南秦岭康县-琵琶寺-南坪构造混杂带蛇绿岩与洋岛火山岩地球化学及其大地构造意义*

赖绍聪** 张国伟 裴先治 杨海峰
(西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系, 西安 710069)

摘要 研究结果表明, 康县-琵琶寺-南坪构造带是一个复杂的、包括不同成因岩块的混杂带. 该带中分布有蛇绿岩块(古洋壳残片)、洋岛拉斑玄武岩块和洋岛碱性玄武岩类. 该混杂带不仅在构造形迹上与勉县-略阳蛇绿构造混杂带直接联通, 而且在形变特征、混杂带的物质组构以及蛇绿岩性质上与勉县-略阳蛇绿岩以及德尔尼蛇绿岩完全可以类比. 因此, 康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带乃是勉略带向西延伸的组成部分.

关键词 蛇绿岩与火山岩 地球化学 大地构造 康县-琵琶寺-南坪 勉略缝合带

秦岭造山带勉略缝合带的发现和初步厘定[1~8], 是近年来秦岭造山带研究中的一项重大进展, 它使得对秦岭造山带的认识由过去简单的华北与扬子两大陆块碰撞构造体制转变为华北、秦岭微板块和扬子三个陆块碰撞的构造体制[1]. 这对于重塑秦岭造山带的形成及演化历史、建立秦岭造山带全新的三维动力学模型及构造演化模式具有重要的意义. 该缝合带在勉县-略阳-巴山弧地区出露较好, 以蛇绿岩和岛弧火山岩为其典型标志[1~8]. 然而, 关于勉略结合带东、西的延伸, 目前存在较大争议, 并成为国家自然科学基金委“九五”秦岭重点项目的关键研究内容之一. 因此, 追索并查明该缝合带东、西延伸部分的细节, 重点解剖东、西延伸部分可能属于该缝合带残余的火山岩、蛇绿岩区段, 对于确立和约束该缝合带的性质具有十分突出的意义. 事实上, 勉县-略阳蛇绿混杂带自略阳向西的延伸情况, 目前尚无岩石地球化学方面的确切证据, 已有的研究工作仅达到略阳三岔子地区. 该结合带是否继续向西延伸并最终与德尔尼蛇绿岩带[9]相连, 仍是目前学术界有争议的问题. 本文对康县-琵琶寺-南坪构造混杂带蛇绿岩与洋岛火山岩的厘定, 为勉略结合带确已西延至南坪塔藏地区并最终与德尔尼蛇绿带相连提供了重要的岩石地球化学证据.

1 区域地质概况

康县-琵琶寺-南坪构造混杂带位于南秦岭褶皱带、扬子板块北缘西段以及松潘-甘孜褶皱带的结合部位, 向东与勉县-略阳蛇绿岩带相连(图 1). 带内以缺失奥陶系~志留系地层而发育泥盆系~二叠系为独特特征, 与其南北两侧缺失泥盆系~石炭系地层形成鲜明对比. 同时, 带内出露的泥盆系~石炭系以及震旦系和火山岩基本被围限在北部塔藏-略阳断层(勉略缝合带北部边界断裂)和南部文县-勉县断层(勉略缝合带南部边界断裂)之间, 与东部勉略构造带的基本

2002-04-12 收稿
* 国家自然科学基金(批准号: 49732080)和教育部骨干教师计划资助项目
** E-mail: shaocong@pub.xaonline.com

组成和变形特征完全一致(图 1). 构造带内主要由剪切变形的震旦系和泥盆~石炭系逆冲推覆岩片组成, 形成自北向南的叠瓦逆冲推覆构造. 其中震旦系主要为含砾泥质岩、泥质碎屑岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩和镁质碳酸盐岩组成; 泥盆系为深水浊积岩、泥质碳酸盐岩和泥质岩; 石炭系为碳酸盐岩. 康县-琵琶寺-南坪构造混杂带内变质火山岩主要以构造岩片的形式卷入该构造带. 火山岩岩片主要出露在康县旧城、碾坝、刘坝、豆坝、琵琶寺、南坪隆康和塔藏几个地区(图 1).

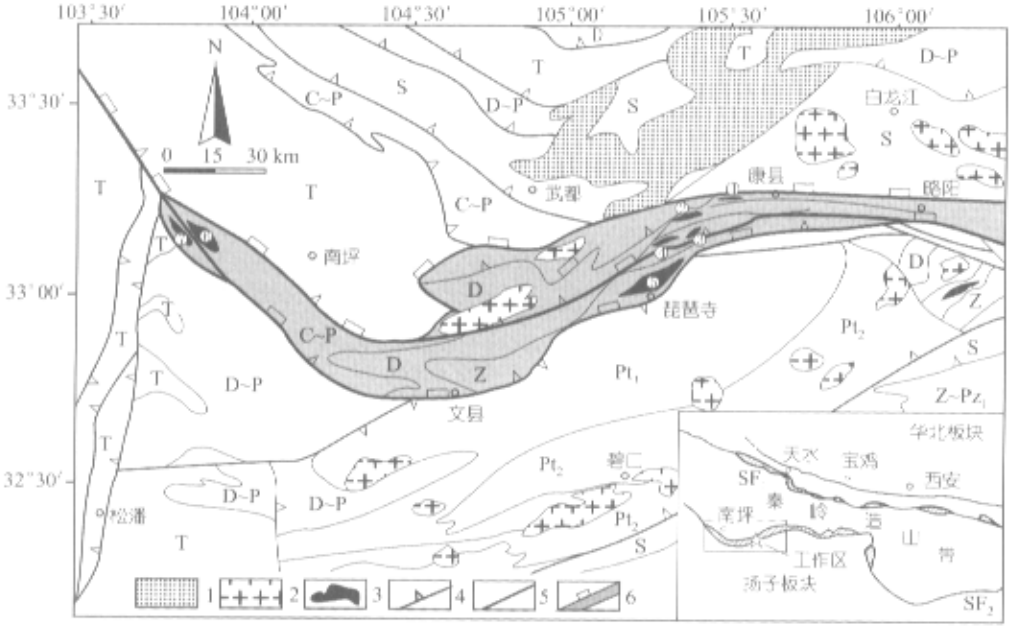


图 1　勉略缝合带康县-琵琶寺-南坪段地质简图(据裴先治 [1])

1. 中新生代沉积盆地; 2. 花岗岩; 3. 火山岩构造岩片; 4. 逆冲断层; 5. 缝合带主边界逆冲断层; 6. 缝合带范围. ①康县火山岩岩片; ②碾坝火山岩岩片; ③刘坝火山岩岩片; ④豆坝火山岩岩片; ⑤琵琶寺火山岩岩片; ⑥隆康火山岩岩片; ⑦塔藏火山岩岩片

2　火山岩岩石学及岩石化学特征

康县-琵琶寺-南坪蛇绿混杂带内火山岩属于浅变质火山岩系(绿片岩相), 其化学成分分析结果列于表 1 中. 岩石为暗绿-黑绿色, 块状构造, 部分样品发育片理构造. 变余斑状结构中斑晶为辉石和斜长石, 辉石斑晶大多已绿泥石化. 基质为微-细粒变晶结构, 主要组成矿物有绿泥石、绿帘石和钠长石小颗粒. 部分样品镜下显示出强烈的剪切片理化现象, 矿物破碎且具明显的定向排列, 有时可见部分斑晶颗粒显示不对称旋转碎斑系特征.

本区玄武岩类 SiO_2 含量变化较大, 介于 42.97%~52.33%之间, 除隆康岩区的两个样品 SiO_2 较低(＜45%)外, 其余样品均处在玄武岩的范围内, 平均为 47.81%. 岩石 Fe_2O_3 和 FeO 含量高, MgO 含量低, 平均分别为 5.56%, 7.74%和 5.94%, 且绝大多数样品 $FeO＞Fe_2O_3$. 值得注

1) 裴先治. 勉略-阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征. 西北大学博士论文, 2001

表 1 康县-琵琶寺-南坪蛇绿混杂带火山岩化学成分(%)及微量元素(μg/g)分析结果 a)

样品号	PBS-01	PBS-06	PBS-13	PBS-30	PBS-35	PBS-12	PBS-17	PBS-18	PBS-20	PBS-29	NB-10	NB-11
SiO_2	49.64	49.06	48.63	50.94	49.25	48.36	52.33	50.88	50.67	47.65	47.05	48.00
TiO_2	1.52	1.65	1.10	1.37	1.38	1.66	1.85	1.75	1.90	1.85	2.17	1.80
Al_2O_3	14.22	12.18	16.06	15.23	16.25	17.52	14.47	14.48	15.04	14.98	15.16	16.79
Fe_2O_3	7.33	6.00	4.60	4.35	4.62	5.00	5.10	5.70	5.05	9.15	5.47	5.50
FeO	6.37	8.20	5.20	7.05	7.18	7.20	7.30	7.60	7.65	5.95	10.23	9.20
MnO	0.20	0.21	0.24	0.18	0.20	0.14	0.15	0.15	0.17	0.20	0.23	0.23
MgO	5.60	5.40	4.90	6.20	6.90	4.60	3.50	4.80	4.10	4.00	6.20	7.00
CaO	7.30	10.00	9.50	8.40	8.80	6.00	6.10	5.60	7.00	7.70	9.20	6.10
Na_2O	4.56	3.83	3.84	1.07	2.76	4.18	4.89	3.65	4.21	2.08	2.05	2.83
K_2O	0.07	0.07	0.13	1.02	0.21	0.46	0.39	1.11	0.09	2.13	0.43	0.51
P_2O_5	0.23	0.20	0.07	0.10	0.11	0.30	0.30	0.43	0.37	0.67	0.20	0.27
CO_2												
烧失量	2.55	2.66	5.50	3.68	2.21	4.00	3.53	3.52	3.40	3.50	1.50	1.40
总计	99.59	99.46	99.77	99.59	99.87	99.42	99.91	99.67	99.65	99.86	99.89	99.63
Li	19.69	12.245	32.936	39.433	28.566	25.152	18.042	36.172	29.592	31.136	14.732	24.133
Sc	51.537	55.013	42.14	47.421	54.418	23.931	32.591	29.077	46.733	45.281	50.216	26.322
V	361.64	439.20	203.07	262.07	354.19	196.97	209.61	256.90	275.78	380.10	564.45	315.77
Cr	85.04	89.139	227.73	154.55	169.05	170.13	103.22	177.04	98.132	136.14	14.732	139.5
Co	43.466	47.197	44.472	50.542	58.992	54.604	52.606	56.002	51.74	63.244	59.591	60.958
Ni	49.461	50.875	107.50	69.928	90.447	144.58	89.168	149.84	49.075	182.47	56.497	67.006
Cu	270.88	261.70	162.41	178.86	205.61	126.15	130.05	1245.3	153.97	2982.2	275.23	79.842
Zn	294.80	631.50	90.60	118.13	121.92	127.49	126.52	560.61	143.54	3818.8	142.77	148.00
Ga	14.44	20.965	16.2	19.451	19.272	17.482	19.873	21.419	18.194	22.917	24.378	23.313
Ge	1.428	1.893	1.104	2.463	2.463	1.069	1.384	1.303	1.091	2.148	1.936	1.227
As	20.659	17.268	14.37	15.064	17.038	14.948	12.236	211.54	14.841	461.65	12.123	11.155
Rb	0.583	0.616	2.103	28.132	4.489	8.024	9.912	29.173	1.602	55.696	10.396	6.586
Sr	154.50	259.26	127.57	771.35	130.14	93.621	121.60	103.64	84.196	144.46	506.25	382.19
Y	43.94	47.607	23.206	31.352	34.931	19.818	26.117	29.082	38.347	38.775	27.547	24.067
Zr	111.69	132.72	50.275	78.89	96.55	123.54	163.34	203.16	153.22	187.02	128.58	116.24
Nb	2.487	2.612	1.587	3.092	2.223	13.416	16.071	18.617	7.616	25.213	16.984	15.954
Mo	16.29	7.681	5.224	3.838	6.323	7.236	12.187	148.14	5.842	121.05	2.056	14.041
Cd	0.675	1.78	0.263	0.096	0.292	0.133	0.256	2.153	0.247	7.285	0.199	0.077
In	0.22	0.298	0.121	0.181	0.217	0.153	0.11	1.549	0.179	2.768	0.096	0.106
Sn	5.605	3.736	2.23	2.713	2.469	2.275	2.818	16.413	2.472	45.187	2.631	0.9
Sb	7.834	5.279	3.588	4.561	5.658	4.16	5.266	195.87	3.719	416.95	1.473	1.691
Cs	0.241	0.112	0.31	2.019	0.421	0.692	0.486	1.128	0.138	3.42	2.656	0.264
Ba	175.87	57.327	55.209	450.94	81.305	147.90	124.23	269.82	263.17	743.96	84.648	136.25
La	4.237	4.354	3.338	3.887	3.872	14.564	17.215	17.46	9.49	20.732	12.469	11.945
Ce	13.716	14.149	8.076	11.014	12.628	32.839	39.395	41.173	26.098	48.202	29.901	28.134
Pr	2.361	2.466	1.273	1.822	2.296	4.258	5.069	5.597	3.92	6.445	4.215	3.816
Nd	12.737	14.109	6.968	10.321	13.253	18.647	23.535	25.018	20.38	29.867	19.107	17.444
Sm	4.901	5.287	2.351	4.002	4.37	4.322	5.993	5.87	6.465	7.7	5.064	4.758
Eu	1.468	1.714	1.042	1.299	1.564	1.426	1.701	1.869	1.911	2.449	1.453	1.53
Gd	6.498	6.395	3.151	4.646	5.657	4.635	5.725	5.932	6.989	7.998	5.505	4.858
Tb	1.156	1.233	0.584	0.847	1.004	0.704	0.836	0.909	1.147	1.173	0.939	0.763
Dy	8.194	8.28	4.003	5.68	6.634	4.129	5.451	5.662	7.785	7.598	5.341	4.786
Ho	1.646	1.62	0.798	1.196	1.273	0.721	0.894	1.029	1.37	1.418	0.892	0.843
Er	4.759	5.21	2.595	3.462	3.808	2.029	2.716	2.962	4.027	4.157	2.779	2.3
Tm	0.659	0.648	0.355	0.424	0.495	0.251	0.34	0.378	0.54	0.463	0.377	0.292
Yb	4.666	4.805	2.466	3.4	3.619	1.828	2.399	2.676	3.681	3.49	2.267	2.04
Lu	0.689	0.646	0.369	0.476	0.495	0.263	0.336	0.37	0.583	0.511	0.357	0.317
Hf	4.095	3.686	1.579	2.589	3.182	2.988	4.673	5.331	4.259	5.652	3.475	3.356
Ta	0.18	0.175	0.125	0.219	0.135	0.771	0.853	1.101	0.428	6.433	0.899	0.806
W	1.661	1.261	0.682	0.573	0.587	1.409	1.236	2.627	1.034	20.436	0.36	0.689
Pb	179.26	200.00	71.183	100.03	243.46	99.148	74.276	1320.6	70.295	5420.6	25.554	34.618
Th	0.202	0.163	0.13	0.217	0.165	1.073	1.24	1.528	0.586	2.128	1.07	1.028
U	0.135	0.08	0.075	0.089	0.076	0.218	0.3	0.333	0.158	1.696	0.318	0.291

续表 1

样品号	LB-05	LB-06	DB-08	DB-15	KX-01	KX-02	KX-03	LK-06	LK-07	LK-10	TZ01	TZ02
SiO_2	47.03	46.05	45.04	48.01	47.37	45.99	48.05	46.19	42.79	42.94	43.19	42.01
TiO_2	1.75	1.47	2.00	1.15	1.95	2.45	2.32	2.60	2.45	2.60	2.6	3
Al_2O_3	17.26	19.08	18.28	18.09	13.71	13.20	14.47	17.55	18.79	18.31	12.28	10.62
Fe_2O_3	5.80	5.05	6.00	6.00	5.04	5.43	5.40	5.80	4.88	5.00	4.36	5.71
FeO	7.00	7.15	9.60	6.10	8.56	8.67	7.10	8.10	9.42	9.50	7.74	7.29
MnO	0.19	0.19	0.36	0.21	0.18	0.18	0.16	0.16	0.13	0.17	0.16	0.17
MgO	5.40	5.60	8.20	3.60	8.40	8.60	7.20	6.30	6.70	7.40	7.6	8.2
CaO	10.10	10.00	3.30	10.10	8.30	9.00	10.20	4.80	4.20	4.30	11.6	9.7
Na_2O	3.10	2.67	2.96	2.51	2.61	2.40	2.07	2.34	3.34	2.58	1.39	1.09
K_2O	0.27	0.27	0.13	0.24	0.27	0.34	0.42	3.05	1.21	2.04	1.68	2.11
P_2O_5	0.18	0.20	0.27	0.30	0.55	0.43	0.57	0.97	1.03	1.04	0.5	0.46
CO_2											2.38	2.1
烧失量	1.65	2.00	3.70	3.40	2.86	2.59	1.69	1.80	4.70	4.10	3.89	3.82
总计	99.73	99.73	99.84	99.71	99.80	99.28	99.65	99.66	99.64	99.98	99.37	96.28
Li	20.498	24.726	83.704	43.7	30.285	33.51	21.778	43.76	58.381	53.571	10.538	14.913
Sc	38.661	41.505	19.231	47.642	32.935	30.459	34.033	15.689	15.965	15.656	34.844	34.692
V	300.48	294.40	232.08	233.24	306.79	303.26	325.62	242.83	243.31	211.34	327.76	328.64
Cr	272.84	291.9	128.08	267.23	381.04	370.91	437.90	28.261	27.61	22.129	566.86	582.03
Co	47.345	52.239	56.566	52.007	56.209	57.498	48.993	33.492	42.479	44.472	70.417	74.1
Ni	74.542	85.177	79.163	88.066	206.34	199.48	152.70	26.388	32.747	28.917	223.74	220.93
Cu	97.182	136.8	135.26	133.10	216.78	282.88	186.63	79.38	80.839	618.53	141.43	143.24
Zn	103.05	116.62	167.34	107.52	162.45	173.45	129.59	192.62	192.77	221.90	111.48	121.16
Ga	19.751	18.973	20.758	19.924	22.585	21.152	22.498	32.191	33.771	31.347	19.667	21.496
Ge	1.813	1.594	1.896	2.384	2.003	1.362	2.161	1.758	2.404	1.784	1.624	1.629
As	13.431	11.764	11.372	14.886	14.16	11.253	16.245	12.401	15.609	14.956		
Rb	6.132	6.347	2.631	5.54	4.737	6.322	8.236	54.604	27.007	30.75	31.682	35.693
Sr	238.85	207.95	119.66	319.68	404.60	442.32	936.45	401.63	445.87	409.67	259.41	277.87
Y	30.379	31.502	26.924	29.381	31.837	31.884	30.335	42.966	45.321	43.823	26.671	27.03
Zr	130.39	129.69	165.36	125.44	253.37	255.51	256.78	601.19	613.42	564.12	231.91	238.76
Nb	10.323	11.171	11.884	8.098	42.611	42.449	36.495	134.40	135.18	129.46	38.021	39.492
Mo	5.229	11.826	273.40	15.294	5	5.289	2.907	5.229	2.112	5.074	0.556	0.553
Cd	0.156	0.16	0.293	0.243	0.218	0.337	0.262	0.169	0.149	0.233	0.127	0.107
In	0.113	0.106	0.083	0.137	0.209	0.161	0.117	0.148	0.155	0.67	0.072	0.069
Sn	2.321	3.477	3.812	3.18	6.134	3.649	4.222	4.038	4.58	7.678	2.493	2.583
Sb	3.144	1.468	2.03	2.824	3.739	3.644	5.381	3.121	6.055	2.662	0.185	0.204
Cs	0.272	0.32	0.187	0.315	0.18	0.26	0.625	3.818	1.721	2.685	0.168	0.183
Ba	100.34	119.4	62.528	99.864	129.90	160.90	268.86	2691.9	1100.8	2172.7	169.38	184.16
La	9.623	10.21	8.552	11.886	34.17	32.184	29.522	77.604	95.602	89.696	29.924	33.359
Ce	29.44	25.207	24.209	29.372	76.521	74.198	67.97	160.59	183.44	182.92	69.114	73.609
Pr	3.298	3.682	3.396	3.895	10.055	9.421	9.042	18.636	21.012	20.878	8.493	8.909
Nd	16.699	17.813	16.219	18.912	43.465	42.194	42.527	72.659	84.188	82.194	38.29	38.764
Sm	4.97	5.202	5.177	5.179	9.578	9.68	9.498	14.676	16.277	16.225	8.481	9.149
Eu	1.594	1.721	1.489	2.058	2.567	2.626	2.931	4.503	4.613	4.722	2.524	2.743
Gd	5.102	6.055	5.606	5.27	8.706	8.798	8.925	11.359	13.042	13.096	7.816	8.18
Tb	0.9	0.959	0.994	0.918	1.256	1.13	1.148	1.695	1.781	1.717	1.157	1.185
Dy	5.634	6.074	5.959	5.62	6.904	6.706	6.484	8.914	9.864	9.55	6.04	6.563
Ho	1.07	1.15	1.023	1.007	1.084	1.11	1.111	1.54	1.545	1.465	1.082	1.096
Er	3.033	3.105	2.739	2.833	2.626	2.836	2.874	3.96	3.96	4.147	2.651	2.808
Tm	0.397	0.415	0.418	0.346	0.331	0.343	0.357	0.483	0.507	0.461	0.343	0.397
Yb	2.56	2.768	2.717	2.456	2.165	2.167	2.316	3.141	3.495	3.249	2.158	2.194
Lu	0.388	0.404	0.367	0.352	0.308	0.305	0.312	0.44	0.446	0.489	0.29	0.298
Hf	3.441	4.102	5.197	3.827	6.629	6.899	6.977	14.856	15.169	14.428	7.111	7.559
Ta	0.652	0.62	0.645	0.464	2.256	2.361	1.92	7.6	7.708	7.265	2.687	2.732
W	1.551	0.466	1.454	1.172	0.527	0.924	0.592	0.918	2.011	1.104	50.461	44.425
Pb	64.365	32.859	37.671	75.392	105.51	146.64	54.812	80.778	45.518	220.86	1.654	1.911
Th	0.752	0.931	0.883	0.843	2.821	2.735	2.309	12.272	12.6	12.118	3.914	3.936
U	0.209	0.205	0.185	0.17	0.777	0.725	0.616	2.009	3.05	3.137	1.011	1.047

a) 该分析由中国科学院贵阳地球化学研究所完成. 其中 SiO_2~CO_2 采用湿法分析; Li~U 采用 ICP-MS 法分析

意的是，本区玄武岩 TiO_2 含量介于 1.10%~2.60%之间. 就 TiO_2 含量而言，本区玄武岩类明显高于活动大陆边缘及岛弧区火山岩(0.83%，0.58%~0.85%)的 TiO_2 含量，而处在洋脊拉斑玄武岩(1.5%)和洋岛拉斑玄武岩(2.5%)[10]的 TiO_2 含量范围之内.

根据 SiO_2-Nb/Y 图解(图 2(a))可以看出，本区火山岩可分为碱性和亚碱性两个系列. 岩石类型(图 2(b))主要为亚碱性玄武岩、碱性玄武岩和粗面玄武岩类.

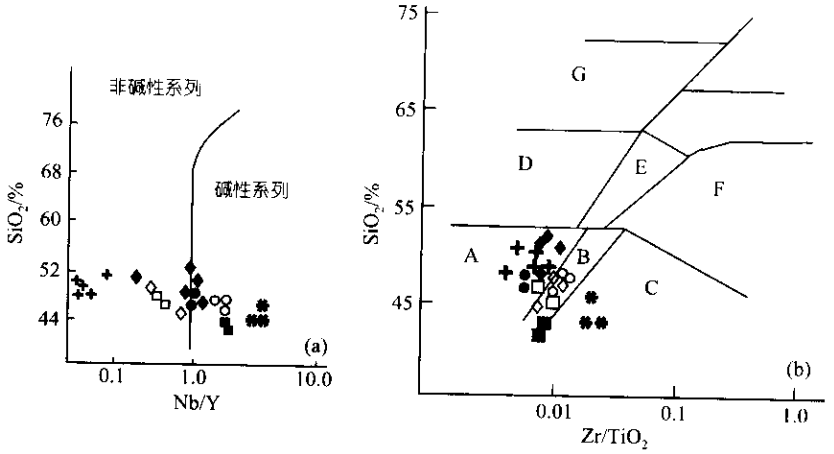


图 2 火山岩 SiO_2-Nb/Y(a)和 SiO_2-Zr/TiO_2 图解(b)(据文献[11])

A，亚碱性玄武岩类; B，碱性玄武岩类; C，粗面玄武岩类; D，安山岩类; E，粗面安山岩类; F，响岩类; G，英安流纹岩、英安岩类. +，琵琶寺洋脊型火山岩; ◆，琵琶寺洋岛型火山岩; ●，碾坝火山岩; □，刘坝火山岩; ◇，豆坝火山岩; ○，康县火山岩; ∗，隆康火山岩; ■，塔藏火山岩

3 火山岩稀土元素地球化学

分析结果表明(表 1)，康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带内火山岩稀土元素特征有明显差异，可区分为性质完全不同的两组：一组为轻稀土亏损的洋脊型(MORB)玄武岩，另一组为轻稀土富集的洋岛型玄武岩(图 3).

3.1 洋脊型(MORB)玄武岩类

区内洋脊型玄武岩分布局限，仅见于琵琶寺区段内，岩石为深黑色绿泥石片岩，呈宽约 200~400 m，长约 500~700 m 的两条火山岩岩片夹持在构造混杂带内，与洋岛型玄武岩呈明显的构造接触关系，接触带为强烈的片理化构造带.

本区洋脊型火山岩稀土总量较低，一般在 37~70 μg/g 之间，$(La/Yb)_N$ 介于 0.65~0.97 之间，平均为 0.77. 在球粒陨石标准化配分图上(图 3(a))，显示为轻稀土亏损型分布模式，具 N 型 MORB 稀土元素地球化学特征，表明它们来自亏损的软流圈地幔.

3.2 洋岛型玄武岩类

康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带内洋岛火山岩分布广泛，分别出露在康县旧城、碾坝、刘坝、豆坝、琵琶寺、南坪县隆康和塔藏等区段，均以构造岩片的形式卷入混杂带内. 岩石类型可区分为洋岛拉斑玄武岩(碾坝岩片、豆坝岩片、刘坝岩片及琵琶寺岩片)和洋岛碱性玄武岩(康县岩片、隆康岩片和塔藏岩片)两类.

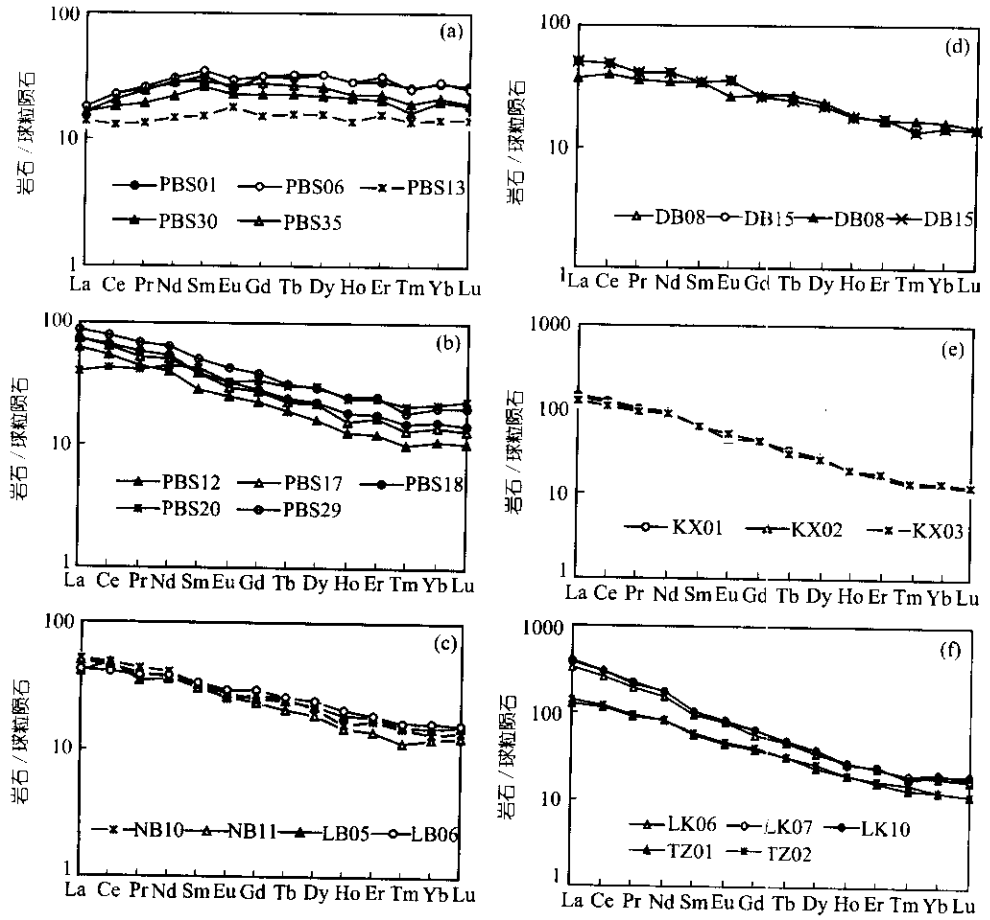


图 3　稀土元素球粒陨石标准化配分型式

(a) 琵琶寺洋脊型火山岩; (b) 琵琶寺洋岛型火山岩; (c) 碾坝、刘坝火山岩; (d) 豆坝火山岩; (e) 康县火山岩; (f) 隆康、塔藏火山岩. 球粒陨石标准值据文献[12], 图中编号对应于表 1 中的样品号

区内洋岛拉斑玄武岩类稀土总量相对较低, 大多在 80~140 μg/g 之间, 平均为 97.15 μg/g, $(La/Yb)_N$ 介于 1.85~5.71 之间, 平均 3.72. 说明岩石属轻稀土弱-中等富集型, 基本无铕异常(图 3(b)~(d)).

区内洋岛碱性玄武岩稀土元素特征与洋岛拉斑玄武岩类有明显区别, 其稀土总量明显偏高, 变化在 185~~440 μg/g 之间, 平均为 304.87 μg/g, $(La/Yb)_N$ 介于 9.14~19.80 之间, 平均 14.71; *d*Eu 在 0.84~1.03 之间变化,平均 0.93, 未显示铕的异常. 稀土元素球粒陨石标准化配分型式图中(图 3(e), (f)), 本区洋岛碱性玄武岩类显示为右倾负斜率轻稀土强烈富集型.

上述分析表明, 康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带内, 洋岛拉斑和洋岛碱性火山岩的稀土元素特征具有明显的演化规律. 由洋岛拉斑玄武岩向洋岛碱性玄武岩, 稀土总量呈逐渐增高的趋势, $(La/Yb)_N$ 逐渐增高, 轻重稀土分异程度、轻稀土富集度逐渐增高, 符合大洋板内洋岛型火山作用岩浆演化的正常趋势.

4　火山岩微量元素地球化学特征及形成构造环境的判别

4.1　洋脊型火山岩

微量元素的原始地幔标准化配分图解(图 4(a))显示，本区洋脊型拉斑玄武岩不相容元素具有以下特点：曲线总体显示为左倾正斜率亏损型分布型式，除 Ba 和 K 等活动性较强的大离子亲石元素变化较大外，其他元素自左向右随元素不相容性的降低，富集度逐渐增高，Zr, Sm, Tb 和 Y 等不相容性较弱的元素相对于 La, Ce 和 Nb 等不相容性稍强的元素略呈富集状态. 曲线中无 Nb 和 Ta 的亏损现象，这与岛弧火山岩显著不同. 有微弱的 Ti 谷，说明岩浆体系中存在较弱的钛铁氧化物分离结晶现象. 该组玄武岩 Ti/V 为 22.5~32.5(平均 26.98); Th/Ta 为 0.93~1.22(平均 1.06); Th/Y 为 0.003~0.007(平均 0.005); Ta/Yb 十分稳定，在 0.04~0.06 之间，平均为 0.05. 它们与来自亏损的软流圈地幔的 MORB 型玄武岩具有完全一致的微量元素地球化学特征[13].

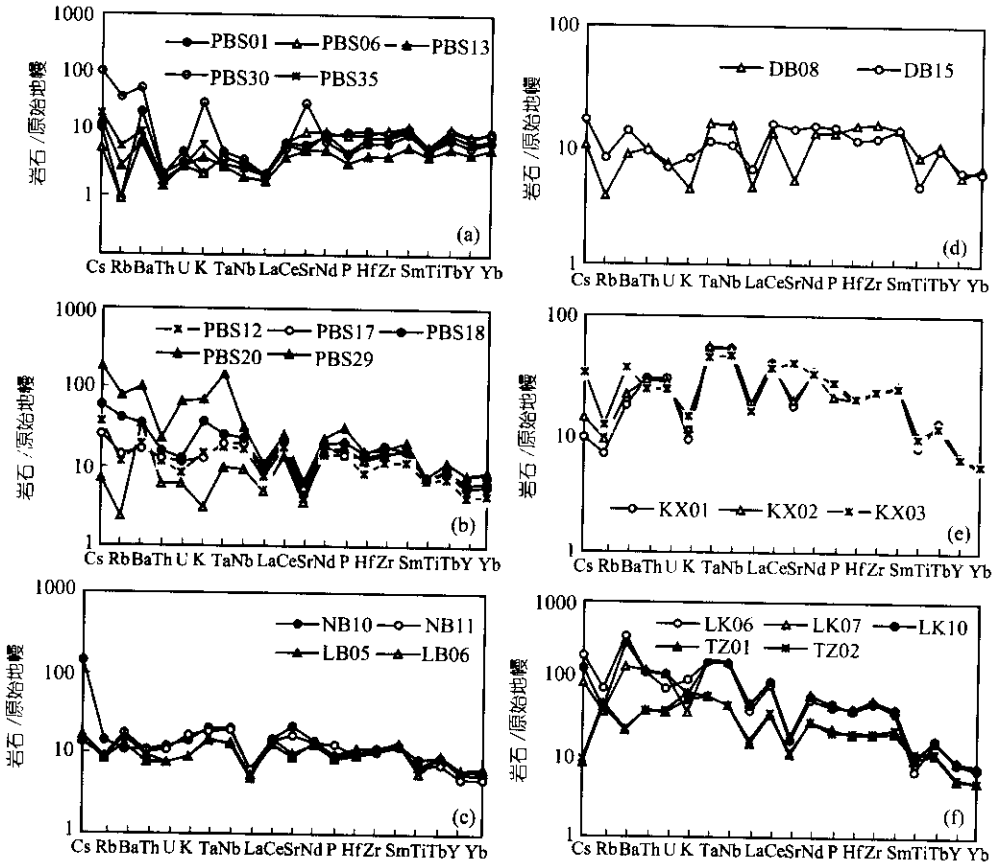


图 4 火山岩微量元素原始地幔标准化配分型式

(a) 琵琶寺洋脊型火山岩; (b) 琵琶寺洋岛型火山岩; (c) 碾坝、刘坝火山岩; (d) 豆坝火山岩; (e) 康县火山岩; (f) 隆康、塔藏火山岩. 原始地幔标准值据文献[14], 图中编号对应于表 1 中的样品号

在 Nb/Th-Nb 和 La/Nb-La 图解(图 5)以及 Nb/Zr/Y 图解中(图 6)，该组玄武岩均无一例外地落入 MORB 型玄武岩区内. 而 Th/Yb-Ta/Yb 图解(图 7)则清楚地表明，该组玄武岩来自亏损的 MORB 型地幔源区. 所有上述分析都充分说明，琵琶寺洋脊拉斑玄武岩为典型的洋壳蛇绿岩组成部分，代表勉略洋盆发育期间古洋壳的残片.

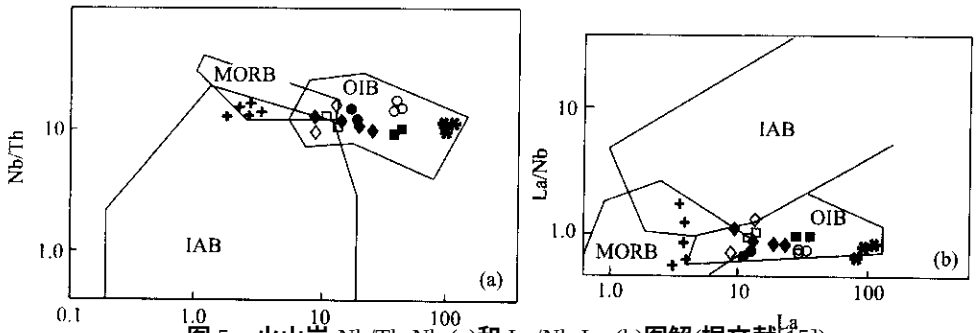


图 5　火山岩 Nb/Th-Nb (a)和 La/Nb-La (b)图解(据文献[15])

图例同图 2

4.2　洋岛型玄武岩

康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带内，洋岛拉斑玄武岩微量元素原始地幔标准化配分型式图(图 4(b)~(d))总体呈平坦型分布型式，斜率趋近于零. 其中，碾坝、刘坝洋岛拉斑玄武岩的微量元素丰度最为稳定. 岩石/原始地幔值大约在 10 左右; 而琵琶寺洋岛拉斑玄武岩大离子亲石元素，如 Rb, Ba, Th 和 K 等丰度值变化大，但曲线总体仍为一平坦的曲线. 而本区洋岛碱性玄武岩原始地幔标准化配分型式(图 4(e), (f))，则呈较典型的隆起型(驼峰式)分布型式，以 Ba, Th, Nb 和 Ta 的较强富集为特征，这一显著的地球化学特征与岛弧火山岩和洋脊玄武岩均有明显区别，而总体显示为板内火山岩的地球化学特征. 而且，自洋岛拉斑玄武岩向洋岛碱性玄武岩，Ti 的亏损逐渐增强，而 Ba, Th, Nb, Ta 的富集度却逐渐升高，反映了洋岛火山作用正常的岩浆演化趋势.

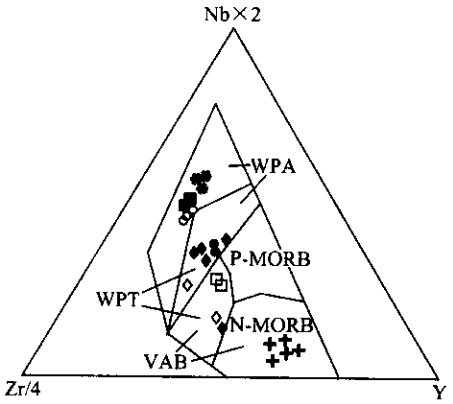


图 6　火山岩 Nb/Zr/Y 图解(据文献[16])

图例同图 2

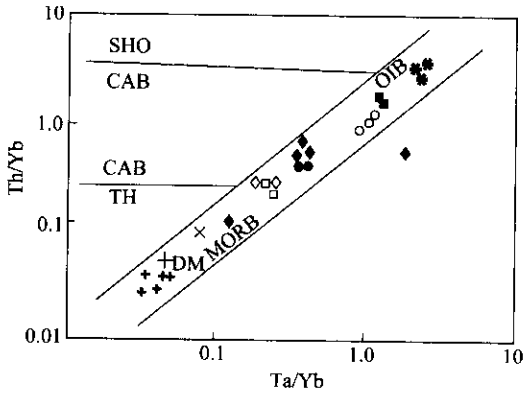


图 7　火山岩 Th/Yb-Ta/Yb 图解(据文献[13])

图例同图 2

在 Nb/Th-Nb 和 La/Nb-La 构造环境判别图中(图 5(a), (b))，本区洋岛玄武岩类均无一例外地落入 OIB 区内. 在 Th/Yb-Ta/Yb 图解中(图 7)，所有样品投影点均处在 OIB 趋势线上. Nb/Zr/Y 不活动痕量元素判别图解可以有效地判别火山岩的形成环境. 在该图解中(图 6)，本区洋岛拉斑和洋岛碱性玄武岩类分别落入 WPT 和 WPA 区内，与其他痕量元素判别结果以及稀土元素的分析结果完全一致.

上述分析充分表明，本区洋岛火山岩类形成于大洋板内环境，为大洋板块内部岩浆作用

的产物. 洋岛拉斑和洋岛碱性两类玄武岩具有同源岩浆演化趋势, 为洋岛火山作用岩浆结晶分异演化的产物.

5 蛇绿岩与洋岛火山岩大地构造意义

初步研究表明, 康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带是一个复杂的、包括有不同成因岩块的混杂带. 该带中分布有蛇绿岩块(古洋壳残片), 洋岛拉斑玄武岩块和洋岛碱性玄武岩类. 该混杂带不仅在构造形迹上与勉县-略阳蛇绿构造混杂带直接联通, 而且在形变特征、混杂带的物质组构以及火山岩特征和性质上与勉县-略阳蛇绿构造混杂带完全可以类比. 因此, 康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带乃是勉略带向西延伸的组成部分.

琵琶寺一带分布的洋脊拉斑玄武岩, 无论是其稀土元素特征, 还是不活动痕量元素特征均表明其为典型的大洋拉斑玄武岩(MORB 型玄武岩). 而且, 其地球化学特征和岩相学特征与勉略缝合带内已厘定出的庄科-文家沟洋壳蛇绿岩片[2,4,6]以及德尔尼洋壳蛇绿岩片[9]完全相同, 具有横向可对比性. 因此, 琵琶寺洋脊拉斑玄武岩岩片代表本区消失了的古洋壳岩石, 是勉略洋盆扩张期间火山作用的产物, 为真正的洋壳蛇绿岩组成部分.

而康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带内广泛分布的洋岛拉斑和洋岛碱性玄武岩岩片, 就其火山岩组成和地球化学特征看, 它们并非洋中脊扩张过程中岩浆活动的产物, 也不是原始大洋岛弧和大陆边缘弧的组成部分, 而是典型的板块内部岩浆作用产物.

需要特别指出的是, 地球化学特征判别的 OIB 型玄武岩, 并不一定是大洋板内岩浆活动的产物. 事实上, 大陆板内岩浆活动产生的玄武岩类同样会显示 OIB 型地球化学特征. 因此, 对于古老造山带中 OIB 型玄武岩形成环境的准确判别, 还必须充分利用岩石的构造组合类型、变质变形及其相关的地质证据. 对于康县-琵琶寺-南坪构造混杂带中具 OIB 性质的玄武岩, 我们将其识别为大洋板内岩浆活动的产物, 理由有以下 4 条: (1) 该套拉斑和碱性系列玄武岩不仅具共源岩浆演化趋势, 地球化学特征显示为 OIB 型, 而且更为重要的是它们与一套典型的洋壳蛇绿岩(MORB 型玄武岩)密切共(伴)生(如琵琶寺岩区); (2) 康县-琵琶寺-南坪构造混杂带与勉县-略阳蛇绿构造混杂带在构造形迹上直接连通, 具有一致的变质变形特征; (3) 康县-琵琶寺-南坪构造混杂带内的 MORB 型洋壳蛇绿岩, 无论从岩相学还是地球化学特征上均与勉略蛇绿岩带庄科蛇绿岩和阿尼玛卿德尔尼蛇绿岩完全一致; (4) 康县-琵琶寺-南坪构造混杂带内 MORB 型玄武岩为低绿片岩相变质特征, 而洋岛型玄武岩尤其是洋岛碱性玄武岩片变质程度低于 MORB 型玄武岩, 大多为块状玄武岩. 塔藏洋岛碱性玄武岩基本未变质, 镜下尚可见部分玄武岩的原岩结构. 这一特征符合洋盆发育和消减过程中不同构造属性火山岩变质程度的变化规律. 综合上述各方面证据, 我们认为康县-琵琶寺-南坪构造混杂带内的 OIB 性质玄武岩不是大陆板内岩浆活动的产物, 而是典型的洋岛型大洋板内岩浆活动的产物.

无论洋脊型拉斑玄武岩, 还是洋岛拉斑玄武岩或洋岛碱性玄武岩, 它们均是古洋壳的表征, 分别代表了大洋扩张脊岩浆活动的产物以及残余的古洋壳碎片. 区分并讨论古缝合带中洋岛型火山岩及其地球化学特征, 对于恢复古构造背景、重建造山带的演化历史均有重要意义.

康县-琵琶寺-南坪蛇绿构造混杂带的初步厘定以及带内洋壳蛇绿岩和洋岛拉斑玄武岩、洋岛碱性玄武岩三种不同火山岩岩石-构造组合的确定, 表明南秦岭勉略洋盆在 $D\sim T_2$ 期间曾

经历过一个较完整的有限洋盆发生、发展与消亡的过程，它对于确立华北-秦岭陆块与扬子陆块的碰撞时代和秦岭造山带的形成与演化均有重要的大地构造意义.

参　考　文　献

1 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

2 Lai Shaocong, Zhang Guowei. Geochemical features of ophiolite in Mianxian-Lueyang suture zone, Qinling orogenic belt. Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(2): 165～172

3 赖绍聪, 张国伟, 杨永成, 等. 南秦岭勉县-略阳结合带变质火山岩岩石地球化学特征. 岩石学报, 1997, 13(4): 563～573

4 赖绍聪, 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

5 许继峰, 韩吟文. 秦岭古 MORB 型岩石的高放射性成因铅同位素组成——特提斯型古洋幔存在的证据. 中国科学, D 辑, 1996, 26(增刊): 34～41

6 许纪峰, 于学元, 李献华, 等. 高度亏损的 N-MORB 型火山岩的发现: 勉略古洋盆存在的新证据. 科学通报, 1997, 42(22): 2414～2418

7 李亚林, 张国伟, 王根宝, 等. 陕西勉略地区两类混杂岩的发现及其地质意义. 地质论评, 1999, 45(2): 192

8 许纪峰, 于学元, 李献华, 等. 秦岭勉略带中鞍子山蛇绿杂岩的地球化学-古洋壳碎片的证据及意义. 地质学报, 2000, 74(1): 39～50

9 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

10 Pearce J A. 玄武岩判别图“使用指南”. 国外地质, 1984, (4): 1～13

11 Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magmas series and their differentiation products using immobile elements. Chem Geol, 1977, 20: 325～343

12 Sun S-S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basin. Geol Soc Special Publ, 1989, (42): 313～345

13 Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwich Shiva, 1983. 230～249

14 Wood D A. A variably veined suboceanic upper mantle genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. Geology, 1979, 7: 499～503

15 李曙光. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图. 岩石学报, 1993, 9(2): 146～157

16 Meschede M A. A method of discriminating between different types of mid-ocean basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chem Geol,1986, 56: 207～218