

# 北秦岭元古代构造格架与演化

董云鹏, 张国伟, 赵霞, 姚安平

(西北大学地质系造山带地质研究所, 陕西 西安 710069)

**摘要** 秦岭造山带是经历了多阶段的多陆块长期裂解、拼合的复合型造山带。最新的地质、地球化学和同位素年代学综合研究共同揭示沿商丹带分布有中新元古代蛇绿岩, 并伴生有与板块俯冲碰撞作用相关的弧后盆地、岩浆弧、高压变质作用, 表明北秦岭于中元古代末—新元古代初曾发展成为类似于现代板块构造体制的活动大陆边缘, 出现板块向北俯冲消减、弧后盆地的生成和蛇绿岩构造侵位及其后的碰撞造山作用。

**关键词** 蛇绿岩, 地球化学, 年代学, 变质作用, 北秦岭地块

**中图分类号** P542, P597, P584 **文献标识码** A **文章编号** 1001-1552(2003)02-0115-10

## 0 引言

秦岭造山带呈东西向横贯中国大陆中部, 是华北板块与扬子板块俯冲碰撞而成的复合型大陆造山带。地层学、岩浆作用、变质作用以及构造地质学研究表明, 板块拼接的主结合带是商丹带, 以其为界将秦岭造山带分为北秦岭和南秦岭, 分别归属于华北陆块和扬子陆块。但是, 关于华北和扬子陆块沿商丹带的汇聚碰撞时限与过程仍有不少争议。

最近, 关于商丹带的蛇绿岩、岩浆活动、变质作用, 及其地质、地球化学和同位素年代学综合研究共同揭示, 沿商丹带(华北地块南缘)存在晋宁期板块俯冲碰撞造山作用。其中, 在陕西南南县松树沟地区出露的蛇绿岩是确定该带元古代构造性质、格局与演化的关键之一。其与北秦岭的高压变质岩及新元古代碰撞型花岗岩, 以及北秦岭北侧宽坪弧后盆地蛇绿岩片共同记录了中—新元古代古陆块汇聚、碰撞构造事件, 成为探索我国中部是否存在中—新元古代碰撞造山带以及华北与扬子古陆块的相互作用等一系列重大地质问题的关键, 并对全球中元古代 Rodinia 超大陆再造具有重要意义。

## 1 区域地质背景

秦岭造山带呈东西向延伸, 东连大别山, 西去撒开为南北两支, 分别接昆仑造山带和祁连造山带。由于经历了长期的演化历史, 造山带不同演化阶段具有不同的构造边界, 现今的造山带北以鲁山断裂为界向北逆冲推覆于华北陆块之上, 南以勉略—巴山—襄广断裂带为界, 向南逆冲于南侧的扬子陆块之上(图1), 剖面上总体呈现为沿南北边界向外逆冲的扇形特征。现今北缘鲁山逆冲断裂主要是中生代陆内逆冲推覆带, 而南缘的勉略—巴山—襄广断裂带则是叠加在印支期缝合带之上的逆冲推覆断裂带(张国伟等, 1995)。造山带内部以商丹缝合带为界分隔为北秦岭和南秦岭, 南、北秦岭具有不同的岩石地层组成、结构构造和变质作用特征。

### 1.1 南秦岭

南秦岭以具有晋宁期形成的过渡性基底和大量震旦系—古生界盖层为特征, 基底岩系主要包括绿片岩相变质的中新元古代裂谷型火山—沉积建造及其焊合的古老地体, 前者如中元古界武当群和随县群、新元古界耀岭河群, 后者如类似于华北陆块基底

收稿日期 2002-11-10, 改回日期 2002-12-25

基金项目 国家自然科学基金(批准号: 40003003 和 40234041)和教育部骨干教师资助计划项目联合资助。

作者简介 董云鹏(1967—), 男, 博士, 副教授, 主要从事构造地质学研究和教学工作。

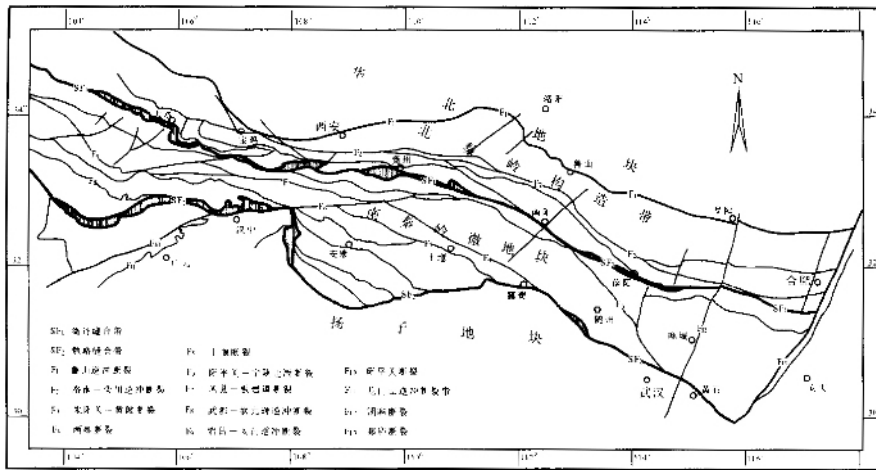


图 1 秦岭造山带构造简图

Fig. 1 Simplified tectonic map of the Qinling orogenic belt

的小磨岭、陡岭、桐柏和大别等地体以及类似于扬子陆块基底的佛坪地体、鱼洞子地体 (张国伟等, 1995)。其上盖层为震旦系碎屑岩、寒武系—奥陶系碳酸盐岩和志留系泥页岩, 南秦岭北部带尚有上古生界和少量下三叠统碎屑岩系 (张国伟等, 2000)。以大面积发育古生界地层和花岗岩不发育为特征, 并区别于北秦岭。野外填图表明, 南秦岭构造以发育多个穹隆构造 (如佛坪穹隆、武当穹隆) 和薄皮逆冲推覆构造为特征, 薄皮逆冲推覆构造主要由古生界地层褶皱和伴生逆断层组合成叠瓦状褶皱—冲断构造样式, 以下震旦统上面为拆离面向南逆冲叠置 (许志琴等, 1988; 张国伟等, 2000), 叠加改造先期穹隆构造。南秦岭仅在早前寒武纪地体中可见角闪岩相变质作用, 中、上元古界遭受绿片岩相变质, 而盖层未变质。

## 1.2 北秦岭

北秦岭以发育向北逆冲推覆的厚皮叠瓦状逆冲推覆构造为特征, 并遭受 1.0 Ga 角闪岩相变质作用和 400 Ma 绿片岩相变质改造, 明显区别于南秦岭构造和变质作用。而且, 与南秦岭相比极为发育古生代—中生代花岗岩。在北秦岭内部南北又具有明显差异, 以洛南—栾川断裂为界, 分为北秦岭北部带和北秦岭南带, 前者主要出露华北型的基底和盖层建造, 是因中生代陆内造山作用被卷入造山带构造变形之中的华北地块南缘部分 (张国伟等, 1988, 1995; 许志琴等, 1988; 任纪舜等, 1991)。北秦岭南带主要出露下、中元古界变质结晶基底岩系和新元古界—下古生界火山—沉积岩系, 仅在中部地区零星分布有少量 C—P 陆相碎屑沉积建造。自北而南依

次出露宽坪岩群、二郎坪岩群、秦岭岩群、松树沟蛇绿岩片和丹凤岩群, 各岩群之间均以大型剪切带和断裂为界, 相互逆冲叠置。

二郎坪岩群和丹凤群业已被证明是形成于早古生代 (孙勇等, 1996; 张旗等, 1995; 崔智林等, 1995)。剔除这两者剩余的秦岭岩群、松树沟蛇绿岩残片和宽坪岩群是元古代北秦岭带的主体岩石构造单元。秦岭群是一套经历多期变质变形改造的变质杂岩, 由片麻岩、斜长角闪岩、大理岩组

成, 主要为变质陆源碎屑岩、碳酸盐岩 (游振东等, 1991) 夹大陆拉斑玄武岩 (Zhang *et al.*, 1994)。片麻岩锆石 U—Pb 同位素年龄为 2172 ~ 2267 Ma, 斜长角闪岩全岩 Sm—Nd 同位素等时线年龄为  $1987 \pm 49$  Ma (张宗清等, 1994), 限定秦岭群形成时代为早元古代。遭受  $990.68 \pm 0.39$  Ma 角闪岩相和  $424.82 \pm 48.10$  Ma 绿片岩相两期变质作用改造 (陈能松等, 1991)。松树沟蛇绿岩片和宽坪岩群分别代表大洋岩石圈残片和与俯冲作用相关的弧后盆地蛇绿岩—沉积物残余。

## 2 松树沟元古代蛇绿岩

### 2.1 蛇绿岩基本地质特征

松树沟蛇绿岩出露于陕西省商南县松树沟地区, 位于北秦岭块体与扬子陆块拼接带——商丹带北侧, 北部沿界岭韧性剪切带向北逆冲于秦岭群变质杂岩之上, 南侧以西沟断裂为界与秦岭群杂岩和富水杂岩相分隔 (图 2)。地质、地球化学研究表明, 富水基性杂岩是古生代侵入于北秦岭南缘活动大陆边缘环境的侵入杂岩体 (董云鹏等, 1997)。

松树沟蛇绿岩主要由镁铁质和超镁铁质单元组成, 镁铁质岩主要由斜长角闪岩、石榴石斜长角闪岩和角闪片岩组成, 遭受 1.0 Ga 的变质作用改造 (张国伟等, 1995)。石榴石斜长角闪岩呈不规则透镜状断续分布于超镁铁质岩外侧, 包含有高压基性麻粒岩 (榴辉岩退变质), 是与板块俯冲碰撞作用有关的变质产物。超镁铁质岩由大量大小不等的透镜状、饼状无根岩体群组成, 均以构造关系包裹于镁铁质岩中。其主要由强变形、发育有透入性新生面理的细粒

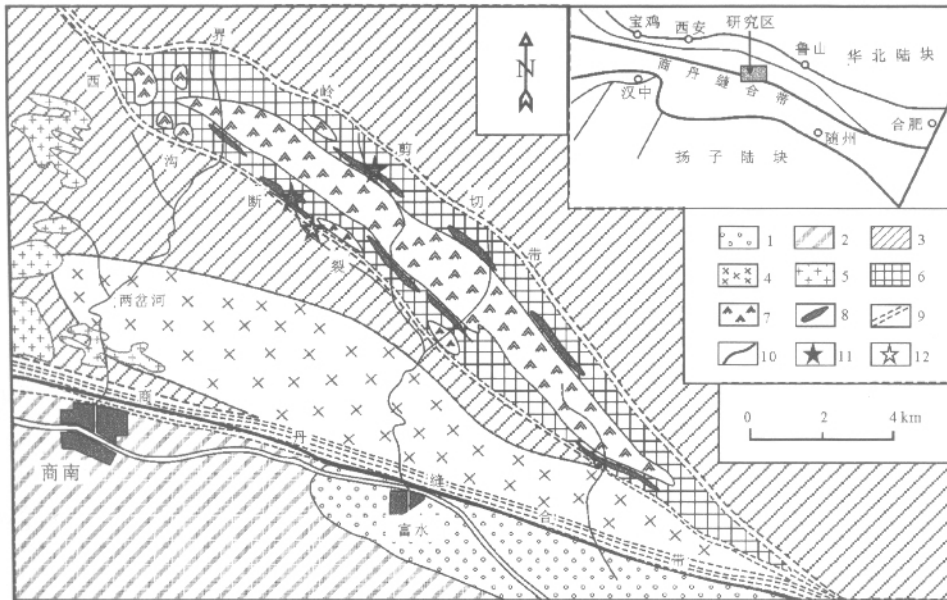


图2 东秦岭松树沟地区地质略图

1 - 白垩系—第三系 2 - 泥盆系变质砂岩、云母片岩夹大理岩 3 - 大理岩 4 - 秦岭群变质杂岩 5 - 富水基性侵入杂岩体 6 - 花岗岩 7 - 松树沟蛇绿岩的镁铁质岩 8 - 松树沟蛇绿岩的超镁铁质岩 9 - 石榴石角闪岩 10 - 韧性剪切带 11 - 脆—韧性剪切带 12 - 断层

Fig. 2 Simplified geological map of the Songshugou area in eastern Qinling

橄榄质糜棱岩 (约占 75%) 弱变形的中粗粒纯橄岩 (15%) 辉橄岩 (10%) 等组成。

尤其值得重视的是,在松树沟中粗粒橄榄岩中含有豆荚状铬铁矿。现有的研究表明,世界典型的豆荚状铬铁矿多发现于蛇绿岩中 (Ahmed *et al.*, 2001; Melcher *et al.*, 1997; Moreno *et al.*, 2001; Leblance *et al.*, 1992; Proenza *et al.*, 1999; Tamayo *et al.*, 2001; 鲍佩声等, 1999; 李江海, 1999), 在赤道太平洋的现代大洋中脊海底也发现了豆荚状铬铁矿 (Arai *et al.*, 1998)。早期根据阿曼、新喀里多尼亚等地的蛇绿岩野外构造研究认为,豆荚状铬铁矿形成的理想环境为大洋中脊 (Nicolas, 1989; Leblanc *et al.*, 1992)。近年来的地球化学研究表明,弧后盆地和岛弧环境也是豆荚状铬铁矿形成的有利环境,铬铁矿是亏损地幔橄榄岩受不同来源熔体作用的产物 (Zhou and Robison, 1997; Zhou *et al.*, 1997; Proenza *et al.*, 1999; Melcher *et al.*, 1997; Tamayo *et al.*, 2001)。豆荚状铬铁矿的存在暗示松树沟超镁铁质岩是蛇绿岩的地幔单元。

## 2.2 蛇绿岩地球化学

### 2.2.1 超镁铁质岩

根据岩石学特征,并结合地球化学及构造变形特征,可将松树沟超镁铁质岩分为两种类型:I类橄

榄岩,主要包括中粗粒纯橄岩及其伴生的少量块状构造方辉橄岩;II类橄榄岩,即橄榄质糜棱岩。两类橄榄岩的主元素化学成份对比表明,虽然两类橄榄岩均具有贫铝、贫碱的特征,但是II类橄榄岩的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  含量较I类中粗粒纯橄岩更加亏损,更重要的是I类橄榄岩比II类橄榄岩富集  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (董云鹏等, 1996)。

两类橄榄岩具明显不同的稀土分配特征 (董云鹏等, 1996), I类橄榄岩稀土分配型式为轻稀土富集型,其  $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$  值在 1.91 ~ 6.96 之间,  $\Sigma\text{REE}$  较高,多数具有明

显的 Eu 异常。II类橄榄岩稀土分配型式为轻稀土亏损型,是地幔难熔残余物的典型稀土分配型式。其  $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$  值为 0.23 ~ 0.34,  $\Sigma\text{REE}$  量较低,不具有 Eu 异常。Ce 和 Yb 相关性表明,II类橄榄岩具有低压部分熔融的残余物演化趋势, I类橄榄岩的中粗粒纯橄岩和块状方辉橄岩则与低压和高压部分熔融残余物演化趋势差异显著,可能相当于部分熔融岩浆结晶分离趋势。

上述主元素及稀土元素地球化学特征表明, I类橄榄岩和II类橄榄岩具有不同的成因, I类橄榄岩可能是地幔残余橄榄岩再次部分熔融岩浆分离结晶的产物, II类橄榄岩代表地幔残余橄榄岩再次部分熔融的残余体。

### 2.2.2 镁铁质岩

#### (1) 元素地球化学

本研究的样品为斜长角闪岩类,在岩石学、地球化学研究基础上,业已确定其原岩为基性岩浆岩。由于堆晶岩通常比玄武岩和辉绿岩贫 Ti、Na 富 Mg, 本次研究样品  $\text{TiO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量较高,分别为 0.91% ~ 2.54% 和 0.92% ~ 2.87%,可以排除堆晶岩的可能性。一般地,辉长岩多数具有明显正 Eu 异常,而本区斜长角闪岩几乎无明显 Eu 异常,表明本次研究的斜长角闪岩主要为变质的玄武岩和辉绿

岩。因变质作用对元素行为的影响目前还存在不同的认识,因此,主要考察相对不活动的 REE 和高场强元素 (HFSE) 的含量及其比值所提供的地球化学限制。

稀土元素 (REE) 球粒陨石标准化配分型式 (图 3) 显示,斜长角闪岩类可简单分为三种类型, I 类为 LREE 亏损型 (图 3a),  $(La/Yb)_N = 0.63 \sim 0.80$ ,  $\Sigma REE$  低,是球粒陨石的 10 倍左右,类似于 N-MORB; II 类为 LREE 轻微富集型 (图 3b),  $(La/Yb)_N = 1.4 \sim 2.3$ ,  $\Sigma REE$  是球粒陨石的 20 倍左右,相当于 E-MORB; III 类为 LREE 富集型 (图 3c),  $(La/Yb)_N = 3.5 \sim 4.2$ 。多数样品具有 LREE 轻微富集型或亏损型的 REE 分布模式,相当于 MORB 型岩石。REE 配分型式的差异与岩石产状和产出位置并无关系。对于 LREE 富集型的两个样品来说,其  $SiO_2$  含量较低 (40.45% 和 41.42%),但  $MgO$  含量不高,而  $FeO$ 、 $Na_2O$  和  $K_2O$  等活动性元素含量却明显高于其它样品的含量。因此,推断这两个样品可能存在活动性元素的带出带。

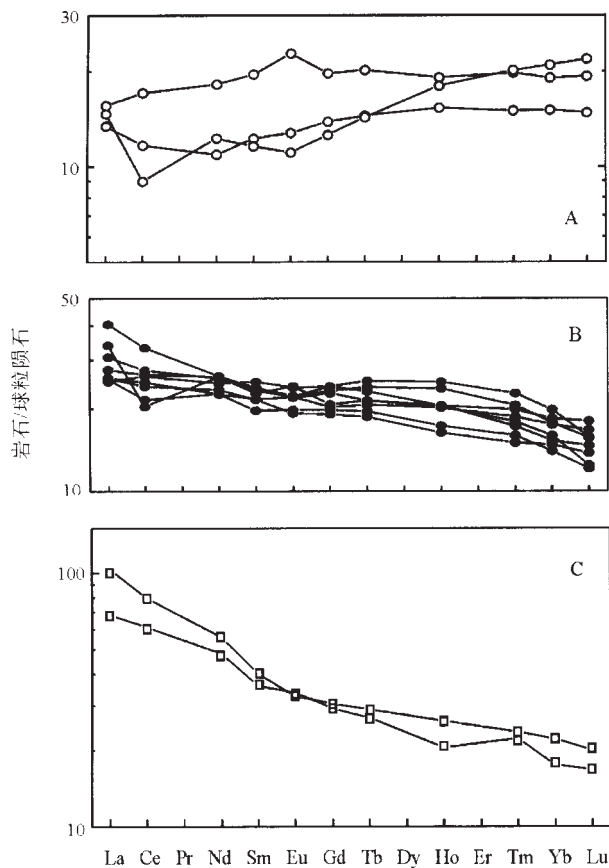


图 3 松树沟斜长角闪岩的 REE 配分图解

Fig. 3 Chondrite normalized REE distribution patterns of amphibolites from the Songshugou area

松树沟斜长角闪岩  $TiO_2$ 、Nb、Ta 含量较高 ( $TiO_2 > 0.9\%$ ,  $Nb > 5 \mu g/g$ ,  $Ta > 0.3 \mu g/g$ )。除个别样品外,  $Nb/La \approx 1$ 、 $Ti/V$  比值在 15 ~ 30 之间,相当于 MORB,不具备岛弧玄武岩的特点。岛弧火山岩 Nb 最亏损, N-MORB 的 Nb 含量较低, E-MORB 和 OIB 的 Nb 丰度最高,平均分别为 1.26、4.35、20.5 和  $20 \mu g/g$  (Holm, 1985)。除 LREE 富集型样品 Nb 的含量为 29.2 和  $20 \mu g/g$ , 相当于 OIB 或 E-MORB 外,本区斜长角闪岩 Nb 的含量主要在 5 ~  $16 \mu g/g$  之间,相当于 N-MORB 和 E-MORB 的 Nb 含量。一般地, N-MORB 的  $Zr/Nb > 16$ , E-MORB 的  $Zr/Nb < 16$  (LeRoex *et al.*, 1989); 本区 LREE 亏损型样品的  $Zr/Nb$  比值均大于 16,类似于 N-MORB。LREE 轻微富集型和富集型样品的  $Zr/Nb$  比值范围为 5 ~ 12 相当于 E-MORB。

在变质镁铁岩的微量元素 MORB 标准化解图 (图 4) 中,第一组岩石为平坦型的分布型式,所有元素丰度均相当于 MORB 丰度,类似于 N-MORB 元素组成和分布特征,而且最高不超过 N-MORB 标准值的 2 倍,表明属于 N-MORB;第二组岩石也为平坦的分布型式,尤其是高场强元素具有不分异的平坦分布特征,  $Th > Ta$ ,但几乎无 Ta、Nb 亏损的迹象,类似于 E-MORB 微量元素特征。第三组岩石为右倾型的分布,  $Th$  丰度比 N-MORB 标准化值高 20 ~ 30 倍,全部元素丰度均高于 MORB 标准化值,指示来自富集地幔源区。

## (2) Nd、Sr、Pb 同位素地球化学

松树沟蛇绿岩中斜长角闪岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$  变化相对不大 (+4.2 ~ +6.9),但  $\epsilon_{Sr}(t)$  比值较高且变化大 (+11 ~ +74),反映海水蚀变影响,相似于蛇绿岩的特征。 $\epsilon_{Nd}(t)$  比值在 +4.2 ~ +6.9 之间,指示源自亏损地幔,但可能受到来自富集地幔物质的影响 (周鼎武等, 1998)。

本区变玄武岩的  $^{206}Pb/^{204}Pb$  在 18.06 ~ 18.66 之间,  $^{207}Pb/^{204}Pb$  和  $^{208}Pb/^{204}Pb$  比值较高,分别在 15.55 ~ 15.60 和 37.59 ~ 38.38 之间,在 Pb-Pb 图中 (图 5) 均落在北半球参照线 (NHRL) 之上,指示源区具富集地幔的特征。

现代洋底玄武岩 Nd、Sr、Pb 同位素的研究表明,北大西洋和太平洋 MORB 不同于印度洋及南大西洋 MORB 的特征 (Dupre *et al.*, 1983; Hamelin *et al.*, 1986; Mertz *et al.*, 1991), 后者  $^{143}Nd/^{144}Nd$  和  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比值变化大,  $^{208}Pb/^{204}Pb$  和  $^{207}Pb/^{204}Pb$  比值

较高(当  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  相当时),在 Pb-Pb 图中,二者落在 NHRL 线上及附近,而印度洋 MORB 落在 NHRL 之上(图 5),指示后者来自一个亏损的软流圈地幔与富集地幔物质混合的源区,即具 DUPAL 异常的源区。MORB 型蛇绿岩的源区可大体分为两类:一类来自 DMM,不具 DUPAL 异常;另一类具 DUPAL 异常,为 DMM 与 EM(富集地幔)混合的产物,松树沟的蛇绿岩属于第二类。

上述分析表明,松树沟斜长角闪岩类的原岩组成较复杂,是源自亏损和富集地幔源的基性熔岩。据现有研究,蛇绿岩的 MORB 既有 LREE 亏损的(N-MORB),也有 LREE 富集的(E-MORB);松树沟斜长角闪岩有 LREE 亏损和富集的二种类型,而且与以纯橄榄岩和方辉橄榄岩为主的强亏损地幔部分熔融残余成因的地幔岩共存,因此应属变形变质的蛇绿岩残片。既具有强亏损地幔部分熔融残余

成因的地幔岩,又具有以 N-MORB 和 E-MORB 为组成部分的大洋拉斑玄武岩,这种岩石组合和地球化学特征指示松树沟蛇绿岩可能形成于洋脊环境。

### 2.3 蛇绿岩形成时代

董云鹏等(1997)在蛇绿岩的变玄武岩中,选用斜长角闪岩和石榴石角闪岩共 5 件样品,测定其全岩等时线年龄为  $1030 \pm 46$  Ma,亏损地幔 Nd 模式年龄主要集中在 1271 ~ 1440 Ma 之间。一般地,如果斜长角闪岩的原岩——玄武岩是直接由  $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = +10$  的亏损地幔部分熔融分出的,并且从玄武质岩浆喷出到变质达角闪岩相至今,岩石的  $\text{Sm}/\text{Nd}$  值保持不变的话,那么岩石的  $T_{\text{DM}}$  年龄应近似等于或略大于全岩等时年龄。松树沟蛇绿岩中变玄武岩的亏损地幔模式年龄略大于全岩 Sm-Nd 等时年龄,因此,该蛇绿岩的玄武岩可能是在 1271 ~ 1440 Ma 期间从地幔中分出的玄武质岩浆,于 1030 Ma 左右成岩的。

## 3 宽坪弧后盆地岩石组合

在北秦岭,与松树沟蛇绿岩的构造背景密切相

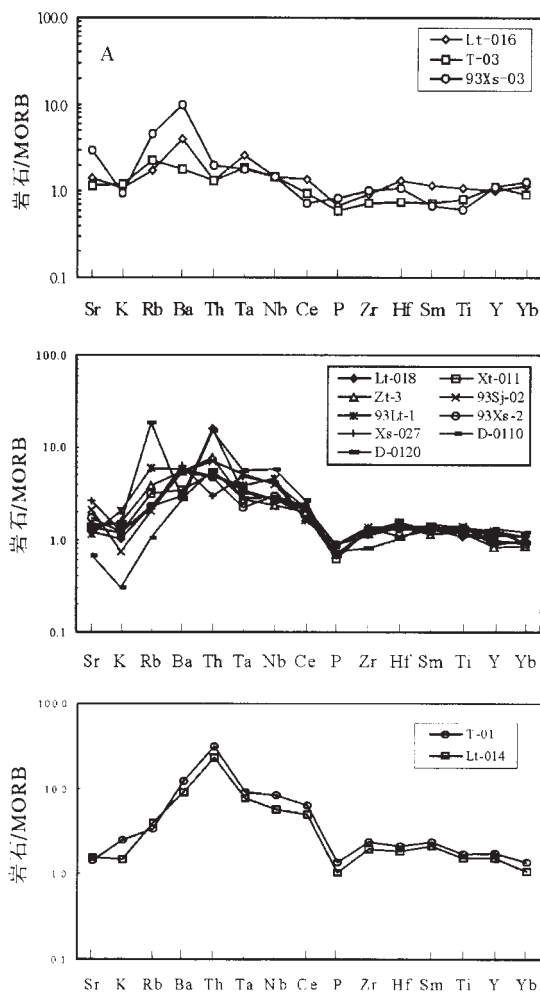


图 4 松树沟斜长角闪岩 MORB 标准化的微量元素分布图

Fig. 4 MORB normalized trace elements spider diagrams for amphibolites from the Songshugou area

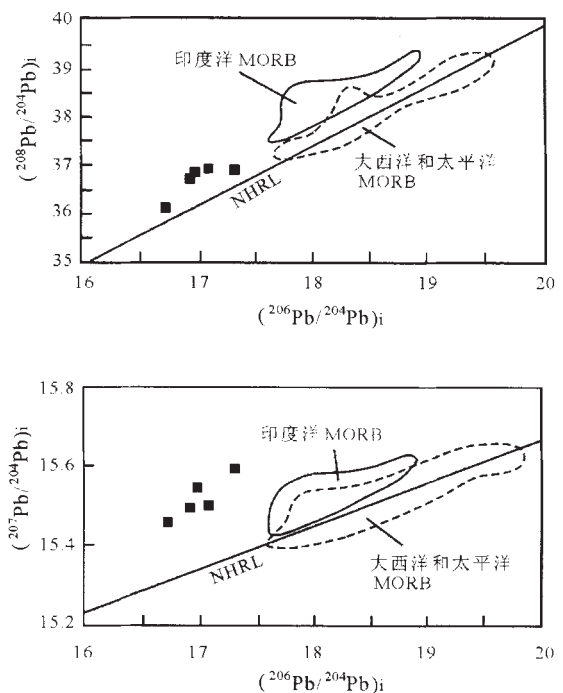


图 5 松树沟斜长角闪岩的 Pb-Pb 图

NHRL 为北半球参照线 (Hart, 1988); 大西洋和太平洋 MORB 及印度洋 MORB 据 Mertz 等(1991)

Fig. 5 Pb-Pb diagrams for amphibolites from the Songshugou area

关的是宽坪群,宽坪岩群位于秦岭群北侧,主要由绿片岩-斜长角闪岩类、云母石英片岩-片麻岩类和大理岩组成。野外填图表明其为一些经历多期变质、变形作用的逆冲叠置构造岩片。其中的云母石英片岩-片麻岩类原岩主要是泥砂质岩石,显示富 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ ,LREE 富集,强烈 Eu 负异常的地球化学特征,具有类似于杂砂岩、岩屑砂岩和长石砂岩的成分特点,成熟度低,相当于类复理石建造(刘国惠等,1993)。元素地球化学特征表明,宽坪群碎屑岩主要物源既有南侧的秦岭岩群,又有北侧华北北缘太古代太华岩群(Gao *et al.*, 1996)。绿片岩-斜长角闪岩类主要为不同程度变质的拉斑玄武岩,岩石地球化学显示其类似于 N-MORB 或 T-MORB 的特征,具有蛇绿岩特征(张宗清等,1995)。大量的同位素年龄限定其形成于 1.0~1.1 Ga,如:商县北宽坪绿片岩全岩 Sm-Nd 同位素年龄为  $986 \pm 169$  Ma;洛南马河斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄为  $1142 \pm 18$  Ma 和  $1015 \pm 388$  Ma;河南南召斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄为  $1085 \pm 37$  Ma(张宗清等,1994)。综合考虑宽坪岩群的地质特征及其与松树沟蛇绿岩的空间关系,尤其是沉积碎屑岩南北两侧双源性特点,认为宽坪群可能形成于北秦岭弧后裂谷-弧后盆地构造环境(刘国惠等,1993),应该是因松树沟蛇绿岩代表的元古代秦岭洋盆向北秦岭俯冲消减而引起弧后伸展扩张,形成的弧后盆地。

北秦岭松树沟洋盆及其相关的宽坪弧后裂谷-弧后盆地的确证,表明北秦岭曾于中元古代末演化成活动大陆边缘,出现洋壳俯冲消减和弧后盆地的形成。

## 4 与碰撞作用相关的高压变质作用

在松树沟蛇绿岩内部的超基性岩中存在变质成因的高压辉石,更为重要的是在蛇绿岩的基性单元中断续分布有透镜状的基性高压麻粒岩,表明松树沟蛇绿岩片可能是一个高压变质地体。同时,在蛇绿岩片南界的西沟韧性剪切带中尚存在有长英质高压麻粒岩块,成生于蛇绿岩构造侵位事件。

### 4.1 超基性岩的高压变质作用

松树沟蛇绿岩的超基性单元中含有辉橄岩,其中含有辉石巨晶,地球化学组成显示其为变质成因矿物,与区内超基性岩中的单斜辉石化学组成一致,

指示相同的成因,尤其是以低  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  含量为特征,明显区别于岩浆成因辉石成分,而与苏鲁一大别高压变质带内的高压变质辉石具有类似的化学组成(陈丹玲等,2002),显示松树沟超镁铁质岩经历了高压变质作用,并与超镁铁质岩高温塑性变形特征(董云鹏等,1996)相吻合。陈丹玲等(2002)采用中子活化法测得辉石巨晶  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  高温坪年龄为  $833.8 \pm 2.3$  Ma,等时线年龄为  $848.2 \pm 4.3$  Ma,代表了超镁铁质岩发生高压变质事件后的抬升冷却年龄。

### 4.2 基性岩的高压变质作用和退变质作用

基性高压麻粒岩主要发现于松树沟蛇绿岩片南侧边缘韧性剪切带中的榴闪岩透镜体内,类似的榴闪岩在超基性岩块外围的基性岩石中断续分布,原岩是蛇绿岩的基性单元。刘良等(1995)依据高压基性变质岩的特征矿物组合,确定出石榴单斜辉石岩、含榴二辉麻粒岩和石榴角闪岩,并根据岩石组成矿物之间的替代关系及共生组合规律,将区内基性高压岩石及其退变质作用划分为三个主要演化阶段:①早期高压变质(榴辉岩相或高压麻粒岩相)阶段( $T=828 \sim 887^\circ\text{C}$ ,  $P=1.40 \sim 1.58$  GPa);②中压麻粒岩相阶段( $T=765 \sim 825^\circ\text{C}$ ,  $P=1.03 \sim 1.14$  GPa);③角闪岩相阶段( $T=650 \sim 750^\circ\text{C}$ ,  $P=0.75 \sim 1.10$  GPa),据此确定本区基性岩高压变质及其退变质作用过程为一个顺时针的 PT 演化轨迹,反映了区内高压基性变质岩石早期近等温减压(ITD)及后期降压降温的变质作用过程(刘良等,1995)。

### 4.3 长英质岩石的高压变质和退变质作用

长英质麻粒岩出露于秦岭群与蛇绿岩接触的韧性剪切带南部,与上述高压基性岩相邻。岩石学、地球化学研究表明,其原岩为秦岭群的副变质杂砂岩或长石砂岩。刘良等(1996)根据岩相学特点、变质矿物组合特征,确定该麻粒岩的三期变质矿物组合:①早期矿物组合是石榴石(Gt)+蓝晶石(Ky)+微纹碱性长石(Per)+金红石(Rut)+石英(Qz),估算变质温度为  $800 \sim 900^\circ\text{C}$ ,压力为  $1.3 \sim 1.6$  GPa;②第二期矿物组合为珍珠云母(Mrg)+多硅白云母(Phe)+斜长石(Pl I)+石英,温压条件约为  $600 \sim 650^\circ\text{C}$  和  $0.8 \sim 1.0$  GPa;③第三期矿物组合是黑云母(Bi)+矽线石(Sill)+斜长石(Pl II)+微斜长石(Mic)+石英,温度为  $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ,压力为  $0.3 \sim 0.6$  GPa(刘良等,1996)。

### 4.4 高压变质作用年代学

在蛇绿岩北部同样发现榴辉岩的退变质石榴角

闪岩,石榴石成分与C类榴辉岩石榴石成分相近,压力 = 1.0 ~ 1.2 GPa, 温度  $\approx 600^{\circ}\text{C}$  (Chen *et al.*, 1993)。李曙光等(1991)利用石榴石角闪岩全岩、石榴石和角闪石测得  $983 \pm 140$  Ma 的 Sm-Nd 矿物内部等时线年龄。由于石榴石和角闪石是区内高压基性岩退变质为角闪岩相的矿物组合,因此 983 Ma 应代表退变质事件年龄,限定了高压-中压峰期变质年龄应界于  $1030 \pm 46 \sim 983 \pm 140$  Ma 之间。随后在  $983 \pm 140$  Ma 左右开始了快速抬升及其后的退变质作用,造成高压岩石形成和后期退变质的顺时针演化。

## 5 元古代碰撞型花岗岩

相继在北秦岭发现的大量的 1.2 ~ 0.8 Ga 的碰撞型花岗岩,是与松树沟蛇绿岩所代表的元古代洋盆构造演化密切相关的岩浆作用产物。如户县涝峪沙坪片麻状花岗岩,Sm-Nd 等时年龄为  $1088 \pm 41$  Ma, Rb-Sr 等时年龄为  $883 \pm 114$  Ma (杨崇辉等, 1992), 商南县的商南花岗岩锆石 Pb-Pb 同位素年龄为  $889 \pm 22$  Ma (裴先治, 1999), 河南西峡县德河似斑状黑云母二长花岗岩 Sm-Nd 等时年龄 1156 Ma, Rb-Sr 等时年龄  $793.9 \pm 32$  Ma (游振东等, 1991), 牛角山花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $959 \pm 4$  Ma (王涛等, 1998) 及寨根花岗岩锆石 U-Pb 年龄 821 Ma (陈瑞保, 1996) 等。

## 6 北秦岭元古代构造演化

### 6.1 元古代秦岭洋的形成

一般认为,蛇绿岩的基性单元岩石是来自亏损软流圈地幔高度部分熔融形成的岩浆。最近,对西太平洋弧后盆洋壳的同位素地球化学研究表明,需要有多种来源才能解释熔岩同位素组成的多样性。这里包括:亏损不相容元素的类似 N-MORB 源区的组分、富集不相容元素的类似 E-MORB 或 OIB 源区的组分,以及富集不相容元素但亏损高场强元素的可能受消减作用影响的源区组分 (Volpe *et al.*, 1988; 张旗, 1994)。对于松树沟蛇绿岩的情况来说,鉴于其变拉斑玄武岩的成分多属于 N-MORB 与 OIB 端元的过渡性,少数类似于 OIB 端元,即岩石多数为 T-MORB,少数为 E-MORB,有理由推断这里应有以下两种源区在起作用:一种为类似 N-MORB 的亏损软流圈地幔源区,另一种为类似 OIB 源区的地幔柱源区。这两种源区岩浆的不同程度

混合,就导致松树沟蛇绿岩中大量 T-MORB 型拉斑玄武岩的形成。松树沟蛇绿岩应是在这样的深部地幔动力学演化背景下,所产生的扩张小洋盆产物。变质镁铁质岩石 Sm-Nd 等时线年龄  $1030 \pm 46$  Ma 和 Nd 模式年龄 1271 ~ 1440 Ma 限定了古洋盆存在时限大约为 1.0 ~ 1.4 Ga。张宗清等 (2001) 在商丹带西延的黑河地区确认出具有 N-MORB 特征的洋中脊型蛇绿岩,并利用全岩 Sm-Nd 等时线法确定其形成时代为  $963 \pm 10$  Ma,可与松树沟蛇绿岩对比。因此,松树沟蛇绿岩的洋壳残片代表了现今北秦岭南缘曾存在有中新元古代小洋盆。

### 6.2 俯冲碰撞作用

根据区域地质研究和松树沟蛇绿岩片的大比例尺地质填图及构造解析表明,松树沟蛇绿岩片遭受了地幔变形和构造侵位过程中多阶段高温塑性变形改造,代表了板块俯冲碰撞过程中蛇绿岩变形特征 (董云鹏等, 1996)。

宽坪群弧后盆地裂谷-洋壳岩石组合 (0.98 ~ 1.2 Ga) 以及北秦岭同期的大量俯冲-碰撞型花岗岩体的存在显示,以松树沟蛇绿岩为代表的秦岭元古代古洋盆曾于 1.0 Ga 左右发生向北秦岭陆块之下的俯冲消减,并因此形成北秦岭地区的元古代沟-弧-盆体系。

元古代秦岭洋的俯冲消减,导致洋盆最终闭合、两侧陆块的对接碰撞和高压变质作用的发生。已有的研究表明,具 ITD 轨迹的榴辉岩或高压麻粒岩的形成与板块的俯冲作用和大陆间的碰撞等构造加厚作用有关 (Harley, 1989; Messige, 1991), 松树沟高压麻粒岩的 ITD 型 PT 轨迹显示本区可能经历了洋壳的俯冲消减和陆块的碰撞作用。结合高压变质基性麻粒岩和高压变质的长英质麻粒岩的分析研究,推测高压变质作用应是板块俯冲的变质记录。蛇绿岩的超镁铁质岩中高压变质辉石的出现显示,超镁铁质岩也与蛇绿岩基性单元岩石共同经历了消减俯冲作用。

### 参考文献:

- 鲍佩声,王希斌,彭根永,陈方远. 1999. 中国铬铁矿床. 北京: 科学出版社, 98-142.
- 陈丹玲,刘良,周鼎武,罗金海,桑海清. 2002. 东秦岭松树沟超镁铁质岩中辉石巨晶的成因和  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年及其地质意义. 岩石学报, 18(3): 355-362.
- 陈能松,韩郁蕾,游振东. 1991. 豫西东秦岭造山带核部杂岩全岩 Sm-Nd, Rb-Sr 和单晶锆石  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  计时及其

- 地壳演化. 地球化学, 20(3): 219-227.
- 陈瑞保. 1996. 中华人民共和国朱阳关等幅 1/5 万区域地质图及说明书. 10-12.
- 崔智林, 孙勇, 王学仁. 1995. 秦岭丹凤蛇绿岩带放射虫的发现及其地质意义. 科学通报, 40(18): 1686-1688.
- 董云鹏, 周鼎武, 张国伟. 1996. 东秦岭松树沟蛇绿岩中超镁铁质岩及铬铁矿的成因探讨. 地质找矿论丛, 11(1): 33-43.
- 董云鹏, 周鼎武, 张国伟. 1996. 松树沟蛇绿岩中橄榄石位错构造及其流变学意义. 岩石矿物学杂志, 15(1): 46-52.
- 董云鹏, 周鼎武, 刘良等. 1997. 东秦岭松树沟蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄的地质意义. 中国区域地质, 16(2): 217-221.
- 董云鹏, 周鼎武, 张国伟. 1997. 东秦岭富水基性杂岩体地球化学特征及其形成环境. 地球化学, 26(3): 79-88.
- 李江海, 牛向龙, 陈征, 冯军, 黄雄南. 2002. 辽西豆英状铬铁矿的发现及其意义. 岩石学报, 18(2): 187-192.
- 李曙光, 陈移之, 张国伟等. 1991. 一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体: 北秦岭晚元古代板构造体制的证据. 地质论评, 37(3): 235-242.
- 刘国惠, 张寿广, 游振东, 索书田, 张国伟. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化. 北京: 地质出版社, 1-190.
- 刘良, 周鼎武, 董云鹏等. 1995. 东秦岭松树沟高压变质基性岩石及其退变质作用的  $P-T$  演化轨迹. 岩石学报, 11(2): 127-136.
- 刘良, 周鼎武, 王焰. 1996. 东秦岭秦岭杂岩中的长英质高压麻粒岩及其地质意义初探. 中国科学(D 辑), 26(增刊): 56-63.
- 裴先治. 1997. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化. 西安: 西安地图出版社, 1-184.
- 任纪舜, 张正坤, 牛宝贵等. 1991. 论秦岭造山带——中朝与扬子陆块的拼合过程. 见: 秦岭造山带学术讨论会论文选集(叶连俊, 钱祥麟, 张国伟主编). 西安: 西北大学出版社, 99-110.
- 孙勇, 卢欣祥, 韩松等. 1996. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学. 中国科学(D 辑), 26(增刊): 49-55.
- 王涛, 李伍平, 王晓霞. 1998. 秦岭杂岩牛角山花岗质片麻岩体的锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义. 中国区域地质, 17(3): 262-265.
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 张治洮. 1988. 东秦岭复合山链的形成. 北京: 中国环境科学出版社, 1-193.
- 杨崇辉, 张寿广, 张宗清. 1992. 陕西卢县沙坪古花岗岩体的特征与意义. 中国地质科学院地质研究所所刊, 25: 127-136.
- 游振东, 索书田, 韩郁菁等. 1991. 造山带核部杂岩变质过程与构造解析——以东秦岭为例. 武汉: 中国地质大学出版社, 166-311.
- 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 1995. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. 岩石学报, 11(2): 101-114.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2000. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1-885.
- 张旗. 1994. 蛇绿岩研究的进展. 地学前缘, 1(1-2): 98-103.
- 张旗, 张宗清, 孙勇等. 1995. 陕西商县丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学. 岩石学报, 11(1): 43-54.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代学. 北京: 地质出版社, 1-190.
- 张宗清, 张旗. 1995. 北秦岭晚元古代宽坪蛇绿岩的地球化学特征. 岩石学报, 11(增刊): 165-177.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 王进辉. 2001. 秦岭黑河镁铁质枕状熔岩年龄和地球化学特征. 中国科学(D), 31(1): 36-42.
- 周鼎武, 张泽军, 董云鹏等. 1995. 东秦岭商南松树沟元古宙蛇绿岩片的地质、地球化学特征. 岩石学报, 11(增刊): 154-164.
- 周鼎武, 董云鹏, 刘良, 张旗, 张宗清. 1998. 松树沟元古宙蛇绿岩 Nd, Sr, Pb 同位素地球化学特征. 地质科学, 33(1): 31-38.

## References:

- Ahmed A H, Arai S and Attia A K. 2001. Petrological characteristics of podiform chromitites and associated peridotites of the Pan African Proterozoic ophiolite complexes of Egypt. *Mineralium Depositia*, 36: 72-84.
- Arai S and Matsukage K. 1998. Petrology of a chromitite micro-pod from Hess deep, equatorial Pacific: A comparison between abyssal and alpine-type podiform chromitite. *Lithos*, 43: 1-14.
- Bao P S, Wang X B, Peng G Y and Chen F Y. 1999. Chromite deposits in China. Beijing: Science Press, 98-142 (in Chinese with English abstract).
- Chen D L, Liu L, Zhou D W, Luo J H and Sang H Q. 2002. Genesis and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of clinopyroxene megacrysts in ultramafic terrain from Songshugou, east Qinling Mountains and its geological implication. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 355-362.
- Chen N S, Han Y Q, You Z D and Sun M. 1991. Whole-rock Sm-Nd, Rb-Sr and single grain zircon Pb-Pb dating of complex rocks from the interior of the Qinling orogenic belt, western Henan and its crustal evolution. *Geochimica*, 20(3): 219-227.
- Chen N S, Yang Y and Zhou H W. 1993. High pressure metamorphism of garnet-amphibole rocks from Songshugou area, eastern Qinling mountains and its tectonic implication. *Journal of China University of Geosciences*, 14(1): 36-45.
- Cui Z L, Sun Y and Wang X R. 1995. Discovery of radiolarians from the Danfeng ophiolite zone, North Qinling, and their geologic significance. *Chinese Sci Bull*, 40(18): 1686-1688.
- Dong Y P, Zhou D W and Zhang G W. 1996a. Discussion on the genesis of ultramafic rocks and Cr ore in ophiolite, Songshugou, east Qinling area. *Contributions to Geology and Mineral*

- Resources Research*, 11(1): 33 – 43 (in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Zhou D W and Zhang G W. 1996b. Dislocation microstructures of olivine from Songshugou ophiolite and their rheological implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(1): 46 – 52 (in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Zhou D L, Liu L, Zhang Q and Zhang Z Q. 1997a. Sm-Nd isotopic ages of the Songshugou ophiolite from the east Qinling and its geological significance. *Regional Geology of China*, 16(2): 217 – 221 (in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Zhou D W and Zhang G W. 1997b. Geochemistry and formation setting of Fushui complex, east Qinling. *Geochemica*, 26(3): 79 – 88 (in Chinese with English abstract).
- Dupre B and Allegre C J. 1983. Pb-Sr isotopic variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomena. *Nature*, 303: 142 – 146.
- Gao S, Zhang B R and Wang D P. 1996. Geochemical evidence for the Proterozoic tectonic evolution of the Qinling orogenic belt and its adjacent margins of the North China and Yangtze cratons. *Precambrian Research*, 80: 23 – 48.
- Hamelin B, Dupre B and Allegre C J. 1986. Pb-Sr-Nd isotopic data of Indian Ocean ridge: New evidence of large-scale mapping of mantle heterogeneities. *Earth Planet Sci Lett*, 76: 288 – 298.
- Harley S L. 1989. The origin of granulites: A metamorphic perspective. *Geol Mag*, 126: 215 – 247.
- Hart S R. 1988. Heterogeneous mantle domains: Signatures, genesis and mixing chronologies. *Earth Planet Sci Lett*, 90: 273 – 296.
- Holm P E. 1985. The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hydromagmatophile element abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites. *Chem Geol*, 51: 302 – 323.
- Leblanc M and Nicolas A. 1992. Ophiolitic chromitites. *International Geological Review*, 34: 653 – 686.
- Le Roex A P, Dick H J B and Fisher R L. 1989. Petrology and geochemistry of MORB from 25°E to 46°E along the southwest Indian Ridge: Evidence for contrasting styles of mantle enrichment. *J Petrol*, 30: 947 – 986.
- Li J H and Mu J. 1999. Tectonic constraints from Chinese cratonic blocks for the reconstruction of Rodinia. *Scientia Geologica Sinica*, 34(3): 259 – 272 (in Chinese with English abstract).
- Li S G, Cheng Y Z, Zhang G W and Zhang Z Q. 1991. A 1 Ga. Alpine peridotite body emplaced into the Qinling Group: Evidence for the existence of the late Proterozoic plate tectonics in the North Qinling area. *Geological Review*, 37(3): 235 – 242 (in Chinese with English abstract).
- Liu G H, Zhang S G, You Z D, Suo S T and Zhang G W. 1993. Metamorphic history of main metamorphic complexes in the Qinling orogenic belt. Beijing: Geological Publishing House, 190 (in Chinese).
- Liu L, Zhou D W, Dong Y P, Zhang H F, Liu Y J and Zhang Z J. 1995. High pressure metabasites and their retrograde metamorphic *P-T-t* path from Songshugou area, Eastern Qinling mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2): 127 – 136.
- Liu L, Zhou D W, Wang Y and Chen D L. 1996. Study and implication of the high pressure felsic granulite in the Qinling complex of East Qinling. *Science in China*, 26(suppl.): 60 – 68 (in Chinese).
- Melcher T, Crum W, Simon G, Thallhammer T V and Stumpfl E F. 1997. Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: A study of solid and fluid inclusion in chromite. *Journal of Petrology*, 38(10), 1419 – 1458.
- Menzies M A and Kyle P R. 1990. Continental volcanism: a crust mantle probe. In: Menzies M A, ed. *Continental mantle*. Oxford: Clarendon Press, 157 – 184.
- Mertz D F, Devey C W, Todt W, et al. 1991. Sr-Nd-Pb isotope evidence against plume asthenosphere mixing in north of Iceland. *Earth Planet Sci Lett*, 107: 243 – 255.
- Messige B. 1991. Retrograde *P-T-t* path for the Voltri eclogites (Ligurian Alps, Italy): Some tectonic implications. *J Metamorphic Geol*, 9: 93 – 109.
- Moreno T, Gibbons W, Prichard H M and Lunar R. 2001. Platiniferous chromitite and the tectonic setting of ultramafic rocks in Cabo Ortegal, NW Spain. *Journal of the Geological Society, London*, 158: 601 – 614.
- Nicolas A. 1989. Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Berlin: Kluwer Academic Publishers, 223 – 252.
- Pei X Z. 1997. Composition and tectonic evolution of the Shangdan structural zone in the east Qinling, China. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 184 (in Chinese).
- Pronza J, Gervilla F, Melgarejo J C and Bodinier J L. 1999. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayari-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547 – 566.
- Ren J S, Zhang Z K, Niu B G and Liu Z G. 1991. On the Qinling orogenic belt: Intergration of the Sino-Korean and Yangtze blocks. In: Ye Lianjun, Qian Xianglin and Zhang Guowei, eds. *Selected papers presented at the conference on the Qinling orogenic belt*. Xi'an: Northwest University Press, 99 – 110.
- Sun Y, Lu X X, Han S, Zhang G W and Yang S X. 1996. Composition and formation of Paleozoic Erlangping ophiolitic slab, North Qinling: Evidence from geology and geochemistry. *Sci in China* (series D), 39(Suppl.): 50 – 59 (in Chinese).
- Tamayo R A, Yumei G P, Maury R C, Polve M, Cotton J and Bohn M. 2001. Petrochemical investigation of the antique ophiolite (Philippines): Implications on volcanogenic massive sulfide and podiform chromitite deposits. *Resource Geology*, 51(2): 145 – 164.
- Volpe A M, J D MacDougall and J W Hawkins. 1988. Lau Basin

- Basalts(LBB): Trace element and Sr-Nd isotopic evidence for heterogeneity in back-arc basin mantle. *Earth Planet Sci Lett*, 90: 174 – 186.
- Wang T, Li W P and Wang X X. 1998. Zircon U-Pb age of the Niujaoshan granitoid gneisses in the Qinling complex and its geological significance. *Regional Geology of China*, (3): 262 – 265 (in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q, Lu Y L, Tang Y Q and Zhang Z T. 1988. Formation of the composite eastern Qinling chains. Beijing: China Environmental Science Press, 1 – 193 (in Chinese).
- Yang C H, Zhang S G and Zhang Z Q. 1992. The characteristics and geological implications of Shaping granite pluton from Huxian, Shaanxi Province. *Bulletin of Institute of geology, Chinese Academy of Geosciences*, 25: 127 – 136 (in Chinese with English abstract).
- You Z D, Suo S T, Han Y J, Zhong Z Q and Chen N S. 1991. The metamorphic progresses and tectonic analyses in the core complex of an orogenic belt: An example from the eastern Qinling Mountains. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1 – 326 (in Chinese).
- Zhai X, Day H W, Hacker B R and You Z. 1998. Paleozoic metamorphism in the Qinling orogen, Tonghai mountains, central China. *Geology*, 26: 371 – 374.
- Zhang B R, Luo T C and Gao Shan. 1994. Geochemical constraints on the evolution of North China and Yangtze blocks. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9(4): 405 – 416.
- Zhang G W, Zhang Z Q and Dong Y P. 1995. Nature of the main tectono-lithostratigraphic unites of the Qinling orogen: Implications for the tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2): 101 – 114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C and Xiao Q H. 2000. Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 1 – 885 (in Chinese).
- Zhang Q. 1994. Recent advances in the study of ophiolites. *Earth Science Frontiers*, 1(2): 98 – 103 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Zhang Z Q, Sun Y and Han S. 1995. Trace element and isotopic geochemistry of metabasalts from the Danfeng Group (DFG) in Shangxian-Danfeng area, Shaanxi Province. *Acta Petrologica Sinica*, 11(1): 43 – 54.
- Zhang Z Q and Zhang Q. 1995. Geochemistry of metamorphosed Late Proterozoic Kuanping ophiolite in the Northern Qinling, China. *Acta Petrologica Sinica*, 11(1): 165 – 177 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Q, Liu D Y and Fu G M. 1994. Geochronology of the metamorphic strata in North Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 190 (in Chinese).
- Zhou D W, Zhang Z J, Dong Y P and Liu L. 1995. Geological and geochemical characteristics on Proterozoic Songshugou ophiolite belt from Shangnan county, Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 11(suppl.): 154 – 164 (in Chinese with English abstract).
- Zhou D W, Dong Y P, Liu L, Zhang Q and Zhang Z Q. 1998. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the Proterozoic ophiolite from Songshugou area. *Scientia Geologica Sinica*, 33(1): 32 – 38.
- Zhou M F, Robinson P T, Malpas J and Li Z J. 1996. Podiform chromitites in the Luobusa ophiolite (South Tibet): Implications for melt-rock interaction and chromite segregation in the upper mantle. *Journal of Petrology*, 37: 3 – 21.
- Zhou M F and Robinson P T. 1997. Origin and tectonic environment of podiform chromite deposits. *Economic Geology*, 92: 259 – 262.

## THE PROTEROZOIC TECTONIC FRAMEWORK AND EVOLUTION OF THE NORTH QINLING OROGEN, CENTRAL CHINA

DONG Yun-peng, ZHANG Guo-wei, ZHAO Xia and YAO An-ping

(Institute of Orogenic Geology, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The Qinling orogen is a gigantic composite collision orogenic belt undergoing multistage complicated plate rifting and convergence. The geologic framework is built up through interaction of three blocks, which are North China, South Qinling and South China blocks, and separated by the Shangdan and Mianlue suture zones, respectively. Geology, geochemistry and isotopic chronology of the ophiolite, magmatism and metamorphism show that there exist the Meso-Neoproterozoic ophiolite, arc magmatism and back-arc basin in south margin of the North Qinling massif. They are combined with the related magmatism, regional metamorphism and chronology of the tectonic events suggest that the had been evolved into an active continental margin with plate rifting, oceanic crust subduction and ophiolite emplacement along the southern margin of the North Qinling massif during the Mesoproterozoic to Neoproterozoic.

**Key words:** Ophiolite; Geochemistry; Isochron age; Metamorphism; North Qinling massif