

80(7): 984—994.

张旗, 2012. 花岗质岩浆能够结晶分离和演化吗? 岩石矿物学杂志, 31(2): 252—260.

张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等, 2009. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录. 地学前缘, 16(1): 234—247.

周新民, 陈培荣, 徐夕生, 等, 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩

成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社.

朱捌, 凌洪飞, 沈渭洲, 等, 2008. 粤北下庄矿田晚白垩世辉绿岩的地球化学特征及其构造意义. 地质论评, 54(1): 26—36.

朱金初, 张佩华, 谢才富, 等, 2006. 南岭西段花山—姑婆山 A 型花岗质杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因. 地质学报, 80(4): 529—542.

* * * * *



<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.234>

扬子克拉通核部黄陵地区中太古代花岗杂岩 中发现 3.00~2.93 Ga 变质事件

魏运许^{1,2}, 徐大良¹, 周文孝³, 万渝生⁴, 黄显校³, 赵小明¹, 段其发¹, 杨世平⁵

- 1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205
- 2. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 湖北武汉 430205
- 3. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074
- 4. 中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心, 北京 100037
- 5. 湖北省核工业地质调查院, 湖北孝感 432100

黄陵穹窿位于华南扬子克拉通核部地区(彭松柏等, 2016), 地处兴山县高岚镇、水月寺镇—宜昌市夷陵区殷家坪镇和雾渡河镇一带, 出露有太古宙—元古代崆岭杂岩(崆岭岩群)(魏君奇等, 2009; 魏君奇和王建雄, 2012), 亦称崆岭高级变质地体, 是目前扬子克拉通已知出露最广、时代最老的基底岩系(高山和张本仁, 1990; Qiu *et al.*, 2000; 高山等, 2001; Zhang *et al.*, 2006a; 焦文放等, 2009; 魏君奇和王建雄, 2012; Guo *et al.*, 2014; 胡蓉等, 2016), 能够精确记录黄陵结晶基底形成过程中各种构造—岩浆—变质事件发生的时间及性质(魏君奇和王建雄, 2012), 是了解扬子克拉通早期形成与演化历史的重要窗口。

崆岭杂岩中已知最老岩石地层单元为野马洞岩组, 最新调查研究表明, 在黄陵地区孔子河一带, 原

中元古代孔子河组被 2.2 Ga 的花岗斑岩侵入(Xu *et al.*, 2018); 该地层中变基性—超基性岩中获得 3.0 Ga 左右的锆石 U-Pb 年龄(Xu *et al.*, 2016); 长石石英岩中谐和锆石年龄最小值为 2.94 Ga, 同时, 在其周缘还发现存在 ~3.0 Ga 及 ≤2.95 Ga 的中太古代花岗岩(项目组未发表数据). 由此可见, 原孔子河组中有相当部分为中太古代野马洞岩组, 其中基性—超基性岩出露近 50 m, 其余地方多数被后期岩体侵入, 以包体形式出露或被后期地层所覆盖, 其岩石组合可分 3 类: 第一类是变质超基性—基性火山岩, 如滑石透闪石片岩、透闪石片岩等. 变质超基性原岩包括玄武质科马提岩和科马提岩: 低 SiO₂ (39.67%~43.93%)、TiO₂ (0.25%~0.27%), 高 Cr (1 351 × 10⁻⁶ ~ 1 961 × 10⁻⁶)、Ni (1 008 × 10⁻⁶ ~ 1 031 × 10⁻⁶), Mg[#] 值为 0.83~0.85. Al₂O₃/TiO₂ =

21.7~24.3, $Zr/Y=1.9\sim3.0$, $Nb/Th=6.1\sim12.9$, $(La/Sm)_{cm}=0.90\sim1.15$, 反映轻稀土分馏不明显; $(La/Yb)_{cm}=0.66\sim0.96$, 说明稀土配分曲线左倾斜, 为亏损型—橄榄质科马提岩; $(Gd/Yb)_{cm}=0.73\sim0.74$, 表明重稀土富集. 第二类是变质碎屑沉积岩, 如变质细粒石英杂砂岩、变质泥质含砂粉砂岩. 第三类是变质碳酸盐岩和不纯碳酸盐岩, 主要为绿泥方解石钙质片岩. 上述岩石变质程度为绿片岩相—低角闪岩相, 变基性、超基性岩石中 MgO 值为 $18\%\sim28\%$, 稀土元素总量较低, ΣREE 变化范围介于 $9.20\sim33.12$, 稀土配分形式具有类似于芬兰绿岩带中科马提岩轻微轻稀土亏损的和平坦的稀土分布特征 (Jahn *et al.*, 1980), 变质碎屑沉积岩具 E-MORB 的稀土配分形式特征, 与绿岩带物质组成特征一致.

为了获得野马洞岩组形成的时代, 笔者选取 3 件样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 分别是距离水月寺镇西约 2 km 的下方溪透闪石片岩、约 3 km 狮子坪黑云透闪片岩 (变质基性岩) 及其西北约 12 km 孔子河滑石透闪石片岩 (变玄武质科马提岩). 前 2 件样品以包体形式产于东冲河片麻岩之中, 后者出露面积较广. 黑云透闪片岩 (野马洞岩组

绿岩) 年龄为 2999 ± 12 Ma, 与孔子河滑石透闪石片岩中锆石年龄 3017 ± 13 Ma (Xu *et al.*, 2016) 在误差范围内一致. 锆石呈浑圆状或椭圆状, 阴极发光图像中组成不均匀, 为花斑状, 具变质锆石的结构和组成特征 (图 1a), 所以, ~ 3.0 Ga 为变质锆石年龄记录, 表明该区存在一次重要的 ~ 3.0 Ga 构造热事件. 另一方面, 滑石透闪石片岩中锆石的单阶段和二阶段 Hf 同位素模式年龄与变质年龄一致 (图 1b). 由于超基性—基性火山岩很难结晶出岩浆锆石, 不论变质锆石是原来存在的锆石 (捕获锆石) 改造形成或是变质新生, 都表明超基性—基性火山岩形成时代 ≥ 3.0 Ga, 并很可能形成时代只略大于 3.0 Ga. 这与角闪岩类围岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄及原生岩浆锆石 (锆石 CL 图像具岩浆环带) 的 U-Pb 年龄 3.0 Ga 基本一致. 魏君奇和王建雄 (2012)、魏君奇和景明明 (2013) 以及最近报道 (Qiu *et al.*, 2018) 在孔子河附近新发现 3.0 Ga 左右 TTG 岩浆岩. 由此可见, 野马洞岩组遭受 3.0 Ga 变质作用的改造可能与 3.0 Ga 左右的 TTG 岩浆岩形成属于同一构造岩浆—变质事件的产物.

笔者在透闪石片岩中获得 3.0 Ga 和 2.93 Ga 两组年龄数据. 锆石具核—边结构, 3.0 Ga 的锆石都为核部锆石, 尽管 Th/U 比值高, 但是图像中颜色浅, 为花斑状和云雾状 (图 1c), 具重结晶锆石的结构特征. 所以, 3.0 Ga 锆石年龄被解释为早期变质事件的年龄记录. 所有数据点都分布在谐和线上或其附近, 与锆石 U 含量低有关. 2.93 Ga 的锆石包括了核部锆石和边部锆石, 但核部锆石在阴极发光下颜色较暗并具有震荡环带, 结构上显示出有流体参与条件下的变质重结晶, 使一些锆石具有很低的 Th/U 比值 (<0.1). 边部锆石在阴极发光下结构均匀, 具低的 Th/U 比值 (<0.1). 所有数据点位于上交点年龄为 2.93 Ga 的不一致线上, U 含量高的锆石显示更强的铅丢失. 这一年龄也被解释为构造热事件年龄记录, 意味着该样品的锆石记录了 3.0 Ga 和 2.93 Ga 两期构造热事件. 结合前人厘定出的 2.75~2.7 Ga、2.6~2.5 Ga (魏君奇等, 2012) 及 2.1~1.9 Ga 的热变质事件 (凌文黎等, 2000; Zhang *et al.*, 2006b; 彭松柏等, 2016; Han *et al.*, 2017) 可知, 黄陵地区经历了 5 次热变质事件.

本文根据首次发现的黄陵地区崆岭杂岩 3.0 Ga 和 2.93 Ga 变质锆石年龄. 结合 TTG 岩石研究, 证实该区存在中太古代花岗岩—绿岩带的残留, 且遭受了 3.0 Ga 和 2.93 Ga 两期变质作用的影响, 为扬

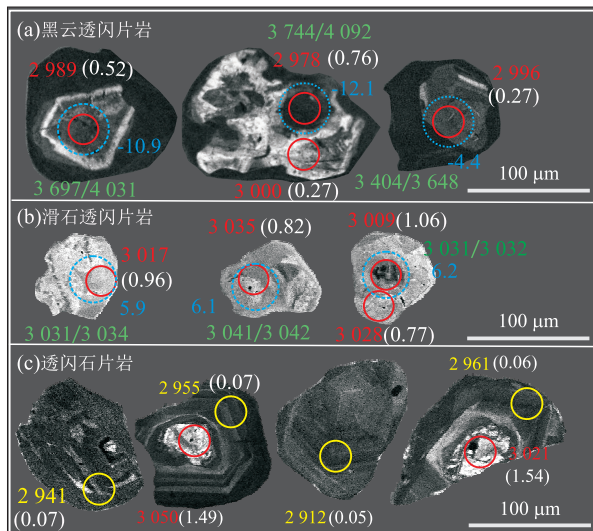


图 9 野马洞岩组中代表性锆石 CL 图像及激光分析测试数据

Fig.9 Representative CL images for zircon with laser analysis test data for the Yemadong Group

小圈及同色数字分别为 U-Pb 年龄测试激光点位置与 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄值, 单位 Ma; 大圈及同色数字为 Hf 同位素测试激光点位置及 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值, 括号内白色数字为 Th/U 值. 绿色数值“/”前后分别代表 $t_{DM1}(Hf)$ 与 $t_{DM2}(Hf)$, 均为谐和和锆石

子古陆核早期大陆地壳形成及演化研究提供了关键地质依据。研究表明,扬子古陆核在中太古代陆壳已经形成,由变质锆石所记录的构造热事件还表明黄陵地区陆壳中太古代时已具有一定的厚度。暗示扬子陆核存在与全球板块构造启动时间 3.0 Ga (Polat, 2012; Næraa *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2016; 赵振华, 2017)一致的构造热事件。

References

- Gao, S., Qiu, Y. M., Ling, W. L., et al., 2001. SHRIMP Single Zircon U-Pb Dating of The Kongling High-Grade Metamorphic Terrain: Evidence for >3.2 Ga Old Continental Crust in the Yangtze Craton. *Science in China (Ser. D)*, 44: 326–335 (in Chinese).
- Gao, S., Zhang, B. R., 1990. The Discovery of Archean TTG Gneisses in Northern Yangtze Craton and Their Implications in Northern Yangtze Craton and Their Implications. *Earth Science*, 15(6): 675–679 (in Chinese with English abstract).
- Guo, J. L., Gao, S., Wu, Y. B., et al., 2014. 3.45 Ga Granitic Gneisses from the Yangtze Craton, South China: Implications for Early Archean Crustal Growth. *Precambrian Research*, 242: 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.12.018>
- Han, Q. S., Peng, S. B., Kusky, T. M., et al., 2017. A Paleoproterozoic Ophiolitic Mélange, Yangtze Craton, South China: Evidence for Paleoproterozoic Suturing and Microcontinent Amalgamation. *Precambrian Research*, 293: 13–38. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.03.004>
- Hu, R., Li, S. Q., Wang, W., et al., 2016. Source Characteristics of Tillite the Nantuo Formation in Three Gorges, Northern Yangtze Block: Evidences from Zircon Ages and Geochemical Composition. *Earth Science*, 41(10): 1630–1654 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.121>
- Jahn, B. M., Auvray, B., Blais, S., et al., 1980. Trace Element Geochemistry and Petrogenesis of Finnish Greenstone Belts. *Journal of Petrology*, 21(2): 201–244. <https://doi.org/10.1093/petrology/21.2.201>
- Jiao, W. F., Wu, Y. B., Peng, M., et al., 2009. The Oldest Basement Rock in the Yangtze Craton Revealed by Zircon U-Pb Age and Hf Isotope Composition. *Science in China (Ser. D)*, 39(7): 972–978 (in Chinese).
- Ling, W. L., Gao, S., Zhang, B. R., et al., 2000. Later Paleoproterozoic Tectonothermal Event and Evolution of Yangtze Craton. *China Science Bulletin*, 45(21): 2343–2348 (in Chinese).
- Næraa, T., Scherstén, A., Rosing, M. T., et al., 2012. Hafnium Isotope Evidence for a Transition in the Dynamics of Continental Growth 3.2 Gyr Ago. *Nature*, 485(7400): 627–631. <https://doi.org/10.1038/nature11140>
- Peng, S. B., Han, Q. S., Polat, A., et al., 2016. The Paleoproterozoic Ophiolitic Mélange was Discovered in the Northern Part of the Huangling Mountains of the Yangtze Craton. *Earth Sciences*, 41(12): 2117–2118 (in Chinese with English abstract).
- Polat, A., 2012. Growth of Archean Continental Crust in Oceanic Island Arcs. *Geology*, 40(4): 383–384. <https://doi.org/10.1130/focus042012.1>
- Qiu, X. F., Ling, W. L., Liu, X. M., et al., 2018. Evolution of the Archean Continental Crust in the Nucleus of the Yangtze Block: Evidence from Geochemistry of 3.0 Ga TTG Gneisses in the Kongling High-Grade Metamorphic Terrane, South China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 154: 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.12.026>
- Qiu, Y. M., Gao, S., McNaughton, N. J., et al., 2000. First Evidence of >3.2 Ga Continental Crust in the Yangtze Craton of South China and Its Implications for Archean Crustal Evolution and Phanerozoic Tectonics. *Geology*, 28(1): 11. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)028<0011:feogcc>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)028<0011:feogcc>2.3.co;2)
- Tang, M., Chen, K., Rudnick, R. L., 2016. Archean Upper Crust Transition from Mafic to Felsic Marks the Onset of Plate Tectonics. *Science*, 351(6271): 372–375. <https://doi.org/10.1126/science.aad5513>
- Wei, J. Q., Jing, M. M., 2013. Chronology and Geochemistry of Amphibolites from the Kongling Complex. *Chinese Journal of Geology*, 48(4): 970–983 (in Chinese with English abstract).
- Wei, J. Q., Wang, J. X., 2012. Zircon Age and Hf Isotope Compositions of Amphibolite Enclaves from the Kongling Complex. *Geological Journal of China Universities*, 18(4): 589–600 (in Chinese with English abstract).
- Wei, J. Q., Wang, J. X., Wang, X. D., 2009. Dating of Mafic Dikes from Kongling Group in Huangling Area and Its Implications. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 39(3): 466–471 (in Chinese with English abstract).
- Xu, D. L., Wei, Y. X., Liu, H., et al., 2016. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopes of Metabasites from the Kongling Terrane, South China: Constraints on the Mesoarchean Crustal Evolution of the Yangtze Craton. *Geology and Mineral Resources of South China*, 32(3): 296–297.
- Xu, D. L., Wei, Y. X., Peng, L. H., et al., 2018. A ca. 2.2 Ga Acidic Magmatic Event at the Northern Margin of the Yangtze Craton: Evidence from U-Pb Dating and Hf I-

- sotope Analysis of Zircons from the Kongling Complex. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 92(2): 872–873. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13567>
- Zhang, S. B., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2006a. Zircon U-Pb Age and Hf Isotope Evidence for 3.8 Ga Crustal Remnant and Episodic Reworking of Archean Crust in South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 252(1–2): 56–71. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.09.027>
- Zhang, S. B., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2006b. Zircon U-Pb Age and Hf-O Isotope Evidence for Paleoproterozoic Metamorphic Event in South China. *Precambrian Research*, 151(3–4): 265–288. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.08.009>
- Zhao, Z. H., 2017. When did Plate Tectonic Start on Earth? *Geotectonica et Metallogenia*, 41(1): 1–22 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 高山, Qiu, Y. M., 凌文黎, 等, 2001. 崆岭高级变质地体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究: 扬子克拉通 > 3.2 Ga 陆壳物质的发现. *中国科学(D辑)*, 31(1): 27–35.
- 高山, 张本仁, 1990. 扬子地台北部太古宙 TTG 片麻岩的发现及其意义. *地球科学*, (6): 675–679.
- 胡蓉, 李双庆, 王伟, 等, 2016. 扬子北部三峡地区南沱组冰碛岩的物源特征: 锆石年龄和地球化学证据. *地球科学*, 41(10): 1630–1654. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.121>
- 焦文放, 吴元保, 彭敏, 等, 2009. 扬子板块最古老岩石的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成. *中国科学(D辑)*, 39(7): 972–978.
- 凌文黎, 高山, 张本仁, 等, 2000. 扬子陆核古元古代晚期构造热事件与扬子克拉通演化. *科学通报*, 45(21): 2343–2348.
- 彭松柏, 韩庆森, Polat, A., 等, 2016. 扬子克拉通黄陵穹隆北部发现古元古代蛇绿混杂岩. *地球科学*, 41(12): 2117–2118.
- 魏君奇, 景明明, 2013. 崆岭杂岩中角闪岩类的年代学和地球化学. *地质科学*, 48(4): 970–983.
- 魏君奇, 王建雄, 2012. 崆岭杂岩中斜长角闪岩包体的锆石年龄和 Hf 同位素组成. *高校地质学报*, 18(4): 589–600.
- 魏君奇, 王建雄, 王晓地, 等, 2009. 黄陵地区崆岭群中基性岩脉的定年及意义. *西北大学学报(自然科学版)*, 39(3): 466–471.
- 赵振华, 2017. 地质历史中板块构造启动时间. *大地构造与成矿学*, 41(1): 1–22.