

# 层序地层学研究方法与砂岩型铀矿床找矿勘探

肖新建, 李子颖, 李胜祥

(核工业北京地质研究院, 北京 100029)

**摘 要:** 文章介绍了层序地层学的基本理论框架、研究内容、研究方法, 以及砂岩型铀矿的特征; 分析了层序地层学研究方法与砂岩型铀矿找矿勘探的有机结合点, 初步建立和探讨了层序地层学研究应用于砂岩型铀矿找矿勘探工作的方法和步骤; 列举了层序地层学应用于砂岩型铀矿找矿工作的实例, 预测了层序地层学研究方法在砂岩型铀矿找矿勘探中的发展前景。

**关键词:** 层序地层学; 砂岩型铀矿; 找矿勘探

**中图分类号:** p539.2; p619.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)02-0084-04

## 1 层序地层学研究

层序地层学(sequence stratigraphy)是20世纪末期在震地地层学基础上发展起来, 它在石油勘探中的成功应用令人瞩目, 使它得以在短短的二、三十年的时间发展成为一系统的学科体系。现今, 层序地层学在其他沉积矿产(如铀资源)勘探中也得到了应用与发展。

### 1.1 层序地层学起源及发展

层序地层学前身是震地地层学, 它同时也受益于生物地层学、年代地层学和沉积学。层序地层学被定义为: 研究以不整合面或与之相对应的整合面为边界的年代地层格架中具有成因联系的地层(Van Wagoner 等, 1990)。这个定义距今虽只有10余年的时间, 但层序(Sequence)一词早在1963年就被强调和使用(Sloss, 1963)。随后, 经Vail等(1987)、Galloway(1989)、以及Van Wagoner等(1990)在沉积学、地层学和震地地层学的研究工作基础上, 层序地层学才真正形成学科体系。随即, Corss等(1993, 1994)创立了以基准面旋回为基础的高分辨率层序地层学, 拓宽了层序地层学的研究领域。

### 1.2 层序地层学和基本理论框架及特点

现在所普遍接受的层序地层学的理论框架是以

Vail的层序地层构型(Vail等, 1987)为基本模式的。在Vail的这个模式中, 层序的上、下界面均为不整合面。一个层序由3个体系域组成, 即由低水位(LST)、海侵(TST)和高水位体系域(HST)组成。低位体系域由充填的深切谷(ivf)、低位进积楔(lsw)、低位斜坡扇(sf)和低位盆底扇(bf)组成。低位体系域和海侵体系域之间由初始海泛面(ffs)所隔, 海侵体系域与高位体系域之间由最大海泛面(mfs)所隔。全球海平面变化具有相对一致性, 海平面变化控制了层序发育。

层序地层学中指出, 海平面升降变化具有全球周期性, 海平面相对变化是形成以不整合面以及与之可对比的整合面为界的、成因相关的沉积层序的根本原因。层序地层学注重研究以不整合面及与之相关的整合面为界的旋回地层的关系。一个沉积层序是沉积在一个相对海平面升降旋回之间的各沉积物组合, 一个层序中地层单元的几何形态和岩性受构造沉降、全球海平面升降、沉积物供给速率和气候等4个基本因素的控制。其中构造沉降提供了可供沉积物沉积的可容空间, 全球海平面变化控制了地层和岩相分布模式, 沉积物供给速率控制了沉积物的充填过程和盆地古水深变化, 气候控制了沉积物类型以及沉积物的沉积数量。一般来说, 构造沉降速率、海平面升降速率和沉积物供给速率3个参数控制了沉积盆地的几何形态, 沉降速率和海平面升降

收稿日期: 2002-08-01; 修订日期: 2003-02-24

基金项目: 核工业地质总局科技项目(D0209)资助。

作者简介: 肖新建(1976-), 男, 江西波阳人, 博士生, 现在核工业北京地质研究院攻读博士学位, 研究方向为资源勘查及矿床地球化学。

变化综合控制了沉积物可容纳空间的变化。

Vail 等(1987)的层序地层学的基本理论观点现已被地层学家及石油地质学家普遍接受。除此之外, Cross 认为地层基准面是理解地层层序成因并进行地层划分的主控因素, 并且发展了 Wheeler(1964)的基准面概念, 他认为地层基准面不是海平面, 也不是相当于海平面的一个自陆方向延伸的水平面, 而是一个相对于地表波状起伏、连续的、略向盆地方向下倾的抽象面(非物理面), 其位置运动方向及升降幅度不断地随时间变化。基准面在移动过程中, 总向着它的最大值(最高)和最小值(最低)来回摆动, 从最大值至最小值又回到原来的位置的变化过程, 构成一个完整的上升和下降旋回, 称为基准面旋回(Cross, 1994)。在此基础上, Cross 等提出了高分辨率层序地层学的理论体系, 且应用高分辨率层序地层学方法在测井、岩芯和露头等资料操作上取得了重要的实用效果。

### 1.3 层序地层学研究内容和方法

层序地层学研究主要表现在综合利用露头、钻测井和地震资料对地层构型进行综合分析。故从资料来源的角度看, 层序地层学研究内容包括: 露头资料的层序分析、钻测井资料的层序分析、地震资料的层序分析、层序地层学研究结果在油气勘探开发中的应用以及其他能源矿产勘探开发中的应用。而从地层学的基本理论出发, 考虑实际资料来源情况, 层序地层学的主要研究内容应该包括: 不同资料的层序划分与对比、建立年代地层格架、分析控制层序构型的主控因素、研究各层序不同体系域的沉积体系特征、预测不同层序或不同体系域有利的生储盖层分布、有利的成藏组合, 以及有利的成矿层位。

层序地层学有一系列的研究方法, 主要是通过露头、钻测井和地震资料的分析, 识别出层序界面、确定层序类型、确定层序单元的年代及其与全球海平面升降曲线的拟合关系, 通过对岩性、岩相的分析为依据确定沉积体系的特征、古盆地的特征, 对沉积相进行分析, 然后通过综合分析结果建立层序地层模式, 进而确定层序与生储盖层、构造圈闭、成藏特征及其他沉积矿床特征之间的关系, 做出成油、成矿预测(朱筱敏, 1998)。

这其中涉及一些具体的工作方法, 如确定层序单元的年代方法、对资料进行解译的方法、层序识别的标志和方法、可容空间的分析方法等, 都需要在具体工作中详细研究和探讨。

## 2 砂岩型铀矿床基本特征及勘探

砂岩型铀矿床的定义为: 铀呈浸染状主要产于通常与泥质层互层的陆相河流相(少数为滨海相)长石砂岩内, 这种砂岩与弱透水层互层, 或上下被其限定, 原生铀一般呈 4 价状态, 主要由沥青铀矿和晶质铀矿组成(F. J. Dahlkamp, 1998)。无疑, 砂岩型铀矿床是产于沉积盆地中的沉积型矿床。

砂岩型铀矿作为一个铀矿床类型经历了很独特的认识过程。1948 年, 在美国科罗拉多高原圣胡安盆地西南缘首次发现了安布罗之湖砂岩铀矿床。此后的 20 世纪 50 ~ 70 年代, 在前苏联、美国等地陆续发现了产于沉积盆地中的一系列大型砂岩型铀矿床。20 世纪 60 年代末, 前苏联科学家发明了地浸开采工艺, 该方法利用矿床含矿层含水和矿石渗透系数较高的特点, 把稀的硫酸水溶液(即酸法地浸; 也可用碱液, 即碱法地浸。主要根据地层岩性特征不同而采用不同的方法)通过钻孔注入到含矿层中, 让其与矿石进行反应将铀浸出, 再通过钻孔将浸取液抽出并送到水冶车间进一步加工。该方法不仅保护了采矿区的环境, 且大大降低了采冶成本, 还使得开采大量的低品位矿石成为可能, 扩大了砂岩铀矿的经济规模, 从而使地浸砂岩铀矿进入了新的大发展阶段, 成为当前世界铀矿主攻类型之一。

砂岩型铀矿床时空分布有如下一些特征: ①矿龄新。目前发现的砂岩铀矿绝大多数成矿时代较新, 主要集中在新世代, 特别是渐新统( $E_3$ )—第四系( $Q$ ); ②含矿主岩时代新: 目前发现的砂岩铀矿绝大多数产在中新生代盆地的盖层中; ③宏观上看呈带状分布, 如砂岩铀矿主要分布在南、北半球中纬度( $20^\circ \sim 50^\circ$ )地区, 这可能因为砂岩型铀矿床为沉积型矿床, 受纬度、气候条件所控制的原因; ④砂岩型铀矿床盆地边部往往有花岗岩和火山岩类, 这些岩类作为蚀源区为铀源提供了条件, 其次盆地基底也可能为铀源供应区。

砂岩型铀矿床与产于沉积盆地中的油气等其他矿床有所不同, 主要表现在如下几个方面: ①砂岩型铀矿床的铀源来自于蚀源区或含矿层(即砂体)本身的氧化带部分; ②砂岩型铀矿床的发育深度较浅, 一般为几十米至几百米, 而且对于采矿来说, 由于地浸工艺开采的特点, 一般埋深  $> 500\text{ m}$  的砂岩型铀矿床开采的经济成本较高, 故在现时经济技术条件下

一般不予考虑;③砂岩型铀矿床一旦形成,矿质很少经长距离运移而在远处形成另外的矿体,即使经过了再次富集,大多数情况下也只是在距原矿体不远处形成新的矿体。

对砂岩型铀矿床产出的特点及其与沉积砂体之间紧密的空间相关性研究、对产出砂岩型铀矿床的沉积盆地的研究,可为我们利用层序地层学方法研究砂岩型铀矿床建立联系。

### 3 层序地层学在砂岩铀矿床勘探中的应用

目前,层序地层学虽在油气勘探中应用广泛,但在砂岩型铀矿床勘探中却应用不多。只是在近几年才出现了将层序地层学应用到砂岩型铀矿床勘探方面的研究(董文明,1998;向伟东等,1999;李胜祥等,2001;李胜祥,2002<sup>①</sup>),并取得了较大的进展。

#### 3.1 层序地层学与砂岩型铀矿床的有机结合点

层序地层学原理起源于海相被动大陆边缘沉积地层的研究。对于非海相成因的沉积地层,只要具有旋回性和周期性沉积的特点,都可应用层序地层学进行研究。虽然砂岩型铀矿床通常产于陆相及海陆交互相的沉积盆地中,然而外海对内陆盆地的周期性侵袭,影响内陆盆地基准面的升降变化,在海泛期间具有某种全球变化的同一性。这为应用层序地层学研究陆相砂岩型铀矿床提供了前提。

层序地层学直接应用于勘探和开发问题时应强调三个基本概念:地层几何形态和沉积分布的关系;岩石物性、生物地层和地震资料的详细综合;将 Vail, Van Wagoner 和其他学者的可容纳沉积空间模式作为一种基本格架,用于分析构造沉降、地层学与海平面旋回间的相互关系。这样,我们就可以建立用层序地层学方法研究砂岩型铀矿床的一般模式。

(1) 首先,通过对野外露头资料进行分析,对赋存铀矿的沉积砂体进行岩性岩相学的研究,确定各地层层序的体系域和准层序组特征及类型,并运用可容空间概念进行沉积相分析。这样可确定各层序中体系域组合特征、准层序的叠置样式以及沉积体

系的时空分布,从而可大致确定可能的赋矿层位的空间展布。

(2) 其次,通过对石油、煤炭部门钻测井资料,或专门的铀矿勘探钻井资料进行层序地层学分析,划分出层序类型,并可进行不同钻井资料解译的层序地层对比。

(3) 通过对地震资料的层序地层学分析,并结合露头资料及钻测井资料的分析结果,建立露头、钻测井层序和地震层序的一致关系。可利用地震资料及海泛面的位置和上起点的迁移规律,区分出低位、海侵和高位体系域。利用地震资料或钻井资料还可求得不同层序地层、体系域中的砂泥岩体积分数及砂岩铀矿层中透水层和隔水层的大致范围。

(4) 综合以上各方面资料可建立层序地层模式,并进行计算模拟,进而确定层序与富铀层位、赋矿砂体之间的关系,确定砂岩铀矿的含矿砂体展布特征。

(5) 最后,结合室内的分析测试及研究手段,将更详尽地圈出铀矿成矿区和远景成矿区,并为找矿勘探提供指导。

#### 3.2 层序地层学在砂岩型铀矿床勘探中的应用及前景

前人在研究中国陆相沉积盆地砂岩型铀矿的基础上,应用层序地层学方法划分层序地层,对比发现层间氧化带型砂岩铀矿主要产于高水位体系中,如伊犁盆地南缘 512 铀矿床和吐哈盆地南缘十红滩铀矿床的铀矿体均产于高水位体系域的砂体中(董文明等,1998;向伟东等,1999<sup>②</sup>),柴达木盆地西北部的第三系中,层序内高水位体系域中的辫状河三角洲砂体及扇三角洲砂体是层间氧化带型砂岩铀矿最有利的成矿单元(艾桂根,2001)。而在低水位体系域的下切谷中则产有潜水氧化带型砂岩铀矿床,如俄罗斯外乌拉尔地区产于下切谷河道中的潜水氧化带砂岩型铀矿床(李胜祥,2001)。在我国伊犁盆地的 512 铀矿床的中下侏罗统水西沟群的低水位体系域的河流相沉积中也发现一些层间氧化带砂岩型铀矿床。

综上,虽然层序地层学方法引入砂岩型铀矿床研究尚为初步阶段,但可预见其进一步的应用前景,如对砂岩型铀矿床的容矿沉积盆地进行沉积地层的划分与对比,可指导砂岩型铀矿床的成矿预测及勘

① 李胜祥. 松辽盆地地质演化史与砂岩型铀矿找矿方向研究(博士学位论文). 北京:核工业北京地质研究院, 2002. 1-202.

② 向伟东,陈肇博,陈祖伊,等. 吐哈盆地西南部层间氧化带型砂岩铀矿成矿条件与成矿规律(科研报告). 北京:核工业北京地质研究院, 1999. 1-191.

探工作。更为重要的是, 应用层序地层学整个体系来划分和对比我国各大沉积盆地, 建立全国尺度上的砂岩型铀矿成矿层序地层学模式、找矿目的层位及远景层位, 为我国核能资源数字化研究服务。

4 结束语

层序地层学是在 20 世纪 80 年代以来发展起来的一门地层学分支学科。这门学科因其在油气勘探方面的良好应用而逐渐被越来越多的地质工作者所接受, 并被应用到油气勘探和其他矿产的找矿勘查工作中。这门学科可以说是一种新的地质工作方法、新的找矿思路的体现。核工业地质系统的专家在找矿勘探及学习过程中, 逐渐将这一新的方法和思路应用到实际工作中, 极大地开阔了我国铀资源找矿思路。该方法(学科)正如地浸开采砂岩型铀矿工艺一样, 将对我国在新世纪砂岩型铀矿资源勘查诸方面起到极大的促进作用。

致谢: 本文受魏魁生教授的教导和鼓励, 在此表示感谢!

参考文献:

[ 1 ] Cross T A, Baker M R, Chapin M A, *et al.* Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis

[ A ]. In: Eschard R, Doligez B. Subsurface reservoir characterization from outcrop observation[ C]. proceedings of the 7th Exploration and production research conference. 1993. 11-33.  
[ 2 ] Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units[ J]. AAPG Bulletin. 1989, 73: 125-142.  
[ 3 ] Soll L L. Sequence in the cratonic interior of North America [J]. GsA. Bulletin, 74: 93-114.  
[ 4 ] Vail P R. Seismic Stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure [ A ]. In: Bally A W. Atlas of Seismic Stratigraphy [ C]. volume AAPG Studies in Geology. 1987, 27: 1-10.  
[ 5 ] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, *et al.* Sili-clastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrop concepts for high-resolution correlation of time and facies [ J ]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, 7: 55.  
[ 6 ] Wheeler H E. Base-level, Lithosphere surface and time-stratigraphy[ J]. Bull. Geol. Soc. America, 1964, 75: 599-610.  
[ 7 ] 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.  
[ 8 ] 董文明, 黄贤芳, 谢志东, 等. 吐鲁番—哈密盆地南缘侏罗系层序地层特征及成铀规律[ J]. 铀矿地质, 1998, 14( 3 ): 129-132.  
[ 9 ] 李胜祥, 陈肇博, 陈祖伊, 等. 层序地层学在陆相沉积盆地内砂岩型铀矿找矿中的应用前景[ J]. 铀矿地质, 2001, 17( 4 ): 204-208.  
[ 10 ] 向伟东, 陈肇博, 陈祖伊, 等. 吐哈盆地西南部砂岩型铀矿含矿岩系孢粉组合特征及层序地层划分与对比[ J]. 地球学报, 1999, 17( 增刊 ).  
[ 11 ] 朱筱敏. 层序地层学原理及应用[ M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 1-106.

THE SEQUENCE STRATIGRAPHY AND THE PROSPECTING OF SANDSTONE TYPE URANIUM DEPOSIT

XIAO Xin-jian, LI Zi-ying, LI Sheng-xiang

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The sequence stratigraphy originated from the seism stratigraphy is a successful method for the oil prospecting since 1980s. Now, geologists have used it to other sedimentary deposits such as sandstone type uranium deposit. In this paper, the authors mainly discussed the basic theories, research fields and a set of methods of sequence stratigraphy, and the general characteristics of sandstone type uranium deposit. The authors also analyzed the organic relationship between sandstone type uranium deposit and sequence stratigraphy, and suggested the primary and elementary methods for application of sequence stratigraphy to the prospecting of sandstone type uranium deposit and give such prospecting examples, then predict bright future of the application.

**Key words:** sequence stratigraphy; sandstone type uranium deposit; prospecting