

地质与矿产

SHRIMP 锆石 U-Pb 测年方法简介

李洪奎, 田秀林, 耿科

(山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

摘要: 该文对 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测年方法从野外取样、碎样、矿物分选、制靶、显微照相和图片标记处理及测试进行了介绍, 同时对 LP-ICPMS 法和 TIMS 法进行了简要说明。SHRIMP 法对前寒武纪地质体年龄的测定具有重要定年意义。

关键词: SHRIMP U-Pb 年龄; 方法; 介绍

中图分类号: P597.3 文献标识码: A

1 概述

地质学是一门时间起特别关键作用的学科, 对时间的这种依赖性给地质现象增添了一个独一无二的维。在缺少化石记录的前寒武纪地质研究中, 同位素年代学占有举足轻重的地位。早期主要为 K-Ar 法, 之后有 Rb-Sr 法、Sm-Nd 法和 Ar-Ar 法等。锆石 U-Pb 法一直是主要方法, 但在锆石用量多少、具体测年方法等方面都有很大改进和发展。21 世纪初, 以 SHRIMP 为代表的锆石原位微区测年技术的应用, 为我国同位素年代学研究解决实际地质问题作出了重要贡献^[1]。

传统 U-Pb 法测年是将不同粒度、不同磁性的锆石组成不同的样品点, 分别进行铀铅化学分离, 然后用 TIMS 测定铀铅同位素组成。这一方法的结果, 通常不落在谐和线上, 而是与谐和线分别形成上交点和下交点, 其最大缺点是忽略了锆石成因的复杂性。一个样品中的锆石群几乎都是复成因的, 微量锆石测年可能给出没有地质意义的混合年龄, 在这一背景下, 锆石单颗粒 U-Pb 测年法应运而生, 但该方法要求极低的实验室铅本底。

目前高精度的锆石 U-Pb 年龄测定可分为 SHRIMP(高灵敏度离子探针)、LP-ICPMS(激光剥蚀分析)、TIMS 法(化学法和蒸发法)3 种, 它们都

应用了 ^{238}U 衰变为 ^{206}Pb 和 ^{235}U 衰变为 ^{207}Pb 的原理^[2]。

SHRIMP 分析: 该方法可对锆石内部微区进行分析, 一般情况下可以准确无误地获得各种成因锆石的年龄数据, 了解锆石的生长历史, 具有较高的可信度。

LP-ICPMS 分析: 该分析方法亦可对锆石微区进行分析, 但由于激光取样过程的 U/Pb 分馏, U/Pb 同位素比值精度比 SHRIMP 分析结果差, 但分析速度大大超过 SHRIMP 分析。

TIMS 分析: 可分为化学法和蒸发法, 其优点是测年精度高, 但花费费用高和测试时间长。

2 U-Pb SHRIMP 法

SHRIMP 法可将不同成因、不同世代的锆石在阴极发光 CL 图像中清晰可见, 从而可有目的的选点进行年龄测定。利用 U-Pb 同位素体系进行测年, 最为突出的是 U 具有两种放射性同位素 ^{238}U 和 ^{235}U , 分别衰变成 ^{206}Pb 和 ^{207}Pb 。通过对 U-Pb 同位素测定, 对一个测年对象可以同时获得 3 组年龄, 即 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的表面年龄。这 3 个年龄值的差异可指示在同位素平衡之后, 体系受到干扰的程度, 从而可以进行体系内部的自检和校正(图 1)。

*收稿日期: 2010-08-09; 修订日期: 2010-09-25; 编辑: 程光锁

作者简介: 李洪奎(1962—), 男, 山东昌乐人, 研究员, 主要从事区域地质调查、矿产资源勘查评价和管理工

作; E-mail: lhhkhk126@126.com。

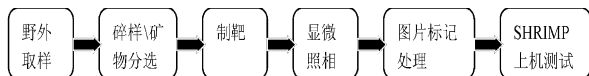


图 1 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测年流程图

2.1 野外取样

要了解被测对象的地质特征、形成条件和岩石成因,了解岩石的结构构造、岩相学与岩石学信息。要采集尽可能新鲜的岩石样品,不要有其他岩性混入。对采样点要做好记录和照相等。要进行显微薄片研究,了解锆石与其他造岩矿物之间相互关系。

2.2 碎样、矿物分选

对锆石成因矿物学研究极为重要的内部结构和成分研究是关系到定年成败的关键^[2]。挑选锆石的第一步是要对一件无蚀变样品进行机械破碎,使样品达到可以进行粒度测定的等级。一般用于锆石分析的样品粒度在 63~150 μm 之间。第二步是通过将样品进行磁选、重液分选和锆石人工挑选,获得单颗粒锆石。

2.3 制靶

将挑选出的纯净锆石裱在不含 U, Pb, Th 的环氧树脂靶上。每个环氧树脂靶(直径 1 英寸,厚 6 mm)上含有 1 行或多行锆石(每 1 行所含锆石颗粒来自于同一个样品)和 1 行 Temora 锆石(用作标准样品)。样品靶表面要进行抛光处理以保证锆石的出露,并且要喷上一层金。制成薄片并抛光露出锆石颗粒,可供测试用的样品靶^[1,3]。

2.4 显微照相

在分析锆石的 U/Pb 含量之前,要用光学显微镜来确定锆石颗粒的位置、显微结构和要分析的靶区位置,观察其晶体表面的裂纹与包裹体,避免使用 SHRIMP 分析时打到 Pb 亏损区域。将选好的锆石用阴极发光图像来区分锆石颗粒内部的不同结构^[4,7],在 CL 图像上可以看到具良好自形晶体的锆石^①(图 2)和继承锆石核的存在^[8-10](图 3)。

2.5 图片标记处理及测试

将所要测的点在锆石 CL 图片上做好标注,以备上机测点。一般情况下,一件样品可选 50 点左右即能满足测试的要求,点数过多成本太贵,测试 1 天的成本在 2 万元左右。

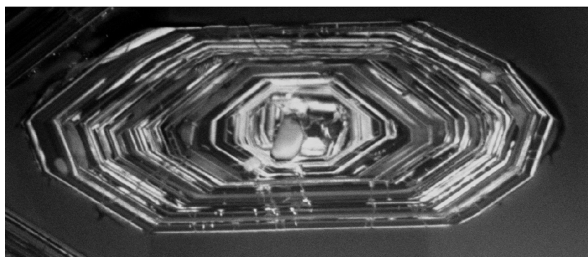


图 2 具有环带结构的岩浆锆石的阴极发光 CL 图像

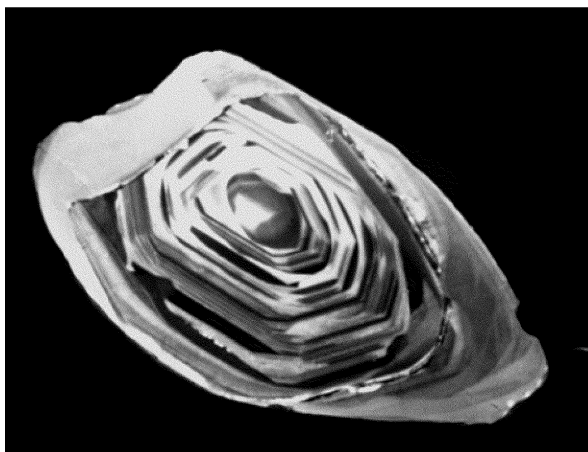


图 3 具二期生长历史锆石的阴极发光 CL 图像

在 SHRIMP-II 型离子探针仪上测定所选取样品靶位的 U-Th-Pb 同位素含量,每测 3 个样品点测试一次标样,对测定结果用 SHRIMP 定年标准物质对 U-Th-Pb 同位素含量及年龄进行校正,普通铅根据实测的²⁰⁴Pb 进行校正。

3 测试结果及解释

数据处理的离子探针中心工作人员协助在 SHRIMP II 型离子探针仪完成。将测试样品靶放入样品舱里,氧离子被加速冲向主舱。在样品舱里, Köler 孔径使氧离子流聚焦以达到一次离子流所需要的强度并轰击到样品表面的靶区上。在主舱中有 1 套光学系统能够提供样品表面高质量的反射光或透射光图像。一次离子在真空环境下轰击样品,使晶体的一小部分蒸发。所产生的二次离子与样品之间以 10 kV 的电势差被提取,通过 1 个透镜系统聚焦到副舱质量分析器的接受缝中。质量分析器由 3 部分组成: 1 个 85°角扇形静电加速器, 1 个静态四级, 1 个 72.5°角扇形磁极。所有通过质量分析器的

① 图 2, 图 3 资料来源于陆松年 2009 年 11 月演讲稿, 北京。

离子均被一个或更多的电子倍增器转换成信号, 传输到电子计算机上显示出来, 并换算成初步的年龄值^[2]。对测定结果用 SHRIMP 定年标准物质对 U-Th-Pb 同位素含量及年龄进行校正, 普通铅根据实测的²⁰⁴Pb 进行校正, 然后给出所要测的年龄值。

SHRIMP 测年结果的解释必须以地质为基础, 与地质相结合, 这样才能获得有地质意义的年龄数据, 并对所获得年龄数据的地质意义给予科学解释。同位素年代学研究包括地质和同位素测年两个不同的方面, 它既不是单纯的年龄测定技术问题, 也不是单纯的地质问题, 而是两者的有机结合。同位素年代学研究需同位素和地质两方面的知识结构。

当然, SHRIMP 锆石 U-Pb 测年也有进一步改进和完善的地方, 对锆石成因矿物学研究以及内部结构和成分研究影响着测年的质量, 野外取样对方法的选择也具有重要意义。

参考文献:

- [1] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 5(增): 26-30.
- [2] Matteo Panseri, U/Pb SHRIMP Analyses methodology and application[C], 2007: 1-22.
- [3] Gunther D, Frischknecht R, Heinrich C A, et al. CaPabilitiesorfan ArF 193μm excimer laser for LAM-ICP-MS microanalysis of geological materials. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 1997: 12, 939-944.
- [4] Ashwal, L. D., Tucker, R. D., and Zinner, E. K., 1999, Slow cooling of deep crustal granulites and Pb loss in zircon:

Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 63, 2839-2851.

- [5] Bodorkos, S., Cawood, P. A., Oliver, N. H. S., and Nemchin, A. A., 2000, Rapidity of orogenesis in the Paleoproterozoic Halls Creek Orogen, northern Australia; evidence from SHRIMP zircon data, CL zircon images, and mixture modeling studies: American Journal of Science, v. 300, 60-82.
- [6] Pidgeon, R. T., Macambira, M. J. B., and Lafon, J. M., 2000, Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajas Province, Brazil; evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite: Chemical Geology, v. 166, 159-171.
- [7] Pidgeon, R. T., Nemchin, A. A., and Hitchen, G. J., 1998, Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range Batholith; implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 132, 288-299.
- [8] Rowley, D. B., Xue, F., Tucker, R. D., Peng, Z. X., Baker, J., and Davis, A., 1997, Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Pb zircon geochronology: Earth and Planetary Science Letters, v. 151, 191-203.
- [9] Vavra, G., Schmid, R., and Gebauer, D., 1999, Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite to granulite facies zircons; geochronology of the Ivrea Zone (southern Alps): Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 134, 380-404.
- [10] Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., and Kinny, P. D., 2003, Atlas of zircon textures: Reviews in Mineralogy and Geochemistry, v. 53, 469-500.

Introduction to SHRIMP Zircon U-Pb Dating Methods

LI Hongkui, TIAN Xiulin, GENG Ke

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: In this paper, SHRIMP zircon U-Pb isotopic dating method is introduced from some aspects, such as field sampling, broken samples, mineral separation, target fabrication, microscopic photography and image tag handling and testing. LP-ICPMS method and TIMS method are described briefly. SHRIMP method has important dating significance on determining the age of Precambrian geological bodies.

Key words: SHRIMP U-Pb age; method; introduction; isotopic dating