

华夏地块龙泉地区发现亚洲最古老的锆石

邢光福, 杨祝良, 陈志洪, 姜 杨, 洪文涛, 靳国栋, 余明刚,
赵希林, 段 政

中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016

摘 要: 锆石这一矿物是迄今为止所发现的地球最初 500 个百万年间(地质学界通常称为“冥古代”)的唯一地壳物质残留, 对于了解地球早期地壳演化过程至关重要。近年来, 随着高精度 SHRIMP 测年技术的广泛运用, 笔者最近在华夏地块龙泉地区发现了 2 颗约 4100 Ma 的碎屑锆石。其中一颗为目前发现亚洲最古老的锆石, 其内部结构简单, 具有正常的震荡环带, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 (4127 ± 4) Ma; 其 $\delta^{18}\text{O}$ 与地幔岩浆的氧同位素类似, 可能来自于早期的幔源岩浆或者未经历地表过程的深部地壳物质的熔融。另外一颗锆石具有明显的核边结构, 其核部结晶年龄约为 4100 Ma, 变质边年龄约为 4070 Ma, 外围还有 2 层岩浆增生边年龄介于 3800~3600 Ma, 代表了该 4100 Ma 的锆石核部在后期经历了复杂的地壳演化过程, 4070 Ma 的变质边是目前已获得最为可靠的全球变质年龄。上述发现表明冥古宙时地壳性质和构造环境存在多样性, 为认识地球早期大陆演化过程提供了重要新信息。

关键词: 锆石; 冥古宙; 龙泉; 华夏陆块

中图分类号: P578.941; P597.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2015.04.02

The Discovery of the Asian Oldest Zircons in Longquan, Cathaysia Block

XING Guang-fu, YANG Zhu-liang, CHEN Zhi-hong, JIANG Yang, HONG Wen-tao,
JIN Guo-dong, YU Ming-gang, ZHAO Xi-lin, DUAN Zheng

Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing, Jiangsu 210016

Abstract: At present, zircons are the only residual material of the Hadean crust, and constitute a crucial clue to understanding the early crustal evolution. Recently, we found the two ~4100 Ma detrital zircons from a Paleozoic quartzite in the Longquan area of the Cathaysia Block, through SHRIMP zircon data. One zircon ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of 4127 ± 4 Ma) shows normal oscillatory zonation and constant mantle-like oxygen isotope ratios ($\delta^{18}\text{O} = 5.8\text{‰}$ to 6.0‰), and might have crystallized in ancient mantle-derived magmas or partial melts of primitive crust. Obviously, this is the oldest age in the reported zircon ages of Asia. The other zircon grain has a ~4100 Ma magmatic core surrounded by a ~4070 Ma metamorphic mantle. The 4070 Ma indicates the most reliable metamorphic age of the earth. Outside the mantle, two overgrowth bands are 3800~3600 Ma, implying that the magmatic core (crust) underwent complex evolutions after ~4100Ma. These data demonstrate the diversity of the Earth's earliest crustal nature and tectonic setting, and provide crucial evidence for us to understand the earliest crustal evolution.

Key words: zircon; Hadean; Longquan; Cathaysia Block

华夏地块的前寒武纪基底的物质组成与构造演化史极为复杂, 是当前华南区域地质调查与研究工作中的重大地质问题。最近, 笔者在华夏地块武

夷地区变质岩系研究中, 对浙江省西南部龙泉岩群的一个云母石英片岩样品(编号: 113ZJ-14-4)进行了碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 测得年龄谱延续范

本文由中国地质调查局工作项目“华东基础地质综合调查与片区总结”(编号: 1212011220542)和国家自然科学基金项目(编号: 41002024; 41202141)联合资助。获中国地质调查局、中国地质科学院 2014 年度地质科技十大进展第七名。

收稿日期: 2015-03-09; 改回日期: 2015-05-08。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 邢光福, 男, 1965 年生。博士, 研究员。主要从事华南基础地质研究工作。E-mail: njxgfu@163.com。

围极大(4100~410 Ma, 自冥古宙延续至早泥盆世初), 其中两颗碎屑锆石(编号#8、#123)获得大于4050 Ma的年龄(岩浆成因核部 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化范围约4200~4104 Ma, 谐和年龄4127~4100 Ma), 这是华夏地块北部首次发现冥古宙锆石。两颗冥古宙碎屑锆石中, #123 锆石的岩浆成因核部谐和年龄为(4127±4) Ma, 可能是亚洲迄今发现的最古老锆石; #8 锆石发育核幔边结构, 其岩浆成因核部年龄为(4100±7) Ma, 变质幔年龄为~4070 Ma, 可能是地球上最早的变质事件记录。此项成果于2014年6月3日全文在线发表于Nature旗下的《Scientific Reports》(DOI: 10.1038/srep05143), 并有幸入选“中国地质调查局、中国地质科学院2014年度地质科技十大进展”(中国地质科学院, 2015)。

华夏地块是中国东部大陆重要的组成部分之一, 主要由早古生代变质岩以及中生代花岗岩类、火山-沉积岩组成, 并出露少量前寒武纪岩石(包括新元古代火山-沉积岩以及极少量的古元古代片麻岩)。研究区地处华夏地块北部的浙西南龙泉地区(图1)。区域上出露的前寒武纪变质岩系大致可以划分为上、下两套岩石地层单元: 下部为古元古代的八都群, 主要岩性为黑云斜长片麻岩、变粒岩、黑云片岩和斜长角闪岩, 经历了角闪岩相的中高温区域变质作用和较强烈的混合岩化作用(胡雄健等, 1993; 甘晓春等, 1995); 上部为新元古代的龙泉群, 主要岩性为变粒岩、云母片岩、绿帘斜长角闪岩、

含铁石英岩和大理岩等, 经历了高绿片岩相到低角闪岩相的区域变质作用(胡雄健等, 1993; 甘晓春等, 1995; 陈正宏等, 2008)。本文所报道的冥古宙锆石来自于龙泉岩群的云母石英片岩。

1 冥古宙地壳物质研究现状

地球早期的形成和演化一直是国际地学界关注的热点, 冥古宙(Hadean Eon, 约4510~3850 Ma; 陆松年等, 2005)的古老岩石与矿物(锆石)则是重要的研究对象和信息载体。目前全球范围内冥古宙岩石(≥ 3.8 Ga)仅在格棱兰、东南极、北美和中国华北等少数地区发现(Black et al., 1986; Kinny et al., 1986; Liu et al., 1992; Song et al., 1996; Wan et al., 2005), 其中加拿大Wopmay造山带Acasta的4016 Ma片麻岩是地球上已知最古老的岩石(Iizuka et al., 2006), 但O'Neil等(2008)报道加拿大Nuvvuagittuq绿岩带 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{147}\text{Sm}/^{142}\text{Nd}$ 等时线年龄为4.28 Ga。我国发现的最古老岩石在华北陆块鞍山、冀东等地(≥ 3.8 Ga), 它们的锆石Hf模式年龄约4.0 Ga(Liu et al., 1992; Wan et al., 2005; 万渝生等, 2009)。扬子陆块最古老岩石是鄂北地区的崆岭杂岩, 为3.2~2.9 Ga的TTG质片麻岩和混合岩等(Gao et al., 1999; Qiu et al., 2000; Jiao et al., 2009)。华夏地块发现的最古老岩石时代是浙西南的古元古代变质花岗岩类(<2.0 Ga, 甘晓春等, 1995; Liu et al., 2009; Yu et al., 2009, 2012), 至今尚未发现冥古宙岩石。但是, 地球上能保存至今的冥古宙岩石极为有限, 且通常遭受

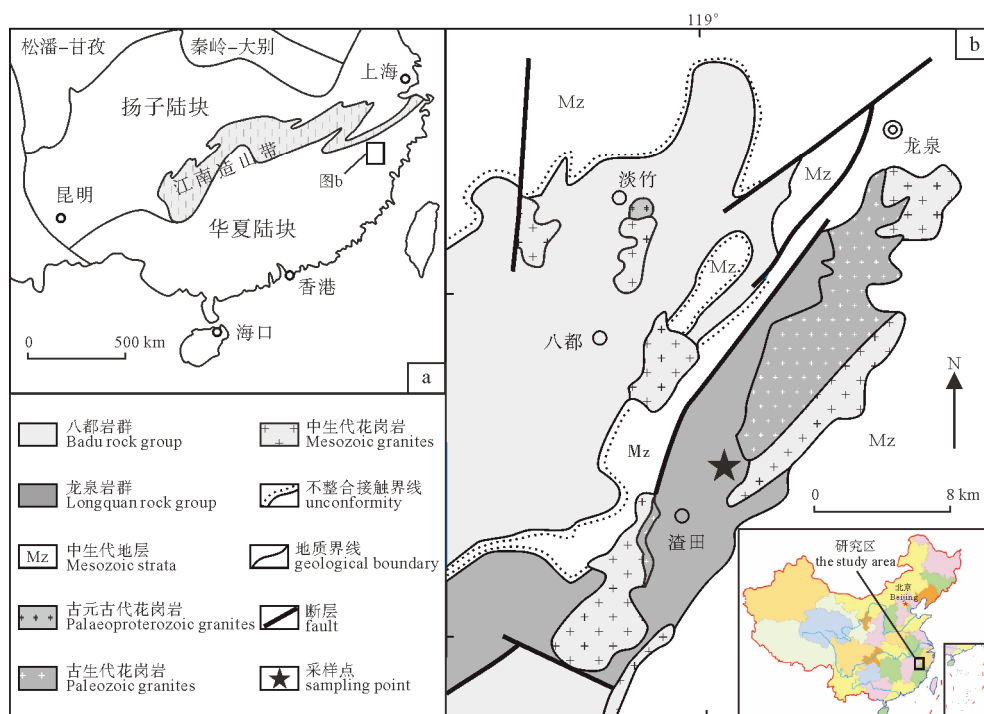


图1 研究区大地构造位置(a)、龙泉地区地质简图(b)(据 Xing et al., 2014 修改)

Fig. 1 Geotectonic location (a), simplified geological map of Longquan area (b) (modified after Xing et al., 2014)

了后期复杂的地质过程, 直接从中获取原岩的详细信息相对比较困难; 相比之下, 地球上的古老锆石则数量相对多、地域相对广。因此, 古老锆石就成为了解地球形成初期 500 Ma 内地壳演化过程的主要研究对象, Valley 等(2014)甚至提出: 地球早期一定发生过地壳的化学均一化、以及存在岩浆海等, 但并不能直接被记录下来; 地球最早阶段的演化中唯一的物质证据就是锆石。

迄今为止, 全球发现的>4050 Ma 冥古宙锆石主要分布于冈瓦纳大陆上, 且绝大多数见于西澳大利亚的 Yilgarn 克拉通直径约 300 km 的狭小区域内, 尤其以 Jack Hill 最为著名(Compston et al., 1986; Maas et al., 1992; Nelson et al., 2000; Peck et al., 2001; Griffin et al., 2004; Kemp et al., 2006; Harrison et al., 2007, 2008), 最老的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄达(4404±8) Ma, 其原位 O 同位素分析表明当时已存在花岗质岩浆活动和早期的海洋(Wilde et al., 2001; Harrison et al., 2008), 其次为(4348±3) Ma (Cavosie et al., 2004)等。最近, Valley 等(2014)采用当前最先进的原子探针层析技术(atom-probe tomography), 测得 Jack Hill 一颗碎屑锆石年龄为 4374 Ma, 被认为这是目前地球上最可靠的、最古老的锆石年龄, 表明地壳在地球诞生 1 亿年后、即在太阳系诞生 1.6 亿年后即已形成。在 Jack Hill 的 4.25 Ga 碎屑锆石中还发现了金刚石包裹体, 表明当时陆壳可能已有相当厚度(Menneken et al., 2007)。Svetlana 等(2010)对西澳 Pilbara 克拉通 Dresser 组弱变质玄武岩和层状硅质岩的 ^{147}Sm - ^{143}Nd 同位素分析表明, 在地球形成之后 100~200 Ma 内, 地幔即开始发生初始分异, 形成富集的或亏损的储库; 大体与此同时, 在 4.3 Ga 之前即通过对流地幔分异开始了地壳的分异作用。此外, 在世界上其它地区也发现了≥3.8 Ga 的碎屑锆石, 例如德国巴伐利亚东北(Gebauer et al., 1989)、美国怀俄明州北部(Mueller et al., 1998)、巴西圣弗朗西斯科克拉通(Hartmann et al., 2006)、尼泊尔西部高喜马拉雅地区(Gehrels et al., 2006)及中亚造山带内哈萨克斯坦北部(Kröner et al., 2008)等。

我国最早在华北鞍山地区发现冥古宙碎屑锆石(SHRIMP U-Pb 年龄≥3.8 Ga, 此外还有 4.0 Ga 的 Hf 同位素亏损地幔模式年龄(Liu et al., 1992; Wan et al., 2005; 万渝生等, 2009)。近年来, 我国多处发现了冥古宙锆石。在西藏地块, 普兰县石英片岩中首次发现一颗 SHRIMP U-Pb 法年龄为(4102.5±4.3) Ma 的碎屑锆石, 在当时是亚洲地区已知最古老的锆石, 并发育~3.6 Ga 变质深熔锆石增生边(温春齐等, 2006; Duo et al., 2007)。在华北陆块, 南缘的信阳鲁

山地区存在 Hf 同位素亏损地幔模式年龄达 3.9~4.0 Ga 的碎屑锆石, 冀东铬云母石英岩中则发现了~3.85 Ga 碎屑锆石(万渝生等, 2009)、以及 Hf 同位素亏损地幔模式年龄达 3.96 Ga 的碎屑锆石(Wu et al., 2005); 北秦岭奥陶纪火山岩中发现一颗冥古宙捕虏锆石, 其 LA-ICP-MS U-P 年龄为(4079±5) Ma, 可能是劳亚大陆发现的最古老碎屑锆石(王洪亮等, 2007), 此后第五春荣等(2010)利用该碎屑锆石进行了 SHRIMP U-P 法验证, 测得原位年龄为(4080±9) Ma, 并原地再取样分选出 3000 多颗锆石, 利用 LA-ICP-MS U-Pb 法对所有锆石逐一测年分析, 新获得两颗冥古宙锆石(年龄分别为(4007±29) Ma、(3908±45) Ma, 均属捕获变质成因锆石); 河西走廊晚泥盆世中宁组砂岩中发现二颗碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为(3891±17) Ma 和(4022±16) Ma, 它们的 Hf 同位素特征与 Jack Hills>4.0 Ga 锆石的(Harrison et al., 2008)非常相近, 均来自大陆地壳区的花岗质岩浆(Yuan et al., 2012); Cui 等(2013)报道了华北陆块最古老的锆石捕虏晶 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 4.17 Ga; 刘建辉等(2014)则推断华北陆块可能还存在~4.1 Ga 的地壳增生作用。在扬子陆块, Zhang 等(2006)测得湖北宜昌南华纪莲沱组砂岩中一颗碎屑锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 3.8 Ga, Hf 模式年龄 3.96~4.00 Ga。在西伯利亚陆块南缘的中亚造山带, Wang 等(2013)在东准噶尔阿尔曼泰蛇绿混杂带的沉积岩块中也发现一颗 LA-ICP-MS U-Pb 法年龄为 4.04 Ga 的碎屑锆石, 其 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-5.2, Hf 模式年龄达 4474 Ma。

华夏地块多处发现了冥古宙(或 Hf 模式年龄达冥古宙)的碎屑锆石, Yu 等(2007)测得粤北南雄地区潭溪片麻岩中一颗 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 3755 Ma 的碎屑锆石有 4.07 Ga 的 Hf 模式年龄; Yao 等(2011)在赣南奥陶纪砂岩中发现一颗 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 3.96 Ga 的碎屑锆石, 另有两颗碎屑锆石的 Hf 模式年龄分别为 4068 Ma(U-Pb 年龄 2435 Ma)、4202 Ma(U-Pb 年龄 2649 Ma); Yu 等(2012)测得浙西南八都岩群一颗 U-Pb 年龄为 3.6 Ga 的碎屑锆石有 3.99 Ga 的 Hf 模式年龄。Xu 等(2012)在广西西大明山早寒武世砂岩中测得一颗碎屑锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(4107±29) Ma; Li 等(2014)报道了华夏地块一颗碎屑锆石的 Hf 同位素模式年龄为~4.19 Ga。

以上说明, 我国的华夏地块、扬子陆块、华北陆块等不同块体都可能存在冥古宙地壳残片, 而且可能有类似的早期地质演化历史; 同时也意味着全球可能存在多个>4.0Ga 的物源区(Zhang et al., 2006; Zheng et al., 2007; 万渝生等, 2009)。此外, 华夏地

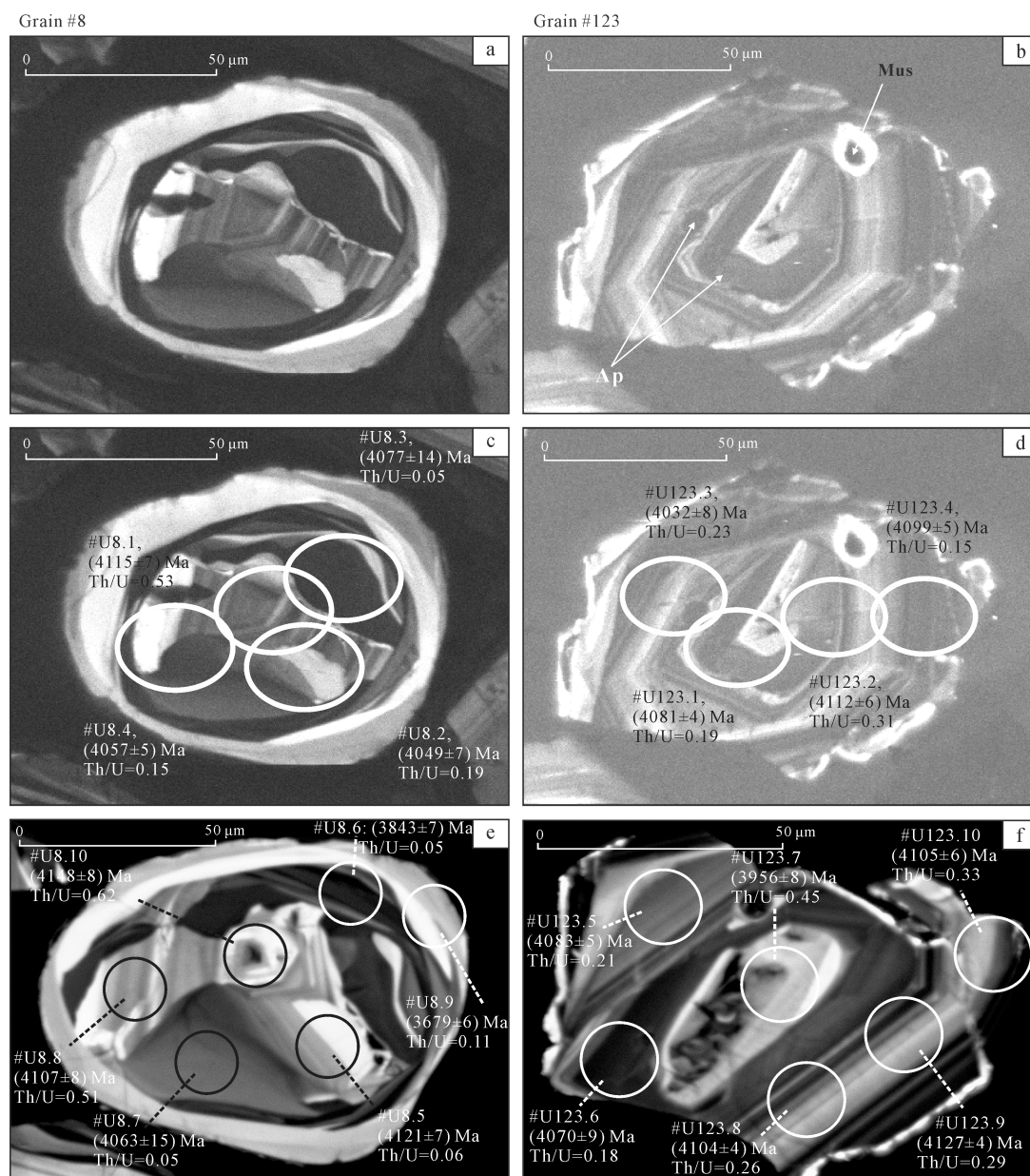


图2 冥古宙锆石 CL 图像(据 Xing et al., 2014 修改)

Fig. 2 CL image of Hadean zircon (modified after Xing et al., 2014)

Mus-白云母; Ap-磷灰石

Mus-muscovite; Ap-apatite

块的武夷地区、云开地区和南岭地区均有冥古宙年代信息,说明曾经在大范围内分布有冥古宙物质,甚至有找到冥古宙地质体残留的可能性。

2 华夏地块冥古宙锆石发现的意义

如前所述, Xing 等(2014)在华夏地块武夷地区发现两颗冥古宙碎屑锆石(>4100 Ma), 其中一颗(#123)为亚洲最古老的锆石(4127 Ma); 另一颗(#8)具有~4100 Ma 的岩浆成因核, 其核部被一约 4070~4060 Ma 的变质幔部包裹(记录了全球最早的变质年龄), 在最外部还有两个介于 3800~3600 Ma 的增生边(图 2, 3)。此外, 我们也注意到这两颗冥古宙锆石的 O 同位素、微量元素、Ti 含量及结晶温度

等, 与已知的其它地区冥古宙锆石有明显差异。例如, #8 锆石碎屑锆石核部的岩浆锆石有异常高的钛含量($51.5 \times 10^{-6} \sim 54.0 \times 10^{-6}$), 利用锆石的钛温度计求得其结晶温度为 910°C, 明显高于地球上已知其它冥古宙锆石的形成温度(例如: 西澳 Jack Hills 冥古宙碎屑锆石的平均温度约 700°C)(Xing et al., 2014)。此外, #8 碎屑锆石核部的岩浆锆石还有极高的氧同位素组成($\delta^{18}\text{O}$ 值平均 7.2‰), 与西澳 Jack Hills 冥古宙岩浆成因锆石中的最高值相似, 且高于幔源岩浆锆石值, 说明其岩浆源区有蚀变地壳物质加入, 或者其基岩在 4150 Ma 之前与地表水经历了同位素交换。另外, 在球粒陨石标准化稀土元素配分图上, 两颗冥古宙碎屑锆石的岩浆成因锆石区均表现

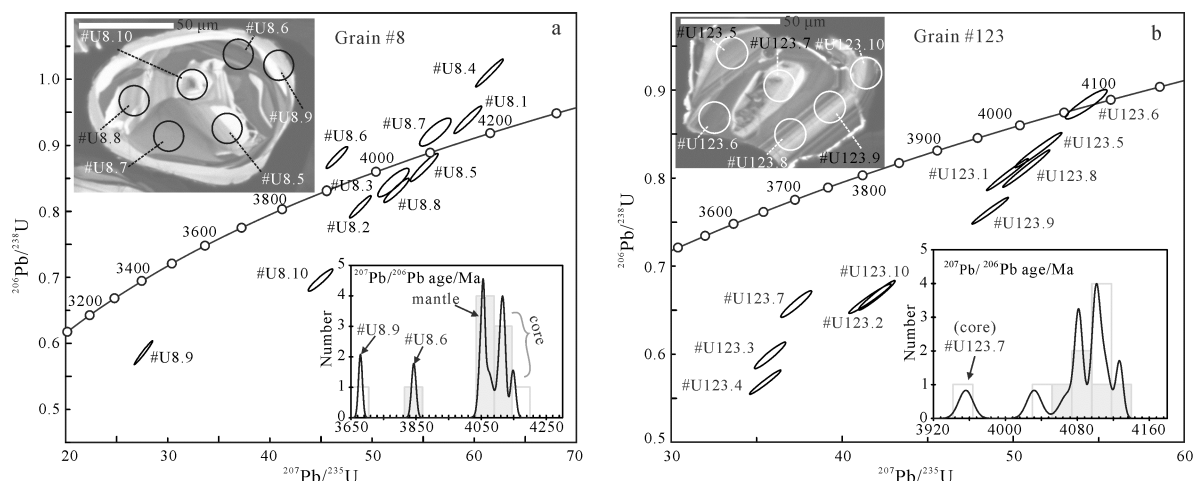


图3 冥古宙锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图(引自 Xing et al., 2014)
Fig. 3 SHRIMP U-Pb concordia diagram of Hadean zircon (after Xing et al., 2014)

为轻稀土亏损、正 Ce 异常和负 Eu 异常;它们还具有具有很高的 $(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}$ 和 U/Yb 比值,与地球上其它壳源锆石类似(Xing et al., 2014)。因此, #8 号颗粒核部可能结晶于浅部地壳沉积物部分熔融所形成的花岗岩类中,这与 Jack Hills 中那些冥古宙锆石相似,同时期高温对应的高 Ti 暗示其源区内的无水(干的)熔融过程,这一特殊的成岩机制目前还尚未见有报道。

另外,冥古宙锆石颗粒在中国境内不同时期的沉积岩中零星分布,表明了冥古宙锆石可以在多阶段的地壳重循环过程中得以保留。本次研究共对龙泉岩群云母石英片岩的 214 颗锆石进行了 235 个点的 U-Pb 定年(未发表数据),发现了两颗>40 亿年的冥古宙锆石,表明北武夷地区的变质基底虽然岩石形成时代普遍<20 亿年,但冥古宙锆石含量(接近 1%)远高于澳大利亚等地区,暗示可能有更多的冥古宙锆石,甚至可能还残留太古宙-冥古宙岩石。因此有必要对华夏地块龙泉地区的碎屑锆石进行进一步的 U-Pb 定年工作,从而确定本次研究的这些具特殊地球化学性质的冥古宙锆石颗粒是否具有代表性,同时帮助我们限定地球地壳早期的演化过程。

3 结论

本次研究在华夏地块龙泉地区的硅质岩中首次发现两颗~4100 Ma 的碎屑锆石,其中一颗为亚洲最古老的锆石(4127 Ma),另一颗记录了全球最早的变质事件(~4070 Ma);它们极高的结晶温度和异常高的氧逸度,证明冥古宙时地壳性质和构造环境存在多样性,为认识地球早期大陆演化过程提供了的新证据。

致谢: 北京 SHRIMP 中心的万渝生研究员和南京大学的王孝磊教授在本文成文过程给予了极大的帮助,

在此表示感谢。

参考文献:

- 陈正宏, 李奇颀, 谢佩珊, 曾雯, 周汉文. 2008. 利用 EMP 独居石定年法探讨浙闽武夷山地区变质基底岩石与花岗岩的年龄[J]. 高校地质学报, 14(1): 1-15.
- 第五春荣, 孙勇, 董增产, 王洪亮, 陈丹玲, 陈亮, 张红. 2010. 北秦岭西段冥古宙锆石(4.1~3.9Ga)年代学新进展[J]. 岩石学报, 26(4): 1171-1174.
- 甘晓春, 李惠民, 孙大中, 金文山, 赵凤清. 1995. 浙西南古元古代花岗岩质岩石的年代[J]. 矿物岩石学杂志, 14(1): 1-8.
- 胡雄健, 许金坤, 童朝旭, 陈程华. 1993. 浙西南 19 亿年花岗岩闪长岩的地质特征及发现意义[J]. 地质论评, 89(6): 557-563.
- 刘建辉, 刘福来, 丁正江, 刘平华, 王舫. 2014. 胶北太古宙早期锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素研究: 华北克拉通古老陆壳增生及再循环的证据[J]. 岩石学报, 30(10): 2941-2950.
- 陆松年, 王惠初, 李怀坤. 2005. 解读国际地层委员会 2004 年前寒武纪地层表及 2004-2008 年参考方案[J]. 地层学杂志, 25(2): 180-187.
- 万渝生, 刘敦一, 董春艳, NUTMAN A, WILDE S A, 王伟, 颜颖强, 殷小艳, 周红英. 2009. 中国最老岩石和锆石[J]. 岩石学报, 25(8): 1793-1807.
- 温春齐, 多吉, 范小平, 郭建慈, 倪志耀, 李小文, 石玉若, 温泉. 2006. 西藏普兰石英岩中发现 41 亿年碎屑锆石[J]. 地质学报, 80(9): 1249-1261.
- 袁伟, 杨振宇, 杨进辉. 2012. 河西走廊晚泥盆世地层中冥古宙碎屑锆石的发现[J]. 岩石学报, 28(4): 1029-1036.
- 中国地质科学院. 2015. 中国地质调查局、中国地质科学院 2014 年度地质科技十大进展新鲜出炉[J]. 地球学报, 36(1): 1-5.

References:

- BLACK L P, WILLIAMS I S, COMPSTON W. 1986. Four zircon ages from one rock: The history of a 3930 Ma old granulite from Mount Sones, Enderby Land, Antarctica[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 94: 427-437.

- CAVOSIE A J, WILDE S A, LIU Dun-yi, WEIBLEN P W, VALLEY J W. 2004. Internal zoning and U-Th-Pb chemistry of Jack Hills detrital zircons: a mineral record of early Archean to Mesoproterozoic (4348~1576 Ma) magmatism[J]. *Precambrian Research*, 135(4): 251-279.
- CHEN Cheng-hong, LEE Chi-yi, HSIEH Pei-shan, ZENG Wen, ZHOU Han-wen. 2008. Approaching the Age Problem for Some Metamorphosed Precambrian Basement Rocks and Phanerozoic Granitic Bodies in the Wuyishan Area: The Application of EMP Monazite Age Dating[J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(1): 1-15(in Chinese with English abstract).
- Chinese Academy of Geological Sciences. 2015. Top Ten Geological Sci-tech Progress of China Geological Survey(CGS) and Chinese Academy of Geological Sciences(CAGS) in the Year 2014 Unveiled[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(1): 1-5(in Chinese with English abstract).
- COMPSTON W, PIDGEON R T. 1986. Jack Hill, evidence for more very old detrital zircons in western Australia[J]. *Nature*, 321(6072): 766-769.
- CUI Pei-long, SUN Jing-gui, SHA De-ming, WANG Xi-jing, ZHANG Peng, GU A-lei, WANG Zhong-yu. 2013. Oldest zircon xenocryst (4.17Ga) from the North China Craton[J]. *International Geology Review*, 55(15): 1902-1908.
- DIWU Chun-rong, SUN Yong, DONG Zeng-chan, WANG Hong-liang, CHEN Dan-ling, ZHANG Hong. 2010. In situ U-Pb geochronology of Hadean zircon xenocryst (4.1-3.9Ga) from the western of the Northern Qinling Orogenic Belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1171-1174(in Chinese with English abstract).
- DUO Ji, WEN Chun-qi, GUO Jian-ci, FAN Xiao-ping, LI Xiao-wen. 2007. 4.1 Ga old detrital zircon in western Tibet of China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 23-26.
- GAN Xiao-chun, LI Hui-min, SUN Da-zhong, JIN Wen-shan, ZHAO Feng-qing. 1995. A Geochronological Study on Early Proterozoic Granitic Rocks, Southwestern Zhejiang[J]. *Acta Petrologica ET Mineralogica*, 14(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- GAO Shan, LING Wen-li, QIU Yu-ming, ZHOU Lu, HARTMANN G, SIMON K. 1999. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic compositions of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrane of the Yangtze craton: evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(13/14): 2071-2088.
- GEBAUER D, WILLIAMS I S, COMPSTON W, GRÜNENFELDER M. 1989. The development of the Central European Continental crust since the Early Archaean based on conventional and ion-microprobe dating of up to 3.84 Ga old detrital zircons[J]. *Tectonophysics*, 157: 81-96.
- GEHRELS G E, DECELLES P G, OJHA T P, UPRETI B N. 2006. Geologic and U-Pb geochronologic evidence for early Paleozoic tectonism in the Dadeldhura thrust sheet, far-west Nepal Himalaya[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28: 385-408.
- GRIFFIN W L, BELOUSOVA E A, SHEE S R, PEARSON N J, O'REILLY S Y. 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons[J]. *Precambrian Research*, 131: 231-282.
- HARRISON T M, SCHMITT A K, MCCULLOCH M T, LOVERA O M. 2008. Early (≥ 4.5 Ga) formation of terrestrial crust: Lu-Hf, $\delta^{18}\text{O}$, and Ti thermometry results for Hadean zircons[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 268: 476-486.
- HARRISON T M, SCHMITT A K. 2007. High sensitivity mapping of Ti distributions in Hadean zircons[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 261: 9-19.
- HARTMANN L A, ENDO I, SUIA M T F, SANTOS J O S, FRANTZ J C, CARNEIRO M A, MCNAUGHTON N J, BARLEY M E. 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 20: 273-285.
- HU Xiong-jian, XU Jin-kun, TONG Chao-xu, CHEN Cheng-hua. 1993. The Geological characteristics of 1.9 Ga Granodiorite in Southwestern Zhejiang and Its significance[J]. *Geological Review*, 89(6): 557-563(in Chinese with English abstract).
- HUANG Gang, NIU Guang-zhi, ZHANG Zhan-wu, WANG Xin-lu, XU Xue-yi, GUO Jun, YU Feng. 2013. Discovery of ~4.0 Ga detrital zircons in the Aermantai ophiolitic mélange, East Junggar, northwest China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 58(30): 3645-3663.
- IIZUKA T, HORIE K, KOMIYA T, MARUYAMA S, HIRTAT T, HIDAKA H, WINDLEY B F. 2006. 4.2 Ga zircon xenocryst in Acasta gneiss from northwestern Canada: Evidence for early continental crust[J]. *Geology*, 34: 245-248.
- JIAO Wen-fang, WU Yuan-bao, YANG Shu-hai, PENG Min, WANG J. 2009. The oldest basement rock in the Yangtze Craton revealed by zircon U-Pb age and Hf isotope composition[J]. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 52: 1393-1399.
- KEMP A I S, HAWKESWORTH C J, PATERSON B A, KINNY P D. 2006. Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon[J]. *Nature*, 439: 580-583.
- KINNY P D. 1986. 3820 Ma zircons from a tonalitic Amitsoq gneiss in the Godthab district of southern West Greenland[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 79: 337-347.
- KRÖNER A, HEGNER E, LEHMANN B, HEINHORST M T D, LIU D Y, ERMELOV P. 2008. Palaeozoic arc magmatism in the Central Asian Orogenic Belt of Kazakhstan: SHRIMP zircon ages and whole-rock Nd isotopic systematics[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 118-130.
- LI Xian-hua, LI Zheng-xiang, LI Wu-xian. 2014. Detrital zircon U-Pb age and Hf isotope constrains on the generation and re-

- working of Precambrian continental crust in the Cathaysia Block, South China: A synthesis[J]. *Gondwana Research*, 25: 1202-1215.
- LIU D Y, NUTMAN A P, COMPSTON W, WU J S, SHEN Q H. 1992. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton[J]. *Geology*, 20(4): 339-342.
- LIU Jian-hui, LIU Fu-lai, DING Zheng-jiang, LIU Ping-hua, WANG Fang. 2014. U-Pb dating and Hf isotope study of Early Archean zircons from the Jiaobei Terrane, North China Craton: Evidence for growth and recycling of ancient continental crust[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 2941-2950(in Chinese with English abstract).
- LIU Rui, ZHOU Han-wen, ZHANG Li, ZHONG Zeng-qiu, ZENG Wen, XIANG Hua, JIN Song, LU Xin-qian, LI Chun-zhong. 2009. Paleoproterozoic reworking of ancient crust in the Cathaysia Block, South China: evidence from zircon trace elements, U-Pb and Lu-Hf isotopes[J]. *Chinese Science Bulletin*, 54: 1543-1554.
- LU Song-nian, WANG Hui-chu, LI Huai-kun. 2005. Unscramble the ISC 2004 and special reference to Precambrian from 2004 to 2008[J]. *Journal of Stratigraphy*, 25(2): 180-187(in Chinese with English abstract).
- MASS R, KINNY P D, WILLIAMS I S, FROUDE D O, COMPSTON W. 1992. The Earth's oldest known crust: a geochronological and geochemical study of 3900~4200 Ma old detrital zircons from Mt. Narryer and Jack Hills, Western Australia[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(3): 1281-1300.
- MENNEKEN M, NEMCHIN A A, GEISLER T, PIDGEON R T, WILDE S A. 2007. Hadean diamonds in zircon from Jack Hills, western Australia[J]. *Nature*, 448: 917-920.
- MUELLER P A, WOODEN J L, NUTMAN A P, MOGK D W. 1998. Early Archean crust in the northern Wyoming Province evidence from U-Pb ages of detrital zircons[J]. *Precambrian Research*, 91: 295-307.
- NELSON D R, ROBINSON B W, MYERS J S. 2000. Complex geological histories extending for ≥ 4.0 Ga deciphered from xenocryst zircon microstructures[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 181(1-2): 89-102.
- O'NEIL J, CARLSON R W, FRANCIS D, STEVENSON R K. 2008. Neodymium-142 evidence for Hadean mafic crust[J]. *Science*, 321: 1828-1831.
- PECK W H, VALLEY J, WILDS S. 2001. Oxygen isotope ratios and rare earth elements in 3.3 to 4.4 Ga zircons: ion microprobe evidence for high $\delta^{18}\text{O}$ continental crust and oceans in the early Archean[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(22): 4215-4229.
- QIU Yu-min, GAO Shan, MCNAUGHTON, N J, GROVES D I, LING Wen-li. 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[J]. *Geology*, 28(1): 11-14.
- SONG Biao, NUTMAN A P, LIU Dun-Yi, WU Jia-shan. 1996. 3800 to 2500 Ma crust in the Anshan area of Liaoning Province, northeastern China[J]. *Precambrian Research*, 78: 79-94.
- SVETLANA G T, BERNARD B, MARTIN V K, JEANLOUIS B, PASCAL P. 2010. Influence of Hadean crust evident in basalts and cherts from the Pilbara Craton[J]. *Nature (Geoscience)*, 3: 214-217.
- VALLEY J W, CAVOSIE A J, USHIKUBO T, REINHARD D A, LAWRENCE D F, LARSON D J, CLIFTON P H, KELLY T F, WILDE D E, MOSER D E and SPICUCAA M J. 2014. Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography[J]. *Nature Geoscience*, 7: 219-223.
- WAN Yu-sheng, LIU Dun-Yi, SONG Biao, WU Jia-shan, YANG Chong-hui, ZHANG Zong-qing, GENG Yuan-sheng. 2005. Geochemical and Nd isotopic compositions of 3.8 Ga meta-quartz dioritic and trondhjemitic rocks from the Anshan area and their geological significance[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 563-575.
- WAN Yu-sheng, LIU Dun-yi, DONG Chun-yan, NUTMAN A, WILDE S A, WANG Wei, XIE Hang-qiang, YAN Xiao-yan, ZHOU Hong-ying. 2007. The oldest rocks and zircons in China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(8): 1793-1807(in Chinese with English abstract).
- WANG Hong-liang, CHEN Liang, SUN Yong, LIU Xiao-ming, XU Xue-yi, CHEN Juan-lu, ZHANG Hong, DIWU Chun-rong. 2007. ~ 4.1 Ga xenocryst zircon from Ordovician volcanic rocks in western part of North Qinling Orogenic Belt[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(21): 3002-3010.
- WEN Chun-qi, DUO Ji, FAN Xiao-ping, GUO Jian-ci, NI Zhi-yao, LI Xiao-wen, SHI Yu-ruo, WEN Quan. 2006. Detrital Zircon of 4100 Ma in Quartzite in Burang, Tibet[J]. *Acta Geological Sinica*, 80(9): 1249-1261(in Chinese with English abstract).
- WILDE S A, VALLEY J W, PECK W H, GRAHAM C M. 2001. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago[J]. *Nature*, 409(6817): 175-178.
- WU Fu-yuan, ZHAO Guo-chun, WILDE S A, SUN De-you. 2005. Nd isotopic constraints on crustal formation in the North China Craton[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 523-545.
- XING Guang-fu, WANG Xiao-lei, WAN Yu-sheng, CHEN Zhi-hong, JIANG Yang, KITAJIMA K, USHIKUBO T, GOPON P. 2014. Diversity in early crustal evolution: 4100 Ma zircons in the Cathaysia Block of southern China[J]. *Scientific Reports*, DOI: 10.1038/srep05143.
- XU Ya-jun, DU Yuan-sheng, HUANG Hong-wei, HUANG Zhi-qiang, HU Li-sha, ZHU Yan-hui, YU Wen-chao. 2012. Detrital zircon of 4.1 Ga in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 57(33): 4356-4362.
- YAO Jin-long, SHU Liang-Shu, SANTOSH M. 2011. Detrital zircon U-Pb geochronology, Hf-isotopes and geochemistry—

- New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China[J]. *Gondwana Research*, 20: 553-567.
- YU Jin-hai, O'REILLY S Y, GRIFFIN W L, ZHOU Mei-fu, WANG Li-juan. 2012. U-Pb geochronology and Hf-Nd isotopic geochemistry of the Badu Complex, Southeastern China: Implications for the Precambrian crustal evolution and paleogeography of the Cathaysia Block[J]. *Precambrian Research*, 222-223: 424-449.
- YU Jin-hai, WANG Li-juan, GRIFFIN W L, O'REILLY S Y, ZHANG MIN, LI Chong-zhen, SHU Liang-shu. 2009. A Paleoproterozoic orogeny recorded in a long-lived cratonic remnant (Wuyishan terrane), eastern Cathaysia Block, China[J]. *Precambrian Research*, 174: 347-363.
- YU Jin-hai, ZHOU Xin-min, O'REILLY Y S, ZHAO Lei, GRIFFIN W L, WANG Ru-cheng, WANG Li-juan, CHEN Xiao-min. 2007. Finding of ancient materials in Cathaysia and implication for the formation of Precambrian crust[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 13-22.
- YUAN Wei, YANG Zhen-yu, YANG Jin-hui. 2012. The discovery of Hadean detrital zircon in Late Devonian strata in Hexi Corridor, Northwest China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4): 1029-1036(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Shao-bing, ZHENG Yong-fei, WU Yuan-bao, ZHAO Zi-fu, GAO Shan, WU Fu-yuan. 2006. Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8 Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 252: 56-71.
- ZHENG Yong-fei, ZHANG Shao-bing. 2007. Formation and evolution of Precambrian continental crust in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 1-12.

中国地质调查局、中国地质科学院

地球深部探测中心成立

SinoProbe Center Affiliated to China Geological Survey and Chinese Academy of Geological Sciences Established

2015年6月29日,中国地质调查局、中国地质科学院地球深部探测中心成立大会在北京召开。

大会确立了地球深部探测中心“一个机构、两个牌子、三大职能、四大目标、五大任务、五个研究室”的基本架构。一个机构是一个科学研究机构,为中国地质科学院的非法人机构。机构的成立,为中国地质调查局、中国地质科学院开展“深部探测”事业提供组织保障。两个牌子:中国地质调查局地球深部探测中心、中国地质科学院地球深部探测中心,分别定位为中国地质调查局深部地质调查的业务支撑单位和中国地质科学院深部地球科学研究基地。三大职能分别是:开展深部探测技术,创新地球科学理论;开展深部地质调查,拓展能源、资源和国土资源利用空间;搭建深部探测平台,培养人才,促进国际交流。四大目标即,率先实现“六个一流”;为深部能源、资源重大突破提供强有力支撑;争取2020年建成国家地球深部探测重点实验室或国家工程技术中心;地质科技体制机制改革的示范区。五大任务即:深部地质调查与深部过程理论创新;深部矿产资源、能源富集区“透明”探测;实施科学钻探,开展地下科学实验;开展深部过程与地球动力学模拟;搭建我国“入地”计划平台。五个研究室分别为:探测与能源研究室;金属矿产资源探测研究室;科学深钻与地下实验研究室;深部地质与地壳演化研究室;探测数据中心与综合研究室。

确定地球深部探测中心运行机制为:在中国地质调查局指导下,由中国地质科学院直接管理、相对独立运行。中心实行学术委员会指导下的主任负责制,项目统一部署,人员集中办公,实行“开放、流动、竞争、合作”的运行机制。大会宣布中国科学院院士、中国科学院地质与地球物理研究所研究员朱日祥为学术委员会主任,中国地质科学院研究员董树文任名誉主任。中国地质科学院研究员吕庆田任主任。

会上,地球深部探测中心第一届学术委员会的中外委员代表相继做了报告。

国内外从事地球科学和深部探测研究的相关机构、研究计划和科学家发来了贺信、贺电。