

文章编号: 1000-0550(2017)05-1044-10

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.05.015

铀矿沉积学研究与发展

吴柏林^{1,2}, 孙斌^{1,2}, 程相虎^{1,2}, 张婉莹^{1,2}, 刘明义^{1,2}, 郝欣^{1,2}, 刘池洋^{1,2}

1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069

2. 西北大学地质学系, 西安 710069

摘要 随着铀矿床尤其是砂岩型铀矿勘探和开发的迅速发展, 砂岩型铀矿沉积学的概念应运而生。铀矿沉积学是研究沉积盆地形成演化过程中铀的成矿作用、形成环境、含铀岩(层)系特征, 以及沉积作用控制下铀的富集机理和分布规律的学科。它综合了铀矿地质学、盆地分析等学科的内容, 具有较明显的学科交叉特点。砂岩型铀矿沉积学是铀矿沉积学最典型的代表, 它以盆地分析、砂岩型铀矿地质学为重要理论平台, 结合沉积学技术方法, 具体研究砂岩型铀矿形成的物质来源、成岩作用与铀的预富集、沉积物的结构构造与渗透性、沉积体系与含铀岩系分析、流体作用与后期改造、层序地层与铀的空间分布、铀富集因素与沉积和古气候环境、沉积作用因素与砂岩型铀矿预测, 以及管理信息化的三维可视化建模等。以新疆伊犁盆地、吐哈盆地、鄂尔多斯盆地北部等地区代表性砂岩铀矿为实例, 从铀矿聚集与沉积物形成—演化过程、沉积物特征及沉积体系分析与铀矿聚集、层序地层学与铀聚集作用等方面分析了铀矿沉积学研究的最新进展和认识。同时对铀矿沉积学的发展趋势进行了展望: 认为砂岩铀矿“大规模成矿作用”和铀的“超常富集”关键地质环境、含铀岩系沉积与铀的空间分布、多种高新分析测试技术的应用等方面将是铀矿沉积学未来研究和发展的重点。由于铀矿沉积学与人类生存环境关系的重要性, 并且其涉及沉积学学科的方方面面, 因此有理由相信, 铀矿沉积学未来可能作为沉积学的一个独立分支学科将得到更好的研究和发展。

关键词 铀矿沉积学; 砂岩型铀矿; 沉积体系; 层序地层学; 沉积环境; 铀聚集

第一作者简介 吴柏林, 男, 1967年出生, 教授, 铀矿地质学, E-mail: wbailin@126.com

中图分类号 P619.14 **文献标识码** A

0 引言

“沉积学”概念随着地质研究的深入, 其含义在不断地发展和深化之中。Wadell^[1]最早创造了沉积学这一术语, 当时简单地定义为研究沉积物的科学; Gary *et al.*^[2]将其定义为“对沉积物的来源、沉积岩描述和分类以及沉积物形成过程进行研究的科学”; Friedman^[3]认为沉积学是“研究沉积物、沉积过程、沉积岩和沉积环境的科学”; 进入当代, 姜在兴等^[4]认为沉积学是研究沉积岩、沉积物及其形成过程的科学, 并认为目前沉积学在层序地层学、大地构造沉积学、事件沉积学、全球变化与环境沉积学、储层沉积学、资源沉积学等方面取得了一系列重大进展。

铀矿是铀矿床的简称。地壳中铀的克拉克值仅为 1.7×10^{-6} ^[5], 其中大陆地壳为 1.42×10^{-6} ^[6]。一般认为, 铀的富集程度至少需要达到克拉克值的 200 倍左右, 并具有一定规模才能称为可被现代工业利用的矿床^[7]; 小型铀矿床 U_3O_8 储量至少大于 500 吨, 大型

铀矿床储量至少要大于 1 万吨^[8]。

按成因机制, 铀矿床可分为内生、外生和变质及复合成因四大类。其中与沉积作用有关的主要为外生铀矿床。如与表生等沉积作用有关的坡积、淋积铀矿床、冲积及滨海作用砂砾矿床, 与成岩作用相关的海相及陆相沉积铀矿(如黑色页岩型、磷块岩型、泥岩型等)^[8]; 与后生作用相关的层间水及构造裂隙水等形成的铀矿床(如砂岩型、煤岩型、碳硅泥岩型等)。上世纪 90 年代以来, 我国铀矿地质工作者根据中国的地质实际, 提出按矿床产出围岩及分布规律的划分方案, 主要分为花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型及砂岩型四大类。

砂岩型铀矿在我国及世界铀矿类型中占据十分重要的地位。据统计, 砂岩型铀矿占世界铀矿床数量总数的 42% (IAEA, 2015); 全球主要产铀国可靠资源量中, 剔除角砾杂岩型和不整合面型这两个特例(几乎全部分布于澳大利亚和加拿大, 其他地方发现的几率很低), 砂岩型铀矿可占 49%^[9-10]。在我国, 砂岩型

收稿日期: 2017-07-06; **收修改稿日期**: 2017-07-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41173060); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2015CB453000); 中国地质调查局项目(12120114009201, 12120115013501) [**Foundation**: National Natural Science Foundation of China, No. 41173060; National Key Basic Research Program of China(973 Program), No. 2015CB453000; China Geological Survey Project, No. 12120114009201, 12120115013501]

占各类型铀矿床的 39%,但尚未包括新近在北方诸盆地中发现的众多中小型砂岩铀矿床;在资源量上,我国砂岩型铀矿可占各类铀矿资源量的 43%,位居“四大类型”铀矿之首^[11]。

由于砂岩型铀矿利用地浸开采的工艺方法可大大降低对铀矿床可采边界品位的要求,它具有成本低、环境污染小,成效高,建矿周期短等优点,因而该成功的开采工艺方法促成了全世界范围内寻找地浸砂岩型铀矿的高潮。目前,我国在伊犁盆地、吐哈盆地、鄂尔多斯盆地、二连盆地、松辽盆地等均找到了大型或超大型该类铀矿床。因此,砂岩型铀矿是我国最具优势的铀矿种类,已成为我国铀资源勘探的最主要类型。

铀矿沉积学是研究沉积盆地形成演化过程中铀的成矿作用、形成环境、含铀岩(层)系特征,以及沉积作用控制下铀的富集机理和分布规律的学科。它综合了铀矿地质学、盆地分析等学科的内容,并具有较强的学科交叉特点。因此它有其自身的一套概念体系和学科特色。如上所述,由于砂岩型铀矿日趋重要的地位,本文将以砂岩型铀矿为例,配合一定实例,重点叙述和解剖砂岩型铀矿沉积学特征、研究方法和相关进展等。

从总体思路和研究内容来看,砂岩型铀矿沉积学以盆地分析、砂岩型铀矿地质学为重要理论平台,结合沉积学技术方法,具体主要研究砂岩型铀矿形成的物质来源(沉积地层物源和矿床形成的矿质来源)、

成岩作用与铀的预富集、沉积物的结构构造与渗透性、沉积体系与含铀岩系分析、流体作用与后期改造、层序地层与铀的空间分布、铀富集因素与沉积和古气候环境,沉积作用因素与砂岩型铀矿预测,以及管理信息化的三维可视化建模等(图 1)。

1 铀矿聚集与沉积物形成—演化过程

1.1 容矿层物源与铀成矿的矿源

古流向分析、重矿物物源分析、沉积砂岩碎屑锆石 U-Pb 定年等是目前常用的沉积物源分析方法。野外测量古水流向的沉积标注最有用的沉积构造有交错层理、槽模和沟模,同时结合其他沉积构造标志可获得可靠的依据。

下面以鄂尔多斯盆地北部铀矿区直罗组为例,说明上述物源分析方法的应用^[12]：

1.1.1 古流向物源分析

对盆地北部达拉特旗高头窑、东胜黄铁绵兔沟等直罗组典型露头剖面进行了大量的古水流数据的测量,通过对上述地层露头剖面的交错层理进行原始数据的实测,同时利用 StereoNett 2.46 软件对原始古流向数据进行校正,之后采用 Grapher 10 绘制各个露头剖面的古流向玫瑰花图,从其中平面展布特征可进行相应的物源分析。

结果表明,在横山无定河以北,可见发育砂岩交错层理,反映其与直罗组古水流方向比较一致,这些数据集中分布在 120°~150°之间,说明物源来自盆地

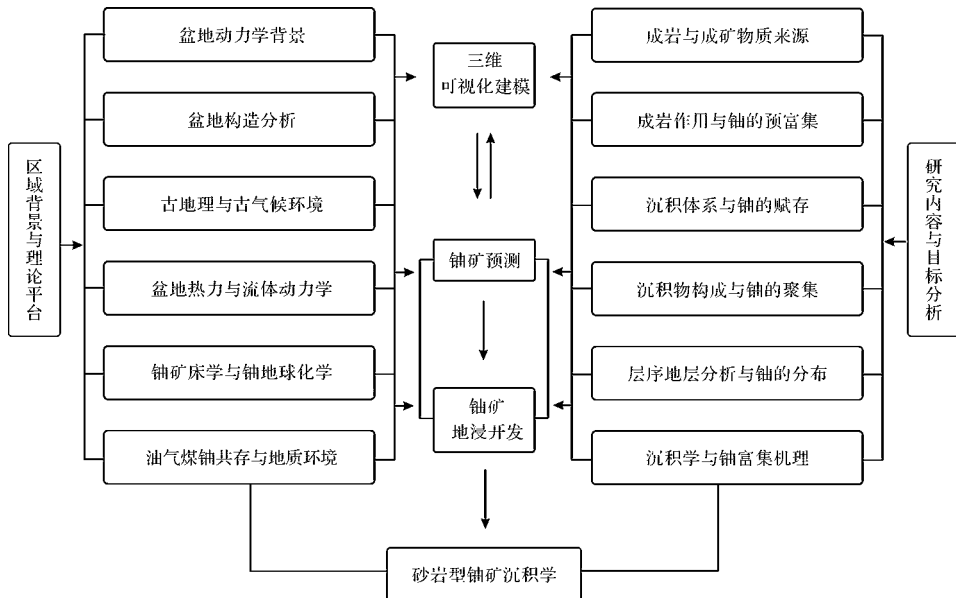


图 1 砂岩型铀矿沉积学总体研究思路和研究内容流程图

Fig.1 The general research idea and flow chart on sedimentology of sandstone type uranium

北部蚀源区。

1.1.2 重矿物物源分析

根据抗风化能力,沉积物中的重矿物可分为稳定重矿物(包括石榴子石、锆石、电气石、金红石等)和 不稳定重矿物(包括重晶石、磷灰石、绿帘石等),前者抗风化能力较强,能搬运至距离蚀源区较远的地方,因此含量也越高,后者则相反。来自同一蚀源区的沉积物其重矿物具有相似的组合特征。因此,通过对重矿物组合特征的分析可有效判断物源方向。

通过盆地北部直罗组样品重矿物平面对比分析发现,总体可划分为北部物源控制区、东北部物源控制区。北部物源的重矿物组合以高石榴石,中、低锆石,中、低磷灰石为特征,大营铀矿床—杭锦旗(纳岭沟)铀矿床—大成梁铀矿床以及达拉特旗高头窑地区均处于北部物源控制区的覆盖范围之内;北东物源的重矿物组合以中、石榴石,中锆石,高磷灰石为特征,柴登壕铀矿床至准格尔旗神山沟地区则处于北东部物源控制区之内。

1.1.3 碎屑锆石 U-Pb 定年方法

对鄂尔多斯盆地北部铀矿区直罗组砂岩进行了碎屑锆石 U-Pb 定年,结果显示:矿区直罗组砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄主要集中在 251~308 Ma, 322~354 Ma, 1 529~2 182 Ma, 2 200~2 632 Ma 四个年龄区间;通过与源区对比分析认为,直罗组砂岩中的新太古代和古元古代锆石主要记录了鄂尔多斯盆地之北的乌拉山—大青山和狼山地区的基底年龄,也反映了其中的多期变质热事件;其中 251~308 Ma 和 322~354 Ma 两个年龄峰值反映了华北板块北缘广泛分布的晚古生代岩浆岩的年代特征。因而,总体认为铀矿区直罗组物源主要来自盆地之北的乌拉山—大青山地区和狼山东部地区的新太古代、古元古代和晚古生代中酸性岩浆岩。

1.1.4 矿(铀)源分析

通过对大营和纳岭沟铀矿床直罗组砂岩 35 个非矿化样品的 U、Th 含量测定,表明其中原生沉积的灰色砂岩 U 含量平均为 6.55×10^{-6} ,说明鄂尔多斯盆地北部直罗组原生灰色砂岩具有较高铀背景值,在层间氧化阶段砂岩同沉积期富集的铀元素遭受氧化迁出构成该区铀成矿的重要铀源。

直罗组砂岩高铀背景值的原因主要是因为物源区不同时代岩体含有较高的铀含量,但新太古代和古元古代的岩体铀含量明显比显生宙岩体要低,其铀含量多数不足 1×10^{-6} ;铀源主要来源于古生代花岗岩

体,其铀元素强烈富集。例如,狼山东部查干花钼矿区古生代花岗岩体铀含量可高达 $(5.20 \sim 20.8) \times 10^{-6}$ [13]。因此认为直罗组砂岩的富铀背景主要是物源区晚古生代中酸性花岗岩提供物源引起的。另外,物源区的石炭纪—二叠纪富铀中酸性岩浆岩为古亚洲洋活动产物,其广泛分布也是中东亚成矿域内盆地砂岩高铀背景值的重要原因之一 [14]。

1.2 沉积成岩作用与铀的预富集

前文提到,鄂尔多斯盆地北部直罗组砂岩本身具有高铀背景值主要是由于源区晚古生代中酸性花岗岩体为盆地提供了物源所致。但是,直罗组砂岩本身如作为铀源,其碎屑中的铀元素得有一个预富集的过程,这个过程主要是由于成岩作用时期流体事件引起的。

在沉积成岩过程中,岩石特征尤其是砂岩物性发生较大变化,同时伴有成岩流体作用的发生,致使铀成矿前往往发生铀的成岩预富集作用。一般采用薄片鉴定、电镜扫描、电子探针、能谱分析、阴极发光、包裹体测温等多种分析方法进行成岩作用研究,并揭示其与铀矿化的关系。国内学者对此方面做过较多的工作,如对东胜铀矿直罗组成岩作用、鄂尔多斯盆地南部店头地区直罗组成岩作用与铀成矿的研究等 [15-17]。该方面研究的难点是成岩阶段的划分及其相应时期矿物的识别与形成特点。

对东胜铀矿成岩作用研究表明,直罗组砂岩经历了早成岩阶段 A、B 期和表生成岩阶段。砂岩层内的早期成岩作用使孔隙度和渗透性降低;中后期成岩作用下,有机质成熟至生烃以及产生的酸性水发生溶蚀形成了次生孔隙,可使砂岩渗透性大大增强,是砂岩型铀矿床形成的有利前提条件。在表生成岩阶段,直罗组砂岩中共发生过三幕古流体运移事件。其中第一、二幕记录于硅质胶结物中,烃类与盐水包裹体共存,均一温度分别为 89℃ 和 124℃。第三幕主要记录于碳酸盐胶结物中,主要为热流体事件,只发育盐水包裹体,均一温度为 163℃。在表生成岩阶段氧化—还原与酸性—碱性流体作用的过渡性物理化学条件是铀预富集有利的成岩环境 [15,18]。另外,在后生改造期,地下水的氧化作用和油气低温热液的还原蚀变也生成了次生孔隙,影响和改变了砂岩型铀矿形成后的渗透性及地浸利用的条件 [19-20]。

从成岩时代及铀迁移的同位素地球化学研究结果也证明了,成岩流体作用下铀得到了预富集,为后期铀的大规模成矿奠定了基础。对东胜铀矿年龄的研究表明,其中存在一期矿化其年龄为 (177 ± 16) Ma,

与直罗组的中侏罗世沉积年龄相一致,证明了沉积时铀预富集现象的存在^[21]。其砂体原始含量(U_0)平均值为 24.64×10^{-6} ,直罗组岩石中铀的近代得失(ΔU)平均值为-70.2%,表明非矿化岩石铀的带出特性及铀的预富集特点。上述特征说明了直罗组砂岩本身是铀成矿的重要铀源^[22]。

2 沉积物特征及沉积体系分析与铀矿聚集

2.1 沉积物(岩)特征与铀的聚集

沉积物(岩)特征包括沉积物的结构和沉积构造、沉积物(岩)的组份等。前者研究颗粒的显微关系,反映某种水动力结构和成岩组构(如化学沉淀、胶结物、交代作用)。沉积构造则有层面构造、层理构造、与生物活动有关的沉积构造等。沉积物组份包括碎屑颗粒、填隙物(杂基和胶结物)和孔隙三种;对它们的研究,可得到有关岩石成因方面的信息。

上述沉积物(岩)的不同特征,决定了砂岩容矿层中铀的赋存空间和形成关系,是铀聚集程度的重要因素。

一般在碎屑岩类型中,中—粗砂岩、砾岩是较为有利的砂岩型铀矿层岩性;沉积岩的结构和组分决定其物性特征,是铀矿是否聚集形成及空间定位的关键因素之一;一般容矿层砂岩渗透性(渗透系数)至少大于 $0.1 \times 10^{-3} \text{ m/d}$,如果在 $(1 \sim 20) \times 10^{-3} \text{ m/d}$ 则是有利的^[18]。沉积构造与水动力条件及气候环境相关,而古气候则是砂岩铀矿赋矿层位形成的基础条件。

东胜铀矿含矿砂岩的岩石类型主要为长石岩屑石英砂岩和岩屑石英砂岩,该类砂岩物性较好,对成矿有利;成岩胶结矿物有黏土矿物、碳酸盐、硅质矿物和铁质矿物;砂岩的物性明显受到成岩作用的控制,渗透性好的砂岩有利于古成矿流体的运移和成矿。成岩作用类型有压实、压溶、胶结和交代作用;成岩早期的压实作用对砂岩物性会造成一定的负面影响,如在胶结物中钙质胶结作用是本区砂岩物性变差的主要成岩作用类型;在成岩系列中,钙质胶结有早期的泥晶方解石胶结,晚期的亮晶方解石胶结,亮晶方解石形成的流体作用温度较高,可达低温热液性质。但成岩作用晚期的溶蚀作用却可使砂岩孔隙度增大,透水性变好,从而使砂岩物性变好。

2.2 沉积体系和沉积环境与铀的聚集

2.2.1 沉积体系与铀的聚集

沉积体系是指成因上被沉积环境和沉积过程联

系起来的相的三维组合^[23],而成因相是沉积体系内部的基本构成单位。现有的砂岩铀矿勘探和研究表明,沉积相与铀矿的富集没有直接和必然的联系,但却与沉积环境及沉积体系有较大的关系。统计表明,一般辫状河体系及辫状河三角洲沉积体系其砂体规模适中,铀的聚集成矿概率较高。

目前,部分学者对伊犁盆地^[24]、鄂尔多斯盆地、吐哈盆地等砂岩铀矿与沉积体系的关系进行了较为详细的研究。例如,对鄂尔多斯盆地北部砂岩铀矿的研究表明,容矿层直罗组划分为上、下两段,厚度展布表现为西厚东薄;砂岩粒度分布表现为河道和分流河道等沉积特征,沉积环境与沉积构造分析认为直罗组下段以辫状河沉积为主,上段以曲流河、三角洲沉积为主。直罗组下段辫状河道砂岩是砂岩型铀矿的良好成矿层^[25]。吴仁贵等^[26]认为,直罗组沉积经历了早期辫状河沉积,中晚期低弯度和高弯度曲流河沉积的演化阶段。铀矿化受辫状河道控制,主要赋存于温湿条件下的辫状河沉积砂体中。焦养泉等^[27]强调沉积体系的不同导致砂体的结构和规模差异性较大,从而对铀成矿的贡献不同。对直罗组下段的分析表明,直罗组底部砂体还可以分为上、下两个亚段且成因不同。下亚段主要由辫状河体系和辫状河三角洲体系构成,上亚段主要由曲流河体系和(曲流河)三角洲体系构成,由于上下亚段砂体具有较大的规模和较好的物性,而上亚段砂体规模变小、从而非均质性增强。所以矿体主要聚集于下亚段砂体中。认为砂体非均质性是铀成矿的关键因素。吴柏林等^[18,28]对吐哈盆地十红滩铀矿床的研究也表明,十红滩矿床容矿层位水西沟群西山窑组(J_2x)中,辫状河体系和辫状河三角洲体系及灰色沉积建造是十红滩矿床最有利的砂体赋矿空间,几乎所有的矿体和储量均赋存于这类沉积体系之中。

2.2.2 古气候及沉积建造与铀矿赋存

(1) 总体规律与特点

古气候环境从宏观上决定了砂岩铀矿赋存的物质基础和形成过程。含铀岩系容矿地层一般为温暖潮湿气候条件下形成的“灰色”岩系建造,富含有机质等还原剂,具有较高的还原容量,是砂岩铀矿赋存的有利层位。当古气候演变为炎热干旱条件时则是铀矿的形成时期。有利承压含氧层间地下水的的作用,形成层间氧化带型铀矿床。因此,铀矿勘查目标层位或含铀岩系层位的选择,温暖潮湿气候条件下的沉积建造是首选。

我国中生代盆地古气候演化自中生代以来(距今250 Ma)经历了几个温暖潮湿气候演化时期:1)晚三叠世(距今227~205 Ma),目前在甘肃喜集水盆地延长群(T_3)找到了小型砂岩型铀矿,延长群在区域上属含煤沼泽相的河湖交替碎屑岩建造。2)早侏罗世至中侏罗世早期,中下侏罗统含煤系地层是中国北方最有利的砂岩型铀矿赋存层位;新疆境内自西而东中下侏罗统水西沟群($J_{1,2sh}$),包括下侏罗统八道湾组(J_1b)、三工河组(J_1s)、中侏罗统西山窑组(J_2x)等均为砂岩型铀矿化层位。在伊犁盆地南缘及吐哈盆地南缘均已发现相关矿床。自西而东可延至阿拉善地区潮水盆地、包头东部石拐沟盆地、辽西北地区北票盆地等。近年来在鄂尔多斯盆地北部中侏罗统直罗组(J_2z)发现了特大型砂岩型铀矿床。已知铀矿床几乎全部产于湿温期盆地沉积的暗色含煤建造和灰色碎屑岩建造中^[29-30]。

干旱、半干旱气候环境则是铀矿的形成时期,形成层间氧化带砂岩型铀矿床;另外,古气候也决定了油气煤等有机矿产的形成及氧化还原环境的分布,而这也是铀矿富集的重要影响因素。据王鸿祯等^[31]学者的意见,我国中生代干旱、半干旱气候主要出现在三个时期,三叠纪早中世,中晚侏罗纪至第三纪晚期,更新世潮湿期之后直到现代。而在这些干旱期内,早先形成的温暖潮湿气候条件下的暗色含煤沉积建造形成了铀矿化的含铀岩系。

总之,盆地沉积建造类型对砂岩型铀矿的形成具有明显的影响,温湿气候条件下形成的灰色层往往为含矿的目的层;中国北西部地区中生代盆地由于其沉积建造类型的特点,砂岩型铀矿的容矿层位主要为中、下侏罗统,部分为白垩统,其他地质时期地层内铀矿床分布零星,成矿潜力较小^[32]。

(2) 沉积古气候的确定方法及实例

古气候的演变作为环境的一个变化因素是砂岩型铀矿形成的一个大前提。区域上找矿首先须确定找矿目的层位,而砂岩铀矿的有利层位或沉积建造是在温湿气候条件下形成的,因此,首先应对地层的古气候特点进行分析。厘定了地层的温湿气候特点,也就确定了铀矿的找矿层位。

在此以吐哈盆地为例。吐哈盆地西南缘砂岩型铀矿赋存于中下侏罗统水西沟群中,古气候研究主要是通过野外地质观察、原生灰色泥岩微量元素地球化学、古植物及古孢粉化石等方面的信息来进行认识^[19,28]。

1) 古植物化石组合。对矿区9个钻孔及21个露头点系统取样进行古植物化石种属鉴定,发现它们多以蕨类和裸子类为主,与我国早中侏罗世广泛分布的含煤地层所含 *Coniopteris-Phoenicopsiss* 植物群相当^[33]。($J_1b \sim J_1s$)指示性化石有如 *Neocalanifes* 等,西山窑组第一到第二岩性段($J_2x^1 \sim J_2x^2$)代表性化石如 *Sphenozamites* 等,第三岩性段(J_2x^3)古植物为苏铁类及松柏类,这种组合反映的气候为典型的温暖潮湿气候类型;但到了西山窑组末期,即第四岩性段(J_2x^4),其古植物化石为真蕨类及银杏类,说明此时气候虽为温暖—干旱型,但水位开始向低位转化。

2) 野外地质观察。野外观察工作表明,盆地西南缘见较厚的石膏夹层等原生红层,说明第三系时期气候特点为干旱炎热;实际上在西山窑组(J_2x)末期即(J_2x^4)时期,即已经可见薄的红层夹层,说明此时气候就已经开始向干旱进行转变。

3) 原生灰色泥岩微量元素地球化学特征。原生灰色泥岩微量元素指标(主要是考察 Sr、Ba、Fe、Mn、Mg、Ca 等元素)也可指示古气候的演变。一般认为, Sr/Ba < 1 反应为淡水环境;当 Mg/Ca 比值逐步减小, Fe/Mn 逐步增加,且 Mg/Ca 减小时,反映古气候温度由高向低的温湿环境变化,相应湖水面由低转向高。结果表明,总体为温湿条件。

4) 古孢粉化石组合特点。对钻孔地层从老到新进行系统取样鉴定,在三工河组(J_1s)发现了比较丰富的孢粉化石,反映一种比较明显的湿润气候条件。其中 *Cerebropollenites* 和 *Perinopollenites* 种属的存在说明地层时代属侏罗纪。但该组合中桫欏科的孢子 *Cyathidites minor* 含量较低,并同时存在三叠纪残余分子 *Annulispora*, *Chordasporites*, *Taeniaesporites* 及 *Protohaploxylinus*, 因此,总体上其地质时代应划归为早侏罗世。桫欏科植物孢子的母体为高大的树蕨植物,其分布在热带或亚热带潮湿地区;紫萁、石松分布在亚热带潮湿区;所有含有这些孢粉组合的地层反映了当时气候条件总体处于温湿的环境^[18,28]。

3 层序地层学与铀聚集作用

3.1 层序地层学与砂岩铀矿勘探

层序地层学是研究时间地层格架内的岩石关系,即成因上有联系,格架内可重复的、以剥蚀面或相对应的整合面为界的地层。层序地层学概念提出及发展与油气勘探技术息息相关。最早 Sloss^[34] 提出层序概念,认为层序是以不整合面为界的岩石地层单元;

Vail *et al.*^[35]继承了层序的概念并应用到不同规模和尺度的地层之中。随着地震地层学的发展,层序地层学理论体系趋于成熟,并提出相关模式。目前,层序地层学多根据钻井、地震、露头等资料,结合有关岩相古地理和沉积环境的信息,建立地层层序格架,恢复沉积演化与时空分布。层序边界主要是剥蚀成因或无沉积作用造成的地层不连续界面^[36]。对于中国西北地区的具体情况,认为其中控制层序变化的因素主要应考虑:1)构造沉降界面;2)古气候环境;3)全球海平面变化情况和沉积物供应量。

目前,砂岩型铀矿勘探的蓬勃发展,使得层序地层学在铀矿勘查领域也得到了较广泛的应用。

层序地层学特征对砂岩铀矿的控制作用,国内部分学者进行过研究。如:对吐哈盆地十红滩矿床、伊犁盆地512矿床、鄂尔多斯盆地北部东胜铀矿等的研究^[18,28,37-38],对二连盆地白音乌拉地区赛汉组铀矿层序特征的分析^[39],柴达木盆地西北部第三系层序地层与铀矿关系^[40]等。一般认为,层序或准层序界面控制层间氧化带砂岩型铀矿化发育的垂向层位,基准面上升初期与下降期的辫状河体系与辫状河三角洲体系控制铀矿化空间分布;矿体主要赋存于低可容纳空间下形成的砂质河道砂体中。

3.2 应用实例:吐哈盆地西南缘水西沟群层序地层学与铀矿赋存

由于吐哈盆地是一个内陆山间盆地,依据陆相层序地层学原理,其地层层序的划分则应主要由构造、气候、沉积物供应量三个方面来决定,其中沉积物供应量则主要受构造控制。按照这个思路,以十红滩矿床白咀山—迪哈尔矿段为例,首先依据构造不整合面划分地层的构造层序,并进一步以古气候演变为依据划分气候层序。

(1) 构造层序

由于八道湾组(J_1b)与基底中石炭统以角度不整合接触,西山窑组(J_2x)与新生界地层也呈角度不整合,由此本区可划分三个构造层序,构造层序I为上古生界(Pz_2),构造层序II为中下侏罗统水西沟群($J_{1-2}sh$),构造层序III为新生界(Kz)。

(2) 气候层序及铀矿赋存

依据本区的古气候演变特点,西山窑组可划分出一套完整的气候层序:盆地处于近似封闭的湖盆中,气候变化引起湖平面经历了由低→高→低的一次长周期变动,构成一套气候层序。其体系域类型的变化特征为由低水位域(LST)→湖泊扩张体系域(EST)

→高水位体系域(HST)→湖泊收缩体系域(CST)演化。其中湖泊收缩体系域的冲积扇或河流三角洲沉积体系发育,导致煤不能大规模生成。本区(J_2x^4)砂体规模不大,为三角洲相沉积,局部的红层夹层反映为气候干旱特点,不含煤层,因此划归为湖泊收缩体系域。

该区划分层序及准层序的其他一些特殊标志还有:1)岩相突变面;2)河床滞留沉积砾岩层;3)厚煤层及根土岩段;4)沉积韵律变化面;5)特殊矿物化石层,如工作区(J_1s)具淡水动物化石及菱铁矿层等等。

依据这些原则和特征,对十红滩矿床水西沟群层序地层学进行了地层层序的划分。从中明确地看出,铀矿化主要赋存于低水位域的辫状河体系、湖泊扩张体系域中的辫状河三角洲体系砂体中。这些砂体厚度较为适中(约10~25 m),其连通性和渗透性均较好,并富含有机质和黄铁矿等还原剂,是铀矿体分布的主要类型砂体^[28]。

4 铀矿沉积学发展趋势

目前,资源、能源和发展问题正成为全球研究的热点,铀矿沉积学作为资源沉积学的一个类型,其地位和作用日显重要。随着沉积学以人类的生存发展关系密切的环境、气候、能源为依托,向多学科交叉渗透、多种高新技术引用等趋势发展,铀矿沉积学也迎来良好的发展机遇。根据近十几年砂岩铀矿勘探和发展的现状,对铀矿沉积学来说,如下几方面是今后几年应重点注意和研究的方向:

(1) 大型、特大型矿床的发现是中新生代盆地砂岩铀矿找矿的主要目标,其中,“大规模成矿作用”和铀的“超常富集”环境控制因素研究是关键。已有研究表明,成岩后或表生成岩阶段的流体蚀变或热—还原流体作用环境与此密切相关。“油气煤同益共存”^[41-42],油气煤等有机质作用为铀的后期保存及进一步叠加富集提供了关键的地质和地球化学环境。鄂尔多斯盆地北部白垩纪以来的大规模“天然气耗散”作用是东胜铀矿“超常富集”及盆地北部可能形成世界级铀矿集区的关键环境因素^[43-49]。

(2) 含铀岩系(砂体)的特征、沉积及后生作用环境、空间分布规律等的研究。砂岩铀矿主要赋存在砂体中,其中,辫状河体系和辫状三角洲体系及灰色沉积建造砂体是最有利的场所。服务于找矿勘探的需要,含铀岩系(砂体)的识别、空间定位规律、沉积及成矿成因、找矿预测等是研究的重点。国内曾有学

者提出“铀储层”的概念及一些预测方法^[38],说明该方面研究已得到一定的重视。

(3) 多种高新分析测试技术的应用。例如,铀成岩与成矿作用的时限、有机—无机作用的识别等是铀矿沉积学理论认识的重要内容。但成矿时限和有机作用需要精准的科学证据—其中同位素测年和稳定同位素示踪等信息是解决该认识的有效手段。随着目前高精度微区原位同位素测试技术的兴起,使得上述问题的精确研究成为可能。

总之,铀矿沉积学与人类的生存与环境密切相关,其研究内容以铀矿地质学、沉积盆地分析为理论平台,涉及到沉积学内容的方方面面,具有明显的新兴学科交叉性质,建议可将其作为沉积学学科的一个独立分支或分学科进行研究。在充分认识其重要性之后,相信铀矿沉积学学科从理论到实践会得到更加全面和迅速的发展。

参考文献 (References)

- [1] Wadell H. Volume, shape, and roundness of rock particles[J]. The Journal of Geology, 1932, 40(5): 443-451.
- [2] Gary M, MacAfee R, Jr, Wolf C L. Glossary of geology[M]. 2nd ed. Washington, DC: American Geological Institute, 1973.
- [3] Friedman G M. Address of retiring president of the international association of sedimentologists: differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins[J]. Sedimentology, 1979, 26(1): 3-32.
- [4] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2010.[Jiang Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.]
- [5] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学,1976(3):167-174. [Li Tong. Chemical element abundances in the earth and it's major shells[J]. Geochimica, 1976(3): 167-174.]
- [6] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution: an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks[J]. The Journal of Geology, 1985, 94(4): 632-633.
- [7] 罗朝文,王剑锋. 铀成矿原理[M]. 北京:原子能出版社,1990. [Luo Chaowen, Wang Jianfeng. Uranium mineralization principle [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1990.]
- [8] 金景福,黄广荣. 铀矿床学[M]. 北京:原子能出版社,1991. [Jin Jingfu, Huang Guangrong. Uranium deposit [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1991.]
- [9] OECD-NEA/IAEA. Uranium 2011: resources, production and demand[R]. Paris: OECD, 2012.
- [10] 王飞飞,刘池洋,邱欣卫,等. 全球油气煤铀藏(矿)同盆共存特征与分布规律[M]//刘池洋,吴柏林. 油气煤铀同盆共存成藏(矿)机理与富集分布规律:上册. 北京:科学出版社,2017:3-45. [Wang Feifei, Liu Chiyang, Qiu Xinwei, et al. The characteristics about co-existence and distribution of deposits of oil, gas, coal and uranium in the world[M]//Liu Chiyang, Wu Bailin. The mechanism, distribution and enrichment of deposits of oil, gas, coal and uranium: the first volume [M]. Beijing: Science Press, 2017: 3-45.]
- [11] 张金带. 中国北方中生代沉积盆地铀矿勘查进展和展望[J]. 铀矿地质,2012,28(4):193-198. [Zhang Jindai. Progress and outlook of uranium exploration in Meso-Cenozoic basins in North China[J]. Uranium Geology, 2012, 28(4): 193-198.]
- [12] 张龙,吴柏林,刘池阳,等. 鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿直罗组物源分析及其铀成矿意义[J]. 地质学报,2016,90(12):3441-3453. [Zhang Long, Wu Bailin, Liu Chiyang, et al. Provenance analysis of the Zhiluo Formation in the sandstone-hosted uranium deposits of the northern Ordos Basin and implications for uranium mineralization[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(12): 3441-3453.]
- [13] 刘翼飞,聂风军,江思宏,等. 内蒙古查干花钼矿区成矿花岗岩地球化学、年代学及成岩作用[J]. 岩石学报,2012,28(2):409-420. [Liu Yifei, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. Ore-forming granites from Chaganhua molybdenum deposit, Central Inner Mongolia, China: geochemistry, geochronology and petrogenesis [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 409-420.]
- [14] 焦养泉,吴立群,彭云彪,等. 中国北方古亚洲构造域中沉积型铀矿形成发育的沉积—构造背景综合分析[J]. 地学前缘,2015,22(1):189-205. [Jiao Yangquan, Wu Liqun, Peng Yunbiao, et al. Sedimentary-tectonic setting of the deposition-type uranium deposits forming in the Paleo-Asian tectonic domain, North China[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 189-205.]
- [15] 樊爱萍,柳益群,杨仁超,等. 鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成岩作用研究[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2007,37(增刊1):166-172. [Fan Aiping, Liu Yiqun, Yang Renchao, et al. Research on diagenesis of the sandstone-type uranium deposits in Dongsheng area, Ordos Basin [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37(Suppl.1): 166-172.]
- [16] 樊爱萍,柳益群,杨仁超,等. 东胜直罗组砂岩成岩作用过程与古流体运移事件分析[J]. 地质学报,2006,80(5):694-699. [Fan Aiping, Liu Yiqun, Yang Renchao, et al. Diagenesis and palaeo-fluid migration events in the Zhiluo Formation in Dongsheng area[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 694-699.]
- [17] 邢秀娟,柳益群,李卫宏,等. 鄂尔多斯盆地南部店头地区直罗组砂岩成岩演化与铀成矿[J]. 地球学报,2008,29(2):179-188. [Xing Xiujian, Liu Yiqun, Li Weihong, et al. Sandstone diagenesis and uranium mineralization of the Zhiluo Formation in the Diantou area, southern Ordos Basin [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(2): 179-188.]
- [18] 吴柏林. 中国西北地区中生代盆地砂岩型铀矿地质与成矿作用[D]. 西安:西北大学,2005. [Wu Bailin. The geology and mineralization of the sandstone-type uranium in the Meso-Cenozoic basins in the Northwest China [D]. Xi'an: Northwest University, 2005.]
- [19] 吴伯林,魏观辉,陈宏斌. 东胜地区砂岩型铀矿后生蚀变作用研究[R]. 咸阳:核工业 203 研究所,2004. [Wu Bolin, Wei

- Guanhui, Chen Hongbin. The research of epigenetic alteration in Dongsheng sandstone-type uranium deposit [R]. Xianyang: The 203 Institute of Nuclear Industry, 2004.]
- [20] 龚斌利. 浅析影响砂岩渗透性的主要因素[J]. 世界核地质科学, 2006, 23(3): 145-150. [Gong Binli. Elementary analysis on the main factors affecting the permeability of sandstones[J]. World Nuclear Geoscience, 2006, 23(3): 145-150.]
- [21] 夏毓亮, 林锦荣, 刘汉彬, 等. 中国北方主要产铀盆地砂岩型铀矿成矿年代学研究[J]. 铀矿地质, 2003, 19(3): 129-136, 160. [Xia Yuliang, Lin Jinrong, Liu Hanbin, et al. Research on geochronology of sandstone-hosted uranium ore-formation in major uranium-productive basins, northern China [J]. Uranium Geology, 2003, 19(3): 129-136, 160.]
- [22] 刘汉彬, 夏毓亮, 田时丰. 东胜地区砂岩型铀矿成矿年代学及成矿铀源研究[J]. 铀矿地质, 2007, 23(1): 23-29. [Liu Hanbin, Xia Yuliang, Tian Shifeng. Study on geochronology and uranium source of sandstone-type uranium deposit in Dongsheng area [J]. Uranium Geology, 2007, 23(1): 23-29.]
- [23] Fisher W L, McGowen J H. Depositional systems in the Wilcox group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas [J]. Transfer of Gulf Coast Association of Geological Societies, 1967, 17: 105-125.
- [24] 李胜祥, 韩效忠, 蔡煜琦, 等. 伊犁盆地南缘西段中下侏罗统水西沟群沉积体系及其对铀成矿的控制作用[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 582-590. [Li Shengxiang, Han Xiaozhong, Cai Yuqi, et al. Depositional system of the Lower-Middle Jurassic Shuixigou Group in the western segment of the southern margin of the Ili basin and its controls on uranium mineralization [J]. Geology of China, 2006, 33(3): 582-590.]
- [25] 赵俊峰, 刘池洋, 喻林, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗系直罗组砂岩发育特征[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 535-544. [Zhao Junfeng, Liu Chiyang, Yu Lin, et al. Distributional and sedimentary characteristics of sandstones in Jurassic Zhiluo Formation, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 535-544.]
- [26] 吴仁贵, 祝民强, 余达淦, 等. 沉积体系分析与底河道型砂岩铀矿成矿条件讨论: 以鄂尔多斯中生代盆地北部东胜地区为例[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊1): 878-880. [Wu Rengui, Zhu Minqiang, Yu Dagan, et al. Analyses of depositional system and studies on metallogenic condition of basal-channel sandstone uranium deposit [J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (Suppl. 1): 878-880.]
- [27] 焦养泉, 陈安平, 杨琴, 等. 砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一: 鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨[J]. 铀矿地质, 2005, 21(1): 8-15. [Jiao Yangquan, Chen Anping, Yang Qin, et al. Sand body heterogeneity: one of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos Basin [J]. Uranium Geology, 2005, 21(1): 8-15.]
- [28] 吴柏林, 徐高中. 吐哈盆地西南缘水西沟群古气候演变特征及其层序地层学意义[J]. 华东理工学院学报, 2004, 27(2): 135-140. [Wu Bolin, Xu Gaozhong. Evolution feature of Palaeoclimate and significance of sequence stratigraphy in Suixigou Group in the southwest edge of Turpan-Ham basin [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2004, 27(2): 135-140.]
- [29] 陈戴生, 刘武生, 贾立城. 我国中生代古气候演化及其对盆地砂岩型铀矿的控制作用[J]. 铀矿地质, 2011, 27(6): 321-326, 344. [Chen Daisheng, Liu Wusheng, Jia Licheng. Paleoclimate evolution in China and its control on the metallization of sandstone type uranium deposit of Meso-Cenozoic basins [J]. Uranium Geology, 2011, 27(6): 321-326, 344.]
- [30] 陈戴生. 我国中生代陆相盆地含铀沉积建造类型、特征及其研究意义[J]. 世界核地质科学, 2012, 29(3): 135-141. [Chen Daisheng. The type, character and significance of uraniumiferous formation in Meso-Cenozoic continental basin in China [J]. World Nuclear Geoscience, 2012, 29(3): 135-141.]
- [31] 王鸿祯. 地球历史的节律-生物史, 沉积史, 构造史, 岩浆史专辑[J]. 地学前缘, 1997, 4(3/4): 1-380. [Wang Hongzhen. Rhythm of the earth's history-Biological history, sedimentary history, tectonic history, magmatic history album [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3/4): 1-380.]
- [32] 权志高, 徐高中. 中国西北部地区砂岩型铀矿含矿建造及找矿前景[J]. 地质学报, 2012, 86(2): 307-315. [Quan Zhigao, Xue Gaozhong. Ore-bearing formation and exploration perspective of sandstone-type uranium deposits in northwestern China [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(2): 307-315.]
- [33] 斯行建. 中国植物化石[M]. 北京: 科学出版社, 1963. [Si Xingjian. Chinese plant fossil [M]. Beijing: Science Press, 1963.]
- [34] Sloss L L. Sequences in the cratonic interior of North America [J]. Geological Society of America Bulletin, 1963, 74(2): 93-114.
- [35] Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap [C]//Clayton C E. Seismic Stratigraphy-applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1977, 26: 63-81.
- [36] 纪友亮, 张世奇. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京: 地质出版社, 1998. [Ji Youliang, Zhang Shiqi. The principle of sequence stratigraphy and the mechanism of sequence genesis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.]
- [37] 权建平, 樊太亮, 焦养泉, 等. 层序结构对吐哈盆地 SHT 砂岩型铀矿成矿的控制作用[J]. 世界核地质科学, 2006, 23(3): 130-136. [Quan Jianping, Fan Tailiang, Jiao Yangquan, et al. Control of sequence frameworks over mineralization in SHT sandstone type uranium deposit [J]. World Nuclear Geosciences, 2006, 23(3): 130-136.]
- [38] 焦养泉, 吴立群, 杨生科, 等. 铀储层沉积学: 砂岩型铀矿勘查与开发的基础[M]. 北京: 地质出版社, 2006. [Jiao Yangquan, Wu Liqun, Yang Shengke, et al. Sedimentology of Uranium Reservoir: the foundation of exploration and development of sandstone type uranium deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.]
- [39] 何中波, 秦明宽. 高分辨率层序地层学特征及砂岩型铀成矿作用: 以二连盆地白音乌拉地区赛汉组为例[J]. 世界核地质科

- 学, 2006, 23(4): 194-198, 203. [He Zhongbo, Qin Mingkuan. High resolution sequence stratigraphic character and sandstone type uranium ore formation-A case from Saihan Formation in Baiyinwula area, Erlian Basin[J]. World Nuclear Geoscience 2006, 23(4): 194-198, 203.]
- [40] 艾桂根. 柴达木盆地西北部第三系层序地层特征及可地浸砂岩型铀矿找矿方向[J]. 铀矿地质, 2001, 17(4): 209-215. [Ai Genjia. Sequence stratigraphy features of Tertiary and its prospecting direction for in-situ leachable sandstone-type uranium deposit in northwestern part of Qaidam Basin [J]. Uranium Geology, 2001, 17(4): 209-215.]
- [41] 刘池洋. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展[M]. 北京: 科学出版社, 2005. [Liu Chiyang. Advances in the Accumulation and formation form multiple-energy mineral deposits coexisting in the same basin[M]. Beijing: Science Press, 2005.]
- [42] 刘池洋, 吴柏林. 油气煤铀同盆共存成藏(矿)机理与富集分布规律: 上、下册[M]. 北京: 科学出版社, 2017. [Liu Chiyang, Wu Bolin. Accumulation (mineralization) mechanism and spatial enrichment law of oil/gas, coal and uranium coexisting in the same basin; Part 1, 2[M]. Beijing: Science Press, 2017.]
- [43] Wu B L, Xu G W, Liu C Y, et al. Alteration effects of hydrocarbon dissipation in the Dongsheng uranium deposit, Ordos Basin-explanation for green alteration and bleaching phenomenon[J]. Energy Exploration & Exploitation, 2009, 27(3): 181-199.
- [44] 吴柏林, 刘池阳, 张复新, 等. 东胜砂岩型铀矿后生蚀变地球化学性质及其成矿意义[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 740-747. [Wu Bolin, Liu Chiyang, Zhang Fuxin, et al. Geochemical characteristics of epigenetic alteration in Dongsheng sandstone-type uranium deposit and its metallogenic signification[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 740-747.]
- [45] 吴柏林, 王建强, 刘池阳, 等. 东胜砂岩型铀矿形成中天然气地质作用的地球化学特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 225-232. [Wu Bolin, Wang Jianqiang, Liu Chiyang, et al. Geochemical behavior of geologic process of natural gas during mineralization of Dongsheng sandstone-type uranium deposit [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 225-232.]
- [46] 吴柏林, 邱欣卫. 论东胜矿床油气逸散蚀变的地质地球化学特点及其意义[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 455-462. [Wu Bolin, Qiu Xinwei. Geological and geochemical characteristics of escaped hydrocarbon epigenetic alteration in the Dongsheng mineral deposit and its significance[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 455-462.]
- [47] 吴柏林, 魏安军, 胡亮, 等. 油气耗散作用及其成矿成矿效应: 进展、认识与展望[J]. 地质论评, 2014, 60(6): 1199-1211. [Wu Bailin, Wei Anjun, Hu Liang, et al. The hydrocarbon dissipation and its effect of diagenetic and mineralization: progress, understanding and outlook[J]. Geological Review, 2014, 60(6): 1199-1211.]
- [48] 吴柏林, 魏安军, 刘池阳, 等. 鄂尔多斯盆地北部延安组白色砂岩形成的稳定同位素示踪及其地质意义[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 179-188. [Wu Bailin, Wei Anjun, Liu Chiyang, et al. Stable isotope tracing on the formation of white sandstone in Yan'an Group, northern Ordos Basin, and its geological significance[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 205-214.]
- [49] 吴柏林, 魏安军, 胡亮, 等. 内蒙古东胜铀矿区后生蚀变的稳定同位素特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(12): 2133-2145. [Wu Bailin, Wei Anjun, Hu Liang, et al. The epigenetic alteration stable isotope characteristics of the Dongsheng uranium ore district and their geological implications[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(12): 2133-2145.]

Study and Prospect for Sedimentology of Uranium Deposit

WU BaiLin^{1,2}, SUN Bin^{1,2}, CHENG XiangHu^{1,2}, ZHANG WanYing^{1,2}, LIU MingYi^{1,2}, HAO Xin^{1,2}, LIU ChiYang^{1,2}

1. State Key Laboratory of Continental Dynamic, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: With the rapid development of the exploration and development of uranium deposit, especially sandstone-type uranium deposits, the sedimentology of sandstone-type uranium deposit is proposed. The sedimentology of the uranium deposits is a branch of learning to research uranium mineralization, forming environment, characteristics of uranium-bearing rock series, and the enrichment mechanism and distribution of uranium under sedimentary control during the formation and evolution of sedimentary basins. It combines uranium geology, basin analysis and other disciplines, having the obvious interdisciplinary characteristics. The sedimentology of sandstone-type uranium deposits is the most typical representative of uranium deposit sedimentology, it is on the basis of basin analysis and sandstone-type uranium geology, combining sedimentological techniques, make a specific study on sandstone-type uranium deposit formation of material source, diagenesis and the preliminary enrichment of uranium, sediment structure and permeability, depositional system and uranium-bearing rock series analysis, fluid effect and later reformation, sequence stratigraphic and the spatial distribution of uranium, uranium enrichment factor and sedimentation and the ancient climate environment, sedimentation factors and prediction of sandstone type uranium deposits, as well as the management informationization of 3D visual modeling, and so on. In this paper, the representative sandstone type uranium deposits of Yili Basin, Turpan-Hami basin which are in Xinjiang Province and the north of Ordos Basin are taken as an example. We analyze the latest development and cognition of sedimentary uranium deposit study about it from three aspects, including the relationship between the uranium accumulation and sediment formation - evolution process, the relationship between the characteristics of sediments and depositional system analysis and uranium accumulation and the relationship between the sequence stratigraphy and accumulation effect of the uranium. Meanwhile, the development trend of the sedimentology of the uranium deposits is prospected. And we think that "large-scale mineralization" of sandstone uranium and the key geological environment of "exceptional enrichment" of uranium, rock uranium deposit and the spatial distribution of uranium and a variety of applications of high and new analytical techniques will be the focus of future research and development of uranium sedimentology. Because the relationship between the sedimentology of the uranium deposits and human existence is important, and the sedimentology of the uranium deposits is related among many aspects of sedimentary science, it is reasonable to believe that the future of the sedimentology of the uranium deposits may be an independent branch of sedimentology and will be well studied and developed.

Key words: sedimentology of the uranium deposits; sandstone type uranium deposits; depositional system; sequence stratigraphy; depositional environment; uranium accumulation