



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2406242

引用格式: 万宏峰, 周文博, 王长虹, 等. 海拉尔盆地克鲁伦凹陷层序地层控制下的沉积相展布与铀成矿潜力[J]. 科学与技术工程, 2025, 25(20): 8410-8423.

Wan Hongfeng, Zhou Wenbo, Wang Changhong, et al. Sedimentary facies distribution and uranium mineralization potential under control of sequence stratigraphy in Kelulun Sag, Hailar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(20): 8410-8423.

海拉尔盆地克鲁伦凹陷层序地层控制下的 沉积相展布与铀成矿潜力

万宏峰, 周文博*, 王长虹, 崔雅男, 张荣, 赵曙光

(核工业二四三大队, 赤峰 024000)

摘要 为查明海拉尔盆地克鲁伦凹陷下白垩统铀成矿潜力, 综合利用岩心、测井和地震等资料, 通过层序地层与沉积相分析方法研究了区内和的层序地层空间展布、沉积相类型与展布特征以及铀富集有利空间位置。结果表明: 确定克鲁伦凹陷目的层段三级、四级层序地层划分标志, 将目的层段划分为 1 个二级层序、2 个三级层序以及 4 个四级层序, 同时阐明了层序地层展布特征。区内目的层段主要发育扇三角洲-湖泊相沉积体系, 沉积相平面上具有近源、相变快和分布范围小的特征。区内目的层处于高位域沉积时期的扇三角洲平原辫状水道砂体和扇三角洲前缘水下分流河道砂体具有良好的铀成矿潜力。

关键词 铀成矿潜力; 沉积相; 层序地层; 下白垩统; 克鲁伦凹陷

中图法分类号 P621;

文献标志码 A

Sedimentary Facies Distribution and Uranium Mineralization Potential under Control of Sequence Stratigraphy in Kelulun Sag, Hailar Basin

WAN Hong-feng, ZHOU Wen-bo*, WANG Chang-hong, CUI Ya-nan, ZHANG Rong, ZHAO Shu-guang

(Geological Party No. 243, CNNC, Chifeng 024000, China)

[Abstract] In order to find out the uranium metallogenic potential of the Lower Cretaceous in Kelulun Sag of Hailar Basin, the spatial distribution of sequence stratigraphy, types and distribution characteristics of sedimentary facies and favorable spatial location of uranium enrichment in the area were studied by using sequence stratigraphy and sedimentary facies analysis methods based on core, logging and seismic data. The results show that the third-order and fourth-order sequence stratigraphic division marks of the target strata in the Kelulun Sag are determined. The target strata are divided into one super sequence, two three-order sequences and four fourth-order sequences, and the distribution characteristics of sequence stratigraphy are clarified. The sedimentary system of fan delta-lacustrine facies is mainly developed in the target layer in the area. The sedimentary facies plane has the characteristics of near source, fast phase change and small distribution range. The braided channel sand bodies of the fan delta plain and the underwater distributary channel sand bodies of the fan delta front have good uranium metallogenic potential.

[Keywords] uranium metallogenic potential; sedimentary facies; sequence stratigraphy; Lower Cretaceous; the Kelulun Sag

自 20 世纪 90 年代以来, 中国核工业地质局在海拉尔盆地开展砂岩型铀矿勘探工作, 盆地内的克鲁伦凹陷一直作为工作重点^[1]。近年来, 在凹陷西北部也相继发现了铀工业孔、铀矿化孔以及大量的异常孔^[2], 总体上显示出比较好的铀后生富集成矿作用和找矿前景。然而, 目前对区内地层划分与对比未形成统一的认识, 导致找矿主攻目的层仍然存在争议。张志杰等^[3]认为大磨拐河组是找矿的主要目的层。马汉峰等^[4]认为主攻层位为大磨拐

河组上段。黄少华等^[5]认为找矿目的层为伊敏组下段。同时, 对于成矿期的沉积环境方面研究薄弱, 罗毅等^[6]目前只明确了区内主要发育扇三角洲、湖泊相这两种沉积相类型, 对于具体的沉积相特征以及沉积相展布情况仍然不明, 这些问题严重制约了克鲁伦凹陷找矿成果进一步扩大, 鉴于此, 基于层序地层学理论, 针对克鲁伦凹陷地层特征复杂、变化迅速、连续性不佳且缺乏明显标志层的实际状况, 提出以测井及岩性资料为主导, 辅以地震

收稿日期: 2024-08-21; 修订日期: 2025-04-23

基金项目: 中国核工业地质局基金(202102, 202409-3)

第一作者: 万宏峰(1997—), 男, 汉族, 内蒙古赤峰人, 硕士, 助理工程师。研究方向: 铀矿资源调查评价、层序地层学与沉积岩石学。E-mail: 2482366704@qq.com。

* 通信作者: 周文博(1987—), 男, 汉族, 内蒙古赤峰人, 硕士, 高级工程师。研究方向: 铀矿资源调查评价。E-mail: 1062181637@qq.com。

投稿网址: www.stae.com.cn

资料的层序地层对比策略,在此基础上,引入预测误差滤波分析处理(integrated prediction error filter analysis)方法对测井数据进行优化,显著提升了层序地层界线划分的精确度。基于精细层序地层划分,建立区域性的层序地层对比格架,以四级层序(体系域)为基本作图单元,剖析地层分布特征、沉积相演变模式以及铀成矿的潜在能力,着重探讨层序—沉积对的铀矿分布控制作用和规律,以期指导该地区的下一步的铀矿勘查。

1 地质背景

克鲁伦凹陷(图1)是海拉尔盆地西南部扎赉诺尔坳陷的一个二级负向次级构造单元,凹陷整体呈北东向展布,长约120 km,宽约12 km,面积约1 240 km²,受西侧克鲁伦河断裂控制,该凹陷为单断箕状型,具有“西断东超”的特征,具有“南北分块,东西分带”的构造格局^[7-10]。沉积地层为下白垩统,属于扎赉诺尔群,自下而上可分为铜钵庙组(K₁t)、南屯组(K₁n)、大磨拐河组(K₁d)、伊敏组(K₁y)4个组(图2^[11-17])。铜钵庙组(K₁t)与下伏上侏罗统兴安岭群呈不整合接触,岩性为凝灰质砾岩、砂岩夹灰绿、灰

黑色泥岩、凝灰岩;南屯组下部为中薄层的砾岩,向上逐渐过渡为泥岩,凝灰质砂岩发育,上部为砂泥岩薄互层,部分地区夹煤层;大磨拐河组下部为厚层砂岩夹灰黑色泥岩、灰黑色泥岩,局部夹煤层,上部为厚层泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩夹煤层;伊敏组下段岩性为灰绿色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩夹煤层;中部岩性为灰绿色泥岩,粉砂质泥岩夹浅灰色砂岩,局部夹煤层;上段岩性则为灰白色砂岩与绿灰色泥岩互层,局部含煤^[18-23]。

伊敏组和大磨拐河组沉积时期古气候温暖潮湿,植被发育,灰色砂体中富集了大量的炭化植物碎屑,原生还原容量高,是对成矿有利的气候环境^[24]。

2 层序地层分析

层序地层学研究的关键在于层序界面的识别与划分,层序界面识别是划分层序并建立等时地层格架的基础,通过地震反射终止关系、测井标志以及岩性标志进行层序界面的识别。

2.1 三级层序界面识别标志及特征

地震上,T₂₋₂反射层为大磨拐河组底界面,是一

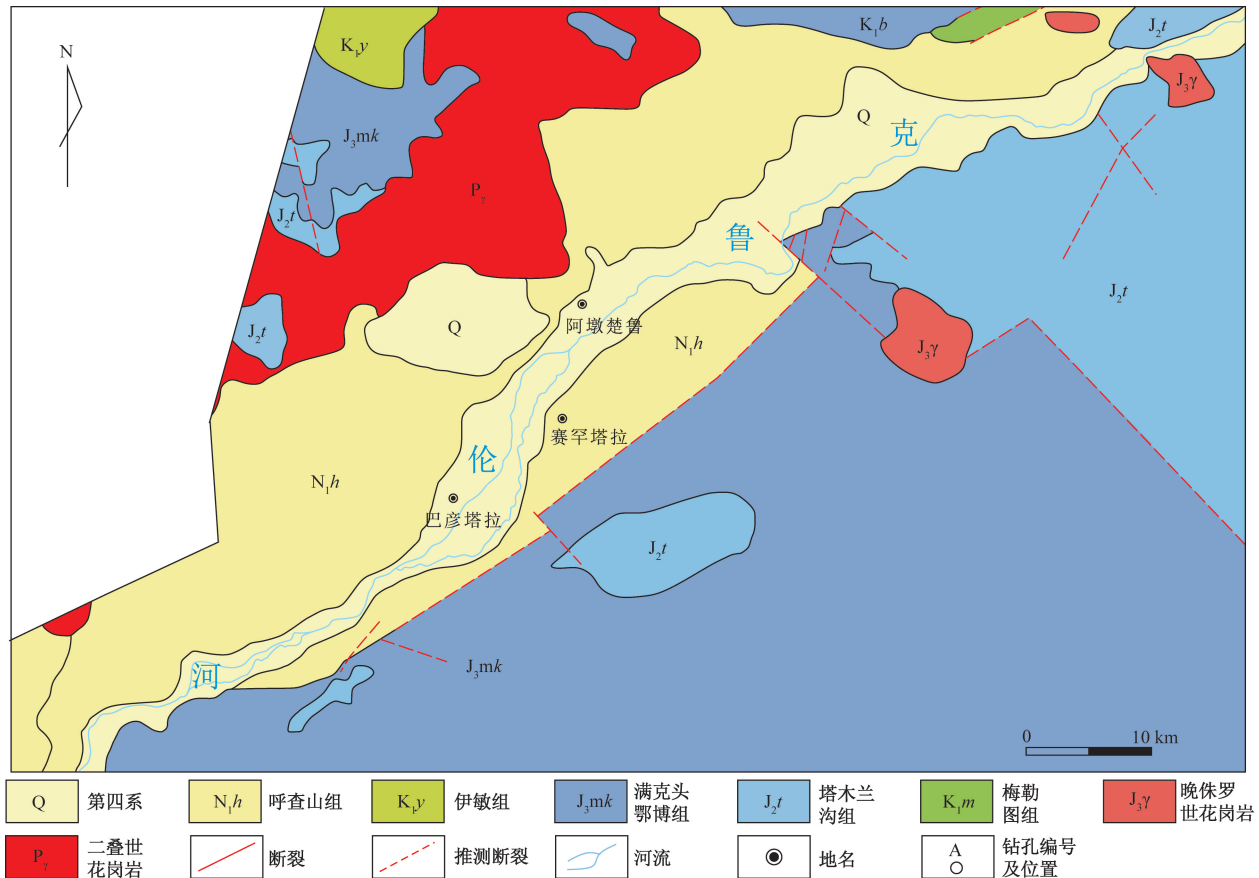
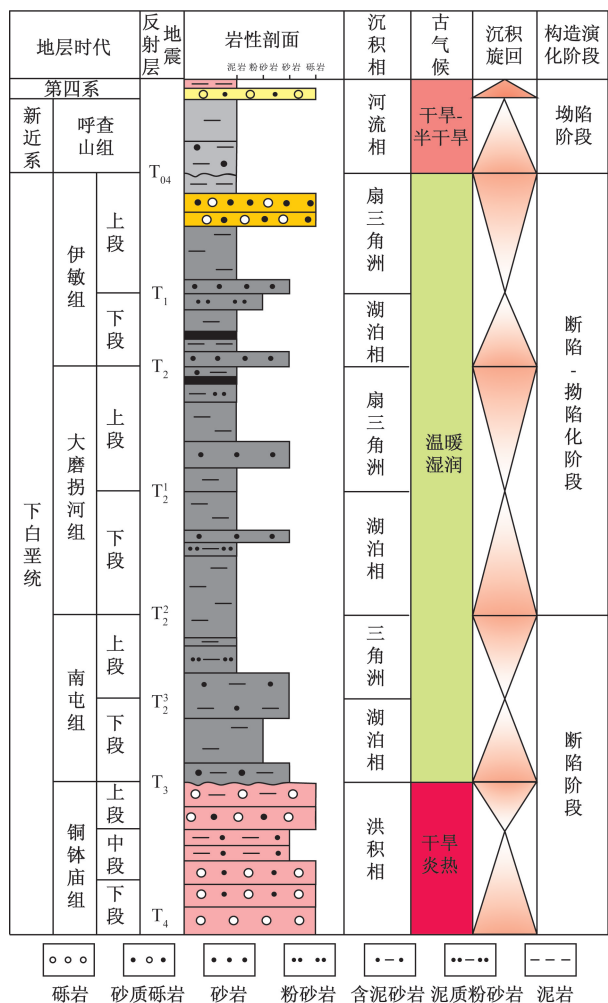


图1 克鲁伦凹陷铀矿地质简图(据文献[5]修改)

Fig. 1 Geological sketch of uranium deposit in Kelulun depression(revised according to ref. [5])

图2 克鲁伦凹陷地层综合柱状图^[11-17]Fig. 2 Comprehensive stratigraphic histogram of Kelulun Sag^[11-17]

个三级层序界面,剖面上看[图3(根据文献[25]修改)],反射振幅强烈,并且与上覆地层表现出明显的角度不整合,界面之下呈现削截特征,界面之上地层呈现下超特征,为规模较大的区域不整合面。 T_2 反射层为大磨拐河组顶面,中弱振幅反射波组底界,波峰反射强;反射层本身能量较强,反射层以上表现为超覆及平行整合接触关系。 $T_{0.4}$ 反射层为伊敏组顶面,反射层为断拗构造层与拗陷构造层的分界面,为伸展型一级构造层序界面。地震反射特征呈中高频反射,为一个强振幅反射波组底界、高连续反射层,波谷反射强烈,界面之上地震同相轴连续性差,界面之下连续性好且振幅较强,对比可靠,易于追踪^[26-28]。

测井上,三级层序界面常常发育于测井曲线基值发生突变的位置,指示沉积间断。大磨拐河组与南屯组边界(SB3)、大磨拐河组与伊敏组边界(SB4)、伊敏组和呼查山组边界(SB5)自然伽马曲线界面上下基线值发生明显变化,大磨拐河组自

然伽马曲线基线值低于上覆伊敏组和下伏南屯组基线值,而伊敏组基线值又与上覆呼查山组曲线基线值出现明显“台阶”。电阻率曲线同样在三级层序界面处出现突变特征,大磨拐河组电阻率基线值整体比南屯组大,上部电阻率曲线呈高值,下部电阻率曲线基值较低,偶有高值;伊敏组电阻率曲线呈中阻值与底阻值相间分布(图4)。

为了能够更加直观的划分层序,排除自旋回作用的干扰,因此引入预测误差滤波分析(INPEFA)技术,进行层序地层划分与对比。预测误差滤波分析技术是在最大熵频谱分析法基础上形成的,对测井曲线进行处理后可以获得INPEFA曲线,曲线的拐点能够反映不同的地质意义反映了不同级次层序的界面:曲线的正向拐点(由小到到再到小)代表可能的洪泛面,曲线的负向拐点(由大到小再到小)代表了可能的层序界面;而曲线的趋势反映了不同级次沉积旋回的气候,水体以及韵律变化,正趋势(自下而上逐渐减小)表示海(湖)进的过程,负趋势(自下而上逐渐)表示海(湖退)的过程^[29]。以钻孔A为例,利用该技术轻易在GR-INPEFA曲线上识别出3个负向拐点,进而划分出3个三级层序界面SB3、SB4、SB5,两个正向拐点,表示可能的最大湖泛面(图4)。

岩性及岩性组合上,三级层序界面沉积岩颜色、岩性组合往往发生突变。SB3界面之下为南屯组厚层黑色泥岩,而界面之上为大磨拐河组一段的厚层灰色砂岩,界面之上的岩性组合为由灰色砂岩向灰黑色泥岩转变,表现为正旋回,反映了水体逐渐加深的沉积过程(图5)。SB4、SB5也具有相似的特征。

2.2 体系域界面识别标志特征

三级层序内部界面(四级层序界面)是划分体系域的基础。

初始湖泛面(FFS)是低位体系域(LST)与湖侵体系域(TST)的分界面,在大磨拐河组一段和伊敏组一段底部识别出两个初始湖泛面(图4)。电阻率曲线响应明显,界面之上为低阻,界面之下为中阻响应特征,自然伽马曲线无明显响应。岩性组合上,界面之上为一套厚层的黑色泥岩段,界面之下为一套的砂岩和泥岩薄互层岩性组合(图5)。

最大湖泛面(MFS)为湖侵体系域与高位体系域的分界面,大磨拐河组一段顶部以及伊敏组一段顶部识别出两个最大湖泛面,最大湖泛面在INPEFA曲线上具有明显的响应特征,为该曲线的正向拐点(图4)。岩性上,界面之下为一套厚层黑色泥岩,界面之上则以发育厚层灰色砂岩为特征(图5)。

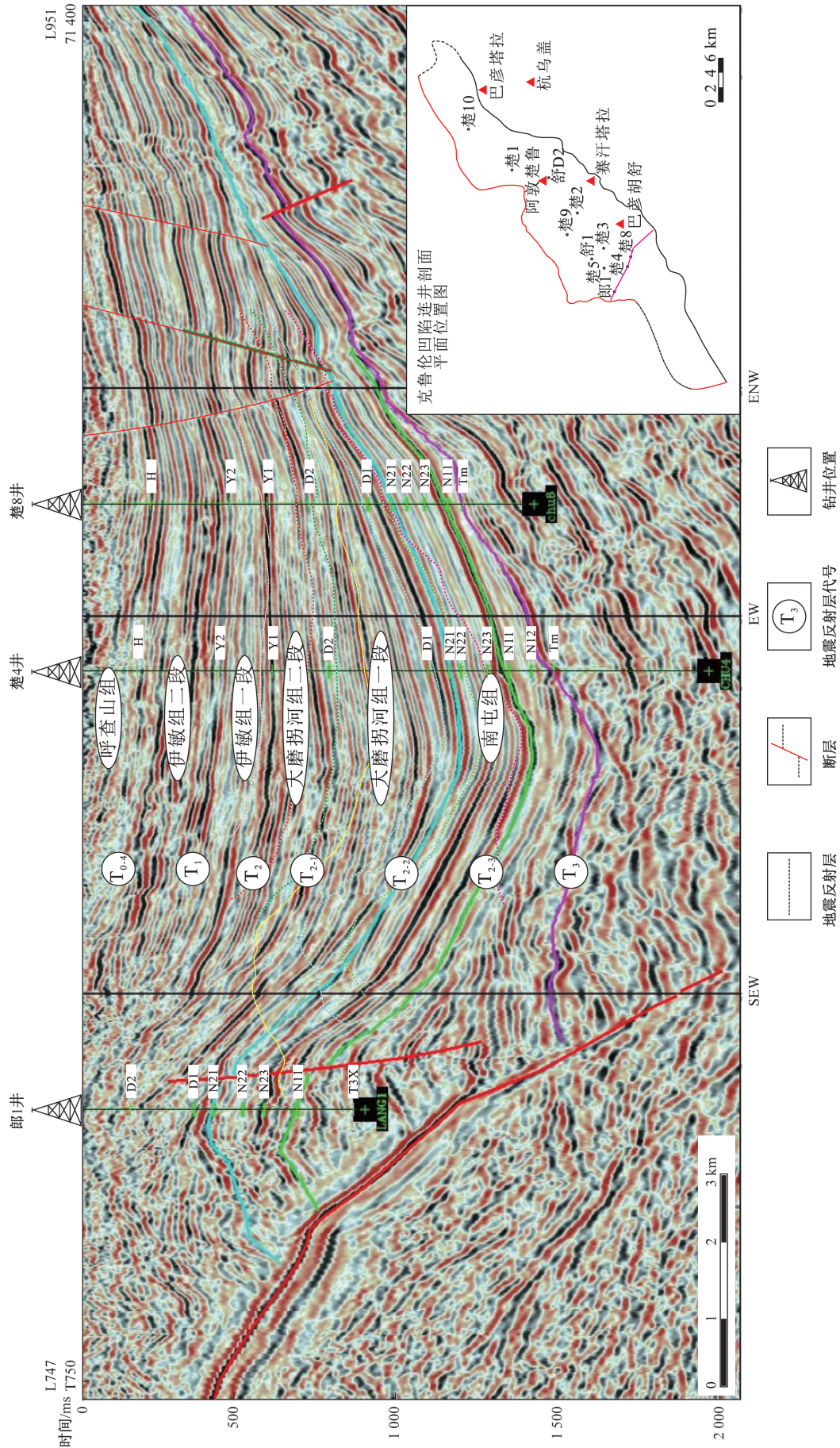
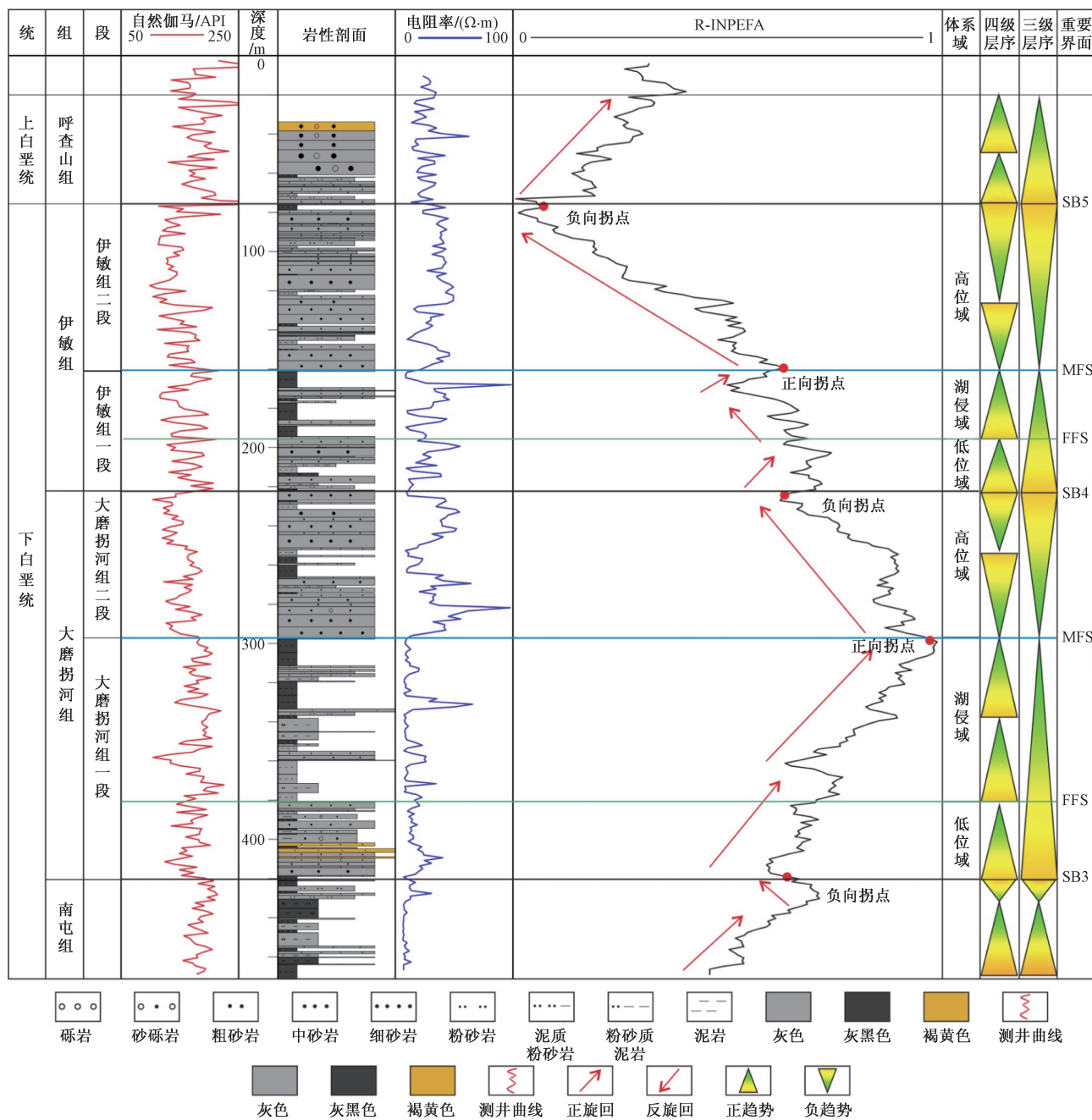


图3 过郎1井-楚4井-楚8井地震地层解释剖面 (据文献[25]修改)

Fig.3 Seismic stratigraphic interpretation profile of Well Lang 1-Well Chu 4-Well Chu 8 (modified according to ref.[25])



R-INPEFA 为电阻率曲线的频谱属性趋势

图4 钻孔 A 下白垩统测井层序地层划分剖面图

Fig. 4 Borehole A Lower Cretaceous logging sequence stratigraphic division profile

3 层序划分方案及层序发育特征

3.1 层序划分方案

依据层序地层学理论,分析地震反射终止关系、单井岩性及其旋回性,并考虑全区地层发育的特征及层序划分的可行性^[30],将克鲁伦凹陷下白垩统伊敏组和大磨拐河组划分为一个二级层序(SSQ I);两个三级层序,即对应大磨拐河组(SQ3)和伊敏组(SQ4);4个四级层序,SQ3的低位域和湖侵域(LST + TST)对应大磨拐河组一段,而高位域

(HST)对应大磨拐河组二段、SQ4的低位域和湖侵域(LST + TST)对应伊敏组一段,而高位域(HST)对应伊敏组二段(图6)。

3.2 层序地层展布特征

3.2.1 大磨拐河组二段(SQ3-HST)

大二段沉积时期,断陷活动减弱,凹陷沉积中心向中部迁移,断拗发生转换,地层沉积岩性主要以中-细粒度为主,由于处于断拗转化构造阶段,岩性都呈反韵律分布,主要有泥岩、砂岩等岩层,且粒级粗于大一段。大磨拐河组二段底板埋深 300 ~

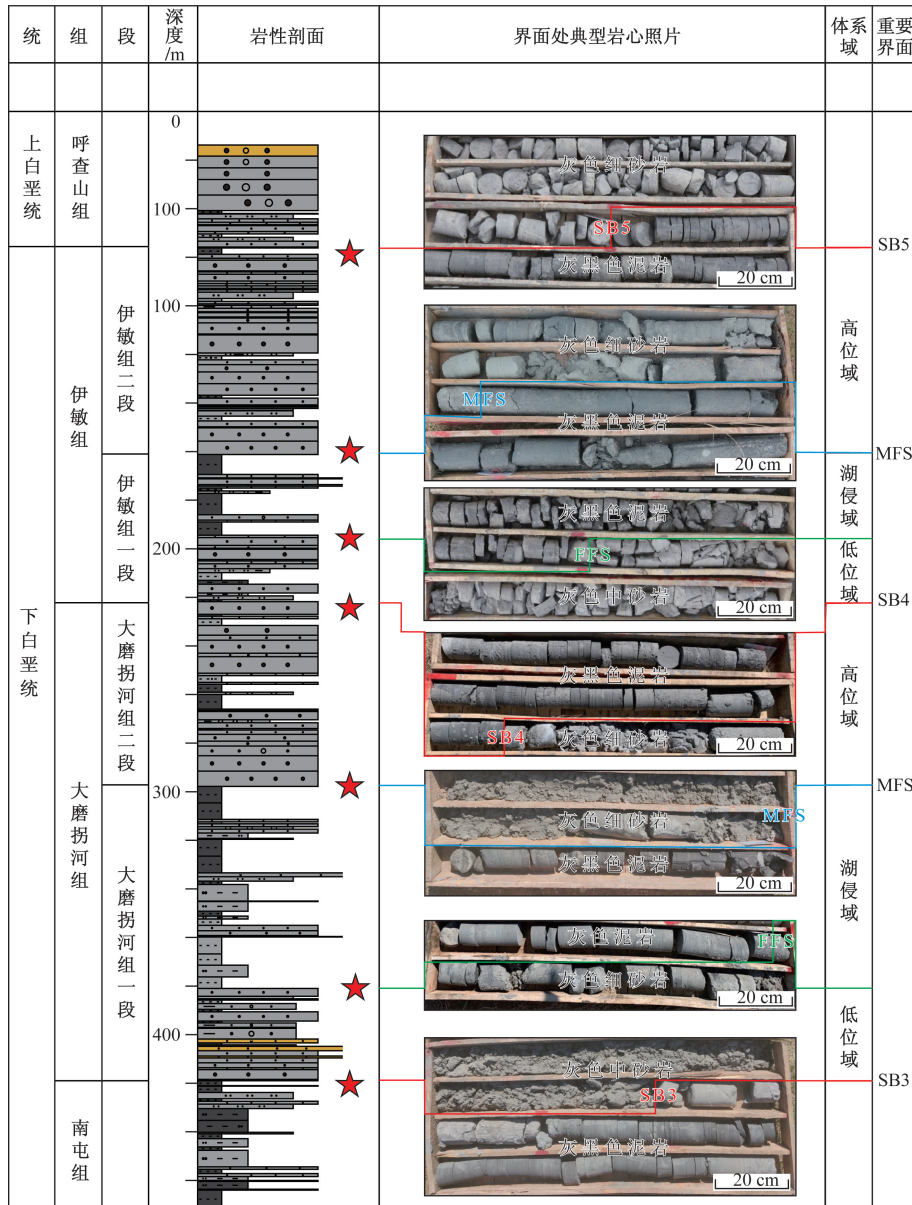


图5 钻孔 A 下白垩统伊敏组、大磨拐河组重要层序界面典型岩心照片

Fig. 5 Borehole A typical core photo of the important sequence interface of the Lower Cretaceous Yimin Formation and Damoguaihe Formation in core A

500 m,厚 80 ~ 160 m(图 7),上覆地层为伊敏组下段,以最大湖泛面与大磨拐河组下段所区分,岩性主要为三角洲平原粗碎屑砂体,并以砾石成分为大量花岗岩、少量中酸性火山岩为特征。

3.2.2 伊敏组一段(SQ4-LST + TST)

伊敏组下段底板埋深 150 ~ 400 m,厚 80 ~ 160 m,上覆地层为伊敏组上段,下伏地层为下白垩统大磨拐河组上段。与大磨拐河组下段沉积特征相似,岩性主要为粗砂岩、砾岩,少量泥岩,相对于大磨拐河组下段湖相沉积范围变小,粗碎屑砂体沉积粒度变细,泥质成分增多,砾石成分中花岗岩减少,火山岩增多。

3.2.3 伊敏组二段(SQ4-HST)

伊敏组上段底板埋深 140 ~ 220 m,厚 100 ~ 220 m,上覆地层为第四系,少见呼查山组。岩性主要为粗砂岩、砂质砾岩,以发育灰绿色、灰白色色调砂体,砾石成分中酸性火山岩增多,煤线发育为特征。

4 层序格架约束下的沉积体系演化特征

在进行层序地层划分对比的基础之上,进行沉积相分析,确定了沉积微相类型,并明确了不同层序时期的沉积体系的演化特征。

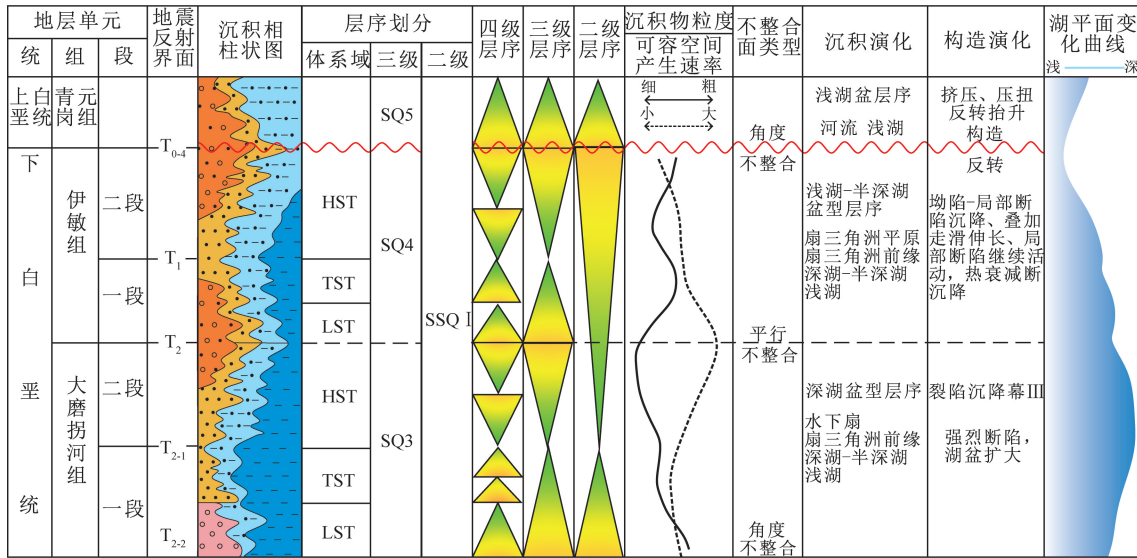


图6 海拉尔盆地克鲁伦凹陷下白垩统伊敏组、大磨拐河组层序地层划分方案

Fig. 6 Sequence stratigraphic division scheme of Lower Cretaceous Yimin Formation and Damoguaihe Formation in Kelulun Sag, Hailaer Basin

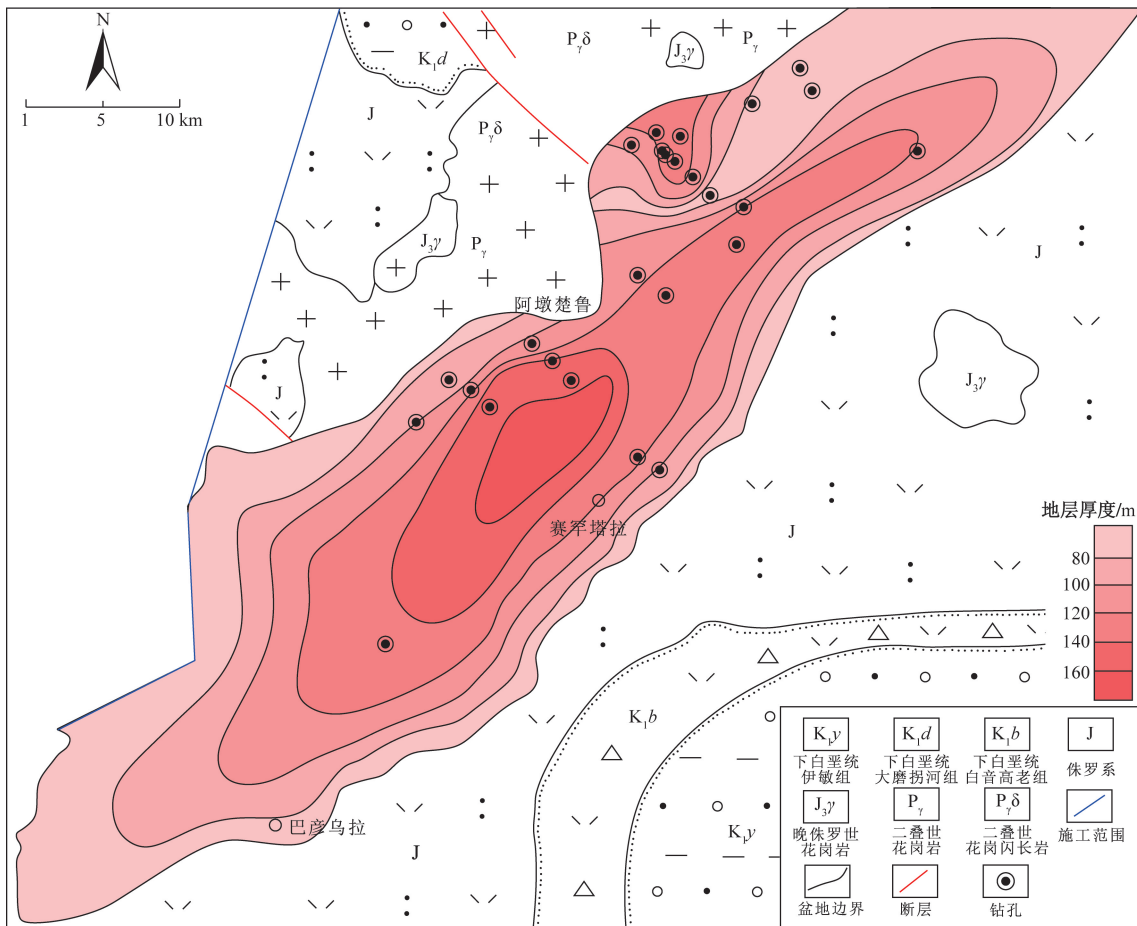


图7 海拉尔盆地克鲁伦凹陷大磨拐河组二段地层厚度等值线图

Fig. 7 The thickness contour map of the second member of Damoguaihe Formation in Kelulun Sag, Hailaer Basin

4.1 沉积相类型及特征

海拉尔盆地克鲁伦凹陷主要发育扇三角洲-湖

泊相沉积体系,发育两种沉积相类型,5种亚相类型以及7种微相类型,如表1所示。

表1 海拉尔盆地克鲁伦凹陷沉积相类型及其特征

Table 1 Types and characteristics of sedimentary facies in Kelulun Sag, Hailaer Basin

沉积相类型	沉积亚相类型	沉积微相类型	颜色	岩性特征	沉积构造	电阻率曲线形态
扇三角洲		泥石流	砖红色、褐黄色	砾岩	—	高幅,锯齿状钟形或箱形
	扇三角洲平原	辫状水道	黄色	砾岩、砂质砾岩、含砾粗砂岩	冲刷面、交错层理、平行层理	箱形、钟形
		冲积平原	红色、褐黄色、灰色	粉砂岩、泥岩,含薄层碳质夹层	水平层理、块状层理	指形
	扇三角洲前缘	水下分流河道	褐黄色、灰色	砾岩、砂质砾岩、含砾粗砂岩、中细砂岩	冲刷面、交错层理、平行层理、	箱形、钟形
		分流间湾	灰色	细砂岩、粉砂岩夹薄层泥岩	水平层理	—
	前扇三角洲	前扇三角洲泥	灰色、深灰色	粉砂岩和泥岩互层、泥岩	水平层理	指形
湖泊相	滨浅湖		灰色、深灰色	粉砂岩和泥岩互层、泥岩	—	指形
	深湖—半深湖	湖泥	深灰色、灰黑色	泥岩	—	平直形

4.1.1 扇三角洲相

(1)扇三角洲平原亚相。泥石流微相:岩性以块状砾岩[图8(a)]、混杂砾岩[图8(h)]为主,砾岩成分主要有花岗岩、酸性火山岩、凝灰岩等,分选磨圆差,为次棱角状。砾岩基本上为块状构造,底部见明显的冲刷面,为沉积转化界面[图8(d)],内部一般不发育沉积构造,无明显韵律变化,是快速沉积的产物。形成于洪水时期,发育位置为山前沉积。视电阻率曲线为高幅、锯齿状钟形或者箱形。

辫状水道微相:岩性以砾岩、砂质砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩[图8(b)、图8(f)]为主,砂岩厚度较大,分选差。具有冲刷面,平行层理[图8(i)]以及交错层理[图8(g)]反映牵引流性质的沉积构造,岩性组合上具有明显正韵律特征。视电阻率曲线幅度中等,曲线形态为钟形或者箱形。

冲积平原微相:该沉积微相岩性以紫红色泥岩[图8(e)]或者相对细粒的砖红色[图8(c)]、浅黄褐色、灰色泥质粉砂岩、粉砂岩组成。一般发育水平层理或者平行层理。冲击平原与下伏地层为连续沉积,上覆地层由于暴露遭受剥蚀,为侵蚀面。视电阻率曲线为平直或者低幅正异常形态。

(2)扇三角洲前缘亚相。水下分流河道微相:岩性以砾岩、砂质砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩[图8(l)]、中细砂岩为主,与辫状河道区别为在水下沉积,搬运距离更长,因此相对于辫状水道分选磨圆相对较好。常见冲刷面、交错层理[图8(k)]、平行层理等沉积构造。电性特征与辫状河道类似。

分流间湾微相:发育于水下分流河道间,水动力条件较弱,由粉砂岩、粉细砂岩、含砾砂岩组成。发育

小型波状层理[图8(m)]、水平层理[图8(p)],见炭化植物碎屑。视电阻率曲线表现为低幅齿状。

(3)前扇三角洲。主要发育前扇三角洲湖泥微相,粒度较细,分布较窄,与较深水的暗色泥岩难以区分。

4.1.2 湖泊相

滨浅湖亚相:岩性以灰色、深灰色粉砂岩[图8(n)]和泥岩互层、泥岩为主。视电阻率曲线为低幅平直状或者低幅指形。发育在扇三角洲前缘前部。

深湖-半深湖亚相:岩性以深灰色,灰黑色泥岩为主,泥岩厚度较大。视电阻曲线为低幅平直形。发育在凹陷中部。

4.2 沉积体系演化特征

(1)大磨拐河组二段(HST)沉积时期(图9)。凹陷西北部蚀源区向凹陷中心发育“扇三角洲平原-扇三角洲前缘-前扇三角洲-滨浅湖-深湖-半深湖”沉积,其中以扇三角洲平原亚相和扇三角洲前缘亚相为主,呈条带状分布于凹陷西侧,长近70 km,宽8~12 km,砂体发育,砂岩厚度大,砂岩厚度具有向南东方向逐渐降低的趋势,含砂率高。此时研究区的物源方向来自凹陷西北部。

(2)伊敏组一段(LST+TST)沉积时期(图10)。此时区内的湖平面下降,构造活动减弱,可容空间降低,位于凹陷西北部扇三角洲沉积体进一步向湖泊中心推进,扇三角洲平原亚相与扇三角洲前缘亚相范围进一步扩大,而此时凹陷东北部的隆起也开始提供物源,凹陷东北部也发育有沿凹陷边部呈条带状的扇三角洲,规模较小,湖泊面积进一步萎缩。

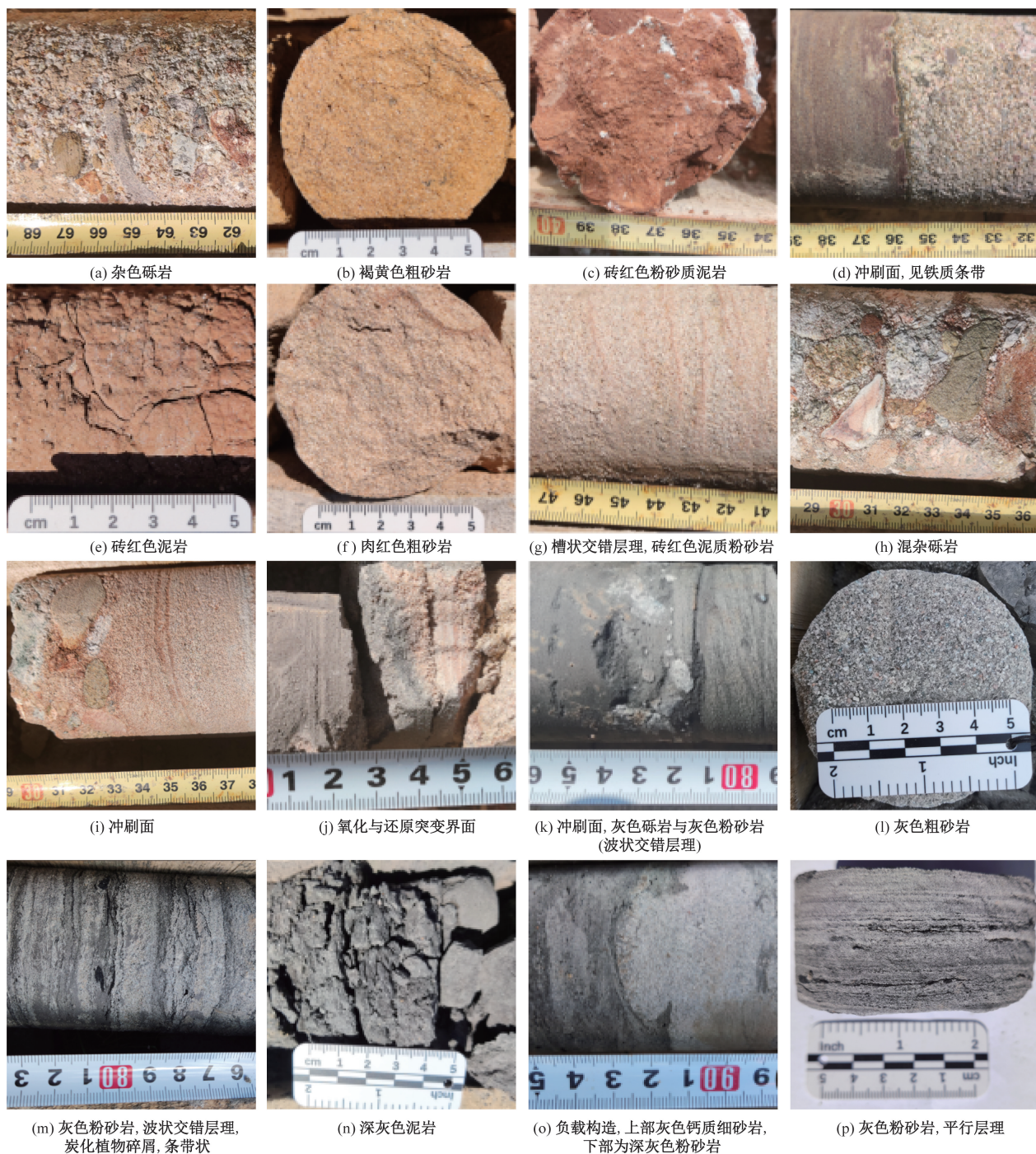


图8 海拉尔盆地克鲁伦凹陷典型岩心照片

Fig. 8 Typical core photos of Kelulun Sag in Hailar Basin

(3)伊敏组二段(HST)沉积时期(图11)。研究区的湖平面进一步下降,可容空间持续降低,凹陷两侧的蚀源区不断供给物源,两侧的扇三角洲进一步向凹陷中心推进,湖泊面积此时达到最小。

5 层序地层约束下的铀富集规律

5.1 铀储层砂体发育特征

克鲁伦凹陷沉积相平面上具有近源、相变快和

分布范围小等特征。由沉积相控制的砂体平面上呈 NE-SW 相条带状展布,与凹陷展布方向一致。砂体成分上,区内砂岩以岩屑砂岩、长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,磨圆以棱角-次棱角为主,分选差,成分成熟度和结构成熟度低,同时泥质含量较高,具有近源沉积的特点。砂体物性受沉积微相控制明显,扇三角洲前缘水下分流河道物性最好,扇三角洲平原辫状水道物性次之,泥石流物性最差,泥石

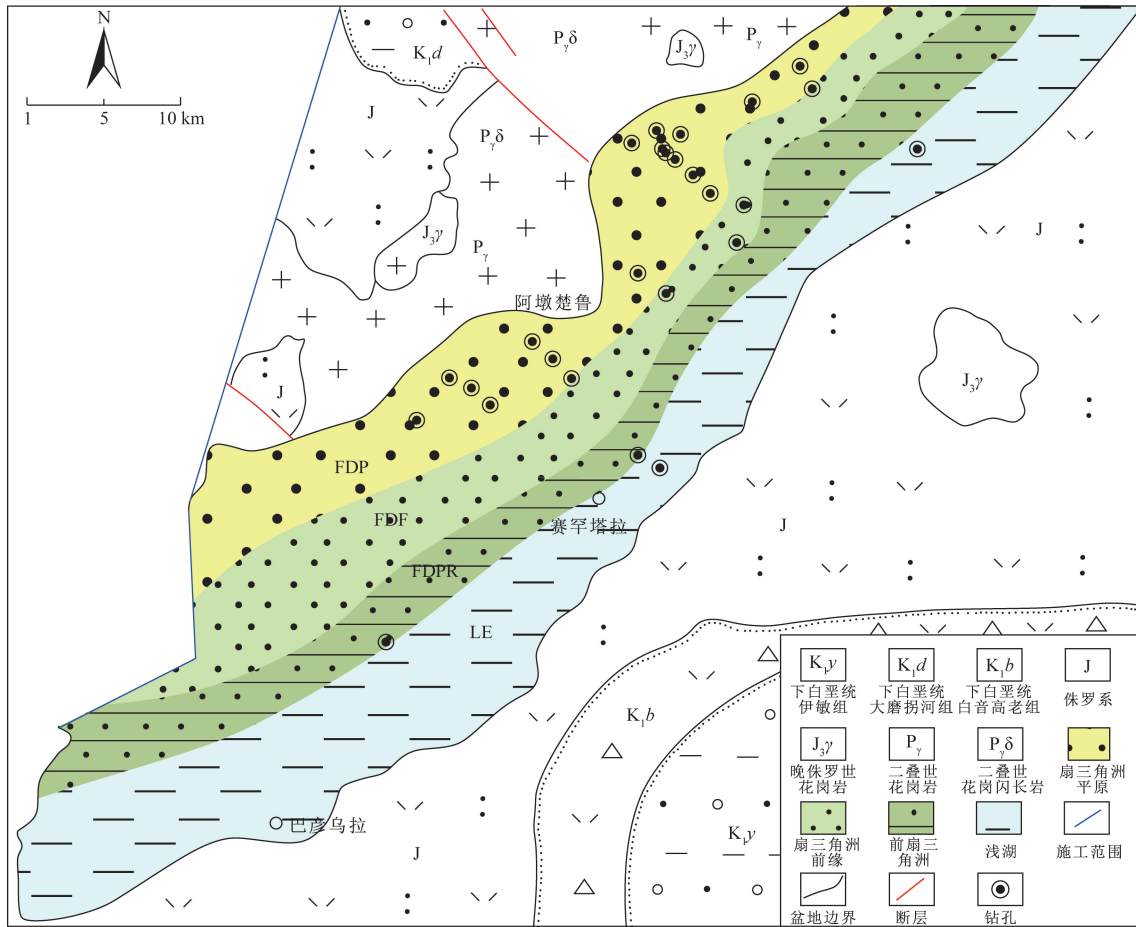


图9 大磨拐河组二段(HST)沉积相平面图

Fig. 9 Sedimentary facies plan of the second member of Damoguaihe Formation (HST)

流属于山前快速堆积的产物,属于重力流,泥质含量高,造成物性较差,随着搬运距离的延长,泥质含量降低,分选变好,物性变好。扇三角洲平原辫状水道和前缘水下分流河道砂体对轴的储集较为有利(表2)。

克鲁伦凹陷属于山间盆地,可容空间低,蚀源区物源供给充足,无论是低位域时期、湖侵域时期还是高位域时期,扇三角洲平原始终是由巨厚的砾岩、砂质砾岩沉积充填,偶尔见薄层的紫红色泥岩,分布范围有限,向前延伸到扇三角洲前缘才出现了稳定的暗色泥岩层段,具有对铀保存有利的“泥岩-砂岩-泥岩”岩性组合,微相上则为“分流间湾-水下分流河道-分流间湾”沉积微相组合。

5.2 氧化带

克鲁伦凹陷主要发育两种氧化带类型:潜水氧化带和潜水-层间氧化带。区内晚白垩世由于强烈的构造抬升,大磨拐河组和伊敏组广泛出露地表,层序地层分析也表明大磨拐河组和伊敏组沉积时期相对湖平面不断下降,沉积地层遭受了长时间的风化与含氧地下水的淋滤作用,形成规

模较大的潜水氧化带。钻孔揭露显示,扇三角洲平原相带主要以潜水氧化带为主,氧化带规模较大,蚀变矿物组合主要为褐铁矿-高岭石组合,褐铁矿化主要以斑块状、浸染状或者沿裂隙面形式分布,氧化带中的炭屑大多被氧化,常被褐铁矿交代,氧化带中的黑云母被氧化,沿黑云母边形成褐铁矿条带,表明该区的黑铁矿化的来源可能为黑云母。扇三角洲前缘则主要发育潜水-层间氧化带,岩性主要为灰色含砾粗砂岩和灰色中粗粒砂岩,为强烈的褐铁矿化,顶、底板为灰色粉砂质泥岩、灰色泥质砂砾岩构成。

沉积相带控制氧化带类型,而氧化带延伸距离、规模则与处于不同体系域有关。钻孔揭露显示,处于低位域(LST)沉积时期的砂体,氧化带延伸距离较远,这是由于此时湖平面最低,沉积地层得以充分暴露,更有利于含氧流体的渗入。处于高位域(HST)沉积的砂体,由于扇三角洲辫状水道砂体广泛发育,砂体厚度大、规模大、所以经历风化作用与淋滤作用后的砂体,则形成垂向上厚度大的氧化砂体。

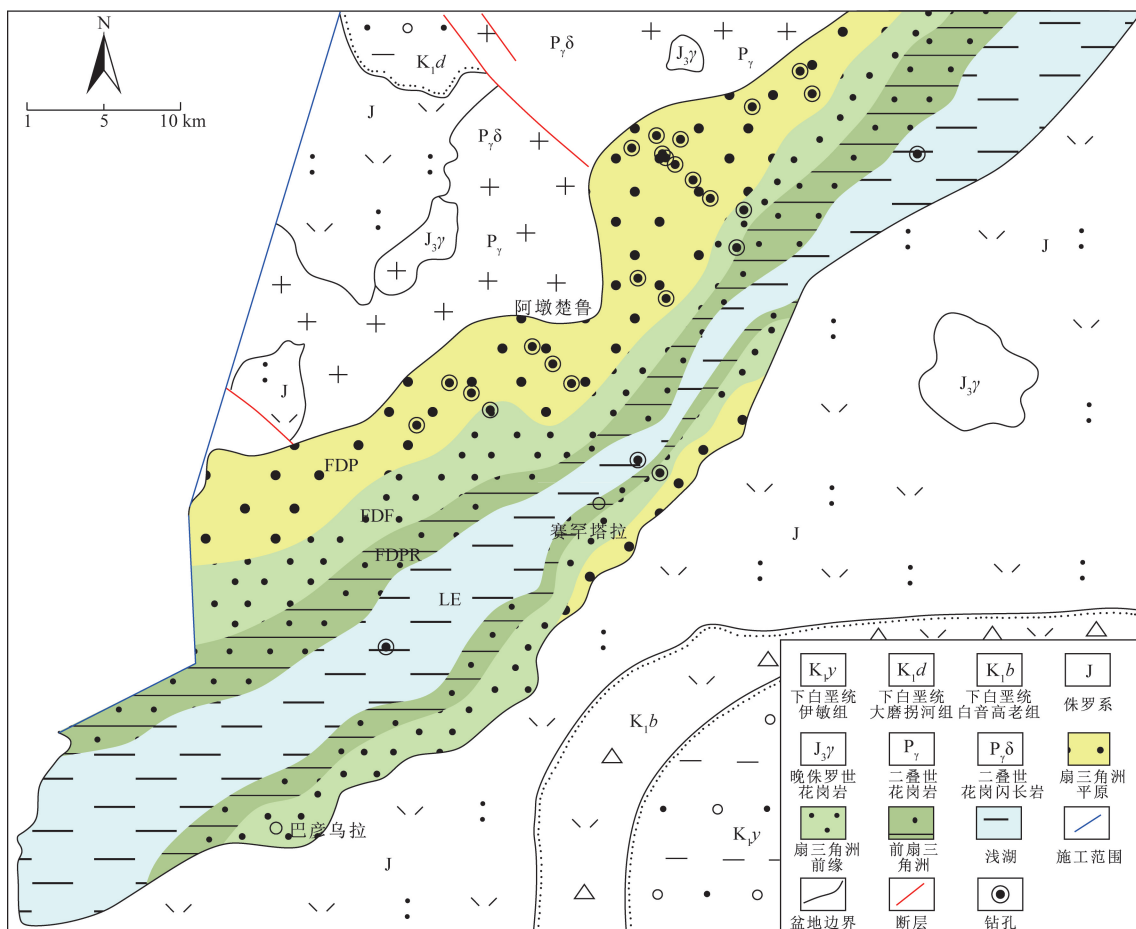


图 10 伊敏组一段(LST + TST)沉积相平面图

Fig. 10 Sedimentary facies plan of the first member of Yimin Formation (LST + TST)

表 2 克鲁伦凹陷层序位置、沉积微相与铀矿化关系

Table 2 Relationship between sequence location, sedimentary microfacies and uranium mineralization in Kelulun sag

孔号	岩(矿)层起止深度/m	岩性	赋矿层位	三级层序	体系域	沉积亚相	沉积微相
钻孔 A	68.75 ~ 70.05	灰色粗砂岩	伊敏组上段	SQ4	HST		
	72.35 ~ 72.85	灰色粗砂岩	伊敏组上段	SQ4	HST	扇三角洲平原	辫状水道
	74.25 ~ 74.65	灰色粗砂岩	伊敏组上段	SQ4	HST		
钻孔 B	71.75 ~ 73.45	含砾中砂岩	伊敏组上段	SQ4	HST	扇三角洲平原	辫状水道
	85.95 ~ 88.65	含泥中砂岩	伊敏组上段	SQ4	HST		
钻孔 C	305.95 ~ 310.55	灰色砂质砾岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST	扇三角洲平原	辫状水道
钻孔 D	422.05 ~ 423.35	灰色砂质砾岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST	扇三角洲平原	辫状水道
	426.25 ~ 426.85						
钻孔 E	208.85 ~ 209.05	灰色含砾粗砂岩	伊敏组下段	SQ4	LST + HST	扇三角洲前缘	水下分流河道
钻孔 G	250.25 ~ 250.35	灰色砂质砾岩	伊敏组下段	SQ4	LST + HST	扇三角洲平原	辫状水道
	456.65 ~ 456.85	灰色砂质砾岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST		
	464.35 ~ 464.65	灰色砂质砾岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST	扇三角洲前缘	水下分流河道
	478.85 ~ 479.05	灰色砂质砾岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST		
	487.85 ~ 488.05	灰色砂质砾岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST		
钻孔 K	372.15 ~ 372.85	灰色粗砂岩	大磨拐河组上段	SQ3	HST	扇三角洲前缘	水下分流河道

6 结论

(1)通过层序地层分析,克鲁伦凹陷下白垩统伊敏组和大磨拐河组可划分为 1 个二级层序、2 个三级层序、4 个四级层序。

(2)区内目的层段主要发育扇三角洲-湖泊相沉积体系,发育两种沉积相类型,5 种亚相类型以及 7 种微相类型。沉积相平面上具有近源、相变快、分布范围小的特征。

(3)区内后生化类型以潜水氧化及潜水-层

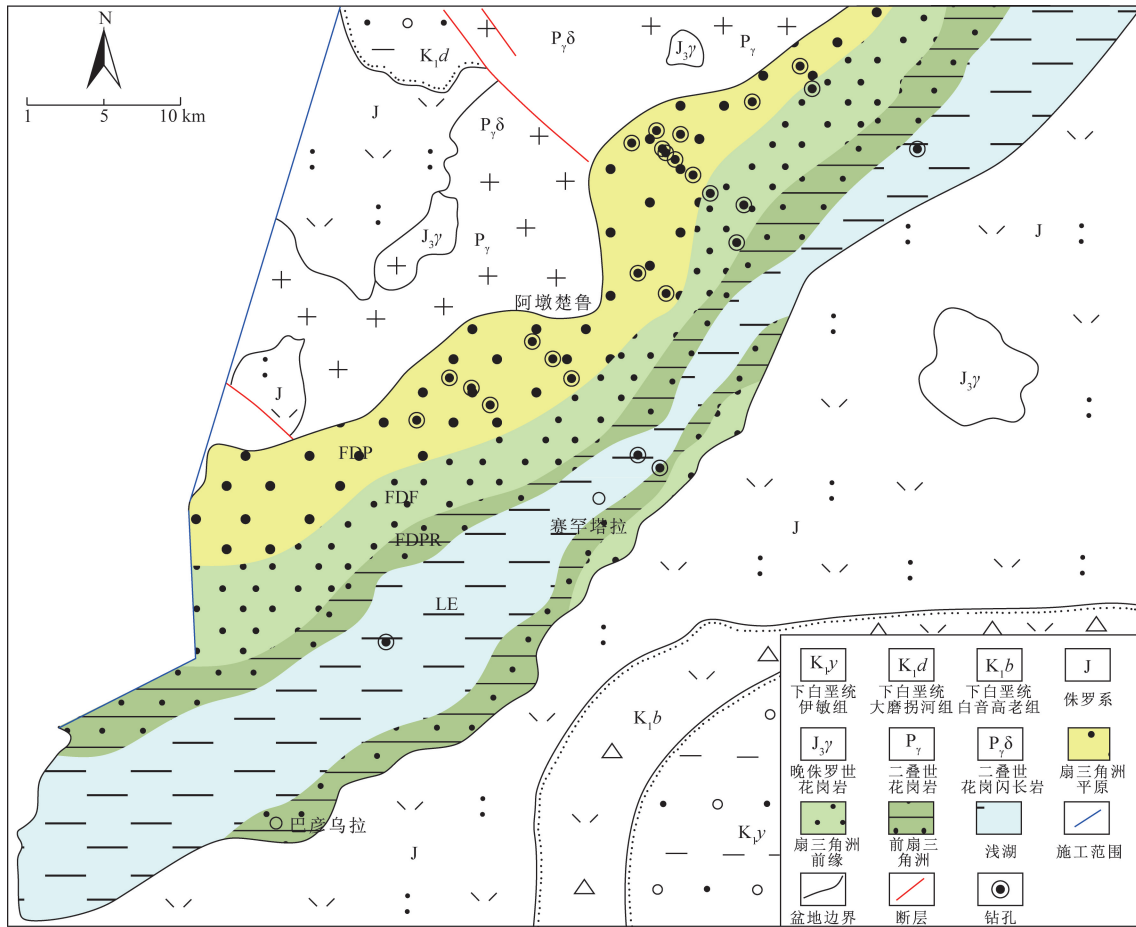


图 11 伊敏组二段(HST)沉积微相平面图

Fig. 11 Sedimentary microfacies plan of the second member of Yimin Formation (HST)

间氧化为主,扇三角洲平原主要发育潜水氧化作用,扇三角洲前缘主要发育潜水—层间氧化作用。高位域沉积时期的扇三角洲平原辫状水道砂体和扇三角洲前缘水下分流河道砂体具有良好的铀成矿潜力。

参 考 文 献

[1] 王长虹,周文博,崔雅男,等. 海拉尔盆地克鲁伦凹陷中-新生代构造演化及其对铀成矿的控制作用[J]. 铀矿地质, 2024, 40(5): 921-930.
Wang Changhong, Zhou Wenbo, Cui Ya'nian, et al. Cenozoic tectonic evolution and its influence on uranium mineralization in Kelulun Depression, Hailar Basin [J]. Uranium Geology, 2024, 40(5): 921-930.

[2] 冯明月. 克鲁伦盆地及其邻区古河道型砂岩铀成矿条件分析[J]. 铀矿地质, 1999(4): 7-12.
Feng Mingyue. Analysis on metallogenic conditions of paleochannels sandstone type uranium deposits in Kelulun Region [J]. Uranium Geology, 1999(4): 7-12.

[3] 张志杰,于兴河,陈占坤,等. 克鲁伦凹陷大磨拐河组沉积体系演化与赋铀性[J]. 铀矿地质, 2005(1): 23-29.
Zhang Zhijie, Yu Xinghe, Chen Zhankun, et al. Evolution of depositional system and uraniumiferous characteristics of Damoguaihe Forma-

tion in Kelulun Sag [J]. Uranium Geology, 2005(1): 23-29.

[4] 马汉峰,罗毅,王明太,等. 内蒙古克鲁伦断陷盆地可地浸砂岩型铀成矿条件分析[J]. 铀矿地质, 2006(2): 83-89.
Ma Hanfeng, Luo Yi, Wang Mingtai, et al. Analysis of ore-forming conditions for in-situ leachable sandstone type uranium deposits in the Kelulun Fault Basin, Inner Mongolia [J]. Uranium Geology, 2006(2): 83-89.

[5] 黄少华,秦明宽,周文博,等. 内蒙古克鲁伦凹陷伊敏组下段砂岩铀成矿条件、特征及成因[J]. 地球科学与环境学报, 2020, 42(2): 199-214.
Huang Shaohua, Qin Mingkuan, Zhou Wenbo, et al. Metallogenic conditions, characteristics and of sandstone-type uranium deposit of lower member of Yimin Formation in Kelulun Sag of Inner Mongolia, China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2020, 42(2): 199-214.

[6] 罗毅,马汉峰,王明太,等. 克鲁伦断陷大磨拐河组上段沉积体系及其对铀矿化的控制作用[C]//第三届全国沉积学大会论文摘要汇编. 北京:核工业北京地质研究院,中国地质大学,2004: 3.
Luo Yi, Ma Hanfeng, Wang Mingtai, et al. Sedimentary system and its control on uranium mineralization in the upper section of Damoguaihe Formation in Kelulun fault depression [C]//Abstract of the 3rd National Sedimentology Conference. Beijing: Institute of Geology, China University of Geosciences, 2004: 3.

- [7] 张明学, 胡薇薇, 杜亚峰, 等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南部大磨拐河组二段沉积相研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(9): 2052-2056.
Zhang Mingxue, Hu Weiwei, Du Yafeng, et al. Study on sedimentary facies of the second member of Damoguaihe Formation in the south of Wuerxun Sag, Hailar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(9): 2052-2056.
- [8] 崔鑫, 姜洪福, 李艳磊, 等. 贝尔凹陷扇三角洲河道砂体刻画及油气勘探开发意义[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(17): 146-155.
Cui Xin, Jiang Hongfu, Li Yanlei, et al. Characterization of fan delta channel sand bodies in Beier Sag and its significance for oil and gas exploration and development[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(17): 146-155.
- [9] 胡玉双, 张媛, 冯玉良, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷大磨拐河组沉积体系特征及演化规律[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(24): 5851-5855, 5867.
Hu Yushuang, Zhang Yuan, Feng Yuliang, et al. Characteristics and evolution of sedimentary system of Damoguaihe Formation in Beier Sag, Hailaer Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(24): 5851-5855, 5867.
- [10] 赵宇. 巴彦呼舒凹陷油气成藏条件及有利区预测[D]. 大庆: 东北石油大学, 2019.
Zhao Yu. Bayanhushu Sag hydrocarbon accumulation conditions and favorable area prediction[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2019.
- [11] 陈殿权. 内蒙古自治区呼伦贝尔盟海拉尔盆地可地浸砂岩型铀矿调查报告[R]. 长春: 核工业地质局 244 大队, 1996.
Chen Dianquan. Investigation report *on-in-situ* leachable sandstone-type uranium deposits in Hailar Basin, Hulunbeier League, Inner Mongolia Autonomous Region[R]. Changchun: 244 Brigade of Nuclear Industry Geology Bureau, 1996.
- [12] 马文. 海拉尔盆地可地浸砂岩型铀矿 1: 500 000 区调地质报告[R]. 北京: 核工业地质局 224 大队, 1997.
Ma Wen. 1: 500 000 regional geological survey report of *in-situ* leachable sandstone-type uranium deposit in Hailar Basin[R]. Beijing: 224 Brigade of Nuclear Industry Geology Bureau, 1997.
- [13] 王黎明. 内蒙古海拉尔盆地北部斜坡区 1: 25 万区域地质调查[R]. 沈阳: 核工业 240 研究所, 2001.
Wang Liming. The 1: 250 000 regional geological survey in the northern slope area of Hailar Basin, Inner Mongolia[R]. Shenyang: Nuclear Industry 240 Institute, 2001.
- [14] 马汉峰, 罗毅, 李子颖, 等. 扎赉诺尔坳陷带砂体特征及找铀矿方向分析[J]. 铀矿地质, 2008, 24(2): 73-79.
Ma Hanfeng, Luo Yi, Li Ziyang, et al. Analysis of sand body characteristics and uranium prospecting direction in Zhalainguoer Depression Belt[J]. Uranium Geology, 2008, 24(2): 73-79.
- [15] 马汉峰, 罗毅, 李子颖, 等. 砂体特征对地浸砂岩型铀矿成矿的制约: 以扎赉诺尔坳陷带为例[J]. 铀矿地质, 2011, 27(1): 30-35.
Ma Hanfeng, Luo Yi, Li Ziyang, et al. Constraints of sand body characteristics on the mineralization of *in-situ* leaching sandstone-type uranium deposits; a case study of the Zhalainguoer depression zone[J]. Uranium Geology, 2011, 27(1): 30-35.
- [16] 夏毓亮, 林锦荣, 李子颖, 等. 海拉尔盆地西部砂岩型铀矿成矿年龄研究[J]. 铀矿地质, 2004(3): 146-150, 182.
Xia Yuliang, Lin Jinrong, Li Ziyang, et al. Study on geochronology of sandstone-type uranium mineralization in western Hailaer Basin[J]. Uranium Geology, 2004(3): 146-150, 182.
- [17] 孙国昕, 张亚金, 李凤君, 等. 巴彦呼舒凹陷石油地质特征及勘探前景[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(3): 28-33.
Sun Guoxin, Zhang Yajin, Li Fengjun, et al. Petroleum geologic characteristics and exploration potential of Bayanhushu Sag[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(3): 28-33.
- [18] 段晓旭, 杨飞, 李继伟, 等. 海拉尔盆地巴彦呼舒凹陷南屯组沉积相特征研究[J]. 中国锰业, 2019, 37(1): 4-9.
Duan Xiaoxu, Yang Fei, Li Jiwei, et al. Sedimentary facies characteristics of Nantun Formation in Bayanhushu Sag in Hailaer Basin[J]. China Manganese, 2019, 37(1): 4-9.
- [19] 陈均亮. 海拉尔-塔木察格盆地构造特征与演化研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
Chen Junliang. Research of structural feature and structural evolution in the Hailar-Tamtsag Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.
- [20] 王铎. 海拉尔-塔木察格盆地成因机制及其控藏作用研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
Wang Duo. Research on tectonic mechanism and its control on reservoir forming of Hailar-Tamtsag Basin[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.
- [21] 张鲁庭. 巴彦呼舒凹陷构造特征及其对油气聚集的控制作用[D]. 大庆: 东北石油大学, 2013.
Zhang Luting. The tectonic characteristics and its effect on the control of the gas accumulation in Bayanhushu Sag[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2013.
- [22] 付红军. 海拉尔盆地苏德尔特油田布达特潜山油藏储集层特征[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(7): 1429-1432.
Fu Hongjun. Reservoir characteristics of Budate buried hill reservoir in Sudeerte Oilfield, Hailar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(7): 1429-1432.
- [23] 李占东, 张明学, 胡玉双, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷构造演化及其对油气控制[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(9): 2066-2074, 2078.
Li Zhandong, Zhang Mingxue, Hu Yushuang, et al. Tectonic evolution and its control on oil and gas in Beier Sag, Hailar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(9): 2066-2074, 2078.
- [24] 周文博, 张荣, 刘彤, 等. 贝尔-乌尔逊凹陷砂岩型铀矿成矿地质特征及远景预测[J]. 西北地质, 2020, 53(3): 201-209.
Zhou Wenbo, Zhang Rong, Liu Tong, et al. Metallogenic geological features and prospective study for sandstone-type uranium deposit in Bel-Uison Sag[J]. Northwest Geology, 2020, 53(3): 201-209.
- [25] 唐振国, 陈均亮, 杨秀彬, 等. 海拉尔盆地不整合面的识别及其作用[J]. 大庆石油地质与开发, 2013, 32(6): 6-10.
Tang Zhenguo, Chen Junliang, Yang Xiubin, et al. Identification and actions of the unconformity surface in Hailar Basin[J]. Daqing Petroleum Geology and Development, 2013, 32(6): 6-10.
- [26] 陈学海, 卢双舫, 薛海涛, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷白垩系地震相[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(3): 321-327, 335.
Chen Xuehai, Lu Shuangfang, Xue Haitao, et al. Seismic facies

- of the Cretaceous in the Huhehu Depression, Hailar Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(3): 321-327, 335.
- [27] 韩莹. 海拉尔盆地贝尔凹陷层序地层学研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
Han Ying. Research on sequence stratigraphy of Beier Depression in Hailaer Basin [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2012.
- [28] 王敬. 巴彦呼舒凹陷南屯组层序地层划分及成藏条件分析[D]. 荆州: 长江大学, 2019.
Wang Jing. Sequence stratigraphy of the Nantun Formation in Bayanhushu Sag [D]. Jingzhou: Changjiang University, 2019.
- [29] 路顺行, 张红贞, 孟恩, 等. 运用 INPEFA 技术开展层序地层研究[J]. *石油地球物理勘探*, 2007(6): 703-708, 733, 609.
Lu Shunxing, Zhang Hongzhen, Meng En, et al. Application of inpefa technique to carry out sequence-stratigraphic study [J]. *Petroleum Geophysical Exploration*, 2007(6): 703-708, 733, 609.
- [30] 周勇, 纪友亮, 蒙启安, 等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷早白垩世构造古地貌控砂机制[J]. *古地理学报*, 2022, 24(3): 493-511.
Zhou Yong, Ji Youliang, Meng Qi'an, et al. Control mechanisms of tectonic paleogeomorphology on the Early Cretaceous sedimentary basin fills in Ta'nan Sag, Tamtsag Basin, Mongolia [J]. *Acta Palaeogeography*, 2022, 24(3): 493-511.