

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.242>



# 大陆俯冲带大规模的变质流体活动:来自大别造山带 超高压硬玉石英岩的记录

高晓英

中国科学院壳幔物质与环境重点实验室,中国科学技术大学地球和空间科学学院,安徽合肥 230026

**摘要:**硬玉石英岩是一种稀少且与流体作用相关的变质岩,同时出露于高压或超高压洋壳和陆壳俯冲带中.通过对中国东部大别造山带中出露达 50 km<sup>2</sup> 的含柯石英的超高压硬玉石英岩进行研究,综合全岩主微量元素、矿物 Mg-O 同位素和锆石学研究.结果表明,硬玉石英岩的原岩为古元古代 TTG 岩石,经历过弱化学风化和强物理风化作用,然后在三叠纪时期受到围岩富黑云母片麻岩分解脱水而产生的大量重 Mg 同位素流体交代,从而形成硬玉石英岩.考虑到这种受流体交代成因的硬玉石英岩在大别山广泛出露,表明其在三叠纪大陆深俯冲过程中存在着大规模的变质流体活动,这项研究首次报道了大陆俯冲带有大规模的流体活动存在,同时也挑战了传统观点认为的大陆俯冲带缺乏岛弧岩浆作用主要原因是缺乏足够量的流体活动.

**关键词:**大陆俯冲带;流体交代;硬玉石英岩;超高压变质;脱水分解;岩石学.

中图分类号: P581

文章编号: 1000-2383(2019)12-4064-08

收稿日期: 2019-08-29

## Large-Scale Flow of Metamorphic Fluids in a Continental Subduction Zone: Evidence from Coesite-Bearing Jadeite Quartzite in the Dabie Orogen

Gao Xiaoying

CAS Key laboratory of Crust-Mantle Materials and Environments, School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

**Abstract:** Jadeite quartzite is a rare and fluid-related metamorphic rock, usually occurring as tectonic blocks of high-pressure (HP) to ultrahigh-pressure (UHP) metamorphic zones in continental and oceanic subduction zone. A combined study of whole-rock geochemistry, Mg and O isotopes, zircon U-Pb ages and trace elements was carried out for coesite-bearing jadeite quartzites from the Dabie orogen. The results indicate that the Middle Paleoproterozoic protolith of jadeite quartzites was weathered to a kind of sedimentary rocks in a passive continental margin and then underwent significant metasomatism by metamorphic fluids with high  $\delta^{26}\text{Mg}$  values during the continental subduction in the Triassic. The metamorphic fluids were produced by the breakdown of biotite in the metasedimentary rocks. The regional occurrence of jadeite quartzites over an exposure area of about 50 km<sup>2</sup> indicates that the metamorphic fluids would have flowed on a large scale in the continental subduction channel. Such widespread fluid flow is evident in the continental subduction zone, with the metamorphic fluids would have flowed on a large scale at the slab-mantle interface in the continental subduction channel.

**Key words:** continental subduction; fluid metasomatism; jadeite quartzite; UHP metamorphism; biotite breakdown; petrology.

**基金项目:**国家“973”项目(No.2015CB856104);国家自然科学基金项目(Nos.41722203,41572042).

**作者简介:**高晓英(1980-),女,特任教授,主要从事大陆俯冲带矿物学和岩石地球化学. ORCID: 0000-0002-6624-6092. E-mail: gaoying@ustc.edu.cn

**引用格式:**高晓英,2019.大陆俯冲带大规模的变质流体活动:来自大别造山带超高压硬玉石英岩的记录.地球科学,44(12):4064-4071.

## 0 引言

板块俯冲和折返过程中的流体活动是板块构造研究的一个重要组成部分,它不仅可引起矿物反应,诱导岩石体系发生熔融,催化变质反应进行,还会使俯冲板块内部发生显著的流体迁移,引起元素活动和同位素变化(Bebout, 2007; Zheng, 2019). 因此,深入了解俯冲带深部的流体活动及其地球化学效应,不仅对于理解俯冲带内部的构造演化和深俯冲陆壳折返的过程和机制,而且对于研究俯冲隧道中发生的壳幔相互作用和壳幔物质再循环都具有重要意义(Zheng, 2009). 在大洋板块俯冲过程,蚀变的洋壳玄武岩及其上覆沉积物随着俯冲温度压力的升高,释放大量的流体,从而引发地幔部分熔融形成大规模的同俯冲岛弧岩浆作用(Touret, 2001). 与此相反,由古老结晶基底及其上覆沉积物组成的大陆地壳相对缺水,且俯冲速率较快,因此难以释放出充分的流体交代上覆地幔楔形成岛弧岩浆岩(Zheng, 2009). 因此,传统的观点认为,大陆俯冲带缺乏岛弧岩浆作用主要原因是缺乏足够量的流体活动. 尽管大陆地壳的流体含量远低于大洋地壳,但是在大陆地壳俯冲和折返过程中,仍然可能会发生有限的降压脱水,甚至会引起高压/超高压变质岩的部分熔融(Zheng and Hermann, 2014). 然而,对于大陆俯冲隧道内流体活动的认识还比较局限,特别是流体活动的时限、机制和规模都不确定. 因此对陆壳深俯冲/折返过程流体活动的深入研究,不仅为研究俯冲带岩石提供了板块构造格架,而且为探索大陆碰撞造山带壳幔相互作用提供了化学地球动力学思路.

## 1 硬玉石英岩研究现状

硬玉,通常被认为是大洋俯冲带蓝片岩中的一种常见矿物,它广泛出露于变花岗岩、变粗面岩、变交代岩等不同类型的变质岩中(Harlow *et al.*, 2015). 在蓝片岩相岩石中它被认为是低温高压变质条件的指示矿物,而高温硬玉较为少见,仅在西阿卑斯 Dora-Maira 地块蓝晶石石英岩和钠质白片岩中,以及中国东部大别山超高压变质岩中的硬玉石英岩中有零星出露(Chopin, 1984; Xu *et al.*, 1992). 目前,世界范围内出露的硬玉富集的岩石种类相对稀少,大多呈脉状、块状、透镜状,在大陆和大洋俯冲带中均有出露(Harlow *et al.*, 2015). 通常产于洋

壳俯冲带蛇纹石化的超基性岩中,常与蓝片岩和榴辉岩伴生(Harlow and Spandler, 2007; Tsujimori and Harlow, 2012). Harlow *et al.* (2007) 在全世界范围内统计出 14 处出露点,随后 Tsujimori and Harlow (2012) 扩展到 19 处,分别位于 4 个显生宙造山带内(Caribbean、circum - Pacific、Alps/Himalayas 和 Uralides & Central Asia/Altaids) 和位于科罗拉多高原(Colorada Plateau) 金伯利岩管里的硬玉捕虏体(图 1).

当前对于硬玉石英岩成因主要存在以下两种解释:(1)与变质和交代作用密切相关的化学反应而生成: $\text{Albite}=\text{Jadeite}+\text{Quartz}$  or  $\text{Nepheline}+\text{Albite}=\text{Jadeite}$  or  $\text{Anorthite}=\text{Jadeite}+\text{H}_2\text{O}$ ; (2) 直接从变质流体中结晶形成. 前者被解释为原岩交代(metasomatic replacement),简称 R 型,指流体交代原岩而发生强烈变质反应形成硬玉;后者被解释为脉体沉淀(vein precipitation),简称 P 型,指硬玉直接结晶于富水的流体环境中(Tsujimori and Harlow, 2012; Harlow *et al.*, 2015).

大别—苏鲁造山带呈东西向展布位于中国中东部,是华南大陆板块俯冲进入到华北大陆板块之下所形成的陆陆碰撞造山带(Zheng *et al.*, 2018). 在位于中温超高压中大别变质带中,广泛分布着一条长约 50 km,宽约 1 km,向南凸起的弧形硬玉石英带. 前人在硬玉和石榴石中发现柯石英包裹体说明了大别山硬玉石英岩与其围岩片麻岩、大理岩等一起经历了深俯冲作用后折返回地表形成超高压变质作用. 其硬玉石英岩经历的峰期温压为: $>2.8$  GPa;  $750\sim 850$  °C (Xu *et al.*, 1992; Su *et al.*, 2004; Gao *et al.*, 2015). 大别山广泛存在的高温超高压硬玉石英岩中硬玉显然有别于洋壳俯冲的蓝片岩相岩石中的低温高压变质硬玉. 因此,硬玉不仅仅是低温高压变质岩的指示矿物,也是高温超高压变质条件下的产物. 尽管前人对大别超高压硬玉石英岩作了大量研究,多集中在岩石和矿物学、地球化学、显微组构和结构水等方面(Ayers *et al.*, 2002; Su *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2015),但对于一些基础性的问题尚难以回答. 迄今为止,对硬玉石英岩的原岩属性、硬玉石英岩形成过程中的流体来源和特征、流体作用的时限及流体的运移机制等问题的认识仍存在很大争议(Su *et al.*, 2004; Schertl *et al.*, 2012; Tsujimori and Harlow, 2012; Harlow *et al.*, 2015). 因此俯冲带

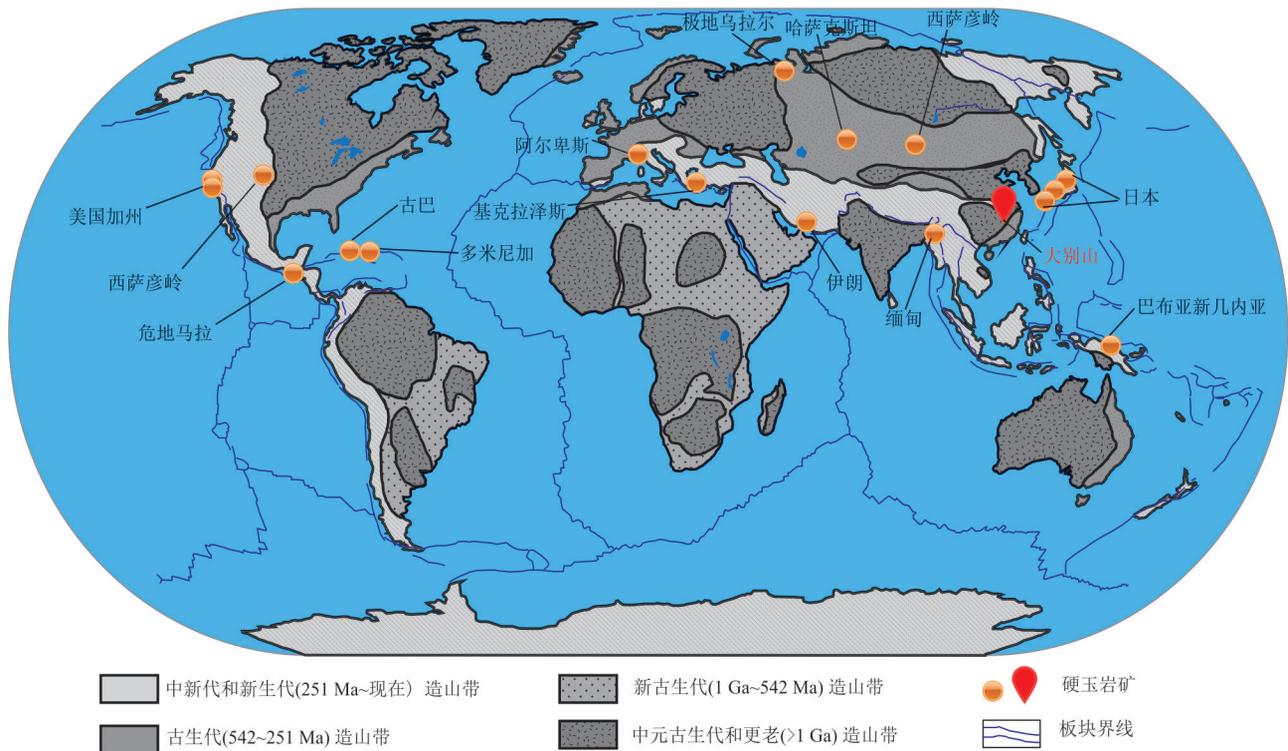


图 1 硬玉富集的岩石全球分布

Fig.1 World map of jadeite-bearing rock occurrences and tectonic settings

修改自 Harlow *et al.*(2015)

中出露的与流体作用相关的硬玉富集的岩石,为我们研究俯冲带内部流体活动行为提供了理想的天然样品 (Schertl *et al.*, 2012; Tsujimori and Harlow, 2012; Harlow *et al.*, 2015). 通过对这类岩石进行深入细致的岩石学和地球化学研究,可以为俯冲带流体来源、流体性质、流体演化、元素迁移、壳幔相互作用和折返动力学提供新思路.

## 2 大别山硬玉石英岩流体交代的证据

Gao *et al.* (2015) 对大别山超高压硬玉石英岩中的锆石开展了详细的同位素和地球化学研究,将锆石原位 U-Pb 定年、微量元素和 Hf-O 同位素分析相结合,结果为深入洞察陆壳深俯冲过程中变质流体作用的行为、制约硬玉石英原岩属性提供了重要信息. 硬玉石英岩中大部分锆石 CL 显示清晰的核边结构,变质生长边具有 219~244 Ma 的 U-Pb 年龄、平坦的 HREE 和不明显的 Eu 异常配分图,以及基本无矿物包裹体. 相反,残留的岩浆核却含有大量的超高压变质矿物包裹体,如柯石英、硬玉和金红石,以及具有分布在不一致线上从 541~2 116 Ma 的年龄、陡峭的 REE 配分图、明显的 Eu 负异常. 这

些从核到边的一致线上的年龄给出了具有  $2\,000 \pm 43$  Ma 的上交点年龄和  $234 \pm 18$  Ma 的下交点年龄 (图 2),其分别对应于古元古代岩浆成因的碎屑核和三叠纪变质生长边.

将锆石 CL 图像、矿物包裹体和 REE 配分模式图以及 Hf-O 同位素相结合 (图 2),可以区分出三种不同类型的锆石: 固态重结晶 (Type I)、交代重结晶 (Type II) 和变质新生长 (Type III). 固态重结晶锆石位于岩浆核部, CL 显示具有清晰的或部分模糊的岩浆环带,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄主要分布在接近不一致线上交点  $2\,000 \pm 43$  Ma 附近. 具有较高 Th/U 比值 (0.05~0.69)、陡峭的 REE 含量、高  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  比值 (0.000 435~0.001 769)、相对低的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值 (0.281 409~0.281 525). 表明这类锆石是岩浆来源的,但是部分受到不同程度的固态重结晶,在这一过程中受到较少程度变质流体的改造和影响,仅锆石内部结构和 U-Th-Pb 同位素体系受到部分改造,表现清晰的或是模糊的岩浆环带,而微量元素和 Lu-Hf 同位素体系保持原岩锆石的特征. 变质新生长锆石位于增生边部具有较强的无环带阴极发光,无矿物包裹体,谐和的 225~246 Ma 变质年龄,具有较低的 Th/U 比值 (0.01~0.06)、平坦 HREE、无 Eu

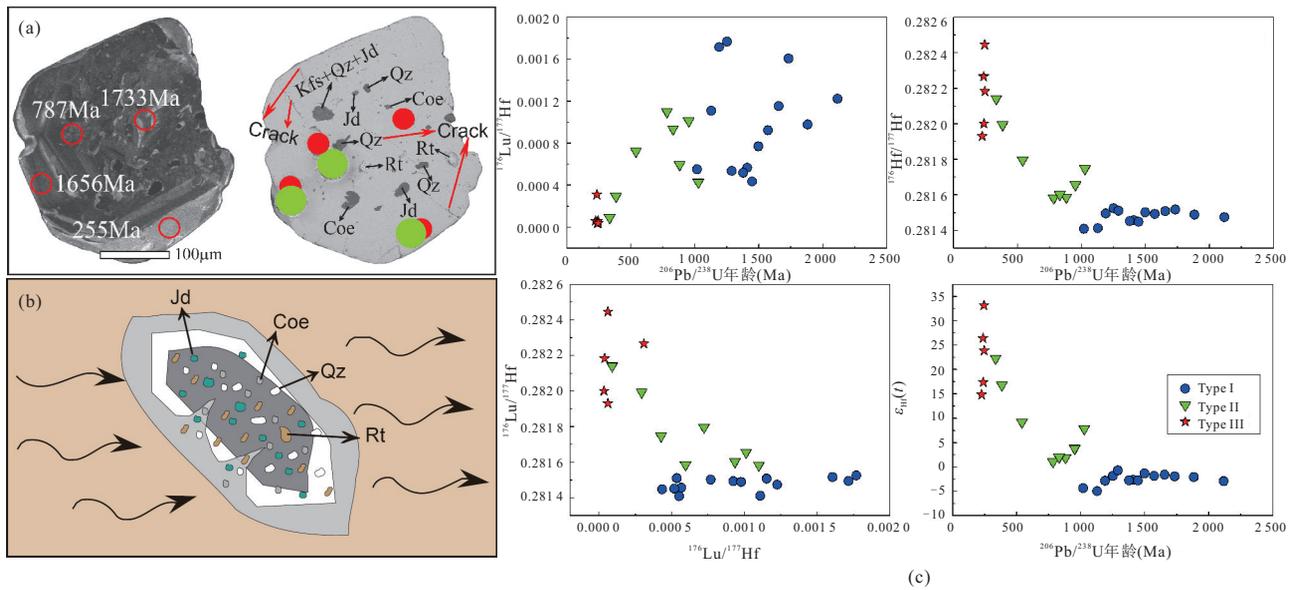


图 2 大别山超高压硬玉石英岩中锆石显微结构图像(a,b)和Hf同位素特征(c)

Fig.2 Photomicrographs showing the texture and mineral inclusions for zircon from jadeite quartzites in the Dabie orogen

修改自 Gao *et al.* (2015)

异常,低 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值和相对高的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值,这些符合典型的在榴辉岩相条件下变质生长锆石特征.交代重结晶锆石是岩浆残留核部,岩浆环带被明显改造成模糊的振荡环带或面状分带,内有大量的超高压变质矿物包裹体如柯石英、金红石和硬玉等,在U-Pb年龄谱和图上,具有比原岩年龄小的335~1 028 Ma相对年轻的不一致年龄.具有变化的Th/U比值、REE含量和 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 和 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值,这些值都于Type I和Type III之间.固态重结晶锆石给出了相对均一的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值(-2.9~-0.7)和两阶段Hf模式年龄2 696~2 795 Ma,而交代重结晶锆石具有位于固态重结晶和变质新生长锆石的中间成分的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值,和几乎没有变化的 $\delta^{18}\text{O}$ 值( $4.0\text{‰}\pm 0.2\text{‰}$ ),表明变质流体来源于俯冲大陆地壳的内部.在超高压条件下,原岩锆石核部在俯冲进变质过程中受到板块内部流体交代,大量的超高压变质矿物如柯石英、金红石和硬玉沿着锆石裂隙进入碎屑核并对部分岩浆核进行了不同程度的改造.此外,受交代流体改造重结晶锆石U-Pb和Lu-Hf同位素体系也发生不同程度的改造.碎屑锆石核部包裹的大量UHP变质矿物指示了这种交代的变质流体富集大量Si、Ti、Na、Al等元素.只是在后期作用下,这些交代重结晶锆石受到改造使部分裂隙愈合,导致其中的超高压矿物包裹体看上去像是原岩继承过来的一样.这一研究表明大别山硬玉石

英岩在三叠纪经历过明显的变质流体交代作用.

### 3 大别山硬玉石英岩流体交代的来源

为了系统研究大陆俯冲带流体交代的来源、机制和规模,Gao *et al.* (2019)对中大别变质区域分布达50 km<sup>2</sup>的弧形硬玉石英带进行系统采样研究.样品选自5个不同地区的20件样品,分别分布于菖蒲、新建、五庙、苗竹园和双河.锆石U-Pb定年得到,所有样品都具有224~235 Ma的下交点变质年龄,以及1.9~2.0 Ga的上交点原岩年龄,且所有U-Pb数据点都落在不一致线上,这也与前人的研究结果相一致(Ayers *et al.*, 2002; Gao *et al.*, 2015).这一结果表明,硬玉石英岩原岩不可能是典型的沉积岩,可能是火成岩或是从同一个岩体风化过来的.O同位素结果显示,硬玉石英岩不论单矿物和还是全岩都具有稍稍高于地幔锆石( $5.3\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$ ; Valley *et al.*, 1998)的O同位素值 $6.3\text{‰}\sim 9.4\text{‰}$ .所有样品具有相对较低的化学风化指数(chemical index of alteration, CIA)为45~57,表明硬玉石英岩的原岩并没有发生过明显的化学风化,可能只是发生过简单的物理风化作用(Nesbitt and Young, 1982).综合以上指标,表明硬玉石英岩的原岩很可能是一种富Na的TTG(tonalite-trondhjemite-granodiorite)岩石.

硬玉石英岩全岩Mg同位素分析表明,除了一个点(-0.43‰),所有的样品都具有较重的且高于

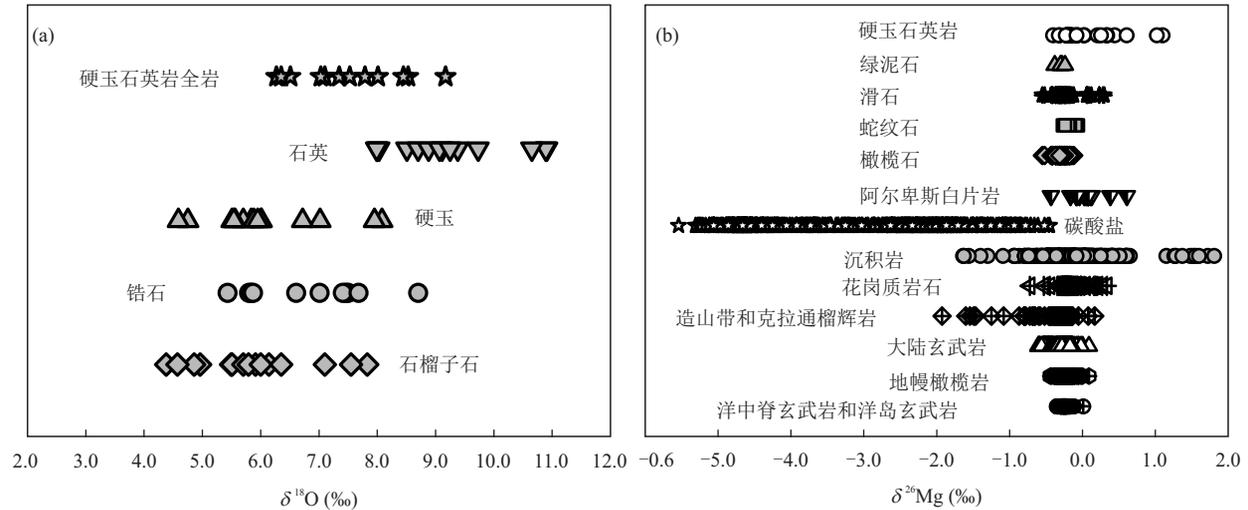


图3 大别山硬玉石英岩O同位素(a)和Mg同位素(b)

Fig.3 Mineral and whole-rock O (a) and Mg isotope data (b) for jadeite quartzites in the Dabie orogen

修改自 Gao *et al.* (2019)

地幔的 Mg 同位素值  $-0.16\text{‰} \sim 0.61\text{‰}$ 。而研究表明,地幔熔融和岩浆分异很难造成 Mg 同位素分馏,故大部分的花岗岩具有地幔  $-0.25\text{‰}$  的 Mg 同位素特征 (Teng, 2017)。而具有高  $\delta^{26}\text{Mg}$  的硬玉石英岩很可能来自于变质流体的交代作用。最近的研究也证明了俯冲带变质流体中  $\delta^{26}\text{Mg}$  的信号主要来自于岩石中含水矿物的分解 (Chen *et al.*, 2016)。黑云母具有变化的  $-0.08\text{‰} \sim 1.10\text{‰}$  的  $\delta^{26}\text{Mg}$  值,且随着变质级别增加其  $\delta^{26}\text{Mg}$  也增加 (Shen *et al.*, 2009)。此外,全岩的  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  与 Mg 同位素具有明显负相关性;而全岩的  $\text{MgO}$ 、 $\text{Rb}/\text{La}$ 、 $\text{Rb}/\text{Gd}$ 、 $\text{Rb}/\text{Lu}$ 、 $\text{Rb}/\text{Nb}$  与 Mg 同位素具有明显正相关性,与 O 同位素并没有明显的相关性。黑云母是一种富集  $\text{K}_2\text{O}$ 、Rb 和 Mg 的含水矿物。在大陆俯冲过程中,随着温度和压力升高,黑云母开始脱水分解并释放大量具有重  $\delta^{26}\text{Mg}$  和高 Rb 含量的富水流体。而由这种富水流体交代而形成的硬玉石英岩具有重  $\delta^{26}\text{Mg}$  和高 Rb 含量的特征。由于 O 同位素对流体-岩石作用非常敏感,因此被广泛用于示踪流体 (Zheng, 2009)。硬玉石英岩全岩和矿物具有变化的  $\delta^{18}\text{O}$  值  $6.3\text{‰} \sim 9.4\text{‰}$ 。前人对大别山两类超高压片麻岩给出了不同的  $\delta^{18}\text{O}$  值:黑云母副片麻岩具有较高的值  $6.1\text{‰} \sim 10.6\text{‰}$ ,花岗正片麻岩较低的值  $-3.8\text{‰} \sim 1.2\text{‰}$  (Zheng *et al.*, 2003)。而硬玉石英岩具有明显高于地幔的  $\delta^{18}\text{O}$  值,表明变质流体主要来自于周围的含黑云母的副片麻岩脱水。

这一观察结果表明,硬玉石英岩的原岩是古元

古代的 TTG 岩石,在三叠纪时期受到过高  $\delta^{26}\text{Mg}$  的流体交代作用而形成。这种交代流体主要来自于俯冲的大陆地壳在弧下深度,沉积岩中的黑云母发生变质脱水。

#### 4 变质流体交代的规模

考虑到硬玉石英岩在大别山大面积分布可达  $50 \text{ km}^2$  (图 4a),指示在大陆俯冲带内 UHP 流体活动尺度是相当大的,可能并不是我们传统认为的大陆俯冲带相对缺乏流体。那么如果定量来看,具体交代流体的量有多大呢?为了解决这个问题, Gao *et al.* (2019) 做了简单 MgO 含量与 Mg 同位素两端元数值模拟计算 (图 4c)。前人通过对实验和理论研究表明,俯冲的大陆地壳岩石熔融产生的富水溶质中含有相对较低的 MgO 量 ( $< 1.0\%$ ; Spandler *et al.*, 2007; Hermann and Spandler, 2007),在  $900 \text{ }^\circ\text{C}/3.0 \text{ GPa}$  条件下仅含有低于  $0.61\%$  的 MgO (Hermann and Spandler, 2007),  $750 \text{ }^\circ\text{C}/2.5 \text{ GPa}$  条件下含有  $0.27\%$  的 MgO (Hermann and Spandler, 2007),  $657 \text{ }^\circ\text{C}/2.2 \text{ GPa}$  条件下只有  $0.05\%$  的 MgO (Spandler *et al.*, 2007)。硬玉石英岩中变质交代流体主要来源于周围富黑云母的片麻岩脱水,那么流体中 Mg 同位素具有与黑云母相近的重 Mg 同位素特征 (高达  $1.1\text{‰}$ ; Shen *et al.*, 2009)。而我们的研究表明硬玉石英岩的原岩可能是一种 TTG 岩石,因此具有地幔  $-0.25\text{‰}$  Mg 同位素特征 (Teng, 2017)。因此硬玉石英岩中 Mg 同位素特征反映的是变质交

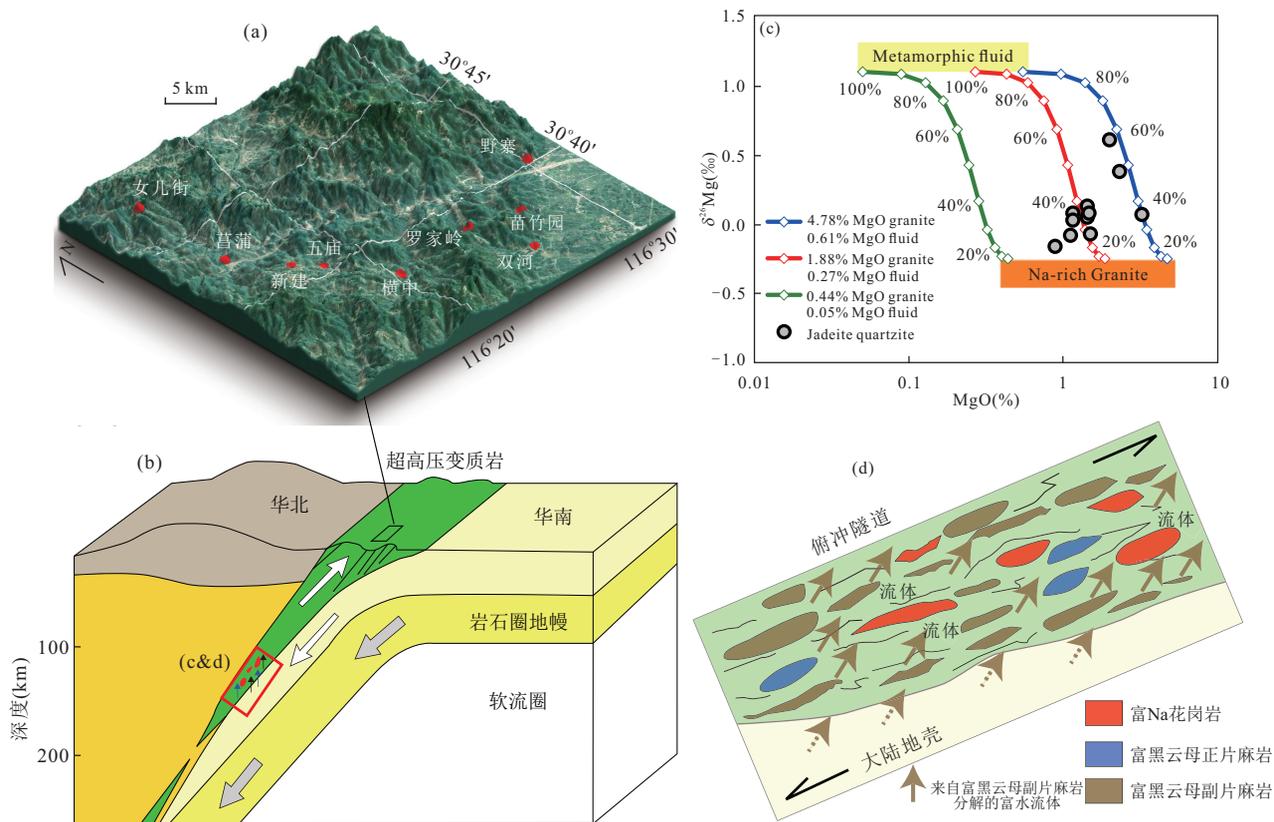


图 4 (a)大别山硬玉石英岩地形分布图;(b)在大陆俯冲过程中古元古代 TTG 岩石受到流体交代形成硬玉石英岩;(c)MgO-Mg 同位素两端元混合模拟计算图;(d)俯冲带流体-岩石反应的卡通图

Fig.4 (a) Topographic map of jadeite quartzite distribution in the Central Dabie mid-T/UHP eclogite-facies zone;(b) schematic diagram showing the large-scale formation of jadeite quartzites due to metasomatism of TTG-derived sediments by metamorphic fluids during the continental subduction in the Dabie orogen;(c) binary mixing modal calculations based on MgO contents and Mg isotopes in jadeite quartzites;(d) schematic diagram showing fluid-rock interaction in a continental subduction channel

修改自 Gao et al.(2019)

代流体和原岩 TTG 岩石两端元混合的结果. TTG 岩石具有变化的 MgO 含量:富 Na 质 TTG 从最低含 0.44% MgO (图 4 绿线)到最高含有 1.88% MgO 含量(图 4c 红线),而在灰色片麻岩中最高可含有 4.78% MgO 含量(图 4c 蓝线)(Moyen and Martin, 2012). 模拟结果显示,大陆俯冲带如果要产生这种重 Mg 同位素的硬玉石英岩,就需要加入至少 25%~50% 的富水流体来交代原岩(图 4c). 大别山硬玉石英岩广泛出露约 50 km<sup>2</sup> 的面积,如此大规模流体的交代是首次在大陆俯冲带内发现.

## 5 结语

通过对大别山硬玉石英岩的研究,揭示其原岩

为风化过的古元古代的 TTG 岩石在三叠纪时期,被周围富黑云母的片麻岩脱水产生重 Mg 同位素的变质流体交代而形成. 对这种流体交代成因的硬玉石英岩进行深入的研究为俯冲带大规模的流体活动提供最重要制约,同时这一研究也挑战了传统观点认为的陆俯冲带缺乏岛弧岩浆作用主要原因是缺乏足够量的流体活动.

## References

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. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(02)00008-6)

Bebout, G. E., 2007. Metamorphic Chemical Geodynamics of

- Subduction Zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 260(3–4): 373–393. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.05.050>
- Chen, Y. X., Schertl, H. P., Zheng, Y. F., et al., 2016. Mg-O Isotopes Trace the Origin of Mg-Rich Fluids in the Deeply Subducted Continental Crust of Western Alps. *Earth and Planetary Science Letters*, 456: 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.09.010>
- Chopin, C., 1984. Coesite and Pure Pyrope in High-Grade Blueschists of the Western Alps: A First Record and Some Consequences. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 86(2): 107–118. <https://doi.org/10.1007/bf00381838>
- Gao, X. Y., Wang, L., Chen, Y. X., et al., 2019. Geochemical Evidence from Coesite-Bearing Jadeite Quartzites for Large-Scale Flow of Metamorphic Fluids in a Continental Subduction Channel. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 265: 354–370. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.09.006>
- Gao, X. Y., Zheng, Y. F., Chen, Y. X., et al., 2015. Zircon Geochemistry Records the Action of Metamorphic Fluid on the Formation of Ultrahigh-Pressure Jadeite Quartzite in the Dabie Orogen. *Chemical Geology*, 419: 158–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.10.043>
- Harlow, G. E., Sorensen, S. S., Sisson, V. B., 2007. Jade. In: Lee, A., ed., *The Geology of Gem Deposits. Short Course Handbook Series. Mineral. Asso. Canada, Quebec*, 207–254.
- Harlow, G. E., Tsujimori, T., Sorensen, S. S., 2015. Jadeitites and Plate Tectonics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43(1): 105–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060614-105215>
- Hermann, J., Spandler, C. J., 2007. Sediment Melts at Sub-Arc Depths: An Experimental Study. *Journal of Petrology*, 49(4): 717–740. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm073>
- Moyen, J. F., Martin, H., 2012. Forty Years of TTG Research. *Lithos*, 148: 312–336. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.06.010>
- Nesbitt, H. W., Young, G. M., 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites. *Nature*, 299(5885): 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Schertl, H. P., Maresch, W. V., Stanek, K. P., et al., 2012. New Occurrences of Jadeitite, Jadeite Quartzite and Jadeite-Lawsonite Quartzite in the Dominican Republic, Hispaniola: Petrological and Geochronological Overview. *European Journal of Mineralogy*, 24(2): 199–216. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2012/0024-2201>
- Shen, B., Jacobsen, B., Lee, C. T. A., et al., 2009. The Mg Isotopic Systematics of Granitoids in Continental Arcs and Implications for the Role of Chemical Weathering in Crust Formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49): 20652–20657. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910663106>
- Spandler, C., Mavrogenes, J., Hermann, J., 2007. Experimental Constraints on Element Mobility from Subducted Sediments Using High-P Synthetic Fluid/Melt Inclusions. *Chemical Geology*, 239(3–4): 228–249. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.10.005>
- Su, W., Ji, Z. P., Ye, K., et al., 2004. Distribution of Hydrous Components in Jadeite of the Dabie Mountains. *Earth and Planetary Science Letters*, 222(1): 85–100. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.02.028>
- Teng, F. Z., 2017. Magnesium Isotope Geochemistry. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 82(1): 219–287. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.82.7>
- Touret, J. L. R., 2001. Fluids in Metamorphic Rocks. *Lithos*, 55(1–4): 1–25. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(00\)00036-0](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(00)00036-0)
- Tsujimori, T., Harlow, G. E., 2012. Petrogenetic Relationships between Jadeitite and Associated High-Pressure and Low-Temperature Metamorphic Rocks in Worldwide Jadeitite Localities: A Review. *European Journal of Mineralogy*, 24(2): 371–390. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2012/0024-2193>
- Valley, J. W., Kinny, P. D., Schulze, D. J., et al., 1998. Zircon Megacrysts from Kimberlite: Oxygen Isotope Variability among Mantle Melts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 133(1–2): 1–11. <https://doi.org/10.1007/s004100050432>
- Wang, L., Jin, Z. M., Kusky, T., et al., 2010. Microfabric Characteristics and Rheological Significance of Ultra-High-Pressure Metamorphosed Jadeite-Quartzite and Eclogite from Shuanghe, Dabie Mountains, China. *Journal of Metamorphic Geology*, 28(2): 163–182. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2009.00859.x>
- Xu, S. T., Okay, A. I., Ji, S. Y., et al., 1992. Diamond from the Dabie Shan Metamorphic Rocks and Its Implication for Tectonic Setting. *Science*, 256(5053): 80–82. <https://doi.org/10.1126/science.256.5053.80>
- Zheng, Y. F., 2009. Fluid Regime in Continental Subduction Zones: Petrological Insights from Ultrahigh-Pressure Metamorphic Rocks. *Journal of the Geological Society*, 166(4): 763–782. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-016r>

Zheng, Y.F., 2019. Subduction Zone Geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 10(4): 1223–1254. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.02.003>

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(1–2):105–161. [https://doi.org/10.1016/s0012-8252\(02\)00133-2](https://doi.org/10.1016/s0012-8252(02)00133-2)

Zheng, Y.F., Hermann, J., 2014. Geochemistry of Continental Subduction-Zone Fluids. *Earth, Planets and Space*, 66(1): 93. <https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-93>

Zheng, Y. F., Zhao, Z. F., Chen, R. X., 2018. Ultrahigh-Pressure Metamorphic Rocks in the Dabie-Sulu Orogenic Belt: Compositional Inheritance and Metamorphic Modification. *Geological Society, London, Special Publications*, 474(1):89–132. <https://doi.org/10.1144/sp474.9>

\*\*\*\*\*

### 我校《Journal of Earth Science》(英文刊)入选中国科技期刊卓越行动计划

日前,中国科协、财政部、教育部、科学技术部、国家新闻出版署、中国科学院、中国工程院联合下发通知,启动实施中国科技期刊卓越行动计划,以5年为周期,面向全国科技期刊系统构建支持体系.由我校主办的《Journal of Earth Science》(英文刊)成功入选中国科技期刊卓越行动计划重点期刊类项目.据悉,在本次申报和评选中,全国342种英文科技期刊及520种中文科技期刊参加项目申请,最终285种期刊(设立领军期刊、重点期刊、梯队期刊、高起点新刊、集群化试点以及建设国际化数字出版服务平台、选育高水平办刊人才7个子项目,其中22种为领军期刊类项目、29种为重点期刊类项目、199种为梯队期刊类项目)入选该计划.该刊是湖北省高校唯一入选重点类的期刊.

此次《Journal of Earth Science》入选中国科技期刊卓越行动计划重点刊物是对该刊的高度认可.《Journal of Earth Science》于1990年创刊,是我国高校较早创办的英文科技期刊之一.2007年起被SCI收录,2009年起与国际著名出版公司Springer合作,在境外发行电子版.近几年来,编委及编辑团队锐意进取,不断创新,该刊的国际影响力持续提升,2018年JCR的影响因子为1.784;2016—2019年连续4年入选“中国最具国际影响力学术期刊”.