秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄

张宗清^① 张国伟^② 唐索寒^① 许继锋^③ 杨永成^④ 王进辉^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; ^③中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; ^④陕西省地质矿产局区域地质矿产研究院, 咸阳 712000)

摘要 报道秦岭勉略缝合带中段陕西省勉县安子山地区麻粒岩矿物 Sm-Nd 等时年龄和 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄。由麻粒岩矿物样品给出的 Sm-Nd 等时年龄为 $206 \pm 55 \text{ Ma}$ (2σ), $I_{\text{Nd}} = 0.51302 \pm 7$ (2σ), $\text{MSWD} = 1.6$ 。黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 $199.7 \pm 1.7 \text{ Ma}$ (2σ)。麻粒岩形成和抬升与印支期扬子克拉通陆块向秦岭微陆块俯冲碰撞、中朝克拉通华北陆块和扬子克拉通陆块最终拼合有关, 并与大别地区超高压-高压变质岩的时代相一致和接近。

关键词 同位素地质年代学 麻粒岩 秦岭造山带

勉略缝合带位于秦岭造山带南缘, 以勉略蛇绿构造混杂岩带为代表, 呈东西向展布, 向西可连接青海花石峡、德尔尼蛇绿混杂岩带^[1,2]; 向东则被巴山-大别山南缘逆冲推覆构造掩盖, 仅局部残留。勉略蛇绿构造混杂带组成与结构复杂, 带内包容大量 Z- ϵ , D-C 岩块和众多超镁铁-镁铁质岩块。超镁铁-镁铁质岩块具有洋脊蛇绿岩、岛弧蛇绿岩和岛弧火山岩特征。现有研究表明, 该带于泥盆纪中期在扬子板块北缘早古生代被动陆缘基础上打开, 石炭-二叠纪扩张至最大, 印支期早中三叠世, 扬子板块向秦岭微板块下俯冲碰撞, 并导致扬子板块与华北板块的最终拼合, 中国现行大陆主体形成^[3-6]。近年在该带内的勉县安子山地区多处发现麻粒岩, 为该带的研究提供了新的重要内容。关于麻粒岩的性质、特征已有报道^[7,8], 但其形成时代至今未见报道。本文报道采自陕西省勉县安子山基性麻粒岩块矿物样品的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 和 Sm-Nd 同位素年龄测定结果, 并讨论了中朝克拉通华北陆块和扬子克拉通陆块最终拼合的时限和秦岭-大别的大陆深俯冲问题。

1 勉县安子山一带地质概况和样品地球化学特征

陕西省勉县安子山一带地质概况如图 1 所示。该区处于勉略蛇绿构造混杂岩带中段, 主要由片岩类、大理岩类和夹在其中的超镁铁-镁铁质岩块组成, 时代主要为泥盆纪。该区按韧性剪切带可大致划分为 8 个岩片^[7], 由南至北: 窑沟-琵琶寺岩片、将台寺-峡里-白云寺岩片、清家沟-张家沟岩片、酒店垭岩片、朱

家河岩片、安子山岩片、徐家坪岩片和长坝子岩片(图 1)。在清家沟-张家沟岩片、安子山岩片、徐家坪岩片及长坝子岩片中均有麻粒岩相岩石产出, 在区域东北的印支期光头山花岗岩中也见麻粒岩包体^[7]。

安子山地区出露的麻粒岩以基性麻粒岩块产出, 暗绿色, 具条带状构造和粒柱状变晶结构, 主要矿物组合为: 单斜辉石+石榴石+斜长石(An_{30})+石英+金红石, 其中安子山南部麻粒岩块中含有紫苏辉石, 北部岩块内迄今尚无发现。用 Ellis 单斜辉石-石榴石温度计计算温度为 $657 \sim 772^\circ\text{C}$, Newton 压力计计算的峰值达 $0.28 \sim 1.17 \text{ GPa}$ ^[7], 考虑该压力计获得值往往偏低, 校正后压力最高可达 $0.97 \sim 1.32 \text{ GPa}$ 。基性麻粒岩中存在石榴石+单斜辉石 $\rightarrow$ 角闪石+斜长石退变反应, PTt 轨迹为顺时针, 经历过增温增压到等温降压过程^[7,8], 这个过程与大陆俯冲碰撞造山过程类似。安子山的邻区长坝及三岔子等地先后发现有钠云母等中温中-高压和黑硬绿泥石与 3T 型多硅白云母等低温高压变质矿物。综合对比表明, 勉略带除含大量蛇绿岩、不同陆源岩块混杂岩外, 还包容了不同深度层次、不同温压条件下形成的变质岩块。

样品 Q9501 采自安子山杨家沟。岩石具不等粒花岗变晶结构, 主要由斜长石、角闪石(阳起石)、石榴石、棕色黑云母和少量辉石、石英、磁铁矿组成。少量辉石呈残留岛状。角闪石已不同程度阳起石化, 但仍可见两组近于直角解理, 反映其是辉石退变产物。石榴石呈粒状, 裂纹发育。暗色矿物分布有弱方向性。岩石化学成分见表 1, 稀土分布模式见图 2。麻粒岩具有轻稀土相对重稀土亏损稀土分布模式, 高场

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-22-1751>

图 1 勉县安子山一带地质略图(据文献[7]简化)

1. 第四纪; 2. 侏罗系地层; 3. 志留-泥盆系片岩; 4. 元古代碧口群火山岩; 5. 基性、超基性岩块; 6. 变质拉斑玄武岩(角闪绢云绿泥片岩);
7. 斜长角闪岩; 8. 大理岩; 9. 光头山岩体; 10. 韧性剪切带; 11. 逆冲断层; 12. 勉略蛇绿构造混杂岩带; 13. 采样位置

强大离子亲石不相容微量元素和大洋拉斑玄武岩类似. 据 Xu 等人^[8]的研究, 麻粒岩原岩具蛇绿岩特征, 与勉略带略阳庄科蛇绿岩片相似.

2 同位素年龄测定结果

年龄测定在中国地质科学院地质研究所同位素地质年代学实验室完成, 实验流程见文献[9]. 年龄计算用 Ludwing ISOPLOT 程序, 采用误差 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.5\%$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.005\%$.

(i) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄数据. 由麻粒岩样品 Q9501 分离出的棕色黑云母样品用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定, 分析结果见表 2 和图 3. 坪年龄 $199.6 \pm 1.7 \text{ Ma} (2\sigma)$.

等时年龄 $201.3 \pm 2.5 \text{ Ma} (2\sigma)$, $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_i = 275 \pm 11 (2\sigma)$.

(ii) Sm-Nd 年龄数据. 麻粒岩样品 Q9501(WR) 和由该样品分离出的矿物样品石榴石、角闪石, 斜长石和棕色黑云母用于 Sm-Nd 同位素分析, 结果列于表 3. 等时年龄 $t = 192 \pm 34 \text{ Ma} (2\sigma)$, $I_{\text{Nd}} = 0.51303 \pm 5 (2\sigma)$, $\text{MSWD} = 0.69$ (图 4). 相应 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 +12.5. 鉴于麻粒岩存在单斜辉石+石榴石→角闪石+斜长石退变过程, 并且在显微镜下可以发现角闪石已进一步退变, 不同程度阳起石化, 石榴石裂纹发育, 裂纹中可见极少量毛发状绿泥石. 因此, 由实验所获得的角闪石(阳起石)和石榴石样品的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值可能偏

低. 镁质矿物退变质时, 由于矿物晶体结构变化,

表 1 麻粒岩样品 Q9501 化学组成 ^{a)}			
元素	含量	元素	含量
SiO ₂	48.73	Ho	0.75
TiO ₂	1.75	Er	2.27
Al ₂ O ₃	14.45	Tm	0.33
Fe ₂ O ₃	2.08	Yb	2.24
FeO	10.92	Lu	0.36
MnO	0.51	Rb	31
MgO	9.95	Sr	26
CaO	6.89	Ba	363
Na ₂ O	0.72	Zr	56
K ₂ O	1.02	Hf	1.8
P ₂ O ₅	0.09	Nb	0.82
La	1.98	Ta	0.37
Ce	6.47	U	<0.2
Pr	0.89	Th	0.23
Nd	5.79	Sc	38
Sm	2.35	Y	17
Eu	0.62	Cr	86
Gd	2.92	Ni	83
Tb	0.52	Co	29
Dy	3.69		

a) 岩石化学组成由中国地质科学院岩矿测试所用 X 荧光和 ICP-MS 方法分析. 单位: 主元素为质量百分比, 微量元素为μg/g

Nd 同位素系统有较大改变. 秦岭黑河镁铁质枕状熔岩矿物样品 Sm-Nd 年龄测定中也发现类似情况. 普通辉石退变为角闪石时, Nd 同位素系统发生了大的变化, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 值严重偏低, 而同一样品中的斜长石矿物的 Nd 同位素系统则变化不大^[10]. 如果计算年龄时, 这两个矿物样品不考虑, 仅由斜长石、黑云母和全岩 3 个样品计算, 可以得到等时年龄 $t = 206 \pm 55$ Ma (2σ), $I_{Nd} = 0.51302 \pm 7(2\sigma)$, MSWD = 1.6. 这个年龄值可能更接近真实情况.

图 2 勉县安子山麻粒岩样品 Q9501 稀土分布模式

表 2 勉县安子山麻粒岩样品 Q9501 黑云母 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 阶段升温年龄结果 ^{a)}						
温度/℃	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar	³⁹ Ar/mol	年龄/Ma
390	49.5902	0.1489	0.4036	5.6295	276.30×10^{-14}	136.8 ± 4.4
480	15.6101	0.0335	0.0681	5.7211	318.35×10^{-14}	139.0 ± 1.9
580	12.2118	0.0135	0.0107	8.2160	1477.06×10^{-14}	196.4 ± 2.5
680	9.3169	0.0033	0.0161	8.3395	4788.89×10^{-14}	199.2 ± 1.9
760	8.9911	0.0025	0.0304	8.2629	1956.62×10^{-14}	197.5 ± 2.5
840	9.1967	0.0029	0.2795	8.3689	1216.56×10^{-14}	199.9 ± 2.0
930	9.0064	0.0020	0.0531	8.4128	1644.48×10^{-14}	200.8 ± 2.1
1030	8.9879	0.0018	0.0571	8.4683	1822.65×10^{-14}	202.1 ± 2.0
1130	9.2348	0.0024	0.1749	8.5368	996.28×10^{-14}	203.7 ± 2.2
1230	10.3744	0.0062	0.4304	8.5809	317.76×10^{-14}	204.6 ± 7.5
1330	28.0189	0.0742	4.5362	6.4297	26.52×10^{-14}	155.5 ± 24.5
1400	71.4624	0.2422	15.3853	0.9887	7.58×10^{-14}	24.8 ± 168.0

a) 样品重 128.20 mg, $J = 0.013999$

表 3 勉县安子山麻粒岩矿物样品 Sm-Nd 年龄同位素分析结果 ^{a)}					
样 品	Sm/μg · g ⁻¹	Nd/μg · g ⁻¹	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	± 2σ
Q9501WR	2.261	6.248	0.2189	0.513322	11
Q9501 Bio	3.761×10^{-1}	1.781	0.1277	0.513190	11
Q9501 Pl	4.426×10^{-1}	1.298	0.2063	0.513282	19
Q9501 Hb	3.515	8.027	0.2649	0.513362	10
Q9501 Gt	9.309×10^{-1}	2.126	0.2649	0.513360	14

a) ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比值质量分馏用 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.72190 校正. 标准样品 J.M Nd₂O₃ ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.511125 ± 9 (2σ), GBSO4419 ¹⁴³Nd / ¹⁴⁴Nd = 0.512731 ± 8 (2 σ), 流程空白 Sm, Nd 约为 5×10^{-11} g

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-22-1751>

图 3 勉县安子山麻粒岩黑云母样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(a) 和等时年龄(b)

3 麻粒岩同位素年龄地质意义讨论和认识

文献[7,8]的研究结果和我们新获得的地球化学资料显示,安子山麻粒岩原岩具蛇绿岩特征:具有轻稀土相对于重稀土亏损的稀土分布模式;在高场强大离子亲石不相容微量元素 Zr-Nb-Y 图上,样品落入 N-MORB 区, Th-Hf-Ta 图上落入 P-MORB 区, Ti-Zr-Y 图上落入洋底板玄武岩、低钾拉斑玄武岩和大陆裂谷玄武岩区边界; Nd 同位素 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 +12.5; 与勉略带西部略阳庄科蛇绿岩片主、微量元素含量类似^[11]。这些特征反映,麻粒岩原岩可能形成于大陆或大陆边缘扩张洋盆环境。麻粒岩形成于印支期,其矿物 Sm-Nd

等时年龄为 $206 \pm 55 \text{ Ma}(2\sigma)$, $I_{\text{Nd}} = 0.51302 \pm 7(2\sigma)$, $\text{MSWD} = 1.6$, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $199.7 \pm 7 \text{ Ma}(2\sigma)$, 等时年龄 $201.3 \pm 2.5 \text{ Ma}(2\sigma)$, $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{i}} = 275 \pm 11(2\sigma)$ 。麻粒岩温压条件测定表明,麻粒岩经过升温升压,而后再经历过等温降压退变质过程^[7,8],由斜长石、棕色黑云母和全岩样品所获得的年龄值可能比麻粒岩的形成年龄略低,代表麻粒岩形成后构造抬升退变质作用时间。邻近构造带北侧的光头山花岗岩体中亦有麻粒岩包体产出^[7],其花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 $216 \pm 2 \text{ Ma}$ ^[12]。麻粒岩的形成和抬升可能与印支期南秦岭扬子板块向秦岭微板块俯冲碰撞、秦岭勉略缝合带闭合、中朝克拉通华北陆块和扬子克拉通陆块最终拼合的大规模造山过程有关。资料表明^[3-6],勉略构造带是在泥盆纪中期打开,石炭-二叠纪扩张,印支期早-中三叠世闭合蛇绿构造混杂岩带,在勉略构造带略阳三岔四方坝硅质岩中有时代属石炭纪的放射虫化石^[13];略阳黑沟峡岛弧火山岩 Sm-Nd 等时年龄为 $242 \pm 21 \text{ Ma}$, Rb-Sr 年龄为 $221 \pm 13 \text{ Ma}$ ^[14];构造带北侧与构造带匹配的碰撞花岗岩带如光头山、张家坪、新院、姜家坝、迷坝等岩体锆石 U-Pb 年龄为 $220 \sim 206 \text{ Ma}$ ^[12]。在印支期,扬子克拉通板块沿略阳-勉县-镇巴高川一线向北俯冲于秦岭微板块之下,勉略有限洋盆闭合,陆-陆碰撞^[3-6]。俯冲作用带入地壳深部的洋壳岩石在高温高压下强烈变质,麻粒岩形成,并随着碰撞作用进行而被带出^[15]。自此以后,秦岭转入陆内构造过程。

图4 勉县安子山麻粒岩矿物样品 Sm-Nd 等时年龄

大别高压变质带位于秦岭造山带东部,地质研究已经证实,秦岭-大别是一剥露层次不同的统一造山带.东部大别山出露造山带根部,高压超高压变质岩出露地表,西部秦岭造山带保留中上部构造层次岩石,由西向东呈现完好的造山带垂向地壳剖面.近年来对南大别高压超高压变质岩石——含柯石英榴辉岩、高压变质镁铁质岩、沉积岩的同位素年代学研究表明,岩石主体形成于大约 220 ~ 210 Ma 的印支期^[16~18],并认为其形成与扬子克拉通陆块和中朝克拉通华北陆块拼合时陆壳深俯冲作用有关.南秦岭略阳-勉县-镇巴高川蛇绿构造混杂岩带内的安子山麻粒岩块的形成时间和南大别高压-超高压变质岩的形成时间相接,只是安子山略迟.年龄资料和秦岭-大别大量区域地质、地球化学研究成果反映,印支期,秦岭-大别可能发生过强烈板块俯冲碰撞造山拼合作用,由东至西,即由大别超高压变质岩形成到南秦岭略阳-勉县-高川蛇绿构造混杂岩带麻粒岩生成和抬升,可能存在穿时板块俯冲碰撞过程.到 200 Ma 左右,扬子克拉通陆块和中朝克拉通华北陆块最终全面拼合.这时,除西藏、云南等西南边缘和台湾外,中国主体大陆已统一形成^[6].勉略带安子山麻粒岩年龄为秦岭-大别造山带超高压-高压岩石到中高压麻粒岩的形成及以后的不同出露构造机理研究提供了新的资料和思路,即不仅需要深化秦岭-大别各个地区本身的研究,更需要大区域地质的综合深入对比研究,求得新发现,获得新认识与新突破.

致谢 感谢沈其韩先生对本文的指导.本工作受国家自然科学基金资助(批准号:49732080,40072071).

参 考 文 献

1 陈亮,孙勇,柳小明,等.青海省德尔尼蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义.岩石学报,2000,16(1): 106 ~ 110

2 陈亮,孙勇,裴先治,等.德尔尼蛇绿岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据.科学通报,2001,46(5): 424 ~ 426

3 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 ~ 1003

4 张国伟,张宗清,董云鹏.秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义.岩石学报,1995,11(2): 101 ~

104

5 张国伟,孟庆任,于在平,等.秦岭造山带的造山过程及动力学特征.中国科学, D 辑,1996,26(3): 193 ~ 200

6 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,2001. 1 ~ 855

7 李三忠,张国伟,李亚林,等.勉略地区勉略带内麻粒岩的发现及构造意义.岩石学报,2000,16(2): 220 ~ 226

8 Xu Jifeng, Zhang Benren, Han Yinwen. Recognition of Ophiolite belt and granulite in northern area of Mianlue, Southern Qinling, China and their implication. J China University Geosciences, 1994, 5(1): 25 ~ 27

9 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

10 张宗清,张国伟,唐索寒,等.秦岭黑河镁铁质枕状熔岩年龄和地球化学特征.中国科学, D 辑,2001,31(1): 36 ~ 42

11 赖绍冲,张国伟,杨永成,等.南秦岭勉县-略阳结合带蛇绿岩与岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义.地球化学,1998,27(3): 283 ~ 293

12 孙卫东,李曙光,Chen Yaolong,等.南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义.地球化学,2000,29(3): 209 ~ 216

13 殷鸿福,杜远生,许继锋,等.南秦岭勉略古缝合带中放射虫动物群的发现及其古海洋意义.地球科学,1966,21(2): 184

14 李曙光,孙卫东,张国伟,等.南秦岭勉略构造带黑沟变质火山岩的年代学和地球化学: 古生代洋盆及其闭合时代的证据.中国科学, D 辑,1996,26(3): 223 ~ 230

15 王仁民,赖兴运,董卫东,等.冀西北晚太古宙碰撞带的一些证据.见: 钱祥麟,王仁民,编.华北北部麻粒岩带地质演化.北京: 地震出版社,1994. 7 ~ 19

16 李曙光, Jagouty E, 肖益林,等.大别山-苏鲁地体超高压变质年代学——I. Sm-Nd 同位素体系.中国科学, D 辑,1996,26(3): 249 ~ 257

17 Amer L, Tilton G R, Zhou G. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coe-site-bearing eclogites. Geology, 1993, 21: 339 ~ 342

18 Chavagnac V, Jahn B M. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. Chem Geol, 1996, 133: 29 ~ 51

(2002-06-21 收稿)

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-22-1751>