

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.03.005

二连盆地乌兰察布坳陷西部赛汉塔拉组 下段砂岩型铀矿成矿模式

彭云彪^{1,2}, 鲁超^{1,2,3}

(1. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 核工业 208 大队, 内蒙古 包头 014040;
3. 构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘 要:二连盆地乌兰察布坳陷西部砂岩型铀矿勘查中新发现了深部层位的工业铀矿化,但其时代归属尚不明确。经沉积学和层序地层学研究发现,乌兰察布坳陷西部赛汉塔拉组发育三级层序 A (赛汉塔拉组下段层序)和层序 B (赛汉塔拉组上段层序)。在层序 A 中还可以划分出低位体系域(LST)、湖扩体系域(EST)和高位体系域(HST)。以往二连盆地砂岩型铀矿主要产于层序 A 的 HST 和层序 B 的 LST;而经古生物、岩石地层和层序地层学对比研究发现,乌兰察布坳陷西部新发现的工业铀矿化产于层序 A 的 LST。层序 A 的 LST 的成矿能力取决于含煤岩系还原介质和骨架砂体的规模。辫状河三角洲沉积体系中的辫状分流河道砂体是最有利的铀储层。沿富铀的卫境岩体形成近百米至千米间断发育的潜水-层间氧化带,成矿过程可分为早白垩世沉积期铀的预富集、晚白垩世至古近纪古新世成矿作用、古近纪始新世至第四纪保矿 3 个阶段,最终建立“断拗控砂体-反转控氧化-还原控矿体”三位一体成矿模式。将新发现的工业铀矿化层厘定为层序 A 的 LST,拓展了二连盆地乌兰察布坳陷西部找矿前景。

关键词:砂岩型铀矿;层序;赛汉塔拉组;含煤岩系;二连盆地

中图分类号:P619.14

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2019)03-0046-12

Metallogenic Model of Sandstone-Type Uranium Deposits in the Lower Section of Saihantala Formation, Western Ulancharu Depression, Erlian Basin

PENG Yunbiao^{1,2}, LU Chao^{1,2,3}

(1. School of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Geological Party No. 208, CNNC, Baotou 014010, Neimengu, China; 3. Key Laboratory of Structure and Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: Industrial uranium mineralization in deep strata has been newly discovered during the exploration of sandstone-type uranium deposits in Western Wulanchabu Depression, Erlian Basin, but its age attribution is still unclear. Sedimentary and sequence stratigraphy studies show that three-stage sequence A (lower Seihantala sequence) and sequence B (upper Seihantala se-

收稿日期:2019-02-01; **修回日期:**2019-04-09

基金项目:核工业地质局项目“内蒙古二连盆地铀矿资源调查评价与勘查”(2019~2021)、“内蒙古二连盆地乌兰察布坳陷及南缘铀矿资源调查评价”(2019~2021)、“二连盆地马尼特-乌兰察布坳陷砂岩型铀矿综合编图及动态评价”(2019~2020)

作者简介:彭云彪(1964-),男,总工程师,研究员,从事砂岩型铀矿科研和生产工作。E-mail:56709507@qq.com

quence) are developed in the Saihantala Formation in Western Ulanhabu Depression. Sequence A can also be divided into low system tract (LST), lake spreading system tract (EST) and high system tract (HST). In the past, sandstone-type uranium deposits in Erlian basin were mainly produced in HST of sequence A and LST of sequence B, while the newly discovered industrial uranium mineralization in the western part of Wulanchabu depression was found in LST of sequence A through the paleontological, lithostratigraphic and sequence stratigraphic comparative studies. The LST metallogenic ability of sequence A depends on the size of reducing medium and skeleton sand body of coal-bearing rock series. The braided distributary channel sand body in braided river delta sedimentary system is the most favorable uranium reservoir. Nearly 100 kilometers of intermittent phreatic-interlayer oxidation zone was formed along the uranium-rich satellite rocks. The uranium metallogenic process can be divided into three stages: the pre-enrichment of uranium during early Cretaceous sedimentary period, the metallogenic process from late Cretaceous to Paleogene Paleocene, and the preservation of uranium from Paleogene Eocene to Quaternary. Finally, a trinity metallogenic model of "fault-controlled sand body-reverse-controlled oxidation-reduction-controlled ore body" has been established in this paper. The newly discovered industrial uranium mineralization layer is defined as LST of sequence A, which expands prospecting prospects in the western part of Ulanhabu Depression, Erlian Basin.

Keywords: sandstone-type uranium deposit; sequence; Saihantala Formation; coal-bearing series; Erlian Basin

在二连盆地乌兰察布坳陷西部地区,核工业二〇八大队发现了努和廷特大型泥岩型铀矿床;在乌兰察布坳陷的东部地区,发现了“巴-赛-齐”古河谷砂岩型铀矿带。在乌兰察布坳陷西部的其他地区,工作程度较低。该区前期的工作主要针对上白垩统二连组进行勘探,钻孔相对集中,钻孔深度一般为100~200 m,普遍较浅,对该区深部赛汉塔拉组和腾格尔组的评价较弱。在乌兰察布坳陷西部,核工业二〇八大队2009年在卫境岩体东南缘努和廷矿床以西发现了道尔苏矿产地,这是产于赛汉塔拉组下段上部的辫状河三角洲砂体内的与煤层有关的同沉积叠加后生改造型铀矿。2016年核工业二〇八大队在科研工作基础之上开展深部找矿工作,在赛汉塔拉组下段下部发现了层间氧化带型的工业铀矿化,这预示着该区深部找矿发现了一个全新的层位,而该层位的砂体和氧化带都具有一定的规模,显示了较好的深部找矿前景。

层序地层单元与铀成矿作用关系密切(FRANZ, 1993; 焦养泉等, 2004),通过层序地层研究能有效预测铀成矿有利空间(MAITHANI, 1995; JIAO Yangquan et al., 2005)。在乌兰察布坳陷西部,除了层序地层控制还有几个重要的控制

因素。①赛汉塔拉组本身是含煤岩系发育大量还原介质。②北西缘的边界反转断裂控制了潜水-层间氧化和砂岩铀矿的形成。③层序A的LST的辫状河三角洲沉积体系是最有利的铀储层。④近邻的北西富铀的卫境岩体提供了铀的物质来源。

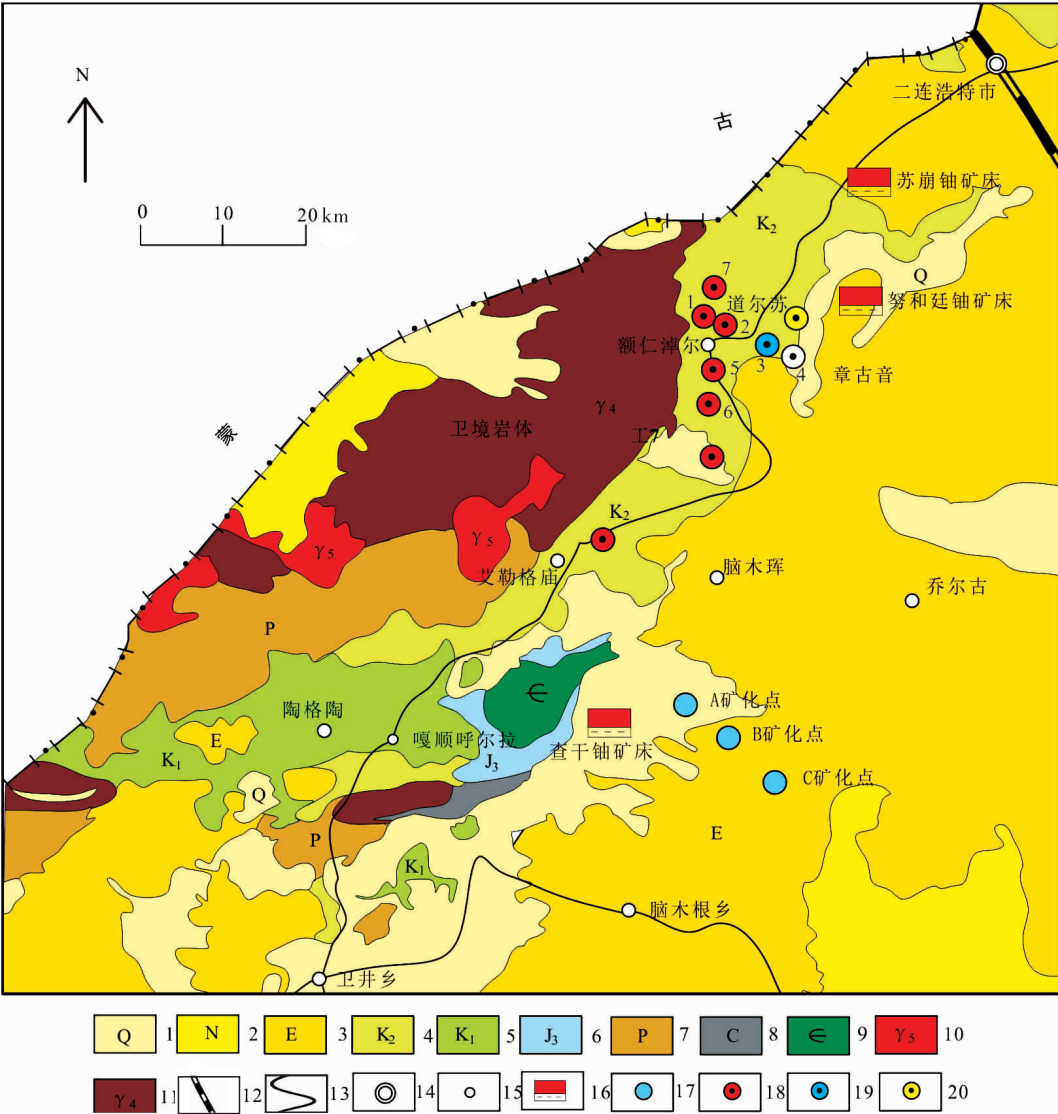
道尔苏矿产地含矿目的层地层归属存在多种争议,主要有2种。一种认为是二连组,成矿机理和成矿模式与努和廷矿床类似;另一种认为是腾格尔组,成矿机理为沉积成岩叠加后生改造型。新发现的铀矿化层位处于道尔苏铀矿化层位下部,其层位归属仍存在争议。笔者针对乌兰察布坳陷西部新发现的铀矿化的层位归属问题进行研究,并系统研究该区沉积体系特征及其与铀矿化关系,进行沉积学解释,探讨成矿作用和成矿模式,并进一步进行找矿潜力分析。

1 区域地质背景

乌兰察布坳陷基底和蚀源区中广泛发育华力西期—燕山期中酸性岩浆岩(图1),铀含量较高,平均U含量为 $3.6 \times 10^{-6} \sim 8.3 \times 10^{-6}$,为坳陷铀成矿作用提供了主要的铀源。岩浆岩带主体为卫境岩体,

为华力西晚期黑云母花岗岩,测 U 含量为 $2.9 \times 10^{-6} \sim 5.7 \times 10^{-6}$,计算原始 U 含量为 19.5×10^{-6} ,活化丢失 57%;燕山期西里庙岩体现测 U 含量为 $0.9 \times 10^{-6} \sim 31.5 \times 10^{-6}$,计算原始 U 含量为

17.8×10^{-6} ,活化丢失 49%。华力西期—燕山期中酸性侵入岩是本区主要的铀源层(体),元古宇变质岩及上古生界中酸性火山岩等是本区次要的铀源层。



1. 第四系;2. 新近系;3. 古近系;4. 上白垩统二连组;5. 下白垩统赛汉塔拉组;6. 上侏罗统;7. 二叠系;8. 石炭系;9. 寒武系;10. 侏罗系花岗岩;11. 二叠系花岗岩;12. 铁路;13. 乡镇公路;14. 市;15. 乡镇(村);16. 沉积成岩型铀矿床;17. 铀矿点;18. 砂岩型工业铀矿孔;19. 铀矿化孔;20. 铀异常孔

图 1 乌兰察布坳陷西部铀矿地质图

Fig. 1 Geological map of uranium deposits in Western Ulanqab Depression

乌兰察布坳陷是一个铀、煤以及石油、天然气共存的坳陷。其西部主要由陶格陶、艾勒格庙、额仁淖尔、卫井和脑木根 5 个地段组成,总体呈北东向展布,坳陷北缘为卫境岩体。其构造活动主要经历了早白垩世早中期(阿尔善期和腾格尔期)活动的断陷

盆地发育期、早白垩世晚期(赛汉塔拉期)的断拗转换期和晚白垩世—新近纪稳定的裂后及间歇性构造反转发育期。早白垩世阿尔善期(K_{1a}),乌兰察布坳陷西部主要的凹陷快速下陷,古地形高差悬殊,主要接受一套充填式混杂堆积;腾格尔期(K_{1t})沉积期

作为裂陷Ⅱ幕的早、中期,沉降速率大于沉积速率,导致了较长期的欠饱和深水湖泊的发育,是最主要的生油岩系;赛汉塔拉期(K_1s),断陷活动从早期(赛汉组下段)的急剧减弱到晚期(赛汉组上段)的断陷活动基本停止,乌兰察布坳陷西部进入到断拗转换期发育阶段。主要发育辫状河三角洲和辫状河沉积体系,具备层间氧化带型铀成矿的有利条件;晚白垩世二连期(K_2e),乌兰察布坳陷西部在整体抬升的背景下发生局部沉降,形成浅水湖泊沉积,具备泥岩型铀矿的有利条件;古近纪—新近纪($E-N$),乌兰察布坳陷西部具有间歇性整体沉降特点,在准平原化地貌背景下接受曲流河和湖泊沉积。

赛汉塔拉组沉积后在乌兰察布坳陷的许多区域

发生了明显的反转作用(马新华,2000;蔡希源,2001;鲁超,2016),造成了赛汉组上段遭受剥蚀,不同地段剥蚀程度不一。同沉积期构造性质和沉积期后构造活动特点均为铀成矿作用的重要条件。

二连盆地赛汉塔拉组主要可以划分为 2 个三级层序,包括层序 A 和层序 B(表 1),在乌兰察布坳陷东部,主要的产铀层位为赛汉塔拉组层序 B。乌兰察布坳陷西部含矿目的层赛汉塔拉组主要为一套断陷阶段形成的泥-砂-砾混杂堆积夹细碎屑岩建造,该沉积环境与赛汉早期断陷-坳陷转换阶段和腾格尔期断陷阶段相对应(表 1)。研究区含矿岩性主要为一套灰色、深灰色夹煤线的碳质泥岩和细砂岩,古气候应是温暖-温热的沉积环境。

表 1 乌兰察布坳陷构造背景与沉积环境演化表
Tab. 1 Tectonic setting and evolution table of sedimentary environment in Ulanhab Depression

地层、层序	构造		古气候	沉积体系
	构造阶段	厚度(m)		
腾格尔组	断陷	500~2 000	温湿	深湖
赛汉塔拉组下段层序 (层序 A)	断拗转换 早期	200~500	温热	辫状河(扇)三角洲-湖泊
赛汉塔拉组上段层序 (层序 B)	断拗转换 晚期	100~400	半温湿-半干旱	辫状河、曲流河及湖泊
二连组	盆地萎缩	<150	半干旱-干旱	河流-湖泊
古近系	差异升降	<120	干旱	河流-湖泊

2 新工业铀矿化的层位归属

在乌兰察布坳陷西部,2009 年核工业二〇八大队在努和廷矿床以西发现了道尔苏矿产地,这是产于辫状河三角洲内的与煤层有关的同沉积叠加后生改造型铀矿。

通过近年在乌兰察布坳陷西部的钻探查证工作,在道尔苏矿产地的基础上对该区深部勘查取得了新进展,共发现 3 个工业铀矿孔、7 个铀矿化孔。新的勘查发现乌兰察布坳陷西部主要产铀层位是赛汉塔拉组层序 A,其中在层序 A 的 LST 首次发现了工业铀矿化,多种成矿条件显示该层位也具备较好成矿潜力。

笔者通过多种因素对比分析,最终认定新发现工业铀矿化主要产于层序 A 的低位体系域(LST)。

2.1 标志层证据

在二连盆地,赛汉塔拉组下段发育褐煤层和碳质泥岩,是主要的含煤岩系。通过钻孔追踪对比发现,赛汉塔拉组下段的湖相-沼泽层具有极好的稳定性,在二连盆地五大坳陷中都有分布。由于其受构造背景控制,煤层或碳质泥岩稳定,覆盖范围广,可在全盆地范围内进行对比,可作为全区对比的标志层。乌兰察布坳陷西部钻孔中多见煤线和碳质泥岩,且与铀矿化有关。

2.2 地层结构与沉积体系构成证据

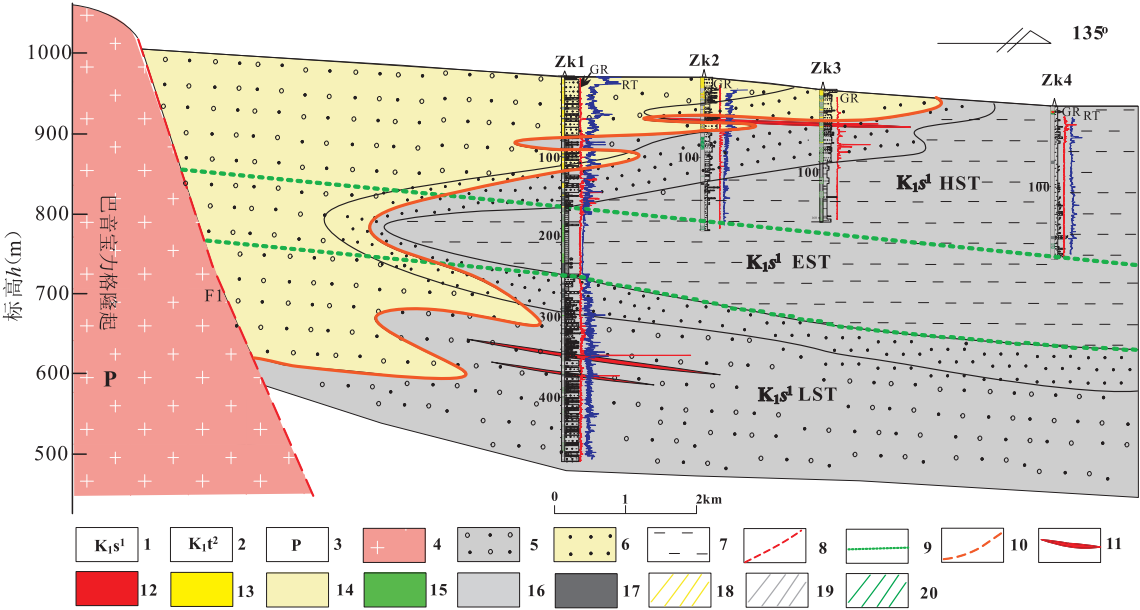
根据赛汉塔拉组“粗-细-粗-细”的岩性特征可以将赛汉塔拉组岩石地层单元划分为以下 4 部分。赛汉塔拉组下段下部——三角洲-湖泊沉积层为赛汉塔拉组下段的下亚段($K_1S_1^I$);上部的湖相-沼泽层为赛汉塔拉组下段的上亚段($K_1S_2^I$);赛汉塔拉组上段的大型河流-三角洲地层为赛汉塔拉组上段的

下亚段($K_1S_2^1$),上部河流泛滥平原及废弃三角洲平原为赛汉塔拉组上段的上亚段($K_1S_2^2$)。岩石结构表明赛汉塔拉组下段和赛汉塔拉组上段均呈现“粗-细-粗”的地层结构。赛汉塔拉组断拗期发育较为特殊的沉积体系(GALLOWAY, W E, 1998),广大区域主要为河流相、三角洲相等粗碎屑岩沉积(祝玉衡等, 2000; 卫三元等, 2006; 焦贵浩等, 2003; 杜金虎等, 2003; 鲁超等, 2013)。乌兰察布坳陷西部含矿目的层主要为一套辫状河三角洲沉积,与二连盆地中部主要沉积盖层沉积环境相比较,符合赛汉塔拉组下段以辫状河三角洲沉积为主到赛汉塔拉组上段以辫状河沉积为主演化的特征。

$K_1S_1^1$ 对应赛汉塔拉组下段层序的低位体系域[LST($K_1S_1^1$)], $K_1S_2^1$ 对应赛汉塔拉组下段层序的湖扩体系域和高位体系域[EST - HST($K_1S_1^1$)], $K_1S_2^2$ 对应赛汉塔拉组上段层序的低位体系域[LST

($K_1S_2^2$)], $K_1S_2^2$ 对应赛汉塔拉组上段层序的湖扩体系域和高位体系域[EST - HST($K_1S_2^2$)]。这对于赛汉塔拉组区域地层的对比和地层单位的划分及含矿层位的确定起关键作用。

三级层序内部垂向发育“粗-细-粗”的地层结构(LARNBIASE, 1990; KEEN, 1993; 林畅松等, 2004; 李思田等, 2004; 严德天等, 2008),二连盆地赛汉塔拉组下段具有“粗-细-粗”的地层结构(图 2),构成完整的三级小层序。上部为进积型沉积层(高位体系域),铀矿化主要产于辫状河三角洲前缘亚相河道间湾微相中,属同沉积叠加后生改造型铀矿(道尔苏矿产地);中部为湖泊沉积层,主要为暗色泥岩层(湖扩体系);下部为退积型沉积层(低位体系),铀矿化产于辫状河三角洲平原亚相的辫状河道砂岩中,钻孔证实退积型辫状河三角洲砂体在该区广泛分布,并且发现铀矿体。



1. 下白垩统赛汉塔拉组下段; 2. 下白垩统腾格尔组; 3. 二叠系; 4. 花岗岩; 5. 辫状河三角洲平原砂体; 6. 辫状河三角洲前缘砂体; 7. 前三角洲泥岩; 8. F₁ 反转断层; 9. 体系域边界; 10. 氧化带前锋线; 11. 铀矿体; 12. 红色岩石; 13. 亮黄色岩石; 14. 黄色岩石; 15. 绿色岩石; 16. 灰色岩石; 17. 深灰色岩石; 18. 浅黄色岩石; 19. 浅灰色岩石; 20. 浅绿色岩石
(注: ZK2 和 ZK3 为 2009 年发现, ZK1 为 2016 年发现)

图 2 乌兰察布坳陷西部典型钻孔剖面图

Fig. 2 Typical borehole profiles in Western Wulanchabu Depression

2.3 孢粉证据

二连盆地早白垩纪赛汉塔拉期三大类植物以蕨类孢子及裸子类花粉为主,被子类花粉很少(凡秀君等, 2008),与阿尔善期和腾格尔期被子类花粉较多

发生明显的变化。以 *Appendicisporites - Laevigatosporites - Angiosperm* 组合带为主(短突肋纹孢属-光面单缝孢属-被子类花粉)。乌兰察布坳陷西部钻孔 3(图 1)中蕨类孢子丰富多彩,其中海金砂

科分子无突肋纹孢属 *Cicatricosisporites*, 凹边瘤面孢属 *Concavissimisporites*, 非均饰孢属 *Impardecispora* 较多, 无突肋纹孢属 (*Cicatricosisporites*) 属于海金砂科的带肋条的无突肋纹孢, 是目前划分侏罗系与白垩系界线的最重要的标志化石。卷柏科分子 (拟套环孢属 *Densoisporites* 为主) 比较常见。裸子类花粉中以无缝双囊粉类 *Dissacciatrileti* 为主体, 其中气囊分化完善的松科 *Pinaceae* 组分含量高于气囊分化欠佳的古老类型松柏类分子。单远极沟类花粉 (以苏铁粉属 *Cycadopites* 为主) 常见; 钻孔 3 中孢粉组合以丰富多彩的蕨类孢子和无缝双囊粉类 *Dissacciatrileti* 为主体, 还有零星见到一些被子类花粉为特征, 为多孔粉、网纹三沟粉、壳斗粉、三沟粉以及坚实三拟孔沟粉等, 数量少但类型较多, 产出时代局限性强。这些分子在内蒙古二连盆地全部产于早白垩世晚期, 与二连盆地地下白垩统赛汉塔拉组的孢粉组合特征比较一致, 故认为层位定为下白垩统赛汉塔拉组较为妥当, 地质时代相当于早白垩世阿普第 (Aptian) 期。

组合中有一定含量并普遍出现的希指蕨孢 (*Schizaeoisporites*), 该孢粉至早白垩世晚期开始增加, 早白垩世晚期一晚白垩世为该类孢子最繁盛时期。在本组合中这类孢子显示了开始增加的特征, 但未达到繁盛时期; 孢粉中出现大量的拟云杉粉属、假云杉粉属、拟苏铁粉属、方杉粉属、雪松粉属等裸子植物花粉和母体植物时, 代表了温暖、潮湿的古气候环境。其中杉粉 (*Taxodiaceacollenites*) 出现高含量阶段反映了中国北方早白垩世晚期孢粉特征。赛汉塔拉组内只有赛汉塔拉早期为温暖、潮湿的气候环境, 因此, 该孔层位定为赛汉塔拉组下段。

综上所述, 可以分析出前人发现的乌兰察布坳陷西部赛汉塔拉组铀矿化主要产于赛汉塔拉组下段高位体系域 (HST) (图 3), 新发现的深部铀矿化定位于赛汉塔拉组下段低位体系域 (LST)。

3 沉积体系分析与含矿性关系

3.1 成因标志分析

砂分散体系图中显示该区赛汉组下段主要发育源自巴音宝力格隆起的朵体。赛汉组下段低位体系域、湖扩体系域和高位体系域都有砂体发育, 但砂体结构、构造和受改造、蚀变等特征有所区别, 但整体

上的特征反映出是近源的辫状河三角洲沉积。

赛汉组下段高位体系域常见大量碳屑层及薄煤线, 为泥炭沼泽沉积, 砂体叠置形式在垂向序列上常表现为倒粒序, 常见“漏斗形”测井曲线 (图 3)。砂岩常见砂质砾状结构, 普遍含有砾岩, 分选较差, 砾石磨圆分选较差, 反映了近源沉积特点, 结合常见“倒粒序”特征, 该层位应以辫状河三角洲前缘为主。

赛汉组下段湖扩体系域常见水生植物化石和双壳类化石, 发育较厚层的泥岩, 反映了其为湖泊沉积 (图 3)。

赛汉组下段低位体系域常见夹碳屑层或含大量块状碳屑或细分散状碳屑的灰色砂岩, 砂体叠置形式主要表现为正粒序和倒粒序互层, 常见“漏斗形”和“钟形”测井曲线组合 (图 3)。砂岩呈砂质砾状结构, 具有“含斑性”, 砾石呈次棱角状, 分选较差, 反映较为近源沉积, 反映为辫状河三角洲平原分流河道或者辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积。

3.2 沉积体系分析

根据岩心、钻孔垂向序列等的分析, 赛汉塔拉组下段可以识别出扇三角洲、辫状河三角洲、辫状河、冲积扇和湖泊沉积体系。其中层序 A 的 HST 和 LST 主要的产铀体系为辫状河和辫状河三角洲体系 (图 4)。

3.3 沉积体系与铀矿化关系

层序 A 具有“粗-细-粗”的地层结构, 构成完整的三级小层序。上部为进积型沉积层 (HST) (图 3), 铀矿化主要产于辫状河三角洲前缘亚相河道间湾微相中 (图 4), 属同沉积叠加后生改造型铀矿 (道尔苏矿产地); 中部为湖泊沉积层, 主要为暗色泥岩层 (EST); 下部为退积型沉积层 (LST), 铀矿化产于辫状河三角洲平原亚相的辫状河道砂岩中 (图 3、图 5)。钻孔证实退积型辫状河三角洲砂体在该区的 LST 和 HST 广泛分布, 并且发现铀矿体, 具有较好的铀成矿前景。

层序 A 的 HST 和 LST 辫状河三角洲平原内沼化洼地中沉积灰黑色泥岩、碳质泥岩和褐煤等夹层, 有利于铀的同沉积吸附。同时由于其上部砂体还原能力较弱, 在后生氧化改造过程中, 水中铀被该层隔挡、还原、吸附, 铀进一步富集形成铀矿体。正是由于层序内部体系域的差异性发育才导致了大型骨架砂体和隔水层的存在形成稳定的“泥-砂-泥”结构, 这种地层结构为多套层间氧化带和铀矿体的发

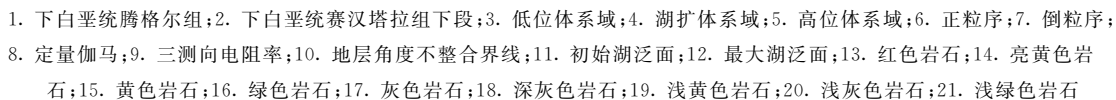


Fig. 3 Vertical sequence diagrams of typical uranium mineralization boreholes in sequence A, LST

该区铀矿化产在早白垩世赛汉塔拉组下段的三

角洲中,成矿贯穿辫状河三角洲的形成、发展和变化的全过程。主要是后生成矿作用,即来自补给区的含铀含氧水渗入到辫状河三角洲砂体中,沿着泥岩隔水层中的透水砂岩迳流,经与砂岩中的还原物质反应,对原生富集的沉积成岩型铀矿化进行改造,使

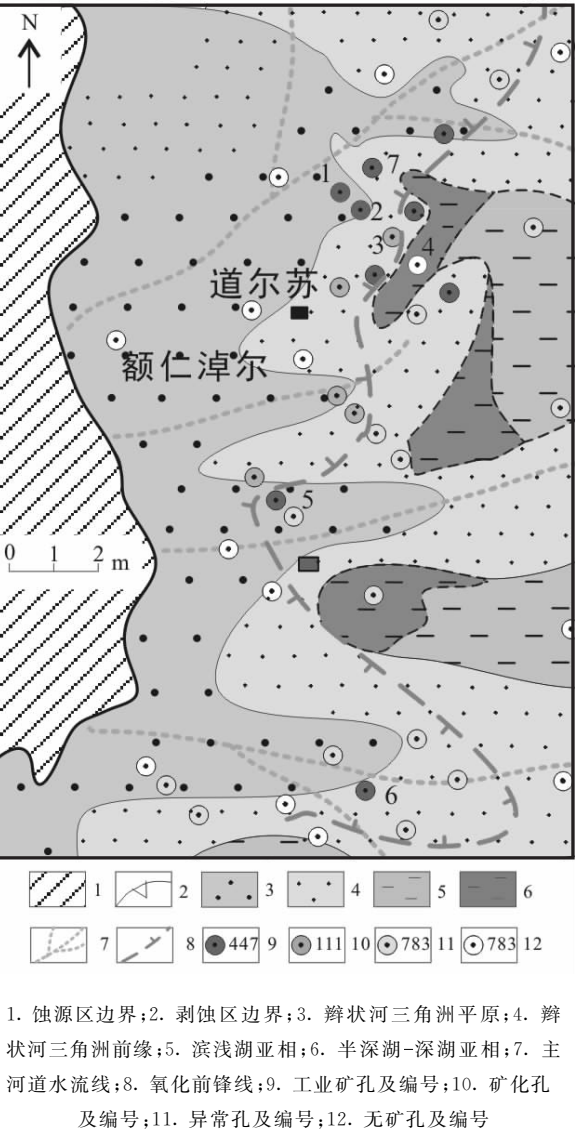


图 4 乌兰察布坳陷西部层序 A 的 HST 沉积体系分布图

Fig. 4 HST Sedimentary System Distribution Map of Sequence A in Western Ulancharu Depression

铀进一步富集。此过程受“补—迳—排”水动力条件、还原能力及构造抬升、构造反转等控制,此成矿模式笔者称之为“断拗控砂体-反转控氧化-还原控矿体”三位一体成矿模式。成矿过程可分为铀的预富集、成矿作用、后期保矿 3 个阶段(图 6)。

4.1 产铀砂体沉积阶段及铀预富集阶段(早白垩世 K_1s)

该阶段乌兰察布坳陷西部为断拗转换期,赛汉塔拉组下段主要发育辫状河三角洲。其物源主要来自西北部及南部隆起区的富铀花岗岩,碎屑及流体中应携带大量的铀,而沉积的砂体中含一定量的碳

屑、黄铁矿等还原介质,使蚀源区搬运的铀得以沉淀,形成铀的预富集,部分地段可达工业品级。

4.2 铀成矿阶段(晚白垩世至古近纪古新世 K_2-E_1)

晚白垩世到古近纪古新世,古气候变为半干旱-干旱,氧化作用发育。由于太平洋板块的运动方向由原来的北西向转向北西西向,乌兰察布坳陷西部呈现弱挤压,具有一定的构造反转现象,尤其是南北两侧隆起的次造山运动造成该区的不均衡抬升,造成西北部缺失晚白垩世到古近纪沉积。 F_1 断裂在这个时期是较强的反转断裂,由于 F_1 断裂的反转,造成赛汉塔拉组整体接受剥蚀,靠近 F_1 断裂的一侧赛汉塔拉组上段遭受剥蚀,赛汉塔拉组下段出露地表,有利于含铀含氧流体的渗入。赛汉塔拉组下段高位体系域辫状河三角洲砂体接受氧化,对原生富集的沉积成岩型铀矿化进行改造,使铀进一步富集。此成矿过程以地下水为搬运介质,辫状河三角洲为赋矿场所,经历铀的活化、迁移和还原沉淀 3 个过程,当含铀含氧流体与还原界面,即地球化学障相遇时,存在黏土质、硫化氢(H_2S)、分散状黄铁矿(FeS_2)和碳屑等还原剂,铀被卸载而沉淀成矿。

在盆地边缘,如道尔苏一带,铀矿主要发育于具有较深水的辫状河三角洲前缘地区,辫状河三角洲前缘的暗色泥岩控制了铀矿的发育。在该区形成辫状河三角洲平原末端的泥炭沼泽也是铀矿的最佳载体。该区砂岩型铀矿主要产出于近端河口坝和下水分流河道中(图 5)。

同时在晚白垩二连期,湖泊发育主要在南东地区,二连组同沉积泥岩同时发育,同沉积泥岩型铀矿主要发育在该区的南东的努和廷等地区。这是努和廷矿床形成的背景。

铀源主要来自西北部卫境岩体长期裸露风化的中酸性花岗岩,这一时期由努和廷同沉积铀矿的 U 的丰度可以判断赛汉塔拉组下段成矿期的铀源是极为丰富的;其次是辫状河三角洲沉积期原生富集的铀,氧化析出岩石中预富集的铀,进行铀的二次富集。

4.3 保矿阶段(古近纪始新世至第四纪 E_2-Q)

古近系始新统沉积物以厚层红色泥岩为主,隔断了古河谷砂体与外界的水力联系,氧化作用基本停止,对已经形成的铀矿体起了保护的作用。

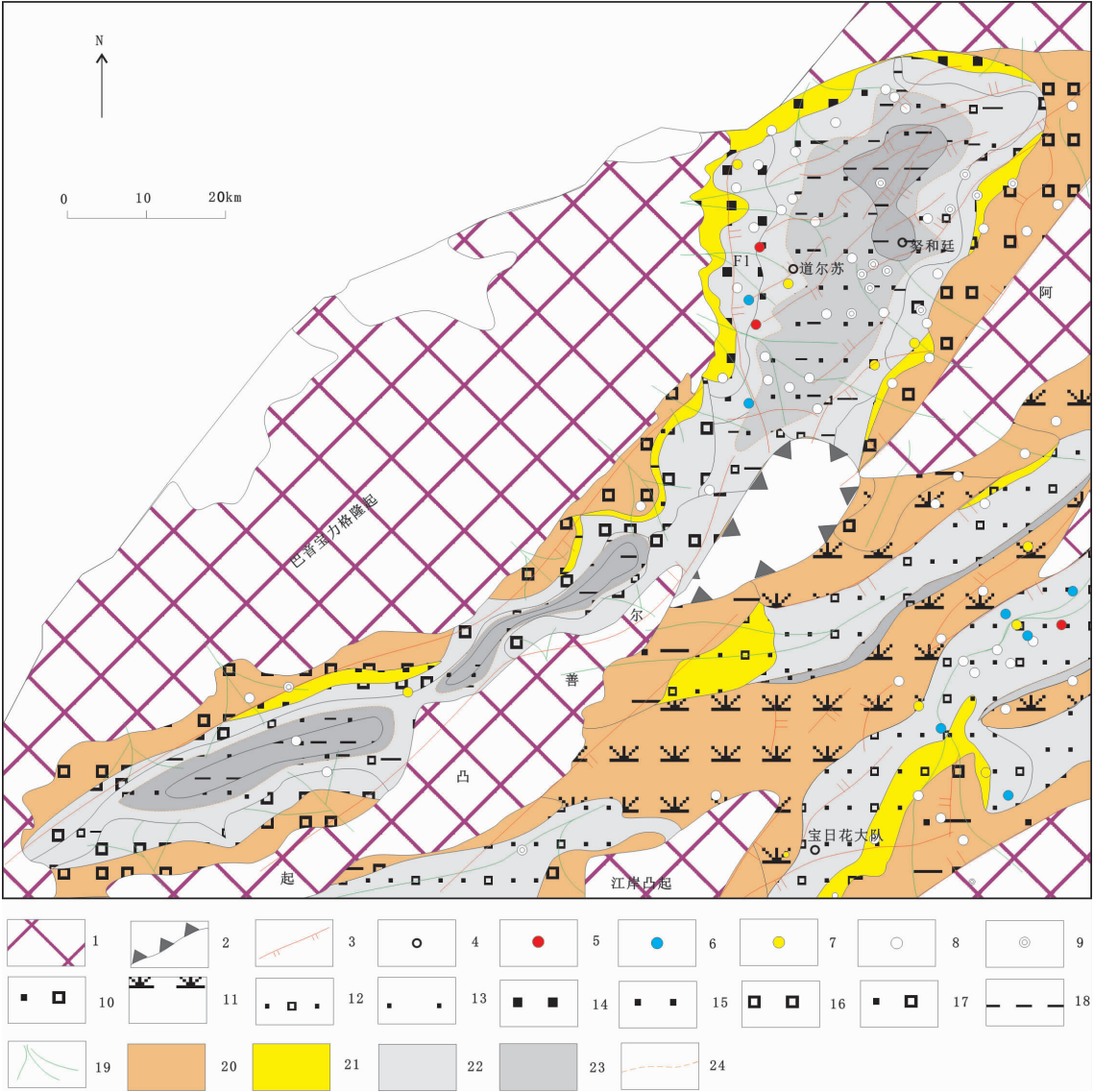


图 5 赛汉塔拉组下段低位体系域沉积体系及岩石地球化学图

Fig. 5 Sedimentary systems and petrogeochemical maps of low-level system tracts in the lower Saihantala Formation

5 找矿方向分析

在乌兰察布坳陷西部,层序 A 的 LST 在乌兰察布坳陷西部陶格陶—艾勒格庙以及额仁淖尔地段北西缘遭受抬升剥蚀直接暴露地表(图 6)。后生氧化作用是本区的主要控矿因素,发育潜水-层间氧化

作用类型,含矿含氧水主要来自凹陷两侧蚀源区(图 6),氧化带的分布范围较小,主要存在氧化还原过渡带。目前,推测北西侧斜坡带其氧化还原过渡带总体长约为 120 km,宽度约为 1~10 km,平均宽度约为 3 km,具备较好的氧化带条件(图 5)。

阿尔善组、腾格尔组、赛汉塔拉组均存在扇三角洲、辫状河三角洲体系,且有铀矿化显示,需考虑幕

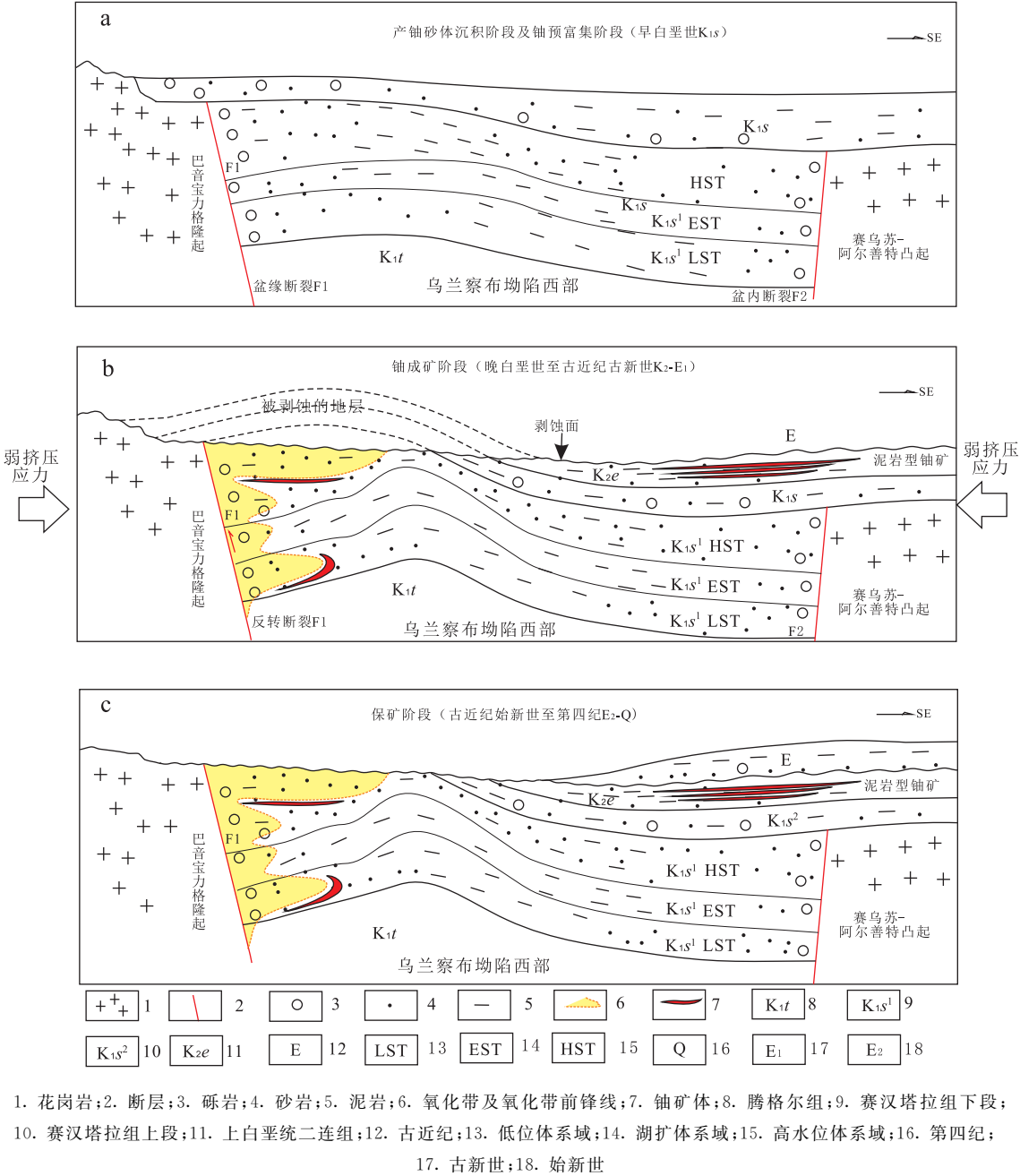


图 6 乌兰察布坳陷西部铀成矿模式图

Fig. 6 Uranium metallogenetic model map of Western Ulancharabu depression

式裂陷间歇期的构造反转、不整合面和剥蚀作用对氧化带的控制。另外,在扇三角洲、辫状河三角洲平原煤层较为发育地区,煤岩型也是下步找矿的重点类型。

在赛汉塔拉组剥蚀强烈地区,构造反转和剥蚀作用导致赛汉塔拉组形态发生变化。赛汉塔拉组上段主要找矿部位在盆地中心,赛汉塔拉组下段主要找矿部位在盆地边缘(图 6),甚至在一些反转剥蚀

更为强烈的盆地边缘地区,腾格尔组和阿尔善组盆地边缘也可能发育铀矿化。

在主干反转断裂发育部位,沿断裂抬升的一侧将是有利的勘探部位。在单断凹陷缓坡,剥蚀作用使得赛汉塔拉组缓坡三角洲甚至腾格尔组遭受剥蚀氧化,为重点勘探部位;在早白垩世单断凹陷陡坡,需分析构造反转及抬升强度,考虑赛汉塔拉组上段剥蚀强度及残留地层分布来确定重点勘探区域。

拗陷长轴方向形成稳定的河流及三角洲群,为重要的容矿空间。其中三角洲平原和三角洲前缘过渡部位为工业铀矿发育聚集区,应为重点勘探部位。需要分析煤、石油、铀矿和早白垩正断层和反转构造在空间的配置关系,应将油气扩散、逸散区作为有利产铀区,将赛汉塔拉组煤层分布区作为赛汉塔拉组高位体系域砂岩型和赛汉塔拉组低位体系域煤岩型有利勘探区。

6 结论

(1)二连盆地乌兰察布坳陷赛汉塔拉组由层序A、层序B构成。在层序A中,可以识别和划分出LST、EST和HST。

(2)乌兰察布坳陷西部砂岩型铀矿发育于层序A中,其中LST和HST是主要含矿层。层序A的成矿能力取决于骨架砂体的规模和含煤岩系本身的还原介质,辫状河三角洲沉积体系中的部分辫状分流河道砂体是最有利的铀储层。

(3)乌兰察布坳陷经历了早白垩世赛汉塔拉期(K_1s)沉积阶段及铀预富集阶段,晚白垩世至古近纪古新世(K_2-E_1)成矿阶段和古近纪始新世至第四纪(E_2-Q)保矿阶段3个阶段。成矿过程受“补-迳-排”水动力条件、还原能力及构造抬升、构造反转等控制。

(4)在剥蚀强烈地区主干反转断裂发育部位,沿断裂抬升的一侧将是层序A的LST和HST寻找砂岩型铀矿有利的勘探部位。

致谢:本文得到中国地质大学和核工业二〇八大队从事铀矿地质团队的全体老师、同学和同事的大力支持和帮助,在此一并致谢!

参考文献(References):

焦养泉,吕新彪,杨生科,等.吐哈盆地西南缘铀成矿的层位标定[J].现代地质,2004,(03):346-352.

JIAO Yangquan, LÜ Xinbiao, YANG Shengke, et al. The identification of uranium metallogenic strata at the south west margin of the Turpan-Hami Basin[J]. Geoscience, 2004,(03):346-352.

马新华,肖安成.内蒙古二连盆地的构造反转历史[J].西南石油学院学报,2000,22(2):1-4.

MA Xinhua, XIAO Ancheng. History of tectonic, et al. in version in Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2000, 22(2):1-4.

蔡希源.中国油气区反转构造[M].北京:石油工业出版社,2001.

CAI Xiyuan. Reversal Structures in China's Oil and Gas Areas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.

鲁超,焦养泉,彭云彪,等.二连盆地马尼特坳陷西部幕式裂隙作用对铀成矿的影响[J].地质学报,2016,90(12):3483-3491.

LU Chao, JIAO Yangquan, PENG Yunbiao, et al. Episodic rifting and sandstone-type uranium deposits in Western Manite Depression in Erlian Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(12):3483-3491.

鲁超,彭云彪,刘鑫扬,等.二连盆地马尼特坳陷西部砂岩型铀矿成矿的沉积学背景[J].铀矿地质,2013,29(6):351-356.

LU Chao, PENG Yunbiao, LIU Xinyang, et al. Tectonic and sedimentological backgrounds of sandstone-type uranium deposits in Western Manite Depression in Erlian Basin [J]. Uranium Geology, 2013, 29(6):351-356.

林畅松,张燕梅,李思田,等.中国东部中生代断陷盆地幕式裂隙过程的动力学响应和模拟模型[J].地球科学-中国地质大学学报,2004,29(5):583-588.

LIN Changsong, ZHANG Yanmei, LI Sitian, et al. Episodic Rifting Dynamic Process and Quantitative Model of Mesozoic-Cenozoic Faulted Basins in Eastern China [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29 (5): 583-588.

严德天,王华,王清晨.中国东部第三系典型断陷盆地幕式构造旋回及层序地层特征[J].石油学报,2008,29(2):185-190.

YAN Detian, WANG Hua, WANG Qingchen. Episodic Tectonic Cycles and Sequence Pattern of the Tertiary Rifted Basin of East China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29 (2): 185-190.

李思田.沉积盆地分析基础与应用[M].北京:高等教育出版社,2004.

LI Sitian. Basis and Application of Sedimentary Basin Analy-

- sis [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- 杜金虎. 二连盆地隐蔽油藏勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- DU Jinhu. Exploration of subtle reservoirs in Erlian Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- 祝玉衡,张文朝. 二连盆地白垩统沉积相及含油性[M]. 北京:科学出版社,2000.
- ZHU Yuheng, ZHANG Wenzhao. The Sedimentary Facies and Oil-bearing Properties of the Lower Cretaceous in Erlian Basin [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- 卫三元,秦明宽. 二连盆地晚中生代以来构造沉积演化与铀成矿作用[J]. 铀矿地质,2006,22(2):76-81.
- WEI Sanyuan, Qin Mingkuan. Structural Sedimentary Evolution and Uranium Mineralization since the Late Mesozoic in Erlian Basin [J]. Uranium Geology, 2006, 22 (2): 76-81.
- 焦贵浩. 二连裂谷构造演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- JIAO Guihao. Structural Evolution and Oil and Gas in Erlian Rift [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- 凡秀君,聂逢君,陈益平,等. 二连盆地巴彦乌拉地区砂岩型铀矿含矿地层时代与古地理环境探讨[J]. 铀矿地质, 2008,24(3):272-279.
- FAN Xiujun, NIE Fengjun, CHEN Yiping, et al. Discussion on age and paleo geographical environment of ore bearing strata for sandstone-type uranium deposits in Bayanwula area, Erlian basin[J]. Uranium Geology, 2008, 24 (3): 272-279.
- BUREAU of Geology,CNNC. Sandstone-type Uranium Deposits in China: Geology and Exploration Techniques [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2002.
- FRANZ JD. Uranium Ore Deposits[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,1993,250-319.
- GALLOWAY W E. Siliciclastic Slope and Base-of-slope Depositional System: Component Facies, Stratigraphic Architecture and Classification [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82 (4): 569-595.
- JIAO Y Q, WU L Q, WANG M F, et al. Forecasting the occurrence of sandstone-type uranium deposits by spatial analysis: An example from the northeastern Ordos Basin, China. In: Mao, Bierlein (Eds) . Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, 273-275.
- KEEN C E, Dehler A. Stretching and subsidence: ring of conjugate margins in the North Atlantic region [J]. Tectonics, 1993, 12(5): 1219-1229.
- LARNBIASE J J. Model for tectonic control of lacustrine stratigraphic sequences in continental rift basins. In: KatLB J, ed. Lacustrine basin exploration [J]. AAPG Memoir, 1990, 50: 265-276.
- MAITHANI P B, TANEJA P C, SINGH Rajendra. A sandstone-type uranium deposits at Phlangdiloin, West Khasi Hills, Meghalaya, India[J]. Journal of Atomic Mineral Science, 1995, (3): 55-60.