

文章编号:1673-9469(2009)04-0061-06

## 东胜矿床稳定同位素地球化学特征及地质意义

胡亮,吴柏林

(西北大学 地质学系,陕西 西安 710069)

**摘要:**东胜砂岩型铀矿的形成、改造及保矿是有机-无机流体共同作用的结果,其作用过程伴随众多可识别的后生蚀变标志。对这些流体作用产物的稳定同位素特征研究可以追溯流体作用的类型、特点和性质,从而为该矿床的成因及找矿提供理论依据。本文主要选择透镜状碳酸盐化及矿化层钙化木中方解石进行碳、氧同位素分析,含矿层砂岩中黄铁矿进行硫同位素测试。碳、氧同位素分析结果表明,透镜状碳酸盐化及钙化木的形成其碳质来源与油气等有机质流体作用有关;硫同位素数据分析表明,黄铁矿硫源具有生物细菌-煤质共同作用的特点;结合前人对碳酸盐氢氧同位素及流体物理化学参数等特征的研究,综合分析得出了东胜矿床的形成为由“大气降水-逸散油气-煤质有机酸-低温热液”混合流体作用结果的认识。

**关键词:**东胜矿床;稳定同位素;流体作用

**中图分类号:** P618.13

**文献标识码:** A

## The geochemistry characteristics of the stable isotope in Dongsheng deposit and its geologic signification

HU Liang, WU Bo-lin

(Department of Geology, Northwest University, Shanxi Xi'an, 710069, China)

**Abstract:** The formation, transformation and preservation of Dongsheng sandstone-type uranium deposit is the combined action of the organic and inorganic fluid, in these processes there are a number of recognizable epigenetic altered signs. Researches on the characteristics of stable isotopes in these fluid products could date from types, characteristics and nature of fluid, which provides a theoretical basis for deposit causes and mineral prospecting. This research main selects carbon and oxygen isotopes in calcite in calcified wood and sulfur isotopes in pyrite in sandstone. The carbon and oxygen isotopes analysis shows that the formation of lenticular carbonate and calcified wood and carbon source are relate to the fluid action of organic matter; Sulfur isotope analysis indicates that sulfur source has the characteristic between the biological bacteria and coal. According to the former researches on the carbonate hydrogen and oxygen isotope and fluid physical-chemical parameters, the paper presents an opinion that the formation of Dongsheng deposit is the result of combined fluid action by atmospheric precipitation-dissipation hydrocarbon-coal organic acid-low-temperature hydrothermal.

**Key words:** Dongsheng deposit; stable isotopes; fluid action

砂岩型铀矿床是世界上最早发现的铀矿类型之一,是一种产生于沉积盆地中的外生矿床<sup>[1-3]</sup>。砂岩型铀矿的形成,经历了一个后生流体对铀元素的活化,迁移及沉淀富集的地球化学过程。在

此过程中,岩石中会留下明显的流体作用痕迹,即各种后生蚀变地质现象。与其它砂岩型铀矿床相比较,东胜矿床的后生蚀变现象主要有绿色蚀变、漂白化、铀矿化、氧化蚀变和碳酸盐化、黄铁矿化

收稿日期:2009-10-09

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973计划)项目(2003CB214608),长江学者和创新团队发展计划(IRT0559)项目,陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项项目(2008ZDKG-48)资助。

作者简介:胡亮(1983-),女,湖北黄冈人,硕士研究生,从事铀矿地质、地球化学方面的研究。

蚀变等<sup>[4-8]</sup>。例如天然气中的  $H_2S$  气体以及沉积地层煤中的硫源等是形成后生黄铁矿的重要硫源之一;砂岩碳酸盐胶结物中的碳与  $CH_4$  等有机烃类气体及固体有机质中的碳质来源关系密切;漂白砂岩中的氢、氧等混染了天然气中的  $CO$ 、 $H_2S$ 、 $H_2$  及  $CH_4$  等有机烃类气体中的相应组分等,使得在流体作用产物的相应同位素值的变化上出现变异或特征性的显示。对这些流体作用产物的相关稳定同位素特征的研究,可以为流体作用的类型、性质以及矿床成因等提供可靠的信息。

## 1 地质背景

东胜矿床位于鄂尔多斯盆地东北部、伊盟隆起的东南部,矿区内出露的地层主要为侏罗系和白垩系,第三系和第四系仅在局部地区分布。矿区地层呈单斜状构造,向 SW 缓倾,倾角  $1^\circ \sim 3^\circ$ 。直罗组从岩性特征上可分为直罗组下段( $J_2z^1$ )和直罗组上段( $J_2z^2$ ),上段为一套杂色(黄、红、灰绿色)中细粒砂岩和泥岩。下段又可进一步细分为两个亚段(自下而上为  $J_2z^{1-1}$  和  $J_2z^{1-2}$ ),上亚段为一套灰绿色泥岩、粉砂岩和砂岩;下亚段为一套灰色、灰白色中粗粒砂岩,顶部有一薄煤层。铀矿赋存在下亚段的浅灰色粗粒砂岩中,矿体埋深一般在  $100 \sim 150m$ ,含矿层厚  $10 \sim 30m$ 。在平面上铀矿受灰绿色与灰色砂岩的过渡区控制;矿体下部附近是延安组顶部漂白砂岩层位<sup>[4-5]</sup>。矿石矿物主要以铀石为主,铀石多与黄铁矿伴生,并部分交代黄铁矿,铀石也与有机质有着密切的关系。通过对包裹体的研究发现矿石中具有明显的油气富集现象<sup>[9]</sup>。

东胜砂岩型铀矿形成具有非常复杂的多阶段,多成因流体长期富集改造的叠合成矿模式,经历了构造的多期次“动—静”耦合、潜水氧化与层间氧化成矿作用的叠加、油气—热流体的复合改造等地质成矿作用<sup>[9-10]</sup>。东胜地区的主要成矿期为早白垩世和晚白垩,卷头(富矿)铀成矿作用发生在新近纪中新世和上新世,可能与该时期区内的构造热事件有关<sup>[11]</sup>。其低有机碳,低  $\Sigma S$ ,高  $Th/U$  值的蚀变的地球化学指标指示了绿色蚀变形成处于一种相对较强的还原性环境<sup>[5]</sup>。

## 2 碳、氧同位素特征

自然界中碳同位素的分布范围很广泛,地球

上碳同位素的变化规律为<sup>[12]</sup>:(1)氧化碳富 $^{13}C$ ,还原碳则亏损 $^{13}C$ ;(2)大气二氧化碳的平均  $\delta^{13}C$  的值为  $-7\%$ ;(3)海相沉积碳酸盐的  $\delta^{13}C$  变化范围很小( $-1\% \sim +2\%$ ,平均  $0\%$ ),淡水沉积碳酸盐岩比同类海相岩石亏损 $^{13}C$ ;(4)深源火成碳酸岩和金刚石的  $\delta^{13}C$  值大多数集中在  $-5\% \pm 2\%$ ,此值可代表原始地幔岩部分熔融所形成的原生岩浆值。

沉积盆地主要有两种碳储集:(1)海洋碳酸盐,为海水中生物或化学作用的沉淀产物;(2)还原的有机碳,主要为细粒沉积物中所埋藏的海洋与陆地动、植物。王大锐<sup>[13]</sup>根据大量的塔里木油气区的碎屑岩储层中的方解石胶结物进行同位素分析(由于该区方解石胶结物的含量很多有利于同位素的分析),总结出了碳酸盐胶结物的成因判别图。分为三个区 I 区为成岩碳酸盐,埋藏较浅时与硫酸盐还原作用有关的碳酸盐;II 区为与甲烷细菌活动生成生物气有关的碳酸盐;III 区的碳酸盐与有机酸脱羧作用有关。

### 2.1 样品的选择与测试

砂岩碳酸盐胶结物中的碳与  $CH_4$  等有机烃类气体及固体有机质中的碳质来源关系密切;研究区存在的钙质胶结砂岩中的方解石胶结物其产状多是沉积作用或是后期改造与沉积成岩作用混合的产物,因此难于有效区分或分离,将其作为研究蚀变流体性质的做法很明显是有争议的。由于后生碳酸盐化蚀变现象的特征与成岩作用形成的钙质胶结砂岩不同,因此本文主要选择含矿层中不连续的透镜状碳酸盐化砂岩及“钙化木”作为研究对象。其中的“钙化木”是在直罗组地层砂岩局部可见到的强烈碳酸盐化,内部充填了结晶较好的方解石,指示其形成于地层沉积之后,为热液作用成因的产状特征<sup>[14]</sup>。

碳氧同位素实验共选取了 15 个样品,将其分为两种基本类型,即“钙化木”和砂岩内部的碳酸盐化透镜状砂岩。样品全部在中科院地球环境研究所进行测试。运用碳酸盐样品碳、氧同位素分析的经典方法—磷酸法进行分析测试。将正磷酸与样品在  $70^\circ C$  真空条件下反应,生成的  $CO_2$  用液氮冷阱收集净化后,送入质谱仪进行碳、氧同位素分析。整个分析过程是由样品处理单元(碳酸盐装置)和同位素质谱联机的全自动在线系统完成。测试仪器为 Kiel III 碳酸盐装置与 MAT252 气体质谱仪联机进行。分析精度采用国家标准 TTB1

(GBW04405)样品的分析精度, $\delta^{13}\text{C}$  优于  $\pm 0.06\text{‰}$ , $\delta^{18}\text{O}$  优于  $\pm 0.08\text{‰}$ 。

## 2.2 实验结果分析

砂岩中的方解石胶结物的碳、氧同位素的组分特征见表1和图1。其 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布范围除SWZ08-36和SWZ08-41分布较散外,其余的都比较集中。 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-16.11\text{‰} \sim 2.71\text{‰}$ ,平均为 $-4.815\text{‰}$ , $\delta^{18}\text{O}$ 的值分布在 $-13.28\text{‰} \sim -10.83\text{‰}$ ,平均为 $-11.631\text{‰}$ 。5个“钙化木”的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布范围分别为 $-2.45\text{‰} \sim -4.87\text{‰}$ ,平均为 $-3.308\text{‰}$ 和 $-11.7\text{‰} \sim -11.03\text{‰}$ ,平均为 $-11.348\text{‰}$ ;5个“钙化木”中的方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布范围分别为 $-8.18\text{‰} \sim -3.11\text{‰}$ ,平均为 $-5.082\text{‰}$ 和 $-12.31\text{‰} \sim -11.13\text{‰}$ ,平均为 $-11.55\text{‰}$ ;4个砂岩内部的透镜体的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布范围分别为 $-16.11\text{‰} \sim -4.18\text{‰}$ ,平均为 $-8.248\text{‰}$ 和 $-12.32\text{‰} \sim -10.83\text{‰}$ ,平均为 $-11.673\text{‰}$ ;其中5个“钙化木”样品,5个“钙化木”中的方解石样品和3个砂岩内部的透镜体样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分布范围较集中,集中分布在在图1(1)的中部区间内,碳氧同位素分别为 $-8.34\text{‰} \sim -2.45\text{‰}$ ,平均为 $-4.525\text{‰}$ 和 $-12.32\text{‰} \sim -$

$10.83\text{‰}$ ,平均为 $-11.51\text{‰}$ 。从表1和图1(1)中我们可以发现图中存在的2个分散的点分别为10号砂岩底及泥岩顶部的砂岩和11号砂岩内部的透镜体,其中10号样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 为较大的正值( $2.71\text{‰}$ ),而11号样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 则为较大的负值( $-16.11\text{‰}$ ),这可能与大气水的介入有关。图1(2)的碳酸盐胶结物成因判别图显示,砂岩底及泥岩顶部的砂岩(10号)数值点落在II区,指示其与生物气有关。其余14个样品全部落在III区,且11号样品的碳同位素更轻,小于 $-10\text{‰}$ (正常碳酸盐,其碳不论来自大气、淡水还是海相环境, $\delta^{13}\text{C}$ (PDB)分布范围在 $-10\text{‰} \sim +5\text{‰}$ 之间<sup>[15-16]</sup>,指示这些样品的方解石胶结物的形成与有机质有关,说明有机质提供了大部分碳源。

## 3 有机质作用的类型、性质

上述碳、氧同位素特征已经表明东胜矿床的形成其流体具有有机质作用的特点,但该有机质作用的类型和性质是什么?前人的工作显示,盆地中部上古生界天然气田中的煤型气向东北部曾大规模逸散,其逸散油气与地下水混合是该有机质流体的主要构成。

表1 东胜矿床直罗组砂岩中方解石的碳、氧同位素分析数据  
Tab.1 Carbon and oxygen isotope compositions of carbonate cements in sandstone on Zhiluo formation of Dongsheng deposit

序号	样品号	岩性	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}, \text{VPDB})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}, \text{VPDB})$
1	SCS08-2	砂岩内部的透镜体	-4.36	-10.83
2	SCS08-3	砂岩内部的透镜体	-8.34	-11.99
3	SCS08-4	砂岩内部的透镜体	-4.18	-12.32
4	SGM08-1(1)	钙化木中的方解石	-6.69	-11.78
5	SGM08-1(2)	钙化木	-2.80	-11.06
6	SGM08-6(1)	钙化木中的方解石	-8.18	-12.31
7	SGM08-6(2)	钙化木	-3.26	-11.03
8	SGM08-9(1)	钙化木中的方解石	-4.20	-11.14
9	SGM08-9(2)	钙化木	-2.45	-11.70
10	SWZ08-36	砂岩底及泥岩顶部的砂岩	2.71	-13.28
11	SWZ08-41	砂岩内部的透镜体	-16.11	-11.55
12	SGM08-44(1)	钙化木中的方解石	-3.23	-11.39
13	SWZ08-44(2)	钙化木	-4.87	-11.61
14	SWZ08-45(1)	钙化木中的方解石	-3.11	-11.13
15	SWZ08-45(2)	钙化木	-3.16	-11.34

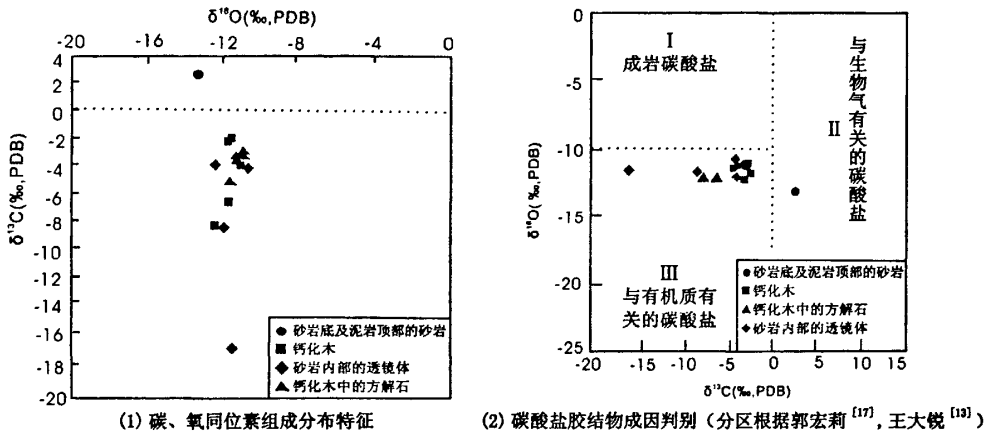


图1 研究区砂岩中碳酸盐胶结物的碳、氧同位素特征

Fig.1 Characteristics of the carbon and oxygen isotope compositions of calcite cement in the study area

1) 盆地东北部存在油气逸散的有利地质背景。冯乔等<sup>[18]</sup>通过对鄂尔多斯盆地北部山西组储层中流体包裹体的捕获压力研究表明,捕获压力在平面上为南高北低、东北部最低,成藏后大量天然气散失和油气向东北方向迁移,由于鄂尔多斯盆地构造稳定,地层起伏变化不大,因此捕获压力的变化反映了古流体(包括油、天然气等)由南向北的运移,并最终汇聚到研究区东北部。马艳萍等人<sup>[19]</sup>认为盆地北部白垩系的大油苗的存在也证实了中北部气田中的天然气可以运移至此。

2) 该逸散天然气的性质是来源于中部气田上古生界较高成熟的煤型气。通过对天然气包裹体测试以及后生蚀变形成的矿物学和地球化学性质、包裹体氢氧稳定同位素的示踪、油气充注与铀成矿年龄的对比等研究表明,东胜矿床漂白现象和绿色后生蚀变以及铀矿化的形成主要与上古生界来源的含  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  等成分的煤成气向东北方向的逸散蚀变作用有关<sup>[4,14,19]</sup>。

3) 逸散油气作用于目标地层,形成了各类油气典型蚀变的类型,主要证据是在地层中发现大量的脂肪酸甲酯化合物。妥进才<sup>[20]</sup>对东胜铀矿区直罗组含铀砂岩中有机质含量变化范围很大的煤、碳质泥岩以及泥岩样品有机质中的芳烃馏分进行了检测,从中检出了丰富的脂肪酸甲酯系列化合物;联系赵建社等的实验,天然气中的甲烷在还原  $\text{UO}_2^{2+}$  的过程中同时生成了甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 甲醇与地层中有机质产生的大量脂肪酸作用易于形成脂肪酸甲酯系列化合物。这就说明,在天然气

作用下的铀成矿作用环境中可以生成丰富的脂肪酸甲酯系列化合物。

4) 东胜矿床控矿的绿色化带是逸散油气还原早期氧化带砂岩的结果。吴柏林等<sup>[5]</sup>经对东胜矿床较大规模的控矿绿色蚀变带相关地球化学指标和参数的研究表明,绿色蚀变是强还原性环境下的产物,它们是古氧化蚀变岩石经二次还原作用形成的。灰绿色砂岩绿色的主要原因是其碎屑颗粒表面覆盖有极薄的一层针叶状绿泥石。这种绿泥石化的还原蚀变作用与晚期的油气作用有着密切的关系<sup>[21]</sup>。而在铀成矿作用后,油气的强还原作用导致原氧化砂岩再次被还原,使氧化色砂岩变成还原色的灰绿色砂岩<sup>[9]</sup>。

5) 含矿层中还发现有少量低温热液的矿物组合,说明流体作用性质还有部分低温热液的参与。柳益群等<sup>[22]</sup>,张复新等<sup>[23]</sup>在鄂尔多斯盆地东胜矿床的砂岩中发现了较强的还原性矿物群黄铁矿、白铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿的等低温热液矿物共生组合,以及具有强烈的碳酸盐化、硅化、水云母化等水热蚀变现象。表明鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿属于与天然气大规模强还原、低温热液作用相关的铀矿床。

#### 4 黄铁矿硫同位素

自然界有 4 种不同的  $\delta^{34}\text{S}$  储库:(1)幔源硫, $\delta^{34}\text{S}$  为  $0 \pm 3\%$ ;(2)现代海水硫, $\delta^{34}\text{S}$  为  $20\%$ ;(3)地史上海相硫酸盐, $\delta^{34}\text{S}$  为  $9\% \sim 32\%$ ;(4)以及具有较大负值和变化范围的沉积岩中的强烈还原硫

(煤和石油等中的硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 多为负值,且变化范围大)<sup>[24]</sup>。 $\delta^{34}\text{S}$ 的一般特点为:

(1)除碳质球类陨石以外,陨石的硫同位素组成变化很稳定,范围约为 $0\text{‰} \pm 1\text{‰}$ 。超基性岩、基性岩及有关矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围也很窄,与陨石硫一致;(2)随着岩石酸度的增加, $\delta^{34}\text{S}$ 的绝对值增加,变化范围增大;(3)现代海洋硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 相当稳定,为 $20.0\text{‰} \pm 0.5\text{‰}$ 。海相蒸发岩代表了地史上海洋硫酸盐的 $0\text{‰} \pm 1\text{‰}$ 的变化特征,为 $9\text{‰} \sim 32\text{‰}$ ;(4)沉积岩中的硫化物、石油和煤中的硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 多为负值,且变化范围大<sup>[12]</sup>。

在成岩阶段,由于有机质提供了丰富的营养,致使厌氧细菌可以大量繁殖,发生大规模的代谢作用,进而还原硫酸盐,产生还原剂 $\text{H}_2\text{S}$ ,并形成黄铁矿<sup>[12]</sup>。而硫酸盐微生物作用本质是导致硫同位素分馏,造成生物成因硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 的值很小(约 $-5\text{‰} \sim 36\text{‰}$ ),世界上许多生物成因矿床的硫同位素组成中 $\delta^{34}\text{S}$ 绝大多数为负值<sup>[25]</sup>。

东胜矿床黄铁矿中硫同位素的测试数据如表2所示。对其数据进行统计分析后的处理结果见图2。 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 值的变化范围很大,分布在 $-39.201\text{‰} \sim 26.97\text{‰}$ 之间,总体平均值为 $-10.897\text{‰}$ ,极差为 $66.171\text{‰}$ 。东胜矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 的这种分布特征反映其硫

源具有与煤(固体有机质)、油气有机质混染的混合来源的特点,并且当S的值为负值,且变化范围较大时,说明了砂岩的形成环境为还原性的环境,而且强还原性蚀变带其 $\delta^{34}\text{S}$ 应明显偏低。

根据岩石的不同类型将样品分为了四种,原生灰色砂岩,灰绿色砂岩,漂白砂岩,矿石。从表2和图2中,可以看出,灰绿色岩石中的黄铁矿硫同位素的平均值是四种类型的岩石中最小的,为较大的负值( $-22.75\text{‰}$ ),说明其形成与较强的还原环境,由于其分布较广泛,认为其为有机质作用的结果。矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值以较大的负值为主,而且正负差异较大,平均值为 $-10.616\text{‰}$ ,表明铀矿化过程中,有生物细菌作用的特点。在煤质(固体有机质)作为铀沉淀还原剂过程中,煤质被生物细菌作用产生有机酸,并可形成 $\text{H}_2\text{S}$ 气体,在还原 $\text{U}^{6+}$ 过程中也形成了黄铁矿。出现这种现象的原因是在细菌还原作用过程中,硫酸盐中的 $^{32}\text{S}$ 更容易被还原而进入到溶液中,未还原的硫酸盐中相对更富 $^{34}\text{S}$ 。通过表1中的数据可以看出:漂白砂岩,原生灰色砂岩,矿石,灰绿色砂岩四种岩石的 $\delta^{34}\text{S}$ 的值是依次逐渐减小的,表明 $\delta^{34}\text{S}$ 在氧化带中较高,越接近矿体越低,并且指示着还原环境逐渐变强。

表2 东胜矿床砂岩中的黄铁矿硫同位素分析(据吴柏林<sup>[25]</sup>;张复新等<sup>[23]</sup>;李宏涛等<sup>[26]</sup>;肖新建<sup>[27-28]</sup>)

Tab.2 Sulfur isotope composition of pyrite in Dongsheng deposit

类型	样品号	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	样品号	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
原生灰色岩石	DWW16	14.46	2-79	-19.8
	DWW17	2.73	2-62	-11.2
	A16-40-05	19.78	42-2	-13.3
	A7-13-02	18.8	A7-12-07	26.97
	平均			4.805
灰绿色岩石	DH2	-17.04	A7-12-03	-15.25
	A0-3-01	-35.967		
	平均			-22.75
漂白岩石 J <sub>2</sub> Y 顶部	DWW34	8	A16-0-05	5.6
	A159-47-04	9.895	A7-12-13	-0.174
	A16-7-03	11.44		
	平均			6.952
矿石	A3-12-04	-6.897	A159-47-02	-28.365
	A3-0-12	-39.201	A271-16a	7.162
	A3-11-05	-15.822	A271-71-01	14.135
	A3-12-01	-5.324		
	平均			-10.616

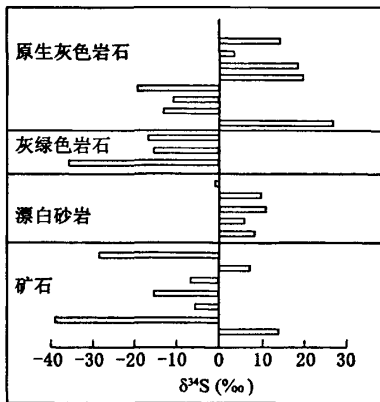


图2 东胜矿床硫同位素含量变化图

Fig.2 Sulfur isotopes characteristic of dongsheng deposit

## 5 氢、氧同位素特征

吴柏林等<sup>[5-7]</sup>通过钙质胶结砂岩分离的碳酸盐包裹体氢、氧同位素的测试, D 为  $-31.6\% \sim -0.7\%$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  为  $12.31\% \sim 30.99\%$ 。依据地壳中不同产状水具有不同的同位素组成规律<sup>[29]</sup>: (1) 大气降水的  $\delta\text{D} = +100\% \sim -350\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = +5\% \sim -50\%$ ; (2) 封存水, 深成热卤水:  $\delta\text{D} = -25\% \sim -120\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = -16\% \sim +25\%$ ; (3) 变质水:  $\delta\text{D} = -20\% \sim -140\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = -16\% \sim +25\%$ ; (4) 原生水及岩浆水:  $\delta\text{D} = -50\% \sim -85\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = +5\% \sim +9\%$ 。将其数据拓在  $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$  组成图上, 发现数据大部分都在雨水线和中国西北地区雨水线附近。认为成矿溶液地下水来源于表生浅层的大气降水, 这种表生浅层的大气降水含丰富的氧气, 是铀氧化活化迁移的重要介质。同时 D 值增高是包裹体水中的氢、氧等混染了天然气中的  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2$  及  $\text{CH}_4$  等有机烃类气体中的相应组分等等。

## 6 结论

通过透镜状碳酸盐化及矿化层钙化木中方解石的 C、O 同位素组成特征反映东胜矿床的形成其流体作用与有机质作用有着密切的关系; 通过对黄铁矿硫同位素分析黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值以较大的负值为主, 而且正负差异较大, 表明黄铁矿硫的形成与生物作用有关, 正是由于生物细菌作用于煤质, 硫化氢等, 才促使硫酸盐中的  $^{32}\text{S}$  更容易被还原而进入到溶液中, 硫源具有生物细菌-煤质共同作用

的特点; 前人对碳酸盐包裹体氢氧同位素的分析认为成矿溶液地下水来源于表生浅层大气降水, 并混染了天然气。因此结合上述稳定同位素的特征以及前人发现油气逸散的证据以及一些低温热液矿物组合, 综合分析得出了东胜矿床的形成是由“大气降水-逸散油气-煤质有机酸-低温热液”混合流体作用结果。

## 参考文献:

- [1] CRAWLRY R A. Sandstone uranium deposits in the United States: A review of the history, distribution, genesis, mining areas and outlook[M]. U.S. Department of Energy Assistant Secretary for Nuclear Energy Grand Junction Area Office. Colorado, Match, 1983.
- [2] FINCH W I. Uranium provinces of North America - their definition, distribution, and models[J]. U S Geol Surv Bull, 1996 (214): 1 - 18.
- [3] GRANGER H C, SANTOS E S, DEAN B G, *et al.* Sandstone - type uranium deposits at Ambrosia Lake, New Mexico: an interim report[J]. Economic Geology, 1961 (56): 1179 - 1209.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 吴柏林, 刘池阳, 王建强. 层间氧化带砂岩型铀矿流体地质作用的基本特点[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(增刊 I): 157 - 165.
- [7] 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.
- [8] WU BOLIN, XU GUOWU, LIU CHIYANG, *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.
- [9] 李子颖, 方锡珩, 陈安平, 等. 鄂尔多斯盆地东北部砂岩型铀矿叠合成矿模式[J]. 铀矿地质, 2009, 25(2): 65 - 71.
- [10] 向伟东, 方锡珩, 李田港, 等. 鄂尔多斯盆地东胜铀矿床成矿特征与成矿模式[J]. 铀矿地质, 2006, 22(5): 257 - 266.
- [11] 刘汉斌, 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.

(下转第 70 页)

#### 4 结语

通过以上几个方面的分析,可以看出鄂尔多斯盆地北东部东胜区的砂岩型铀矿的形成与该地区的大量有机质的存在有着非常密切的关系。从矿前阶段在矿源层中铀的聚集、活化迁移,到铀的沉淀富集成矿的过程中,都有有机质的参与。有机质在铀矿化的整个过程中(运移、富集、成矿等)起着重要的作用。

#### 参考文献:

- [1] 肖建新,李子颖,陈安平.东胜地区砂岩型铀矿床后生蚀变矿物分带特征初步研究[J].铀矿地质,2004,20(3):136-140.
- [2] 杨华,张军,王飞雁,等.鄂尔多斯盆地古生界含气系统特征[J].天然气工业,2000,20(6):7-11.
- [3] XIAO X, ZHAO B, THU Z, *et al.* Upper paleozoic petroleum system of Ordos Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22(8): 945-963.
- [4] 夏毓亮,刘汉彬.鄂尔多斯盆地东胜地区直罗组砂体铀的预富集与铀成矿[J].世界核地质科学,2005,22(4):187-191.
- [5] 汤达祯,王激流,张君峰,等.鄂尔多斯盆地东缘煤的二次生烃作用与煤层气的富集[J].石油实验地质,2000,22(2):140-145.
- [6] 姚素平,张景荣,王可仁,等.鄂尔多斯盆地延安组煤有机岩石学研究[J].沉积学报,1999,17(2):291-300.
- [7] 秦鹏,孟志强,李彦恒,等.国外多种能源矿产同盆共存富集规律研究[J].河北建筑科技学院学报,2005,21(3):76-78.
- [8] 赵存良,孙玉壮.安徽省金山煤矿晚二叠世树皮煤的地球化学特征[J].河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(4):60-62.
- (责任编辑 马立)
- (上接第66页)
- [12] 郑永飞,陈江峰.稳定同位素地球化学[M].北京:科学出版社,2000.
- [13] 王大锐.油气稳定同位素地球化学[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [14] 刘池洋,马艳萍,吴柏林,等.油气耗散—油气地质研究和资源评价的弱点和难点[J].石油与天然气地质,2008,29(4):517-526.
- [15] ANDERSON T F, ARTHUR M A. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems [A]. In: Arthur M A (ed.), stable isotopes in sedimentary geology [C]. SEPM Short Course 10. 1983, 111-151.
- [16] FAIRBRIDGE R W. The encyclopedia of geochemistry and environmental sciences - encyclopedia of earth sciences series [J]. Stroudsburg, Pennsylvania, Dowden, Hutchinson and Ross. 1972(7): 134-146.
- [17] 郭宏莉,王大锐.塔里木油气区砂岩储集层碳酸盐胶结物的同位素组成与成因分析[J].石油勘探与开发,1999,26(3):31-34.
- [18] 冯乔,张小莉,王云鹏,等.鄂尔多斯盆地北部上古生界油气运聚特征及其铀成矿意义[J].地质学报,2006,80(5):748-752.
- [19] 马艳萍,刘池洋,赵俊峰,等.鄂尔多斯盆地东北部砂岩漂白现象与天然气逸散的关系[J].中国科学(D辑),2007,37(增刊I):127-138.
- [20] 妥进才,张明峰,王先彬.鄂尔多斯盆地北部东胜铀矿区沉积有机质中脂肪酸甲酯的检出及意义[J].沉积学报,2006,24(3):432-439.
- [21] 李子颖,方锡珩,陈安平,等.鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿目标层灰绿色砂岩成因[J].中国科学(D辑),2007,37(增刊I),139-146.
- [22] 柳益群,冯乔,杨仁超,等.鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨[J].地质学报,2006,80(5):761-767.
- [23] 张复新,乔海明,贾恒.内蒙古东胜砂岩型铀矿床形成条件与成矿作用[J].地质学报,2006,80(5):733-739.
- [24] ROLLINSON H R. Using geochemical data [J]. London Scientific & Technical, 1993(2):69-77.
- [25] 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.
- [26] 李宏涛,蔡春芳.内蒙古东胜铀矿床成矿主岩中球状磁铁矿的成因[J].地质评论,2007,53(4):564-570.
- [27] 肖新建.东胜地区砂岩铀矿低温流体成矿作用地球化学研究[D].北京:核工业北京地质研究院,2004.
- [28] 肖新建,李子颖,陈安平.东胜地区砂岩型铀矿床后生蚀变矿物分带特征初步研究[J].铀矿地质,2004,20(3):136-140.
- [29] 赵伦山,张本仁.地球化学[M].北京:地质出版社,1988.
- (责任编辑 刘存英)

# 东胜矿床稳定同位素地球化学特征及地质意义

作者: [胡亮](#), [吴柏林](#), [HU Liang](#), [WU Bo-lin](#)  
作者单位: [西北大学, 地质学系, 陕西, 西安, 710069](#)  
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)  
年, 卷(期): 2009, 26(4)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(29条)

1. [CRAWLRY R A](#) Sandstone uranium deposits in the United States:A review of the history, distribution, genesis, mining areas and outlook[期刊论文]-[U.S. Department of Energy Assistant Secretary for Nuclear Energy Grand Junction Area Office. Colorado, Match](#) 1983
2. [FINCH W I](#) Uranium provinces of North Anlerica-their definition, distribution, and models[期刊论文]-[US Geological Survey Bulletin](#) 1996(214)
3. [GRANGER H C](#); [SANTOS E S](#); [DEAN B G](#) Sandstone-type uranium deposits at Ambrosia Lake, New Mexico: an interim report[外文期刊] 1961(56)
4. [吴柏林](#); [王建强](#); [刘池阳](#) 东胜砂岩型铀矿形成中天然气地质作用的地球化学特征[期刊论文]-[石油与天然气地质](#) 2006(02)
5. [吴柏林](#); [刘池阳](#); [张复新](#) 东胜砂岩型铀矿后生蚀变地球化学性质及其成矿意义[期刊论文]-[地质学报](#) 2006(05)
6. [吴柏林](#); [刘池阳](#); [王建强](#) 层间氧化带砂岩型铀矿流体地质作用的基本特点[期刊论文]-[中国科学D辑](#) 2007(z1)
7. [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[期刊论文]-[中国地质](#) 2007(03)
8. [WU BOLIN](#); [XU GUOWU](#); [LIU CHIYANG](#) Alteration effects of hydrocarbon dissipation in the Dongsheng uranium deposit, Ordos Basin-explanation for green alteration and Bleaching phenomenon[期刊论文]-[ENERGY EXPLORATION & EXPIDITATION](#) 2009(03)
9. [李子颖](#); [方锡珩](#); [陈安平](#) 鄂尔多斯盆地东北部砂岩型铀矿叠合成矿模式[期刊论文]-[铀矿地质](#) 2009(02)
10. [向伟东](#); [方锡珩](#); [李田港](#) 鄂尔多斯盆地东胜铀矿床成矿特征与成矿模式[期刊论文]-[铀矿地质](#) 2006(05)
11. [刘汉斌](#); [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[期刊论文]-[铀矿地质](#) 2007(01)
12. [郑永飞](#); [陈江峰](#) 稳定同位素地球化学[期刊论文]-[北京: 科学出版社](#) 2000
13. [王大锐](#) 油气稳定同位素地球化学[期刊论文]-[北京: 石油工业出版社](#) 2000
14. [刘池洋](#); [马艳萍](#); [吴柏林](#) 油气的耗散-油气地质研究和资源评价的弱点和难点[期刊论文]-[石油与天然气地质](#) 2008(04)
15. [ANDERSON T F](#); [ARTHUR M A](#) Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems[期刊论文]-[SEPM Short Course](#) 1983
16. [FAIRBRIDGE R W](#) The encyclopedia of geochemistry and environmental sciences-encyclopedia of earth sciences series[期刊论文]-[Stroudsburg Pennsylvania Dowden Hutchinson and Ross](#) 1972(07)
17. [郭宏莉](#); [王大锐](#) 塔里木油气区砂岩储集层碳酸盐胶结物的同位素组成与成因分析[期刊论文]-[石油勘探与开发](#) 1999(03)
18. [冯乔](#); [张小莉](#); [王云鹏](#) 鄂尔多斯盆地北部上古生界油气运聚特征及其铀成矿意义[期刊论文]-[地质学报](#) 2006(05)
19. [马艳萍](#); [刘池洋](#); [赵俊峰](#) 鄂尔多斯盆地东北部砂岩漂白现象与天然气逸散的关系[期刊论文]-[中国科学D辑](#) 2007(z1)



20. [晏进才;张明峰;王先彬](#) [鄂尔多斯盆地北部东胜铀矿区沉积有机质中脂肪酸甲酯的检出及意义](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 2006(03)
21. [李子颖;方锡珩;陈安平](#) [鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿目标层灰绿色砂岩成因](#)[期刊论文]-[中国科学D辑](#) 2007(z1)
22. [柳益群;冯乔;杨仁超](#) [鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨](#)[期刊论文]-[地质学报](#) 2006(05)
23. [张复新;乔海明;贾恒](#) [内蒙古东胜砂岩型铀矿床形成条件与成矿作用](#)[期刊论文]-[地质学报](#) 2006(05)
24. [ROLLINSON H R](#) [Using geochemical data](#)[期刊论文]-[Lomna Seientitle & Teehneial](#) 1993(02)
25. [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](#)[期刊论文]-[西安:西北大学](#) 2005
26. [李宏涛;蔡春芳](#) [内蒙古东胜铀矿床成矿主岩中球状磁铁矿的成因](#)[期刊论文]-[地质论评](#) 2007(04)
27. [肖新建](#) [东胜地区砂岩铀矿低温流体成矿作用地球化学研究](#)[期刊论文]-[北京:核工业北京地质研究院](#) 2004
28. [肖新建;李子颖;陈安平](#) [东胜地区砂岩型铀矿床后生蚀变矿物分带特征初步研究](#)[期刊论文]-[铀矿地质](#) 2004(03)
29. [赵伦山;张本仁](#) [地球化学](#)[期刊论文]-[北京:地质出版社](#) 1988

#### 本文读者也读过(10条)

1. [许卫. 岳书仓. 杜建国. 吴礼彬. 孙乘云. 王有生. 陶启云. XU Wei. YUE Shucang. DU Jianguo. WU Libin. SUN Chengyun. WANG Yousheng. TAO Qiyun](#) [安徽贵池地区二叠纪孤峰组含锰岩系稳定同位素特征](#)[期刊论文]-[地质通报](#) 2005, 24(8)
2. [舒斌. 王平安. 董法先. 李中坚. SHU Bin. WANG Ping-an. DONG Fa-xian. LI Zhong-jian](#) [海南西南部抱伦金矿床流体包裹体及稳定同位素特征](#)[期刊论文]-[地质通报](#)2006, 25(7)
3. [王书来. 陈克强. 康吉昌. 郭全. WANG Shu-lai. CHEN Ke-qiang. KANG Ji-chang. GUO Quan](#) [新疆阿尔泰山南缘产于麦兹泥盆纪火山-沉积盆地铅锌矿床稳定同位素特征](#)[期刊论文]-[地质与勘探](#)2007, 43(6)
4. [刘池洋. 马艳萍. 吴柏林. 刘超. Liu Chiyang. Ma Yanping. Wu Bolin. Liu Chao](#) [油气耗散——油气地质研究和资源评价的弱点和难点](#)[期刊论文]-[石油与天然气地质](#)2008, 29(4)
5. [吴柏林. 王建强. 刘池阳. 王飞宇. Wu Bolin. Wang Jianqiang. Liu Chiyang. Wang Feiyu](#) [东胜砂岩型铀矿形成中天然气地质作用的地球化学特征](#)[期刊论文]-[石油与天然气地质](#)2006, 27(2)
6. [王勇. 侯增谦. 莫宣学. 董方浏. 毕先梅. 曾普胜. WANG Yong. HOU ZengQian. MO XuanXue. DONG FangLiu. BI XianMei . ZENG PuSheng](#) [云南巍山-永平碰撞造山带走滑拉分盆地铜金多金属矿成矿流体系统:稳定同位素特征及热液来源](#)[期刊论文]-[矿床地质](#)2006, 25(1)
7. [徐启东. 李建威. 云南兰坪北部铜多金属矿化区成矿流体流动与矿化分带—流体包裹体和稳定同位素依据](#)[期刊论文]-[矿床地质](#)2003, 22(4)
8. [李雁龙. 钟长洪. 马比阿伟. 刘炳璋. LI Yanlong. ZHONG Changhong. MABI Awei. LIU Bingzhang](#) [四川宁南银厂沟震旦-寒武纪交变期碳、氧同位素地球化学特征](#)[期刊论文]-[四川地质学报](#)2010, 30(1)
9. [郑永飞. ZHENG Yongfei](#) [大陆板块俯冲和折返过程中的流体活动: 稳定同位素证据](#)[期刊论文]-[地球学报](#) 2005, 26(z1)
10. [吴柏林. 胡亮. 邱欣卫. 刘池阳](#) [鄂尔多斯盆地东北部油气耗散特点及其蚀变效应](#)[会议论文]-2008

#### 引证文献(1条)

1. [孙晓辉. 陈健. 吴盾. 刘桂建](#) [淮南煤田张集煤矿煤层中稳定有机碳同位素分布特征](#)[期刊论文]-[中国煤炭地质](#) 2013(4)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hbjzkjxyxb200904016.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200904016.aspx)