

华北地台北缘火山岩型铀钼矿床找矿模型研究

杜 俐¹, 沈光银², 林银山²

(1. 东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室, 江西 抚州 344000;

2. 天津华北地质勘查局核工业 247 大队, 天津 宝坻 301800)

摘要: 460 铀钼矿床具有很好的火山岩型铀钼矿找矿前景。460 铀钼矿早期为斑岩型矿化, 晚期叠加火山热液型矿化, 成矿时代为晚白垩世及新近纪。铀源层(体)为张家口组三段酸性火山岩及次流纹斑岩, 由壳源重熔岩浆作用形成。以 460 矿床区域地质背景、成矿环境、矿床地质特征及找矿标志研究为重点, 总结归纳了火山岩型铀钼找矿方法, 建立了华北地台北缘火山岩型铀钼矿床的找矿模型。

关键词: 火山岩型铀钼矿; 地质特征; 成矿规律; 找矿标志; 找矿模型; 华北地台

中图分类号: P612; P619.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)04-0458-05

0 引言

火山岩型铀矿床指产于火山岩、次火山岩或火山构造中, 在成因上与火山活动有联系的热液铀矿床。矿床成矿时代主要为中生代, 主要分布在赣杭火山岩铀成矿带、华北地台北缘燕辽火山岩铀成矿带。火山岩型铀矿是我国四大工业铀矿化类型之一^[1-3], 探明资源量约占总资源量的 20%, 典型矿床有浙赣 610、570、670 铀矿床、河北省沽源 460、534 铀钼矿床、内蒙古 470 铀钼矿床等。

找矿模型是以经验模型为基础, 以指导找矿实践为目的, 以多学科找矿信息和标志组合形成的找矿判据为基本内容, 通过系统总结和综合研究来具体指导矿产勘查工作^[4-5]。找矿模型突出的是某类矿床的基本要素和找矿过程中有重要意义的地质、物化探和遥感影像等特征及其及空间变化情况, 总结发现该类矿床的基本标志和找矿方法。矿床成矿模式是建立找矿模型的地质基础, 成矿模式的内容

只有与找矿模型有机地结合起来, 才最大限度地发挥他们的作用^[6]。

本文以 460 铀钼矿床为重点, 通过对 460、534 及内蒙古 470 火山岩型铀钼矿床成矿规律的总结, 力图建立华北地台北缘火山岩型铀钼矿床找矿模型, 以期对冀北火山岩区铀钼矿快速勘查具有指导作用^[7]。

1 矿床地质特征

1.1 区域地质背景

460 铀钼矿床位于华北地台北缘燕辽火山岩带与 NNE 向大兴安岭岩浆活动带复合部位的沽源中生代火山盆地中, 地壳处于由薄急剧增厚部位。硅铝壳增厚为形成壳源重熔型富铀岩浆创造了前提条件^[8]。

(1) 地层。盆地基底为古元古界红旗营子群, 岩性以变粒岩、浅粒岩为主, 夹石英岩及大理岩; 盖层为上侏罗统白旗组、张家口组中酸性火山岩建造、下

收稿日期: 2011-07-01; 改回日期: 2012-09-19; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 天津华北地质勘查局科技创新项目(编号:津华勘 2008 第 66 号)与东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室开放基金(编号:2011RGET018)联合资助。

作者简介: 杜俐(1963-), 女, 地质实验师, 学士, 1986 年毕业于东华理工大学, 从事地质实验及教学管理工作。通信地址: 江西省抚州市东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室; 邮政编码: 344000。

通信作者: 沈光银。通信地址: 天津宝坻区 36 号信箱, 邮政编码: 301800; E-mail: shenguangyin88@sina.com

白垩统花吉营组中基性火山岩夹沉积岩、新近系汉诺坝玄武岩夹沉积岩^[9]。

(2)构造。康保—围场和赤城—尚义 EW 向断裂带分布于矿区的北部和南部,NE 向 F₄₅ 断裂、SN 向正蓝旗—15 号断裂及 NE 向、NW 向断裂构成基本构造格局。460 矿床受 NE 向 F₄₅ 断裂与 NW 向 F₃ 断裂交汇部位的次火山型破火山口控制^[10-11]。

(3)岩浆岩。出露新元古代钾质混合岩、晚侏罗世—早白垩世壳源重熔型次流纹斑岩、次粗面岩、次石英斑岩等。

1.2 矿床地质特征

1.2.1 含矿岩层(体)特征

矿区地层主要为上侏罗统张家口组第三段酸性火山岩,是主要赋矿层位。岩石富硅($w(\text{SiO}_2) = 75\% \sim 80\%$)、富钾($w(\text{K}_2\text{O}) = 6\%$)、富铀和钼($w(\text{U}) = 8.9 \times 10^{-6} \sim 13.5 \times 10^{-6}$, $w(\text{Th}) = 37 \times 10^{-6} \sim 48 \times 10^{-6}$),贫钙、铁、镁、钠成分。

含矿岩体为次流纹斑岩,形成年龄为 122.2 Ma。与张家口组地层为侵入接触关系,岩体呈弯曲的透镜状(图 1)。次流纹斑岩体中心为流纹斑岩,顶部和边缘为霏细岩。岩体顶部发育隐爆角砾岩。含矿岩体富硅($w(\text{SiO}_2) = 79.15\%$)、富钾($w(\text{K}_2\text{O}) = 5\% \sim 6\%$)、富铀($w(\text{U}) = 10 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$), $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 平均为 7.03%,且 $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$ ^[12]。

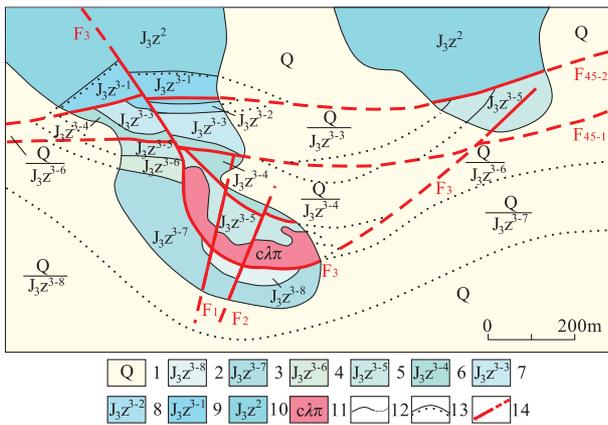


图 1 460 铀钼矿床地质略图

Fig. 1 Geological sketch of uranium molybdenum deposit 460

- 1. 第四系; 2. 球粒流纹岩; 3. 流纹质熔结角砾岩; 4. 流纹质角砾泥灰岩; 5. 细纹状流纹岩; 6. 流纹质角砾泥灰岩; 7. 钾质流纹岩; 8. 细纹状流纹岩; 9. 流纹质熔结泥灰岩; 10. 粗面岩; 11. 次流纹斑岩; 12. 地质界线; 13. 平行不整合界线; 14. 断层及编号

1.2.2 460 矿床地质特征

460 铀钼矿床铀矿体呈脉状,透镜状;钼矿体形态呈柱状、大脉状。铀钼主矿体产状与次火山岩体的产状一致,倾向 30°~45°,倾角 50°~67°;张家口组三段细纹状流纹岩中的矿体产状与地层产状一致,倾角在 30°~40°之间。钼矿化范围远大于铀矿化,铀矿体位于钼矿体内(图 2)。钼矿以胶硫钼矿为主,有少量辉钼矿,钼矿品位 $w(\text{Mo}) = 0.06\% \sim 0.2\%$ 。

矿床上部为黑色浸染状矿石,中部为红色网脉角砾状浸染状矿石,下部为红色细脉角砾状矿石。矿石矿物以胶硫钼矿、沥青铀矿、黄铁矿、辉钼矿为主,其次为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿;脉石矿物为玉髓、石英、萤石、水云母、绿泥石等。

矿石结构为球粒结构、交代残余结构及胶状结构;矿石构造为网脉状构造、脉状构造、角砾状构造

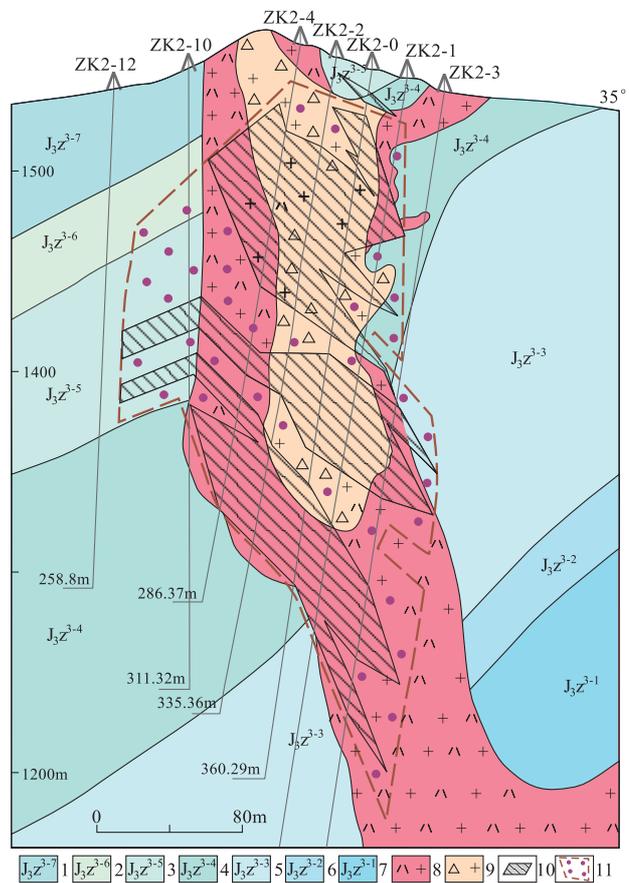


图 2 460 矿床 2 号勘探线剖面示意图

Fig. 2 Sketch section of line 2 in U-Mo deposit 460

- 1. 角砾熔岩; 2. 角砾凝灰岩; 3. 流纹岩; 4. 角砾凝灰岩; 5. 钾质流纹岩; 6. 细纹状流纹岩; 7. 晶屑凝灰岩; 8. 次流纹斑岩; 9. 隐爆角砾岩; 10. 铀矿体; 11. 钼矿体

及浸染状构造。

矿化阶段可分为晚侏罗世斑岩型铀钼矿化(形成低品位浸染状铀矿—方钍石—硫钼矿)阶段,白垩世细脉角砾状矿化(形成硫钼矿—黄铁矿—沥青铀矿—紫色萤石—灰色玉髓)阶段,古近纪细脉角砾状矿化(形成硫钼矿—白铁矿—赤铁矿—沥青铀矿、水云母—蒙脱石—绿泥石—沥青铀矿和紫黑色萤石—红色玉髓—沥青铀矿)阶段,表生淋滤改造矿化(形成褐铁矿—蓝铜矿、水铀钒和钼铅矿、高岭石)阶段。

围岩蚀变为水云母化、蒙脱石化、高岭石化、硅化、赤铁矿化、胶黄铁矿化、紫黑色萤石化、钾长石化,受次火山岩体和断裂控制明显。围岩蚀变在垂向上具有上酸下碱的特点。矿床上部主要为硅化、高岭石化、胶黄铁矿化、浅色萤石化,中下部为赤铁矿化、水云母化、钾长石化、黑色萤石化。

铀矿床成矿主时代为晚白垩世。铀矿床浅部浸染状矿石中沥青铀矿 U-Pb 法测定等时线年龄为 $88.9 \pm 12.8 \text{ Ma}$; 深部细脉角砾状矿石中沥青铀矿 U-Pb 法测定等时线年龄为 $23.8 \pm 2.2 \text{ Ma}$ ^[13]。

2 成矿规律

2.1 成矿模式

在综合分析区域地质背景、成矿地质环境、矿床地质特征及物、化、遥资料的基础上,用双混合火山热液铀成矿理论建立了 460 铀钼矿床成矿模式(图 3)。

460 铀钼矿床成矿作用经历了 2 个铀预富集期、3 个成矿阶段^①：

(1)铀预富集期:新元古代钾质混合岩化作用铀预富集期。古元古界红旗营子群变质岩贫铀($w(\text{U})=1.6 \times 10^{-6}$),经历新元古代钾质混合岩化作用使铀预富集(钾质混合岩 $w(\text{U})=5 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$),形成了富铀基底。

(2)晚侏罗世壳源重熔型酸性火山岩浆活动铀预富集期:基底壳层发生重熔作用,沿 F_{45} 断裂产生酸性火山活动,铀元素活化、迁移至张家口组酸性火山岩中再富集($w(\text{U})=10 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$),成为铀成矿源层。

(3)晚侏罗世斑岩型铀钼矿化阶段:晚侏罗世张家口组酸性火山喷发后,次流纹斑岩沿 F_{45} 断裂侵位,火山热液中 U, Mo 元素富集达到 $0.003\% \sim 0.05\%$,形成了第一期(122 Ma)斑岩型铀钼矿化。

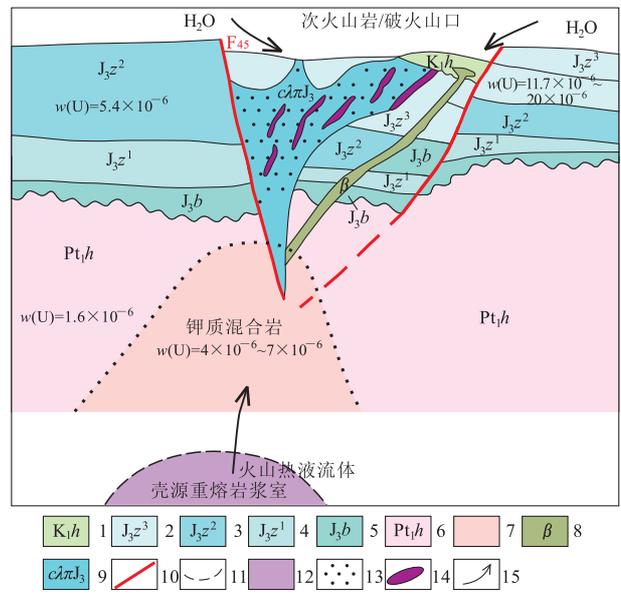


图 3 460 铀钼矿床成矿模式图

Fig. 3 Metallogenic model of U-Mo deposit 460

1. 花吉营组安山岩; 2. 张家口组三段角砾泥灰岩、流纹岩; 3. 张家口组二段粗面岩; 4. 张家口组一段角砾泥灰岩; 5. 白旗组安山岩; 6. 红旗营子群变质岩; 7. 钾质混合岩; 8. 古近系汉诺坝组玄武岩; 9. 流纹斑岩; 10. 断裂; 11. 表生淋积界线; 12. 壳源重熔岩浆室; 13. 斑岩型铀钼矿化; 14. 脉状铀钼矿体; 15. 成矿流体运移方向

(4)白垩纪—古近纪双混合火山热水叠加细脉角砾状铀成矿阶段:白垩纪以 NNE 向拉张型火山断陷为特点,中基性火山岩浆沿基底断裂喷发,火山气液流体上涌使基底富铀地质体的铀元素活化进入火山热液中。在断块隆起区,弱碱性(pH 值 7~8)大气水对富铀地质体淋滤形成含铀水溶液,二者相向汇集在火山塌陷洼地负向构造区混合导致铀流体富集产生隐爆作用,叠加在斑岩型铀钼矿化之上形成细脉角砾状铀矿化。

(5)表生淋滤改造铀钼成矿阶段:古近纪后,矿区进入抬升剥蚀阶段,矿化遭受氧化淋滤作用。矿床上部产生次生富集作用,形成水铀钒—多水铀钼矿—蓝铜矿—彩钼铅矿。

460 铀钼矿床矿石中的水云母 $\delta(^{18}\text{O}) = -14 \times 10^{-3} \sim -15 \times 10^{-3}$, 晚期梳状石英、灰色玉髓 $\delta(^{18}\text{O}) = -14 \times 10^{-3} \sim -12 \times 10^{-3}$, 早期红色、黑色玉髓 $\delta(^{18}\text{O}) = -7 \times 10^{-3} \sim -4 \times 10^{-3}$; 在氢氧同位素 $\delta(\text{D}) - \delta(^{18}\text{O})$ 图解中,多分布在雨水线附近。矿石中硫同位素 $\delta(^{34}\text{S}) = -3 \times 10^{-3} \sim -24 \times 10^{-3}$ 。矿石中紫黑色萤石中包体温度 $200 \sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。说明矿床成矿流体来源于大气降水和深部火山岩浆气液流体,属中低温火山热液型铀矿床。

2.2 找矿标志

2.2.1 地质标志

(1) 铀源层(体)标志:火山盆地基底发育钾质混合岩化的中心($w(U) = 5 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$;上侏罗统张家口组三段火山岩及次流纹斑岩体($w(U) = 10 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$))。

(2) 构造标志:NE 向、NW 向或 EW 向断裂构造交汇部位;上侏罗统火山机构中的次流纹斑岩体和隐爆角砾岩。

(3) 蚀变标志:水云母化、高岭土化、硅化、绿泥石化、紫色萤石化、赤铁矿化、黄铁矿化等蚀变。

2.2.2 地球物理标志

(1) 航放异常标志:航放伽玛能谱 U, Th, K 异常是区域找矿的直接标志。在 1 : 250 000 航放等值线图,460 铀矿床分布在航放 U, Th, K 高场($w(U) = 3.8 \times 10^{-6} \sim 5.8 \times 10^{-6}$, $w(Th) = 28 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$, $w(K) = 2.5 \times 10^{-6} \sim 8.8 \times 10^{-6}$), 并且 U, Th, K 异常叠合较好。

(2) 航磁异常标志:在 1 : 200 000 航磁 ΔT 等值线平面图上,沽源火山盆地、火山机构多表现为圆形正负相间的剩磁异常带或环状正、负交替磁异常特征,这种特征与本区火山喷发由中基性→酸性→基性喷发、侵入岩多期活动有关;460 矿床分布在正负磁异常(-50~100 nT)的过渡区;区域性 NE 向 F_{45} 断裂磁场特征为磁异常梯度带。

(3) 重力异常标志:在 1 : 200 000 布格重力异常图上,460 矿床处于低重力异常区(为上侏罗统火山盆地区,盆地基底为钾质混合岩)和 NE 向重力梯度带上(F_{45} 断裂位置)。

铀矿床分布在低重力低磁异常区,矿石具有低阻(15~200 $\Omega \cdot m$) 高极化(极化率 > 8%) 的特点^[14-15],地表铀矿化位于伽玛异常及活性炭异常区。

2.2.3 地球化学标志

在 1 : 100 000 放射性水化学成果图上,460 铀钼矿床位于 NE 向 I 级铀矿水化学远景区内的氡气异常片和水系沉积物 U, Rn, Mo, Be 异常带中。氡气异常面积 25 km², 由 5 个异常点组成,氡浓度 110~114 Bq/L, 异常系数 4.8~6.3, 浓集中心明显;水中铀含量增高,最高值 7.3 $\mu q/L$; U, Rn, Be 化探异常晕是找矿的直接标志^[16]。

1 : 10 000 汞法测量,在 460 矿床上方圈出长 560 m, 宽 350 m, 平均含量 563×10^{-9} , 最大衬度 174 的 Hg 异常晕,异常晕长轴方向 NW 向,与铀矿体走向一致^[17]。

2.2.4 遥感影像标志

460 铀钼矿床位于区域性 NE 向断裂构造影像与小型环形构造交汇区,其对应于火山塌陷洼地中的张麻井破火山口,有含矿次流纹斑岩体侵入。因此,环形构造也是找矿标志之一。

表 1 火山岩型铀钼矿床找矿模型

Table 1 Prospecting model of volcanics-hosted U-Mo deposit

找矿标志	矿调预查阶段 (1 : 200000~1 : 50000)	普查阶段 (1 : 10000~1 : 2000)	详查勘探阶段 (1 : 10000~1 : 1000)
地质标志	盆地基底混合岩化,盖层张家口组三段火山岩发育,NE向、NW向及EW向断裂和次流纹斑岩发育	多组断裂交汇,中心式火山机构、次流纹斑岩侵入及隐爆角砾岩发育,紫色萤石化、硅化、赤铁矿化发育	火山通道、次流纹斑岩体接触带、围岩裂隙带、隐爆角砾岩
物探标志	航放伽玛能谱 U, Th, K 异常,航磁环形正负交替磁异常,低重力异常区	含矿次岩体和构造为高阻(低阻)高极化异常特征,伽玛异常、氡气异常	
化探标志	铀水化学 Rn 异常,水系沉积物 U, Rn, Mo, Be 异常、伽玛异常	土壤(岩石)U, Mo 异常,铀水化学 Rn 异常,铀钼活动态异常、Hg 异常	
遥感标志	线性影像与环形构造发育,二者交汇部位为成矿有利部位		
找矿方法	航磁、航放、重力、遥感、伽玛测量、放射性水化测量、水系沉积物测量、地物化综合剖面、少量槽探	地质填图、高精度磁测、重力、激电、EH4 测量、放射性物探(伽玛及活性炭测量)、伽玛测井、土壤(岩石)测量、汞法测量、铀钼活动态测量、铀水化学找矿、有限的槽井探及钻探	地质填图、激电、EH4 测量、放射性物探(伽玛及氡气详测)、岩石地化测量、钻孔抽水找矿、探矿工程为主
研究内容	盆地状况,岩体,构造及火山构造分布、综合异常提取、化探及放射性物理场特征	盆地基底及盖层、岩体、控矿构造特征,圈定放射性高场、验证物化探综合异常,寻找铀钼矿体	次火山岩体、构造蚀变带及控矿构造产状、圈定铀钼矿体
目的	调查火山盆地结构,预测成矿远景区	评价成矿有利的地质体,确定成矿远景地段	查明矿体特征及控矿因素

3 找矿模型

根据 460 铀钼矿床地质特征、成矿规律、找矿标志并结合区域及矿区的物化探异常特征,总结出火山岩型铀钼矿床找矿模型(表 1)^[18-19],对今后在华北地台北缘火山岩盆地中寻找该类型矿床具有指导意义。

注释:

①张金带,李子颖,罗毅,等. 沽源—红山子预测工作区火山岩型铀矿资源潜力评价成果报告. 北京:中国核工业地质局,2009.

参考文献:

- [1] 吴仁贵, 舍达淦, 陈培荣, 等. 铀资源地质学教程[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2005.
- [2] 刘小于, 陈肇博. 大陆火山作用与铀成矿[M]. 北京:原子能出版社, 1996.
- [3] 赵忠华, 彭志东, 张学元, 等. 中国东北部火山岩型铀成矿地质特征及找矿方向[J]. 铀矿地质, 2007, 23(3): 129-137.
- [4] 施俊法, 唐金荣, 周平, 等. 找矿模型与矿产勘查[M]. 北京:地质出版社, 2010.
- [5] 施俊法, 肖庆辉. 经验勘查与理论勘查的发展趋势[J]. 地质通报, 2004, 23(8): 709-815.
- [6] 陈毓川. 中国矿床成矿模式[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [7] 王有翔. 铀成矿预测学[M]. 北京:原子能出版社, 1992.
- [8] 张尔匡. 河北省深部地质构造特征与区域成矿规律相互关系的初步研究[J]. 矿床地质, 1982, 1(1): 69-82.
- [9] 沈光银. 沽源火山盆地铀钼多金属成矿条件分析及找矿方向[J]. 矿产与地质, 2008, 22(6): 510-516.
- [10] 任之鹤, 万天丰. 460 铀矿床成矿构造背景[J]. 铀矿地质, 1997, 13(3): 154-158.
- [11] 沈光银. 460 铀钼矿床控矿因素及矿床成因探讨[J]. 矿产与地质, 2007, 21(5): 509-514.
- [12] 王正邦, 牛林, 周德安, 等. 沽源火山岩盆地成矿地质条件分析及远景评价[C]//华北地台北缘成矿条件和找矿前景论文集. 北京:核工业部地质局, 1987:63-76.
- [13] 李耀崧. 460 铀矿床主要矿化期的同位素年龄[J]. 铀矿地质, 1989, 5(4): 203-208.
- [14] 崔焕敏, 姜义生. 沽源—多伦地区重、电、磁资料提取深部地球物理场特征信息的研究[R]. 北京:核工业北京地质研究院, 1994.
- [15] 姚敬金, 曹洛华, 张素兰, 等. 中、大比例尺综合物探资料在金属矿勘查与评价中的应用[C]//勘查地球物理勘查地球化学文集: 24. 北京:地质出版社, 2004: 12-29.
- [16] 张振强. 460 铀矿床地球化学特征及成矿机理探讨[J]. 辽宁地质, 2001, 18(1): 28-33.
- [17] 崔焕敏. 综合找矿方法在 460 矿床及邻区的应用[C]//华北地台北缘成矿条件和找矿前景论文集. 北京:核工业部地质局, 1987: 76-81.
- [18] 刘文元. 460 地区地球物理找矿前提及冀北火山岩地区找矿方法[C]//地质科技大会论文集. 沈阳:核工业东北地质局, 1997: 74-79.
- [19] 陈旭, 李佑国, 任光明, 等. 红卓斑岩型铜矿床地球化学特征及找矿模型研究[J]. 地质找矿论丛, 2007, 22(3): 184-189.

Prospecting model research of volcanics-hosted U-Mo deposits at north margin of the North China platform

DU Li¹, SHEN Guang-yin², LIN Yin-shan²

(1. East China University of Radioactive Geological Exploration Techniques Defense Key Laboratory of Fundamental, Fuzhou 344000, Jiangxi, China; 2. Tianjin north China geological survey bureau nuclear Industry, tianjin baodi 247 brigade, Baodi 301800, Tianjin, China)

Abstract: U-Mo deposit 460 is potential for prospecting volcanics-hosted U-Mo ore. Late volcanic hydrothermal mineralization overprints on the early porphyry mineralization. The deposit was formed in Late Cretaceous and Neogene. The remelted crustal materials, the acidic volcanics and sub-rhyolitic porphyry of the third member of Zhangjiakou formation are the U-source beds. Based on regional geological background, metallogenic setting and geological characteristics of the deposit the prospecting marks are highlighted and ore prospecting method is induced and summarized and the prospecting model is built for prospecting volcanics-hosted U-Mo deposits at north margin of the North China platform.

Key Words: Volcanics-hosted U-deposit; geological features; metallographic model; prospecting marker; way of exploration; prospecting model; The North China platform