

松辽盆地拜泉地区上白垩统姚家组沉积相特征

刘晓辉, 罗敏, 李研

(核工业二四〇研究所, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 总结了松辽盆地拜泉地区上白垩统姚家组沉积相类型和沉积特征, 研究认为拜泉地区姚家组可分为上下两段, 其中姚家组上段发育曲流河相、三角洲相沉积; 姚家组下段为辫状河相、三角洲相沉积。通过研究进一步划分出6种亚相和10种沉积微相。姚家组下段辫状河相砂体厚度大, 已发现良好的铀异常显示, 具有较好的铀成矿潜力, 是今后铀矿找矿的有利地区。

关键词: 松辽盆地; 拜泉地区; 姚家组; 沉积相; 铀; 成矿潜力

中图分类号: P619.14; P512 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)02-0013-11

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2023.11.01

松辽盆地是中国东北地区的大型中、新生代陆相沉积盆地, 具有多沉积旋回特征, 是中国重要的石油、煤炭、天然气及铀的共生建造盆地^[1]。

松辽盆地拜泉地区位于黑龙江省拜泉县内, 区域构造上处于松辽盆地东北隆起区的海伦隆起带和绥棱背斜带内, 面积约7 000 km², 是近几年砂岩型铀矿勘查的重点区域。前人对该地区铀矿目的层位姚家组的研究成果^[2-6], 为该区内的找矿工作奠定了基础。但目前针对研究区姚家组沉积相及沉积微相的识别工作略显不足, 特别是沉积相对砂岩型铀矿的控制作用有待深入研究。因此, 通过对研究区内已有的钻井和测井资料开展沉积相分析与研究, 查明拜泉地区姚家组沉积相类型和时空分布特征, 并探讨其与铀成矿的关系, 以期为该区砂岩型铀矿找矿工作提供参考。

1 地层概况

研究区(图1)内基底岩性主要由中深变质岩、浅变质岩和同期花岗岩组成, 上覆盖层为白垩统泉头组、青山口组、姚家组和嫩江组地层, 其第四系厚度一般为20~60 m, 主要为松散砂及腐殖土^[7-8]。通过对研究区内典型钻孔的岩性-岩相、测井曲线进行综合分析, 将研究区内姚家组划分为姚家组上段和姚家组下段。

1.1 姚家组下段

岩性主要为灰色中、细砂岩夹薄层灰色、棕红色泥岩; 砂岩中可见灰色、灰绿色泥砾; 砂体渗透性、成层性较好, 次棱角状, 分选好, 垂向上大致可分为2~3个沉积韵律。泥岩主要为灰色、灰绿色、棕红色, 块状构造, 未见有生物化石。姚家组下段地层厚度变化较大, 一般为50~100 m, 最厚可达120 m。

1.2 姚家组上段

岩性主要为厚层棕红色泥岩夹薄层灰色细砂岩, 砂体连续性较差, 次棱角状, 分选好; 长石含量较高, 可达50%。泥岩以棕红色为主, 厚度较大。姚家组上段地层厚度变化较小, 厚度一般为30~50 m, 最厚可达60 m。

2 单孔沉积相类型及特征

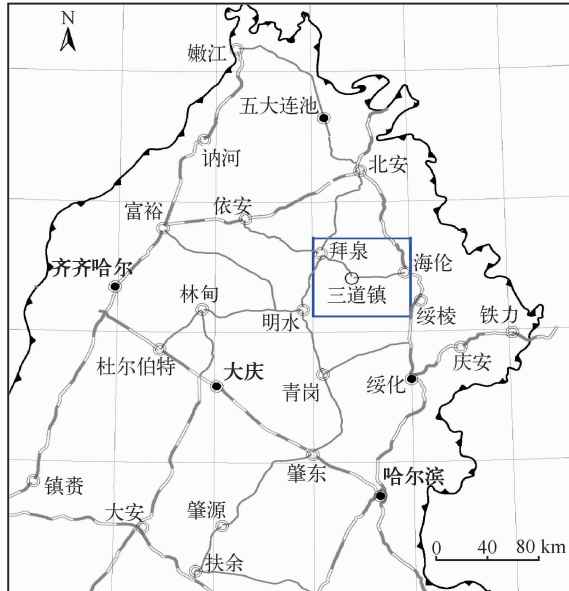
松辽盆地在晚白垩世, 尤其姚家期以后已相对“填平补齐”, 形成了较统一的松辽汇水盆地, 有利于拗陷沉积盖层的发育, 该时期形成了以河流相为代表的有利沉积相带, 发育大规模连通性、成层性及渗透性良好的砂带^[9]。通过对研究区内34个钻孔(图2)的单孔沉积相特征、地质剖面沉积充填特征以及砂体空间展布规律的综合研究, 厘定了研究区内姚家组上段主要为曲流河与三角

收稿日期: 2023-11-02

基金项目: 松辽盆地北部砂岩型铀矿综合编图与选区(202212-16)。

第一作者简介: 刘晓辉(1990—), 男, 吉林松原人, 学士, 工程师, 主要从事铀矿地质研究。

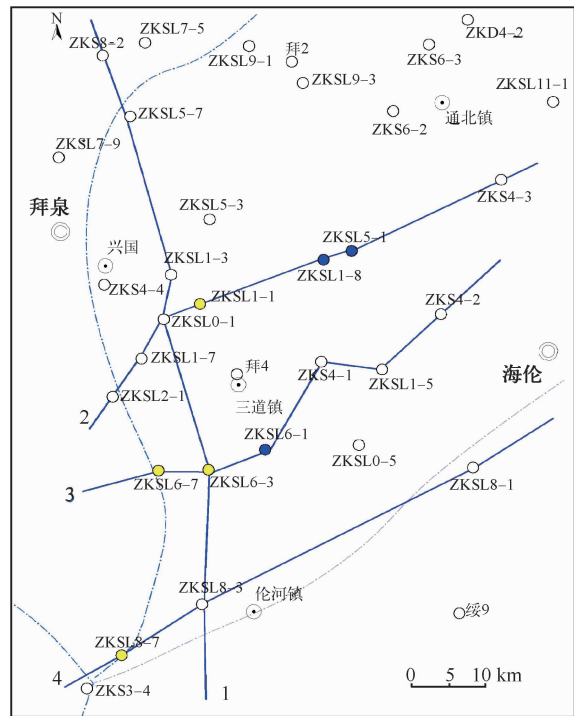
洲相沉积(图 3~图 4),姚家组下段主要为辫状河与三角洲相沉积,并划分出 10 个沉积微相(表 1)。



1—地级市;2—县城;3—乡镇;4—铁路;5—主要道路;
6—研究区范围;7—盆地边界。

图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area



1—一级构造单元界线;2—二级构造单元界线;3—剖面位置及编号;4—无矿孔;5—铀异常孔;6—铀矿化孔;7—地名。

图 2 研究区钻孔位置示意图

Fig. 2 Location diagram of drilling in the study area

表 1 拜泉地区姚家组沉积相类型

Table 1 Types of sedimentary facies of the Yaojia Formation in Baiquan area

组	沉积相	沉积亚相	沉积微相	典型钻孔
姚家组上段	曲流河	河漫	河漫滩	ZKSL1-3、ZKSL1-1、ZKSL9-3
		堤岸	天然堤	
		河道	边滩	
	三角洲	三角洲平原	分流河道、分流间湾	ZKSL8-3、ZKSL8-7
姚家组下段	辫状河	河漫	泛滥平原	ZKSL1-7、ZKSL1-3、ZKSL1-1、ZKSL0-1、 ZKSL2-1、ZKS4-1
		河道	心滩	
	三角洲	三角洲平原	分流河道、分流间湾、决口扇	ZKSL8-3、ZKSL8-7

2.1 曲流河相

曲流河主要发育在姚家组上段地层中,主要发育河漫滩、天然堤、边滩等沉积微相。

2.1.1 河漫滩微相

岩性主要为棕红色、褐红色泥岩夹薄层粉砂岩,电阻率与自然电位曲线起伏小、幅值低。

2.1.2 天然堤微相

岩性主要为灰色、灰绿色粉砂岩,可见少量泥

质粉砂岩,垂向上常发育在河道的上部,属顶层沉积,常见小型交错层理、平行层理。

2.1.3 边滩微相

岩性主要为灰色细砂岩、含泥细砂岩、泥质细砂岩,碎屑物分选好,次棱角状,多为孔隙胶结和基底式胶结。概率曲线一般显示为两段式,由跳跃总体和悬浮总体构成,悬浮总体的累积百分含量达 80%~90%,占主导地位,斜率在 35~40°,

沉积物粒度变化范围较小。边滩微相可见大量小型交错层理和平行层理(图 5a、图 5b)。电阻率和

自然电位测井曲线一般表现为高幅变化的箱形^[10-11]。

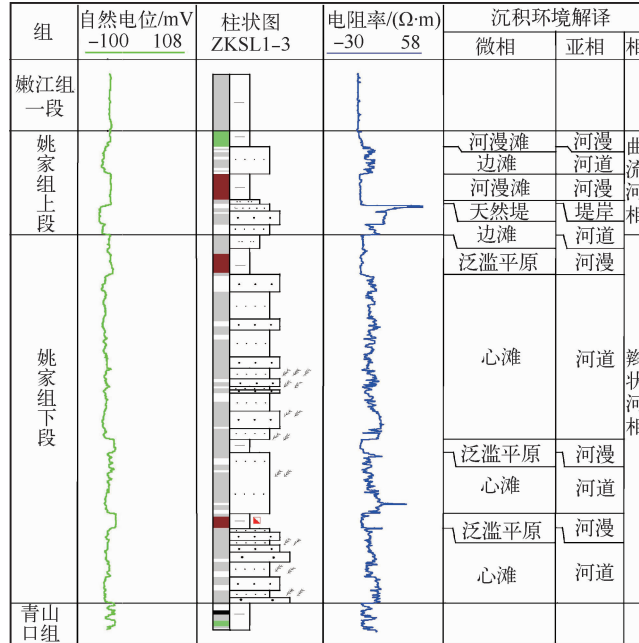


图 3 姚家组 ZKSL1-3 单孔沉积微相分析

Fig. 3 Sedimentary microfacies analysis of ZKSL1-3 borehole in Yaojia Formation

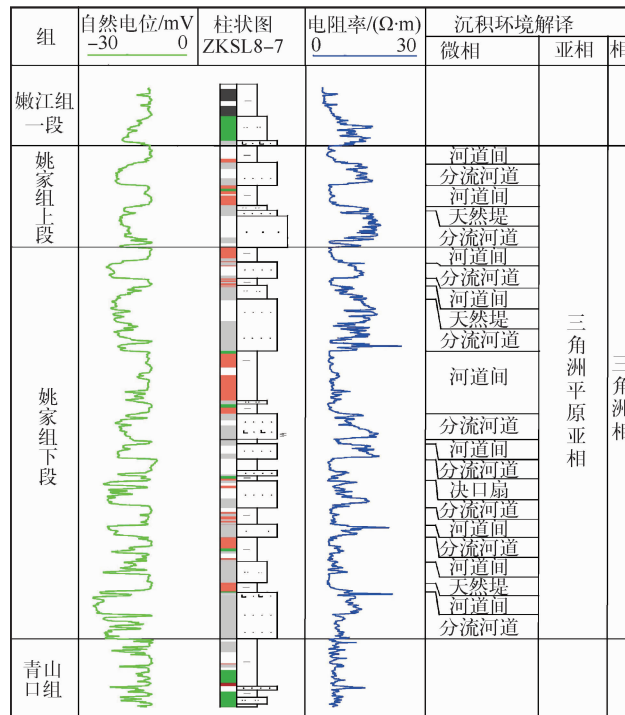


图 4 姚家组 ZKSL8-7 单孔沉积微相分析

Fig. 4 Sedimentary microfacies analysis of ZKSL8-7 borehole in Yaojia Formation

2.2 辫状河相

研究区辫状河相主要发育在姚家组下段地层中,砂体厚度大,连续性好,渗透性高,是拜泉地区铀成矿有利砂体,主要发育心滩、泛滥平原沉积微相。

2.2.1 心滩微相

岩性主要为灰色中、细砂岩,碎屑物成分以石

英、长石为主,孔隙式胶结。内部由多个正向成因单元无规则迭覆而成,概率累积曲线形态呈两段式,悬浮总体含量约占15%~25%,斜率均小于45°,分选性较差,跳跃组分线段斜率普遍比悬浮总体高;总体粒度较粗,交错层理发育,可见大量炭屑,底部可见灰绿色泥砾、冲刷面(图5c、图5d),电阻率曲线呈齿化箱型。

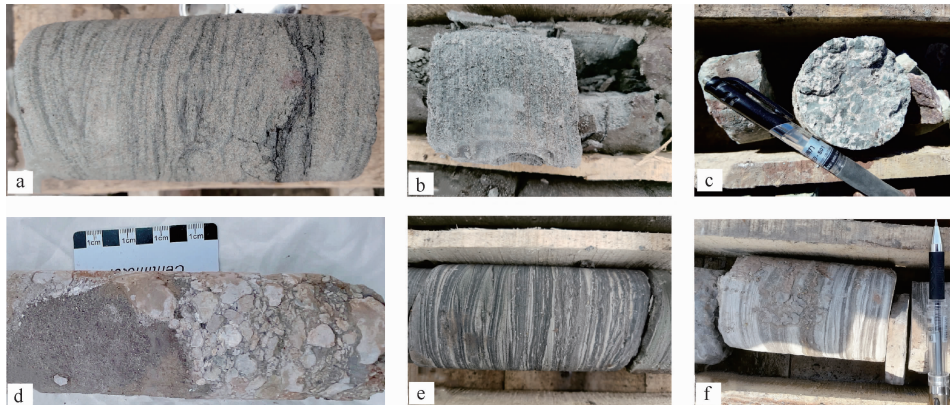


图5 拜泉地区姚家组典型沉积微相特征

Fig. 5 Sedimentary microfacies characteristics of Yaojia Formation in Baiquan area

2.2.2 泛滥平原微相

岩性主要为灰色、棕红色泥岩夹薄层灰色粉砂岩,厚度较薄,电阻率曲线振幅较小。

2.3 三角洲平原相

研究区三角洲平原相主要分布在拜泉南部伦河镇一带,发育分流河道、河道间、决口扇和天然堤沉积微相。

2.3.1 分流河道微相

岩性以灰色中砂岩、细砂岩为主,分选性较好,次棱角状。概率累积曲线为两段式,跳跃总体占60%以上,斜率大于70°,发育小型交错层理、平行层理,可见大量炭屑。电阻率曲线常呈齿化箱形、箱形,其沉积特征与河流体系的河道沉积特征相似^[12]。

2.3.2 天然堤微相

岩性主要为灰色粉砂岩,粒度较细,与河流相天然堤相近,可见水平层理。

2.3.3 决口扇微相

河流相决口扇沉积微相十分相似,主要由灰色细砂岩、粉砂岩构成。可见小型交错层理(图5e、图5f)。决口扇沉积微相多夹在分流河道间沉积或天然堤沉积中,电阻率曲线呈孤立尖峰状。

2.3.4 河道间微相

岩性主要为灰色、灰绿色以及棕红色泥岩,夹薄层灰色粉砂岩,可见水平层理。电阻率曲线起伏小、幅值低。

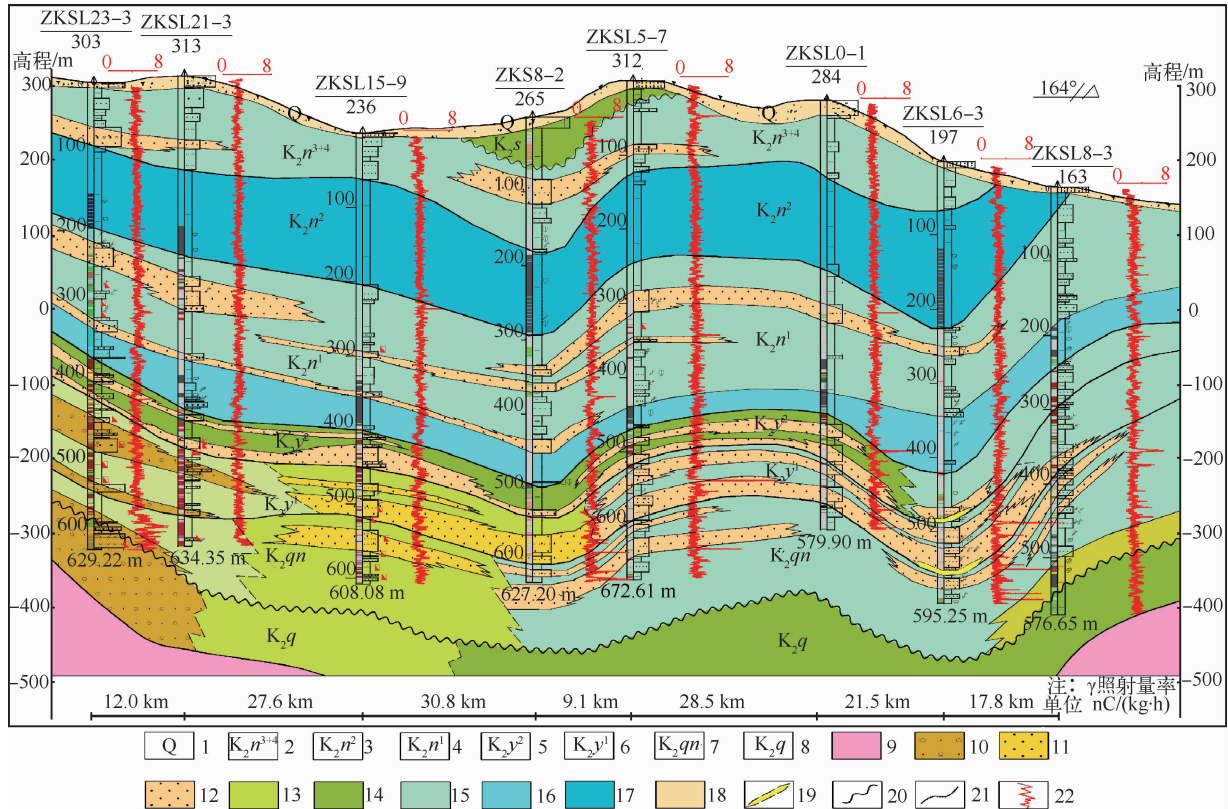
3 地质沉积相特征

此剖面由五大连池向南依次经过ZKS8-2、ZKSL5-7、ZKSL0-1、ZKSL6-3以及ZKSL8-3钻孔(图6)。可以看出,姚家组下段时期北面绥化水系物源较丰富,在五大连池附近形成了杂色含砂砾岩混杂堆积形成的冲积扇沉积,向盆地内部发育冲积平原。在强劲的水动力条件下,姚家组下段辫状河相广泛发育,从研究区北部延伸至拜泉南部的ZKSL6-3钻孔,辫状河沉积物主要为灰色、灰绿色的中细砂岩夹薄层灰色、灰绿色、棕红色泥岩,砂体厚,连续性较好,可见大量灰绿色泥砾和炭屑。随着水动力变弱,在三道镇一带辫状河向辫状河三角洲转化,砂体厚度变薄,部分钻孔砂体连续性较差,砂体主要分布于分流河道沉积中。

姚家组上段时期北部物源体系水动力条件较弱,从五大连池至拜泉一带主要发育曲流河相,沉

积物主要为灰色、灰绿色细砂岩和棕红色、灰绿色泥岩,砂体厚度较薄,砂体主要分布在心滩沉积中。在三道镇一带水力条件进一步减弱,由曲

流河向三角洲转化,在三道镇以南发育三角洲平原亚相,主要为薄层砂体,分布在分流河道中,横向上缺乏连续性。



1—第四系;2—嫩江组三、四段;3—嫩江组二段;4—嫩江组一段;5—姚家组上段;6—姚家组下段;7—青山口组;8—泉头组;9—基底;
10—冲积扇砂体;11—辫状河砂体;12—曲流河、三角洲平原砂体;13—辫状河沉积充填;14—曲流河沉积充填;15—三角洲平原沉积充填;
16—滨浅湖沉积充填;17—深湖沉积充填;18—第四系充填;19—铀异常矿体;20—不整合地质界线;21—地质界线;22— γ 照射量率曲线。

图 6 ZKSL23-3 至 ZKSL8-3 钻孔沉积相地质剖面图

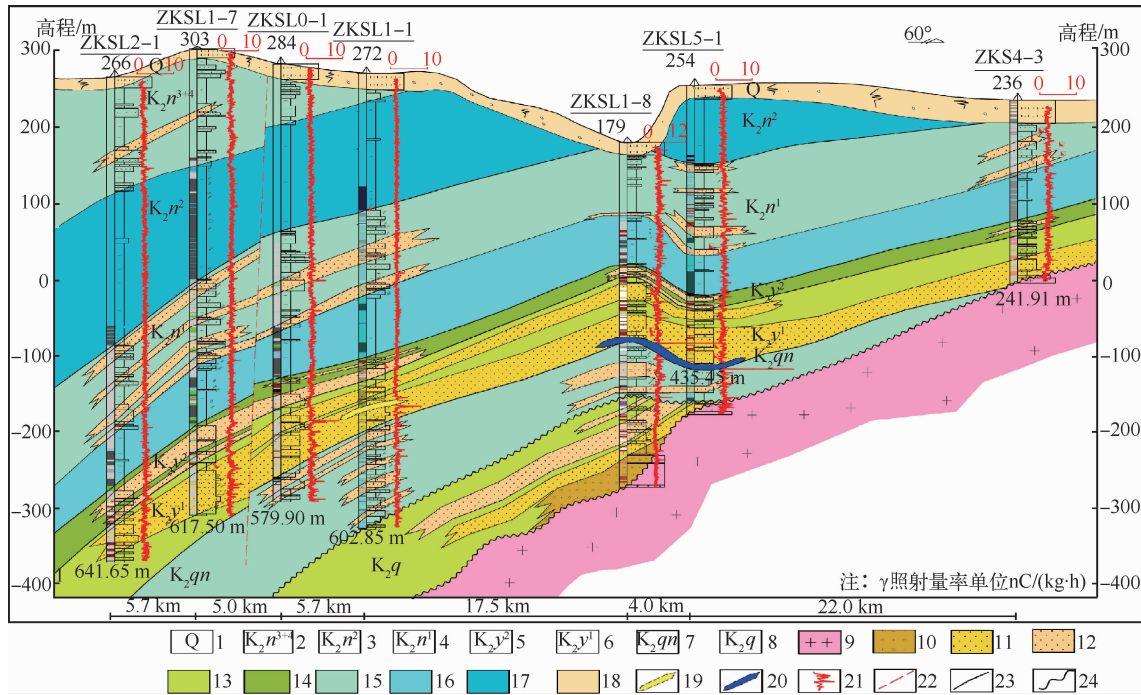
Fig. 6 Geological section of sedimentary facies for ZKSL23-3—ZKSL8-3 borehole

北东向地质剖面显示,姚家组下段从盆地边缘至盆地内部埋深逐渐变深,在三道镇北部主要发育辫状河相沉积,盆地边缘多为 1~2 个沉积旋回,在盆地内部多为 3~4 个沉积旋回,垂向相序均显示整体砂多泥少特征。砂体在盆地内部厚度较大,砂体单层厚度一般为 20~50 m,累计厚度一般为 60~90 m,最厚可达 110 m,岩性主要为灰色中、细砂岩,常见灰色、灰绿色泥砾,渗透性、成层性较好,在砂体中可见较好的铀异常显示(图 7~图 8)。在三道镇南部,姚家组下段在盆地边缘主要为曲流河相沉积,累计厚度较薄,向盆地内部逐渐过渡为三角洲平原亚相沉积,砂体主要分

布在分流河道中,砂体累计厚度较大(图 9)。

姚家组上段与姚家组下段埋深特征相似,在三道镇以北主要为曲流河沉积,沉积物主要为棕红色泥岩与薄层灰色、灰绿色细砂岩。砂体主要发育在心滩沉积微相中,砂体厚度较薄,连续性较差。在三道镇以南,盆地边缘主要为曲流河沉积,盆地内部主要为三角洲平原亚相沉积。

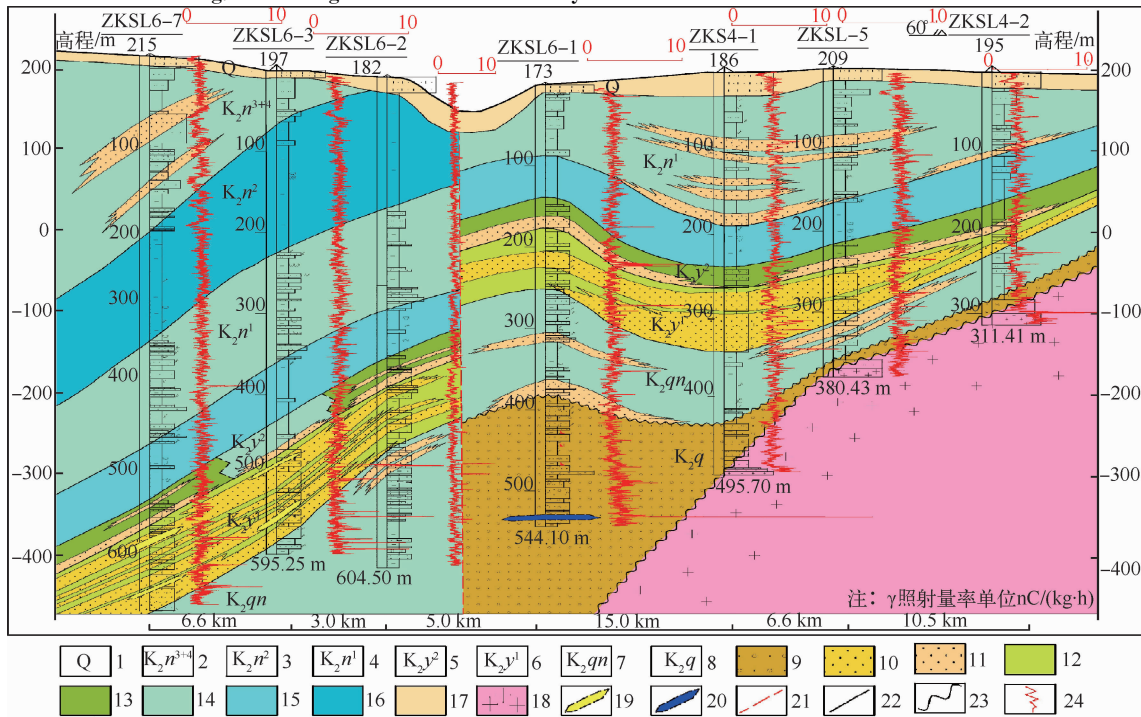
姚家组上段沉积的厚层泥岩,为姚家组下段辫状河相砂体提供了较好的隔水顶板,与青山口组灰绿色、灰色泥岩形成了良好的水文地质条件,有利于铀成矿。



1—第四系；2—嫩江组三、四段；3—嫩江组二段；4—嫩江组一段；5—姚家组上段；6—姚家组下段；7—青山口组；8—泉头组；
 9—花岗岩基底；10—冲积扇砂体；11—辫状河砂体；12—曲流河、三角洲平原砂体；13—辫状河沉积充填；14—曲流河沉积充填；
 15—三角洲平原沉积充填；16—滨浅湖沉积充填；17—深湖沉积充填；18—第四系充填；19—铀异常矿体；20—铀矿化体；
 21—γ照射量率曲线；22—推测断裂；23—地质界线；24—不整合地质界线。

图 7 ZKSL2-1 至 ZKS4-3 钻孔沉积相地质剖面图

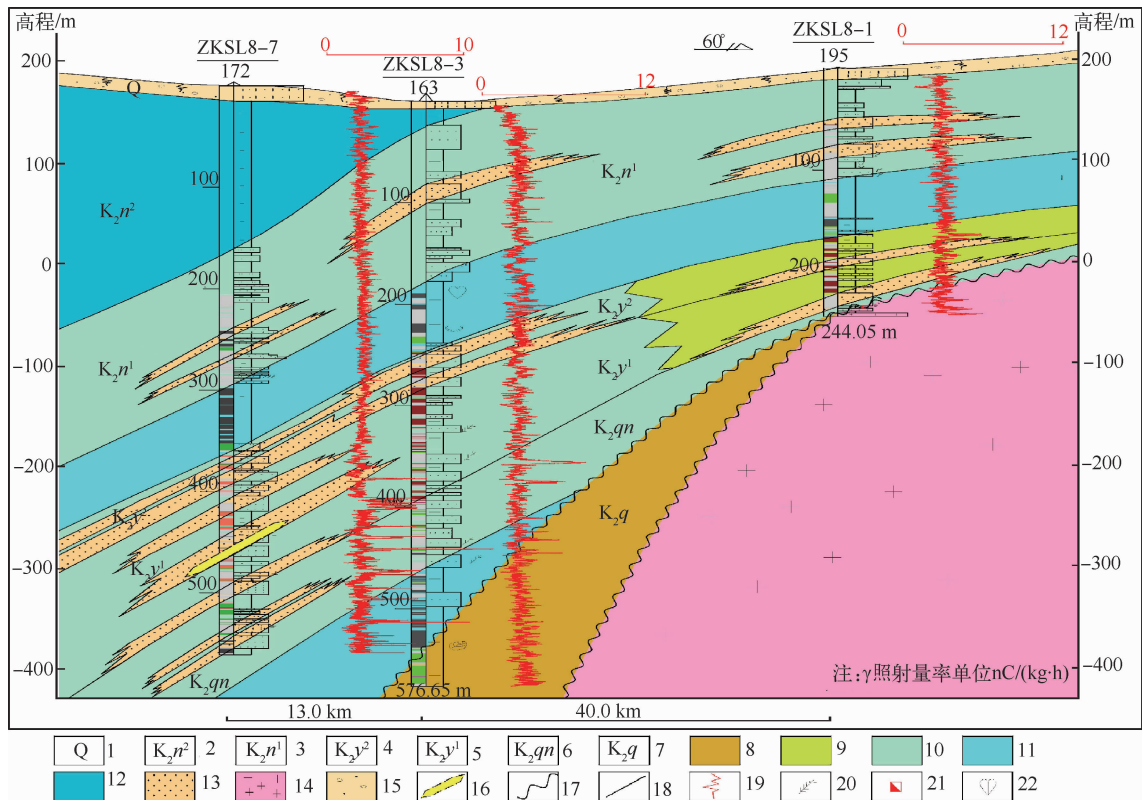
Fig. 7 Geological section of sedimentary facies for ZKSL2-1—ZKSL4-3 borehole



1—第四系；2—嫩江组三、四段；3—嫩江组二段；4—嫩江组一段；5—姚家组上段；6—姚家组下段；7—青山口组；8—泉头组；
 9—冲积扇砂体；10—辫状河砂体；11—曲流河、三角洲平原砂体；12—辫状河沉积充填；13—曲流河沉积充填；14—三角洲平原沉积充填；
 15—滨浅湖沉积充填；16—深湖沉积充填；17—第四系充填；18—花岗岩基底；19—铀异常矿体；20—铀矿化体；21—推测断裂；
 22—整合地质界线；23—不整合地质界线；24—γ照射量率曲线。

图 8 ZKSL6-7 至 ZKS4-2 钻孔沉积相地质剖面图

Fig. 8 Geological section of sedimentary facies for ZKSL6-7—ZKSL4-2 borehole



1—第四系;2—嫩江组二段;3—嫩江组一段;4—姚家组上段;5—姚家组下段;6—青山口组;7—泉头组;8—冲积扇充填;
 9—曲流河沉积充填;10—三角洲平原沉积充填;11—滨浅湖沉积充填;12—深湖沉积充填;13—曲流河砂体;14—花岗岩基底;
 15—第四系充填;16—铀异常矿体;17—不整合地质界线;18—地质界线;19— γ 照射量率曲线;20—炭屑;21—褐铁矿化;22—双壳类化石。

图 9 ZKSL8-7 至 ZKSL8-1 钻孔沉积相地质剖面图

Fig. 9 Geological section of sedimentary facies for ZKSL8-7—ZKSL8-1 borehole

4 沉积体系分布特征

姚家组时期为拗陷发展阶段晚期,研究区内物源主要来自于北部的拜泉水系,姚家组下段主要发育辫状河沉积体系,多为灰色中、细砂岩夹薄层灰色、灰绿色、棕红色泥岩。姚家组上段主要发育曲流河相,多为棕红色泥岩与灰色细砂岩互层。

4.1 砂体分布

研究区姚家组下段砂体厚一般为 60~80 m,在拜泉北部和三道镇西南部砂体厚度较大且比较稳定,河道中心沉积厚度大。海伦—通北以西地区受局部花岗岩古隆起的影响,地层厚度较小,砂

体厚度较薄(图 10a)。姚家组上段主要为厚层棕红色泥岩夹薄层灰色细砂岩,单层砂体厚度 3~10 m,砂体累积厚度 10~35 m,呈近南北向展布(图 10b)。

研究区内姚下段砂体含砂率一般为 40%~80%,ZKSL1-1~ZKSL7-9 一线和 ZKS4-1~ZKSL6-7 附近含砂率较高,一般为 70%~80%,呈北西-南西向展布(图 11a)。姚家组上段砂体含砂率较低,一般在 20%~60%(图 11b)。姚家组上、下段主河道均呈近南北向展布,因此主要物源体系来源于北部拜泉水系,次要物源体系来自于盆地东部的绥化水系。

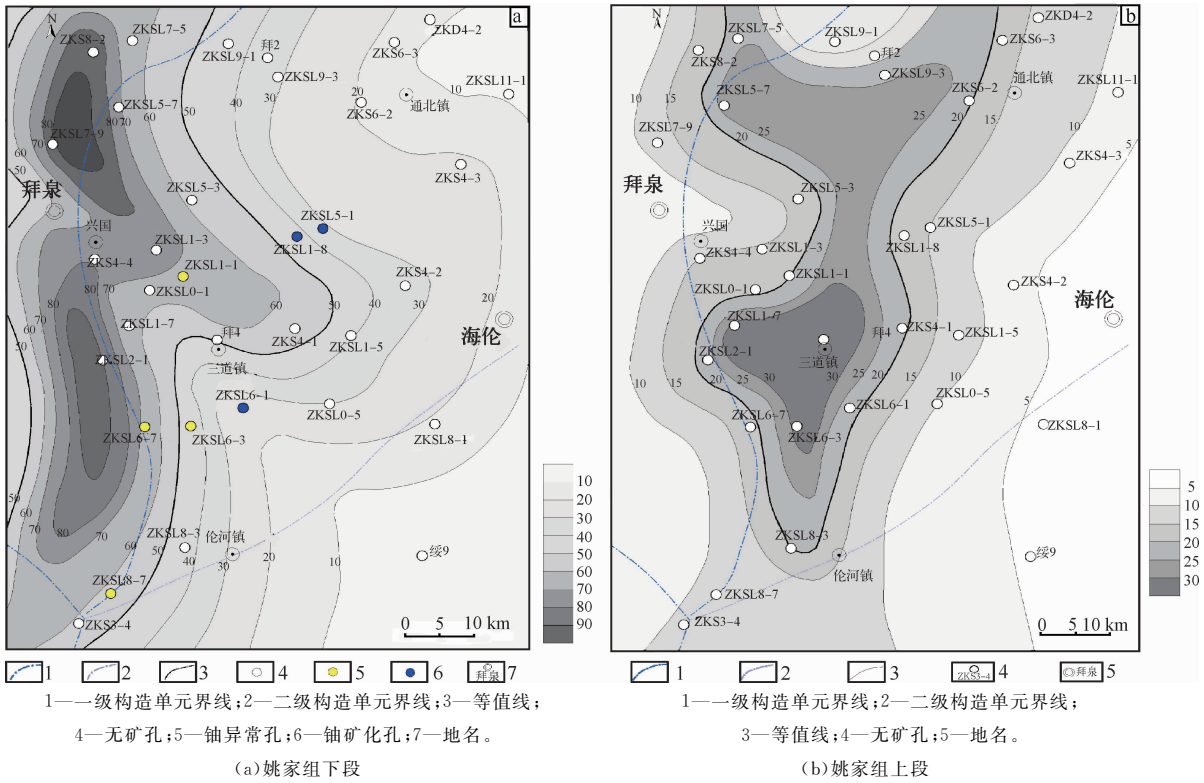


图 10 姚家组砂体厚度图

Fig. 10 Sand body thickness diagram of of Yaojia Formation

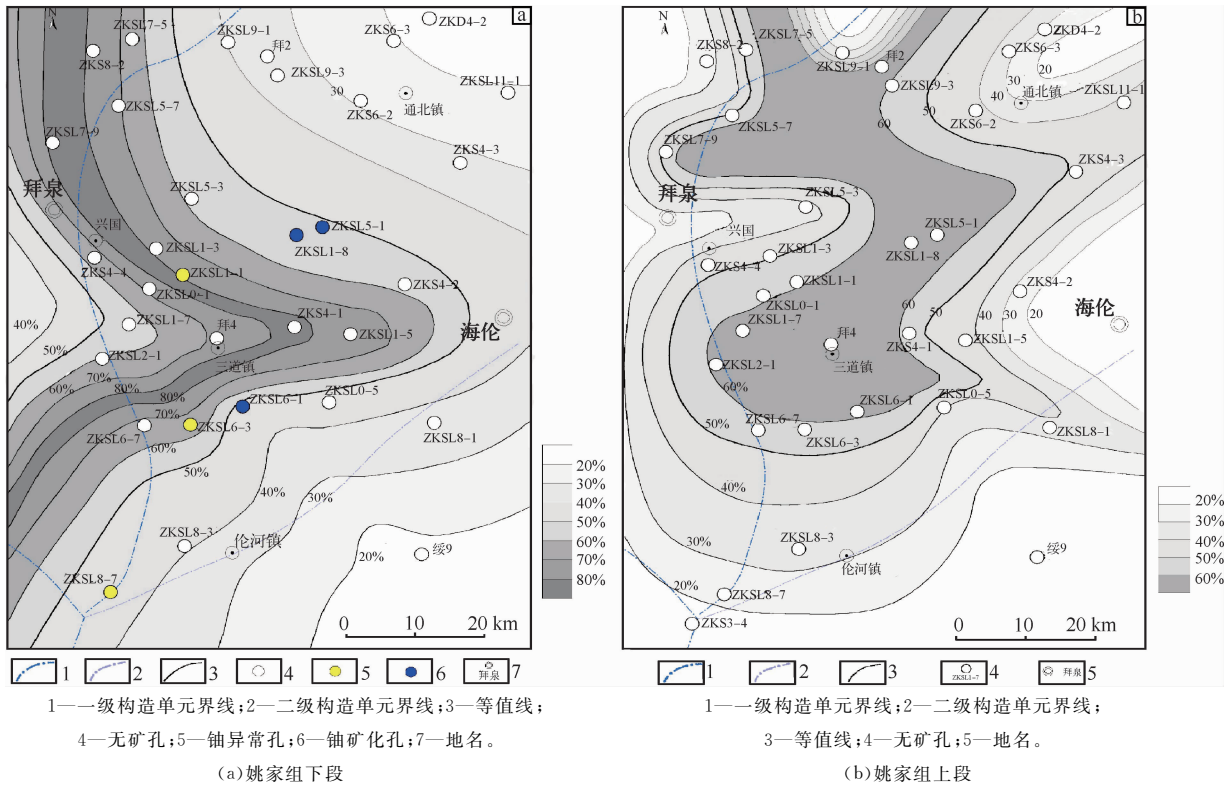


图 11 姚家组含砂率图

Fig. 11 Sand content diagram of Yaojia Formation

4.2 沉积体系分布

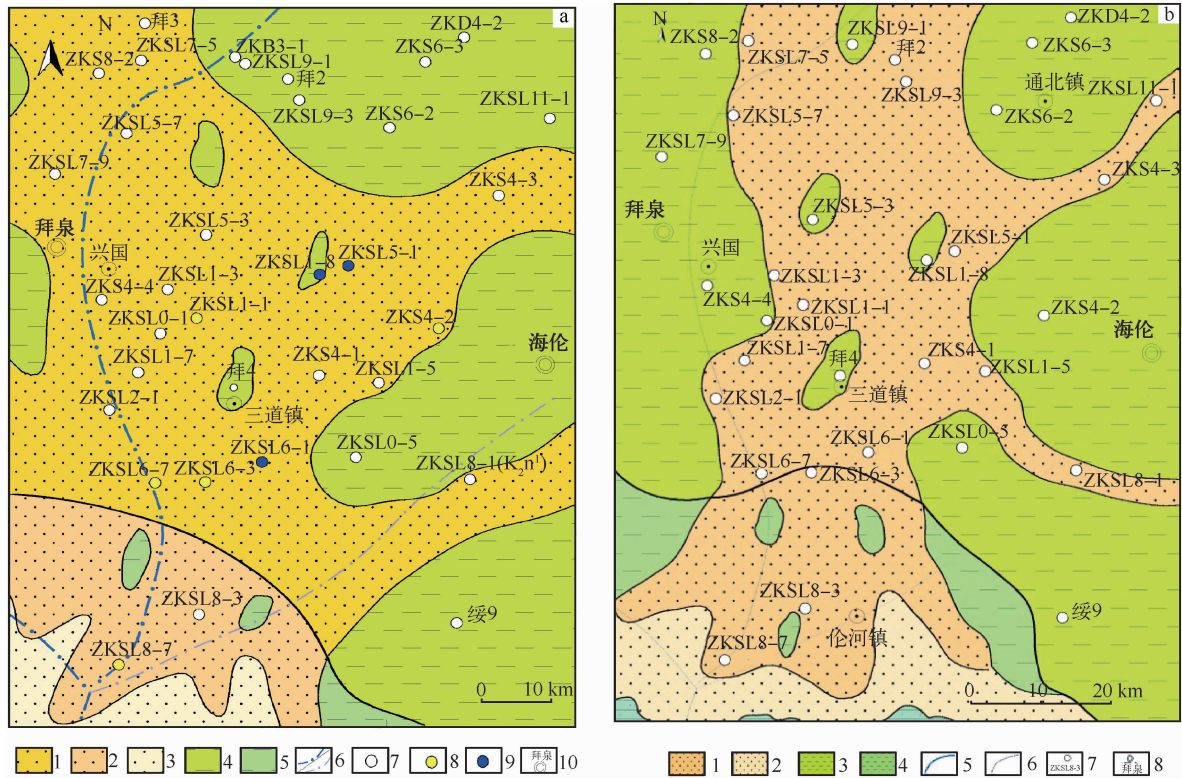
姚家组地层受后期反转构造作用影响,靠近盆地东部沉积范围较小,主要分布于海伦以西地区。

研究区内姚家组时期沉积体系发育河流-三角洲过渡体系,姚家组下段主要发育辫状河-三角洲平原沉积体系(图 12a),姚家组上段主要发育曲流河-三角洲平原沉积体系(图 12b)。

辫状河主要发育在姚家组下段 ZKSL7-5 至 ZKSL6-3 一带,分布范围较广,主要发育心滩砂体,砂体累计厚度一般为 60~80 m,呈南北向展

布,河道两侧泛滥平原发育。在 ZKSL6-3 钻孔以南至 ZKSL8-7 一带发育三角洲平原亚相,岩性主要为灰色细砂岩夹灰绿色、棕红色泥岩,主要以分流河道和河道间沉积微相为主。

曲流河主要发育于姚家组上段 ZKSL9-1 至 ZKSL6-7 钻孔一带,在河道两侧发育泛滥平原沉积。在 ZKSL6-3 以南地区过渡为三角洲平原亚相,主要发育分流河道砂体,砂体厚度一般 10~20 m,岩性为灰色细砂岩。该时期东部绥化水系不发育。



1—辫状河砂体;2—三角洲平原砂体;3—三角洲前缘砂体;
4—辫状河泛滥平原;5—三角洲平原泛滥平原;6—一级、二级构造
单元界线;7—无矿孔;8—轴异常孔;9—轴矿化孔;10—地名。
(a)姚家组下段

1—曲流河、三角洲平原砂体;2—三角洲前缘砂体;
3—曲流河泛滥平原;4—三角洲平原泛滥平原;5—一级构造单元界线;
6—二级构造单元界线;7—无矿孔;8—地名。
(b)姚家组上段

图 12 姚家组沉积相图

Fig. 12 Sedimentary facies diagram of Yaojia Formation

根据研究区姚家组地层的分布特征,姚家组沉积时期演化过程可分为 2 个时期,大致对应于姚家组下段和姚家组上段沉积时期;不同时期的沉积特征表现不同,整体表现为加积到缓慢的水退过程,并在沉积演化过程当中,形成了辫状河-

三角洲和曲流河-三角洲的沉积体系。姚家组下段时期处于辫状河-三角洲平原的沉积体系下,物源来自北部拜泉水系,存在东部次要物源体系,沉积物供应量较大,沉积过程总体上表现为加积过程。姚家组上段时期处于曲流河-三角洲平原的

沉积体系下,物源主要来自于北部拜泉水系,水动力条件减弱,沉积过程中总体上表现为缓慢水进过程^[13-14]。

5 沉积体系对铀成矿影响

姚家组下段沉积时期,在盆地东部主要发育冲积扇和辫状河,保证了研究区内物源的充分供给。在拜泉地区形成了辫状河相沉积的成层性高、厚度大的砂体,在拜泉地区姚家组下段地层中发现较好的铀异常显示,例如 ZKSL6-3 铀异常孔,在 485.80~486.30 m 和 548.60~548.80 m 处发现铀异常,品位均为 0.005 4%。

姚家组上段时期主要为曲流河相沉积,形成了稳定的、厚层的棕红色泥岩,与姚家组下部的青山口组灰色、灰绿色泥岩形成了良好的隔水层,泥-砂-泥结构稳定。从构造角度来看,研究区在嫩江末期和明水组末期经历反转构造运动,盖层断裂发育,地层掀斜使部分地区姚家组地层出露地表,遭受剥蚀,形成天窗,为地下水补给渗入提供了有利通道。研究区东部的小兴安岭、张广才岭富铀花岗岩体以及基底印支期二长花岗岩为研究区提供了丰富的铀源,并为研究区铀成矿提供了良好的地质条件^[15-16]。

6 结论

1) 研究区姚家组时期主要发育河流、三角洲这 2 种沉积类型,进一步可划分出 6 种亚相和 10 种沉积微相。其中姚家组下段时期主要发育辫状河-三角洲平原沉积体系,辫状河河道发育在拜泉一三道镇一带,姚家组上段主要发育曲流河-三角洲平原亚相沉积体系。

2) 拜泉地区姚家组下段的辫状河相砂体厚度大、连通性好,具有良好的铀成矿地质条件,并且已发现良好的铀异常显示,可作为铀矿床富集成矿的有利区域。

参考文献:

- [1] 大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志: 卷二: 大庆油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [2] 宋柏, 孙慧, 杨松林, 等. 松辽盆地钱家店砂岩型铀矿床含矿岩系组成特征与铀成矿作用[J]. 古地理学报, 2022, 22(2): 309-320.
- [3] 贾立城, 蔡建芳, 黄笑, 等. 宝龙山铀矿床姚家组下段砂岩岩石学特征与成岩作用[J]. 铀矿地质, 2018, 34(5): 264-273.
- [4] 张明瑜, 郑纪伟, 田时丰, 等. 开鲁拗陷钱家店铀矿床铀的赋存状态及铀矿形成时代研究[J]. 铀矿地质, 2005, 21(4): 213-218.
- [5] 荣辉, 焦养泉, 吴立群, 等. 松辽盆地南部钱家店铀矿床后生蚀变作用及其对铀成矿的约束[J]. 地球科学, 2016, 41(1): 153-166.
- [6] 禹保利, 张振强. 松辽盆地南部钱家店凹陷姚家组含水层水成铀矿作用分析[J]. 铀矿冶, 2022, 41(4): 346-351.
- [7] 罗敏, 侯晓光, 王志华, 等. 松辽盆地北部泰来一拜泉地区铀矿资源调查评价[R]. 沈阳: 核工业二四〇研究所, 2023.
- [8] 宋鹰. 松辽盆地裂后期构造反转及其动力学背景分析[D]. 武汉: 中国地质大学, 2010: 1-137.
- [9] 冯志强, 张顺, 付秀丽. 松辽盆地姚家组一嫩江组沉积演化与成藏响应[J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 78-87.
- [10] 夏飞勇, 焦养泉, 荣辉, 等. 松辽盆地南部钱家店铀矿床姚家组砂岩地球化学特征及地质意义[J]. 地球科学, 2019, 44(12): 4235-4251.
- [11] 郭强, 邢作昌, 秦明宽, 等. 松辽盆地东北缘晚白垩世含铀地层对比及其深部找矿意义[J]. 铀矿地质, 2021, 37(5): 797-809.
- [12] 万涛, 刘招君, 胡菲, 等. 松辽盆地北部上白垩统四方台组河流相层序沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(5): 1-7.
- [13] 杨海波, 钟延秋. 松辽盆地东北隆起区砂岩型铀矿成矿条件分析[J]. 地质与资源, 2011, 20(5): 332-338.
- [14] 高有峰. 松辽盆地上白垩统事件沉积与高分辨率层序地层——以松科 1 井岩心资料为基础[D]. 长春: 吉林大学, 2010: 1-199.
- [15] 罗毅, 何中波, 马汉峰, 等. 松辽盆地钱家店砂岩型铀矿成矿地质特征[J]. 矿床地质, 2012, 31(2): 391-400.
- [16] 白晓晗. 松辽盆地东南隆起区泉头组-姚家组的沉积体系研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020: 38-43.

