

LA-ICP-MS 在地质研究中的样品前处理方法与进展

胡志中, 杨波, 杜谷, 王坤阳

(成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要: 激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法 (LA-ICP-MS) 作为重要的原位分析技术, 已被广泛应用于地质研究的各个领域。LA-ICP-MS 地质样品的制备、性状的分析、测定区域的选择等前处理影响着该方法的准确分析。本文将结合地质应用, 阐述了 LA-ICP-MS 在地质研究中的样品前处理现状, 在总结现有研究成果的同时, 对目前存在的问题进行评述, 并对该方面研究的发展作了展望。

关键词: LA-ICP-MS; 样品制备; 性状分析

doi: 10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.006

中图分类号: P599 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 05-0052-06

激光剥蚀电感耦合等离子体质谱 (LA-ICP-MS) 是当前重要的微区原位分析技术, 该法具备原位微区多元素 (同位素) 同时分析、灵敏度高、线性范围宽等特点, 因此已被广泛运用于地质研究的各个领域, 如年代学研究^[1-4]、流体和熔融包裹体分析^[5-6]、单矿物原位微区分析^[7-8]、全岩元素及同位素分析等^[7,9-11]。

LA-ICP-MS 由激光系统和等离子体质谱联机组成, 采用的是固体进样, 因此不需要经历繁琐、耗时的湿法化学前处理过程, 其法是将激光束聚焦于样品表面使之熔蚀, 由载气 (常用 He 或 Ar) 将产生的样品气溶胶送至电感耦合等离子体质谱进行检测^[7]。LA-ICP-MS 样品测定前通常要经历样品制备、性状分析、以及测定区域的选择等测定前处理过程。本文将结合地质应用, 阐述 LA-ICP-MS 在地质研究中的样品前处理现状, 在总结现有研究成果的同时, 对目前存在的问题进行评述, 并对该方面研究的发展作了展望。

1 样品的制备

LA-ICP-MS 地质样品的制备与该法的测定原理、研究目的及样品性状有关。样品测定过程是在激光器的剥蚀池内完成, 而剥蚀池的设计受到信号灵敏度、稳定性、洗脱时间、位置效应等因素影响^[12]。LA-ICP-MS 在微区原位分析时, 样品多采用以环氧树脂为载体的样品制备方式, 或根据研究目的选用岩矿制片作为分析对象; 而由于能够避免传统分析繁琐、费时的湿法化学消解过程, 以及低氧化物和氢氧化物干扰的特点, 因此 LA-ICP-MS 也被运用于全岩分析^[13]。

1.1 环氧树脂靶

环氧树脂靶 (制靶) 采用环氧树脂作为载体, 将待分析样品固定于合适的模具内, 然后灌入配比好的环氧树脂制成环氧树脂靶, 最后打磨抛光靶表面, 获得光滑平整的样品待剥蚀面。制靶便于制备且快速, 能够容纳不同形状体积的样品, 并易于随后加工的需要, 是当前 LA-ICP-MS 样品

收稿日期: 2019-12-10

作者简介: 胡志中 (1983-), 男, 硕士, 工程师, 从事试验测试研究工作。

制备的主要方法。

样品制靶前先进行分离处理,经抛去多余部分后直接制靶。单矿物定年和元素分析,先进行分选,即通过原岩破碎、岩石粉末淘洗、重砂部分的电磁选、显微镜下的挑选等步骤,挑选出原岩样品中的矿物颗粒,目前锆石原位分析的广泛运用,推动锆石制备的发展,也使其制作流程最为成熟及普遍,当前 LA-ICP-MS 锆石制靶流程与 SHRIMP 定年锆石样品靶的制备方法相似^[14-15]。环氧树脂靶能够承载多个样品,因此锆石制靶时通常将数个样品分别粘贴,然后再灌胶制成一个靶,这样不仅简化了制样时间,更节约了所占剥蚀池体积,减少分析时样品的更换频率,提高了测试效率。制成的靶满足表面平整光滑,样品无缺失且打磨程度合适。制备环氧树脂时,有的会添加待测样品中不含的某种元素或同位素作为“指示”,当样品被击穿或部分击穿时,则会出现该元素/同位素信号,这样有助于了解样品的剥蚀进程,但同时也会增加制作工艺和成本^[16]。

由于样品与树脂存在硬度差异,因而在打磨抛光过程中会造成样品边缘与靶平面存在高度差,特别是当样品硬度较大时(如:锆石)^[17-19]。本实验室在对锆石靶样分析也发现,颗粒与靶平面存在微小的高差和间隙,颗粒表面在微观观察下有着微细不平。当前 SIMS 分析为了避免样品颗粒粘贴时潜在的污染,以及减少环氧树脂材料的影响,有研究采用的静电吸附以及合金材料等方法制备样品^[19],从而满足更高测试研究的需要,为样品的制备提供了新的思路。

1.2 岩矿制片

岩矿制片是地质研究中必不可少的,而 LA-ICP-MS 作为微区原位分析技术,不仅适用于以岩矿制片为载体的研究,而且还能与其他测试技术相配合以满足复杂地质样品综合研究的需要^[20-24]。

采用岩矿制片直接分析具有几个优势:(1)不需要重新制备。(2)能够更为准确的获知分析样品(矿物/区域)与周围接触关系,从而有助于数据对地质现象的解释。(3)能够避免分选矿物过程中可能的样品污染及丢失。(4)方便配合其他测试方法。采用岩矿制片测定因能够更为准确的获知测定矿物的共生组合,对数据能够给予更为合理的地质解释,在年代学研究时,那些经历复杂地质作用的岩石矿物,可能有多组同位素年龄,例如在多期及高压变质岩年代的研究中,采用岩石薄片中的锆石作为研究对象,会比选择传统分选获得的数据,更容易得到合理的解释^[22-23]。

1.3 全岩样品分析

LA-ICP-MS 全岩样品分析,其制备方法主要分为粉末压片法和熔融玻璃法两种^[7,13,25]。粉末压片法通常需要压片压制力足够大以及粉末颗粒的粒度足够小^[7,26-27],如采用纳米级颗粒直接压片可以获得均匀性和致密性满意的样品^[28-29],而在此基础上添加黏合剂,从而能增强颗粒凝聚力并扩展了准确分析的元素种类^[30],但会增加制作工序和时间,以及潜在的污染。

熔融玻璃法是 LA-ICP-MS 元素标准物质制备的常用方法^[13,25,31]。相较于传统助熔剂^[32-33]的缺点,Zhang 等^[34]在熔样时添加 NH_4HF_2 ,并在熔后去除,获得较好的样品及测试结果。当前研究更倾向于无熔剂熔融制备样品,如改进加热容器材料以及加热环境,并且优化加热参数,尽管如此,在制备难熔岩矿样品时必需的高温 and 加热时间,仍不可避免造成元素分布的不均和丢失,以及潜在的污染,因而还需要对其中的影响因素开展更多的试验研究和改进^[10-11,31,35-36]。LA-ICP-MS 已用于全岩元素含量及部分同位素的分析,而其当前样品制备的方法各有特点,总体而言其全岩分析的制备方法仍处于不断改进和发展中。

2 样品的性状分析及选择

样品制备完成后, 需要结合研究目的, 开展样品性状的分析, 了解样品信息。目前常用的锆石定年中颗粒的选取及颗粒的具体测定部位, 需要了解颗粒的形貌和颗粒内部的结构, 因为对于岩石样品, 尤其是经历了复杂演化历史的, 不同锆石颗粒可能具有不同的年龄, 即便同一颗粒的不同部分也可能具有不同的年龄, 因而通常采用光学显微镜、背散射 (BSE) 图像、阴极发光 (CL) 图像、激光拉曼光谱等技术综合分析样品^[14,37]。锆石分析中, 光学显微镜除了观察颗粒形貌, 还要获取颗粒反射光和透射光图像, 从而反映不同部位的特征, 如识别包裹体和裂隙; 而激光拉曼光谱、背散射 (BSE) 图像、阴极发光 (CL) 图像都对颗粒内部结构提供重要信息, 激光拉曼光谱能够很好的识别存在蜕晶化现象的矿物^[38], 背散射 (BSE) 图像揭示的是颗粒表面平均分子量的差异, 而阴极发光 (CL) 图像显示的是部分微量的含量或晶格缺陷的差异, 并且 CL 是锆石内部结构研究中最有效和常用的方法^[39-40]。锆石阴极发光强弱与其含有的 U、Th、REE 等元素有关, U、Th 含量越高, 阴极发光越弱, 图像颜色越黑, 反之则越亮, 而且与 BSE 图像的明暗程度具有相反的对应关系, 因此能够有效识别不同的地质环境作用下的锆石, 以及获取同一颗锆石内部的不同晶域特征^[14,37-40]。当前获取锆石颗粒透、反射图像及阴极发光 (CL) 图像已成为锆石原位分析技术的必需, 而为了更准确解释在岩石薄片上测定的锆石年龄, 除了采用之前所述技术外, 还应该开展成因研究^[2-3,22-23,37,41]。矿物元素及同位素分析时, 矿物的组合研究尤其重要, 采用岩矿制片, 并结合其他微区分析技术, 对于经历多期事件岩石中不同期次造岩矿物共生组合进行研究, 进而区别出不同期次、成因的矿物, 然后有针对性地

开展测试, 能够提高数据的代表性以及提供更为合理的地质解释^[20-21]。

合适待测样品 / 区域的选择除了与研究目的和样品性状有关, 还与 LA-ICP-MS 测试方法有关。过去受限于设备及技术方法, LA-ICP-MS 测试时只能选用较大的剥蚀束斑, 或者同一样品 / 颗粒不同点位分别测试元素含量及同位素, 从而限制了该方法的运用, 而经过多年的发展, 当前小束斑剥蚀分析以及同点位同时分析 (元素含量及同位素) 已获取非常满意的数据, 并已被用于锆石年代学, 复杂结构的矿物定年, 矿物成分及同位素研究等分析^[1-2,7,10,42-45]。近些年来 LA-ICP-MS 面扫描分析发展迅速, 该分析可以获得比点分析更为准确的元素中的分布特征, 并能够更为直观的展示不同元素在矿物分布特征和相关关系, 因而备受研究者的关注, 当前该技术已运用于相关的地质研究, 并处于推广阶段^[46-48]。LA-ICP-MS 技术的发展扩展了待测样品的选择, 使其能够满足更多研究的需要, 从而有助于该方法在更多地质研究中的运用。

样品上机测定前还需要对其清洗, 因为在之前分析中, 如获取背散射 (BSE) 及阴极发光 (CL) 图像时, 需要对样品表面镀碳 / 金, 为了避免污染, 应将其去除, 通常采用无水乙醇或 5% 硝酸擦洗表面, 以及用超声波清洗, 而有的实验室为了避免污染及测试的准确, 在测试分析前采用“预剥蚀”, 即采用大束斑短时间作用于样品表面, 剥蚀掉表面层。

3 结 论

激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法 (LA-ICP-MS) 当前已是地质研究中重要的技术手段之一, 随着该技术应用领域的不断扩展, 该技术的前处理也应随之改进以满足更多研究的需要, 特别是研究不同目的及需求的样品制备方法, 对于该技

术的发展和用有着重要影响。

参考文献:

[1] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and Refinement of Zircon U- Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.

[2] 范晨子, 胡明月, 赵令浩, 等. 锆石铀-铅定年激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱原位微区分析进展 [J]. 岩矿测试, 2012, 31(1):29-46.

Fan C Z, Hu M Y, Zhao L H, et al. Advances in situ microanalysis of U-Pb zircon geochronology using laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2012, 31(1): 29-46.

[3] Horstwood M S A, Košler J, Gehrels G, et al. Community-Derived Standards for LA-ICP-MS U-(Th)-Pb Geochronology—Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2016, 40(3): 311-332.

[4] 袁继海, 孙冬阳, 赵令浩, 等. 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年技术研究 [J]. 地质学报, 2016, 90(8): 2059-2069.

Yuan J H, Sun D Y, Zhao L H, et al. In-situ U-Pb Dating of Titanite by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry(LA-ICP-MS)[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(8): 2059-2069.

[5] 蓝廷广, 胡瑞忠, 范宏瑞, 等. 流体包裹体及石英 LA-ICP-MS 分析方法的建立及其在矿床学中的应用 [J]. 岩石学报, 2017, 33(10): 3239-3262.

Lan T G, Hu R Z, Fan H R, et al. In-situ analysis of major and trace elements in fluid inclusion and quartz: LA-ICP-MS method and applications to ore deposits[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(10) :3239-3262.

[6] Zhang L, Ren Y Z, Nichols A R L, et al. Lead Isotope Analysis of Melt Inclusions by LA-MC-ICP-MS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2014, 29(8): 1393-1405.

[7] 刘勇胜, 胡兆初, 李明, 等. LA-ICP-MS 在地质样品元素分析中的应用 [J]. 科学通报, 2013, 58(36): 3753-3769.

Liu Y S, Hu Z C, Li M, et al. Applications of LA-ICP-MS in the elemental analyses of geological samples[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58: 3863-3878.

[8] Stead C V, Tomlinson E L, Kamber B S, et al. Rare earth element determination in olivine by laser ablation-quadrupole-ICP-MS: An analytical strategy and applications[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2017, 41:197-212.

[9] Chen L, Liu Y S, Hu Z C, et al. Accurate determinations of fifty-four major and trace elements in carbonate by LA-ICP-MS

using normalization strategy of bulk components as 100%[J]. Chemical Geology, 2011, 284: 283-295.

[10] Bao Z A, Yuan H L, Zong C L, et al. Simultaneous Determination of Trace Elements and Lead Isotopes in Fused Silicate Rock Powders Using a Boron Nitride Vessel and fsLA-(MC)-ICP-MS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2016, 31: 1012-1022.

[11] Chen L, Chen K Y, Bao Z A, et al. Preparation of standards for in situ sulfur isotope measurement in sulfides using femtosecond laser ablation MC-ICP-MS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2017, 32: 107-116.

[12] Xie L W, Xu L, Yin Q Z, et al. A novel sample cell for reducing the “Position Effect” in laser ablation MC-ICP-MS isotopic measurements[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2018, 33: 1571-1578.

[13] 胡志中, 杨波, 杜谷. LA-ICP-MS 在地质全岩样品元素分析中的应用 [J]. 四川地质学报, 2019:39(1): 164-168.

Hu Z Z, Yang B, Du G. The application of LA-ICP-MS to elemental analysis of bulk-rock sample[J]. Acta Geologica Sichuan, 2019: 39(1): 164-168.

[14] 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: 26-30.

Song B, Zhang Y H, Wan Y S, et al. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. Geological Review, 2002, 48(SUPP):26-30.

[15] 宋彪. 用 SHRIMP 测定锆石 U-Pb 年龄的工作方法 [J]. 地质通报, 2015: 34(10): 1777-1788.

Song B. SHRIMP zircon U-Pb age measurement: sample preparation, measurement, data processing and explanation[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(10):1777-1788

[16] Longerich H P, Jackson S E, Günther D. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometric transient signal data acquisition and analyte concentration calculation[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 1996, 11: 899-904.

[17] Tang G Q, Li X H, Li Q L, et al. Deciphering the physical mechanism of the topography effect for oxygen isotope measurements using a Cameca IMS-1280 SIMS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2015, 30:950-956.

[18] Kita N T, Huberty J M, Kozdon R, et al. High-precision SIMS oxygen, sulfur and iron stable isotope analyses of geological materials: accuracy, surface topography and crystal orientation[J]. Surface and Interface Analysis, 2011, 43(1-2):427-431.

[19] Zhang W F, Xia X P, Zhang Y Q, et al. A novel sample preparation method for ultra-high vacuum(UHV) secondary ion mass spectrometry (SIMS) analysis[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2018, 33(9):1559-1563.

- [20] 张乐骏, 周涛发. 矿物原位 LA-ICPMS 微量元素分析及其在矿床成因和预测研究中的应用进展 [J]. 岩石学报, 2017, 33(11): 3437-3452.
- Zhang L J, Zhou T F. Minerals in-situ LA-ICPMS trace elements study and the applications in ore deposit genesis and exploration[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017,33(11):3437-3452.
- [21] 杨岳衡, 杨进辉, 吴福元, 等. 激光原位 LA-MC-ICP-MS 测定地质样品 Sm-Nd 同位素方法新进展 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(3): 422-431.
- Yang Y H, Yang J H, Wu F Y, et al. New Progresses in Analytical Methods of in Situ Sm-Nd Isotope Measurement of Natural Geological Samples by Laser Ablation Multi-Collector ICP Mass Spectrometry[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2016,35(3): 422-431
- [22] 许雅雯, 王家松, 郭虎, 等. U-Pb 同位素测年新方法 - 激光烧蚀等离子体质谱法直接测定探针片中锆石和磷灰石年龄 [J]. 地质调查与研究, 2015, 38(1): 67-76.
- Xu Y W, Wang J S, Guo H, et al. A new method of U-Pb isotopic dating : in polished thin section U-Pb dating of zircon, apatite using laser ablation-MC-ICP-MS[J]. Geological Survey and Research. 2015, 38(1): 67-76.
- [23] Zong K Q, Liu Y S, Gao C G, et al. In situ U-Pb dating and trace element analysis of zircons in thin sections of eclogite: Refining constraints on the ultra high-pressure metamorphism of the Sulu terrane, China[J]. Chemical Geology, 2010, 269: 237-251.
- [24] 牛岩, 郑杨, 张树淮, 等. 不同功能岩矿薄片的工艺要求与技术指标 [J]. 华南地质与矿产, 2013, 29(3): 254-257.
- Niu Y, Zheng Y, Zhang S H, et al. The functional requirements and technical specifications of rock and mineral slices with different purposes[J]. Geology and Mineral Resources of South China. 2013, 29(3): 254-257.
- [25] 张晨西, 苗琦, 倪倩. 地质全岩样品 LA-ICP-MS 整体分析的前处理方法 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(3): 479-486.
- Zhang C X, Miao Q, Ni Q. Sample Preparation Methods for Bulk Analysis of Geological Materials by Using LA-ICP-MS[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2016, 35(3): 479-486.
- [26] 吴石头, 许春雪, Klaus Simon, 等. 193nm ArF 准分子激光系统对 LA-ICP-MS 分析中不同基体的剥蚀行为和剥蚀速率探究 [J]. 岩矿测试, 2017, 36(5): 451-459.
- Wu S T, Xu C X, Klaus S, et al. Study on ablation behaviors and ablation rates of a 193nm ArF excimer laser system for selected substrates in LA-ICP-MS analysis[J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(5):451-459.
- [27] Zhu Y B, Hioki A, Chiba K. Quantitative analysis of the elements in powder samples by LA-ICP-MS with PMMA powder as the binder and Cs as the internal standard[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2013, 28(2): 301-306.
- [28] Tabersky D, Luechinger N A, Rossier M, et al. Development and Characterization of Custom-engineered and Compacted Nanoparticles as Calibration Materials for Quantification Using LA-ICP-MS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2014, 29(6): 955-962.
- [29] Garbe-Schönberg D, Müller S. Nano-particulate Pressed Powder Tablets for LA-ICP-MS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2014, 29(6): 990-1000.
- [30] Peters D, Pettke T. Evaluation of major to ultra trace element bulk rock chemical analysis of nanoparticulate pressed powder pellets by LA-ICP-MS[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2017,41 (1):5-28.
- [31] 吴石头, 王亚平, 许春雪. 激光剥蚀电感耦合等离子体质谱元素微区分析标准物质研究进展 [J]. 岩矿测试, 2015, 34(5): 503-511.
- Wu S T, Wang Y P, Xu C X. Research Progress on Reference Materials for in situ Elemental Analysis by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34(5): 503-511.
- [32] Eggins S M. Laser ablation ICP-MS analysis of geological materials prepared as lithium borate glasses[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2003, 27: 147-162.
- [33] Leite T D F, Escalfoni Jr R, Fonseca T C O D, et al. Determination of major, minor and trace elements in rock sample by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry: Progress in the utilization of borate glasses as targets[J]. Spectrochimica Acta Pan B: Atomic Spectroscopy, 2011, 66(5): 314-320.
- [34] Zhang W, Hu Z C, Liu Y S, et al. Quantitative analysis of major and trace elements in NH₄HF₂-modified silicate rock powders by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 2017: 983:149-159.
- [35] 朱律运, 刘勇胜, 胡兆初, 等. 玄武岩全岩元素含量快速、准确分析新技术: 双铱带高温炉与 LA-ICP-MS 联用法 [J]. 地球化学, 2011, 40(5): 407-417.
- Zhu L Y, Liu Y S, Hu Z C, et al. Quick and accurate LA-ICP-MS analyses of major and trace elements in basalt, coupled with glass fusion method by double iridium strip heater[J]. Geochimica, 2011, 40(5): 407-417.
- [36] Zhu L Y, Liu Y S, Hu Z C, et al. Simultaneous determination of major and trace elements in fused volcanic rock powders by using a hermetic vessel heater and LA-ICP-MS[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2013, 37: 207-229.

- [37] 张永清, 王国明, 许雅雯, 等. 锆石微区原位 U-Pb 定年的测定位置选择方法 [J]. 地质调查与研究, 2015, 38(3): 233-238.
- Zhang Y Q, Wang G M, Xu Y W, et al. Methods for Choosing Target Points In-situ Zircon U-Pb Dating [J]. Geological Survey and Research, 2015, 38(3): 233-238.
- [38] 张永清. 激光拉曼、阴极荧光研究对蛻晶化锆石及其 U-Pb 年龄解释的指示意义 [J]. 地质调查与研究, 2012, 35(3): 224-228.
- Zhang Y Q. Study on the laser-Raman spectroscopy analysis and CL images implication for metamictized zircons and U-Pb ages [J]. Geological Survey and Research, 2012, 35(3): 224-228.
- [39] Crofu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of zircon textures [J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, 53: 469-495.
- [40] Hanchar J M, Miller C F. Zircon zonation patterns as revealed by cathodoluminescence and backscattered electron images: Implications for interpretation of complex crustal histories [J]. Chemical geology, 1993, 110: 1-13.
- [41] 刘建辉, 刘敦一, 张玉海, 等. 使用 SHRIMP 测定锆石铀-铅年龄的选点技巧 [J]. 岩矿测试, 2011, 30 (3) : 265-268.
- Liu J H, Liu D Y, Zhang Y H, et al. Techniques for choosing target points SHRIMP Dating of zircon U-Pb ages [J]. Rock and Mineral Analysis, 2011, 30(3): 265-268.
- [42] 邢波, 向君峰, 叶会寿, 等. 豫西骆驼山硫多金属矿床的成因 - 来自纹层状矿石中硫化物 LA-ICP-MS 微量元素证据 [J]. 矿床地质, 2017, 36(1): 83-106.
- Xing B, Xiang J F, Ye H S, et al. Genesis of Luotuoshan sulfur polymetallic deposit in western Henan Province: Evidence from trace elements of sulfide revealed by using LA-ICP-MS in lamellar ores [J]. Mineral Deposits, 2017, 36(1): 83-106.
- [43] 谢烈文, 张艳斌, 张辉煌, 等. 锆石 / 斜锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素以及微量元素成分的同时原位测定 [J]. 科学通报, 2008, 53(2): 220-228.
- Xie L W, Zhang Y B, Zhang H H, et al. In situ simultaneous determination of trace elements, U-Pb and Lu-Hf isotopes in zircon and baddeleyite [J]. Chin Sci Bull, 2008, 53: 1565-1573.
- [44] 汪双双, 韩延兵, 李艳广, 等. 利用 LA-ICP-MS 在 16 μm 和 10 μm 激光束斑条件下测定独居石 U-Th-Pb 年龄 [J]. 岩矿测试, 2016, 35(4): 349-357.
- Wang S S, Han Y B, Li Y G, et al. U-Th-Pb Dating of Monazite by LA-ICP-MS Using Ablation Spot Sizes of 16 μm and 10 μm [J]. Rock and Mineral Analysis, 2016, 35(4): 349-357.
- [45] 孙冬阳, 王广, 范晨子, 等. 激光剥蚀 - 电感耦合等离子体质谱线扫描技术的空间分辨率研究 [J]. 岩矿测试, 2012, 31(1) : 127-131.
- Sun D Y, Wang G, Fan C Z, et al. Study on Spatial Resolution for Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Line Scan Method [J]. Rock and Mineral Analysis, 2012, 31(1): 127-131.
- [46] 汪方跃, 葛粲, 宁思远, 等. 一个新的矿物面扫描分析方法开发和地质学应用 [J]. 岩石学报, 2017, 33(11): 3422-3436.
- Wang F Y, Ge C, Ning S Y, et al. A new approach to LA-ICP-MS mapping and application in geology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(11) : 3422-3436.
- [47] Ubide T, McKenna C A, Chew D M, et al. High-resolution LA-ICP-MS trace element mapping of igneous minerals: In search of magma histories [J]. Chemical Geology, 2015, 409: 157-168.
- [48] Raimondo T, Payne J, Wade B, et al. Trace element mapping by LA-ICP-MS: assessing geochemical mobility in garnet [J]. Contrib Mineral Petrol, 2017, 172: 17.

Research Progress of Pretreatment Methods for Samples of Geological Materials by LA-ICP-MS

Hu Zhizhong, Yang Bo, Du Gu, Wang Kunyang

(Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) is currently an important microanalysis technique in the geoscience field. LA-ICP-MS technique was affected by pretreatment methods for sample of geological materials, included: sample preparation, character analysis, sample select and so on. This paper was described pretreatment methods for sample of geological materials by LA-ICP-MS, reviewed the status of its development and the problems faced, and a short outlook is given.

Keywords: LA-ICP-MS; Sample preparation; Character analysis