

邯邢中基性侵入杂岩体的岩石学与地球化学特征及成因探讨*

黄福生 薛绥洲

(北京大学地质系)

关键词: 中基性侵入杂岩; 岩石学和地球化学特征; 深源

摘要: 杂岩体呈由西向东展布的北北东向的三个岩带, 并显示有规律的演化趋势。SiO₂ 含量 52.26—62.95, 钙碱性 $C.A=57.6$ 。AFM 图上显示 Fe、Mg 降低而碱质增高的演化趋势。 ΣREE 从 126.2 到 185.1(ppm) 呈依次渐增趋势。稀土元素配分型式呈右倾斜的轻稀土富集型, $(La/Yb)_N=11.27$, $\delta_{Eu}=1.07-1.15$, $\delta^{18}O$ 在 8.2—8.8 之间数据迭置。岩浆中水的 δ_D 为 -45 和 -68, $\delta^{18}O$ 为 7.7 和 9.2, 具原始岩浆水的特征。岩石具低铷高铯特征, 初始铯比值为 0.7053 和 0.7064。岩体中含有众多的岩石包体, 除浅源和结晶基底的围岩捕虏体外, 还显示保留有幔源的难熔残余超镁铁岩包体。杂岩体的岩石学与地球化学特征反映了岩浆物质的同源性以及揭示了可能起源于莫霍面附近的深源信息。

邯邢中基性侵入杂岩体位于华北板块内部中生代活化的太行山构造岩浆带南缘的武涉沙地区。区内产有著名的邯邢式铁矿。

杂岩体出露总面积约 340km², 空间上自西向东展布为北北东向的三个岩带, 侵入时代也依次渐新, 同位素年龄 187 到 107Ma (主要用 K-Ar 法, 个别用 U-Pb 法)。侵入的层位也依次变新, 西部主要为寒武-奥陶的碳酸盐岩, 向东变为石炭-二叠的煤系。岩性由西部的中偏基性往东演变为中性-中偏碱性以至最东部为碱性, 呈现自西向东有规律的演化趋势。钻探等工程揭示各岩带之间是相连的, 构成一个巨大的侵入杂岩体。

一、岩石学特征

杂岩体以中性为主, 但成分上存在明显的演化, 按侵入先后顺序可划分为五个主要岩石类型:

1. **辉长辉绿岩类** 主要出露于西带和西中过渡地区, 以基性斜长石和普通辉石为主要矿物, 构成辉长辉绿结构, 次要矿物有普通角闪石、黑云母, 局部有少量正长石和石英。

2. **暗色闪长岩类** 以西带为主, 中带较少见。主要由普通角闪石和中基性斜长石组成, 但角闪石含量往往较高, 通常可达 35% 以上, 因此命名为暗色闪长岩。次要矿物有黑云母、正长石和石英。普通辉石常呈残晶状被角闪石所包裹。本类岩体 (符山岩体) 中含有许多岩

* 国家自然科学基金资助项目。

石包体,除大量围岩地层捕虏体外,还有较深部结晶基底的深变质片麻岩、斜长角闪岩类捕虏体(岩体附近未出露结晶基底地层),此外还首次发现深源地幔的超镁铁质岩包体(将另文发表)。

3. 石英二长闪长岩类 以中西带和中带分布最多并波及全区。主要由中性斜长石、普通角闪石以及石英和正长石组成,局部黑云母较多,也可见普通辉石的残晶被包裹于角闪石中。结构以中粒为主,局部发育似斑状,斑晶常为晚期的普通角闪石,呈米字型集合晶体。

4. 石英二长岩类 在中带有广泛出露,主要由中性斜长石、正长石和石英组成,局部有黑云母和普通角闪石。

5. 正长岩类 主要出露于东带,以正长石为主,常含有一定量的斜长石和石英。在最东部的紫山发育有含霓辉石的碱性正长岩。

二、造岩矿物特征

杂岩体主要造岩矿物有普通辉石、普通角闪石、黑云母、斜长石、正长石和石英,副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石和锆石。

1. 普通辉石 在辉长辉绿岩中的辉石晶形完好,横断面近八边形, $(+)2V = 50 - 59^\circ$, 矿物化学式为: $\text{Na}_{0.038} \text{K}_{0.008} \text{Ca}_{0.771} \text{Mg}_{0.957} \text{Fe}_{0.112}^{2+} \text{Mn}_{0.012} \text{Fe}_{0.073}^{3+} \text{Al}_{0.061}^{\text{IV}} \text{Ti}_{0.010} \text{Si}_{1.908} \text{O}_6$, 其 $\text{Ca}:\text{Mg}:\text{Fe} = 39.0:48.5:12.5$ 。在其它各类岩石尤其是暗色闪长岩中的辉石,均呈残晶状被包裹于普通角闪石中。

表1 普通辉石化学成分

Table 1 The chemical compositions of augite

编号	化 学 成 分											Ca	Mg	Fe	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O				
G010	51.93	0.34	1.42		2.63	5.77	0.37	17.47	19.60	0.55	0.17	39.0	48.5	12.5	
R-44	51.85	0.32	1.76	0.03	2.93	7.59	0.79	12.18	22.03	0.72	0.10	46.3	35.6	18.1	
编号	以 6 个 氧 原 子 计 算 的 阳 离 子 数											以Ca+Mg+Fe=100			
	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Ca, Mg, Fe各占百分数		
G010	1.908	0.061		0.010		0.073	0.162	0.012	0.957	0.771	0.038	0.008			
R-44	1.942	0.058	0.020	0.018	0.001	0.083	0.238	0.025	0.680	0.884	0.052	0.002			

2. 普通角闪石 是本杂岩体中最主要的铁镁造岩矿物,有斑晶和基质两类。斑晶角闪石通常是由几个自形程度颇高的长柱状晶体相互交叉生长呈现“米、×、×”等形态的集合斑晶(故命为米字型晶),粒度一般为2—5mm,最大为5×20mm,多色性明显,Ng—深兰绿, Nm—黄绿, Np—淡黄绿, $(-)2V = 78 - 80^\circ$, $CANg = 16.5 - 21$ 。基质角闪石均为单体,半自形,一般为中细粒, $(-)2V = 58 - 75^\circ$,大多集中于60—70°之间。角闪石的矿物化学成分按IMA-CNMMN (1978)分类均属钙角闪石组。基质角闪石 $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}} < 50$, $\text{Si}^{\text{IV}} > 6.50$, 属A亚组的镁普通角闪石,而米字结晶角闪石 $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$ 可高达0.64, $\text{Si}^{\text{IV}} \leq$

6.50, $Mg/Mg + Fe^{2+} > 0.700$, 属C亚组的镁-绿钠闪石质普通角闪石,

表2 普通角闪石的化学成分
Table 2 The chemical compositions of hornblende

编 号		F009	F011	F020-1	F020-2	F026	F037	F051	F056-1	F056-2	F204	Fg-4	Fm-3	85-1	T ₀
化 学 成 分	SiO ₂	47.21	45.26	44.22	47.41	46.59	48.46	43.11	42.31	46.08	47.40	47.40	40.80	44.61	44.85
	TiO ₂	1.47	1.59	1.79	1.21	1.30	1.09	1.82	1.93	1.23	1.07	0.86	1.74	1.66	1.50
	Al ₂ O ₃	6.05	8.03	8.35	5.75	7.26	4.95	9.76	10.78	8.00	5.39	6.52	12.12	9.31	9.51
	Fe ₂ O ₃	5.92	4.09	4.61	3.28	5.10	3.69	4.41	5.14	5.06	4.16	1.81	5.72	4.37	4.68
	FeO	8.70	9.99	9.50	11.76	8.56	10.06	9.59	8.74	8.28	11.05	14.21	8.71	9.85	8.77
	MnO	0.59	0.49	0.43	0.69	0.38	0.58	0.40	0.34	0.37	0.64	0.58	0.21	0.39	0.16
	MgO	13.60	13.81	13.96	13.51	14.44	14.47	13.28	13.15	13.80	13.50	12.76	12.70	13.13	13.88
	CaO	12.18	11.87	12.51	12.86	12.60	12.88	13.35	12.27	12.18	12.98	11.61	11.40	11.96	10.40
	Na ₂ O	1.31	1.24	1.77	1.21	1.45	1.14	1.68	1.74	1.51	1.27	1.04	1.72	1.43	1.88
	K ₂ O	0.61	0.56	0.75	0.51	0.61	0.42	0.71	0.72	0.60	0.58	0.56	0.96		0.92
	P ₂ O ₅	0.17	0.10	0.13	0.24	0.06	0.25	0.09	0.11	0.13	0.29	0.22	0.14		0.26
	H ₂ O ⁺	1.21	1.99	0.99	1.02	1.35	1.29	1.31	1.45	0.89	0.87	2.20	1.87	0.95	0.82
	F	0.16	0.10	0.20	0.15	0.03	0.39	0.11	0.14	0.18	0.12	0.20	0.34	0.19	0.09
	以 23 个 氧 原 子 计 算 的 阳 离 子 数	Si	6.893	6.692	6.508	6.925	6.775	7.070	6.352	6.274	6.756	6.936	7.019	6.123	6.590
Al ^{IV}		1.040	1.308	1.466	0.994	1.225	0.851	1.648	1.726	1.224	0.929	0.981	1.877	1.410	1.407
Σ		7.933	8.000	7.974	7.919	8.000	7.921	8.000	8.000	8.000	7.865	8.000	8.000	8.000	8.000
Al ^{VI}			0.092		0.019		0.048	0.159	0.139		0.157	0.267	0.212	0.241	
Ti		0.191	0.177	0.198	0.133	0.142	0.119	0.202	0.216	0.136	0.118	0.096	0.197	0.185	0.331
Fe ³⁺		0.651	0.455	0.511	0.362	0.558	0.405	0.489	0.574	0.559	0.507	0.202	0.646	0.510	0.518
Mg		2.959	3.043	3.062	2.953	3.129	3.146	2.917	2.906	3.061	2.944	2.816	2.840	2.890	3.040
Fe ²⁺		1.062	1.235	1.169	1.442	1.401	1.227	1.184	1.084	1.015	1.352	1.760	1.093	1.217	1.079
Mn		0.073	0.061	0.054	0.085	0.047	0.072	0.050	0.043	0.046	0.079	0.073	0.025	0.049	0.020
Σ		4.936	5.063	4.994	4.975	4.936	4.969	4.888	4.982	4.911	5.000	5.104	5.068	5.063	5.229
Ca		1.905	1.881	1.973	2.020	1.964	2.014	2.108	1.926	1.887	1.976	1.840	1.833	1.893	1.638
Na		0.370	0.355	0.506	0.344	0.409	0.323	0.531	0.501	0.429	0.361	0.299	0.500	0.409	0.536
K		0.114	0.104	0.142	0.095	0.114	0.078	0.134	0.136	0.112	0.108	0.106	0.184		0.172
Σ		2.389	2.340	2.621	2.459	2.487	2.385	2.773	2.563	2.428	2.445	2.245	2.517	2.302	2.346
参 数	Mg/Mg+Fe ²⁺	0.736	0.711	0.724	0.672	0.750	0.719	0.712	0.728	0.748	0.685	0.615	0.722	0.704	0.738
	Fe/Mg+Fe	0.307	0.357	0.354	0.379	0.338	0.342	0.364	0.363	0.343	0.387	0.411	0.380	0.374	0.344

注: F020-1, F051, F056-1, Fm-3为米字型斑晶角闪石。

3. 黑云母 各类岩石中都含有不定量的黑云母, 一般均晚于角闪石, 与角闪石有包裹反应关系, 并含有磁铁矿和斜长石等包裹体。矿物化学成分及按22个氧原子的基准的参数如表3。其Y介于5.6—5.9之间属三八面体型云母, 采用八面体离子 $Mg-Al^VI + Fe^{3+} + Ti-Fe^{2+}$ 三成分图 (Foster, 1960) 属镁质黑云母。

4. 斜长石 为本区最主要的硅铝矿物, 通常呈半自形板柱状, 在闪长岩和二长岩类中的斜长石常发育环带, 一般5—6环, 少数可达10余环, 多数为正环带, 也有少数韵律环带。镜下通常可见在环带的核部有一个强烈蚀变、边界圆滑清晰的基性斜长石残核, 其化学成分如表4, 和旋转台测定的结果基本一致, 其成分随岩石类型不同而异, 辉长辉绿岩 $An = 53-52$, 闪长岩类 $An = 47-40$, 二长岩类 $An = 38$, 正长岩类 $An = 34-33$ 。X衍射数据用恩古伊(1980)

法测定的有序指数多在61—76之间，变化幅度较小。

表3 黑云母化学成分
Table 3 The chemical compositions of biotite

编 号		G010	F009	F020	F037	F024	编 号		G010	F009	F020	F037	F024	
化 学 成 分	SiO ₂	36.98	33.59	35.78	34.04	35.70	以 22 个 氧 原 子 计 算 的 阳 离 子	四面体	Si	5.518	5.060	5.440	5.270	5.437
	TiO ₂	4.22	5.08	5.08	4.88	4.76		Al ^{IV}	2.229	2.769	2.313	2.432	2.359	
	Al ₂ O ₃	12.67	15.59	12.91	13.32	13.14		Fe ³⁺	0.253	0.171	0.247	0.298	0.204	
	Fe ₂ O ₃	3.09	4.71	3.41	4.64	2.83		Σ	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	
	FeO	12.04	14.38	15.66	14.87	16.29		八 面 体	Ti	0.473	0.576	0.581	0.568	0.545
	MnO	0.26	0.04	0.43	0.31	0.45			Fe ³⁺	0.094	0.363	0.144	0.243	0.120
	MgO	15.80	12.69	12.32	13.09	12.25			Fe ²⁺	1.593	1.811	1.992	1.926	2.075
	CaO	0.80	3.17	1.47	1.37	1.23			Mn	0.033	0.051	0.065	0.041	0.058
	Na ₂ O	0.88	0.12	0.29	0.23	0.30			Mg	3.514	2.848	2.792	3.020	2.780
	K ₂ O	8.36	5.56	7.47	5.97	8.13		Σ	5.617	5.649	5.574	5.798	5.578	
	P ₂ O ₅	0.17	0.06	0.10	0.08	0.26		层 间 离 子	Ca	0.128	0.511	0.239	0.227	0.200
	H ₂ O ⁺	3.45	4.55	3.13	6.55	3.95			Na	0.253	0.035	0.086	0.069	0.088
	F	0.28	0.08	0.26	0.43	0.16			K	1.591	1.068	1.449	1.180	1.580
									Σ	1.972	1.614	1.774	1.476	1.868
化 学 参 数	Fe/Fe+Mg	0.345	0.452	0.460	0.450	0.463	化 学 参 数	Fe ²⁺ /Y	0.268	0.321	0.357	0.332	0.372	
	Fe ³⁺ /Fe ²⁺ +Mg	0.188	0.228	0.164	0.219	0.135		Al/Al+Si+Mg+Fe	0.410	0.491	0.411	0.409	0.419	
	Mg/Fe	1.899	1.214	1.172	1.224	1.159		Al ^{IV} _{B1} 计			2.298	2.249	2.275	
	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	0.231	0.295	0.196	0.281	0.156		Al ^{IV} _{B1} -Al ^{IV} _{B1} 计			0.015	0.183	0.084	

说明：(1) Al^{IV}_{B1}计=1.95+0.35Al^{IV}_{A_m}，同时将斑晶、基质的样品，以角闪石的基质为基础而计算。
(2) Y为分子式中八面体阳离子的总和。

表4 斜长石化学成分(电子探针分析)
Table 4 The chemical compositions of plagioclase

编 号	化 学 成 分					端 员 分 子 (%)		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	An	Ab	Or
G010	56.13	25.74	8.32	6.24	0.52	41.1	55.8	3.1
F026	56.32	26.77	9.21	5.48	0.39	47.0	50.7	2.3
F009	55.28	26.23	8.91	6.13	0.26	43.8	54.7	1.5
F020	58.82	25.99	8.46	5.85	0.19	43.5	55.3	1.2
F033	57.03	25.01	8.10	6.50	0.31	40.0	58.2	1.8
G011	59.74	25.22	7.41	6.44	0.28	38.2	60.1	1.7

5. 钾长石 各类岩石中均有出现，但仅在晚期岩相中为主要成分，常呈它形不规则状，格状双晶不发育，早期岩相钾长石(一)2V=61—66°，Nm与⊥(001)的夹角为5—6°，晚期岩相为(一)2V=76—78°。电子探针分析和原子吸收光谱分析数据按 Smith 分类属含钠正长石，如表5。在X衍射图上2Q₁₃₁未分裂，三斜度为0，结合有序指数(S)早期岩相为0.29—0.35，晚期岩相为0.40，均属正长石，如表6。以三峰法(Wright, 1968)所示有序度，早期岩相为0.05—0.13，多数在0.0附近，也属正长石，晚期岩相0.24—0.30属向中微斜长石过渡的正长石。

表5 钾长石化学成分
Table 5 The chemical compositions of K-feldspar

编 号	化 学 成 分					端 员 分 子 (%)		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Or	Ab	An
G004			1.09	2.94	10.42	65.9	28.3	5.8
F009			1.02	3.11	10.00	59.7	35.2	5.1
F020	65.98	17.31	0.09	4.38	11.93	64.0	35.6	0.4
F051			1.09	3.22	10.10	63.5	30.8	5.7
F033	64.51	17.17	0.14	2.72	13.58	76.2	23.2	0.6
K002			0.53	4.16	9.76	59.1	38.2	2.7

表6 钾长石结构数据表
Table 6 The order structure of K-feldspar

编 号	20			Al在四面体中的占位率				有序度 (δ)	有序指数 (S)
	201	060	204						
				t ₁	t ₁ (0)=t ₁ (m)	t ₂	t ₂ (0)=t ₂ (m)		
F026	21.06	41.73	50.80	0.72	0.36	0.23	0.14	-0.02	0.29
F056	20.98	41.75	50.77	0.76	0.38	0.24	0.12	0.13	0.35
F020	21.07	41.68	50.75	0.72	0.36	0.28	0.14	-0.03	0.29
F011	20.99	41.71	50.75	0.74	0.37	0.26	0.13	0.07	0.32
F028	21.00	41.70	50.72	0.76	0.38	0.24	0.12	0.13	0.35
F307	21.08	41.73	50.78	0.73	0.365	0.27	0.135	0.04	0.31
F201	20.99	41.68	50.75	0.72	0.36	0.28	0.14	-0.03	0.29
F037	21.04	41.77	50.80	0.74	0.37	0.26	0.13	0.10	0.32
F009	21.06	41.72	50.78	0.73	0.365	0.27	0.135	-0.01	0.31
F027	21.05	41.72	50.78	0.73	0.365	0.27	0.135	-0.01	0.31
F204	21.05	41.71	50.78	0.72	0.30	0.28	0.14	-0.02	0.29
F033	21.04	41.69	50.77	0.71	0.355	0.29	0.145	-0.05	0.28
F051	20.98	41.71	50.76	0.74	0.37	0.26	0.13	0.04	0.32
G011	21.00	41.76	50.72	0.80	0.40	0.20	0.10	0.30	0.40
K002	20.96	41.76	50.72	0.80	0.40	0.20	0.10	0.30	0.40
K006	21.00	41.74	50.71	0.80	0.40	0.20	0.10	0.27	0.40
Z002	20.98	41.70	50.68	0.79	0.395	0.21	0.105	0.24	0.39
Z009	21.05	41.70	50.67	0.80	0.40	0.20	0.10	0.27	0.40

三、地球化学特征

各类岩石的平均岩石化学组成如表7。里特曼指数(δ)为2.5—3.0到3.4—7.3, 皮科克指数(C.A)为57.6。总的来看属钙碱性岩套。SiO₂含量52.26—62.95, 各氧化物同SiO₂之间呈现哈克的变异关系。在AFM图上显示Fe、Mg降低而碱质增高的演化趋势。

稀土元素采用X荧光法测定, 经以哈金斯(1966)的球粒陨石值归一化后如图1所示, 其特征是各类岩石的稀土配分曲线基本一致, 属富集轻稀土型, (La/Yb)_n=11.27, 呈现缓右倾斜。而重稀土基本平坦。铈不显异常 $\Sigma Ce/\Sigma Ce^* = 0.85-1.07$, 而铕显弱正异常 $\Sigma Eu/\Sigma Eu^* = 1.07-1.15$, 变化幅度很小。稀土总量 $\Sigma REE = 126.2-185.1$, 有依次渐增的趋势。然而

Σ LREE 比 Σ HREE 增得更快更显著, Σ LREE 从 106.2 增至 154.4, 而 Σ HREE 从 23.54 增至 30.70, 因而 Σ Ce/ Σ Y 略具升高的趋势。

表 7 各类岩石的平均化学成分 (wt%)

Table 7 The average chemical compositions (wt%) of rocks

岩石类别	样品数	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
方辉橄辉岩(包体)	1	41.02	0.03	1.67	4.15	4.00	0.16	42.24	2.73	0.08	0.09	—
辉长辉绿岩	3	54.31	0.61	14.14	3.69	4.12	0.15	8.59	7.03	3.51	2.30	0.29
暗色闪长岩	4	53.03	0.66	15.72	5.28	3.57	0.17	6.42	7.49	3.26	1.59	0.34
石英二长闪长岩	7	57.15	0.64	16.97	4.72	2.94	0.14	3.47	6.17	3.99	2.27	0.34
石英二长岩	6	59.88	0.50	16.97	4.32	2.52	0.14	1.86	4.52	4.75	3.84	0.25
正长岩	3	60.31	0.54	16.46	4.09	1.78	0.18	1.47	2.52	5.02	5.82	0.31

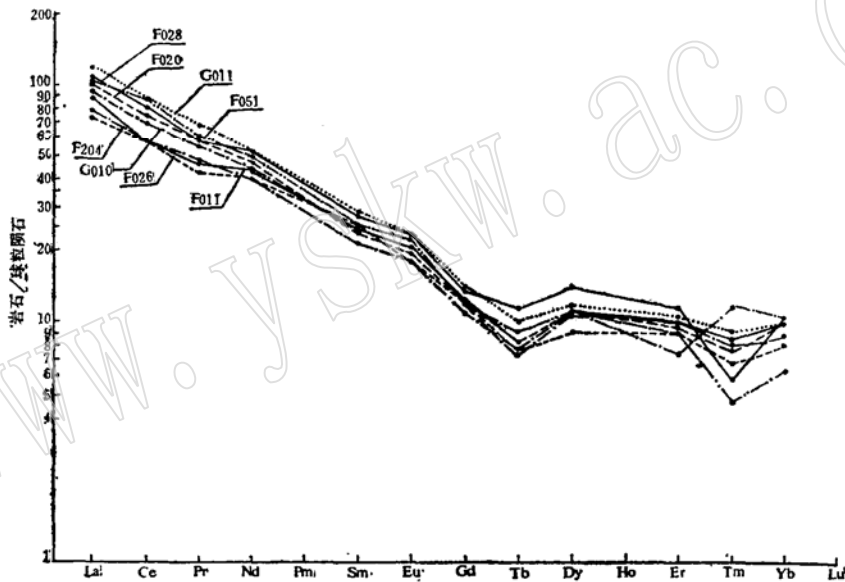


图 1 各主要岩石类型的稀土配分

Fig. 1 The chondrite-normalized REE pattern of rocks

F051、F028、F020、F026、F204、F011—闪长岩; G011—二长岩; G010—辉绿岩

氧同位素分析^①, 包括各类岩石和单矿物辉石、角闪石、黑云母、斜长石、钾长石、石英和磁铁矿, 如图2。各类岩石的 $\delta^{18}O$ 在 8.2—9.3 之间, 经检查超过 9.0 的样品都显示有较强的后期蚀变, 因此若不考虑这类样品, 那本区各类岩石的 $\delta^{18}O$ 值均局限于 8.2—8.8 的范围内, 数值重叠, 差异甚小。各种造岩矿物的 $\delta^{18}O$ 值: 普通辉石 7.9, 普通角闪石 7.0—8.2, 黑云母 5.5—6.2, 斜长石 8.5—10.1, 钾长石 10.0—10.8, 石英 9.7—11.9, 主要集中于 9.7—9.9 之间, 磁铁矿 1.9—3.9。各类岩石中的同种矿物以及同一岩类中的不同世代矿物的 $\delta^{18}O$ 值也比较一致, 变化不大。各造岩矿物的 $\delta^{18}O$ 基本符合氧同位素的分馏规律, 显示了平衡的关系。其中仅长石尤其是钾长石略显偏高, 显示曾遭受过岩浆热液蚀变, 然而根据其偏离

① 采用 BrF₃ 法, 以 SMOW 为标准, 分析内标为 NBS-28, 取其对于 SMOW 的 $\delta^{18}O$ 为 10。

值 $\Delta^{18}\text{O}_{\text{石英-钾长石}} = 0.3-0.5$ 非常接近, 表明岩浆热液的氧同位素组成的一致性以及热交换时间长短的近似性。

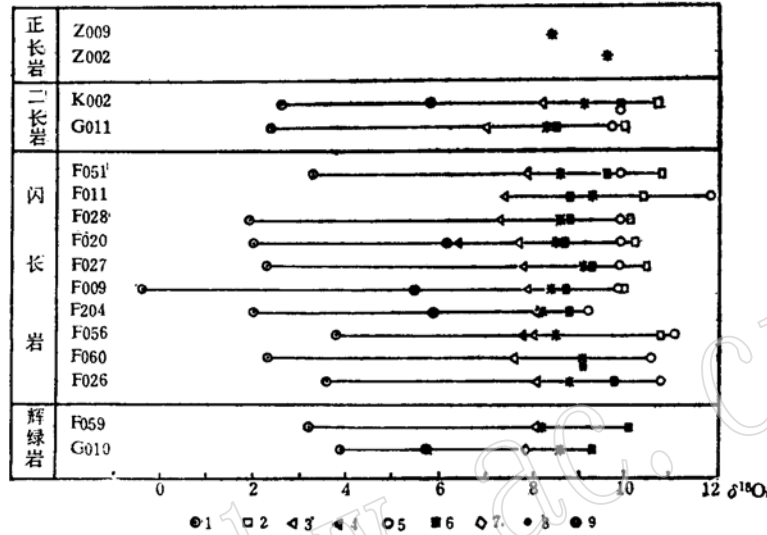


图 2 岩石中共生矿物的氧同位素

Fig.2 The $\delta^{18}\text{O}$ values of the coexisting minerals of the rocks

1—磁铁矿; 2—钾长石; 3—角闪石; 4—基质角闪石; 5—石英; 6—斜长石;
7—单斜辉石; 8—全岩; 9—黑云母

氢同位素主要采用黑云母结构水的测试来获得, 其 $\delta\text{D}_w = -73$ 和 -81 , 按分馏方程^①推算出岩浆水的 $\delta\text{D}_w = -47$ 和 -68 , 结合以石英—水的氧同位素分馏方程^②推算的岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}_w = 8.0$ 和 9.4 , 这表明本区岩浆中的水为深部原始岩浆水, 未参与过大气降水圈的循环。

锶同位素组成, 鉴于本区早期岩相的岩石具有低铷高锶 ($\text{Rb} = 23.6-54.6\text{ppm}$, $\text{Sr} = 737-998\text{ppm}$), Rb/Sr 比值(辉长辉绿岩类与闪长岩类为 $0.024-0.065$, 二长岩类为 $0.115-0.164$) 以及 $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ 比值 (介于 $0.13-0.18$ 之间) 都显示很低的特点, 采用岩石-矿物等时线法, 如图3, 线性程度较好, 相关系数达 0.999374 。其锶同

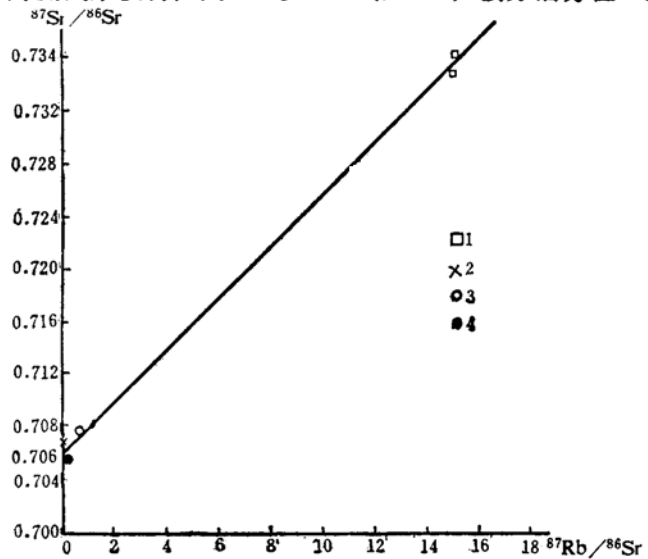


图 3 岩石和矿物的 Rb-Sr 等时线

Fig. 3 The Rb-Sr isochron of rock and minerals

1—全岩; 2—角闪石; 3—黑云母; 4—钾长石

① $1000\ln\alpha_{\text{H}_2\text{O}} = -22.4(10^6\text{T}^{-2}) + 26.2 + (2X_{\text{A1}} - 4X_{\text{Mg}} - 64X_{\text{Fe}})$.

② $1000\ln\alpha_{\text{Q-H}_2\text{O}} = 4.10(10^6\text{T}^{-2}) - 3.7$.

位素初始比值 (J_s) 为0.70607 (± 0.00046)。同时经已知年龄 (K-Ar 法) 数据按衰变方程进行对比计算验证所得结果为0.7053、0.7061和0.7067, 与之非常近似。

四、成因探讨

1. 矿物相平衡问题 同一岩石中各种矿物是否处于平衡结晶是探讨造岩矿物形成条件的前提。

镜下岩相观察发现单斜辉石与基性斜长石常呈残晶状, 前者常为角闪石所反应而后者常包裹于正长石以及环带状斜长石中呈强烈蚀变的残核, 显示两者具有不同的形成环境, 暗示了杂岩体中有可能保留深源难熔的残余容晶。

杂岩体中斜长石环带结构广为发育, 表明了岩浆结晶过程中存在有一定的条件变化。

然而通过以黑云母和角闪石的 $K^{40}/^{39}K = 1$ 和以 Al^{IV}_m 与 Al^{IV}_c 的分配关系, 各造岩矿物 $\delta^{18}O$ 值基本符合分馏规律, 即 $Qz > Af > Pl > Bi > Am > Py > Mt$ 以及正长石和环带斜长石的外环成分关系等来判别, 除少量残晶矿物外, 各造岩矿物的结晶基本接近平衡的条件。

2. 形成温度 以单斜辉石按 Boyd (1974) 的 Di-Hd-En-Fs 四元图中 Ca 随温度升高而降低的等温曲线, 辉长辉绿岩的普通辉石结晶温度为 $1020^\circ C$ 。

以角闪石的 Ti、 Al^{IV} 关系图估测, 闪长岩的基质角闪石的结晶温度为 $765-700^\circ C$ 。

长石以环带斜长石的外环与钾长石作二长石共生温度对, 以 $1-2 \times 10^8 Pa$ 下 Stomer 图估测二长岩相的长石结晶温度为 $670^\circ C$ 。

以氧同位素矿物对估测的形成温度如表8, 其结果是辉长辉绿岩类 $820^\circ C$, 二长岩类 $600^\circ C$ 。

表 8 岩石的氧同位素平衡温度

Table 8 The isotope equilibrium temperatures of rocks

矿物对	G010	F026	F056	F204	F009	F027	F020	F028	F051	G011	K002
Q-Mt		607	601	613	462	583	567	561	646	601	601
Q-Bi				675	586		653				613
Bi-Mt				482							577
CPx-Mt	820										

综上, 各地质温度计表明杂岩体早期岩相的结晶温度从 $1000-700^\circ C$, 而晚期岩相可延至 $600^\circ C$ 。

3. 氧逸度与水逸度 杂岩体的角闪石在温度、 $Fe/Fe+Mg$ 和氧逸度关系图上都位于 HM 与 NNO 缓冲线之间, 各样点非常集中。黑云母在 $Fe^{3+}-Fe^{2+}-Mg$ 三角图上也落在 HM 与 NNO 缓冲线之间, 说明两者的氧逸度相差不大。以 Wones 和 Egster (1965) 黑云母关系图估测, 辉长辉绿岩类 $lg f_{O_2} = -11.0$, 闪长岩类 $-12.5-13.2$ 。水逸度 (f_{H_2O}) 经测算, 前者为 $2 \times 10^8 Pa$, 后者为 $1.65 \times 10^8 Pa$ 。

综合岩相学和形成温度资料来分析, 岩浆的侵位深度比较浅, 再结合岩浆水的氢氧同位素特征以及杂岩体中广泛发育含水镁铁矿物相和接触带广泛发育很宽的矽卡岩带来考虑, 构

成杂岩体的岩浆在结晶作用的晚期阶段已具有较高的水逸度,而且可能已经达到近于饱和的状态,因此其水分压同负荷总压可能处于平衡。

4. 物质来源与形成机制 杂岩体各类岩石均属钙碱性,稀土元素配分型式非常相似,锆显弱正异常,氧同位素组成集中在8.2—8.8之间,不同岩石中同种造岩矿物和同类岩石中不同世代造岩矿物的组成变化不大。地球化学特征的一致性反映了岩浆物质的同源性。同位素组成表明的岩浆中水的来源为深部原始岩浆水,这说明岩浆在上升侵位过程中一直保持着熔出岩浆本身的特征,而未遭受过上部地壳物质的混杂,从锶同位素初始比值约为0.706来分析,暗示了岩浆来源可能颇深。从杂岩体早期岩相成分富铁镁(基性),并含有较多的结晶基底捕虏体,特别是首次发现存在有超镁铁质岩包体,表明了岩浆起源于莫霍面附近(下部地壳底部)。而杂岩体由早到晚的演化趋势则反映了熔融源区的不断上移,由莫霍面附近逐渐上移至下部地壳,这可能反映了华北板块内部太行山构造断隆带中生代活化导致上地幔碎片底辟上隆,地壳不断变薄和发生部分熔融,由于不断上隆,熔融源区也随之不断上移,经分批熔融岩浆逐次上侵而形成了从基性到中性到中偏碱性的演化趋势的邯邢侵入杂岩体。

我国东部环太平洋域中生代岩浆活动异常发育,不少学者⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾运用板块构造学说,结合地质—地球物理资料进行了探讨。如认为基于库拉—太平洋板块和欧亚板块之间复杂的相互运动导致了我国东部广大地区遭受挤压变形,大范围隆起、褶皱和断裂,发育了一系列巨型的NE—NNE向展布的构造岩浆带,如大兴安岭—太行山—武陵山重力梯度带与地壳厚度陡变带,而且又是一条深断裂带⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

太行山带中邯邢中基性侵入杂岩体的岩石学、地球化学特征以及其中幔源超镁铁质岩包体的发现与研究表明,在垂向上太行山带无疑发生在古克拉通之上,而且已经深到具有交代富集特征的上地幔上涌带。在横向上太行山带既是华北中生代构造岩浆带的西界,也是欧亚板块环太平洋中生代活化的西界,它远离板块东部的海沟、岛弧,已经超出了俯冲消减带所能波及的地域,而且岩浆活动又是自西向东发生和演化的,因此,太行山带的构造岩浆活动既不同于典型的活动大陆边缘的俯冲消减也不同于典型的大陆裂谷扩张,它反映了欧亚板块环太平洋域稳定陆块内部中生代活化所特有的一种构造岩浆活动,有其自身的独特性。可以命之为“华夏式板内活化型”。

本文得到北京铀矿地质所,上海硅酸盐所,科学院地质所以及本系化学分析室,同位素室, X 衍射室,选矿室等的大力协助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 林景仟等, 1984, 华北地台中部燕山期岩浆岩的成分变异及其形成机制, 长春地质学院学报, 第2期。
- [2] 王东方, 1986, 中国东部某些中生代火山岩锶同位素特征及其地质意义, 岩石矿物学杂志, 第5卷, 第1期, 11—18。
- [3] 吴利仁等, 1985, 中国东部中生代花岗岩类, 岩石学报, 第1卷, 第1期, 1—10。
- [4] 吴利仁等, 1984, 华东及邻区中、新生代火山岩, 285—287, 科学出版社。
- [5] 环文林等, 1982, 中国东部及其邻区中、新生代构造演化与太平洋板块运动, 地质科学, 第2期。
- [6] 霍玉华, 1989, 中国东南沿海中生代火山岩形成的构造环境, 地球化学, 第3期。
- [7] Uyeda S. and Miyashiro A., 1974, Plate tectonics and the Japanese islands, A synthesis, Geological Society of Amer. Bull, Vol. 35, No. 7.
- [8] 刘行松, 1979, 纵贯中国东部一条新的巨型构造带, 地震地质, 第1卷, 第1期。
- [9] 王谦身, 1984, 华南及邻区中新代火山岩, 30—41, 科学出版社。

The Petrographical and Geochemical Characteristics and Genesis of the Han Xing Intrusive Complex

Huang Fusheng Xue Suizhou

(Department of Geology, Beijing University)

Key words: intermediate-basic intrusive complex; petrographical and geochemical characteristics; deeper source

Abstract

There are three NNE trend rock belts from west to east and their intrusive ages, intrusive position as well as lithologic characters appeared as of systematic evolution. There are many xenolithes in the initial petrographic facies, such as wall rock, deep seated crystal base and ultramafic rock xenolith from mantle. These imply the possible occurrence of the difficult melting residue from deeper source in the Complex.

The C.A. index of the Complex is 57.6 and AFM diagram indicates that Fe, Mg decreased and alkaline increased with time. The chondrite-normalized REE pattern of rocks is rich in LREE, $(La/Yb)_N = 11.27$, $\delta Eu = 1.07-1.15$. $\delta^{18}O$ values of whole rock range from 8.2 to 8.8. δD of magmatic water is from -45 to -68 and $\delta^{18}O$ of magmatic water ranges from 7.7 to 9.2, reflecting original magmatic water's characters. The rocks show low Rb and high Sr values and initial strontium ratio ranges from 0.7053 to 0.7064.

The geochemical characters of the Complex and their consistency imply an information that the magma materials may be derived from uniform deeper source. It is possible that the source is situated in the lower level of lower-crust according to the residue of ultramafic xenolith from the mantle-source. As a result of activation the Taihang fault-block in Mesozoic in North China Plate, the slabs of the mantle diapir penetrated and underwent partly melting. By batch melting and progressive magma intrusion, the Han Xing Complex was composed of the evolutionary sequence from basic, intermediate to alkaline in order of age.