第 22 卷第 3 期	地质与资源	Vol. 22 No. 3
2013年6月	GEOLOGY AND RESOURCES	Jun. 2013

文章编号:1671-1947(2013)03-0179-06

中图分类号 :P619.14

文献标识码 :A

内蒙古额尔古纳地区 431 铀矿床地质特征与流体包裹体研究

侯召硕,任云生,王 晰,孙德有, 苟 军, 王天豪 (吉林大学地球科学学院 吉林 长春 130061)

摘 要:为确定额尔古纳地区铀矿特征及成因类型 选择 431 铀矿床 在矿床地质特征研究基础上 对与铀矿化成因关系密切的硅化石英 脉进行了流体包裹体显微测温.研究结果表明 431 矿床产于印支期花岗岩与新元古代额尔古纳群变质岩接触带部位 受断裂构造控制明 显 围岩普遍发育硅化、绿泥石化、水云母化、高岭土化、碳酸盐化等蚀变现象 地表矿石中铀矿物主要为钙铀云母.硅化石英脉中含气液两 相和含 CO₂ 三相两种类型包裹体 对应的均一温度分别为 132.2~301.5℃和 322.5~408.9℃,平均值为 247℃ 盐度分别为 12.65%~2.73%和 4.04%~16.94% 平均值为 8.18% 流体密度分别为 0.76~0.94 g/cm³ 和 0.60~0.78 g/cm³ 成矿流体属中温、中低盐度、低密度的 NaCl-H₂O-CO₂ 流体体系.利用相关公式估算该区铀矿的成矿深度介于 0.4~1.7 km. 431 铀矿床属浅成中温热液矿床 成因上与花岗质岩浆作用有关. 关键词 431 铀矿床 流体包裹体 中温热液矿床 额尔古纳地区 ,内蒙古

GEOLOGIC FEATURES AND FLUID INCLUSIONS OF NO. 431 URANIUM DEPOSIT IN ERGUNA AREA, INNER MONGOLIA

HOU Zhao-shuo, REN Yun-sheng, WANG Xi, SUN De-you, GOU Jun, WANG Tian-hao (College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract : To recognize the metallogenic features and genetic type of the uranium deposits in Erguna area, No. 431 uranium deposit is adopted for case study. Based on geological features of the deposit, microthermometry of fluid inclusions is researched for silicified quartz veins closely related to the genesis of uranium mineralization. The results show that the deposit occurs in the contact zone between the Indosinian granite and the Neoproterozoic Ergun metamorphic rocks, obviously controlled by faults. The wallrocks of ore bodies are generally developed with such alterations as silicification, chloritization, kaolinization and carbonation. The uranium mineral is dominantly autunite in the surface. Comparison studies of this deposit with some typical granitic uranium deposits indicate that No. 431 deposit is associated with granitic magmatism. The silicified quartz veins contain two types of inclusions, i.e. gas-liquid two-phase and CO₂-bearing three-phase inclusions, corresponding to homogenization temperatures of $132.2 - 301.5^{\circ}$ C and $322.5 - 408.9^{\circ}$ C, salinities (NaCl) of 12.65% - 2.73% and 4.04% - 16.94%, and fluid densities of 0.76 - 0.94 g/cm³ and 0.60 - 0.78g/cm³. It is concluded that the uranium ore-forming fluid belongs to a NaCl-H₂O-CO₂ fluid system with medium temperature, mid-low salinity and low density. The mineralization depth of the uranium deposits in this area estimated by related formulas ranges from 0.4 to 1.7 km, which suggests a mesothermal deposit.

Key words : No. 431 uranium deposit; fluid inclusion; mesothermal deposit; Erguna area; Inner Mongolia

额尔古纳地区位于兴蒙造山带东段,与著名的俄 罗斯斯特列措夫超大型铀矿田及蒙古多尔诺特大型 铀矿田处于同一级构造单元内,具有相似的地质演化 历史和铀、多金属成矿地质条件,因此该区铀矿理论研 究和地质找矿倍受关注.几十年来的地质工作表明,该 区成矿地质条件优越,铀、贵金属和有色金属成矿潜力

收稿日期 2012-07-25 修回日期 2012-10-29. 编辑 李兰英.

基金项目:中国核工业地质局项目(201151)和中国地质调查局项目(1212011121081)联合资助。

作者简介 :侯召硕(1988—),男,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业,通信地址长春市建设街 2199 号 E-mail//1033160585@qq.com

通信作者:任云生(1969—) ,男 ,博士 教授 主要从事矿床学的教学与研究 E-mail//renys@jlu.edu.cn

巨大,已发现和探明了八大关铜钼矿床、七一铅锌矿床 和下护林铅锌矿床等多个有色金属矿床,但铀矿找矿 工作始终未取得突破性进展,甚至有些地区铀矿勘查 程度还相当薄弱,铀矿形成条件、矿化特征、矿床成因 和找矿标志尚无系统研究资料.为此,笔者选择额尔古 纳地区唯一的工业矿床——431小型铀矿床,在成矿 地质条件和铀矿化特征研究基础上,进行流体包裹体 的显微测温研究,确定该区铀矿化的物理化学条件,综 合分析矿床成因,以期对该区铀矿研究和地质找矿提 供基础资料和理论支撑.

1 成矿地质背景

431 铀矿床位于向阳屯盆地的北部边缘 哈乌尔河 断裂-火山岩带的北西侧.该区在大地构造上所属的额 尔古纳地块(图 1) 是夹持于西伯利亚与中朝板块之间 的众多微陆块之一^[1].在前寒武纪主要为各地块基底形 成阶段,古生代,经历了古亚洲洋构造体系的演化,主要 表现为多个微陆块之间的拼合,而在中、新生代,则表现 为环太平洋构造域和蒙古-鄂霍茨克构造域的叠加与转 换^[2].额尔古纳地块发育的地层主要有古元古代兴华渡 口群的斜长角闪岩、片麻岩等,新元古代佳疙瘩组的片 岩、石英岩等,新元古代额尔古纳群变质砂岩和片岩,古 生代的部分浅海相、滨海相以及中生代的海相碎屑岩和 火山-沉积建造.

区内侵入岩较发育,包括晋宁期的花岗岩类等,加 里东期的铁镁质—超铁镁质岩、花岗岩类等,海西期的 闪长岩、花岗岩类等,印支期的花岗闪长岩、花岗岩类 等,燕山期的二长花岗岩、钾长花岗岩等^[1].北东—北



图 1 额尔古纳向阳屯一带地质简图



1-第四系(Quaternary) 2-满克头鄂博组(Manketouebo fm.) 3-乌宾敖包组(Wubinaobao fm.) 4-额尔古纳河组(Ergunahe fm.) 5-白垩纪花岗斑岩 (cretaceous granite porphyry) 6-侏罗纪花岗岩类(Jurassic granitoid) 7-二叠纪花岗岩类(Permian granitoid) 8-石炭纪花岗岩类(Carbonaceous granitoid) 9-奥陶纪花岗岩类(Ordovician granitoid) ;10-实测断层(surveyed fault) ;11-推测断层(inferred fault) ;12-431 铀矿床(No. 431 uranium deposit) 左上角为研究区大地构造位置图(据文献[3]修改)(inset: Tectonic map of the studied area, modified from Reference [3]) 北东向的得尔布干断裂和塔源-乌奴耳断裂、近东西 向的蒙古-鄂霍茨克断裂和北东向额尔古纳-呼伦断 裂等构成区内主要构造格架.其中,北东-北北东向深 大断裂控制了中生代火山-侵入岩浆作用的展布,北 西向、北北西向以及近南北向次级断裂控制了区内铀 及多金属矿床的形成与分布(图1).

2 矿床地质特征与成因类型

431 铀矿床产于印支期花岗岩与新元古代额尔古 纳群变质砂岩、片岩接触部位的硅化破碎带中. 受区域 性断裂影响,矿区发育北东向和北西向的构造破碎带 和近水平层间破碎带.

矿点周围地表出露的岩性主要为印支期肉红色、 浅红色蚀变花岗岩及灰色、浅灰色黑云母花岗岩,早古 生代寒武系额尔古纳群变质砂岩、片岩呈残留体存在 于花岗岩内部.另外见有煌斑岩、石英脉等脉岩.花岗 岩为中-粗粒花岗结构,块状构造,主要矿物成分为钾 长石(60%~70%)和石英(20%~30%),少量黑云母.在 同一露头上岩性不均,存在交代渐变现象,有灰色或者 暗灰色团块出现,部分渐变为花岗闪长岩和片麻状花 岗岩,可能混杂有闪长岩、角闪岩等基底岩石.

研究区位于中亚造山带的东段,古生代经历了多 个微陆块之间的拼合、古亚洲洋闭合以及造山后的垮 塌与伸展环境^[4-8].与铀矿成矿密切的印支期花岗岩形 成于造山后的伸展环境^[9].

铀矿化带呈北东走向,长约 200 m,宽约 10~20 m, 矿化富集在北东向与北西向断裂的复合部位.地表和 钻孔中普遍见有硅化、绿泥石化、萤石化、水云母化、高 岭土化、碳酸盐化等蚀变现象,并见有少量的黄铁矿等 金属硫化物.硅化主要表现为灰色的块状或脉状石英. 方解石呈白色网脉状,分布在硅化带的两侧或较远处. 地表氧化矿石裂隙中可见淡黄色铜铀云母等次生铀矿 物,沿花岗斑岩的裂隙呈细脉状或薄膜状分布,显微镜 下钙铀云母的反射色为棕灰色,褐色-草绿色内反射 (图 2).取自地表的7件样品铀含量变化较大,介于 3.71×10⁻⁶~564×10⁻⁶,社含量为 5.38×10⁻⁶~52.15×10⁻⁶ 表 明此矿床矿化不均的特征,这也是构造裂隙控矿的 表现.



图 2 431 铀矿床含钙铀云母标本和显微特征照片 Fig. 2 Specimens and micrographs of autunite from the uranium deposit a—细脉状、薄膜状钙铀云母(veinlet and membrane autunite) 为—沿裂隙分布的钙铀云母(autunite in fissures) ;c—钙铀云母反射色棕灰色(autunite in brownish gray reflection color) ;t—钙铀云母褐色-草绿色内反射色(autunite in brown-green internal reflection color)

野外调研和室内研究表明 /431 矿床位于花岗岩 体中,油矿化体呈受构造控制明显的细网脉状,围岩普 遍发育蚀变现象,结合流体包裹体具有岩浆热液的特 征(见下文),表明该区铀矿化与花岗质岩浆热液有关. 431 矿床与华南和俄罗斯斯特列措夫矿田阿尔贡等典 型花岗岩型矿床的特征对比^[10]表明(表 1),它们的成 矿地质背景相同,地质条件相似,均表现为受构造控制 明显的细脉状、网脉状矿化,应属于相同的成因类型. 由此可知 /431 矿床应属岩浆热液脉型铀矿床.

表 1 431 矿床与国内外典型花岗岩型铀矿床特征对比表 Table 1 Comparison of features between No. 431 deposits and typical granitic uranium deposits

矿床	431 矿床	华南典型 花岗岩型铀矿	斯特列措夫 矿田阿尔贡矿床
控矿地层	早古生代额尔 古纳群变质砂 岩、片岩	主要为中生代白 垩纪—新近纪之 间	古元古界变质岩
相关岩体	印支期花岗岩	主要为印支期花 岗岩和燕山期花 岗岩	元古宙—早古生 代的花岗岩
容矿构造	NE 向与 NW 向断裂构造	NE—NEE 向主 干断裂及其次级 断裂和裂隙	NW 向断裂构造
矿体特征	主要为受构造 控制明显的细 网脉状	主要呈细脉状、 网脉状、不规则 状	分为似脉状∖似 网脉状两大类型 矿体
含铀矿物	地表见铜铀云 母和钙铀云母 等次生矿物	主要为铜铀云 母、钙铀云母和 硅钙铀矿等次生 矿物	主要分为辉钼 矿-沥青铀矿型 和辉钼矿-铀石- 沥青铀矿型两种 矿石
围岩蚀变特征	硅化、绿泥石 化、萤石化、水 云母化、高岭 土化、碳酸盐 化等	普遍发育硅化、 萤石化等蚀变现 象	硅化、绿泥石化、 蒙脱石化、高岭 石化、萤石化、钠 长石化、夕卡岩 化等
成矿物理化学条件	中温浅成	中低温浅成	中低温浅成
资料来源	本文	据文献[11-13]	据赵凤民 2006

3 流体包裹体特征与成矿物理化学条件

4 件包裹体样品采自 431 矿床铀含量较高的探槽 中,为硅化破碎带中与铀矿化关系密切的石英细脉. 流 体包裹体岩相学研究、冷冻-均一法测温在吉林大学 地球科学学院地质流体实验室完成,仪器为 Linkam THMS-600 型冷热台,测试前用人造 25%的 CO₂-H₂O 及纯 H₂O 包裹体(国际标样)对仪器进行了系统校正.

3.1 流体包裹体特征及显微测温结果

4 件样品中共测得代表性原生包裹体 65 个. 依室 温下的相态特征,将这些原生流体包裹体分为富液相 包裹体和含 CO₂ 三相包裹体两种类型.

1)富液相包裹体:室温下由盐水溶液及少量气泡 构成,其中气相占包裹体总体积的8%~30%,集中在 10%~20%.该类包裹体大小介于3~12 μm,多数为 4~8 μm.常见形态为次圆形、负晶形、长条形、椭圆形 及不规则状(图3a).此类包裹体占包裹体总数量的 80%左右.

冷冻-加热过程中,此类包裹体的冰点温度 为-8.8~-1.6℃. 据此按相关公式^[14]计算对应热液的 盐度为 12.65%~2.73% ,51 个包裹体平均盐度为 7.92%(图4). 此类包裹体以均一至液相方式为主, 其均一温度变化范围为 132.2~301.5℃(仅一个数据 超过 300℃) 均值为 211℃(*n*=51),众值为200~240℃ (图5). 据均一温度及相应盐度值,估算流体密度为 0.76~0.94 g/cm³,平均 0.91 g/cm³.

2)含 CO₂ 三相包裹体:约占所测包裹体总数量 的 20%,在不同样品中均有分布.室温下由液态 CO₂(L_{cO₂})、气态 CO₂(V_{cO₂})、盐水溶液三相组成,大小为 4~12 μm,形态为椭圆形、不规则四边形(图 3b).包裹体 内 CO₂相含量变化大,在15%~80%之间(体积比),且以 气相 CO₂为主(V_{cO₂}g/V_{cO₂}=50%~85%).

冷冻-升温过程中,此类包裹体的固相 CO₂ 熔化 温度介于-63.2~-56.4℃间,除 1 个包裹体外,均低于 纯 CO₂ 标样标准值-56.6℃,反映了除 CO₂ 外,包裹体 内尚含少量 CH₄等成分.大部分此类包裹体中 CO₂ 相 部分均一至液相,部分显示临界均一,均一温度为 28.2~33.2℃,根据笼合物的熔化温度,计算出此类包 裹体的盐度变化范围为 4.04%~16.94%,众值为 6%~ 10%,均值为 9.16%;14 个包裹体的完全均一化温度 变化范围为 322.5~408.9℃,平均值为 379.0℃,众值为 360~400℃(图 5).据均一温度、盐度、CO₂ 密度及水溶 液相密度,估算该类包裹体所含流体的密度为 0.60~

4 讨论

4.1 成矿流体特征

流体包裹体显微测温结果表明,两种类型65个包 裹体均一温度均值为247℃,平均盐度为8.18%.因此,







图 4 431 矿床流体包裹体盐度直方图 Fig. 4 The salinity histogram of fluid inclusions from No. 431 deposit 1—两相(two phase) 2—含 CO₂ 三相(CO₂-bearing three phase)



Fig. 5 The homogenization temperature histogram of fluid inclusions from No. 431 deposit
1一两相(two phase) 2一含 CO₂ 三相(CO₂-bearing three phase)

431 矿床的成矿流体为中温、中低盐度的 NaCl-H₂O-CO₂ 流体体系 ,具有岩浆热液的流体特征 ,与华南地区 花岗岩型铀矿床的成矿流体特征具有可比性^[11-13].

显微测温过程中发现,同一石英颗粒中,富液相包 裹体与含 CO₂ 比例不同的三相包裹体共生,甚至不同 类型包裹体共生于同一视域中,表明其捕获时成矿流 体处于一种不均匀的状态.均一温度较高的含 CO₂ 三 相包裹体与均一温度较低的富液相包裹体的盐度无明 显差别(图 6).因此,成矿流体经历了不混溶(相分离 作用)过程,原始均匀的 NaCl-H₂O-CO₂ 溶液分离成富 NaCl-H₂O 流体及富 CO₂ 流体.而含 CO₂ 是内生铀矿床 不可或缺的矿化剂^[15-16],因此,成矿流体不混溶在该区 此类铀矿的形成过程中起到了重要作用.



图 6 431 铀矿床均一温度和盐度关系图解 Fig. 6 Diagram of salinity vs. homogenization temperature of fluid inclusions from No. 431 deposit 1—两相(two phase) 2—含 CO₂ 三相(CO₂-bearing three phase) 4.2 成矿深度与剥蚀深度探讨

本次研究尝试性采用流体包裹体分析法定量确定 铀矿床(矿体)的形成深度和剥蚀深度^[17]. 首先利用包 裹体测温结果估算铀矿的成矿深度,再与目前矿床(矿 体)所处的标高进行对比,计算两者的差值,获得该矿 床(矿体)形成后所遭受的剥蚀程度^[18].

邵洁涟等(1986)提出的成矿压力和成矿深度经验 公式如下:

 T_0 (初始温度/°C)=374+920×N(成矿溶液的盐度)

 P_0 (初始压力/10⁵ Pa)=219+2620×N(成矿溶液的盐度)

H₀(初始深度/km)=P₀×1/300×10⁵

 P_1 (成矿压力/10⁵ Pa)= $P_0 \times T_1$ (矿区实测成矿温度)/ T_0

*H*₁(成矿深度/km)=*P*₁×1/300×10⁵

利用上述公式计算出该矿床富液相包裹体形成压 力为 11.6~31.5 MPa ,含 CO₂ 三相包裹体成矿流体压力 为 30.7~51.1 MPa , 对应的铀成矿深度分别为 386~ 1050 m(平均 671 m)和 1025~1705 m(平均 1250 m). 一般而言,不混溶成矿流体形成的富液相包裹体一般 代表成矿温压条件的下限 ,含 CO₂ 三相包裹体代表成 矿温压条件的上限值.由于 431 矿床样品取自地表 赋 存标高为 730 m ,因此 ,可以获得该区铀矿遭受的剥蚀 深度大约在 300~1000 m ^[19]. 成矿深度估算结果表明 , 额尔古纳地区的 431 矿床属浅成中温热液矿床.

5 结论

(1)431 矿床产于印支期花岗岩与新元古代额尔 古纳群变质岩接触带部位,铀矿化体呈受构造控制明 显的细网脉状,普遍发育围岩蚀变现象,包括硅化、绿 泥石化、水云母化、高岭土化、碳酸盐化等蚀变现象,地 表矿石中含铀矿物主要为钙铀云母.表明该区铀矿化 与花岗质岩浆热液有关,应属岩浆热液脉型铀矿床.

(2)431 铀矿床流体包裹体分为富液相包裹体和 含 CO₂ 三相包裹体两种类型. 富液相包裹体,均一温 度平均值为 211℃,盐度(NaCl 质量分数)为 12.65%~ 2.73%,流体密度为 0.76~0.94 g/cm³. 含 CO₂ 三相包裹 体,完全均一化温度平均值为 379.℃,盐度变化范围为 4.04%~16.94%,流体整体密度为 0.60~0.78 g/cm³. 因 此 *A*31 矿床的成矿流体为中温、中低盐度、中等密度 的 NaCl-H₂O-CO₂流体,具有岩浆热液的流体特征.

(3)包裹体显微测温结果表明 A31 铀矿的成矿流体经历过不混溶作用,产生了富 CO₂流体,而含 CO₂ 是内生铀矿床不可或缺的矿化剂.因此,成矿流体不混溶在该区此类铀矿的形成过程中起到了重要作用. (4)利用包裹体测温结果估算铀矿的成矿深度 :富 液相包裹体为 386~1050 m(平均 671 m)、含 CO₂ 三相 包裹体为 1025~1705 m (平均 1250 m). 得出该区铀矿 遭受的剥蚀深度大约在 300~1000 m.

致谢: 包裹体测试过程中得到了王力和王琳琳两 位老师的热情帮助,在此致以衷心的感谢.

参考文献:

- [1]武广,孙丰月,赵财胜,等.额尔古纳成矿带西北部金矿床流体包裹 体研究[J].岩石学报,2007,23(9):2227—2240.
- [2]徐美君,许文良,孟恩,等.内蒙古东北部额尔古纳地区上护林--向阳 盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征 [J].地质通报,2011,30(9):1321—1338.
- [3]武广,糜梅,高峰军,等.满洲里地区银铅锌矿床成矿流体特征及矿 床成因[J].地学前缘,2010,17(2):239—255.
- [4]李锦轶,张进,杨天南,等.北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造 分区与构造演化[J].吉林大学学报:地球科学版,2009,39(4): 584—605.
- [5]Li J Y. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian ocean and subduction of the Paleo-Pacific plate [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 26: 207—224.
- [6] Jia D C, Hu R Z, Lu Y, et al. Collision belt between the Khanka block and the North China block in the Yanbian Region, Northeast China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 23: 211–219.
- [7]孙德有,吴福元,张艳斌,等. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的 最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据 [J]. 吉林大学 学报 地球科学版, 2004, 34(2): 174—181.
- [8]Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. The Heilongjiang Group: A Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 30: 542–556.
- [9]王伟,许文良, 王枫, 等. 满洲里-额尔古纳地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年代学与岩石组合:对区域构造演化的制约[J]. 高校地质学 报,2012, 18(1): 88—105.
- [10]王晰. 内蒙古满洲里地区内生铀及多金属矿床特征及成矿条件 [D]. 吉林大学硕士论文, 2010.
- [11]张国全,胡瑞忠,商朋强,等.华南花岗岩型铀矿床成矿机理研究进展[J].矿物岩石地球化学通报,2007,26(4):399—404.
- [12] 戚华文,胡瑞忠.华南花岗岩岩浆期后热液与铀成矿热液的初步对 比[J].矿物学报,2000,20(4):401—405.
- [13]胡瑞忠,李朝阳,倪师军,等. 华南花岗岩型铀矿床成矿热液中∑ CO₂来源研究[J].中国科学, 1993, 23(2): 189—196.
- [14]卢焕章 范宏瑞 倪培 等. 流体包裹体[M]. 北京 科学出版社, 2004.
- [15]任云生,富恩,赵华雷,等.延边杨金沟大型白钨矿矿床流体包裹体 特征及成因探讨[J].吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4): 764—772.
- [16]卢焕章. 流体不混溶性和流体包裹体[J]. 岩石学报, 2011, 27(5): 1253—1261.
- [17]张树明,王蕾,蒋振频,等. 邹家山铀矿床流体包裹体研究[J]. 铀矿 地质, 2009, 25(5): 263—269.
- [18]王蕾. 流体包裹体分析方法在铀矿床研究中的应用——以相山铀 矿田邹家山–沙洲矿床为例[J]. 铀矿地质, 2011, 27(6): 331—369.
- [19]王蕾,张树明,蒋振频,等.相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究 [J].大地构造与成矿学,2008,32(4):500—508.