

北秦岭新元古代前 属于扬子板块的地球化学证据^{*}

张本仁¹ 韩吟文¹ 许继锋² 欧阳建平¹

(1. 中国地质大学地球化学研究所, 武汉 2. 中国科学院广州地球化学研究所)

摘 要 秦岭是扬子板块和华北陆块间的复合造山带, 其中存在两个古缝合带。北面的新元古代到早古生代商 - 丹缝合带介于北秦岭和南秦岭之间; 南面的晚古生代勉 - 略缝合带形成于南秦岭与扬子陆块北缘之间, 属于确知的扬子陆块内部打开形成的类型。北秦岭在地壳增生历史, 元古宙上地幔性质, 以及元古宙以来地幔相对富 Nb、Ta、Cu, 高 Rb/ Sr、Ba/ Sr、Ba/ La、Th/ La、Nb/ Ta 比值和相对贫 Fe、Mo 方面均与南秦岭和扬子陆块北缘一致, 而与华北陆块南缘明显不同。变玄武岩类的 Pb 同位素三维空间拓扑图和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图显示, 区域一级地球化学界面位于北秦岭与华北陆块的分界处, 二级界面才是商丹 - 缝合带。构造侵位于该带中的松树沟蛇绿岩 (1000 Ma \pm) 中已发现并存在着 N - MORB 和 E - MORB 型变拉斑玄武岩, 表明它们的岩浆分别来自亏损地幔和深部地幔热柱源区。松树沟蛇绿岩与勉 - 略蛇绿岩中的 N - MORB 型岩石具有彼此相似的同位素组成和特征元素对比值, 暗示松树沟蛇绿岩所代表的古洋壳也应属于扬子板块内部型。加之, 新元古代之前秦岭只存在裂谷系而无板块结合带, 故可确定北秦岭原来应属于扬子板块的组成部分。对秦岭群和宽坪群变拉斑玄武岩及松树沟 E - MORB 和 N - MORB 进行地球化学对比的结果, 既能够支持北秦岭是在扬子板块的洋壳洋岛基础上发展形成的微陆块的推断, 又可解释北秦岭幔源岩石具有特高 Th/ La、Yb/ Hf、Sc/ Th 比值和壳幔更富于放射成因铅的原因。此外, 对本研究结果在秦岭造山带发展动力学方面的意义也进行了初步讨论。

关键词 秦岭造山带 北秦岭 扬子板块 地球化学分区 地幔源区化学特征
分类号 P596

1 前 言

秦岭是华北陆(板)块与扬子陆(板)块之间的巨型复合造山带, 近年来对其进行的多学科研究取得了很大的进展。地质和古生物地理学研究已确定华北和扬子为具有不同发展历史的

本文 1998 年 8 月收到。

^{*}国家自然科学基金资助项目, 编号: 49290102。

第一作者简介: 张本仁, 男, 1929 年 5 月生, 1952 年毕业于南京大学地质系, 现任中国地质大学地球化学研究所教授、博士生导师。长期从事区域地球化学、造山带地球化学及成矿和勘查地球化学研究。通讯地址: 武汉市中国地质大学地球化学研究所; 邮政编码: 430074。

不同陆块^[1, 2]。在此基础上,通过沉积岩和花岗岩等壳源岩石的 Nd 模式年龄已揭示了两陆块不同的地壳增生历史,证明华北地壳主体形成于 3.8 ~ 2.5 Ga 的太古宙,并且 2.2 ~ 1.8 Ga 的古元古代也是一个地壳增生期;而扬子地壳主体形成于 2.2 ~ 1.3 Ga 的古和中元古代,并且存在着中、新太古代基底或陆核^[3~6]。基于前寒武纪玄武岩类的 $Nd(t)$,已经确定华北陆块上地幔于整个太古宙和古元古代一直处于 $Nd(t)$ 值接近 +3 的稳定状态^[7],华北陆块南缘上地幔具有类似的规律($Nd(t)$ 介于 +2.9 ~ +2.2)^[5];而扬子陆块北缘上地幔 $Nd(t)$ 于古、中元古代期间基本沿亏损地幔(DM)的演化线演化^[5]。中国东部大尺度的铅同位素填图证明,扬子陆块的壳幔与华北陆块壳幔相比具有明显富集放射成因铅的 Pb 同位素组成^[8, 9],在秦岭及其邻区开展的详细铅同位素填图,也肯定了在扬子北缘和华北南缘壳幔之间存在着同样的规律^[10]。扬子北缘和华北南缘壳、幔化学成分方面也显示某些规律性的差别^[11, 12]。所有这些结果一致表明,华北板块和扬子板块早期应为独立发展的陆块,或不同古陆的裂解部分。

产于商-丹断裂带中的松树沟新元古代蛇绿岩片(1250 ~ 1100 Ma)近年来得到了较全面深入的研究,其岩石组合、岩石地球化学及变质作用动力学特征一致表明该蛇绿岩片具有古洋壳残留体性质^[13~16],在其中以较充足的证据鉴别出具有 E-MORB 和 N-MORB 地球化学特征的变拉斑玄武岩^[14],以及由这两类岩浆混合形成的过渡型洋脊玄武岩(T-MORB)^[13, 15]。晚古生代勉-略蛇绿构造混杂岩带(硅质岩中含早石炭世放射虫化石)的发现与确认是近年秦岭研究的又一重大进展,在该带中已确切地鉴别出蛇绿岩套的主要岩石组合,以及具有 N-MORB 化学特征的变拉斑玄武岩和基性到酸性的岛弧型变质火山岩^[17, 18],肯定了该构造带具有板块间俯冲碰撞结合带的性质,表明晚古生代期间在扬子陆块北缘和南秦岭之间曾打开展着勉-略小洋盆。这些结果不仅揭示了新元古代以来秦岭三个板块沿两个会聚带俯冲、碰撞的复杂历史,而且还提供了由蛇绿岩示踪洋壳、洋幔化学特征,进而探索构造分区的基础。

多数研究者一般将商-丹主缝合带南侧的南秦岭归属于扬子陆块,而将该带北侧的北秦岭视为华北陆块组成或裂解部分,主要根据是南秦岭和扬子陆块在地层和沉积特征方面存在许多相似性,而北秦岭在这方面就显示出与前两者的差异。然而,朱炳泉在开展中国东部铅同位素填图过程中,依据北秦岭的少数岩石样品具有较高 Pb 同位素比值,首次将整个秦岭造山带划归扬子 Pb 同位素省^[8]。笔者的研究发现,南秦岭在地壳增生历史、早期上地幔性质和演化趋势,以及基底岩石和中生代花岗岩类长石显示相对高的 Pb 同位素比值等方面均与扬子陆块北缘相近似,从而支持了南秦岭属于扬子板块的认识。然而,北秦岭在地壳增生历史、元古宙上地幔性质和演化趋势以及基底岩石和花岗岩类长石 Pb 同位素比值等方面,既明显不同于华北陆块及其南缘,又有不同于南秦岭和扬子北缘之处。此外,北秦岭早、中元古代变拉斑玄武岩的 Yb/Hf、Th/La 和 Nb/La 比值一致高于华北南缘的新太古代和古元古代变拉斑玄武岩,表明北秦岭早期上地幔与华北上地幔在化学特征上也是不同的。据此,可以得出北秦岭原本不是华北陆块的组成部分,而应是独立发展的微陆块的结论^[10, 19]。然而,当时未去探索该微陆块的构造归属问题。本文试图在原有壳、幔同位素示踪成果,并作某些充实和改进的基础上,通过加强区域上地幔微量元素分区研究,补充洋壳、洋幔特征及古、中元古代构造性质的探索和分析,结合查明北秦岭与扬子之间存在某些差异的原因,以期对北秦岭早期的构造归属作出判别。

2 北秦岭的壳、幔演化特征

2.1 地壳增生历史

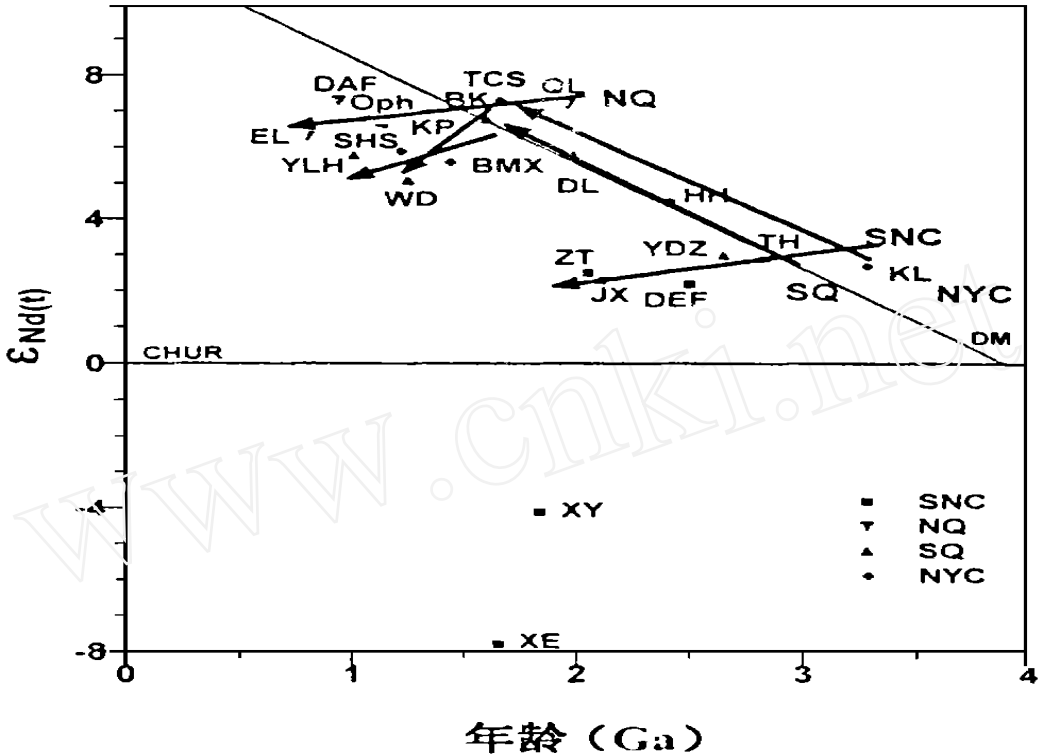
区域地壳增生历史是通过沉积岩、变质沉积岩和花岗岩类等壳源岩石的 Nd 同位素模式年龄来揭示的。在东秦岭四个构造单元的 350 余件壳源岩石 Nd 同位素数据基础上,按单阶段模式计算了岩石相对于亏损地幔(DM)的 Nd 模式年龄,并据之编制了四个构造单元岩石的 Nd 模式年龄分布频率直方图^[5, 10]。北秦岭和南秦岭的直方图显示,岩石 Nd 模式年龄的高频率均分布于 2.2 ~ 0.8 Ga 的范围内,并且两者频率的峰值均分别出现于大约 2.1 Ga 和 1.1 Ga。这表明北秦岭和南秦岭成壳主期均为古元古代和中元古代,并且一致以 2.1 Ga 和 1.1 Ga 左右为地壳的两个强烈增生期。北秦岭与南秦岭地壳主体形成于古元古代和中元古代,这是它们两者与扬子陆块相同之处,同时也是它们明显不同于华北陆块及其南缘之点,后者的地壳主体形成于太古宙和古元古代。华北陆块南缘出露的中元古代熊耳群(1650 ± 26 Ma)火山岩系中的基性岩石显示出较高的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.7061 ± 11)、低的初始 $\text{Nd}(t)$ 值(-7.8 ~ -7.3)和远老于其形成年龄的 Nd 模式年龄($T_{\text{DM}} = 2.7 \sim 2.8 \text{ Ga}$);其中中酸性岩石具有更高的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.7086 ~ 0.7457)和更低的初始 $\text{Nd}(t)$ 值(最低达 -14.1)^[20]。这些数据表明不仅中酸性火山岩应属于壳源成因,而且基性火山岩的物质也主要来自地壳。这一事实说明,华北陆块南缘地壳的发展自中元古代开始已进入了壳内物质再循环为主、新生地壳物质加入为辅的阶段。

然而,北秦岭的地壳增生历史也有明显不同于南秦岭和扬子陆块的方面,表现为扬子陆块和南秦岭地壳中都存在太古宙基底(分别为中-新太古代崆岭群和新太古代鱼洞子群),而在北秦岭范围内迄今尚未发现确凿的太古宙岩石地层单位。在南秦岭有较多的岩石样品显示新太古代的 Nd 模式年龄,甚至在新太古代鱼洞子群和古元古代陡岭群岩石中还发现不少 Nd 模式年龄大于 3.0 Ga 的样品,反映有中太古代地壳物质的加入。因此,南秦岭在地壳演化史上是与扬子陆块完全一致的。然而,在数量不少已发表的北秦岭最古老秦岭群副片麻岩的 Nd 同位素数据(不同作者提供)中,只发现个别 Nd 模式年龄大于 2.5 Ga 的样品。根据数据结构看,它们应属于偶然离群性质的样品。秦岭群形成年代为 2000 Ma 左右,年龄下限不会超过 2226 Ma^[21]。其主体为副片麻岩,原岩为不成熟的近源碎屑岩^[22]。张宗清等(1994)测定了该群 18 个变质碎屑岩样品的 Nd 同位素组成,得出的 Nd 模式年龄范围为 2085 ~ 1724 Ma,平均 1995 Ma,即全部接近该群的形成年龄。他们测定的该群副片麻岩中锆石(稍经搬运磨蚀)的 U - Pb 年龄为 2226 ~ 2172 Ma,同样接近该群的形成年龄。由此排除了秦岭群原始碎屑岩 Nd 模式年龄是更古老地壳岩石与较年轻地壳岩石风化产物混合的结果。据此,张宗清等(1994)提出秦岭群原始碎屑岩应是一次古元古代强烈地壳增生形成的富锆石火成岩的首批风化、剥蚀、搬运、沉积的产物。这些事实与信息表明,北秦岭与南秦岭不同,其中不存在太古宙陆壳,秦岭群已是该区的最老陆壳基底。

2.2 地幔源区的性质与演化

早期上地幔的性质和演化是通过前寒武纪变玄武岩类的 Nd 同位素组成对其幔源区示踪来确定的。所选用的岩石均具有高的初始 $\text{Nd}(t)$ 正值和低的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,表明它们的岩浆未受地壳的明显污染。本文在以往的工作基础上^[5, 10],更换了南秦岭和扬子北缘部分岩石的数据,为了使岩石形成年龄更为合理,并尽量采用由等时法所确定的初始 $\text{Nd}(t)$ 数据及已知年龄地段的样品的数据。具体更换的情况是:对陡岭群采用了已知年龄地段的岩石的

$\epsilon_{Nd(t)}$ 值(张寿广提供);对耀岭河群采用了鄂西北地区新测定的 Sm - Nd 等时线年龄和相应的 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值(王寿琼提供);对崆岭群采用了马大铨等(1997)新测定的 Sm - Nd 等时线年龄和相应的 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值^[6];对后河群采用了由等时线法确定的 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值^[23]。在更换后的数据基础上,重新编制了四个构造单元变玄武岩类的 $\epsilon_{Nd(t)} - t$ (Ga) 图解(图 1)。新图解显示的四个构造单元地幔源区的性质和演化趋势基本与以往的结果相似,但表现得更为规律和清晰。



岩石所属岩群的代号: SNC: TH- 太华群, DEF- 登封群, JX 绛县群, ZT- 中条群, XY- 西阳河群, XE - 熊耳群; NQ: QL- 秦岭群, KP- 宽坪群, DAF- 丹凤群, EL- 二郎坪群, Oph- 松树沟蛇绿岩; SQ: YDZ- 鱼洞子群, DL- 陡岭群, BK- 碧口群, WD- 武当群, YLH- 耀岭河群; NYC: KL- 崆岭群, HH- 后河群, TCS- 火地垭群铁船山组, BMX- 西乡群白勉峡组, SHS- 西乡群三花石组。CHUR- 原始地幔; DM- 亏损地幔演化线。

图 1 华北陆块南缘(SNC)、北秦岭(NQ)、南秦岭(SQ)和扬子陆块北缘(NYC)前寒武纪变质玄武岩类 $\epsilon_{Nd(t)} - t$ (Ga) 图解

Fig. 1 $\epsilon_{Nd(t)} - t$ (Ga) plot for the Precambrian metamorphic basalts from the southern margin of North China block(SNC), North Qinling(NQ), South Qinling(SQ) and the northern margin of Yangtze block(NYC)

北秦岭地幔源区特征是由古元古代秦岭群、中元古代(晚期)宽坪群及新元古代松树沟蛇绿岩、丹凤群和二郎坪群等的变拉斑玄武岩的 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值所揭示的(见图 1)。从各岩群岩石的最高 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值(代表最少受污染的源区)看来,北秦岭玄武质岩浆的幔源区在整个元古宙期间一直处于 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值介于 +7.3 ~ +6.3 的亏损状态,并且呈近水平的演化线切过 DM 的平均演化线,表明于古元古代时该区地幔的亏损程度明显高于当时的 DM(现代洋脊玄武岩的源区)。

因此,北秦岭的早期上地幔的性质和演化迥然不同于华北陆块南缘,在上一构造单元中上地幔于 $2.8 \sim 2.2$ Ga 的时间跨度内 Nd(t) 值一直相对稳定于 $+2.9 \sim +2.2$ 之间。古元古代时,北秦岭地幔的 Nd(t) 值为 $+7.3$,而华北南缘地幔的 Nd(t) 值为 $+2.5 \sim +2.3$,这更能说明两者的不同。

北秦岭地幔同南秦岭和扬子陆块北缘地幔相比,它们在元古宙期间的亏损程度是相似的,但是也存在着差异:北秦岭的演化线是近水平的,古元古代和新元古代的玄武岩均能显示出 $+7.3$ 的高 Nd(t) 值,而后两构造单元的地幔由中、新太古代到中元古代是沿着 DM 平均演化线演变的,并且只有到中元古代玄武岩才显示出 $+7$ 以上的高 Nd(t) 值。因此,从早期地幔性质和演化看,北秦岭与南秦岭和扬子既有相同之处,又具不同之点。

3 区域地球化学界面

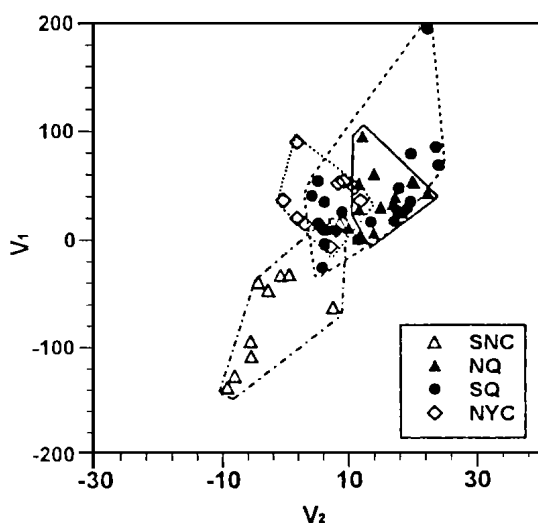
为了提高地壳岩石 Pb 同位素组成在分辨和揭示区域同位素分区方面的能力,笔者在东秦岭详细铅同位素填图数据基础上,采用了 Pb 同位素三维空间拓扑图解分析方法。此法在中国东部大尺度 Pb 同位素填图中显示出很好的效果^[8]。为了减少影响因素,统一选用了前寒武纪变质玄武质岩石 64 个样品的数据为基础。首先将岩石的现代 Pb 同位素组成(测定值)换算为岩石形成时的 Pb 同位素组成及其相对于同时代地幔 Pb 同位素组成的偏离千分率,然后计算和编制岩石的 Pb 同位素三维空间拓扑图解(图 2)。图解显示:北秦岭、南秦岭和扬子陆块北缘岩石的拓扑投影点均落于高 V_1 区内,而华北陆块南缘岩石的投点则全部落于低 V_1 区内,区别十分明显。北秦岭、南秦岭和扬子北缘幔源岩石共同显示高 V_1 值,表明它们之间具有某种内在联系。因此,北秦岭与华北陆块之间的分界应为东秦岭区域的一级地球化学界面。然而,北秦岭岩石的拓扑投影区只在高 V_2 部分与南秦岭和扬子陆块岩石投影区重叠,反映了北秦岭特别富集放射成因铅的壳、幔只同南秦岭和扬子北缘西段的壳、幔相当^[10]。考虑到前面已指出的北秦岭和南秦岭在壳、幔演化方面的差异,以及两者之间新元古代以来还存在着商-丹主缝合带,因此将商-丹带视为一个二级区域地球化学界面应是合理的。

同样,前寒武纪变玄武质岩石的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - \text{Nd(t)}$ 图解也能清楚地显示出这两个区域性地球化学界面(图 3)^[24]。

4 区域地幔化学不均一性和分区

4.1 各构造单元上地幔化学特征

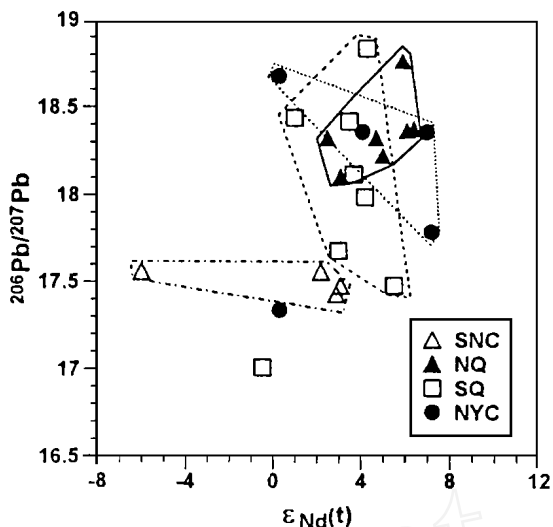
东秦岭造山带中迄今尚未发现确凿的地幔岩石包体,对上地幔化学特征的了解只能通过幔源岩石元素对源区的示踪。前寒武纪幔源玄武质岩石广泛分布于研究区的四个构造单元,这为了解该区早期上地幔提供了有利的条件。为了避免岩石类型、岩浆部分熔融、结晶分异程度、构造环境和地壳污染等对示踪结果的影响,在研究中尽量排除壳幔混源和受地壳明显污染的岩石样品,以及岛弧与弧后环境中的岩石样品。在对比过程中注意年代和二氧化硅含量相近的原则,着重于强不相容元素对与化学性质相似元素对的比值,参考一些显示规律明显而稳定的元素含量。因为幔源岩浆中元素的含量是随部分熔融和分离结晶程度而变化的,但是强不相容元素对与化学性质相似元素对的比值则是稳定的,所以镁铁质岩石中这两类元素对的比值可以代表它们在地幔源区的比值^[26~28]。至于变质作用影响问题,既着重考虑行为惰性的元素,又注意所揭示规律的宏观规则性和长期稳定性。这次选用的变玄武质岩石分析



岩石产出部位: SNC - 华北陆块南缘, NQ - 北秦岭,
SQ - 南秦岭, NYC - 扬子陆块北缘.

图2 秦岭造山带及相邻华北和扬子陆块缘区前寒武纪变玄武质岩石 Pb 同位素三维空间拓扑最大分辨面 V_1 - V_2 图解

Fig. 2 Three dimensional-topological plot on the most distinguishable surface V_1 - V_2 for Pb isotope of the Precambrian metamorphic basalts from Qinling Orogenic Belt and its adjacent North China and Yangtze blocks



岩石产出部位: SNC - 华北陆块南缘, NQ - 北秦岭,
SQ - 南秦岭, NYC - 扬子陆块北缘.

图3 秦岭造山带及相邻华北和扬子陆块缘区前寒武纪变玄武质岩石的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图解

Fig. 3 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ plot for the Precambrian metamorphic basalts from Qinling Orogenic Belt and its adjacent North China and Yangtze blocks

数据均为组合样分析结果,样品按岩石地层单元与特定时代进行组合,并按岩石出露比例选取样品数。样品采用中子活化法、X射线荧光光谱法、原子吸收法、原子荧光光谱法、催化波极谱法和分光光度法等15种可靠分析方法进行了63种元素的测定。各元素所采用的测试方法及标准样测试的平均相对误差和重复样分析的平均相对误差见鄧明才等(1996)论文^[29]。现将东秦岭四个构造单元元古宙及华北和扬子缘区太古宙变玄武岩的主要和特征元素的平均含量及特征元素对的平均比值列于表1。

鉴于秦岭造山带的地壳主体形成于古、中元古代,故应重点探讨元古宙区域地幔源区的化学特征与分区。对比分析表1中数据可以看出,由元古宙镁铁质岩石成分所反映的区域四个构造单元的地幔源区化学特征具有如下主要规律:

(1) 华北陆块南缘与扬子陆块北缘地幔源区相比,前者相对富 FeO、MgO、Mo 及高 Zr/Hf 比值,后者相对富 Li、Rb、Be、Cu、Sc、Nb 及高 Nb/Ta、Ba/Sr、Ba/La、Nb/La 比值。其中华北南缘相对富 Mo 和高 Zr/Hf 比值,扬子北缘相对富 Li、Rb、Sc、Cu 和高 Nb/Ta 比值的规律在太古宙时就存在。通过秦岭-大别造山带两侧华北和扬子缘区中分布的中、新生代玄武岩类的研究,也证明上述两陆块缘区元古宙地幔源区化学组成上的那种差异规律,除了 Nb、Ta 在华北南缘第三纪碱性玄武岩中明显富集和 Li、Be、Mo 无测定数据外,到中、新生代仍然保存¹⁾。

1) 张国伟,张本仁,袁学诚,等. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京:科学出版社,1998(待刊)

这一结果表明华南北缘和扬子北缘上地幔化学组成之间长期存在着规律而稳定的差异,尤其自元古宙以来其规律更为稳定。

表 1 各构造单元前寒武纪变玄武岩岩石化学特征

Table 1 Chemical characteristics of the Precambrian metamorphic basalts from various tectonic units													
	SNC	SNC	NQ	SQ	NYC	NYC		SNC	SNC	NQ	SQ	NYC	NYC
	(24)	(10)	(60)	(53)	(37)	(8)		(24)	(10)	(60)	(53)	(37)	(8)
SiO ₂	50.8	49.02	50.42	49.00	53.70	49.5	Ni	79.5	103 *	91.1	106	77.4	106
TiO ₂	1.36	1.48	1.45	1.75	1.08	1.31	Cu	72.5	40.1 **	81.4	92.4	80.2	126
Al ₂ O ₃	13.50	14.53	13.70	14.60	14.70	13.5	Zn	102	144 **	109	—	96	107
FeO	12.28	12.03	10.82	10.66	9.14	12.45	Mo	0.64	0.58 **	0.48	0.37	0.54	0.30
MgO	5.84	7.75	7.23	6.64	5.19	6.84	V	282	289 *	280	—	200	268
CaO	8.24	5.04	8.77	6.92	6.05	9.51	La	12.5	12.76	11.03	17.8	15.89	15.9
Na ₂ O	3.01	3.45	2.24	2.61	3.09	2.22	Yb	2.296	1.66	2.601	2.620	2.170	2.640
K ₂ O	0.79	1.39	0.91	1.19	1.16	0.86	REE	59	53.10	55.28	91.8	73	73
Ba	245	302	273	376	352	182	Y	17	17	16	19	15	16
Sr	189	263	196	218	289	255	Ba/ Sr	1.3	1.15	1.39	1.59	1.22	0.71
Rb	17	25	35.5	33.7	27	30	Rb/ Sr	0.089	0.095	0.178	0.140	0.090	0.118
Nb	10	6	12	18.6	8	9	Ba/ La	19.60	17.36	24.80	21.70	22.30	11.40
Ta	0.6	0.77	0.88	1.09	0.48	0.36	Nb/ La	0.80	0.47	1.088	1.045	0.51	0.57
Zr	126	136	119	174	127	107	Th/ La	0.112	0.133	0.154	0.102	0.177	0.05
Hf	2.88	2.48	2.47	4.16	3.22	2.59	Nb/ Ta	16	7.79	13.6	19	16	25
Sc	42.2	32.73	43.9	33.5	34.2	46.7	Sc/ Th	30	19.25	25.88	18.4	12.21	58
Th	1.4	1.70	1.70	1.82	2.8	0.8	Zr/ Hf	44	54.4	48.18	41.83	40	41
Be	0.35	0.13 *	0.23	0.32	0.51	0.26	La/ Ta	20.83	16.57	12.53	16.33	32.91	44.16
Li	6.6	17.6 *	19.0	23.9	26.3	8.1	Yb/ Hf	0.890	0.669	1.048	0.61	0.68	1.020
Co	51.1	51.7 *	52.1	43.5	38.5	63	Ni/ Co	1.56	1.992	1.75	2.44	2.01	1.68
Cr	111	100	205	175	171	210	Cr/ Ni	1.396	1.920	2.250	1.651	2.209	1.981

SNC :华南北缘新太古代太华群和登封群变玄武质岩石,SNC :华南北缘元古代缙县群、宋家山群和中条群变玄武质岩石,其中带“*”数据引用元古古代安沟群变玄武质岩石的含量,带“**”数据引用该构造单元后太古宙变玄武质岩石的平均值;NQ :北秦岭秦岭群和宽坪群变玄武质岩石;SQ :南秦岭元古宙(主体)陡岭、碧口、武当、郧西和耀岭河群变玄武质岩石;NYC :扬子北缘元古宙后河、火地垭、西乡和神农架等群变玄武质岩石;NYC :扬子北缘太古宙崆岭群变玄武质岩石。括弧中数字为样品数。主要组分含量单位:wt%;微量元素含量单位:×10⁻⁶。缙县群、宋家山群和中条群数据引自孙大中和胡维兴(1993)^[25]。

(2) 北秦岭和南秦岭地幔源区,在相对富 Li、Rb、Be、Sc、Cu、Nb 和贫 FeO、MgO、Mo 及相对高 Ba/ Sr、Ba/ La、Nb/ La、Nb/ Ta 比值和低 Zr/ Hf 比值方面,完全与扬子北缘一致,而同华南北缘明显不同。

(3) 南、北秦岭与扬子北缘在地幔源区特征稍稍差异之处表现为,两个造山带构造单元地幔更富于 Rb、Nb、Ta 和贫于 Sr,以及显示更高的 Rb/ Sr、Ba/ Sr 和 Nb/ La 比值。

(4) 北秦岭地幔源区的独特之处是,它具有全区中最高的 CaO 和 Sc 含量及最高的 Sc/ Th、Ba/ La、Th/ La 和 Yb/ Hf 比值。

以上地幔源区的化学不均一性同样说明,北秦岭的地幔化学特征是截然不同于华北陆块南缘的,它虽然与南秦岭和扬子北缘主体具有共同之处,但是也显示出某些不同之点。

4.2 关于地幔源区类型的探讨

根据元古代秦岭群、中元古代(晚期)宽坪群与新元古代松树沟蛇绿岩中的变拉斑玄武

岩具有彼此相似的 Pb 同位素组成及 Yb/ Hf、Th/ La、Nb/ La 比值，并考虑到通过秦岭群原始近源碎屑岩的源区研究，已得出的它们是碱性双模式岩套两端元岩石提供物质的混合产物的结论^[30]，笔者曾推断北秦岭微陆块是在洋壳洋岛基础上形成发展的^[19]。鉴于在松树沟蛇绿岩片中已较好地鉴别出 N - MORB 型和 E - MORB 型的变拉斑玄武岩^[14]，这就使得有可能将秦岭群和宽坪群的变拉斑玄武岩分别与松树沟的两种类型洋脊玄武岩进行对比(表 2)。其结果表明，松树沟 N - MORB 和 E - MORB 共同具有明显富 CaO、Sc 及高 Nb/ Ta、Nb/ La、Th/ La、Sc/ Th 和 Yb/ Hf 比值的特征，这种特征正是秦岭群和宽坪群变拉斑玄武岩及它们共同代表的北秦岭地幔源区总体的特征。同时松树沟的 N - MORB 和 E - MORB 的组成之间也存在一定差异，表现为：前者相对于后者显示较富于 CaO、Sr、Sc 及具有更高的 Ba/ La、Th/ La、Sc/ Th 和 Yb/ Hf 比值；而后者相对于前者，除了明显富于 Nb、Ta、Th、U、Zr、Hf、Rb、Ba、La 和 Yb 外，尤其特征的是具有更高的 La/ Ta 和 Nb/ Ta 比值。与之相比，秦岭群变拉斑玄武岩的 CaO、Sr、U、Nb、Ta 和 Sc 含量及 Nb/ La、Th/ La、Sc/ Th、Yb/ Hf，尤其 La/ Ta 和 Nb/ Ta 比值均接近于松树沟 E - MORB，表明秦岭群拉斑玄武岩与松树沟 E - MORB 的地幔源区应是相同的。然而，宽坪群变拉斑玄武岩的情况则不同，它既在 Sr 和 Sc 含量及 La/ Ta、Nb/ Ta、Ba/ La、Nb/ La 和 Sc/ Th 比值方面与松树沟 N - MORB 相接近，但又具有较 N - MORB 明显偏高的 Nb、Ta、Th、U、Zr、Rb、Ba 和 La 等轻稀土元素含量。加之，宽坪群变拉斑玄武岩虽然主体显示基本属于平坦型的球粒陨石标准化 REE 组成模式，但是并非都是轻稀土亏损型的，其 La_N/ Yb_N 比值变化于 0.83 ~ 4.34 之间，平均值为 2.89。具有这种不相容元素和稀土元素组成的拉斑玄武岩应类似于过渡型洋脊玄武岩(T - MORB)。一般认为 E - MORB 与洋岛玄武岩(OIB)相同，岩浆是来自深部地幔热柱源区，而 T - MORB 则是来自 N - MORB 的亏损地幔源区和 E - MORB 或 OIB 的地幔热柱源区岩浆混合的过渡类型^[31~33]。据此，可以推断秦岭群拉斑玄武岩应具有与松树沟 E - MORB 相同的地幔热柱源区，而宽坪群拉斑玄武岩岩浆则可能来自类似松树沟蛇绿岩 N - MORB 和 E - MORB 的两种地幔源区，即亏损地幔和深部地幔热柱源区。

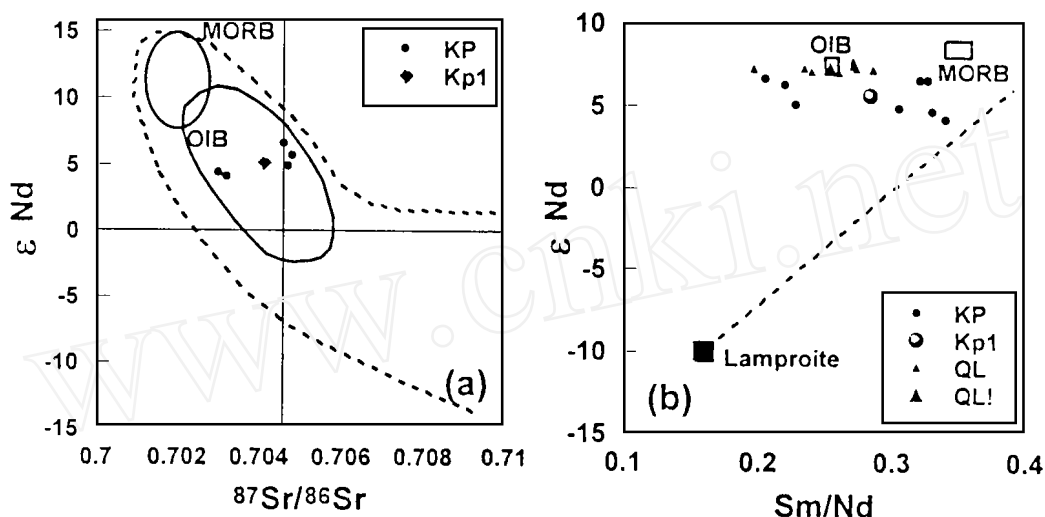
表 2 北秦岭古和中元古代变拉斑玄武岩及新元古代松树沟蛇绿岩中 N - MORB 型和 E - MORB 型变拉斑玄武岩的化学特征

Table 2 Chemical characteristics of the Paleo-and Meso - Proterozoic metatholeiites and the metatholeiites of N - MORB - and E - MORB types of the Neoproterozoic Songshugou ophiolite suite in North Qinling										
	CaO	Rb	Ba	Sr	U	Th	Ta	Nb	Zr	Hf
1 秦岭群(11)	9.65	29	186	174	0.72	2.1	0.68	12	121	2.75
2 宽坪群(49)	8.57	37	293	201	0.48	1.6	0.93	12	118	2.41
3 N - MORB(3)	13.01	5.7	106	222	0.43	1.11	0.373	5.16	80	2.53
4 E - MORB(9)	11.48	9.3	112	183	0.69	1.55	0.681	12.49	107	3.15
	La	Yb	Sc	La/ Ta	Nb/ Ta	Ba/ La	Nb/ La	Th/ La	Sc/ Th	Yb/ Hf
1 秦岭群(11)	11.6	2.87	38.9	17.06	17.64	16.03	1.034	0.181	18.25	1.044
2 宽坪群(49)	10.9	2.54	45.1	11.72	12.90	26.79	1.101	0.147	28.19	1.054
3 N - MORB(3)	4.51	3.83	50.0	12.09	13.83	23.42	1.144	0.245	47.95	1.526
4 E - MORB(9)	9.39	3.78	44.7	15.25	18.34	11.93	1.133	0.165	28.48	1.091

括弧中数字为样品数。组分和元素含量单位同表 1。蛇绿岩数据引自周鼎武等(1995)^[14]，为 ICP - MS 法测定值。

根据地幔柱组分的低⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值和高 $\epsilon_{Nd(t)}$ 值的特征^[34]，可应用 Nd - ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 图

解^[35]和 $\text{Nd} - \text{Sm}/\text{Nd}$ 图解^[36]对玄武岩类的地幔源区进行判别(图 4)。秦岭群变拉斑玄武岩在后一图解中的成分点均落于洋岛(OIB)位置的附近,其平均成分点甚至与 OIB 位置重叠,并且所有的点均远离岩石圈和软流圈的混合线,该线中岩石圈的成分以钾镁煌斑岩(lamproite)的成分为代表。这一结果同样证明秦岭群拉斑玄武岩浆应是来自类似洋岛的地幔热柱源区,并且岩浆基本未受大陆岩石圈的污染。宽坪群变拉斑玄武岩在 $\text{Nd} - {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ 图解中的单个样品的成分点和平均成分点均落于 OIB 成分区内,然而它们在 $\text{Nd} - \text{Sm}/\text{Nd}$ 图解中的单样点则分布于 OIB 位置至 MORB(N - MORB)位置整个区间的附近,平均成分点也落于该两者位置之间,只是距离 OIB 位置较近。这种结果可以支持前述关于宽坪群玄武岩岩浆来自亏损地幔和地幔热柱两种源区的推断。



KP - 宽坪群岩石单样成分点, Kp1 - 宽坪群岩石平均成分点, QL - 秦岭群岩石单样成分点, QL1 - 秦岭群岩石平均成分点. OIB - 洋岛玄武岩, MORB - 洋中脊玄武岩(N型), Lamproite - 钾镁煌斑岩. a 图中虚线为大陆岩石圈地幔范围. b 图中虚线为 Ellam 和 Cox(1991)建议的岩石圈(以低度熔融产生的钾镁煌斑岩代表) - 软流圈(高 Nd 和 Sm/Nd 值)混合线^[38].

图 4 北秦岭秦岭群和宽坪群变拉斑玄武岩 $\text{Nd} - {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ 图解(a)^[35]和 $\text{Nd} - \text{Sm}/\text{Nd}$ 图解(b)^[36]

Fig. 4 $\text{Nd} - {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ plot (a)^[35] and $\text{Nd} - \text{Sm}/\text{Nd}$ plot (b)^[36] for the metatholeiites of Qinling and Kuanping Groups in North Qinling

上述论证和信息表明,北秦岭古、中元古代幔源岩浆具有类似新元古代松树沟蛇绿岩片中的 N - MORB 和 E - MORB 的地幔源区,并且揭示出古元古代期间主要是类似洋岛的地幔热柱型岩浆在活动,而自中元古代(晚期)开始,除地幔热柱源区的岩浆仍在强烈涌入地壳外,类似 N - MORB 的亏损地幔源区的岩浆也积极地参与作用。这样的图景不仅可以有力地支持以往关于北秦岭微陆块起源于洋岛、发展于洋壳之上的推断,同时还有助于解释北秦岭元古宙幔源岩石显示特别高 CaO/Sc 含量及特别高 Sc/Th 、 Ba/La 、 Th/La 、 Yb/Hf 比值的原因,因为松树沟 N - MORB 和 E - MORB 正是一致具有这种特征,表明地幔源区也具有同样特征。甚至北秦岭各类元古宙岩石和早古生代花岗岩类均具有高放射成因铅的 Pb 同位素组成,这一特征也可由此得到初步解释。由于一般洋岛地幔热柱源区的岩浆常具有富 U、Th 的特征,松树沟 E - MORB 的 U、Th 含量显著高于 N - MORB 就可证明这一点(见表 2),由于

北秦岭地幔热柱型岩浆在整个元古宙期间不断大量加入地壳,势必会在扬子区本来就相对富放射成因铅的基础上造成放射成因铅的进一步富集。因此,如果设想北秦岭原来是在扬子板块洋壳基础上发展的,则它缺少像扬子和南秦岭那样的太古宙陆壳基底,以及它在化学组成上与扬子和南秦岭之间所存在的上述差别,就很容易理解了。

5 古洋壳的特征与归属

如果北秦岭原来属于扬子板块的组成部分,那么不管它是否为由洋岛发展形成的微陆块,后来在它与南秦岭之间形成的洋盆都应是扬子板块内部张裂形成的。究竟情况是否如此呢?勉-略晚古生代蛇绿混杂岩带中 N - MORB 型变拉斑玄武岩的确证,为解决此问题提供了良好的条件。勉-略洋盆形成于南秦岭(确定的扬子陆块的组成部分)与扬子陆块之间,无疑是扬子内部打开型的。如将勉-略和松树沟 N - MORB 型的岩石进行地球化学对比(表 3),就可判别出南、北秦岭之间的商-丹洋盆的类型与构造归属。在对比时应注意之点为:松树沟的 N - MORB 型岩石仅是近似 N - MORB 端元成分的样品^[14],其岩浆中多少有一点 E - MORB 端元岩浆的混入,而勉-略的岩石为典型的 N - MORB。由表 3 可以看出,两处的 N - MORB 型变拉斑玄武岩不仅在 $Nd(t)$ 值, Nb/ Ta、Yb/ Hf、Y/ Tb、Zr/ Zr*、Ti/ Zr、Ti/ V 和 Ni/ Co 比值及 Cu、V 含量等特征参数方面是彼此接近的,而且对于 Rb、Sr、Ba 等易活动元素,只要剔除个别含量过高的离群样品后,所得出的两地岩石的 Ba/ Sr、Rb/ Sr、Ba/ La 比值仍是互相可比的。至于松树沟岩石的 Nb/ La 和 Th/ La 比值明显高于勉-略岩石的问题,显然是与松树沟岩石中混入了少量 E - MORB 端元的岩浆有关。对比结果应能确定松树沟蛇绿岩所代表的新元古代商-丹洋壳是属于扬子内部型的。此外,两地的 N - MORB 型岩石均显示出比华北陆块南缘古元古代变玄武岩高得多的 Pb 同位素比值、Cu 含量、Yb/ Hf 和 Nb/ Ta 比值及偏低的 Zr/ Hf 比值。这也证明它们与华北上地幔无关,而应是属于扬子型的,从而表明北秦岭原来属于扬子板块的设想可以成立。

表 3 松树沟和勉-略蛇绿岩中 N - MORB 型变拉斑玄武岩的化学特征

Table 3 Chemical characteristics of the metatholeiites of N-MORB type in the Songshugou and Mian - Lue ophiolite suites

样品数		Nd(t)	Ba/ Sr	Rb/ Sr	Ba/ La	Nb/ La	Th/ La	Nb/ Ta
1. 松树沟	3	+ 6. 8	0. 476	0. 026	23. 4	1. 144	0. 245	13. 83
2. 勉 - 略	7	+ 6. 1	0. 470	0. 053	26. 7	0. 630	0. 039	13. 51
	Yb/ Hf	Y/ Tb	Ni/ Co	Zr/ Zr *	Ti/ Zr	Ti/ V	Cu	V
1. 松树沟	1. 563	43. 39	1. 146	1. 294	103. 6	19. 84	64	369
2. 勉 - 略	1. 635	43. 13	1. 403	1. 225	97. 0	20. 29	68	342

松树沟 N - MORB 型岩石的微量元素数据引自周鼎武等(1995)^[14]。两地岩石的微量元素数据均为 ICP - MS 法的测定值。 $Zr/ Zr* = Zr/ (Sm + Nd) / 2$, 其中 Zr、Sm、Nd 浓度为 C1 球粒陨石标准化值。

6 讨 论

从壳和幔演化、地幔化学和同位素不均一性和分区及洋壳特征和归属等研究,可以证明北秦岭原为扬子板块组成部分,但在古和中元古代它是否仍属于扬子板块,还取决于在北秦岭与南秦岭和扬子之间是否存在分割板块的俯冲-碰撞缝合带。通过地质综合研究已经提

出,古、中元古代秦岭地区处于裂谷构造体制统治的论断^[1]。基于岩石地层单元地球化学特征的研究,也支持秦岭地区古、中元古代构造主体属于裂谷性质^[38]。唯一争论是关于扬子北缘中-新元古代西乡群是形成于板内或者岛弧构造环境的问题。近年在新资料和新数据基础上的研究,有根据地证明该群基性火山岩属于大陆溢流玄武岩,应形成于板内构造环境^[39]。这就排除了新元古代之前北秦岭与扬子板块间存在板块分割界面的可能,从而证明在古、中元古代期间北秦岭仍为扬子板块的组成部分。

分布于秦岭群与华北陆块南缘之间的宽坪群($1142 \text{ Ma} \pm$),其变拉斑玄武岩主体显示 T - MORB 型的地球化学特征,并已被证明属于扬子洋幔源区派生产物,应为北秦岭或扬子板块组成部分。通过对该群变质碎屑岩 Nd 同位素和锆石年龄研究^[21]及其物源区的地球化学判别^[38],一致证明该群原始碎屑岩为南侧秦岭群提供的碎屑(为主)和北侧太华群提供的碎屑的混合产物,表明沉积的近源性质,并且暗示在宽坪盆地形成时以秦岭群为基底的北秦岭微陆块必定围限着该盆地的南缘。这种情况意味着:(1)宽坪盆地底部虽然主要由洋脊型玄武岩组成,但它不应是开阔洋盆,而只应是边缘海盆;(2)当时以秦岭群为基底的北秦岭微陆块已位于同华北陆块仅一水之隔的不远的地方;(3)作为扬子板块组成的宽坪盆地底部的洋型地壳当时已与华北陆块接触,表明扬子板块(洋壳部分)可能在宽坪盆地打开之前就已与华北陆块对接。然而,迄今在华北陆块南缘尚未发现中元古代早期由扬子板块俯冲-碰撞造成的岩石组合。虽然该构造单元的熊耳群火山岩系($1650 \pm 26 \text{ Ma}$)^[20]曾被认为属于安第斯山型大陆边缘弧岩浆活动的产物,但是后来更多的证据确定它为板内裂谷环境中的岩套^[40,11]。因此,宽坪盆地形成之前扬子板块与华北板块是怎样拼合的尚待进一步研究。宽坪群火山-沉积岩系于晋宁期遭受强烈的变质,标志着该盆地的闭合。从此北秦岭最终与华北板块焊合在一起,并于新元古代商-丹洋盆打开后转变成为华北板块的大陆边缘构造单元。

玄武岩类幔源区的研究已经揭示,古元古代早期地幔热柱就开始在北秦岭之下活动,并一直延续到新元古代,而后自中元古代始有亏损地幔源区岩浆作用的参与。在南秦岭和扬子陆块北缘同样的研究已经证明,古元古代陡岭群和古-中元古代神农架群变玄武岩显示出来源于亏损地幔源区的特征^[23],而中-新元古代碧口群、火地垭群(铁船山组)、西乡群和耀岭河群变玄武岩均被确定有来自地幔热柱源区岩浆的参加^[39]。这些信息表明,地幔热柱活动北早南晚,有随时间自北而南推移的趋势。地幔热柱活动是造成秦岭岩石圈多次破裂产生洋域的热动力因素。地幔热柱随时间自北而南的推移,首先导致新元古代商-丹洋盆的形成及该区新元古代至早古生代迭次的洋陆相互作用,而后造成晚古生代勉-略洋盆在南秦岭和扬子陆块北缘之间发展形成,使南秦岭成为一个独立活动的微板块。随着时间推移,扬子板块最北缘依次裂解出微板块,然后一一拼接于华北板块,这就构成了秦岭复合造山带的重要动力学特征。

参 考 文 献

- 1 Wang Hongzhen. Tectonic development of the Proterozoic continental margins in East Qinling and adjacent regions. *Journal of China University of Geosciences*, 1990, 1(1): 1~12
- 2 殷鸿福等. 中国古生物地理学. 武汉:中国地质大学出版社, 1988
- 3 Zhu B Q, Tu X L, Zou R et al. Geochemical division and affinity of the blocks in East Asian and its implications for tectonic evolution. 30th Intern. Geol. Congr., Abstracts, 1996, vol. 1, 3: 210

- 4 Lu Songnian. Precambrian mantle - crustal evolution in Eastern China. 30th Intern. Geol. Congr., Abstracts, 1996, vol. 1, 3: 11
- 5 Zhang Benren, Zhang Hongfei, Lin Wenli, Zhao Zhidan. On crustal accretion and mantle evolution in Qinling Orogenic Belt. Proc. 30th Intern. Geol. Congr., 1997, Vol. 1: 129 ~ 142
- 6 马大铨, 李志昌, 肖志发. 鄂西崆岭杂岩的组成、时代及地质演化. 地球学报 - 中国地质科学院院报, 1997, 18(3): 233 ~ 241
- 7 李俊建, 毛德宝, 沈保丰, 林源贤. 华北陆台太古宙上地幔 Nd 同位素组成及演化. 见: 壳幔演化与成岩成矿同位素地球化学 - 第五届全国同位素地质年代学同位素地球化学学术讨论会文集. 北京: 地震出版社, 1993
- 8 朱炳泉. 矿石 Pb 同位素三维空间拓扑图解用于地球化学省与矿种区划. 地球化学, 1993, 3: 209 ~ 216
- 9 张理刚等. 东亚岩石圈块体地质 - 上地幔、基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学. 北京: 科学出版社, 1995
- 10 张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 凌文黎. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义. 中国科学, 1996, 26(3): 201 ~ 208
- 11 张本仁, 骆庭川, 高山, 等. 秦巴岩石圈、构造及成矿规律地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994
- 12 Gao Shan, Zhang Benren, Luo Tingchuan et al. Chemical composition of the continental crust in the Qinling Orogenic Belt and its adjacent North China and Yangtze cratons. Geochim. Cosmochim. Acta., 1992, 56: 3933 ~ 3950
- 13 高长林, 秦德余, 吉让寿, 殷勇. 东秦岭三类构造环境中的镁铁 - 超镁铁岩的地球化学特征. 见: 张本仁主编. 秦巴区域地球化学文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990, 106 ~ 127
- 14 周鼎武, 张泽军, 董云鹏, 刘良. 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, 1995, 11(增刊): 154 ~ 164
- 15 裴先治, 张维吉, 王全庆. 北秦岭松树沟蛇绿岩的地质地球化学特征及其形成环境. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996, 158 ~ 162
- 16 刘良, 周鼎武. 东秦岭商南松树沟高压基性麻粒岩的发现及其初步研究. 科学通报, 1994, 39(17): 1599 ~ 1601
- 17 许继锋, 于学元, 李献华, 韩吟文等. 高度亏损的 N - MORB 型火山岩的发现 - 勉略古洋盆地存在的新证据. 科学通报, 1997, 42(22): 2414 ~ 2418
- 18 Lai Shaocong, Zhang Guowei. Geochemical features of ophiolite in Mianxian - Lueyang suture zone, Qinling Orogenic Belt. Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(2): 165 ~ 172
- 19 欧阳建平, 张本仁. 北秦岭微古陆形成与演化的地球化学证据. 中国科学, 1996, 26(增刊): 42 ~ 48
- 20 黄萱, 吴利仁. 陕西地区岩浆岩 Nd、Sr 同位素特征及其大地构造意义. 岩石学报, 1990, 2: 1 - 11
- 21 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1994
- 22 游振东, 索书田, 韩郁箐, 等. 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, 1991.
- 23 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. 中国科学, 1996, 26(3): 216 ~ 222.
- 24 韩吟文, 柳建华, 许继锋. 秦岭造山带前寒武纪地幔化学分区及壳幔物质循环 - Pb、Nd 同位素及微量元素证据. 地球科学 - 中国地质大学学报, 1996, 12(5): 457 ~ 463
- 25 孙大中, 胡维兴. 中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构. 北京: 地质出版社, 1996, 1993
- 26 Bougault H, Joron J L, Treuil M. The primordial chondrite nature and large - scale heterogeneities in the mantle: evidence from high and low partition coefficient elements in oceanic basalts. Philos. Trans. R. Soc. London, 1980, Ser. A297: 203 ~ 213

- 27 Hofmann A W et al. Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1986, 79: 33 ~ 45
- 28 郑海飞, 欧阳建平, 韩吟文. 元素比值研究玄武岩源区成分的若干问题讨论. *矿物学报*, 1994, 14 (1): 61 ~ 67
- 29 鄢明才, 迟清华, 顾铁新, 等. 中国火成岩化学元素的丰度与分布. *地球化学*, 1996, 25 (5): 409 ~ 424
- 30 高山, 张本仁, 谢千里, 等. 秦岭造山带元古宙陆内裂谷作用的沉积地球化学证据. *科学通报*, 1990, 19: 1494 ~ 1494.
- 31 Schilling J G. Afar mantle plume: rare earth evidence. *Nature (London)*, 1973, 242: 2 ~ 5
- 32 Sun S S, Nesbitt R W, Sharaskin A Ya. Geochemical characteristics of mid - ocean ridge basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1979, 44: 119 ~ 138
- 33 Saunders A D. The rare earth characteristics of igneous rocks from the ocean basin. In: P. Henderson (ed.). *Rare Earth Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 1984
- 34 Saunders A D, Storey M, Kent R W et al. Consequences of plume - lithosphere interactions. In: Storey B C, Alabaster T, Pankhurst R J (eds.). *Magmatism and the causes of continental break - up*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 1992, 68: 41 ~ 60.
- 35 Wilson M. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 1989
- 36 Hawkesworth C J, Gallagher K, Kelley S et al. Parana ' magmatism and the opening of South Atlantic. In: Storey B C, Alabaster T, and Pankhurst R J (eds.). *Magmatism and the causes of continental break - up*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 1992, 68: 221 ~ 240.
- 37 Ellam R M, Cox K C. An interpretation of Karoo picrite basalts in terms interaction between asthenosphere magmas and the mantle lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1991, 105: 330 ~ 342
- 38 Shan Gao, Ben - Ren Zhang, Dong - Po Wang et al. Geochemical evidence for the Proterozoic tectonic evolution of the Qinling Orogenic Belt and its adjacent margins of the North China and Yangtze cratons. *Pre - cambrian Research*, 1996, 80: 23 ~ 48
- 39 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 南秦岭中 - 晚元古代火山岩性质与前寒武纪大陆裂解. *中国科学*, 1996, 26 (3): 237 ~ 243
- 40 夏林圻, 夏祖春, 等. 祁连 - 秦岭山系海相火山岩. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991

GEOCHEMICAL EVIDENCE FOR NORTH QINLING BEING A PART OF YANGTZE PLATE PRIOR TO THE NEOPROTEROZOIC

Zhang Benren Han Yinwen Ouyang Jianping

(*Institute of Geochemistry, China University of Geosciences, Wuhan, 430074*)

Xu Jifeng

(*Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640*)

Abstract : Qinling Orogenic Belt represents the composite convergence zone with two sutures between the North China and Yangtze blocks (NCB and YB). The northern Neoproterozoic to Early Paleozoic Shang-Dan megasuture, in which were tectonically emplaced ophiolite fragments including the well known Songshugou ophiolite (1000 Ma \pm), is the boundary between North Qinling