

CNIC-01180  
BRIUG-0036

## 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式

陈戴生 王瑞英 李胜祥 张克芳

(核工业北京地质研究院, 北京)

### 摘 要

在各种沉积环境标志综合分析的基础上,建立了伊犁盆地含矿主岩属冲积扇快速入湖的湿地扇沉积相模式;确立了铀成矿的有利相位;深入研究了层间氧化带特征、卷状矿体的分带特点及铀矿化空间展布规律;应用 U-Pb 同位素方法,获得了 19 Ma, 12 Ma, 1.0 Ma 几个成矿年龄数据;详细地论述了砂岩型铀矿形成的诸多控制因素;总结了该盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿机制及成矿模式。最后,对盆地远景区划分和今后工作提出具体建议,强调了盆地西南缘,尤其是 512 矿床与 511 矿床之间地段应为今后工作的重点探索区。

**The Metallogenic Model of Sandstone-Type Uranium  
Deposits in Interlayer Oxidation Zone in Yili Basin**  
(*In Chinese*)

CHEN Daisheng WANG Ruiying LI Shengxiang ZHANG Kefang  
(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing)

ABSTRACT

On the basis of comprehensive analysis on various sedimentary environmental criteria, the authors establish a depositional facies model of wet fan formed by alluvial fan's fast pouring into lake for the ore-bearing rocks, and point out favourable horizons and facies for the formation of uranium mineralizations. Deep researches are also done to uranium mineralization characteristics in interlayer oxidation zone, zonation features of orebodies and spatial distribution regularities of uranium mineralizations. Three sets of data on ore-formation ages (19 Ma, 12 Ma, 1.0 Ma) are obtained with U-Pb isotope method. Various ore-controlling factors of the sandstone-type uranium mineralizations are expounded in detail. Ore-formation mechanism and metallogenic model of sandstone-type uranium deposit in the basin are summarized. Finally, the authors propose some detailed suggestions for the delimitation of prospective areas and future work in the basin, and emphasize that the southwest margin of the basin, especially the area between deposit No. 511 and deposit No. 512 should be a key prospecting area in the future.

# 1 盆地形成的区域地质背景

伊犁盆地为具有前寒武纪古老地块依托的山间盆地，即发育在稳定古老地块内、并经历古生代褶皱回返后才发展起来的中新生代盆地，我国境内约有 10000 km<sup>2</sup>。从盆地的力学性质分析，伊犁盆地属对冲挤压盆地，即有两组大致自南向北挤压、自北向南挤压的近东西和北西向的对冲挤压断层，致使盆地呈西宽东窄的楔形展布，构造运动东强西弱，盆地基底由中上元古界及古生界褶皱岩系组成，盖层为中生界陆相含煤碎屑沉积建造及中-新生界红色碎屑沉积建造，含矿岩系为中下侏罗统水西沟群（见图 1，表 1）。

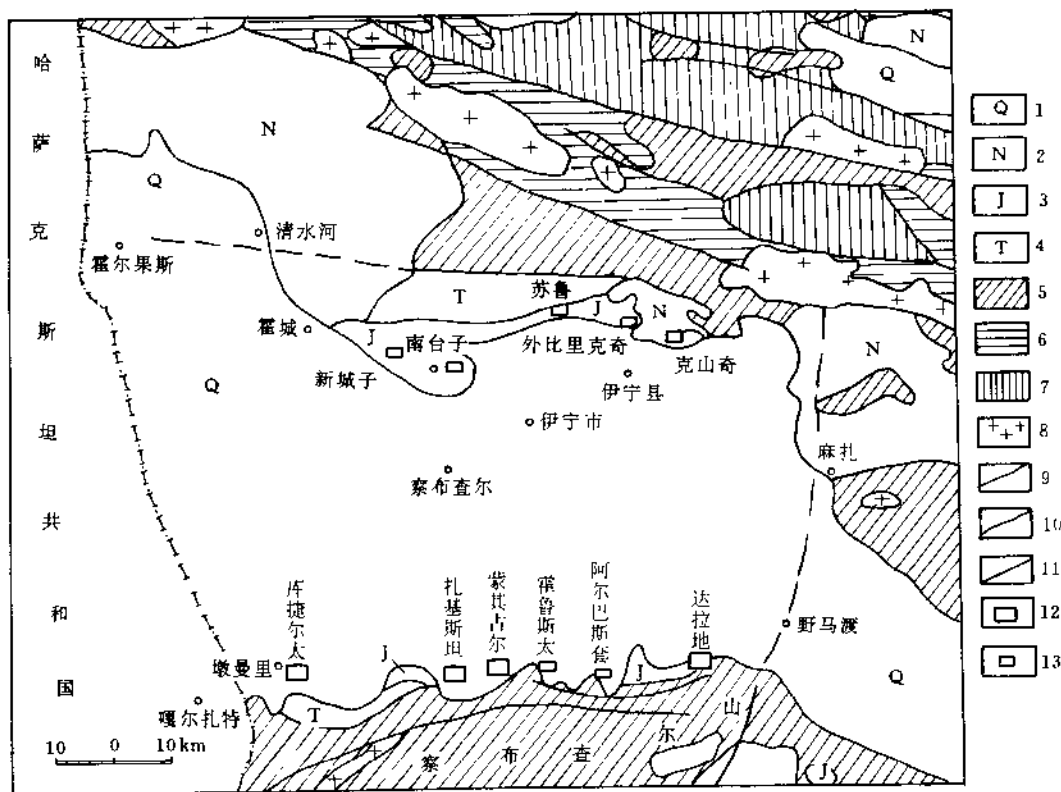


图 1 伊犁盆地地质略图

1——第四系；2——第三系；3——侏罗系；4——三叠系；5——上古生界；6——下古生界；7——中上元古界；8——海西期花岗岩；9——逆断层；10——性质不明断层；11——推测断层；12——轴矿床；13——轴矿点。

表 1 伊犁盆地南缘水西沟群 (J<sub>1-2sh</sub>) 划分对比表

系	组(群)	地层划分界	区调队 (1987)		216大队 科研组 (1991)	哈萨克斯坦 专家组 (1992)	216大队 1分队 (1994)	本专题组									
			齐古组	J <sub>3a</sub>													
白垩系	水西沟群	12煤层	西山窑组	J <sub>2a</sub>	E	VI	VII	西山窑组	J <sub>2a</sub>								
										10煤层							
										8煤层							
		(J <sub>1-2sh</sub> )	5煤层	三工河组	J <sub>1a</sub>	C	V	V	三工河组	J <sub>1a</sub>							
			3煤层	八道湾组	J <sub>1b</sub> <sup>b</sup>	B	I ~ IV	I ~ IV	八道湾组	J <sub>1b</sub>							
					J <sub>1b</sub> <sup>a</sup>	A											
三叠系	小泉沟群 (T <sub>2-3aq</sub> )		T <sub>1-3aq</sub>	T <sub>2-3aq</sub>	T <sub>2-3aq</sub>	T <sub>2-3aq</sub>	T <sub>2-3aq</sub>	T <sub>2-3aq</sub>									

## 2 含矿岩系 (J<sub>1-2sh</sub>) 沉积环境分析

### 2.1 相模式

根据南缘含矿岩系具有“近源”“静水”的沉积特征，在前期研究基础上<sup>[1]</sup>，提出了冲积扇快速入湖的新认识，其沉积相模式为冲积扇前缘辫状河-滨湖三角洲-浅湖沼泽相（见图 2），属湿地扇沉积体系。对各沉积亚相进行了详细的划分。提出该模式的依据是：

- (1) 沉积物为暗色建造，岩石中有较多的植物碎屑、煤层；
- (2) 岩石成熟度低，磨圆度差，分选不好，具近源特征；
- (3) 砂体形态呈楔状，且延伸较远，进入湖盆水体后逐渐尖灭；
- (4) 砂岩中常见块状层理和递变层理，反映砂体进入水体后快速沉积的特点；
- (5) 砂体发育但冲刷面少见，反映水量充足的漫流沉积特点；
- (6) 泥岩层表面见不到长期暴露的泥裂、雨痕、雹痕等层面构造；
- (7) 相序组合常与浅湖或湖沼相相连。

### 2.2 沉积相在平面上的展布

由于本区地层为单斜层，水西沟群砂体在垂向上自下而上有着粒度由粗变细、砂泥比值由大变小的变化趋势，即由下部的砂/泥大于 1 渐变到上部砂/泥小于 1。平面上亦有着自盆缘向盆内，砂岩粒度渐变细，砂/泥渐变小的趋势。通过编制盆地南缘水西沟群各岩组 3 张岩相古地理示意图，大致可以确定在盆地南缘发育着 3 个较大的冲积扇，扇体之间为扇间溶化洼地，其间可能还有一些小的扇体，在盆地边缘组成冲积扇群，如三工河沉积期 (J<sub>1a</sub>) 岩相古地理图所示（见图 3）。

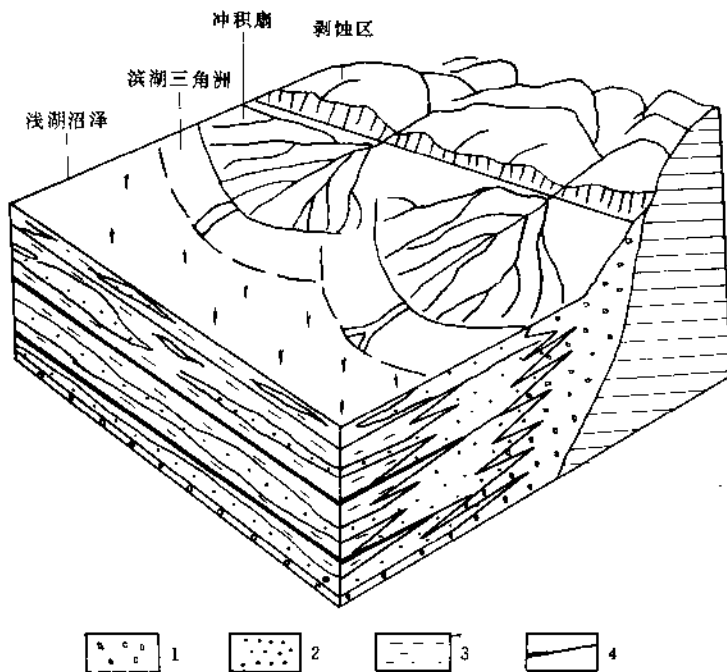


图2 伊犁盆地南缘水西沟群沉积相模式图

1—砾岩；2—砂岩；3—泥质岩；4—煤层。

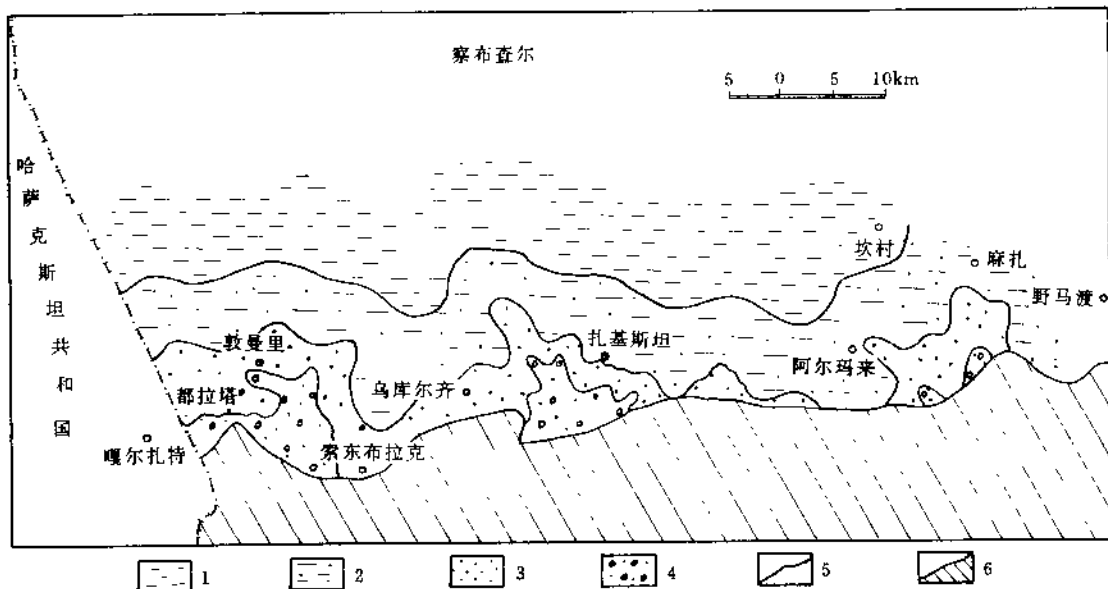


图3 伊犁盆地南缘三工河沉积期 (J<sub>1</sub>) 岩相示意图

1—浅湖相；2—湖沼相；3—滨湖三角洲相；4—扇前辫状河相；5—岩相界线；6—现代盆地边界。

### 3 盆地层间氧化带砂岩型铀矿化特征

#### 3.1 盆地铀矿化概况

### 3.1.1 盆地铀矿化分类

盆地铀矿化按含矿主岩可分为砂岩型、泥岩型、煤岩型；按成因可分为沉积成岩型和后生改造型，后者可进一步分为层间氧化带型和潜水氧化带型，具有工业意义的是层间氧化带型铀矿化。

### 3.1.2 盆地铀矿化分布特点

盆地铀矿化具有多层位分布特点，在水西沟群5个旋回中见有铀矿化，其中I-I旋回、V旋回、VI旋回砂体中的层间氧化带规模较大，是本区工业铀矿化产出的主要层位。

盆地南缘铀矿化在空间上展布，自西到东，主矿化层位由低到高，矿化类型从砂岩型向煤岩型逐渐变化，引起上述变化的原因是含矿层岩性组合上的差异性。盆地东部岩性序列组合自下而上为砂岩-泥岩-煤岩-砂岩，这种组合使砂岩地板的煤岩易形成煤岩型铀矿化，盆地西部岩性序列组合主要为泥岩-砂岩-泥岩，有利于形成层间氧化带砂岩型铀矿化。此外，盆地南缘自西往东，剥蚀程度愈来愈浅，因而有着含矿层位越往东越高的规律。

### 3.2 层间氧化带砂岩型铀矿化特征

盆地南缘3个层位的层间氧化带在平面上呈蛇曲状展布，在剖面上呈叠瓦状分布（见图4）。其主要特征表现在层间氧化带的分带性、含矿主岩特征、矿化物质成分特征及铀矿化时代等方面。

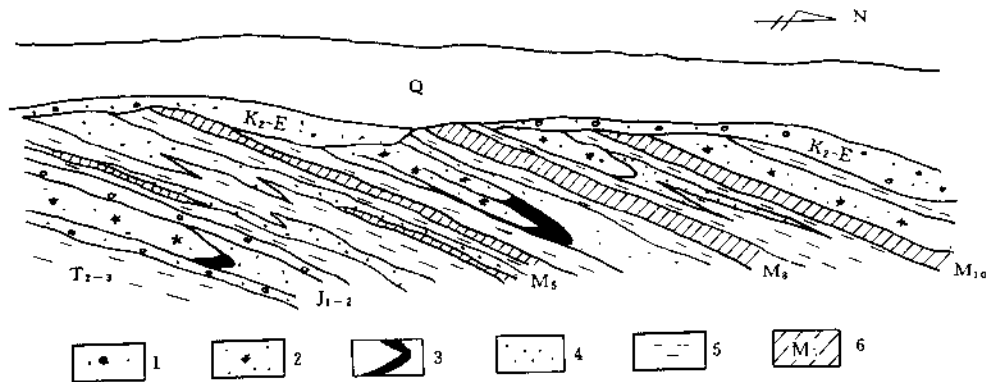


图4 伊犁盆地512矿床层间氧化带展布剖面示意图（据30号、16号勘探剖面综合）

1—含砾砂岩及砂砾岩；2—氧化带砂岩；3—铀矿体；4—原生带砂岩；5—泥质岩；6—煤层及编号。

#### 3.2.1 层间氧化带分带性

从岩石颜色、矿物成分、化学组分、铀的存在形式、铀-镭平衡等多个方面，均可将层间氧化带划分出强氧化带、弱氧化带、氧化还原过渡带和原生带四个带（见图5）。

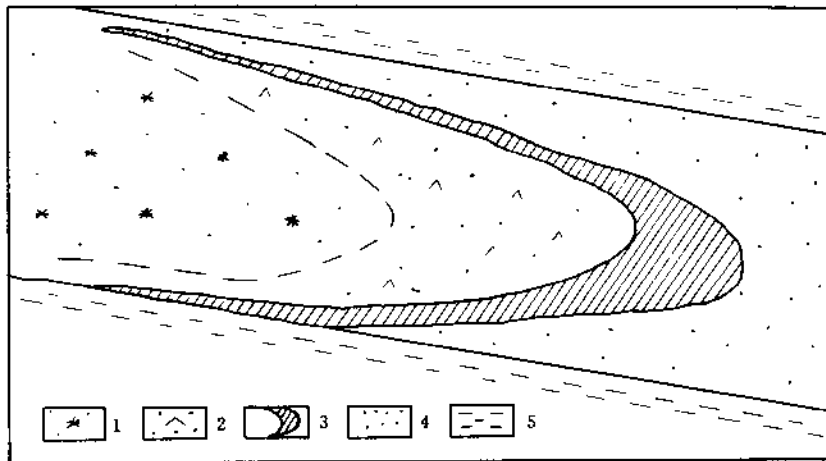


图5 伊犁盆地南缘含矿层层间氧化带示意图

1——强氧化带砂岩，2——弱氧化带砂岩，3——氧化还原过渡带砂岩轴矿体，4——原生带砂岩，5——泥质岩。

从强氧化带-弱氧化带-氧化还原过渡带到还原带，岩石颜色为褐红、褐黄色-浅黄、浅褐-灰白色-灰、深灰色，氧化铁含量由高到低，有机碳及硫化物含量由低到高，氧化还原电位差 ( $\Delta Eh$  值) 由低到高，见表2。

表2 伊犁盆地512矿床层间氧化带各分带砂岩 Cor.,  $S_{\star}$  等分析结果

分析项目	强氧化带 (18)		弱氧化带 (24)		过渡带 (35)		原生带 (34)	
	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差
$U/\times 10^{-6}$	28.71	20.85	18.27	13.30	1996.4	4406.9	27.46	24.67
Cor. /%	0.17	0.24	0.22	0.28	0.93	1.27	0.87	1.52
$\Delta Eh/mV$	18.9	13.24	25.4	14.81	41.1	20.97	37.90	23.03
$S_{\star}/\%$	0.05	0.02	0.16	0.56	0.28	0.67	0.20	0.33
FeO/%	0.42	0.35	0.59	0.47	1.18	0.84	1.31	1.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	3.05	3.10	0.81	0.78	0.67	1.29	0.49	0.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	7.26		1.37		0.57		0.37	

\* 括号内数字为样品数

微量元素分析可以看出，Se 主要分布在卷状矿体及其内侧的弱氧化带，而 Mo 主要分布在卷状矿体外侧原生带内，见表3。

表3 512矿床层间氧化带各分带岩石 U, V, Se, Mo 分析结果/ $\times 10^{-4}$

元 素	强氧化带 (14)		弱氧化带 (24)		过 渡 带 (35)		原 生 带 (33)	
	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差
U	29.73	14.70	18.27	13.30	1996.4	4406.90	28.21	24.66
V	108.6	49.05	82.9	40.35	104.5	84.86	101.4	74.85
Se	1.98	2.75	17.52	41.32	136.61	313.43	2.45	8.37
Mo	4.60	3.69	3.17	3.97	4.39	5.25	6.28	9.63

\* 括号内数字为样品数

铀的存在形式,在不同分带中有所不同,强氧化带中铀主要以分散吸附形式存在于褐铁矿和赤铁矿中,弱氧化带铀主要以分散吸附状态存在于褐铁矿和残留未氧化的有机质中。在氧化还原过渡带中,铀主要以细粒胶状沥青铀矿存在于胶结物或有机质解理裂隙中,其次以分散吸附状态存在于胶结物或有机质内部结构中。

从强氧化带-弱氧化带-氧化还原过渡带到原生带,岩石中  $U^{6+}/U^{4+}$  比值具有从高到低的变化规律,分别为 2.41-1.48-1.44-1.34,铀镭平衡系数依次降低,分别为 3.32, 2.64, 0.84, 1.08,即氧化带明显偏 Ra,过渡带明显偏 U,而原生带铀镭基本平衡。

### 3.2.2 含矿砂体及含矿主岩特征

如前所述,盆地南缘有着 3 个层位的有利砂体,即 I-I 旋回砂体、V 旋回砂体及 VII 旋回砂体。I-I 旋回砂体呈透镜状,厚度不稳定,从几米至 50 m,岩相变化剧烈,属冲积扇前缘辫状河流沉积。V 旋回砂体厚度大(512 矿床为 20~40 m),延伸稳定,呈板状,属滨湖三角洲相沉积。VII 旋回砂体厚度为 10~25 m,但粒度偏细,属河流相沉积。

含矿主岩经镜下鉴定及三角图解,定为岩屑砂岩及岩屑石英砂岩,砂岩分选中等-较差,成熟度低,孔隙-接触式胶结类型,泥质胶结。砂岩粒度总体为粗粒砂岩,其次为含砾中粗粒砂岩和中细粒砂岩,3 个矿化层位砂体的有效孔隙度较高,分别为 30.936%, 27.307%, 26.570%,而不含矿砂体的有效孔隙度为 19.091%,岩石中有大量有机质碎屑,过渡带平均为 0.930%,CaO 含量小于 1%,因而适于酸法浸出。

### 3.2.3 矿体特征及矿石物质成分

矿体形态以板状矿体为主,卷状矿体为次。板状矿体一般两翼宽 200~350 m,厚 1~2 m,卷状矿体一般两翼长卷头短,平均厚 6 m 左右,在 VII 旋回砂体中仅见有板状矿体。

512 矿床主矿体 V 旋回矿石平均品位为 0.047%,两翼矿体为 0.069%,卷头矿体为 0.052%,卷头矿体矿石品位小于两翼矿体品位。I-I 旋回矿体卷头矿体品位(0.107%)高于两翼矿体品位(0.024%~0.046%),VII 旋回矿体品位一般为 0.01%~0.02%。铀矿化主要产于含矿砂体中粒度相对偏细的深灰-灰色中细粒砂岩中,矿石具粒状和胶状结构、团块状和浸染状。铀的存在形式有铀矿物(沥青铀矿)及吸附态两种形式,偶尔见到碎屑状铀矿物,沥青铀矿晶胞参数为  $(5.408 \pm 0.006) \times 10^{-10}$  m,含氧系数为 2.533。铀的吸附剂有炭质碎屑、粘土矿物等,与沥青铀矿伴生的金属矿物主要为黄铁矿,矿石伴生元素有 V, Se, Mo, Re 等。Re 含量较高,砂岩型和泥岩型矿石中 Re 平均含量为  $0.711 \times 10^{-6}$  和  $0.167 \times$



$10^{-6}$ ，据前苏联经验，若可地浸砂岩铀矿石中 Re 含量达  $0.1 \times 10^{-6}$ ，就可能在浸液中回收 Re，因而本区砂岩铀矿石中的 Re 具有综合利用价值。

### 3.2.4 铀成矿时代

通过 U-Pb 同位素分析和计算，砂岩贫矿石年龄为 19 Ma，砂岩富矿石年龄为 1.0 Ma，泥岩矿石年龄为 12 Ma。上述 3 组年龄反映本区成矿作用的演化特点，即矿化年龄新，集中在晚第三纪-第四纪，与伊犁盆地南缘在晚第三纪-第四纪早期处于剥蚀抬升作用相一致。

## 3.3 层间氧化带砂岩型铀矿化控制因素

### 3.3.1 地层结构与铀矿化关系

两个隔水层（弱透水层）夹一透水层的地层结构是层间氧化带砂岩型铀矿形成的关键。自下而上，第 I - I 旋回含矿层地层结构为砾岩（弱透水层）-砂岩-砾岩（弱透水层），第 V 旋回含矿层地层结构为泥岩-砂岩-泥岩，VI 旋回含矿层地层结构为煤岩-砂岩-泥岩。上述以占 512 矿床 70% 储量的 V 旋回地层结构最为有利，I - I 旋回地层结构次之，VI 旋回地层结构经济意义较差。

### 3.3.2 岩相古地理与铀矿化关系

岩相古地理与铀矿化关系，主要表现为滨湖三角洲相为最主要的相区，即 5~8 煤层砂体；其次是扇前辫状河砂体，即 1~5 煤层砂体。上述有利相区为沉积成岩期铀矿化赋存的可利部位，即成矿的预富集阶段，为后生富集作用成矿的前提条件。

此外，根据区域磁测资料得知，512 地区正磁异常显著，证实该区存在古隆起，矿床正处于古隆起南侧相对凹陷的斜坡地带。

### 3.3.3 构造与铀矿化关系

(1) 褶皱带山前拗陷盆地的大地构造背景条件，使这个自三叠纪后长期拗陷的盆地有利于形成一定厚度的中生代沉积盖层，并有着长期的基底演化过程，促使铀的活化迁移。

(2) 对冲挤压盆地的斜坡带及这种斜坡带的缓坡地段是成矿的可利地段，因而盆地南缘成矿条件优于北缘。

(3) 同一斜坡带构造运动相对较弱地段为成矿更为可利地段，因而盆地南缘西段成矿条件优于南缘东段。

(4) 盆地后期适度剥蚀抬升有利于成矿。伊犁盆地侏罗纪后期有一个长期而缓慢的抬升作用过程，即侏罗纪与白垩纪之间有一个明显的不整合接触关系，统计表明绝大部分砂岩型或煤岩型铀矿化均产于该不整合面以下 20~150 m，可以认为含矿砂体距不整合面愈近，矿化愈好，有利于含氧含铀水进入透水性好的岩层形成层间氧化带。

### 3.3.4 砂体中物质成分与铀矿化关系

(1) 砂体中有机质对铀成矿起着重要的作用，表现在有机质对铀有较强的吸附作用；此外有机质碎屑为铀的沉淀提供了有利的生成空间。

(2) 砂体中黄铁矿与铀矿化关系，表现为铀与黄铁矿在空间上的共沉淀现象，与沥青铀矿共生的黄铁矿为微粒状、球粒状及胶状黄铁矿。

(3) 砂岩中其它成分与铀成矿关系。在原生带，U 与  $P_2O_5$  有关，反映出磷酸盐对铀的聚集作用，U 与  $MgO$  呈正相关反映蒙脱石、绿泥石等粘土矿物对铀的吸附作用。此外，原生带 U 与 Cor.， $\Delta Eh$  之间呈正相关，反映出原生带铀的聚集与有机质还原作用密切相关。在氧化还原过渡带，U 与  $MgO$ 、 $Na_2O$  呈正相关，反映了过渡带砂岩矿石中铀的富集作用与

蒙脱石的吸附作用有关。在氧化带砂岩中铀与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  呈正相关, 反映铀与三价铁及粘土矿物吸附作用有关。

### 3.3.5 含矿层地下水动力条件与铀矿化关系

表现为伊犁盆地属有利成矿的渗入型自流盆地, 具有补给-径流-排泄完整的水动力机制, 在 512 矿床北部有东西向的隐伏断裂构造为局部排泄区, 有利于成矿。此外, 含矿含水层岩石具有一定的渗透性能, 主含矿层渗透系数为  $0.31\sim 1.58\text{ m/d}$ , 岩石有效孔隙度为  $19\%\sim 30\%$ 。

### 3.3.6 古气候及近代气候与铀矿化关系

伊犁盆地矿化主岩处于干旱-潮湿-干旱的转折时期, 含矿含水层后期干旱浓缩有利于铀的浓缩。现代气候干旱、半干旱及荒漠的地形条件, 植被不发育, 腐殖质层薄, 有利于大气中氧的渗入, 促使深部层间氧化带发育, 因此伊犁盆地具有近代成矿特点 ( $19\sim 1\text{ Ma}$ ), 是与近代干旱、半干旱气候密切相关的。

## 4 成矿机制及成矿模式

### 4.1 成矿机制

#### 4.1.1 沉积成岩期铀矿化成矿机制

伊犁盆地砂岩型铀矿形成的沉积成岩阶段, 实质为铀矿化预富集阶段, 是后生作用成矿的基础条件。铀矿化特征主要表现在矿化品位低 (十万分之几~万分之几), 矿体形态为板状、薄层状、矿体厚度薄, 矿化部位主要在 10 煤层以上砂体中, 也见于 5~8 煤层砂体中的板状矿体。

沉积成岩期铀矿化受沉积相带所控制, 即受滨湖三角洲相带及湖沼相带所控制, 其成矿机制主要是还原剂对铀的吸附作用。在长期的地质历史演化过程中, 通过有机质及硫化物的分解作用, 产生大量的  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  等强还原剂, 使得在长期迁移状态下的六价铀还原沉淀成四价铀, 从而形成成岩阶段的铀的预富集。

#### 4.1.2 后生富集期铀矿化成矿机制

后生富集期铀矿化是本区铀矿化形成的主要时期, 即工业铀矿化形成阶段, 由于迄今为止尚无热改造作用的迹象, 因而地下水改造作用是铀矿化形成的主要因素。后生富集期铀矿化特征是品位高于成岩期铀矿化, 并出现特高品位的矿石, 铀含量可高达 1% 以上; 其次是矿体形态呈卷状, 具蚀变地球化学分带性及元素地球化学分带性; 再次是成矿年龄新 ( $19\text{ Ma}\sim 1.0\text{ Ma}$ ), 明显晚于含矿主岩地层年龄。

关于卷状铀矿床的成矿机制, 我们认为离不开源 (铀源)-运 (搬运、迁移)-积 (沉积、沉淀)-保 (保矿条件) 这个成矿作用全过程。铀的沉淀富集必须有一个地球化学障, 而氧化还原条件 (Eh 值) 对铀在地下水 (层间水) 中迁移沉淀起着决定性的作用。随着盆地周边含氧地下水的不断供给, 沿着地下水运动方向, 游离氧由多到少, Eh 值由高正值到负值; pH 为弱碱性变化不大; 铀在地下水中由不饱和到饱和, 并以二碳酸铀酰及三碳酸铀酰为主要存在形式。值得提出的是本区矿床形成的景观地球化因素学以及矿床形成时的气候、地形因素极有利于形成后生富集期铀矿化。在新生代及当代干旱、半干旱气候及荒漠地形条件下, 地下水中铀含量高于当代多雨潮湿地区。

### 4.2 成矿模式

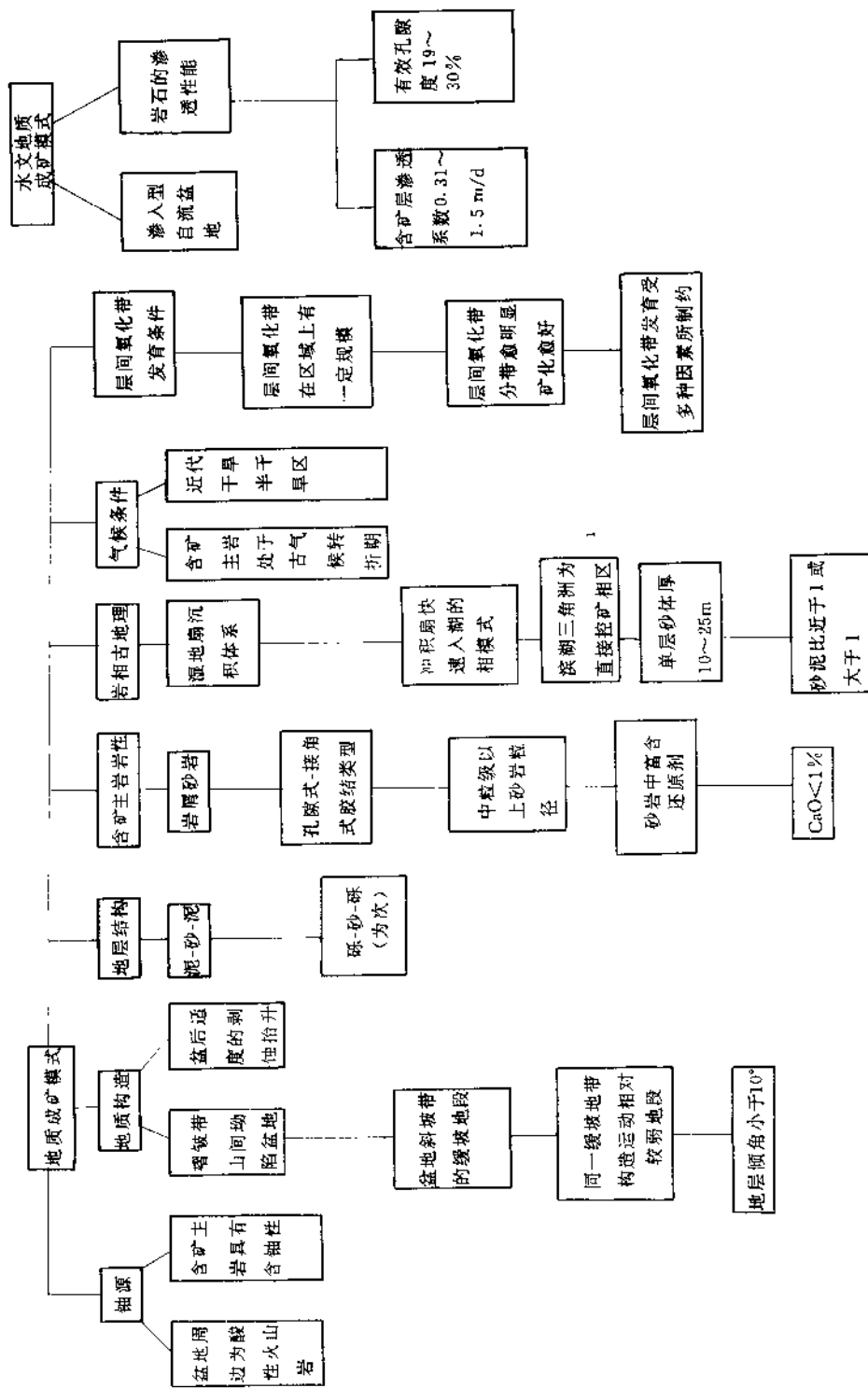


图 6 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式框图

关于成矿模式的总结见图 6, 不另叙述。

## 5 对伊犁盆地铀成矿远景的认识

对伊犁盆地可地浸砂岩型铀成矿远景的认识是基于上述盆地铀成矿模式, 据此我们将盆地成矿远景区分为 3 级:

### I 级远景区

即盆地西南缘 512-511 矿床之间, 包括乌库尔齐, 其理由为:

- (1) 盆地南缘西段构造运动强度较弱, 地层为向北倾的单斜层, 产状小于  $10^\circ$ 。
- (2) 相模式研究表明南缘西段滨湖三角洲相发育, 砂体有着一定厚度且稳定。
- (3) 南缘西段层间氧化带发育且有一定规模, 除 5~8 煤层间砂体外, 在 1~5 煤层间, 10 煤层以上均见有层间氧化带。
- (4) 乌库尔齐地区与 512 地区有着相似的地质环境, 层间氧化带发育, 尤其在 429 线以东值得进一步研究。

### II 级远景区

盆地南缘东段某些地段可作为 I 级远景区, 这是基于在不稳定环境中寻找相对稳定砂体的指导思想, 如察布查尔向斜南翼等处。

### III 级远景区

盆地北缘苏鲁萨依两侧是北缘相对有利远景地区, 该地区为中下侏罗统相对低洼地区, 厚度为 800~850 m, 单层砂体厚 3~5 m, 地层产状相对较缓 ( $<10^\circ$ ), 如有条件也可适当开展工作。

## 参 考 文 献

- 1 林双幸. 新疆伊犁盆地南缘侏罗系层间氧化带发育条件及远景评价, 铀矿地质, 1995, 11 (4): 201
- 2 Р. И. 戈利得什金等著. 中亚自流盆地的成矿作用. 北京: 地震出版社, 1994
- 3 А. И. 别里列曼主编. 水成铀矿床, 1995
- 4 Adams S S, Cramer R T. Data-process—Criteria Model for Roll-type Uranium Deposits, IAEA-TECDOC-328, VIENNA, 1985