

# 纳米比亚欢乐谷地区白岗岩铀矿床 成矿流体演化特征

陈金勇<sup>1,2)</sup>, 范洪海<sup>1,2)</sup>, 王生云<sup>1,2)</sup>, 顾大钊<sup>1,2)</sup>

1) 核工业北京地质研究院, 北京, 100029;

2) 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室, 北京, 100029

纳米比亚罗辛 (Rössing) 铀矿床是世界上著名的白岗岩型铀矿 (Berning et al., 1976)。随着地质工作的开展, 在其周边的瓦伦西亚 (Valencia)、罗辛南 (Rössing South)、Ida Dome、Goanikontes、欢乐谷 (Gaudeamus) 等地区相继发现白岗岩型铀矿 (Nex and Kinnaird, 1995; Kinnaird and Nex, 2007; Chen et al., 2013)。通过对白岗岩独居石 U-Pb 年代学研究表明, 其形成年龄为  $509 \pm 1 \text{Ma}$ , 与原生晶质铀矿的形成年龄 ( $508 \pm 2 \text{Ma}$ ) 基本一致 (Briqueu et al., 1980; Nex et al., 2001)。但是对白岗岩型铀矿的形成机制却存在诸多歧义, Nex 等 (2001) 认为白岗岩型铀矿仅由岩浆结晶分异作用形成, 没有受到热液的改造; Herd (1996) 则在矿化白岗岩中发现有后期流体, 但仅与硅钙铀矿等次生铀矿的形成有关<sup>①</sup>; 而陈金勇等 (2013) 在矿化白岗岩中发现沥青铀矿, 表明白岗岩型铀矿是由原始岩浆的结晶分异作用以及后期热液的叠加改造作用所形成。究其原因就是对后期热液的叠加改造尚未取得统一认识。

## 1 成矿地质背景

纳米比亚的大地构造单元从南到北可细分为: 北带、北部中央带、南部中央带、Okahandja 线性构造带、南带和南部边缘带 (Kinnaird and Nex, 2007)。其中所有白岗岩型铀矿床全部发育于中央带。欢乐谷地区大地构造位置归属于达马拉造山带的南部中央带。该地区出露的主要地层有: Abbabis 杂岩体、艾杜西斯组 (Etusis)、可汗组 (Khan)、罗辛组 (Rössing)、楚斯组 (Chuosis)、卡里毕比组 (Karibib)、卡塞布组 (Kuseib) (Miller, 1983)。研

究区广泛发育白岗岩, 共有 6 类, 其岩石学特征各不相同。矿区内构造发育, 主要有穹窿构造、断裂构造、片理化构造及韧性剪切带。穹窿构造总体呈椭圆状, 轴向为北东向, 韧性剪切带也呈北东向, 断裂根据走向可分为四个方向: 北东向断裂、北西向断裂、近东西向和南北向断裂, 主断裂为北东向的千岁兰断裂。

## 2 铀矿化特征

通过镜下观察和电子探针分析, 白岗岩型铀矿床中铀主要以独立铀矿物的形式存在, 另有少量类质同像形式的铀存在于钍矿物、锆石、榍石、独居石和磷灰石中。成矿过程大体可以划分为三期: 岩浆作用期、热液叠加改造期和表生氧化期。其中, 岩浆作用期为主成矿期, 铀矿物包括晶质铀矿、钍铀矿、贝塔石、钛铀矿、自形铀石、铀钍石等; 热液叠加改造期的铀矿物有脉状铀石和沥青铀矿; 表生氧化期的铀矿物为硅钙铀矿和钒钾铀矿等。因此, 欢乐谷地区白岗岩型铀矿是由原始岩浆的结晶分异作用、后期热液的叠加改造作用及表生淋积作用的综合产物。

## 3 成矿流体特征

Sr-Nd-Pb 同位素、稳定同位素与流体包裹体地球化学研究表明, 该地区白岗岩型铀矿主成矿期铀主要来源于前达马拉富铀基底, 以铀氧络离子基团 ( $\text{UO}_4^{4-2n}$ ) 和铀的卤化物 ( $\text{UCl}_4$  和  $\text{UF}_4$ ) 形式迁移, 主成矿期温度范围集中于  $470^\circ\text{C} \sim 530^\circ\text{C}$ , 盐度为  $3.55\% \sim 9.60\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$ , 均值为  $6.14\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$ , 压

注: 本文为核能开发-非洲中南部古老地块铀矿综合识别评价技术及应用研究项目成果。

收稿日期: 2015-02-28; 改回日期: 2015-03-14; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 陈金勇, 男, 1984 年生。博士, 岩石地球化学专业。Email: jinyong20060309@163.com。

力范围为 247~284.5MPa, 平均为 257.3MPa, 成矿深度为 8.1~9.3km, 平均为 8.4km。后期热液主要来自深部流体与大气水的混合, 铀主要来自之前铀矿物的活化, 并以碳酸铀酰络离子 ( $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$  和  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ ) 形式迁移, 叠加改造期温度范围集中于 150~220℃, 盐度为 4.65%~19.05% NaCleq, 均值为 11.5% NaCleq, 压力范围为 38.6~267.6MPa, 平均为 172.2MPa, 深度为 1.3~8.7km, 平均为 5.6km。

#### 4 结论

纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿主要经历两期成矿流体, 主成矿期流体为岩浆晚期的残余高温低盐度热液, 温度集中于 470℃~530℃, 盐度为 3.55%~9.60% NaCleq; 叠加改造期流体属于中-低温、低盐度热液, 温度集中于 150℃~220℃, 盐度为 4.65%~19.05% NaCleq。

#### 注 释 / Notes

- ① Herd D A. 1996. Geochemistry and mineralisation of alaskite in selected areas of the Rössing Uranium Mine, Namibia. M.Sc. dissertation (unpubl.), University of St. Andrews, Scotland. 1-144.

#### 参 考 文 献 / References

- 陈金勇, 范洪海, 陈东欢, 顾大钊, 王生云. 2013. 纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿物特征研究. 地质论评, 59 (5): 962~970.
- Berning J, Cooke R, Hiemstra S A, Hoffman U. 1976. The Rössing Uranium Deposit, South West Africa. *Economic Geology*, 71: 351~368.
- Briqueu L, Lancelot J R, Valois J P, Walgenwitz F. 1980. 'Géochronologie U-Pb et genèse d'un type de minéralisation uranifère: les alaskites de Goanikontès (Namibie) et leur encaissant'. *Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf. Aquitaine* 4: 759~811.
- Kinnaird J A, Nex P A M. 2007. A review of geological controls on uranium mineralisation in sheeted leucogranites within the Damara Orogen, Namibia. *Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B)* 116, 2: 68~85.
- Nex P A M, Kinnaird J A. 1995. Granites and their mineralisation in the Swakop River area around Goanikontes, Namibia. *Communications of the Geological Survey of Namibia*, 10: 51~56.
- Nex P A M, Kinnaird J A, Oliver G J H. 2001. Petrology, geochemistry and uranium mineralisation of post collisional magmatism around Goanikontes, southern Central Zone, Namibia. *Journal of African Earth Sciences*, 33: 481~502.
- Miller R. McG. 1983. The Okahandja Lineament, a fundamental tectonic boundary in the Damara Orogen of South West Africa/Namibia. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 82: 349~361.