

锆石放射成因铅丢失对其微区原位 U-Pb 定年结果的影响及其数据校正方法

张永清

中国地质调查局天津地质矿产研究所, 天津, 300170

锆石微区原位U-Pb定年是目前最重要的同位素定年方法之一 (Simonetti et al., 2006; Cocherie et al., 2008; Johnston et al., 2009), 近年来众多学者利用该方法获得了许多精确的锆石U-Pb同位素年龄。然而锆石形成以后由于扩散作用, 蜕晶化作用, 重结晶作用和多期变质作用等造成锆石中放射成因铅不同程度的丢失 (陈道公等, 2001; 万渝生等, 2011), 导致锆石U-Pb年龄不一致, 甚至引起年龄偏离真实值, 给数据分析及地质解释带来困难。

本文结合测试过程中对实验数据的研究, 分析放射成因铅丢失对锆石微区原位U-Pb年龄结果的影响及其数据校正方法, 为准确判断年龄数据的地质意义提供依据。

1 放射成因铅丢失对锆石 U-Pb 年龄的影响

引起锆石放射成因铅丢失的原因很多, 不同的原因可能导致放射成因铅的丢失程度不同, 从而对锆石U-Pb年龄的影响程度也不同。若锆石形成以来放射成因铅丢失较少, 则U-Pb同位素分析能获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 三组在误差范围内一致、相对谐和的年龄; 而对于受多期变质作用影响的锆石, 可能由于其放射成因铅丢失较严重而无法获得准确的年龄信息 (李曙光等, 1994); 经历变质结晶作用的锆石, 可能部分或者全部丢失原来的年龄信息; 蜕晶化严重的锆石年龄信息则可能无任何地质意义。因此, 对于放射成因铅丢失的锆石U-Pb同位素年龄, 需要结合地质特征选择适当的校正方法进行校正才能获得有意义的地质年龄。如

锆石形成以来发生了放射成因Pb丢失, 且锆石中Pb的丢失由单一事件引发, 一般拟合成一条不一致线进行校正, 上交点年龄代表锆石的形成年龄, 即没有放射成因Pb丢失时的年龄。

2 校正方法

本文用不一致线的方法对放射成因铅丢失引起的年龄偏离进行校正。通过文献资料及实验测试数据分析, 根据原始数据误差和年龄计算带入的误差, 以及地质上允许的误差范围, 通常放射成因铅丢失程度在3%-5%以内时可以忽略不计, 锆石U-Pb同位素年龄数据不需要校正; 而放射成因铅丢失在5%-30%时则必须通过校正获取正确的年龄; 对于放射成因铅丢失70%以上的锆石可能无法准确校正, 难以获得准确的年龄信息。

由于放射成因铅丢失程度很难准确测定, 本文建议用不谐和度 $((1-T_{206/238}/T_{207/206}) \times 100)$ 近似代替放射成因铅丢失程度, 用不一致线的方法进行放射成因铅年龄的校正, 当不谐和度在3%-5%以内时, 即放射成因铅丢失程度在3%-5%以内可以忽略不计, 不做校正; 而不谐和度在5%-30%则需要通过不一致线的校正方法获取正确的年龄。

例如对于变质重结晶锆石, 变质重结晶作用较彻底的锆石颗粒或晶域得到的U-Pb年龄代表了变质重结晶发生的时代; 未受变质重结晶作用影响的锆石颗粒或晶域其年龄代表了相应岩石的形成年龄; 未完全重结晶的锆石晶域, 其年龄信息是原岩年龄和重结晶年龄的混合年龄, 虽然其年龄地质意义有限, 但通过数据校正, 这些混合年龄中可以发

注: 本文为中国地质调查局项目 (编号 12120114001701) 资助的成果。

收稿日期: 2015-09-28; 改回日期: 2015-09-28; 责任编辑: 刘志强。

作者简介: 张永清, 女, 1982年生。硕士, 高级工程师。从事同位素地球化学和地质年代学研究。Email: zhangyq823@163.com。

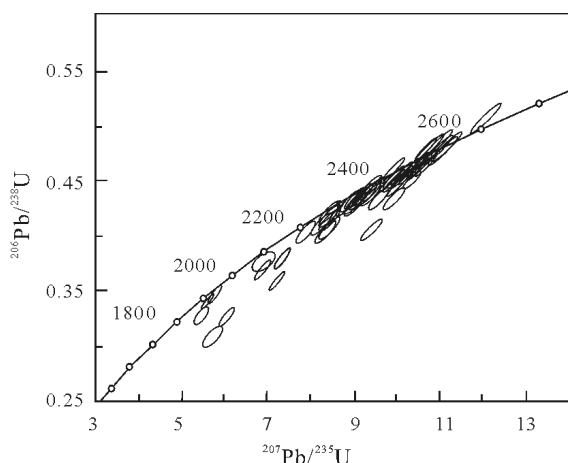


图1 数据点沿谐和线分散分布的锆石U-Pb年龄谐和图
(据万渝生等, 2011)

现有意义的数, 其年龄的最大值才最有可能代表相应岩石的形成年龄, 其年龄的最小值最有可能代表重结晶作用发生的时间(Hoskin et al., 2000; Geisler et al., 2001)。数据校正时, 选取不谐和度在5%-30%之内的数据点, 获得一条不一致线, 其上交点年龄代表锆石形成年龄, 下交点年龄代表重结晶发生的时代。

对于多期变质事件引起的放射成因铅丢失, 如时代古老的前寒武纪中深变质岩中的锆石往往经历了不止一期构造热事件的改造, 应分段进行不一致线校正以获得有地质意义的上下交点年龄; 同时, “干的”岩石体系在高级变质作用条件下, 可引起锆石U-Th-Pb体系部分开放, 使得数据点沿谐和线分散分布(万渝生等, 2011)(图1)。在这种情况下, 由于放射成因铅丢失较小, 数据点均位于谐和线附近, 不需要做校正, 进行数据选取时, 只需要结合地质成因选取最大或者最小的年龄即可, 而不是选择相近的几个数据点做加权平均年龄。

3 小结

放射成因铅丢失对锆石U-Pb同位素年龄结果的影响主要决定于其丢失程度, 数据处理分析时不能单纯依据数据分散程度, 成线的点数或线性关系

好坏, 得出加权平均年龄或者不一致线年龄, 要结合锆石本身的特征及地质成因进行分析。对于放射成因铅丢失程度较小的锆石, 可以不做年龄校正, 而放射成因铅丢失5%-30%则必须通过不一致线的校正方法获取准确的年龄, 对于放射成因铅丢失70%以上的锆石我们认为无法准确校正, 不能获得准确的年龄信息。目前对于测试得到的实验数据, 用该方法校正放射成因铅丢失引起的数据偏差也获得了较理想的效果。

参 考 文 献 / References

- 陈道公, 李彬贤, 夏群科, 吴元保, 程昊. 2001. 变质岩中锆石U-Pb计时问题评述-兼论大别造山带锆石定年. 岩石学报, 17(1): 129~138.
- 李曙光, 陈移之, 宋明春, 张志敏, 杨淳, 赵敦敏. 1994. 胶东海阳所斜长角闪岩的锆石U-Pb年龄-多期变质作用对锆石不一致线年龄影响的实例. 地球学报, 1-2: 37~42.
- 万渝生, 刘敦一, 董春艳, 刘守偈, 王世进, 杨恩秀. 2011. 高级变质作用对锆石U-Pb同位素体系的影响: 胶东栖霞地区变质闪长岩锆石定年. 地学前缘, 18(2): 17~25.
- Cocherie A and Robert M. 2008, Laser ablation coupled with ICP-MS applied to U-Pbircon geochronology: A review of recent advances. Gondwana Research, 14: 597~608.
- Geisler T, Ulonska M, Schleicher H, Pidgeon R T, Bronsijk W V. 2001, Leaching and differential recrystallization of metamict zircon under experimental hydrothermal condition. Contrib Mineral Petrol, 141: 53~65.
- Hoskin P W O, Black L P. 2000, Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. J Meta-morphic Geol, 18: 423~439.
- Johnston S, Gehrels G, Valencia V, Ruiz J. 2009. Small-volume U-Pb zircon geochronology by laser ablation-multicollector-ICP-MS. Chemical Geology, 259: 218~229.
- Simonetti A, Heaman L M, Chacko T, Banerjee N R. 2006. In situ petrographic thin section U-Pb dating of zircon, monazite, and titanite using laser ablation-MC-ICP-MS. International Journal of Mass Spectrometry, 253:87~97.