

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

勉县—略阳蛇绿混杂岩带镁铁质—安山质火山岩块 年龄和该带构造演化的复杂性

张宗清¹⁾, 唐索寒¹⁾, 张国伟²⁾, 杨永成³⁾, 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) 陕西区域地质调查研究院, 咸阳, 712000

内容提要:位于南秦岭略阳—勉县—镇巴高川一线的勉略蛇绿混杂岩带一般认为形成于印支期,但笔者研究表明,除存在印支期的岩块外,也存在大量晋宁期的变质镁铁质火山岩块和岛弧火山岩块:① 略阳三岔具岛弧火山岩性质的变质安山质火山岩的 Sm-Nd 等时年龄为 $873 \pm 71(2\sigma)$ Ma, $I_{Nd} = 0.511796 \pm 67(2\sigma)$, MSWD 0.73; ② 勉县安子山类似 N-MORB 洋壳碎片的变质镁铁质火山岩块的 Sm-Nd 等时年龄为 $877 \pm 78(2\sigma)$ Ma, $I_{Nd} = 0.51190 \pm 10(2\sigma)$, MSWD 0.93; ③ 出露于略阳庄科轻稀土强烈亏损蛇绿岩块,虽然其 Nd 同位素组成分散,不形成等时线,但是其高场强大离子不相容微量元素与勉县安子山变质镁铁质火山岩具有十分类似地球化学特征,它们可能是大致同时,由类似源区形成的。这些事实表明,勉略蛇绿构造混杂岩带是复杂的,可能是多期构造事件叠加复合构造活动带。

关键词: 同位素年代学; 勉略蛇绿构造混杂岩带; 秦岭造山带

秦岭造山带东西向横亘中国大陆中部,是亚洲东部两个主要板块——中朝克拉通华北板块和扬子

克拉通板块碰撞拼合的结合带。其形成和演化历史在中国大陆地壳研究中占着十分重要的地位。在秦

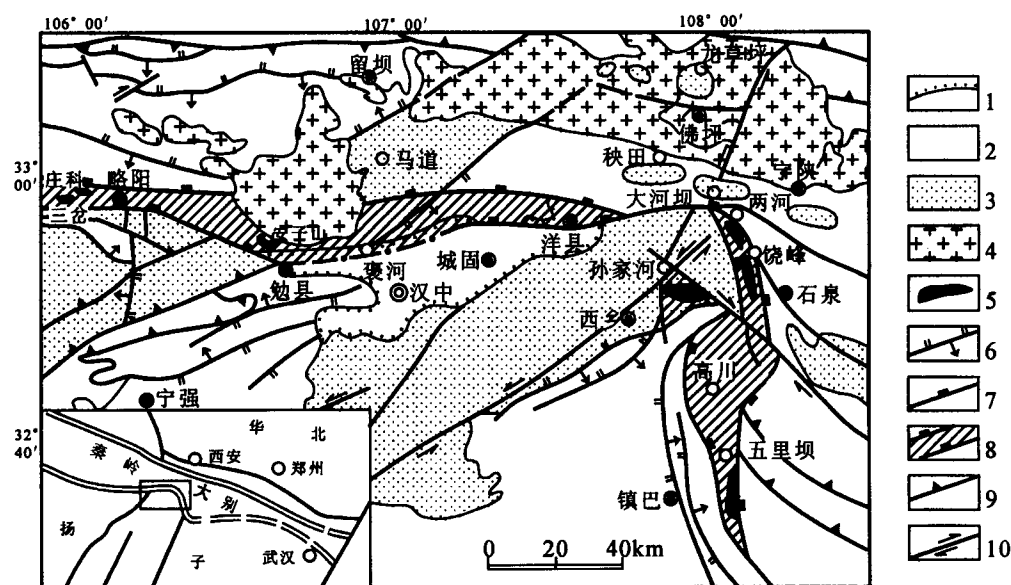


图1 南秦岭略阳—勉县—镇巴高川地区地质略图(据赖绍聪等,2000修改)

Fig. 1 Sketch geological map of the Lueyang—Mianxian—Gaochuan, Zhenba area in the south Qinling (modified after Lai et al., 2000)

1—中—新生代沉积盆地; 2—古生界; 3—前寒武系; 4—印支期花岗岩; 5—蛇绿岩和岛弧火山岩片; 6—断裂构造; 7—缝合带边界;
8—勉略缝合带; 9—逆冲推覆断裂; 10—走滑断裂

1—Mesozoic—Cenozoic sedimentary basin; 2—Paleozoic; 3—Precambrian; 4—Indosinian granite; 5—ophiolite— island-arc volcanics;
6—fault; 7—boundary of suture zones; 8—Mianxian—Lueyang suture zone; 9—thrust; 10—strike-slip fault

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 40072071, 49773182, 49732080)和地质调查项目(编号200313000057)资助的成果。

收稿日期:2004-06-10; 改回日期:2004-11-16; 责任编辑:章雨旭。

作者简介:张宗清,男,1941年生。现为中国地质科学院地质研究所研究员,主要从事同位素地质年代学和地球化学研究。通讯地址:100037,北京阜外百万庄26号,地质研究所;电话:010-68999755。

岭造山带中,位于陕西省略阳—勉县—镇巴高川一线的勉略蛇绿构造混杂岩带是近年发现厘定,是对秦岭造山带构造演化研究具有十分重要意义的一条板块缝合带,简称勉略缝合带,或勉略构造带。该带整体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,向西可连接南昆仑,如青海花石峡、德尔尼蛇绿混杂岩带;向东则为巴山—大别山南缘逆冲推覆构造掩盖,仅局部残留,是秦岭造山带中除商州—丹凤主缝合带外,又一新的秦岭板块构造缝合带。其形成时代一般认为形成于印支期,为扬子克拉通板块与中朝克拉通华北板块最终拼合界线(张国伟等,1995a,1995b,1996,2001)。在该构造带,略阳黑沟峡岛弧火山岩中有年龄为 242 ± 21 Ma Sm-Nd 等时年龄和年龄为 221 ± 13 Ma Rb-Sr 等时年龄报道(李曙光等,1996),在略阳偏桥沟四方坝硅质岩中有时代为早石炭世放射虫化石发现(冯庆来等,1996)。近年还在该带勉县安子山地区发现有印支期的麻粒岩岩块(张宗清等,2002a)。但是新近我们在该带镁铁质岩块年代学研究发现,该带不仅存在印支期构造事件证据,也存在晋宁期具蛇绿岩性质的镁铁质火山岩块和岛弧火山岩块。这反映,该带构造演化过程可能十分复杂。几个位于该构造带的重要蛇绿岩和岛弧火山岩块的地球化学特征和年龄结果报道如下。

1 采样点区域地质概况和样品地球化学特征

样品采自勉略构造带中段,略阳三岔偏桥沟、勉县安子山和略阳庄科,区域地质概况如图1所示。康县—略阳—勉县—镇巴高川一线是勉略构造带发育最好区段,北部以武都—状元碑断裂与南秦岭震旦系—古生界为界,南部以康县—略阳—勉县断裂与元古宇碧口群变质火山岩、太古宇鱼洞子群片麻岩和汉南新元古代侵入杂岩为界(张宗清等,2000,2002a,2002b)。带内岩石组成与结构复杂,包容大量震旦系—石炭系、泥盆系—石炭系岩块和众多超镁铁质—镁铁质构造岩块,带宽8~10 km。沉积岩块主要为强剪切黑色硅质岩、含砾千枚岩、泥质碎屑岩、白云岩、大理岩,超镁铁质—镁铁质岩块主要由强烈剪切变质变形海相火山岩、辉长岩、蛇纹岩和辉绿岩墙群组成。岩石化学成分显示,镁铁质岩显洋脊蛇绿岩,岛弧蛇绿岩和岛弧火山岩特征(赖绍聪等,1997,1998,2000)。构造带北侧发育220~206 Ma 碰撞花岗岩带(孙卫东等,2000)。已有工作表明,构造带可

能是泥盆纪中期打开,石炭纪—二叠纪扩张最大,早中三叠世闭合,即印支期,扬子克拉通板块俯冲于秦岭微板块之下,陆-陆碰撞,扬子克拉通陆块和中朝克拉通华北陆块最终拼合(张国伟等,1995a,1995b,1996,2001)。

采样点三岔偏桥沟位于构造带西侧陕西省略阳县西约25 km处。该地主要由绿片岩相—低角闪岩相变质安山质火山岩组成,夹变质辉长岩、橄榄岩(蛇纹岩)和少量硅质岩,并见小斜长花岗岩体侵入。部分变质火山岩样品残留斑状结构,斑晶斜长石。岩

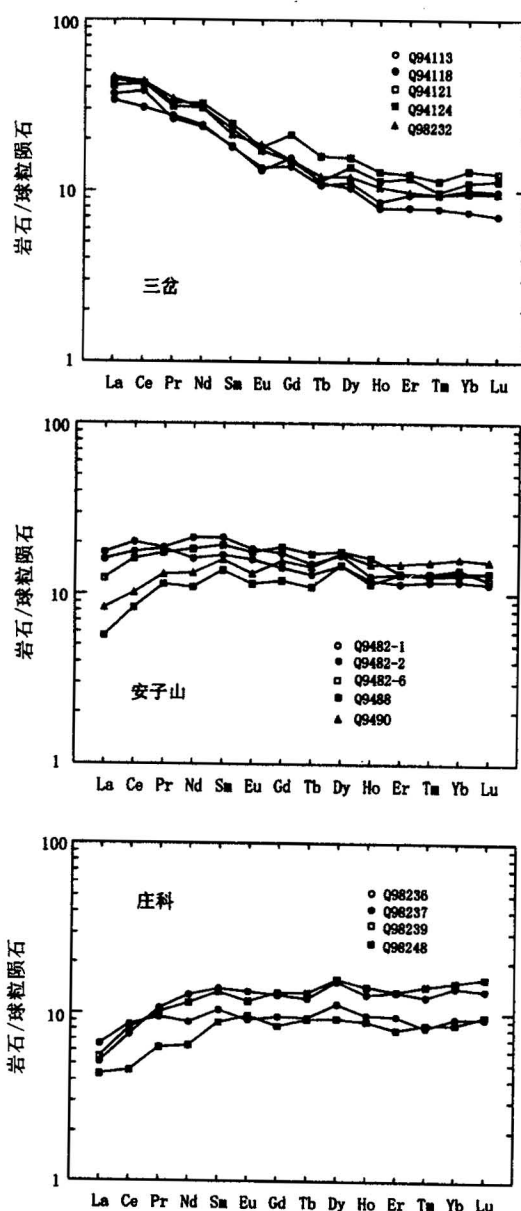


图2 变质镁铁质—安山质火山岩稀土分布模式
Fig. 2 REE patterns of metamorphic mafic-andesitic volcanic rocks

表 1 勉县—略阳蛇绿构造混杂岩带中变质镁铁质—安山质火山岩块岩石化学组成

Table 1 Chemical compositions of metamorphic mafic and andesitic volcanic rocks in the Mianxian—Lueyang ophiolite tectonic melange belt

地点	勉县安子山					略阳三岔					略阳庄科			
样品号	Q9482-1	Q9482-2	Q9482-6	Q9488	Q9490	Q94113	Q94118	Q94121	Q94124	Q98232	Q98236	Q98237	Q98239	Q98248
SiO ₂	47.99	48.41	48.83	47.48	51.04	56.66	61.24	60.87	59.06	54.25	47.28	46.06	47.42	44.56
TiO ₂	1.73	1.39	1.78	1.41	1.51	0.88	1.00	0.98	0.96	0.89	1.41	0.95	1.23	0.94
Al ₂ O ₃	14.80	16.09	14.43	14.66	13.15	16.15	14.85	16.20	16.52	15.10	13.85	13.19	13.84	12.61
Fe ₂ O ₃	4.11	4.29	2.26	3.48	5.12	2.07	2.50	2.25	2.52	2.36	7.84	4.58	7.29	6.89
FeO	6.95	6.02	10.01	10.22	7.71	5.12	5.12	4.44	4.51	5.33	5.51	5.44	6.23	4.01
MnO	0.22	0.27	0.22	0.27	0.23	0.12	0.14	0.15	0.14	0.12	0.21	0.19	0.20	0.15
MgO	6.86	7.04	6.61	8.25	7.47	3.03	2.10	2.46	2.76	4.41	6.42	6.20	7.21	4.97
CaO	10.53	11.48	10.03	11.63	9.05	3.56	2.23	2.70	3.47	4.42	9.67	10.95	8.13	9.75
Na ₂ O	3.46	2.53	3.23	1.21	2.64	4.45	4.24	5.53	3.84	4.28	2.17	2.21	3.04	3.58
K ₂ O	0.29	0.39	0.30	0.13	0.29	2.23	1.37	1.40	2.63	0.99	0.25	0.08	0.14	0.20
P ₂ O ₅	0.18	0.13	0.14	0.10	0.12	0.18	0.20	0.22	0.22	0.24	0.09	0.06	0.06	0.09
烧失量	2.54	1.51	1.53	1.02	1.86	5.05	4.58	3.10	2.68	7.70	5.31	10.04	4.97	12.92
总量	99.66	99.55	99.37	99.86	100.19	99.50	99.57	100.30	99.31	100.09	100.01	99.95	99.76	100.67
La	5.53	5.02	3.90	1.79	2.61	11.53	10.66	12.94	14.01	14.46	1.62	2.07	1.74	1.37
Ce	16.39	14.34	13.06	6.75	8.27	31.15	25.00	34.34	34.44	35.39	6.06	6.96	6.62	3.72
Pr	2.15	2.12	2.00	1.31	1.50	3.01	3.16	3.76	3.58	3.98	1.23	1.09	1.17	0.72
Nd	12.72	9.58	10.93	6.52	7.89	14.02	14.39	19.32	18.28	18.17	7.64	5.27	6.85	3.83
Sm	4.14	3.26	3.73	2.66	3.07	3.53	3.47	4.76	4.42	4.10	2.70	2.02	2.58	1.70
Eu	1.33	1.15	1.27	0.83	0.95	0.95	0.99	1.29	1.24	1.34	0.97	0.66	0.85	0.70
Gd	4.49	3.68	4.88	3.10	4.05	4.02	3.60	5.50	3.89	3.92	3.31	2.47	3.43	2.17
Tb	0.75	0.65	0.86	0.55	0.72	0.56	0.54	0.80	0.57	0.61	0.61	0.47	0.66	0.46
Dy	5.47	4.77	5.77	4.79	5.62	3.39	3.64	5.10	4.49	3.94	5.02	3.69	5.18	3.02
Ho	0.93	0.88	1.19	0.84	1.09	0.58	0.63	0.95	0.84	0.77	0.94	0.71	1.05	0.65
Er	2.78	2.45	2.82	2.77	3.20	1.70	2.02	2.68	2.53	2.10	2.83	2.04	2.86	1.69
Tm	0.39	0.36	0.40	0.39	0.47	0.24	0.29	0.35	0.30	0.29	0.38	0.25	0.44	0.26
Yb	2.67	2.47	2.88	2.77	3.34	1.57	2.11	2.74	2.33	2.02	2.95	1.94	3.17	1.78
Lu	0.43	0.37	0.39	0.43	0.50	0.23	0.32	0.41	0.37	0.31	0.44	0.30	0.52	0.31
Sc	38	42	41	45	42	20	20	17	17	20	40	34	43	33
Y	25	23	27	23	28	14	16	24	21	18	25	17	26	18
Rb	4	6	8	2	5	69	44	37	60	24	10	2	5	8
Sr	197	232	209	90	148	109	137	198	267	101	104	102	103	37
Ba	55	86	89	15	80	632	424	468	664	266	54	227	516	65
Nb	5.3	3.3	3.5	1.5	1.1	4.3	4.5	5.2	4.6	4.8	1.1	0.6	0.4	0.5
Ta	1.14	0.74	0.63	0.56	0.29	0.67	0.79	1.39	0.53	0.47	0.20	0.20	0.20	0.20
Zr	124	83	90	51	62	90	31	15	17	35	70	62	66	41
Hf	3.6	2.5	2.8	1.8	2.1	2.8	1.1	0.7	0.7	1.2	2.3	1.9	2.1	1.3
Th	0.42	0.23	0.30	0.20	0.20	3.10	2.68	3.22	3.42	3.37	0.20	0.48	0.20	0.29
U	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20	0.84	0.72	0.91	1.05	0.89	0.20	0.20	0.20	0.27
Cr	198	202	185	414	898	57	56	43	46	147	99	211	100	130
Ni	55	88	51	61	47	11	11	9	13	41	40	40	41	48
Co	33	38	34	41	35	10	16	10	12	17	36	30	37	33

注:国家地质实验测试中心分析。主元素为 XRF 法,单位为%;微量元素为 ICP-MS 法,单位为 $\times 10^{-6}$ 。

石化学组成列于表1。变质安山质火山岩主元素、微量元素组成显示岛弧火山岩特征,具轻稀土相对重稀土富集的分布模式(图2),相对于 N-MORB,高场强大离子不相容微量元素具明显 Nb 负异常(图

3),在 Ti-Zr-Y 和 Zr-Nb-Y 图上落于岛弧火山岩区(图4)。

安子山位于构造带中部勉县西北约12km 处,该地按韧性剪切带可划分为8个小岩片(李三忠等,

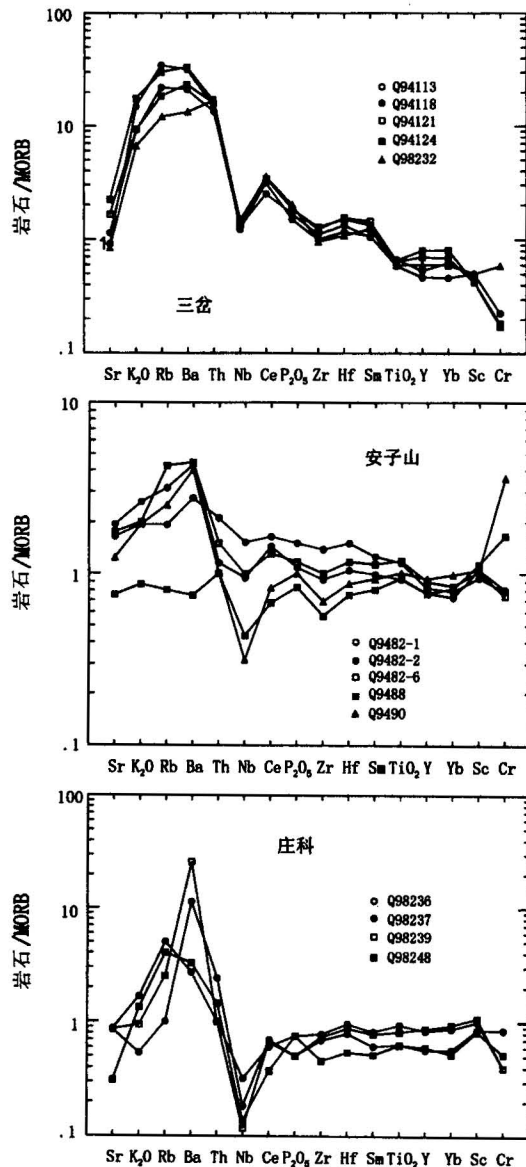


图3 变质镁铁质—安山质火山岩 N-MORB 标准化微量元素分布模式

Fig. 3 Mid-ocean-ridge basalt-normalized trace element patterns of metamorphic mafic-andesitic volcanic rocks

2000)。安子山岩片主要由变质镁铁质火山岩-斜长角闪片岩及橄榄岩(蛇纹岩)和少量变质辉石岩组成。橄榄岩中有贫铬铁矿矿体产出。斜长角闪片岩主要由斜长石、普通角闪石组成,含少量榴石、石榴子石、黑云母及金属矿物。角闪石定向分布。主、微量元素组成见表1,稀土分布模式见图2。与三岔变质火山岩不同,出露安子山的变质镁铁质火山岩具轻稀土相对重稀土亏损稀土分布模式,高场强大离子不相容微量元素类似N-MORB,但具有Nb负异

表2 勉县—略阳蛇绿构造混杂岩带中变质镁铁质—安山质火山岩 Sm-Nd 年龄同位素分析结果

Table 2 Sm-Nd isotopic analytical results of the metamorphic mafic-andesitic volcanic rocks in the Mianxian-Lueyang ophiolite tectonic melange belt

地点	样品号	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$	$\pm 2\sigma$
略阳三岔偏桥口变质安山质火山岩	Q94113	3.744	15.626	0.1449	0.512625	± 0.000018
	Q94115	4.564	19.111	0.1444	0.512628	± 0.000038
	Q94116	4.089	16.796	0.1473	0.512639	± 0.000006
	Q94117	4.763	19.878	0.1449	0.512633	± 0.000008
	Q94118	3.960	16.291	0.1470	0.512634	± 0.000018
	Q94119	4.516	20.948	0.1304	0.512540	± 0.000010
	Q94120	4.541	18.485	0.1486	0.512648	± 0.000016
	Q94121	5.185	20.733	0.1513	0.512661	± 0.000008
	Q94122	4.465	20.858	0.1295	0.512487	± 0.000007
	Q94123	4.995	22.036	0.1371	0.512577	± 0.000011
	Q94124	4.620	19.313	0.1447	0.512618	± 0.000012
	Q94125	4.212	17.253	0.1477	0.512633	± 0.000012
勉县安子山变质镁铁质火山岩	Q98229	4.954	20.417	0.1468	0.512668	± 0.000007
	Q98232	4.191	18.855	0.1344	0.512567	± 0.000007
	Q9482-1	4.094	13.402	0.1848	0.512958	± 0.000006
	Q9482-2	3.332	10.492	0.1921	0.513020	± 0.000016
	Q9482-3	7.459	24.055	0.1876	0.512968	± 0.000012
	Q9482-4	6.190	19.216	0.1948	0.512983	± 0.000006
	Q9482-5	3.645	10.701	0.2060	0.513068	± 0.000008
	Q9482-6	4.041	11.774	0.2076	0.513084	± 0.000009
	Q9482-7	5.086	16.439	0.1871	0.512970	± 0.000006
	Q9482-11	3.933	11.429	0.2082	0.513118	± 0.000005
	Q9482-12	3.765	11.143	0.2044	0.513065	± 0.000011
	Q9488	2.921	7.568	0.2335	0.513236	± 0.000010
略阳庄科变质镁铁质火山岩	Q9490	3.177	8.437	0.2278	0.513210	± 0.000009
	Q94131	2.767	7.040	0.2371	0.513222	± 0.000007
	Q9501	1.621	3.971	0.2469	0.513306	± 0.000004
	Q9502	2.426	5.983	0.2453	0.513292	± 0.000010
	Q9503	3.138	8.685	0.2186	0.513114	± 0.000004
	Q9504	2.631	6.512	0.2444	0.513297	± 0.000006
	Q9505	2.039	5.008	0.2463	0.513394	± 0.000012
	Q9506-1	3.180	8.483	0.2268	0.513303	± 0.000013
	Q9506-2	3.238	8.652	0.2264	0.513264	± 0.000007
	Q98236	2.730	6.835	0.2416	0.513344	± 0.000006
	Q98237	1.970	5.284	0.2255	0.513199	± 0.000022
	Q98239	2.541	6.455	0.2381	0.513316	± 0.000007
	Q98241	2.865	7.659	0.2263	0.513319	± 0.000009
	Q98242	2.732	6.650	0.2485	0.513187	± 0.000026
	Q98243	1.524	4.000	0.2305	0.513358	± 0.000010
	Q98245	2.302	5.906	0.2358	0.513340	± 0.000010
	Q98246	1.689	4.460	0.2291	0.513411	± 0.000015
	Q98247	1.734	4.329	0.2423	0.513415	± 0.000032
	Q98248	1.602	4.466	0.2170	0.513335	± 0.000006

注:分析方法见张宗清等,2002b; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值质量分馏用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.72190$ 校正。标准物质 J. M. Nd_2O_3 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511125\pm 9(2\sigma)$, GBWO4419 $0.512731\pm 8(2\sigma)$, 流程空白 Sm, Nd $\approx 10^{-11}\text{g}$ 。

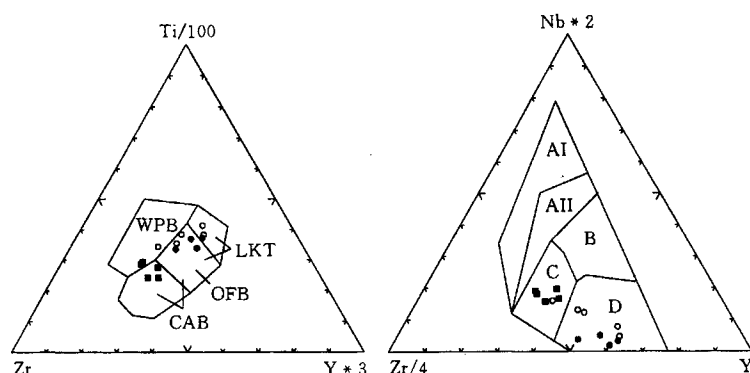


图4 变质镁铁质—安山质火山岩 Ti-Zr-Y 和 Zr-Nb-Y 图

Fig. 4 Ti-Zr-Y and Zr-Nb-Y diagrams of metamorphic mafic-andesitic volcanic rocks

○—勉县安子山变质镁铁质火山岩; ●—略阳庄科变质镁铁质火山岩; ■—略阳三岔偏桥沟变质安山质火山岩。WPB—板内玄武岩; CAB—钙碱性玄武岩; LKT—低钾拉斑玄武岩; OFB—洋底板玄武岩; A—板内碱性玄武岩; B—P-MORB; C—火山弧玄武岩; D—N-MORB, 火山弧玄武岩

○—Metamorphic mafic volcanic rocks in the Anzishan area, Mianxian county; ●—metamorphic mafic volcanic rocks in the Zhuangke area, Lueyang county; ■—metamorphic andesitic volcanic rocks in the Pianqiaogou valley, Sancha area, Lueyang county; WPB—intra-plate basalt; CAB—calc-alkaline basalt; LKT—low-potassium tholeiites; OFB—ocean floor basalts; A—intra-plate alkaline basalts; B—P-MORB; C—volcanic arc basalts; D—N-MORB, volcanic arc basalts

常和高的 Ba 含量。岩石与大陆边缘岛弧拉张洋盆玄武岩相当(图3,图4)。

庄科位于陕西省略阳县,南西与三岔变质火山岩块相邻。变质镁铁质火山岩呈厚层块状,边缘绿片岩化强烈,有较强碳酸盐化。岩石主、微量元素组成见表1。具轻稀土相对重稀土强烈亏损稀土分布模式(图2)。高场强大离子不相容微量元素比安子山镁铁质火山岩更为亏损,含量近于或小于 N-MORB。具有均一大的 Nb 负异常和高的 Ba 含量。

2 变质镁铁质—安山质火山岩块年龄测定结果

2.1 略阳三岔偏桥沟变质安山质火山岩年龄

对略阳三岔偏桥沟变质安山质火山岩—绿片岩样品进行了 Sm-Nd、Rb-Sr 年龄同位素分析,结果列于表2和表3。Rb-Sr 年龄同位素分析结果分散不构成等时线。Sm-Nd 同位素分析结果,除样品 Q94122 和 Q98229 两个样品外,其余12个样品形成一条很好等时线。样品 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值范围 0.1295~0.1513, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值 0.512487~0.512668。等时年龄 $t = 873 \pm 71(2\sigma)\text{Ma}$, $I_{\text{Nd}} = 0.511796 \pm 67(2\sigma)$, MSWD 0.73(图5)。

2.2 勉县安子山变质镁铁质火山岩年龄

样品采自勉县安子山,所有样品均为斜长角闪片岩。Sm-Nd、Rb-Sr 年龄同位素分析结果列于表2和表3。样品 Rb 含量低, Sr 含量高, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值很小,由 0.05214~0.1121,同位素分析结果分散,不构成等时线。Sm-Nd 年龄同位素分析结果除样品 Q9482-4 略偏离其他样品外,其余10个样品形成一条好的等时线(图6)。与前述地球化学特征相应,不同于三岔变质火山岩样品结果,所有被分析的样品轻稀土都相对重稀土亏损或接近, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值 0.1848~0.2335,相应的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 均大于 0.512958。最高值 0.513236。等时年龄值为 $877 \pm 78(2\sigma)\text{Ma}$, $I_{\text{Nd}} = 0.51190 \pm 10(2\sigma)$, MSWD 为 0.93。

2.3 略阳庄科变质镁铁质火山岩年龄

样品采自岩块核部。岩石多呈厚层致密块状,片理化相对边缘较弱。对

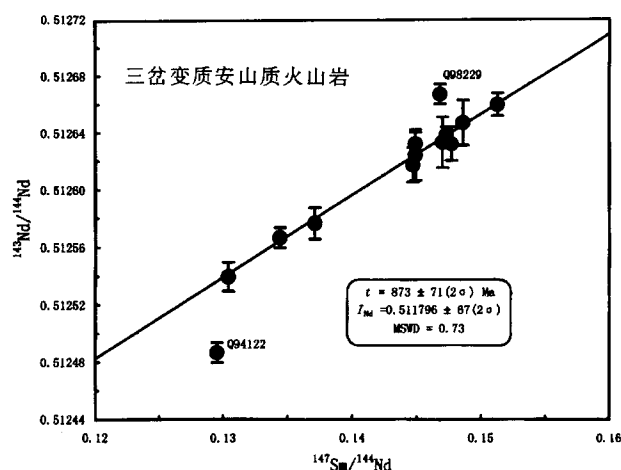


图5 略阳三岔变质镁铁质火山岩 Sm-Nd 等时年龄

Fig. 5 Sm-Nd isochron age of the metamorphic andesitic volcanic rocks in Pianqiaogou valley, Sancha area, Lueyang county

年龄用 Ludwig ISOPLOT(2000)软件计算, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 误差取 0.5%, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 误差见表2
The age was calculated by Ludwig ISOPLOT (2000), using error of 0.5% for $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ and error in table 2 for $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

表 3 勉县—略阳蛇绿构造混杂岩带中变质镁铁质—安山质火山岩 Rb-Sr 年龄同位素分析结果

Table 3 Rb-Sr isotopic analytical results of the metamorphic mafic-andesitic volcanic rocks in the Mianxian-Lueyang ophiolite tectonic melange belt

样品号	样品号	Rb ($\mu\text{g/g}$)	Sr ($\mu\text{g/g}$)	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	$\pm 2\sigma$
略阳三岔变质安山质火山岩	Q94112	42.606	137.21	0.89912	0.712516	± 0.000014
	Q94113	35.870	118.20	0.87872	0.713546	± 0.000013
	Q94115	23.522	249.97	0.27247	0.707471	± 0.000011
	Q94116	24.841	275.92	0.26068	0.707421	± 0.000014
	Q94117	46.655	453.49	0.29789	0.707632	± 0.000014
	Q94119	60.592	493.11	0.35579	0.706275	± 0.000010
	Q94120	29.721	239.18	0.35980	0.708015	± 0.000010
	Q94121	27.838	222.20	0.36277	0.708322	± 0.000011
	Q94122	56.331	298.62	0.54621	0.707951	± 0.000019
	Q94124	46.277	335.75	0.39909	0.708316	± 0.000016
	Q94125	30.783	479.26	0.18598	0.708614	± 0.000012
	Q98229	69.128	420.22	0.47633	0.713156	± 0.000013
	Q98230	47.748	204.74	0.67528	0.711428	± 0.000013
勉县安子山变质镁铁质火山岩	Q98232	19.152	107.40	0.51634	0.709332	± 0.000012
	Q9482-1	5.164	213.84	0.06992	0.70472	± 0.00002
	Q9482-2	4.856	243.30	0.05779	0.70663	± 0.00001
	Q9482-3	4.478	248.67	0.05214	0.70983	± 0.00001
	Q9482-4	9.099	265.41	0.09927	0.70585	± 0.00001
	Q9482-5	6.563	261.52	0.07266	0.70561	± 0.00001
	Q9482-6	9.366	241.91	0.1121	0.70595	± 0.00001
	Q9482-7	3.508	170.93	0.05942	0.70957	± 0.00001
	Q9482-9	35.637	1043.97	0.09885	0.70564	± 0.00001
	Q9482-10	38.369	677.62	0.1640	0.70533	± 0.00001
	Q9482-11	14.037	174.32	0.2332	0.70822	± 0.00001
	Q9482-12	5.941	211.08	0.08150	0.71032	± 0.00004
	Q9482-13	18.473	287.53	0.1860	0.71056	± 0.00001
略阳庄科变质镁铁质火山岩	Q94131	1.990	130.88	0.04403	0.708066	± 0.000033
	Q98236	7.012	123.12	0.1649	0.707978	± 0.000013
	Q98237	1.593	120.50	0.03829	0.708556	± 0.000012
	Q98239	3.916	116.52	0.09732	0.707103	± 0.000013
	Q98241	13.669	32.98	1.200	0.714564	± 0.000014
	Q98242	22.746	74.26	0.8869	0.713538	± 0.000012
	Q98243	5.195	115.64	0.1301	0.711358	± 0.000014
	Q98245	17.778	130.57	0.3942	0.710304	± 0.000013
	Q98246	64.935	83.30	2.257	0.717123	± 0.000012
	Q98247	3.710	99.93	0.1075	0.711063	± 0.000011

注:分析方法见张宗清等,2002b; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值质量分馏用 $^{86}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=8.37521$ 校正;标准物质 NBS SrCO_3 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71025 \pm 2(2\sigma)$,流程空白 Rb、Sr 为 $10^{-9} \sim 10^{-10}\text{g}$ 。

岩石样品进行了 Sm-Nd、Rb-Sr 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定。Sm-Nd 年龄同位素分析结果与岩石大离子不相容微量元素强烈亏损地球化学特征相应(图2,图3), $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值大于 0.2170, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值大于 0.513114, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值 0.2170 ~ 0.2485, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值 0.513114 ~ 0.513415(表2),分析结果分散,不形成等时线(图7)。 Rb-Sr 同位素分析

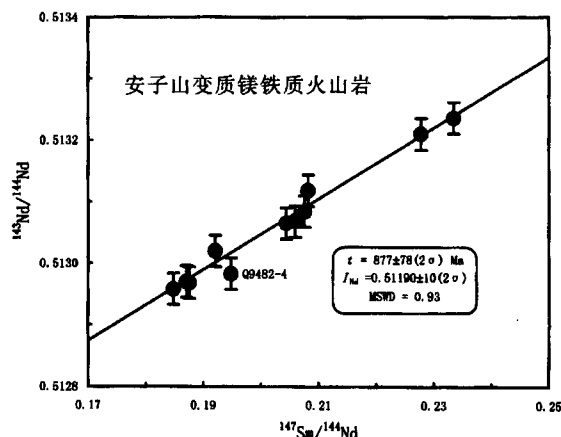


图 6 勉县安子山变质镁铁质火山岩 Sm-Nd 等时年龄

Fig. 6 Sm-Nd isochron age of the metamorphic mafic volcanic rocks in the Anzishan area,

Mianxian county

年龄用 Ludwig ISOPLOT (2000) 软件计算, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$

误差取 0.5%, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 误差取 0.005%

The age was calculated by Ludwig ISOPLOT (2000), using

error of 0.5% for $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ and

0.005% for $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

结果亦分散(表3),明显受到后期地质作用改造(图8)。受印支期地质作用影响样品 Rb 含量增高一个数量级, Sr 含量降低, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值增大,相应样品计算的等时年龄值为 $197 \pm 14(2\sigma)\text{Ma}$, $I_{\text{Sr}} = 0.71096 \pm 24(2\sigma)$, MSWD 1.3。变质镁铁质火山岩样品 600 ~ 1200°C 释放 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $283 \pm 22\text{Ma}$ (表4,图9)。

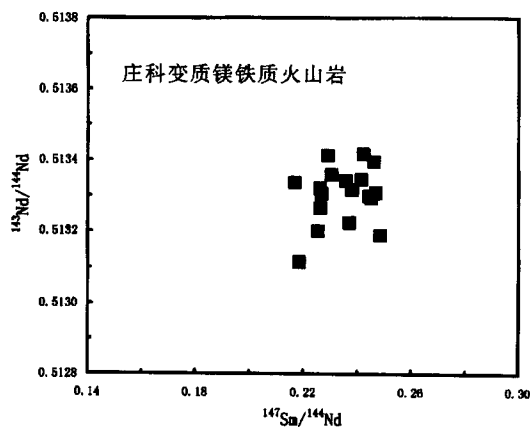


图 7 略阳庄科变质镁铁质火山岩

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 图

Fig. 7 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ plot for the metamorphic mafic volcanic rocks in the Zhuangke area, Lueyang county

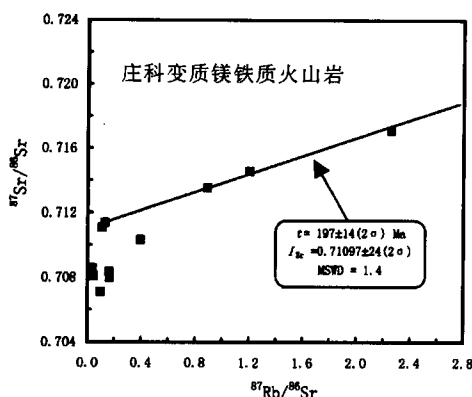


图 8 略阳庄科变质镁铁质火山岩 Rb-Sr 等时年龄
Fig. 8 Rb-Sr isochron age of the metamorphic mafic volcanic rocks in the Zhuangke area, Lueyang county

年龄用 Ludwig ISOPLOT (2000) 软件计算,
 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 误差取 0.5%, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 误差取 0.05%

The age was calculated by Ludwig ISOPLOT (2000), using
error of 0.5% for $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and 0.05% for $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$

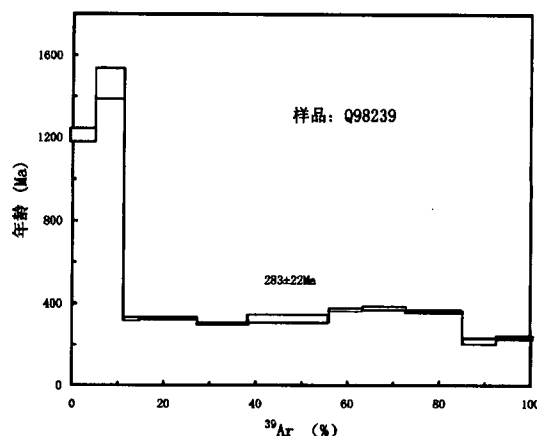


图 9 略阳庄科变质镁铁质火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄
Fig. 9 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum of the metamorphic mafic volcanic rock (Q98239) in the Zhuangke area, Lueyang county

3 讨论:勉略蛇绿混杂岩带的复杂性

由上述出露于勉略蛇绿构造混杂岩带中部的变质镁铁质—安山质火山岩的主、微量元素地球化学特征和相应样品年龄测定结果表明,勉略蛇绿构造混杂岩带是十分复杂的。产出于该带的变质镁铁质—安山质火山岩块有类似于岛弧火山岩性质的岩块,也有类似于大陆边缘岛弧拉张洋盆岩块。岩石的年龄十分复杂,除已报道的略阳黑沟峡具双模式特

征的变质火山岩的 Sm-Nd 等时年龄为 $242 \pm 21\text{Ma}$ 之外,也存在大量形成于晋宁期、具有蛇绿岩性质的变质镁铁质岩块和岛弧火山岩块。略阳三岔偏桥沟变质安山质岩块具有大陆边缘岛弧火山岩特征, Sm-Nd 等时年龄 $873 \pm 71(2\sigma)\text{Ma}$, $I_{\text{Nd}} = 0.511796 \pm 67(2\sigma)$, MSWD 0.73, 相应的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +5.6$ 。岩体中斜长花岗岩锆英石 U-Pb 年龄 $890 \pm 17\text{Ma}$ (李曙光等, 2003), 与 Sm-Nd 等时年龄在误差范围内一致。与笔者较早获得的该斜长花岗岩锆英石逐层蒸发法 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 $926 \pm 10\text{Ma}$ 也在误差范围内一致 (张宗清等, 1996)。勉县安子山变质镁铁质火山岩块

轻稀土相对重稀土亏损,高场强大离子不相容微量元素具大陆边缘岛弧拉张洋盆洋壳残片特征, Sm-Nd 等时年龄 $877 \pm 78(2\sigma)\text{Ma}$, $I_{\text{Nd}} = 0.51190 \pm 10(2\sigma)$, MSWD 0.93, 相应 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +7.7$ 。略阳庄科变质镁铁质火山岩块轻稀土相对重稀土强烈亏损,高场强大离子不相容微量元素近似 N-MORB, 与安子山变质镁铁质火山岩类似,形成于大陆边缘岛弧拉张洋盆环境。不同之处在于,庄科变质镁铁质火山岩高场强大离子不相容微量元素比安子山变质镁铁质火山岩亏损程度更大。庄科变质镁铁质火山岩块的形成年龄,我们未能由同位素资料直接得到,其 Sm-Nd 同位素由于后期强烈绿片岩化和碳酸盐化,分析结果分散,不构成等时线; Rb-Sr 同位素系统在形成后遭受过强烈改造,数据也十分分散,在印支期末 $197 \pm 14\text{Ma}$ 左右系统发生

表 4 略阳庄科变质镁铁质火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄测定结果

Table 4 Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating of the metamorphic mafic volcanic rock in the Zhuangke area, Lueyang county

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$\frac{^{37}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	F*	$\frac{^{39}\text{Ar}}{(\times 10^{-14} \text{ mol})}$	年龄 (Ma)
400	142.4163	0.2535	0.4269	67.5600	41.70	1205.9 ± 34.8
500	209.5729	0.4071	0.7493	89.3854	47.51	1469.7 ± 79.8
600	27.4534	0.0547	0.4312	11.3183	24.77	266.7 ± 8.0
700	27.6698	0.0546	0.3888	11.5739	91.57	272.3 ± 6.2
800	16.7507	0.0222	0.4303	10.2264	82.74	242.7 ± 3.2
900	14.7030	0.0130	0.4121	10.8999	129.58	257.6 ± 4.7
1000	19.6200	0.0207	0.3388	13.5105	52.54	314.1 ± 6.4
1100	19.3222	0.0182	0.3852	13.9771	69.31	324.1 ± 8.0
1200	18.8271	0.0197	0.9807	13.0909	92.56	305.2 ± 4.9
1300	9.9743	0.0126	1.6984	6.3754	53.45	155.1 ± 15.9
1400	10.2430	0.0108	1.2130	1.2130	59.87	172.9 ± 7.3

注: 样品号 Q98239, $J = 0.014079$ 。表中 F* 为放射成因 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 之比。

过部分再置,这时相应的 I_s 值为 0.71096 ± 24 ; 变质镁铁质火山岩-绿片岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $283 \pm 22\text{Ma}$ 。但是,它的抗蚀变能力强的高场强大离子不相容微量元素与安子山十分类似,图10表明了三岔、安子山、庄科变质镁铁质-安山质火山岩样品 La-Nb、Th-Ta、Nd-Sm、Zr-Hf 关系,可以看出,庄科变质镁铁质火山岩和安子山变质镁铁质火山岩样品具有十分密切地球化学亲缘关系。这表明,它们可能是由类似源区,大致相同时期形成的。构造带东具岛弧火山岩性质的孙家河-西乡变质镁铁质火山岩片也形成于新元古代大致同一时期(赖绍聪等,2000;张宗清等,2002a, 2002b)。

由上述元素地球化学和年龄结果可以说明,勉略蛇绿构造混杂岩带是十分复杂的,有印支期构造事件证据,也存在大量晋宁期强烈板块构造活动证据。

致谢:感谢任纪舜院士,章雨旭研究员对本文提出的宝贵意见。

参 考 文 献

- 冯庆来,杜远生,殷鸿福,盛吉虎,许继锋. 1996. 南秦岭勉略蛇绿岩混杂岩带中放射虫的发现及其意义. 中国科学(D), 26(增刊): 78~82.
- 赖绍聪,张国伟,杨永成,陈家义. 1997. 南秦岭勉县-略阳结合带变质火山岩岩石球化学特征. 岩石学报, 13(4): 563~573.
- 赖绍冲,张国伟,杨永成,陈家义. 1998. 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, 27(3): 283~293.
- 赖绍冲,张国伟,杨瑞英. 2000. 南秦岭巴山弧两河-饶峰-五里坝岛弧岩浆带的厘定及其大地构造意义. 中国科学, 30(增刊): 53~63.
- 李三忠,张国伟,李亚林,杨永成. 2000. 勉略地区勉略带内麻粒岩的发现及构造意义. 岩石学报, 16: 220~226.
- 李曙光,孙卫东,张国伟,陈家义,杨永成. 1996. 南秦岭勉略构造带黑沟峡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), 26(3): 223~230.
- 李曙光,侯振辉,杨永成,孙卫东,张国伟,李秋立. 2003. 南秦岭勉略构造带三岔子古岩浆弧的地球化学特征及形成时代. 中国科学(D), 33(12): 1163~1173.
- 孙卫东,李曙光,Chen Yadong, 李育敬. 2000. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地球化学, 29: 209~216.
- 张国伟,孟庆任,赖绍聪. 1995a. 秦岭造山带的结构构造. 中国科学, 25(9): 994~1003.
- 张国伟,张宗清,董云鹏. 1995b. 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, 11(2): 101~104.
- 张国伟,孟庆任,于在平,孙勇,周鼎武,郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及动力学特征. 中国科学(D), 26(3): 193~200.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1~855.
- 张宗清,唐索寒,王进辉,张国伟,陈家义,杨永成. 1996. 秦岭蛇绿

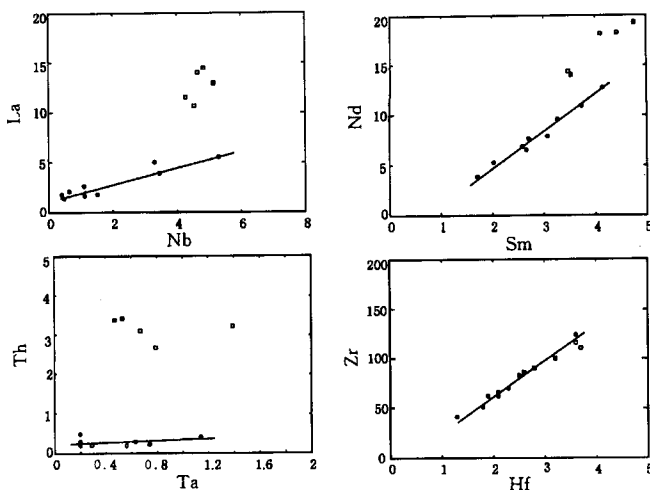


图 10 变质镁铁质-安山质火山岩 La-Nb、Th-Ta、Nd-Sm 和 Zr-Hf 图

Fig. 10 La-Nb, Th-Ta, Nd-Sm and Zr-Hf diagrams of the metamorphic mafic-andesitic volcanic rocks

○—勉县安子山变质镁铁质火山岩; ●—略阳庄科变质镁铁质火山岩; □—略阳三岔偏桥沟变质安山质火山岩

○—Metamorphic mafic volcanic rocks in the Anzishan area, Mianxian county; ●—metamorphic mafic volcanic rocks in the Zhuangke area, Lueyang county; □—Metamorphic andesitic volcanic rocks in the Pianqiaogou valley, Sancha area, Lueyang county

岩的年龄: 同位素年代学和古生物证据, 矛盾及其理解. 见: 张旗主编, 蛇绿岩与地球动力学. 北京: 地质出版社, 146~149.

张宗清, 张国伟, 唐索寒, 张巧大, 王进辉. 2000. 汉南侵入杂岩年龄及其快速冷凝固原因. 科学通报, 45: 2568~2671.

张宗清, 张国伟, 唐索寒, 许继锋, 杨永成, 王进辉. 2002a. 秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄. 科学通报, 47(22): 1751~1755.

张宗清, 张国伟, 唐索寒. 2002b. 南秦岭变质地层同位素年代学. 北京: 地质出版社, 89~123.

References

- Feng Q L, Du Y S, Yin H F, Sheng J H, Xu J F. 1996. Carboniferous radiolaria fauna firstly discovered in Mian-Lue ophiolitic melange belt of south Qinling Mountains. Science in China (Ser. D), 39(Supp.): 87~92.
- Lai S C, Zhang G W, Yang Y C, Chen J Y. 1998. Petrology and geochemistry features of the metamorphic volcanic rocks in Mianxian-Lueyang suture zone, south Qinling. Acta Petrologica Sinica, 13(4): 563~573 (in Chinese).
- Lai S C, Zhang G W, Yang Y C, Chen J Y. 1998. Geochemistry of the ophiolite and island arc volcanic rock in the Mianxian-Lueyang suture zone, southern Qinling and their tectonic significance. Geochemistry, 1998, 27(3): 283~293 (in Chinese).
- Lai S C, Zhang G W, Yang R Y. 2000. Identification of the island-arc magmatism zone in the Lianghe-Raofeng-Wuliba area, south Qinling and its tectonic significance. Science in China (ser. D), 2000, 43(supp.): 69~81.
- Li S G, Hou Z H, Yang Y C, Sun W D, Zhang G W, Li Q L. 2003. Geochemical features and forming age of the Sanchazi palaeomagma-arc in the Mian-Lue tectonic zone, south Qinling.

- Science in China (Ser. D), 33(12):1163~1173(in Chinese).
- Li S G, Sun W D, Zhang G W, Chen J Y, Yang Y C. 1996. Chronology and geochemistry of metavolcanic rocks from Heigouxia valley in the Mian—Lue tectonic zone, south Qinling—evidence for a Paleozoic oceanic basin and its close time. Science in China (Ser. D), 39(3): 300~310.
- Li S Z, Zhang G W, Li Y L, Yang Y C. 2000. Discovery of granulite in the Mianxian—Lueyang suture zone, Mianxian area and its tectonic significance. Acta Petrologica Sinica, 16(2): 220~226 (in Chinese).
- Sun W D, Li S G, Chang Y D, Li Y J. 2000. Zircon U-Pb dating of granitoids from south Qinling, Central China and their geological significance. Geochemistry, 29(3): 209~216 (in Chinese).
- Zhang G W, Meng Q R, Lai S C. 1995a. Tectonics and structure of Qinling orogenic belt. Science in China (Ser. B), 25(9): 994~1003(in Chinese).
- Zhang G W, Zhang Z Q, Dong Y P. 1995b. Nature of main tectono—lithostratigraphic units of the Qinling Orogen; implications for the tectonic evolution. Acta Petrologica Sinica, 11(2):101~104(in Chinese).
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W, Guo A L. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. Science in China. (Ser. D), 39(3): 225~234.
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C, Xiao Q H. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 117~722 (in Chinese).
- Zhang Z Q, Tang S H, Wang J H, Zhang G W, Chen J Y, Yang Y C. 1996. Age of ophiolites in the Qinling Mountains; isotopic and fossil evidences, their contradiction and explanation. In: Zhang Qi, ed. Study on ophiolites and geodynamics. Beijing: Geological Publishing House, 146~149(in Chinese).
- Zhang Z Q, Zhang G W, Tang S H, Zhang Q D, Wang J H. 2001. Geochronology of the Hannan intrusive complex to adjoin the Qinling orogen and its rapid cooling reason. Chinese Science Bulletin, 46:685~689.
- Zhang Z Q, Zhang G W, Tang S H, Yang Y C, Wang J H. 2002a. Age of the Anzishan granulites in the Mianxian—Lueyang suture zone of the Qinling orogen; with a discussion of the timing of final assembly of the Yangtze and North China craton blocks. Chinese Science Bulletin. 47(22):1925~1930.
- Zhang Z Q, Zhang G W, Tang S H. 2002b. Isotopic geochronology of metamorphic strata in the south Qinling Mountains. Beijing: Geological Publishing House, 89~123 (in Chinese).

Ages of Metamorphic Mafic—Andesitic Volcanic Rock Blocks and Tectonic Evolution Complexity of Mianxian—Lueyang Ophiolitic Mélange Belt

ZHANG Zongqing¹⁾, TANG Suohan¹⁾, ZHANG Guowei²⁾, YANG Yongcheng³⁾, WANG Jinhui¹⁾

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

2) Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069

3) Shaanxi Institute of Regional Geology and Mineral Resources, Xianyang, Shaanxi, 712000

Abstract

The Mianxian—Lueyang ophiolitic mélange belt along Lueyang county—Mianxian county—Gaochuan, Zhenba county, Shaanxi Province, has been recently found and defined in the Qinling orogen. It is deemed to be a major suture zone resulting from collision and final amalgamation of the Sino-Korean (North China) and Yangtze craton blocks, two major tectonic units of eastern Asia, in the Indosinian. However, the new obtained isotopic geochronological data of the metamorphic mafic—andesitic volcanic rock blocks of mid-ocean ridge and island-arc ophiolite or island-arc volcanic rock characteristics in the zone indicate that the tectonic suture zone is very complex. Besides the reported ages of Indosinian, it contains large quantities of metamorphic mafic—andesitic rock blocks formed in the Jinlian period (Neoproterozoic). The metamorphic andesitic volcanic rocks in the Pianqiaogou valley, Sancha area, Lueyang county have island-arc volcanic rock features and its Sm-Nd isochron age is $873 \pm 71(2\sigma)$ Ma, corresponding to $I_{Nd} = 0.511796 \pm 67(2\sigma)$, MSWD 0.73. The zircon U-Pb age of the plagiogranites in the rock block is 890 ± 17 Ma. The metamorphic mafic volcanic rocks in the Anzishan area, Mianxian county and the Zhuanke area, Lueyang county are characterized by mid-ocean ridge and island-arc ophiolites and the former give a Sm-Nd isochron age of $t = 877 \pm 78(2\sigma)$ Ma, with $I_{Nd} = 0.51190 \pm 10(2\sigma)$, MSWD 0.93. Although the Sm-Nd isotopic data of the latter are scattered, its high field large ion lithophile incompatible trace elements are related close to the ones in the Anzishan area. They are formed from an analogous source in the roughly same period. The data display the Mianxian—Lueyang ophiolite tectonic mélange belt is complex, that is a multiple superimposed tectonic active belt possibly.

Key words: isotopic geochronology; Mianxian—Lueyang ophiolitic mélange belt; Qinling orogen