

西大别浒湾高压变质带变沉积岩 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

杨赛红¹, 吴元保^{1,2*}, 刘小驰¹, 汪晶¹, 彭敏¹, 焦文放¹

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质系, 陕西西安 710069

摘要: 西大别山浒湾高压变质带是研究秦岭—大别山—苏鲁造山带演化的关键区域, 但是该地区榴辉岩相变质时间还存在较大争议. 本文通过对浒湾变质带熊店附近的一个变沉积岩样品进行 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年和微量元素分析, 来确定该地区榴辉岩相变质作用和碎屑锆石的年龄, 并确定该变质带的演化历史. 该样品的变质锆石具有弱分带或无分带、低 Th/U 比值、重稀土含量低且相对平坦以及无明显的 Eu 负异常等特征. 反映这些变质锆石形成时有石榴石, 而缺乏长石, 其形成对应于榴辉岩相变质作用条件. 该样品中变质锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均值为 310±3 Ma, 这一年龄代表了该地区榴辉岩相峰期变质作用的时间, 因此浒湾地区榴辉岩相变质作用时间为石炭纪. 碎屑岩浆锆石得到了 3 组近谐和的 U-Pb 年龄, 其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变化范围分别为: 400±5 Ma~419±5 Ma, 426±5 Ma~449±5 Ma 以及 496±5 Ma~524±7 Ma, 还有 1 个颗粒给出了 580±7 Ma 的较老年龄. 这些结果表明变沉积岩中的碎屑锆石可能大部分来自于华北板块南缘, 少量来自于扬子板块.

关键词: 浒湾变质带; 榴辉岩; 锆石 U-Pb 年龄; 石炭纪.

中图分类号: P533

文章编号: 1000-2383(2009)01-0179-10

收稿日期: 2008-10-21

U-Pb Ages of Detrital Zircon from Meta-Sedimentary Rock from the Huwan Shear Zone, Western Dabie Terrain and Their Geological Significance

YANG Sai-hong¹, WU Yuan-bao^{1,2*}, LIU Xiao-chi¹, WANG Jing¹, PENG Min¹, JIAO Wen-fang¹

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. MOE Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: The Huwan high-pressure (HP) metamorphic zone is a key region to investigate the evolution process and timing of the Qinling-Dabieshan-Sulu orogenic belt. However, the timing of eclogite-facies metamorphism in this zone has not been well constrained. In order to constrain the time of eclogite-facies metamorphism, zircons from a metasediment sample HXD98-9 near Xiongdian were selected for LA-ICPMS U-Pb dating and trace element analysis. Metamorphic zircons are characterized by weak or none zoning, low Th/U ratios, low and/or flat HREE patterns, and an insignificantly negative Eu anomaly. These reflect that the metamorphic zircons crystallized with the presence of garnet and the absence of plagioclase feldspar, which occurred in eclogite-facies conditions. The weighted mean ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of 310±3 Ma for these metamorphic zircons is thus the best estimated age of the eclogite-facies metamorphism in this HP metamorphic zone. Three groups of U-Pb age were obtained from the inherited magmatic zircons, ranging of (400±5 Ma)–(419±5 Ma), (426±5 Ma)–(449±5 Ma), and (496±5 Ma)–(524±7 Ma), respectively. One inherited grain has a U-Pb age of 580.7±7.3 Ma. These indicate that the inherited zircons were mostly derived from southern part of the North China block, while some from the Yangtze block.

Key words: Huwan metamorphic zone; eclogite-facies metamorphism; zircon U-Pb age; Carboniferous.

秦岭—大别山—苏鲁造山带是扬子与华北板块之间的碰撞造山带,是世界上规模最大的高压—超高压变质带之一。虽然对该造山带进行了 20 余年的深入研究,取得了丰硕的研究成果,但是对于扬子和华北板块缝合线的数量和位置以及它们之间高压—超高压变质作用的时间还存在着较大的争议。对该造山带西部的秦岭造山带的研究表明,扬子和华北板块的拼合发生在古生代(Mattauer *et al.*, 1985; Kröner *et al.*, 1993; Gao *et al.*, 1995; 胡能高等, 1996; Zhang *et al.*, 1997; 魏春景等, 1999; 杨经绥等, 2003)。但是,大部分对该造山带东部的大别山—苏鲁造山带的研究者认为,该造山带是三叠纪扬子板块向华北板块之下俯冲的结果(Li *et al.*, 1993; Ames *et al.*, 1996; Hacker *et al.*, 1998; Zhai *et al.*, 1998; Ayers *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2003; Liu, F. L., *et al.*, 2004a, 2004b, 2006; Liu, X. C., *et al.*, 2004b; Wu *et al.*, 2006, 2008)。

西大别山的红安地区是研究秦岭—大别山—苏鲁造山带的重要地区之一。该地区不但是秦岭—大别山—苏鲁造山带东部(大别山—苏鲁造山带)和西部(秦岭—桐柏造山带)的结合部分,而且是超高压到低压变质岩石出露的过渡带,同时该地区受造山后白垩纪构造热事件的影响不明显(Zhong *et al.*, 1999; Eide and Liou, 2000; Liu and Ye, 2004; Liu, X. C., *et al.*, 2004b; Jahn *et al.*, 2005; Ratschbacher *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2008)。其中,位于其北部东西走向约 5~10 km 宽的浒湾榴辉岩带在西北方向连接内侧的秦岭—桐柏造山带,在东南方向连接外侧的大别山—苏鲁造山带,因此是研究秦岭—大别山—苏鲁造山带演化的关键地区。但是,目前不同的学者对浒湾变质带研究得出了分布较为广泛的榴辉岩相变质作用年龄。同时,目前大部分的研究集中在榴辉岩,而对于该高压变质带中其他变质岩还没有进行过详细的锆石 U-Pb 年代学研究。鉴于此,笔者选择西大别山浒湾变质带熊店附近的片岩(98HXD09)进行了详细的锆石内部结构、微量元素和 U-Pb 年代学研究,确定该变质带榴辉岩相变质作用的时间、碎屑锆石年龄谱结构和来源、及其地球动力学意义。

1 区域地质概况及样品

以商城—麻城近南北向断裂为界,将大别山造山带分为东、西两段,其中大别山造山带西段以大悟

断裂带为西界与秦岭—桐柏造山带相连。大别山造山带西段可进一步划分为 6 个变质程度不同的变质带组成,从北向南依次为:(1)南湾复理石带;(2)马畈褶皱带;(3)浒湾高压带;(4)新县超高压带;(5)红安高压带;(6)木兰山蓝片岩—绿片岩带(图 1)。同时该地区受造山后白垩纪构造热事件的叠加作用不明显(Zhong *et al.*, 1999; Eide and Liou, 2000; Liu and Ye, 2004; Liu, X. C., *et al.*, 2004b; Jahn *et al.*, 2005; Ratschbacher *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2008)。各种高压超高压变质岩石和结构被很好地保存(Webb *et al.*, 1999; Eide and Liou, 2000)。

浒湾变质带位于红安地区北部,主要由部分糜棱岩化的榴辉岩、斜长角闪岩、大理岩、石英岩、眼球状片麻岩、长英质片岩以及石墨片岩等组成(Zhong *et al.*, 1999; Liu, X. C., *et al.*, 2004a, 2004b)。前人研究成果表明,该变质带榴辉岩相高峰期变质作用温压条件为 530~730 °C 和约 2.0 GPa,角闪岩相退变质温压条件为 530~685 °C 和约 0.6 GPa(叶伯丹等, 1993; 简平等, 1997, 2000; Fu *et al.*, 2002; Liu, X. C., *et al.*, 2004a, 2004b)。尽管对该变质带已进行了大量年代学研究,然而该变质带榴辉岩相变质时间仍然没有被很好地确定。简平等(1997, 2000)首先对该带熊店榴辉岩进行了 ID-TIMS 和 SHRIMP 法锆石 U-Pb 定年,得到锆石的年龄为约 400 Ma 和 300 Ma。根据同一露头样品的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 年龄结果,他们将 424±5 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄解释为该地区榴辉岩相变质的最小年龄,而把约 300 Ma 的年龄看作是后期流体改造作用的时间。Xu *et al.* (2000)对熊店地区的榴辉岩进行了多硅白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年,得到 350~420 Ma 的 Ar-Ar 年龄,解释为退变质作用发生的时间。3 个采自熊店和胡家湾的榴辉岩样品,其中的变质锆石通过 SHRIMP 法给出了 309±3 Ma 的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄,这一年龄结果被解释为榴辉岩相变质作用的时间(Sun *et al.*, 2002)。但是,这些变质锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄具有比较大的变化范围(从约 200~330 Ma)和较复杂的稀土元素配分模式。这些榴辉岩锆石的核部给出的年龄为 430~350 Ma,被解释为碎屑锆石的年龄。这一解释与这些榴辉岩的原岩为洋壳或岛弧玄武岩的观点显然不一致(Liu and Ye, 2004)。高山等(2002)对熊店榴辉岩进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定,得到 449±14 Ma、307±14 Ma 和一组 216±4 Ma(n=6)的年龄结果,并将后者解释为这些榴辉岩受到了后期三叠纪变质作用的叠加。

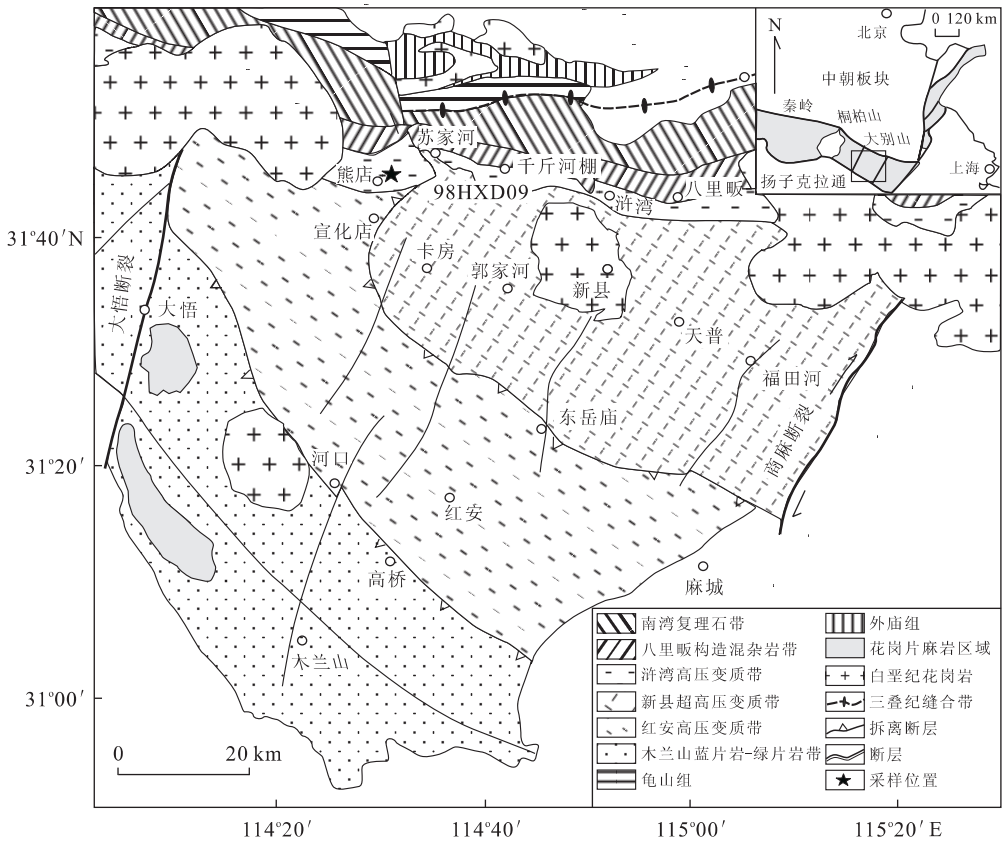


图 1 淮湾地区地质简图及采样点位置

Fig. 1 Geological sketch map showing Huwan shear zone and sample location

Ratschbacher *et al.* (2006) 报道了二叠—三叠纪榴辉岩中白云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄约为 210~270 Ma, 并将它们解释为冷却年龄。相反,在淮湾东部的两个榴辉岩样品锆石给出了不同的年龄结果,这两个样品锆石的岩浆核部分别给出了 716 ± 28 Ma 和 733 ± 10 Ma 的结果,代表了它们原岩的形成年龄。1 个样品锆石的变质边给出了²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄从 315 ± 17 Ma 到 229 ± 12 Ma 的结果,最年轻的年龄被解释为该带榴辉岩相变质作用的最大年龄(Liu, X. C., *et al.*, 2004b)。Jahn *et al.* (2005) 从该地区榴辉岩中获得了 210~225 Ma 的 Rb-Sr 单矿物等时线年龄,这些结果被用来支持该地区榴辉岩相变质作用发生在三叠纪的结论。样品 98HXD09 采自淮湾的熊店地区,为石英二云母片岩,是榴辉岩的围岩。主要矿物有白云母+黑云母+石英+石榴石+长石±金红石,以及少量副矿物锆石及榍石等。

2 分析方法

从约 5 kg 的样品 98HXD09 中利用标准重矿物分离技术分选出锆石颗粒。在双目镜下,挑选无裂

隙,无明显包裹体和透明度好的锆石,用来进行 U-Pb 定年和微量元素分析。将代表性的锆石颗粒粘在环氧树脂上,然后磨光抛光至暴露出颗粒中心。通过阴极发光(CL)图像详细研究锆石的晶体形态和内部结构特征,以选择合适的元素和同位素分析点。锆石的阴极发光照相在西北大学地质系大陆动力学国家重点实验室装配有 Gatan CL3+ 型阴极发光探头的 Quanta 400FEG 型扫描电镜上完成,工作条件为 15 kV 和 20 nA。

锆石 U-Pb 定年及微量元素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室利用 LA-ICP-MS 完成,所用等离子体质谱仪为美国 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a,激光系统为德国 MicroLas 公司生产的具有 193 nm 波长的深紫外气体激光剥蚀系统 GeoLas2005。激光束斑直径 32 μm,剥蚀深度 20~40 μm,激光脉冲为 10 Hz,能量 50 mJ。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,锆石 91500 作为外标,微量元素含量用 NIST610 作外标,²⁹Si 作内标,具体分析方法及仪器参数见文献(Yuan *et al.*, 2004)。锆石测定点的 U-Pb 同位素比值和 U-Th-Pb 含量采用 GLITTER4.0 程序计算。

普通 Pb 校正采用 Andersen (2002) 方法, 采用 ISOPLOT 程序 (Ludwig, 2001) 进行锆石加权平均年龄计算 (1σ 误差) 及谐和图的绘制。

3 结果

3.1 锆石形态特征

样品 98HXD09 中的锆石颗粒多呈半自形—自形结构, 无色透明, 长度变化范围为 $100\sim 350\ \mu\text{m}$, 长宽比为 $1:1$ 到 $3:1$ 。大部分锆石显示特征的核—边结构 (图 2), 核部与边部之间的边界截然, CL 图像强弱不等, 这种 CL 图像的差异可能反映了它们之间 Th、U 等元素含量的不同 (Corfu *et al.*, 2003)。核部锆石大多数保留有振荡环带, 部分呈现扇形分带特征, 为典型的岩浆锆石。厚度不等的边部锆石无分带或弱分带特征, 应为变质锆石。少数锆石颗粒整体具无分带或弱分带特征, 与变质边部锆石特征相似。

3.2 锆石 U-Pb 年龄

笔者对样品 98HXD09 中的 28 颗锆石进行了 33 个点的 U-Pb 年龄分析 (表 1 和图 3)。其中 9 个分析点位于变质锆石区域, 其余 24 个分析点位于具有明显振荡环带的岩浆锆石区域 (图 2)。9 个变质锆石分析点中, 分析点 #16 和 #30 具有最高的 Th 含量和 Th/U 比值 (表 1), 可能指示两个分析点在激光剥蚀过程中包含了磷灰石或独居石等富 Th 和 LREE 的矿物, 这与它们具有异常高的 LREE 含量一致 (见下文)。其余 7 个分析点的 U 和 Th 含量分别为 $25\times 10^{-6}\sim 694\times 10^{-6}$ 和 $0.4\times 10^{-6}\sim 59\times$

10^{-6} , Th/U 比值为 $0.003\sim 0.540$ 。较大变化范围的 U、Th 含量和 Th/U 比值可能指示这些变质锆石形成于不同的变质条件 (Bingen *et al.*, 2004)。这 9 个分析点具有较谐和的年龄 (表 1 和图 3), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围为 $304\pm 3\ \text{Ma}\sim 316\pm 5\ \text{Ma}$, 加权平均结果为 $310\pm 3\ \text{Ma}$ ($MSWD=1.3$)。这一年龄代表了这些变质锆石形成年龄的最佳估计值。

其余 24 个位于具有振荡环带锆石区域的分析点具有低到中等的 Th 和 U 含量, 分别为 $5.4\times 10^{-6}\sim 277\times 10^{-6}$ 和 $43\times 10^{-6}\sim 813\times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.10\sim 0.96$, 与它们具有振荡环带的特征一致, 表明这些锆石区域都为岩浆锆石 (Corfu *et al.*, 2003)。它们具有近似谐和到谐和的年龄, 其中 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的变化范围为 $400\sim 581\ \text{Ma}$ 。分析点 #9 具有较大的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 ($583\ \text{Ma}$)。除这两个分析点外, 其余 22 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在年龄频率分布图中有明显 3 个年龄分布的峰值 (图 3b), 它们 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的变化范围分别为: $400\pm 5\ \text{Ma}\sim 419\pm 5\ \text{Ma}$ (4 个分析点), $426\pm 5\ \text{Ma}\sim 449\pm 5\ \text{Ma}$ (10 个分析点), 以及 $496\pm 5\ \text{Ma}\sim 524\pm 7\ \text{Ma}$ (8 个分析点)。

3.3 微量元素特征

笔者在对上述锆石进行 U-Pb 定年的同时进行微量元素分析, 结果列于表 2。样品的锆石分析点 REE 球粒陨石标准化见图 4, 由于 La 含量比较低, 而 Ce 有正异常, 所以锆石的轻稀土亏损程度用 $(\text{Yb}/\text{Pr})_{\text{N}}$ 表示 (表 2)。所有分析点都具有轻稀土亏损、重稀土富集的特征, Ce 正异常明显, Eu 负异常强弱不等, 这是典型的锆石稀土元素配分模式。这种配分模式主要是由于各个稀土元素的地球化学性质差异导致各稀土元素进入锆石晶格能力的不同造成的 (Hinton and Upton, 1991), 但不同类型的锆石 REE 富集程度不同。

9 个位于变质锆石区域的分析点中, 分析点 #16 和 #30 具有异常高的 LREE 含量 (表 2 和图 4), 与这些点具有较高的 Th 含量较一致, 表明这两个锆石分析区域可能包含了富集 Th 和 LREE 的微小矿物包裹体 (Whitehouse and Kamber, 2002)。其他 7 个分析点稀土元素总量变化比较大 ($58.2\times 10^{-6}\sim 802\times 10^{-6}$), 但整体值相对较小; 轻稀土总量变化范围大, 且显示出 HREE 富集的配分模式, 但仍然低于对应的岩浆锆石, 部分分析点的重稀土相对平坦。这些分析点具有较明显的 Ce 异常和不明显的 Eu 负异常。这表明这些锆石形成于斜长石不

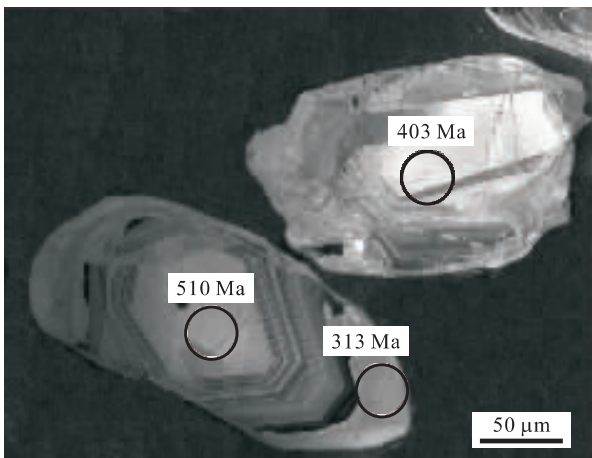


图 2 样品 98HXD09 中典型锆石的 CL 照片

Fig. 2 Typical CL images of zircons in sample 98HXD09

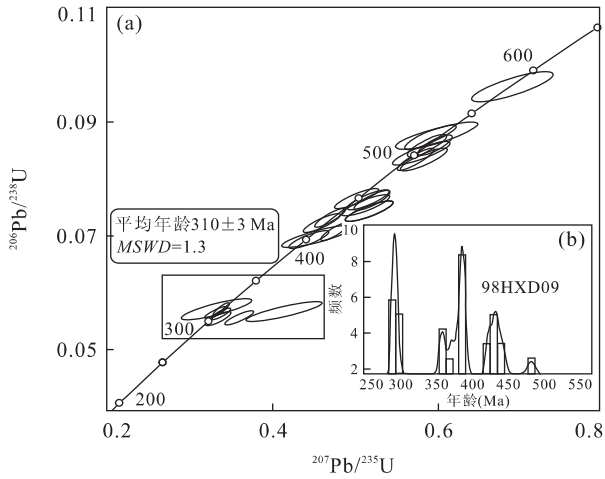


图 3 样品 98HXD09 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Concordia U-Pb diagram for zircons from 98HXD09

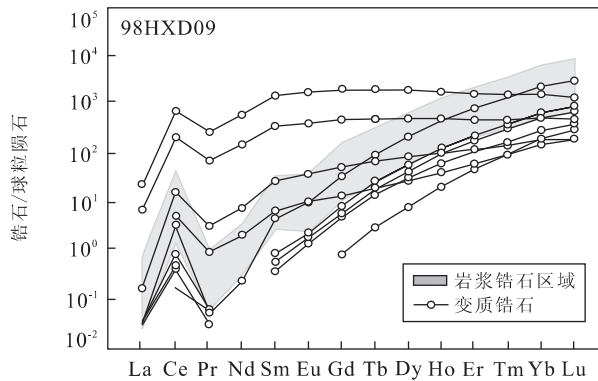


图 4 样品 98HXD09 中锆石稀土元素球粒陨石标准化图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE pattern of zircons from sample 98HXD09

稳定、石榴石开始出现的变质环境,可能对应于榴辉岩相前变质作用阶段(Bingen *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2008). 它们的 Ti 含量为 $0.88 \times 10^{-6} \sim 6.71 \times 10^{-6}$, 利用 Ti 温度计(Watson and Harrison, 2005)计算得到的形成温度为 $565 \sim 707 \text{ }^\circ\text{C}$, 与该地区榴辉岩相变质温度条件一致(Fu *et al.*, 2002; Liu, F. L., *et al.*, 2004b). 这也表明该样品变质增生锆石可能形成于榴辉岩相变质阶段.

相反,位于岩浆锆石区域分析点的锆石稀土总量变化较大,但整体值相对较高,富集 HREE, Ce 正异常明显, Eu 负异常显著(表 2 和图 4), 与典型的岩浆锆石的稀土元素配分模式一致(Wu and Zheng, 2004). 它们具有相对较高的 Ti 含量, 为 $1.51 \times 10^{-6} \sim 22.03 \times 10^{-6}$, 利用 Ti 温度计(Watson and Harrison, 2005)计算得到的形成温度为 $599 \sim 815 \text{ }^\circ\text{C}$.

4 讨论

4.1 沂湾变质带石炭纪榴辉岩相变质作用

前人对沂湾变质带高压变质作用进行了详细的定年. 已有的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 、U-Pb、Rb-Sr 和 Sm-Nd 法限定的榴辉岩相变质作用年龄在 $200 \sim 450 \text{ Ma}$ 之间(简平等, 1997, 2000; Xu *et al.*, 2000; 高山等, 2002; Sun *et al.*, 2002; Liu, X. C., *et al.*, 2004a; Jahn *et al.*, 2005). 由于缺乏较为详细的成因矿物学研究, 即便是锆石 U-Pb 定年, 该地区榴辉岩相变质作用年龄的结果同样存在 $210 \sim 450 \text{ Ma}$ 的变化范围(简平等, 1997, 2000; 高山等, 2002; Sun *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2004d). 锆石 U-Pb 年代学是对高级变质岩石进行定年使用最广泛和精度最高的方法. 对锆石进行系统的内部结构和微量元素等成因矿物学方面的研究, 在此基础上选择合适的锆石颗粒或区域进行 U-Pb 定年, 可以对得到的 U-Pb 年龄进行合理解释. 本文研究的变质锆石主要分布在锆石颗粒的边部, 具有无分带和弱分带等特征, 它们大多数具有较低的 Th 含量和 Th/U 比、Eu 负异常不明显等特征. 这些锆石虽然具有较富集的 HREE 配分模式, 但是相对于岩浆锆石它们的 HREE 含量仍然较低, 且部分分析点具有 HREE 较平坦的分布模式. 利用 Ti 温度计(Watson and Harrison, 2005)计算得到它们的形成温度为 $565 \sim 707 \text{ }^\circ\text{C}$, 与沂湾地区榴辉岩相变质温度条件较为一致(Fu *et al.*, 2002; Liu, X. C., *et al.*, 2004b; Ratschbacher *et al.*, 2006). 综合这些特征, 笔者认为这些变质锆石形成于缺乏斜长石、且有石榴石不同程度生长的榴辉岩相前变质阶段. 这些变质锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $304 \pm 3 \text{ Ma}$ 到 $316 \pm 5 \text{ Ma}$, 加权平均结果是 $310 \pm 3 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.3$). 这些变质锆石 $310 \pm 3 \text{ Ma}$ 的年龄应该代表了该样品榴辉岩相变质作用的年龄.

该年龄也支持了前人的研究结果(叶伯丹等, 1994; 简平等, 1997, 2000; Xu *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2001; Sun *et al.*, 2002), 表明沂湾变质带榴辉岩相变质时间比秦岭—大别山造山带的东部和南部三叠纪 HP-UHP 变质作用时间要早一些(Li *et al.*, 1993; Ames *et al.*, 1996; Hacker *et al.*, 1998; Ayers *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2003; Liu, F. L., *et al.*, 2004a, 2004b, 2006; Liu, X. C., *et al.*, 2004b; Wu *et al.*, 2006, 2008). Sun *et al.* (2002) 对熊店和胡家湾 3 个样品变质锆石定年,

结果分别为: 307 ± 4 Ma、 311 ± 17 Ma 和 312 ± 5 Ma, 与本研究结果相一致。然而, Liu and Ye (2004) 报道了位于沂湾变质带东部的千斤河棚和沂湾的两个榴辉岩样品的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄结果。其中 1 个样品给出了边部变质锆石年龄范围为 315 ± 17 Ma~ 229 ± 12 Ma, 并认为这一年龄范围中最小年龄代表了榴辉岩相变质的最早时间, 与秦岭—大别山造山带东部和南部的三叠纪 HP-UHP 变质作用时间一致。因此, 推断沂湾变质带是大别山—苏鲁三叠纪 HP-UHP 变质地体的主要部分(Liu, X. C., *et al.*, 2004a)。本文所研究的样品来自于沂湾熊店地区附近, 其变质锆石给出的年龄为 310 ± 3 Ma, 表明沂湾变质带存在石炭纪榴辉岩相变质事件。这一年龄比南秦岭造山带、红安地块及东大别山—苏鲁造山带的三叠纪榴辉岩相峰期变质年龄要早约 100 Ma。这样的时间差不可能形成于同一个碰撞俯冲的过程。因此, 在西大别山可能至少发生了两期榴辉岩相变质事件, 一期为石炭纪, 一期是三叠纪, 分别记录于西大别山的不同区块。

4.2 碎屑锆石年龄及意义

所研究的样品大多数锆石都显示出核—边结构或核—幔—边结构, 这些核部或幔部以振荡环带为典型特征, 相对高的 Th/U 比值和高的 REE 含量, 明显的 Eu 负异常, 以及 HREE 富集, 这些特征都表明他们为岩浆锆石(Hoskin and Black, 2000; Corfu *et al.*, 2003)。这些岩浆锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化范围为 403 ± 6 Ma~ 581 ± 7 Ma, 变化范围较大, 暗示其来源广泛。且核部锆石得到了 3 组谐和或近谐和的 U-Pb 年龄, 它们分别为: 400 ± 5 Ma~ 419 ± 5 Ma、 426 ± 5 Ma~ 449 ± 5 Ma 以及 496 ± 5 Ma~ 524 ± 7 Ma(图 3)。这些年龄明显不同于扬子板块中存在的大量新元古代的年龄, 而与北秦岭南缘发育的大量的古生代岛弧岩浆岩的时代较为一致, 表明这些沉积物的物源主要来自北秦岭南缘的岛弧岩浆岩, 这些沉积岩形成时南北秦岭之间已经对接(Gao *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 1997)。约 580 Ma 的锆石年龄与苏家河地区辉长岩的年龄较为一致(Liu, X. C., *et al.*, 2004a), 表明这些沉积岩的物源有少量来自扬子板块。由于碎屑岩锆石的最小年龄为沉积岩形成的最大年龄, 所以笔者认为该变沉积岩的沉积时间应该为志留纪—泥盆纪之间, 表明沂湾地区在这一时期可能是扬子板块北缘由伸展作用发育而成的边缘盆地。

5 结论

沂湾变质带片岩中锆石 LA-ICPMS 的 U-Pb 年龄及微量元素特征分析研究表明, 沂湾变质带高压榴辉岩相变质时间为 310 ± 3 Ma, 即沂湾 HP 变质带在石炭纪发生了榴辉岩相变质事件。碎屑锆石给出了 3 组近谐和的 U-Pb 年龄 400 ± 5 Ma~ 419 ± 5 Ma、 426 ± 5 Ma~ 449 ± 5 Ma 以及 496 ± 5 Ma~ 524 ± 7 Ma, 表明变沉积岩主要来自于华北板块南缘, 这一时期南北秦岭之间已经对接。

References

- Ames, L., Zhou, G. Z., Xiong, B. C., 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, Central China. *Tectonics*, 15: 472—489.
- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192: 59—79.
- Ayers, J. C., Dunkle, S., Gao, S., *et al.*, 2002. Constraints on timing of peak and retrograde metamorphism in the Dabie Shan ultrahigh-pressure metamorphic belt, East-Central China, using U-Th-Pb dating of zircon and monazite. *Chemical Geology*, 186(3—4): 315—331.
- Bingen, B., Austrheim, H., Whitehouse, M. J., *et al.*, 2004. Trace element signature and U-Pb geochronology of eclogite-facies zircon, Bergen Arcs, Caledonides of W Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147(6): 671—683.
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., *et al.*, 2003. Atlas of zircon textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 469—500.
- Eide, E. A., Liou, J. G., 2000. High-pressure blueschists and eclogites in Hong'an: A framework for addressing the evolution of high and ultrahigh-pressure rocks in central China. *Lithos*, 52: 1—22.
- Fu, B., Zheng, Y. F., Touret, J. L. R., 2002. Petrological, isotopic and fluid inclusion studies of eclogites from Sujiahe, NW Dabie Shan (China). *Chemical Geology*, 187(1—2): 107—128.
- Gao, S., Qiu, Y. M., Ling, W. L., *et al.*, 2002. SHRIMP Single zircon U-Pb geochronology of eclogites from Yingshan and Xiongdian. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 558—564 (in Chinese with English abstract).
- Gao, S., Zhang, B. R., Gu, X. M., *et al.*, 1995. Silurian-Devonian

- provenance changes of South Qinling basins; Implications for accretion of the Yangtze (South China) to the North China cratons. *Tectonophysics*, 250: 183–197.
- Hacker, B. R., Ratschbacher, L., Webb, L., et al., 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 161(1–4): 215–230.
- Hinton, R. W., Upton, B. G. J., 1991. The chemistry of zircon: Variations within and between large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55(11): 3287–3302.
- Hoskin, P. W. O., Black, L. P., 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 18: 423–439.
- Hu, N. G., Yang, J. X., Zhao, D. L., 1996. Sm-Nd isochron age of eclogite from northern Qinling Mountains. *Acta Mineralogica Sinica*, 16(4): 349–352 (in Chinese with English abstract).
- Jahn, B. M., Liu, X. C., Yui, T. F., et al., 2005. High-pressure/ultrahigh-pressure eclogites from the Hong'an block, East-Central China: Geochemical characterization, isotope disequilibrium and geochronological controversy. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 149: 499–526.
- Jian, P., Liu, D. Y., Yang, W. R., et al., 2000. Petrographical study of zircons and SHRIMP dating of the Caledonian Xiongdi eclogite, north western Dabie Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 74(3): 259–264 (in Chinese with English abstract).
- Jian, P., Yang, W. R., Li, Z. C., 1997. Isotopic geochronological evidence for the Caledonian Xiongdi eclogite in western Dabie Mountains China. *Acta Geologica Sinica*, 71(2): 133–141 (in Chinese with English abstract).
- Kröner, A., Zhang, G., Sun, Y., 1993. Granulites in the Tongbai area, Qinling belt, China, geochemistry, petrology, single zircon geochronology, and implications for the tectonic evolution of eastern Asia. *Tectonics*, 12: 245–255.
- Li, S. G., Huang, F., Nie, Y. H., et al., 2001. Geochemical and geochronological constraints on the suture location between the North and South China blocks in the Dabie Orogen, Central China. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26: 655–672.
- Li, S. G., Xiao, Y. L., Liu, D. L., et al., 1993. Collision of the North China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes. *Chemical Geology*, 109(1–4): 89–111.
- Liu, F. L., Gerdes, A., Liou, J. G., et al., 2006. SHRIMP U-Pb zircon dating from Sulu-Dabie dolomitic marble, eastern China: Constraints on prograde, ultrahigh-pressure and retrograde metamorphic ages. *Journal of Metamorphic Geology*, 24: 569–589.
- Liu, F. L., Xu, Z. Q., Liou, J. G., et al., 2004a. SHRIMP U-Pb ages of ultrahigh-pressure and retrograde metamorphism of gneisses, southwest Sulu terrane, eastern China. *Journal of Metamorphic Geology*, 22: 315–326.
- Liu, F. L., Xu, Z. Q., Xue, H. M., 2004b. Tracing the protolith, UHP metamorphism, and exhumation ages of orthogneiss from the SW Sulu terrane (eastern China): SHRIMP U-Pb dating of mineral inclusion bearing zircons. *Lithos*, 78: 411–429.
- Liu, J. B., Ye, K., 2004. Transformation of garnet epidote amphibolite to eclogite, western Dabie Mountains, China. *Journal of Metamorphic Geology*, 22: 383–394.
- Liu, X. C., Jahn, B. M., Liu, D. Y., et al., 2004a. SHRIMP U-Pb zircon dating of a metagabbro and eclogites from western Dabieshan (Hong'an block), China, and its tectonic implications. *Tectonophysics*, 394(3–4): 171–192.
- Liu, X. C., Wei, C. J., Li, S., et al., 2004b. Thermobaric structure of a traverse across western Dabieshan: Implications for collision tectonics between the Sino-Korean and Yangtze cratons. *Journal of Metamorphic Geology*, 22: 361–379.
- Ludwig, K. R., 2001. Users manual for Isoplot/Ex (Rev 2.49): A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 1–55.
- Mattauer, M., Matte, P., Malavieille, J., et al., 1985. Tectonics of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia. *Nature*, 317: 496–500.
- Ratschbacher, L., Franz, L., Enkelmann, E., et al., 2006. Sino-Korean-Yangtze suture, Huwan detachment, and Paleozoic-Tertiary exhumation of (ultra)high-pressure rocks in Tongbai-Xinxian-Dabie. In: Hacker, B. R., McClelland, W. C., Liou, J. G., eds., Ultrahigh-pressure metamorphism: Deep continental subduction. *The Geological Society of America, Special Paper*, 403: 45–76.
- Sun, W. D., Williams, I. S., Li, S. G., 2002. Carboniferous and Triassic eclogites in the western Dabie Mountains, East-Central China: Evidence for protracted convergence of the North and South China blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 20: 873–886.
- Watson, E. B., Harrison, T. M., 2005. Zircon thermometer reveals minimum melting conditions on earliest earth. *Science*, 308(5723): 841–844.
- Webb, L. E., Hacker, B. R., Ratschbacher, L., et al., 1999. Thermochronologic constraints on deformation and

- cooling history of high- and ultrahigh-pressure rocks in the Qinling-Dabie orogen, eastern China. *Tectonics*, 18(4):621–638.
- Wei, C. J., Wu, Y. X., Ni, Y. Y., et al., 1999. Characteristics and geological significance of eclogites from the Tongbai area, Henan Province. *Chinese Science Bulletin*, 44(1): 1882–1885 (in Chinese).
- Whitehouse, M. J., Kamber, B. S., 2002. On the over abundance of light rare earth elements in terrestrial zircons and its implication for earth's earliest magmatic differentiation. *Earth and Planetary Science Letters*, 204:333–346.
- Wu, Y. B., Gao, S., Zhang, H. F., et al., 2008. Timing of UHP metamorphism in the Hong'an area, western Dabie Mountains, China: Evidence from zircon U-Pb age, trace element and Hf isotope composition. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155:123–133.
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15):1554–1569.
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., Zhao, Z. F., et al., 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.
- Xu, B., Grove, M., Wang, C. Q., et al., 2000. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology from the northwestern Dabie Shan: Constraints on the evolution of Qinling-Dabie orogenic belt, East-Central China. *Tectonophysics*, 322:279–301.
- Yang, J. S., Liu, F. L., Wu, C. L., et al., 2003. Two ultrahigh pressure metamorphic events recognized in the central orogenic belt of China: Evidence from the U-Pb dating of coesite-bearing zircons. *Acta Geologica Sinica*, 77(4):47–52 (in Chinese with English abstract).
- Ye, B. D., Jian, P., Xu, J. W., 1993. Sujiahe convergent belt in northern Tongbai-Dabie orogen and its constitution and evolution. China University of Geoscience Press, Wuhan (in Chinese).
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandard. and Geoanalytist Research*, 28(3):353–370.
- Zhai, X. M., Day, H. W., Hacker, B. R., et al., 1998. Paleozoic metamorphism in the Qinling orogen, Tongbai Mountains, Central China. *Geology*, 26(4):371–374.
- Zhang, H. F., Gao, S., Zhang, B. R., et al., 1997. Pb isotopes of granitoids suggest Devonian accretion of Yangtze (South China) craton to North China craton. *Geology*, 25:1015–1018.
- Zheng, Y. F., Fu, B., Gong, B., et al., 2003. Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China: Implications for geodynamics and fluid regime. *Earth Science Reviews*, 62:105–161.
- Zhong, Z. Q., Suo, S. T., You, Z. D., 1999. Regional-scale extensional tectonic pattern of ultrahigh-P and high-P metamorphic belts from the Dabie massif, China. *International Geology Review*, 41:1033–1041.

附中文参考文献

- 高山, Qiu, Y. M., 凌文黎, 等, 2002. 大别山英山和熊店榴辉岩单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究. 地球科学——中国地质大学学报, 27(5): 558–564.
- 胡能高, 杨家喜, 赵东林, 1996. 北秦岭榴辉岩 Sm-Nd 同位素年龄. 矿物学报, 16(4): 349–352.
- 简平, 刘敦一, 杨巍然, 等, 2000. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩锆石特征及 SARIMP 分析结果. 地质学报, 74(3): 259–264.
- 简平, 杨巍然, 李志昌, 等, 1997. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩——同位素地质年代学的证据. 地质学报, 71(2): 133–141.
- 魏春景, 吴玉新, 倪云燕, 等, 1999. 河南桐柏地区榴辉岩的特征及其地质意义. 科学通报, 44: 1882–1885.
- 杨经绥, 刘福来, 吴才来, 等, 2003. 中央碰撞造山带中两期超高压变质作用来自含柯石英锆石的定年证据. 地质学报, 77(4): 47–52.
- 叶伯丹, 简平, 许俊文, 等, 1993. 桐柏—大别造山带北坡苏家河地体拼接带及其构成和演化. 武汉: 中国地质大学出版社, 81.