

# 北安地区可地浸砂岩型铀矿成矿地质条件分析

王世辉<sup>1,2,3</sup>, 钟延秋<sup>3</sup>, 唐金生<sup>3</sup>, 汪在君<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100029;

3. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

**[摘要]** 松辽盆地北部北安地区跨盆地内北部倾没区和东北隆起区两个Ⅲ级构造单元。本文对松辽盆地北安地区可地浸砂岩型铀矿成矿条件分析后认为, 该区具有丰富的铀源和良好的可地浸砂岩型铀矿成矿条件。具体表现在区内富含有机质, 有利沉积相带发育, 泥岩—砂岩—泥岩结构层发育良好, 有含水透水和隔水层, 补—径—排机制较完善, 水动力条件较好, 具有渗入型自流水盆地特征, 具备了可地浸砂岩型铀矿成矿地质条件, 具有良好的勘探前景。

**[关键词]** 可地浸砂岩型铀矿; 成矿条件; 活化铀; 航放资料

**[中图分类号]** P619.14 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-2427 (2007) 02-016-07

松辽盆地北部北安地区可地浸砂岩型铀矿是一种层间氧化带型外生后生铀矿床, 铀是以地下水为载体, 在砂岩层中运移, 到适宜的环境下, 由于氧化还原条件的改变, 而在氧化还原界面处富集而形成的。它是一个长期不断地受改造和逐步富集的过程, 实质是层间含氧地下水的后生淋滤富集。

丰富的铀源是可地浸砂岩型铀矿形成的重要条件, 铀源一般来自两个方面: 一是来自富铀地层和富铀花岗岩体等构成的沉积盆地基底和蚀源区, 二是来自沉积盆地内的富铀沉积盖层。层间氧化带砂岩型铀矿形成的水文地质条件是极其重要的。产铀的沉积盆地应是大型自流水盆地。有丰富的水源补给区, 有岩层产状舒缓的长距离径流区, 并有明显的排泄区, 即补—径—排机制完善。

松辽盆地北安地区位于松辽盆地东北部, 跨盆地内两个Ⅲ级构造单元, 即北部倾没区和东北隆起区。北部倾没区位于松辽盆地北部的拜泉—嫩江一带, 为一相对隆起。其基底由北向南倾伏, 南部为东西坳状, 北东和东西向断裂发育。基底除局部有晚元古代一面坡群变质岩外, 均由上石炭统至三叠系花岗岩组成, 埋深500~2 000 m。盖层主要发育有泉头组、姚家组、嫩江组及第三系地层。东北隆起区位于松辽盆地北部的安达—北安一线以东, 总体呈南北向, 是北安地区在盆地中的主体部分, 基底起伏较大, 由上石炭统至三叠系花岗岩组成, 埋深一般为500 m左右。

## 1 可地浸砂岩型铀矿成矿条件分析中航放资料的应用

### 1.1 航放资料处理

**1.1.1 原始铀场的计算** 为了恢复成岩时期测区内铀质量分数的分布情况, 需要进行原始铀质量分数(原始铀场)的计算。计算原始铀质量分数的理论依据为原始铀质量分数与古钍质量分数呈正相关。利用钍元素的稳定性来研究各地层、各岩体在成岩时期铀元素的质量分数。在表生条件下, 铀很活泼, 容易从岩石或矿物中迁移出来, 而钍的化学性质相对

**[收稿日期]** 2007-01-16; **[修订日期]** 2007-04-16

**[作者简介]** 王世辉 (1963-), 男, 辽宁锦西人, 中国科学院地质与地球物理研究所高级工程师。

稳定, 通常认为成岩后钍的质量分数基本不变, 因此可以认为现在测得的钍质量分数与成岩时的钍质量分数基本一致, 同时还认为在一个很大的区域内求得的U/Th值的平均值能代表成岩时铀、钍元素质量分数的比值。据此可用下述公式(张运宜, 1998)计算原始铀质量分数值:

$$U_{\text{原始}} = Th_i (U_{\text{avg}}/Th_{\text{avg}})$$

式中:  $Th_i$  = 测点序号为*i*的实测钍质量分数;

$U_{\text{avg}}/Th_{\text{avg}}$  = 全测区铀、钍比值的平均值。

从原始铀的表达式上可知, 原始铀质量分数与钍质量分数有正相关关系, 因此在钍元素富集地区其原始铀质量分数也较高。

1.1.2 铀元素迁移趋势的分析计算 铀元素迁移趋势的计算与分析对研究测区内铀元素的迁移方向、迁移形式及铀元素富集具有重要意义。用实测的铀质量分数减去估算的原始铀质量分数, 就得到铀的迁移趋势量, 即:

$$U_{\text{迁}} = U_i - U_{\text{原始}}$$

式中:  $U_i$  为采样点现代铀质量分数;  $U_{\text{迁}}$  为正值表示迁入, 为负值表示迁出。通常我们把处在迁移状态(无论迁入、迁出)的铀元素称之为活化铀。

活化铀表现的基本特征为, 蚀源区活化铀质量分数低, 特别在原始铀质量分数高值区其活化铀表现为低值区。显示蚀源区活化铀大量迁出, 表明蚀源区富含较强的氧化能量, 将稳定的铀转变为活化铀。在隆起区物理化学剥蚀强烈, 表层岩石松散, 风化剥蚀壳沿隆起带堆积, 有利于化学溶蚀把稳定的铀浸出转化为活化铀, 在以含氧水为载体不断地向盆地内迁移, 遇到还原条件下则沉淀析出以致富集成矿。

绘制铀迁移趋势平面等值图是为了研究测区内铀元素的迁移方向、迁移形式及铀元素富集部位。同时也为确定测区内铀成矿远景区提供辅助信息。

1.1.3 U/Th、U/K的计算 航空测量的能谱计数率数据换算成放射性元素质量分数后, 一般要计算U/Th、有时也计算U/K等参量。它们主要是用于反映铀元素的相对丰度。自然界中, U/Th的值一般在0.25~0.3之间, 若比值小于0.25简称偏钍, 若比值大于0.4称之为偏铀, 当比值大于0.7以上者称为富铀或纯铀。一般来讲, 蚀源区U/Th的值小于径流区, 隆起区U/Th小于坳陷区, 这是铀元素较钍元素化学性质活泼的结果。U/K的值多用于判断侵入体的相、带部位, 可以确定碱交代(U/K为低值), 在寻找多金属矿产等工作中也有较好的应用。

## 1.2 航放资料解释

据地面测量资料, 区内侵入岩钾、铀、钍元素质量分数变化较大, 基本遵循酸性→中性→基性→超基性岩的放射性元素质量分数由高到低的变化趋势。并且遵循华力西期→印支期→燕山期放射性元素逐渐升高的规律, 这3个时期的中酸性侵入岩体为本区重要的铀源体。

依据测区内航放钾、铀、钍元素质量分数及测区各地质单元元素质量分数统计结果, 将测区内伽玛能谱场划分为4个等级并计算了测区活化铀及原始铀质量分数(表1)。

综合分析认为, 测区内航空伽玛能谱场所反映的钾、铀、钍元素的丰度、展布特征等均有一定规律: 钾、铀、钍元素偏高场、高场的分布多呈北东或北西向延伸, 明显受北东、北西向构造控制。原始铀及铀质量分数高场主要分布于基岩出露区, 说明蚀源区放射性元

素丰度值高,可为盆地拗陷提供丰富的活化铀,活化铀迁移趋势是自测区外东部、北部蚀源区向区内西至西北部迁移,总体呈北西向断续延伸的活化铀增高带。但测区内航放资料计算的活化铀质量分数不够高。区内水系有着几乎一一对应的呈串珠状断续延伸的钾、铀、钍3元素低值带,为典型的钾、铀、钍3元素相组合。U/Th、U/K所展现的高值区或偏高值区主要分布在蚀源区外侧及盆地内水动力改变部位。

表1 松辽盆地北安地区航空伽玛能谱处理结果表

Table 1 Treating result of the airborne gamma-ray spectrum, Bei'an area, Songliao Basin

名 称	低 场	中等场	偏高场	高场	活化铀	原始铀
K ( $10^{-2}$ )	<1.6	1.6~2.0	2.0~2.4	2.4~2.8		
U ( $10^{-6}$ )	<1.6	1.6~2.2	2.2~2.8	2.8~3.4	-0.8~1.3	1.0~11.5
Th ( $10^{-6}$ )	<9.0	9.0~11.0	11.0~13.	13.0~15.		
U/Th	<0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	>0.4		
U/K ( $10^{-4}$ )	<0.6	0.6~1.0	1.0~1.4	>1.4		

## 2 可地浸砂岩铀矿成矿地质条件分析

### 2.1 铀源条件

盆地内花岗岩类及酸性、中酸性火山岩类岩石铀源较丰富。松辽盆地东北部的蚀源补给区一小兴安岭褶皱隆起带中,富铀的酸性花岗岩类极发育(图1),航放资料显示为一铀高场区,地面岩体实测铀质量分数平均值达为 $7.02 \times 10^{-6}$ ,铀浸出率高达22.13%,是区内的最主要富铀岩体。区内古生界火山岩系及沉积地层出露面积虽然不大,但地面调查结果认为具有良好的含铀性,铀质量分数达 $3.64 \times 10^{-6} \sim 4.37 \times 10^{-6}$ ,另外,上侏罗统帽儿山组凝灰熔岩和下白垩统宝密河组凝灰质砂岩、砾岩的铀质量分数都明显较高,达到 $(2.6 \sim 6.9) \times 10^{-6}$ 。航空伽玛能谱测量显示,蚀源补给区铀质量分数特征是在 $(1.75 \sim 2.25) \times 10^{-6}$ 的背景上分布着 $(92.5 \sim 3.00) \times 10^{-6}$ 的铀高场,局部最高达 $4.5 \times 10^{-6}$ ,铀钍比值为0.2~0.35。总之,该区地质体铀质量分数较高,并长期处于隆起风化剥蚀状态,能为盆地沉积提供较丰富的铀。

### 2.2 构造条件

从总体上看,松辽盆地是一个西深东浅的大型箕状盆地。东北部地跨盆地内两个Ⅲ级构造单元,即北部倾没区和东北隆起区。北部倾没区位于松辽盆地北部的拜泉—嫩江一带,为一相对隆起,其基底由北向南倾伏,南部为东西垅状,整体构造形态比较舒缓。北东及东西向断裂发育,区内鼻状构造发育。东北隆起区位于松辽盆地东北部的安达—北安一线以东,总体呈南北向。区内基底起伏较大,由古生代浅变质岩及晚印支期花岗岩构成。早白垩世基底遭受断裂作用影响,形成一些北北东向小型断陷盆地,盖层构造以绥棱—青岗断裂为界,其北为北东向,南为北东东向。重力资料解释(李成立,1990)认为,松辽盆地东北部为向由北东向南西缓倾斜的斜坡带,称之为松辽盆地东北斜坡区。根据其基底起伏形态,由北向南又分为北安—拜泉拗陷、海伦隆起、绥化拗陷和庆安隆起。它们大体呈北东向或北北东向相间平行排列,其上断裂构造较发育,主要有北东向和北西向两组。

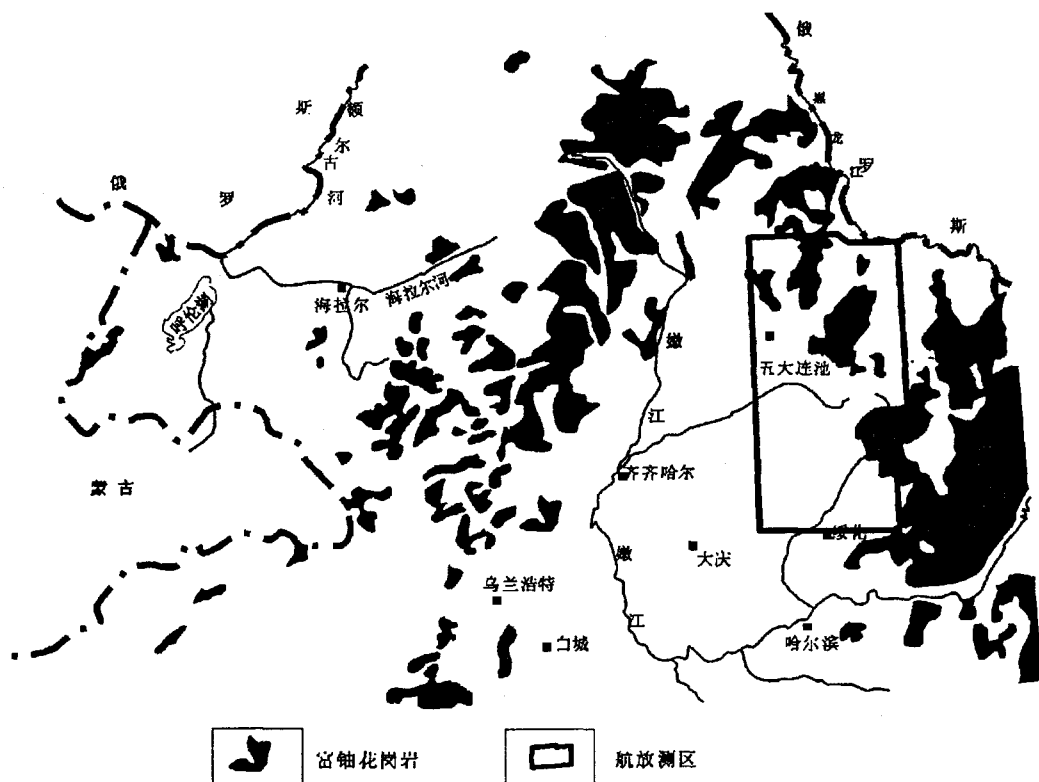


图1 白城乌兰浩特以东地区航放测区位置图

Fig. 1 The location of Bei'an airborne radiometric survey area, eastern part of Baicheng, Wulanhaote

综上所述, 松辽盆地东北部基底实际上是小兴安岭褶皱隆起带向盆地内的延展, 东北部高、西南部低, 总体上由东北向西南缓倾斜且埋深不大(一般小于500 m)的斜坡带, 是层间氧化带砂岩型铀矿成矿的有利地带。

### 2.3 沉积相条件

松辽盆地白垩系主要为一套内陆河流—湖泊相沉积, 白垩统泉头组、青山口组、姚家组和嫩江组3~5段可能是最有希望的赋矿层位。铀矿化主要与河流相、冲积扇前缘的冲泛平原相或部分三角洲相关系密切。

泉头组是盆地由断陷转变为拗陷时期在干热气候条件下沉积的, 为厚层的砂岩与泥岩互层。湖相发育于大庆—安达一带, 向小兴安岭褶皱隆起方向依次有半环状分布的滨浅湖、冲泛平原相沉积, 以河流相沉积为主。冲积扇体发育于区内北部克山一带, 东部庆安—海伦一带发育着半环状分布的冲泛平原相沉积。青山口组是盆地大型拗陷发育全盛时期和温湿气候条件下的沉积。从北往南到湖相区的体系结构依次是冲洪积扇相、冲泛平原相、三角洲相。冲洪积扇相岩性由红、灰绿色泥岩与灰白色砂砾岩、砾岩组成, 冲泛平原相以泥岩与灰白色含砾砂岩、砂岩呈不等厚互层, 三角洲相则以粉砂岩与暗色泥岩为主。在铁力—哈尔滨一带, 宽阔的斜坡上形成了以水上冲积扇—漫湖相为特征的沉积(图2)。姚家组

为大型沉积拗陷发育中期水体最浅的产物。沉积相带发育齐全,但以三角洲相为主。湖相区主要在大庆北部、青岗、以及哈尔滨的西南部。冲积扇相在依安—克山以北较发育,向南至湖相区则为一套冲泛平原相或互相叠覆的河口砂坝沉积。东部的铁力—望奎物源伸入盆地,发育了一套水上冲积扇—漫湖沉积系列,湖区广阔,使红色泥岩的覆盖面积扩大。嫩江组是大型沉积拗陷发育的更大规模沉降的产物,发育三角洲相但以河流相为主。湖相区在以大庆为中心、以三兴—明水—兰西为边界的广阔区域,物源中心有五大连池、北安和富源等地。冲积扇主要发育于嫩江、五大连池一带,冲泛平原相则广布于依安、拜泉、绥化和哈尔滨等区域。

总之,松辽盆地在晚白垩世时期沉积环境稳定,泉头组—嫩江组的冲积扇相—冲泛平原相—湖相沉积相带发育完善,各期相带在空间展布上往往形成多层冲积扇叠合区或在其前缘发育多层有利的冲泛平原相带区。其中的冲泛平原相或河、湖交互相带在三兴—拜泉—绥棱—庆安一带继承叠合发育,构成宽80~100 km不等的有利于成矿的相带分布区。

#### 2.4 水文地质条件

松辽盆地由山脉所围,呈周边高、内部为高平原及低平原组成的低洼陆相盆地。水系均由盆地周边向中心汇聚,是一个负向以渗入型为主的自流水盆地,渗入水盆地是形成层间氧化带型铀矿床的必要条件。盆地东北部呈现高平原景观,是由北东向南西缓倾斜的宽阔斜坡区。地表常年流水,多由东北向西南径流,具层间承压水,区内补—径—排机制完善,具有较好的渗入型水动力条件,分区十分清楚。

补给区位于小兴安岭褶皱隆起带西坡。小兴安岭海拔小于1 000 m,属典型的丘陵浅切割地貌景观。该区面积广阔,以现代分水岭为界,西南坡向盆地汇水的面积超过10 000 km<sup>2</sup>。区内岩石风化壳发育,基岩风化裂隙水和构造裂隙水发育,含水层靠接受大气降水补给,以泉或以侧向地下水径流形式排泄,补给盆地地表水和地下水。径流区位于北安—海伦—庆安一带的宽阔高原区,是由北东向南西缓倾斜的斜坡。该区位于盆地边缘,紧靠蚀源补给区,海拔高度200~300 m。区内青山口组的二、三段和姚家组是主要的含水层,发育碎屑岩孔隙裂隙层间承压水,是层间氧化带砂岩型铀矿赋存的有利层位。排泄区位于通肯河与呼兰河交汇处及其西南一带。北部地表水沿讷谟尔河和乌裕尔河由东向西流入嫩江再流入松花江,南部通肯河与呼兰河往西南径流,交汇后向南流入松花江。区内地下水流向与

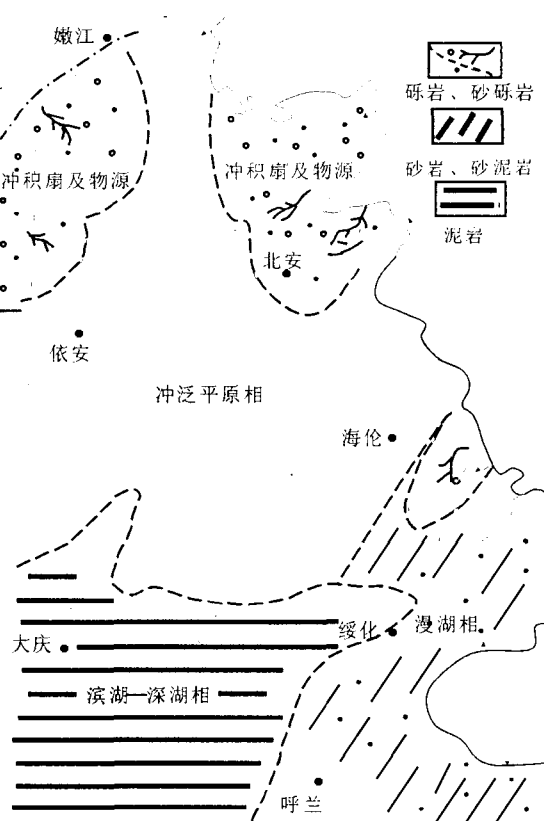


图2 北安地区青山口组沉积相

Fig. 2 The sedimentary facies of Qingshankou Formation, Bei'an area

地表水流向基本一致, 总体由东北向西南径流, 到明水一带再转向东南方向, 沿大断裂溢出或形成地表湖沼, 一部分靠蒸发排泄, 一部分排泄流入松花江。现代排泄区与上白垩统的湖相沉积区基本一致。

从姚家组—青山口组等水位线图(图3)上可以看出: 等水位线由北安一带的大于280 m, 降为绥化一带的140 m, 说明有明显的水头差存在。这种北高、南低及东高、西低的地势差异造成含氧、含铀地下水在盆地边缘进入上述透水性好的含水层中, 沿斜坡构造缓慢运移, 是岩层产状舒缓的有利于成矿的长距离径流区。

## 2.5 古气候条件

松辽盆地白垩纪总的植被景观是以针叶林和草原草丛植被为主, 反映了一种湿润、半湿润的亚热带气候环境。但先后出现过湿热升温 and 干旱—半干旱事件, 湿热升温导致常绿阔叶林的繁盛, 干旱—半干旱气候导致草原草丛的出现。泉头组沉积时期, 气候干热, 从青山口组到嫩江组沉积时期, 为温暖潮湿气候, 雨水充沛, 湖盆逐渐扩大, 湖水逐渐加深, 动植物繁茂,

形成以还原为主、有机质丰富的砂泥岩建造<sup>[2]</sup>。这种气候环境有利于蚀源区铀的淋滤、迁移和在盆地中的沉淀聚集而形成富铀层。自嫩江组以后, 气候多次变得干旱炎热, 沉积原岩多以红色色调为主, 这种后期有较长时间的干旱或半干旱的炎热古气候条件, 易于造成蚀源区铀源层的强烈剥蚀和氧化, 土壤缺失有机质使铀最大限度地转入含氧地下水中运移, 而不被有机质所吸收, 并能在渗透性好的砂岩层中发育层间氧化带和铀后生富集。

## 3 结 论

松辽盆地东北部基底出露区富铀花岗岩极为发育, 研究区活化铀增高明显, 铀源丰富; 盆地上白垩统主沉积层为统一的拗陷湖盆沉积, 规模大, 沉积厚度大, 富含有机质, 为活化铀的迁移、富集提供了有利条件; 从构造上看, 北安区块宽阔的斜坡区有利于含铀地下水迁移; 另外, 区内有利的沉积相带很发育, 分布广, 沉积分异相对好, 泥岩—砂岩—泥岩结构层发育, 规模大, 具有区域性含水、透水层和隔水层。松辽盆地具有以渗入型为主的自流水盆地特征, 补—径—排机制完善, 水动力条件好, 具有形成大、中型可地浸砂岩型铀矿床的基本条件, 铀矿勘探前景广阔。

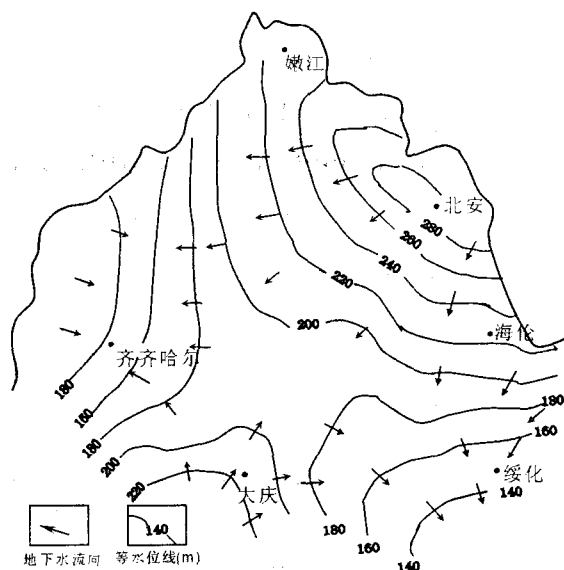


图3 滨北地区姚家组—青山口组等水位线图

Fig. 3 Water level contour map of Yaojia - Qingshankou Formation in Binbei area

## 参 考 文 献

[1] 黄世杰. 层间氧化带砂岩型铀矿的形成条件

及找矿判据 [A]. 杜乐天, 黄世杰, 陈祖伊.

- 中国铀矿地质研究成果荟萃[C]. 北京:核工业北京地质研究院, 1998, 45-51.
- [2] 李成立. 松辽盆地北部基底结构研究[A]. 徐衍彬. 大庆油田石油地质研究报告集[C]. 大庆油田勘探开发研究院, 1990, 305-330.
- [3] 张运宜等. 航测资料在准噶尔盆地东部地区砂岩型铀矿成矿条件中的应用[J]. 铀矿地质, 1998, 14(4): 234-240.

## An analysis of metallogenic geologic condition of leaching sandstone type uranium deposit in the Bei'an area, northern part of Songliao Basin

WANG Shi-hui<sup>1,2,3</sup>, ZHONG Yan-qiu<sup>3</sup>, TANG Jin-sheng<sup>3</sup>, WANG Zai-jun<sup>3</sup>

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100029, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100029, China;

3. Daqing Oil Field Co., Ltd, Institute of Exploration and Development, Daqing 163712, China)

**[Abstract]** The Bei'an area, northern part of Songliao Basin crosses northern pitching end and NE upwelling area, two III tectonic elements in the Basin. Through the analysis for metallogenic geologic condition of leaching sandstone type uranium deposit in the Bei'an area, northern part of Songliao Basin, it is considered that the study area should occur rich uranium resources and a good metallogenic geologic condition of leaching sandstone type uranium deposit. There are rich organic matter, and well developed mudstone—sandstone—mudstone structure, aquifer, permeable bed and confining bed, therefore, there forms a good hydrodynamic condition, being advantageous to the mineralization; the recharge—runoff—discharge mechanism is relative complete, characterized by the permeable artesian basin, which satisfies the essential metallogenic geologic requirements for forming leaching sandstone uranium deposit and shows a good exploration prospect.

**[Key words]** leaching sandstone type uranium deposit; metallogenic condition; activation uranium; airborne data