

陕西地区岩浆岩Nd、Sr同位素特征及其与大地构造发展的联系*

黄莹 吴利仁

(中国科学院地质研究所 北京 100029)



关键词 岩浆岩 Nd、Sr同位素 华北地块 基底 会聚 扬子地块

摘要 岩浆岩Nd、Sr同位素特征表明, 扬子地块基底有着和华北地块很不相同的早期演变历史。这意味着华北和扬子两地块在历史上曾经是相互独立的, 后来才拼合在一起。Nd、Sr同位素研究还表明, 华北和扬子两地块的会聚在泥盆纪以前就已经在进行中, 它是通过位于两地块之间的古秦岭海洋壳俯冲消亡在华北地块之下实现; 华北和扬子两陆块最终相碰撞至少发生在二叠纪以前。

一、地质概况

陕西由北向南可以粗略地由商丹断裂划分成华北地台区(I)和扬子地台区(II)两大部分(图1)。华北地台区由蒙陕盆地的一部分(I₁)、小秦岭区(I₂)和北秦岭褶皱带(I₃)组成。扬子地台则包括南秦岭褶皱带及扬子地台北缘区(II₁)和四川盆地的一部分(II₂)。

陕西华北地台区的最老地层称为太华群, 主要出露在小秦岭区。它是一套遭受严重变形作用的海相沉积岩及火山岩系。根据小秦岭区太华群角闪二长片麻岩中磷灰石的三组U-Pb年龄: 206/238为24亿年, 207/235为23亿年, 208/232为22亿年(蔡乃仲、苏振邦, 1985), 太华群至少在早元古时期就已存在。

陕西扬子地台区出露的最老地层是晚元古代(800±100 Ma)海相火山岩系。由西向东称为碧口群、西乡群、陡岭群、耀岭河群和陨西群。

上面是人们普遍接受的地质事实。除此之外, 尚有一些有争议的或令人感兴趣的问题。本文从Nd、Sr同位素角度, 讨论了华北和扬子作为独立地块存在的真实性, 陕西不同构造单元内岩浆岩的时代, Nd、Sr同位素特征及成因特征, 华北和扬子地块会聚历史等。我们系统地采集了有关样品, 采样位置及其说明见图1。

二、Rb、Sr、Sm、Nd同位素测定

Rb、Sr、Sm、Nd的测定采用同位素稀释法, 使用⁸⁷Rb-⁸⁴Sr、¹⁴⁷Sm-¹⁴⁸Nd混合稀释剂。稀释剂的标定以及样品Rb/Sr、Sm/Nd、⁸⁷Sr/⁸⁶Sr、¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd比值测定, 都用标准样

本文于1989年2月23日收到, 9月25日改回。

* 本文系中国科学院科学基金项目R850449“东秦岭-大别山古会聚带的形成机制、变质作用和岩浆活动”研究成果的一部分。潘均、乔广生、孙宝山、张任祐参加了同位素测定。齐进英、杨亿、王艺芬、张秀璞、郑祥身参加了野外地质及岩矿鉴定。

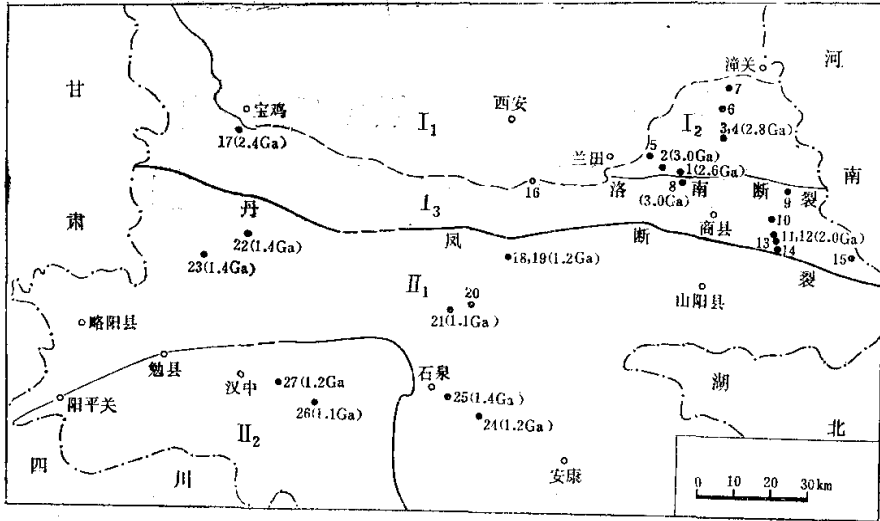


图1 陕西地区构造单元分区及采样位置图(底图引自“陕西省花岗岩”,稍有修改)

华北地块: I₁. 蒙陕盆地; I₂. 小秦岭区; I₃. 北秦岭褶皱带。扬子地块: II₁. 南秦岭区(其北部为南秦岭褶皱带); II₂. 四川盆地。括号中的数值为Sm-Nd模式年龄(T_D)值。黑点为采样位置。
 I₂中, 1. TH-27太华群黑云母石英片岩; 2. ZIP-28张家坪片麻状花岗岩; 3. JDC-X金堆城熊耳群细碧岩; 4. JDC-3金堆城正长斑岩; 5. LT-30兰田麻梭岩化花岗岩; 6. LN-2老牛山花岗岩; 7. HSH-1, 2, 3华山二长花岗岩。
 I₃中, 8. TW-28陶湾群斜长角闪岩; 9. ML-G7蟒岭斑状黑云母花岗岩; 10. CCH-6蔡川片麻状花岗岩闪长岩; 11. QL-7秦岭群石榴石片麻岩; 12. QL-8秦岭群混合岩化黑云斜长角闪岩; 13. QL-11, 12, 13. 秦岭群石榴石黑云斜长片麻岩; 14. ZY-16, 17……22枣园混合岩化二长花岗岩; 15. HCZ-G5 灰池子混合花岗岩; 16. CH-32翠华山花岗岩; 17. BJ-54 宝鸡花岗岩。
 II₁中, 18. DJK-34东江口辉石角闪岩; 19. DJK-35东江口花岗岩; 20. YZB-36胭脂坝花岗岩; 21. LC-37老城花岗岩; 22. XB-G6西坝花岗岩闪长岩; 23. LB-47留坝闪长岩; 24. YLH-42 跃岭河群细碧岩; 25. YLH-44 跃岭河群角斑岩。
 II₂中, 26. HN-55汉南片麻状花岗岩闪长岩; 27. WDM-G2五堵门花岗岩闪长岩。

Fig.1 Sketch of tectonic Units of Shaanxi Province and the localities of sampling

进行过核检。Rb-Sr和Sm-Nd稀释剂在称样时同时称入FEP密封器皿中,然后在约80°C下,在HCl-HF-HClO₄混合酸中放置3~4天。在约200°C下蒸干后用适宜浓度HCl提取过夜,然后离心上柱。Rb, Sr, REE的纯化是在200~400目AG50×8强酸性阳离子交换树脂上进行。然后用200~400目P-507萃淋树脂纯化Sm和Nd。两种柱流程都只使用易于纯化的盐酸作淋洗剂。

Rb, Sr, Sm, Nd同位素测定是在VG354多接收质谱计上进行,采用多接收器跳峰扫描技术测定金属离子。测定中均使用单灯丝。为了提高在Re质单灯丝上Nd测定灵敏度,运用了中国科学院贵阳地球化学研究所同位素地质研究室介绍的加发射剂的技术。Sr的测定用⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194, Nd的测定用¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219标准化。实验室全流程本底为Rb<8×10⁻¹¹, Sr<8×10⁻¹⁰, Sm, Nd≈10⁻¹²。这样的本底对中性以及基性岩石样品的测量结果不会有重大影响。

表1、2、3列出了所测定样品的Rb, Sr, Sm, Nd结果。为了便于讨论,我们同时列出了这些样品的e_{Nd}(0), e_{Nd}(T), (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i。表1所列样品除了熊耳群X-60, 62, 82, 85细碧岩和X-114石英角斑岩是杨亿采自河南省陕县一带外,其余均采自陕西地区。具体采

集地点在图1中已有说明。

另外, 表1、3、4还列出了Sm-Nd模式年龄 T_E , 其计算方法和 T_{CHUR} 、 T_{DM} 都不同。它是基于岩体的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值随时代而变化的规律确定。 T_E 的含意和 T_{DM} 相同, 它反映了地壳和地幔相互分离的时间(黄萱和DePaolo, 1989)。其数值在图1中也已给出, 放在括号中。

三、讨 论

(一) 陕西华北地台区基底的时代及其与扬子地台对比

关于大陆基底的时代有两种方法确定, 一种是直接测定出露在地表的基底岩石的年龄, 另一种是根据来源于基底的岩浆岩的Sm-Nd模式年龄(T_{DM} 或 T_E)来确定。前者给出的是岩石结晶时间, 后者则反映岩石从地幔中派生的时刻。无论哪一种方法, 都提供了地壳形成时代的信息。本文主要采用后一种方法。

表1 陕西小秦岭区岩浆岩Rb、Sr、Sm、Nd同位素结果

Table 1. Rb, Sr, Sm, Nd results of rocks from the domain of Xiao Qinling, Shaanxi Province (I₂ in Fig.1)

样品号	$\frac{87Rb}{86Sr}$	$\frac{87Sr}{86Sr}$ (2 σ)	$\frac{147Sm}{144Nd}$	$\frac{143Nd}{144Nd}$ (2 σ)	$\epsilon_{Nd}(0)$	年龄 (Ma)	$\epsilon_{Nd}(T)$	$\left(\frac{87Sr}{86Sr}\right)_i$	T_E (Ga)
TH27-1	2.206	0.756091 ± 21	0.1132	0.511378 ± 16	-24.5				≈ 2.6
TH27-2	1.493	0.742863 ± 20	0.1117	0.511471 ± 29	-22.7				≈ 2.6
X-60	0.1993	0.709147 ± 22	0.1128	0.511308 ± 7	-26.0	1650	-7.8	0.7059	≈ 2.7
X-62	0.2998	0.713052 ± 11				1650 ± 26 (2 σ)		0.7061 ± 11 (2 σ)	
X-82	0.2402	0.711929 ± 15							
X-84	0.3144	0.713217 ± 12							
X-85	0.5268	0.718786 ± 22							
X-114	2.611	0.751997 ± 11	0.09792	0.511178 ± 12	-28.4	1650	-5.7	0.7457	≈ 2.7
JDC-X	0.6191	0.719402 ± 34	0.1156	0.511304 ± 32	-26.0	1650	-7.3	0.70340	≈ 2.8
JDC-3	7.191	0.722311 ± 31	0.1285	0.511854 ± 13	-15.3	134**	-14.1	0.70862	
HSN-1	0.8871	0.708386 ± 13				161.7 ± 6.4** (2 σ)		0.70641 ± 16 (2 σ)	
HSN-2	0.4669	0.707667 ± 18							
HSN-3	0.3168	0.707508 ± 15	0.1021	0.511776 ± 28	-16.8		-14.8		
LN-2	1.012	0.710733 ± 13	0.09304	0.511721 ± 7	-17.9	≈ 195**	-15.0	0.70765	
LT-30	2.174	0.714491 ± 15	0.08839	0.511918 ± 82	-14.0	≈ 195**	-12.0	0.70787	
ZJP-28	18.71	1.14522 ± 11	0.1626	0.512061 ± 16	-11.2	1570 ± 23 (2 σ)	-4.7	0.72340	≈ 3.0

不带任何标记的年龄为作者采样测定的结果; **据陕西省地矿局(1983)的数据重新处理, 或补充以本文的数据重新处理的结果; T_E 是Sm-Nd模式年龄, 据黄萱导出的岩石的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 随时代演变的经验公式确定(黄萱等, 1989), 其结果和由DePaolo导出的 T_{DM} 的经验公式(据DePaolo私人通讯, 1983)比较符合; X-60、62、82、84、85细碧岩和X-114石英角闪岩样由杨亿采自河南省陕县一带。

表1列出了小秦岭区早中元古代岩浆岩的Rb、Sr、Sm、Nd测定结果。这一地区被认为是华北地台区的一部分。我们采集的两个太华群黑云母石英片岩(Th27-1, -2)的Sm-Nd模式年龄 T_E 为大约26亿年。熊耳群是这里出露的另一套较老的地层。年龄为16~17亿年(表1)。这套火山岩三个样品的Sm-Nd模式年龄 T_E 分别是X-60为27亿年, JDC-X为28亿年和X-114为26.5亿年。张家坪岩体是小秦岭区中元古代侵入体, 年龄为1570Ma(表1), 其Sm-Nd

模式年龄 T_E 为大约30亿年。可见,根据Sm-Nd模式年龄可以确定华北地台基底的形成时代应该是太古代。这一结论和我国华北、东北、内蒙等地区泛出露的25~30亿年岩石,以及在冀东发现35亿年早太古代地壳残片的事实相符合。

关于扬子地台基底的时代,根据黄董等(1989),大约是15~20亿年。它和黄董从安徽、江西、广西等地采集的许村、莲花山、九岭山、本洞、摩天岭等晚元古代花岗岩类岩体得到的Sm-Nd模式年龄(17~18亿年,尚未发表)十分符合。

图2给出了采自安徽、江西、湖南、福建、广东、广西等地区的前寒武纪和古生代花岗岩类的Sm-Nd模式年龄投图,并和华北冀东及陕西华北地台区岩石作对比。从图2可以看出,扬子地台基底的形成是在早元古代,它比华北地台的形成时代太古代明显晚。这意味着扬子和华北两地台有各自的早期发展历史。所以,认为它们是两个独立的地块是有道理的。

(二) 熊耳群火山岩的成因

熊耳群火山岩在陕西和河南境内有广泛出露。其年龄由X-62, 82, 84, 85四个细碧岩样确定的全岩等时线计算,为 $1650 \pm 26\text{Ma}$ (表1)。若加上X-60样,年龄值为 17 ± 3 亿年(2σ),由于误差太大,只采纳四个点的结果。表2中另外两个熊耳群火山岩, X-114石英角斑岩和JDC-X金堆城细碧岩,由于岩性不同或采样地点相差甚远也没有参加年龄计算。

关于熊耳群火山岩的成因有不同看法。杨忆(1983)认为熊耳群是中元古时期华北地块南缘裂谷系发生发展的产物。施央申等(1985)则认为熊耳群是中元古时期古洋壳向华北地块俯冲时形成的岛弧火山岩。

表2列出了熊耳群火山岩物源计算结果。其中 $e_{Nd}^m(T)$ 和 $e_{Nd}^c(T)$ 分别代表岩石形成时刻地幔(m)和地壳(C)的 e_{Nd} 数值。 $e_{Nd}(T)$ 是样品的初始 e_{Nd} 值。 $e_{Nd}^m(T)$ 的数值是根据Nelson和DePaolo(1986)关于地幔演化的研究确定。 $e_{Nd}^c(T)$ 的数值则是根据不同时代岩石的 $e_{Nd}(0)$ 随时代演变的经验公式确定(黄董等, 1989)。岩石中地幔Nd所占分数(x)及相当的地幔物质在岩石中所占分数 $M^m/(M^m + M^c)$ 是按下面式子计算(黄董等, 1986):

$$x = (e_{Nd}(T) - e_{Nd}^c(T)) / (e_{Nd}^m(T) - e_{Nd}^c(T)) \quad (1)$$

$$\frac{M^m}{M^m + M^c} = C_{Nd}^c(T)x / (C_{Nd}^c(T)x + C_{Nd}^m(T)(1-x)) \quad (2)$$

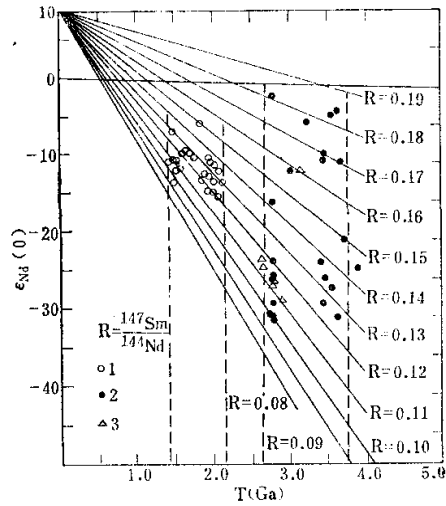


图2 扬子地台区前寒武纪和古生代花岗岩类及冀东和陕西华北地台区前寒武纪岩石Sm-Nd模式年龄

1. 扬子地台前寒武纪及古生代花岗岩类;
2. 冀东太古代岩石;
3. 陕西和河南华北地台区元古代岩浆岩

Fig.2 The Sm-Nd model ages of rocks from Precambrian and Palaeozoic granitoids in Yangzi Platform and of rocks from Northern China Platform in Shaanxi and Henan Province as well as rocks from Eastern Hebei Province

地壳中Nd元素含量(C_{Nd}^c)通常是地幔Nd元素含量(C_{Nd}^m)的三至四倍, 即 $C_{Nd}^c \approx 3.5C_{Nd}^m$ 。由此式(2)可以改写成下面形式

$$M^m / (M^m + M^c) = x / (x + (1-x)/3.5) \quad (3)$$

从表2可以看出, 熊耳群火山岩 $\epsilon_{Nd}(T)$ 变化在 $-6 \sim -8$, 不是正值; 其Nd元素中地幔Nd所占比例只有大约30~40%; 其Sr同位素初始比值($^{87}Sr/^{86}Sr$)_i, 细碧岩约为0.706, 石英角斑岩为0.7457(X-114), 比大洋玄武岩明显地高。这一切都说明熊耳群火山岩的物质不大可能来自大洋地幔, 只可能来自大陆地幔或下地壳。所以, 在成因上, 它和大陆裂谷的发生和发展更为密切。

表2 熊耳群和跃岭河群火山岩物源计算结果

Table 2 The sources of volcanic rocks from Xionger Group and Yaolinghe Group

样品	年龄 (Ga)	$\epsilon_{Nd}(0)$	$\epsilon_{Nd}(T)$	$\epsilon_{Nd}^m(T)$	$\epsilon_{Nd}^c(T)$	Nd ^m (%)	$\frac{M^m}{M^m + M^c}$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$
							(%)	
熊耳群	x-60		-28.0	-7.8		31	61	0.7059
	JDC-x	1.65	-26.0	-7.3	≈8.0	34	64	0.7034
	x-114		-28.4	-5.7		42	72	0.7457
跃岭河群	YLH-42	≈0.7	-4.3	2.1	≈7.5	67	88	0.7046
	YLH-44		-5.7	0.4		67	82	

(三) 陕西扬子地台区岩浆岩的时代及成因

表3列出了陕西扬子地台区岩浆岩Rb、Sr、Sm、Nd测定结果, 按照扬子地台北缘区和南秦岭褶皱带分别列出。扬子地台北缘区样品包括耀岭河群细碧岩和角斑岩、汉南片麻状花岗闪长岩和五堵门花岗闪长岩。耀岭河群火山岩被认为是晚元古时期扬子地台北缘裂谷系发育的产物。其年龄根据四个样品的Rb-Sr全岩等时线确定, 为 711 ± 31 Ma。汉南岩体(HN-55)和五堵门岩体(WDM-G2)的年龄, 根据Rb-Sr全岩等时线确定为大约800Ma。此外汉南岩体还测得U-Pb年龄为868Ma(表3)。耀岭河群火山岩、汉南岩体和五堵门岩体无论是形成时代还是Nd、Sr同位素初始比值都十分接近, 象是同一岩浆系列的不同产物。这些岩浆岩的锶同位素初始比值($^{87}Sr/^{86}Sr$)_i变化在0.7051~0.7035, $\epsilon_{Nd}(T)$ 变化在0.4~5.5, 表明这些岩浆岩的物质主要来自地幔。

表2列出了耀岭河群细碧岩(YLH-42)和角斑岩(YLH-44)样品的物源计算结果。从表2可以看出, 耀岭河群火山岩中的Nd元素有大约60%来自地幔。这意味着岩体中大约80~90%的物质为地幔物质。如果将这一结果和熊耳群相对比, 可以得出, 晚元古时期发育在扬子地台北缘的裂谷系向洋盆的发展程度, 比中元古时期华北地台南缘的熊耳群裂谷系更完全。

南秦岭褶皱带的样品, 包括一些典型的花岗岩侵入体。它们的形成时代根据陕西省区队的工作, 主要集中在二叠到三叠纪(240 ± 50 Ma)。计算结果表明, 这些岩体的Nd、Sr同位素初始比值的平均值为 $\epsilon_{Nd}(T) \approx -4.4 \pm 1.8$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i \approx 0.7055 \pm 0.0011$, 和这一地区晚元古时期岩浆岩在240Ma时的 $\epsilon_{Nd}(T) \approx -2.3 \pm 1.6$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i \approx 0.7068 \pm 0.0022$ 十分相近(图3)。由于晚元古代火山岩实际上构成了陕西扬子地台北缘和南秦岭褶皱带的基

底,因而可以认为,这里 $240 \pm 50\text{Ma}$ 时期形成的岩浆岩物质主要来自基底岩石。

表3 陕西扬子地台区岩浆岩Rb、Sr、Sm、Nd测定结果*

Table 3 The Rb, Sr, Sm, Nd results of rocks from Shaanxi's Yangzi Platform

构造单元	样品号	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$	$\frac{78\text{Sr}}{86\text{Sr}}$ (2 σ)	$\frac{143\text{Sm}}{144\text{Nd}}$	$\frac{143\text{Nd}}{144\text{Nd}}$ (2 σ)	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	T (Ma)	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	$(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}})_i$	T_E (Ga)
南秦岭褶皱带	DJK-34	0.2807	0.705073 \pm 15	0.1124	0.512425 \pm 17	-4.1	$\approx 200^{**}$	-2.1	0.7046	≈ 1.0
	DJK-35	0.2705	0.706123 \pm 32	0.1061	0.512273 \pm 23	-7.1	$\approx 200^{**}$	-4.8	0.7050	≈ 1.1
	LC-37	0.4078	0.706343 \pm 49	0.1031	0.512316 \pm 8	-6.2	(285)	-2.8	0.7047	≈ 1.1
	XB-G6	0.7848	0.709009	0.09843	0.512108 \pm 22	-10.3	285*	-6.7	0.7060	≈ 1.4
	LB-47	0.2344	0.708331 \pm 21	0.1166	0.512211 \pm 7	-8.3	(285)	-5.4	0.7074	≈ 1.4
扬子地台北缘	YLH42-2	0.1568	0.706229 \pm 28	0.1251	0.512416 \pm 6	-4.3	711 \pm 31	2.1	0.70462	≈ 1.2
	YLH44-5	1.003	0.714228 \pm 97	0.1280	0.512343 \pm 7	-5.7	(2 σ)	0.4	± 60	≈ 1.4
	YLH44-6	1.876	0.723447 \pm 59						(2 σ)	
	YLH44-8	1.445	0.719382 \pm 16							
	HN-55	0.1281	0.706688 \pm 22	0.1281	0.512528 \pm 76	-2.1	(868)	5.5	0.7051	≈ 1.1
	WDM-G2	0.1179	0.70533	0.1074	0.512297 \pm 25	-6.6	803*	2.5	0.7038	≈ 1.2

注:括号内的年龄值引自陕西省地矿局(1983),*的年龄值为陕西省区测队送样,中国科学院地质研究所八室测定结果,其余说明同表1。

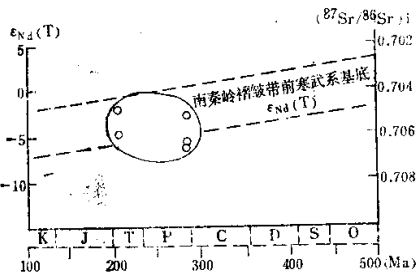


图3 陕西扬子地台区二叠纪—三叠纪岩浆岩Nd、Sr同位素特征与前寒武纪基底对比
小圈为岩石样品点,实线大圈为有关岩浆岩同位素变化范围
Fig. 3 The $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$, $(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}})_i$ of Permian-Triassic igneous rocks from Yangzi Platform in Shaanxi Province and their comparison with that of Precambrian basement

(> 13 亿年,朱国林、郇永良,1980)年轻得多。锶同位素比值计算表明,所采集的TW26斜长角闪片岩的年龄不可能老于10亿年,这一年龄值将使得TW26-3样品的锶同位素初始比值 $(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}})_i$ 为大约0.700,这是过于偏低的数值。TW26-1样品的Sm、Nd结果显示Sm/Nd比值($\frac{147\text{Sm}}{144\text{Nd}} = 0.2236$)和 $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = 2.6$ 数值间明显的不协调。这可能是Sm在岩浆作用过程中富集所致。由此看来,所采集的斜长角闪片岩并非是从较古老的地层变质而成,它是新的古生代时期岩浆活动的产物,而后遭受变质作用。

我们还测定了六个被认为是秦岭群的混合花岗岩(也叫枣园岩体)的样品(表4中的ZY)。其Rb-Sr全岩等时年龄为360Ma, $(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}})_i = 0.7068$ 。这一结果比认为的秦岭群早元古代的年龄值年轻很多。锶同位素计算结果表明,枣园岩体的年龄不可能老于550Ma,因为这

(四) 北秦岭褶皱带地层的时代及南秦岭褶皱带对比

表4列出了北秦岭褶皱带岩石的Nd、Sr同位素测定结果。北秦岭褶皱带广泛分布着变质岩地层,最老的称为秦岭群。关于秦岭群的时代存在争议(张秋生,1980;王铭生,1985)。争议的实质不仅仅涉及秦岭群自身,还关系到北秦岭这一地质体的形成时代。对这一地区,我们测定了四个被认为是陶湾群的斜长角闪片岩样(TW26-1, 2, 3, 4),其全岩Rb-Sr等时线给出的年龄为 $421 \pm 16\text{Ma}$, $(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}})_i = 0.7054$ 。这一年龄结果比陶湾群的年龄

表4 陕西北秦岭褶皱带岩浆岩Rb、Sr、Sm、Nd测定结果

Table 4 The results of Rb, Sr, Sm, Nd of rocks from north Qinling fold belt in Shaanxi Province

样品号	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$	$\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}}$ (2 σ)	$\frac{143\text{Sm}}{144\text{Nd}}$	$\frac{147\text{Nd}}{144\text{Nd}}$ (2 σ)	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	T (Ma)	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	$\left(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}}\right)_i$	T_E
TW26-1	0.1658	0.706201 ± 18	0.2236	0.512768 ± 18	2.8				
TW26-2	0.1149	0.706083 ± 17				421 ± 16	1.1	0.70539 ± 11	
TW26-3	0.5744	0.708841 ± 18				(2 σ)		(2 σ)	
TW26-4	0.1939	0.706437 ± 13							
QL-7	0.8556	0.711762 ± 19	0.07530	0.511986 ± 27	-12.8				
QL-8	1.288	0.712039 ± 31	0.1219	0.512439 ± 5	-3.9				
QL-11	2.168	0.748072 ± 18	0.1161	0.511853 ± 24	-15.3				≈ 2.0
QL-12	3.103	0.758336 ± 27							
QL-13	3.163	0.758177 ± 52							
ZY-16	2.913	0.723818 ± 11							
ZY-17	3.233	0.724994 ± 16							
ZY-18	2.779	0.723143 ± 12				≈ 360		0.70682 ± 12	
ZY-19	2.931	0.723571 ± 11						(2 σ)	
ZY-20	3.185	0.724992 ± 11							
ZY-21	3.041	0.724685 ± 27	0.1086	0.512510 ± 13	-2.5		1.4		
CCH-6	0.1558	0.705568 ± 26	0.1098	0.512419 ± 8	-5.7	(350)	-0.4	0.7048	
H CZ-G6	0.2601	0.707828 ± 23	0.09057	0.512362 ± 20	-5.3	382*	-0.1	0.7062	
CH32-1	1.034	0.706227 ± 18	0.1058	0.512358 ± 8	-5.4	(≈ 350)	-1.3	0.7011	
ML-G7	0.5744	0.70965 ± 14	0.09363	0.511912 ± 28	-14.1	195*	-11.5	0.7081	≈ 1.6
BJ-54	4.068	0.721546 ± 14	0.1171	0.511619 ± 34	-19.8	(230)	-17.5	0.7082	≈ 2.4

注: 表中有关符号的说明同表1, 表3。

一年龄值将使ZY-21样品的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i \approx 0.700$ 。枣园岩体Nd同位素初始值 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 为1.4, 它和400Ma以前无论是扬子地块的 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ (变化在-4到-10) 还是华北地块的 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ (约为-15) 都明显不同。这意味着枣园岩体不可能是古老陆壳混合岩化作用所造成。它是古生代岩浆作用的产物, 然后又遭受变形和变质作用。由此可见, 北秦岭褶皱带内遭受强烈变形和变质作用的岩石并非都归属早前寒武系。尽管如此, 根据我们测定的褶皱带西部晚古生代宝鸡岩体(BJ-54)的Sm-Nd模式年龄 $T_E = 24$ 亿年, 褶皱带东部被认为是秦岭群的石榴石黑云斜长片麻岩(QL-11)的Sm-Nd模式年龄 $T_E = 20$ 亿年, 表明北秦岭这一区域作为陆壳至少在早元古代就已经形成。

在图4中我们归纳了北秦岭褶皱带内岩浆岩的时代及Nd同位素特征。从图4可以看到, 北秦岭褶皱带内岩浆岩的形成主要集中在泥盆纪前后(370 ± 50Ma)及三叠纪前后(240 ± 50)两个时期。泥盆纪前后时期岩浆岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 变化在零上下, 岩浆岩组成中约有75%的Nd元素来自地幔。三叠纪前后时期的岩浆岩, 其 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 变化在-15上下, 岩石组成中只有大约20%的Nd元素来自地幔。可见, 这两个时期岩浆岩的物质来源很不相同。

南秦岭褶皱带内晚古生带到早中生代岩浆活动主要集中在240 ± 50Ma, 缺少北秦岭褶皱带370 ± 50Ma时期岩浆活动。同时, 南秦岭褶皱带240 ± 50Ma时期岩体的 $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ 变化在-2.1 ~ -6.7, T_E 分布在10~14亿年之间。这些数值和同时代北秦岭褶皱带岩浆岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ (变

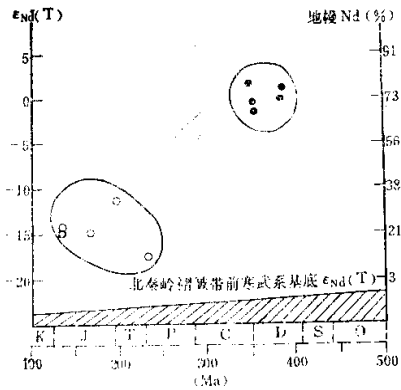


图 4 陕西北秦岭褶皱带岩浆岩的时代、 $\epsilon_{Nd}(T)$ 及物质来源

实心黑点为泥盆纪前后时期岩浆岩样品点；空心点为二叠-侏罗纪岩浆岩样品点；两个大圈为其同位素变化范围

Fig. 4 The ages, $\epsilon_{Nd}(T)$, and the sources of igneous rocks from north Qinling fold belt in Shaanxi Province

化在 -11.5 ~ -17.5) 和 T_E (20 亿年上下) 差别很大。这一切都表明南、北秦岭褶皱带不可能同属于一个地体。

(五) 华北地块和扬子地块的会聚历史

华北地块和扬子地块曾经是独立的，现在已连在一起。北、南秦岭褶皱带是两地块结合的过渡地带，中间由商丹断裂分开。沿着断裂带有古洋壳残片蛇纹岩套和构造混杂岩断续分布，表明华北和扬子两地块之间曾经有过古秦岭海将两者分隔开。古秦岭海何时开始消亡，怎样消亡，华北和扬子地块是何时随古秦岭海盆的闭合最终拼接在一起，对于这些也存在争议。杨森楠等 (1985)、杨巍然 (1987) 认为，华北和扬子两地块在晚元古代已发生碰撞，古生代时期再度分离，到中生代又重新会聚。张国伟等 (1985) 和贾承造等 (1985) 则认为，华北地块和扬子地块的

会聚发生在晚古生代到早中生代时期。

根据目前积累的有关板块运动和岩浆活动关系的知识可以知道，洋壳的俯冲可能在活动大陆边缘一侧引起岩浆活动。由此形成岩浆岩的 Nd、Sr 元素组成中有相当多数量来自于地幔，部分来自地壳。这类岩浆岩我们称之为 MC 型岩浆岩。随着海盆的最终闭合，两陆块相拼合挤压，在缝合线两侧将同时发生变形、变质和岩浆作用。所形成岩浆岩的物质主要来自地壳，我们称其为 C 型岩浆岩。由于 MC 型和 C 型岩浆岩无论在形成时间还是地理位置以及 Nd、Sr 同位素组成都明显地不同，我们可以根据两者间的这些差别确定它们的存在，并追溯大陆会聚的整个过程。

表 5 列出了陕西地区岩浆活动的时代及与其关联的大地构造运动，可以看出，陕西地区大规模的岩浆活动集中在五个时期：17 亿年前后、14 亿年前后、8 亿年前后、3.7 亿年前后和 2.4 亿年前后。其中只有 240 ± 50 Ma 时期的岩浆岩同时出现在北、南秦岭褶皱带。根据前面第三、第四部分讨论，这一时期的岩浆岩，无论发生在北秦岭褶皱带还是南秦岭褶皱带，其物质来源都主要是地壳本身 (见图 3, 4,) 属于 C 型岩浆岩。这意味着华北及扬子陆块的碰撞可能发生在这一时期。由此推断，比它早形成的，只在北秦岭褶皱带出现的 370 ± 50 Ma 时期的岩浆岩，在第四节已经提到，它们的物质主要来自地幔 (图 4)，属于 MC 型岩浆岩，应该是古秦岭海洋壳消亡时引起的。可见，北秦岭褶皱带在泥盆纪以前是处于华北地块南缘的活动大陆边缘。总之，根据前面的讨论可以得出，古秦岭海洋壳至少在泥盆纪以前就已经在沿着北秦岭这一活动大陆边缘，俯冲消亡在华北地块之下。这一过程一直持续到二叠纪以前两陆块相碰撞。华北和扬子地块碰撞的影响，从 240 ± 50 Ma 以前开始一直延续到早中生代。

表5 陕西构造单元内主要地质事件
Table 5 The major geological events in Shaanxi Province

时 间 (Ma)	主 要 地 质 事 件		主要资料来源
	华 北 地 台 区	扬 子 地 台 区	
≈150	侏罗纪岩浆活动		1, 2
240±50	古秦岭海盆闭合, 华北地块和扬子地块碰撞导致北、南秦岭褶皱带内花岗岩类的形成及变形变质作用。		1, 2
370±50	古秦岭海洋壳俯冲消亡于华北地台之下导致北秦岭褶皱带内火山喷发及岩浆侵入。		1, 2
800±100		扬子地台北缘裂谷系发育导致碧口群、西乡群、陡岭群、歇岭河群和阴西群等为代表的海相火山岩系形成。	1, 3
1400±100	北秦岭褶皱带内以宽坪群为代表的海相火山活动及小秦岭区张家坪等岩体侵入。		1, 3, 4
1700±100	小秦岭和豫西地区以熊耳群为代表大陆裂谷火山岩系形成。		1, 3
≈2000		扬子地台基底形成。	1, 5
2500~3500	华北地台形成。		1, 6

* 陕西省地质矿产局, 1979, 1/50万陕西省地质图及说明书。

四、结 论

根据对Nd、Sr同位素资料的讨论,关于陕西若干存在争议的地质问题可以得出如下结论:

1. 华北和扬子地块有很不相同的早期发展历史,彼此间曾经是独立的,由古秦岭海隔开。
2. 熊耳群火山岩是在大陆环境下形成,在成因上和大陆裂谷的发育密切相关。
3. 北秦岭褶皱带内广泛分布的强烈变形、变质的地层,许多并不属于前寒武系,而是370±50Ma以前古秦岭海洋壳向华北地块下俯冲消亡时引起的岩浆活动的产物。它们的变形、变质作用可能是在240±50Ma以前华北和扬子两陆块碰撞时造成。
4. 北秦岭褶皱带存在着早元古代基底。北、南秦岭褶皱带无论是基底的年代、还是岩浆活动的背景都不相同,它们不可能属同一地块。
5. 在晚志留世到早泥盆世以前,古秦岭海洋壳已经在向华北地块俯冲消亡,导致华北地块南缘370±50Ma时期主要是MC型岩浆岩的形成。
6. 华北地块和扬子地块的碰撞和挤压在早二叠世以前就已经发生,一直延续到早侏罗世。它一方面在北、南秦岭褶皱带内引起早期岩石强烈的变形和变质作用,另一方面又导致了两褶皱带内240±50Ma时期主要是C型花岗岩类的形成。

致谢 这项研究曾得到地矿部西安地矿所严阵教授和西北大学张国伟教授的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 王铭生等, 1985, 豫陕省界东秦岭地区主要地层归属及有关构造特征的讨论, 中国区域地质第13辑, 1~18。
 陕西省地质矿产局, 1983, 陕西省花岗岩, 西安交通大学出版社, 7~38。
 杨森楠、纪克诚、陈忆元, 1985, 华北和扬子大陆碰撞带的特征和演化, 国际大陆边缘地质科学讨论会论文集摘要汇编, 52~53。
 杨巍然, 1987, 东秦岭开台史, 地球科学, 武汉地质学院学报, 1987, 12, 5, 487~492。
 杨忆, 1983, 熊耳群钾质细碧-石英角斑岩岩石特征及成因探讨, 1981届硕士论文集, 科学出版社, 274~283。
 张秋生主编, 1980, 中国东秦岭变质地质, 吉林人民出版社。
 张中奇、强立志、毛同春等, 1985, 对“秦岭地轴”几个地层问题的看法, 中国区域地质, 第13辑, 21~32。
 张国伟、梅志超、李桃红, 1985, 秦岭造山带的南部古被动大陆边缘, 国际大陆边缘地质科学讨论会论文集摘要汇编, 46~47。
 施央申、郭令智、贾承造、贾东、李黎, 1985, 华北板块南部东秦岭中一晚元古代活动大陆边缘构造及中生代A型俯冲活动, 国际大陆边缘地质科学讨论会论文集摘要汇编, 30。
 黄萱、孙世华、DePaolo, D. J., 吴克隆, 1986, 福建省白垩纪岩浆岩Nd、Sr同位素研究, 岩石学报, 2, 50~63。
 黄萱, DePaolo, D. J., 1989, 华南古生代花岗岩类Nd、Sr同位素研究及华南基底、岩石学报, 1, 29~36。
 陶洪祥等, 1986, 略论扬子古陆北缘中晚元古代岛弧构造及演化历史, 国际大陆边缘地质科学讨论会论文集摘要汇编, 73。
 贾承造、施央申、郭令智, 1985, 扬子板块北部东秦岭中一晚元古代地体增生型大陆边缘构造, 国际大陆边缘地质科学讨论会论文集摘要汇编, 47。
 蔡乃仲、苏振邦, 1985, 小秦岭太华群层序划分与原岩判别, 中国区域地质第十三辑, 35。
 DePaolo, D. J., 1981, A Nd and Sr study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada Peninsular Ranges, California, *Journal of Geophysical Research*, 86, B11, 10470~88
 Huang Xuan, Bi Ziwei and DePaolo, D. J., 1986, Sm-Nd isotope study of early Archean rocks, Qianan, Hebei Province, China, *Geochimica Cosmochimica Acta* 50, 625~631。

Nd-Sr ISOTOPES OF GRANITOIDS FROM SHAANXI PROVINCE AND THEIR SIGNIFICANCE FOR TECTONIC EVOLUTION

Huang Xuan Wu Liren

(*Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing, 100029*)

Key words: Nd-Sr isotopes; North China terrane; Convergence; Ages of basements; Tectonic evolution; Yangzi terrane

Abstract

This paper deals with the ages of basements of North China terrane and Yangzi terrane, and the convergent history of the two terranes during middle-late Palaeozoic. It also deals with the refting events happened at the southern margin of

North China terrane during middle Proterozoic and at the north margin of Yangzi terrane during late Proterozoic.

Sm-Nd model ages and Rb-Sr, Sm-Nd isochron chronology suggest that the creation of North China craton be in Late Archean, while the creation of Yangzi craton be in early-middle Proterozoic (Fig.2).

With regard to the convergence of North China terrane and Yangzi terrane, Nd-Sr isotopes suggest that before Devonian or even before Late Silurian, the Qinglin palaeocean floor, which was situated between North China terrane and Yangzi terrane, and had been subducting underneath and consumed beneath the southern margin of North China terrane, where a kind of magmatism of mostly mantle sources occurred (Table 5, Fig.4). Moreover, before late Permian the Qinling palaeocean basin had closed. Consequently, The North China and the Yangzi terranes became convergent and compressed each other. This resulted in the formation of fold belts and the intrusion of granitoids of mostly crustal sources during the periods of late Permian, Triassic, and early Jurassic in the both sides of the suture (Table 5, Fig.3,4).

As to the rifting events, according to the Nd-Sr isotopes, the ocean basin formed by rifting at the northern margin of Yangzi terrane during late Proterozoic was more developed than that at the southern margin of North China terrane during middle Proterozoic (Table 2).