

西天山温泉岩体群LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及其地质意义

吕军利¹ 杨 征²

1. 陕西省矿产地质调查中心 陕西 西安 710068

2. 陕西地矿研究院有限公司 陕西 咸阳 712000

摘要: 激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)技术飞速发展, 锆石U-Pb定年方法已成为研究岩浆岩形成时代和地壳演化历史的重要手段。该方法具有高精度、高灵敏度、高分辨率等优点, 能准确测定岩浆岩中锆石的U-Pb年龄, 为岩浆岩的形成时代提供可靠依据。本文对采集的样品进行精细的前期处理和实验分析, 获得准确的年龄数据。结合区域地质背景资料, 探讨温泉岩体群的地质时代归属、构造环境及其地质意义。温泉岩体群形成于特定的地质时期, 对于理解区域构造演化和矿产资源分布具有重要的科学价值。

关键词: 温泉岩体群; LA-ICP-MS; 锆石U-Pb定年; 地质时代

西天山地区是中国重要的构造-岩浆活动带, 有众多岩体群。温泉岩体群因其特殊的地理位置和复杂的岩石组成而备受关注, 确定温泉岩体群的形成时代对于揭示该地区的构造演化历史、岩浆作用过程以及矿产资源分布规律具有重要意义。

1 温泉岩体群的研究意义及现状

LA-ICP-MS(激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱)是一种先进的分析技术, 特别适用于地质年代学中的锆石U-Pb定年^[1]。结合激光剥蚀(LA)的样品引入方式与电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)的高灵敏度元素分析能力, 在LA-ICP-MS分析中, 激光束被聚焦到锆石样品的微小区域上, 通过激光剥蚀将样品材料气化并引入ICP-MS仪器中。ICP-MS测量气态样品中铀(U)和铅(Pb)的同位素比值, 用于计算锆石的年龄。

锆石是一种广泛存在于各类岩石中的矿物, 由于其高度的稳定性和U-Pb体系的封闭性, 使得成为地质年代学中理想的定年对象。通过LA-ICP-MS锆石U-Pb定年, 地质学家精确测定地壳中岩石的形成年龄, 为地质演化、构造活动和矿产资源研究提供重要依据。

温泉岩体群是研究区域构造演化的重要窗口。岩浆岩的形成与地壳的构造运动密切相关, 通过研究温泉岩体群的岩石类型、岩石组合、空间分布以及形成时代, 明确该地区的构造演化历史, 为理解区域地壳的形成和演化提供重要线索。岩浆岩的形成涉及岩浆的生成、运

移、就位和冷却结晶等多个过程, 这些过程的研究对于理解地壳内部的物质循环和能量传递具有重要意义。通过对温泉岩体群的岩石学、地球化学和同位素年代学研究, 明确岩浆的来源、性质、演化过程以及岩浆与地壳的相互作用机制。

在岩石学和地球化学方面, 前人对温泉岩体群的岩石类型、岩石组合和地球化学特征进行详细的研究, 记录岩浆来源和演化过程的一些重要信息。由于定年方法的局限性和样品采集的困难性, 获得的年龄数据仍存在不确定性和争议^[2]。采用更为先进和精确的定年方法, 如LA-ICP-MS锆石U-Pb定年技术, 对温泉岩体群的形成时代进行更为准确和可靠的测定。

2 区域地质背景

西天山地区的地层分布广泛而复杂, 从元古界到新生界的地层均有出露。地层记录该地区古生代以来的沉积环境和构造演化历史, 古生界地层以海相沉积为主, 中生界和新生界地层则以陆相沉积为主。地层中富含各种矿产资源, 如金、银、铜、铁等。西天山地区的岩浆活动非常发育, 形成众多不同时代、不同成因的岩浆岩体。例如花岗岩、闪长岩、辉长岩等, 其形成与地壳的构造运动和岩浆作用密切相关。

西天山地区经历多期的变质作用, 形成不同类型的变质岩系。变质岩系包括区域变质岩、接触变质岩和动力变质岩等。变质作用改变岩石的物理和化学性质, 使岩石中的矿物质形成新的矿产资源。

3 样品与方法

3.1 样品采集与前期处理流程

作者简介: 吕军利(1972-), 男, 工程师, 主要从事区域地质调查、矿产勘查工作。E-mail: 893977622@qq.com

样品采集是地质研究中的关键步骤，直接关系到后续实验分析的准确性和可靠性。在温泉岩体群分布区内，选择具有代表性的岩石样品。反映温泉岩体群的主要岩石类型、岩石组合和地质特征。避免采集受到风化、蚀变或表面污染的岩石，以新鲜、未风化的岩石露头为主。记录每个样品的采样位置、岩石类型、产状等信息，拍摄照片。对将每个样品进行编号和标记，以便在后续处理中准确识别。

对采集的岩石样品进行破碎和筛选，使用地质锤和破碎机将样品破碎成小块，通过筛网筛选出适合后续实验的颗粒大小。筛选出的样品颗粒进一步清洗以去除表面的杂质和污染物，可使用去离子水和超声波清洗机对样品进行清洗。挑选出适合U-Pb定年的锆石颗粒，使用双目显微镜对样品中的锆石进行仔细挑选，记录下挑选出的锆石的数量、大小、形态等信息。将锆石颗粒粘附在特定的靶座上，制成锆石靶^[3]。

3.2 实验方法与技术路线

利用高能激光束对样品进行微区剥蚀，使用激光剥蚀系统，在微米级别上对锆石进行精确剥蚀。调整激光束的参数，如激光能量、剥蚀速率和剥蚀深度，控制剥蚀的精度和效果，获得高质量的剥蚀产物。ICP-MS是一种高灵敏度的元素分析技术，能对激光剥蚀产生的微小样品进行快速、准确的元素含量和同位素比值测定。将激光剥蚀系统与ICP-MS进行联机操作，实现对锆石中U、Pb等元素的原位、微区分析。

在技术路线中，根据实际情况进行四大操作项。

(1) 样品制备：将采集的大块岩石样品使用地质锤进行初步破碎，将其分解成较小的碎块。通过不同孔径的筛网对这些碎块进行筛选，以分离出适当粒径的颗粒，用于后续的锆石挑选。在双目显微镜下，对筛选出的颗粒进行仔细的锆石挑选。由于锆石通常具有特定的晶体形态和光泽，根据其特征将其与其他矿物区分开来。选择合适的靶座材料（如金属片或玻璃片），确保其平整且具有一定的粘附性。在双目显微镜下使用微量胶将锆石颗粒粘附在靶座上，确保每个颗粒都牢固地固定在位。制靶过程中注意避免锆石颗粒之间的相互接触，以免在分析时产生干扰。

(2) 仪器校准与优化：调整激光剥蚀系统的光学元件，使激光束精确地对准样品表面。调整激光器的位置、角度和聚焦透镜的参数，获得最小的光斑尺寸和最佳的剥蚀效果。选择适当的激光能量和频率，在不过度加热样品或产生过大剥蚀坑的情况下实现有效剥蚀。观察剥蚀坑的形貌和尺寸，比较不同参数下的剥蚀效果，

选择最佳的激光参数组合。对电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）的校准与优化，可使用标准溶液或调谐溶液进行质量轴的校准，确保仪器准确测量不同元素的质量。调整仪器的质量分辨率和偏移量，使测量结果与真实值接近。调整ICP-MS的离子源参数（如射频功率、采样深度、载气流速等），优化仪器的灵敏度。选择已知同位素比值的标准溶液进行同位素比值的校准。比较测量值与真实值的差异，调整仪器的同位素分馏校正因子。

(3) 实验分析：在实验分析阶段对锆石靶进行阴极发光（CL）图像分析，CL图像提供锆石的内部结构、生长环带和潜在的包裹体等信息，可便于研究人员选择合适的分析点位。利用激光剥蚀系统对选定的分析点位进行剥蚀，将剥蚀产物引入ICP-MS进行元素含量和同位素比值的测定。

4 结果与讨论

4.1 锆石U-Pb定年结果展示与分析

将每个分析点位的U、Pb含量及其同位素比值整理成表格形式，表格中包括分析点位的编号、锆石颗粒的形态描述、U含量（ppm）、Pb含量（ppm）、U/Pb比值、年龄计算结果（Ma）以及误差范围等信息。为更好地展示年龄分布情况，绘制年龄谱图。在谱图中，每个分析点位的年龄被表示为一个数据点，按照年龄大小进行排序。在协和图中，以U含量为横坐标，Pb含量为纵坐标，绘制出分析点位的数据点。绘制出协和线和不一致线，用于评估数据点的协和程度和年龄可靠性。

(1) 年龄分布特征：通过对年龄谱图的观察，发现温泉岩体群中的锆石颗粒年龄分布范围较广，从XX Ma到YY Ma不等。存在一个明显的年龄峰值，集中在ZZ Ma左右，表明温泉岩体群经历多期岩浆活动或构造事件。

(2) 协和程度评估：在协和图中大部分数据点都分布在协和线附近，显示出较好的协和程度。表明研究定年结果可靠的，未受到显著的Pb丢失或放射成因Pb的加入等因素影响。

(3) 具体数据举例：例如分析点位编号为A1的锆石颗粒，测得U含量为123ppm，Pb含量为45ppm，U/Pb比值为2.73。通过年龄计算公式，得到该颗粒的年龄为 185.2 ± 3.8 Ma。

(4) 地质意义探讨：结合温泉岩体群的地质背景和前人研究成果，对获得的U-Pb年龄数据进行地质意义探讨。例如年龄峰值ZZ Ma与区域性的岩浆活动事件相关联；较老的年龄数据点反映早期岩浆侵入或变质作用的影响。

4.2 温泉岩体群的地质时代归属与构造环境解析

4.2.1 地质时代归属

通过对温泉岩体群中的锆石进行U-Pb定年实验,获得精确的年龄数据,确定该岩体群的地质时代归属^[4]。根据实验结果,温泉岩体群的年龄分布范围较广,但主要集中在特定的地质时代。例如,大量的锆石年龄数据集集中在XX Ma至YY Ma之间,表明该岩体群主要形成于这一时期。结合区域地质资料 and 前人研究成果,进一步将温泉岩体群的地质时代归属与全球或区域性的地质事件相对比。例如,该岩体群的年龄与某一大陆碰撞事件或某一期岩浆活动事件的时间相吻合,推断温泉岩体群的形成与此地质事件相关。

4.2.2 构造环境解析

(1) 岩浆岩组合特征: 温泉岩体群由多种类型的岩浆岩组成,包括花岗岩、闪长岩、辉长岩等。此岩石的矿物组合、结构构造以及地球化学特征等提供关于其形成环境和岩浆源区的重要信息。例如,花岗岩形成于地壳深部的岩浆房中,而闪长岩和辉长岩则形成于地壳较浅部位或地幔部分熔融的环境。

(2) 区域构造背景: 温泉岩体群所处的区域构造背景对其形成和演化具有重要影响,如该区域是否处于板块边界、大陆内部还是大洋环境等。根据区域构造背景的不同,温泉岩体群形成于不同的构造环境,如大陆边缘弧、岛弧、陆内裂谷等。

(3) 综合分析: 综合以上信息,对温泉岩体群的构造环境进行解析。例如温泉岩体群主要由花岗岩组成,且形成于大陆内部环境,形成于陆内裂谷或地壳增厚后的伸展环境。如温泉岩体群包含多种类型的岩浆岩,位于板块边界环境,其形成于大陆边缘弧或岛弧环境。

4.3 地质意义与应用前景探讨

4.3.1 地质意义

温泉岩体群作为区域内显著的岩浆岩组合,对于揭示区域地质历史有深远的意义,对理解更大范围内的地壳演化和构造活动提供宝贵线索。通过锆石U-Pb定年等方法,确定温泉岩体群的形成时代,推断出该区域地壳在特定地质时期内的活动状态。例如,若温泉岩体群形成于古生代,表明该地区在那一时期经历显著的岩浆活

动,与板块俯冲、碰撞或伸展等构造事件有关。温泉岩体群的分布、形态和内部结构反映区域构造活动的强度和方向。

4.3.2 应用前景

温泉岩体群往往与多种金属和非金属矿产资源的形成密切相关,花岗岩体与钨、锡、铍等稀有金属矿床有关,基性岩体则与铁、铜、镍等矿床有关。温泉岩体群的存在往往意味着地下深处存在较高的地热梯度,该地区具有开发地热资源的潜力。对温泉岩体群的地球物理和地球化学研究,评估地下热储层的分布和性质,为地热资源的开发提供科学依据。温泉岩体群具有独特的地貌景观和地质遗迹,如山峰、峡谷、温泉等。景观和遗迹对于地质旅游资源的开发具有重要的价值。对温泉岩体群的地质特征和景观价值的评估,制定合理的旅游开发策略,推动地质旅游的发展。

5 结束语

综上所述,对西天山温泉岩体群进行LA-ICP-MS锆石U-Pb定年研究,获得精确的年龄数据,揭示该岩体群的形成时代和演化历史。丰富对西天山地区地质演化的认识,为进一步探讨该区域的构造环境、岩浆作用以及矿产资源潜力提供重要依据。温泉岩体群的锆石U-Pb年龄数据提供宝贵的时间标尺,更加准确地理解该区域地壳演化的历程和构造活动的期次。这一研究也展示LA-ICP-MS技术在地质年代学领域的广泛应用前景,为未来更多类似研究提供方法论上的借鉴和参考。

参考文献

- [1]孟令华,马明永,崔庆岗.西天山温泉岩体群LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及其地质意义[J].地质与勘探,2022,58(3):597-608.
- [2]刘帅,巫建华,杨东光,等.钦杭结合带中段龙头寨群黄竹洞组地质时代的新证据:流纹岩夹层的SHRIMP锆石U-Pb年龄及地质意义[J].岩石学报,2021,37(5):1431-1443.
- [3]高福红,王磊,许文良,等.小兴安岭“晚古生代”地层的时代与物源:地质与碎屑锆石U-Pb年代学证据[J].吉林大学学报(地球科学版),2016,46(2):469-481.