

文章编号: 1000-0550(2006) 02-0223-06

我国中、新生代盆地砂岩型铀矿沉积环境研究概述

陈戴生 李胜祥 蔡煜琦

(核工业北京地质研究院 北京 100029)

摘要 分析我国砂岩型铀矿沉积环境研究领域现状及研究意义、含铀碎屑沉积建造类型及其沉积特征、砂岩型铀矿成矿有利相位,并提出砂岩型铀矿沉积环境研究应该注意的几个问题。

关键词 砂岩型铀矿 沉积环境 地浸地质条件 相模式

第一作者简介 陈戴生 男 1936年出生 研究员 沉积学 铀矿床学

中图分类号 P619.14 **文献标识码** A

1 研究现状及研究意义

赋存于中、新生代盆地中的砂岩型铀矿是当前乃至相当长一段时间核工业地质部门的主要勘查类型,尤其是可地浸(In-situ leaching)砂岩型铀矿^[1],由于其开采成本低,且能充分利用品位仅为 0.01% 的砂岩贫矿石和减少环境污染等优点,因而引起主管部门高度重视,形成新一轮以新的标准(地浸地质条件)寻找砂岩型铀矿的高涨势头(尤其在我国的北方),以保证我国新的核电发展战略对铀资源的需求,确保国家核电规划的顺利实现。

沉积环境研究是砂岩型铀矿研究领域中的一个极为重要的组成部分,对于寻找可地浸砂岩型铀矿有着举足轻重的地位,这是由于低品位沉积成岩期铀矿化严格地受沉积相带、沉积砂体的控制,成矿普遍具有层控性和相控性,而沉积成岩期铀矿化又往往是后生富集期铀矿化或富矿体形成的早期预富集阶段,即大多数砂岩型铀矿床为沉积成岩—后生富集型铀矿床,无论层间氧化带型铀矿床或潜水氧化带型铀矿床,都存在着成矿作用的多阶段性,多个矿床的同位素年龄数据都可以印证^[2]。因而在各种比例尺区调选区、选盆或矿床定位时,必须研究或确定有利相位及相带展布,这对于指导盆地找矿具有重要实际意义,也是研究盆地构造—沉积演化史的重要基础资料。

可地浸砂岩型铀矿的提出,对有利成矿的沉积相条件更为苛刻,也增加了研究工作的难度,即不是一般意义上的沉积相分析,含矿岩系还必须满足(或符合)地浸工艺要求,否则难于原地浸出,因而必须对

含矿岩系的地层结构、含矿含水层的相关参数进行认真研究。如要求含矿含水层必须在两个不透水层之间,组成泥—砂—泥的地层结构(有利于形成层间氧化带型铀矿床,如伊犁盆地、中亚地区等),或含矿含水层底板必须是不透水层,上覆为砂岩,组成单一的砂—泥地层结构(有利于形成潜水氧化带型铀矿化,如海拉尔盆地)。同时要求含矿含水层具有一定的渗透系数(大于 0.5m/d),一定的砂体厚度(10~30m)和较缓的地层产状($< 10^\circ$)。凡此等等表明必须在砂岩型铀矿成矿理论和沉积学基本原理指导下,以地浸地质条件为新的思路来重新评价老区、选择新区,寻找有利沉积环境和有利砂体,并注意后生蚀变条件,使研究工作收到实效,这也是本文主要目的。

2 我国中、新生代盆地含铀碎屑沉积建造类型及其沉积特征

2.1 我国中、新生代盆地含铀碎屑沉积建造类型

我国中、新生代地层除三叠系外,其它各时代沉积建造中均发现了规模大小各异的铀矿床,侏罗系为伊犁盆地 512、511 矿床等,白垩系为衡阳盆地 412 矿床、十万大山盆地 375 矿床等,古近系为广东 277 矿床、新近系为滇西 381 矿床等。上述含铀盆地既有拉伸型盆地(如松辽盆地),又有挤压型盆地(如伊犁盆地、吐哈盆地);既有地台盆地,又有地台边缘和褶皱带中的山间盆地;既有大型盆地又有中小型盆地乃至 20多 km² 的微型盆地。尽管盆地分类方案不同,无论哪一类砂岩型铀成矿都离不开含铀碎屑沉积建造,这是铀成矿的最基础条件。本文将我国含铀碎屑沉积

建造及其产出的铀矿床(铀矿点)划分为以下 3 类:

2.1.1 陆相红色碎屑沉积建造及其产出的铀矿床

此类建造铀矿化产于浅(灰)、紫(红)交互层中的浅色(灰色)砂岩中,紫(红)色一般为泥岩或粉砂岩,无矿化显示。在我国,红层中的浅(灰)色建造,由于常含有机质、黄铁矿等聚铀剂,因而是重要的含铀建造,如衡阳盆地东塘组(K_2-E_1),十万大山盆地那荡组(J_n)以及华南诸多 K-E 断陷红盆。浅紫色互层特征类似于云南滇中含铜砂岩所赋存的沉积建造。

2.1.2 陆相暗色(灰色)含煤碎屑沉积建造及其产出的铀矿床

此类建造铀矿化产于煤系地层中的浅(灰)色、且有一定厚度的砂体中,煤层(及所夹的泥岩、粉砂岩)常为矿体的顶底板,组成砂—泥—煤的沉积韵律,且呈多个韵律层,如伊犁盆地水西沟群(J_1-2sh)第 5—8 煤层间的主砂体^[1,3]。这一类型主要分布在我国西北地区早、中侏罗世含煤盆地,以及西南、华南、东北第三纪含煤盆地中。对内蒙中部、东北部巴彦花群(K_1)、扎赉诺尔群(J_3-K_1)煤系地层中的铀矿化目前正在探索中,有望获得良好的成矿前景。

2.1.3 陆相火山碎屑沉积建造及其产出的铀矿床

火山碎屑沉积岩按岩石学分类属碎屑岩—火山岩之间的过渡类岩石,为碎屑沉积岩中的一种特殊类型。铀矿化产于火山碎屑沉积岩中(含有机质凝灰质砂砾岩、复成份砂砾岩、层凝灰岩等)并经后期构造—热液改造作用成矿,大都为后生富集型矿床(仅有早期受古地形、岩性岩相控制的贫矿化阶段)。主要分布在我国东部沿海地区中晚侏罗世断陷盆地中。如辽西—冀北建昌盆地中侏罗统海房沟组(J_h)中的 433 434 铀矿床、江西 6710 铀矿田。此类矿床由于成矿的特殊性,地浸难度较大。

除了上述三类外,还有红色(杂色)含石膏(石膏、天青石)碎屑沉积建造,铀矿化赋存在含石膏砂岩中,少数在粉砂岩及泥岩中。主要分布在我国内蒙 E-N 干旱气候区,盆地水体局部封闭或隔绝。如二连盆地古新统脑木根组(E_{1n})所见铀矿点。在内蒙阿拉善左旗也见有产在含石膏砂岩中的铀矿点,其成因系与沿构造裂隙铀的淋积作用有关,曾被误认为是类似于澳大利亚伊利里钙(膏)结岩型铀矿。

2.2 我国中、新生代含铀碎屑沉积建造沉积特征

以上划分的三类含铀碎屑沉积建造,其沉积特征有以下共性:

(1) 陆相盆地沉积建造具有多旋回性和多韵律性

无论是形成于挤压背景中的前陆盆地,还是形成于拉张背景中的断陷盆地,盆地中的垂向升降是普遍存在的,因而沉积建造具有频繁的旋回性(或称韵律性)。沉积韵律指地层剖面中岩石组合有规律周期性重复的现象,即多个粗—细或细—粗—细的沉积层序反复互层。对于单个韵律而言,其下部粗碎屑常反映河流下切作用(河床滞留沉积—心滩或边滩),上部细碎屑常为泛滥平原、越岸沉积。砂岩型铀矿化常赋存于单个韵律的下部组份中。两个韵律间常为冲刷接触关系。以上是纵向上的变化,横向上则为超覆尖灭,岩性岩相变化显著。

(2) 近源

近源是陆相沉积固有的沉积特征,也是区别于海相或海陆过渡相沉积最主要的标志。近源意指盆地中陆源碎屑沉积物主要来自近蚀源区的花岗岩、火山岩或其他老地层。因而沉积物的物质组份与蚀源区的物质组份极为相似。野外观察可以从砾岩的砾石成份、种类(含数量)统计可以判别蚀源区岩类成份,从砾岩磨圆度大小可以判别搬运距离的远近。砂岩的岩石类型自蚀源区一盆内,依次可以划分出长石砂岩—长石石英砂岩—石英砂岩(衡阳盆地),小型断陷盆地常为岩屑砂岩类岩石。

由于砂岩型铀矿成矿具有“近源、浅成”的特点^[2],因而近蚀源区(或基底)的铀源条件(含活性铀的浸出能力)显得尤为重要,可认为是目前评价盆地铀成矿前景的重要依据之一。一般认为,盆地周边蚀源区为花岗岩类岩石或酸性、中酸性火山岩,则有利于盆内砂岩成矿。如衡阳盆地北部为衡山花岗岩,东部为衡东吴集岩体(γ_2^2),都为富铀花岗岩体,经长期风化剥蚀为盆地提供铀源,含矿砂岩为长石砂岩或长石石英砂岩。伊犁盆地南部蚀源区为察布查尔隆起区大片酸性火山岩(中石炭世凝灰岩),含矿主岩直接覆于火山岩之上,火山岩铀含量为 $(4 \sim 14.3) \times 10^{-6}$,铀浸出率为 12.8%~84%,高于围岩 1.6~10 倍。火山岩区存在铀氡水化异常区,水中铀含量为 $(30 \sim 40) \times 10^{-5} \text{ g/L}$,氡含量为 $(75 \sim 520) \text{ Bq/L}$ (据核工业 216 大队)。

(3) 低成熟度的岩石类型

含铀碎屑沉积建造的砂岩类型,据目前掌握的资料,在各种不同粒度的砂岩中都有成矿的可能性,少数在砾岩及含砾砂岩中。一般来说,中、新生代盆地

中砂岩的成份成熟度及结构成熟度都很低,尤其是中、小型断陷盆地(如由一系列 NE、NNE 向小盆地组成盆地群的二连盆地、海拉尔盆地等),二连盆地砂岩中岩屑含量一般大于 50%,最大可达 70%。海拉尔盆地含矿主岩伊敏组(K_1y)砂岩中岩屑含量可高达 60%~80%,岩屑成份为盆地周边中酸性流纹岩、凝灰岩、安山岩等。但不同规模盆地有所区别,大型盆地相带由于开阔,分选性一般比较好—中等,砂岩常为长石石英砂岩或长石砂岩,如松辽盆地开鲁坳陷姚家组下段(K_2y^1)所见。

(4) 复杂变化的水动力条件和多样性的层理类型、沉积构造

含铀碎屑物在从蚀源区至盆内的搬运—沉积过程中,搬运介质(水流)强度大小是最为重要的,由于受古地形、古气候等因素的控制,因而形成复杂变化的水动力条件、古地理景观和多样性的层理类型,这已成为实际工作者必须收集的野外基本素材,是判断沉积环境的重要证据。

一般认为,有一定规模的板状交错层理、槽状交错层理、平行层理等是高能条件下形成的层理类型,常见于冲积扇、扇前辫状河沉积物中;而水平层理、沙纹交错层理等则是弱水动力条件的层理类型,常见于堤岸沉积、泛滥平原或湖相沉积。三角洲沉积由于是河—湖过渡部位的沉积场所,因而在三角洲不同部位层理类型差异较大,必须具体分析。三角洲水上部分(三角洲平原)常具河流特征(如三角洲平原分流河道常具下粗上细的正韵律),而三角洲水下部分(三角洲前缘)除了下细上粗的反韵律外,岩性上是薄砂层与泥岩频繁互层,水动力条件相对较弱。

3 我国中、新生代盆地砂岩型铀矿成矿若干有利相位

根据有关资料,我国中、新生代砂岩型铀矿有利相位集中在河流及三角洲相位,少数在冲积扇前缘相中,分述如下。

3.1 三角洲相

三角洲相的三角洲前缘及三角洲平原亚相的分流河道、河口坝、席状砂等微相砂体是极好的地浸砂岩容矿砂体,有着一定的分布范围和厚度,粒度结构适中,其上下均为三角洲平原泥、煤层和三角洲前缘泥岩或前三角洲泥岩夹持,构成极好的泥—砂—泥结构,目前已发现几处矿床、矿点均赋存在三角洲相砂体中。如伊犁盆地 512 矿床和 513 矿床。

伊犁盆地南缘 512 矿床第 5~8 煤层间的主矿体属典型的辫状河三角洲相的三角洲前缘河口坝及席状砂亚相沉积,其下为前三角洲亚相泥岩,上为三角洲平原亚相泥岩及煤层(图 1)。

3.2 砂质辫状河相

辫状河是一种无主流线的游荡性河流,河道宽而浅,坡降陡、流速急、水流不断分枝和复合,心滩发育,河床不稳定。根据辫状河距蚀源区岩性组合,可分为砾质辫状河和砂质辫状河两类,前者距蚀源区相对较近,粒度较粗,后者距蚀源区相对较远,粒度较细。砂岩型铀矿常与砂质辫状河有关,如松辽盆地某铀矿床,铀矿化赋存在上白垩统姚家组下段(K_2y^1)辫状河砂体中,含矿主岩岩性为浅灰色及灰白色细砂岩、中砂岩,部分为含砾砂岩。岩石分选中等—差,可见明显的河流冲刷面、块状层理、交错层理等河流相标志。砂岩上下均为泥岩,组成泥砂泥地层结构。鄂尔多斯盆地中侏罗统直罗组(J_2)底部含矿砂体也属砂质辫状河沉积。

3.3 曲流河相

曲流河多发育在地势较平坦的平原或丘陵地区,沉积物相对稳定,地层垂向序列为典型的二元结构,岩石成份相对单一,砂体呈相对稳定的席状分布,磨圆和分选较好。

核工业系统早期发现的衡阳盆地 412 铀矿床,含矿主岩东塘组(K_2-E_1)为典型的有一定流域的曲流河沉积相,412 矿床位于古河流下游的边滩部位,但尚未达到茶山坳盐湖的部位。来自衡山岩体的古河流总体由 NE 流向 SW,为由曲流河—三角洲—盐湖组成的一个完整的沉积体系。

3.4 冲积扇扇前湖沼相及扇前沼化洼地相

冲积扇砂体是由间歇性水流形成的一种极不稳定的砂体,因而不是找铀的有利相位,但在某些小型断陷盆地、扇前泥炭—沼泽相或沼化洼地相,由于有机质对铀的吸附作用,以及后期铀的淋积作用,却有可能形成工业矿床,如广东 277 矿床、内蒙狼山西侧盆地铀矿床等。

4 我国砂岩型铀矿沉积环境研究应注意的几个问题

4.1 要区分和建立两类盆地不同的沉积相模式

通过核工业系统几十年在盆地中的找铀实践,我们认为应区分大型坳陷盆地和中小型断陷盆地,两类盆地的相模式差别较大,采用的工作方法也有区别。

大型盆地(如松辽盆地、鄂尔多斯盆地)沉积相带发育完善,常有一套较为完整的冲积扇—河流—湖泊沉积体系,河流相(辫状河或曲流河)及三角洲(三角洲平原、三角洲前缘)都是找铀的有利相带,易形成大而稳定的砂体。由于蚀源区物源相对较远,地下水补给充沛,易形成层间氧化带型铀矿床或潜水氧化带型铀矿床。与盆地长轴方向相一致的纵向河道则是寻

找古河道(古河谷)型铀矿床的有利部位,临近蒙古国已有先例。

中小型盆地,特别是小型断陷盆地,沉积相带发育不完善,相带狭,相变快,多数盆地有着沿盆地短轴方向(横向)冲积扇快速入湖的相模式,以及湖盆水体不断萎缩而沼泽化的相模式。如二连盆地群各个

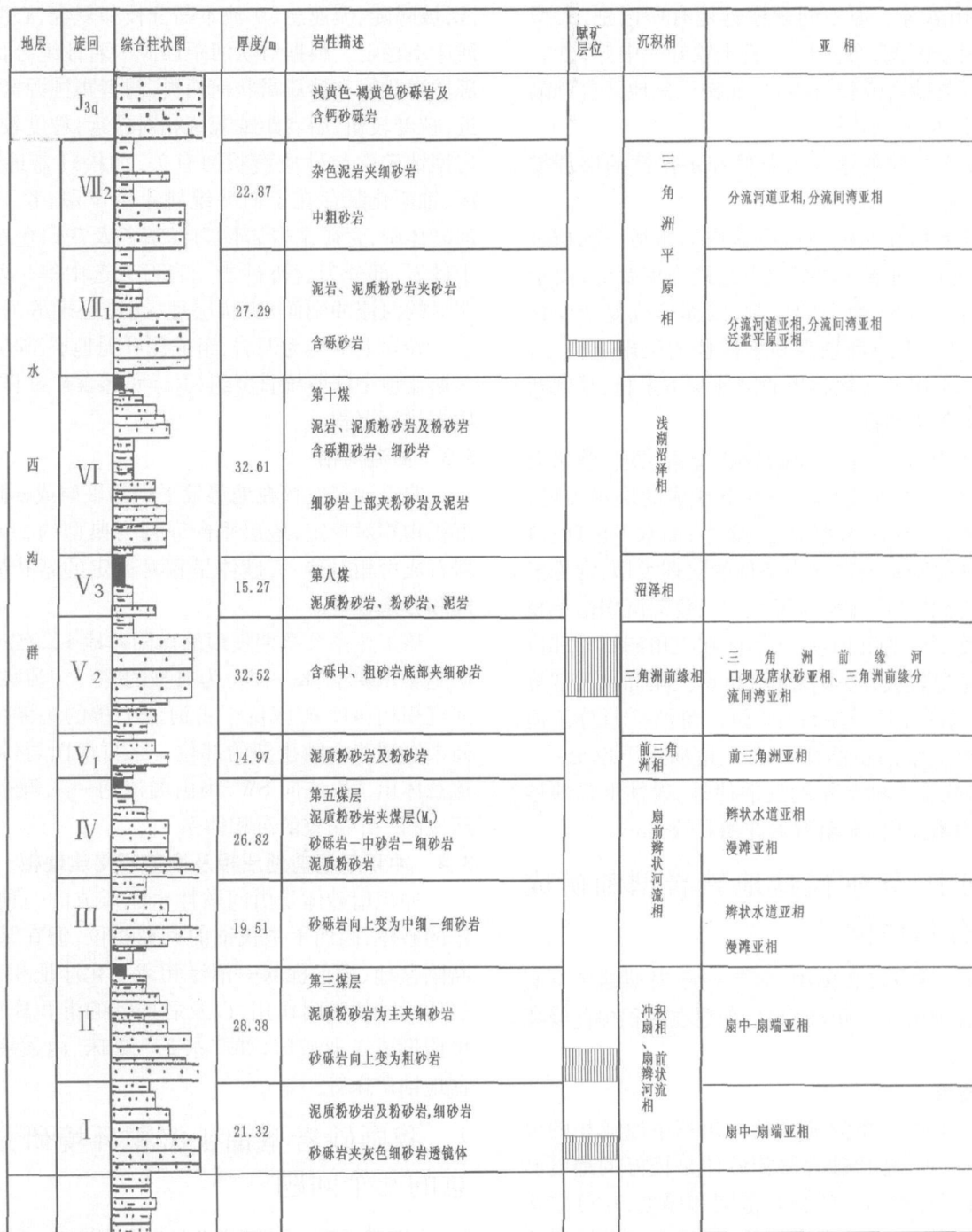


图 1 伊犁盆地 512 矿床综合地层柱状图

Fig 1 The stratigraphic column of No. 512 uranium deposit in Yili basin

拗陷中的次级小凹陷盆地、海拉尔盆地群各个拗陷中的次级小凹陷盆地, 都有相似的特征, 这类盆地曲流河不发育, 三角洲(以扇三角洲为主)相带较狭, 因而冲积扇前辫状河、沼泽化洼地及扇三角洲入湖口的砂坝砂体, 可以寻找不稳定环境中的相对稳定的相带和砂体。

从以上概略分析可以看出, 区分和建立两类盆地不同的相模式十分必要, 相关工作正在进行中。必须强调一点是上述工作必须以盆地构造—沉积演化分析为前提。

4.2 要区分箕状断陷盆地两侧不同的沉积相带

在我国东部, 由于太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲, 致使中、新生代盆地展布大都呈 NE—NNE 向展布, 由于构造应力作用的强弱差异, 单个盆地两侧多数是不对称的箕状断陷盆地(单断或双断式), 即盆地一侧陡峻、一侧平缓。对于找石油, 盆地陡峻一侧的浊积扇、水下扇等是有利相带和生油层。但对于寻找砂岩型铀矿, 盆地平缓一侧则是研究重点, 即常称为斜坡带的缓坡地段, 河流相、三角洲平原分流河道等是有利相带和找铀目的层。

在我国西部(如天山两侧), 由于印度板块向北俯冲, 也使中、新生代盆地因受挤压呈 EW 向或 NWW 向展布, 盆地两侧也不对称, 如伊犁盆地南缘斜坡带发育(地层倾角小于 10°), 北缘较为陡峻(地层倾角大于 20°)^[1]。吐哈盆地南缘为艾丁湖斜坡带, 北缘较为陡峻。因此上述两个盆地均是南缘铀成矿条件优于北缘。

对于同一斜坡带, 由于盆地形成后构造运动强度的差异性, 致使其成矿条件有所不同, 伊犁盆地南缘, 自东向西, 构造运动强度有着由强变弱的趋势, 这是由于盆地东部处于两组构造的交叉部位, 因而褶皱及断裂发育, 而西部盆地开阔, 构造运动较弱, 有利成矿相带和砂体稳定。上述分析进一步印证盆地构造—沉积演化相关性、重要性。

4.3 要重视沉积间断面对沉积相和铀矿化的控制作用

沉积间断面对沉积相和铀矿化的控制作用是不言而喻的, 可从两个方面阐述:

(1) 与地壳运动有关的区域不整合面(角度不整合或平行不整合), 是地层学、尤其是层序地层学层序界面划分的重要依据, 沉积间断面的存在, 也有利于含铀地下水的渗入形成含矿含水层。我国为众多的沉积改造型铀矿床, 通常产于沉积建造内区域

不整合面之下, 其成矿时代一般都接近或晚于不整合面形成的时间。如 509 矿床, 含铀建造为早、中侏罗世, 成矿时代为 6Ma 与不整合覆盖其上的早中新世比较接近^[2], 有的铀矿床则在区域不整合面之上, 如滇西 381 矿床。

(2) 与河流冲刷作用有关的冲刷面, 虽为短暂的沉积间断, 但与砂岩铀矿关系密切。冲刷面为河流相标志之一, 冲刷幅度大小直接反映了河流下切作用强度。同时冲刷面本身也是铀的积矿空间, 为川北 4210 矿床铀矿化赋存在冲刷凹槽中, 局部形成较高品位铀矿化, 但矿化规模较小。

5 结束语

受沉积相控制的含铀砂体是铀矿体赋存的必要空间。目前已在三角洲分流河道、砂质辫状河、曲流河边滩及冲积扇前辫状河等相区发现了砂岩型铀矿。有望通过建立不同类型盆地的相模式、箕状断陷盆地两侧不同相带的区分和沉积间断面对沉积相和铀矿化的控制作用等方面, 提升沉积相对砂岩型铀矿控制作用的认识。

参考文献 (References)

- 1 陈戴生, 李胜祥, 蔡煜琦. 我国中、新生代砂岩型铀矿研究现状及发展方向的探讨. 沉积学报, 2003, 21(21): 113~117 [Chen Daisheng, Li Shengxiang, Cai Yuqi. A discussion on research situation and development direction of sandstone-type uranium deposits in the Mesozoic-Cenozoic Basin of China. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(21): 113~117]
- 2 陈功, 邓金贵, 田儒, 陈戴生. 我国中、新生代盆地铀矿的成矿条件及成因模式探讨. 地质学报, 1983, 57(3): 283~293 [Chen Gong, Deng Jinguo, Tian Ru, Chen Daisheng. On the mineralization condition and the genetic model for uranium deposits in Mesozoic-Cenozoic Basin of China. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(3): 283~293]
- 3 陈戴生, 李胜祥, 等. 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式—中国核科技报告. 北京: 原子能出版社, 1997. 8 [Chen Daisheng, Li Shengxiang, et al. The Metallogenetic Model of the Sandstone-type Uranium Deposits in Interlayer Oxidation Zone in Yili Basin—China Nuclear Science and Technology Report. Beijing: Atomic Energy Press, 1997. 8]
- 4 吴崇筠, 等. 中国含油气盆地沉积学. 北京: 石油工业出版社, 1992. 4 [Wu Chongyun, et al. The Sedimentology of Petroiferous Basins in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.]
- 5 朱筱敏. 含油气断陷湖盆地分析. 北京: 石油工业出版社, 1995. 2 [Zhu Xiaomin. Petroiferous Faulted Basin Analysis. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 2]
- 6 李德生, 薛叔浩. 中国东部中、新生代盆地与油气分布. 地质学报, 1983, 57(3): 224~234 [Lidesheng, Xue Shuhao. Mesozoic

- basin in eastern China and hydrocarbon occurrences. *Acta Geologica Sinica* 1983, 57(3): 224~234]
- 7 何起祥. 沉积地质科学的历史与回顾. *沉积学报*, 2003, 21(1): 10~18 [He Qixiang. Sedimentary earth sciences yesterday, today and tomorrow. *Acta Sedimentologica Sinica* 2003 21(1): 10~18]
- 8 朱夏, 徐旺. 中国中、新生代沉积盆地. 北京: 石油工业出版社, 1990. 5 [Zhu Xia, Xu Wang. Mesozoic and Cenozoic Sedimentary Basin in China. Beijing Petroleum Industry Press, 1990. 5]
- 9 关士聪, 袁捷, 江圣邦, 等. 中国中、新生代陆相沉积盆地与油气. 北京: 科学出版社, 1991 [Guan Shicong, Yuan Jie, Jiang Shengbang *et al*. Mesozoic-Cenozoic Continental Sedimentary Basins in China and Oil & Gas. Beijing Science Press, 1991]
- 10 王华, 李忠, 陆永潮. 现代沉积学研究的若干思路与方法. 见: 2001年中国沉积学大会论文选篇. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002. 10 [Wang Hua, Li Zhong, Lu Yongchao. Some thoughts and way on study of modern sedimentology. In: A Collection of Research Papers for China Sedimentology Congress. Wuhan: China University of Geoscience Press, 2002]
- 11 李胜祥, 陈戴生, 王瑞英, 等. 伊犁盆地含煤岩系沉积相特征及其与层间氧化带砂岩型铀矿成矿关系. *铀矿地质*, 1996, 3: 129~134 [Li Shengxiang, Chen Dasheng, Wang Ruiying *et al*. Characteristics of sedimentary facies of coal-bearing series in Yili Basin and relation to sandstone-type uranium deposit of interlayer oxidation zone type. *Uranium Geology*, 1996, 3: 129~134].

Overview of the Researches on Sedimentary Environment for Sandstone-type Uranium Deposits in the Mesozoic-Cenozoic Basins of China

CHEN Daisheng LI Shengxiang CAI Yuqi

(Beijing Research Institute of Uranium Geology Beijing 100029)

Abstract This paper overviews the sedimentary environment for the sandstone-type uranium deposits in China, analyzes the situation and significance of these researches in this field, types of U-bearing clastic sedimentary Formations and favorable facies for the formation of sandstone-type uranium deposits as well. Several aspects, which should be paid attention to during the study of the sedimentary environment for sandstone-type uranium deposits, are put forward finally.

Key words sandstone-type uranium deposits, sedimentary environment, geologic conditions for in-situ leaching, facies model