

# 纳米比亚欢乐谷地区黑云母花岗岩 年代学、地球化学及意义

王云生<sup>1,2)</sup>, 范洪海<sup>1,2)</sup>, 陈东欢<sup>1,2)</sup>, 陈金勇<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

纳米比亚达马拉造山带 (Damara Orogen) 中央带以出露巨量的侵入岩为特征, 出露面积至少 75000km<sup>2</sup>, 超过 300 多个侵入体, 出露的侵入岩中, 96% 为花岗质岩石, 4% 为钙碱系列的辉长岩质和花岗闪长岩质的岩石 (Miller, 1983)。欢乐谷地区 Salem 型黑云母花岗岩作为达马拉造山运动的众多产物之一, 目前对于其岩浆源区、成因类型及构造背景还没有系统的报道。鉴于此, 本文将通过对欢乐谷地区黑云母花岗岩进行详细的锆石 U-Pb 同位素定年工作、地球化学特征的研究, 探讨黑云母花岗岩的成岩年龄、岩浆源区、成因类型及构造背景。

## 1 区域地质背景及岩体地质

横贯非洲大陆的达马拉造山带 (Damara Orogen), 属于泛非造山带的一部分, 为晚前寒武纪至早古生代 (650Ma 至 460Ma) 的造山带, 是 Kalahari 和 Congo 克拉通碰撞的产物 (Coward, 1983; Oliver, 1994)。达马拉造山带分为北东向内陆分支和近南北向海岸分支。Congo 克拉通和 Kalahari 克拉通之间 400 多公里宽的陆内分支, 根据航磁解译的线性构造带等划分为不同的带。欢乐谷地区大地构造位于达马拉造山带的南部中央带。该带以广泛分布基底为核的穹窿构造、侵入大量的花岗岩类 (Miller, 1983) 和经历了低压高温变质作用 (高角闪岩相至麻粒岩相) 为显著特征 (Basson and Greenway, 2004)。

黑云母花岗岩在研究区出露面积相对较小, 主要出露在欢乐谷地区西北侧。该岩石即前人认为的 Salem 型花岗岩 (Marlow, 1983; Miller, 1983, 2008),

是不同时代的花岗闪长岩、花岗岩和石英二长岩的总称 (Marlow, 1983); Brandt (1985) 指出 Salem 型花岗岩包括造山前、同造山和造山期后的花岗岩类。欢乐谷地区的黑云母花岗岩岩体中节理、变形面理等较为发育, 岩石中黑云母含量高, 黑云母呈现定向排列的特点。岩石新鲜面呈灰黑色, 主要为中粗粒结构、块状构造, 岩石主要由石英、斜长石、钾长石和黑云母组成, 含少量石榴子石及磁铁矿, 副矿物主要为磷灰石和榍石。部分薄片斜长石绢云母化强烈, 黑云母发生绿泥石化。

## 2 年代学特征

本次运用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年方法获得欢乐谷地区黑云母花岗岩锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄值为 540.2±3.9 Ma (95% 置信区间, MSWD = 0.97), 该年龄代表了该黑云母花岗岩的侵位结晶年龄。有些结晶环带发育的岩浆锆石中含有古老的不具结晶环带、棱角状或浑圆状的核, 代表了继承锆石的存在, 其中两个分析点的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄分别为 1907.1 Ma 和 1033 Ma, 与 Abbabis 基底杂岩的年龄相近, 可能属源区继承锆石。

## 3 元素地球化学特征

欢乐谷地区黑云母花岗岩碱质含量较高, 相对富钾, 相对贫 MnO、Ti<sub>2</sub>O 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 属于准铝质-过铝质的高钾钙碱性系列-钾玄岩系列岩石。黑云母花岗岩的稀土含量 (ΣREE) 变化较大; 轻重稀土分馏较为明显, 显示轻稀土元素相对富集, 重稀土元素相对亏损的特征; 岩石中 δEu 总体相对较小, 而

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

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

作者简介: 王云生, 男, 1984 年生。博士, 工程师, 地球化学专业。Email: wangsy2013@126.com。

且随岩石中  $\text{SiO}_2$  含量的增高而降低,说明岩浆演化的早期分离结晶作用不明显,而晚期其具有较强的斜长石的分离结晶。黑云母花岗岩的微量元素变化特征基本一致,具有相对一致的配分型式,均表现为富集 Rb、Th、U、K 和 Pb 等大离子亲石元素,相对亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素。其微量元素地球化学特征显示其具大陆地壳的特征。

黑云母花岗岩具有高的铷初始值和低的  $\epsilon\text{Nd}(t)$ , Nd 模式年龄  $T_{\text{DM}}$  为 1711~2235 Ma, 说明其源区以壳源为主。但黑云母花岗岩的 Sr、Nd 同位素组成都有很大的变化范围,而均一源区物质部分熔融不可能产生这么大的同位素组成变化。因此,该 Sr、Nd 同位素组成暗示黑云母花岗岩是由幔源玄武质岩浆和硅铝质岩浆混合形成;且其 Pb 同位素组成同样显示了混合成因的特点。由于花岗岩普遍经历了较强的结晶分异作用,少量幔源物质加入形成的岩浆结晶分异之后难以保存幔源“痕迹”,因而在主量元素和微量元素特征上并未表现出显著的幔源信息。因而,黑云母花岗岩由硅铝质岩浆和少量幔源岩浆混合形成。

#### 4 源区示踪

继承锆石是示踪岩浆源区性质的有效指示剂 (Keay et al., 1997)。在黑云母花岗岩中获得的继承锆石  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分别为  $1907.1\pm 10\text{Ma}$  和  $1033\pm 18\text{Ma}$ , 与 Abbabis 基底片麻岩的原岩年龄相当 (Kröner et al., 1991), 暗示岩浆源区存在基底物质。黑云母花岗岩的 Sr-Nd-Pb 同位素特征指示其主要来源于古老基底地壳物质的熔融,也有少量地幔物质的加入。欢乐谷地区的黑云母花岗岩主微量元素地球化学特征显示,其可能主要来源于古老基底贫粘土碎屑岩的重熔。

#### 5 构造背景及形成机制探讨

欢乐谷地区黑云母花岗岩出露规模相对其它类型的花岗质岩石,其总量相对较少。岩体呈岩基形式产出,围岩因岩浆侵入而发生变形,围岩原有的构造靠近接触带也受到了干扰,显示了主动侵位岩体构造型式。在岩石构造判别图解中,黑云母花岗岩主要落入碰撞后花岗岩的区域。因此,黑云母花岗岩的形成机制可能是受 Kalahari 克拉通俯冲的影响,在挤压动力学背景下岩石圈地幔加厚,在随

后向拉张转化的动力学背景下,减压熔融形成少量幔源岩浆发生底侵,为陆壳(达马拉基底)熔融提供热量,发生幔源岩浆与地壳重熔形成的岩浆混合,在深位岩浆房中发生分异(熔离分异和结晶分离)作用,并沿深断裂随机地上升、同化围岩、侵位冷凝形成。

#### 参 考 文 献/References

- Basson I J and Greenway G. 2004. The Rössing Uranium Deposit: A product of late-kinematic location of uraniferous granites in the Central Zone of the Damara Orogen, Namibia. *Journal of African Earth Sciences*. 38: 413-435.
- Brandt R. 1985. Preliminary report on the Stratigraphy of the Damara sequence and the geology and geochemistry of Damaran granites in an area between Walvis Bay and Karibib. *Communications of the Geological Survey of Namibia*, 1: 31-43.
- Coward M P. 1983. The Tectonic history of The Damara Belt. In: Miller, R. McG. (ed.), *Evolution of the Damara Orogen of South West Africa/Namibia*. Geological Society of South Africa, Special Publications, 11: 409-422.
- Keay S, Collins W J and McCulloch M T. 1997. A three-component mixing model for granitoid genesis: Lachlan Fold Belt, eastern Australia. *Geology*, 25: 307-310.
- Kröner A, Retief E A, Compston W, Jacob R E, Burger A J. 1991. Single-age and conventional zircon dating of remobilised basement gneisses in the central Damara belt of Namibia. *South African Journal of Geology* 94: 379-387.
- Marlow A G. 1983. Geology and Rb-Sr geochronology of mineralised and radioactive granites and alaskites, Namibia. In: Miller R. McG., ed., *Evolution of the Damara Orogen of South West Africa/Namibia*. Geological Society of South Africa, Special Publication 11, pp. 289-298.
- Miller R, McG. 1983. The Pan-African Damara Orogen of South West Africa/Namibia. In: Miller R, McG. (ed.), *Evolution of the Damara Orogen of South West Africa/Namibia*. Geological Society of South Africa, Special Publications, 11: 431-515.
- Miller R, McG. 2008. *The Geology of Namibia*, Vols. I and II. Geological Survey of Namibia Special Publication.
- Oliver G J H. 1994. Mid-crustal detachment and domes in the Central Zone of the Damara Orogen, Namibia. *Journal of African Earth Sciences* 19: 331-344.