

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

桐柏北部黄岗侵入杂岩地球化学特征及地质意义

张利 王林森 周炼 凌文黎

中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074

内容提要 出露于桐柏北部的黄岗侵入杂岩形成于早古生代, 岩体中超基性、基性和中酸性岩石均有产出, 以中酸性岩石为主。主量元素和微量元素地球化学特征显示, 黄岗侵入杂岩是同源岩浆分异结晶的产物, 同位素示踪反映岩浆中含有一定比例的陆壳物质。分析表明, 黄岗侵入杂岩形成于类似大洋板块俯冲的岛弧构造环境, 与二郎坪弧后盆地向北的俯冲消减有密切联系, 其中的陆壳物质来自于俯冲板片上陆壳沉积物的再循环。

关键词 岛弧构造环境 陆壳物质再循环 黄岗侵入杂岩 地球化学

大陆边缘汇聚带壳幔物质交换和再循环的研究一直受到国际关注(Hart et al., 1988), 近年来, 古大陆边缘汇聚带壳幔物质再循环的研究也引起了人们的重视(Hawkeswoeth et al., 1994)。在秦岭造山带演化的地质模型上, 二郎坪弧后盆地曾作南北双向俯冲(张国伟等, 1996), 在二郎坪弧后盆地的形成过程中, 是否存在类似于大洋板块的俯冲消减, 从而在俯冲带上方的仰冲盘中形成岛弧岩浆却少见有研究报道。本文通过对黄岗侵入杂岩的研究, 证明弧后盆地俯冲消减可以形成岛弧型岩浆, 并且在岩浆源区中存在古陆壳物质的再循环, 其成因与二郎坪弧后盆地的俯冲消减有密切联系。这不仅在理论上, 而且对深入研究秦岭造山带的构造演化具有实际意义。

1 岩体地质特征

黄岗侵入杂岩构造上位于东秦岭南阳盆地以东、二郎坪弧后盆地北侧的北秦岭造山带中(图1)。岩体出露面积294 km², 北侧与新元古界宽坪群火山—沉积岩呈侵入接触, 南侧与二郎坪群呈断层接触, 该杂岩由超基性—基性—中性—中酸性岩石组成。超基性—基性岩主要分布在杂岩体的边缘及中南部, 主要岩石类型有橄榄辉石岩、辉石岩和辉长岩等, 岩石蛇纹石化强烈, 较难取得新鲜的地球化学样品。中性—中酸性侵入岩是杂岩体的主体, 主要分布在杂岩体中部, 在杂岩体北部也有零星分布。主要岩

石类型为辉石闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩等, 岩石呈灰色—灰白色, 中粒—中细粒结构, 块状构造, 局部见有弱片麻状构造, 样品新鲜, 薄片观察无蚀变。以上各岩类间无截然界线, 表明它们是在相近的时间内形成的。本文获得的六个 Rb-Sr 同位素样品呈一条较好的等时线(图2), 等时线年龄为429±35 Ma, 这与在辉石闪长岩中获得的锆石不一致年龄曲线上交点年龄432±15 Ma^①基本一致, 表明黄岗侵入杂岩是早古生代加里东期岩浆活动的产物。

2 岩石地球化学特征

黄岗侵入杂岩代表性岩石的主量元素、微量元素及同位素分析结果列于表1~3。

黄岗侵入杂岩在岩石类型上由早到晚依次出现辉长岩—辉石闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩, 在岩石学上反映它们为同源岩浆的分异演化系列。主量元素分析结果显示, 从辉长岩—辉石闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩, 随 SiO₂ 含量的增高, 岩石中 TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MnO、MgO 和 CaO 含量逐渐降低, K₂O 含量和 K₂O/Na₂O 比值逐渐增高, 也表明黄岗杂岩为同源岩浆演化的产物; AFM 图解显示岩石属钙碱性系列。稀土组成模式为右倾, 轻稀土相对富集(图3), 其中辉长岩和辉石闪长岩(La/Yb)_N 主要在11.12~12.22之间, 负 Eu 异常不明显(Eu* 为1.0左右), 而石英闪长岩和花岗闪长岩的

注: 本文为国家重点基础研究项目(编号 G1999075506)、国家自然科学基金项目(编号 40073005)和国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放研究实验室联合资助成果。

① 河南省地质三队. 1994. 毛集幅1:50000地质区调报告。

收稿日期: 2001-12-31; 改回日期: 2002-04-31; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 张利, 女, 1970年生。讲师, 同位素地球化学专业。通讯地址: 430074, 武汉市, 中国地质大学地球科学学院; 电话: 027-87484859;

Email: lizhang@cug.edu.cn。

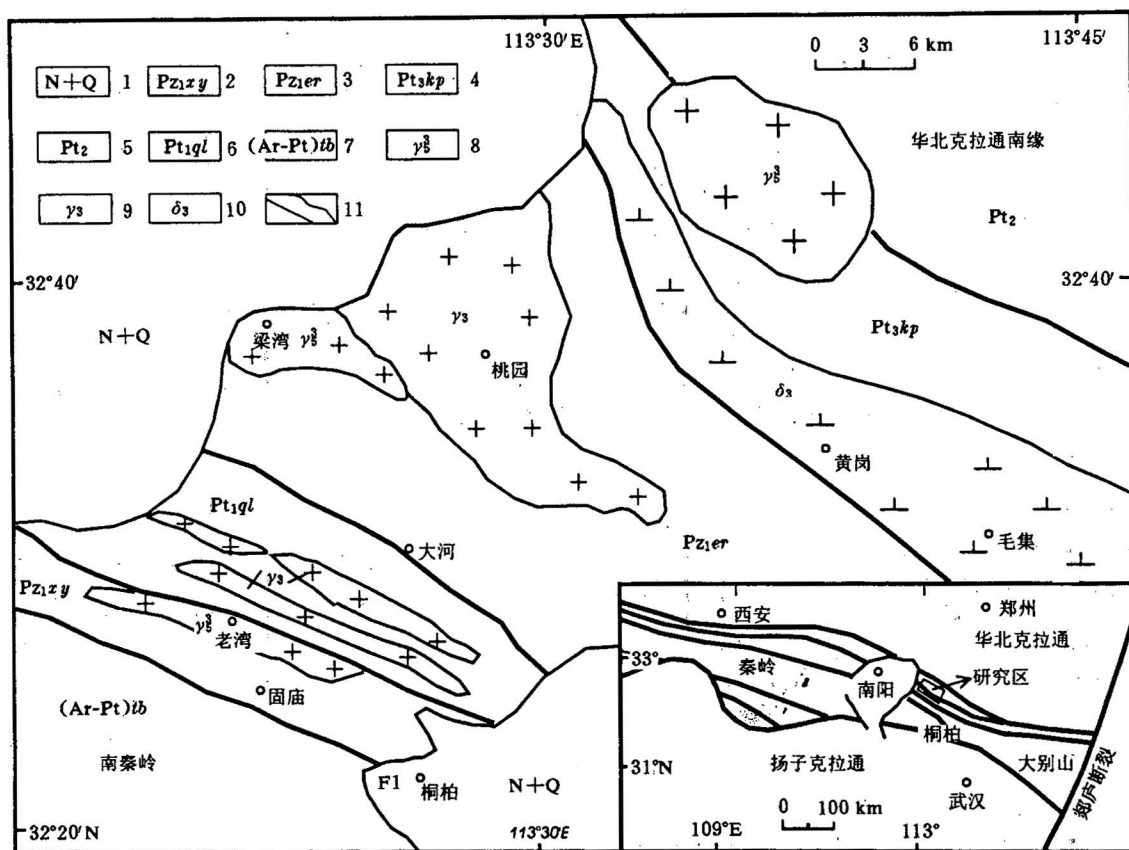


图 1 北秦岭桐柏地区地质简图(内插图指示桐柏地区在秦岭—大别造山带中的位置)

Fig. 1 Geological sketch map of Tongbai area with insert showing the Tongbai area in Qinling—Dabie orogenic belt

1—第三系和第四系; 2—信阳群; 3—二郎坪群; 4—宽坪群; 5—中元古界; 6—秦岭变质杂岩; 7—桐柏变质杂岩; 8—燕山期花岗岩; 9—加里东期花岗岩; 10—加里东期超基性—基性—中酸性侵入杂岩; 11—断层和地质界线

1—Tertiary and Quaternary; 2—Xinyang Group; 3—Erlangping Group; 4—Kuanping Group; 5—Mesoproterozoic; 6—Qinling metamorphic complex; 7—Tongbai metamorphic complex; 8—Yanshanian granite; 9—Caledonian granite; 10—Caledonian ultra-basic-intermediate-acid intrusive complex; 11—fault and geological boundary

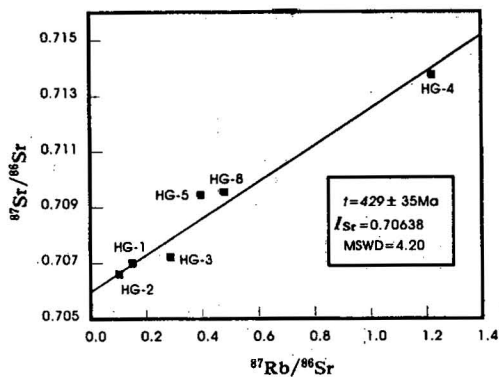


图 2 黄冈侵入杂岩 Rb-Sr 同位素等时线图

Fig. 2 Rb-Sr isotopic isochron of Huanggang intrusive complex

图中样品号同表 3 (Sample numbers see table 3)

(La/Yb)_N 主要为 4.59~8.39 之间, 存在一定强度的负 Eu 异常 (Eu* = 0.6~0.8), 反映随着岩浆的演化, (La/Yb)_N 降低, 负 Eu 异常增大, 显示了岩浆的

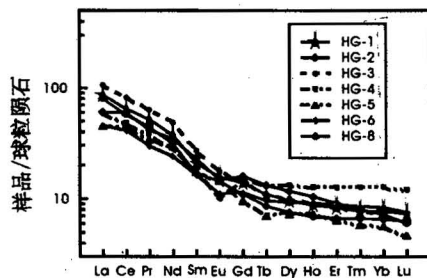


图 3 黄冈侵入杂岩稀土元素组成模式图

Fig. 3 REE model diagrams of Huanggang intrusive complex

图中样品号同表 2 (Sample numbers see table 2)

表 1 黄岗侵入杂岩代表性岩石的主量元素组成(%)表

Table 1 Major elements (%) compositions of Huanggang intrusive complex

样号	岩石类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O	总和	K ₂ O/Na ₂ O
HG-5	辉长岩	48.49	0.97	18.59	3.83	6.30	0.30	5.86	9.56	2.93	0.76	0.16	0.10	1.94	99.79	0.26
HG-2	辉长岩	50.46	0.89	16.93	3.18	6.82	0.22	5.99	9.47	2.52	1.09	0.19	0.08	1.49	99.78	0.43
HG-1	辉石闪长岩	54.49	0.85	16.85	2.91	5.78	0.16	4.79	8.05	2.61	1.32	0.21	0.16	1.52	99.70	0.51
HG-3	石英闪长岩	55.38	0.89	16.68	2.71	6.00	0.16	4.69	7.6	2.58	1.58	0.25	0.03	1.17	99.72	0.61
HG-6	石英闪长岩	59.85	0.72	15.05	2.31	5.60	0.15	4.02	6.96	2.31	1.60	0.13	0.08	1.54	100.32	0.69
HG-8	花岗闪长岩	63.26	0.75	16.02	1.70	4.03	0.10	2.16	5.60	3.25	1.57	0.17	0.17	1.00	99.78	0.48
HG-4	花岗闪长岩	65.31	0.60	14.03	2.19	3.60	0.11	2.62	5.19	2.77	2.09	0.10	0.08	1.1	99.79	0.75

注:样品由湖北省地质实验研究所测定。

表 2 黄岗侵入杂岩微量元素及稀土元素组成($\times 10^{-6}$)表Table 2 Trace elements and rare earth elements ($\times 10^{-6}$) compositions of Huanggang intrusive complex

样号	Be	Sc	V	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Ga	Rb	Sr	Ba	Cs	Y	Zr	Hf	Nb	Ta	U	Th	La
HG-1	1.5	27	225	28	28	51	12	90	20	45	740	588	1.4	19	115	2.6	7.9	0.45	1.19	5.0	32
HG-2	1.4	32	285	35	34	140	10	99	19	28	748	504	0.6	16	34	0.8	7.4	0.41	0.88	4.2	29
HG-3	1.3	28	255	35	26	60	11	73	20	51	679	715	1.3	23	123	4.1	6.9	0.42	1.14	4.9	39
HG-4	1.2	21	129	17	13	15	11	57	15	73	192	537	1.6	29	177	4.8	11	0.74	0.72	9.6	22
HG-5	1.0	31	323	48	36	146	20	136	22	46	427	534	1.2	13	46	1.1	6.2	0.47	0.79	3.9	17
HG-6	0.9	28	202	31	16	25	9	61	17	56	263	498	1.4	21	117	3.5	8.6	0.38	0.98	5.8	17
HG-8	1.5	1	149	21	8	17	12	88	22	4	379	841	0.2	7	227	7.5	14	0.47	1.50	0.2	22
样号	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	W	ΣREE	(La/Yb) _N	Eu*				
HG-1	62	7.11	26.67	4.84	1.37	4.26	0.64	3.69	0.75	2.09	0.28	1.93	0.28	0.36	148	11.12	0.9				
HG-2	55	6.08	22.27	3.93	1.26	3.38	0.50	2.90	0.59	1.68	0.24	1.63	0.24	0.35	129	12.22	1.0				
HG-3	79	8.69	34.74	6.30	1.53	4.48	0.64	3.84	0.78	2.10	0.28	1.76	0.24	0.51	185	15.06	0.8				
HG-4	46	5.27	19.86	4.23	0.88	4.42	0.77	5.06	1.09	3.19	0.46	3.18	0.46	3.73	121	4.59	0.6				
HG-5	43	4.65	20.93	4.04	1.27	2.94	0.41	2.78	0.63	1.61	0.21	1.41	0.18	2.39	103	7.93	1.1				
HG-6	39	4.09	17.17	3.80	0.97	3.52	0.56	3.57	0.78	2.22	0.31	2.09	0.29	0.63	96	5.42	0.8				
HG-8	57	5.71	24.56	5.32	1.30	4.89	0.77	4.49	0.89	2.29	0.29	1.79	0.23	0.52	133	8.39	0.8				

注:样品由国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放研究实验室 ICP-MS 测定。

表 3 黄岗侵入杂岩同位素组成表

Table 3 Isotopic compositions of Huanggang intrusive complex

样号	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$T_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$
HG-1	0.512145	0.1143	-5.07	-9.58	-0.42	1.54	0.1515	0.70699	29.2	0.70606
HG-2	0.512139	0.1101	-4.96	-9.69	-0.44	1.49	0.1015	0.70660	28.1	0.70597
HG-3	0.512132	0.1128	-5.20	-9.83	-0.43	1.53	0.2859	0.70721	20.0	0.70545
HG-4	0.512246	0.1342	-4.20	-7.61	-0.32	1.73	1.2209	0.71375	27.5	0.70624
HG-5	0.512161	0.1178	-4.91	-9.27	-0.40	1.57	0.3947	0.70945	41.8	0.70702
HG-8	0.512219	0.1285	-4.37	-8.13	-0.35	1.66	0.4788	0.70955	35.6	0.70660

样号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}(\mu\text{值})$	$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$	$(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$
HG-1	18.554	15.642	38.926	4.63	18.233	15.624
HG-4	18.438	15.678	39.595	4.41	18.132	15.661

注:样品由国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放研究实验室测定,笔者完成了大部分 Rb-Sr 和全部 Sm-Nd 样品的测试工作。全程本底为:Sm=1.2 $\times 10^{-11}$ g,Nd=1.9 $\times 10^{-10}$ g,Rb=1.1 $\times 10^{-9}$ g,Sr=1.8 $\times 10^{-9}$ g,Pb=4 $\times 10^{-10}$ g;Nd、Sr 质谱测定的仪器标准 La Jolla 和 NBS987 的测定值分别为 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511859\pm 8$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71023\pm 3$;NBS981 的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 测定值分别为 16.94、915.504 和 36.733。全程国家标准 GBW04419 测定值为 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512727\pm 9$,Sm=3.05 $\times 10^{-6}$ g,Nd=10.09 $\times 10^{-6}$ g;GBW04411 测定值为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.76013\pm 27$,Rb=248.53 $\times 10^{-6}$ g,Sr=156.49 $\times 10^{-6}$ g。 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 的计算采用 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}=0.512638$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}=0.1967$; T_{DM} 的计算采用 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}=0.51315$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}=0.21357$;根据样品实测 U、Pb 含量和 Pb 同位素比值,确定样品 μ 值,并用来计算初始 Pb 同位素比值。

分异演化趋势,特别是斜长石的分异结晶作用。

由于目前较为有效的岩石构造环境判别图解往往只适用于特定的岩石类型,而黄岗侵入杂岩在岩

性上变化很大(从基性—中性—中酸性),因此在分析黄岗杂岩形成的构造环境时应选用多岩性和多图解进行综合分析。在微量元素原始地幔标准化分布

型式图上(图4a),辉长岩的高场强元素(HFSE)如 Nb、Ta、P、Zr、Hf 和 Ti 等存在负异常,而大离子亲石元素(LILE)如 Rb、Ba、Th、U、K、La 和 Sr 等相对富集,反映岩石具有形成于岛弧构造环境的特征(Condie, 1989)。在适用于基性岩的微量元素构造环境判别图解上(图4b、c),黄岗辉长岩位于岛弧区;在适用于中酸性岩的构造判别图解上(Pearce et al., 1984)(图5),所有样品均落于岛弧区。在其他构造判别图上,如 Ti/Zr-Zr/Y(Condie, 1989)、Th/Yb-Ta/Yb(Pearce, 1982)、La/Yb-Th/Yb(Condie, 1989)、TiO₂-Zr(Pearce et al., 1973)和 Hf/3-Th-Ta(Wood, 1980)等(图略),黄岗杂岩同样位于岛弧区。以上各种构造环境判别图解一致表明,黄岗侵入杂岩应形成于岛弧构造环境,这也与黄岗侵入杂岩具有岛弧的岩石组合特征(Condie, 1989)是一致的。

黄岗侵入杂岩等时线所获得的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值为 0.70638(图2),单个样品经时间($t=429$ Ma)校正计算所得的(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_{*t*} 值变化于 0.70545~0.70702 之间,显示具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值; $\epsilon_{\text{Nd}}(t)=-5.20\sim-4.20$,与典型幔源岩石相比明显偏低,说明源区混入了陆壳物质(Faure, 1986); $T_{\text{DM}}=1.49\sim1.73$ Ga,明显高于岩石的形成年龄,进一步说明岩体的岩浆中含有一定比例的陆壳物质。在 Pb 同位素组成上(表3),黄岗杂岩具有较高的放射成因 Pb 和较低的 μ 值,说明 Pb 同位素比值随时间变化不明显,而其 Pb 同位素组成明显高于地幔岩石,并位于有沉积物参与的岛弧岩石范围内,这也说明在岩浆中有陆壳物质的混入(Hart et al., 1988)。

3 讨论

按照板块构造理论,岛弧型岩石的形成一般与大洋板块的俯冲消减作用相联系。然而研究表明(张国伟等, 1996),北秦岭在早古生代便具有现代构造体制的板块构造运动,随着商丹带古秦岭洋的向北俯冲消减,形成秦岭岛弧和二郎坪弧后盆地。在二郎坪弧后盆地的形成过程中,曾一度出现过渡性洋壳(孙勇等, 1996)。黄岗侵入杂岩南界为早古生代的二郎坪群蛇绿岩片,由于两者形成时代相近,黄岗侵入杂岩有可能是与二郎坪基性岩浆同源的岩浆侵入单元。然而,黄岗侵入杂岩与产于二郎坪弧后盆地中并与二郎坪蛇绿岩有成因联系的桃园岩体(形成时代为 451 Ma)相比,具有明显不同的岩石学和地球化学特征(张宏飞等, 2000),由此可排除黄岗杂岩是由二郎坪基性岩浆分异而侵位于宽坪群地层中的可能。因此,对黄岗岛弧型杂岩的形成,较为合理的解释应为与二郎坪弧后盆地的消减闭合作用有密切联系。这表明弧后盆地的俯冲消减可以形成类似于大洋板块俯冲消减的岛弧型岩浆,同时,也进一步肯定了二郎坪弧后盆地曾一度发展成弧后小洋盆并发生向北的俯冲消减作用及宽坪群在早古生代作为与二郎坪弧后盆地俯冲消减相对应的活动陆缘的认识;另一方面,说明秦岭地区多级次的俯冲消减作用是秦岭造山带演化的基本特征。

从黄岗侵入杂岩超基性—基性—中酸性的岩石组合特征和同源岩浆的分异演化看,岩浆应起源于深部莫霍面以下,而同位素示踪显示其岩浆中含有

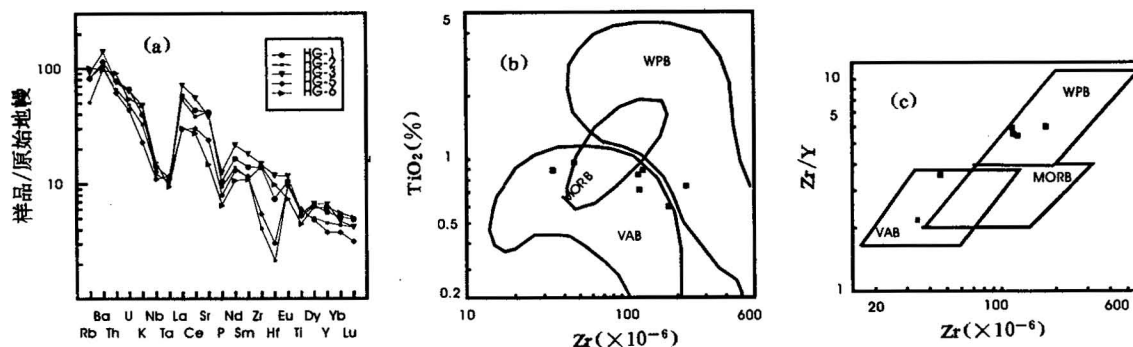


图4 黄岗侵入杂岩微量元素构造环境判别图解(据 Pearce 等, 1973; Pearce, 1982)

Fig. 4 Trace element tectonic setting discrimination diagrams of Huanggang intrusion (after Pearce et al., 1973; Pearce, 1982)

(a)—微量元素原始地幔标准化分布型式图; (b)—TiO₂-Zr; (c)—Zr/Y-Zr; MORB—洋中脊玄武岩; VAB—岛弧玄武岩; WPB—板内玄武岩
(a)—Trace element primary mantle-normalized patterns; (b)—TiO₂ vs Zr diagram; (c)—Zr/Y vs Zr diagram; MORB—mid-oceanic ridge basalt; VAB— island-arc basalt; WPB—intraplate basalt

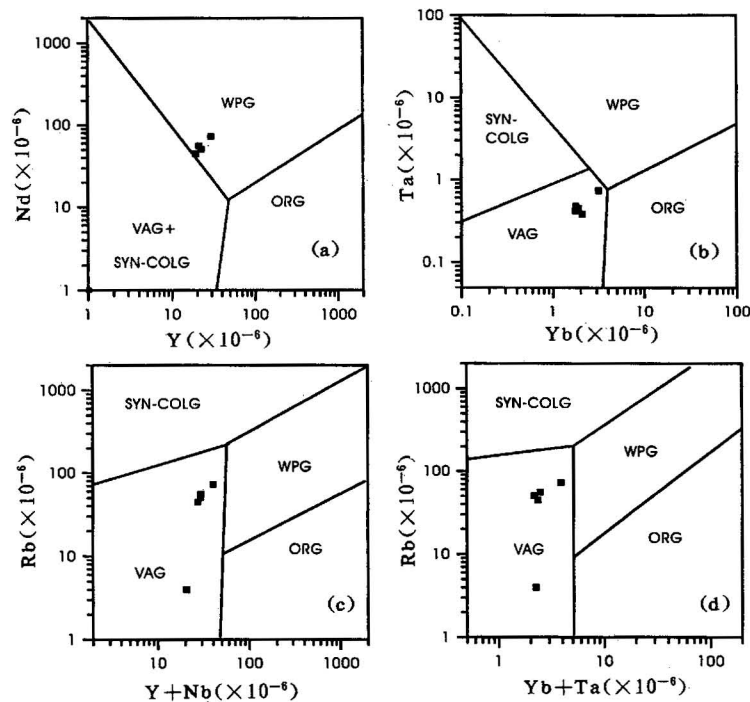


图5 黄岗侵入杂岩花岗岩类微量元素构造环境判别图解(据Condie, 1989)

Fig. 5 Trace element tectonic setting discrimination diagrams of Huanggang intrusion (after Condie, 1989)

(a)—Nb-Y; (b)—Ta-Yb; (c)—Rb-(Y+Nb); (d)—Rb-(Yb+Ta); VAG—火山弧型花岗岩; ORG—洋脊型花岗岩; WPG—板内型花岗岩; SYN-COLG—同碰撞型花岗岩

(a)—Nb vs Y; (b)—Ta vs Yb; (c)—Rb vs. (Y+Nb); (d)—Rb vs (Yb+Ta); VAG—volcanic arc granite; ORG—mid-oceanic ridge granite; WPG—intraplate granite; SYN-COLG—co-collision granite

一定比例的陆壳物质,这种陆壳物质的来源有两种可能:① 幔源岩浆上升过程中有陆壳物质的混染;② 俯冲板片上的沉积物析出流体作用于上部地幔楔。从黄岗杂岩岩浆演化趋势看(图6),在 SiO_2 含量从48.49%~65.31%的跨度范围内, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$ 值和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值变化不大,这显然不属于岩浆同化混染过程。由此看来,黄岗杂岩岩浆中含有的陆壳物质应

是其岩浆源区固有的,并非岩浆上侵过程中同化混染围岩的结果。由于黄岗侵入杂岩形成于岛弧构造环境,故其中的陆壳物质应是俯冲板片及其上的陆壳沉积物在消减过程中析出流体并作用于上方地幔楔并诱发地幔楔部分熔融的结果,这显示了岛弧岩浆中陆壳物质的再循环(Nelson, 1992)。由于难以获得北秦岭早古生代上地幔及俯冲析出流体的化学和

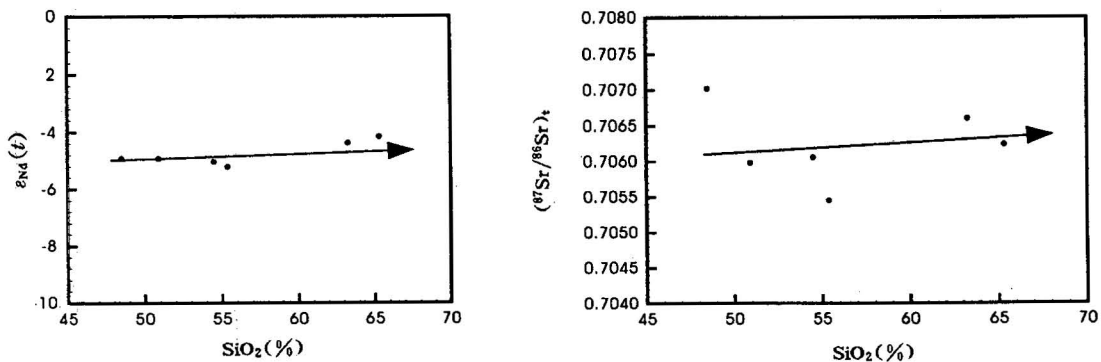


图6 黄岗侵入杂岩 SiO_2 - $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 SiO_2 - $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$ 图

Fig. 6 SiO_2 vs $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ and SiO_2 vs $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$ diagram of Huanggang intrusion

同位素资料,尚不能对参与黄岗杂岩岩浆源区中陆壳物质的比例作出定量计算;然而,根据对现代洋域及周边地区岛弧岩石的研究,洋壳沉积物参与岛弧岩浆的比例一般小于5%(Hart et al., 1988; Hawkeswoeth et al., 1994)。

4 结论

(1) 形成于早古生代的黄岗侵入杂岩是同源岩浆分异演化的产物,经岩石组合分析及主量元素和微量元素多种构造环境判别图解分析表明,岩石形成于岛弧构造环境,与二郎坪弧后盆地的向北消减有着密切的联系,这表明弧后盆地的俯冲消减可以形成类似于大洋板块俯冲消减的岛弧型岩浆。

(2) 根据岩石组合特征分析,黄岗侵入杂岩的岩浆应形成于上地幔。同位素示踪显示,岩浆中含有较高比例的陆壳物质,这种陆壳物质是俯冲板片上陆壳沉积物再循环的结果。

参 考 文 献

- 孙勇,卢欣祥,韩松,等. 1996. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学. 中国科学(D辑), (增刊): 49~55.
- 张国伟,孟庆任,于在平,等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑), 26(3): 194~195.
- 张宏飞,高山,张利,等. 2000. 桐柏北部二郎坪蛇绿岩片中花岗岩: 地球化学、成因及对地壳深部物质的指示. 地质科学, 35(1): 27~39.

References

- Condie K C. 1989a. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archaean-Proterozoic boundary: Identification and sig-

- nificance. *Lithos.*, 23 (1/2): 1~18.
- Condie K C. 1989b. Plate tectonics and crustal evolution. 3rd edition. New York: Pergaman Press Inc., 120.
- Faure G. 1986. Principles of isotope geology. Wiley, 299.
- Hart S R, Gulen L. 1988. Crust/mantle recycling at convergence zones. Turkey: Klawer Acad Publ., 1~220.
- Hawkeswoeth C J, Gallagher K, Hergt J M, et al. 1994. Destructive plate margin magmatism: Geochemistry and melt generation. *Lithos.*, 33: 169~188.
- Nelson D R. 1992. Isotopic characteristics of potassic rocks: evidence for the involvement of subducted sediments in magma genesis. *Lithos.*, 26: 408~420.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S, ed. Andesites, Orogenic Andesites and Related Rocks. New York: A Wiley Interscience Publication, 524~548.
- Pearce J A, Cann J. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 19: 290~300.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956~983.
- Sun Y, Lu X X, Han S, et al. 1996. Constitution and geochemistry of early Palaeozoic Erlangping ophiolite fragment in north Qinling. *Science in China (Series D)*, (Supp.): 49~55 (in Chinese).
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50: 11~30.
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, et al. 1996. Orogenesis and dynamics of Qinling orogen. *Science in China (Series D)*, 26(3): 194~195 (in Chinese).
- Zhang H F, Gao S, Zhang L, et al. 2000. Granitoids in Erlangping ophiolite fragment from northern Tongbai area, China: geochemistry, petrogenesis and deep crustal nature. *Scientia Geologica Sinica*, 35(1): 27~39 (in Chinese with English abstract).

Huanggang Intrusive Complex in the Northern Tongbai Area: Geochemistry and Geological Significance

ZHANG Li, WANG Linseng, ZHOU Lian, LING Wenli

Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, 430074

Abstract

The Huanggang intrusive complex in the northern Tongbai area of the northern Qinling Mts. was formed in the Early Palaeozoic. It mainly consists of ultra-basic, basic, intermediate and acid rocks, dominated by intermediate and basic rocks. Geochemical characteristics of major and trace elements suggest that the complex was derived from the fractional crystallization of co-source magma. Isotope analysis shows the magma was mixed with larger amount of crustal substance. The complex was formed in an island arc tectonic environment and is similar to the one formed in the setting of oceanic plate subduction and was closely related to the northward subduction of the Erlangping back-arc basin. The mixed crustal substance is the product of the recycling of crustal sediments on the subducted slab.

Key words: arc—back-arc environment; recycling of crustal substance; Huanggang intrusive complex; geochemistry