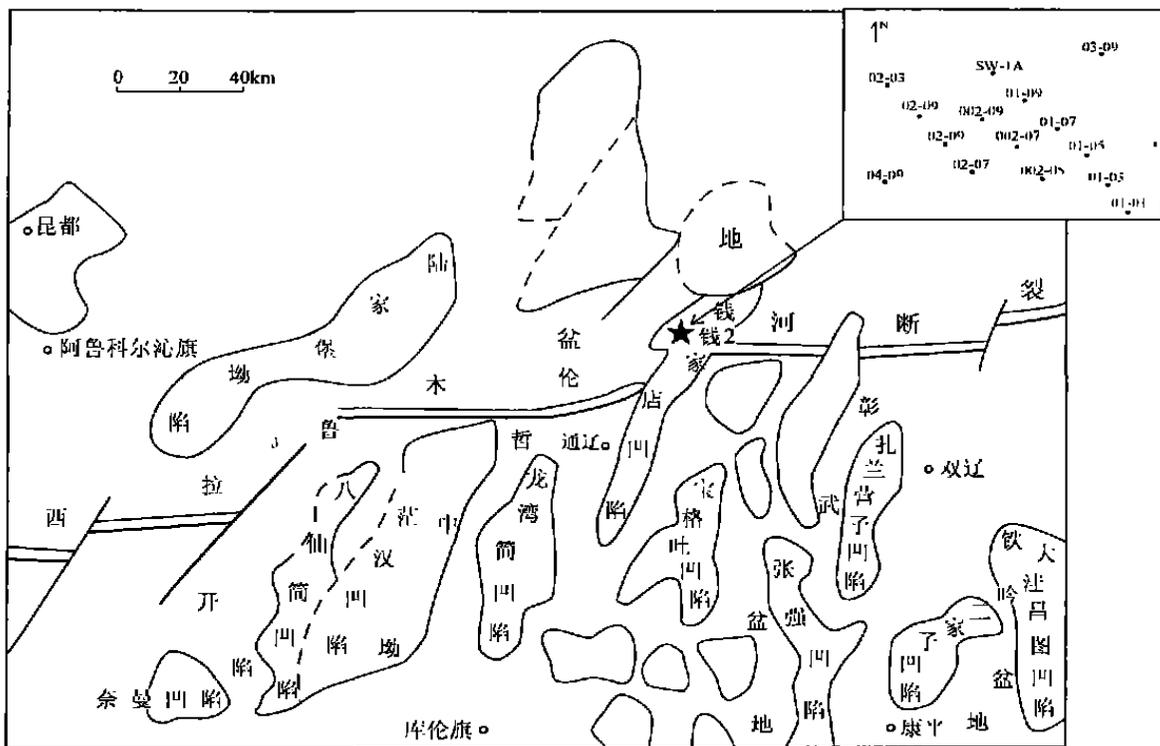


图1 钱家店凹陷区域位置图

Fig.1 Location of the Qianjiadian depression

## 2 姚家组沉积环境

通过 10 多口钻孔的岩心观察、组构分析、粒度分析、沉积构造组合、垂向序列及分析化验资料表明,姚家组为一套中细粒为主的砂质辫状河沉积体系产物。

### 1. 岩石组构特征

姚家组含矿岩石以中细粒砂岩为主,为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩。岩石成分成熟度和结构成熟度较低,碎屑成分主要为长石、岩屑和石英。长石含量为30%~48%(平均40%),以钾长石为主,斜长石较少;石英含量为6%~18%(平均10%);岩屑含量为37%~61%(平均50%),以中酸性喷出岩和浅成岩为主,次为花岗质岩屑、石英岩、片岩和泥岩岩屑等。碎屑颗粒分选较差,磨圆度中等—较差,多为次棱角—次圆状。砂岩填隙物成分有杂基和胶结物两类,杂基含量较低,一般小于10%,且多在5%以下,成分主要为火山灰及粘土类矿物;胶结物含量也较低,一般小于5%,成分主要有方解石、白云石等。

### 2. 粒度特征

砂岩主要粒级集中在 2~2.5 $\phi$  区间。粒度概率累积曲线由跳跃和悬浮两段式组成,具典型的河流粒度概率曲线特征。跳跃总体和悬浮总体的截点在

2.45~3.2 $\phi$ 区间。悬浮总体比较发育,由两个次级总体构成,截点在7.2~8.3 $\phi$ 区间内,造成细尾很长,其含量可达40%(图2)。以上特征说明沉积水动力

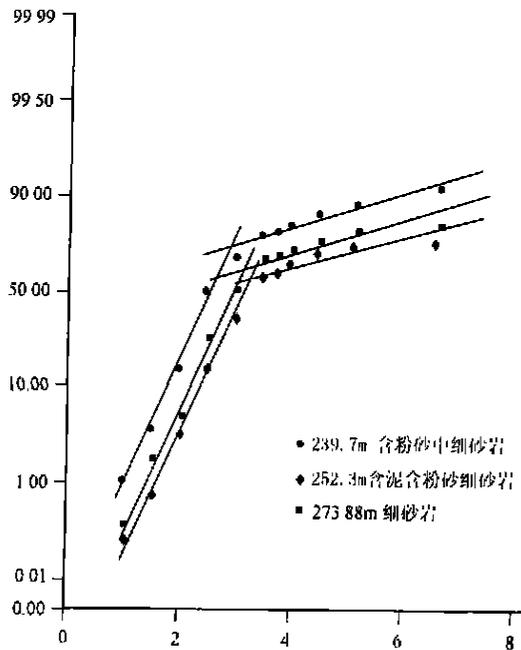


图2 04-09孔不同岩性的粒度概率累积曲线特征

Fig.2 Grain size probability cumulative curves for various rock types in the 04-09 well

条件较强, 细粉砂和粘土物质含量, 造成悬浮组分较高。

### 3. 沉积构造特征

岩心观察表明, 含砾砂岩、中粗砂岩、细砂岩、粉砂岩中的沉积构造非常发育, 它们以反映水浅流急的牵引流或碎屑流的形成机制为主。主要的沉积构造有冲刷(充填)构造(图 3A)、冲刷截切构造、槽状交错层理(图 3B)、楔状交错层理、平行层理、块状层理、粒序层理(图 3C)、颗粒支撑结构、波状交错层理(图 3D)等。

### 4. 垂向层序特征

一个完整的垂向序列由含砾砂岩或中细砂岩向上变为粉砂岩和少量泥岩组成的正韵律, 泥岩厚度为十几厘米—数十厘米不等。层序底部一般发育冲刷构造, 自下而上发育槽状交错层理或块状层理、递变层理、楔状交错层理、平行层理、波状交错层理、水平层理等。序列底部常发育完整, 上部常被冲刷侵蚀而保存不完整, 形成连续的叠复冲刷, 铀矿化层常位于冲刷界面附近(图 4)。

## 3 古物源恢复

研究区重矿物以稳定组分占绝大多数, 超稳定组分为锆石、电气石, 稳定组分为石榴子石、十字石、黑云母、钛磁铁矿、白钛矿, 中等稳定组分为楣石。重矿物组合之一为锆石、楣石、黑云母、电气石, 其母

岩为酸性岩浆岩, 如花岗岩; 组合之二为: 石榴子石、十字石、黑云母等, 母岩为变质岩。从锆石含量变化可看出, 锆石含量自 05—09 孔沿 05 号勘探线由西北向西南方向增加; 另一方向沿 04 号勘探线由西向西南方向增加。说明沉积物可能源自多支方向, 母岩主要为来源于盆地西北部古隆起上的酸性岩浆岩和变质岩。

## 4 古气候分析

姚家组的泥岩颜色绝大多数为红色, 少数薄夹层为灰色、黑色。从岩石的颜色反映出姚家组总体上为干旱的氧化环境, 也出现短暂的潮湿还原环境。通过对 04-09 孔姚家组泥岩元素分析(表 1) 发现泥岩  $Fe_2O_3/FeO = 6.59$ , 与夏毓亮等(1999) 分析的泥岩  $Fe_2O_3/FeO = 2.61$ 、砂岩  $Fe_2O_3/FeO = 1.05$  有一定差别, 表明姚家组沉积环境为强氧化环境。此外, 从  $Fe_2O_3/FeO$  值纵向分布可见(图 5), 姚家组下段  $Fe_2O_3/FeO$  值比上段相对较大, 曲线呈锯齿状波动, 说明在强氧化沉积环境的背景下, 出现短暂的弱氧化—弱还原的环境。在分析的 20 块泥岩样品中, 微体和孢粉化石稀少。结合岩性特点, 可认为气候比较干旱, 水体矿化度可能过大, 而不适合微体生物的生存。只有在 04-09 孔上段两块灰黑色泥岩中发现的孢粉母体植物代表了针叶、灌草丛、草丛植被, 指示了半湿润的亚热带气候(表 2)。因此, 该区在白

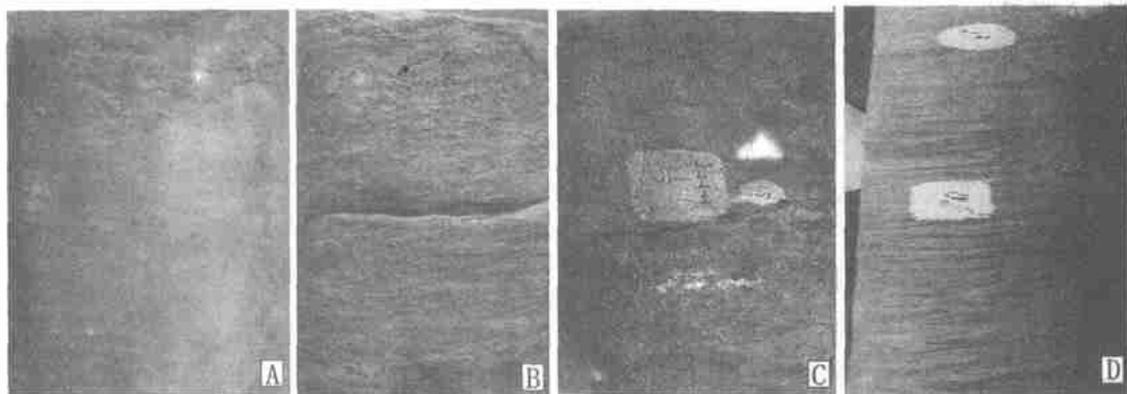


图 3 砂岩主要沉积构造类型

A. 04-09 孔, 296.58~296.77m 深, 含砾中粗砂岩, 顶部冲刷充填构造, 下部块状构造; B. 04-09 孔, 242.6~242.7m 深, 浅灰色含砾细砂岩, 槽状交错层理; C. 04-09 孔, 243.02~243.15m 深, 紫红色泥砾质粗砂岩, 粒序层理; D. 01-01 孔, 269.85~270.1m 深, 粉砂岩, 波状交错层理

Fig. 3 Main types of sedimentary structures in sandstones

A. Scour (filling) structures at the top and massive structures in the lower part in gravelly medium-grained sandstone, 04-09 well, 296.58—296.77 m in depth; B. Trough cross-beddings in light grey gravelly fine-grained sandstone, 04-09 well, 242.6—242.7 m in depth; C. Graded beddings in purplish red muddy-gravelly coarse-grained sandstone, 04-09 well, 243.02—243.15 m in depth; D. Wavy cross-beddings in siltstone, 01-01 well, 269.85—270.1 m in depth

表1 04-09井泥岩化学分析( $w_B/\%$ )结果表

Table 1 Chemical analyses for the mudstones from the 04-09 well ( $w_B/\%$ )

成分	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
泥岩(23样平均)	66.14	0.61	14.16	0.58	3.82	0.04	1.53	0.92	3.16	0.44
泥岩(*)	65.71	0.71	15.56	0.82	2.14	0.03	1.27	2.14	3.63	0.62
砂岩(*)	72.48	0.43	11.24	1.07	1.12	0.11	2.53	1.12	3.49	1.05

由中国科学院地质所测定; \*数据引自夏毓亮(1999)。

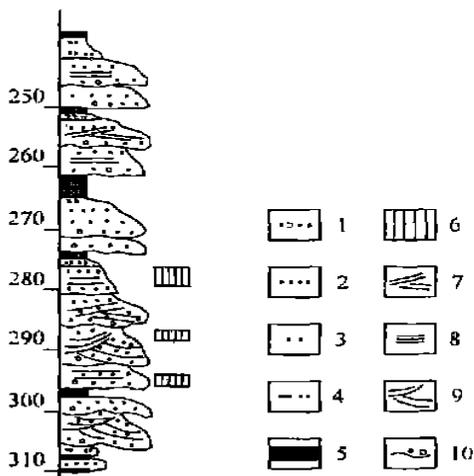


图4 02-09井岩心垂向序列特征

1. 含砾细砂岩; 2. 细砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 泥岩; 6. 铀矿化区; 7. 楔状交错层理; 8. 平行层理; 9. 槽状交错层理; 10. 冲刷(充填)构造

Fig. 4 Vertical sequence in the 02-09 well

1= gravelly fine-grained sandstone; 2= fine-grained sandstone; 3 = siltstone; 4 = muddy siltstone; 5 = mudstone; 6= uranium-mineralized area; 7 = wedge cross-bedding; 8= parallel bedding; 9= trough cross-bedding; 10= scour (filling) structure

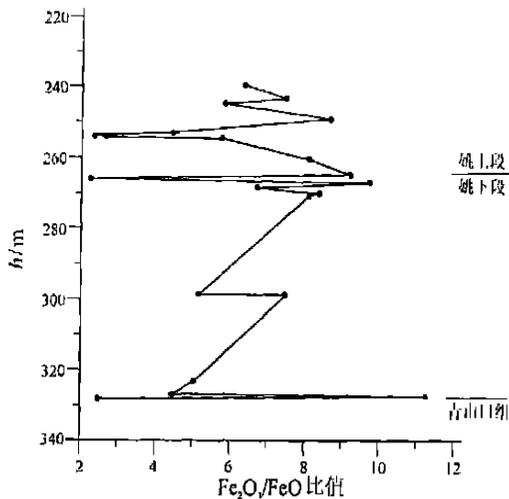


图5 04-09井 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 比值垂向变化特征

Fig. 5 Vertical variations in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO ratios for the 04-09 well

半干旱、沙漠—草原气候, 地表植被不发育, 含铀含氧水未被还原而直接渗入地下, 在地下氧化还原成矿。同时由于蒸发作用, 地表渗透水的铀含量增高, 对形成层间氧化带铀矿床有利, 并且对地表的铀矿床的保存也非常有利<sup>[3]</sup>。

(2) 物源区具有丰富的铀源条件。蚀源区为周边古隆起或更远的山地的酸性火山岩、古老结晶岩和变质岩等。酸性火山岩中含铀较高, 为(5~10)×10<sup>-6</sup>, 浸出率为20%~40%<sup>[4]</sup>, 为该区提供了丰富的铀源。

(3) 广泛发育、物性较好的辫状河砂体为含氧含铀水的运动提供了良好的储渗空间。叠加连片的辫状河砂体由于物性较好, 为地下水从供给区—径流区—排泄区形成畅通的流体通道创造了极有利的条件, 使富铀离子的流体能够源源不断地在目标区还原吸附聚集成藏。

(4) 钱家店凹陷勘探的成功对类似盆地的铀矿勘探具有借鉴意义。而且可地浸砂岩型铀矿因其开

垩纪中后期主要为亚热带干旱气候, 但在这一大的气候背景下有过程度较弱的短暂潮湿化事件发生。

### 5 沉积环境的富铀意义

钱家店铀矿床是属于与油气二次还原作用有密切关系的层间氧化带砂岩型铀矿床。但受沉积环境控制的岩性、地层结构和古气候是形成层间氧化带的重要条件, 也是矿床成因研究的重要依据。该区的古沉积环境为铀成矿提供了良好的条件, 具体表现在:

(1) 干旱—半干旱气候为层间氧化带的形成提供了有利的气候条件。自晚白垩世至今均为干旱、

表 2 孢子花粉母体植物及其气候环境

Table 2 The matrix plants and their climatic environments indicated by pollens and spores

属 种	可能的母体植物	植被类型	气候带	生态
<i>Lycopodiumsporites</i>	石松类	草本	热—温	半潮湿—半干旱
<i>Cyatheidites</i>	桫欏科或蚌壳蕨科	常绿阔叶	热	湿生
<i>Lophotrieketes</i>			热—亚热带	
<i>Cicatricosisporites</i> + <i>Tribosporites</i> + <i>Pilosporites</i> + <i>Lygodiosporites</i> + <i>Imparidacispora</i>	海金沙科	灌木	热	湿生
<i>Schizaeisporites</i>	希指蕨	草本	热—亚热带	旱生
<i>Densoisporites</i> + <i>Aquitrinadites</i>	卷柏科	草本		
<i>Osmundacidites</i>	紫萁科	草本	热—温	沼生
<i>Balmeisporites</i>			温	水生
<i>Baualtisporites</i>			热—温	湿生
<i>Trochicola</i>	藓类	草本		
其它蕨类孢子		灌木		
<i>Cedripites</i>	雪松	针叶	亚热带	半潮湿—半干旱
<i>Podocarpidites</i> + <i>Parcisporites</i>	罗汉松	针叶	热	湿生
松科花粉	松科	针叶		
<i>Taxodiaceapollenites</i>	杉、柏科	针叶	亚热带	沼生
<i>Exesipollenites</i>			亚热带	沼生
<i>Psophosphaera</i>			热—温	半潮湿—半干旱
<i>Inaperturopollenites</i>			温	半潮湿—半干旱
<i>Cupuliferoidapollenites</i>		常绿阔叶	亚热带	半潮湿—半干旱
<i>Clavatipollenites</i>			热	湿生
<i>Operculidium</i> + <i>Schizosporis</i>	藻类		水生	

\* 孢子花粉由中国石油勘探开发研究院分析测试中心鉴定

采成本低和对环境的负面影响小而成为世界各国找矿的首选类型。我国北方的吐哈盆地、二连盆地、松辽盆地等具有与开鲁盆地类似的成矿地质背景,钱家店铀矿的勘探成功对以上盆地的铀矿勘探应具有借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 朱筱敏,等. 内蒙古钱家店凹陷侏罗系层序地层与岩性圈闭. 石油勘探与开发, 2000, 27(2): 48—52.
- [2] 高永富. 钱家店凹陷九佛堂组低渗透储层特征研究. 特种油气藏, 2001, 8(2): 19—22.
- [3] 田晓玲,等. 钱家店凹陷胡力海洼陷成藏条件分析. 特种油气藏, 2001, 8(4): 13—16.
- [4] 殷敬红,等. 内蒙古东部开鲁盆地钱家店凹陷铀矿成藏沉积因素分析. 古地理学报, 2000, 2(4): 76—83.
- [5] 成都地质学院三系第三教研室矿床组编. 放射性矿床学. 北京: 原子能出版社, 1979. 111—113.

## Sedimentary environments and uranium enrichment in the Yaojia Formation, Qianjiadian depression, Kailu Basin, Nei Mongol

CHEN Fang-hong<sup>1</sup>, ZHANG Ming-yu<sup>2</sup>, LIN Chang-song<sup>1</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Tongliao Uranium Mine, Liaohé Bureau of Petroleum Exploration and Development, Panjin 124010, Liaoning, China*)

**Abstract:** The sedimentary environments and palaeoclimates in the uranium-bearing Yaojia Formation in the Qianjiadian depression, Kailu Basin are discussed on the basis of well logs, electric logs and laboratory data. The Yaojia Formation is heaped up by the medium- to fine-grained sandy braided stream deposits. The host rocks of ore beds consist of lithic arkose and arkosic arenite. The grain size probability cumulative curves for the sandstones display the features of saltation and suspension populations, i. e., those of typical fluvial deposits. Sedimentary structures include scour (filling) structure, scour-faceted structure, large-scale trough cross-bedding, wedged cross-bedding, parallel bedding, massive bedding, graded bedding, and wavy cross-bedding. The vertical sequences exhibit a fining-upward normal rhythmic sequence from gravelly sandstones or medium- to fine-grained sandstone passed upwards into siltstone and mudstone. The analysis of clastics and heavy minerals shows that the sediments are derived from the acidic magmatic rocks and metamorphic rocks on the palaeouplift in northwestern basin. The chemical analysis and colour index of mudstone and sporopollen analysis indicate that the palaeoclimates are dominated by the arid climates of the subtropical zone in which there occurred weak and ephemeral moistening events here and there. The arid-semiarid climates facilitate the formation of interstratal oxidized zones. The acidic volcanic rocks, old crystalline rocks and metamorphic rocks from the above-mentioned palaeouplift or distal mountain areas may serve as the uranium sources, and the braided stream sandstones as good reservoir rocks for uranium mineralization.

**Key words:** Lower Cretaceous; Yaojia Formation; sedimentary environment; Qianjiadian depression; Kailu Basin; Nei Mongol