

原位热年代和年代学

(U-Th-Sm)/He定年用于对低温地质过程提供时间约束¹。该方法包括目标矿物（如磷灰石、锆石、榍石等）中铀、钍、钐，及它们的放射性衰变产物氦的丰度的测定。激光剥蚀技术的进步促使原位(U-Th-Sm)/He定年方法取得了令人鼓舞的成果²⁻⁶。研究人员现在能够使用该种方法探索新的应用领域，包括（1）在高度风化的陆块进行钻石勘探技术发展，（2）矿物中氦分布的定性和定量成像，（3）基于¹⁹⁰Pt-⁴He衰变的铂族矿物新定年方法的发展及其在铂矿勘探中的应用，（4）综合U-Pb年龄数据更全面地重建被测矿物的冷却曲线。下面描述的应用展示RESOchron仪器套件具备在提供元素和同位素分布图的同时，获得同一晶体的原位(U-Th-Sm)/He和U-Pb年龄（双定年）、从而实现更强大的热史重建的独特能力。

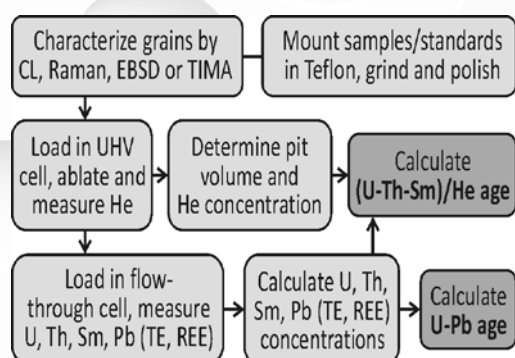


图1. 原位双定年测试步骤流程图。

原位双定年测试（图1和图2）涉及制作样靶（使用Teflon基质），显微镜下矿物特征描述，⁴He及其母体同位素的激光剥蚀方法测量及采用在线免费软件（<http://resochronometer.london-geochron.com>）进行年龄计算。许多颗粒可以被同时嵌入样靶，精心选择分析目标以避免矿物/气体包裹体、母体同位素环带和自然磨损等问题。年龄计算方法包括同位素稀释法（利用已知年龄的标准样），或同位素衰减法（基于母体同位素和衰变产物的丰度计算年龄）。在Curtin大学（珀斯，澳大利亚）的John de Laeter 中心开展的大量研究已经将以上方法成功地应用于分析锆石和磷灰石

原位双定年：

I原位(U-Th-Sm)/He和U-Pb双定年测试（图1和图2）涉及制作样靶（使用Teflon基质），显微镜下矿物特征描述，⁴He及其母体同位素的激光剥蚀方法测量及采用在线免费软件（<http://resochronometer.london-geochron.com>）进行年龄计算。许多颗粒可以被同时嵌入样靶，精心选择分析目标以避免矿物/气体包裹体、母体同位素环带和自然磨损等问题。年龄计算方法包括同位素稀释法（利用已知年龄的标准样），或同位素衰减法（基于母体同位素和衰变产物的丰度计算年龄）。在Curtin大学（珀斯，澳大利亚）的John de Laeter 中心开展的大量研究已经将以上方法成功地应用于分析锆石和磷灰石

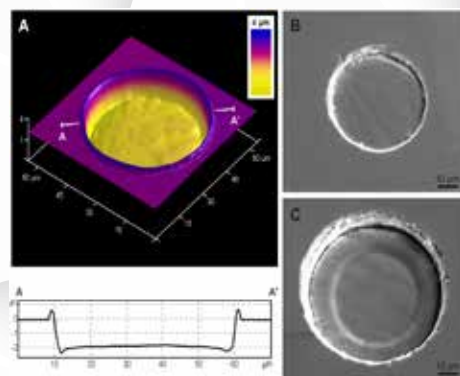


图2. (A) 锆石表面一个浅的⁴He剥蚀坑的原子力显微镜地形高程图像。请注意清晰刻画出的“礼帽”形横断截面的平底形态。(B) 首次剥蚀后、测量He的浅剥蚀坑的扫描电子显微镜(SEM)图像和(C) 第二次剥蚀后、分析U、Th、Sm、Pb和微量元素剥蚀坑的SEM图像。

同位素分布图/剖面图生成：

RESOchron集成原位激光剥蚀微取样和惰性气体质谱分析技术。该仪器适用于微米尺度下锆石（和其它矿物）中氦的分布的一维和二维可视化及量化（图3）。一组锆石晶体的高分辨率氦分布图像允许我们查明铀钍环带、辐射损伤和包裹体，对氦分布以及对传统的(U-Th-Sm)/He测年方法和年代学固有基本假设的影响。氦分布图像，结合以其他成像技术的特征信息（例如，阴极发光、共焦显微拉曼光谱和LA-ICPMS元素分布图像），提供了将主要潜在因素对有疑问的锆石(U-Th-Sm)/He年龄的影响可视化的最佳机会。观察表明，进行常规低温年代学分析之前的颗粒特征描述是必不可少的。

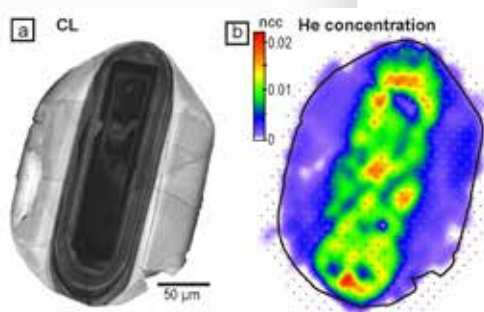
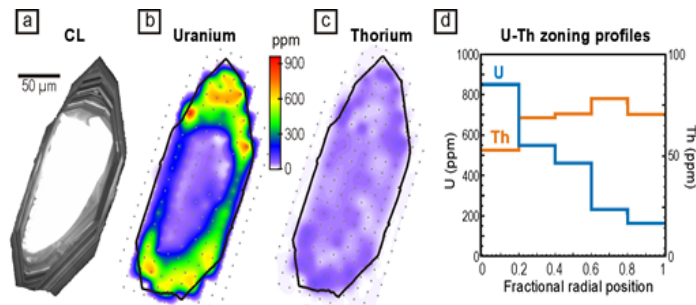


图3. CL图像(a)和分别使用SEM和RESOchron生成的具有高铀核部、低铀边部的锆石的氦含量分布图(b)。需要注意的是，氦的分布与阴极发光图像强度有很好的相关性，因而也与铀的分布相关。正确解释(U-Th)/He测年结果必须掌握氦、铀和钍在晶体内部的分布。

改进的热历史模拟：

刻画(U-Th-Sm)/He测年方法应用矿物的铀、钍分布特征，对于精确重建热历史至关重要。连接到ICPMS的RESOchron，使我们能够在进行(U-Th-Sm)/He分析测试之前建立铀、钍的二维分布(图4)。这些表征铀、钍分布的图像，通过假设等效球体几何，可以转换为含量剖面图¹⁰，这些剖面图将包含在模拟氦产生-扩散的软件包中(图4)。以上结果有助于形成参数化更好的模型，以及获得更准确的热模拟结果。此外，LA-ICPMS元素分布图的生成允许所有U-Pb年代学所需要数据都被采集，这样我们还可以计算结晶年龄。这些分析为后续的低温历史重建提供起始点(或极限值)控制，而后者能够揭示剥露剥蚀、含油盆地成熟、地质结构演化和成矿系统保存等过程。

图4. CL图像(a)和分别使用SEM和RESOchron生成的具有高铀核部、低铀边部的锆石的铀、钍含量分布图(b, c)。(d)基于等效球形几何计算的U-Th环带剖面图，能够便捷地导入模拟热历史的软件包并用于精确的热历史重建。



References: 1. P.W. Reiners, T.A. Ehlers and P.K. Zeitler, P.K., in Thermochronology, ed. P.W. Reiners and T.A. Ehlers, Rev. Mineral. Geochem., 2005, v. 58, ch. 1, pp. 1-18. 2. A. Tripathy-Lang, K.V. Hodges, B. Monteleone and M. van Soest, Journal of Geophysical Research, 2013, 118, 1333-1341. 3. J.W. Boyce, K.V. Hodges, W. J. Olszewski, M. J. Jercinovic, B. D. Carpenter and P.W. Reiners, Geochim. Cosmochim. Acta, 2006, 70, 3031-3039. 4. J.W. Boyce, K.V. Hodges, D. King, J.L. Crowley, M. Jercinovic, N. Chatterjee, S.A. Bowring and M. Searle, Geochim. Geophys. Geosyst., 2009, 10, Q0AA0, doi:10.1029/2009GC002497. 5. M. C. van Soest, B. D. Monteleone, K.V. Hodges and J.W. Boyce, Geochim. Cosmochim. Acta, 2011, 75, 2409-2419. 6. P. Vermeesch, S.C. Sherlock, N.M.W. Roberts and A. Carter, Geochim. Cosmochim. Acta, 2012, 79, 140-147. 7. N. J. Evans, B. I. A. McInnes, B. J. McDonald, M. Danišik, T. Becker, P. Vermeesch, M. Shelley, E. Marillo-Sialar, E. and D. B. Patterson, Journal of Analytical Atomic Spectroscopy, 2015, 30, 1636-1645. 8. M. Danišik, B. J. McDonald, N. J. Evans, B. I. A. McInnes, C. Kirkland and T. Becker, Goldschmidt Prague, 2015, 657. 9. A. G. C. A. Meesters and T. J. Dunal, Chem. Geol., 2002, 186, 345-363. 10. K. A. Farley, D. L. Shuster and R. A. Ketchum, Geochim. Cosmochim. Acta, 2011, 75, 4515-4530.

ASI公司感谢Curtin大学John de Laeter中心的GeoHistory实验室提供已发表的及未发表的相关数据。

RESOchron: 高级，在原地热年代学的应用集成仪表



校企合作实现了代表着地质历史研究领域重要发展的RESOchron的研发。通过把RESOchron连接到ICPMS (ASI不供销后者)，研究人员能够：1. 快速测量单矿物的(U-Th)/Pb和(U-Th-Sm)/He年龄；2. 避免使用溶解矿物所需的危险化学品；3. 使用此前获得一个年龄数据所需要的时间得到多达50个矿物的年龄数据。结合成熟的RESOLUTION和Alphachron™技术，RESOchron集成了一个193nm的准分子激光剥蚀取样系统，超-高真空(UHV)样品池和³He/⁴He质谱仪。

RESOchron技术选择晶体颗粒精确限定的、无缺陷的局部进行采样测量，拓展了传统的(U-Th-Sm)/He全颗粒测试技术。这个新的仪器平台让氦分布可视化和热历史重建等新颖的应用成为可能，此外，还实现了更加精确和更高性价比的热年代学和年代学年龄测定。

本手册中文内容由陶宽博士翻译编辑。

ASI Australian Scientific Instruments
INSTRUMENTS FOR INNOVATORS

RESOchron
The Logical Combination for Geoscience Analysis