

鲁西新泰孟家屯 2.7Ga 变质沉积岩与黑云斜长片麻岩锆石 Hf 同位素特征

杜利林^{1,2)}, 杨崇辉¹⁾, 庄育勋³⁾, 韦汝征⁴⁾, 万渝生^{1,5)}, 任留东¹⁾, 侯可军⁶⁾

- 1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029;
3) 中国地质调查局, 北京, 100037; 4) 灵宝黄金股份有限公司, 河南灵宝, 472500;
5) 北京离子探针中心, 北京, 100037; 6) 中国地质科学院矿产资源研究所
国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037

内容提要:对出露于山东新泰孟家屯 2.7Ga 的孟家屯岩组中石榴石石英岩(M08)、含十字石石榴石黑云母石英片岩(D242-Y2)和黑云斜长片麻岩(M03)(TTG 质片麻岩)进行锆石 Lu-Hf 同位素分析。石榴石石英岩锆石核部¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf、¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 变化范围为 0.001730~0.002546、0.281249~0.281360, 锆石变质边部¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf、¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 变化范围为 0.000123~0.002070、0.281241~0.281318; 含十字石石榴石黑云母石英片岩锆石核部¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf、¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 变化范围为 0.001334~0.002169、0.281226~0.281324, 锆石变质边部¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf、¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 变化范围为 0.000445~0.001375、0.281227~0.281309; 黑云斜长片麻岩锆石¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf、¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 变化范围为 0.000315~0.000847、0.281186~0.281265。孟家屯岩组石榴石石英岩、含十字石石榴石黑云母石英片岩中碎屑(岩浆)锆石和黑云斜长片麻岩中岩浆锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 分别为 3.75~7.26、2.31~7.26 和 3.21~6.27, 同时 T_{DM1} 与其 U-Pb 年龄非常接近, 表明它们起源于新生地壳的部分熔融。结合区域研究资料认为, 2.7Ga 是鲁西重要的一期构造岩浆热事件, 也可能是华北克拉通重要的构造岩浆活动时期。变质沉积岩中许多变质增生锆石相对于核部岩浆锆石低¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf、高¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf, 显示变质作用过程中石榴石的存在对锆石的 Lu-Hf 同位素体系有很大影响。

关键词: 孟家屯岩组; 变质沉积岩; 黑云斜长片麻岩; 锆石 Hf 同位素; 构造岩浆事件

Condie(1998)在总结世界范围内各大陆块前寒武纪研究资料时发现, 2.7Ga 是全球一次重要的构造岩浆活动时期, 可能与地幔超级事件(Superevent)有关。与此不同, 大量的同位素年代学资料结果显示, 晚太古代末期(2.5Ga)是华北克拉通重要的构造岩浆活动时期(程裕淇等, 2004; 耿元生等, 1997, 2002; 高山等, 2005; 简平等, 2005; 刘敦一等, 1984, 1997; 刘富等, 2009; 刘树文等, 2002; 彭澎等, 2002; 沈其韩等, 1997, 2004, 2007; 万渝生等, 2005, 2009; 王凯怡等, 1997, 2000; 王泽九等, 2004; 伍家善等, 1998; 杨崇辉等, 2004, 2009; 翟明国等, 2000; 赵子然等, 2008; 庄育勋等, 1997; Geng et al., 2006; Guan et al., 2002; Guo et al., 2005; Kröner et al., 1988, 2005a, b; Kusky et al.,

2001; Wilde et al., 2005; Zhao et al., 2002, 2008), 其中主要年龄峰值集中在 2.55~2.5Ga(沈其韩等, 2005)。在这些广泛分布的华北克拉通晚太古代末期变质火山(沉积)岩和变质深成侵入岩中, 常见有 2.7Ga 的同位素年龄资料报道(耿元生等, 1997; 刘敦一等, 1997; 刘树文等, 2000; 杨崇辉等, 未发表资料; Guan et al., 2002; Kröner et al., 2005a, b; Wan et al., 2006), 但呈较大规模变质地层和变质侵入体出露的仅有鲁西和胶东地区(曹国权等, 1996; 杜利林等, 2003; 陆松年等, 2008; 王世进等, 2008; 王伟等, 2009; 庄育勋等, 1997; Jahn et al., 1988, 2008; Wan et al., 2010)。

鲁西地区出露的泰山岩群和区域上大面积分布的花岗质片麻岩组成较为典型的鲁西花岗岩绿岩带

注: 本文为中国地质科学院地质研究所基本科研业务费项目(编号 J0721, J0907)、中国地质调查局地质调查项目(编号 1212010611802, 1212010811033)和国家自然科学基金项目(编号 40672127)资助成果。

收稿日期: 2009-10-22; 改回日期: 2010-04-15; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 杜利林, 男, 1973 年生。副研究员。中国科学院地质与地球物理研究所在职博士研究生, 从事前寒武纪地质研究。通讯地址: 100037, 北京阜外百万庄 26 号, 中国地质科学院地质研究所; Email: dulilin7310@cags.ac.cn。

(徐惠芬等,1992;曹国权等,1996)。泰山岩群自下而上划分为雁翎关组、山草峪组和柳杭组(曹国权等,1996),其中雁翎关组和柳杭组中变质火山岩的时代为 2.75~2.70Ga(Wan et al., 2010)。近年来,许多同位素年龄资料证实鲁西地区存在大量 2.7 Ga 的 TTG 片麻岩(John et al., 1988; Wan et al., 2010; 曹国权等,1996;杜利林等,2003;陆松年等,2008;王伟等,2009)。张连峰(1994)在 1:5 万区调填图中发现,山东新泰市孟家屯附近出露一套以石榴石英岩为主的变质沉积岩,岩石组合明显不同于泰山岩群,新命名为孟家屯岩组,并将其置于泰山岩群的底部。杜利林等(2003)获得孟家屯岩组中石榴石石英岩和含十字石石榴石黑云母石英片岩的碎屑锆石平均年龄为 $2717 \pm 33\text{Ma}$ 和 $2742 \pm 23\text{Ma}$,同时根据其 与 2.7Ga 的黑云斜长片麻岩的野外地质关

系,限定其沉积时代为 2.72~2.70Ga 之间。

由于 2.7Ga 构造岩浆事件具有全球性,同时鲁西地区是华北克拉通保留相对较好的地区。因此,选择鲁西 2.7Ga 岩石进行研究,对于揭示鲁西乃至华北克拉通晚太古代早期的地质演化具有重要意义。本文主要选取鲁西新泰孟家屯岩组中的石榴石石英岩、含十字石石榴石黑云母石英片岩和黑云斜长片麻岩(TTG 片麻岩),在前期 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学工作基础上,进行原位锆石 Hf 同位素研究,探讨鲁西地区早期的地壳生长特征及历史;同时对变质作用过程中 Hf 同位素体系的变化进行初步讨论。

1 研究区地质背景与岩石特征

本文研究区位于山东省新泰市西南约 30km 的孟家屯村西南。在构造分区上属于鲁西构造区、泰

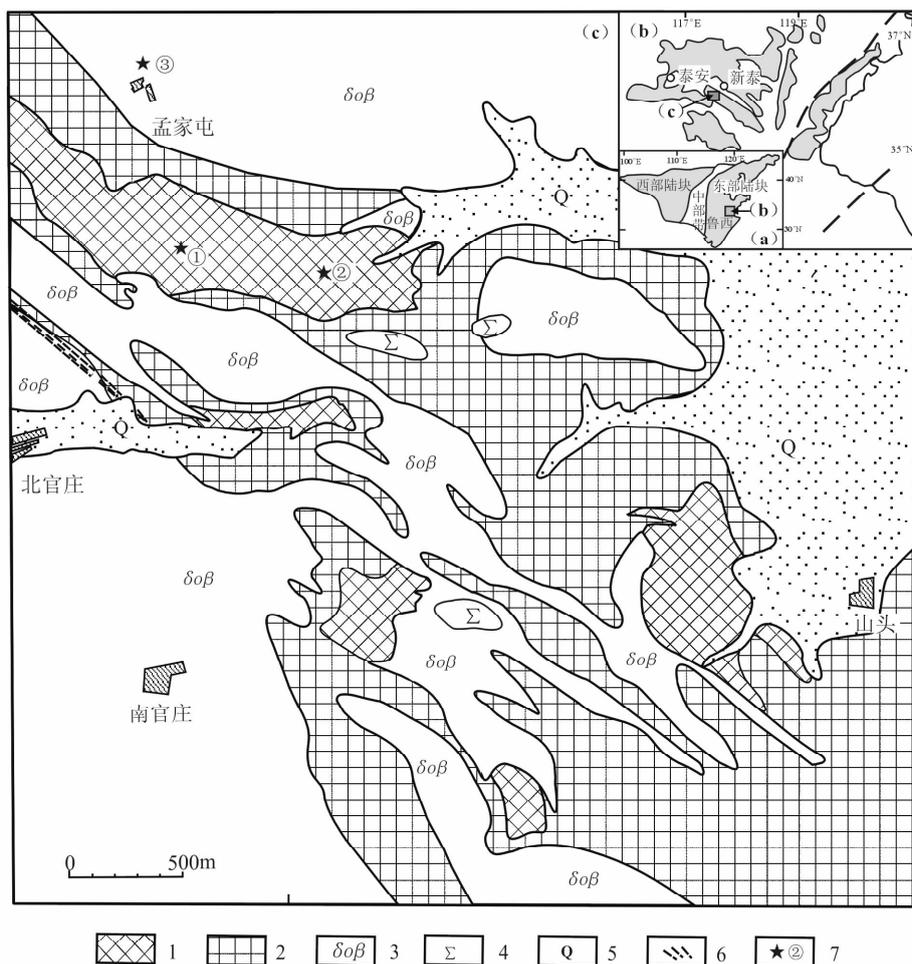


图 1 孟家屯地区地质略图(右上角图 1a, b 根据 Zhao 等(2006)简化)

Fig. 1 Geological sketch map of Mengjiatun area(Fig. 1a, and 1b on right corner simplified after Zhao et al. (2006))

1—孟家屯岩组石英岩、片岩类;2—孟家屯岩组中细粒斜长角闪岩类;3—条带状黑云斜长片麻岩;

4—超基性岩石单元;5—第四系;6—韧性剪切带;7—采样位置及样品号

1—Garnet-quartzites and schists of Mengjiatun formation complex; 2—mid-fine amphibolite of Mengjiatun formation complex;

3—banding biotite plagioclase gneiss; 4—ultra-basic unit; 5—Quaternary; 6—ductile shear belt; 7—sampling locality and number

山—蒙山构造杂岩带上。研究区内出露的主要地质体为孟家屯岩组、条带状黑云斜长片麻岩、超基性岩石单元、少量的细粒斜长角闪岩侵入体(由于规模太小,本文图中未标出)、第四系地层(图 1)。其中孟家屯岩组的主要岩石类型有石英岩类、黑云母石英片岩类、斜长角闪岩类(早期),另外还分布有少量的浅粒岩和变粒岩。

1.1 石榴石石英岩

石榴石石英岩主要分布于孟家屯村附近,南官庄北东 1km,以及山头村西等地。其中在孟家屯村西南分布面积最大,北西向延伸达 2km,出露最大宽度 400m 左右。走向北西 310° ,产状 $220^\circ \angle 65^\circ$,具块状、片麻状、条带状构造。主要组成矿物为石英(65%~75%)和石榴石(20%~25%),局部含有少量的斜长石、黑云母、磁铁矿和十字石等。

1.2 含十字石石榴石黑云母石英片岩

含十字石石榴石黑云母石英片岩野外和石英岩呈互层状产出,产状 $220^\circ \angle 70^\circ$,具片状、条带状构造。主要组成矿物为石英(50%±)、黑云母(35%±)、石榴石(10%±)和十字石(5%±),其中黑云母多已发生绿泥石化。另外,部分样品中含有少量的夕线石、白云母和堇青石。

1.3 黑云斜长片麻岩

黑云斜长片麻岩(TTG 片麻岩)野外主要分布于孟家屯岩组的周围,出露规模较大,占整个研究区面积的 30%左右。具有片麻状、条带状构造,局部见其中包裹有孟家屯岩组斜长角闪岩角砾和残留体。黑云斜长片麻岩中普遍发育长英质浅色条带,

与华北克拉通中部恒山-阜平地区强烈深熔的片麻岩特征非常相似,表明其经历了强烈的变质作用。其中主要组成矿物为石英(20%±)、斜长石(45%±)、黑云母(15%±)、角闪石(5%~10%),磁铁矿和其他副矿物(5%±)。

2 分析方法

锆石 Hf 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成。分析仪器为配备有 Newwave UP213 激光剥蚀系统的 Neptune 多接收电感耦合等离子体质谱仪,分析方法和流程详见侯可军等(2007)。分析过程中,激光束斑直径为 $65\mu\text{m}$,激光频率为 20Hz,信号采集时间为 26s。为消除 ^{176}Lu 和 ^{176}Yb 对 ^{176}Hf 的质量干扰,利用 $^{176}\text{Lu}/^{175}\text{Lu} = 0.02658$ 和 $^{176}\text{Yb}/^{173}\text{Yb} = 0.796218$ (Chu et al., 2002) 进行质量干扰校正。利用 $^{179}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.7325$ 对 Hf 同位素比值进行指数归一化质量歧视校正,采用 $^{173}\text{Yb}/^{172}\text{Yb} = 1.35274$ 对 Yb 同位素比值进行指数归一化质量歧视校正(Wu et al., 2006; 侯可军等, 2007)。实验过程中,GJ1 锆石作为参考标准锆石,15 个 GJ1 标准锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 平均值为 0.282003 ± 23 ,与 Elhlou 等(2006)的分析结果 0.282013 ± 19 在误差范围内一致。

3 分析结果

3.1 石榴石石英岩(M08)

在阴极发光图像中,石榴石石英岩的锆石具有

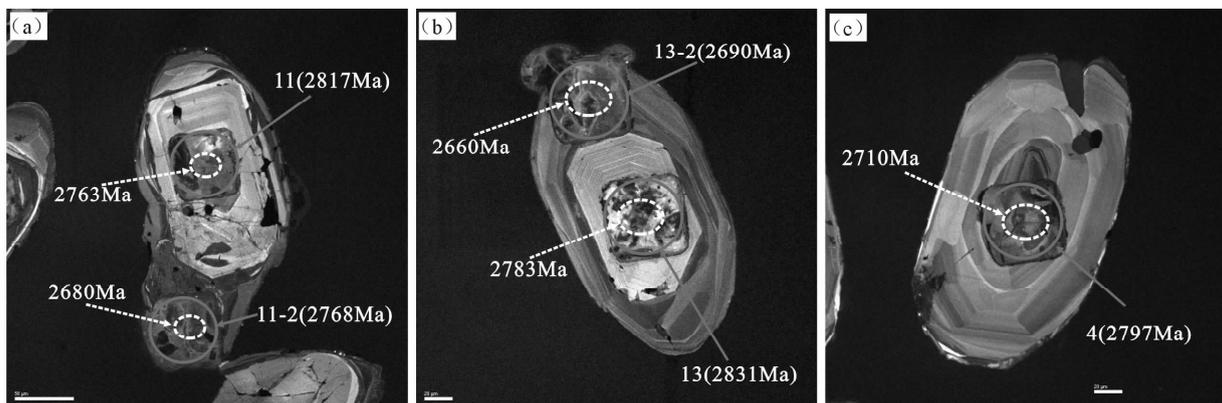


图 2 孟家屯岩组变质沉积岩和黑云斜长片麻岩锆石 CL 图像

Fig. 2 CL images(a-c) of zircons from metasedimentary rocks in Mengjiatun formation complex and biotite plagioclase gneiss

图中:红色圈代表 U-Pb 年龄分析,蓝色圈代表 Lu-Hf 同位素分析;(a)—石榴石石英岩;

(b) —含十字石石榴石黑云母石英片岩;(c) —黑云斜长片麻岩

Red circles are SHRIMP U-Pb isotopic analyses, and blue circle are LA-MC-ICPMS Lu-Hf isotopic analyses;

(a) — garnet quartzite;(b) — staurolite bearing garnet-biotite-quartzite schist;(c) — biotite plagioclase gneiss

核边双层结构(图 2a)。锆石核部相对较亮,具有宽缓但相对规则的岩浆振荡环带;锆石边部发光程度强弱差别较大,无明显结构特征(图 2a)。杜利林等(2003)分别对石榴石石英岩中锆石的核部与边部进行了年龄测试。锆石核部平均年龄为 2717 ± 33 Ma,代表沉积岩源区锆石的平均年龄;锆石边部的加权平均年龄为 2616 ± 19 Ma,为变质作用时代。陆松年等(2008)再次从孟家屯岩组石榴石石英岩中获得 2719 Ma 的源区锆石峰值年龄和 2647 Ma 的变质作用年龄,与杜利林等(2003)的年龄结果相近。

对石榴石石英岩中 13 颗锆石共进行了 19 个测点分析,其中核部 9 个分析点,变质边部 10 个分析点。锆石核部 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 、 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 变化范围分别为 $0.001730 \sim 0.002546$ 、 $0.281249 \sim 0.281360$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 平均值为 0.281328 ± 0.000014 ;锆石变质边部 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 、 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 变化范围分别为 $0.000123 \sim 0.002070$ 、 $0.281241 \sim 0.281318$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 平均值为 0.281276 ± 0.000011 。核部锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $3.75 \sim 7.26$,平均值为 6.11 ± 0.78 ,边部锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $2.56 \sim 6.00$,平均值为 4.42 ± 0.86 。核部锆石的 T_{DM1} 范围为 $2722 \sim 2848$ Ma,边部锆石的 T_{DM1} 范围为 $2687 \sim 2830$ (表 1)。

3.2 含十字石石榴石黑云母石英片岩(D242-Y2)

在阴极发光图像中,含十字石石榴石黑云母石英片岩中的锆石也有明显的核边双层结构(图 2b)。锆石核部发光较强,具有密集规则的岩浆韵律环带,边部锆石发光相对较弱,其环带特征与核部锆石明显不同(图 2b)。核部锆石的加权平均年龄 2742 ± 23 Ma,为碎屑锆石的源区平均年龄,边部变质锆石的年龄为 2642 ± 32 Ma,代表变质作用的时期(杜利林等,2003)。

对含十字石石榴石黑云母石英片岩中 13 颗锆石进行了 24 个测点分析,其中核部 12 个分析点,变质边部 12 个分析点。核部锆石的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 、 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 变化范围分别为 $0.001334 \sim 0.002169$ 、 $0.281226 \sim 0.281324$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 平均值为 0.281286 ± 0.000018 ;锆石边部 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值除 1 个分析点为 0.001375 外,其余 11 个分析点的变化范围为 $0.000445 \sim 0.000940$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 为 $0.281242 \sim 0.281309$,平均值为 0.281276 ± 0.000016 。核部锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $2.31 \sim 7.26$,除去 D242-Y2-8 点明显偏低外,其余 11 个点的平均值为 5.92 ± 0.65 ,边部锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $4.03 \sim 7.07$,平均值为 5.63 ± 0.65 。核部锆石的 T_{DM1} 范围为 $2731 \sim 2848$ Ma,边部锆石的 T_{DM1} 范

围为 $2674 \sim 2783$ (表 1)。

3.3 黑云斜长片麻岩(M03)

在阴极发光图像中,黑云斜长片麻岩锆石弱发光,具有宽缓的岩浆韵律环带和扇形环带(图 2c),部分锆石核部具有熔蚀特征,通常都具有很薄的增生边。除一颗锆石边部获得 2624 ± 11 Ma 的变质年龄外,其余锆石的加权平均年龄为 2695 ± 14 Ma,代表黑云斜长片麻岩(英云闪长岩)的原岩侵位时代(杜利林等,2003)。

对黑云斜长片麻岩中 11 颗锆石进行了 15 个测点分析。与石榴石石英岩和含十字石石榴石黑云母石英片岩核部岩浆锆石明显不同,黑云斜长片麻岩锆石 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值相对较低,其中 14 个测点的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 范围为 $0.000337 \sim 0.000847$,明显低于孟家屯岩组变质沉积岩碎屑锆石的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值,而与大多数变质作用增生的锆石 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值接近。锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 范围为 $0.281186 \sim 0.281265$,平均值为 0.281234 ± 0.000014 。 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $3.21 \sim 6.27$,平均值为 4.91 ± 0.49 。 T_{DM1} 范围为 $2738 \sim 2840$ (表 1)。

4 讨论

孟家屯岩组石榴石石英岩和含十字石石榴石黑云母石英片岩碎屑锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值皆为较高的正值,分别为 $3.75 \sim 7.26$ 和 $2.31 \sim 7.26$,与 2.7 Ga 的亏损地幔值较为接近(图 3,表 1);同时,这些锆石的单阶段亏损地幔模式年龄 T_{DM1} 分别为 $2722 \sim 2848$ Ma 和 $2731 \sim 2848$ Ma,与锆石 U-Pb 年龄也较为接近(图 4,表 1)。说明这些变质沉积岩的源区岩石来自于新生地壳的部分熔融。黑云斜长片麻岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 $3.21 \sim 6.27$, T_{DM1} 为 $2738 \sim 2840$ Ma,与孟家屯岩组变质沉积岩碎屑锆石特征类似(图 3,4,表 1),表明该黑云斜长片麻岩的原岩也是新生地壳部分熔融形成的。这也与鲁西泰山岩群中变质火山岩和区域上 $2.75 \sim 2.7$ Ga 的 TTG 片麻岩研究结果一致,新太古代早期($2.75 \sim 2.7$ Ga)是鲁西重要的一期构造岩浆事件(Wan et al., 2010)。从岩石组合分析,孟家屯岩组的源区岩石为中酸性岩石,其与黑云斜长片麻岩(TTG 片麻岩)都难以从地幔岩浆中直接分离结晶形成的。因此,单阶段模式年龄并不能真正反映地壳从地幔分离的时间。这些岩石(或源区岩石)为长英质岩石,所以利用上地壳的 Lu/Hf 比值计算二阶段模式年龄可能更能反映源区物质从亏损地幔分离的时间(第五春荣等,2007)。孟家屯岩组石榴

表 1 孟家屯岩组变质沉积岩和黑云斜长片麻岩锆石 Hf 同位素组成

Table 1 Hf isotopic compositions of zircon from metasedimentary rocks in Mengjiatun Formation complex and biotite plagioclase gneiss

Sample No.	Age (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t=2.7\text{Ga})$	2σ	T_{DM1}	$T_{\text{DM2(Mafic)}}$	$T_{\text{DM2(Felsic)}}$	$f_{\text{Lu/Hf}}$
石榴石石英岩(M08)														
M08-1R	2609	0.080309	0.001978	0.281286	0.000018	0.281187	-52.57	2.56	4.92	0.66	2814	3059	2865	-0.94
M08-1-2R	2620	0.017551	0.000574	0.281275	0.000017	0.281246	-52.94	4.93	7.14	0.60	2726	2863	2758	-0.98
M08-2R	2637	0.077437	0.001954	0.281297	0.000019	0.281198	-52.17	3.61	5.36	0.66	2796	2988	2836	-0.94
M08-3R	2642	0.051939	0.001505	0.281248	0.000015	0.281172	-53.89	2.80	4.46	0.54	2830	3061	2880	-0.95
M08-4R	2685	0.083739	0.002070	0.281303	0.000020	0.281196	-51.95	4.67	5.36	0.70	2796	2929	2824	-0.94
M08-5	2717	0.089555	0.002546	0.281360	0.000018	0.281227	-49.95	6.50	6.50	0.63	2752	2793	2760	-0.92
M08-5-2R	2621	0.019170	0.000522	0.281264	0.000019	0.281238	-53.34	4.65	6.84	0.66	2737	2888	2772	-0.98
M08-6	2752	0.096413	0.002363	0.281326	0.000019	0.281202	-51.12	6.41	5.66	0.69	2785	2825	2793	-0.93
M08-7	2717	0.070569	0.001730	0.281338	0.000020	0.281248	-50.69	7.26	7.26	0.72	2722	2727	2723	-0.95
M08-7-2R	2606	0.005434	0.000123	0.281281	0.000015	0.281274	-52.74	5.61	8.18	0.53	2687	2794	2713	-1.00
M08-8	2757	0.102190	0.002463	0.281351	0.000020	0.281221	-50.25	7.22	6.35	0.72	2758	2759	2758	-0.93
M08-8-2R	2673	0.033659	0.000854	0.281285	0.000016	0.281242	-52.57	6.00	6.99	0.57	2732	2806	2749	-0.97
M08-9	2717	0.083287	0.002088	0.281328	0.000020	0.281219	-51.08	6.21	6.21	0.71	2763	2818	2774	-0.94
M08-9-2R	2616	0.009842	0.000322	0.281241	0.000018	0.281225	-54.13	4.09	6.41	0.64	2753	2932	2795	-0.99
M08-10	2717	0.072434	0.001855	0.281311	0.000019	0.281215	-51.66	6.06	6.06	0.67	2769	2831	2782	-0.94
M08-11	2763	0.095353	0.002384	0.281305	0.000025	0.281179	-51.87	5.86	4.87	0.91	2817	2880	2829	-0.93
M08-11-2R	2680	0.053792	0.001977	0.281318	0.000025	0.281216	-51.42	5.26	6.07	0.90	2768	2875	2791	-0.94
M08-12	2705	0.071700	0.001757	0.281249	0.000022	0.281158	-53.87	3.75	4.01	0.78	2848	3022	2885	-0.95
M08-13	2724	0.079226	0.002054	0.281294	0.000019	0.281187	-52.26	5.24	5.09	0.66	2807	2907	2828	-0.94
十字石榴石黑云母石英片岩(D242-Y2)														
D242-Y2-1	2772	0.075807	0.001908	0.281314	0.000017	0.281213	-51.56	7.26	6.60	0.59	2769	2765	2768	-0.94
D242-Y2-1-2R	2670	0.030318	0.000940	0.281289	0.000013	0.281241	-52.44	5.90	7.53	0.45	2733	2812	2751	-0.97
D242-Y2-2	2712	0.061704	0.001590	0.281324	0.000016	0.281242	-51.20	6.90	7.56	0.57	2731	2755	2737	-0.95
D242-Y2-2-2R	2660	0.015891	0.000481	0.281288	0.000015	0.281264	-52.47	6.48	8.36	0.55	2702	2755	2714	-0.99
D242-Y2-3	2742	0.056032	0.001556	0.281279	0.000017	0.281197	-52.81	6.01	6.01	0.59	2792	2853	2805	-0.95
D242-Y2-4	2722	0.069018	0.001804	0.281307	0.000019	0.281213	-51.82	6.11	6.54	0.67	2771	2831	2784	-0.95
D242-Y2-4-2R	2657	0.029279	0.000887	0.281293	0.000016	0.281248	-52.30	5.85	7.77	0.55	2724	2808	2743	-0.97
D242-Y2-5	2717	0.080575	0.002090	0.281307	0.000018	0.281198	-51.80	5.48	6.02	0.64	2792	2881	2810	-0.94
D242-Y2-5-2R	2642	0.024948	0.000876	0.281296	0.000020	0.281252	-52.19	5.65	7.91	0.72	2719	2815	2741	-0.97
D242-Y2-6	2706	0.066858	0.001763	0.281258	0.000016	0.281167	-53.53	4.11	4.90	0.56	2835	2992	2868	-0.95
D242-Y2-7	2750	0.067270	0.001799	0.281292	0.000017	0.281197	-52.35	6.19	6.01	0.59	2792	2842	2803	-0.95
D242-Y2-7-2R	2640	0.021291	0.000742	0.281246	0.000020	0.281208	-53.98	4.03	6.35	0.70	2778	2953	2818	-0.98
D242-Y2-8	2780	0.050525	0.001334	0.281226	0.000016	0.281158	-54.68	2.31	4.54	0.58	2848	2932	2866	-0.96

续表 1

Sample No.	Age (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t=2.7\text{Ga})$	2σ	T_{DM1}	$T_{\text{DM2(Mafic)}}$	$T_{\text{DM2(Felsic)}}$	$f_{\text{Lu/Hf}}$
D242-Y2-8-2R	2642	0.014971	0.000473	0.281227	0.000016	0.281202	-54.63	7.07	6.20	0.58	2783	2965	2826	-0.99
D242-Y2-9	2658	0.050841	0.001375	0.281270	0.000015	0.281200	-53.12	4.17	6.04	0.54	2790	2954	2826	-0.96
D242-Y2-9-2R	2600	0.018929	0.000474	0.281309	0.000013	0.281285	-51.75	5.85	9.09	0.47	2674	2769	2696	-0.99
D242-Y2-10	2742	0.068704	0.001753	0.281311	0.000018	0.281219	-51.67	6.79	6.79	0.65	2762	2785	2767	-0.95
D242-Y2-10-2R	2642	0.018324	0.000590	0.281250	0.000017	0.281220	-53.84	4.50	6.78	0.61	2761	2915	2797	-0.98
D242-Y2-11	2736	0.074142	0.001930	0.281265	0.000016	0.281164	-53.29	4.70	4.83	0.58	2838	2962	2864	-0.94
D242-Y2-11-2R	2677	0.021941	0.000644	0.281282	0.000014	0.281249	-52.69	6.35	7.83	0.49	2722	2779	2735	-0.98
D242-Y2-12	2776	0.073666	0.001911	0.281277	0.000016	0.281175	-52.88	6.02	5.27	0.58	2821	2875	2832	-0.94
D242-Y2-12-2R	2638	0.019040	0.000523	0.281242	0.000014	0.281215	-54.11	4.25	6.63	0.51	2767	2933	2806	-0.98
D242-Y2-13	2783	0.082650	0.002169	0.281283	0.000017	0.281168	-52.65	5.91	5.02	0.62	2831	2889	2843	-0.93
D242-Y2-13-2R	2660	0.016666	0.000445	0.281295	0.000016	0.281272	-52.23	6.79	8.67	0.58	2690	2729	2699	-0.99
黑云斜长片麻岩(M03)														
M03-1	2711	0.021094	0.000612	0.281242	0.000019	0.281210	-54.11	5.76	5.51	0.67	2773	2853	2792	-0.98
M03-1-2	2691	0.008201	0.000337	0.281212	0.000022	0.281195	-55.17	4.74	4.95	0.78	2794	2927	2825	-0.99
M03-2	2684	0.024254	0.000710	0.281216	0.000019	0.281180	-55.03	4.04	4.40	0.66	2815	2983	2854	-0.98
M03-2-2	2677	0.016726	0.000500	0.281186	0.000018	0.281161	-56.08	3.21	3.73	0.65	2840	3050	2889	-0.98
M03-3	2658	0.015157	0.000448	0.281235	0.000018	0.281212	-54.36	4.59	5.55	0.65	2771	2918	2805	-0.99
M03-4	2710	0.026473	0.000771	0.281233	0.000016	0.281193	-54.43	5.12	4.89	0.57	2797	2907	2822	-0.98
M03-5	2709	0.030501	0.000847	0.281224	0.000017	0.281180	-54.74	4.64	4.44	0.61	2814	2948	2845	-0.97
M03-5-2	2663	0.030436	0.000845	0.281227	0.000018	0.281184	-54.63	3.72	4.55	0.64	2810	2997	2853	-0.97
M03-6	2650	0.024790	0.000687	0.281265	0.000018	0.281230	-53.28	5.06	6.20	0.63	2747	2871	2776	-0.98
M03-7	2695	0.029828	0.000832	0.281264	0.000016	0.281221	-53.34	5.76	5.87	0.58	2760	2842	2778	-0.97
M03-8	2708	0.024383	0.000735	0.281232	0.000015	0.281194	-54.46	5.11	4.93	0.53	2795	2907	2821	-0.98
M03-9	2709	0.015715	0.000481	0.281202	0.000017	0.281177	-55.53	4.53	4.32	0.61	2818	2958	2851	-0.99
M03-10	2720	0.030481	0.000845	0.281263	0.000016	0.281219	-53.37	6.27	5.82	0.57	2762	2815	2774	-0.97
M03-10-2	2666	0.007908	0.000315	0.281253	0.000019	0.281237	-53.73	5.66	6.44	0.67	2738	2831	2760	-0.99
M03-12R	2624	0.005449	0.000205	0.281285	0.000016	0.281275	-52.59	6.03	7.79	0.58	2687	2770	2707	-0.99

注: 锆石 Hf 同位素计算所用的参数为: ^{176}Lu 衰变常数 $\lambda = 1.867 \times 10^{-11}$, 球粒陨石 (CHUR) $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0332$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282772$ (Blichert-Toft and Albarade, 1997); 亏损地幔 (DM) $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0384$, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.28325$ (Griffin et al., 2000); 镁铁质 (Mafic) 下地壳和长英质 (Felsic) 上地壳的 $f_{\text{Lu/Hf}}$ 分别为 -0.34 和 -0.72 (Amelin et al., 1999)。表中“R”表示锆石变质边部测点。

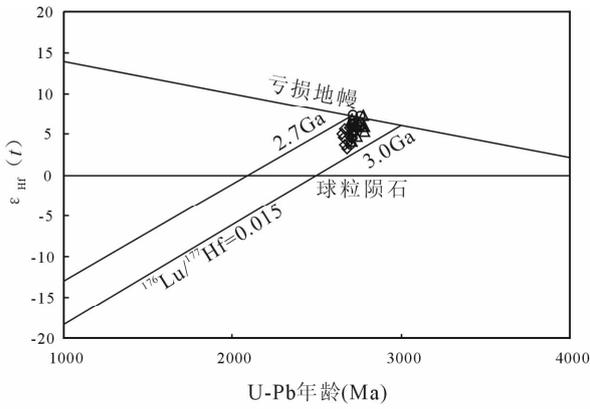


图 3 孟家屯岩组变质沉积岩碎屑锆石和黑云斜长片麻岩锆石年龄与 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 关系图

Fig. 3 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age vs. $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ diagram of zircons from metasedimentary rocks in Mengjiatun formation complex and biotite plagioclase gneiss

○—石榴子石石英岩;◇—黑云斜长片麻岩;△—含十字石石榴石黑云母石英片
○—Garnet quartzite;◇—biotite plagioclase gneiss;
△—staurolite bearing garnet-biotite-quartzite schist

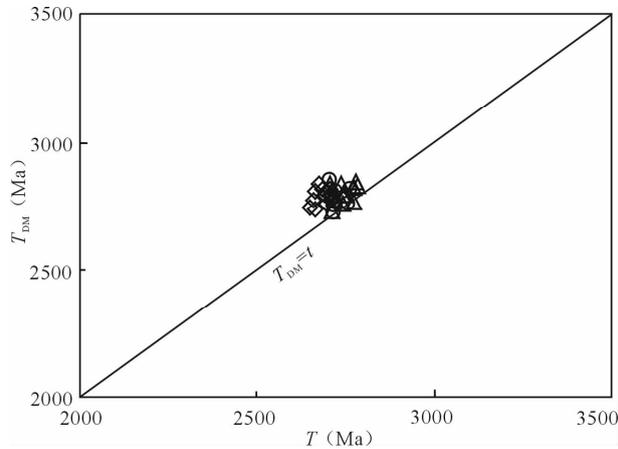


图 4 孟家屯岩组变质沉积岩碎屑锆石和黑云斜长片麻岩锆石年龄与模式年龄关系图

Fig. 4 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age vs. T_{DM} age diagram of zircons from metasedimentary rocks in Mengjiatun Formation complex and biotite plagioclase gneiss

○—石榴子石石英岩;◇—黑云斜长片麻岩;△—含十字石石榴石黑云母石英片
○—Garnet quartzite;◇—biotite plagioclase gneiss; △—staurolite bearing garnet-biotite-quartzite schist

石石英岩、含十字石石榴石黑云母石英片岩的碎屑锆石和黑云斜长片麻岩锆石的二阶段模式年龄 T_{DM2} 分别为 2723~2885Ma、2737~2868Ma 和 2760~2889Ma, 它们的模式年龄变化范围极为相近, 表明 2.7~2.9Ga 可能是一次明显的壳幔分离事件。

Wu 等(2005)总结华北克拉通的 Nd 同位素结果认为, 2.7~2.8Ga 为华北克拉通重要的壳幔分离阶段, 可能代表重要的地壳增长时期。

华北克拉通不仅鲁西地区大面积分布 2.75~2.7Ga 变质沉积岩和 TTG 片麻岩(曹国权等, 1996; 伍家善等, 1998; 杜利林等, 2003; 陆松年等, 2008; 王伟等, 2009; Jahn et al., 1988; Wan et al., 2010), 胶东地区也存在许多同时代的片麻岩(Jahn et al., 2008)。在山东以外的地区, Guan 等(2002)在阜平大面积分布的 2.5Ga 花岗质片麻岩中发现 2708±8Ma 的片麻岩包体, Kröner 等(2005 a, b)在恒山也发现 2.7Ga 的花岗质片麻岩, 它们代表 2.7 Ga 的大陆地壳岩石(残留)。此外, 耿元生等(1997)、高林志等(2005)、刘敦一等(1997)、刘树文等(2000)、万渝生等(2009)分别在怀安、焦作、阜平和五台地区的花岗质片麻岩和变质沉积岩中发现 2.7Ga 的碎屑(继承性)锆石。最近, 杨崇辉等(未发表资料)还在赞皇地区发现了 2.7Ga 的花岗质片麻

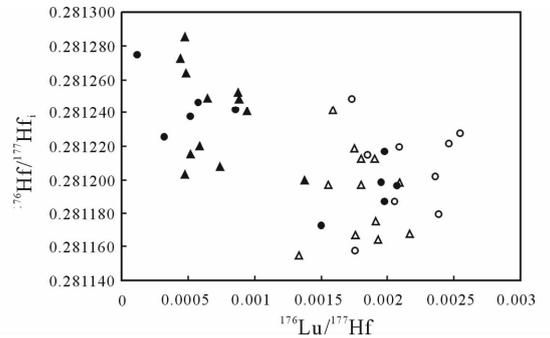


图 5 孟家屯岩组变质沉积岩碎屑锆石和变质成因锆石 Hf 同位素组成

Fig. 5 Hf isotopic compositions of detrital and metamorphic zircons from metasedimentary rocks in Mengjiatun formation complex

○—石榴子石石英岩中核部碎屑锆石;●—石榴子石石英岩中边部变质锆石;△—含十字石石榴石黑云母石英片岩中核部碎屑锆石;▲—含十字石石榴石黑云母石英片岩边部变质锆石
○—Detrital zircons of garnet quartzite; ●—metamorphic zircons of garnet quartzite; △—detrital zircons of staurolite bearing garnet-biotite-quartzite schist; ▲—metamorphic zircons of staurolite bearing garnet-biotite-quartzite schist

岩。以上这些资料说明, 华北克拉通 2.7Ga 构造岩浆事件分布比现在保留的范围更广泛, 可能代表华北克拉通一次重要的热事件。

研究表明, 变质成因锆石的 Hf 同位素受原岩锆石和变质流体的共同制约(Flowerdew et al., 2006; 吴福元等, 2007)。Zheng 等(2005)、Wu 等

(2006)在苏鲁-大别超高压榴辉岩研究中发现,变质成因锆石相对于原岩岩浆锆石具有低的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值和高的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值,这种变化与超高压变质过程石榴石的生成有关。石榴石具有高的Lu/Hf比值,因而石榴石结晶后的变质流体中具有低的Lu/Hf比值和高的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值(郑永飞等, 2007)。鲁西孟家屯岩组变质沉积岩中普遍存在石榴石。在石榴石石英岩中,变质增生锆石M08-1、2、3、4、11-2点 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值大于0.001,与原岩中碎屑锆石 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值相近;同时变质锆石与核部岩浆锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$ 变化范围相同(图5,表1)。一种可能的原因为变质成因锆石中存在石榴石等富含稀土元素的矿物包体;另一种可能的原因是这些变质增生锆石主要为原岩锆石的重结晶,受变质流体影响小。而对于 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值低于0.001的M08-5-2、7-2、8-2、9-2变质锆石,其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$ 皆高于其相对应的核部锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$ (图5,表1)。反映变质过程中有更多的放射成因Hf进入变质锆石中。含十字石石榴石黑云母石英片岩变质锆石仅有D242-Y2-9点的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值大于0.001,其余变质成因锆石的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值皆小于0.001,锆石变质边部的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$ 皆高于其相应的核部岩浆锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$ (图5,表1),反映变质过程中Lu-Hf同位素之间发生了分异。孟家屯岩组变质沉积岩的研究结果再次表明,石榴石的存在对变质成因锆石的Lu-Hf同位素体系有很大的影响(Zheng et al., 2005; Wu et al., 2006)。

5 结论

孟家屯岩组变质沉积岩和黑云斜长片麻岩锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 皆具有较高的正值,同时 T_{DM1} 模式年龄与锆石的U-Pb年龄非常接近,表明变质沉积岩的源岩和黑云斜长片麻岩的原岩是新生地壳部分熔融形成的,反映2.7Ga是鲁西地区一期重要的构造热事件。结合区域上许多2.7Ga碎屑锆石(或片麻岩)的资料,表明2.7Ga构造岩浆活动在华北克拉通可能广泛分布。

孟家屯岩组变质沉积岩中石榴石普遍存在,同时许多变质成因锆石具有低 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值,而 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$ 较相对应的核部岩浆锆石明显增高。反映在变质作用过程中,石榴石的存在对变质成因锆石的Lu-Hf同位素体系有重要影响。

致谢:野外地质工作中分别得到山东省地质调查院王世进高级工程师、山东省第五地质矿产勘查

院张连峰研究员和党万民工程师的指导和帮助;文章审稿人和编辑部老师对文中图文表达提出中肯修改意见。在此真诚表示感谢!

参 考 文 献

- 曹国权等. 1996. 鲁西早前寒武纪地质. 北京:地质出版社, 1~210.
- 程裕淇, 杨崇辉, 万渝生, 刘增校, 张西平, 杜利林, 张寿广, 伍家善, 高吉凤. 2004. 太行山中北段早前寒武纪地质和深熔作用对地壳岩石的改造. 北京:地质出版社, 1~191.
- 第五春荣, 孙勇, 林慈鑫, 柳小明, 王洪亮. 2007. 豫西宜阳地区TTG质片麻岩锆石Hf同位素地质学. 岩石学报, 23(2): 253~262.
- 杜利林, 庄育勋, 杨崇辉, 万渝生, 王新社, 王世进, 张连峰. 2003. 山东新泰孟家屯岩组锆石特征及其年代学意义. 地质学报, 77(3): 359~366.
- 高林志, 赵汀, 万渝生, 赵逊, 马寅生, 杨守政. 2005. 河南焦作云台山早前寒武纪变质基底锆石SHRIMP U-Pb年龄. 地质通报, 24(12): 1089~1093.
- 耿元生, 刘敦一, 宋彪. 1997. 冀西北麻粒岩区早前寒武纪主要地质事件的年代格架. 地质学报, 71(4): 316~327.
- 耿元生, 万渝生, 沈其韩. 2002. 华北克拉通早前寒武纪基性火山作用与地壳增生. 地质学报, 76(2): 199~208.
- 高山, 周炼, 凌文黎, 刘勇胜, 周鼎武. 2005. 华北克拉通南缘太古一元古宙界线安沟群火山岩的年龄及地球化学. 地球科学——中国地质大学学报, 30(3): 259~263.
- 侯可军, 李延河, 邹天人, 曲晓明, 石玉若, 谢桂青. 2007. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用. 岩石学报, 23(10): 2595~2604.
- 简平, 张旗, 刘敦一, 金维浚, 贾秀勤, 钱青. 2005. 内蒙古固阳晚太古代赞岐岩(sanukite)——角闪花岗岩的SHRIMP定年及其意义. 岩石学报, 21(1): 151~157.
- 刘敦一, 佩吉 R W, 康普斯顿 W, 伍家善. 1984. 太行山一五台山区前寒武纪变质岩系同位素地质年代学研究. 中国地质科学院院报, 第8号: 57~82.
- 刘敦一, 耿元生, 宋彪. 1997. 冀西北地区晚太古代大陆地壳的增生和再造——同位素年代学证据. 地球学报, 18(3): 226~232.
- 刘富, 郭敬辉, 路孝平, 第五春荣. 2009. 华北克拉通2.5Ga地壳生长事件的Nd-Hf同位素证据:以怀安片麻岩地体为例. 科学通报, 54(17): 2517~2526.
- 刘树文, 梁海华, 赵国春, 华永刚, 简安华. 2000. 太行山早前寒武纪杂岩的同位素年代学和地质事件. 中国科学(D辑), 30(1): 18~24.
- 刘树文, 李江海, 潘元明, 张健, 李秋根, 黄雄南. 2002. 太行山—恒山太古代古老陆块:年代学和地球化学制约. 自然科学进展, 12(8): 826~833.
- 陆松年, 陈志宏, 相振群. 2008. 泰山世界地质公园古老侵入岩系年代格架. 北京:地质出版社, 1~90.
- 彭澎, 瞿明国. 2002. 华北陆块前寒武纪两次重大地质事件的特征和性质. 地球科学进展, 17(6): 818~825.

- 沈其韩, 徐惠芬, 沈昆, 杨淳, 宋彪. 1997. 山东沂水雪山岩体和林家官庄岩体的同位素年代学. *地质科学*, 32(3): 291~298.
- 沈其韩, 宋彪, 徐惠芬, 耿元生, 沈昆. 2004. 山东沂水太古宙蔡岭和大山岩体 SHRIMP 锆石年代学. *地质论评*, 50(3): 275~284.
- 沈其韩, 耿元生, 宋彪, 万渝生. 2005. 华北和扬子陆块及秦岭一大别造山带地表和深部太古宙基底的新信息. *地质学报*, 79(5): 616~627.
- 沈其韩, 赵子然, 宋彪, 宋会侠. 2007. 山东沂水新太古代马山和雪山岩体的地质、岩石化学特征和 SHRIMP 锆石年代学. *地质论评*, 53(2): 180~186.
- 万渝生, 宋彪, 杨淳, 刘敦一. 2005. 辽宁抚顺—清原地区太古宙岩石 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. *地质学报*, 79(1): 78~87.
- 万渝生, 刘敦一, 王世炎, 赵逊, 董春艳, 周红英, 殷小艳, 杨长秀, 高林志. 2009. 登封地区早前寒武纪地壳演化——地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 年代学制约. *地质学报*, 83(7): 982~999.
- 王凯怡, 郝杰, 周少平, Wilde S, Cawood P A. 1997. 单颗粒锆石离子探针质谱定年结果对五台造山事件的制约. *科学通报*, 42(12): 1295~1298.
- 王凯怡, 郝杰, Wilde S, Cawood P. 2000. 山西五台山—恒山地区晚太古代—早元古代若干关键地质问题的再认识: 单颗粒锆石离子探针质谱年龄提出的地质制约. *地质科学*, 35(2): 175~184.
- 王世进, 万渝生, 张成基, 杨恩秀, 宋志勇, 王立法, 张富中. 2008. 鲁西地区早前寒武纪地质研究新进展. *山东国土资源*, 24(1): 10~20.
- 王伟, 杨恩秀, 王世进, 杜利林, 顾炳强, 董春艳, 万渝生. 2009. 鲁西泰山岩群变质枕状玄武岩岩相学和侵入的奥长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学. *地质论评*, 55(5): 737~745.
- 王泽九, 沈其韩, 万渝生. 2004. 河南登封石牌河“变闪长岩体”的锆石 SHRIMP 年代学研究. *地球学报*, 25(3): 295~298.
- 吴福元, 李献华, 郑永飞, 高山. 2007. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用. *岩石学报*, 23(2): 185~220.
- 伍家善, 耿元生, 沈其韩, 万渝生, 刘敦一, 宋彪. 1998. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化. 北京: 地质出版社, 1~212.
- 徐惠芬, 董一杰, 施允亨, 金汝敏, 沈昆, 李叙刚. 1992. 鲁西花岗岩—绿岩带. 北京: 地质出版社, 1~84.
- 杨崇辉, 杜利林, 万渝生, 刘增校. 2004. 河北平山英云闪长质片麻岩锆石 SHRIMP 年代学. *高校地质学报*, 10(4): 514~522.
- 杨崇辉, 杜利林, 任留东, 万渝生, 宋会侠, 原振雷, 王世炎. 2009. 华北克拉通南缘安沟群的 SHRIMP 年龄及地层对比. *岩石学报*, 25(8): 1853~1862.
- 翟明国, 卞爱国. 2000. 华北克拉通新太古代末超大陆拼合及古元古代—中元古代裂解. *中国科学(D辑)*: 30(增刊): 129~137.
- 张连峰. 1994. 初论鲁西太古宇“孟家屯岩组”. *山东地质*, 10(增刊): 18~20.
- 赵子然, 宋会侠, 沈其韩, 宋彪. 2008. 山东沂水地区英灵山花岗岩及其捕虏体的地质、岩石地球化学特征和锆石 SHRIMP U-Pb 定年. *地质通报*, 27(9): 1551~1558.
- 郑永飞, 陈仁旭, 张少兵, 唐俊, 赵子福, 吴元保. 2007. 大别山超高压榴辉岩和花岗岩片麻岩中锆石 Lu-Hf 同位素研究. *岩石学报*, 23(2): 317~330.
- 庄育勋, 王新社, 徐洪林, 任志康, 张富中, 张锡明. 1997. 泰山地区早前寒武纪主要地质事件与陆壳演化. *岩石学报*, 13(3): 313~330.
- Amelin Y, Lee D C, Halliday A N, Pidgeon R T. 1999. Nature of the Earth's earliest crust from hafnium isotopes in single detrital zircons. *Nature*, 399: 252~255.
- Blichert-Toft J, Albar de F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of Chondrites and the evolution of the mantle-crust system. *Earth and Planetary Science Letters*, 148: 243~258.
- Condie K C. 1998. Episodic continental growth and supercontinents: a mantle avalanche connection? *Earth and Planetary Science Letters*, 163: 97~108.
- Chu N C, Taylor R N, Chavagnac V, Nesbitt R W, Boella R M, Milton J A, German C R, Bayon G, Burton K. 2002. Hf isotope ratio analysis using multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry: an evaluation of isobaric interference corrections. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 17: 1567~1574.
- Elhoul S, Belousova E, Griffin W L, Pearson N J, O'Reilly S Y. 2006. Trace element and isotopic composition of GJ-red zircon standard by laser ablation. *Geochim Cosmochim Acta*, 2006, suppl, A158.
- Fowerdew M J, Millar I L, Vaughan A P M, Horstwood M S A, Fanning C M. 2006. The source of granitic gneisses and migmatites in the Antarctic Peninsula: a combined U-Pb SHRIMP and laser ablation Hf isotope study of complex zircons. *Contribution to Mineral and Petrology*, 151: 751~768.
- Geng Y S, Liu F L, Yang C H. 2006. Magmatic event at the end of the Archean in Eastern Hebei Province and its geological implication. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 819~833.
- Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, Jackson S E, Van Achtebergh E, O'Reilly S Y, Shee S R. 2000. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlite. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 64: 133~147.
- Guan H, Sun M, Wilde S A, Zhou X H, Zhai M G. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Fuping Complex: implications for formation and assembly of the North China Craton. *Precambrian Research*, 113: 1~18.
- Guo J H, Sun M, Chen F K, Zhai M G. 2005. Sm-Nd and SHRIMP U-Pb zircon geochronology of high-pressure granulites in the Sanggan area, North China Craton: timing of Paleoproterozoic continental collision. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 629~642.
- Jahn B M, Auvray B, Shen Q H, Liu D Y, Zhang Z Q, Dong Y J, Ye X J, Zhang Q Z, Cornichet J, Mace J. 1988. Archean crustal evolution in China: The Taishan Complex, and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle. *Precambrian Research*, 38: 381~403.
- Jahn B M, Liu D Y, Wan Y S, Song B, Wu J S. 2008. Archean

- crustal evolution of the Jiaodong Peninsula, China, as revealed by zircon SHRIMP geochronology, elemental and Nd-isotope geochemistry. *American Journal of Science*, 308: 232~269.
- Kröner A, Compston W, Zhang G W, Guo A L, Todt W. 1988. Age and tectonic setting of Late Archean green stone-gneiss terrain in Henan Province, China, as revealed by single-grain zircon dating. *Geology*, 16: 211~215.
- Kröner A, Wilde S A, Li J H, Wang K Y. 2005a. Age and evolution of a late Archean to Paleoproterozoic upper to lower crustal section in the Wutaishan/Hengshan/Fuping terrain of northern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 577~595.
- Kröner A, Wilde S A, O'Brien P J, Li J H, Passchier C W, Walte N P, Liu D Y. 2005b. Field relationships, geochemistry, zircon ages and evolution of a late Archean to Paleoproterozoic lower crustal section in the Hengshan terrain of Northern China. *Acta Geologica Sinica*, 79(5): 605~629.
- Kusky T M, Li J H, Tucker R D. 2001. The Archean Dongwanzi ophiolite complex, North China Craton: 2. 505-billion-year old ocean crust and mantle. *Science*, 292: 1142~1145.
- Wan Y S, Wilde S A, Liu D Y, Yang C X, Song B, Yin X Y. 2006. Further evidence for ~1.85Ga metamorphism in the Central Zone of the North China Craton: SHRIMP U-Pb dating of zircon from metamorphic rocks in the Lushan area, Henan Province. *Gondwana Research*, 9: 189~197.
- Wan Y S, Liu D Y, Wang S J, Yang E X, Wang W, Dong C Y, Zhou H Y, Du L L, Yang Y H, Diwu C R. 2010. ~2.7Ga juvenile crust formation in the North China Craton (Taishan-Xintai area, western Shandong Province): Further evidence of an understated event from zircon U-Pb dating and Hf isotope composition. *Precambrian Research*, in Press.
- Wilde S A, Cawood P A, Wang K Y, Nemchin A A. 2005. Granitoid evolution in the late Archean Wutai complex, North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 597~613.
- Wu F Y, Yang Y H, Xie L W, Yang J H, Xu P. 2006. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 234:105~126.
- Wu F Y, Zhao G C, Wilde S A, Sun D Y. 2005. Nd isotopic constraints on crustal formation in the North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24:523~545.
- Wu Y B, Zheng Y F, Zhao Z F, Gong B, Liu X M, Wu F Y. 2006. U-Pb, Hf and O isotope evidence for two episodes of fluid-assisted zircon growth in marble-hosted eclogites from the Dabie Orogen. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70:3743~3761.
- Zhao G C, Wilde S A, Cawood P A, Sun M. 2002. SHRIMP U-Pb zircon ages of the Fuping complex: Implication for late Archean to Paleoproterozoic accretion and assembly of the North China Craton. *American Journal of Science*, 302: 191~226.
- Zhao G C, Liu S W, Sun M, Li S Z, Wilde S, Xia X P, Zhang J, He Y H. 2006. What happened in the Trans-North China Orogen in the period 2560-1850Ma? *Acta Geologica Sinica*, 80: 790~806.
- Zhao G C, Wilde S A, Sun M, Guo J H, Kröner A, Li S Z, Li X P, Zhang J. 2008. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Huai'an complex: constraints on late Archean to Paleoproterozoic magmatic and metamorphic events in the Trans-North China Orogen. *American Journal of Science*, 308: 270~303.
- Zheng Y F, Wu Y B, Zhao Z F, Zhang S B, Xu P, Wu F Y. 2005. Metamorphic effect on zircon Lu-Hf and U-Pb isotope systems in ultrahigh-pressure eclogite-facied metagranite and metabasite. *Earth and Planetary Science Letters*, 240: 378~400.

Hf Isotopic Compositions of Zircons from 2.7 Ga Metasedimentary Rocks and Biotite-Plagioclase Gneiss in the Mengjiatun Formation Complex, Western Shandong Province

DU Lilin^{1,2)}, YANG Chonghui¹⁾, ZHUANG Yuxun³⁾, WEI Ruzheng⁴⁾, WAN Yusheng^{1,5)},
REN Liudong¹⁾, HOU Kejun⁶⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;* 2) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029;* 3) *China Geological Survey, Beijing, 100037;* 4) *Lingbao Gold Company Ltd., Lingbao, Henan, 472500;* 5) *Beijing SHRIMP Center, Beijing, 100037;* 6) *MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

Lu-Hf isotopic compositions of zircons separated from the garnet quartzite(M08), staurolite-bearing garnet-biotite-quartz schist(D242-Y2) of the Mengjiatun formation complex and biotite plagioclase gneiss (M03) of the TTG gneisses at Mengjiatun village, Xintai City, western Shandong Province, have been analyzed through the La-MC-ICP-MS method. All the rocks mentioned above were formed 2.7Ga ago. Among them, the magmatic cores of detrital origin zircons of the garnet quartzite give the $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ranges 0.001730~0.002546 and 0.281249~0.281360, respectively, and the zircon rims of the sample have the $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ranges 0.000123~0.002070 and 0.281241~0.281318, respectively. The magmatic cores of detrital origin zircons from the staurolite-bearing garnet-biotite-quartz schist yield the $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ values 0.001334~0.002169 and 0.281226~0.281324, respectively, and the metamorphic rims of the zircons from the schist 0.000445~0.001375, 0.281227~0.281309, respectively. While the ratios of magmatic zircons from the biotite plagioclase gneiss are 0.000315~0.000847, 0.281186~0.281265, respectively. $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values of the magmatic (detrital) zircons from garnet quartzite and staurolite-bearing garnet-biotite-quartz schist of the Mengjiatun formation complex and the orthogneiss are 3.75~7.26, 2.31~7.26 and 3.21~6.27, respectively. In addition, the T_{DMI} ages of the zircons of all the samples are close to the SHRIMP zircon U-Pb ages, suggesting they were derived from partial melting of the juvenile crustal materials. Combining with the regional geology information, the authors deduce that the 2.7Ga magmatism is an important magmatic tectonothermal event in western Shandong Province area, even in the North China Craton. Many zircons in the metasedimentary rocks show the tendency that the metamorphic overgrowing rims have lower $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ but higher $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ values than that of the magmatic cores, demonstrating the substantial influence of the metamorphic garnet on the Lu-Hf isotopic system of zircons.

Key words: Mengjiatun formation complex; Metasedimentary rocks; biotite plagioclase gneiss; zircon Hf isotope; Tectonic magmatic event