

# 桐柏—大别造山带高压变质单元 岩石 Pb 同位素组成

张利<sup>1,2</sup>, 钟增球<sup>1,2</sup>, 张宏飞<sup>1,2</sup>, 王林森<sup>1,2</sup>

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

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

**摘要:** 铅同位素组成对于研究构造分区与演化、块体相互作用以及识别地壳中不同块体的上、下层次关系等具有重要意义。桐柏—大别造山带高压变质单元岩石的全岩 Pb 同位素组成研究表明, 在该造山带不同区段, 高压变质岩系二云钠长片麻岩与榴辉岩具有相似的 Pb 同位素组成, 表现为上部地壳高放射成因的 Pb 同位素组成特征, 其中 Pb 同位素组成为:  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.599\sim 18.310$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.318\sim 15.615$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.968\sim 39.143$ 。大别和桐柏地区高压变质岩系 Pb 同位素组成的一致性进一步证明了大别地区与桐柏地区的高压变质岩系是可以相连的, 它们应属于同一构造单元。高压变质岩系 Pb 同位素比值总体高于超高压变质岩系, 验证了桐柏—大别造山带扬子俯冲陆壳从下部岩系到上部岩系 Pb 同位素比值呈规律增长这一 Pb 同位素化学特征。侵入于高压变质岩系中的面理化(含榴)花岗岩, 其 Pb 同位素组成与高压变质岩系相比相对较低, 而与超高压变质岩系及其中的面理化(含榴)花岗岩相似, 为:  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.128\sim 17.434$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.313\sim 15.422$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.631\sim 38.122$ 。这表明高压变质岩系和超高压变质岩系中的面理化(含榴)花岗岩具有相同的岩浆来源。结合面理化(含榴)花岗岩具有 A 型花岗岩的地球化学特征分析, 它们的岩浆物质可能来自超高压变质岩折返至中下地壳的减压退变和部分熔融。

**关键词:** Pb 同位素组成; 面理化(含榴)花岗岩; 高压变质岩系; 桐柏—大别造山带。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2005)06-0729-09

收稿日期: 2005-06-23

## Pb Isotope Compositions of Metamorphic Rocks from High-Pressure Unit in Tongbai-Dabie Orogenic Belt

ZHANG Li<sup>1,2</sup>, ZHONG Zeng-qiu<sup>1,2</sup>, ZHANG Hong-fei<sup>1,2</sup>, WANG Lin-sen<sup>1,2</sup>

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

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Pb isotope compositions play an important role in tectonic division and evolution, block interaction and identifying different block relations in the crust. Our study shows that Pb isotope compositions of the high-pressure (HP) metamorphic rocks in different parts of Tongbai-Dabie orogenic belt, consisting of two-mica albite gneisses and eclogites, are similar and characterized by upper crustal Pb isotope compositions. They have  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.599\sim 18.310$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.318\sim 15.615$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.968\sim 39.143$ . The Pb isotope compositions of the HP metamorphic rocks both in Tongbai and Dabie areas are consistent. It is suggested that the HP metamorphic rocks both in Tongbai and Dabie areas belong to the same lithotectonic unit. In general, the Pb isotope compositions of the HP metamorphic rocks are higher than those of the ultra-high pressure (UHP) metamorphic rocks. It is evident that the Pb isotope compositions of the rocks from the subducted Yangtze continental crust in Tongbai-Dabie orogenic belt show a regular variation from lower crust to upper crust, from lower radiogenic abundances in the lower crust to higher abundances in the upper crust. The foliated garnet-bearing granites, in-

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40372094); 国家重大基础研究发展规划项目(No. G1999075506); 中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助计划项目(No. CUGQNL0327)。

作者简介: 张利(1970—), 女, 副教授, 主要从事同位素地球化学和造山带化学动力学研究。E-mail: lizhang@cug.edu.cn

truded into the HP metamorphic rocks in different parts of the orogenic belt have similar Pb isotope compositions. They have  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.128-17.434$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.313-15.422$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.631-38.122$ , which are obviously different from the compositions of the HP metamorphic rocks but similar to those of the UHP metamorphic rocks and the foliated garnet-bearing granites in the UHP metamorphic rocks. This shows that the granites both in the HP and UHP metamorphic rocks have a common magma source. The foliated garnet-bearing granites have the geochemical characteristics of A-type granites, suggesting that the magma of these granites in the UHP and HP metamorphic rocks were derived from the partial melting of the retro-metamorphosed UHP metamorphic rocks exhumed into the middle to lower crust.

**Key words:** Pb isotope compositions; foliated garnet-bearing granites; high-pressure metamorphic rocks; Tongbai-Dabie orogenic belt.

铅同位素组成在研究构造分区与演化、块体相互作用以及识别地壳中不同块体的上、下层次关系等方面具有重要意义 (Zartman and Doe, 1981; Taylor and McLennan, 1985; Zhu, 1994; Aitchison *et al.*, 1995; 张理刚等, 1995; 朱炳泉和常向阳, 2001), 因而, 地质体系中 Pb 同位素的地球化学研究受到人们的普遍重视. 桐柏—大别超高压和高压变质带是当今大陆地球动力学研究的热点地区, 在过去的十多年研究中, 人们围绕大陆俯冲作用及高压、超高压变质岩的折返机制进行了地质学、地球化学和地球物理的综合研究, 取得了大量研究成果 (Xu *et al.*, 1992; Ernst and Liou, 1995; Hacker *et al.*, 1996, 1998, 2000; Jahn, 1998; Cong and Wang, 1999). 随着研究的不断深入, 人们已开始关注桐柏—大别造山带化学结构, 其中 Pb 同位素地球化学研究发挥了重要作用. 目前, 有关桐柏—大别造山带的 Pb 同位素地球化学研究主要集中于对大别核部杂岩、桐柏杂岩、超高压变质岩系、北淮阳变质岩系及白垩纪花岗岩类的研究 (张理刚等, 1995; 张宏飞等, 2001; Xu *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2003; Zhang, H. F., 2003), 这些研究促进了对大别山地壳化学结构的认识. 例如, 张宏飞等 (2001) 和 Li *et al.* (2003) 根据大别核部杂岩和超高压变质岩系的全岩 Pb 同位素组成的对比研究, 一致获得了大别核部杂岩位于超高压变质杂岩之下的地壳结构. 桐柏—大别造山带中的高压变质岩系是该造山带的主要组成单元之一, 然而, 目前还缺乏对该岩系中主要岩类的 Pb 同位素地球化学研究, 这使得人们难以建立桐柏—大别造山带较为完整的 Pb 同位素化学结构. 本文报道了桐柏—大别造山带高压变质岩系及其中面理化 (含榴) 花岗岩的 Pb 同位素组成, 以进一步完善对桐柏—大别造山带 Pb 同位素化学结构的认识, 并对高压变质单元中面理化 (含榴) 花岗岩的成因进行约束.

## 1 地质背景

构造地质研究表明 (Suo *et al.*, 2001; Zhong *et al.*, 2001), 桐柏—大别造山带具有变质核杂岩的构造样式 (图 1). 其中, 在大别地区, 围绕大别核部杂岩, 向外依次展布有超高压变质岩系、高压变质岩系和蓝闪绿片岩系; 在桐柏地区, 以桐柏杂岩为核部, 以桐柏杂岩两侧的高压变质岩系 (含榴辉岩和退变榴辉岩) 为两翼, 构成区域上 NWW—SEE 向延长的短轴背形构造 (Suo *et al.*, 2001; Zhong *et al.*, 2001). 以上各构造单元之间均为构造拆离带 (Suo *et al.*, 2001), 并且以上构造—岩石单元均属于扬子陆块俯冲陆壳的组成部分 (Zhang *et al.*, 2000, 2002; 张宏飞等, 2001; Li *et al.*, 2003).

本文所研究的高压变质岩系夹于超高压变质岩系和蓝闪绿片岩系之间 (图 1). 在桐柏山地区与大别山地区北部, 部分高压变质岩系与北淮阳变质单元呈构造接触. 高压变质岩系在大别山地区主要分布于河南罗山、湖北大悟、红安和安徽宿松等地, 大致相当于原来所划的宿松群、红安群和苏家河群浒湾组所在的范围; 在桐柏山地区主要分布于桐柏山桐柏杂岩的两侧 (Zhong *et al.*, 2001). 与超高压变质岩系类似, 高压变质岩系的主要岩石组合为榴辉岩、钠长绿帘角闪岩、二云钠长片麻岩和大理岩.

在高压变质单元中, 面理化 (含榴) 花岗岩的分布占有较高的比例. 该类岩石一般为灰白色, 中—细粒结构, 面理化或弱面理构造, 面理方向与区域构造面理方向一致, 主要矿物组成为石英 (~32%), 钠长石 (~38%), 钾长石 (~25%), 云母类矿物主要为黑云母, 少量白云母, 常见有自形的石榴石 (1%~2%), 副矿物主要为榍石、磁铁矿、锆石、磷灰石等, 另还可见有少量的碱性矿物, 如钠铁闪石或霓辉石. 它们常以几 km<sup>2</sup> 到几十 km<sup>2</sup> 不等的岩体或岩脉侵

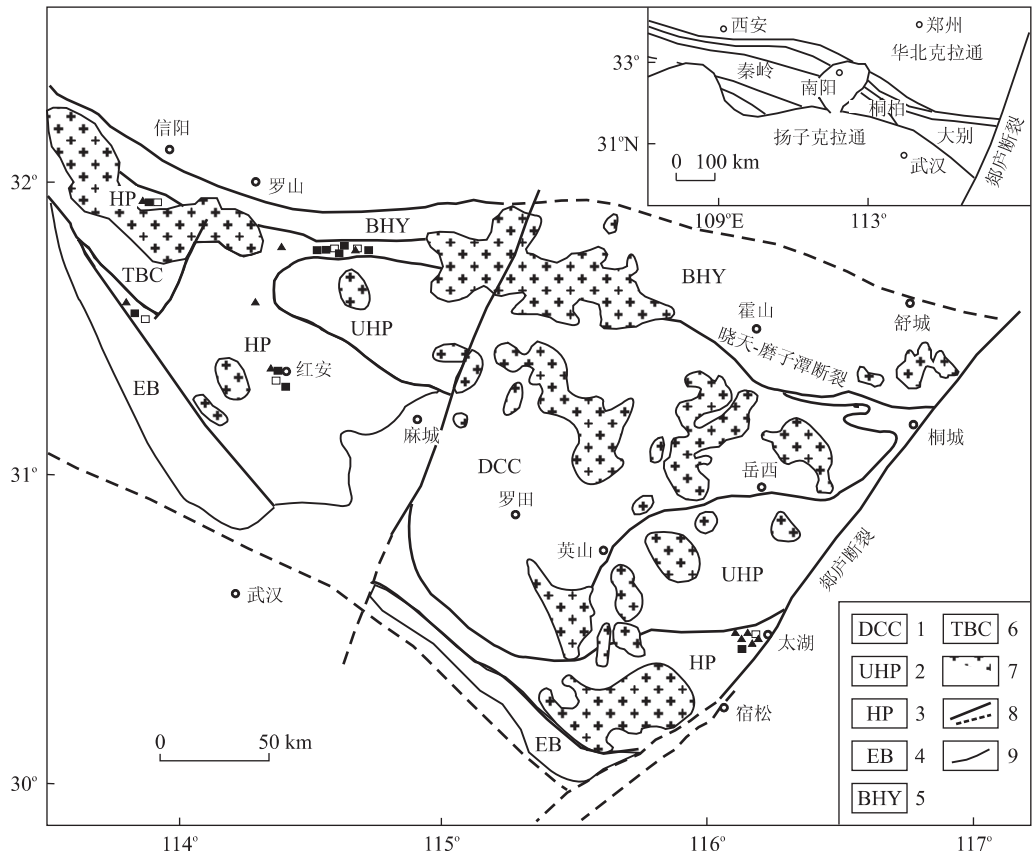


图 1 桐柏—大别地区地质简图(Zhang et al., 2002)

Fig. 1 Simplified geological map of the Tongbai-Dabie area

1. 大别核部杂岩; 2. 超高压变质岩系; 3. 高压变质岩系; 4. 蓝闪绿片岩变质岩系; 5. 北淮阳块体; 6. 桐柏杂岩; 7. 中生代花岗岩; 8. 断层; 9. 地质界限; 空心方框为片麻岩样品点; 实心方框为榴辉岩样品点; 实心三角为面理化(含榴)花岗岩样品点

入于高压变质岩系榴辉岩或片麻岩中, 其中常见有榴辉岩或退变榴辉岩及片麻岩的残留体或捕虏体. 根据该类岩石与榴辉岩的野外相互关系来看, 它们的原岩岩浆侵位年龄应晚于超高压/高压变质岩的峰期变质年龄(程裕淇等, 2000; Zhong et al., 2001), 张宏飞等的 U-Pb 年龄结果也证实了这一点(Zhang et al., 2001). 也有人认为这种花岗岩是古老的岩体(正片麻岩), 原岩岩浆侵位年龄应为 700~800 Ma, 在三叠纪时与围岩一同深俯冲, 遭受超高压变质作用并一起折返(程裕淇等, 2000; Zheng et al., 2003; 唐俊等, 2003; 刘福来等, 2004).

### 2 样品及分析方法

本文研究测定的样品均为全岩样品, 主要岩性为高压变质岩系中的二云钠长片麻岩、榴辉岩及侵入其中的面理化(含榴)花岗岩, 采样位置见图 1. 岩石经薄片鉴定新鲜、无后期蚀变后, 无污染碎至 200

目以下. Pb 同位素样品的制备及比值测定在中国地质大学同位素实验室进行, 应用 HCl-Br 阴离子交换柱分离 Pb, 在 MAT-261 质谱仪上进行同位素比值测定, 测定中应用硅胶发射技术. 全流程 Pb 空白为 0.2~0.4 ng, 普通 Pb 仪器标准 NBS981 的测定值为  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.932 \pm 0.002 (2\sigma)$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.443 \pm 0.002$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.718 \pm 0.004$ . 在 95% 的信度下, Pb 同位素比值测定的不确定性小于 0.1%. U、Th 和 Pb 含量在中国地质大学用 ICP-MS 方法测定, 精度均优于 5%, 详细分析方法见文献 Zhang et al. (2000).

### 3 结果

桐柏—大别造山带高压变质岩系及其中面理化(含榴)花岗岩 Pb 同位素组成及 U、Th、Pb 含量列于表 1.



由表1可见,高压变质岩系中二云钠长片麻岩的Pb同位素组成为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.657 \sim 18.168$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.318 \sim 15.573$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.315 \sim 38.990$ , 榴辉岩的Pb同位素组成为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.599 \sim 18.310$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.465 \sim 15.615$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.968 \sim 39.143$ . 二云钠长片麻岩与榴辉岩具有相似的Pb同位素组成范围. 高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩,无论是在大别地区还是桐柏地区,均具有较为相似的Pb同位素组成,它们现今的Pb同位素组成为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.128 \sim 17.434$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.313 \sim 15.422$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.631 \sim 38.122$ . 与高压变质岩系的Pb同位素组成相比较,面理化(含榴)花岗岩明显以相对低放射Pb同位素组成为特征.

为便于讨论,本文分别将  $t = 230 \text{ Ma}$  和  $t = 700 \text{ Ma}$  作为面理化(含榴)花岗岩的原岩岩浆侵位大致年龄,用测定的全岩Pb同位素比值和U、Th、Pb含量计算获得岩石 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ 比值,并按照Pb同位素单阶段演化模型,分别计算面理化(含榴)花岗岩  $t = 230 \text{ Ma}$  和  $t = 700 \text{ Ma}$  时的Pb同位素比值(表1). 表1显示面理化(含榴)花岗岩在  $t = 230 \text{ Ma}$  时的Pb同位素比值为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.895 \sim 17.251$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.301 \sim 15.417$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.258 \sim 37.676$ , 而高压变质岩系(包括二云钠长片麻岩和榴辉岩)在  $t = 230 \text{ Ma}$  时的Pb同位素比值为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.222 \sim 18.156$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.296 \sim 15.608$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.713 \sim 38.469$ . 由此可见,在  $t = 230 \text{ Ma}$  时,面理化(含榴)花岗岩与高压变质岩系的Pb同位素组成相比较,仍然以相对低放射Pb同位素组成为特征. 当  $t = 700 \text{ Ma}$  时所显示的规律与  $t = 230 \text{ Ma}$  时一致(表1).

## 4 讨论

### 4.1 桐柏—大别俯冲陆壳的Pb同位素组成特征

研究表明,大别超高压和高压变质带的北部边界位于晓天—磨子潭一线(Suo *et al.*, 1999, 2001; 张宏飞等, 2001; Li *et al.*, 2003; Zhang, H. F., *et al.*, 2003), 该边界向西沿原苏家河群浒湾高压变质岩系北侧(Suo *et al.*, 1999), 并进一步向西通过桐柏高压变质岩系(原肖家庙岩组)的北侧(Suo *et al.*, 2001; Zhang, H. F., *et al.*, 2003). 位于

该边界南侧的大别核部杂岩、桐柏变质杂岩、超高压/高压变质带属于扬子俯冲陆壳的组成部分,这些构造单元在扬子俯冲陆壳结构中的相互位置关系涉及到造山带的整体结构、构造演化及超高压/高压变质岩折返机制等根本性问题. 在地壳垂向剖面上,Pb同位素具有从下部地壳相对低放射成因铅同位素组成到上部地壳相对富放射成因铅同位素组成的规律变化(Zartman and Doe, 1981; Taylor and McLennan, 1985). 根据Pb同位素在地壳垂向剖面上这一规律变化,可以确定不同块体在陆壳结构中的上、下位置关系. 在桐柏—大别造山带的扬子俯冲陆壳中,对大别核部杂岩、桐柏杂岩和超高压变质岩系已有较为详细的Pb同位素地球化学研究(张宏飞等, 2001; Zhang *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2003; Zhang, H. F., 2003). 这些结果表明,Pb同位素比值按大别核部杂岩、桐柏变质杂岩、超高压变质岩系顺序依次增高,并且大别核部杂岩具有下部地壳的Pb同位素组成特征,而超高压变质岩系具有上部地壳的Pb同位素组成特征(张宏飞等, 2001; Li *et al.*, 2003). 根据这一Pb同位素组成特征,结合大别地区和桐柏地区中生代花岗岩的岩浆源区研究(Zhang *et al.*, 2002, Zhang, H. F., 2003), 得出了在桐柏—大别俯冲陆壳的垂直结构上,大别核部杂岩作为桐柏地区和大别地区统一的地壳基底、桐柏杂岩为大别核部杂岩的上部岩系及在桐柏杂岩之上为超高压变质岩系的认识(Zhang, H. F., *et al.*, 2003). 但由于构造折离作用,在大别地区缺失桐柏杂岩,而在桐柏地区缺失超高压变质岩系. 这与区域构造分析(Suo *et al.*, 2001)及地震波速结构(Wang *et al.*, 2000)所得出的地壳结构模型一致,说明Pb同位素对研究块体在地壳结构中的上、下位置关系具有明显的有效性.

在现有桐柏—大别造山带扬子俯冲陆壳的Pb同位素化学结构研究中,还缺少对高压变质岩系Pb同位素的研究. 表1显示,桐柏—大别造山带不同区段的高压变质岩系具有十分相似的Pb同位素组成,进一步证明了大别地区与桐柏地区的高压变质岩系是可以相连的,它们应属于同一构造单元,总体上以上部地壳明显高放射性成因Pb同位素组成为特征(Zartman and Doe, 1981). 与大别核部杂岩、桐柏杂岩和超高压变质岩系的Pb同位素组成比较(张宏飞等, 2001; Li *et al.*, 2003; Zhang, H. F., *et al.*, 2003), 高压变质岩系在Pb同位素组成上与超高压变质岩系存在部分的重叠,但总体上高于超

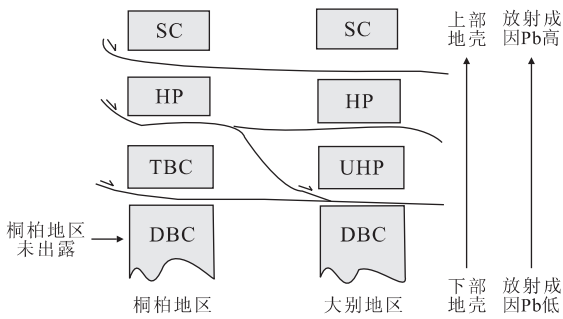


图 2 桐柏—大别地区 Pb 同位素垂直构造剖面

Fig. 2 Vertical tectonic stack in the Tongbai-Dabie area established from variations in Pb isotope

高压变质岩系,并明显高于大别核部杂岩和桐柏杂岩(Zhang, L., *et al.*, 2003). 由此表明,桐柏—大别地区的高压变质岩系应位于超高压变质岩系之上,现今高压变质岩系的分布是超高压/高压变质岩折返后构造伸展作用的结果. 本文的研究完善了桐柏—大别造山带关于俯冲陆壳的 Pb 同位素化学结构,从 Pb 同位素组成角度初步得出了桐柏—大别俯冲陆壳的垂直构造剖面(图 2),也进一步验证了扬子俯冲陆壳结构从下部到上部 Pb 同位素比值规律增长的变化规律,同时为鉴别造山带多个构造块体在地壳结构中的上、下层次关系提供了借鉴.

#### 4.2 面理化(含榴)花岗岩的成因

在桐柏—大别造山带,面理化(含榴)花岗岩(又称花岗质片麻岩(刘福来等,2003)、变质花岗岩(徐树桐等,1998)或片麻状花岗岩(程裕淇等,2000))仅分布于高压/超高压变质岩系中,是榴辉岩的重要围岩之一,与高压/超高压变质岩系呈明显的侵入关系,并且高压变质岩系和超高压变质岩系中的面理化(含榴)花岗岩具有十分相似的岩石学特征(徐树桐等,1998; Zhong *et al.*, 2001; 杨启军和钟增球,2004; 张利等,2004). 有关面理化(含榴)花岗岩的成因对确定超高压岩石折返过程中的部分熔融作用及超高压/高压变质岩的折返过程都具有重要意义.

已有的面理化(含榴)花岗岩的元素地球化学研究表明(徐树桐等,1998; Zhong *et al.*, 2001; 张宏飞等,2001; 杨启军和钟增球,2004; 张利等,2004),高压变质岩系面理化(含榴)花岗岩与超高压变质岩系面理化(含榴)花岗岩具有极为相似的化学组成,岩石富硅、富碱质和富高场强元素(如 Zr、Hf、Nb、Ta、Y 等),贫 Ca、Al、Sr 等元素,高 Ga/Al 比值,在稀土元素组成模式上,具有明显的负 Eu 异常. 这些

特征表明,面理化(含榴)花岗岩应属于 A 型花岗岩类,反映岩浆形成于大别山超高压峰期变质后的伸展构造作用体制,可能与超高压/高压变质岩的折返过程有着密切的联系.

高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩的 Pb 同位素资料为研究该类岩石的岩浆物质来源提供了制约. 从面理化(含榴)花岗岩的 Pb 同位素组成特征看,在  $t=230$  Ma 时,其初始 Pb 同位素比值明显低于高压变质岩系的 Pb 同位素比值(图 3),即使是  $t=700$  Ma 时也是如此(表 1). 由此表明,高压变质岩系不可能作为面理化(含榴)花岗岩的岩浆源,其岩浆源应位于高压变质岩系之下. 通过对比桐柏—大别造山带扬子俯冲陆壳各结构层的 Pb 同位素组成,高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩与超高压变质岩系具有相似的 Pb 同位素组成,并与超高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩的 Pb 同位素组成范围相一致(图 3),这表明高压/超高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩的岩浆源区与超高压变质岩系存在物质上的联系. 高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  变化于  $-8 \sim -15$  之间(作者未发表资料),排除了岩浆源区有明显地幔物质加入的可能性. 实验岩石学研究表明, A 型花岗岩的岩浆形成一般在下地壳的温压条件下(Patino Douce and McCarty, 1998). 因此,关于高压变质岩系面理化(含榴)花岗岩的成因,一个较合理的解释是:高压变质岩系与超高压变质岩系中的面理化(含榴)花岗岩具有相同的岩浆源区,并具有相似的岩浆演化过程,它们可能来自于超高压变质岩折返至中下地壳的减压退变和部分熔融(Zhong *et al.*, 2001). 在高压超高压变质岩的折返过程中,超高压变质岩一方面要经受中下地壳所特有的角闪岩相退变质作用,另一方面要在合适环境下发生部分熔融作用,形成面理化(含榴)花岗岩. 超高压变质岩在中下地壳的减压退变和部分熔融作用是一个重要的物理化学过程,它可以降低岩石的强度,提高岩石的可变性,促进挤压(碰撞)体制向伸展体制的转变. 在这一过程中,由超高压岩石减压退变质和部分熔融作用形成的花岗质岩浆,除了侵位于超高压变质岩系本身外,还进一步上侵就位于高压变质岩系中,形成高压变质岩系中的面理化(含榴)花岗岩. 以上认识较好地阐明了面理化(含榴)花岗岩与围岩的相互关系,也为超高压高压变质岩折返过程中构造体制转换的热动力过程提供了地球化学制约.

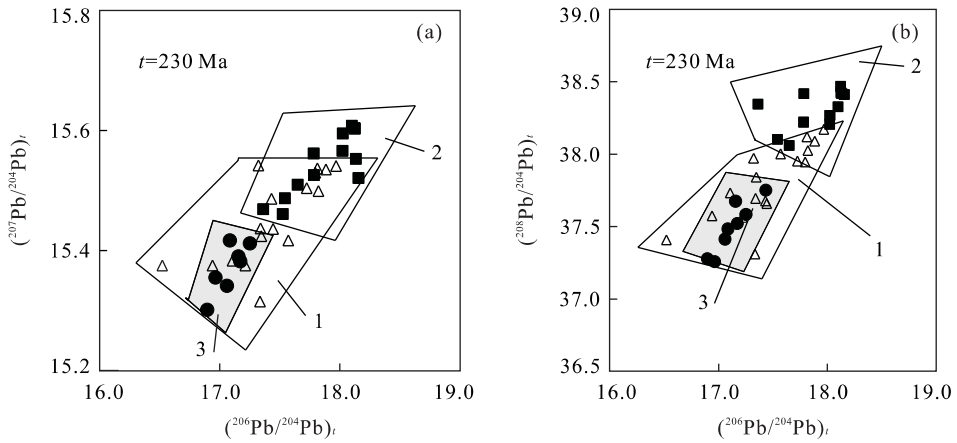


图 3 Pb 同位素组成

Fig. 3  $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$  vs.  $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$  and  $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$  diagrams

1. 超高压变质岩系及其中面理化(含榴)花岗岩(空心三角); 2. 高压变质岩系(实心方框); 3. 高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩(实心圆点); 超高压变质岩系 Pb 同位素数据来自文献张宏飞等(2001)和 Zhang *et al.* (2002); 铅同位素初始比值  $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 、 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 、 $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$  为  $t=230\text{ Ma}$  时计算所得

## 5 结论

(1) 桐柏—大别造山带不同区段中高压变质岩系具有相似的 Pb 同位素组成, 它们均以上部地壳高放射成因的 Pb 同位素组成为特征, 进一步证明了大别地区与桐柏地区的高压变质岩系是可以相连的, 它们应属于同一构造单元. 高压变质岩系的 Pb 同位素组成明显高于超高压变质岩系的 Pb 同位素组成, 进一步证明了桐柏—大别造山带扬子俯冲陆壳从下部岩系到上部岩系 Pb 同位素比值出现规律增长这一 Pb 同位素化学特征, 因此, 利用 Pb 同位素组成在地壳垂向剖面上的变化规律鉴别造山带多个构造块体在地壳结构中的上、下层次关系是有效的.

(2) 高压变质岩系中面理化(含榴)花岗岩与高压变质岩系具有不同的 Pb 同位素组成, 而与超高压变质岩系及其中的面理化(含榴)花岗岩具有相似的 Pb 同位素组成, 高压变质岩系和超高压变质岩系的面理化(含榴)花岗岩具有相同的岩浆源区和岩浆演化过程, 是同源同期岩浆演化的产物, 它们的岩浆物质均来自于超高压变质岩折返至中下地壳的减压退变和部分熔融, 其中, 部分熔体上升侵位并就位位于高压变质岩系中. 面理化(含榴)花岗岩的成因较好地解释了它与榴辉岩及高压变质岩系中其他围岩之间的关系.

## References

Aitchison, S. J., Harmon, R. S., Moorbath, S., et al., 1995.

Pb isotopes define basement domains of the Altiplano, central Andes. *Geology*, 23: 555—558.

Cheng, Y. Q., Liu, D. Y., Williams, I. S., et al., 2000. SHRIMP U-Pb dating of zircons of a dark-coloured eclogite and a garnet-bearing gneissic-granitic rock from Bixiling, eastern Dabie area. *Acta Geologica Sinica*, 74: 193—205 (in Chinese with English abstract).

Cong, B. L., Wang, Q. C., 1999. Recent development in study of the Dabie-Sulu UHP rock. *Chinese Science Bulletin*, 44(12): 1074—1088.

Ernst, W. G., Liou, J. G., 1995. Contrasting plate-tectonic styles of Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphic belts. *Geology*, 23: 353—356.

Hacker, B. R., Wang, X., Eide, E. A., et al., 1996. Qinling-Dabie ultrahigh-pressure metamorphism in central China. *Tectonics*, 14: 994—1006.

Hacker, B. R., Ratschbacher, L., Webb, L., 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—236.

Hacker, B. R., Ratschbacher, L., Webb, L., et al., 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing. *Journal of Geophysical Research*, 105: 13339—13364.

Jahn, B. M., 1998. Geochemical and isotopic characteristics of UHP eclogites and ultramafic rocks of the Dabie orogen: Implications for continental subduction and collisional tectonics. In: Hacker, B. R., Liou, J. G., eds.,

- When continents collide: Geodynamics of ultrahigh pressure rocks. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 203—239.
- Li, S. G., Li, H. M., Chen, Y. Z., et al., 1997. The UHP metamorphic geochronology of Dabie mountain-Sulu terrain—II. Zircon U-Pb isotope system. *Science in China (Series D)*, 27(3): 200—206 (in Chinese).
- Li, S. G., Huang, F., Zhou, H. Y., et al., 2003. U-Pb isotopic compositions of the ultrahigh pressure metamorphic (UHPM) rocks from Shuanghe and gneisses from northern Dabie zone in the Dabie mountains, central China: Constraint on the exhumation mechanism of UHPM rocks. *Science in China (Series D)*, 46(3): 200—209.
- Liu, F. L., Zhang, Z. M., Xu, Z. Q., 2003. Three-dimensional distribution of ultrahigh-pressure minerals in Sulu terrane. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 69—84 (in Chinese with English abstract).
- Liu, F. L., Xu, Z. Q., Yang, J. S., et al., 2004. Geochemical characteristics and UHP metamorphism of granitic gneisses in the main drilling hole of Chinese Continental Scientific Drilling Project and its adjacent area. *Acta Petrologica Sinica*, 20(1): 9—26 (in Chinese with English abstract).
- Patino Douce, A. E., McCarty, T. C., 1998. Melting of crustal rocks during continental collision and subduction. In: Hacker, B. R., Liou, J. G., eds., When continents collide: Geodynamics of ultrahigh pressure rocks. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 27—55.
- Suo, S. T., Zhong, Z. Q., You, Z. D., 1999. Location of Triassic tectonic suture between collided Sino-Korean and Yangtze cratons in Dabie-Sulu region, China. *J. China Univ. Geosci.*, 10(4): 281—286.
- Suo, S. T., Zhong, Z. Q., You, Z. D., et al., 2001. Post-collisional ductile extensional tectonic framework in the UHP and HP metamorphic belts in the Dabie-Sulu region, China. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 151—160.
- Tang, J., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2004. Zircon U-Pb ages and oxygen isotopes of high-grade metamorphic rocks in the eastern part of the Shandong peninsula. *Acta Petrologica Sinica*, 20(5): 1039—1062 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 132.
- Wang, C., Zeng, R., Mooney, W. D., et al., 2000. A crustal model of the ultrahigh-pressure Dabie Shan orogenic belt, China, derived from deep seismic refraction profiling. *Journal of Geophysical Research*, 105: 10857—10869.
- Xu, Q. D., Ouyang, J. P., Zhang, B. R., et al., 2002. Tectonic affinity of Paleozoic stratigraphic slices along the northern margin in Dabie orogen, central China: Evidence from Pb isotope of rocks. *Progress in Natural Science*, 12(6): 438—444.
- 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: 80—82.
- Xu, S. T., Wu, W. P., Su, W., et al., 1998. Meta-granitoid from the high-ultrahigh pressure metamorphic belt in the Dabie mountains and its tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 14(1): 42—59 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Q. J., Zhong, Z. Q., 2004. A study on genesis of the garnet-bearing granites in the UHP terrane of Dabie-Sulu orogenic belt, central China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(2): 169—176 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Q. J., Zhong, Z. Q., Zhou, H. W., 2003. Geochemistry constrains on rock association of UHP terrane during exhumation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(3): 241—249 (in Chinese with English abstract).
- Zartman, R. E., Doe, B. R., 1981. Plumbotectonics—The model. *Tectonophysics*, 75: 135—162.
- Zhang, H. F., Zhang, B. R., Zhong, Z. Q., et al., 2000. Geochemistry of gneisses from Dabie complex and Tongbai complex in Qinling-Tongbai-Dabie orogenic belt: Implications for location of Yangtze-Sino-Korean suture. *Journal of China University of Geosciences*, 11(4): 392—405.
- Zhang, H. F., Zhong, Z. Q., Gao, S., et al., 2001. U-Pb zircon age of the foliated garnet-bearing granites in western Dabie mountains, central China. *Chinese Science Bulletin*, 46(19): 1657—1660.
- Zhang, H. F., Gao, S., Zhang, B. R., et al., 2001. Pb isotopic study on crustal structure of Dabie mountains, central China. *Geochimica*, 30(4): 395—401 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H. F., Gao, S., Zhong, Z. Q., et al., 2002. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Cretaceous granitoids: Constraints on tectonic framework and crustal structure of the Dabieshan ultrahigh-pressure metamorphic belt, China. *Chemical Geology*, 281—299.
- Zhang, H. F., Zhang, B. R., Zhang, H. Z., et al., 2003. Pb isotopic geochemical study on the crustal structure of



- Tongbaishan. *Progress in Natural Science*, 13(1): 63—68.
- Zhang, L., Zhang, H. F., Zhong, Z. Q., et al., 2003. Geochemical characteristics of Pb isotope of high-pressure metamorphic rocks and foliated granites from HP unit of Tongbai-Dabie orogenic belt. *Journal of China University of Geosciences*, 14(4): 321—329.
- Zhang, L., Zhong, Z. Q., Zhang, B. R., et al., 2004. Geochemistry and petrogenesis of foliated garnet-bearing granites in the high pressure metamorphic unit of the Tongbai-Dabie orogenic belt. *Geochimica*, 33(3): 232—242 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. G., Liu, J. X., Wang, K. F., et al., 1995. Block geology of eastern Asia lithosphere— isotope geochemistry and dynamics of upper mantle, basement and granites. Science Press, Beijing, 252 (in Chinese).
- Zheng, Y. F., Gong, B., Zhao, Z. F., et al., 2003. Two types of gneisses associated with eclogite at Shuanghe in the Dabie terrane; Carbon isotope, zircon U-Pb dating and oxygen isotope. *Lithos*, 70: 321—343.
- Zhong, Z. Q., Suo, S. T., You, Z. D., et al., 2001. Major constituents of the Dabie collisional orogenic belt and partial melting in the ultrahigh-pressure unit. *International Geology Review*, 43: 226—236.
- Zhu, B. Q., 1994. Geochemical evidence for the southern China block being a part of Gondwana. *Journal of South-east Asian Earth Sciences*, 9: 319—324.
- Zhu, B. Q., Chang, X. Y., 2001. Geochemical provinces and their boundaries. *Advance in Earth Sciences*, 16(2): 153—162 (in Chinese with English abstract).
- 麻岩和片麻状花岗质岩石 SHRIMP 分析. *地质学报*, 74: 193—205.
- 李曙光, 李惠民, 陈移之, 等, 1997. 大别山—苏鲁地体超高压变质年代学, II. 锆石 U-Pb 同位素体系. *中国科学(D 辑)*, 27(3): 200—206.
- 刘福来, 张泽明, 许志琴, 2003. 苏鲁地体超高压矿物的三维空间分布. *地质学报*, 77(1): 69—84.
- 刘福来, 许志琴, 杨经绥, 等, 2004. 李天福中国大陆科学钻探工程主孔及周边地区花岗质片麻岩的地球化学性质和超高压变质作用标志的识别. *岩石学报*, 20(1): 9—26.
- 唐俊, 郑永飞, 吴元保, 等, 2004. 胶东地块东部变质岩锆石 U-Pb 定年和氧同位素研究. *岩石学报*, 20(5): 1039—1062.
- 徐树桐, 吴维平, 苏文, 等, 1998. 大别山东部榴辉岩带中的变质花岗岩及其大地构造意义. *岩石学报*, 14(1): 42—59.
- 杨启军, 钟增球, 2004. 大别—苏鲁超高压地体中面理化含榴花岗岩的成因研究. *地球科学—中国地质大学学报*, 29(2): 169—176.
- 杨启军, 钟增球, 周汉文, 2003. 大别—苏鲁超高压地体折返过程中岩石组合演化的地球化学约束. *地球科学—中国地质大学学报*, 28(3): 241—249.
- 张宏飞, 高山, 张本仁, 等, 2001. 大别山地壳结构的 Pb 同位素地球化学示踪. *地球化学*, 30(4): 395—401.
- 张利, 钟增球, 张本仁, 等, 2004. 桐柏—大别造山带高压变质单元面理化(含榴)花岗岩地球化学及其对岩石成因的限制. *地球化学*, 33(3): 232—242.
- 张理刚, 刘敬秀, 王可法, 等, 1995. 东亚岩石圈块体地质——上地幔、基底和花岗岩铅同位素地球化学及其动力学. 北京: 科学出版社, 252.
- 朱炳泉, 常向阳, 2001. 地球化学省与地球化学边界. *地球科学进展*, 16(2): 153—162.

#### 附中文参考文献

程裕淇, 刘敦一, Williams, I., 等, 2000. 大别山碧溪岭深色片