

中国北方 6 种新的砂岩型铀矿 对铀资源潜力的提示

张金带¹ 徐高中² 林锦荣³ 彭云彪⁴ 王 果⁵

(1.中国核工业地质局,北京 100013;2.核工业 203 研究所,陕西 咸阳 712000;3.核工业北京地质研究院,北京 100029;4.核工业 208 大队,内蒙古 包头 014010;5.核工业 216 大队,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:经过近 10 多年的努力,在中国北方中新生代沉积盆地发现和探明了 6 种新的大型、特大型砂岩型铀矿,暂时定名为伊犁式、吐哈式、东胜式、乌兰察布式、马尼特式、通辽式砂岩型铀矿。各种式样的铀矿产于不同构造背景的沉积盆地,矿床地质、矿体地质和控矿因素也有明显的差异性特征。成矿演化基本特点是:伊犁式、吐哈式都是典型的层间氧化-还原作用成矿,但前者在单斜整体抬升和差异升降构造活动背景下的不断叠加富集为重要特征,后者则在斜坡带隆升加断层及小型背斜构造活动的背景下在断裂南北两侧分带成矿;东胜式主要受古层间氧化带控制并接受后期还原改造再富集;乌兰察布式最新研究认为是重要的沉积成岩型铀矿,与湖泛事件演变密切相关;马尼特式是潜水氧化-还原作用与层间氧化-还原作用交替转化形成的古河谷型铀矿床;通辽式是“构造剥蚀天窗+断裂活动+深部还原物质”控矿,也可能还与基性岩脉(热源)有关。上述 6 种式样铀矿的另一规律是从西部向东部,西部(前三种)均产于中下侏罗统含煤碎屑岩系,东部(后三种)均产于上白垩统泥质砂岩和细砂岩。笔者指出,6 种新的砂岩型铀矿的意义不仅仅在于发现和探明的本身增强了中国铀资源保障能力,更重要的意义还在于对中国铀资源潜力及今后找矿方针、勘查部署等多方面的重要提示。

关键词:北方;砂岩型铀矿;铀资源潜力;提示

中图分类号:P619.14 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)05-1434-16

自 20 世纪 80 年代末 90 年代初以来,铀矿地质工作由于将近有 15 年时间的整体萎缩,十分有限的工作量集中投入到了当时铀矿勘查程度很低的北方中新生代沉积盆地,找矿方向确定为“主攻地浸砂岩型铀矿”。中核地质系统经过 10 多年的不懈努力,相继发现和探明了一批大型、特大型砂岩型铀矿,暂时定名为伊犁式、吐哈式、东胜式、乌兰察布式、马尼特式、通辽式砂岩型铀矿。特别指出的是,这里的每一种“式”都不是一个矿床,而是已探明的一组矿床和预期会探明更多的矿床,其中有适合地浸方式开采的^[1],也有适合常规方式开采的。笔者将通过简要介绍这些新的砂岩型铀矿的盆地地质、矿床地质和矿体地质特征及主要控矿因素,侧重对其成矿演化特点进行初步归纳,旨在为正确判断中国铀资源潜力

及确定今后铀矿找矿方针和勘查战略提供一些有益的提示。

1 盆地地质

伊犁式、吐哈式砂岩型铀矿产于天山造山带中的山间盆地,其共同的地球动力学背景是由弱伸展构造环境下形成产铀建造到弱挤压构造环境下进一步导致铀的叠加聚集、富集成矿,侏罗系中下统水西沟群是主体产铀建造。比较之下,吐哈盆地受周边板块更强的夹持作用,隆升速率更快,小型褶皱和南北分带更为明显,中心部位离蚀源区更近。

东胜式砂岩型铀矿产于鄂尔多斯盆地东北部。鄂尔多斯盆地是中国大型克拉通盆地^[2],盆地北部侏罗系中下统直罗组是主体产铀建造,该产铀建造

整体上由北西向南东分布稳定,发育连续^[9]。

乌兰察布式、马尼特式砂岩型铀矿分别产于二连盆地中东部乌兰察布坳陷和乌兰察布坳陷与马尼特坳陷的过渡部位。二连盆地是经历拉张断陷(J-K₁)、热沉降坳陷(K₂)和差异抬升(E-Q)3个阶段演化而成的大型裂谷盆地^[4]。乌兰察布坳陷主要含矿层是上白垩统二连组,马尼特坳陷主要含矿层是下白垩统赛汉组。

通辽式砂岩型铀矿产于松辽盆地东南部通辽地区。松辽盆地演化经历裂陷(K₁)、坳陷(K₂)和抬升(K₂末至古近纪)3个阶段。通辽地区目前发现的主要含矿层是上白垩统姚家组。

从上述盆地不难发现含矿建造从西部向东部的变化,西部(前3种砂岩型铀矿)均产于中下侏罗统含煤碎屑岩系,东部(后3种砂岩型铀矿)均产于上白垩统泥质砂岩和细砂岩。

2 矿床地质

伊犁铀矿田西起洪海沟,东至达拉地,断续分布达 80 km。南部斜坡带是伊犁式砂岩型铀矿床产出的主要构造部位。以中部扎吉斯坦—蒙其古尔一带为构造活动过渡区,其东西两侧分别为构造活动相对强烈区和相对稳定区,矿床产出部位受近南北向鼻状隆起控制。中下侏罗统水西沟群第 I—II、V、VII 和 VIII 旋回均赋存砂岩型铀矿。此外,煤岩型铀矿也是伊犁盆地南缘的重要铀矿类型,主要有 M₃、M₅、M₁₀ 等煤层。

吐哈式砂岩型铀矿产于盆地西南缘艾丁湖斜坡带中西段,盆地东部哈密坳陷大南湖隆起也发现了一定规模矿化。矿床形成于总体平缓北倾的艾丁湖斜坡带上,矿区北侧的艾丁湖断裂构成地下水排泄源。含矿地层为中下侏罗统水西沟群西山窑组(J_{2x}),可分为 4 个含矿岩性段。砂岩型铀矿受西山窑组发育的多层大规模层间氧化带控制,层间氧化带单层厚度 5~37 m,沿倾向方向划分为完全氧化亚带、不完全氧化亚带、铀矿石带和原生灰色岩石带。矿床分为南、北两个铀矿带,分别受十红滩背斜和近东西走向的鹰咀崖断裂控制。

东胜式砂岩型铀矿床位于伊陕单斜区的北部,直罗组(J_{2z})是在盆地抬升背景下由于河流下切侵蚀作用形成的由北西向南东发育的河流沉积体系^[9],下部辫状河沉积砂体(J_{2z}¹⁻¹)是主要赋矿部位。矿床

内含矿层稳定,断层不发育。含矿岩性为浅灰色、灰色中粗粒、中粒砂岩,厚度一般为 30~40 m。河流晚期沉积泥岩和延安组(J_{2y})顶部煤层及炭质泥岩分别构成了含矿含水层稳定的隔水顶、底板。

乌兰察布式砂岩型铀矿床产于二连盆地乌兰察布坳陷北西部凹陷的沉积、沉降中心部位。含矿层为上白垩统二连组(K_{2e}),可分为两个岩性段,铀矿化主要产在下岩段。含矿层厚度不均匀,从近 10 m 到近 70 m,顶部灰色、黑色含石膏砂岩、石膏岩、炭质泥岩是赋矿的主要部位。

马尼特式砂岩型铀矿产于二连盆地乌兰察布与马尼特两大坳陷过渡部位,受南北两侧的苏尼特隆起和巴音宝力格隆起夹持,坳陷边缘发育北东向断层。坳陷基底及断层控制了上白垩统古河谷的发育和含氧含铀水及深部油气等还原流体的渗入。古河谷砂体走向稳定,长逾 100 km,是控制矿床产出的非常重要的因素。含矿层为下白垩统赛汉组上岩段(K_{1bs}²),厚度 20~100 m,岩性为绿灰色、灰色砂质砾岩、含砾砂岩,多见泥岩夹层,灰色砂岩中多见炭化植物碎屑、黄铁矿等还原介质。

通辽式砂岩型铀矿床受构造天窗控制,还与 NNE 向、NW 向断裂构造及辉绿岩脉关系密切。含矿层位为上白垩统姚家组(K_{2y}),其上覆层位嫩江组(K_{2n})、下伏层位青山口组(K_{2qn})均为区域泥岩隔水层。姚家组含矿砂体厚度近 50 m,较为适中,岩性主要为浅灰、浅灰绿色细砂岩。砂岩普遍遭受油气煤层气还原褪色化,含炭质、油斑、黄铁矿和碳酸盐。

3 矿体地质

伊犁式砂岩型铀矿体明显受层间氧化带氧化—还原过渡部位控制,层间氧化带分带明显。各层位的层间氧化带前锋线在平面上呈近东西向蛇曲状展布(图 1),局部相互交置,铀矿带分布于前锋线附近,倾向方向则呈叠瓦状产出,单个矿体呈典型的卷状,卷头普遍品位较高,两翼呈板状拉伸,品位一般低于卷头部位。含矿岩性疏松,渗透性较好,适宜地浸开采。

吐哈式砂岩型铀矿矿体在剖面上呈卷状和板状,平面上呈蛇曲状。南矿带主要分布在十红滩背斜的东、西两翼,铀矿化产于西山窑组第一岩性段辫状河砂岩中发育的两层层间氧化带前峰部位;北矿带分布于鹰咀崖断裂北侧,呈北西西向带状展布,铀矿化产于西山窑组第三岩性段辫状河砂岩中发育的三

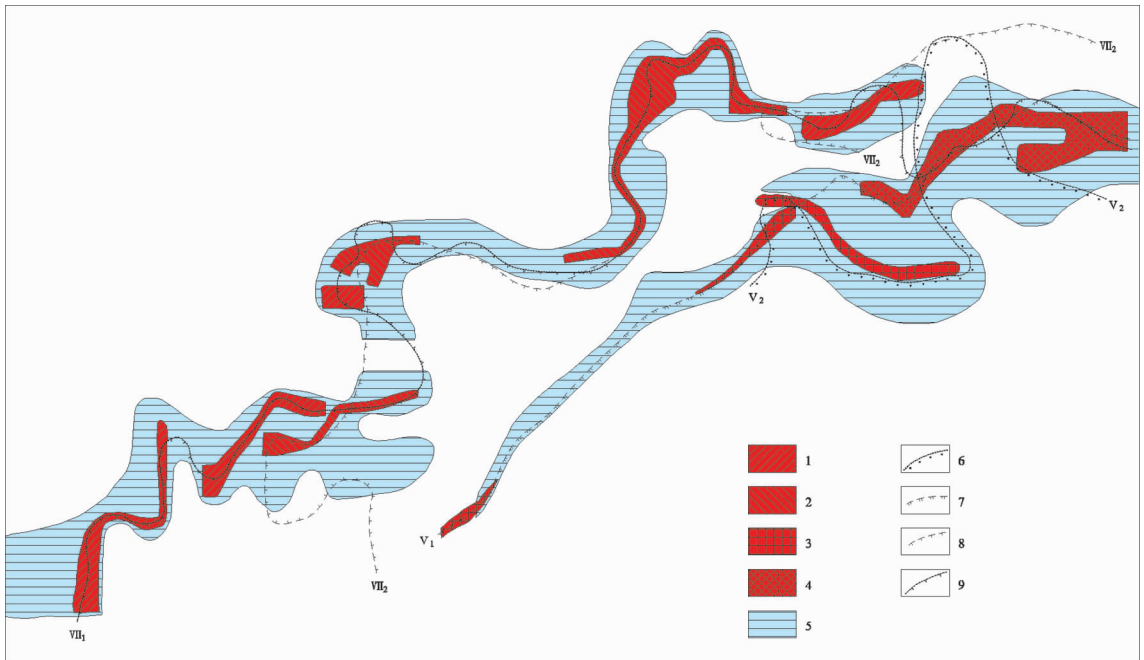


图1 伊犁式砂岩型铀矿体展布水平投影示意图

1—VII₁旋回工业铀矿体;2—VII₂旋回工业铀矿体;3—V₂旋回工业铀矿体;4—V₁旋回工业铀矿体;5—铀矿化带;
6—V₂旋回层间氧化带前锋线;7—V₁旋回层间氧化带前锋线;8—VII₂旋回层间氧化带前锋线;9—VII₁旋回层间氧化带前锋线

Fig.1 Sketch horizontal projection of ore body extension in the Yili pattern sandstone-type uranium deposit
1—Uranium ore body in sedimentary cycle VII₁; 2—Uranium ore body in sedimentary cycle VII₂; 3—Uranium ore body in sedimentary cycle V₂; 4—Uranium ore body in sedimentary cycle V₁; 5—Uranium mineralized zone; 6—Front line of interlayer oxidation zone in sedimentary cycle V₂; 7—Front line of interlayer oxidation zone in sedimentary cycle V₁; 8—Front line of interlayer oxidation zone in sedimentary cycle VII₂; 9—Front line of interlayer oxidation zone in sedimentary cycle VII₁

层层间氧化带前锋部位(图2)。矿石为疏松—次疏松灰色、深灰色砾岩、含砾中—粗粒砂岩,富含有机质和浸染状黄铁矿,适宜地浸开采。铀的存在形式主要是沥青铀矿、粘土矿物和粉末状黄铁矿吸附存在。

东胜式砂岩型铀矿矿体受古层间氧化带的控制,产于灰绿色砂体与灰色砂体的过渡部位。矿体在平面上呈不规则状,连续性好,剖面形态以板状为主,少数为卷状(图3),近水平产状。铀在矿石中主要以铀石和吸附形式存在。

乌兰察布式砂岩型铀矿矿体分层产出,而且有规模巨大的主矿层(主矿体),矿体呈巨层状,近水平产状,矿体中心部位略呈弧形向下凸出,面积超过10 km²,埋深不足100 m,厚度较均匀,平均厚度近1.3 m,平均品位近0.08%。铀以分散吸附态形式为主,分布于泥质、有机质及黄铁矿中,部分以沥青铀矿形式存在。

马尼特式砂岩型铀矿矿体产于砂体氧化—还原

过渡部位,有潜水氧化—还原及潜水氧化—还原转层间氧化—还原两种类型,均与北东向展布的断裂有关。潜水氧化—还原形成的矿体以板状为主,潜水—还原转层间氧化—还原形成的矿体局部呈似卷状;矿体产状平缓,埋深较浅,一般在200 m以浅,赋矿砂体厚度变化较大,富水性强,矿体品位较低。铀的主要存在形式以吸附状态铀为主,少数为沥青铀矿、铀的磷酸盐、含铀钛铁矿和含铀锐钛矿。

通辽式砂岩型铀矿矿体产于上白垩统姚家组砂体氧化—还原过渡部位,氧化带受构造天窗控制。矿体呈多层分布(图4),为顺层板状、透镜状,缓倾,埋深主要在200~300 m之间,主矿层厚度较大,近8 m。铀的主要存在形式为沥青铀矿及有机质、粘土吸附。

4 控矿条件

伊犁式砂岩型铀矿的形成受构造、岩性—岩相、古气候、水文地质、岩石地球化学及铀源等多因素控

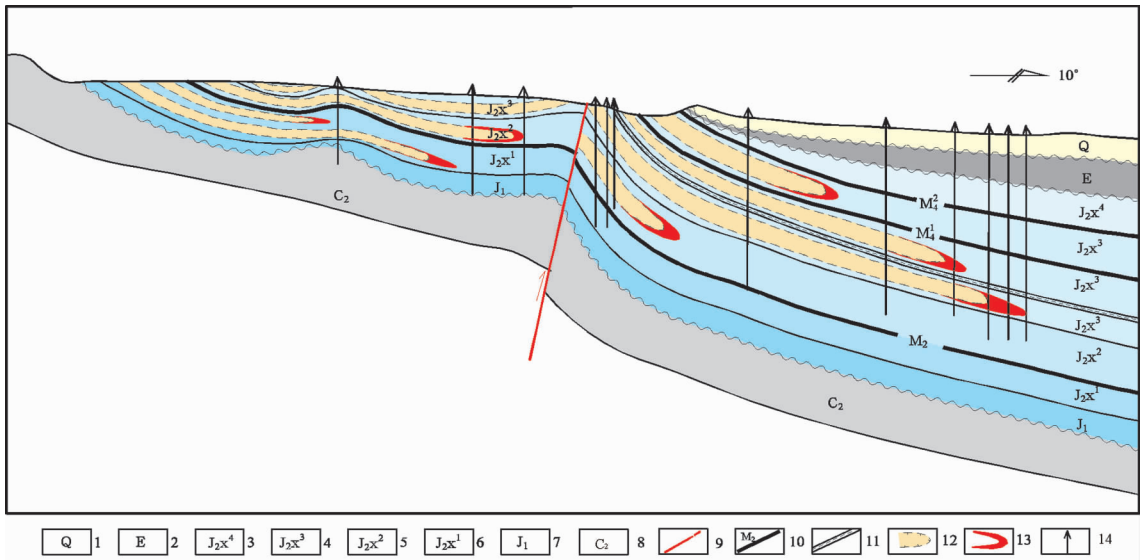


图 2 吐哈式砂岩铀矿矿体综合剖面图

1—第四系浅黄色砂质粘土层;2—古近系砖红色、杂色泥岩;3—中侏罗统西山窑组第四岩性段砂岩夹泥岩;4—中侏罗统西山窑组第三岩性段砂岩夹泥岩、煤层;5—中侏罗统西山窑组第二岩性段砂岩夹泥岩;6—中侏罗统西山窑组第一岩性段砂岩夹泥岩、煤层;7—下侏罗统砂岩夹泥岩、煤层;8—上石炭统;9—断层;10—煤层及编号;11—泥岩隔水层;12—层间氧化带;13—铀矿体;14—钻孔

Fig.2 Comprehensive section of ore bodies in the Turpan-Harmi pattern sandstone-type uranium deposit

1-Quaternary yellowish sandy clay bed; 2-Paleogene brick red and mottled mudstone; 3-Sandstone intercalated with mudstone in the fourth lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 4-Sandstone intercalated with mudstone and coal seams in the third lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 5-Sandstone intercalated with mudstone and coal seams in the second lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 6-Sandstone intercalated with mudstone and coal seams in the first lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 7-Lower Jurassic sandstone intercalated with mudstone and coal seams; 8-Upper Carboniferous; 9-Fault; 10-Coal seams and their serial number; 11-Mudstone aquifuge; 12-Interlayer oxidation zone; 13-Uranium ore body; 14-Drill hole

制。伊犁盆地在中晚三叠世—早中侏罗世潮湿的古气候和缓慢拉伸伸展构造环境下,形成多旋回的砂岩-泥岩(煤层)地层韵律结构的含煤碎屑沉积建造,控制了铀的初始聚集。晚侏罗世—古近纪古气候变得干旱,盆地在整体上隆和南北相向挤压作用下于盆缘产生构造斜坡带,灰色砂体在盆缘出现开启,盆地内也出现近东西向断裂,至此地下水在含水层的补给-径流-排泄体系基本形成。干旱环境下含氧较高的地下水不断溶蚀带出蚀源区富铀岩石(体)的铀,并进入含水层使还原砂体持续氧化而在氧化还原过渡部位使 U^{6+} 转化为 U^{4+} 沉淀富集,即层间氧化还原作用控制了铀矿体的形成。随着后期构造的相对稳定,成矿作用也持续发展,含水层砂体的不断氧化也带出其中的部分铀,氧化作用向盆内方向的不断推进使层间氧化带出现分带性,后期总体上由于构造脉动式活动控制了多阶段的成矿叠加。

吐哈式砂岩型铀矿的产铀建造受多期次构造活动的控制,山间盆地发展的 3 个沉积间断期(K_2 、

E_3-N_1, N_2-Q) 是层间氧化带型铀成矿的主要时期,其对后生层间氧化带发育及砂岩型铀成矿有直接的控制作用。铀源来自盆地南缘觉罗塔格山区发育大面积花岗质岩石和中酸性火山岩。中下侏罗统水西沟群沉积体系及砂体控制了层间氧化带及铀矿化的空间展布和规模。铀矿化主要分布受中侏罗统西山窑组辫状河沉积体系主河道砂体控制,局部受辫状河三角洲砂体控制,矿化具有多层性。盆地南缘具备相对完整的地下水补-径-排系统,艾丁湖斜坡带地下水径流方向总体由南向北,十红滩铀矿床赋存于艾丁湖斜坡带中侏罗统西山窑组的上部和下部承压含水层中。与伊犁盆地明显不同的是,北西向隐伏断裂导通了西山窑组上部含水层与中部含水层,并使西山窑组上部含矿含水层发生局部二次补给,进而控制了断裂北侧的北矿带,造成断裂构造两侧都出现较大规模成矿,这在其他地区也不多见。

东胜式砂岩型铀矿的产出环境总体上受直罗组下亚段(J_2z^{1-1})辫状河砂体控制,由于砂体非均质性

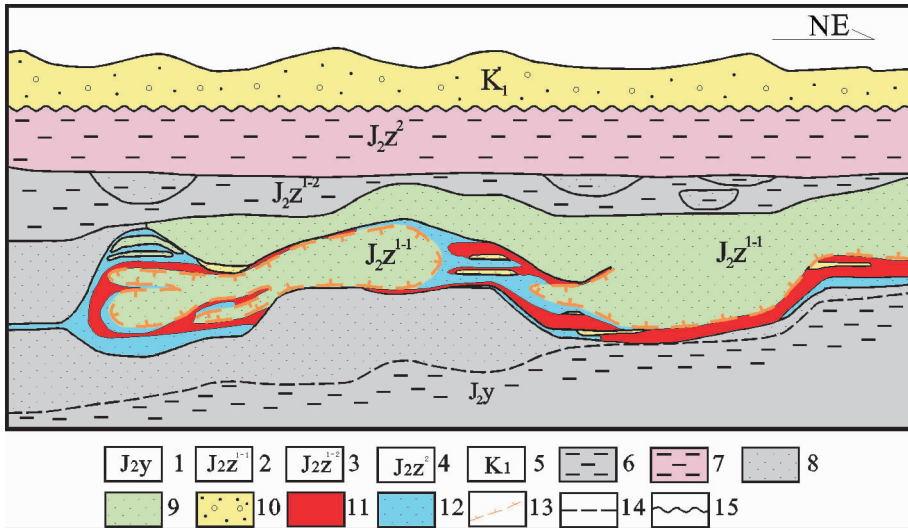


图3 东胜式砂岩型铀矿矿体综合剖面图

- 1—灰色泥岩;2—红色泥岩;3—灰色砂岩;4—灰绿色砂岩;5—黄色含砂砾岩;6—矿体;7—铀矿化体;8—层间氧化带前锋线;9—地层平行不整合界线;10—地层角度不整合界线;11—中侏罗统延安组;12—中侏罗统直罗组下段下亚段;
- 13—中侏罗统直罗组下段上亚段;14—中侏罗统直罗组上段;15—上白垩统东胜组

Fig.3 Comprehensive section of ore body distribution in the Dongsheng pattern sandstone-type uranium deposit

- 1-Gray mudstone; 2-Red mudstone; 3-Gray sandstone; 4-Grayish green sandstone; 5-Yellow sandy conglomerate;
- 6-Ore body; 7-Uranium mineralized body; 8-Front line of interlayer oxidation zone; 9-Boundary of stratigraphic unconformity;
- 10-Boundary of stratigraphic angular unconformity; 11-Middle Jurassic Yanan Formation; 12-Lower submember in lower member of Middle Jurassic Zhiluo Formation; 13-Upper submember in lower member of Middle Jurassic Zhiluo Formation;
- 14-Upper member of Middle Jurassic Zhiluo Formation; 15-Upper Cretaceous Dongsheng Formation

的影响,矿体产于河道的边缘、拐弯及下游分叉等部位。古层间氧化带是铀成矿作用的直接控制因素,伊陕单斜构造从直罗组沉积开始,一直到早白垩世继承性掀斜构造运动,造成了含氧含铀水顺沿河道砂体长期稳定的运移,在古层间氧化带的尖灭部位形成铀矿体。含矿建造中黄铁矿、固体有机质、有机炭、油气流体、煤成烃等还原介质控制了后期铀的叠加富集。

乌兰察布式砂岩型铀矿的铀源来自北部、西北部蚀源区花岗岩铀源体。二连组下段(K₂e¹⁻²)有机质、黄铁矿及下伏油气产生的烃类气体等还原介质控制了铀的吸附、沉淀及富集;湖泛事件的湖泊淤浅阶段的湖水蒸发、浓缩作用,也起到了铀的进一步富集作用,湖泛面积规模控制了矿体规模,湖泛面积越大,矿体规模也就越大。矿床类型属于砂岩型铀矿中的沉积成岩亚类型。

马尼特式砂岩型铀矿产出环境总体上受赛汉组上岩段(K₁b^{s2})古河道砂体控制,矿体呈带状连续且相对稳定产于古河道砂体中。潜水氧化带作用及其与层间氧化带的共同作用是铀矿床形成的直接控制

因素,从晚白垩世一直到古近纪早期,赛汉组上段遭受了长期的风化剥蚀作用,并伴随着古气候向半干旱-干旱的转变,有利于氧化作用的发育和铀的活化及迁移,在潜水氧化带和潜水转层间氧化带的尖灭部位形成铀矿体。炭化植物碎屑、黄铁矿等还原介质控制了铀的沉淀和富集。

通辽式砂岩型铀矿关键控矿因素包括3方面:一是有利的岩相条件,形成于温湿环境的河流相和三角洲相富含有机质的砂体,铀发生强烈的原生沉积预富集;二是有利的后生还原条件,断裂活动使油气、煤层气上渗,目的层砂体发生还原,砂岩还原性显著增强,铀发生再富集;三是有利的构造条件,目的层局部隆升、剥蚀形成“构造剥蚀天窗”,氧化水通过“构造剥蚀天窗”沿富铀砂体渗透,形成局部氧化带并控制铀矿体的发育。

5 成矿演化

5.1 伊犁式砂岩型铀矿

伊犁式砂岩型铀矿是典型的层间氧化带型铀矿,其成矿演化可概括为3阶段:盆地基底演化和含

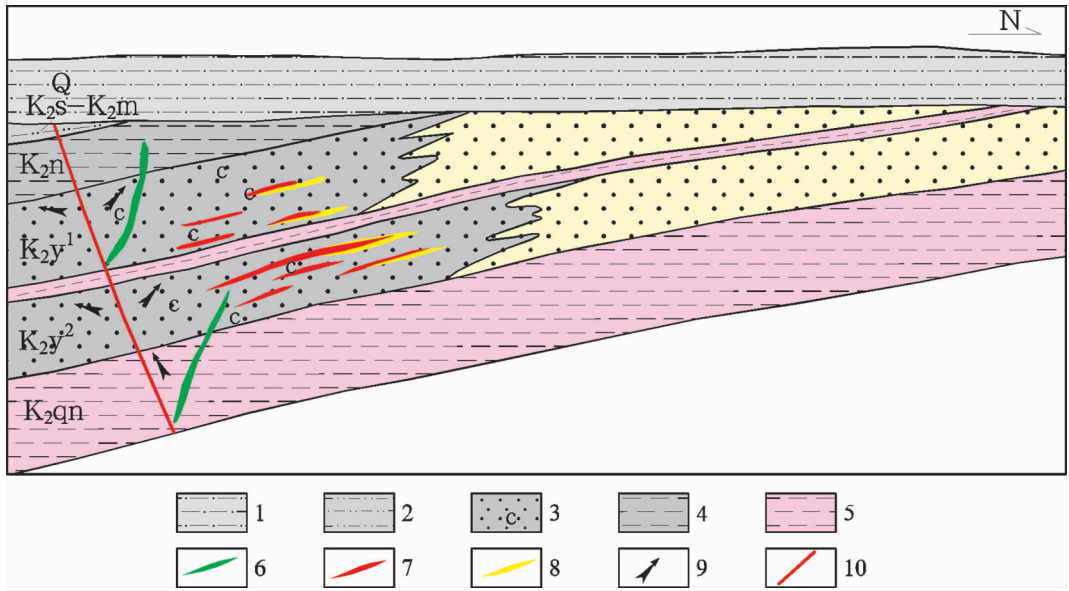


图 4 通辽式砂岩铀矿矿体综合剖面图

1—第四系浅灰色砂质粘土层;2—浅灰色粉砂质泥岩;3—浅灰绿色褪色化细砂岩;4—灰色泥岩;5—紫红色泥岩;
6—辉绿岩脉;7—矿体;8—氧化带黄色细砂岩;9—油气、煤层气有机流体(含铀)运移方向;10—断层

Fig.4 Comprehensive section of ore body distribution in the Tongliao pattern sandstone-type uranium deposit
1- Quaternary grayish sandy clay bed; 2- Grayish silty mudstone; 3- Gray-greenish bleached fine sandstone; 4- Gray mudstone; 5- Purple mudstone; 6- Diabase dike; 7- Ore body; 8- Yellow fine sandstone in oxidation zone; 9- Migration direction of uranium-bearing oil-gas, coal-bed gas and organic fluid; 10- Fault

矿建造形成的准备阶段、表生-后成改造成矿阶段、矿后叠加改造阶段(图 5)。

盆地形成初期和含矿建造形成的准备阶段:伊犁式砂岩型铀矿具有双重铀源,盆地前中生代基底演化形成的富铀岩石(体)是直接铀源;中下侏罗统原生灰色砂体铀含量一般高于氧化砂岩铀含量,即在层间氧化过程中铀有明显的迁出,为再生铀源。

表生-后成改造成矿阶段:一定厚度并稳定展布的含矿砂体是层间氧化带发育和铀矿赋存的空间。含矿砂体形成之后的构造作用使盆缘产生较大范围的单斜带,砂岩层出现“补给窗口”,同时盆内产生一系列近东西向断裂,从而形成地下水的补-径-排完善体系,含铀含氧水在砂体中运移并在氧化带前锋线不断富集铀,体现了铀的运移、储存的动态变化过程。

矿后叠加改造阶段:第一次叠加是在始新世—中新世,构造隆升使盆地南缘含矿层普遍出露至地表,这时东西部构造形态差异不大,层间氧化带持续发育,早期铀矿发生局部叠加富集。第二次叠加是在上新世末—早更新世,盆地新构造运动十分强烈,东西部构造强度出现明显差异,东部快速隆升使部分

层间氧化带及铀矿体遭受剥蚀,其北部单斜带发育新的层间氧化带,局部出现深凹沉降和含矿层逐渐倒转,煤岩型铀矿持续富集发育,表现出后期改造和保矿并存状态;西部仍基本保持单斜状整体抬升,层间氧化带及铀矿体大规模发育,为盆地南缘最重要的铀矿体叠加富集期,形成“矿卷”。第三次叠加是在中更新世至今,以差异升降为主的新构造运动促进保存下来铀矿体的进一步富集,尤其是“卷头”部位。

5.2 吐哈式砂岩型铀矿

吐哈式砂岩型铀矿属于造山带背景下山间盆地局部层间氧化带型砂岩铀矿,主要经历了如下 3 个成矿演化阶段^[1,6-7]。

含矿建造沉积及后生预富集阶段(图 6-A):晚古生代末期,盆地南部觉罗塔格隆起成山,形成了基底构造斜坡带并提供了良好的沉积物源。早中侏罗世,温暖潮湿气候下沉积了中下侏罗统河-湖相含煤灰色碎屑岩建造。中侏罗世晚期至早白垩世晚期,气候趋于干热,艾丁湖斜坡带整体掀斜抬升,中下侏罗统隆升掀斜出露地表遭受广泛的剥蚀及淋滤氧化,铀发生广泛的预富集,U-Pb 等时年龄 104~84 Ma。

层间氧化带发育及主成矿阶段(图 6-B):渐新

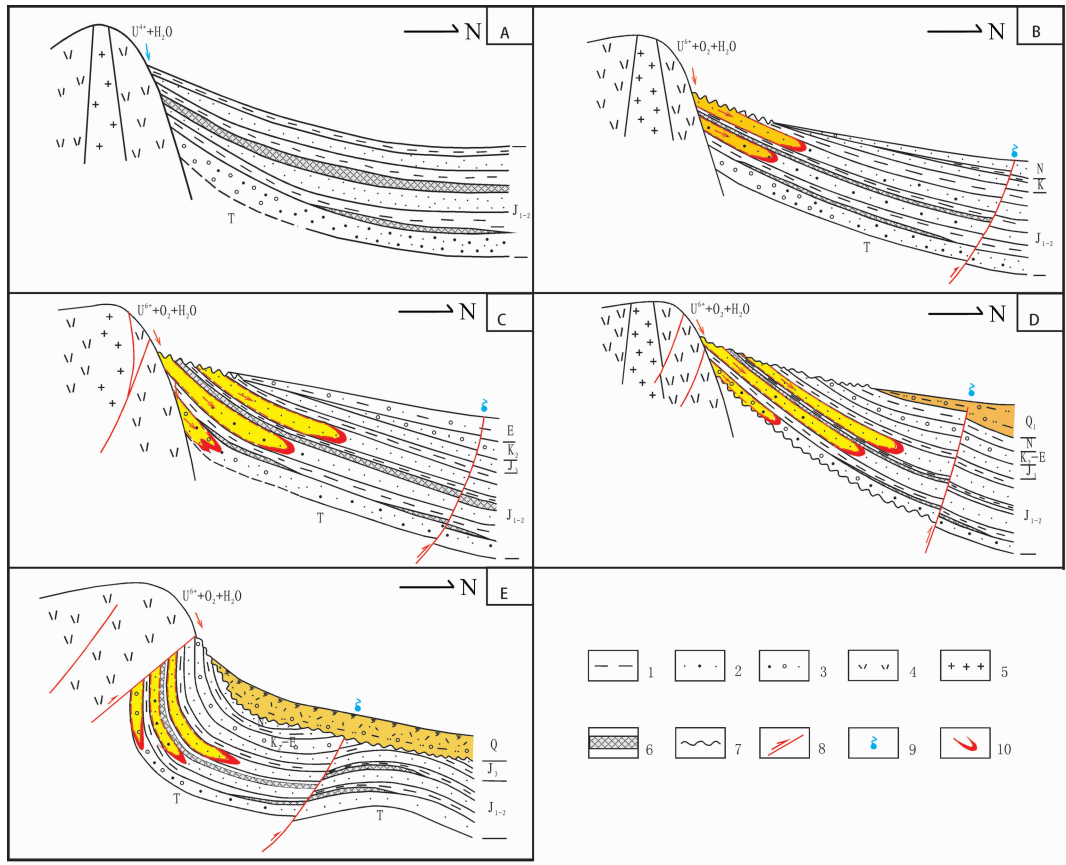


图5 伊犁式砂岩型铀矿成矿演化图

A—含矿岩系沉积阶段；B—早期铀矿化形成阶段；C—主成矿期铀矿化叠加再富集阶段；D—西部单斜带持续成矿阶段；E—东部构造强烈活动区改造和保矿并存阶段

1—泥质岩；2—砂岩；3—砂砾岩；4—凝灰岩；5—花岗岩；6—煤层；7—角度不整合；8—断裂；9—泉；10—铀矿体

Fig.5 Metallogenetic evolution diagram for the Yili pattern sandstone-type uranium deposit

A— Sedimentary stage of ore-bearing rock series; B— Early stage of uranium mineralization formation;

C— Superimposition and re-enrichment stage of uranium mineralization in main metallogenic epoch; D—Continuous mineralizing stage of monocline zone in western part; E—Coexistence stage of alteration and ore preservation of strong tectonic activity areas in eastern part

1—Mudstone; 2—Sandstone; 3—Sandy conglomerate; 4—Tuff; 5—Granite; 6—Coal seams;

7—Angular unconformity; 8—Fault; 9—Spring; 10—Uranium ore body

世末期,盆地南缘再次隆升,觉罗塔格山的含铀含氧地下水持续渗入补给,在中下侏罗统砂体发育的有利地段形成了多层持续发育的大规模层间氧化带及本区主要铀矿体。主要铀成矿期 U—Pb 等时年龄为 24 Ma。

新构造叠加改造阶段(图 6-C):上新世末期以来,新构造活动造成艾丁湖斜坡带上北西—北北西向断层、挠曲及小型背斜等构造强烈活动,改变了局部地下水动力条件,产矿建造局部地下水二次补给,导致局部层间氧化带空间展布改变及其前锋附近铀矿化的进一步叠加和改造,并在氧化带中留下了一些残留矿体。这一成矿阶段 U—Pb 等时年龄小于 8 Ma。

5.3 东胜式砂岩型铀矿

东胜铀矿床为古层间氧化带砂岩型铀矿床,可将成矿作用过程划分为含矿岩系沉积预富集阶段、古层间氧化作用阶段、后期还原改造作用阶段、后期氧化改造作用及再富集阶段。

预富集阶段(图 7-A):中侏罗统直罗组辫状河含铀灰色砂体是铀成矿的物质基础,还原介质的发育有利于铀的预富集,为后期层间氧化成矿作用创造了铀源基础。U—Pb 同位素测定年龄为(177±16)Ma^①。

古层间氧化作用阶段(图 7-B):晚侏罗世—晚白垩世早期直罗组长期暴露地表并遭受长期的风化

① 夏毓亮.东胜地区铀成矿作用同位素地球化学研究.核工业北京地质研究院,2003.

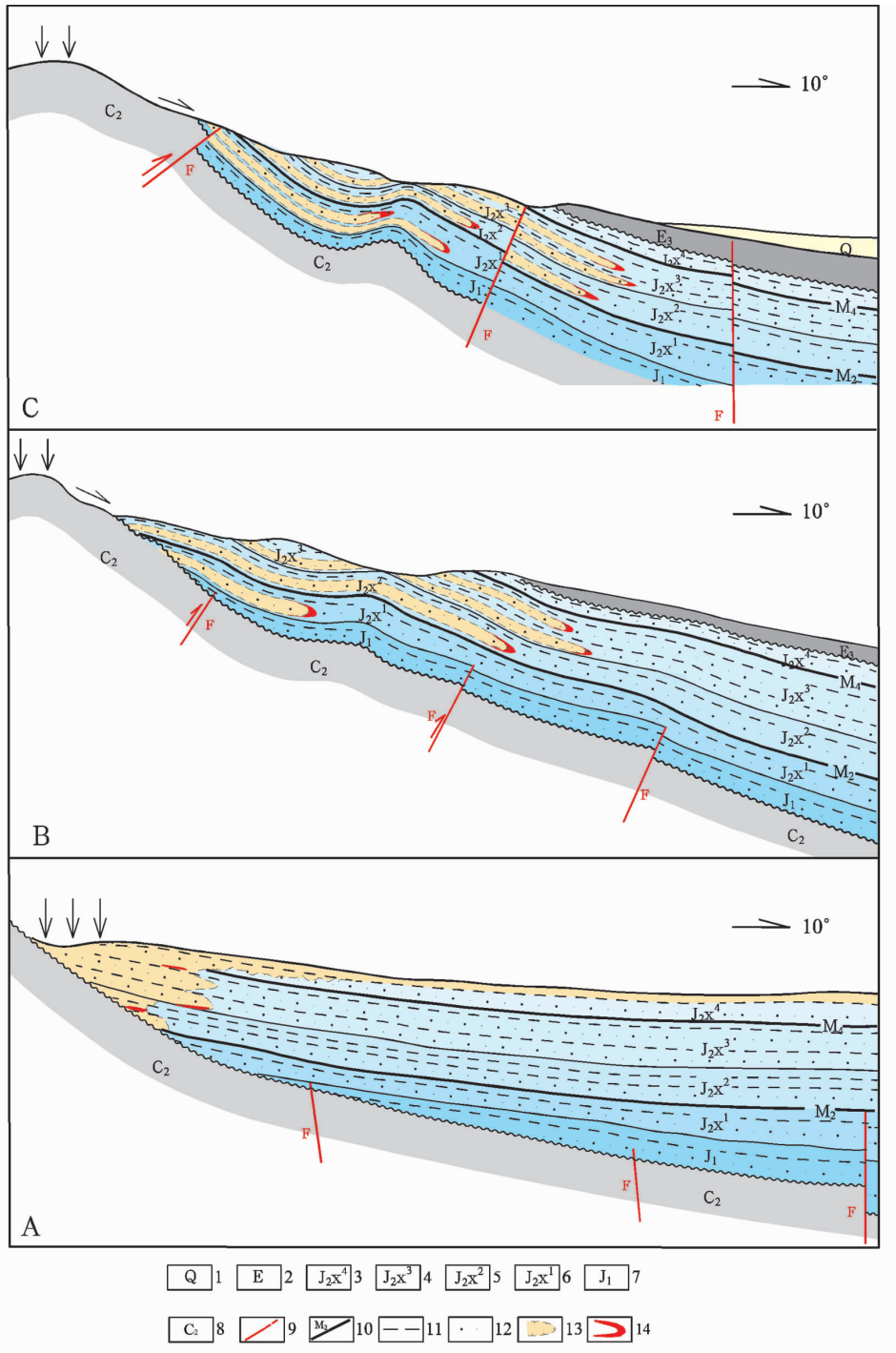


图 6 吐哈式砂岩铀矿成矿演化图

A—含矿建造沉积及后生预富集阶段;B—层间氧化带发育及主成矿阶段;C—新构造叠加改造阶段
 1—第四系;2—古近系;3—中侏罗统西山窑组第四岩性段;4—中侏罗统西山窑组第三岩性段;5—中侏罗统西山窑组第二岩性段;
 6—中侏罗统西山窑组第一岩性段;7—下侏罗统;8—上石炭统;9—断层;10—煤层及编号;11—泥岩隔水层;
 12—砂体;13—层间氧化带;14—铀矿体。

Fig.6 Metallogenic evolution diagram for the Turpan-Hami pattern sandstone-type uranium deposit
 A—Mineralization stage of syndiagenesis and pre-concentration of ore-bearing formation ; B— Main mineralizing stage of interlayer oxidation ; C— Superimposed mineralization stage of new structure alteration
 1—Quaternary; 2—Paleogene; 3—Fourth lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 4—Third lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 5—Second lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 6—First lithologic member of Middle Jurassic Xishanyao Formation; 7—Lower Jurassic; 8—Upper Carboniferous; 9—Fault; 10—Coal seams and their serial number ; 11—Mudstone aquifer; 12—Sand body; 13—Interlayer oxidation zone; 14—Uranium ore body

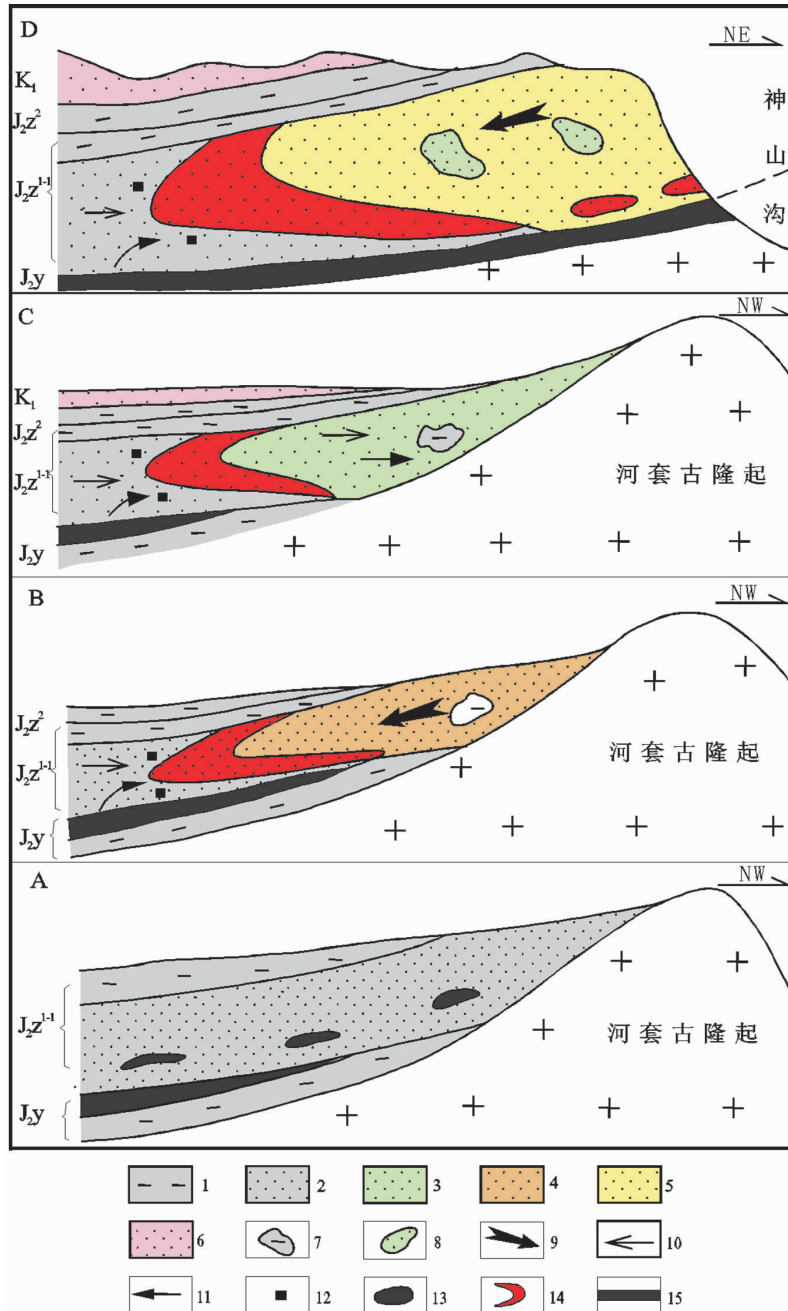


图7 东胜式古层间氧化带型砂岩铀矿成矿演化图

A-预富集阶段; B-古层间氧化作用阶段; C-后期还原改造作用阶段; D-后期氧化改造作用及再富集阶段

- 1-灰色泥岩; 2-灰色砂岩; 3-灰绿色砂岩(二次还原带); 4-黄色砂岩(早期氧化带); 5-黄色砂岩(二次氧化带); 6-紫红色砂岩;
- 7-泥岩透镜体; 8-灰绿色砂岩残留体; 9-含氧含水气运移方向; 10-油气运移方向; 11-煤成气运移方向; 12-固体还原剂;
- 13-铀预富集体; 14-矿体

Fig.7 Metallogenic evolution diagram for the Dongsheng pattern paleo-interlayer-oxidation sandstone-type uranium deposit

A-Pre-concentration stage; B-Paleo-interlayer-oxidation stage;

C-Post-reduction stage; D-Post-oxidation reworking and re-enrichment stage

- 1-Gray mudstone; 2-Gray sandstone; 3-Grayish green sandstone (second reduction zone); 4-Yellow sandstone (early oxidation zone);
- 5-Yellow sandstone (second oxidation zone); 6-Purple sandstone; 7-Lens of mudstone; 8-Residue of gray-greenish sandstone; 9-Migration direction of oxygen and uranium-bearing water; 10-Migration direction of oil-gas; 11-Migration direction of coal-bed gas; 12-Solid reducer;
- 13-Uranium pre-concentration body; 14-Ore body

剥蚀,在干旱、半干旱气候条件下形成顺延直罗组辫状河砂体由北西向南东运移的含氧含铀层间水。含矿砂体原生固体还原剂、河道两侧的中侏罗统延安组煤层产生的烃类气体和下伏地层产生的油气在铀成矿作用过程中起到了还原障的作用,由铀的不断沉淀而富集成矿。U-Pb 同位素测定年龄为 (149 ± 16) Ma、 (120 ± 11) Ma、 (85 ± 2) Ma 和 (76 ± 4) Ma^①。

后期还原改造作用阶段(图 7-C):晚期油气活动最强时期是处于新构造运动河套断陷发育期间,油气等还原流体上升扩散到含矿砂体中并受到顶部隔水泥岩的屏蔽作用,使得油气得以在砂岩层中横向运移和扩散,造成对古层间氧化带的二次还原,形成了广泛分布的二次还原带(灰绿色砂岩),使铀矿体完全处于还原环境中,起到了较好的保矿作用。

后期氧化改造作用及再富集阶段(图 7-D):仍受新构造运动的影响,再次产生了强烈的含氧水渗入作用,一方面早期形成的铀矿体遭受破坏,另一方面沿含氧水运移方向形成了铀的重新沉淀和富集。氧化改造作用可能不止一次被油气等还原流体渗入还原作用所终止,使氧化改造作用迁出的铀不止一次地重新富集,在卷头矿体 U-Pb 同位素测定年龄为 (20 ± 2) Ma 和 (8 ± 1) Ma^②。

5.4 乌兰察布式砂岩型铀矿

晚白垩世二连组沉积时,额仁淖尔凹陷形成了多个沉积沉降中心的次级凹陷,均经历了低位体系域(LST)、湖泊扩张体系域(EST)和高位体系域(HST)等 3 个发育阶段,各体系域均发育辫状河、三角洲和湖泊等沉积体系,铀矿化主要产在湖泊扩张体系域中的湖泊沉积体系中。

湖泊扩张体系域经历了 3 次主要的湖泛事件,每次湖泛事件的湖泊淤浅阶段均形成一层铀矿体,初始湖泛事件的湖泊淤浅阶段沉积了 III 号铀矿体(图 8-A),中间湖泛事件的湖泊淤浅阶段沉积了 II 号铀矿体(图 8-B),最大湖泛事件的湖泊淤浅阶段沉积了 I 号铀矿体(图 8-C),从早至晚,各次湖泛面积逐渐变大,从而导致从下至上,矿体规模依次扩大。二连组上部泥岩和古近系泥岩覆盖于矿床上部,形成了很好的保矿条件(图 8-D)。

湖泛事件的初始扩张阶段,湖泊面积逐渐扩大,

水中矿化度逐渐降低。该时期沉积速率较大,沉积层多为块状含砂泥岩,无铀矿化。

湖泛事件的鼎盛扩张阶段,湖泊面积最大,广泛发育开阔的浅湖区。沉积速率较小,沉积层多为薄层状泥岩,局部发育薄层泥灰岩,无铀矿化。

湖泛事件的湖泊淤浅阶段,湖泊面积逐渐缩小,水中矿化度和铀浓度逐渐增高,并伴随湖泊沼泽化。该阶段沉积速率较大,沉积层多为块状泥岩、粉砂岩。同时由于该阶段水中矿化度较高,导致饱和铀浓度降低,加之湖泊沼泽化,造成沉积层中富含有机质、黄铁矿等还原、吸附介质,有利于铀的沉淀吸附。该阶段的沉积层是铀矿体的主要产出层位。

湖泛事件的萎缩阶段,湖泊面积进一步缩小,水中矿化度继续增高,沉积层以膏盐层为主,但铀浓度降低,仅见低品位铀矿化。

5.5 马尼特式砂岩型铀矿

马尼特式砂岩型铀矿以潜水氧化和潜水转层间氧化作用为主,可将铀成矿作用分为原生沉积预富集阶段、潜水氧化作用阶段、层间氧化作用叠加成矿阶段和油气煤层气还原作用阶段。

原生沉积预富集阶段(图 9-A):盆地两侧巴音宝力格隆起和苏尼特隆起发育大量的富铀地质(层)体,铀含量最高可达到 $n\times 10^{-3}$,为下白垩统赛汉组沉积提供了丰富的物源和铀源。赛汉组沉积期为温暖潮湿气候,灰色砂岩、砂砾岩中可见大量的炭化植物根茎和碎片及黄铁矿,这为铀的原始富集提供了丰富的还原剂。

潜水氧化作用阶段(图 9-B):晚白垩世至古新世(K_2-E_1),盆地处于长期隆升状态,钻孔揭露花岗岩风化壳大于 2 m,且结构松散。赛汉组长期暴露地表,伴随在这一地质时期古气候向干旱、半干旱的转变,必然形成含氧含铀水向盆内运移和沿地表垂直渗入,发生潜水氧化作用,形成铀的富集成矿。U-Pb 同位素测定成矿年龄为 (63 ± 11) Ma^②。

层间氧化作用叠加成矿阶段(图 9-C):至始新世(E_2),古地表含氧含铀水沿砂体向盆地中心继续运移,由于赛汉组含矿砂体上下泥岩隔挡作用,形成层间氧化作用,同时对早期潜水氧化作用形成的部分矿体造成破坏。在遇到含丰富的有机碳、黄铁矿或油

① 夏毓亮.东胜地区铀成矿作用同位素地球化学研究.核工业北京地质研究院, 2003.

② 聂逢军.赛汉高毕-巴彦乌拉地区古河谷沉积环境及其铀矿化研究.东华理工大学, 2007.

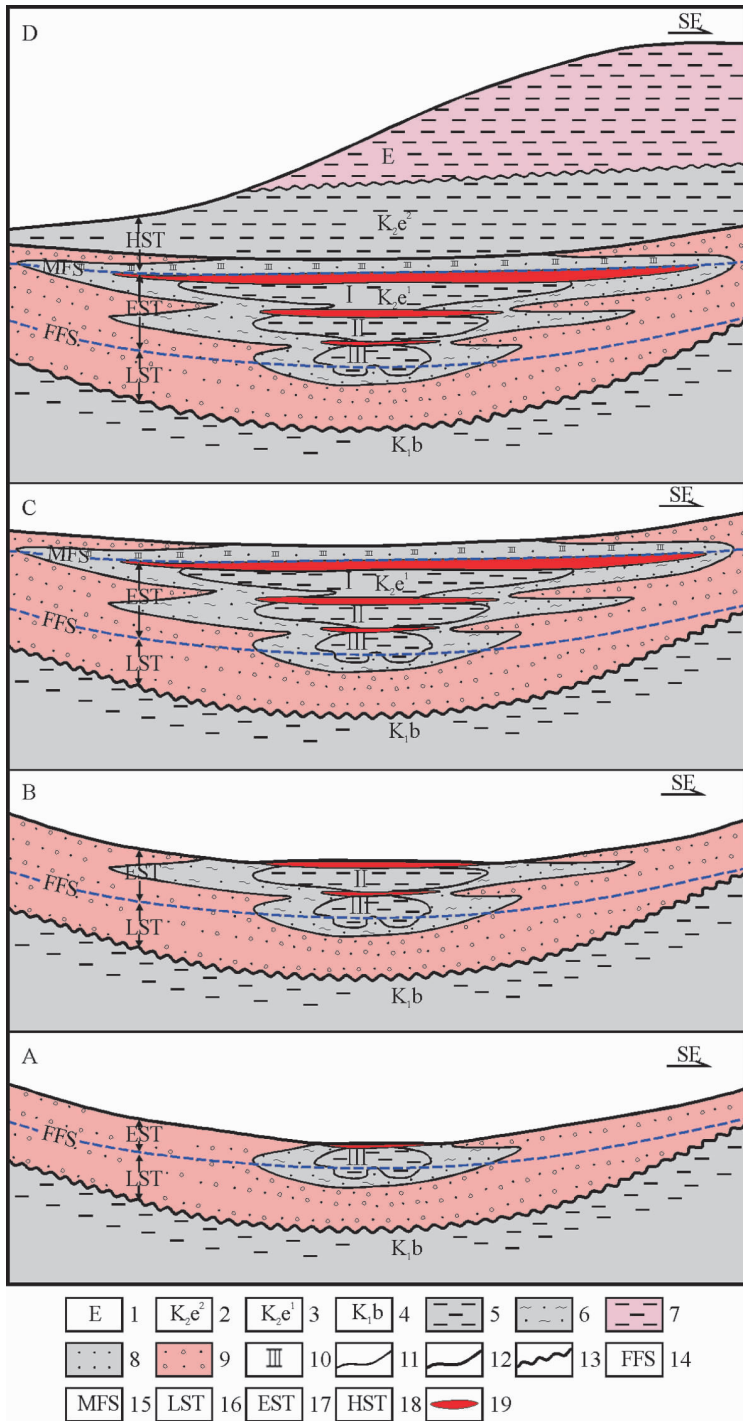


图 8 乌兰察布式铀矿成矿演化图

A—初始湖泛事件；B—中间湖泛事件；C—最大湖泛事件；D—后期覆盖保矿阶段

- 1—古近系；2—上白垩统二连组上段；3—上白垩统二连组下段；4—下白垩统巴彦花群；5—湖泊沉积灰色泥岩；6—三角洲沉积灰色砂岩、粉砂岩；7—古近系紫红色泥岩；8—辫状河沉积灰色砂质砾岩、砂岩夹泥岩；9—辫状河沉积红色砂质砾岩、砂岩；10—石膏；11—岩相界线；12—地层整合界线；13—地层不整合界线；14—初始湖泛面；15—最大湖泛面；16—低水位体系域；17—湖泊扩张体系域；18—高水位体系域；19—矿体

Fig.8 Metallogenic evolution diagram for the Ulanchap pattern sandstone-type uranium deposit

A—Initial lake flooding event; B—Middle lake flooding event; C—Maximum lake flooding event; D—Stage of ore preserved by covering

- 1—Paleogene; 2—Upper member of Upper Cretaceous Erlian Formation; 3—Lower member of Upper Cretaceous Erlian Formation; 4—Lower Cretaceous Bayanhua Group; 5—Gray lacustrine mudstone; 6—Gray delta sandstone and siltstone; 7—Paleogene purple mudstone; 8—Gray silty conglomerate and sandstone intercalated with mudstone of braided stream deposits; 9—Red silty conglomerate and sandstone of braided stream deposits; 10—Gypsum; 11—Boundary of lithofacies; 12—Boundary of stratigraphic conformity; 13—Boundary of stratigraphic unconformity; 14—Initial lake flooding surface; 15—Maximum lake flooding surface; 16—LST; 17—Lake expansion system tract; 18—HST; 19—Ore body

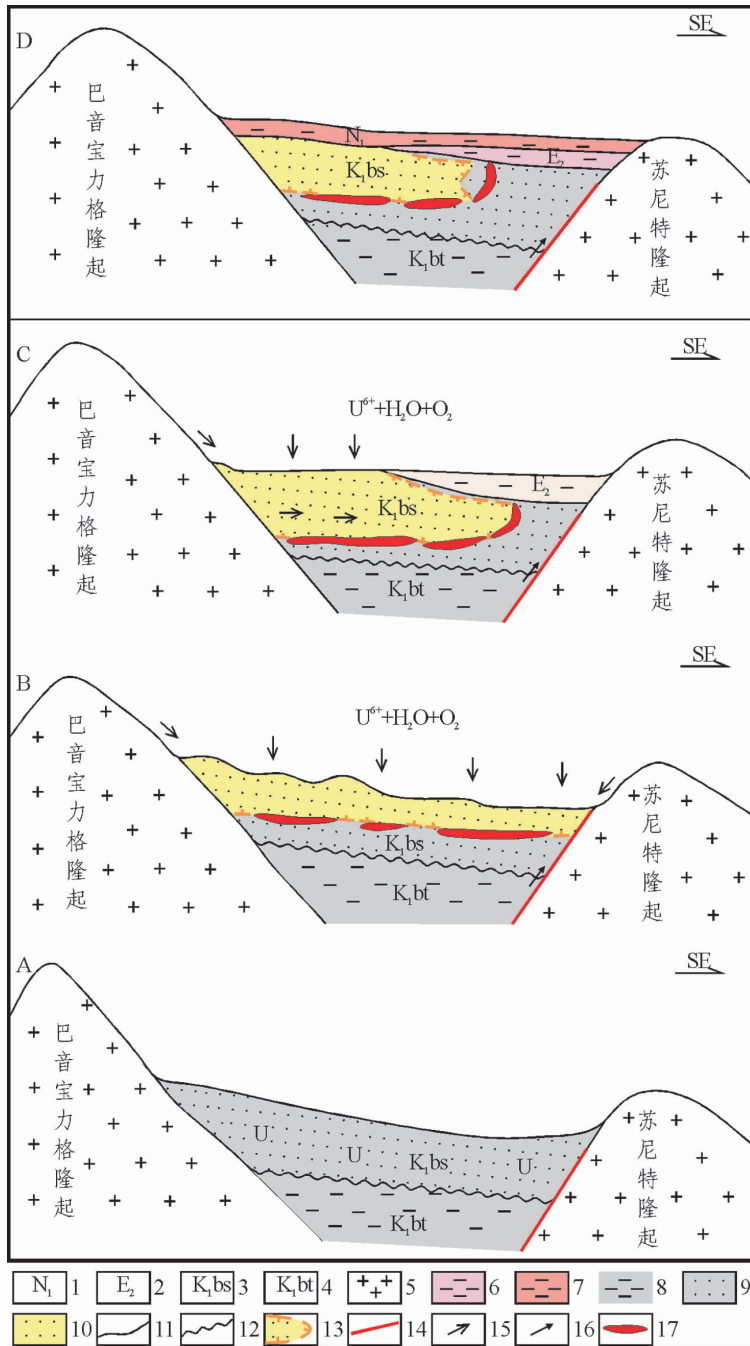


图 9 马尼特式古河谷型砂岩铀矿成矿演化图

A—原生沉积预富集阶段; B—潜水氧化作用阶段; C—层间氧化作用叠加成矿阶段; D—油气还原作用阶段
 1—灰色泥岩; 2—紫红色泥岩; 3—红色泥岩; 4—灰色砂岩; 5—黄色砂岩; 6—地层整合界线; 7—地层不整合界线;
 8—氧化带及前锋线; 9—断层; 10—含氧含铀水渗入方向; 11—油气渗入方向; 12—矿体; 13—下白垩统腾格尔组;
 14—下白垩统赛汉组; 15—古近系伊尔丁曼哈组; 16—新近系通古尔组; 17—基底岩石

Fig.9 Metallogenetic evolution diagram for the Manite type paleovalley sandstone-type uranium deposit

A— Pre-concentration stage of original sedimentation ; B—Phreatic oxidation stage; C—Superimposed mineralizing stage of interlayer oxidation ; D—Oil-gas reduction stage

1—Gray mudstone; 2—Purple mudstone; 3—Red mudstone; 4—Gray sandstone; 5—Yellow sandstone; 6—Boundary of stratigraphic conformity; 7—Boundary of stratigraphic unconformity; 8—Oxidizing zone and front line; 9—Fault; 10—Migration direction of oxygen and uranium-bearing water; 11—Migration direction of oil-gas; 12—Ore body; 13—Lower Cretaceous Tengger Formation; 14—Lower Cretaceous Saihan Formation; 15—Paleogene Yierdingmanha Formation; 16—Neogene Tongguer Formation; 17—Basement rock

气等还原剂后,则再次叠加富集成矿。U-Pb 同位素测定成矿年龄为 $(44\pm 5)\text{Ma}$ ^①。

油气还原作用阶段(图 9-D):含矿砂岩胶结物中可见蓝色荧光现象,显示了铀矿化时有油气的存在^①。由于矿床断裂构造发育,使下部腾格尔组的油气沿断层上升至赛汉组的可能性很大,造成了对氧化带进行还原改造作用,部分矿体完全隐伏于还原环境中,起到保矿作用。伴随断裂构造的活动,油气渗入作用伴随成矿作用的始终,在铀成矿作用过程中同时也增强了砂岩的还原能力。

5.6 通辽式砂岩型铀矿

通辽式砂岩型铀矿受局部氧化带控制。该区铀成矿作用经历下列演化阶段:

原生沉积预富集阶段(图 10-A):含矿层物源为盆地南部蚀源区富铀花岗岩,上白垩统姚家组中形成于温湿环境河流相和三角洲相富含有机质砂体为铀成矿有利相带,原生沉积铀发生强烈预富集,铀含量高达 $25.5\times 10^{-6}\%$ 。

油气煤层气还原再富集阶段(图 10-B):白垩纪晚期盆地局部褶皱和断裂活动,油气煤层气沿深源断裂上渗,不仅使砂岩还原褪色,且铀发生再富集^②。铀成矿年龄为 67 Ma。

层间氧化叠加成矿阶段(图 10-C):白垩纪末至古近纪盆地长期抬升掀斜、局部隆升剥蚀,构造天窗氧化水渗透到姚家组富铀砂体,铀发生再迁移和叠加,在局部氧化带氧化还原过渡带形成铀矿。氧化水沿沉积韵律下部渗透性较强的砂岩渗透,与上部渗透性较弱的岩石形成下氧化上还原的地球化学界面,形成独特的板状矿体^③。铀成矿年龄为 53 Ma、40 Ma^④。该时期基性岩浆活动(辉绿岩脉)提供了热源,网状水云母化及沥青铀矿与胶状黄铁矿共生可能指示铀成矿流体具有低温热液性质^⑤。

铀矿形成以后,油气煤层气还原作用使氧化砂体部分发生二次还原,氧化带后退,第四系还原性砂质粘土层覆盖,铀矿体得到保护(图 10-D)。

6 对中国铀资源潜力和勘查部署的提示^[11-14]

上述 6 种新的砂岩型铀矿主要是在 1990 年以来,尤其是 2000 年以来陆续发现和不断扩大的,并

一直处在投入低迷的历史状态下工作。鉴于当时的现实条件,十分有限的工作量只能集中部署到北方重点盆地。6 种新的砂岩型铀矿都以大型、特大型矿床产出,从万吨级到数万吨级,这在中国目前所有铀矿类型中是大型、特大型矿床分布最多的一类,并且还有十分广阔的找矿前景。实践证明,一个时期以来北方铀矿勘查战略部署和找矿方针是十分正确的。6 种新的砂岩型铀矿成规模的发展,极大地改变了中国铀资源的区域分布格局,有效地提高了近中期铀资源的供应能力。同时,也为正确判断中国铀资源潜力和确定今后铀矿勘查的战略部署给出十分重要的提示。

提示之一:要把中国的铀资源潜力变为现实的资源,必须坚持适合中国地质条件的找矿思路。中国地质构造背景的其中一个很重要特点是活动性强,具有多旋回造山带、多旋回盆地和多旋回构造-岩浆-成矿作用,多期次叠加成矿、多成因类型、多次遭受改造破坏、单个铀矿床规模普遍较小,但成群产出,小中有大,以大带小。对于北方沉积盆地,从西部向东部,西部即前 3 种样式的矿床均产于中下侏罗统含煤碎屑岩系,东部即后 3 种样式的矿床均产于上白垩统泥质砂岩和细砂岩,最近在更老的上三叠统和更新的古近系等也都发现很好的找矿线索,应拓宽思路,坚持多类型、多层位找矿,完全有找大矿的地质条件。

提示之二:可以更好地从中国铀矿勘查程度认识资源潜力。20 世纪 90 年代之前中国铀矿勘查主要集中在南方的局部地区,北方沉积盆地的铀矿地质工作程度很低。经过近 20 年不懈努力的探索,仅仅是部分重点盆地勘查程度得到逐步提高,结果这些盆地无论是铀资源数量规模,还是新类型铀矿的发现就随之快速发展和突破。现在再来看全国铀矿勘查程度,基本状况是 50%的可查面积和 500 m 以深的勘查程度还处于极低的状态,如果在一定时期内加快提高更大范围的勘查程度,势必会带来更大规模和更多类型铀矿的探明和发展。可以更清楚地看到,有效的投入是资源潜力变为现实资源的关键。从最近 15 年进一步看到,有投入才有产出,在哪里投入就在哪里产出。南方在 1993—2005 年整整 13 年没有实质性的投入,期间探明的资源储量也就几乎没有增长,即原来是资源潜力仍然是资源潜力,但

① 聂逢军,赛汉高毕-巴彦乌拉地区古河谷沉积环境及其铀矿化研究,东华理工大学,2007。

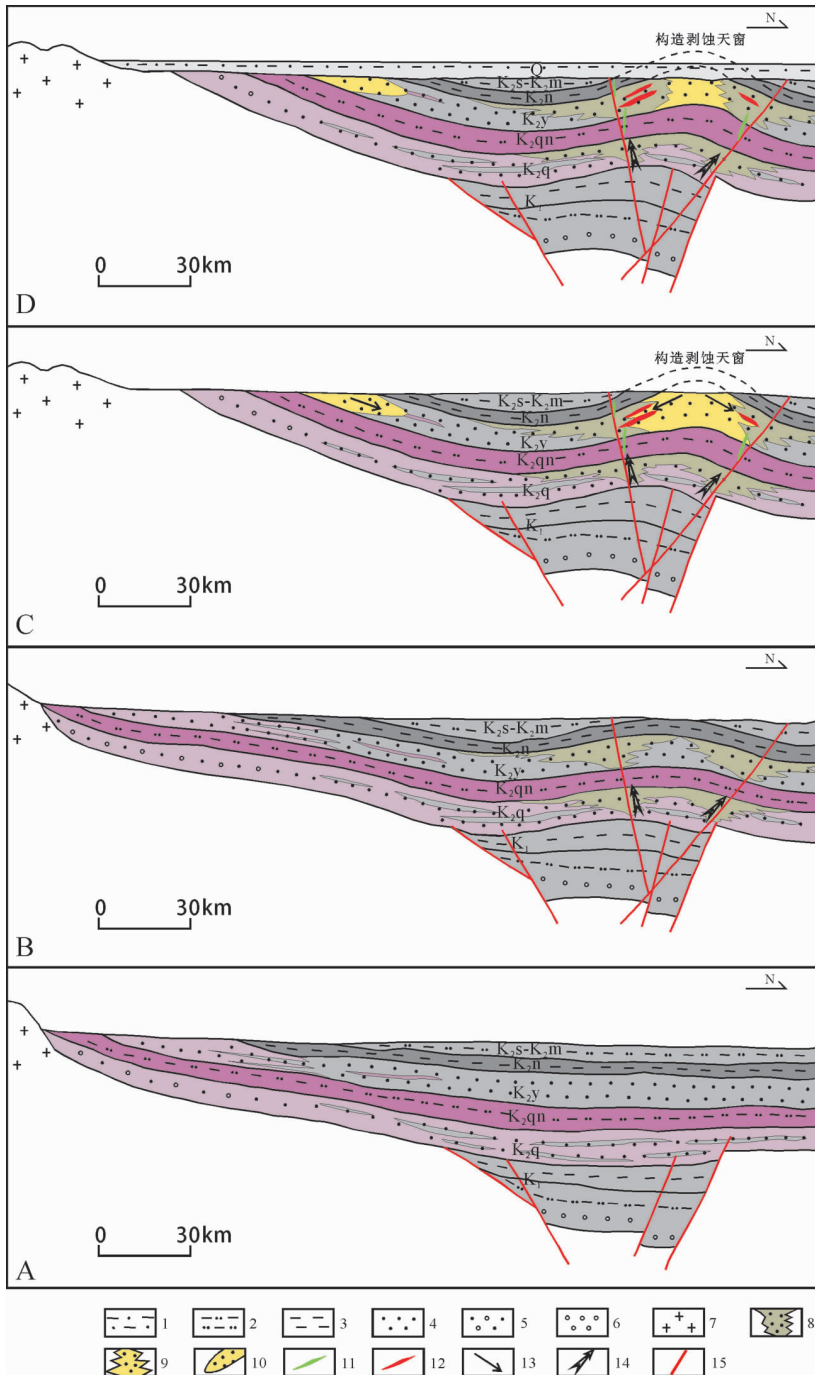


图 10 通辽式砂岩铀矿成矿演化图

A—原生沉积铀预富集阶段; B—油气、煤层气还原铀再富集阶段; C—层间氧化铀叠加成矿阶段; D—油气、煤层气二次还原及第四系覆盖保矿阶段

1—砂质粘土层; 2—粉砂质泥岩; 3—泥岩; 4—砂岩; 5—含砾砂岩; 6—砾岩; 7—花岗岩; 8—浅灰绿色褪色化砂岩; 9—局部氧化带; 10—区域氧化带; 11—辉绿岩脉; 12—矿体; 13—含铀含氧水运移方向; 14—油气、煤层气有机流体(含铀)运移方向; 15—断层。K₁—下白垩统; K_{2q}—泉头组; K_{2qn}—青山口组; K_{2y}—姚家组; K_{2n}—嫩江组; K_{2s}—四方台组; K_{2m}—明水组

Fig.10 Metallogenic evolution diagram for the Tongliao pattern sandstone-type uranium deposit

A— Uranium preconcentration stage of original sedimentation ; B—Uranium reconcentration stage of oil-gas, coal-bed gas reduction ; C—Uranium superimposition and ore-formation stage of interlayer oxidation ; D—Uranium preserving stage of secondary reduction by oil gas, coal-bed gas and Quaternary covering

1—Sandy clay bed; 2—Silty mudstone; 3—Mudstone; 4—Sandstone; 5—Pebble sandstone; 6—Conglomerate; 7—Granite;

8— Grey-greenish faded sandstone; 9—Local oxidation zone; 10—Regional oxidation zone; 11—Diabase dike; 12—Ore body;

13— Migration direction of oxygen and uranium-bearing water; 14—Migration direction of uranium-bearing oil gas, coal-bed gas and organic fluid; 15—Fault. K₁—Lower Cretaceous; K_{2q}—Quantou Formation; K_{2qn}—Qingshankou Formation; K_{2y}—Yaojia Formation; K_{2n}—Nenjiang Formation; K_{2s}—Sifangtai Formation; K_{2m}—Mingshui Formation

不能因此而怀疑客观存在的资源潜力。

提示之三:要从潜在资源最终变为较为集中和整体的现实资源,必须要有长远的战略部署和强有力的组织实施措施。找矿周期较长,总体部署一旦确定,绝不可轻易动摇,特别是在投入十分有限、整体萎缩的时期,更应集中重点类型、重点地区抓重点突破。

6种新的砂岩型铀矿只是在特定历史条件下,集中十分有限的工作量,运用先进理论和先进技术取得的突破。由此获得的提示,相信一定会有助于克服由于对中国铀资源状况和铀成矿条件缺乏了解而产生的“中国贫铀”的论点,有助于消减来自方方面面的对中国铀资源保障能力的顾虑和担心。新形势下铀矿勘查的基本方针应是“以铀为主、综合找矿、系统勘查、整体评价”和“深浅结合,积极开辟深部找矿空间;点面结合,积极推进新区找矿”。基本结论是:中国是铀资源较丰富的国家之一,国家对铀资源勘查应坚定信心,完全有理由坚信,只要进一步理顺体制机制,坚持稳定长效的投入,坚持合理部署和科学勘查,坚持立足国内的同时大力开拓国外,中国核电发展所需要的铀资源就一定能得到保证。

参考文献 (References):

- [1] 张金带,徐高中,等.我国可地浸砂岩型铀成矿模式初步探讨[J].铀矿地质,2005,21(3):139-145.
Zhang Jindai, Xu Gaozhong, et al. Preliminary discussion on uranium metallogenic models of China's in-situ leachable sandstone-type uranium deposits [J]. Uranium Geology, 2005, 21(3):139-145(in Chinese with English abstract).
- [2] 张抗.鄂尔多斯断块构造和资源[M].西安:陕西科学技术出版社,1989:29-42.
Zhang Kang. Block Structure and Resources of the Ordos[M].Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1989:29-42(in Chinese).
- [3] 袁效奇,傅智雁,王喜富,等.中国北方侏罗系(V)鄂尔多斯地层区[M].北京:石油工业出版社,2003:58-61.
Yuan xiaoqi, Fu Zhiyan, Wang Xifu, et al. The Jurassic Strata area of the Ordos in Northern China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003:58-61(in Chinese).
- [4] 焦贵浩,王同和,郭绪杰,等.二连裂谷构造演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2002:12-30.
Jiao Guihao, Wang Tonghe, Guo Xvjie, et al. Tectonic Evolution and Hydrocarbon of Erlian Rift [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2002:12-30(in Chinese).
- [5] 李思田,卢宗盛,李祯,等.含能源盆地沉积体系[M].武汉:中国地质大学出版社,1996:32-33.
Li Sitian, Lu Zongsheng, Li Zhen, et al. Depositional System in Energy-Resources-Bearing Basins[M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1996:32-33(in Chinese).
- [6] 徐高中.吐哈盆地南缘构造演化及其对层间氧化带砂岩型铀成矿作用影响[J].铀矿地质,2003,19(3):137-140.
Xu Gaozhong. Tectonic evolution and its control over ore-formation of interlayer oxidized zone sandstone-type uranium deposit at southern margin of Turpan-Hami basin [J]. Uranium Geology, 2003, 19(3): 137-140(in Chinese with English abstract).
- [7] 权建平,徐高中,李卫红,等.十红滩砂岩型铀矿床成矿控制因素与成矿模式研究[J].铀矿地质,2006,22(1):10-16.
Quan Jianping, Xu Gaozhong, Li Weihong, et al. Study on ore-controlling factors and metallogenic model of Shihongtan sandstone-type uranium deposit[J]. Uranium Geology, 2006, 22(1): 10-16(in Chinese with English abstract).
- [8] 林锦荣,董文明,夏毓亮,等.松辽盆地东南部康平-门达-梨树地区1:25万铀资源区域评价[C]//核地质科技论文集.北京:地质出版社,2009:108-116.
Lin Jinrong, Dong Wenming, Xia Yuliang, et al. Regional evaluation of uranium resources on the scale of 1: 250,000 in Kangping-Menda-Lishu area, southeast of Songliao Basin [C]// Geological Science and Technology Proceedings of Nuclear, Beijing: Geological Publishing House, 2009:108-116(in Chinese).
- [9] 林锦荣,田华,董文明,等.松辽盆地东南部铀矿找矿目的层原生地球化学类型与后生蚀变作用[J].铀矿地质,2009,25(4):202-207.
Lin Jinrong, Tian Hua, Dong Wenming, et al. Original geochemical types and epigenetic alteration of rocks in prospecting target stratum for uranium deposit in the southeast of Songliao basin [J]. Uranium Geology, 2009, 25(4):202-207(in Chinese with English abstract).
- [10] 林锦荣,田华,董文明,等.松辽盆地东南部油气、煤层气后生蚀变硫同位素特征[J].世界核地质科学,2009,26(2):63-67.
Lin Jinrong, Tian Hua, Dong Wenming, et al. Characteristics of sulfur isotope during the epigenetic alteration of oil-gas and coalbed methane in the southeastern Songliao Basin [J]. World Nuclear Geoscience, 2009, 26 (2):63-67 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张金带.我国铀资源潜力概略分析与铀矿勘查战略[J].铀矿地质,2004,20(5):260-265.
Zhang Jindai. Summarized analysis on potential of uranium resources in China and strategy for uranium geologic exploration[J]. Uranium Geology, 2004, 20(5):260-265(in Chinese with English abstract).
- [12] 张金带,李友良,简晓飞,等.“十五”期间铀矿勘查主要成果及“十一五”的总体思路[J].铀矿地质,2007,23(1):1-6.
Zhang Jindai, Li Youliang, Jian Xiaofei, et al. Significant achievements in “10th five-year plan” period and primary guidance in “11th five-year plan” period on uranium exploration [J]. Uranium Geology, 2007, 23 (1):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张金带,李友良,简晓飞.我国铀资源勘查状况及发展前景[J].中国工程科学,2008,10(1):54-60.
Zhang Jindai, Li Youliang, Jian Xiaofei. Situation and development

prospect of uranium resources exploration in China[J]. Engineering Sciences, 2008, 10(1):54-60(in Chinese with English abstract).

[14] 张金带. 中国铀资源的潜力与前景[J]. 中国核工业, 2008:18-21.

Zhang Jindai. Potential and prospect of uranium resources in China [J]. China Nuclear Industry, 2008:18-21 (in Chinese with English abstract).

The implication of six kinds of new sandstone-type uranium deposits to uranium resources potential in North China

ZHANG Jin-dai¹, XU Gao-zhong², LIN Jin-rong³, PENG Yun-biao⁴, WANG Guo⁵

(1. Bureau of Geology, CNNC, Beijing 100013, China; 2. No. 203 Research Institute, CNNC, Xiayang 712000, Shaanxi, China; 3. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 4. No. 208 Geological Party, CNNC, Baotou 014010, Inner Mongolia, China; 5. No. 216 Geological party, CNNC, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: Through ten years' effort, six kinds of new large and superlarge sandstone-type uranium deposits have been found and explored in Mesozoic-Cenozoic sedimentary basins within North China, which are named temporarily as Yili pattern, Turpan-Harmi pattern, Dongsheng pattern, Ulanchap pattern, Manite pattern and Tongliao pattern. They occur in sedimentary basins of different tectonic settings and are different in deposit geology, ore body geology and controlling factors., but they have some common basic characteristics in metallogenic evolution. In Yili pattern and Turpan-Harmi pattern, mineralization is of typical interlayer redox feature; nevertheless, the former pattern is characterized by uranium superimposition and enrichment under the condition of whole uplift of monocline or different uplifting and falling conditions of ore-bearing strata, whereas the latter pattern is characterized by mineralized zonation on the southern and northern sides of the fault superimposed on the structural slope and small anticline structure under tectonic uplifting. In Dongsheng pattern, mineralization is mostly dominated by paleo-interlayer oxidation zone modified by later reduction; in Ulanchap pattern, mineralization is closely related to the evolution of lake flooding events; In Manite pattern, mineralization is of paleovalley type formed by alternation between phreatic redox and interlayer redox; in Tongliao pattern, mineralization is controlled by "tectonic window, fault and reducing matters in the deep part", and is also probably related to dikes of basic rock (heat source). In the above six patterns, a rule may occur in their rock assemblage from west to east. The west three pattern are controlled by Upper and Middle Jurassic coal-bearing clastic rocks, while the east three patterns are controlled by Lower Cretaceous argillaceous sandstone and fine sandstone. It is indicated that the discovery and exploration of the six new kinds of sandstone-type uranium deposits not only strengthen insurable capability of uranium resources in China but also indicate the orientation and deploy for uranium resources potential evaluation and prospecting in the future.

Key words: North China; sandstone-type uranium deposit; potential of uranium resources; implication

About the first author: ZHANG Jin-dai, male, born in 1956, senior engineer, engages in exploration of uranium deposit; E-mail: jindai@bog.com.cn.