

470 铀矿床地球化学特征及成矿机理探讨^①

张振强

(中国核工业二四〇研究所, 辽宁沈阳 110032)

摘要 470 火山岩型铀矿床主要有两种铀矿化类型,即铁—铀型和铀—钼型。含矿主岩主要为粗面岩,具有独特的“麻子构造”。通过对矿床岩石化学、共生及伴生元素、稀土元素、稳定同位素、成矿温度、成矿年龄等地球化学特征研究,分析了矿床的成矿机理,建立了铀成矿地球化学模式。

关键词 470 火山岩型铀矿床;地球化学特征;成矿机理;地球化学模式

中图分类号 P611.1 **文献标识码** A

1 矿床地质概况

470 铀矿床位于我国内蒙古自治区境内,按槽台观点大地构造,南是华北地台,北是兴安海西褶皱带,是夹在其间的一个发育不完全的加里东褶皱带。

区内出露地层有二叠系和侏罗系。从古生代到中生代、新生代地层中均有火山岩发育,但中生代上侏罗统满头鄂博组(J_3m^1)火山岩(Rb—Sr等时线年龄为134.7~144.7Ma,钾氩等时线年龄为141.5Ma)与铀矿化关系密切,麻粒状粗面岩(俗称麻子岩)是本区的主要含矿主岩,其它如流纹斑岩及花岗斑岩等虽见不同程度矿化,但无工业矿体,显示出岩性对矿化的重要控制作用。

矿化类型有铁—铀型和铀—钼型。铁—铀型矿体赋存于碎裂中心的强钠长石化带中,铀矿化与碱交代作用有密切的成因联系和空间关系,矿石中主要为超微粒状的沥青铀矿,伴生有赤铁矿、磁铁矿、黑云母、辉石和角闪石,铀—钼型矿石是辉钼矿化叠加到铁—铀型矿石中而形成的,共生矿物辉钼矿外,还有磁铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿等^②。

2 地球化学特征

2.1 岩石学与岩石化学

粗面岩中常有许多圆形、椭圆形、扁豆形和其它形态的斑点,被形象地称为“麻子”或“斑

^① 收稿日期: 2001-02-08

作者简介: 张振强(1966~),男,高级工程师,1987年毕业于华东地质学院地质系,从事铀矿地质科研与生产工作。

^② 贾兴洲等,内蒙古红山—万合永地区火山岩型铀成矿地质条件及远景预测,核工业东北地质局243大队,1985。
万方数据

麻”。这些“麻子”具有十分复杂的矿物成分,是由火山岩气孔发展起来的。火山岩形成以后,一些矿物充填了气孔构成了原始杏仁体,在热液成矿过程中,原始杏仁体又被进一步改造为成分复杂的杏仁体。远离矿化部位,杏仁体成分简单,主要由玉髓、石英、方解石组成,属于原始杏仁体;在矿体附近杏仁体由辉石、闪石、帘石、石榴石、石英磁铁矿等构成,是原始杏仁体在矿化过程中进一步改造的产物。

含矿主岩是强烈钠长石化的粗面岩,而不是原生钠质粗面岩。其化学成分极为特殊,Na₂O 极高(达 10%),K₂O 极低(小于 0.5%),远离矿区未蚀变粗面岩 Na₂O、K₂O 均在 5%左右,δ 值大部分在 2.5~5.32,属于碱钙性系列。

铁—铀型与铀—钼型化学成分具相同特点,其 Na₂O 高, K₂O 低,表明矿石均强烈钠长石化。SiO₂ 不高,平均含量低于正常粗面岩,表明铀矿化产生一定的去硅作用。CaO、MgO 较低,表明矿石中暗色矿物较少。Fe₂O₃ + FeO 高,矿化与赤铁矿及磁铁矿关系密切(表 1)。

2.2 矿石伴生与共生元素

铁—铀型矿石比粗面岩明显富集 Pb、Zn、Ni、Ag 等元素,提高了约 3~4 倍,而 Cu、Mo、Th、REE 含量基本不变,铀—钼型矿石与粗面岩比明显富集 Cu、Pb、Mo,Cu、Pb 含量提高了 2 倍,Mo 含量提高了约 30 倍,REE、Th 基本不变。铀—钼型矿石比铁—铀型矿石富集 Cu、Pb、Mo、Ga,且同步增长,反映 Cu、Pb、Mo 之间的共生关系。从北京铀矿地质院所做的 U—Mo 关系图看,U 与 Mo 不相关,U 或 Mo 的品位越高,越是靠近自己的坐标轴,铀—钼矿化中心不重合,显示了 Mo、Pb、Cu 矿化是后期叠加成因。

表 1 矿石化学成分分析表(%)

Table 1 Chemical composition of ore

| 矿化类型 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | 总量 | 烧失量 | U | Mo | Th | 样品数 |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|--------|------|--------|-------|--------|-----|
| 矿区粗面岩 | 64.09 | 0.711 | 14.58 | 6.12 | 2.46 | 0.258 | 0.26 | 1.49 | 5.55 | 4.51 | 0.21 | 100.73 | 0.49 | 0.0013 | | | 20 |
| 铁—铀型 | 60.99 | 0.78 | 16.41 | 6.43 | 3.00 | 0.57 | 0.55 | 1.57 | 0.46 | 8.46 | 0.21 | 100.49 | 1.06 | >0.03 | | 0.002 | 6 |
| 铀—钼型 | 59.92 | 0.75 | 14.61 | 6.76 | 3.36 | 0.49 | 0.50 | 2.07 | 0.43 | 8.19 | 0.19 | 99.17 | 1.90 | >0.03 | 0.445 | 0.0032 | 5 |

核工业北京铀矿地质研究院测试

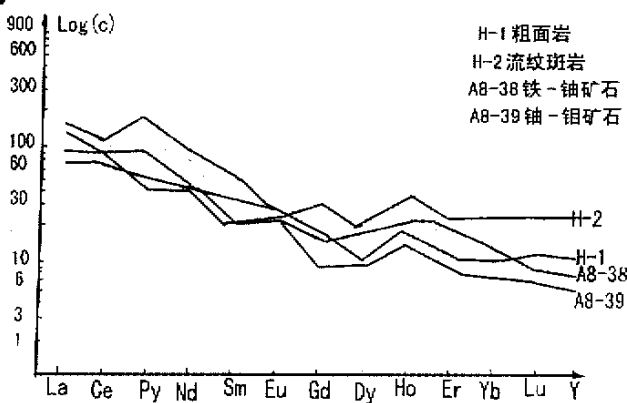


图 1 粗面岩及矿石稀土模式图

万方数据 REE model of ore-bearing host and ore

2.3 稀土元素

470 矿床矿石及含矿主岩的稀土模式图为向右缓倾斜曲线(图 1),REE=(187~210)×10⁻⁶,La/Yb=10.22~18.33, LREE/HREE 较高,约 3~4,δEu=1.2~1.4(表 3),显示了壳幔混合成因。

2.4 稳定同位素

对 470 矿床粗面岩及矿石进行氧、硫、锶等稳定同位素测定(表 4),粗面岩⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 为 0.7086,反映壳幔混合成因;岩石及矿石 δ³⁴S

值不大,接近陨硫硫,说明硫源主要来自深源热液,但同一块标本上各种金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分别为:黄铁矿 1.3‰,闪锌矿 2.4‰、黄铜矿 0.3‰,方铅矿 5.4‰,不符合黄铁矿 $\delta^{34}\text{S} >$ 闪锌矿 $>$ 黄铜矿 $>$ 方铅矿的规律^[1],说明硫化物间未达到同位素分馏平衡,暗示矿体是在近地表、快速冷凝环境中形成的,铀矿石及含矿主岩中的氧同位素均出现负值,其中铁—铀型 $\delta^{18}\text{O}$ 与粗面岩相似,而铀—钼型 $\delta^{18}\text{O}$ 波动较大,说明有大气降水成分的加入,也可能由于样品取自矿石堆,遭受过氧化作用的影响。

表 2 矿石伴生元素含量表($\times 10^{-6}$)

Table 2 Accompanying elements content of ore($\times 10^{-6}$)

| 岩性 | Cu | Pb | Zn | Mo | Co | Ni | Cr | Ag | Ga | Ge | Se | In | REE | Th | U | 样数 |
|------|------------|------|------|------|----|----|-----|------|-----|------|------|------|-------|----|------|----|
| 粗面岩 | 44.8 | 87 | 1805 | 10.1 | 10 | 10 | 300 | 0.95 | | | | | 214 | 19 | 12 | 10 |
| 铁—铀型 | 50 | 457 | 9096 | 10.6 | | 40 | | 3.31 | 3.5 | 1.38 | 13.4 | 0.68 | 190.7 | 20 | >300 | 11 |
| 铀—钼型 | 119.1268.5 | 1029 | 2796 | | | 22 | 23 | | 8.6 | 0.33 | 0.36 | 1.52 | 187.7 | 19 | >300 | 10 |

核工业沈阳 240 研究所测试

表 3 岩(矿)石稀土元素表($\times 10^{-6}$)

Table 3 REE constitution of rocks and ore($\times 10^{-6}$)

| 岩性 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | REE | δ_{Eu} | La/Yb | L/H | U | 样数 |
|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------------------|-----------------------|------|------|----|
| 粗面岩 | 35.3 | 74.33 | 11.13 | 31.2 | 7.73 | 2.55 | 5.1 | 1.08 | 3.73 | 1.76 | 2.95 | 0.32 | 2.82 | 0.40 | 29.73 | 210.1 | 1.26 | 12.5 | 3.39 | 12.5 | 6 |
| 铁—铀型 | 36.8 | 59.2 | 6.4 | 32 | 4.9 | 2.2 | 5.0 | 0.92 | 7.6 | 2.1 | 5.0 | 0.54 | 3.6 | 0.44 | 24 | 190.7 | 1.28 | 10.2 | 2.88 | >300 | 4 |
| 铀—钼型 | 46.4 | 72.8 | 5.2 | 25.6 | 4.1 | 2.1 | 3.01 | 1.6 | 3.3 | 1.3 | 2.3 | 0.36 | 2.4 | 0.41 | 16.8 | 187.7 | 1.36 | 18.3 | 4.69 | >300 | 3 |

核工业沈阳 240 研究所测试

表 4 含矿主岩和矿石稳定同位素组成

Table 4 Stable isotope constitution of ore-bearing host and ores

| 岩石类型 | 氧 | | 硫 | | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
|--------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 测试矿物 | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | 测试矿物 | $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ | |
| 粗面岩 | 全岩 | -4.22 | 黄铁矿 | 2.4~2.9 | 0.7086 |
| 铁—铀型矿石 | 磁铁矿 | -3.93 | 黄铁矿 | 2.5~4.7 | |
| | 全岩 | -5.67 | | | |
| 铀—钼型矿石 | 磁铁矿 | -3.93 | 黄铁矿 | 2.4~4.7 | |
| | 全岩 | -5.67 | | | |
| 矿后热液脉 | 石英 | +4.7 | 黄铁矿 | 2.5~4.2 | |

2.5 成矿温度

对铁—铀和铀—钼两种类型矿石中与铀密切共生的黄铁矿进行 Co 、 Ni 分析(等离子体光谱法),通过计算 Co/Ni 值确定其温度,可间接推断铀矿形成温度(表 5)。铀—钼型矿石 Co/Ni 值 3.23~4.58,铁—铀型铀矿石 Co/Ni 值为 3.875,两类型矿化基本一致,均大于 2,代表成矿温度较高,约在 200~300℃。据北京铀矿地质研究院包体测温结果,碱交代铀矿成矿阶段为 240~310℃,铀—钼成矿阶段为 184~280℃。

2.6 成矿年龄

在收集前人数据的基础上补做部分样品,并进行 U—Pb 等时线处理(图 2、3)。铁—铀

型矿石等时线年龄为 151.41Ma, 铀—钼型沥青铀矿年龄为 124.43Ma, 这两组年龄分别与区内粗面岩(142~156Ma)、流纹岩(136Ma)活动时间相近, 说明矿化与岩石的形成存在成因联系。值得注意的是两期矿化之间还存在继承关系。U—Pb 同位素测定结果表明, 铀—钼型沥青铀矿中²⁰⁶Pb 显著增高, 这种放射性成因铅可能保留了铁—铀型矿化的痕迹^[2]。

表 5 矿石中黄铁矿 Co、Ni 测定

Table 5 Co and Ni content of pyrite in ores

| 样号 | Co × 10 ⁻² | Ni × 10 ⁻³ | Co/Ni | 矿石类型 |
|-------|-----------------------|-----------------------|-------|------|
| A8-17 | 2.1 | 6.5 | 3.23 | 铀—钼型 |
| A8-39 | 3.3 | 7.2 | 4.58 | |
| A8-38 | 2.48 | 6.4 | 3.88 | 铁—铀型 |

核工业北京铀矿地质研究院测试

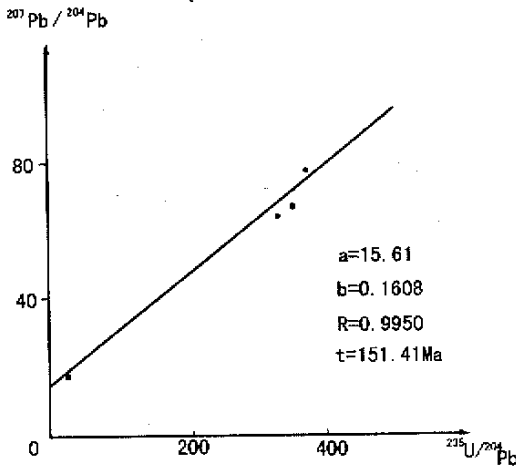


图 2 铁—铀型矿石 U—Pb 等时线年龄

Fig.2 U—Pb isochronal age of Fe—U type ore

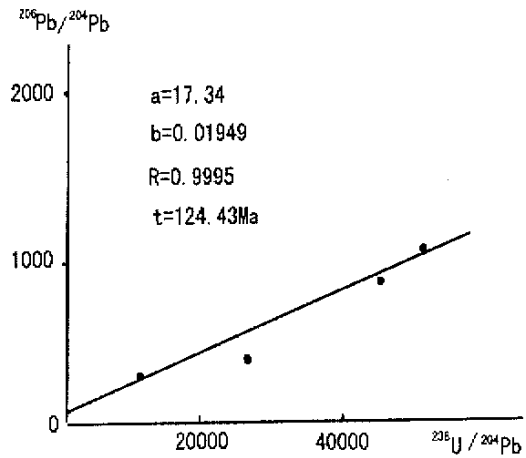


图 3 铀—钼型沥青铀矿 U—Pb 等时线年龄

Fig.3 Pitchblende U—Pb isochronal age of U—Mo type ore

3 成矿机理

3.1 含铀溶液的来源及搬运形式

含矿粗面岩的显著特点是高碱 (Na₂O+K₂O 为 8.4%) , 这种富碱岩浆必定影响其派生溶液的富碱性质。事实上, 围岩遭受强烈的碱交代作用已经说明成矿溶液和火山岩浆之间存在一种明显的地球化学继承性。根据包体测温结果, 成矿温度为 300℃, 硫同位素 δ³⁴S 为 2.5‰, 接近陨石硫, 矿石富含钠、Fe³⁺、钙, 贫硅, 这种富钠、铀和碳酸的矿液只能来自碱性和酸性火山岩浆分异演化生成的岩浆期后热液, 铀和钠具有同源性。成矿以钠交代为先导, 空间上赋存于钠交代体内部。

470 矿石含有较多的碳酸盐及近矿围岩强烈赤铁矿化, 说明存在氧化环境, 有形成 U⁶⁺ 的可能, 可以认为成矿过程中铀以铀酰—碳酸盐络合物 Na₄[UO₂(CO₃)₃] 形式搬运。

3.2 成矿物质来源

万方数据源

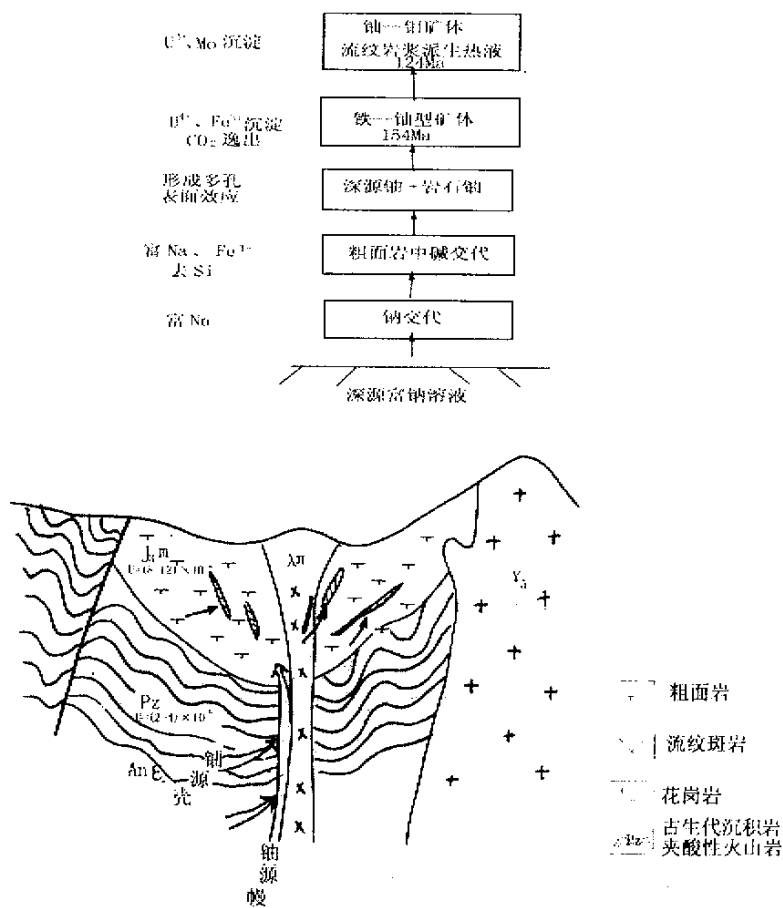


图 4 470 铀矿床成矿地球化学模式

Fig. 4 Metallogenetic geochemical model of 470 uranium deposit

由于矿床主要产于粗面岩中,大多数人认为粗面岩是直接铀源。我们通过研究认为本区铀成矿物质主要来自深源,U—Mo型矿化与酸性岩浆晚期派生热液有关,这种热液在上升过程中吸收了粗面岩等岩石中的铀而富集成矿。碱交代型矿化主要与碱性岩浆喷出后期的碱交代热液关系密切。主要有以下依据:

(1)铀—钼型矿化年龄与流纹斑岩年龄相近,为124~126Ma。反映成矿与流纹斑岩晚期派生热液演化有关。铁—铀碱交代型矿化成矿年代与粗面岩形成年代相近。

(2)与铀共生的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 分散度低,接近陨石硫,反映其深源成因。其中铀—钼型矿化偏离稍大,可能是含铀热液曾受壳源物质混染的影响。

(3)与铀呈正相关的元素为Mo、Pb、Cu、Ag、 Fe^{3+} 和Na,显示了岩浆成因的元素特点。

3.3 铀的活化

铀源体中的一部分以固定形式存在于矿物之中,需要通过活化作用才能迁移富集。裂变径迹照相证实铀主要赋存于火山玻璃中,呈微小的质点分散存在,这种铀未遭受蚀变时,

迁出很慢,只有遭受火山热液蚀变后,火山玻璃分解,才能析出铀。这些析出的初始铀大部分进入火山热水或地下水中,变成富铀溶液而迁移。

红山地区铀的活化主要有两期(1)晚侏罗世酸性、偏碱性岩浆侵入于二叠系沉凝灰岩、凝灰岩,引起的接触变质作用使凝灰岩中的固定铀变为活动铀,同时形成一套砂卡岩组合;(2)矿前期的碱交代作用引起凝灰岩中剩余的固定铀再度活化富集。

3.4 铀的沉淀

铀的沉淀取决于有丰富的还原剂或吸附剂以及温度和氧逸度的变化。470矿床围岩中含 Fe^{2+} 的铁镁质砂卡岩矿物中的硫是铀的良好捕获剂。而温度的降低、氧化还原电位的变化以及 CO_2 的逸出,则促使铀酰络合物分解沉淀。

4 成矿模式

470矿床经历了基底聚铀,岩浆活动和地下水作用活化铀以及温压降低、 CO_2 逸气,铀在还原环境中沉淀等几个阶段。从基底到盖层,铀逐渐增加,多次富集。在成矿过程中,含矿溶液从早期富碱(Na或K)向晚期富(Si、Al)转变,最后在低压力场地区氧化还原过渡带富集成矿。成矿地球化学模式如图4^①。

参考文献

- [1] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985
 [2] 金景福等. 铀矿床学[M]. 北京: 原子能出版社, 1992: 102-103, 119-120.

Study on geochemical features and metallogenic mechanism of 470 uranium deposit

ZHANG Zhen - qiang

(240 Research Institute of Shenyang, Shenyang 110032, China)

Abstract

470 uranium deposit, a typical volcanic type deposit, can be divided into two kinds of mineralization, i. e. Fe - U type and U - Mo type. The main host rock is trachyte with distinctive pockmark structure. The deposit's metallogenic mechanism has been discussed and metallogenic model has been established on the basis of its geochemical features of petrochemistry, paragenetic and accompanying elements, rare - earth elements, stable isotope, metallogenic temperature and age.

Key words: 470 volcanic uranium deposit; geochemical features; mechanism of metallogeny; metallogenic geochemical model

① 万方数据
 范军等, 1987. 燕辽成矿带火山岩型砂岩型铀矿床地球化学特征及成矿机理. 核工业东北地质局 240 研究所。