

辽东硼矿床电气石岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年 及其地质意义

刘敬党^{1,2}, 张艳飞^{1,2}, 肖荣阁³

(1 辽宁省化工地质勘查院, 辽宁 锦州 121000; 2 辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000; 3 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

辽东硼矿床电气石岩的成因一直存在着争议,分歧的原因在于,关于电气石岩形成时代的确定尚缺少精确的年代学研究,而这对全面了解辽东电气石岩的成岩成矿过程,乃至辽东古元古代构造热事件及其演化都缺乏足够资料支持。鉴于此,本文报道最新获得的辽东硼矿床电气石岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试结果,并结合前人有关岩相学和地球化学等方面的研究,重点对电气石岩的形成时代及其与辽东硼矿床的成因关系等进行讨论,并分析相应的成岩成矿模式。电气石岩的形成时代的准确厘定,对于该区古元古代地质演化和硼矿资源的进一步找寻都具有重要意义。

1 地质背景与样品描述

辽吉硼矿带位于中朝克拉通东北部的辽吉地块,属胶辽台隆北部的营口-宽甸-集安台拱。研究区出露地层主要为古元古界辽河群。在硼矿体顶底板局部地段电气石高度富集,尤以底板电气石最为富集,形成电气石岩,显然其与硼矿成矿有着密切的联系。电气石岩表面呈灰黑色,主要由电气石和少量的石英组成,电气石含量一般在 60%~90%,此外含少量微斜长石、钠长石、黑云母、角闪石和一些副矿物,副矿物以磁铁矿为主,常含少量锆石。电气石之间或电气石与石英之间呈 120°平衡镶嵌关系,具有典型的粒状变晶结构,局部出现筛状变晶结构。

2 锆石特征和测定结果

锆石粒度较小,形态为半自形到自形、短柱状到长柱状,晶棱多有圆滑。锆石 CL 图像显示,大部分锆石具有明显的核-边结构或核-幔-边结构。核部锆石具有亮白的 CL 图像,大多具有明显的振荡环带,部分具有不规则的港湾状碎屑锆石轮廓,为具有韵律环带的岩浆结晶成因(Rubatto et al., 2000; Rubatto, 2002)的碎屑锆石。边部锆石 CL 呈灰黑色发育有微弱环带,部分可见边部锆石区域切割核部锆石的振荡环带(Pidgeon et al., 1998; Liati et al., 1999; Hoskin et al., 2000),具有变质增生锆石的特点(吴元保等, 2004)。内核锆石 19 个数据点分析, U、Th 含量和 Th/U 值分别为 $123 \times 10^{-6} \sim 944 \times 10^{-6}$, $67 \times 10^{-6} \sim 274 \times 10^{-6}$ 和 0.13~1.13。部分数据点存在不同程度铅丢失。除 10.1C、19.1C、2.1C 和 6.1C 外,其余 15 个数据点给出 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄 $(2175 \pm 5) \text{ Ma}$ (MSWD=0.81)。16 个边部变质锆石数据点分析, U、Th 含量和 Th/U 值分别为 $467 \times 10^{-6} \sim 714 \times 10^{-6}$, $14 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ 和 0.02~0.06。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄 $(1906 \pm 4) \text{ Ma}$ (MSWD=1.5)。

3 讨论和结论

3.1 原岩属性

根据野外和室内研究结果表明:电气石岩具有 2 个特点:岩层厚度大、类型齐全,且连续性好;与硼矿体具有密切的空间分布关系。该变质岩石发育宽、窄不等的黑、白条带,反应其原岩在沉积时,层与层之间在成份上的差异。电气石岩中锆石,多为老核新壳的变质复合锆石,老核多为发育韵律环带的岩浆碎屑锆石,SHRIMP 定年结果还表明,其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $(2055 \pm 5.7) \sim (2197 \pm 13) \text{ Ma}$,最大 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(2302 \pm 31) \text{ Ma}$ 。而多时代的岩浆碎屑锆石集中在一起,说明其寄主岩不可能是岩浆岩,只能是沉积岩。岩石化学成分的研究对电气石岩的恢复结果也是沉积岩。因此,矿物组合、矿物化学和岩石化学特征都显示副变质岩特点,锆石的内部构造特征均揭示该区电气石岩的原岩为沉积岩。但近年的研究均侧重于该类岩石的原岩是典型的热液沉积岩,但无论如何,该岩石的原岩是沉积岩,而不应是岩浆岩。

3.2 电气石岩的成岩和原岩时代

根据锆石 SHRIMP 定年结果表明, 其成岩时间为 $(1\ 906 \pm 4)$ Ma, 相当于古元古代中—晚期, 此年龄值与前人在辽河群一个主要韧性剪切带获得黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 $(1\ 896 \pm 7)$ Ma (Yin et al., 1996), Fature 等 (2004) 在辽东地区获得的镁铁-超镁铁岩墙群的角闪石矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $1\ 855$ Ma, 辽河群片岩变质锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $(1\ 929 \pm 38)$ Ma (Luo et al., 2004), 以及海城地区磁铁二长花岗岩变质锆石年龄 (1914 ± 13) Ma (Li et al., 2007) 在误差范围内相当一致, 但精度有所提高。并且本测年结果与 Lu 等 (2005) 获得的辽东硼矿 Pb-Pb 年龄 $((1902 \pm 12)$ Ma、 (1852 ± 9) Ma、 (1917 ± 48) Ma) 以及矿石中共生金云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $((1923 \pm 1.5)$ Ma、 (1918 ± 1.3) Ma) 相似。因此, 本测定结果可以合理地将变质作用的年龄更为精确定在 (1906 ± 4) Ma, 也进一步表明 $1\ 900$ Ma 前后辽东地区与全球 Columbia 超大陆汇聚事件 (Rogers et al., 2002; Zhao et al., 2002; 2003; 陆松年等, 2002) 相关, 发生了重要的构造热事件, 在此事件期间, 辽河群发生了强烈的区域变质作用, 导致了电气石岩的形成, 同时也使早期形成的 (热水) 沉积硼矿床 (或矿源层) 发生了较强烈的叠加改造。

根据锆石定年结果, 继承锆石 (岩浆碎屑锆石) SHRIMP U-Pb 年龄为 (2175 ± 5) Ma, 相当于古元古代中期。此年龄值与 Li 等 (2003)、Lu 等 (2004)、Luo 等 (2004) 和 Li 等 (2007) 分别用 SHRIMP 和 LA-ICP-MS U-Pb 定年从辽吉花岗岩和辽河群不同岩组获得的年龄值一致。结果表明, 华北克拉通在古元古代 $2.1 \sim 2.2$ Ga 存在一次广泛的岩浆热事件 (万渝生等, 2003), 古元古代中期中酸性岩浆活动引起海底热卤水喷溢, 携带大量硼、硅等物质随后以碎屑形式进入电气石岩原岩。

3.3 电气石岩成岩与硼矿成矿作用

辽东古元古宙裂谷是太古宙花岗岩绿岩地体的基础上发展起来的, 经历了拉伸、裂隙、沉积、挤压、褶皱和消亡的发展历史。在裂谷发展过程中, 伴随有大量火山物质、热水沉积物质的喷流。辽吉花岗岩和辽河群即是在这一过程中形成的一套以富硼、硅、钠等为特征的火山岩-沉积岩组合。

辽吉花岗岩和辽河群具有相似的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值 ($0 \sim 2$) 和 T_{DM} 值 ($2.4 \sim 2.6$ Ga), 表明它们的母岩很可能是同一个来源, 形成于相同的构造环境 (Li et al., 2006)。且据孙敏等 (1996) 对宽甸杂岩 (包括辽河群中高级变质岩系和其下的花岗质岩石) 的母岩浆和源区特征研究表明, 宽甸杂岩的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化于 $0.45 \sim 1.85$ 之间, 宽甸杂岩的母岩浆来源于同一岩浆系列——有再循环地壳物质混染的亏损地幔源。从硼同位素组成看, 区内电气石岩中电气石的 $\delta^{11}\text{B}$ 值为 $9.2\% \sim 9.7\%$, 硼矿石 $\delta^{11}\text{B}$ 值为 $10.1\% \sim 11.1\%$ (Palmer, 1993), 两者十分接近, 反应出二者的硼源相同。该硼源与蛇纹石化超基性岩的 $\delta^{11}\text{B}$ ($8.3\% \sim 12.6\%$) 十分相似, 而与蒸发成因的电气石的 $\delta^{11}\text{B}$ 值 ($18\% \sim 32\%$) (Palmer, 1989) 不同, 反映出硼质可能来自上地幔。由以上资料可以推测, 作为辽河群的一部分的电气石岩的母岩可能来源于地壳混染的地幔, 当然海水的循环下渗、地幔的排气作用也提供了大量含矿物质。

因此, 根据上述资料并结合本文定年结果, 可以推测辽东硼矿区电气石岩及硼矿床的形成过程大体为: ① $2\ 170$ Ma 之前, 中朝克拉通发生壳幔对流作用, 使得地壳物质俯冲进入亏损的上部地幔, 亏损地幔源与地壳再循环组分发生物理或化学混合作用; ② $2\ 170$ Ma 左右, 由于岩石圈地幔上涌大陆拉开形成辽东古裂谷, 引起海底频繁发生中酸性的火山活动, 海底张性构造环境内, 中酸性火山喷发作用可引起热卤水喷溢, 沿断裂通道上升至海底, 进入另一种完全不同的物理-化学体系, 加之海水的大量混入, 结果使这些富硼、硅、钠等物质迅速冷却, 以碎屑形式进入电气石岩原岩和早期硼酸盐矿体。③ $1\ 900$ Ma 前后辽东地区与全球 Columbia 超大陆汇聚事件 (Rogers et al., 2002; Zhao et al., 2002; 2003; 陆松年等, 2002) 相关, 发生了重要的构造-热事件, 辽河群发生了褶皱回返及强烈的区域变质作用, 导致电气石矿物的形成继而形成电气石岩, 同时也使早期形成的沉积硼矿床发生了较强烈的叠加改造, 使硼进一步富集, 并使硼矿床重新定位, 最终定型。

参 考 文 献

- 黄作良, 莫 琨, 祖恩东. 1996. 辽东硼矿床中电气石的矿物学特征及成因意义[J]. 岩石矿物学杂志, 15(4): 365-378.
- 李三忠, 韩宗珠, 刘永江, 杨振升, 马 瑞. 2001. 辽河群区域变质特征及其大陆动力学意义[J]. 地质论评, 47(1): 9-18.
- 陆松年, 杨春亮, 李怀坤, 陈志宏. 2002. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆[J]. 地学前缘, 9(4): 225-233.
- 路孝平, 吴福元, 林景钊, 孙德有, 张艳斌, 郭春丽. 2004a. 辽东半岛南部早前寒武纪花岗质岩浆作用的年代学格架[J]. 地质科学, 39(1): 123-138.
- 路孝平, 吴福元, 张艳斌, 赵成弼, 郭春丽. 2004b. 吉林南部通化地区古元古代辽吉花岗岩的侵位年代与构造背景[J]. 岩石学报, 20(3): 381-39.
- Li S Z and Zhao G C. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Liaoji granitoids: Constraints on the evolution of the Palaeoproterozoic Jiao-Liao-Ji belt in the Eastern Block of the North China Craton[J]. Precambrian Research, 158: 1-16.
- Luo Y, Sun M, Zhao G C, Li S Z, Xu P, Ye K and Xia X P. 2004. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the Liaohe Group in the Eastern Block of the North China Craton: Constraints on the evolution of the Jiao-Liao-Ji Belt[J]. Precambrian Research, 134: 349-371.
- Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A and Sun M. 2002. Review of $2.1\text{-}1.8\text{Ga}$ orogens: Implications for a pre-Rodinia supercontinent[J]. Earth-Science Reviews, 59: 125-162.