

浅谈热液流体交代作用对锆石 U-Pb 年龄的影响： 来自焦冲辉石闪长岩的证据

王蒙, 范子良, 徐晓春, 江峰, 黄马, 何俊
合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥, 230009

铜陵地区是长江中下游铁铜多金属成矿带中的一个重要矿集区, 发育一系列与成矿作用密切相关的中酸性侵入岩。近年来, 应用锆石 U-Pb 定年技术在铜陵矿集区开展同位素年代学研究, 获得了一批精细的年龄数据, 对于深化区域岩浆作用及其与成矿关系的认识, 具有重要意义。研究表明, 铜陵矿集区侵入岩的锆石 U-Pb 年龄为 152~133Ma, 大多集中在 147~135Ma 之间(徐晓春等, 2012), 侵入岩的成因机制更有多种成因观点(常印佛等, 1991; 唐永成等, 1998; 张旗等, 2001; 王强等, 2003; 吴才来等, 2003; 狄永军等, 2005; 杜杨松等, 2010; 谢建成等, 2012; Yan et al., 2015)。本文旨在通过铜陵矿区焦冲辉石闪长岩锆石 U-Pb 同位素年代学研究, 进一步揭示侵入岩的成岩过程及成岩后的变化, 探索岩浆作用的特征。

1 岩石学和岩石化学特征

铜陵矿集区出露有大约 70 多个侵入岩体, 形态、大小和产状等特征各不相同, 显示区内岩浆活动剧烈而又频繁。区内侵入岩主要有花岗闪长岩、石英闪长岩和辉石闪长岩等三种岩性, 其中辉石闪长岩中的锆石特征明显不同于花岗闪长岩和石英闪长岩(徐晓春等, 2008; 王世伟, 2014)。辉石闪长岩侵入岩的代表性岩体有白芒山、舒家店、焦冲和毛连头。本文选取了焦冲辉石闪长岩开展了锆石 LA-ICP MS U-Pb 同位素年代学研究。

焦冲辉石闪长岩标本呈灰黑色, 半自形中-细粒结构, 组成矿物主要为斜长石、角闪石和辉石, 少量黑云母和石英。斜长石含量约 65%, 聚片双晶

发育, 呈自形板条状。角闪石含量约 15%, 黄绿色, 强多色性, 半自形长条状, 具两组解理。辉石呈短柱状, 含量约 10%, 半自形-自形。焦冲辉石闪长岩 SiO₂ 含量 49.53%~55.16%, Al₂O₃ 6.73%~17.81%, CaO 5.78%~10.27%, Na₂O 3.41%~4.52%, K₂O 2.33%~3.56%, K₂O+Na₂O 6.12%~7.81%, 属高钾钙碱性系列中酸偏基性岩石。

2 锆石特征

在焦冲辉石闪长岩样品中选定了 28 颗锆石, 单矿物分选在河北廊坊诚信地质公司完成, 阴极发光图像在北京锆石领航科技有限公司完成。图 1 为被测锆石的阴极发光图像、测定点位和相应的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 视锆石年龄。

锆石阴极发光图像显示, 单颗粒锆石较为破碎, 多呈他形-半自性晶, 具有岩浆溶蚀现象且颗粒较小, 锆石长轴约 65~150μm, 短轴约 40~80μm, 长宽比约 1.6~1.9。根据 CL 图像重锆石颜色的不同可将锆石分为两部分, 其中 01、02、04、05、06、07、08、09、10、11、12、13、14 和 18 号共计 14 颗锆石呈纯黑色, 且都不发育环带结构; 03、15、16、17、19、20、21、22、23、24、25、26、27、28 号共 14 颗锆石呈灰白色, 虽然比较破碎, 但均不同程度的发育了岩浆环带结构。

焦冲辉石闪长岩锆石稀土元素分析结果显示: ΣREE 范围在 611.70×10⁻⁶~6335.73×10⁻⁶, LREE 范围在 74.98×10⁻⁶~1914.70×10⁻⁶, HREE 范围在 536.72×10⁻⁶~4686.67×10⁻⁶, LREE/HREE 比值范围在 0.08~0.43; δEu 范围为 0.30~0.44, 均值为 0.41,

注: 本文受国家自然科学基金项目(编号 414720066 和 41172085)资助

收稿日期: 2015-09-20; 改回日期: 2015-09-26; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 王蒙, 男, 1991 年生, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: hfgywangmeng@163.com。通讯作者: 徐晓春, 男, 1961 年生, 教授, 博士生导师, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: xuxicoach@sina.com。

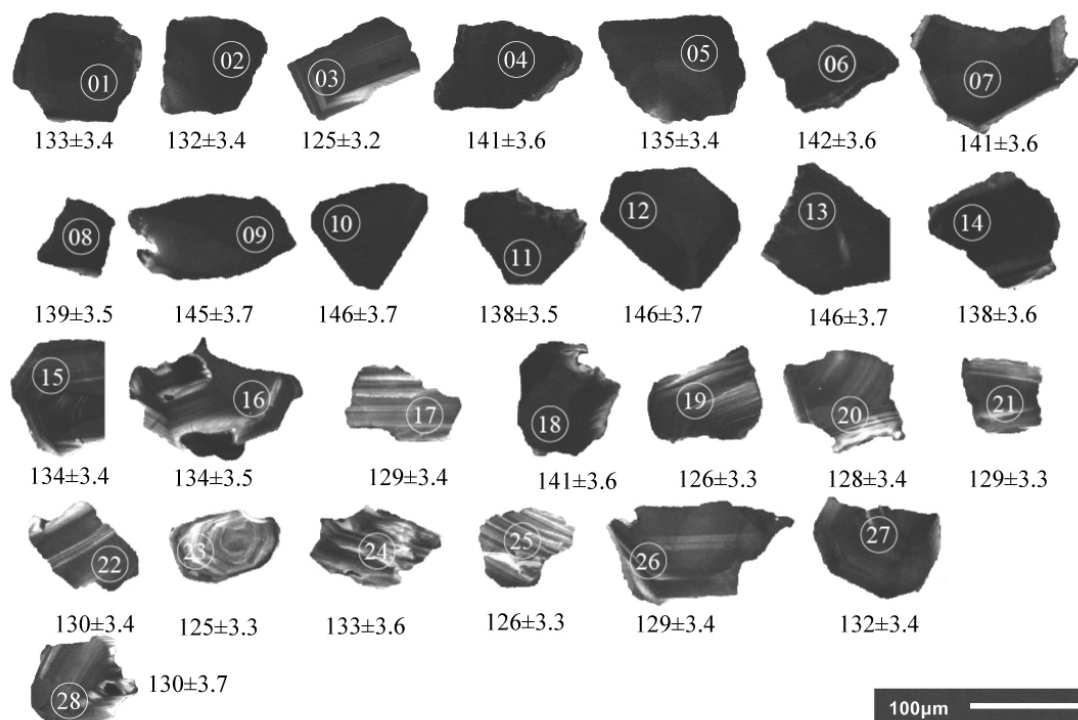


图1 焦冲辉石闪长岩锆石阴极发光图像 (CL 图像)

具有负异常; δCe 范围为 8.52 ~ 248.81, 均值为 36.44, 具有较高正异常。轻重稀土分馏明显, 重稀土元素相对富集。

14 颗黑色锆石的稀土元素分析结果显示: ΣREE 范围在 $1837.99 \times 10^{-6} \sim 6335.17 \times 10^{-6}$, LREE 范围在 $268.37 \times 10^{-6} \sim 1914.70 \times 10^{-6}$, HREE 范围在 $1569.65 \times 10^{-6} \sim 4686.67 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 比值范围 0.14 ~ 0.43; δEu 范围为 0.291 ~ 0.436, 均值为 0.371, 具有负异常; δCe 范围为 8.5 ~ 54.0, 均值为 17.852, 具有较高正异常。14 颗灰白色锆石的稀土元素分析结果显示: ΣREE 范围在 $611.70 \times 10^{-6} \sim 5184.89 \times 10^{-6}$, LREE 范围在 $74.98 \times 10^{-6} \sim 590.38 \times 10^{-6}$, HREE 范围在 $536.72 \times 10^{-6} \sim 4594.51 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 比值范围在 0.09 ~ 0.14; δEu 范围为 0.33 ~ 0.44, 均值为 0.38, 具有负异常; δCe 范围为 10.8 ~ 248.8, 均值为 51.5, 具有较高正异常。从分析结果数据显示, 黑色锆石相比于灰白色锆石, 轻稀土元素元素相对富集, 而两类锆石的重稀土元素含量没有大的差异。

14 颗黑色锆石元素 Th 含量为 $8301 \times 10^{-6} \sim 28549 \times 10^{-6}$, 均值 18170×10^{-6} , U 含量为 $3274 \times 10^{-6} \sim$

9265×10^{-6} , 均值 6517×10^{-6} , Th/U 比值 2.39 ~ 5.75, 元素 Pb 含量为 $118.1 \times 10^{-6} \sim 373.0 \times 10^{-6}$; 其余 14 颗灰白色锆石元素 Th 含量为 $641 \times 10^{-6} \sim 5834 \times 10^{-6}$, 均值 2362×10^{-6} , U 含量为 $816 \times 10^{-6} \sim 1709 \times 10^{-6}$, Th/U 比值 0.77 ~ 3.40, 元素 Pb 含量为 $19.88 \times 10^{-6} \sim 71.50 \times 10^{-6}$ 。结果显示, 14 颗黑色锆石中 U 、 Th 、 P 的含量高于 14 颗灰白色锆石中 U 、 Th 、 P 的含量。

根据对锆石稀土元素及 U 、 Th 、 Pb 元素含量的分析, 可以得出, 焦冲辉石闪长岩中的黑色锆石可能受到了富含 U 、 Th 、 Pb 的热液流体不同程度的改造, 使锆石的外部形态和内部元素的含量发生不同程度的变化。

3 锆石 U-Pb 年龄

本次实验共测定了 28 个分析点, 锆石的 U-Pb 同位素测年在合肥工业大学 LA-ICP MS 实验室完成, 采用激光探针等离子质谱法(LA-ICP MS), 由 ICP-MS 和激光剥蚀系统联机完成, 根据阴极发光图像选择典型的岩浆锆石圈定位置进行锆石 U-Pb 测年分析。数据处理采用 ICP-MS DataCal 软件, 详细分析方法见 Yuan et al (2004)和 Liu et al (2010)。

这 28 颗焦冲辉石闪长岩锆石谐和图显示的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $134.3 \pm 2.6\text{Ma}$ ($n = 28, \text{MSWD} = 3.8$), 符合前人实验所得到的铜陵矿集区侵入岩的锆石 U-Pb 年龄 (徐晓春等, 2012)。

辉石闪长岩中 14 颗黑色锆石谐和图显示的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $140.0 \pm 2.7\text{Ma}$ ($n = 14, \text{MSWD} = 1.7$), 锆石年龄范围在 $132 \pm 3.4\text{Ma} \sim 146 \pm 3.7\text{Ma}$; 其余 14 颗灰白色锆石谐和图显示的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $129.2 \pm 1.8\text{Ma}$ ($n = 14, \text{MSWD} = 0.81$), 锆石年龄范围在 $125 \pm 3.2\text{Ma} \sim 134 \pm 3.5\text{Ma}$ 。

前人对铜陵焦冲辉石闪长岩的锆石年龄研究显示, 该地区辉石闪长岩体的锆石加权平均年龄为 $122 \pm 1\text{Ma}$ (张志辉等, 2013), 显然 14 颗黑色锆石年龄大于该值, 而其余 14 颗灰白色锆石的年龄则接近前人所做年龄。说明所获得的较小的年龄更能最真实的反映辉石闪长岩的成岩年龄。

需要主意的是, 在黑色高适中的 1、2、5 和 15 号锆石, 测试所得到的 U-Pb 年龄分别为 $133 \pm 3.4\text{Ma}$ 、 $132 \pm 3.4\text{Ma}$ 、 $135 \pm 3.4\text{Ma}$ 和 $134 \pm 3.4\text{Ma}$, 相比其余的 8 颗黑色锆石, U-Pb 年龄相对较小, 但是锆石中 U、Th 和 Pb 元素的含量高。由此可以得出, 这 4 颗锆石虽然也受到了热液流体交代作用的影响, 但是相对其他 8 颗黑色锆石, 锆石的 U-Pb 同位素体系并没有被完全破坏, 因而锆石 U-Pb 年龄较小而 U、Th、Pb 元素含量较高。可以确定这 4 颗锆石的 U-Pb 年龄并不能代表被热液流体交代的黑色锆石的年龄。

4 讨论和结论

(1) 锆石 CL 图像显示, 焦冲辉石闪长岩中的锆石较为破碎, 具溶蚀现象, 而且一部分锆石为黑色无环带, 另一部分锆石呈浅色发育环带, 其中黑色无环带的锆石普遍较浅色有环带的锆石 Th、U、Pb 的含量高, 可能受到了后期热液流体的改造作

用, 使锆石外部形态和内部元素的含量发生不同程度的改变, 并导致了部分锆石中 U-Pb 同位素体系发生了破坏, 造成锆石年龄测试结果比真实值偏大。

(2) 锆石 LA-ICP MS U-Pb 定年显示, 焦冲地区辉石闪长岩的年龄可分为两类, 颜色呈纯黑色无环带结构的锆石加权平均年龄为 $140.0 \pm 2.7\text{Ma}$, 颜色呈灰白色且具有环带结构的锆石加权平均年龄为 $129.2 \pm 1.8\text{Ma}$ 。

(3) 锆石 U-Pb 定年结果表明, 焦冲地区辉石闪长岩锆石样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄可分为两部分, 其中 $138 \pm 3.5\text{Ma} \sim 146 \pm 3.7\text{Ma}$ 年龄范围的、呈纯黑色的锆石受热液影响较大, 不能反映辉长石岩体的真实成岩年龄; 而 $125 \pm 3.2\text{Ma} \sim 134 \pm 3.5\text{Ma}$ 年龄范围的灰白色锆石, 可以反映辉长石岩体的真实成岩年龄。

参 考 文 献 / References

- 徐晓春, 白如玉, 谢巧勤, 楼金伟, 张赞赞, 刘启能, 陈立微, 2012, 安徽铜陵中生代侵入岩地质地球化学特征再认识及成因讨论, 岩石学报, 21~22
- 徐晓春, 路三明, 谢巧琴, 楼金伟, 褚平利, 2008, 安徽铜陵冬瓜山铜金矿床流体包裹体微量元素地球化学特征及其地质意义, 岩石学报
- 王世伟, 周涛发, 袁锋, 范裕, 俞沧海, 葛岭虹, 石诚, 池月余, 2014, 安徽沙溪斑岩型铜金矿床成岩序列及成岩成矿年代学研究, 岩石学报。
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 中国东部新生代侵入体的锆石激光探针年龄测定与稀土元素成分分析: 对渐新世幔源岩浆底侵作用和地壳抬升的指示. 科学通报, 48(14):1511-1520.
- 柳小明, 高山, 第五春容, 袁洪林, 胡兆初. 2007. 单颗粒锆石的 $20\mu\text{m}$ 小斑束原位微区 LA-ICP-MS U-Pb 年龄和微量元素的同时测定. 科学通报, 52(2):228-235.
- 张志辉 张达 2009 安徽铜陵焦冲金硫矿床地质特征及成因研究 27~28