

董坑铀矿床成矿要素及条件的研究

徐达忠

(华东地质学院地质系)

内容提要: 江西西北部董坑及其附近的铀矿床产于震旦系上统陡山沱组的 Z_3^{1-4} 层和灯影组的 Z_3^{2-3} 层细晶白云岩内。铀矿化与咸化水白云石化蚀变有关, 并与方解石脉共生。作者以该区的系统岩矿资料、热分析曲线、包裹体测温、稳定同位素、硅酸盐分析以及水化学数据解释了董坑矿床的聚铀要素、成矿条件和矿床成因问题。

关键词: 铀矿床 聚铀要素 成矿条件 董坑

一、矿区地质及矿床特征简述

矿区位于江南古陆北缘之三都断陷凹地的西南(图1)。区域地层分为三个构造单元层: 下部是中元古界双桥山群褶皱基底; 中部包括上元古界至上古生代地层; 上部是第三系断陷盆地的红色砂岩、砂砾岩沉积。董坑等矿床产于晚震旦世近东西向董坑碳酸盐局限台地内。铀矿化主要受NNE向的构造控制(图2)。伴随断裂活动在两侧的震旦系上统微晶白云岩中产生了层间破碎带, 这些层间破碎带即成为良好的铀矿体赋存空间。

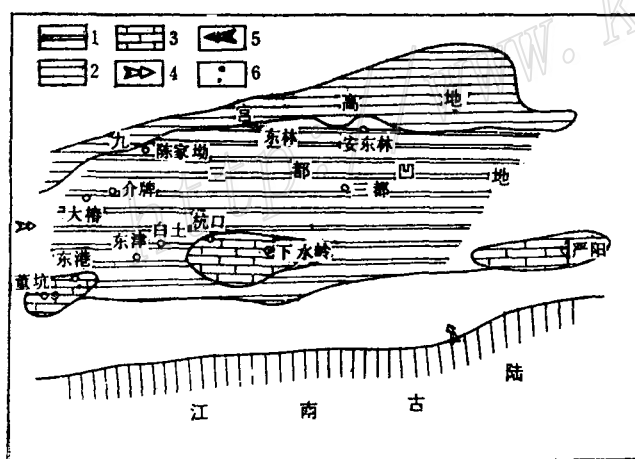


图1 晚震旦世灯影期岩相略图

(据赣西北504队修改补充)

1—硅质岩相; 2—页岩相; 3—碳酸盐相; 4—海进方向; 5—物质来源方向; 6—矿床矿点

Fig. 1. Sketch lithofacies map of Late Sinian Dengying Stage.

1—Siliceous facies; 2—Shale facies; 3—Carbonate facies; 4—Direction of transgression; 5—Direction of material supply; 6—Ore deposit (occurrence).

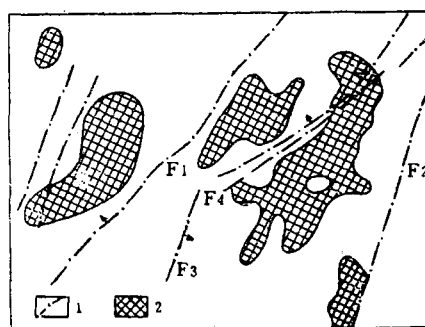


图2 董坑矿床矿体平面分布图

(据马昌明1982修改)

1—北北东向断裂; 2—工业矿体

Fig. 2. Distribution of orebodies in the Dongkeng ore deposit.

1—NNE-trending fracture; 2—Economic orebody.

铀矿体具明显的层控性,呈层状、似层状和透镜状,沿北东 40° — 50° 方向延伸。经北京铀矿研究所同位素室铀铅法测定,矿石中的沥青铀矿和铀石的同位素年龄分别为26—28Ma。含矿方解石脉均一法包体测温为138—150℃。矿石类型有细脉状和浸染状、角砾状几种,铀以沥青铀矿细脉方式伴随方解石脉一起于岩石的裂隙或溶孔内产出,或以吸附状态存在于胶结物或粘土矿物中,沥青铀矿常为白云岩角砾的交代边(图版Ⅲ-3、Ⅲ-4)。

矿石中尚有赤铁矿、黄铁矿和少量闪锌矿、黄铜矿、褐铁矿,偶见菱铁矿等伴生矿物。

二、地层的沉积旋回与岩石学特征

晚震旦世地层系由一套白云岩、硅质岩和含碳泥质岩组成(表1)。整套硅-碳-泥-云(白云岩)视为一沉积旋回。在董坑矿床还可划分两个亚沉积旋回。此套地层具有以下重要特征:

1. 在两个亚旋回底部与形成白云岩同时都伴随了一次硅质沉积。硅质岩多为隐晶结

表1 各沉积亚旋回岩性、化学成分特征表

Table 1. Lithologic characters and chemical composition of various sedimentary subcycles

亚旋回	层位	地层代号	岩性柱状图	岩性描述	特征氧化物含量%					U%	DTA曲线
					MgO	CaO	FeO	Fe ₂ O ₃			
第二次硅、碳、泥、白云岩亚旋回	顶部白云岩层	Z ₃ ¹⁻⁷		微晶白云岩,具水平纹层状,白云石为半自形糖粒。底部含菱铁矿白云石。	12.95	21.07	0.40	2.51		0.014	有031
	上部泥岩	Z ₃ ¹⁻⁶		微晶白云岩,泥质结构,块状构造。	4.48	5.17	0.40	3.86		0.002	
	顶部白云岩层	Z ₃ ¹⁻⁵		微晶白云岩,常被方解石切割成碎裂角砾。白云岩为中细晶粒结构,白云岩为半自形,它形,糖粒状。	14.40	21.66	0.84	1.62		0.002	有010
第一次硅、碳、泥、白云岩亚旋回	上部微晶白云岩层	Z ₃ ¹⁻⁴		纹层状微晶白云岩,白云石半自形,它形糖粒状,它与泥质组成水平纹层,含菱铁矿。	8.45	10.19	0.75	5.2		0.002	有007
	下部泥岩	Z ₃ ¹⁻³		微晶白云岩,泥质结构,块状构造。	3.35	12.33	0.22	3.12		0.007	
	中部细晶白云岩	Z ₃ ¹⁻²		中细晶含菱白云岩,糖粒结构,白云石为菱面体自形或半自形常见裂心。	14.47	23.35	1.98	3.17		0.002	有018
	底部硅质岩	Z ₃ ¹⁻¹		隐晶、微晶硅质岩,它形糖粒结构及放射状球粒结构,多与白云岩互层。	12.95	22.09	1.11	0.95		0.002	有009

注:氧化物含量由江西261队实验室分析;热曲线由北京铀矿研究所分析;有031等为样品号

构,块状构造,常具球粒结构。硅质岩乃代表较深的海洋沉积物,说明各亚旋回底部地层系一较深环境的产物。

2. 在硅质岩与白云岩层之上沉积了一套碳质岩石。此层底部是 Z_3^{1-2} 层碳质中晶白云岩,白云石具良好菱面体或半自形中粒结构,其中可见残留碳质物的雾心,显然此种白云岩是由灰泥被交代而成。在碳质白云岩之上是 Z_3^{1-3} 碳质泥岩,岩石具纹层状和泥质结构。此套碳泥质沉积除表明地壳的上升外,还说明南侧的江南古陆有大量的陆源植物供给。

3. 两个亚旋回的顶部是 Z_3^{1-4} 层微晶白云岩,岩石多具块状构造,常见白云质与泥质微细纹层组成的泥质白云岩(图版Ⅲ-5)。岩石中黄铁矿含量显著增高,黄铁矿常斜穿微细纹层或交代白云岩而使岩石具残留结构,黄铁矿外侧常因受应力作用而出现反应边或称“压力影”。

三、矿床中铀与伴生元素变化特征

(一) 伴生元素的运移特征 剖析钻孔岩心两个亚旋回硅酸盐全分析结果发现, Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 三种氧化物具有特征性的变化。 Z_3^{1-4} 含矿地层中 Fe_2O_3 含量增高, CaO 、 MgO 含量明显下降(表1)。这种现象表明岩石遭受了强烈的地下水淋蚀,造成 Ca 、 Mg 的大量迁移及二价铁转变成三价铁。在矿体附近这种特征性的元素运移现象更为明显。从表1还可以看到,非矿化地段岩石中 $CaO > MgO > Fe_2O_3$, 而矿石中的 Fe_2O_3 则大于 CaO 和 MgO 即 $Fe_2O_3 > CaO > MgO$, 从而存在一 Fe_2O_3 的增峰和 CaO 、 MgO 含量的减峰所组成的一个含矿交汇区。

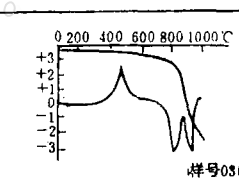
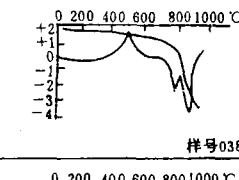
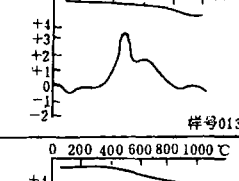
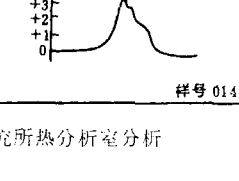
(二) 含矿岩石热曲线特征 对不同类型矿石分别取样作了热分析,其热曲线反映出特征性元素运移的特点(表2)。据其结果可将曲线分为两种类型:

1. 硫化物-有机质型: 从 ΣCO_2 含量和 DTA、TG 曲线均可看出,此类矿石中的白云石几乎全被淋失,而 S 与 C_{org} 含量增高。DTA 曲线的吸热谷仅保存低 ΔT 值浅谷,014 号样的吸热谷几乎全部消失。

Mg 、 Ca 组分的减少与地下水的淋失有关,而黄铁矿和有机质含量的增高则是与适宜的水化

表 2 矿石热分析参数表

Table 2. Thermal analysis parameters of ores

类型	矿石类型	ΣSC 有 %	CO_2 %	u %	DTA、TG 曲线
白云石-硫化物-有机质型	块状白云石细脉状矿	1.0	28.0	0.57	 样号036
	细脉状矿石	1.5	24.5	0.135	 样号038
硫化物-有机质型	角砾状矿石	5.0		0.75	 样号013
	块状细脉状矿石	6.0		0.902	 样号014

注 北京铀矿研究所热分析室分析

学环境的后生聚集作用有关。

2. 白云石-硫化物-有机质型: 此类型矿石的热曲线特征是温度反应范围宽, 低温面高, 高温面陡, 两个特征谷都很深, 尖端不明显, ΔT 值较小, TG 曲线具明显失重现象。此类曲线仍保留了白云石热曲线轮廓, 但因含铁量增高而引起白云石特征谷发生了变化。

从矿石热曲线(表2)与围岩热曲线(表1)对比后可看出, 非含矿白云石的 DTA 曲线一般具较深的吸热谷, 温度反应范围宽, ΔT 值较大, 曲线的对称性好, 说明非含矿岩石淋失作用弱, 后生作用不强的缘故。

(三) 铀的迁移、沉淀及咸化水白云石化

1. 铀的迁移与沉淀: 由于海水的蒸发浓缩, 岩石中的孔隙沉淀以及粘土矿物的吸附作用, 陡山沱与灯影组的微晶白云岩以及下寒武世的黑色页岩含铀背景值分别为 5.64—36ppm 和 31—88ppm。在具氧化条件的第三纪时期流经含铀地层的地下水将岩石中的铀淋出并随地下水迁移, 含铀地下水经地热和构造断裂所引起增温后选择微晶白云岩层间破碎带沉淀出工业铀矿体。在矿区地下水的 pH 值为 7—8 的条件下, 根据水化学数据计算得出铀主要以 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 离子形式存在(图3)。

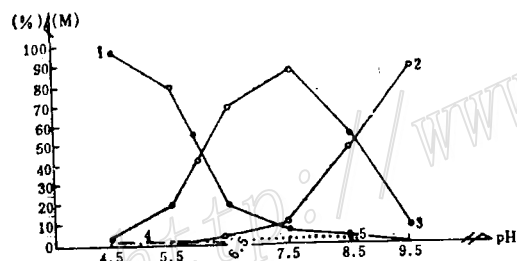


图3 pH值与各铀酰络离子浓度关系曲线
Fig. 3. Relationship of pH values to ions of uranyl complexes.

1— UO_2CO_3 ; 2— $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$; 3— $\text{UO}_2(\text{OH})_2$; 4— UO_2OH ; 5— $\text{UO}_2(\text{OH})_2$

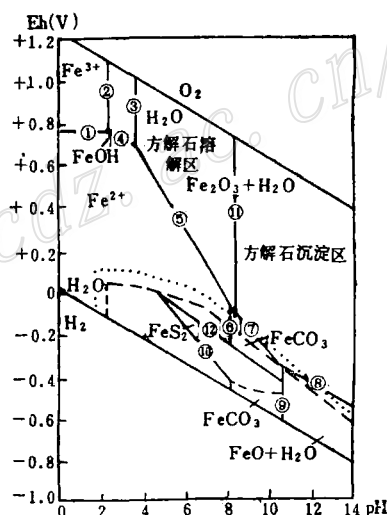


图4 Fe^{2+} — Fe^{3+} 优势场及铁的氧化物和硫化物的稳定场图

注: 虚线区为沥青铀矿在 $\Sigma\text{U} = 10^{-6.7856}$ 时的沉淀区; 点线区为沥青铀矿在 $\Sigma\text{U} = 10^{-4.7856}$ 时的沉淀区

Fig. 4. Diagram of Fe^{2+} — Fe^{3+} predominance and iron oxide and sulfide stable ranges. Area bordered by broken line stands for depositional district of pitchblende under $\Sigma\text{U} = 10^{-6.7856}$; whereas that bordered by dotted line for depositional district of pitchblende under $\Sigma\text{U} = 10^{-4.7856}$

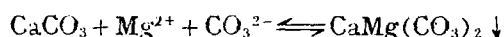
根据图4所示的矿物共生组合可较好地解释以下两点:

(1) 沥青铀矿可与黄铁矿、赤铁矿、方解石和菱铁矿等矿物共生, 由于黄铁矿存在的

区间值为4.4—10, 其共生区间大, Fe_2O_3 存在的范围更宽, 所以, 矿石中黄铁矿与赤铁矿大量出现。菱铁矿存在的pH值需大于8, 且其Eh(V)值要求是负值, 因此矿石中很难见到菱铁矿。

(2) 当铀的总量增加或 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 量降低时出现方解石, 说明与铀共生的方解石沉淀一是要有 CO_2 的逸出, 其次则要求水中 ΣU 量的增加, 因此, 此矿区含铀层以及构造运动所形成的岩石裂隙和层间破碎带即是沉淀含铀方解石脉的良好空间。

2. 咸化水白云石化: 它是发生在成矿作用阶段的一种蚀变现象, 乃 Mg 离子浓度相对增高的“咸化水”沿破碎白云岩裂隙渗透并与围岩相互作用时重结晶而成的一种自形程度很好的菱面体白云石, 此种白云石我们称其为“咸化水白云石”, 而将此种蚀变现象称之为“咸化水白云石化”。咸化水白云石的形成, 首先是构造渗透水和弱酸性层间地下水经地热和构造断裂所引起增温后转沿白云岩层间破碎带流动, 从两侧白云岩溶出的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子增强了水中的离子浓度即: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$ 。其次, 由于 MgCO_3 的溶度积(1×10^{-5})远大于 CaCO_3 的溶度积(4.8×10^{-9}), 致使在构造变异部位当 CO_2 得以逸出时先沉淀出方解石, 含 Mg^{2+} 较高的残留热水称之为“咸化水”。最后, 当咸化水中 Mg^{2+} 浓度增加到一定浓度时, 进而再交代先期沉淀的方解石而生成咸化水白云石即:



咸化水白云石常构成成矿期含铀方解石脉的明亮边(图版Ⅲ-6), 或其粒间被白云石充填、交代而生成残留结构(图版Ⅲ-7)。据石油开发研究院阴极发光显微镜鉴定, 咸化水白云石与微晶白云岩的发光颜色相同都呈桔红色, 认为咸化水白云石是矿化热水与微晶白云岩作用时所析出的 Mg 重结晶而成。经仔细观察董坑及其它矿床矿石薄片, 含铀方解石脉之外侧都存在此种白云石。因此, 咸化水白云石可视为碳酸盐型铀矿床重要成矿指示矿物。应当指出, 咸化水所产生的白云石远不足补偿地下水所淋失的白云石数量。

(四) 矿床稳定同位素特征 为研究矿床的形成条件, 分别在董坑及其附近矿床含矿层及个别围岩层中取了黄铁矿、含铀方解石脉作了硫、碳、氧的稳定同位素分析, 其结果见表3、4。根据表中所列参数可得出以下几点认识:

1. 本区 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-5.1—-6.8‰, 属于热水成因的-6—-9‰的区间范围。

表3 董坑矿床碳氢氧同位素组成

Table 3. Carbon, hydrogen and oxygen isotopic composition of the Dongkeng ore deposit

样号	测定矿物	均一温度 (°C)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	计算公式
1	方解石	146	-5.1	-14.3	3.67	$1000 \ln \alpha_{\text{方解石-水}}$ $= 2.78 \times 10^6 T^{-2}$ $- 3.40$ (O'Neil, 1969)
2	方解石	138	-6.6	-17.6	-0.257	
3	方解石	138	-6.5	-17.2	0.04	
4	方解石	130	-6.1	-16.6	0.02	
5	方解石	138	-5.9	-17.6	-0.20	
6	方解石	146	-5.2	-17.8	-0.10	
7	方解石	146	-6.8	-16.0	2.00	

注: 同位素由中国地质科学院同位素室分析; 包体温度由华东地质学院测定

表4 董坑矿床黄铁矿硫同位素组成

Table 4. Sulfur isotope composition of pyrite from the Dongkeng ore deposit

样号	取样位置	岩性及矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	分析单位
1	ZK4801钻孔	含碳微晶白云岩中黄铁矿	+7.3	中国地质科学院同位素室
2	ZK4409钻孔	黑色页岩中黄铁矿	+5.6	
3	一号坑道	微晶白云岩黄铁矿	+9.7	
4	一号坑道	微晶白云岩中团块黄铁矿	+37.5	
5	一号坑道	微晶白云岩中团块黄铁矿	+21.8	

表5 水样中稳定同位素分析结果

Table 5. Stable isotope analyses of water samples

水点号		CK6537	CK6139	CK3145	CK4133	CK29305	204号	123号	129号
稳定同位素	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	-6.82	-6.94	-8.53	-6.96	-7.44	-6.30	-5.84	-10.88
	$\delta\text{D}(\text{‰})$	-45.2	-37.9	-50.5	-41.1	-46.4	-31.3	-35.1	-88.6

分析单位：宜昌地矿所同位素室

2. 据含铀方解石脉包体均一测温温度 $130-146^{\circ}\text{C}$ ，按式 $1000\ln\alpha_{\text{方解石-水}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = 2.78 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ 进行计算，得出 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 $-0.257-3.67\text{‰}$ ，处于封闭盆地大气水 $-5-+5\text{‰}$ 之区间内。

3. 将矿床水样中 δD 值与 $\delta^{18}\text{O}$ 值（表5）投影到按式 $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ （据克雷格，1961）所作的图上（图略），其投点均落在直线的两侧，说明地下水中的氢、氧同位素组成同雨水的氢氧同位素组成相似，也表明矿床地下水主要以大气降水为其补给来源。

4. 董坑及其附近矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值都具较高的正值，一般是 $+5.6-+9.7\text{‰}$ ，高者达 $+21.8\text{‰}-+37.5\text{‰}$ 。 $\delta^{34}\text{S}$ 值的这种情况是当封闭环境中硫酸盐的补给速度减小时，硫化物的硫同位素组成中逐渐富集 $\delta^{34}\text{S}$ 的结果。

五、矿床形成条件和成因

在讨论成矿要素的基础上即可对矿床的形成条件作出以下判断：

（一）此类矿床的形成必须有镁质碳酸盐——白云岩地层的存在。董坑等矿床都产于晚震旦世的微晶白云岩中。矿化期则有成化水白云石晶出并沿含铀方解石边部组成亮边，含铀方解石常沿白云岩角砾边部沉淀，都说明 Mg 在铀成矿作用中起着重要作用。Mg 元素的这种行为已引起矿床工作者的重视，也是大家当前正在研究的重要课题。

（二）古陆边缘半封闭性质的海湾是有利的沉积环境，在此环境内本区晚震旦世及早寒武纪地层中的碳酸盐、黑色页岩地层成为两个高丰度的含铀地层，它们为形成工业铀矿床提供了丰富的铀源。

(三) 铀的活化转移要有一个具氧化性质的半干旱的气候条件和频繁的构造活动。本区第三纪所形成的断陷红色盆地以及喜马拉雅期的 NE 向断裂活动都提供了这些有利条件。

总之, 古陆边缘含铀地层和白云岩古地的存在, 半干旱的气候条件及 NE 向断裂构造的活动是本区矿床形成必须具有的重要因素, 而咸化水白云石的发育程度, 岩石中 MgO 、 CaO 含量降低, Fe_2O_3 含量增高等现象则是铀矿体赋存的直接地球化学标志。据以上讨论与分析, 本矿床之成矿模式可称之为沉积-渗流热水层控型。

参 考 文 献

- [1] 孟祥化著 1979 沉积建造及其共生矿床分析 地质出版社

A STUDY OF MAJOR METALLOGENIC FACTORS AND CONDITIONS OF THE DONGKENG URANIUM DEPOSIT

Xu Dazhong

(East China College of Geology, Fuzhou, Jiangxi)

Abstract

Lots of copper, lead, zinc and rare element deposits occur in dolomite or dolomitic rocks. Uranium deposits related to dolomite occupy an important place in southern China, and the host rock is dolomite of semi-closed neritic facies.

Uranium content of the host rock ranges from 6-36 ppm, much higher than the average uranium content of dolomite. The hot climate and repeated fracturing in Tertiary were favorable for the oxidation and migration of uranium in Sinian strata. Due to the geothermal gradient, the uranium-bearing solution was heated and, as a result, uranium ore was precipitated along the interformational fracture zones of dolomite.

Based on data obtained in such aspects as strata, minerals, rocks, thermal analysis, chemical analysis, inclusion thermometry, cathodoluminescence and sulfur carbon and oxygen isotopes, it is concluded that the ore deposit is of sedimentary-thermal infiltration type.