

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

秦岭晋宁期的两条蛇绿岩带及其对秦岭—大别构造演化的制约

张传林¹⁾ 董永观¹⁾ 杨志华²⁾

1) 南京地质矿产研究所, 210016; 2) 西安地质学院地质系, 710054

内容提要 本文在总结前人对秦岭造山带中蛇绿岩研究成果的基础上, 结合我们的工作实践, 对秦岭南北两条蛇绿岩形成时代、构造背景以及它们对秦岭—大别山构造演化的制约提出以下认识: ① 北秦岭构造带不存在显生宙的蛇绿岩套。分布于北秦岭商丹构造带的松树沟蛇绿岩是秦岭造山带中保存最完整的蛇绿岩, 形成时代不晚于 1000 Ma, 就位于 980 Ma。分布于二郎坪群、丹凤群中的超镁铁岩及镁铁质岩可能不属于典型的蛇绿岩, 形成时代不晚于 800 Ma, 它们与分布同一构造带的含早古生代化石的沉积岩不是同一时代的产物; ② 分布于南秦岭勉略构造带的蛇绿岩是此区中—新元古代洋盆发育的记录, 该洋盆关闭于晋宁期; ③ 秦岭显生宙的放射虫硅质岩是产于陆壳基底上的硅质岩, 它们不能作为洋壳发育的证据; ④ 秦岭自中元古代至新元古代早期, 属于板块构造体制演化阶段, 秦岭显生宙的沉积盆地是发育在陆壳基底上的海盆, 而不是以洋壳为基底的大洋盆地, 陆内 A 型俯冲造山作用使沉积海盆在三叠纪末期全面消失。这些认识对解释分布于大别山—东秦岭造山带中的榴辉岩的形成及折返时间与机制提出疑问。

关键词 秦岭 蛇绿岩 构造演化 晋宁期造山事件

秦岭造山带位于由大别山—秦岭—昆仑等诸山系组成的中央造山带(殷鸿福等, 1998)的中段。由于它复杂的地质结构、演化历史以及它对认识亚洲大陆构造演化所具有的重要意义, 使其成为我国研究最深入的造山带(杨志华, 1997)。自大别山地区发现含柯石英榴辉岩(Wang et al., 1989)及含金刚石榴辉岩(Xu et al., 1992)以来, 秦岭—大别造山带成为国际地质学界瞩目的焦点。在大别山地区, 对榴辉岩的形成构造背景提出了多种解释(徐树桐等, 1992; Okay et al., 1993; Marumaya et al., 1993; Bradley et al., 1995; Ames et al., 1993;)。由于在大别山地区出露的地层以前寒武系为主, 因此大多数构造模式是建立在同位素地质学研究的基础上的。不论地质学家们对榴辉岩的折返机制存在怎样的分歧, 但均认为在三叠纪扬子板块向华北板块之下俯冲至上地幔, 达到榴辉岩相变质, 并于 220~240 Ma 期间快速折返。由于所有的构造模式均建立在晚古生代扬子与华北之间以洋盆相隔的前提之上的, 且在大别迄今没有发现晚古生代的蛇绿岩, 因此在秦岭寻找晚古生代的洋壳岩石圈残片就显得尤为重要。南秦岭勉略带蛇绿岩的发现(张国伟等, 1995)以及相应的研究工作(张国伟等, 1996; 赖少聪, 1997; 赖少聪等, 1998; 李曙光等, 1996; Feng Q et al., 1996; Meng et al., 1999)认为它属于晚古生代至早中生代的蛇绿岩, 它代表的勉略洋于三叠纪关闭。这一研究成果对前人提出的大别山演化模式起到重要的支持作用。

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49272136)和高校博士点基金资助项目(南京大学地球科学系)的成果。
本文 2000 年 2 月收到, 6 月改回, 郝梓国编辑。

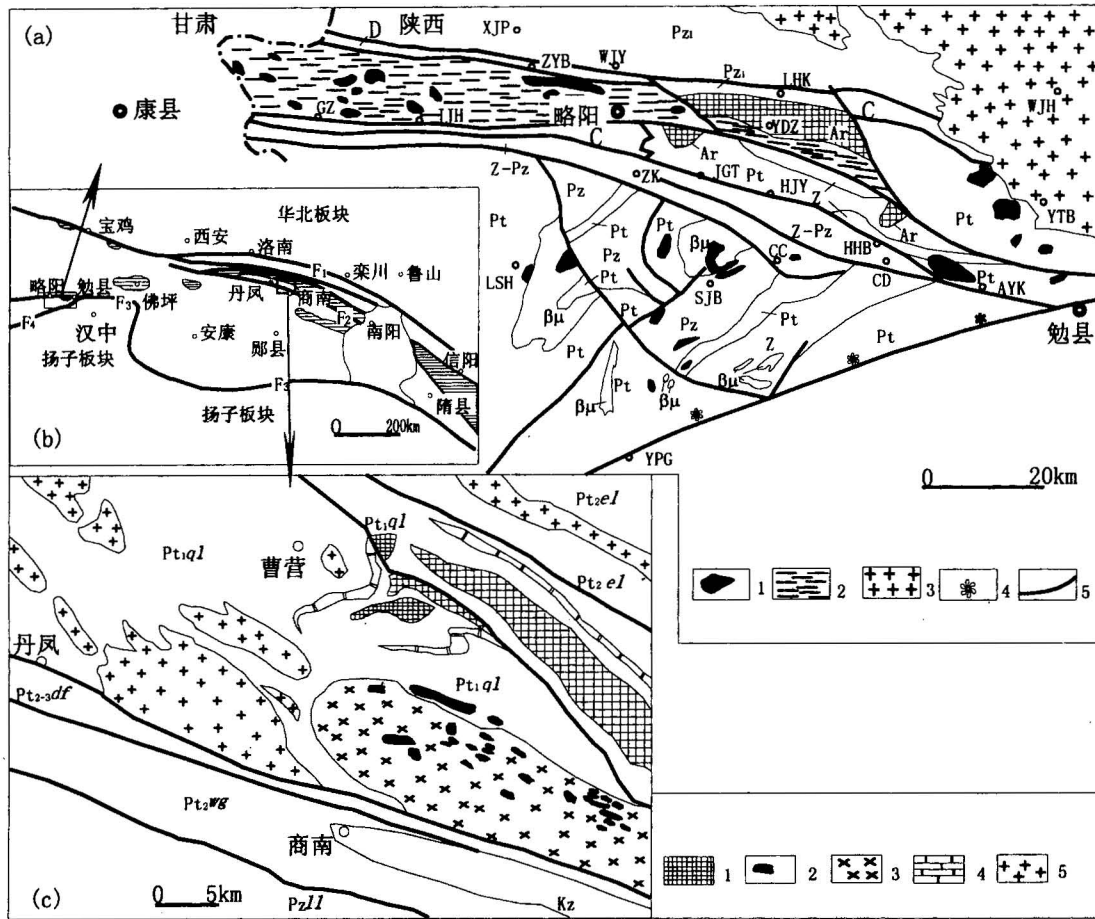


图1 南秦岭勉略带、勉略宁地区的蛇绿岩 (a) 及北秦岭商丹带松树沟蛇绿岩 (c) 分布图
 Fig. 1 The ophiolites in Mianlue zone and in Mian-Lue-ning block (a) of south Qinling Mountains and Songshugou ophiolite in Shangdan zone (c) of north Qinling Mountains

(a): Ar—太古宙鱼洞子群; Pt—元古宙碧口群(未分); Z—震旦系; Z-Pz—震旦系—古生界(未分); Pz₁—下古生界; D—泥盆系; C—石炭系; β_μ—辉绿岩; 1—超镁铁岩—镁铁岩(蛇绿岩); 2—强韧性变形混杂岩(多时代构造岩块混杂); 3—花岗岩; 4—蓝片岩; 5—断裂; GZ—郭镇; JJH—金家河; ZYB—状元碑; XJP—徐家坪; WJY—吴家营; ZK—庄科; JGT—接官亭; HJY—何家岩; YDZ—鱼洞子; LHK—两河口; WJH—汪家河; YTB—秧田坝; AYK—艾叶口; HHB—黑河坝; CD—茶店; CC—铜厂; SJB—寺基坝; LSH—乐素河; YPG—阳平关。

(b): F₁—栾川—洛南断裂; F₂—商丹断裂; F₃—勉县—略阳断裂; F₄—阳平关断裂。

(c): Pt₁ql—秦岭群; Pt₂wg—武关群; Pt₂el—二郎坪群; Pt₂₋₃df—丹凤群; Pzll—刘岭群; 1—纯橄辉岩; 2—纯橄辉岩、辉橄岩; 3—辉长岩; 4—(含石墨)大理岩; 5—花岗岩

(a): Ar—Archean; Pt—Proterozoic; Z—Sinian; Z-Pz—Sinian—Paleozoic (undivided); Pz₁—Lower Paleozoic; D—Devonian; C—Carboniferous; β_μ—diabase; 1—ultramafic—mafic rocks (ophiolite); 2—strong ductile deformed melange (multiple-aged block commingled); 3—granite; 4—blueschist; 5—fault; GZ—Guozheng; JJH—Jinjiahe; ZYB—Zhuangyuanbei; XJP—Xujiaping; WJY—Wujiaying; ZK—Zhuangke; JGT—Jieguangting; HJY—Hejiayan; YDZ—Yudongzi; LHK—Lianghekou; WJH—Wangjiahe; YTB—Yangtianba; AYK—Aiyekou; HHB—Heiheba; CD—Chadian; CC—Tongchang; SJB—Sijiba; LSH—Lesuhe; YPG—Yangpingguan.

(b): F₁—Luanchuan—Luonan fault; F₂—Shangdan fault; F₃—Mianxian—Lueyang fault; F₄—Yangpingguan fault.

(c): Pt₁ql—Early Proterozoic Qinling Group; Pt₂wg—Meso-Proterozoic Wuguan Group; Pt₂el—Meso-Proterozoic Erlangping Group; Pt₂₋₃df—Danfeng Group; Pzll—Paleozoic Liuling Group; 1—dunite; 2—dunite, pyroxene-peridotite; 3—gabbro; 4—(graphite-bearing) marble; 5—granite

在北秦岭,沿商丹构造带出露的丹凤群火山岩,其岩石化学及地球化学特征表明:它们的形成环境可能包括洋内弧(张旗等,1995)、活动大陆边缘岛弧等(薛锋等,1993;裴先治,1998)。由于其中的早古生代化石的发现,使多数地质学家认为它是华北与扬子在早古生代末期板块拼合的证据(张国伟等,1996;Meng et al., 1999)。虽然在是否“造山”这一问题上存在分歧(任纪舜,1991,1995),但对加里东期沿商丹带扬子与华北发生“碰撞”(包括软碰撞)的认识是一致的。由于沿勉略带蛇绿岩的发现以及同位素年代的界定,使秦岭在古生代构成了独立于华北和扬子之间的一个微板块(张国伟等,1996)。

我们在对前人资料详细研究的基础上,结合工作实践,对分布于秦岭南、北两带的蛇绿岩的形成时代以及它们对秦岭构造演化的制约提出新的认识。其基本点包括:两条蛇绿岩带均形成于晋宁期,它们记录了秦岭中新元古代板块构造演化过程;秦岭造山带中不存在可靠的显生宙蛇绿岩,秦岭印支期的造山属于陆内A型俯冲造山。这些认识对大别山榴辉岩的形成及折返时间、机制提出了疑问。对我们的认识所存在的不足之处,希望研究秦岭的地质学家不吝斧正。

表1 秦岭地区蛇绿岩及相关岩石同位素年龄一览表

Table 1 Isotopic ages of the ophiolites and concerning rocks in Qinling Mountains

构造带	采样位置	测试方法	岩石	年龄(Ma)	测试人	
南秦岭	勉略带	黑沟峡	Sm-Nd	变基性火山岩	242±21	李曙光等,1996
		黑沟峡	Rb-Sr	变基性火山岩	221±13	李曙光等,1996
	略带	庄科沟	Sm-Nd	镁铁质熔岩	1040±92	张宗清等,1994
		三岔子	Sm-Nd	蛇绿岩	960	张宗清等,1997
		三岔子	U-Pb	斜长花岗岩(侵入于蛇绿岩)	926±10	张宗清等,1994
		略阳	Pb-Pb	大理岩(与变质火山岩共生)	851±23	钟康惠 ^①
带	鞍子山	Sm-Nd	008、052号镁铁质岩的TDM	1716,1730	许继锋等,2000	
北秦岭	商丹带	松树沟	Sm-Nd	榴闪岩(全岩-矿物)	983±140	李曙光,1991
		松树沟	Sm-Nd	榴闪岩(全岩)	1030	董云鹏等,1997
	秦带	丹凤武关	Sm-Nd	变基性火山岩	824±26	裴先治,1998
		周至黑河	Sm-Nd	变基性火山岩	984±36	周鼎武,1995
		丹凤郭家沟	Sm-Nd	变基性火山岩	914~1015	张国伟等,1995
		商州	Sm-Nd	蛇绿岩	832±31.6	姜常义等,1998
岭	二郎坪	南召	Sm-Nd	变细碧岩	1005±49	符光宏等,1988
		南召	Sm-Nd	细碧岩—角斑岩	708±63	张宗清,1992
	西峡	Rb-Sr	变细碧岩	970±39	符光宏等,1988	

注:二郎坪群资料转引自刘国惠等(1993);^① 南京大学钟康惠面告。

1 南秦岭蛇绿岩

1.1 勉略带的蛇绿岩

沿南秦岭从陕西勉县经略阳至甘肃康县大致200 km的范围内(图1a),分布了大大小小的镁铁质及超镁铁质岩块约200余个。这些岩块与围岩均呈构造接触。超镁铁岩强烈变形和蛇纹石化。另外出露于这一构造带的还有双峰式火山岩(李曙光等,1996)及岛弧型火山岩(赖少聪等,1998),李曙光等(1996)在黑沟峡获得的220~240 Ma的同位素年龄以及在勉略带发现的早石炭世放射虫硅质岩(Feng et al., 1996)使大多数地质学家们认为沿勉略带曾经发育了晚古生代—早中生代的洋盆,该洋盆于三叠纪关闭形成南秦岭碰撞造山带,造山时间与大别山地区根据同位素测年所推测的造山时间完全吻合(张国伟等,1996;Meng et al., 1999)。

我们的野外工作表明:勉略带蛇绿混杂岩块计有3种产出类型:①独立的蚀变超镁铁岩透镜体;②变质超镁铁岩与偏镁铁质的岩块的构造混杂;③变质超镁铁岩与镁铁质杂岩、大理岩、花岗岩和硅质岩岩块的混杂。超镁铁质岩块的岩石化学特征(Lai et al., 1996)显示为低铝-贫铝型($Al_2O_3 < 2\%$), $K_2O + Na_2O$ 在 $0.61\% \sim 0.23\%$ 之间,属于低碱度。岩石化学总体成分与上地幔变质橄榄岩相似,相当于方辉橄榄岩和纯橄榄岩。在微量元素(TE)和稀土元素(REE)中,Ti明显低于地幔标准值,Cr偏高。适度不相容元素La、Ce、Sr、Hf等明显亏损,而大离子亲石元素Rb、Cs、Th、U、K、Ta、Nb等呈富集状态,这与商丹带的蛇绿岩相似。在元素比值中,Ta/Yb大大高于亏损地幔(亏损地幔的Ta/Yb < 0.1),界于 $0.5 \sim 11$ 之间, $(La/Yb)_N$ 介于 $0.4 \sim 1.24$ 之间,平均为 0.7 ,表明岩石的LREE亏损,与商丹带蛇绿岩形成明显差异。Eu比地幔标准值高,呈富集状态(δEu 在 $2.72 \sim 3.61$ 之间,平均 3.22)。综合分析岩体的岩石地球化学,可以看出,岩石来自亏损地幔源区,分熔后的地幔残留体在后期(很可能在构造就位过程中,Arvin et al., 1997)受到富含大离子的流体交代。在勉略蛇绿岩中,计有以下同位素年代数据(表1):张宗清等(1994)测试了略阳横现河以西庄科沟上部的镁铁质熔岩的Sm-Nd同位素组成,获得的等时线年龄为 1040 ± 92 Ma。在略阳三岔子蛇绿岩中测得 960 Ma的Sm-Nd年龄,在同一地区侵入于镁铁质岩的斜长花岗岩中测得 926 ± 10 Ma的锆石 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 蒸发年龄(张宗清等,1997)。最近许继锋等(2000)报道了勉略带安子山超镁铁-镁铁岩的Sm-Nd测试成果,没有构成等时线。根据作者报道的数据,我们计算了008号及052号样品的模式年龄,分别为 1716 Ma和 1730 Ma,证明它属于前寒武纪蛇绿岩。裴先治等(1999)报道了阿尼玛卿构造带(勉略带西延部分)中代表洋壳环境的镁铁质岩(蛇绿岩的组成部分)的Sm-Nd等时线年龄为 1097.8 ± 13.9 Ma。所有这些资料充分说明勉略带的蛇绿岩为前寒武纪,而不是晚古生代。

在勉略带出露的火山岩块,包括大陆裂解早期的双峰式火山岩以及代表沟-弧演化的岛弧火山岩(李曙光等,1996;赖少聪等,1998),前人均将其时代厘定为晚古生代,其中的证据之一是在火山岩测得的 221 Ma和 242 Ma同位素年龄,但前人又同时认为这两个年龄值为变质年龄。另外,晚古生代放射虫硅质岩的发现也为前人的认识提供了佐证。然而,我们在勉略带的路线调查及最新的 $1:5$ 万区域填图工作发现,勉略带的火山岩均呈构造岩块的形式分布于这一构造混杂带中,因此放射虫硅质岩中的化石不能说明火山岩的形成年龄。据野外调查,勉略带火山岩的变质变形比该区的古生界复杂得多。火山岩的 S_0 面理均被 S_1 面理所置换,且 S_1 发生褶皱,而含有化石的古生代地层无论如何变形,其变形面为 S_0 而不是 S_1 ,另外据钟康惠面告,在略阳段与变质火山岩密切共生的大理岩的Pb-Pb等时线年龄为 850 Ma。我们对比了勉略带火山岩与勉略宁地块内的碧口群火山岩,发现它们的岩石特征、岩石化学及地球化学几乎没有出入,如 SiO_2 、 Na_2O/K_2O 、M/F、 $(La/Yb)_N$ 等均很相似。鉴于上述,我们认为勉略带的火山岩是通过构造走滑作用卷入其中的碧口群火山岩(张传林等,1999)。

1.2 勉略宁地块(地体)内的蛇绿岩

在陕西境内的勉略宁地块内部发育了一条晋宁期的蛇绿岩带(陶洪祥等,1993)(图1a)。东从峡口驿向西偏南经红土石、徐家沟、黑木林,再向西南沿阳平关断裂北侧进入甘肃境内,长 $150 \sim 200$ km。超镁铁质、镁铁质岩块共66处,岩石化学特征显示为贫铝、贫碱型,为亏损地幔岩,与勉略带的蛇绿岩完全一致。这一蛇绿岩带的形成时代没有什么争议,在此不再赘述。

1.3 勉略带在东西方向上的延伸情况

勉略带向西至甘肃境内其宽度越来越大,形成一个类似向西的喇叭口。在武都一文县的所

谓的“勉略带”内包括了从奥陶系—石炭系和中生代陆相沉积地层。在文县临江河口所出露的原震旦纪灯影组结晶灰岩中采到个体较小的腕足类化石,应为奥陶—志留纪地层。在结晶灰岩以下为大套的黑色板岩系,它和康县的大堡群相同,而在康县大堡曾采到 *Paraorthograptus typicus*, *P. Hubeiensis*, *Climacograptus cf. supernus*, *C. longispinus*, *Orthograptus cf. truncatus* 等化石,因此将大堡群划为上奥陶统。这样“勉略带”在武都文县境内是以奥陶系、志留系为主体,没有见到代表蛇绿岩的超镁铁岩块,也没有构造混杂现象。勉略带向东是否能延伸到东秦岭是很可疑的。我们对勉县茶店、长坝和汉中天台山地区原划归泥盆系、石炭系和志留系的地层研究表明,出露于这一带的地层为结晶变质岩和含石墨大理岩,其变质、变形与古生代完全不协调,应为前寒武纪单元(Pt₁—Pt₂)。在黑河流域除了中深变质的结晶岩石和含石墨大理岩外,还出露有太古宙至古元古代的石英岩(张传林等,1999)。因此,勉略蛇绿岩没有越过勉县向东延伸进入东秦岭构造带。

勉略带的蛇绿岩被限制于勉略宁地块出露的北部边界不是偶然的。很显然,它的形成与勉略宁地块密切相关。分布于勉略带的蛇绿岩及火山岩是通过构造走滑作用卷入的晋宁期沟-弧体系。

2 北秦岭造山带的蛇绿岩

2.1 松树沟蛇绿岩

北秦岭商丹带是指古元古界秦岭群以南、早古生界刘岭群以北的一个构造带。在这一构造带内部包括了中新元古界丹凤群以及从刘岭群中解体出来的中元古界武关群(裴先治,1998)。在丹凤群以北的秦岭群中出露了秦岭造山带中保存最完整的蛇绿岩——松树沟蛇绿岩。它“侵位”于古元古界秦岭群的片岩、片麻岩及混合岩中。前人对松树沟蛇绿岩做了大量的研究工作,积累了丰富的资料(张泽军,1991;李曙光等,1991;张泽军等,1992;张维吉等,1996)。松树沟蛇绿岩由超镁铁岩块(变质橄榄岩和堆晶橄榄岩)及镁铁质岩块(斜长角闪岩、榴闪岩、角闪石岩及石榴辉石岩等)组成。其中的超镁铁岩地质地球化学特征表明,具有低的 SiO₂、TiO₂, 高 MgO、<FeO>, Cr₂O₃>NiO, Na₂O、K₂O 均较低,且 Na₂O>K₂O。岩石化学组成表明既有阿尔卑斯型超镁铁岩(主要是纯橄榄岩),也有超镁铁质堆晶岩型。稀土元素(REE)中,阿尔卑斯型纯橄榄岩 REE 丰度明显低于地幔均值, LREE 与 HREE 具有较明显的分异。堆晶岩系列的岩石具有平坦的 REE 配分模式, ΣREE 接近地幔值。根据 REE 所反映的源区特征,推测超镁铁岩来自不同程度贫化的地幔。在微量元素(TE)中,大离子亲石元素 Rb、Ba、Th、K、Ta、Hf、Zr 高于原始地幔值,而过渡族元素中 Fe、Co、Ni、Ti 低于原始地幔值。REE 和 TE 所反映的地幔岩性质存在相互矛盾的一面,这可能暗示深熔后的地幔残余曾被富含大离子元素的流体交代,这种交代作用一般发生在超镁铁岩构造侵位过程中。

镁铁质岩的 SiO₂ 均低于 52% (45%~50%), CaO、TiO₂、MgO、FeO 等所反映的成岩环境属于 MORB 和 OIB, 为拉斑系列(TH)。微量元素地球化学显示了 MORB-WPB 的过渡类型, 而 REE 则具有 T-MORB 和 E-MORB 的特征, 与 N-MORB 差异较大(裴先治,1998)。这可能暗示了岩石在“侵位”过程中或“侵位”之后受到流体的交代。镁铁岩的 Nd 组成(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 值在 0.512651~0.512917)及 ε_{Nd}(*t*) (介于 +4.1~+6.4 (*t*=1124 Ma))(张泽军等,1992)说明岩石来自亏损地幔源区。

李曙光等(1991)在松树沟榴闪岩中获得全岩-矿物 Sm-Nd 等时线年龄为 983±140 Ma,

全岩 T_{DM} 为 1089~1252 Ma, 另外还测 1030 Ma 的全岩 Sm-Nd 等时线年龄(董云鹏等, 1997), 表明蛇绿岩形成不晚于 1000 Ma, 于 980 Ma 左右发生构造侵位及角闪岩相的变质作用。最近姜常义等(1998)在商丹带的西延带商州发现另一条蛇绿岩, 测得 Sm-Nd 同位素年龄为 832 ± 31.6 Ma, 亦为晋宁期的蛇绿岩。

对于松树沟蛇绿岩的形成环境以及形成时代是没有争议的。它记录了中新元古代洋盆扩张及闭合的构造演化过程。

2.2 丹凤群和二郎坪群中的蛇绿岩

丹凤群出露于秦岭群以南, 对它的认识是讨论北秦岭构造演化的关键所在。西安地质学院的填图工作(张维吉等, 1996)表明, 它的主体由斜长角闪岩、片(麻)岩、大理岩及变粒岩等中深变质岩组成。其中的镁铁质岩石(以斜长角闪岩为主)为正变质岩。这些深变质岩石与混杂其中的浅变质岩在露头上易于区分。从变质、变形特征分析, 它们显然不是同一时代的产物, 过去由于在浅变质岩中发现早古生代的化石而将它们统归于早古生代。

丹凤群火山岩中已获得的同位素年龄分布于两个时限, 一个是 400~450 Ma, 一个是 830~1000 Ma, 其中大于 800 Ma 的年龄主要是近年在深变质火山岩中取得(杨志华等, 1999)。这样丹凤群火山岩与含晚寒武世—早奥陶世古生物化石的正常沉积岩之间相差 400~500 Ma, 这一结果与野外地质观察所得出的结论一致, 即丹凤群中深变质火山岩不属于早古生代, 而是前寒武系。统计其中具有蛇绿岩性质的火山岩(以细碧岩为主)年龄均分布于 800~1000 Ma (表 1)。因此丹凤群中深变质的火山岩系是新元古代早期板块构造演化的记录, 早于丹凤群的火山—沉积岩系(中元古代武关群)所反映的构造环境具有明显的裂谷性质(裴先治, 1998), 反映了秦岭中元古代大陆裂解初期的构造背景(裂谷)。

二郎坪群分布于秦岭群以北、宽坪群以南。与二者均为构造接触。前人对二郎坪群中的蛇绿岩进行了总结, 其岩石组合包括变质橄榄岩(刘国惠等, 1993)、堆积杂岩、岩墙群及细碧角斑岩, 且以细碧角斑岩为主。岩石化学及地球化学特征反映了洋-陆过渡带的构造环境。由于在河南南召县及陕西夏馆早古生代化石的发现, 过去将二郎坪群的时代厘定为早古生代。然而对二郎坪群中火山岩的同位素测年发现, 代表蛇绿岩组成的细碧角斑岩年龄为 700~1000 Ma (表 1), 显然属于晋宁期的产物。从所发现的化石类型分析, 主要为珊瑚、腕足、头足、腹足、海百合茎等, 这些化石属于浅水环境的产物, 因此它们与代表蛇绿岩组合的岩石属于不同时代、不同形成背景的产物, 二者通过后期的构造作用混杂到一起。

近年在北秦岭一个重要研究进展是从丹凤群、秦岭群及二郎坪群中解体出大量的晋宁期的花岗岩, 并获得 973.9 ± 85.9 Ma 的 Sm-Nd 同位素年龄。另外, 分布于德河、蔡凹、黄柏峪等地的花岗岩年龄为 793~659 Ma (张宏飞等, 1995), 西峡似斑状花岗岩年龄为 794 Ma, 商南花岗岩体年龄为 889 Ma (裴先治, 1996)。由于这些同位素测年资料的积累, 经区域统计发现, 在北秦岭晋宁期的花岗岩数量上远远大于加里东期花岗岩。将北秦岭晋宁期的花岗岩及火山岩从丹凤群、二郎坪群、宽坪群中解体出来后, 对剩下的具有可靠的古生物及同位素证据的早古生代火山岩进行了详细的岩石学及岩石地球化学研究(姜常义等, 1998), 结果表明: 北秦岭早古生代火山岩大多与数量不等的碳酸盐岩及陆源碎屑岩共生, 而且在正常沉积岩中含有寒武纪—奥陶纪浅水相底栖生物化石, 变质程度均不超过低绿片岩相, 与前寒武纪地层高绿片岩相以上的变质特征形成明显差异。岩石化学及地球化学表明它们为一套双峰式火山岩, 属于地幔主动上涌的裂谷环境的产物。

3 关于秦岭造山带中的放射虫硅质岩的讨论

前人认为秦岭古生代发育了洋盆的重要证据之一是在南、北秦岭均发现了放射虫硅质岩。根据郭令智等(2000)最新总结,放射虫多是浅海相的,它是一种浮游生物,形成于200m深度内的浅海,如现代挪威北部大陆架中就有放射虫存在,在扬子地区的二叠纪孤峰组中也有放射虫硅质岩,显然形成于陆表海环境。事实上能够沉到深海海底的放射虫是罕见的。因此判断放射虫硅质岩的形成环境应注意两个方面的问题:一是与放射虫硅质岩密切共生的沉积岩特征;二是放射虫硅质岩的沉积地球化学特征。由于地球化学特征受后期变质作用的影响,因此前者是判断硅质岩形成环境的主要依据。

分布于北秦岭湾潭地区的早古生代放射虫硅质岩是与酸性火山岩和成熟度很低的陆缘碎屑岩共生的。酸性火山岩是产在地幔主动上涌的裂谷环境,其基底是陆壳,相应的碎屑岩成熟度低,不可能是深海背景。

分布于南秦岭勉略带的晚古生代放射虫硅质岩(Feng et al., 1996)与一套砾岩及杂砂岩共生,其 δCe 差异不大,在0.63~1.17之间,高于大洋环境的硅质岩(洋中脊硅质岩 δCe 为0.3;大洋盆地为0.55, Murray, 1994),而与大陆边缘环境的硅质岩一致(其 δCe 为0.79~1.54)。Al/(Al+Fe+Mn)值(原子数比)是判断硅质岩沉积环境辅助标志之一(Rangin et al., 1981),该比值随着远离扩张中心距离的增大而增高,并且与热液系统的影响有关。勉略带8件样品的Al/(Al+Fe)值为0.50~0.82,平均0.54,只有极个别样品的Al/(Al+Fe)值小于0.2(盛吉虎等, 1997),这说明其形成的环境不可能是深海。

根据上述分析,我们认为秦岭造山带中的放射虫硅质岩均形成于以陆壳为基底的沉积海盆中,它们不是蛇绿岩的组成部分,因此不能作为洋壳发育的证据。

4 讨论

4.1 秦岭蛇绿岩分布特征与秦岭中新元古代板块构造演化

秦岭蛇绿岩具有明显的区域性,即都是产于古陆块(主要由Ar—Pt₁的地质体组成)内部或是围绕古陆块分布,北秦岭及勉略宁地区均是如此,而在大片的古生界及三叠系分布区,却没有蛇绿岩的踪迹,这从一个侧面说明蛇绿岩的形成与这些古陆块(地体)有关。

综上所述,出露于北秦岭原认为是早古生代的蛇绿岩和出露于南秦岭原认为是晚古生代的蛇绿岩,均属于前寒武纪蛇绿岩。这些蛇绿岩记录了晋宁期秦岭板块构造演化过程。依据同位素年代学资料,自中元古代以来(具体时间尚待进一步研究),由于在晚太古—古元古代形成的统一的初中国陆块(杨志华, 1997)的裂解,形成古秦岭洋,华北板块与扬子板块分离(图2a),然后从扬子板块北缘裂解出去秦岭地体群,这些地体群包括北秦岭地体、大别地体、佛坪地体、陡岭地体、勉略宁地体等(图2b),这些地体构成秦岭微板块。在二郎坪群中的枕状熔岩的年龄是 945 ± 67 Ma,而松树沟蛇绿岩的年龄为983 Ma,因此推测北秦岭地体拼贴于华北板块南缘的时间与北秦岭地体与其南侧的以陡岭群为代表的陡岭地体拼贴的时间近于一致(约850~1000 Ma)(图2c、d)。在南秦岭,此时以勉略蛇绿岩为代表的中新元古代勉略洋处于消减阶段,分别向增生的华北板块和扬子板块下俯冲,于800 Ma左右,洋盆消失,扬子与华北联为一体,随后发育了由北向南的逆冲推覆(陶洪祥等, 1993)(图2e)。

晋宁期的造山事件在中国大陆表现明显,秦岭南、北带的蛇绿岩是扬子板块与华北板块最

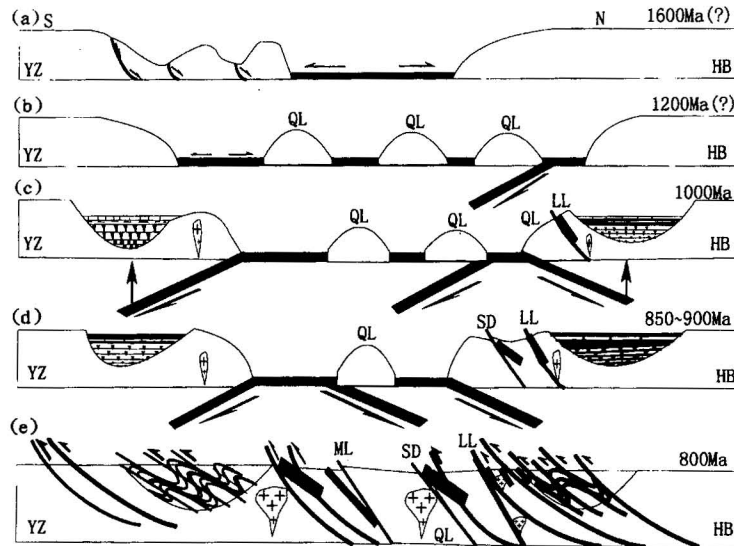


图2 秦岭造山带中新元古代板块构造演化模式(说明见正文)

Fig. 2 Meso-Proterozoic—Neo-Proterozoic plate tectonic evolution model of the Qinling orogenic belt
(see detail in the text)

YZ—扬子板块; QL—秦岭微板块; HB—华北板块; LL—栾川—洛南缝合带; SD—商丹缝合带; ML—勉略缝合带
YZ—Yangtze plate; QL—Qinling micro-plate; HB—Huabei (North China) plate; LL—Luanchuan—Luo Nan suture zone;
SD—Shangdan suture zone; ML—Mianlue suture zone

终在 800 Ma 左右拼合的直接证据。在这一时期,华南板块与扬子板块发生碰撞、拼合(郭令智等,1984, Shu et al., 1996);塔里木—中朝板块与扬子板块碰撞,由此形成了统一的古中国板块。

4.2 秦岭震旦纪—三叠纪构造演化

在讨论秦岭震旦纪—三叠纪的构造演化之前,先澄清以下几个问题:① 由于分布于南、北秦岭的蛇绿岩均为前寒武纪蛇绿岩,迄今为止尚没有可靠的显生宙的蛇绿岩报道,因此我们认为在秦岭古生代时期没有发育洋壳,其沉积盆地是以陆壳为基底的海盆而不是以洋壳为基底的洋盆;② 在北秦岭,由于分布有大量的 400~450 Ma 的同位素测年数据,使大多数地质学家认为北秦岭为加里东造山带(包括碰撞不造山的“软碰撞”模型),然而在北秦岭迄今没有发现加里东造山事件的地层学证据。我们在西秦岭北带对原认为是晚泥盆世的磨拉石的大草滩群的解体^①,证明在北秦岭不存在早于石炭纪的磨拉石。杨志华等(1997, 1999)多次论述在东秦岭造山带中上、下古生界之间的平行不整合以及微角度不整合是伸展扩张的构造表现,在西秦岭中带,上、下古生界为整合接触(张传林等,1998)。北秦岭 400~450 Ma 的同位素年龄很可能记录了秦岭早古生代后期大陆由较稳定的发展阶段(局部有裂解)向强烈裂解阶段转换的构造热事件,而不代表造山事件。

综合上述,将秦岭自震旦纪以来至中三叠世末的构造演化概述如下:① 秦岭造山带经历

① 张传林. 2000. 西秦岭北带大草滩群的解体及其地质意义. 地层学杂志(待刊).

了晋宁期的大洋岩石圈 B 型俯冲到陆-陆碰撞的造山事件后,有一个震旦纪至早奥陶世相对稳定时期,局部有裂解(图 3a)。从中奥陶世开始,统一的古中国板块进入强烈裂解时期(图 3b),形成东西向裂陷盆地与南北向裂陷盆地共存的格局。大致沿太白—佛坪—汉南—一线,形成一个古隆起带,由于它的存在和隔挡,使东西两个凹陷区的志留—三叠系在岩性、厚度及物质上形成差别,清楚地反映出秦岭从东到西大地构造环境的变化。在西秦岭造山带内,早古生代与晚古生代之间的接触为整合关系,在上古生界底部不发育底砾岩,为连续沉积。西秦岭显生宙沉积总体表现为扩张海盆的沉积建造,由于裂陷深度的差异造成沉积建造在时空上的变化^①;②自晚泥盆世末期,在北秦岭首先发生陆内 A 型俯冲造山(图 3c)。广布于北秦岭(东部),如太白、周至、户县、商县、山阳、洛南一带的下石炭统草凉驿组为典型的磨拉石沉积,另外在王小涧、柳叶河等地还分布有中石炭统和二叠纪陆相砂砾岩,据此分析,北秦岭是晚海西期的褶皱造山带。在南秦岭,扬子区的大海退最早形成于中三叠世安尼期,这由郭家山组生物组合具有华南型与特提斯型混生现象以及岩相上的过渡性所证实(霍福臣等,1995)。拉丁期海退进入高峰,扬子海域从南秦岭分区向南完全退出。构造形迹表明,海退系造山运动所致。由于在旬阳地区(南秦岭)发现古生界发育于印支期由南向北的逆冲推覆构造,所以有理由认为秦岭在这一时期发生过双向陆内 A 型俯冲造山作用(图 3d);③秦岭显生宙裂陷海盆最终关闭于中三叠世末期,形成一系列的由北向南的叠瓦式逆冲推覆构造(图 3e)。在 200~240 Ma 之间大规模的岩浆活动以及变质地层中也大量分布 200~240 Ma 的年龄值也是秦岭印支造山事件的另一重要表现。

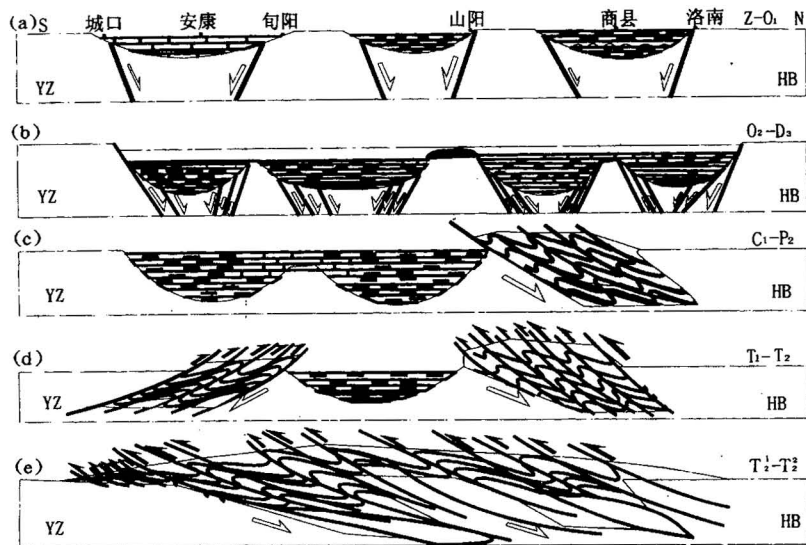


图 3 秦岭造山带震旦纪—三叠纪构造演化模式(说明见正文)

Fig. 3 Sinian—Triassic tectonic evolution model of the Qinling orogenic belt

(see detail in the text)

YZ—扬子板块; HB—华北板块

YZ—Yangtze plate; HB—Huabei (North China) plate

① 张传林, 1999. 西秦岭造山带地壳结构特征及其地球动力学演化. 南京大学博士论文.

秦岭的印支事件导致了秦岭自震旦纪至中三叠世发育在陆壳基底上的海盆沉积全面褶皱成山,形成中国板块和中(期)秦岭造山带,是全球新泛大陆(Pangea 大陆)事件在中国的具体表现。

5 秦岭蛇绿岩对大别—秦岭构造演化的制约

前面讨论了秦岭自中元古代至三叠纪两个阶段的构造演化。由于在大别山及东秦岭发现的榴辉岩有大量的 220~240 Ma 的同位素年龄。目前绝大多数的地质学家认为大别山榴辉岩是在印支期扬子板块向华北板块之下 A 型俯冲达 100km 以上形成的超高压变质岩,然后快速折返至地表。然而值得注意的是大别山榴辉岩的 Ar-Ar 年龄均大于 800 Ma,李曙光(1998)认为是 Ar 过剩引起的。但在华南及天山地区,Ar-Ar 年龄却与地质分析所得出的高压—超高压变质岩形成年龄一致,因此大别山地区榴辉岩 Ar-Ar 年龄所代表的地质意义仍有待研究。另外在东秦岭、大别山地区超高压变质岩以及南秦岭蓝片岩中也有晋宁期的年龄。由于在秦岭造山带中不存在可靠的古生代的蛇绿岩,其海西—印支期的造山是陆内 A 型俯冲造山。因此我们认为秦岭—大别山的榴辉岩有两种可能的形成背景:①所有的榴辉岩均形成于晋宁期板块俯冲碰撞造山阶段,大部分榴辉岩是在印支期折返的,印支期的年龄是这次事件的记录;②印支期的陆内 A 型俯冲形成了榴辉岩,榴辉岩的折返是通过基底逆冲来实现的(赵宗溥,1995)。具体细节尚须大量工作。

本文承蒙郭令智教授指导,谢寰克教授审阅了全文并提出修改意见,在此谨致谢忱。

参 考 文 献

- 董云鹏,周鼎武. 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): 207~212.
- 郭令智,舒良树,卢华复等. 2000. 中国地体构造研究综述. 南京大学学报, 36(1): 1~17.
- 郭令智,施央申,马瑞士等. 1984. 中国东南部地体构造研究. 南京大学学报, 20(4): 732~739.
- 霍福臣,李永军. 1995. 西秦岭的建造与地质演化. 西安:西北大学出版社, 12~36, 66~93.
- 姜常义,魏合明,赵太平等. 1998. 北秦岭侵入岩带与晋宁运动. 北京:地质出版社, 77~91.
- 赖少聪. 1997. 秦岭造山带勉略缝合带超镁铁岩的地球化学特征. 西北地质, 18(3): 36~45.
- 赖少聪,张国伟,杨永成等. 1998. 南秦岭勉略结合带蛇绿岩与岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义. 地球化学, 27(3): 283~293.
- 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橄榄岩体:北秦岭晚元古板块构造体制的证据. 地质论评, 37(3): 236~242.
- 李曙光,孙卫东,张国伟等. 1996. 南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学. 中国科学(D 辑), 26(3): 223~230.
- 李曙光. 1998. 大陆俯冲化学动力学. 地学前缘, 5(4): 211~234.
- 刘国惠,张寿广,游振东等. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化. 北京:地质出版社, 23~25, 68~85.
- 裴先治. 1996. 北秦岭商南花岗岩体的地球化学特征及其形成的构造环境. 西安地质学院学报, 18(3): 29~35.
- 裴先治. 1998. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化. 西安地图出版社, 51~83.
- 裴先治,孙勇,陈亮等. 1999. 阿尼玛卿构造带非史密斯地层及其地质意义. 地质构造学刊, 9(1): 1~10.
- 任纪舜. 1991. 论秦岭造山带—中朝与扬子板块的拼合过程. 见:秦岭造山带学术讨论会论文集. 西北大学出版社, 99~110.
- 任纪舜. 1995. 中国大陆构造研究的重大进展. 地质论评, 41(4): 386~387.
- 盛吉虎,杜远生,冯庆来等. 1997. 南秦岭勉略蛇绿混杂岩带硅质岩沉积环境研究. 地球科学, 22(6): 599~602.
- 陶洪祥,何恢亚,王全庆等. 1993. 扬子板块北缘构造演化史. 西安:西北大学出版社, 1~46.
- 薛锋,张国伟. 1993. 秦岭造山带丹凤岛弧火山岩系的岩石组合与地球化学特征. 地球化学, (1): 80~92.

- 许继锋,于学元,李献华等. 2000. 秦岭勉略带中鞍子山蛇绿杂岩的地球化学. 地质学报, 74(1): 39~50.
- 徐树桐,江来利,刘贻灿等. 1992. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程. 地质学报, 66(1): 1~14.
- 殷鸿福,张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特点. 地球科学, 23(5): 437~442.
- 杨志华. 1997. 秦岭造山带南北向构造及有关问题的讨论. 地质论评, 43(1): 10~16.
- 杨志华,邓亚亭. 1999. 关于秦岭造山带结构与演化几个问题的再认识. 高校地质学报, 5(2): 121~136.
- 张国伟,孟庆仁,赖绍聪. 1995. 秦岭造山带的结构构造. 中国科学(B辑), 25(9): 994~1003.
- 张国伟,孟庆仁,于在平等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑), 26(3): 193~200.
- 张宗清,唐索寒,王进辉等. 1994. 秦岭蛇绿岩的年龄: 同位素年代学和古生物证据. 矛盾及其理解, 见“蛇绿岩研究”. 北京: 地质出版社, 146~149.
- 张宗清,唐索寒,宋彪等. 1997. 秦岭造山带晋宁期强烈地质事件及其构造背景. 地球学报, 18(增刊): 43~45.
- 张维吉,王全庆,胡能高等. 1996. 东秦岭地质走廊研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 77~108.
- 张泽军. 1991. 松树沟超镁铁岩岩石化学特征及其成因意义. 西安地质学院学报, 12(2): 21~28.
- 张泽军,安三元. 1992. 松树沟超镁铁岩成因的地球化学证据. 地球化学, 21(2): 175~181.
- 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.
- 张宏飞,赵志丹,骆庭川等. 1995. 从岩石的 Sm-Nd 同位素模式年龄论北秦岭地壳增生和地壳深部性质. 岩石学报, 11(2): 203~212.
- 张传林,杨志华. 1998. 甘肃西和一成县地区区域构造演化. 中国区域地质, 17(2): 208~212.
- 张传林,朱立华,章扬松. 1999. 南秦岭勉略洋是否存在? 地质构造学刊, 9(1): 26~34.
- 赵宗溥. 1995. 试论陆内型造山作用——以秦岭—大别山造山带为例. 地质科学, 30(1): 19~28.
- Ames L., Tilton G R., Zhou G. 1993. Timing of collision of Sino-Korean and Yangtse Cratons: U-Pb Zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 21(3): 39~342.
- Bradley R., Hacker C., Ratschbacher L., Webb, et al. 1995. What brought them up? Exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure rocks. *Geology*, 23(8): 743~746.
- Feng Q L., Du Y S., Yin H F., et al. 1996. Carboniferous radiolaria fauna firstly discovered in Mian-Lue ophiolitic melange belt of South Qinling mountains Science in China (series D). 39(supp.): 87~92.
- Lai Shaocong, Zhang Guowei. 1996. Geochemical features of the ophiolite in Mianxian-Lueyang Suture Zone, Qinling Orogenic Belt, *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 7: 165~172.
- Maruyama S., Liou J G., Zhang R. 1993. Tectonic evolution of the ultrahigh-pressure (UHP) and high-pressure (HP) metamorphic belts from central China. *Island AM*. 3: 112~121.
- Meng Qingren, Zhang Guowei. 1999. Timing of collision of the North and South China blocks: controversy and reconciliation. *Geology*, 27(2): 123~126.
- Arvin M., Shokri E. 1997. Genesis and eruptive environment of basalts from the Gogher ophiolitic melange, Southwest of Kerman, Iran. *Ophiolite*, 22(2): 175~182.
- Murray R W. 1994. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. *Sedimentary Geology*, 90: 213~232.
- Okay A I., Sengor A M C., Sutir M. 1993. Tectonics of an ultrahigh-pressure metamorphic terrance, the Dabie Shan/Tongbai Shan orogen, China. *Tectonics*, 12: 1320~1334.
- Rangin C., Steinberg M., Bonnot Countois C. 1981. Geochemical of Mesozoic bedded cherts of central Baja California (Vizcaino—Cedros—San Benito) ; implications for paleogeographic reconstruction of and old oceanic basin. *Earth Planet Sci Lett*, 54: 313~322.
- Shu Liangshu, Charvet Jacques. 1996. Kinematic and geochronology of the Proterozoic Dongxian—Shexian Sheer zone (Jiangnan region, South China). *Tectonophysics*, 267: 291~302.
- Wang X M., Ma H K. 1989. Coesite-bearing eclogite from Dabie mountains in central China. *Geology*, 17: 1085~1088.
- Xu S T., Okay A L., Ji S., et al. 1992. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication from tectonic setting. *Science*. 256: 80~82.

Two Ophiolite Belts in the Qinling Orogen and Their Constraints on the Tectonic Evolution of the Qinling—Dabie Orogen

Zhang Chuanlin¹⁾ Dong Yongguan¹⁾ Yang Zhihua²⁾

1) *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016*

2) *Department of Geology, Xi'an Engineering College, Xi'an, 710054*

Abstract

Previous data concerning ophiolites in the Qinling orogen have been collected. On the basis of a study of these data combined with the authors' work, the authors put forward the following views about the age and tectonic setting of the ophiolite belts in the South and North Qinling and their constraints on the tectonic evolution of the Qinling—Dabie orogen: (1) There exists no reliable Phanerozoic ophiolite in the North Qinling, and the Songshugou ophiolite in the Shangdan tectonic belt of the North Qinling, which is most complete in the Qinling orogen, was formed before 1000 Ma B. P. and emplaced in the Qinling Group at about 980 Ma B. P. The ultramafic rocks occurring in the Danfeng Group and Erlangping Group might not be typical ophiolites and were formed before 800 Ma. They and the early Palaeozoic fossil-bearing sedimentary rocks in the same tectonic belt were formed in different ages and tectonic environments. (2) The ophiolite in the Mianlue tectonic belt in the South Qinling is the record of the Middle—Late Proterozoic oceanic basin, which closed in the Jinningian stage. (3) Phanerozoic radiolarian cherts in the Qinling was formed on the continental basement and cannot be considered as evidence of the development of oceanic crust. (4) A new evolutionary model of the Qinling—Dabie orogen is proposed in this paper. The period from the Middle Proterozoic to early Late Proterozoic in the Qinling was a stage of the evolution of the plate tectonic regime; the Phanerozoic sedimentary basin in the Qinling was a sea basin developing on the continental crustal basement, rather than an oceanic basin on the oceanic crustal basement; the Phanerozoic intracontinental A-type subduction orogeny of the Qinling resulted in the complete annihilation of the sedimentary sea basin at the end of the Triassic. All the above views cast doubt on the formation and exhumation mechanism and timing of eclogite in the Dabie—East Qinling orogenic belt.

Key words: Qinling; ophiolite; tectonic evolution; Jinning orogeny

作者简介

张传林,男,1968年生。2000年毕业于南京大学地球科学系,获博士学位。现主要从事区域大地构造研究。通讯地址:210026,江苏南京市中山东路534号,南京地质矿产研究所。