# 巴彦塔拉盆地底河道砂岩型铀矿床的蚀变特征

## Alteration Characteristics of Basal-Channel Type Sandstone Uranium Deposit in Bayantala Basin

祝民强[1,2] 吴仁贵[1] 余达淦[1] 陈安平[3] 申科峰[3]

（1 华东地质学院，江西 抚州 344000；2 核工业北京地质研究院，北京 100012；
3 中国核工业地质局 208 大队，内蒙古 包头 014000）

Zhu Minqiang[1,2], Wu Rengui[1], Yu Dagan[1], Chen Anping[3] and Shen Kefeng[3]

(1 East China Geological Institute, Fuzhou, 344000, Jiangxi, China; 2 Beijing Research Institute of Uranium Geology 100012；3 Geologic Party No.208, Bureau of Geology, CNNC, Baotou 014000,Inner Mongolia, China)

摘 要 巴彦塔拉盆地底河道型砂岩铀矿床产于下白垩统赛汉塔拉组下段辫状河流相砂岩中。本文通过对含矿主岩沉积特征、矿化和矿床蚀变特征的分析研究，认为早期为潜水氧化蚀变成矿；晚期为层间氧化-油气还原蚀变成矿，即来自蚀源区和天窗补给的含铀、含氧地下水遇沿断裂上升的含 $H_2S$ 的油气而还原叠加改造成矿。

关键词 巴彦塔拉盆地 底河道砂岩型铀矿床 蚀变特征

## 1 地质概况

巴彦塔拉盆地地处华北地台内蒙地轴北缘的温都尔庙—西拉木伦加里东陆缘增生褶皱带内（张良臣，周庆仁等，1994），是在燕山陆内逆掩-叠覆带（任纪舜，陈廷愚等，1990）基底之上发育起来的二连中新生代陆相伸展断陷盆地群南缘温都尔庙隆起带上的一个次级构造单元（任建业，李思田，1998；祝玉衡，张文朝，2000）。

盆地主体呈北东向展布，南北长 64 km，宽 7～15 km，呈狭长的“ L ”形，面积近 700 $km^2$。盆地的东南侧蚀源区主要出露大面积燕山早期侵入岩体和下二叠统额里图组（$P_1e$）的一套海底火山喷发建造。前者呈岩基、岩株产出，展布方向同盆地轴向一致，岩性主要为黑云母花岗岩（$r_5^2$）和石英闪长岩（$\delta o_5^2$），岩石含铀量较高（$2.7\times10^{-6}$～$6.3\times10^{-6}$），钍铀比值高（5.6～11.1），铀浸出率可达 20%～40%（陈安平，1998），易于风化带出，成为盆地铀成矿的主要铀源区；后者分布于燕山早期岩体的东南侧，并构成盆地东南侧蚀源区的分水岭。盆地的北西和西南侧主要为大面积上侏罗统三道沟组（$J_3s$）中酸性火山碎屑岩及熔岩和下二叠统三面井组（$P_1s$）一套浅海相变质砂岩建造组成。燕山晚期有花岗斑岩（$\gamma\pi^3_5$）侵入于上述地层岩石中。

盆地盖层以下白垩统巴彦花群（$K_1b$）为沉积主体，其上缺失上白垩统和老第三系，仅覆不整合盖了新第三系宝格德乌拉组（$N_2b$）和少量的第四系。巴彦花群主体是一套地形起伏大、气候温热为主的陆相断陷盆地沉积。自下而上分为阿尔善组（$K_1ba$）、腾格尔组（$K_1bt$）、赛汉塔拉组（$K_1bs$）（华北油田二公司，1985）。赛汉塔拉组是铀矿化的主要层位。

赛汉塔拉组（$K_1bs$）为一套以河流体系为主的山间河谷盆地沉积。呈侵蚀不整合覆于腾格尔组湖相——扇三角洲沉积之上；上覆宝格德乌拉组（$N_2b$）红色块状泥岩（厚度 0～165 m）。在盆地北东段赛汉塔拉组主要分布于盆地中心靠 SE 侧，向盆地中心及 NW 方向逐渐尖灭缺失，厚度 0～60m。通过大量钻孔岩芯观察、编录，该组可划分为上、下二段（表 1）。下段为辫状河体系，在横剖面上具典型深切谷特征，岩性为浅灰色、白色、黄绿色、蓝灰色中粗粒块状长石石英砂岩、含砾粗砂岩、砂砾岩为主，夹黄绿色作。泥岩、粉砂岩透镜体，偶见簿层灰黑色碳质泥岩氧化残留，常见大量被氧化的灰白色炭屑。上段向曲流河过渡，以河道砂体与洪泛沉积频繁交替出现为特征，构成了“ 二元结构 ”的沉积组合，

其中洪泛细粒沉积较发育。洪泛沉积主要由黄绿色、棕红色和暗红色块状泥岩组成，泥岩不纯，普遍含砂砾及植物

---

第一作者简介 祝民强，男，1964 出生，副教授，博士生，主要从事铀矿地质、遥感地质和 GIS 方面的研究和教学工作。

根系，暴露特征明显。河道沉积为浅灰色、白色和黄色块状层理砾岩相、交错层理中粗砂岩相。该段底部暗红色或棕红色泥岩的出现可作为赛汉塔拉组上、下段的划分标志，反映气候由下段温湿向炎热干旱转变。

表 1 赛汉塔拉组上下段的划分特征表

| 赛汉塔拉组 | 沉积体系 | 岩性相组合 | 气候 | 原生色 | 有机质 |
|---|---|---|---|---|---|
| 上段（$K_1bs^2$） | 向曲流河过渡 | 砂泥互层，泥包砂 | 炎热干旱 | 杂色、红色 | 缺少 |
| 下段（$K_1bs^1$） | 辫状河体系 | 砂体叠置，砂包泥 | 温暖潮湿 | 灰色 | 丰富 |

## 2 矿化主岩特征

巴彦塔拉盆地目前探明的铀矿化主要赋存于赛汉塔拉组下段具深切谷特征的辫状河道砂体中。深切谷沿河道坡降为 10～20 m/km，NW 侧坡降为 20 m/km、SE 侧 55 m/km，这为侧面氧化和顺河床地下水的流动创造了条件。下段辫状河体系沉积发育厚层的泛连通砂体有利于底河道型铀矿化的发育。矿化地段砂体厚有 7～30 m，一般 20～25 m 左右，常见 3～5 个呈正韵律砂体的垂向叠置，分布连续，分选性较好，结构松散，透水性好。砂体主要由厚层的含砾粗砂岩和中粗砂岩及部分薄层细砂岩组成。由于该砂体中富含被氧化的灰白色炭屑及灰黑色碳质泥岩残留，推测其原生岩性为灰色—灰黑色岩系并富含有机质，可为成矿提供还原物质。砂岩的成分以长石和石英为主，粘土矿物主要为蒙皂石和高岭石，少量伊利石。砂岩分选较好，松散，透水性好。矿化主岩主要是蓝灰色粗粒—中粒长石石英砂岩，少量为灰黑色细砂岩、粉砂岩和炭化泥岩。由于广泛存在长石水解及以蒙皂石为主的粘土化作用，局部导致砂体发蓝和在结构上的“散架”现象。

下段辫状河沉积下伏为腾格尔组上段富含有机质的湖相泥岩，它可构成良好的底板隔水层。向上过渡为赛汉塔拉组上段杂色、红色曲流河沉积，气候转为干旱炎热，为后来的潜水氧化作用创条件。

## 3 矿化特征

矿体产于赛汉塔拉组下段辫状河道中心，走向明显受下切型辫状河道控制。目前已在 320、336、352、384 号勘探线控制了宽 200～350 m、长大于 1.6 km、埋深 115～127 m 的矿体 1 个。矿体呈似板状、透镜状。伽玛测井连续矿化厚度 2.4～14 m。分析品位 0.01%～0.074%，最高品位 0.109%。铀镭平衡表现为 ZK320-95、ZK320-87 孔矿化砂岩总体偏镭，$K$p（Ra/U）平均分别为 1.50 和 1.45；而 ZK320-91、ZK336-79、 ZK384-55 孔矿化砂岩总体偏铀（$K$p 平均分别为 0.92、0.95 和 0.87）。说明矿体中心偏铀，两侧偏镭，氧化可能从辫状河道的两侧向中心进行。

## 4 矿床蚀变特征

### 4.1 古潜水氧化蚀变

古潜水氧化作用发生在晚白垩世开始至早第三纪末长达近 70 Ma 的时间段，即上覆宝格德乌拉组（$N_2b$）红色块状泥岩覆盖之前。从赛汉塔拉组上段沉积开始，本区气候已转入干旱炎热气候，长期的隆升剥蚀，不但使赛汉塔拉组遭受剥蚀，而且使潜水氧化面逐渐下移，产生铀的累积富集。赛汉塔拉组下段辫状河道沉积基本遭受过古潜水氧化作用。古潜水氧化面通常位于赛汉塔拉组辫状河下切谷的底面附近。潜水氧化面以上的砂岩、粉砂岩通常为黄色、黄绿色和白色，主要是褐铁矿化，砂岩中常见黄铁矿假晶点状氧化。胶结物水化作用强烈，成岩性差、透水性好。泥岩大多为黄绿色、绿色。这种黄绿色、绿色蚀变是由原生红色、褐色经潜育化作用改造而来，它很可能是铁的氧化物、氢氧化物未经溶解与带出，而就地转化未含铁绿泥石的结果（丁万烈，申科峰，2001）。底部潜水氧化面之上常见 1～2 m 厚的亮黄色氧化层，它主要是由于褐铁矿中含较多的水针铁矿所致。古潜水氧化面附近的岩石铀含量普遍增高，有的达工业品位；矿体也呈板状、透镜状，产于潜水氧化面附近；镭平衡表现为矿体的上部和两侧偏镭，中心偏铀。因此，早期潜水氧化为铀成矿产生了初步富集。

### 4.2 二次还原蚀变

二次还原作用产生在上新统宝格德乌拉组（$N_2b$）红色泥岩沉积覆盖后，与潜育化作用和沿断裂上升的含 $H_2S$、$CO_2$ 的油气作用有关。潜育化作用使潜水氧化面以上的砂岩和泥岩产生黄绿色和白色蚀变，其分布和影响的范围较广，包括赛汉塔拉组上下段和部分 $N_2b$ 泥岩。它使原来红色泥岩、黄色、灰白色的泥岩大部分转变为绿色、黄绿色、灰绿色调。黄色砂岩退色为白色（又称退色蚀变），其中全铁含量明显减少。油气还原作用范围较局限，表现为矿化段及外围分布有一套蓝灰色（绿灰色）块状中粗砂岩、砂砾岩，其中长石蒙皂石化、高岭土化强烈，常见微小的星点状、胶状黄铁矿、

白铁矿。据电子探针分析，蓝色粘土矿物中 FeO 的含量高达 5.8%-6.2%。蓝灰色砂体中硫的含量为 0.01%～0.12%，矿化段硫的含量为 0.06%～0.69%，最高达 7.73%，显示有外来硫的加入。硫和蓝色蚀变一起可能与沿 $F_{21}$ 断裂上升的含 $H_2S$ 的油气二次还原有关。同时，$F_{21}$ 断裂切与宝格德乌拉组（$N_2b$）红色泥岩处产生了大量的钙化角砾泥岩团块。

**4.3**　晚期层间氧化—油气还原作用的形成条件

地下水的补给、运移和排泄对层间型铀矿化形成起着重要的作用。在盆地 SE 缘，由于差异抬升、鼻状隆起，赛汉塔拉组砂砾岩以“ 天窗 ”形式出露地表，成为含氧、含铀地表水下渗补给的源区，断裂 $F_{20}$ 可以构成良好的排泄通道，从而构成良好的地下水的补—泾—排条件。通过 TM 光谱和热辐射信息的提取(祝民强，余达淦等，2002)，在呼和地段发现一条近东西向展布的地下水富集带，它西起加不斯一带，东至巴格达布斯，它的流向与 NW 和近 SN 向的地表间歇性泾流方向明显不一致。加不斯一带为裂隙发育的燕山晚期花岗岩，富含地下水，其西侧不远为巴彦花群“ 天窗 ”出露区，两者均为该带地下水的补给区；巴格达布斯一带为地下水排泄区，排泄的地下水又汇成丰富的地表泾流；两者之间为地下水泾流区。据地表放射性水化测量，该地区赛汉塔拉组地下水中的铀含量一般为 $n\times10^{-5}$ g/l，靠近东南蚀源区为 $1.44\times10^{-5}$～$7.8\times10^{-5}$ g/l,靠近矿体东南 1.5 km 处的 ZK320-233 孔高达 $11.7\times10^{-5}$g/l,而在矿体北西侧地下水排泄区仅为 $0.78\times10^{-5}$g/l，充分显示了铀元素随地下水迁移、富集、沉淀的全过程。地下水途中流经 $F_{21}$ 断裂，含铀含氧的地下水因遭遇沿断裂上升的还原气液而被还原。因此，叠加改造的铀矿化也正好发育在地下水流经与 $F_{21}$ 断裂交汇部位。

**4.4**　后生蚀变的地球化学特征

（1）$Fe_2O_3$、 FeO 含量的变化: $Fe_2O_3$ 及全铁含量在红色泥岩、黄色粉细砂岩、黄绿色泥岩、砂岩和原生灰黑色岩石中明显增高；而白色砂岩及蓝灰色砂岩中则明显降低，它与晚期的层间氧化水和二次还原的联合作用有关，有明显的去铁作用存在。红色泥岩、黄色粉细砂岩、黄绿色泥岩和砂岩中的 $Fe_2O_3$/ FeO 的值明显高于其它岩石。表明潜水氧化面以上的早期岩石经受过强烈的潜水氧化作用。

（2）微量元素的变化特征:呼和地段岩石微量元素在矿化的蓝色砂岩、灰黑色细砂岩中常与砂岩型铀矿伴生的 Re、Se、Mo、Sc、V 明显富集，与 U 含量成正相关；黄色细砂岩、灰黑色砂岩中 Th、V 明显高于其它带。

（3）还原剂变化特征:原生灰色岩系中有机炭（TOC）含量较高，为 0.09%～1.85%，平均在 0.5%左右。矿化的灰黑色泥页岩、粉细砂岩有机炭含量为(0.34%～12.86%)。这表明成矿岩系的原岩含有较高的有机炭。矿化段蓝灰色砂岩中的有机炭含量与氧化带岩石基本一致,有机炭含量为 0.04%～0.48%，平均在 0.3%左右，这表明蓝灰色砂岩曾遭受过氧化作用，蓝灰色是二次还原的结果。

氧化带的黄色、白色、黄绿色砂岩全硫含量为 0.001%～0.083%，平均含量为 0.023%；二次还原带的蓝色砂岩为 0.049%～0.69%，平均含量为 0.391%；矿化段硫的含量为 0.06%～0.69%，最高达 7.73%，平均含量为 1.635%，矿化带常见星点状黄铁矿、白铁矿。上述显示二次还原带及矿化段有外来硫的加入。外来硫和蓝色蚀变一起可能与沿断裂上升的含 $H_2S$ 的油气二次还原有关。

（4）△Eh、介质酸碱度：△Eh 是通过样品中还原物质消耗强氧化试剂(高锰酸钾)而引起试剂氧化还原电位降低的差值。从黄色细砂岩、白色粗砂岩→蓝灰色砂岩→灰黑色砂岩，△Eh 逐渐增大，平均由 5→14→41(表 2)，反映介质还原能力逐渐增强。它与 S、TOC 含量呈正相关。介质酸碱度是通过样品浸泡测定的。氧化带和二次还原带的 pH 值为 7.2～8.0；原生还原带为 2.7～3.6(表 2)。前者接近中性稍偏碱性，后者酸度明显增大。表明氧化还原界面是酸碱中和界面。

（5）粘土化与铀矿化的关系：赛汉塔拉组的岩石均发生过较强的粘土化作用，主要是由长石的水解产生。岩石中的粘土矿物通过 X-射线衍射分析，主要由蒙皂石、高岭石、伊利石组成，含量占粘土矿物总量分别为 66%～84%、8%～31%、3%～13%，蒙皂石平均含量占 70%以上。其中，在二次还原叠加蚀变带（黄绿色砂砾岩、蓝色砂砾岩），蒙皂石、伊利石含量相对较高；在白色砂岩、灰黑色砂岩中伊利石含量最低（3%～4%）。从不同蚀变岩石对比来看，蒙皂石与高岭石含量呈明显的负相关性。这可能与后生蚀变过程中二者的相互转化有关。粘土矿物的组合与转变主要取决于温度及空隙水的水化学性质。在干旱气候条件下氧化带中的渗滤水通常呈碱性或弱碱性。当碱性介质转变为酸性介质时（由氧化带→还原带， PH 值往往减少，出现酸化现象），蒙脱石就向高岭石转化。赛汉组砂岩中长石几乎都粘土化，石英表面具溶蚀空洞和凹坑，胶结松散，以蒙皂石为主的蚀变粘土矿物呈蜂窝状结构。因此使赛汉组砂岩孔隙度大大增高，岩石具明显的“ 散架 ”特性。

表 2 蚀变岩石环境指标分析结果表

| 分带 | | 矿化 | 样 号 | 蚀变岩石 | $Fe^{+3}/Fe^{+2}$ | S | $CO_2$ | △Eh | TOC | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 古潜水氧化带 | 氧化 | 无矿带 | BQ-03 | 黄色细砂岩 | 10.79 | 20 | 0.36 | 5 | 0.068 | |
| | | | BQ-04 | 黄色粉砂岩 | 26.64 | 60 | 0.22 | 5 | 0.023 | |
| | 二次还原带 | | BQ-05 | 白色粗砂岩 | 2.58 | 10 | 0.19 | 5 | 0.082 | |
| | | | BQ-11 | 黄绿色砾岩 | | 830 | | | 0.010 | 7.4 |
| | | | BQ-12 | 蓝色粗砂岩 | 0.64 | 490 | | | 0.120 | 8.0 |
| | | | BQ-06 | 蓝色粗砂岩 | 6.31 | 4030 | 0.35 | 19 | 0.080 | |
| | | 矿化带 | BQ-01 | 蓝色粗砂岩 | 4.77 | 2500 | 0.23 | 13 | 0.054 | |
| | | | BQ-02 | 蓝色砾砂岩 | 3.81 | 590 | 0.23 | 11 | 0.041 | |
| | | | BQ-15 | 蓝色细砂岩 | 2.87 | 6900 | | | 0.480 | 7.2 |
| | | | BQ-14 | 蓝色中砂岩 | | 4900 | | | 0.300 | 7.9 |
| | | | BQ-13 | 蓝色砾砂岩 | | 7400 | | | 0.100 | 7.9 |
| | | | BQ-09 | 蓝色粗砂岩 | 1.35 | 4500 | | | 0.110 | 8.0 |
| | | | BQ-10 | 灰黑色粉砂岩 | 13.56 | 77300 | | | 2.470 | 2.7 |
| 原生还原带 | | 无矿 | BQ-07 | 灰黑色中砂岩 | 2.43 | 10360 | 0.16 | 38 | 0.185 | 3.6 |
| | | | BQ-08 | 黑色碳质泥岩 | 1.51 | 2610 | 0.34 | 44 | 0.291 | |

分析单位： 核工业地质分析测试研究中心（单位：S、$CO_2$ 为 μg/g、△Eh 为 mV、TOC 为%、U 为 g/g）

砂岩型铀矿的铀常呈吸附状态赋存于具高吸附性的岩石和矿物中，这是铀地球化学的一个重要特点。表生带中的铀酰离子常带正电荷，水解能力弱，因而很容易被带负电荷的胶体粒子如高吸附性的粘土矿物、腐殖质、二氧化硅凝胶及铁、锰、钛的氢氧化物所吸附。据拉兹科娃（1959）的实验结果，吸附剂的比表面积愈大，吸附铀的能力愈强，蒙脱石的比表面积为 296 $m^2/g$，高岭石为 19 $m^2/g$，它们对 $UO_2^{2+}$的吸附量分别为 0.31%和 0.08%。因此蒙皂石的 U 吸附能力远大于高岭石，是促使铀沉淀的又一有利因素。

## 5 结论

巴彦塔拉盆地砂岩铀矿床产于下白垩统赛汉塔拉组河流相砂岩中，属底河道型砂岩型铀矿床。其蚀变作用较为复杂，早期为潜水氧化和侧向氧化蚀变成矿；晚期为层间氧化-油气还原蚀变成矿，即来自天窗补给的含铀、含氧地下水遇沿断裂上升的含 $H_2S$ 的油气还原叠加改造成矿。

本文是核工业地质局资助的生产中科研项目成果的一部分。野外科研工作和基础资料得到核工业地质局 208 大队的大力支持和协助，在此表示衷心地感谢。

## 参 考 文 献

陈安平．1998．内蒙古巴彦塔拉盆地地质特征与铀矿找矿方向[J]. 西北铀矿地质， 24（1）：5～8．
丁万烈，申科峰．2001．水成铀矿沉积岩的后生蚀变[J]．铀矿地质， 17（2）：83～89．
哈什曼，E.N.，亚当斯，S.S.．1988．陆相砂岩卷型铀矿床地质学和识别判据（秦楚笛译）[M]．北京：原子能出版社．
任纪舜，陈廷愚，等．1990．中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]．北京：地质出版社．
任建业，李思田，等．1998．二连断陷盆地群伸展构造系统及其发育的深部背景[J]．地球科学， 23（6）：567～571．
王寿庆著．1993．扇三角洲模式[M]．北京：石油工业出版社．
张良臣，周庆仁，等．1994．天山—兴安地区地质特征[A]．程裕淇主编．中国区域地质概论[C]．北京：地质出版社．
赵澄林等编著．1996．二连盆地储层沉积学[M]．北京：石油工业出版社．
祝民强，余达淦等. 2002．内蒙古巴彦塔拉盆地构造与铀矿化的遥感地质研究[J]. 国土资源遥感， 51(1)：9～14．
祝玉衡，张文朝等著. 2000．二连盆地下白垩统沉积相及含油性[M]．北京：科学出版社．
Gallowary, W.E., Hobday, D.K.1983．Terrigenous clastic depositional system. Springer-Verlag, New York,
Miall,A.D.1984．Principles of Sedimentary Basin Analysis. Springer-Verlag, New York．