

秦岭变质地层年龄及其构造意义*

张宗清^① 张国伟^② 付国民^① 唐索寒^① 宋彪^①

(^① 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; ^② 西北大学地质系, 西安 710069)

摘要 秦岭变质地层的年龄已用多种同位素年代学方法研究, 结果表明, 除南秦岭鱼洞子群片麻岩形成于太古代外, 其余变质地层差不多都形成于元古代, 并且自 1 600 Ma 以来, 秦岭地区经历了 3 期强烈地质事件. (1) 发生在 1 000 Ma 左右的晋宁期, 秦岭地区遭受强烈变质作用并伴随地壳部分熔融和强烈火山活动; (2) 发生在 400 Ma 左右的加里东~早华力西期, 秦岭再次遭受强烈变质并伴随酸性岩浆侵入和喷发; (3) 280~200 Ma 的晚华力西~印支期是又一次重要构造热事件.

关键词 地质年代学 变质岩 秦岭

秦岭山脉位于我国中部, 是我国自然地理的分界线, 在地质上是亚洲东部两个最大构造单元——中朝克拉通华北块体和扬子克拉通块体的结合区域. 秦岭由不同成因、不同构造背景、不同年龄的岩层组成, 且经历了多期变质作用, 岩石遭受过强烈和复杂的变质变形, 并伴随多次岩浆侵入和火山喷发作用. 秦岭的地质背景十分复杂, 鉴于秦岭地质作用的复杂性, 对其变质地层年龄采用多种同位素年代学方法进行了研究. 本文讨论了变质地层年龄结果及其构造意义.

1 北秦岭造山带变质岩群年龄

秦岭造山带的地质概况和变质地层的分布如图 1 所示. 秦岭地质已有许多研究^[1~7]. 地质学家普遍以商丹断裂带为界将秦岭划分为南、北两部分, 北部具有中朝克拉通华北块体基底, 南部具有扬子克拉通块体基底.

出露于北秦岭的变质地层, 由商丹断裂带向北, 依次为丹凤群、秦岭群、二郎坪群(斜峪关群)、宽坪群和陶湾群. “七五”期间, 张宗清等对北秦岭变质地层年代学做了大量工作^[8]. 已获得的同位素年代学资料表明, 秦岭群变质岩形成于早元古代, 是 2 000 Ma 左右华北地块南缘增生地壳的一部分. 宽坪群形成于晋宁期. 采自商县北宽坪宽坪群下部层位的具有蛇绿岩特征的 13 个绿片岩样品给予 Sm-Nd 等时线年龄为 $986 \pm 169 (2\sigma) \text{ Ma}$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +5.1 \pm 0.6$ ^[8,9]. 陶湾群主要由变质沉积岩组成, 形成于 $682 \pm 60 (2\sigma) \text{ Ma} \sim 586 \pm 60 (2\sigma) \text{ Ma}$.

二郎坪群和丹凤群的形成年龄虽然已做不少工作, 但至今仍有不少争论. 同位素结果

显示, 两群均可能至少部分形成于晚元古代。例如, 争论很大的河南省西峡县湾潭二郎坪群的年龄, 析近的同位素工作表明, 其枕状熔岩的年龄仍为晚元古代, Sm-Nd 等时年龄为 $945 \pm 67(2\sigma) \text{ Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.2 \pm 0.6$ 。关于丹凤群, 新获得的陕西省周至县小王涧丹凤群枕状熔岩的 Sm-Nd 等时线年龄的初步结果为 $984 \pm 36(2\sigma) \text{ Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.6 \pm 0.2$ 。

多种同位素年代学方法测定的变质岩的年龄结果还显示(图2)自1600 Ma以来, 北秦岭地区遭受了3期强烈地质事件, 时间分别是晋宁期(1000 Ma左右)、加里东-早华力西期(400 Ma左右)和晚华力西至印支期(280~200 Ma)。构造热作用强度, 晋宁期最强, 除强变质作用外还伴随地壳熔融和火山喷发, 陕西省丹凤地区秦岭群中大量出露的斜长角闪岩形成于 $978 \pm 79(2\sigma) \text{ Ma}$ ($\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +4.7 \pm 0.4^{[8]}$), 商南县松树沟蛇绿岩侵位于 $983 \pm 140(2\sigma) \text{ Ma}^{[10]}$, 宽坪群火山岩形成。加里东-早华力西期强度次之。晚华力西-印支期最弱, 仅影响矿物 Rb-Sr 同位素系统。

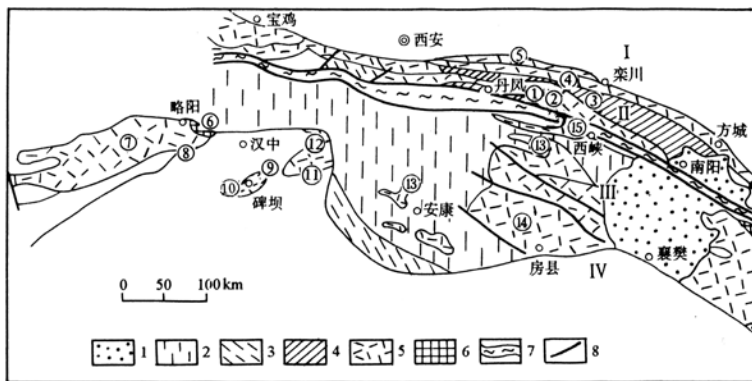


图1 秦岭地质略图(据刘国惠等修改^[5])

1——中、新生代陆相盆地, 2——上震旦统-三叠系, 3——下古生界, 4——下古生界~上元古界, 5——元古界, 6——太古代, 7——主缝合带, 8——断层, 构造单元: I——华北块, II——北秦岭褶皱带, III——南秦岭褶皱带, IV——扬子地块。变质地层: ①——丹凤群, ②——秦岭群, ③——二郎坪群, ④——宽坪群, ⑤——陶湾群, ⑥——鱼洞子群, ⑦——碧口群, ⑧——刘家坪组, ⑨——铁船山群, ⑩——火地垭群, ⑪——西乡群, ⑫——三花石群, ⑬——郧西群和耀岭河群, ⑭——武当群, ⑮——陡岭群

2 南秦岭造山带变质岩群年龄

南秦岭变质地层分布在扬子古陆北缘大片地区(图1), 西起甘肃、东至湖北西北部, 分别命名为鱼洞子群、碧口群、刘家坪组、火地垭群、三花石群、西乡群、郧西群、耀岭河群、武当群和陡岭群, 它们主要由变质基性火山岩组成。新获得的同位素年代学结果表明, 鱼洞子群片麻岩可能形成于太古代, 其全岩 Sm-Nd 等时年龄为 $2688 \pm 84(2\sigma) \text{ Ma}$ (锆石 U-Pb 年龄为 $2657 \pm 9(2\sigma) \text{ Ma}^{[9]}$)。火地垭群和陡岭群形成于早元古代, Sm-Nd 年龄: 火地垭群为 $2436 \pm 54(2\sigma) \text{ Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +4.5 \pm 0.6$; 陡岭群近似 2000 Ma, 大量单锆石逐层蒸发法 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2020~1840 Ma, 与 Sm-Nd 模式年龄 $t_{\text{DM}}(\approx 2000 \text{ Ma})$ 接近。武当群较复杂, 十堰断裂以北, 变质火山岩 Sm-Nd 年龄为 $1930 \pm 56(2\sigma) \text{ Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +5.6 \pm 0.3$ 。南部火山岩 Sm-Nd 年龄仅

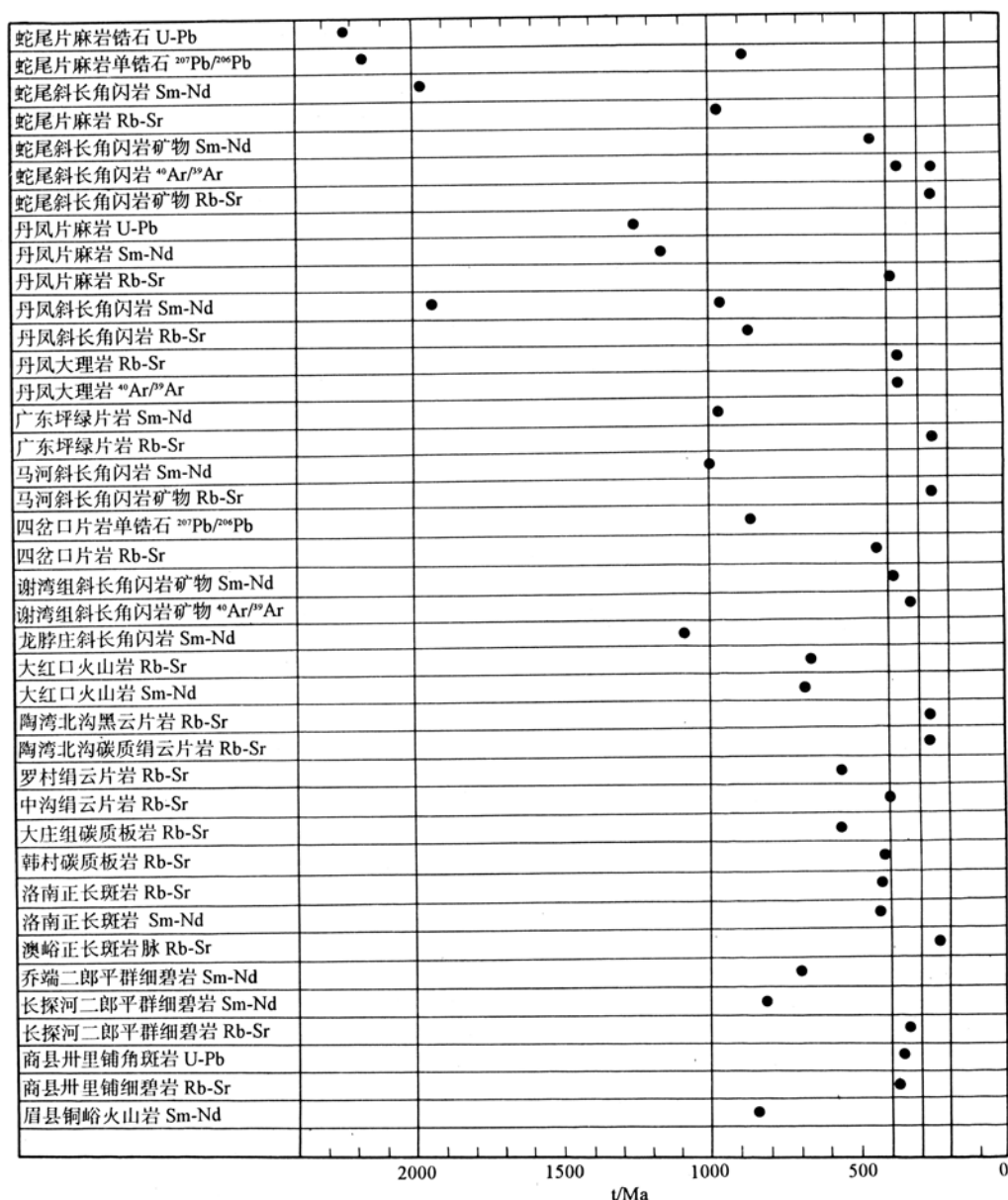


图 2 北秦岭造山带变质岩年龄

$1018 \pm 31(2\sigma)$ Ma, 相应的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +0.7 \pm 0.2$, 模式年龄 $t_{\text{DM}} \approx 2000$ Ma. 此年龄可能是变质作用 Sm-Nd 同位素系统被改造时间. 碧口群和铁船山群形成于中元古代. 采自陕西省南郑县青羊驿的碧口群变质火山岩样品的 Sm-Nd 年龄为 $1611 \pm 118(2\sigma)$ Ma, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +4.0 \pm 1.1$; 采自碑坝铁船山群火山岩样品的 Sm-Nd 年龄为 $1699 \pm 195(2\sigma)$ Ma, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.6 \pm 1.9$. 其余变质地层, 包括在南秦岭广泛分布的郧西群和耀岭河群及刘家坪组、西乡群和三花石群均形成于 1000 Ma 左右. 火地垭群、铁船山群和陡岭群变质火山岩在晋宁期遭受过强烈变质, 并有部分岩石发生重熔. 在晚华力西~印支期, 所有变质岩群火山岩均遭受变质作用, 碧口群、武当

群南部、安康牛山鄖西群和耀岭河群变质岩全岩 Rb-Sr 同位素系统, 均被彻底改造或遭受强烈扰动。加里东~早华力西期地质作用仅对商丹断裂带南侧陡岭群、湖北西北的鄖西群和耀岭河群变质岩有较大影响, 变质岩全岩 Rb-Sr 同位素系统被彻底改造。

由图 3 可见, 自 1 600 Ma 以后, 南秦岭地区也经历了 3 期强烈地质事件, 时间分别是晋宁期(1000 ~ 700 Ma)、加里东~早华力西期(400 Ma 左右)和晚华力西~印支期(280 ~ 200 Ma)。晋宁期构造热作用最强, 晚华力西~印支期次之, 加里东~早华力西期分布范围局限。

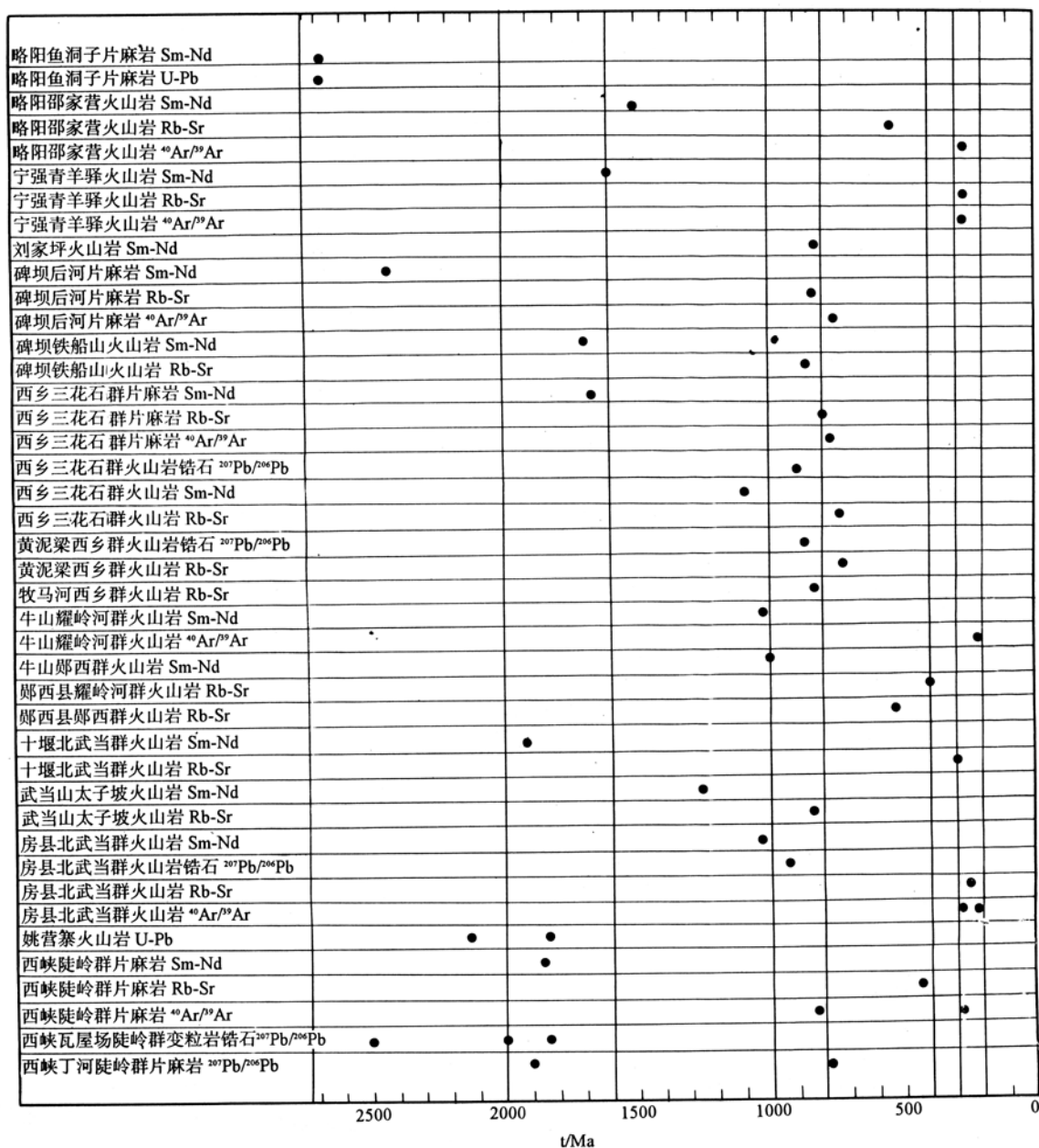


图 3 南秦岭造山带变质岩年龄

南、北秦岭比较,虽然年龄结果都表明,在晋宁期、加里东~早华力西期和晚华力西~印支期均遭受强烈构造热事件,但是北秦岭构造热作用峰期集中于 1 000 Ma 左右,而南秦岭则稍晚,集中于 800 Ma 左右(图 4)。加里东~早华力西期,北秦岭变质作用表现强烈,几乎所有变质碎屑岩的全岩 Rb-Sr 同位素系统、矿物 Sm-Nd、Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素系统都被彻底改造。相反,南秦岭则表现较弱,如上所述,仅邻近商丹断裂带南侧,即扬子块体的最北部有较强反应。晚华力西~印支期,与加里东~早华力西期相反,北秦岭表现较弱,仅矿物 Rb-Sr 同位素系统被彻底改造,而南秦岭,全岩 Rb-Sr 同位素系统也被彻底改造,且由北向南变得越来越强。例如,由河南省西峡县至湖北省房县(图 1),西峡蛇尾秦岭群片麻岩 Rb-Sr 年龄为 $996 \pm 76(2\sigma)\text{Ma}$ ^[8],向南陡岭群片麻岩 Rb-Sr 年龄为 $442 \pm 16(2\sigma)\text{Ma}$,到房县武当群火山岩,同为全岩样品,Rb-Sr 年龄仅为 $263 \pm 11(2\sigma)\text{Ma}$ 。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄有类似情况。

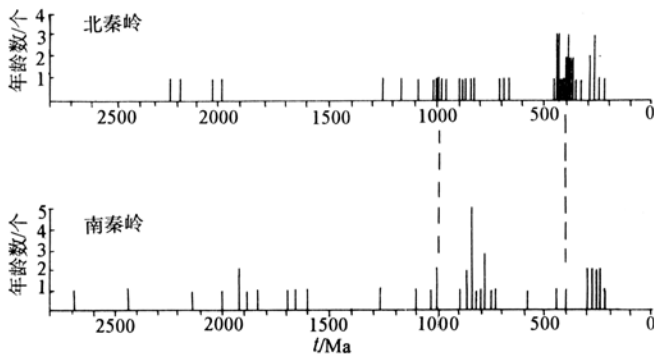


图 4 南、北秦岭变质岩年龄随时间 t 的分布

由图可以看出,虽然南、北秦岭自 1 600 Ma 以来都经历了晋宁(1 000 Ma 左右)、加里东~早华力西期(400 Ma 左右)和晚华力西期~印支期(280 ~ 200 Ma) 3 期强烈构造热事件,但是差异明显存在,其意义参见正文说明

3 秦岭变质岩源区 Nd 同位素特征

除北秦岭秦岭群片麻岩、宽坪群中部和陶湾群云母石英片岩、栾川大红口和洛南粗面质火山岩以及南秦岭鱼洞子群片麻岩的初始 Nd 同位素 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) < 0$ 外,其余变质地层主要由变质基性火山岩组成且均 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) > 0$ 。图 5 表示南、北秦岭不同变质岩群变质火山岩的年龄和 Nd 同位素初始 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值随时间 t 的演化。明显看出,所有变质火山岩原岩均来自亏损地幔源区。在 1 200 Ma 以前,变质火山岩源区 Nd 同位素组成均在 MORB 平均值($\varepsilon_{\text{Nd}}(0) = +10$) 演化线周围摆动,而到了晋宁期(1 100 ~ 700 Ma)时, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值强烈减小。这表明,在秦岭地幔中地壳物质含量增加,在秦岭可能存在一期十分强烈的地壳运动,并有构造体制的转换。

4 年龄的构造意义

4.1 晋宁期(~ 1 000 Ma)

秦岭地区发生了剧烈变化。包括:(1)强烈变质作用,伴随地壳熔融;(2)强烈火山作用。秦岭大多数变质火山岩地层,如宽坪群下部层位、二郎坪群、部分丹凤群、西乡群、三花石群、耀岭河群、郧西群以及松树沟蛇绿岩等,都形成于这一时期;(3)源区 Nd 同位素演化趋势发生变化。

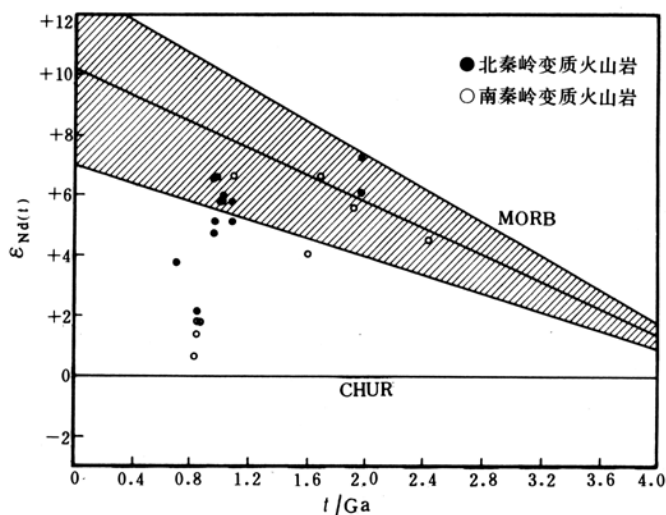


图5 秦岭变质地层火山岩 Nd 同位素初始值 ε_{Nd} 随时间 t 的演化
在 1 000 Ma 左右, 秦岭变质地层火山岩 Nd 同位素初始值 ε_{Nd} 发生明显变化

此期强烈地质事件的意义尚有争论: 一种意见认为此为 中国古大陆裂解, 即中朝克拉通华北古陆块和扬子古陆块曾形成过统一的中国古大陆, 在晋宁期, 即 1 000 Ma 左右裂开了; 另一种意见则认为, 晋宁期是中朝克拉通华北古陆块和扬子古陆块拼合的时间. 这两种观点的正确性有待进一步研究. 但是很明显, 两种意见都不排斥: (1) 晋宁期中朝克拉通华北陆块与扬子陆块是接近或密切相关的. 大量地质资料已经表明, 华北陆块在吕梁运动 (2 000 ~ 1 700 Ma) 之后已趋于稳定, 晋宁期强烈地壳运动是扬子块体的特征. 具有华北块基底的北秦岭和具有扬子块基底的南秦岭在晋宁期均遭受强烈地质作用的事实表明, 当时南、北秦岭具有相同或相近的地质环境. 这表明, 在晋宁期, 中国南北两个大陆——中朝克拉通华北地块和扬子克拉通地块是相关连的. 在该时期, 华北和扬子陆块可能接近过. 另外, 也注意到, 南、北秦岭沉积盖层的差异, 即位于南秦岭的晚元古代震旦系地层南、北秦岭不能对比, 这表明, 虽然在晋宁期华北地块和扬子地块十分接近或密切相关, 但是在晋宁期末 (~ 800 Ma) 可能又分开了. 值得注意的是, 华北和扬子陆块会聚和裂开时间与某些地质学家提出的 Rodinia 超大陆的形成和分裂的时间是一致的^[11~13]; (2) 在北秦岭, 多处形成于晋宁期 (1 000 Ma 左右) 具有蛇绿岩特征的变质基性火山熔岩存在表明, 在晋宁期, 南、北秦岭存在复杂构造状态, 裂谷和小洋盆乃至有限洋盆并存在的局面, 在秦岭可能存在板块构造机制. 秦岭变质岩源区地幔 Nd 同位素演化特点似乎也说明了这一点 (图 5).

4.2 加里东~早华力西期 (400 Ma 左右)

这一时期为秦岭造山带主要的俯冲造山期. 扬子向华北陆下俯冲, 并已开始初始碰撞. 沿商丹缝合带南、北秦岭强烈变质, 在秦岭群和宽坪群中存在大量 400 Ma 左右的花岗岩表明了这一点.

4.3 晚华力西~印支期 (280 ~ 200 Ma)

同位素结果表明, 北秦岭此期构造热作用相当微弱, 仅矿物 Rb-Sr 同位素系统被改造, 但

此时期南、北秦岭全都发生强烈变形. 在南秦岭该期地质作用较强, 且表现为由北向南增强趋势. 在南秦岭南部, 全岩 Rb-Sr 同位素系统也被彻底改造. 这一地质作用可能与秦岭西南部古特提斯洋封闭有关.

参 考 文 献

- 1 Mattauter M, Matte P H, Malavieille J *et al.* Tectonics of Qinling Belt: Belt-up and evolution of Eastern Asia. *Nature*, 1985, 317: 496 ~ 500
- 2 Hsu K J, Wang Q, Li J *et al.* Tectonic evolution of Qinling Mountains, China. *Eclogae Geol Helv*, 1987, 80: 735 ~ 752
- 3 张国伟. 秦岭造山带的形成和演化, 西安: 西北大学出版社, 1988
- 4 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆等. 东秦岭复合山链的形成 - 变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境科学出版社, 1988
- 5 刘国惠, 张寿广, 游振东等. 秦岭造山带主要变质岩群及其变质演化. 北京: 地质出版社, 1993
- 6 张本仁. 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
- 7 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造. *中国科学, B 辑*, 1995, 25(9): 994 ~ 1 003
- 8 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
- 9 张宗清, 张 旗. 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*, 1995, 11(增刊): 165 ~ 177
- 10 李曙光, 陈移之, 张国伟等. 一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体 - 北秦岭晚元古代板块构造体制的证据. *地质论评*, 1991, 37(3): 325 ~ 241
- 11 Dalziel I W D. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica-Australia as a conjugate rift pair: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. *Geology*, 1991, 19: 598 ~ 601
- 12 Hoffman P F. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? *Science*, 1991, 252: 1 409 ~ 1 412
- 13 Moores E M, Southwest U. S. -East Antarctic (SWEAT) Connection: A hypothesis. *Geology*, 1991, 19: 425 ~ 428