

文章编号: 0258-7106 (2000) 04-0340-10

乌库尔其地区层间铀成矿过程中的流体作用研究

王 果 华仁民

(南京大学地球科学系, 南京大学内生金属成矿作用研究国家重点实验室, 南京 210093)

秦立峰

(核工业西北地质局 216 大队, 乌鲁木齐 830011)

提 要: 该文以伊犁盆地南缘乌库尔其地区各矿床为研究对象, 阐述了层间氧化带砂岩型铀矿床层间铀成矿过程中的流体作用及伊犁盆地流体演化史对砂岩型铀成矿的控制等。试图通过稳定同位素、稀土元素等示踪方法研究该地区层间流体的来源、运移及向成矿流体的演化并成矿的流体作用机制, 认为 v_2 旋回层间流体主要来自受大气水补给的基岩裂隙水, 并且在层间流体流向上全岩氧同位素组成存在明显的变化规律。

关键词: 层间流体作用 砂岩型铀矿 新疆乌库尔其

中图法分类号: P619.14 文献标识码: A

自 80 年代末以来, 我国对砂岩型铀矿床的重点研究已取得很大进展, 并提出了砂岩型铀矿预测评价方法及成矿模式。但对盆地流体作用及其与砂岩铀矿形成的关系研究尚嫌不足。本文以伊犁盆地南缘乌库尔其地区各矿床为研究对象, 探讨了盆地及其流体演化在砂岩型铀矿床形成过程中的控制作用, 运用稳定同位素、稀土元素等示踪方法揭示了该地区层间流体的来源、运移及向成矿流体演化并形成卷状铀矿床的机制。

1 盆地概况

伊犁盆地位于新疆维吾尔自治区西部。在大地构造位置上, 盆地处于伊犁—伊塞克湖微板块东段, 夹于塔里木板块与准噶尔板块之间, 是在陆内裂谷盆地之上发育的山间陆相盆地^[1]。盆地南缘单斜带产出有我国目前最典型的层间氧化带砂岩型铀矿床, 本研究区即位于伊犁盆地南缘铀矿带 (中国) 的中段 (图 1)。

1.1 地层

伊犁盆地具双层结构, 即在陆内裂谷盆地之上发育山间盆地。前者以前震旦系为基底, 在泥盆纪产生裂谷, 石炭纪原始盆地开始发育。基底出露有中上元古界、古生界, 为一套海相

基金项目: 本文获核工业西北地质局“新疆层间氧化带型砂岩铀矿床生产中的科研项目”资助 (项目编号: D981602)

第一作者简介: 王果 (1969—), 男, 工程师, 现为南京大学地球科学系硕士研究生, 矿床学专业

收稿日期: 1999-07-14; 修订日期: 2000-01-10

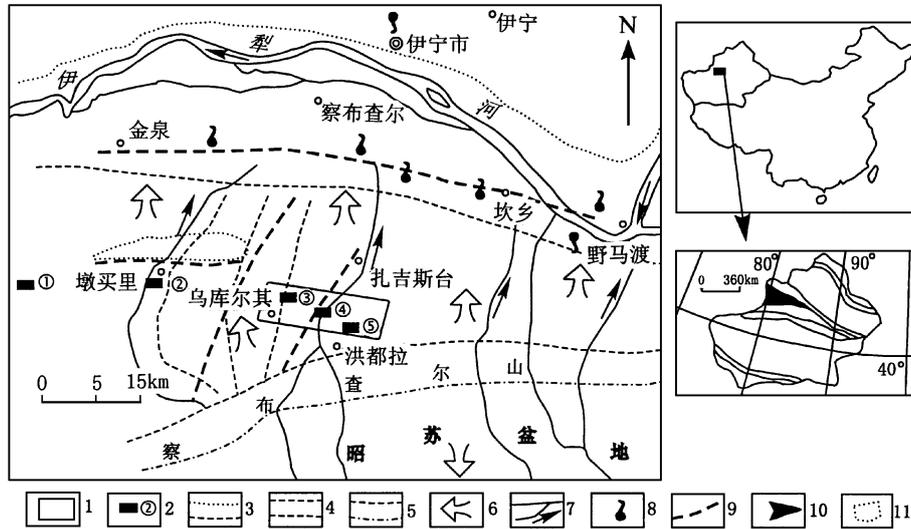


图1 研究区地理位置、矿区构造特征和区域地下水区域补-径-排系统示意图
 1—研究区范围; 2—层间氧化带砂岩型铀矿床: ①—噶尔扎特矿床; ②—库捷尔太矿床; ③—乌库尔其矿床; ④—扎吉斯坦矿床; ⑤—510矿床; 3—区域排泄区; 4—区域径流区; 5—区域补给区; 6—层间水总体流向; 7—地表水系及流向; 8—泉; 9—隐伏断层; 10—伊犁盆地; 11—局部排泄区

Fig. 1. Sketch map showing geographic location of the study area, structural characteristics of the ore district and regional groundwater supplementation-infiltration-drainage system.

1—Study area; 2—Sandstone type uranium deposits in interlayer oxidation zone: ①—Gaerzhat; ②—Kujieertai; ③—Wukurqi; ④—Zhajistan; ⑤—No. 510; 3—Regional drainage district; 4—Regional infiltration district; 5—Regional supplementation district; 6—Flow direction of interlayer water; 7—Surface drainage and flow direction; 8—Spring; 9—Concealed fault; 10—Ili fault; 11—Local drainage district.

—浅海相碳酸盐岩夹碎屑沉积物及大量酸性和中基性火山岩、花岗岩。中、新生界分布于山前、山间凹陷中, 中上三叠统—中下侏罗统为暗色含煤碎屑岩系, 晚侏罗世—中新世为红色碎屑岩系。其中, 中、下侏罗统为盆地砂岩型铀矿床的赋存空间。

1.2 构造及古气候

伊犁盆地基底构造的形成和发展控制了盆地的演化, 更控制盆地流体水动力运移演化机制。根据遥感构造解译^[2], 盆地中心EW向(金泉-察布查尔-野马渡)深大断裂为盆地盖层砂体层间承压水的主要排泄通道, 地表呈现线状泉水及盐碱沼泽地分布, 局部存在小型NNE、EW向断裂, 成为盆地南缘各矿床的局部排泄区, 如512矿床以北约2 km处的隐伏断层以及511矿床扎吉斯坦村以北存在的断层等(图1)。

伊犁盆地构造演化造成了砂岩铀矿形成的有利地层结构组合及地下水层间渗入, 控制着区域层间氧化带的形成及其铀成矿。盆地的发育演化过程中经历5次构造运动: 天山运动(P_2/C)——反映了盆地转海为陆, 形成北部拗陷—中央隆起—南部拗陷的原始盆地基本格局; 华力西末幕(T_{2-3}/P_2)——标志着古气候、古地理由干旱的冲积平原向潮湿的湖相转化, 中、新生代陆相沉积盆地基本形成; 燕山I幕(J_1-T_{2-3})——盆地潮湿程度增加, 由湖相沉积转化为冲积-滨湖三角洲沉积, 湖滨沼泽发育, 形成区内暗色含煤碎屑岩建造; 燕山II幕(K_1/J_3)——反映古气候转化为持续的干旱、半干旱环境, 中、下侏罗统含水层抬升剥蚀, 盆地萎缩, 含水砂层开启接受含铀含氧地表水、地下水的渗入, 形成区域性层间氧化带, 同时形成

盆内隐伏构造的雏型;喜山II幕(N-E/K₁)——为持续干早期,为区内层间氧化带持续发展的重要阶段,也是盆地砂岩型铀矿形成的主要时期;及喀什运动(Q/N-E)——盆地总体抬升,相对于天山沉降^[1],盆-山接触带出现强烈的断陷逆冲活动,河床下切并延续至今,形成目前盆-山河谷阶地地貌景观,有利于地表水向层间渗入。

1.3 水文地质

盆地水系较为发育,以贯穿盆地中心近东西流向的伊犁河为主,发育大量南北流向的支流水系,并汇入伊犁河。盆地地下水的形成、分布及埋藏主要受气候、地形地貌、岩性、地质构造等自然因素的控制。盆地南北山区为补给区,盆地山前冲(洪)积层为径流区,而广布于伊犁河两岸的沼泽平原及盐碱地为排泄区(图1)。水西沟群主要含水层同样存在这种补-径-排体系,成为层间铀成矿作用的基本地下水动力条件。

2 矿床地质

研究区有扎吉斯坦、510和乌库尔其3个矿床(点),均由层间流体成矿作用形成。受局部构造影响,它们具有不同的地下水动力条件,成矿规模、层间氧化带发育程度及含矿砂体等也存在明显差异。

矿床产出部位严格受古气候、构造、岩相和岩性控制^[1]。主含矿岩系水西沟群(J₂sh)具典型的泥-砂-泥结构,含12层煤,可划分为8个旋回,其中第V旋回含工业铀矿体,是本研究的重点层位。各旋回具明显的下粗上细的正韵律结构。

根据地质及地球化学特征,层间氧化带至少可分为氧化带、酸化褪色带-过渡带和还原带。后生蚀变有褐铁矿化、赤铁矿化、黄铁矿化、粘土化和碳酸盐化,并具分带性。赤、褐铁矿化在氧化带发育,黄铁矿化在过渡带发育。粘土化在各带均有发育,从氧化带至过渡带粘土化强度逐渐减弱^[4],还原带主要发育成岩期粘土矿物。

矿体呈复杂卷状、板状及透镜状,平面上呈与盆地边缘大致平行的蛇曲状东西走向,受层间流体作用氧化-还原前锋线控制。含矿砂体厚度在18~22m之间,主要为中粗-细粒岩屑砂岩,砂/泥比为4.7:1~1.4:1,富含有机质和黄铁矿,泥质空隙式胶结松散,铀矿化主要赋存于砂体中下部粒度较粗岩性中,少量在细粒砂岩中。

电子探针研究表明,矿石中铀主要以小于10μm粒径(一般为2~5μm)的沥青铀矿,其次为铀石形式存在,呈显微浸染状散布于砂岩填隙物和碳化植物的木质细胞腔中,并存在交代黄铁矿现象。此外还有相当部分铀被有机质等吸附存在。矿石中沥青铀矿的含氧系数在2.676~2.742之间[●],表明矿床形成的常温条件下的沉积-淋积特点。矿石中伴生可综合利用的Se、Mo、Re等元素。

3 盆地流体的形成、演化与铀成矿的关系

伊犁盆地在二叠纪以来经历了二叠纪构造岩浆活动→中、下侏罗世相对稳定的陆相湖盆

● 闵茂中等,1998,新疆伊犁盆地扎吉斯坦地段铀矿石物质成分研究(科研报告),核工业西北地质局新疆地调处

含煤碎屑岩沉积→晚侏罗世至晚白垩世相对抬升的杂色、褐红色碎屑岩沉积→新生代抬升的河湖相红色含膏盐碎屑岩沉积几个主要演化阶段。不同的演化阶段具有不同的盆地流体演化及铀活化、迁移与成矿特征。文中所研究的层间铀成矿过程中的流体作用则为典型的层状运移流体成矿类型, 流体作用局限在被上、下相对隔水的泥质岩层的砂质含水岩层中。

3.1 盆地流体的形成及渗入、渗出体系

富水的新鲜沉积物——水西沟群暗色含煤岩系被覆盖以后, 就开始了连续的脱水—排水过程, 排挤出的大量孔隙流体进入透水砂层, 可能使砂岩层中的铀发生再分配。此时盆地流体活动方式表现为渗出型。

自晚侏罗世燕山运动中晚期, 中、下侏罗统抬升, 此时盆地流体以渗入方式为主, 大量蚀源区含氧含铀大气降水和地表潜水顺含水层进入盆地, 在继承性断裂带排泄, 形成一个完整的补给-径流-排泄体系, 铀在层间径流区适宜的地球化学环境中沉淀富集。主要是由于水头压力驱动层间流体发生流动^[5]。

3.2 层间成矿流体的来源与性质

层间氧化带发育期间, 水西沟群含水层开启并遭受大气降水与地下潜水的补给和淋滤, 干旱炎热的气候环境使这些渗入水富含溶解氧 (达 $1.83 \text{ mg/l}^{[6]}$), 从蚀源区被淋滤成矿物质进入含水层。随着氧化性层间水的不断顺层渗入, 与原生灰色还原岩石形成氧化-还原综合地球化学障并使铀及其伴生元素沉淀成矿。由此可知, 成矿物质在搬运-沉积-再分配-层内迁移-成矿的不同时期或不同地球化学作用过程中, 始终是在地表水即大气降水的参与下, 以不同的方式对成矿物质进行搬运和卸载。成矿流体的来源虽较简单, 并在不同的层间分带具有不同的物理化学性质。

从研究区水文钻孔中定深采集了含矿层 (V_2^2) 的层间水样品。由于生产需要, 这些水文钻孔均布置在矿石带 (氧化-还原过渡带), 因此, 所采集的水样完全可以代表铀成矿时的层间流体性质, 但不能采集到其他分带中的水样。为了对比研究, 同时采集了未流经矿区的上游河水及基岩裂隙水样各一个。分析结果见表1。将测试结果投至不同来源水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 关系图 (图2), 均落入雨水线左侧, 反映出流体的表生来源, 并没有深部热流体的参与。

表1 乌库尔其地区 V_2^2 层间水、河水及基岩裂隙水氢氧同位素分析结果

Table 1. Hydrogen and oxygen isotopic composition of V_2^2 interlayer water, stream water and bedrock fissure water in Wukurqi district

样号	SZ-01	SZ-02	SZ-03	SZ-04	SZ-05	SZ-06	SZ-07
$\delta D_{\text{sm ow}}/\text{‰}$	- 69	- 51	- 77	- 53	- 60	- 80	- 63
$\delta^{18}O_{\text{sm ow}}/\text{‰}$	- 14.5	- 10.5	- 15.3	- 11.6	- 13.0	- 15.7	- 13.0
采样位置及其性质	扎河东南山麓基岩裂隙水	扎河上游河水	ZK 05603 V_2^2 层间水	ZK 02401 V_2^2 层间水	ZK 01618 V_2^2 层间水	ZK 370 自流井 V_2^2 层间水	ZK 03631 V_2^2 层间水

注: 由南京大学内生金属成矿作用国家重点实验室 ICP-AES 室测定, 1998

基岩裂隙水与河水一样, 属于大气降水 (可能还有融化的雪水), 但它在基岩在渗滤过程中, 其成分、性质与河水相比必然有所改变。上述3种水的线性拟合关系很好, 因此, 用它们的氧同位素数据以线性回归方法拟合, 得到该区雨水 δD 和 $\delta^{18}O$ 的线性关系 (图2), 其方程式为:

$$\delta D = 5.7 \delta^{18}O + 11.1 \quad (\text{相关系数 } r = 0.96) \quad (1)$$

由图2可见, 该区各种水样的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值都偏离克雷格大气降水线而位于其前侧下方。由方程(1)定义的研究区地表水及地下水(层间流体)线与克雷格线($\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$)收敛于一点: $\delta D = 14\text{‰}$, $\delta^{18}O = 0.49\text{‰}$ 。该点的近似值代表了扎吉斯坦河水的初始同位素组成。此外, 尽管河水与地下水均位于斜率为5.7的蒸发线上, 但仍可分出两组(图2)。一组为地表河水(SZ-02), 位于此直线右上方, 明显富重同位素; 另一组为地下水(SZ-01, SZ-03, SZ-04, SZ-05, SZ-06, SZ-07), 位于此直线左下方, 相对贫重同位素。由于特定斜率的蒸发线代表来源相同的水样的氢氧同位素组成特征, 而同一蒸发线上不同部位的水样则反映了它们所遭受的不同蒸发程度差异^[7]。因此, 研究区地表水和层间水的最终来源是相同的。

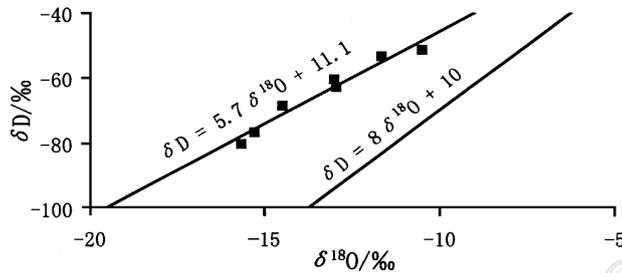


图2 乌库尔其地区不同流体的 δD - $\delta^{18}O$ 图解

Fig. 2. δD - $\delta^{18}O$ diagram of different water samples in Wukurqi district.

采自水文孔的 V_2^2 层间水为一种无色无味液体。沿 V_2^2 旋回砂岩倾向, 从氧化带到还原带, 水的性质由于地球化学环境及水/岩反应对其中自由氧的消耗, 其pH值、Eh值出现有规律的变化。层间水与河水、基岩裂隙水的部分微量元素含量列于表2中, 可以看出 V_2^2 层间水中除Ge、Si外, 其他元素含量比基岩裂隙水和河水都要高, 并且, 层间水与基岩裂隙水的微量元素含量比较接近, 与河水则相差较大, 这只能说明层间水主要受基岩裂隙水的补给。

表2 乌库尔其地区 V_2^2 层间水、河水及基岩裂隙水部分元素分析结果(10^{-9})

Table 2. Analyses of V_2^2 interlayer water, stream water and bedrock fissure water in Wukurqi district

样号	U	Mo	V	Co	Ba	Al	La	Nd	Ce	Sc	As	Se	Ge	Mg	Si
SZ-01	21.7	55.0	69.8	3.0	14.7	78.4	3.4	10.3	15.9	0.3	22.4	53.3	30.1	37.61	6.82
SZ-02	14.5	9.2	20.0	2.2	38.8	67.3	1.9	7.3	8.6	0	19.2	25.6	24.0	10.15	2.53
SZ-03	32.6	13.6	173.7	5.5	16.0	131.8	7.2	20.8	27.4	0.3	25.9	62.5	35.8	102.8	1.69
SZ-04	77.5	12.3	39.9	4.5	22.7	113.1	4.2	14.7	17.7	0.1	19.6	60.6	31.5	22.0	3.98
SZ-05	35.3	12.8	121.3	4.9	24.0	127.8	6.2	18.5	22.4	0.2	22.3	48.9	22.7	71.4	2.39
SZ-06	51.6	18.4	183.6	6.7	23.7	158.8	7.3	22.2	25.7	0.3	34.6	56.2	49.5	109.6	6.92
SZ-07	42.4	22.5	68.7	4.3	13.9	101.4	3.5	13.2	16.5	0.1	28.6	30.5	35.5	41.3	5.72

注: 由南京大学内生金属矿床成矿作用研究国家重点实验室 ICP-AES 室测定, 1998

3.3 层间流体运移及其铀成矿效应

不论何种类型的盆地沉积-成岩过程中总是伴随有大量流体的存在、演化及其与各种矿物的作用^[8,9]它造成某些矿物的溶解、再沉淀及离子交换, 并成为某些金属元素的主要携带者和

搬运者。伊犁盆地自中生代以来没有明显的构造-岩浆作用促使铀的热活化与迁移, 主要是盆地内部流体的活动使铀活化迁移而在沉积盖层中富集成矿。

4 层间铀成矿过程中的流体作用

流体作用实际上就是流体-矿物界面的地球化学过程, 即水/岩反应的过程, 它主要包括吸附作用、解吸作用和氧化-还原作用^[8], 并导致岩石中某些矿物的溶蚀和另一些矿物的生成。金属元素的活化迁移与沉淀是流体-矿物界面反应的直接结果。

伊犁盆地南缘层间氧化带型砂岩铀矿床是表生渗入水及原生沉积演化水与原生灰色砂岩发生水-岩反应/交换的结果。前已述及, 携带铀的含自由溶解氧的渗入型地下水进入含水砂岩层, 在其迁移方向上形成 Darcy 舌状流体前缘, 随着溶解氧的消耗, 完全氧化亚带逐渐向不完全氧化亚带、部分氧化亚带及斑点状氧化亚带过渡, 当层间流体中溶解氧完全消耗时, 由有氧水-岩作用体系转化为无氧水-岩作用体系, 氧化带尖灭进入还原带。在两种地球化学环境的过渡带, 铀及其伴生元素 (Se、Re、Mo、V 等) 沉淀富集。随着层间含铀流体的不断渗入, 这种富集作用也随之滚动加积并形成富铀矿体。在过渡带喜氧和厌氧生物群的活动也使氧化-还原电位发生陡降, 促进了铀的沉淀^[10]。

4.1 水-岩反应

伊犁盆地南缘层间铀成矿过程包括两个水-岩反应阶段, 即沉积-成岩阶段和后生层间氧化带发育阶段。沉积-成岩过程中整个区域含煤岩系内发生了封闭无氧体系的水-岩作用, 使砂岩孔隙流体成分产生很大变化。砂岩层的泥质岩顶底板压实过程中排挤出大量孔隙流体, 可能带出其中部分成矿物质。该阶段以大量粘土矿物等自生矿物的形成和有机质的演化为特征。首先, 它反映了低温条件下的流体-矿物界面作用, 其矿物组合为粘土矿物 (高岭石、多水高岭石、伊利石、绿泥石和/或蒙脱石) + 黄铁矿/菱铁矿 + 次生微晶石英 + 少量方解石。据闵茂中[●]对 511 矿床粘土矿物研究, 认为原生砂岩中存在的大量粘土矿物 (15.2% ~ 21.3%) 以高岭石为主 (63.5% ~ 79.8%), 其次为绿泥石 (12.7% ~ 16.0%)。X 衍射分析发现填隙物中还有较多的混层粘土矿物。这些自生粘土矿物主要分布于填隙物中, 仅少数由铁镁质碎屑矿物 (角闪石、黑云母等) 在层间氧化带发育期形成。其次, 硫同位素研究表明, 成岩期黄铁矿的形成有大量细菌参与。最后, 随着上覆沉积物的加厚压实, 有机质成熟度不断加深, 局部进入甲烷生成高峰期, 由此释放出大量有机酸、CH₄、H₂S、CO₂ 等还原性气体, 为铀的沉淀提供了必要的还原剂。野外观察表明该区砂岩成岩程度较弱, 石化程度低, 岩石胶结松散, 十分有利于后期含氧含铀层间流体的渗入成矿。该阶段对层间铀成矿的主要贡献是沉积物中铀的再分配和产生后期铀沉淀所必需的还原剂。

层间氧化带发育阶段也就是铀成矿作用的时期, 水/岩反应的主要特征是有自由氧的参与, 硫化物 (主要为黄铁矿) 被氧化, 低价铁转变为高价铁并使原生灰色岩石变为红、黄色调, 更重要的是铀矿化形成。而在氧化-还原过渡带又有黄铁矿再生, 并产生较窄的局部酸化环境, 形成矿石带后缘附近的酸化褪色蚀变带。这种局部酸性环境有利于铀的溶解与迁

● 闵茂中等, 1998, 新疆伊犁盆地扎吉斯坦地段铀矿石物质成分研究 (科研报告), 核工业西北地质局新疆地调处

移^[15,16]。从表3也可看出,在过渡带硫化物中的硫(S_硫)和全硫(S_全)都有所增加,也说明了黄铁矿的再沉淀。同时硫酸盐在低温下(井下定深测温表明成矿温度为15℃以下),不发生氧化-还原反应,也不参与黄铁矿的形成。

表3 层间氧化带发育期水/岩反应的硫的分布(%)

Table 3. Distribution of sulfur in the process of water-rock interaction during the development of interlayer oxidation zone

分带性	S _硫	S _全
氧化带	0.015	0.055
过渡带	0.067	0.127
还原带	0.02	0.11

注:数据引自秦明宽●

层间氧化带型砂岩铀矿床是受层间水力作用影响而顺层发展的后生带状铀矿床,它透过砂岩层的振布、岩性-岩相、(古)水动力条件等因素控制^[11]。因此,层间氧化带发育期另一个突出特征是铀的淋滤迁移和沉淀。由于层间流体的氧化性质,使氧化前锋之后几乎所有流体流经的岩石中的铀及其伴生元素被淋滤出来,并在氧化前锋附近沉淀,是一个滚动加积的过程,从而使铀矿体不断加大富集。最

后,在层间流体流向上,存在S、Pb、U、O等同位素的分馏作用,从而形成相应的分带现象^[10,12,13,17,18],也为成矿预测和矿体定位提供了依据。

4.2 流体作用的稳定同位素及稀土元素示踪

(1) 氧同位素特征及示踪:伊犁盆地砂岩铀矿的形成与顺层渗入的含氧含铀地下水和其流经围岩所发生的水/岩反应密切相关,使得运用氧同位素来研究与层间氧化带有关的铀矿化成因及成矿预测成为可能。在真空高温下用BrF₃分别分离样品中的氧,以CO₂的形式析出,然后在气体质谱仪上分析氧同位素成分。所有结果都换算成SMOW标准值列于表4。系统采集样品的453勘探线从氧化带到还原带全岩氧同位素组成呈现出有规律的变化(图3),在过渡带附近出现全岩氧同位素组成明显“偏轻”,可能是由于过渡带附近存在较强的生物细菌作用所致。通过对研究区不同流体及岩/矿石氧同位素研究,可以清楚地看出大气氧在层间氧化带形成过程中起着重要作用,同时全岩氧同位素在层间氧化带流体流向上存在较明显的分带性,为我们相似的地区预测和寻找与层间氧化带有关的砂岩型铀矿床提供了有力依据。

表4 伊犁盆地南缘乌库尔其地区453剖面V₂砂岩样品全岩氧同位素分析结果(‰)

Table 4. Whole rock oxygen isotopic composition of V₂ sandstone samples from No. 453 section of Wukurqi district

样号	岩性特征	δ ¹⁸ O	样品在层间氧化带中的位置
W-13	浅灰色含砾不等粒粗砂岩,含褐斑	14.22	ZK45359/380.4~384.0 m/氧化带
W-14	浅灰色不等粒粗砂岩,含褐斑	13.86	ZK45363/405.0~407.0 m/氧化带
W-22	灰色含砾不等粒砂岩,松散,含碳质	10.78	ZK45367/441.2~443.0 m/过渡带
W-16	浅灰色不等粒砂岩,松散	12.72	ZK45369/438.0~443.0 m/过渡带
W-17	灰色松散中粒砂岩,含碳质、黄铁矿	14.34	ZK45371/457.0~458.0 m/还原带
W-18	灰色细砂岩,松散,含碳质、黄铁矿	14.35	ZK45375/486.0~486.8 m 还原带

注:由南京大学内生金属矿床成矿作用国家重点实验室稳定同位素质谱室测定,1998

(2) 层间流体作用的稀土元素特征:在利用REE配分特征解释岩石成因和成矿物质来源等问题的同时,目前越来越多地利用REE的可迁移性来示踪成矿流体的演化及含矿岩石蚀

● 秦明宽,1997,新疆伊犁盆地南缘可地浸层间氧化带砂岩铀矿床成因及定位模式(博士论文),核工业北京地质研究院

变过程中元素的迁移程度。A M i d a r d^[19]认为 pH 值对流体中 REE 含量有着绝对的控制作用: 当流体 pH 值降低时流体中 REE 将随之增加, 反之降低。本研究采集了研究区 3 条剖面的 15 个围岩样品、2 个矿石样品、2 个基岩样品及 1 个库捷尔太铀矿床矿石样品, 进行了稀土元素分析。15 个围岩样品和 3 个矿石样品都各自具有十分相似的稀土元素分布型式。由于篇幅所限, 文中仅将 3 类岩/矿石各取 2 个样品的分析结果列于表 5, 其特征

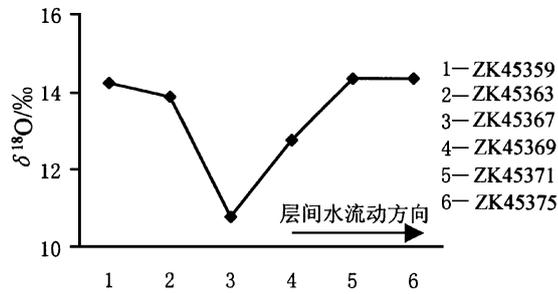


图 3 研究区 V₂ 旋回砂岩全岩 δ¹⁸O 变化规律
Fig. 3. Variation of whole rock δ¹⁸O values in sandstone within V₂ cycle of the study area.

表 5 乌库尔其地区各类岩矿石样品的稀土元素含量分析结果 (10⁻⁶)

Table 5. REE contents of Various rock and ore samples from Wukurqi district

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
砂岩铀矿石															
K-3	101.9	224.3	9.78	93.58	13.61	1.53	4.36	1.63	4.48	0.80	6.77	0.30	1.39	0.21	464.64
W-01 ^①	78.93	194.3	9.86	79.83	12.58	1.45	4.76	1.81	1.15	0.77	5.18	0.30	1.15	0.18	392.25
基 岩															
S-1	93.36	205.6	12.44	103	22.91	3.11	8.15	2.66	9.08	1.49	11.45	0.44	2.34	0.33	476.45
S-2	13.78	26.18	4.64	15.95	2.98	0.32	1.04	0.74	0.97	0.28	1.63	0.13	0.29	0.09	69.02
无矿围岩															
W-15	18.99	40.35	4.28	15.40	2.95	0.52	2.70	0.44	2.31	0.51	1.35	0.23	1.30	0.20	91.59
W-18	18.84	41.23	4.62	16.81	3.25	0.56	3.01	0.55	2.71	0.63	1.59	0.27	1.42	0.23	122.9

注: 由南京大学内生金属矿床成矿作用研究国家重点实验室 ICP-AES 室测试; ①为 512 矿床矿石样品

明显地反映在图 4 中。本研究的所有围岩及矿石含量样品均采自含矿目的层 V₂ 旋回。伊犁盆地层间氧化带型砂岩铀矿床从氧化带到还原带具有明显的 pH 值的分带性, 在矿石带附近存在的酸化褪色带, 有利于 REE 的迁移, 因为在偏碱性溶液中, 稀土元素易形成 [REE (CO₃)₃]³⁻ 和 [REE (CO₃)₄]³⁻ 两种形式的络离子迁移^[14]。从图 4 可看出, 矿石样品明显比围岩样品富 REE (除 Tm、Yb 和 Lu 三种重稀土元素), 这说明在低温条件下, 只要有适宜的 pH 环境, REE 完全可以迁移和局部富集。同时, 矿石样品与安山玢岩样品 (S-1) 的稀土分布型式十分吻合, 而与灰岩样品 (S-2) 相差较大, 可能是矿石中 REE 大多来自安山玢岩, 进一步说明了铀矿物质主要来自基岩裂隙水, 河水中的铀来源则为次要。另外, 从表 2 也可看出基岩裂隙水的铀及其微量伴生元素与过渡带的层间水十分相近, 也说明了层间流体的基岩裂隙水来源。

5 结 论

综上所述, 可得出以下结论:

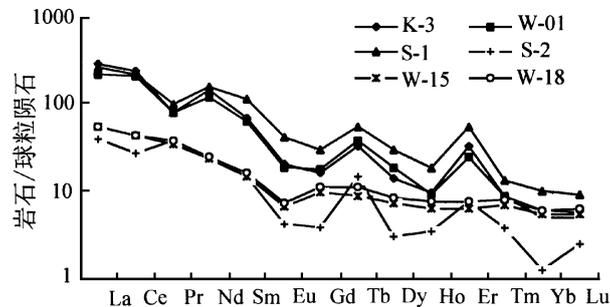


图4 伊犁盆地乌库尔其地区部分岩(矿)石样品稀土元素分布型式

Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of some rock (ore) samples from Wukurqi district of Ili basin.

(1) 伊犁盆地区域流体在平面上和剖面上具有明显的分区和分带性, 这种特征与层间铀成矿位置是完全一致的。

(2) 成矿目的层——水西沟群(J₂sh)随着盆地演化经历了沉积成岩作用和层间氧化-还原作用两个阶段的水/岩反应, 对铀成矿都具有重要意义。

(3) 在低温条件下, 由于层间流体酸碱度的变化使稀土元素有一定的迁移和富集。

(4) 从氧化带到还原带次生加大边石英和全岩都具有氧同位素分带性。

(5) 通过对层间流体的REE、微量元素、氢氧同位素等研究, 认为层间流体主要受基岩裂隙水的补给, 铀及其伴生元素可能主要来自基岩, 而基岩裂隙水也受大气降水的补给。

作者感谢在野外工作期间核工业216大队四分队的李细根分队长、阿仲明、李彦龙工程师、王乐民等同仁的热情帮助, 也感谢216大队林双幸队长、总工办谭鸿瓚主任及全体同志在该课题实施过程中的帮助。与闵茂中教授就文中部分观点进行了有益的讨论和交流, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 张国伟, 李三忠等. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (4): 203~ 214.
- 2 陶国强等. 遥感油气勘探对伊犁盆地的评价 [J]. 现代地质, 1997, 11 (4): 529~ 535.
- 3 李彦龙. 新疆伊犁盆地南缘侏罗系水西沟群特征及沉积环境分析 [J]. 新疆地质, 1997, 15 (1): 42~ 50.
- 4 秦明宽, 李胜祥, 赵瑞全等. 伊犁盆地512铀矿床粘土矿物特征与铀成矿作用 [J]. 地球科学, 1998, 23 (5): 508~ 512.
- 5 赖应箴. 沉积物演化与某些层控矿床的形成 [J]. 矿床地质, 1988, 7 (1): 43~ 53.
- 6 林双幸. 新疆伊犁盆地南缘侏罗系层间氧化带发育条件及铀成矿远景评价 [J]. 铀矿地质, 1995, 11 (4): 201~ 206.
- 7 刘丹, 刘世清, 徐则民. 应用环境同位素方法研究塔里木河下游浅层地下水 [J]. 成都理工学院学报, 1997, 24 (3): 89~ 95.
- 8 华仁民. 流体在金属矿床形成过程中的作用和意义 [J]. 南京大学学报 (地球科学), 1993, 5 (3): 351~ 360.
- 9 华仁民. 风化过程和沉积-成岩过程中的水岩反应研究 [J]. 南京大学学报 (地球科学), 1993, 5 (1): 100~ 109.
- 10 与层间氧化带有关的铀矿床的同位素-地球化学研究 [J]. 刘平译, 国外铀金地质, 1998, 15 (3): 216~ 219.
- 11 贺伟建. 铀矿床构造模式及其找矿意义 [J]. 矿床地质, 1987, 6 (1): 79~ 87.
- 12 刘金辉. 确定砂岩型铀矿化地段的铀、钍同位素证据 [J]. 矿床地质, 1999, 18 (3): 262~ 267.
- 13 秦明宽, 赵瑞全, 王正邦. 可地浸砂岩型铀矿盲矿识别模式 [J]. 铀矿地质, 1999, 15 (3): 129~ 136.

- 14 鲁洪波, 姜在兴. 稀土元素地球化学分析在岩相古地理研究中的应用 [J]. 石油大学学报, 1999, 23 (1): 8~12.
- 15 Hostetler P B, Garrels R M. Transportation and precipitation of uranium and vanadium at low temperatures, with special reference to sandstone-type uranium [J]. Econ. Geol., 1962, 57 (2): 137~168.
- 16 Wen H Huang. Geochemical and sedimentologic problems of uranium deposits of Texas Gulf Coastal Plain. AAPG., 1978, 62 (6): 1049~1062.
- 17 Warren C G. Sulfur isotopes as a clue to the genetic geochemistry of a roll-type uranium deposit [J]. 1972, 67: 759~767.
- 18 Rosholt J N, Butler A P, Garner E L et al., Isotopic fractionation of uranium in sandstone, Power River Basin, Wyoming, and Silk Rock district, Colorado. Econ. Geol. 1965, 60 (2): 199~213.
- 19 Michard A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids [J]. Geochim. Cosmochim., 1989, 53: 745~750.

THE ROLE OF FLUIDS IN THE ORE-FORMING PROCESS OF THE INTERLAYER URANIUM DEPOSITS OF WUKURQI DISTRICT ON THE SOUTHERN MARGIN OF YILI BASIN

Wang Guo, Hua Renmin

(Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

Qin Lifeng

(No. 216 Geological Party, Northwest Geological Bureau of Nuclear Industry, Urumqi 830011)

Key words: uranium ore-forming process in interlayer sandstone, fluid interaction, sandstone-type uranium deposit, Wukurqi district, Xinjing, Yili basin

Abstract

Based on analyzing oxygen isotopic components in some fluids, REE distribution in rocks as well as geochemical behaviors of uranium and its associated elements in interlayer fluids, this paper holds that V_2^2 interlayer fluids came mainly from bedrock fracture water derived from meteoric water. The paper elaborates the relationship between the development of Yili basin and the ore genesis in V_2^2 interlayer sandy bodies and also describes the formation and evolution of fluids in the basin as well as characteristic features and ore-forming effects of interlayer fluids. Water-rock interaction is characterized by large quantities of authigenic clay minerals, pyrite, secondary microclitic quartz and/or calcite. During the development of the interlayer oxidation zone, the interlayer water-rock interaction resulted in the formation of sandstone-type uranium deposits, and produced complete zoning of secondary minerals, with the ore in the reduction-oxidation transitional subzone, in the form of roll. $\delta^{18}O$ values of total rock show a regular variation in the direction of interlayer fluids in V_2^2 cyclothem, and the ore is appreciably abundant in REE.