文章编号: 1009-3850(2014)04-0048-06

# 二连盆地隆起带阿其图乌拉凹陷铀成矿环境与远景预测

戴明建[1,2]，彭云彪[2]，苗爱生[2]，杨建新[2]，刘　璐[2]，王　贵[2]，胡立飞[2]，李华明[2]

(1. 中国地质大学(武汉)，湖北　武汉　430074; 2. 核工业二〇八大队，内蒙古　包头　014010)

摘要: 阿其图乌拉凹陷为二连盆地隆起带上众多的含铀山间盆地之一。本文首次在现有钻探资料的基础上，结合区域地质特征，对阿其图乌拉凹陷赛汉组的铀成矿环境进行了详细分析，并综合铀储层、后生蚀变和铀源等因素对铀成矿前景进行了预测。研究认为，研究区目的层具有来自北部苏尼特隆起的丰富铀源，且铀源近。赛汉组上段和下段均具有完整的利于成矿的“泥-砂-泥”结构，发育大型呈泛连通的辫状砂体，发育潜水-层间氧化带，且控制矿体的产出等。赛汉组上段及下段均具有非常有利的铀成矿环境。远景区处于辫状河三角洲砂带中部的氧化-还原过渡带及灰色残留体上，资源潜力较大。

关　键　词: 二连盆地; 阿其图乌拉凹陷; 赛汉组; 铀成矿环境

中图分类号: P619.14　　文献标识码: A

## 1　地质概况

二连盆地大地构造上处于西伯利亚板块与中朝-塔里木板块的缝合部位，是一个以裂陷为主要特征的中、新生代断拗沉积盆地。作为中国北方大型中新生代沉积盆地，二连盆地划分为 6 个构造单元，具有“五坳一隆”的构造格局。坳陷和隆起又由 44 个次级凹陷和与之相间的 21 个凸起所组成，各凹陷具有近源、多源的特点[1-2](图 1)。二连盆地与蒙古国的赛音山达产铀盆地、乔伦产铀盆地相邻，其所处的大地构造位置、盆地类型及规模、铀源条件、矿化类型均较相似，区域上显示出较好的找矿前景[3-4]。

阿其图乌拉凹陷是二连盆地苏尼特隆起上的一个双断式凹陷，平面上呈不规则的椭圆形，是典型的小而深型的山间盆地(图 1)。其沉积盖层包括

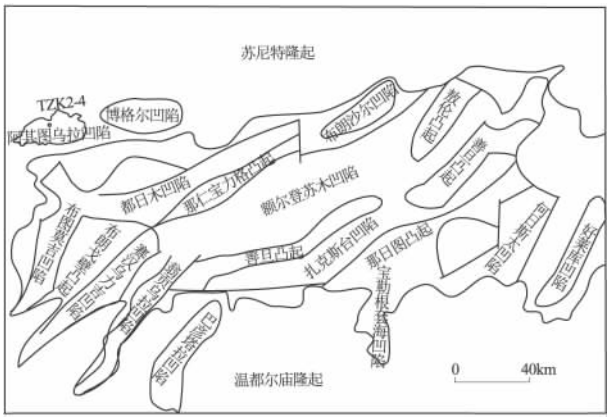


图 1　阿其图乌拉凹陷构造位置图

Fig. 1　Tectonic setting of the Aqituwula depression in the Eren Basin

中生界侏罗系中酸性火山岩、砂砾岩，白垩系灰色、

收稿日期: 2014-04-04; 改回日期: 2014-05-12

作者简介: 戴明建(1984 - )，男，博士研究生，主要从事储层沉积学(油气、铀)和铀矿勘查工作。E-mail: 384289527@qq.com

资助项目: 本文受中国地质调查局重点项目“全国铀资源调查评价”项目(1212011085514)资助

灰绿色砂砾岩、砂岩和新生界新近系河湖相泥岩、泥质砂岩、砂砾岩和第四系的风成沙沉积。其中早白垩世时期，凹陷内沉积了巨厚的巴彦花群，以赛汉组最厚。赛汉组($K_1s$)沉积期，盆地处于断陷萎缩期(断-坳转换)，砂体较发育，规模大，结构疏松，孔隙度、渗透性好，可构成地浸砂岩型铀矿良好的储矿空间。其垂向上可细分为上、下两段：下段下部为灰色、灰绿色砾岩夹含砾泥岩薄层，上部为灰色、灰绿色、黑色含砾泥岩、炭质泥岩夹砂岩、砾岩、褐煤薄层；上段为灰白色、黄色、灰色砂质砾岩、中粗粒砂岩和灰色、灰绿色泥岩等(表1)。赛汉组是研究区的主要找矿目的层。目前已钻有10余口铀矿勘探钻井，对其进行铀成矿环境方面的研究，可对于苏尼特隆起上的其它山间小盆地的铀矿找矿，如赛汉图门凹陷、红格尔凹陷等具有指导意义。

表1　沉积盖层地层划分表

Table 1　Stratigraphic division of the sedimentary cover in the Aqituwula depression in the Eren Basin

| 界 | 系 | 统(群) | 组 | 段 | 代号 | 年龄(Ma) | 厚度(m) | 岩性柱 | 地震反射 | 岩性描述 | 沉积相 | 生物地层 介形类组合 | 生物地层 孢粉组合 | 古气候 | 体系域 | 构造阶段 | | 构造运动 | 应力场 | 地层分布 | 赋矿层位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 新生界 | 第四系 | | | | Q | 1.64 | 0~50 | | | 松散堆积物、玄武岩层 | 冲洪积 | | | 干旱 | | 裂后期 | 挤压、走滑—升降 | 喜山运动 | 均衡调整右旋走滑 | 中部及东部:玄武岩位于花紫都 | |
| | 新近系 | | 巴格达乌拉组 | | $N_2b$ | | 0~300 | | | 砖红色、褐红色泥岩夹砂岩。砾岩薄层。局部见铁锰质和膏岩层 | 洪泛平原湖泊 | | | 干旱 | | | | | | 全区 | |
| 中生界 | 白垩系 | 下统巴彦花群 | 赛汉组 | 上段 | $K_1s^2$ | 97 | 200~500 | | | 灰白色、黄色、灰色砂质砾岩、中粗砂岩和褐红色、灰绿色泥岩 | 河流 | | 有突肋纹孢属、光面单缝孢属 | 半干旱半潮湿 | 高位体系域(HST) | | 坳陷 | 燕山运动 | 均衡下沉 | 南部缺失 | 主矿层 |
| | | | | 下段 | $K_1s^1$ | 121 | | | T3 | 上部灰色、灰绿色块状泥岩夹煤层或炭质泥岩；下部灰色泥质砂砾岩、砾岩含砾泥岩 | 辫状扇三角洲湖沼 | 联合女星介-原始女星介 | 有突肋纹孢属、光面单缝孢属 | 半潮湿 | 湖扩体系域(EST)低位体系域(LST) | 同裂陷期 | 裂谷伸展 | | 太平洋板块向亚洲大陆北西—南东向俯冲 | 东南部缺失 | 次矿层 |
| | | | 腾格尔组 | 上段 | $K_1t^2$ | 126 | 500~1500 | | T5 | 上部深灰色、灰色块状泥岩；下部泥质砂砾岩、灰色砂质砾岩与薄层砂砾质泥岩 | 冲积扇浅湖 | 栅状土形介-格拉姆湖女星介 | 克拉梭粉属、松粉属 | 潮湿 | 高位体系域(HST) | | | | | 南部与东部钻遇 | 次矿层 |
| | | | | 下段 | $K_1t^1$ | | | | T7(8) | 上部深灰色灰黑色泥岩夹砂岩；下部泥质砂砾岩、灰色砾岩与灰色泥岩 | 深湖辫状扇三角洲水下扇 | 马斯甲女星-介巴达拉湖女星介 | 古松柏粉属、凹边瘤面孢属、拟套环孢属 | 潮湿 | 湖扩体系域(EST)低位体系域(LST) | | | | | 南部与东部钻遇 | |
| | | | 阿尔善组 | 上段 | $K_1a^3$ | 131 | | | | 上部深灰色泥岩；下部灰色砾岩、泥质砂砾岩与灰色泥岩互层 | 浅湖辫状扇三角洲 | 巴达拉湖介-萨氏准葛介 | 单远极内粉属、穿缝孢属、桦柳科孢属 | 潮湿 | 高位体系域(HST) | | | | | 南部与东部钻遇 | |
| | | | | 中段 | $K_1a^2$ | | >1000 | | T11 | 深灰、灰黑色泥岩夹砂岩透镜体 | 深湖 | | | 潮湿 | 湖扩体系域(EST) | | | | | 南部与东部钻遇 | |
| | | | | 下段 | $K_1a^1$ | 138 | | | | 杂色砂质砾岩、砾岩夹紫红色、灰绿色泥岩 | 滨湖冲积扇河流 | | | 潮湿 | 低位体系域(LST) | | | | | 东南部钻遇 | |
| | 侏罗系 | | | | | | >1000 | | | 火山碎屑岩、火山熔岩、河流相沉积岩 | 火山岩湖相 | | | | | | 体制转换 | | 南北拉张，蒙古海 | 东南部钻遇 | |
| 古生界 | | | | | Pz | | | | | 变质砂岩、板岩、凝灰岩、花岗岩 | | | | | | 裂前期 | 板块碰撞 | 印支运动 | 陆内造山，西伯利亚板与华北板块南北相向挤压 | | |

## 2　铀成矿环境分析

### 2.1　铀源近而富

铀源条件对砂岩型铀矿非常重要，铀源的丰富与否对铀矿的形成具有决定性意义[5]。阿其图乌拉凹陷沉积砂体具有距离物源近、搬运距离短的特点，物源主要来自于北部的苏尼特隆起。该隆起发育华力西期及燕山期花岗岩体，且其上古生界具多层铀含量较高的中酸性火山岩。华力西期的侵入岩主要为花岗闪长岩、似斑状花岗闪长岩、黑云母花岗闪长岩等中酸性侵入岩($\delta O_4$)及酸性侵入岩($\gamma_4^3$)，呈岩基产出。其中，酸性侵入岩($\gamma_4^3$)铀含量高达$4\times10^{-6}$，且风化作用强烈，铀迁出明显，构成了丰富的铀源[2]。

### 2.2　地层结构好

研究区赛汉组呈“粗-细-粗”结构，反映了一个由水进到水退的完整沉积旋回(图2)。赛汉组下段砂体的上部及下部为湖沼相泥岩，构成稳定的隔水顶板、底板。另外，砂体内部亦有稳定泥岩层存在，亦可构成隔水层。赛汉组下段砂体具备良好的泥-砂-泥地层结构，构成对铀成矿有利的地层结构。赛汉组上段顶部泥岩以及之上的新近系洪泛泥岩、含砂砾泥岩，均属非渗透性岩石，为赛汉组上段含水层(体)良好的隔水顶板，共同构成稳定的区域性隔

水顶板。赛汉组下段上部为湖沼泥岩夹煤层，也属非渗透性岩石，构成稳定的区域性隔水底板。另外，在研究区辫状河三角洲前缘沉积区，砂体与前三角洲泥岩层呈指状接触，这部分泥岩层亦可构成良好的隔水层。上述组合在剖面上显示出单个泥-砂-泥或多个泥-砂-泥叠合的地层结构，构成该区对铀成矿有利的地层结构。

## 2.3 沉积体系特征

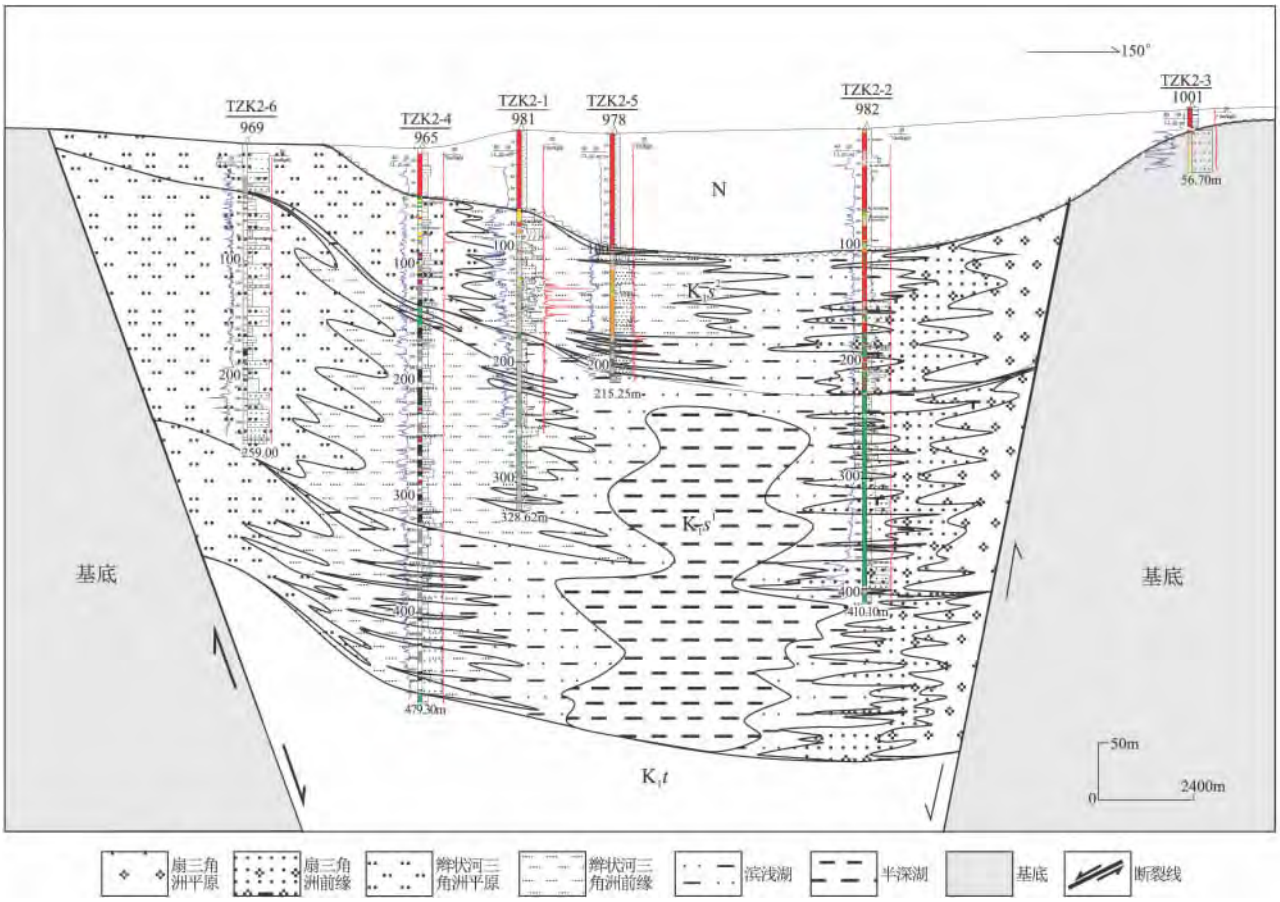


图2 阿其图乌拉凹陷 T2 号勘探线沉积对比剖面图

Fig. 2 Geologial section across the T2 exploratory line in the Aqituwula depression in the Eren Basin

沉积体系分析是砂岩型铀矿勘查、研究的基础，亦是寻找有利铀储层研究的重点，被广泛应用于盆地分析。近几年，许多学者将沉积体系分析应用于可地浸砂岩铀矿成矿理论研究中[6-8]，并在鄂尔多斯、吐哈等盆地取得很好的找矿效果。本次研究结合岩心、测井曲线、地震资料、岩石矿物学分析以及砂分散体系形态所蕴藏的沉积学信息，为成因标志识别提供了大量的证据。由于工作程度所限，本次研究在单孔垂向上识别出单孔沉积微相，而在平面上只划分到沉积亚相。沉积体系展布研究采用由点到线再到面的研究方法，即从岩心描述出发，再进行单孔沉积相划分，最后进行剖面与平面的沉积相对比。典型钻孔垂向上由辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘组成(图3)，其中辫状河三角洲平原可识别出分流河道、分流间湾和决口扇等沉积微相；辫状河三角洲前缘可识别出水下分流河道、河口坝和水下分流间湾等沉积微相。整体由一个反粒序加正粒序组成，形成“下反上正”的典型三角洲沉积旋回。下部单砂体厚度较薄，一般厚 2m 左右，呈砂泥间互层；上部单砂体相对较厚，厚度可达 10m。平面上由北西方向和北东方向的双物源交叠，由多期三角洲朵体组成，向物源方向连成片状，向湖方向呈朵叶状，形成较大范围的泛连通体(图4)。砂体呈带状近南北向展布，含矿层砂体层数多，呈透镜状，泥岩夹层较发育。赛汉组下段单层砂体厚度 8 ~ 30m，累计砂体厚度在 10.30 ~ 118m 之间，含砂率为 17.80% ~ 49.39%。赛汉组上段单层砂体厚度 10 ~ 20m，砂体累计厚度在 11 ~ 70m 之间，含砂率 13% ~ 93%。辫状河三角洲前缘砂体是阿其图乌拉凹陷重要的赋矿空间，其规模及展布形

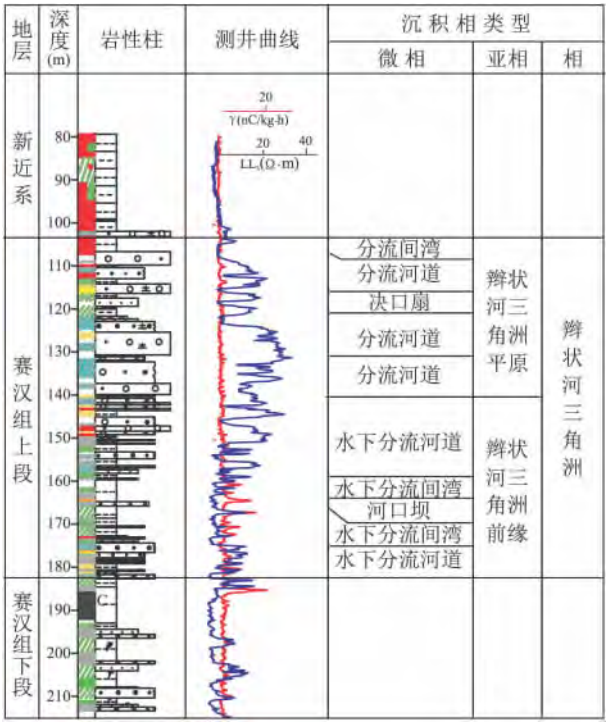


**图3　典型钻孔赛汉组上段辫状河三角洲垂向沉积微相划分**

Fig. 3　Column of the sedimentary microfacies in the braided delta facies in the upper member of the Saihan Formation in the Aqituwula depression

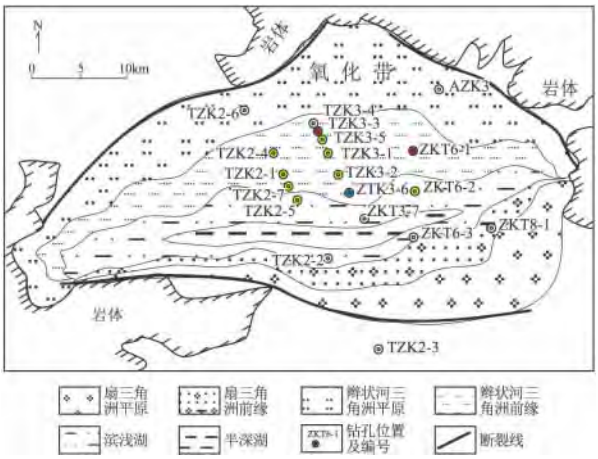


**图4　阿其图乌拉凹陷赛汉组下段沉积体系分布图**

Fig. 4　Distribution of the depositional systems in the lower member of the Saihan Formation in the Aqituwula depression

态对铀矿化起到重要的控制作用。

## 2.4　氧化带

阿其图乌拉地区赛汉组下段发育潜水-层间氧化带，垂向上，由北向南发育黄色舌状体，铀矿化位于氧化舌前端的灰色砂体中(图5)。氧化带自北向南发育于赛汉组下段辫状河三角洲沉积体系的砂体中。氧化带主要发育在凹陷边部，以潜水转层间氧化作用为主，一般在北部近源区呈单层发育于辫状河三角洲平原砂砾岩中，向坳陷内转为多层，发育在辫状河三角洲前缘砂体中，并呈舌状向前延伸。氧化岩石为黄色、浅黄色砂砾岩、中粗砂岩、细砂岩夹红色、褐红色泥岩、粉砂岩。氧化厚度为20～90m，其在北部与砂体厚度基本一致，即靠北部蚀源区砂体几乎全部被氧化，向南氧化厚度逐渐变薄，直至尖灭，说明氧化带呈北向南发育。氧化作用具有顺层向深部延伸的趋势，具有层间氧化带的特征。

平面上(图6)，氧化带沿北部隆起(苏尼特隆起)呈带状自北向南发育，层间氧化带前锋线位于TZK2-4、TZK3-3、ZKT6-1等钻孔附近，长约30km。氧化带宽5～6km，其北侧近隆起部位发育赛汉组下段辫状河三角洲平原黄色砂砾岩，宽度3～4km。氧化带在南部辫状河三角洲前缘砂体中发育宽度为2～3km，具有一定的规模。前锋线以北辫状河三角洲前缘砂体部位岩石呈黄色、黄绿色或黄色与灰色、灰绿色互层，以南为灰色、灰绿色。灰色岩石中炭屑含量高，并见煤线，说明岩石原生还原能力强，有利于氧化带内铀的沉淀。氧化带的形成可能与北部隆起上含氧水的补给有关，因该隆起上富铀岩体发育，裂隙水中铀含量高，为该区后生铀成矿提供丰富的铀源。因此研究区赛汉组下段层间氧化带前锋线有利于成矿，且氧化带前锋线直接控制着铀矿化产出的空间定位，氧化舌前端是最有利的成矿部位。

## 2.5　古气候对铀成矿的控制

古气候是砂岩型铀矿形成的重要条件之一。通常情况下，含矿目的层沉积时的古气候应该温暖潮湿，而目的层形成之后的成矿作用则需要干旱-半干旱的气候条件，以保证沉积砂体含丰富的有机质和成矿期古地下水富铀富氧[5]。

通过对孢粉组合的综合分析，聂逢君等推测该区赛汉组沉积时期为温暖潮湿的亚热带气候[9]，且有向半潮湿、半干旱方向发展的趋势[10]。赛汉组上段之下沉积了一套灰(暗)色粗碎屑岩建造，顶部为红色、褐色泥岩所覆盖。晚白垩世及其后地壳抬升，气候持续以干旱-半干旱为主，赛汉组上段长时期露出地表充分遭受氧化淋漓。且地下水中的溶解氧在迳流过程中不易被消耗，可以在赛汉组上段砂体中运移较远或到达较深部位，有利于氧化带的形成、发育。进入古近纪以来，研究区一直处于干旱-半干旱气候状态，沉积了以黄色、褐黄色、红色等为主的泥岩、粉砂岩，长时期的干旱环境有利于氧化作用的发育及铀成矿。

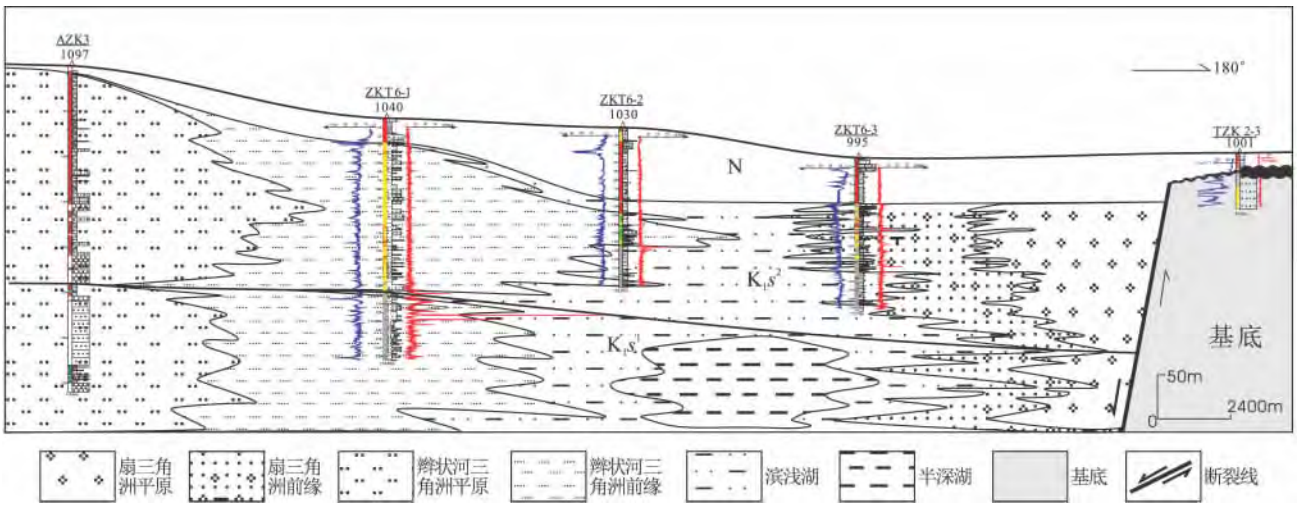


**图5 阿其图乌拉凹陷T6勘探线地质剖面图**

Fig. 5 Geological section across the T6 exploratory line in the Aqituwula depression in the Eren Basin

### 2.6 古水动力条件

研究区在赛汉组沉积后遭受多次构造抬升，均形成有利于氧化带形成的水动力机制，从而有利于赛汉组层间氧化带的发育。构造抬升有利于周边蚀源区富铀含氧水汇集到凹陷内并进入辫状砂体中发生氧化作用，因此该区古水动力条件有利于氧化带的形成。

另外，有机碳等还原介质等也对铀矿化的形成起促进与控制作用。

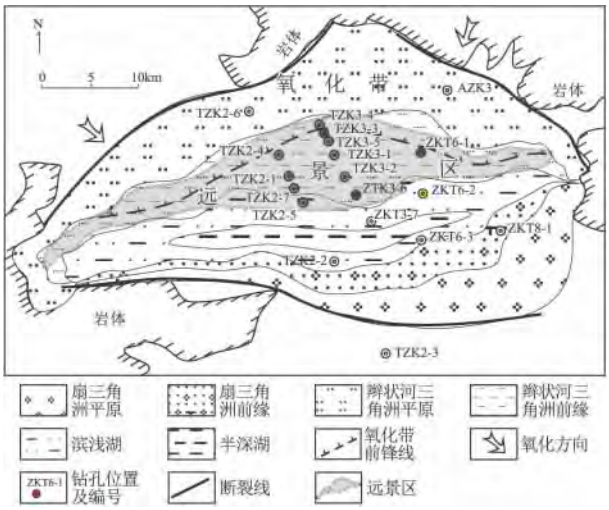


**图6 腾格尔坳陷阿其图乌拉地区赛汉组下段岩性岩相、岩石地球化学及远景区预测图**

Fig. 6 Lithology, sedimentary facies, petrogeochemistry and prospect area in the lower member of the Saihan Formation in the Aqituwula depression

## 3 远景区预测

在综合分析研究区铀成矿环境的基础上，以河道砂体空间展布、后生蚀变特征和已有矿化线索为主要依据，结合铀源条件、地层结构和古水动力条件等因素，对阿其图乌拉凹陷铀成矿远景区进行预测。预测远景区长约40km，宽2.2～7.2km，面积约200 $km^2$（图6）。找矿目的层为下白垩统赛汉组上段及下段，找矿类型为潜水-层间氧化带型。

## 4 结论

阿其图乌拉凹陷作为苏尼特隆起一个小而深的山间盆地，有来自北部苏尼特隆起上的丰富铀源，且靠近铀源近。赛汉组上段和下段均具有完整的利于成矿的“泥-砂-泥”结构，发育大型呈泛联通的辫状砂体，发育潜水-层间氧化带，且控制矿体的产出等。综上所述，该地段目的层赛汉组上段及下段均具有非常有利的铀成矿地质条件。潜水-层间氧化带发育，远景区处于辫状河三角洲砂带中部的氧化-还原过渡亚带及灰色残留体上。铀矿（化）体受氧化-还原界面控制，产于界面之下的灰色砂体或灰色残留体中，控矿因素明显。因探矿工程控制程度所限，矿体规模未得到控制，远景区资源潜力较大。

**参考文献：**

[1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1991.

[2] 刘武生，王正邦，谢佑新. 二连盆地可地浸砂岩型铀成矿的再认识[J]. 铀矿地质，2004，20(2)：65－70.

[3] 李月湘，于金水，秦明宽，等. 二连盆地可地浸砂岩型铀矿找矿方向[J]. 铀矿地质，2009，25(6)：338－343.

[4] 祝民强，吴仁贵，余达淦，等. 内蒙古巴彦塔拉盆地砂岩型铀矿

地质特征与主沉积物体系归属[J]. 东华理工学院学报,2003,26(3):121-126.
[5] 陈法正. 砂岩型铀矿的成矿地质条件与战略选区——以二连盆地和鄂尔多斯盆地为例[J]. 铀矿地质,2002,18(3):138-143.
[6] 张金带,徐高中,林锦荣,等. 中国北方6种新的砂岩型铀矿对铀资源潜力的提示[J]. 中国地质,2010,37(5):1434-1449.
[7] 焦养泉,吴立群,杨琴. 铀储层——砂岩型铀矿地质学的新概念[J]. 地质科技情报,2007,26(4):1-7.
[8] 吴仁贵,余达淦. 辫状沉积砂体与砂岩型铀矿的关系剖析[J]. 铀矿地质,2005,21(2):92-97.
[9] 聂逢君,陈安平,胡青华,等. 内蒙古二连盆地早白垩世砂岩型铀矿目的层时代探讨[J]. 地层学杂志,2007,31(3):272-279.
[10] 董庭宽,康秀萍. 内蒙古二连盆地古河道分布与铀成矿远景[J]. 铀矿地质,2001,17(1):24-33.

# Uranium mineralization and prediction for the Aqituwula depression in the Eren Basin, Inner Mongolia

DAI Ming-jian[1,2], PENG Yun-biao[2], MIAO Ai-sheng[2], YANG Jian-xin[2], Liu Lu[2], WANG Gui[2], HU Li-fei[2], LI Hua-ming[2]

(1. *China University of Geosciences*, *Wuhan* 430074, *Hubei*, *China*; 2. *No.* 208 *Geological Party*, *China National Nuclear Corporation*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia*, *China*)

**Abstract:** The Aqituwula depression is one of uranium-bearing intermontane basins in the Sunite uplift zone, Eren Basin, Inner Mongolia. The present paper focuses on the uranium mineralization and prediction for the Saihan Formation in the Aqituwula depression on the basis of regional geology and existing data. The uranium in the study area is believed to be derived from the Sunite uplift zone in the north. Both the upper and lower members of the Saihan Formation are characterized by a complete "mud-sand-mud" architecture favourable for the uranium mineralization, giant and connected braided sandstone bodies and phreatic-interformational oxidation zones which put the uranium ore bodies under control, and thus serve as the favourable environments for the uranium mineralization. The prospect area is located in the oxidation-reduction transitional zones and grey relicts in the central part of the braided deltas and is highly prospective for the uranium exploration.

**Key words:** Eren Basin; Aqituwula depression; Saihan Formation; uranium mineralization