文章编号:1009-3850(2012)04-0065-05

湖南桃源郝坪奥陶系五峰组顶部斑脱岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

谢尚克,汪正江,王 剑,卓皆文

(成都地质矿产研究所,四川 成都 610081)

摘要:为了认识奥陶纪 – 志留纪之交的火山活动及事件年龄,对湖南桃源郝坪剖面的斑脱岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年。结果表明, 五峰组顶部斑脱岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 442.2 ± 8.1 Ma, 该年龄反映了扬子地区奥陶 纪 – 志留纪之交火山活动的时代, 与国际地层委员会公布的奥陶系 – 志留系界线年龄(443.7 ± 1.5 Ma) 相一致, 同属 晚奥陶世。奥陶纪 – 志留纪之交的火山活动对于探讨晚奥陶世生物绝灭、沉积环境变化与年代地层对比具有重要 的意义。

关 键 词: 郝坪; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 晚奥陶世; 火山活动; 生物灭绝

中图分类号: P588. 21⁺1 文献标识码: A

中国南方奥陶系分布广泛,出露良好,层序发 育完整。中奥陶世以来,扬子地块构造运动加速, 火山活动频繁^[16]。奥陶纪末发生了地球历史上第 二大规模的生物绝灭事件 ,引起国内外众多研究人 员的关注^[7-1]。Sheehan 认为这次生物绝灭事件可 能与南极冰盖扩张导致的气候变冷和全球海平面 下降事件有关^[7];汪啸风等人认为在奥陶系 – 志留 系的界线层中存在铱的正异常,这种正异常与地外 事件有关 并认为是这次地外事件导致了奥陶纪末 的生物大绝灭^[8];严德天认为冰期所影响的全球海 平面和氧化还原环境的转变是造成这次生物绝灭 的主要因素 ^[9-0]。扬子地台内奥陶纪顶部的五峰 组至志留纪底部的龙马溪组之间存在着多个粘土 岩层 野外剖面观察和前人研究结果认为这些粘土 岩层为钾质斑脱岩 ,是火山喷发的凝灰质物质在海 相环境沉积、蚀变的产物^[12-4]。这些斑脱岩广泛分 布于扬子地台周缘,对理解晚奥陶世的火山运动和 奥陶纪 – 志留纪界线处年龄及生物绝灭事件具有 重要的意义。

1 区域地质概况

扬子地台在奥陶纪时位于冈瓦纳大陆西北缘, 与波罗的板块、滇缅马板块和塔里木板块等同处中 低纬度地区^[15]。"华夏"和"扬子"两个地块在晚奥 陶世发生了强烈的板内构造运动^[1],随着华南板块 向北的俯冲,使得中国南方洋盆处于挤压状态,扬 子地区向下挠曲,"构造掀斜"效应造就了晚奥陶世 上扬子地区深水陆棚的构造-沉积空间^[6,16]。

笔者于 2010 年 6 月采集了位于湖南省桃源县 郝坪剖面的斑脱岩样品 HP-1,奥陶系 - 志留系界线 附近处的 GPS 坐标为 N29°17.831′,E111°12.398′ (图1),该剖面五峰组上部地层为灰黑色中厚层碳 质硅质页岩,厚为 10m 左右,产状为 165°∠34°;龙 马溪组底部为灰黑色中厚层粉砂质页岩,未见顶, 产状为 160°∠35°,界线附近处为灰白色凝灰岩,厚 约 0.2m。

2 样品采集与分析

对郝坪剖面奥陶系 - 志留系界线附近的斑脱岩

收稿日期: 2012-08-30; 改回日期: 2012-10-22

作者简介:谢尚克(1986-),男,硕士,助理工程师,从事沉积学研究。E-mail:shangk86@163.com 资助项目:青藏高原非常规油气调查(编号:1212011221106)、国家自然科学基金项目(编号:40972087、41072088)





Fig. 1 Location of the sampling sites and Ordovician-Silurian boundary section in Taoyuan , Hunan

 S_1l = Silurian Longmaxi Formation; O_3w = Ordovician Wufeng Formation. 1 = carbonaceous-silty shale; 2 = carbonaceoussiliceous shale; 3 = bentonite; 4 = sampling section

进行认真采样,先把表面已风化的斑脱岩岩剥去, 以保证样品新鲜、无污染,获得重量约4kg的样品, 装入干净样品袋中。通过人工重砂分选获得了大 量的颗粒锆石 然后在双目镜下挑选出晶形和透明 度较好的锆石颗粒,将其粘贴在环氧树脂表面,抛 光后将待测锆石进行阴极发光显微照相,通过图像 分析选择合适的区域进行 U-Pb 同位素年龄分析。 锆石 U-Pb 同位素分析在西北大学大陆动力学国家 重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序 完成 ,ICP-MS 为 Agilent 7500a ,激光剥蚀系统为配 备有 193nm ArF 准分子(Excimer) 激光器的 GeoLas 2005。分析中采用的激光斑束直径为 32 µm,以氦 气作为剥蚀物质的载气,同位素组成用标准锆石 91500 作为外标进行校正,元素含量采用美国国家 标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作 外标、Zr 作内标进行校正。锆石测定点的 Pb 同位 素比值、U-Pb 表面年龄和微量元素含量采用 ICP-MS DataCal3.5 程序计算^[17]。锆石加权平均年龄的 计算及谐和图的绘制采用 ISOPLOT 3.0 程序^[18]。 详细的实验原理、流程和仪器参数见 Yuan 等^[19]的 文献。

3 测试结果

对桃源郝坪地区样品 HP-I 的 15 颗锆石进行了

阴极发光图像研究及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分 析,结果见表 1、图 2,所有的 U-Pb 同位素分析数据 均标定在图 3 中。样品锆石在晶体形态和内部结构 特征上十分相似,大部分锆石为长柱状自形-半自形 透明晶体,大小 200 ~ 400μm。阴极发光图像显示 大多数锆石均发育有很窄、很规则的振荡生长环 带,具较典型的岩浆锆石特征^[20 21]。锆石的 Th/U 比值通常作为判断岩浆锆石与变质锆石的标志,即 岩浆锆石 Th/U 比值一般大于 0.4,变质锆石一般小 于 0.1^[22 23]。样品 HP-I 锆石中 15 个测点的 Th/U 比值介于 0.14 ~ 1.11 之间,平均值 0.5,该比值高 于变质成因锆石而与岩浆成因锆石一致。

本次锆石测年结果表明,除两个测点(测点1-7 和测点1-13)以外,所有测点均沿谐和曲线分布,集 中在(434~457)±7Ma之间,其谐和年龄值为 442.2±8.1Ma。测点1-7的年龄为274±5Ma,其年 龄偏低,可能与测点靠近锆石内部的裂纹,与铅丢 失有关;而测点1-13年龄为899±14Ma,其年龄过 高则可能由于测试的锆石为残留锆石,且测点接 近锆石核心。我们将442.2±8.1Ma作为样品HP-1 的形成年龄,与国际地层委员会(ICS)2004年公布 的地质年龄(443.7±1.5Ma)在误差范围内较为接 近^[24]此年龄可作为奥陶系-志留系界线附近火山 喷发事件的年龄。



图 2 样品 HP-1 的锆石 CL 图像及其打点位置 Fig. 2 Cathodoluminescence images of the zircons from the sample HP-1 and location of the analysed spots

Spot	${\rm Pb}^{207}/{\rm Pb}^{206}\pm 1{\rm s}$	${\rm Pb}^{207}/U^{235}\pm 1{\rm s}$	$Pb^{208}/Th^{232} \pm 1s$	${\rm Pb}^{206}/U^{238}\pm 1{\rm s}$	谐和度	Th	U	Th/ U
HP-1-1	478 ±71	458 ±7	484 ±8	454 ±7	101	57.79	193.88	0.30
HP-1-2	484 ±72	461 ±8	457 ±7	457 ±7	101	94.59	157.33	0.60
HP-1-3	459 ±70	454 ±7	446 ±8	453 ±7	100	51	272.54	0.19
HP-1-4	451 ±69	456 ±7	439 ±7	457 ±7	100	119.61	298.53	0.40
HP-1-5	514 ±70	461 ±7	415 ±7	450 ±7	102	91.89	218.68	0.42
HP-1-6	474 ±72	455 ±8	426 ±7	452 ±7	101	74.14	137.65	0.54
HP-1 <i>-7</i>	1162 ±63	392 ± 6	314 ±5	274 ±5	143	206.01	293.89	0.70
HP-1-8	523 ±72	454 ± 8	430 ±7	440 ±7	103	144.83	138.58	1.05
HP-1-9	511 ±70	461 ±7	414 ±6	450 ±7	102	134.84	204.17	0.66
HP-1-10	570 ±70	472 ±8	436 ±7	452 ±7	104	194.45	225.17	0.86
HP-1-11	429 ±74	437 ±8	422 ±8	438 ±7	100	72.22	220.01	0.33
HP-1-12	397 ±77	428 ±9	387 ±7	434 ±7	99	53.86	85.67	0.63
HP-1-1-3	1101 ±62	959 ±12	849 ±13	899 ±14	107	110.89	178.34	0.62
HP-1-14	480 ±71	443 ±7	427 ±7	436 ±7	102	83.72	349.2	0.24
HP-1-1-5	569 ±69	471 ±8	399 ±7	451 ±8	104	110.9	228.85	0.48

表1 样品 HP-1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 数据 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb ages for the sample HP-1



图 3 样品 HP-1 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图 Fig. 3 Concordia plots of LA-ICP-MS zircon U-Pb ages for the sample HP-I

4 讨论与结论

从晚奥陶世起,南方的板块构造运动就开始变 得剧烈,扬子克拉通在晚奥陶世 - 早志留世时的构 造古地理和沉积环境均发生了很大的变化。在广 西运动过程中,"华夏"古陆不断向扬子克拉通靠 近,位于二者间的华南洋逐渐闭合,成为残余海槽, 使扬子克拉通上的水域也逐渐成为闭塞性盆 地^[6,25]。苏文博等于2002年在王家湾剖面五峰组 顶部和龙马溪组底部发现了多层钾质斑脱岩,并与 贵州桐梓的斑脱岩进行了生物地层、层序地层的综

合对比 表明奥陶纪 - 志留纪之交 ,至少在上扬子 地台附近曾经发生过大规模的火山喷发活动[12]。 火山活动所形成的钾质斑脱岩在扬子地台周缘广 泛分布^[26] 斑脱岩原岩主要为中酸性火山岩,包括 安山岩-英安岩-流纹岩等。笔者认为绝大多数斑脱 岩原岩的产出背景为火山弧环境[27],有可能与早古 生代秦岭洋闭合过程中的板块俯冲有关^[14],也可能 是"华夏"地块与"扬子"地块碰撞挤压的结果。因 为从早古生代起,"华夏"地块与"扬子"地块构造挤 压加速^[6] 进一步加大"掀斜效应"。表现为川中隆 起、黔中隆起等正地形单元的扩大,扬子海域为古 降起所包围的半局限-局限浅海环境 海域面积的明 显缩小及局部地区表现为欠补偿的滞留盆地[1628], 这都足以让生物的生存空间大大缩小。晚奥陶世 的生物灭绝事件 不仅仅是由海平面变化导致的环 境因素有关 还可能与盆地演化相联系的构造运动 相关。此外,火山活动所喷发的挥发份物质和粉尘 等也使生物生存环境更为恶劣 这可能是造成这次 生物大绝灭的主要因素之一。

郝坪 HP-1 样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 (442.2±8.1Ma) 是奥陶系顶部一个比较可靠的同 位素年龄,该年龄是奥陶纪末火山喷发的活动年 龄,还为奥陶系 - 志留系界线处年龄提供了可靠的 参考依据。晚奥陶世末的火山事件是制约当时沉 积环境和生物兴衰的关键因素之一。

致谢: 在成文过程中,得到丘东洲研究员的耐 心指导和热心帮助,野外工作得到了刘家洪助理工 程师、杨平工程师的帮助。此外与张娣助理工程师 对论文进行了有益的探讨,也感谢评审人提出的宝 贵意见,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 刘宝珺,许效松,潘杏南,等,中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M].北京:科学出版社,1993.31-34.
- [2] QING H R ,BARNES C R ,BUHL D et al. The strontium isotopic composition of Ordovician and Silurian brachiopods and conodonts: relationships to geological events and implications for coeval seawater [J]. Geochim Cosmochim Acta ,1998 ,62 (10): 1721 – 1733.
- [3] SHIELDS G A ,CARDEN G A F ,VEIZER J et al. Sr ,C ,and O isotope geochemistry of Ordovician brachiopods: a major isotopic event around the Middle-Late Ordovician transition [J]. Geochim Cosmochim Acta 2003 67(11): 2005 - 2025.
- [4] SHIELDS G A VEIZER J. Section 6. Isotopic signatures [A]. Webby B D, Paris F, Droser M L et al. The Great Ordovician Biodiversification Event [C]. New York: Columbia University Press 2004. 68 – 71.
- [5] 谢尚克,汪正江,王剑,等.綦江观音桥中上奥陶统微量元素地 球化学特征[J].沉积与特提斯地质 2010 30(4): 60-65.
- [6] 谢尚克,汪正江,王剑,黔东北地区晚奥陶世岩相古地理[J].
 古地理学报 2011,13(5): 539-549.
- [7] SHEEHAN P M. The Late Ordovician mass extinction [J]. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences 2001 29: 331 – 364.
- [8] 汪啸风 柴之芳. 奥陶系与志留系界线处生物灭绝事件及其与 铱和碳氧同位素异常的关系 [J]. 地质学报 ,1989 ,60(3): 255 - 264.
- [9] 严德天 陈代钊,王清晨,等.扬子地区奥陶系-志留系界线附 近地球化学研究[J].中国科学 D辑:地球科学 2009 39(3): 285-299.
- [10] DETIAN YAN. ,DAIZHAO CHEN ,QINGCHEN WANG et al. Large-scale climatic fluctuations in the latest Ordovician on the Yangtze block South China [J]. Geology 2010 38(7): 599 -602.
- [11] WANG K ,ORTH C J et al. The great latest Ordovician extinction on the South China Plate: Chemostratigraphic studies of the Ordovician – Silurian boundary interval on the Yangtze Platform [J]. Palaeogeography ,Palaeoclimatology ,Palaeoecology ,1993 , 104: 61 – 79.
- [12] 苏文博,何龙青,王永标,等.华南奥陶-志留系五峰组及龙马 溪组底部斑脱岩与高分辨率地层[J].中国科学D辑:地球 科学 2002 32(3): 207-219.

- [13] 胡艳华,刘健,周明忠,等.奥陶纪与志留纪钾质斑脱岩研究
 评述[J].地球化学 2009 38(4): 393 404.
- [14] 胡艳华,孙卫东,丁兴,等.奥陶纪-志留纪边界附近火山活动记录:来自华南周缘钾质斑脱岩的信息[J].岩石学报, 2009 25(12): 3298-3308.
- [15] FORTEY R A COCKS L R M. Palaeontological evidence bearing on global Ordovician-Silurian continental reconstructions [J]. Earth-Sci. Rev. 2003 61: 245 – 307.
- [16] 许效松 徐强 潘桂棠 等.中国南大陆演化与全球古地理对 比[M].北京:地质出版社,1996.1-64.
- [17] LIU Y ,HU Z ,GAO S et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology 2008 257: 34 – 43.
- [18] LUDWIG K R. ISOPLOT 3. 00: A Geochronnlogical Toolkit for Microsoft Excel [Z]. Berkeley Geochronology Center ,Berkeley. California 2003.
- [19] YUAN H L GAO S LIU X M et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Geostandards and Geoanalytical Research 2004 28(3): 353 – 370.
- [20] 吴元保,郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释 的制约[J]. 科学通报 2004 49(16): 1589 - 1604.
- [21] RUBATTO D ,GEBAUER D. Use of cathodeluminescence for U/ Pb zircon dating by ion microprobe: some examples on the Western Alps [A]. Pagel M ,Barbin V ,Blanc P. Ohnenstetter D. Cathodeluminescence in Geosciences [C]. Berlin ,Heidelberg. New York: Springer 2000. 373 – 400.
- [22] MOELLER A O BRIEN P J KENNEDY A et al. Linking growth episodes of zircon from the ultrahigh-temperature granulites of Rogaland (SW Norway) [M]. Geological Society Special Publishing House 2003 220. 65 – 81.
- [23] RUBATTO D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and thelink between U-Pb age and metamorphism [J]. Chemical Geology 2002 ,184: 123 - 138.
- [24] GREADSTEIN F M ,OGG J G ,SMITH A G et al. A new geologic time scale ,with special reference to Precambrian and Neogene [J]. Episodes 2004 27(2): 83 – 100.
- [25] 王清晨 蔡立国.中国南方显生宙大地构造演化简史[J].地 质学报 2007 81(8): 1-16.
- [26] 吴若浩. 赣东北蛇绿岩带相关地质问题的构造古地理分析[J] 古地理学报 2003 5(3): 328-342.
- [27] 周明忠,罗泰义等. 钾质斑脱岩的研究进展[J]. 矿物学报, 2007,27(3):351-359.
- [28] 张元动 .詹仁斌,许红根,等. 华夏古陆于奥陶-志留纪之交的 扩展证据和机制探索[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学,2010, 40(1):1-17.

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the bentonites from the uppermost part of the Ordovician Wufeng Formation in the Haoping section, Taoyuan, Hunan

XIE Shang-ke , WANG Zheng-jiang , WANG Jian , ZHUO Jie-wen

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 442. 2 ± 8.1 Ma is obtained for the bentonite from the uppermost part of the Ordovician Wufeng Formation in the Haoping section , Taoyuan , Hunan. This age represents that of the volcanic activities in the Yangtze area during the Ordovician – Silurian boundary , and coincides with the age of 443.7 ± 1.5 Ma for the Ordovician – Silurian boundary published by the International Commission on Stratigraphy. The Ordovician – Silurian volcanic activities may have important implications for the insights into the Late Ordovician biotic extinction , sedimentary environmental changes and chronostratigraphic correlation in the study area.

Key words: Haoping; LA-ICP-MS zircon U-Pb age; Late Ordovician; volcanic activity; biotic extinction