

北秦岭构造属性与元古代构造演化

董云鹏 张国伟

(西北大学大陆动力学教育部重点实验室,西北大学地质学系,陕西 西安,710069)

朱炳泉

(中国科学院广州地球化学研究所,广东 广州,510640)

摘 要 秦岭前寒武纪地质、地球化学和年代学证据表明,北秦岭具有明显高的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 Pb 同位素比值特征,区别于明显低初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 Pb 同位素比值特征的华北陆块和扬子块体群。北秦岭与南秦岭具有明显不同的前寒武纪构造与演化特征。北秦岭是 2 000 Ma 左右形成于华北陆块南侧洋岛基础上的独立陆块,经历 2 200~1 800 Ma 和 1 400~900 Ma 分别以垂向加积增生和侧向加积增生为主要机制的地壳生长。北秦岭在早元古代洋盆演化基础上,首次于 1 600 Ma 左右拼接于华北陆块南缘,1 300~1 000 Ma 发生扩张裂解,出现宽坪裂谷-洋盆构造环境,100 Ma 左右再次拼贴于华北陆块南缘。同时,北秦岭南侧可能发生与南秦岭陆块群中的陡岭微陆块的拼接。

关键词 同位素年代学 岩浆活动 大地构造 前寒武纪 秦岭

Proterozoic Tectonics and Evolutionary History of the North Qinling Terrane

DONG Yunpeng ZHANG Guowei

(Ministry of Education Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University ;Department of Geology,
Northwest University, Xi 'an, Shaanxi, 710069)

ZHU Bingquan

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

Abstract Evidence from Precambrian geology, geochemistry and isotopic ages suggests that North Qinling Terrane (NQT) is quite different from North China Block (NCB). The NQT is characterized by distinct higher initial $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values and Pb isotopic ratios, in contrast to the lower initial $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values and Pb isotopic ratios of the NCB. Geological evidence indicates that NQT is also different from South China Block (SCB), especially in Precambrian tectonic and evolution history. Based on synthesized studies of geology and geochemistry, it is suggested that NQT is an independent terrane, whose foundation is an oceanic island formed to the south of the NCB at about 2 000 Ma. The mechanism of two main crust growth events of NQT is vertical accretion and lateral accretion which occurred in 2 200~1 800 Ma and 1 400~900 Ma, respectively. Much evidence indicates that NQT was drifted in an early Proterozoic ocean and connected with the southern margin of NCB at about 1 600 Ma, and then drifted away from NCB due to the overspreading and formation of Kuanping rift-oceanic basin in about 1 300~1 000 Ma. At about 1 000 Ma, the NQT collided with the NCB along the northern boundary fault of Kuanping Group.

Key words isotopic age magmatic movement tectonics Precambrian Qinling

秦岭作为分隔中国南北大陆的著名大陆造山带,长期受到国际地学界的广泛关注与研究。近 20 余年来,随着板块构造理论与造山带新思想的发展,研究者们对秦岭造山带的形成与演化进行了不同领

域的研究,认识到秦岭造山带是华北陆块与扬子陆块对接碰撞而成的造山带。经历了长期复杂的构造演化过程,在不同的构造时期以不同的构造体制、不同的造山作用和造山过程复合叠加而成现今的造山

带景观。地质、地球化学和地球物理综合研究表明,其主要经历了 3 个不同演化阶段:①晚太古代—早元古代造山带基底形成演化阶段;②晚元古代—中三叠世板块构造演化阶段;③中生代陆内造山作用与构造演化阶段(张国伟等,1996)。在这一长期、复杂的演化过程中造就并残存了大量的地质构造形迹,赋存了有关造山带形成、演化及其地球动力学的丰富信息。尤其是元古代作为大陆生长的主要时期而倍受重视,得到了广泛研究,取得了长足的进展。随着秦岭研究工作的不断深入和资料的大量积累,以及 Rodinia 超大陆形成与裂解的恢复重建,对于秦岭地区元古代构造格局、构造体制与演化细节开始出现越来越多的争议。主要涉及华北、北秦岭、扬子陆块的时空演化关系和相应的构造体制,最关键的是北秦岭的构造属性问题。

1 北秦岭地球化学边界及其构造意义

北秦岭构造带主要出露造山带前寒武纪基底岩系及其后的火山-沉积建造,传统的观点认为其隶属于华北陆块,是由于华北陆块与扬子板块沿商丹缝合带对接碰撞而卷入造山带中的华北陆块南缘部分。但是,近年来愈来愈多的地球化学研究却对这一认识提出了挑战。

大量的地球化学研究表明,沿北秦岭北界的洛南-栾川-方城断裂存在明显的地球化学边界。同位素填图和地球化学动力学研究(黄萱等,1995;张本仁等,1996;欧阳建平等,1996)揭示北秦岭块体具有高 Pb 同位素比值和很高的初始 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(+7.6~

+6.3),明显区别于具有低 Pb 同位素比值和初始 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(+3 左右)地球化学特征的华北块体(李曙光等,1989)。

由于 Pb 同位素具有很强的构造块体与区域性特征,因此,Pb 同位素地球化学填图为探讨岩石圈结构、形成与演化提供了有效的方法。利用近年来发表的同位素资料(Zhu,1995;朱炳泉等,1998),进行 Pb 同位素比值三维空间矢量填图结果表明,华北块体与北秦岭之间存在明显的 Pb 同位素地球化学急变带(图 1),并大体与北秦岭块体北界的洛南-栾川-方城断裂相重合,分割具有不同 Pb 同位素空间矢量组成的华北块体与北秦岭块体。华北块体具有明显的低 Pb 同位素矢量 V_1 值,而北秦岭以高 V_1 值为特征,华北块体的 Pb 同位素矢量 V_2 小于 14,而北秦岭块体以 V_2 小于 26,大于 14 为特征,沿洛南-栾川-方城断裂在宽约 20 km 的范围内 V_2 值从 10 陡增至 20,显示具有明显的梯度带特征。这一结果表明,华北块体与北秦岭之间存在明显的地球化学边界,分割具有不同 Pb 同位素空间矢量组成的华北与北秦岭块体。北秦岭地球化学边界的形成、构造意义取决于北秦岭构造属性及其与南秦岭的相互关系。

尽管大范围的地球化学填图表明,地球化学边界可能反映了岩石圈块体拼接界线(Zhu 等,1996)。但北秦岭南部的松树沟蛇绿岩与北侧的宽坪蛇绿岩形成时限、源区特征均显示较大的相似性,同位素地球化学边界仅存在于宽坪岩群北侧,松树沟蛇绿岩出露区却不存在。而且,目前公认的秦岭造山带最

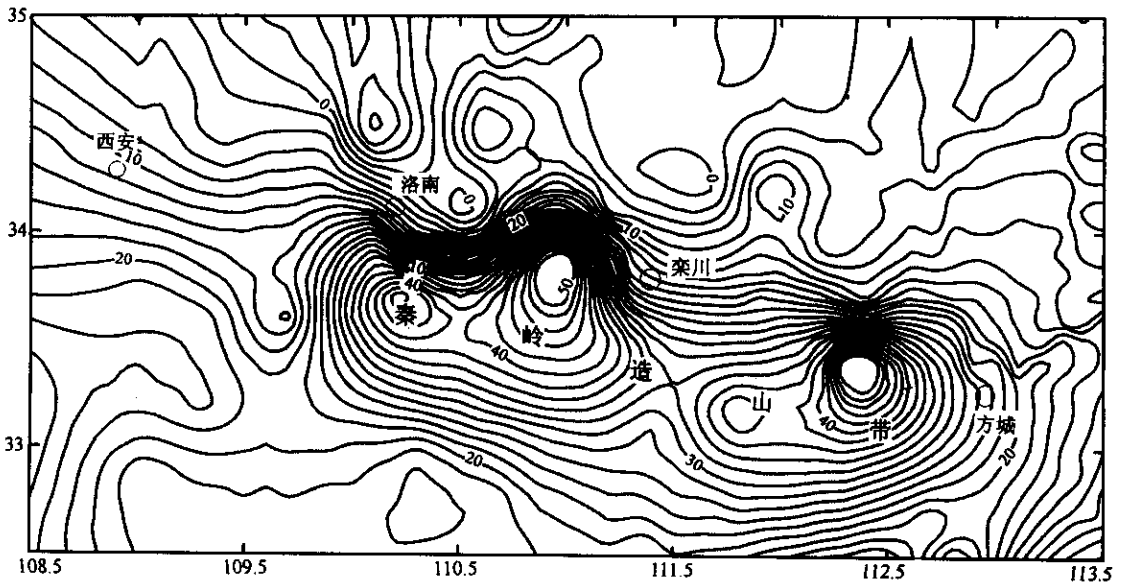


图 1 北秦岭 Pb 同位素急变带

Fig. 1 The Pb isotopic steep zone in Northern Qinling

主要的板块缝合带——商丹带也不存在。这些事实表明,北秦岭的地球化学边界不简单是块体边界的反映,更可能代表了早元古代洋陆地幔差异的分界。北秦岭是在先期洋幔基础上发育演化形成的,火山岩源于亏损的 MORB 源区,必然具有高的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,而华北陆块南缘长期处于稳定的陆块演化过程中,同位素地球化学反映了其长期保存的稳定大陆地幔特征。因而,二者必然存在同位素系统差别。同时,大量的研究显示,这种地球化学边界仅反映了不同块体岩石圈组成的系统差异,而不能与块体之间洋盆大小简单地联系。

2 北秦岭构造属性与演化

2.1 基本地质概况

现有的地质研究表明,以北秦岭北缘的洛南-栾川-方城断裂为界,分隔具有不同物质建造的华北陆块和北秦岭构造带。洛南-栾川-方城断裂带绝非简单断裂,而是一条强烈的构造岩浆活动带,由一系列断层、韧性剪切带及构造岩块组成的断裂构造岩带,明显分隔南北不同构造地层地质体。同时,沿断裂带发育晚元古宙、古生代碱性岩。构造解析揭示该带经历了长期复杂的构造变形,在继承前寒武纪基本构造格架的基础上,迭加了显生宙长期构造演化过程中复杂的构造变形形迹。剔除近时期构造形迹,显示洛南-栾川-方城断裂在中晚元古代对北秦岭和华北陆块南缘的划分意义。北侧的华北陆块南缘带主要出露华北型的晚太古代基底太华群和登封群、早元古代安沟群、中元古代熊耳群火山岩等;南侧的北秦岭未发现太古代岩石,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。二郎坪岩群是由大庙岩片、小寨岩片和二郎坪蛇绿岩片 3 个岩石组合及变质变形特征不同的构造岩片叠置而成,前二者主要为变质碎屑岩和碳酸盐岩,后者代表弧后盆地洋壳残片,古生物化石证据表明,其主体形成于早古生代(孙勇等,1996)。丹凤岩群主要为斜长角闪岩,以变质的钙碱系列玄武岩为主,形成于洋内岛弧构造环境(张旗等,1995),古生物化石限定其主体形成于早古生代(崔智林等,1995)。尽管近年来丹凤蛇绿岩和二郎坪蛇绿岩发现有 100 Ma 左右的同位素年龄信息,但岩石地球化学、古生物学证据显示,其主体无疑是与古生代南北块体沿商丹带俯冲作用密切相关的。而秦岭岩群、宽坪岩群和松树沟岩片是前寒武纪北

秦岭区的主体岩石构造单元。

2.2 秦岭岩群及其对北秦岭构造属性的制约

秦岭岩群是北秦岭现今出露的最古老的岩石,是一套经历多期变形变质作用改造的变质杂岩,主要由片麻岩、斜长角闪岩、钙硅酸盐岩、大理岩组成,为变质的陆源碎屑岩夹基性岩。西峡蛇尾地区的黑云斜长片麻岩锆石 U-Pb 同位素年龄为 $2\,267^{+173}_{-153}$ Ma 和 $2\,172 \pm 5$ Ma。斜长角闪岩全岩 Sm-Nd 同位素等时年龄为 $1\,987 \pm 49$ Ma(张宗清等,1994),表明秦岭岩群主体形成于早元古代。片麻岩中的锆石年龄与基性岩浆岩形成年龄在误差范围内一致,显示 2 000 Ma 左右是北秦岭陆壳主要生成时期。秦岭岩群的碎屑岩主体形成时代应早于侵入体的年龄,那么秦岭岩群的这些碎屑岩的物源来自何方?北秦岭地区迄今尚未发现确凿的更老的岩石,早元古代华北陆块南缘尚无统一的扬子陆块,只有零星的诸如鱼洞子、崆岭等古陆块群。秦岭岩群片麻岩类的地球化学研究表明,其主体为陆源碎屑岩建造,原岩以成熟度不高的近源快速堆积杂砂岩为主,高 Ba、Zr 和低 Sr 也显示近源沉积的特点(游振东等,1991)。La/Co-Sr/Th 相关性图解显示,秦岭群变质杂砂岩由 2 个明显不同的端元组分混合而成,类似于由碱性基性岩和酸性岩组成的大陆裂谷型双模式岩套(张本仁等,1994)。尽管太华群、崆岭群等也是由变质基性岩和 TTG 片麻岩组成的双模式岩套,但其 Th、La、Ba 含量明显低于秦岭群碎屑岩原岩相应元素含量(张本仁等,1994)。秦岭岩群变质杂砂岩的 REE 配分型式类似于典型的后太古代碎屑岩,Cr/V、Ni/Co、V/Ni、La/Th、La/Sc、Th/Sc、Th/U 值与太古界有明显区别(游振东等,1991),这些特征均说明秦岭岩群的碎屑岩物源不可能来自华南北缘或南侧的崆岭等太古代古陆块。而更可能是陆块本身先期的双模式岩套快速剥蚀、搬运堆积的结果。

秦岭岩群的斜长角闪岩类在东部河南西峡、内乡一带多呈岩墙、岩床或其他层状体侵入于片麻岩中,商丹地区则兼有侵入和喷发特点,而西部太白地区多为喷发岩流(刘国惠等,1993)。地球化学研究表明,除少量为副变质岩外,大部分则为正变质的基性岩,以高 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、Cr、Co、Ni、Ba 丰度和 REE 配分型式为特征,类似于大陆拉斑玄武岩(张本仁等,1994)。无疑,秦岭岩群的变基性火山岩是形成于伸展的动力学背景下。斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素等时线年龄 $1\,987 \pm 49$ Ma(张宗清等,1994),初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 +7.3,显示出强亏损的地幔源区

特征,明显区别于弱亏损的华北南缘太华群、登封群等,后者的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 +3 左右。同时,相对于华北南缘和南秦岭带古老岩块具有明显的高 Pb 同位素比值特征(欧阳建平等,1996),指示北秦岭具有相对独立的 Pb 同位素组成。

综上所述,秦岭群变质沉积岩、基性岩的地质、地球化学特征显示,秦岭岩群的形成与华北陆块缺乏必然的关系,具有明显不同的地球化学组成特征。高 Pb 和初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值指示,北秦岭区下元古界可能是在新生洋岛基础上独立发展形成的微陆块(张本仁等,1996,欧阳建平等,1996,许继峰等,1996)。

2.3 宽坪岩群及其构造意义

北秦岭的地质填图表明,在下元古界秦岭岩群与华北陆块南缘地层之间出露中上元古界宽坪岩群,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。表现为一些经历多期变质、变形作用的逆冲叠置构造岩片,呈狭长带状近 EW 向延伸千公里。云母石英片岩-片麻岩类原岩主要是泥砂质岩石,显示富 SiO_2 、 MgO 、 Na_2O 、 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)。Th/Co-La/Co 和 Sc/Th-La/Co 相关性表明,宽坪碎屑岩主要物源来自南侧的秦岭岩群和北侧的太华岩群(高山,1990)。显然,宽坪岩群碎屑岩沉积时北秦岭微古陆已与华北陆块南缘对接。商县板桥宽坪岩群四岔口组获得云母石英片岩锆石 U-Pb 年龄 $2\,153^{+173}_{-122}$ Ma 和 $1\,806^{+124}_{-106}$ Ma, 锆石 Pb-Pb 年龄为 $3\,319 \pm 3$ Ma 和 $1\,753 \pm 4$ Ma, $1\,620 \pm 13$ Ma、 $1\,466 \pm 14$ Ma 和 887 ± 8 Ma, Sm-Nd 模式年龄为 2040 Ma 南召铁匠炉测得云英片岩锆石 U-Pb 年龄为 $1\,872^{+36}_{-34}$ Ma, 锆石 Pb-Pb 年龄为 $1\,115 \pm 5$ Ma 和 $1\,309 \pm 1$ Ma 南召河西村片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 $2\,486^{+45}_{-43}$ Ma 或 $2\,027^{+28}_{-27}$ Ma, Sm-Nd 模式年龄为 2 000~2 300 Ma(张宗清等,1994)。这些年龄一方面指示碎屑岩源区年龄分别类似于北侧太华岩群和南侧秦岭岩群,另一方面也暗示北秦岭区存在早元古代—中元古代初期和 1 000 Ma 左右两期强烈的陆壳生长事件。

宽坪岩群中的绿片岩-斜长角闪岩类主要位于宽坪岩群的中下部,为不同程度变质的拉斑玄武岩。岩石地球化学显示其具有 LREE 亏损或平坦的 REE 配分型式,稀土总量低,Zr、Hf、Ta、Th、Ti、P、Y 均指示其类似于 N-MORB 或 T-MORB 同时,变玄

武岩的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值相对稳定于 +6.6~+4.0 之间,而 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 值变化于 -36.8~+22.5 之间,显示强烈的海水蚀变作用(张宗清等,1995),显然,宽坪岩群的变质基性岩应形成于洋盆环境。商县北宽坪广东坪组绿片岩 Sm-Nd 同位素年龄为 986 ± 169 Ma, 初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 +5.1;洛南马河斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄为 $1\,142 \pm 18$ Ma 和 $1\,015 \pm 388$ Ma, 初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值分别为 4.2 和 6.0;河南南召斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄为 $1\,085 \pm 37$ Ma, 初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 +5.8(张宗清等,1994)。各年龄在误差范围内一致,结合碎屑岩研究以及区域地质分析推断宽坪基性火山岩所代表的小洋盆更可能形成于 1 300~1 000 Ma 期间。

区域对比研究表明,宽坪岩群东西延伸岩石组成与性质变化大,西到太白地区、东至豫西地区未发育蛇绿岩,主要是中酸性火山岩,表明东、西部地区仍是裂隙环境,并未出现洋盆(张国伟等,2000)。综合考虑与其伴生的碎屑岩双源性特点,认为宽坪群不是分隔北秦岭与华北的广阔大洋,而可能是华北与北秦岭两陆块间在 1 300~1 000 Ma 期或扩张裂解的裂谷-小洋盆。前已述及,早元古代北秦岭主体为秦岭杂岩,是形成于洋岛基础上的地体,不属于华北陆块,那么,在 1 300 Ma 前必然存在北秦岭向华北陆块的拼贴事件,考虑到华北陆块南缘大量的 1 800~1 500 Ma 的岩浆、变质事件,推测北秦岭可能于 1 600 Ma 左右拼接于华北陆块外侧。

北秦岭的地球化学边界出现在宽坪岩群北侧,宽坪变基性火山岩具有高的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,变化范围在 +4.0~+6.6 之间,同时,具有高的 Pb 同位素比值(欧阳建平等,1996),明显类似于秦岭岩群变基性火山岩,而区别于华北南缘太华群、登封群的变基性火山岩(斜长角闪岩)。这种地球化学性状及边界的形成可能归因于 1 600 Ma 左右北秦岭块体与华北块体之间的俯冲事件。假设,早元古代北秦岭洋是向北侧的华北块体之下俯冲消减的,那么,对接后的缝合带乃至华北南缘深部地幔应该是插入的早元古代北秦岭大洋地幔[具有高的 Pb 同位素比值和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值],宽坪基性火山岩正是在此基础上扩张裂解形成的小洋盆地幔岩,必然具有类似形成于早元古代洋幔基础上的北秦岭的同位素组成,地球化学边界也当然出现在宽坪岩群北侧。

2.4 松树沟蛇绿岩及其构造意义

在北秦岭区,与秦岭岩群北侧宽坪基性火山岩遥相呼应的是秦岭岩群南侧出露的松树沟蛇绿岩

片,其具有与宽坪蛇绿岩类似的性质,二者分别代表围限北秦岭块体的南北大洋。松树沟蛇绿岩现今出露于北秦岭块体与扬子陆块拼接带——商丹带北侧,主要由镁铁质和超镁铁质单元组成。超镁铁质岩具有 LREE 强烈亏损的稀土配分型式,富集 Mg、Cr、Ni 等难熔元素,代表了强烈亏损的变质橄辉岩。镁铁质岩已变质为斜长角闪岩,主体为变质拉斑玄武岩和辉绿岩,以 LREE 亏损或略富集型稀土配分型式为主,分别类似于 N-MORB 和 E-MORB。前者具有 Ce/Yb 小于 4, La/Nb 和 Th/Ta 约为 1, Zr/Nb 大于 13, Zr/Y 小于 3, Hf/Th 大于 5, La/Ta 为 15, 低 Nb 含量的特征,接近于 N-MORB 地球化学特征;后者相应的元素比值变化较大, Ce/Yb 为 4~8、Nb 为 4~20、 Th/Ta 为 0.5~3、 Zr/Y 为 2~5、 Hf/Th 为 1~6、 Ta/Yb 大于 0.12,总体类似于 E-MORB (周鼎武等,1995)。且具有相对稳定的高 Nd 比值和变化大的 Sr 比值,指示岩浆源于亏损地幔并受到海水蚀变作用的影响。同时,高放射性成因的 Pb 同位素组成揭示出源区具有 DUPAL 异常,类似于印度洋 MORB 源区特征(周鼎武等,1998)。综合岩石学、地球化学研究认为,松树沟镁铁质和超镁铁质岩石组合是蛇绿岩的端元,代表了古洋盆岩石圈残片。在斜长角闪岩中测得全岩 Sm-Nd 同位素等时年龄为 $1\,030 \pm 46\text{ Ma}$, $\epsilon_{Nd}(t)$ 为 +5.7,代表其形成年龄的上限(董云鹏等,1997)。模式年龄主要集中在 $1\,271 \sim 1\,442\text{ Ma}$,限定了松树沟蛇绿岩形成的下限年龄。有理由认为松树沟蛇绿岩形成于 $1\,400 \sim 1\,000\text{ Ma}$ 期间,与宽坪蛇绿岩时限相当。另外,在镁铁质岩与超镁铁质岩接触带部位的石榴石角闪岩中测得矿物 Sm-Nd 同位素等时年龄为 $983 \pm 140\text{ Ma}$, $\epsilon_{Nd}(t)$ 为 +6.8 (李曙光等,1991),代表了蛇绿岩构造侵位时限。

富水杂岩具有岛弧火山岩地球化学特征(董云鹏等,1997),新测得全岩 Sm-Nd 等时年龄为 $1\,020 \pm 39\text{ Ma}$ (本文)。丹凤群中存在 $1\,000\text{ Ma}$ 洋内岛弧火山岩块,共同指示北秦岭南侧曾发生类似于板块构造体制的陆块拼接事件。而扬子陆块在晚元古代才完成主体拼合,变质同位素年龄集中于 800 Ma 左右(张宗清等,1996),显然不可能是北秦岭与扬子块体的碰撞。商丹带南侧的陡岭岩块具有类似于秦岭群的岩石组合和 $1\,000\text{ Ma}$ 变质改造(赵子然等,1995),因此,发生在北秦岭南缘的块体拼接很可能是发生于北秦岭与陡岭岩块之间。若如此,则华北、北秦岭与扬子陆块相距不会太远。

2.5 北秦岭构造属性及其前寒武纪演化

北秦岭主要变质岩同位素年龄频率分布图(图 2)表明,岩石 Sm-Nd 同位素年龄分布与锆石 U-Pb 年龄吻合,共同揭示北秦岭岩石形成年龄主要在 $2\,200 \sim 1\,800\text{ Ma}$ 和 $1\,400 \sim 900\text{ Ma}$,并与壳源岩石 Sm-Nd 同位素模式年龄(张本仁等,1996)给出的信息完全一致,反映北秦岭两次主要的地壳增生,早元古代是以秦岭群为代表的垂向加积增生,中元古代晚期则是以宽坪和松树沟蛇绿岩形成和侵位为代表的侧向加积增生为主地壳生长。而华北的同位素年龄频率分布图(图 2)明显指示,华北陆壳最主要的增生期为 $2\,900 \sim 2\,400\text{ Ma}$,与北秦岭存在显著差

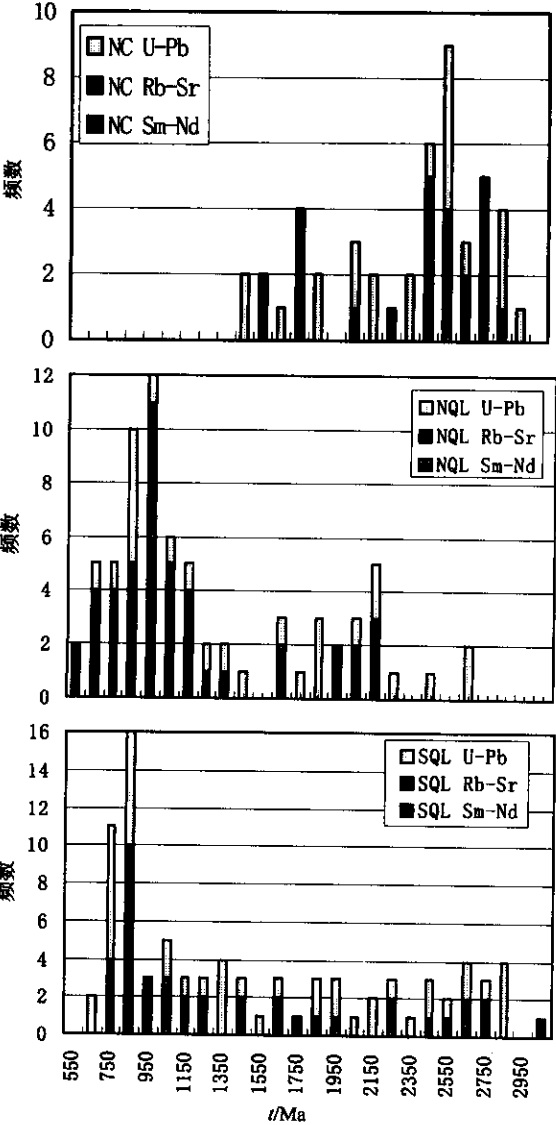


图 2 华北(NC)、北秦岭(NQL)、南秦岭(SQL)同位素年龄频率分布图

Fig. 2 The distribution frequency diagrams of isotopic ages of NC,NQL and SQL

别。同时,华北陆块显示 1 800~1 500 Ma 的岩浆和变质年龄,应与中元古代早期北秦岭和华北陆块的拼接相关。

秦岭岩群中的变玄武岩、宽坪群大洋拉斑玄武岩和松树沟大洋拉斑玄武岩三者均具有高的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(+7.6~+6.3)和高的 Pb 同位素比值,显示它们在地幔同位素地球化学区划上属于同一地球化学省,而明显区别于具有低初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(+3 左右)和低 Pb 同位素比值的华北陆块。主要变质岩群 Sm-Nd 年龄和 Nd 同位素初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值随时间演化图解(图 3)显示,除富水杂岩、个别二郎坪群和斜峪关群火山岩因处于楔形地幔区受到消减组分影响而使其 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值降低外,其余岩石所反映的地幔源区均为强亏损地幔源区,与华北太古代地幔明显不同。同时,北秦岭地幔 Nd 同位素组成显示轻微富集的演化趋势,与南秦岭亏损趋势相反。显然,北秦岭是在华北板块南侧洋岛基础上逐步发育而成的独立陆块。地球化学揭示南北沉积水体存在相似性,限定北秦岭是华北陆块外围相近的陆块(张本仁等,1994 欧阳建平等,1996)。

综上所述,北秦岭地区的秦岭岩群变基性火山岩具有明显的高初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 Pb 同位素比值,截然区别于华北陆块同位素组成。变质碎屑岩地球化学特征也类似于后太古代碎屑岩。指示北秦岭是于 2 000 Ma 左右在华北外侧洋岛基础上形成的独立微陆块。宽坪群的岩石组合、地球化学特征和年代学表明,在其形成之前北秦岭是与华北拼合在一起的,暗示北秦岭中元古代早期与华北之间的俯冲对接事件。1 300~1 000 Ma 又发生北秦岭与华北的扩张裂解,形成宽坪小洋盆,1 000 Ma 左右北秦岭再度拼贴于华北陆块南缘。同时,北秦岭南侧发生松树沟洋盆的扩张形成-消减闭合事件,并与南侧扬子型的陡岭陆块拼合。

南秦岭幔源岩浆活动、构造事件的 Sm-Nd 等时年龄与锆石 U-Pb 年龄分布吻合(图 2),并与南秦岭、扬子壳源岩石 Sm-Nd 同位素模式年龄填图结果(张本仁等,1996 朱炳泉,1998)基本一致。显示南秦岭具有长期稳定的增生历史,并以 2 400~2 800 Ma、2 000~1 800 Ma 和 1 500~700 Ma 为 3 次峰值。南秦岭在晚太古代古陆块群基础上,元古代长期发育裂谷火山-沉积建造,在南秦岭各陆块之间缺乏与板块碰撞相关的缝合带遗迹。这些事实表明,

南秦岭前寒武纪陆壳生长机制是垂向加积增生。扬子陆块的形成——南秦岭古陆块之间的拼接不同于板块构造体制下的侧向增生,而更可能是由于元古代长期的陆壳垂向加积增生,导致古陆块生长,最终于晚元古代焊合,形成扬子陆块。

秦岭主要变质岩群 Sm-Nd 年龄和 Nd 同位素初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值随时间演化图解(图 3)显示,北秦岭与华北陆块具有完全不同的地幔源区演化特征,却与南秦岭具有一定的相关性。南秦岭除太古代鱼洞子群和陡岭群片麻岩具有负初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值外,其余太古代岩石地幔源区类似于华北地幔 Nd 同位素组成,位于或靠近亏损地幔范围。早中元古代火山岩几乎全来自亏损地幔源区,Nd 同位素组成均在 MORB 平均值演化线上或临近摆动,同时,明显看出南秦岭中元古代地幔发生持续稳定的亏损,而 900~700 Ma 期间的耀岭河群火山岩和武当基性岩墙具有明显低的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,并与中元古代火山岩源区同位素组成差异明显,表明存在构造体制的转换,归因于小型地幔柱活动。

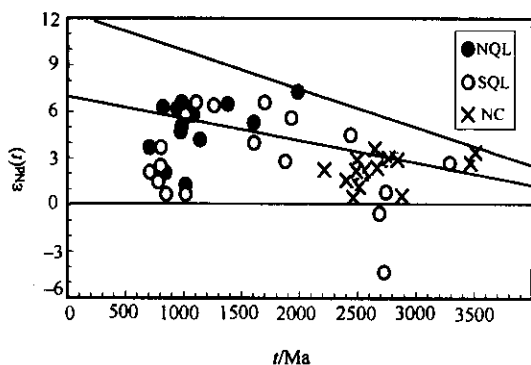


图 3 Nd 同位素初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值随时间演化图

Fig.3 The diagram showing the $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ isotope compositions of NC, NQL and SQL

3 结论

(1) 北秦岭与华北陆块之间存在明显的地球化学边界,北秦岭具有明显高的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 Pb 同位素比值特征,区别于明显低初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 Pb 同位素比值特征的华北陆块,并不同于扬子地幔同位素组成,是 2 000 Ma 左右形成于华北陆块外侧洋岛基础上的独立微陆块。地球化学边界反映了早元古代洋、陆地幔分异界线。

(2) 1 600 Ma 左右,北秦岭古洋盆向华北陆块

俯冲消减,北秦岭首次拼接于华北陆块。1 300 Ma 开始扩张裂解,形成宽坪小洋盆,并于 1 000 Ma 消减闭合,北秦岭块体与华北块体再次对接,同时,南侧可能与南秦岭陆块群中的陡岭微陆块拼接。

(3) 北秦岭陆块经历 2 200 ~ 1 800 Ma 和 1 400 ~ 900 Ma 两次主要的地壳生长,分别以垂向加积增生和侧向加积增生为主要机制。

(4) 1 000 Ma 左右,华北、北秦岭与扬子块体群临近,北秦岭与扬子块体群之间的洋盆向北俯冲消减,导致扬子陆块群总体向北秦岭会聚靠拢,并有个别陆块与北秦岭发生碰撞,扬子陆块群之间总体则呈现扩张离散状态。

参 考 文 献

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. 1997. 东秦岭松树沟超镁铁质岩侵位机制及其构造演化. 地质科学,32(2) :173~180.

高山,张本仁,谷晓明等. 1990. 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,35(19) :1494~1496.

黄董,孙宝山,潘均等. 1995. 东秦岭华北地台区岩浆活动的时代及地壳增生和再改造. 岩石学报,11(2) :171~178.

李曙光,Hart S R,郑双根等. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据. 中国科学(B), (3) :312~319.

李曙光,陈移之,张国伟等. 1991. 一个距今 100 Ma 侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体 北秦岭晚元古代板块构造体制的证据. 地质论评, 37(3) :235~242.

刘国惠,张寿广,游振东等. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及其变质演化. 北京 地质出版社,1~190.

欧阳建平,张本仁. 1996. 北秦岭微古陆形成与演化的地球化学证据. 中国科学(D),26(增刊) :42~48.

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),26(增刊) :49~55.

许继峰,韩吟文. 1996. 秦岭古 MORB 型岩石的高放射性成因铅同位素组成——特提斯型古洋幔存在的证据. 中国科学(D),26(增刊) :34~41.

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,1~326.

张本仁,骆庭川,高山等. 1994. 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,1~446.

张本仁,张宏飞,赵志丹等. 1996. 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(D),26(3) :201~208.

张国伟,孟庆任,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),26(3) :193~200.

张国伟,于在平,董云鹏等. 2000. 秦岭区前寒武纪构造格局与演化问题探讨. 岩石学报,16(1) :11~21.

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研究. 北京 地质出版社,1~191.

张宗清,张旗. 1995. 北秦岭晚元古代宽坪蛇绿岩中变质基性火山岩的地球化学特征. 岩石学报,11(增刊) :165~177.

张宗清,张国伟,付国民等. 1996. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. 中国科学(D),26(3) :216~222.

赵子然,万渝生,张寿广等. 1995. 早元古代陡岭群变质杂岩的岩石地球化学特征. 岩石学报,11(2) :148~159.

周鼎武,董云鹏,刘良等. 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.

朱炳泉,常向阳,邱华宁等. 1998. 地球化学急变带的元古界基底特征及其与超大型矿床产出的关系. 中国科学,28(增刊) :63~70.

References

Cui Zhilin,Sun Yong, Wang Xueren. 1995. The discovery of the radiolarian in Danfeng ophiolitic zone Qinling and its geological implications. Chinese Science Bulletin,40(18) :1686~1688(in Chinese).

Dong Yunpeng,Zhou Dingwu, Zhang Guowei. 1997. The emplacement mechanism and tectonic evolution of ultramafites in Songshugou area, Eastern Qinling. Scientia Geologica Sinica,32(2) :173~180 (in Chinese with English abstract).

Gao Shan, Zhang Benren, Gu Xiaoming et al. 1990. Sedimentogeochemistry evidence of intracontinental rifting of the Proterozoic in Qinling orogenic belt. Chinese Science Bulletin,36(19) :1494~1496.

Huang Xuan,Sun Baoshan, Pan Jun et al. 1995. The ages of igneous rocks from Eastern Qinling of North China platform and the crustal growth and reworking of the Terrane. Acta Petrologica Sinica,11(2) :171~178(in Chinese with English abstract).

Li Shuguang, Hart S R, Zheng Shuanggen et al. 1989. Timing of collision between the North and South China blocks-the Sm-Nd isotopic age evidence. Science in China (Series B), 32 :312~319.

Li Shuguang,Chen Yizhi, Zhang Guowei et al. 1991. A 1 Ga B. P. 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 Guohui, Zhang Shouguang, You Zhendong et al. 1993. The major metamorphic groups of Qinling orogenic belt, and its metamorphic evolution. Beijing :Geological Publishing House, 1~190 (in Chinese).

Ouyang Jianping,Zhang Benren. 1996. Geochemical evidence for the for-

- mation and evolution of North Qinling microcontinent. Science in China (Series D), 39(Sup.) : 42~49 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yong, Lu Xinxiang, Han Song et al. 1996. Composition and formation of Palaeozoic Erlangping ophiolitic slab, North Qinling: Evidence from geology and geochemistry. Science in China (Series D), 39(Sup.) : 50~59.
- Xu Jifeng, Han Yinwen. 1996. High radiogenic Pb-isotope composition of ancient MORB-type rocks from Qinling area—Evidence for the presence of Tethyan-type oceanic mantle. Science in China (Series D), 39(Sup.) : 33~42 (in Chinese with English abstract).
- You Zhendong, Suo Shutian, Han Yujin et al. 1991. The metamorphic processes and tectonic analyses in the core complex of an orogenic belt: an Example from the Eastern Qinling Mountains. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1~326 (in Chinese).
- Zhang Benren, Luo Tingchuan, Gao Shan et al. 1994. Geochemical study of the lithosphere, tectonism and Metallogenesis in the Qinling-Dabieshan region. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1~446 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan et al. 1996. Geochemical subdivision and evolution of the lithosphere in East Qinling and adjacent regions—implications for tectonics. Science in China (Series D), 39(3) : 245~255.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Ziping et al. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. Science in China (Series D), 39(3) : 225~234 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Yu Zipin, Dong Yunpeng et al. 2000. On Precambrian framework and evolution of the Qinling belt. Acta Petrologica Sinica, 16(1) : 11~21 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Zhang Zongqing, Sun Yong et al. 1995. Trace element and isotopic geochemistry of metabsalts from Danfeng group in Shangxi-an-Danfeng area, Shaanxi province. Acta Petrologica Sinica, 11(1) : 43~54 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Fu Guomin. 1994. Isotopic geochronology of metamorphic strata in North Qinling, China. Beijing: Geological Publishing House, 1~191 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Zhang Qi. 1995. Geochemistry of the metamorphosed Late Proterozoic Kuanping ophiolite in the Northern Qinling, China. Acta Petrologica Sinica, 11(Sup.) : 165~177 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Fu Guomin et al. 1996. Geochronology of metamorphic strata in the Qinling mountains and its tectonic implications. Science in China (Series D), 39(3) : 283~292.
- Zhao Ziran, Wan Yusheng, Zhang Shonguang et al. 1995. The geochemical features of the Douling metamorphic complex. Acta Petrologica Sinica, 11(2) : 148~159 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Dong Yunping, Liu Liang et al. 1998. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the Proterozoic ophiolite from Songshugou area. Scientia Geologica Sinica, 33(1) : 31~38 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan. 1995. The mapping of geochemical provinces in China based on Pb isotopes. J Geochemical Exploration, 55 : 171~181.
- Zhu Bingquan, Chang Xiangyang, Qiu Huaning et al. 1998. Characteristics of Proterozoic basements on the geochemical steep zones in the continent of China and their implications for setting of super large deposits. Science in China (series D), 41(Sup.) : 54~64 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan, Chang Xiangyang, Wang H F. 1996. The geochemical boundary between South China and Yangtze Blocks and its constraint on the formation of super large deposits. Science in China (series D), 39(1) : 58~65.