中 国 科 学
1989 年 3 月　　B 辑　　第 3 期

中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据

李曙光　　S. R. Hart
（中国科学技术大学地球与空间科学系）　（美国麻省理工学院地球、大气、行星科学系）
郑双根　　郭安林
（安徽省地质矿产局 313 地质队）　（西北大学地质系）
刘德良　　张国伟
（中国科学技术大学地球与空间科学系）　（西北大学地质系）

摘　　要

本文报道了秦岭-大别山造山带的C型榴辉岩 Sm-Nd 同位素年龄（243.9 ± 5.6Ma），和镁铁-超镁铁岩 Sm-Nd 同位素年龄（230.6±30.7Ma 和 40.62±17.4 Ma）. 这些年龄表明中国华北、华南地块在三叠纪初期就沿秦岭-大别山碰撞带连接在一起了. 在两地块最后碰撞以前，在古生代，有一系列蛇绿岩套仰冲事件沿华北地块南缘向外逐次发生.

关键词：华南陆块，钐-钕同位素

一、引　　言

构造研究表明，中国大陆是由几个古板块对接而形成的[1-7]. 中国东部大陆主要是由华北地块（中朝地台）和华南地块（扬子克拉通）组成. 切割中国大陆中部的秦岭-大别山脉则是这两大地块之间的碰撞带（图 1）. 该带广泛发育有混杂岩、蛇绿岩套及其碎块，高压低温变质带等板块缝合线所特有的特征岩石. 因此，秦岭-大别山造山带历来就是国内外地质学家所注目的地区. 搞清华北、华南两大地块的对接时代，及秦岭-大别山造山带的形成机制，对我们认识中国东部地壳的演化历史有重要意义.

尽管较多的人认为华北、华南地块的碰撞发生在晚古生代到早中生代[2-4,7-9,1)]，但是这一碰撞时代问题目前仍存在着较大分歧. 例如，李春昱等提出除了西秦岭在三叠纪还存有小的海盆外，华北、华南地块在晚二叠纪已基本连在一起[2]. 林金录等根据古地磁证据认为这两大地块直到中侏罗纪尚没有完全连结起来[9]. 与这些观点相反，另外一些作者则提出了一些更早的碰撞时代，如泥盆纪、晚志留纪以及晚元古代等[5,6,10,11].

1987 年 10 月 30 日收到修改稿.

1）徐嘉炜、刘德良、李秀新，全国中新生代构造会议论文（待刊）.

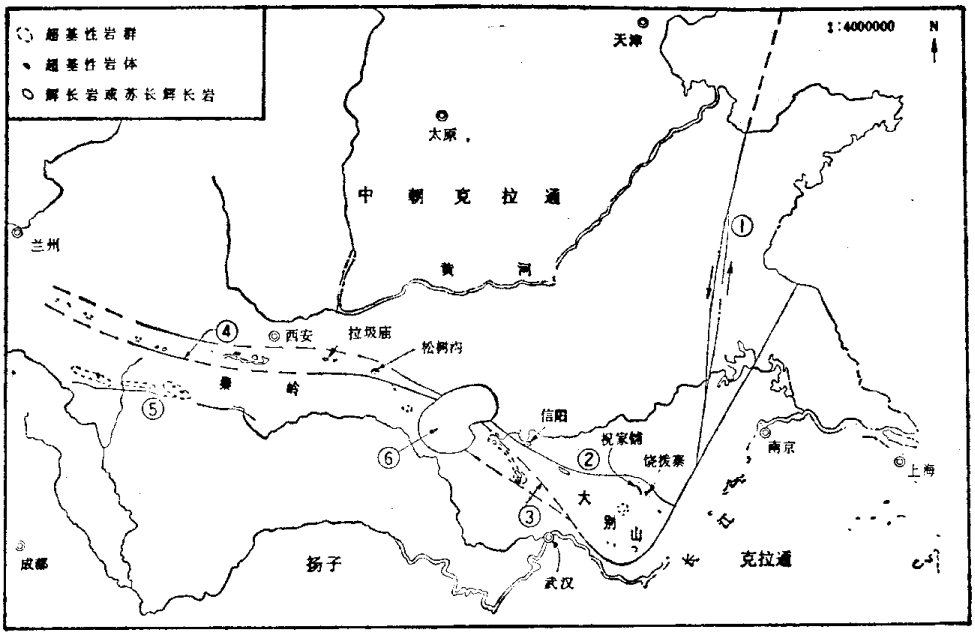


图 1　秦岭-大别山造山带镁铁-超镁铁岩的分布

（在该区有两个镁铁-超镁铁岩带：在秦岭，北带沿商南-丹凤断裂④，南带沿玛沁-勉县断裂⑤延伸；在大别山，北带沿桐柏-磨子潭断裂②，南带沿广济-应山断裂③延伸。①郯城-庐江断裂，⑥南阳盆地）

存在上述分歧的主要原因是，在该造山带，缺乏以解决两大地块碰撞时代为目的的可靠年代学工作。为此，我们试图用 Sm-Nd 同位素定年方法，对大别山区两大地块碰撞时形成的 C 型榴辉岩和侵入的超镁铁岩，以及分布于北秦岭并与早期古秦岭海板块俯冲事件有关的镁铁-超镁铁岩进行定年研究，以求确定华北、华南地块的碰撞时代及碰撞前可能发生的古秦岭海板块向华北地块以下俯冲的时代。

二、地质背景及样品

走向北西西的秦岭-大别山造山带位于中国东中部。向西，它与昆仑、祁连造山带相接；向东，它被郯城-庐江大断裂切断。南阳盆地位于该造山带中段并将其分成两部分：即西部秦岭和东部大别山。在古生代期间，华北、华南地块之间是广阔的海洋，在海洋中有可能存在一些微型陆块，如北秦岭和大别山中一些古老地层[8,10]。

秦岭-大别山造山带有两条蛇绿岩或镁铁-超镁铁岩带和高压低温变质带[2,10,12,13]1,2)。它们平行于造山带的总构造线方向，并分别位于秦岭-大别山造山带北部和南部的重要断裂带附近（图 1）。在这里我们分别称之为北带和南带。这两个蛇绿岩和高压低温变质带表明，在秦岭-大别山造山带可能存在二个俯冲带或碰撞带。一般认为北带的镁铁-超镁铁岩和高压低温变质带在两带中发育最好。但是，由于秦岭和大别山被南阳盆地所隔，我们不能肯定秦岭的北带与大别山的北带是同一俯冲带或地缝合线。在亚洲大地构造图中，李春昱等将秦岭的南带与大别山的北带相连接作为华北、华南地块的地缝合线[2]；而秦岭的北带则被认为是古秦岭海板块向华北地块以下俯冲的俯冲带。至于其它观点可参考文献[8，10，14]。

1）石铨曾等，河南地质，1983，7—14。

2）安徽饶拨寨超基性岩体的地质构造特征，南京地质矿产研究所，1977。

作为第一步，我们的样品均采自北带，以求获得在北带发生碰撞或俯冲的时代。南带工作留待以后去做。

我们一共取得了三组样品并描述如下：

1. 大别山C型榴辉岩 (R-4).

C型榴辉岩 (R-4) 赋存于饶拔寨阿尔卑斯型超基性岩中。该超基性岩主要为斜方辉杆岩和纯杆岩，它以固态侵位于大别群(早元古)混合片麻岩中(桐柏-磨子潭断裂南侧)[15]，并与围岩无明显化学交换。饶拔寨超基性岩体曾遭受了强烈的挤压作用。在该岩体边部，破碎带和片理十分发育；横跨岩体中部，沿岩体长轴还有一构造糜棱岩带[15]。平行于该糜棱岩带的榴辉岩团块和角闪岩脉，呈线状排列在距岩体边部 70—100m 处。很明显，这些榴辉岩是在饶拔寨固态侵位于大陆地壳时，由高压低温变质作用形成的。此外，柘榴石的化学组成(柘榴石中镁铝榴石成分<30%)也证明这种产于饶拔寨超基性岩体中的榴辉岩是C型榴辉岩(详情另有专文发表)。

2. 大别山祝家铺辉石岩 (Dzh-1, Dzh-2)

祝家铺辉石岩体是以岩浆形式侵入到桐柏-磨子潭断裂南侧的大别群混合片麻岩中。在性质上该辉石岩属于岩浆巢堆积岩，主要含单斜辉石、斜方辉石和角闪石。该侵入体严重被围岩污染，以至于沿侵入体边部发育了辉长岩(或闪长岩)壳。无论辉石岩还是辉长岩均经历了退变质作用。其中部分辉石退变质为角闪石，从而使辉长岩退变质为闪长岩。用于测年的样品就取自这种闪长岩。

3. 秦岭苏长辉长岩 (QL-7)

样品采自拉圾庙基性岩体。该岩体侵入北秦岭(商南-丹凤断裂北侧)前奥陶变沉积和变火山岩系中。拉圾庙基性杂岩的主要部分为辉长岩，其它为苏长辉长岩。样品 (QL-7) 为苏长辉长岩，它含有两种辉石(单斜辉石和紫苏辉石)和两种不同颜色的斜长石(白色斜长石和烟色斜长石，它可能含有一些小的包体)。在该基性岩体中还发育有一些闪长岩脉 (QL-8) 和二长岩脉 (QL-9)。尽管一些文章认为这种基性岩体是蛇绿岩套的碎片[2,12]，但缺乏令人信服的证据。

除了 QL-7 的辉石外，所有实验测定的单矿物样品都是 100% 的纯净。QL-7 的辉石含有两种辉石，纯度只有 95%。

三、测 定 方 法

溶矿以前，单矿物样品首先要经过酸洗以除去矿物表层可能有的蚀变产物或吸附物。酸洗程序是根据 Shimizu 的报道[16]，并经 Richardson 修正的[17]。样品的 Sm-Nd 同位素分析是在美国麻省理工学院地球、大气及行星科学系同位素实验室进行的。分析流程已有文章描叙[18]。文中给出的 Nd 同位素比值是相对于标准样 (BCR-1)——$^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512600$。$\varepsilon_{Nd}^{t}$ 值计算所采用的参考值为：

$$(^{143}Nd/^{144}Nd)^{0}_{CHUR} = 0.51264 \text{ 和 } (^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.1967^{[19]}.$$

等时线拟合采用 YORK 1 回归计算，并给出 1σ 的年龄误差。年龄计算采用 $\lambda^{147}Sm = 6.54 \times 10^{-12}/a$。

四、结果与讨论

所测 Sm 和 Nd 含量及 Nd 同位素比值（附 2σ 质谱分析误差）列于表 1。等时线示于图 2—4。

表 1　秦岭-大别山造山带 C 型榴辉岩及镁铁-超镁铁岩 Sm, Nd 含量和 Nd 同位比值*

样品号	岩石矿物名称	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	ε^{i}_{Nd}
R-4W	C型榴辉岩（全岩）	4.960	14.63	0.2049	0.512482±15	
R-4 Gar 1	石榴石(1)	6.051	7.852	0.4659	0.512889±18	
R-4 Gar 2	石榴石(2)	6.061	7.915	0.4629	0.512888±17	
R-4 Gar	石榴石(平均)	6.056	7.884	0.4644	0.512889±12*	
R-4 Cpx	绿辉石	1.803	6.618	0.1647	0.512406±16	
Dzh-1	闪长岩	7.847	31.37	0.1512	0.511757±19	−15.9
Dzh-1 Plag	斜长石	0.170	1.653	0.0623	0.511617±20	−16.0
Dzh-2	闪长岩	4.982	22.78	0.1322	0.511710±19	−16.2
QL-7	苏长辉长岩	3.904	19.00	0.1242	0.512476±18	+0.5
QL-7 Pyr	辉石	8.550	31.48	0.1642	0.512565±17	+1.0
QL-7 Plag·W	斜长石(白色)	1.212	8.370	0.0875	0.512344±16	−0.2
QL-7 Plag·d	斜长石(烟色)	0.363	3.748	0.0586	0.512291±16	+0.3
QL-8	闪长细晶岩	4.129	23.37	0.1068	0.512378±19	−0.5
QL-9	黑云母二长岩	6.148	33.50	0.1109	0.512432±21	+0.4

* 平均误差据式：$\sigma^2 = \frac{1}{\Sigma(1/\sigma^2)}$.

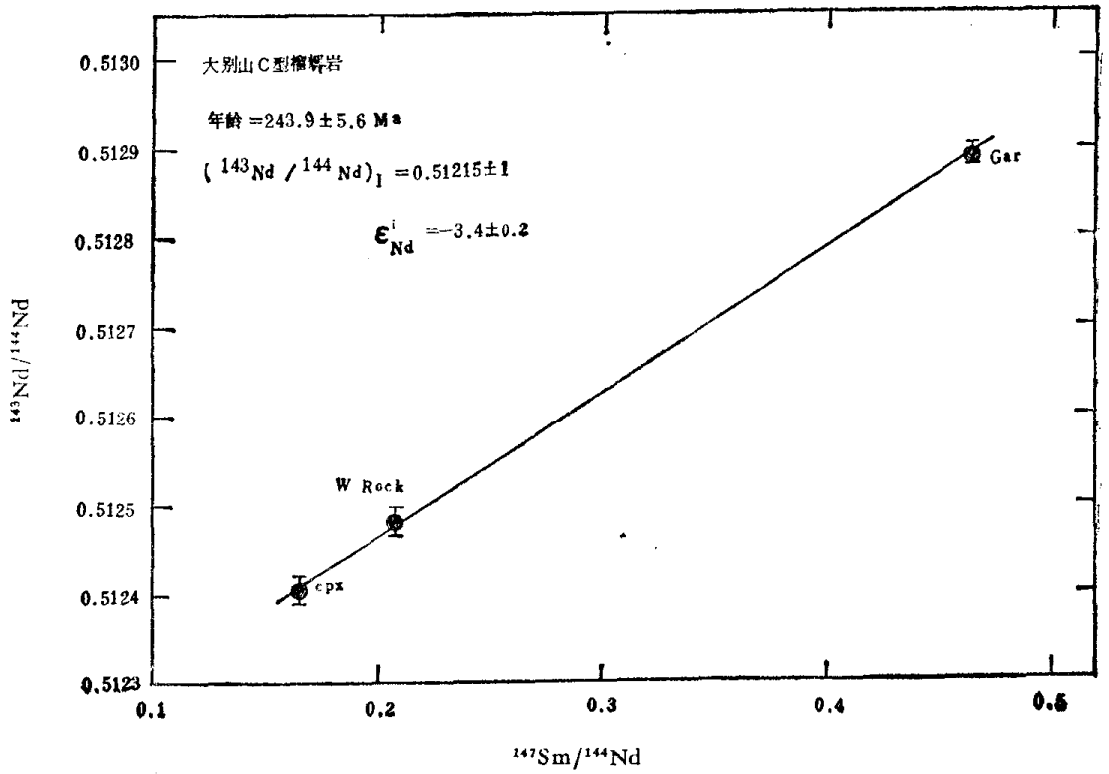


图 2　大别山 C 型榴辉岩 Sm-Nd 等时线图

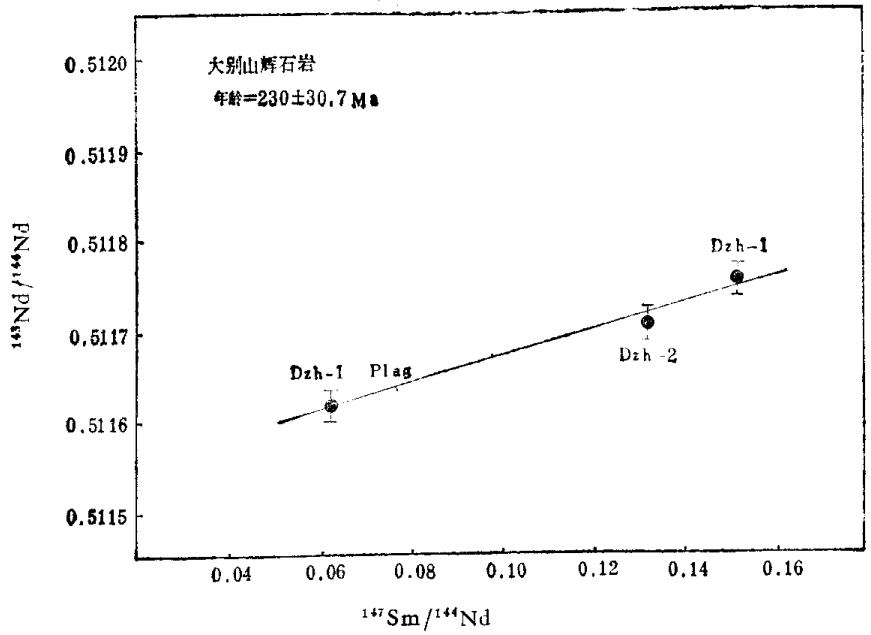


图 3 大别山辉石岩侵入体 Sm-Nd 等时线图

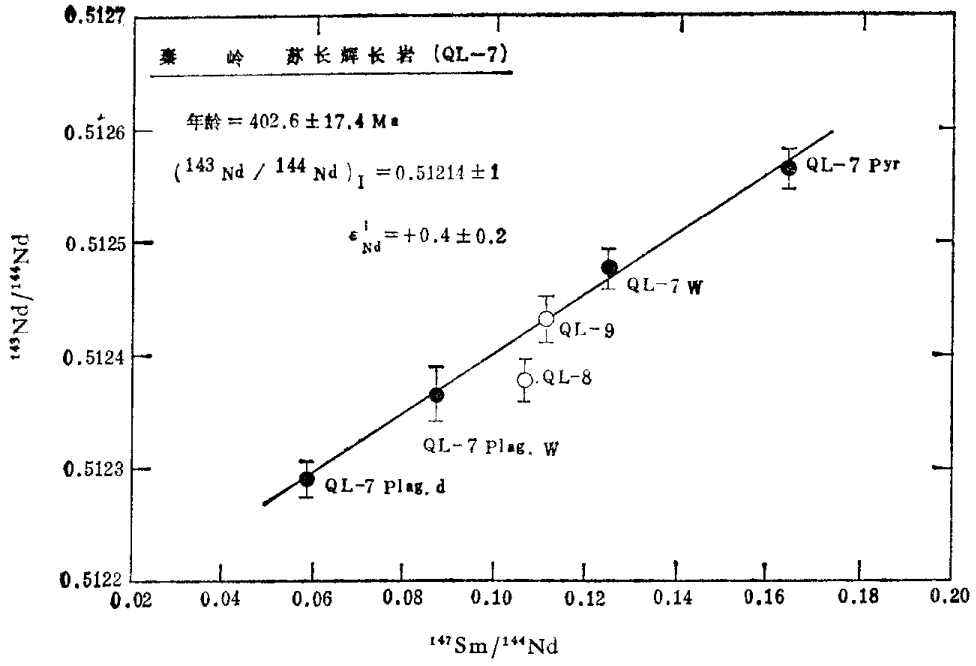


图 4 北秦岭苏长辉长岩 Sm-Nd 等时线图

对榴辉岩 (R-4) 我们获得了一个非常精确的 Sm-Nd 矿物内部等时年龄 243.9±5.6Ma，其对应初始 Nd 同位素比值: $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.51215 \pm 1 (\varepsilon^{t}_{Nd} = -3.4 \pm 0.2)$ (图 2). 这一年龄值大大老于饶拔寨超基性岩中角闪岩脉的角闪石 K-Ar 年龄 (126Ma)[1]. 镜下岩相研究表明，这种角闪石是由辉石、柘榴石经退变质而形成的. 很明显，角闪石的 K-Ar 年龄代表的是饶拔寨超基性岩体侵位后随大别山隆起上升而经历的最后一次热力事件；而榴辉岩的 Sm-Nd

1) 安徽大别山基性-超基性岩及其含矿性的研究，南京地质矿产研究所，1977.

年龄给出的是该超基性岩体的侵位时代。由于超基性岩的侵位可能发生在华北、华南两大陆块碰撞时或碰撞以前，因此该榴辉岩 Sm-Nd 年代可代表华北、华南地块碰撞时代的最老界线(下限)。负的初始 ε_{Nd} 值表明该榴辉岩是在饶拨寨超基性岩侵位于大陆地壳时形成的。

对祝家铺辉石岩体，我们用两个取自同一位置，斜长石含量不同的闪长岩样品 (Dzh-1, Dzh-2) 和一个从 Dzh-1 中分选出来的斜长石样品获得一条 Sm-Nd 等时线(图 3)，并给出 230.6±30.7Ma 的年龄，它具有非常低的初始 Nd 同位素比值 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.51152\pm2$ ($\varepsilon^i_{Nd}=-16.1\pm0.4$)。由于样品数据点较少及可能的混染程度等原因，导致年龄误差较大，但它在误差范围内仍与C型榴辉岩的年龄一致。由于该闪长岩(原岩为辉长岩)是辉石岩浆与围岩同化混染的产物(这一点也被它们极低的初始 Nd 同位素比值所证实)，因此，这一年龄代表了祝家铺辉石岩体的侵入年龄。与C型榴辉岩年龄一起，它们表明在大别山北翼桐柏-磨子潭断裂南侧，超基性岩侵入和高压低温变质作用是几乎同时的。

上述地质和同位素证据均表明，祝家铺辉石岩体不是蛇绿岩套的一部分，它是以岩浆形式侵入大陆地壳的。由于它产生于地缝合线附近，因而它很可能是与华北、华南地块聚敛碰撞有关的岛弧或大陆型岩浆岩。所以，祝家铺辉石岩体的年龄有可能等于或老于真正的碰撞年龄，它给出的仍可能是华北、华南地块碰撞时代的下限。

秦岭拉圾庙的苏长辉长岩样品 (QL-7) 在图 4 中形成一条很好的矿物内部等时线。它给出的年龄是 402.6 ± 17.4Ma，其初始 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.51214\pm1$ ($\varepsilon^i_{Nd} = +0.4\pm0.2$)。此外，

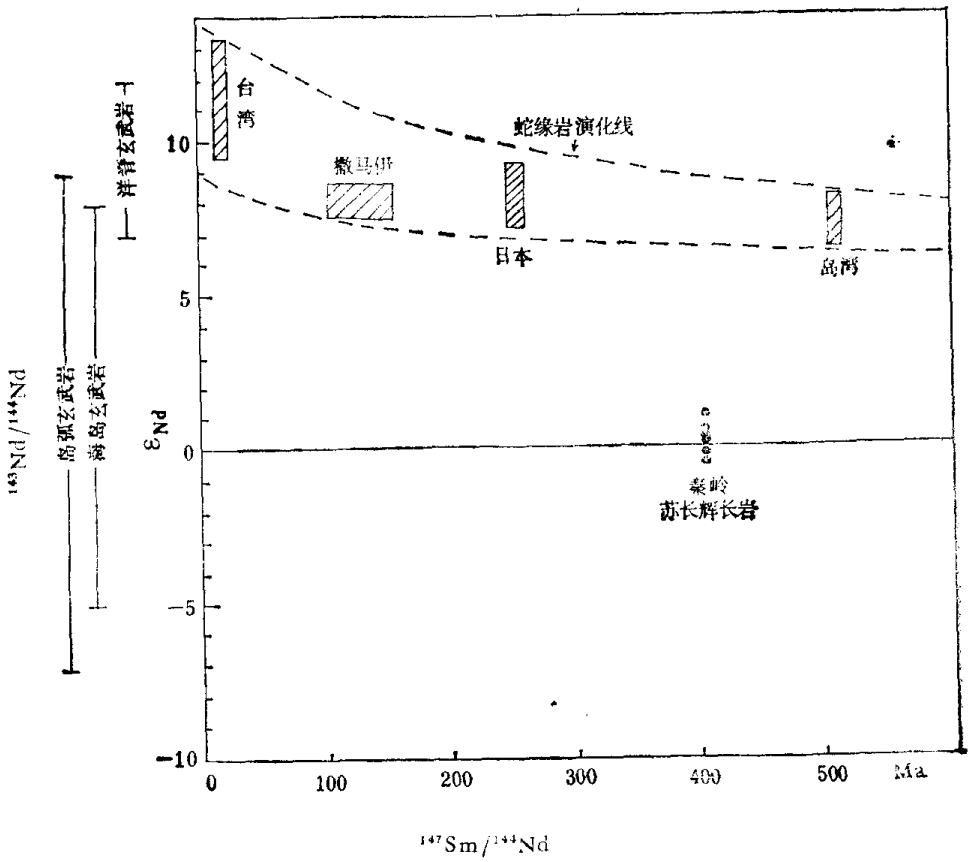


图 5　蛇绿岩套 ε^i_{Nd} 值随时间演化图

(图中岛弧区范围据 White 和 Patchett[20] 及 Davidson[21]. 蛇绿岩 Nd 同位素数据取自日本 Toba[22]、阿曼、撒马伊[23]、纽芬兰岛湾[24]和中国台湾[25])

全岩 QL-9 样也落在 QL-7 的等时线上，而全岩 QL-8 落在该等时线下边一点儿。尽管这一年龄明显老于拉圾庙岩体附近的秦王山和三十里堡辉长岩体的 K-Ar 年龄(340—370Ma)[8]，也老于最近 Mattauer 报道的北秦岭若干变质黑云母和白云母的 ^{39}Ar-^{40}Ar 年龄 (328—348Ma)[6]，但是它们都指示了北秦岭的古生代造山运动。拉圾庙苏长辉长岩的相对较高的初始 ε_{Nd} 值 (+ 0.4 ± 0.2) 说明它受地壳混染的影响不像祝家铺岩体那样严重。但是与典型的蛇绿岩套(洋壳起源的)相比，它的初始 ε_{Nd} 还是低多了，而仅与某些海岛玄武岩和岛弧玄武岩类似(图 5)。它表明拉圾庙辉长苏长岩只可能是起源于海山的蛇绿岩碎块。403Ma 的年龄可能代表了该苏长辉长岩的生成时代，而 328—348Ma 的 ^{39}Ar-^{40}Ar 年龄可能指示了其仰冲事件及相伴随的在北秦龄发生的变质作用。

五、构 造 意 义

1. 如前所述，我们获得的大别山区与阿尔卑斯型杆栏岩侵位有关的C型榴辉岩 Sm-Nd 矿物等时年龄 (243.6 ± 5.6Ma)，和辉石岩侵入体 Sm-Nd 等时年龄 (231 ± 31Ma)，为确定华北、华南地块碰撞时代的下限提供了最新的年代学依据。

最近报道的南秦岭多硅白云母 ^{39}Ar-^{40}Ar 年龄为 217—236Ma[6]。Mattauer 等将该南秦岭 ^{39}Ar-^{40}Ar 年龄解释为碰撞后地壳内部进一步挤压，逆冲所引起的变质作用时代。这样，南秦岭的 ^{39}Ar-^{40}Ar 年龄可被视为华北、华南地块碰撞时代的上限。

综合上述 Sm-Nd 和 ^{39}Ar-^{40}Ar 年龄，我们可知中国华北、华南地块的碰撞时代应在 217—243.9Ma 之间。华北和华南地块应在早三叠纪(印支运动初期)就对接在一起了。它还表明，印支运动在中国东中部是由华北、华南板块碰撞引起的。根据构造运动的时代，大别山北翼不可能与北秦岭对比，而只能与南秦岭对比。因此，华北与华南地块之间的印支期地缝合线位于南秦北沿和大别山北翼的可能性是存在的[2]。

2. 拉圾庙苏长辉长岩体的 Sm-Nd 矿物内部等时年龄为 403Ma，指示了商南-丹凤断裂以北的北秦岭古生代造山运动。根据微古生物化石证据，秦岭以西祁连山的三条蛇绿岩带也属寒武纪—奥陶纪侵位[26]。因此，在华北、华南地块最后碰撞以前的整个古生代期间内，在祁连山和北秦岭地区有若干次蛇绿岩套仰冲事件沿华北古陆块南缘向外逐次发生。

然而有一个问题尚未解决：为什么在大别山区没有古生代褶皱带或造山带？可能它至今尚未被发现，或者也许它在华北地块南缘东段确实不存在。如果后者是真的话，我们就不得不考虑这种可能性，即古秦岭海板块向华北板块以下俯冲是先在西部开始发生的，而在东部发生的较晚。

很显然，为解决上述问题和全面理解这些 Sm-Nd 年龄的构造含意，还需要在秦岭-大别山造山带的构造学、岩石学、地层学和地球化学方面作更多的工作。

在同位素测试中，Hart, Gulen, Burrhus, Salters, Kennedy, Reid 均不同程度地给以了技术上的指导和帮助；周作祯高级工程师、张绵缜、王山林工程师在大别山野外工作期间给予的大力协助；该文初稿经涂光炽教授、李春昱教授、孙贤钫博士，Sengör 博士和张培镇博士审阅并提出建设性修改意见，作者还与许靖华教授就文中一些观点进行过有益讨论。所有这些鼓励和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

参　考　文　献

[1] 李春昱，中国地质科学院院报，1980，1：11—22.
[2] 李春昱、王荃、刘雪亚、汤耀庆，1:800 万亚洲大地构造说明书，地图出版社，1978，174—187.
[3] McElhinny, M. W., Embleton, B. J. J., Ma X and Zhang, Z., *Nature*, **293**(1981), 212—215.
[4] Klimetz, M. P., *Tectonic*, **2** (1983), 189—166.
[5] Zhang, ZH. M., Liou, J. G. and Coleman, R. G., *Geological Society of America Bulletin*, **95**(1984) 295—312.
[6] Mattauer, M. et al., *Nature*, **317**(1985), 496—500.
[7] Sengör, A. M. C., *Nature*, **318**(1985), 16—17.
[8] 王鸿祯、徐成彦、周正国，地质学报，1982，3：270—279.
[9] Lin Jin-lu, Fuller, M. and Zhang Wen you, *Nature*, **313** (1985),444—449.
[10] 杨森楠、吴鉴、杨学忠、陆中旦，地球科学，1983，3：81—91.
[11] 谢窦克、郭坤一，中国地质科学院院报，1984，10：167—206.
[12] 肖序常、王方国，中国地质科学院院报，1984，9：19—30.
[13] 高延林，中国地质科学院院报，1984，10：61—76.
[14] 许志琴，地质论评，1986，1：79—89.
[15] 杨锡庸，中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊，1983，4：81—98.
[16] Richardson, S. H., *Ph. D. thesis MIT*, (1984),
[17] Shimizu, N., *Phys. Chem. Earth*, 9(1975), 655—669.
[18] Zindler, A., Hart, S. R., Frey. F. A. and Jakobsson, S. P., *Earth Planet. Sci. Lett*, 45(1979), 249—262.
[19] Jacobsen, S. B. and Wasserburg, G. J., *Earth Planet. Sci. Lett*., 67(1984), 137—150.
[20] White, W. M. and Patchett, J., *Earth Planet. Sci. Lett*., 67 (1984), 167—185.
[21] Davidson. J. P., *Nature*, 306 (1983), 253—256.
[22] Richard, P. and Allegre, C., *Earth Planet, Sci. Lett*., 47(1980), 65—74.
[23] McCulloch, M. T., Gregory, R. T., Wasserburg, G. J. and Taylor, H. P., *Journ. of Geophys. Res*., 86 (1981), 2721—2735.
[24] Jacobsen, S. B. and Wasserburg, G. J., *Journ, of Geophys Res*, 84(1979), 7429—7445.
[25] Jahn, B. M., *Contrib. Mineral Petrol*, 92(1986), 194—206.
[26] 肖序常、陈国铭、朱志直，地质学报，1987，4：281—295.