

文章编号: 1000-0550(2003)01-0113-05

# 我国中新生代盆地砂岩型铀矿研究现状及 发展方向的探讨<sup>①</sup>

陈戴生 李胜祥 蔡煜琦

(核工业北京地质研究院 北京 100029)

**摘要** 砂岩型铀矿是我国具有工业意义的铀矿床类型之一,是核工业目前主要勘查类型。本文在扼要概述砂岩型铀矿成矿地质条件的基础上,对当前研究现状,尤其是地浸砂岩型铀矿的研究现状及地浸地质条件进行了评述。从多方面探讨了该类型铀矿床的发展方向及值得重视的基础地质研究及研究方法手段等。

**关键词** 砂岩型铀矿 地浸 中新生代盆地 沉积相

**第一作者简介** 陈戴生 男 1936年出生 研究员 沉积学与岩相古地理学 铀矿床学

**中图分类号** P619.14 **文献标识码** A

## 1 砂岩型铀矿成矿基本地质条件

我国中新生代盆地砂岩型铀矿系赋存于侏罗、白垩、第三纪盆地中的铀矿床,其含矿主岩为陆相碎屑沉积岩(砂岩为主,次为砾岩)或陆相火山碎屑岩(凝灰质砂砾岩)。根据沉积建造分类,该类型矿床可包括陆相红色碎屑建造中的铀矿床(衡阳型)、陆相暗色含煤碎屑建造中的铀矿床(伊犁型)以及陆相火山碎屑沉积建造中的铀矿床(青龙型)。含矿主岩沉积相主要为冲积扇前缘辫状河、辫状河三角洲平原分流河道及席状砂坝,少数为湖泊沼泽相。矿床成因为在沉积成岩基础上,以地下水的后生改造作用为主,属层间氧化带型或潜水氧化带型铀矿床。

砂岩型铀矿研究必须抓住三个基本成矿地质条件:(1)盆地座落的区域地质背景,即盆地所处的大地构造单元、盆地性质、盆地类型、盆地演化史及其与铀成矿作用的关系。(2)沉积建造、含矿主岩岩相古地理(古气候)条件的研究,包括大型盆地和中小型盆地不同相带的研究,不同沉积环境有利砂体的研究等。(3)盆地铀成矿后生改造条件的研究,这是盆地形成富矿的必备条件,因而需强调层间氧化带发育状况(氧化带规模、发育方向及含铀性)、不整合、构造-热水作用等有利于形成富大矿体地质条件的研究。

## 2 研究现状

40多年来核工业地质主管部门对盆地找矿和科

研工作予以极大的关注及有力的领导,上世纪90年代以前砂岩型铀矿就已成为我国具有工业意义的四大类型(花岗岩型、火山岩型、砂岩型和碳硅泥岩型)铀矿床之一,探明储量居四大类型的第三位。目前,该类型铀矿床已成为我国铀矿地质找矿的主要找矿方向。我国幅员辽阔,盆地众多,盆地找矿有着广阔的前景,尤其是80年代以来加强了北方中新生代盆地的找矿工作,在辽西-冀北建昌盆地、内蒙二连盆地、测老庙盆地、鄂尔多斯盆地、伊犁盆地、吐哈盆地等均已获得具有一定储量的铀矿床,对区域地质背景条件、砂岩型铀矿的矿化特征及控矿因素、成矿机理及成矿模式进行了较为较为深入的研究。

20世纪80年代末及90年代初以来,核工业地质及矿冶系统引进了中亚地区及俄罗斯等国砂岩型铀矿的地浸法采铀的经验。地浸,即原地浸出采铀,是指在原地埋藏条件下的矿体中注入溶浸剂(工业酸、碱或氧气),使铀及有用组份与溶剂起反应生成可溶的铀化合物,然后将含矿溶液抽出,通过吸附获取金属的采冶过程,因而它是将传统的采矿、选矿和水冶融入一体的新型采矿工艺。国外早在60~70年代就采用地浸或堆浸的采冶工艺。前苏联对砂岩型铀矿以0.006%(不同矿床有所不同)为地浸的边界品位。我国铀矿地质、矿冶系统先后在云南腾冲地区、新疆伊犁盆地及内蒙二连盆地进行了试验,前两个地区已取得了良好的经济效益。由于地浸法不需要将矿石从地下采出,也就没有矿石运输和破碎的过程,所以投资少,建设周期短,降低

<sup>①</sup> 国家重点基础研究项目(2001CB409808)资助

收稿日期: 2002-12-26 收修稿日期: 2003-01-10

了企业成本,并且能利用品位仅为 0.01% 的砂岩贫矿石,这就极大地增长了矿床的储量,为我国砂岩沉积盆地,特别是北方中生代盆地找矿拓宽了前景

砂岩铀矿能否地浸,关键是否有一个适宜于地浸的地质条件,也可认为是砂岩盆地找矿的重要评价准则,概括起来有如下几条:

- (1) 矿体必须位于现代地下水水面以下的砂体中。矿床成因以层间氧化带为好,潜水氧化带型次之。
  - (2) 含矿含水层渗透性良好,其渗透系数一般大于 0.5 m/d,岩性上含矿含水层以中~中粗粒砂岩或砾岩为好,而粉砂质泥岩或粉砂岩则难于地浸。
  - (3) 在含矿含水层上下要有泥岩或粉砂岩作为隔水层,即泥-砂-泥地层结构稳定
  - (4) 含矿含水层要有一定的厚度,10~30 m 最佳,过厚或太薄的砂体不利,要求矿层在含矿含水层中有一定的比例(例如不少于 1:5)。
  - (5) 矿体(岩层)产状平缓,倾角一般为 5°~10°。
  - (6) 矿体埋深一般不超过 300m,若超过 300m 则地浸难度加大,成本提高
  - (7) 矿石的浸出性能,要求矿石中泥质和碳酸盐含量要低。根据新疆的经验,CaO 含量小于 1% 可用酸浸出,若 CaO 含量大于 1% 则用碱法浸出
- 以上 7 条中以矿石的渗透系数及矿石的浸出性能最为重要

### 3 发展方向探讨

#### 3.1 建立具有中国特色、符合中国地质实际的砂岩型铀矿成矿模式及沉积相模式

近年来,我国为积极探索可地浸砂岩型铀矿床,引进了中亚地区(哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦)层间氧化带砂岩型铀矿成矿理论,其中包括对铀成矿具有关键性作用的区域地质条件。中亚巨型盆地区域性控矿层间氧化带的形成机制是,在远离天山造山带几百至上千公里的距离内,蚀源区及红色岩石中封存含氧含水向灰色岩石(海陆过渡相)逐渐缓慢运动,使灰色岩石逐渐氧化而形成区域性层间氧化带,由于氧化还原地球化学反应,致使在蚀变带前缘,近咸海的地下水排泄区形成大型砂岩型铀矿床。而紧邻中亚的新疆伊犁盆地(及吐哈盆地)含矿主岩属冲积扇-辫状河三角洲-湖泊沼泽的沉积环境,沉积物搬运距离近,辫状河三角洲为控矿沉积相。而中亚地区沉积远离蚀源区,海陆过渡相为控矿沉积相。我国其他地区砂岩型铀矿成矿也都具有“近源浅成”的特征。从这一事例表明一定要根据我国的地质实际来总结成矿模式,对国外的只能借鉴而不能照搬套用。图 1 是作者 90 年代中期总结的我国伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式框图。

含铀砂体的沉积相控制作用十分重要,这是因为

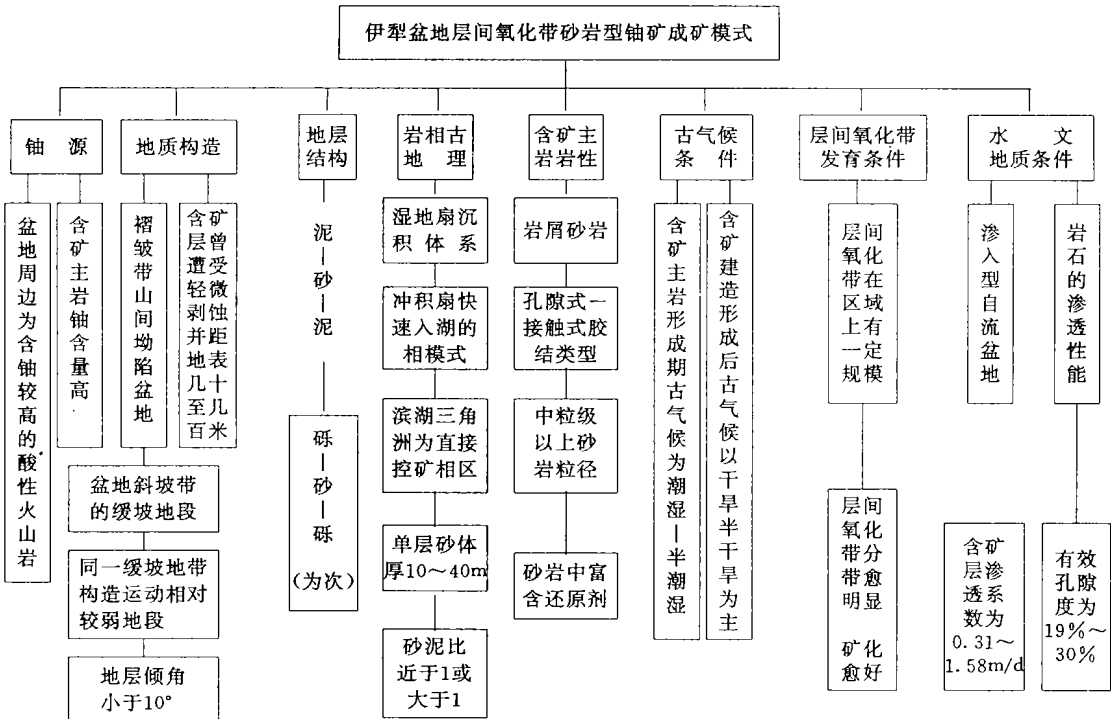


图1 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式框图

Fig. 1 Diagram showing the metallogenetic model of sandstone-type uranium deposits in Yili basin

低品位沉积成岩期铀矿化严格地受沉积环境、沉积相带控制,而低品位沉积成岩期铀矿化又是后生富集期铀矿化形成的基础。核工业地质系统在学习石油、煤炭系统沉积学与岩相古地理学研究宝贵经验的基础上,结合砂岩型铀矿赋存的条件,不断摸索,总结砂岩型铀矿的沉积相模式。根据多个矿床的研究,冲积扇前辫状河、辫状河三角洲平原分流河道及席状砂坝、曲流河边滩等沉积亚相与砂岩型铀矿成矿关系密切。从盆地演化角度,含矿主岩一般形成于盆地演化的中晚期及湖盆开始萎缩的阶段。此外,含铀砂体赋存的地层结构,单层砂体厚度(15~30 m)及砂泥比值(1:1~4:1)以及含矿主岩的粒度、孔隙度等都是沉积相研究范围之内,也是从沉积环境角度研究是否有利于成矿最重要的方面。

综上所述,由于我国中新生代盆地主要为陆相盆地,除塔里木、鄂尔多斯、松辽等几个大盆外,绝大多数为中小型盆地,盆地沉积特征不同于中亚产铀盆地,因此要根据我国中新生代盆地的沉积体系和沉积相模式及铀成矿地质特征,建立我国砂岩型铀矿成矿模式,以指导具体的找矿工作。

### 3.2 北方中新生代大型盆地应该仍是今后寻找砂岩型铀矿的主攻盆地

我国中新生代盆地面积达 240 万  $\text{km}^2$ ,占全国国土面积的 1/4。我国西部地区及华北、东北地区有着大于 10 万  $\text{km}^2$  的巨型盆地,如准噶尔盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、二连盆地和松辽盆地等。我国华南地区则以北东向的小型断陷盆地为主。

从核工业系统 40 多年在盆地中找矿走过的道路来看,北方中新生代盆地仍应是今后的主攻目标,其原因可归结为几点。一是从沉积角度分析,大型盆地沉积相带发育完善,常有一套完整的冲积扇-河流-三角洲沉积体系,砂体相对稳定,砂体厚度大,有利于形成泥-砂-泥地层结构;而小型盆地由于多数为断陷盆地,沉积相带发育不完善,相带窄,相变快,往往缺少稳定的砂体,不利于形成泥-砂-泥地层结构。其二,从水文地质角度分析,大型盆地有着良好的地下水补给-迳流-排泄系统,对于以后生作用为主成矿的砂岩型铀矿来说,补给-迳流-排泄条件是层间含铀含氧水运移形成层间氧化带的必要条件,而层间氧化还原过渡带又是铀沉淀富集的有利场所(如形成矿卷)。而小型盆地由于相变快,砂体规模小,延伸不稳定,地下水的运移往往受到阻挡,矿化规模有限。

几十年来,我国已在若干大型、大中型盆地发现一批砂岩型铀矿床,诸如伊犁盆地南缘、吐哈盆地南缘、鄂尔多斯盆地东北部及二连盆地等,并正在积极探索

松辽盆地、准噶尔盆地、海拉尔盆地等。我们认为只要思路正确,措施得力,工作到位,必将会结出丰硕果实。

我国北方中新生代大型盆地往往又是我国重要的含油气盆地,这又提出了一个新的问题,即油气运移对砂岩型铀矿成矿作用的影响问题。美国德克萨斯州墨西哥湾海岸平原铀矿区,沿着深断裂,油气运移产生的还原性气体( $\text{H}_2\text{S}$ )上升,促使形成氧化还原过渡带而使铀沉淀。我国含油气盆地砂岩型铀矿成因也极有可能与还原性气体的上升有关,相关研究工作正在进行中。由于石油钻孔都为深钻,穿过铀矿赋存层位,因而石油钻探的综合测井资料(如自然伽玛)是含油气盆地寻找砂岩型铀矿的重要基础资料,应在有关部门的统一协调下,充分利用和开发这些极为宝贵的原始资料,为我国寻找核工业原料矿产资源共同出力,造福于民。

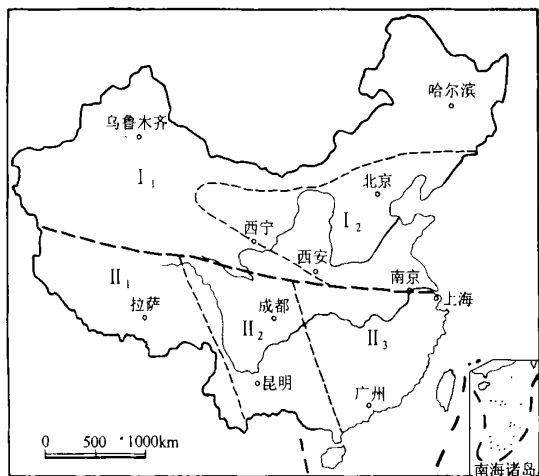
### 3.3 加强基础地质研究

在我国中新生代盆地工作中,加强基础地质研究工作十分必要,常为急于找矿所忽视。如盆地地层、构造、含矿层岩相古地理、盆地发展演化史及含矿主岩物质成分等,涉及方面较广。现以盆地地层为例谈加强基础地质研究的重要性。

由于北方中新生代盆地第四系覆盖厚(常为荒漠草原),露头少,化石少,地层出露不全,给地层划分及对比带来了极大的困难。为此,要尽最大可能收集钻孔资料,开展生物地层学工作,特别是含矿层位时代的确定及其区域地层对比工作。

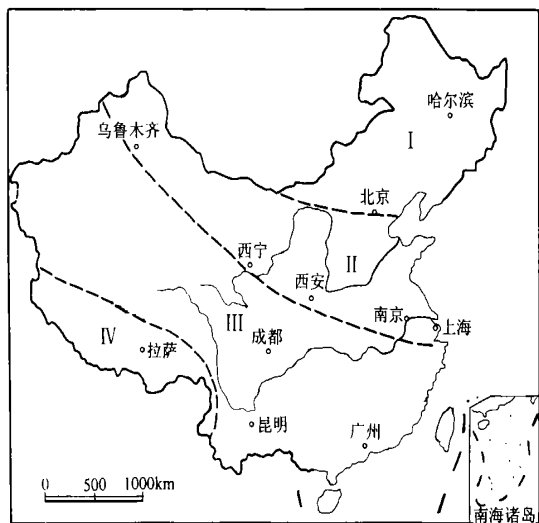
根据作者多年来的实践,认为在中新生代地层中,应加强中下侏罗统及白垩系的地层研究工作,因为它们是砂岩型铀矿主要赋在层位。早中侏罗世,我国大陆主要为潮湿、半潮湿气候。在大陆内部,纬向的古秦岭-昆仑山脉和川黔桂高地对古气候有很大的影响。以古昆仑-古秦岭-淮河一线为界,分为北方温带潮湿气候和南方热带亚热带气候区(图 2),全国北方陆相盆地中普遍形成湖泊和沼泽环境,蕴藏大量煤、油页岩、菱铁矿结核等矿产资源,是我国仅次于石炭~二叠系第二个大的成煤岩系。中下侏罗统煤系地层是我国北方砂岩型铀矿赋存最有利的层位之一。自西向东,北疆地区下侏罗统八道湾组、三工河组,中侏罗统西山窑组均为砂岩铀矿化层位,在伊犁盆地南北缘、吐哈盆地南缘、准噶尔盆地西北缘、三塘湖盆地均有铀矿化显示。自西向东,在河西走廊潮水盆地、包头东部石拐沟盆地、鄂尔多斯盆地、辽西北票盆地北票组(J<sub>6</sub>)都见有铀矿化显示。实际上这是一条近东西向的古气候带,对于我国北方寻找地浸砂岩型铀矿有着战略意义。由于认识上的局限,我们以往没有从古气候分带的思路来考虑北方中下侏罗统地层中的找矿工作。白垩系红色

(杂色)岩系是继中下侏罗统煤系地层后第二个重要的含矿岩系。在北西—南东向的古气候带(图 3)已先后在新疆、湖南、广西等地找到了工业铀矿床。由于白垩系层位划分对比困难,更应加强地层古生物研究工作、同位素地质研究及区域地层对比工作。



I<sub>1</sub>- 北部温带潮湿气候区; I<sub>2</sub>- 北部温带半干旱-潮湿气候区;  
II<sub>1</sub>- 冈底斯热带潮湿气候区; II<sub>2</sub>- 西南热带-亚热带干旱气候区; II<sub>3</sub>- 东南热带-亚热带潮湿气候区  
图 2 中国早、中侏罗世古气候分区略图  
(据田在艺等, 1996)

Fig. 2 Schematic map showing early-middle Jurassic paleoclimatic zonation of China  
(after Tian Zaiyi et al, 1996)



I- 北暖温带潮湿气候区; II- 西北-华北暖温带潮湿气候区;  
III- 南疆-华南亚热带干旱气候区; IV- 西藏热带潮湿气候区  
图 3 中国早白垩世古气候分区略图(据田在艺等, 1996)

Fig. 3 Schematic map showing Cretaceous paleoclimatic zonation of China  
(after Tian Zaiyi et al, 1996)

### 3.4 不断采用新技术、新方法,使砂岩型铀矿研究迈上一个新台阶

近年来,由于石油、天然气、煤炭及其它矿种勘探成果显著,使沉积学及岩相古地理学具有强大的生命力,并成为热点学科。在全球环境变化,盆地耦合与盆地动力学,层序地层学,储层沉积学,定量岩相古地理学,环境沉积学等方面引起广泛关注。

作为沉积矿产之一的砂岩型铀矿研究,必须学习国内外一切先进的理论与技术方法,特别是我国国内业已发展成熟的沉积学研究新思路 and 新技术新方法,并紧密结合实际,形成一套行之有效的技术方法。

要以沉积体系分析为重点,适当开展层序地层学研究。在含油气盆地找铀矿需要充分开发和应用地震测量和综合测井资料,尤其是视电阻率曲线、自然电位曲线及自然伽玛曲线等,与岩芯编录对照检查,综合分析,以判断沉积相及砂体形态。在小区域内研究需要开展微相研究,研究有利砂体特别是重要的含矿含水层,绘制砂体等厚图及顶底板高程图、砂泥比等值图,有条件的地区需作古流向图。

砂岩型铀矿又称为水成铀矿床,因而水文地质条件研究及水文地球化学研究显得尤为重要,包括地下水的补-径-排条件,地下水的流速流向等,在重点地区要开展同位素地质研究。总之要做到宏观与微观相结合,野外与室内相结合,地质与地球物理、地球化学相结合,多学科相互渗透和相互融合,以期对地质体有一个较为符合实际的判断。

### 参考文献 (References)

- 1 吴崇筠等. 中国含油气盆地沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 4 [Wu Chongyun, et al. The sedimentology of petroliferous basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1992]
- 2 田在艺, 张庆春. 中国含油气沉积盆地 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Tian Zaiyi, Zhang Qingchun, Petroliferous sedimentary basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1996]
- 3 王华, 李忠, 陆永潮主编. 现代沉积学研究的若干思路与方法—2001年中国沉积学大会论文集选编 [C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002. 10 [Wang Hua, Li Zhong, Lu Yongchao, Some thinkings and ways on study of modern sedimentology, A collection of research papers for China Sedimentology Congress [C]. Wuhan: Publishing House of China University of Geoscience, 2002]
- 4 陈戴生等. 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式 [J]. 铀矿地质, 1997, 6: 327~ 335 [Chen Daisheng, et al. Metallogenic Model of the Sandstone-Type Uranium Deposits in Interlayer Oxidation Zone of Yili basin [J]. Uranium Geology, 1997, 13(6): 327~ 335]
- 5 李胜祥等. 伊犁盆地含煤岩系地层沉积相特征及其与层间氧化带砂岩型铀矿成矿关系 [J]. 铀矿地质, 1996, 3: 129~ 134 [Li Shengxi-

ang, *et al.* Characteristics of Sedimentary Facies of Coal-Bearing Series in Yili Basin and Relation to Sandstone Uranium Deposit of

Interlayer Oxidation Zone Type [J]. Uranium Geology, 1996, 12 (3): 129~ 134]

## A Discussion on Research Situation and Development Direction of Sandstone-type Uranium Deposits in the Meso-Cenozoic Basin of China

CHEN Dai-sheng    LI Sheng-xiang    CAI Yu-qi

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029)

**Abstract** Sandstone-type uranium deposit is one type of uranium deposits with important industrial significance, and is the main target exploration type of China nuclear geology. On the basis of brief introduction to metallogenic geological conditions of sandstone-type uranium geology, this paper discusses the research situation of sandstone-type uranium deposits, especially the research situation and in-situ leaching geological conditions of in-situ leachable sandstone-type uranium deposits. The developing direction of this type of uranium deposits and some important basic geologic study and researching methods are also discussed in the paper.

**Key words** sandstone-type uranium deposit, in-situ leaching, Meso-Cenozoic basin, Depositional facies

---

### 封面照片说明

疏勒河冲积扇是目前中国大陆最大的现代冲积扇沉积,位于甘肃省河西走廊西端阿尔金山走滑断裂与北祁连逆冲断裂带的交汇处。这里构造复杂,地形高陡,气候干旱,南部山区疏勒河湍流出山口后,流速剧减,形成独特的西北地区干旱气候条件下的山前巨大冲积扇。扇体面积约 2 000 km<sup>2</sup>,从 TM 卫星影像图上可以清晰地分辨出扇根、扇中和扇缘亚相沉积。

(师永民提供)