伊犁盆地地质演化与铀成矿规律*

Geologic Evolution and Uranium Metallogenic Regularity in Yili Basin

陈肇博[1] 李胜祥[2] 蔡煜琦[2] 陈戴生[2]

（1 中国核工业集团公司，北京 100822；2 核工业北京地质研究院，北京 100029）

Chen Zhaobo, Li Shengxiang, Cai Yuqi and Chen Daisheng

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

摘 要 该文研究了伊犁盆地构造、沉积作用、 古地理演化特征及其与铀成矿规律的关系。盆地构造演化经历了强拉张、弱伸展、隆升剥蚀、弱挤压、差异升降 5 个阶段。盆地含矿建造——中下侏罗统水西沟群形成于弱伸展构造阶段，其地层层序可分低水位体系域、水进体系域和高水位体系域沉积；其沉积体系为冲积扇-辫状河沉积体系、三角洲沉积体系和湖泊沼泽沉积体系。容矿岩系沉积于半潮湿—潮湿性古气候，有利沉积相为三角洲相及辫状河流相。铀矿化形成于干旱—半干旱性古气候。从弱伸展到弱挤压的构造演化，冲积扇直接入湖或辫状河入湖的沉积体系格局，和从半潮湿—潮湿性古气候到干旱—半干旱性古气候的转变以及蚀源区岩石富铀是本区铀矿化形成的关键。

关键词 地质演化 铀成矿规律 伊犁盆地

1 盆地区域地质及构造演化特征

伊犁盆地为发育在前寒武纪古老地块之上的中新生代山间盆地。盆地在中国境内面积约 16600 km^2。两组近 EW 向和 NW 向的断裂控制了盆地的生成和发展，致使盆地呈西宽东窄的楔形展布，盖层沉积后的构造变动东强西弱。盆地基底由中新元古界及古生界褶皱岩系及海西期花岗岩组成。盆地蚀源区岩石中铀含量较高，一般为 3×10^{-6}～10×10^{-6}，特别是石炭系酸性火山岩铀含量更高，其现代铀含量平均为 7.7×10^{-6}，古铀含量高达 21×10^{-6}。

盆地盖层为中新生界陆相含煤碎屑岩建造及红色碎屑岩建造。容矿岩系为中下侏罗统水西沟群（$J_{1\text{-}2}sh$）含煤碎屑岩沉积。新疆区调队将水西沟群进一步划分为八道湾组（J_1b）、三工河组（J_1s）和西山窑组（J_2x）；核工业新疆 216 地质大队按沉积韵律将其分为 8 个旋回，其中Ⅰ～Ⅳ旋回相当于八道湾组，Ⅴ旋回相当于三工河组，Ⅶ、Ⅷ旋回相当于西山窑组。铀矿化主要产于Ⅰ～Ⅱ旋回、Ⅴ旋回及Ⅶ旋回的砂体及煤层中。

盆地构造演化经历了强拉张、弱伸展、隆升剥蚀、弱挤压、差异升降 5 个阶段。

强拉张阶段期发育在晚二叠世至早三叠世，主要堆积了巨厚的近源山麓类磨拉石沉积，沉积厚度大于 1800 m，沉积物颗粒粗，以块状砾岩和砂岩等粗碎屑沉积物为主。

中三叠世至中侏罗世为盆地弱伸展构造发育期，该阶段发育历史较长(约 53 Ma)，但沉积厚度不大，为 600～1100 m，下部以砾岩及砂砾岩为主，上部主要为砂岩、泥岩及煤层，总体表现出下粗上细的沉积韵律旋回特点，反映该阶段从早到晚，构造伸展活动逐渐减弱。

晚侏罗世至早白垩世为盆地隆升剥蚀阶段，盆地内基本上缺失 J_3-K_1 沉积。

* 本文得到国家 305 项目（No. 2001BA609A-07-14）和中国核工业地质局铀矿地质项目（No. 地 D0204）的联合资助
第一作者简介 陈肇博，男，1937 年生，教授，博士生导师，主要从事铀矿床学和铀矿区域成矿学研究工作。

晚白垩世至老第三纪为盆地弱挤压构造作用阶段，该阶段盆地沉积厚度薄，地层厚度为数十米至 200 余米，并且在盆缘附近常常缺失。

新第三纪至第四纪为盆地差异升降构造运动阶段，这时期盆地以垂直升降运动为主，表现出一是新第三纪沉积呈断块状分布，沉积厚度为 500 m 左右；二是第四纪阶地发育。

2 容矿岩系地层层序、沉积体系和沉积相特征

2.1 容矿岩系地层层序和沉积体系特征

伊犁盆地中下侏罗统水西沟群总体上可划分出冲积扇-辫状河沉积体系、三角洲沉积体系和湖泊沼泽沉积体系。

由于冲积扇的快速推进及湖区范围较大，$J_{1\text{-}2}$ 缺失曲流河沉积，表现为冲积扇直接入湖或冲积扇扇缘的辫状河水系入湖的特点，其三角洲也多呈扇三角洲或辫状河三角洲特点。本研究将其统称为滨湖三角洲。

容矿岩系下部八道湾组(Ⅰ～Ⅳ旋回)主要为冲积扇-辫状河沉积体系，中部三工河组(Ⅴ旋回)主要为三角洲沉积体系，上部西山窑组的下部(Ⅵ旋回)主要为湖沼沉积体系，西山窑组的上部(Ⅶ，Ⅷ旋回)主要为三角洲沉积体系，砂岩型铀矿化主要产于三角洲沉积体系和冲积扇辫状河沉积体系。

层序地层研究表明该区容矿岩系的八道湾组下部(Ⅰ～Ⅱ旋回)为低水位体系域，上部(Ⅲ，Ⅳ旋回)为水进体系域，初始洪泛面在Ⅱ旋回与Ⅲ旋回的界线附近。三工河和西山窑组为高水位体系域，最大洪泛面在Ⅴ旋回的下部,表现为区域上稳定的泥岩层。

2.2 容矿岩系沉积相特征

伊犁盆地容矿岩系可划分出冲积扇相、辫状河相、滨湖三角洲相、浅湖沼泽相 4 种沉积相。

（1）冲积扇相。发育在盆地南缘、北缘山口，往往呈冲积扇裙分布，其主要岩性为砾岩，偶夹薄层砂岩透镜体。I 旋回砾岩就是一套快速堆积的冲积扇扇根、扇中相沉积。该相砾岩大小混杂堆积、砾石分选性差、成熟度低、成分复杂，并具平行层理、块状层理及大型槽状交错层理。该相沉积砂岩/泥岩比值大于 4。

（2）辫状河相。辫状河相是发育在冲积扇前缘的辫状水系。其沉积物具有以下一些持征：① 岩性以中粗粒砂岩为主，夹泥岩，砾岩含量少；② 见有河流相常见的槽状及板状交错层理（下部旋回）及波状层理、小型交错层理、水平层理（上部旋回），二元结构明显；③ 该相沉积砂岩/泥岩比值为 1～4。

（3）滨湖三角洲相。本区滨湖三角洲相沉积的特征是：① 下细上粗的反韵律与下粗上细的正韵律交互出现；② 代表相对静水的沉积构造（如波状层理、小型交错层理）与代表近源的沉积结构（砂岩颗粒成熟度低，分选性差）共存，它反映了冲积扇或辫状河快速入湖的沉积环境；③ 沉积物多呈灰、深灰及黑灰色，说明本区滨湖三角洲系发育于潮湿气候环境下的水下扇三角洲沉积；④ 该相沉积砂岩/泥岩比值为 0.5～2。

（4）湖沼相。主要发育在盆地中部，系盆地南北两大冲积扇裙之间的湖泊沼泽洼地沉积。在洪水期沉积一套浅灰色泥岩，砂质泥岩和粉砂岩互层，含介形虫化石。洪水过后，湖水逐渐干涸，发育沼泽相沉积，形成炭质泥岩层（后转变成煤层或煤线）。该沉积相的另一明显特征是水平层理、微波状层理发育。该相沉积砂岩/泥岩比值小于 0.5。

平面上，自盆缘向盆内，冲积扇相、扇前辫状河相、滨湖三角洲相和浅湖沼泽相依次展布，反映出冲积扇及辫状河入湖的沉积体系特征。伊犁盆地南缘就发育 3 个这样的冲积扇-辫状河-湖沼体系。与这种冲积扇体系有关的辨状河及滨湖三角洲沉积体系砂体规模较大，平面上延伸稳定，并且其顶底板（湖相）泥岩稳定，能形成稳定的泥－砂－泥地层结构，对层间氧化带砂岩型铀矿的发育十分有利。

剖面上，盆地南缘水西沟群Ⅰ～Ⅳ旋回沉积总体上反映了湖进扇退过程，而Ⅴ旋回和Ⅶ旋回沉积则反映了扇进湖退的沉积特点。

3　含矿层及其形成后盆地古气候演化特征

本区含矿层(水西沟群)岩性颜色以灰色、深灰色为主，并含数层煤层，其孢粉组合以裸子植物花粉为主，占 65%，蕨类植物孢子占 35%。其中代表热气候特征的植物占 31.9%，代表寒冷气候特征的孢粉占 41.8%，代表温带气候特征的占 26.3%，这些特征反映了本区含矿层形成的古气候总体上为偏冷的潮湿性气候。

含矿层形成后发育了 K_2－Q 地层，其中 K_2－N 地层岩性颜色均为红色、棕红色或褐黄色,钙质结核或钙质泥岩较发育；整个 K_2－N 地层不发育代表潮湿－半潮湿环境的煤层或煤线，第四纪以半干旱古气候为主，反映本区含矿层在其后生改造期经历的是干旱－半干旱的古气候。

4　盆地铀矿化特征及成矿规律

4.1　盆地铀矿化类型

依据含矿主岩岩性，盆地铀矿化可分为 3 种类型，即砂岩型、泥岩型和煤岩型。

空间上，煤岩型铀矿化主要分布在盆地南缘东部，如 509 矿床，砂岩型铀矿化主要分布在盆地南缘西部，如 512 矿床、513 矿床，盆地南缘中部砂岩型铀矿和煤岩型铀矿均有产出。

成因上，本区砂岩型铀矿主要属层间氧化带成因，煤岩型铀矿主要属潜水氧化带成因。泥岩型铀矿化成因复杂，有沉积-成岩成因，也有层间氧化带成因及潜水氧化带成因。

4.2　铀矿化特征及成矿规律

（1）容矿岩系的层控性。盆地铀矿化表现出一定的层控性。所有铀矿化都产于中下侏罗统水西沟群含煤碎屑岩之中，而其它层位则基本没有铀矿化。水西沟群中以Ⅴ旋回砂体中铀矿化最好，其次是Ⅰ-Ⅱ旋回的砂体和Ⅶ旋回砂体及煤层。Ⅲ旋回地层也有铀矿化产出。

（2）岩相古地理控制矿床定位。盆地层间氧化带砂岩型铀矿床主要产于 $J_{1\text{-}2}sh$ 滨湖三角洲相，其次是辫状河相。湖沼相沉积砂体基本上不含砂岩型铀矿化。煤岩型铀矿床主要产于湖沼相煤岩中，并与上覆辫状河或冲积扇河道的直接切割（造成砂岩直接覆盖在煤岩之上的煤岩－砂岩－泥岩地层结构）有关。古地理研究表明，矿床正处于盆地内古隆起边缘相对凹陷的斜坡地带。

（3）地层结构控制矿化及类型。从地层结构来看，控制层间氧化带砂岩型铀矿的是泥岩－砂岩－泥岩地层结构，控制煤岩型铀矿的是煤岩－砂岩－泥岩地层结构（即砂岩直接覆盖在煤岩之上），而泥岩－煤岩－泥岩地层结构不含铀矿化。

（4）主岩特征控制矿化的形成。砂岩型铀矿含矿砂体总体上表现出厚度大（10～40 m）、延伸稳定的特点，岩性为岩屑砂岩及岩屑石英砂岩，分选中等至较差，成熟度低。3 个矿化层（Ⅰ-Ⅱ旋回、Ⅴ旋回、Ⅶ旋回）砂岩岩性比较疏松，有效孔隙度较高，分别为 30.936%、27.307%和 26.570%，而不含矿的Ⅵ旋回砂岩的有效孔隙度只有 19.091%。含矿砂岩含有较多的有机质碎屑、硫化物（黄铁矿为主）等还原剂（有机质含量为 0.87%、$S_{全}$为 0.2%），Fe_2O_3/ FeO 比值为 0.37。这些特征表明含矿砂岩透水性较好，形成于还原环境，并具有较强的还原能力。而厚度小、延伸稳定性差、透水性差、有机质、硫化物等还原剂含量低的砂岩没有铀矿化产出。

含铀煤岩岩石裂隙比较发育，并富含分散状黄铁矿，有利于后生铀矿化。裂隙不发育的煤层铀矿化差或没有铀矿化。

（5）后生氧化作用控矿。伊犁盆地铀矿化主要受后生氧化作用控制。煤岩型铀矿主要受潜水氧化作用控制，砂岩型铀矿主要受层间氧化带控制。区内经济价值较高的主要是层间氧化带砂岩型铀矿。层间氧化带可进一步区分出强氧化带、弱氧化带、氧化还原过渡带。从强氧化带－弱氧化带－氧化还原过渡带至原生带，岩石颜色为褐红、褐黄色－浅黄、浅褐色－灰白色－灰、深灰色；Fe_2O_3/ FeO 比值由高到低；有机

碳及硫化物含量由低到高；氧化还原电位差（ΔE_h 值）由低到高；U^{6+}/U^{4+}比值由高到低；铀镭平衡系数依次降低。

（6）局部排泄区控制层间氧化带砂岩型铀矿化（体）的空间定位。盆地属有利成矿的渗入型自流盆地，具有补给－迳流－排泄的水动力机制。盆地南缘 512 矿床北部有一条近东西向的隐伏断裂构造，该隐伏断裂构造为地下水局部排泄区，509，510，511，512 及 513 矿床均分布在该局部排泄区附近。因此，该隐伏断裂构造是地下水层间水局部循环系统发育的必备通道，也是层间氧化带砂岩型铀矿成矿的基础。

（7）古气候控矿。伊犁盆地含矿主岩形成于半潮湿－潮湿的古气候，因而含矿层富含有机质等还原剂，有利于成矿。盆地含矿层形成后期主要为干旱、半干旱及荒漠性古气候，植被不发育，腐植质层薄，有利于大气中氧和铀的渗入，促使潜水氧化带及层间氧化带向深部发育和铀矿化的形成。

（8）构造演化控制含矿建造及成矿作用。上述盆地构造演化阶段中，弱伸展构造阶段形成有利的含矿建造(水西沟群)，该建造泥-砂-泥地层结构发育，其中砂体厚度适中，延伸稳定，对成矿有利。隆升剥蚀和弱挤压构造阶段对潜水及层间氧化作用发育和铀矿化(特别是层间氧化带砂岩型铀矿化)的成矿非常有利。正是这种隆升剥蚀和弱挤压构造作用，使含矿层出露地表，接受潜水及层间含氧含铀水的改造；弱挤压构造还使含矿层发生掀斜，造就有利地下水循环的水动力条件，为层间氧化带的发育及砂岩型铀矿化的形成创造了必要条件。通过 U-Pb 同位素分析和计算，砂岩贫矿石年龄为 19 Ma，富矿石年龄为 1 Ma，煤岩矿石年龄为 5.7～7.0 Ma。上述几组年龄集中在新第三纪—第四纪，与伊犁盆地南缘在新第三纪—第四纪早期盆地处于弱挤压构造作用及差异升降构造阶段相一致。

所以盆地铀矿化与 $K\text{-}E/J_{1\text{-}2}$ 不整合面有密切关系，并多分布在不整合面之下几十米至 300 m 之内。

由于盆地成矿必备的水动力条件最终受控于弱挤压的构造机制，层间氧化带的发育取决于干旱、半干旱的古气候条件，泥岩－砂岩－泥岩地层结构的稳定取决于岩相古地理条件，因此，上述铀矿化特征及成矿规律可归纳为：从弱伸展（形成有利的含矿建造）到弱挤压（形成成矿必备的水动力机制）的构造演化，冲积扇直接入湖或辫状河入湖的沉积体系格局（形成有利成矿的延伸稳定的泥岩－砂岩－泥岩地层结构或煤－砂岩－泥岩地层结构），和从半潮湿－潮湿性古气候（形成有利的含矿砂体）到干旱、半干旱的古气候（有利于含氧含铀水的渗入和后生潜水及层间氧化带的发育）以及蚀源区岩石富铀是本区铀矿化形成的关键。

参 考 文 献

冯建辉，姜在兴，等. 2000. 伊犁盆地层序地层及沉积学研究. 北京：石油大学出版社. 9.

李胜祥，陈肇博，陈祖伊，等. 2000. 层序地层学在陆相沉积盆地内砂岩型铀矿找矿中的应用. 铀矿地质，17（4）：7.

Dahlkamp F J. 1993. Uranium Ore Deposit. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.