

北京密云半截峪一带太古代变质铁矿 的成因矿物学

(北京市地质局实验室) 周鴻勳

北京密云地区太古代变质岩系以其丰富的铁矿资源和变质作用的特征曾引起多方面的注意,许多地质工作者先后进行过大量工作,但对矿物学的系统研究却比较缺乏。笔者在密云水库东部及南部的小槽、芦头、半截峪等矿区对含铁岩系的辉石、石榴石及磁铁矿进行了较系统的研究,进而探讨铁矿成因及变质作用的温度、压力条件。

本区位于燕山台褶带密怀隆起的东部。出露地层为太古代密云群沙厂组及大槽组。半截峪铁矿及蔡家洼铁矿赋存于沙厂组地层中,小槽、芦头铁矿及大槽铁矿赋存于大槽组地层中。冀辽亚界长城系及部子藓县系分布于本区的东部及南部。断裂构造

发育,主要为北东向高角度正断层及逆掩断层。褶皱构造也呈北东向展布。

一、含铁岩系的岩石特征

含铁岩系的岩石可以划分为浅粒岩、变粒岩、斜长辉石岩、斜长片麻岩、辉石岩、角闪岩及磁铁矿石英岩七类。各类岩石又可按一些少量矿物和特征矿物(如黑云母、石榴石、辉石等)的出现而演化出各种变种。其中,辉石岩和角闪岩类岩石为数不多,呈几米——几十米大小不等的透镜体;其余各类岩石常呈层状、似层状及透镜状产出,多为铁矿的围岩。

岩石系列划分表

表 1

岩石系列	岩石类型	代表性岩石	各种岩石代号	岩石化学的尼格里值范围*			Cr/Ni
				Si	C	K	
角闪辉石质岩系列(I)	角闪岩类	角闪岩	2	<10	>20	0.1~0.3	6.75
	辉石岩类	辉石角闪岩	16				2.82
		角闪辉石岩	14				2.89
		角闪二辉岩	11,12,				2.45
			17,18				1.68 1.70 2.06
(石榴、角闪、黑云)斜长辉石质岩系列(II)	斜长辉石岩类	黑云石榴斜长二辉岩	5,7	100~200	15~20	0.2~0.3	4.50 3.60
	斜长片麻岩类	黑云角闪斜长二辉岩	13				3.28
		黑云辉石斜长片麻岩	8,39				7.50
		榴辉斜长片麻岩	9				4.67
		榴辉斜长角闪岩	1				—
(含榴、辉、闪、黑云)长石—长英质岩系列(III)	变粒岩类	辉石变粒岩	4	200~300	<15	0.3~0.4	6.00
	浅粒岩类	榴辉变粒岩	6				4.50
		黑云辉石变粒岩	10,40 37				9.00 —
		石榴浅粒岩	15				8.00

* 仅用尼格里值的Si、C、K三个数值来划分

各类岩石按其化学成分的尼格里值Si、C、K特征可划分为三个系列,如表1所示。从A-C-FM图(图1)和(al-alk)-C图(图2)中,结合各类岩石中微量元素含量,特征是Cr/Ni值均大于1(表1),以及岩石产状特点,不难确定角闪辉石质岩系列岩石原岩属基性熔岩或凝灰岩,其中角闪二辉岩类则为超镁铁质熔岩;斜长辉石质岩系列岩石原岩为中-基性凝灰质杂砂岩;长石-长英质岩系列岩石原岩为中性凝灰质杂砂岩或层凝灰岩。

这些原始火山岩系列,具有由拉斑玄武岩系列过渡到钙碱性系列并向碱性系列演化的趋势,是由拉斑玄武岩-安山岩-英安岩连续演化形成的钙碱性火山岩系列。晚期阶段有逐渐富钠的趋势(图3)。

综上所述,含铁岩系是一套火山-沉积岩。火山活动具多旋迴特点,每个旋迴开始是超基性熔岩喷溢,继之为基性-中性凝灰质杂砂岩,其后为中性凝灰质杂砂岩,在旋迴末期出现层凝灰岩和铁质石英砂岩。后来,经过变质作用形成现在的含铁岩系。

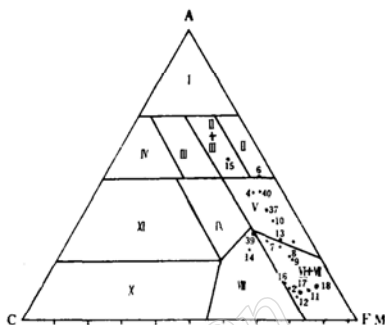


图1 A-C-FM图解

II—铁、镍、铜硅酸盐岩亚组, III—正变质的碱土-铝硅酸盐岩亚组, V—铝土-铁-铁硅质岩亚组, IV—铁-硅质岩亚组, VI—正变质的镁质的超基性岩亚组, VII—正变质的碱土-少铝土质超基性岩亚组。

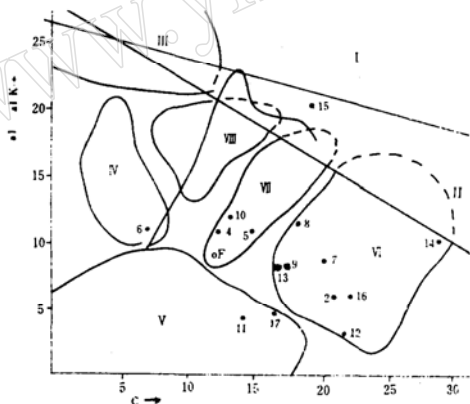


图2 al-alk对C图解

II—白云质泥灰岩, IV—中性凝灰岩, V—角斑岩, VI—玄武岩-细碧岩, VII—二长安山质凝灰岩, VIII—英安质凝灰岩。

二、含铁岩系岩石中的特征变质矿物

各类岩石矿物成分的共同特征是较普遍的含有辉石、石榴石和磁铁矿,本文着重对这三种矿物进

行研究。大量薄片观察结果表明,辉石和石榴石之间的接触边缘平滑,且都不具环带结构,是一个共生组合。

1. 辉石

(1) 辉石的种属

从各矿点不同类型岩石中共挑选出七个斜方辉

石和六个单斜辉石。对挑出的这些矿物分别进行了比重与光性测定、化学分析及X光粉晶分析,结果如表2所示。各种辉石在Ca—Mg—Fe($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}$)三角图中的投影如图4所示。图中共生二辉石间的联线具有相同趋势,表示了辉石间的平衡关系。

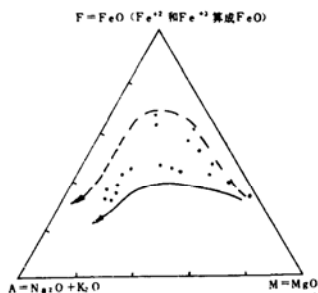


图3 含铁岩系的AFM图解*
实线示钙碱系列,虚线示拉斑系列

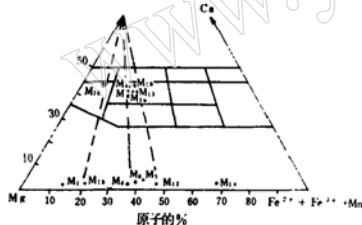


图4 辉石的化学成分在Ca—Mg—Fe($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}$)三角图中的投影⁽¹⁾

以上各种分析测试结果,按W.E.Tröger⁽¹⁾的鉴定表确定本区的斜方辉石有顽火辉石—古铜辉石的过渡种属、古铜辉石、紫苏辉石、铁紫苏辉石—尤来辉石的过渡种属;单斜辉石有透辉石性普通辉石、普通辉石和顽火透辉石。不同辉石种属的生成与产出岩石的成分关系密切。如顽火辉石—古铜辉石过渡的斜方辉石及顽火透辉石仅见于超镁铁质的角闪二辉岩中,而富铁的铁紫苏辉石—尤来辉石过渡种属则仅见于磁铁矿石岩中。

(2) 辉石的化学成分特征及

其成因意义

与一般变质岩中的辉石比较,本区斜方辉石富

Mg、Al、 Fe^{2+} 和Ca而贫Ti和 Fe^{3+} ;单斜辉石则富Mg、Al、 Fe^{3+} 和Na而贫 Fe^{2+} 、Ca和Ti⁽²⁾。

辉石中的主要成分 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 MnO 的百分含量与产出岩石的成分有关,但CaO、 TiO_2 的百分含量及Al³⁺阳离子数在两类辉石中都相当稳定。此外,各种辉石中均含有少量的 Cr_2O_3 和NiO,七个斜方辉石中 Cr_2O_3 的平均含量为0.045%,NiO的平均含量为0.053%;七个单斜辉石 Cr_2O_3 的平均含量为0.12%,NiO的平均含量为0.035%。

据Onuma和Yagi⁽³⁾等人的研究结果,钛辉石分子的含量随压力的增大而递减,当压力大于10千巴时钛辉石分子则不出现。因此,本区斜方辉石含少量钛说明生成压力不会大于10千巴。

七个斜方辉石CaO的平均含量为0.78%,一克分子中 Ca^{2+} 的阳离子数平均为0.031,变化范围为0.024—0.040。Atlas⁽²⁾实验表明,顽火辉石中 Ca^{2+} 离子的含量与温度的关系是:1100℃时为0.115,1000℃时为0.050,700℃时为0.030。据此,本区辉石生成的温度应在700—800℃。

2. 石榴石

含铁岩系中普遍存在有石榴石。大量薄片统计结果表明,石榴石在岩石中的体积百分含量一般为10%左右,个别可高达20%,少数也有1—3%。

(1) 物理性质

石榴石多为他形或半自形粒状,一般为0.1—0.5mm,一些小于0.1mm者多具{110}菱形十二面体晶形。对17个石榴石样品进行了比重、折光率和晶胞参数的测定(表3)。结果表明石榴石的这些物理性质一般与岩石和矿石中全铁的含量呈正相关关系,特别是颜色与铁含量的关系明显,杏黄色石榴石全铁含量<10%;桔红色石榴石全铁含量为10—12%;褐红色石榴石全铁含量>12%;磁铁矿石岩中石榴石的颜色最深,全铁含量也最高(30%±),这对密云铁矿地区具有典型意义。

(2) 化学成分

对10个样品进行了化学分析,结果列于表4。

化学成分及各种物理性质测定结果表明,含铁岩系中的石榴石均为富含钙铝榴石和镁铝榴石成分的铁铝榴石。这三个端元组分共占92.30—98.97%。

将石榴石的端元组分投影在三角组分图5中。所

* CHARLES S. HUTCHISON "Laboratory Handbook of Petrographic Techniques"

辉石的化学成分及物理光学性质

表 2

岩 样 号	矿物种属										单 斜 辉 石									
矿 物 编 号	小-13	小-12	小-11	小-10	小-9	小-8	小-7	小-6	小-5	小-4	小-3	小-2	小-1	小-0	小-13	小-12	小-11	小-10	小-9	小-8
分析项目	古铜辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	紫苏辉石	透辉石	透辉石	透辉石	透辉石	透辉石	透辉石
化	53.22	50.20	50.79	52.84	49.45	50.45	49.60	51.70	48.96	51.10	53.30	52.20	50.90	50.65	透辉石性	透辉石性	透辉石性	透辉石性	透辉石性	透辉石性
学	3.01	2.82	2.59	3.87	1.76	2.23	1.26	4.53	4.95	5.47	3.67	5.60	5.20	4.52	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
成	0.086	0.13	0.076	0.130	0.078	0.036	0.19	0.416	0.416	0.22	0.220	0.20	0.20	0.276	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
分	0.137	0.029	0.057	0.070	0.007	0.009	0.006	0.16	0.048	0.09	0.050	0.00	0.02	0.045	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
(%)	1.55	4.10	2.45	1.92	2.38	1.71	2.48	2.54	5.56	3.90	4.48	5.14	3.86	3.32	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	11.70	20.38	21.72	6.87	26.56	22.75	35.83	2.66	6.99	6.57	7.04	6.53	8.94	7.45	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.252	0.546	0.470	0.216	0.270	0.546	0.412	0.12	0.136	0.18	0.30	0.22	0.12	0.164	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.127	0.031	0.038	0.102	0.025	0.020	0.025	0.08	0.038	0.02	—	0.02	0.03	0.031	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	29.00	20.20	20.25	31.50	17.50	20.25	9.25	16.90	12.00	12.60	11.86	12.20	11.45	12.75	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.64	1.00	0.64	0.76	0.76	0.72	0.30	20.75	20.00	18.75	17.50	17.50	18.45	19.25	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	—	—	—	—	—	—	—	0.35	1.10	0.95	1.020	0.78	0.76	1.10	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.024	0.04	0.080	0.04	0.06	0.072	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	99.722	99.246	99.081	98.278	98.79	98.763	99.789	100.0	100.222	99.89	99.52	100.43	99.97	99.628	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
阳离子数 (以八氧为基数)	1.903	1.898	1.922	1.878	1.924	1.924	1.992	1.881	1.836	1.890	1.972	1.912	1.898	1.892	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.097	0.102	0.078	0.122	0.076	0.076	0.008	0.113	0.164	0.110	0.028	0.088	0.102	0.108	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.080	0.024	0.037	0.041	0.005	0.024	0.052	0.075	0.055	0.128	0.133	0.153	0.127	0.091	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.002	0.004	0.002	0.014	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.008	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.004	0.001	0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	0.004	0.001	0.003	0.001	0.000	0.001	0.001	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.042	0.117	0.069	0.051	0.069	0.049	0.075	0.069	0.157	0.109	0.125	0.142	0.109	0.093	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.350	0.644	0.887	0.204	0.864	0.725	1.204	0.081	0.219	0.203	0.173	0.200	0.276	0.233	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.008	0.017	0.015	0.006	0.009	0.018	0.014	0.004	0.004	0.006	0.009	0.007	0.004	0.005	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.004	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	—	0.001	0.001	0.001	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	1.546	1.127	1.142	1.670	1.015	1.051	0.554	0.917	0.571	0.695	0.654	0.637	0.710	0.770	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	0.024	0.040	0.026	0.029	0.032	0.029	0.039	0.809	0.804	0.743	0.694	0.587	0.737	0.770	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	—	—	—	—	—	—	—	0.024	0.080	0.068	0.072	0.056	0.054	0.079	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石
	—	—	—	—	—	—	—	0.000	0.000	0.001	0.004	0.002	0.002	0.004	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石	普通辉石

续表 2

岩样号	矿物编号																矿物种属															
	小-13	小-12	芦-04	小-14	半-04	小-02	芦-03	小-13	小-08	芦-04	蔡-A*	小-01	半-04	半-09	小-15	M-6	M-8	M-1	M-12	M-5	M-14	小-16	M-18	M-9			M-13	M-19	M-4			
分析项目	斜方辉石																单斜辉石															
	古铜辉石																透辉石性普通辉石															
	紫苏辉石																透辉石性普通辉石															
	紫苏辉石																透辉石性普通辉石															
	紫苏辉石																透辉石性普通辉石															
物理光学性质	颜色比重																颜色比重															
	Ng																Ng															
	Nm																Nm															
	Zv																Zv															
	CaNg																CaNg															
产出岩石	角闪二辉岩																辉石闪岩															
	辉石闪岩																辉石闪岩															

* 密云紫苏岩铁矿报告(1979), 北京市地质研究所(下页)

表 3
石榴石的物理性质与岩石、矿石中的全铁含量

岩样号	产 出 岩 石 项 目																
	小—01	小—02	小—03	小—06	小—08	小—09	小—12	半—09	芦—03	半Zk ₁₀ —03	Zk ₁₀ —307	Zk ₁₀ —49	Zk ₁₀ —63	2k ₁₀ —211	芦—05	半—03	芦—01
	榴辉斜长片麻岩	榴辉斜长片麻岩	黑云辉石变粒岩	角闪辉石													

石榴石的化学成分及端元组份

表 4

岩 样 号*		小—01	小—06	小—08	小—09	半—09	芦—01	芦—03	半Zk ₁₅ —03	Zk ₁₅ —307	Zk ₄₈ —49
矿物编号		9	13	14	15	1	6	20	3	37**	38**
化 学 成 分 (%)	SiO ₂	39.60	39.00	38.20	42.00	38.40	38.80	38.40	38.40	38.80	40.40
	TiO ₂	0.04	0.07	0.13	0.19	0.13	0.10	0.03	0.03	0.09	0.01
	Al ₂ O ₃	20.07	20.17	20.13	20.80	20.20	21.13	19.07	19.80	20.40	21.33
	Cr ₂ O ₃	0.012	0.062	0.044	0.015	0.012	0.027	0.000	0.000	0.03	0.030
	Fe ₂ O ₃	5.49	6.46	7.69	10.39	8.99	3.07	13.16	13.49	10.60	11.80
	FeO	20.07	19.47	17.37	12.34	17.37	24.86	20.37	18.72	16.02	11.61
	MnO	1.41	1.40	1.13	0.43	1.27	0.49	1.14	0.75	1.46	0.95
	MgO	5.78	5.93	5.84	7.67	6.17	7.33	2.00	2.93	5.85	8.13
	CaO	5.50	5.50	8.09	5.07	6.00	2.40	5.36	6.70	5.41	5.22
阳 离 子 数 (以 12 个 氧 为 基 数)	Si	3.096	3.052	2.981	3.143	2.990	3.037	3.029	2.974	3.005	3.028
	Al	1.850	1.860	1.851	1.835	1.854	1.949	1.772	1.808	1.862	1.884
	Cr	0.001	0.004	0.003	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002
	Ti	0.002	0.004	0.007	0.011	0.007	0.008	0.002	0.002	0.005	0.001
	Fe ³⁺	0.323	0.381	0.452	0.585	0.527	0.161	0.761	0.786	0.618	0.666
	Fe ²⁺	1.312	1.274	1.138	0.772	1.131	1.627	1.344	1.213	1.038	0.728
	Mn	0.094	0.093	0.075	0.027	0.083	0.032	0.076	0.049	0.095	0.060
	Mg	0.674	0.692	0.680	0.856	0.716	0.856	0.235	0.338	0.676	0.908
	Ca	0.461	0.461	0.670	0.406	0.501	0.202	0.453	0.556	0.449	0.419
端 元 组 分	铁铝榴石	56.60	56.45	51.11	51.26	55.04	62.40	72.69	66.90	57.15	50.81
	钙铁榴石	1.90	2.51	5.12	1.00	3.85	0.00	4.98	4.91	1.90	0.00
	钙铝榴石	14.32	13.61	18.00	15.36	13.45	6.96	11.20	14.59	13.86	14.82
	镁铝榴石	23.83	24.19	23.22	32.35	24.77	29.53	8.41	11.87	23.74	32.09
	锰铝榴石	3.31	3.23	2.55	1.03	2.88	1.12	2.72	1.73	3.35	2.13

* 产出岩石同表2,3 (下同)

** 大槽矿区样品

有的点都落在麻粒岩区,且绝大部分投影在麻粒岩区B、C亚类榴辉岩区边缘重叠部分,所以含铁岩系的石榴石是麻粒岩相条件下生成的。

3. 磁铁矿

(1) 产状

含铁岩系各类岩石中的磁铁矿是做为副矿物产出的,呈他形粒状,0.1—0.3mm,一般含量(体积百分比)为1—5%,近矿围岩可达10%左右,粒度也较大,为0.1—0.5mm,分布于其它矿物颗粒隙间呈“似海绵网铁状”。

磁铁矿石(矿石)中磁铁矿的含量一般为30%左右,很稳定,粒度较近矿围岩中者粗,为0.2—0.5mm,常聚集或断续相连的条纹或条带状。有的呈海绵网铁状向条纹状构造的过渡状态。

少量自形磁铁矿呈立方体和八面体晶形,粒度0.01—0.1mm,多包裹于石英中。

(2) 物理性质、化学成分及其

成因分意义

对8个磁铁矿样品进行了化学分析和比重、晶胞参数的测定,结果列于表5中。

由表5不难看出,岩石中磁铁矿与矿石中磁铁矿比较两者的晶胞参数无明显差别,但其端元组份的差别就比较明显了,即矿石中磁铁矿的铬尖晶体分子和铁磁铁矿分子都比围岩中磁铁矿中相应分子的含量要低。

磁铁矿中微量元素混入物的特征是形成条件的敏感指示剂。由表5可以看出磁铁矿石(矿石)中磁铁矿的Ni、Cr、Co、Cu、Ti的含量明显地小于围岩中磁铁矿的同种元素的含量。

以上这些差别说明铁矿石的铁质来源于火山熔岩或凝灰岩,但是经过搬运,其中部分微量元素被迁移了。结合前述对原岩恢复、原始火山岩系列特征的认识,可以认为密云变质铁矿的成因是以沉积作用为主的火山——沉积变质铁矿床。

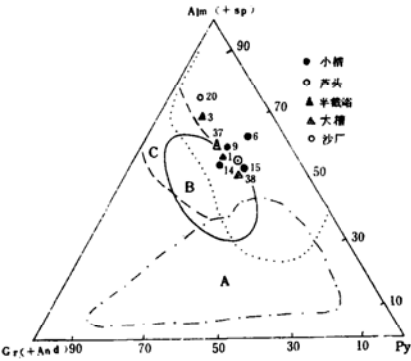


图 5 石榴石在铁铝榴石(Alm) + 锰铝榴石(sp) - 钙铝榴石(Gr) + 钙铁榴石(And) - 镁铝榴石Py三角图上的投影
麻粒岩(点线区) 榴辉岩(A、B、C区) *

* 从柏林, 1977, 《岩浆活动与变质作用》。

三、变质作用的压力、温度条件

1. 共生矿物间元素的分配

三对共生的二辉石取自不同矿区的标本, 小一 13(M₁₂, M₁₆)、芦—04(M₂, M₉)、半—04(M₁₂, M₁₃), 编号同表2。Fe²⁺、Mg、Mn在二辉石矿物对之间的分配呈良好的线性关系, 计算的分配系数列于表 6 中。

共生的斜方辉体—石榴石对与单斜辉石—石榴石对之间元素分配规律研究表明, Mg、Fe²⁺在这些共生矿物对间的分配呈良好的线性关系。计算的分配系数列于表 7 中。

由表7可以看出, Fe²⁺、Mg在各共生矿物对之间的分配系数都很稳定。在共生二辉石之间K_P值为2.0—2.6, K_F值为1.0—1.2, K_D值为0.39—0.52, 与印度Kondapalli及Madras两地^[6]麻粒岩相应的分配系数基本一致。Kondapalli的K_P值为1.8—2.3,

磁铁矿的化学成分、比重和晶胞参数

表 5

项 目		岩 样 号	小—03	半—03	芦—03	小—01	小—02	半—11*	半—07**	半—09
化 学 成 分 (%)	Cu		0.0066	0.0115	0.0018	0.0076	0.0048	0.0069	0.0010	0.0064
	Cr ₂ O		0.270	0.014	0.004	0.076	0.016	0.210	0.009	0.193
	Co		0.0077	0.0048	0.0042	0.0062	0.0065	0.0099	0.0062	0.0090
	Ni		0.0210	0.0060	0.0045	0.0140	0.0085	0.0130	0.0100	0.0240
	CaO		0.37	0.68	0.13	0.16	0.20	0.94	0.14	1.69
	MgO		0.67	1.21	0.14	0.45	0.56	1.26	0.46	1.89
	FeO		29.85	23.86	29.94	30.10	29.21	26.63	29.16	26.17
	Fe ₂ O ₃		61.89	59.36	68.73	65.21	63.84	63.14	66.13	54.65
	Al ₂ O ₃		1.26	2.01	0.11	1.00	1.24	1.59	1.38	2.20
	TiO ₂		2.45	0.52	0.12	1.02	1.21	1.77	0.68	2.46
	MnO		0.31	0.08	0.02	0.12	0.13	0.24	0.12	0.13
比 重			—	—	5.02	—	5.03	5.07	—	—
晶 胞 参 数			8.400	8.390	8.382	8.398	8.396	8.387	8.396	8.400
晶 胞 组 份 (%)	FeTiO ₃		5.42	1.36	0.27	2.24	2.72	4.18	3.09	5.94
	FeCr ₂ O ₄		0.41	0.03	0	0.12	0.03	0.54	0.04	0.32
	FeFe ₂ O ₄		90.25	90.29	98.89	95.03	93.92	87.40	98.09	85.58
	MgFe ₂ O ₄		1.05	8.32	0.84	0.47	2.01	7.88	2.78	2.57
	MgAl ₂ O ₄		2.86	0	0	2.11	1.32	0	0	5.57

• 角闪岩, •• 辉石磁铁矿石岩

共生二辉石中 Fe^{2+} 、 Mg 、 Mn 的分配系数 表 6

编 号	斜方辉石 (opx)			单斜辉石 (cpx)			K_F^*	K^{**}	K_D^{***}
	Fe^{2+}/Mg		$\text{Mn}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})$	Fe^{2+}/Mg		$\text{Mn}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})$			
小—13	M_{15}	0.226	0.0042	M_{16}	0.088	0.0040	2.6	1.0	0.39
芦—04	M_8	0.602	0.0081	M_9	0.292	0.0066	2.1	1.2	0.48
半—04	M_{12}	0.851	0.0048	M_{13}	0.438	0.0043	2.0	1.1	0.52

- $K_F = (\text{Fe}^{2+}/\text{Mg})_{\text{opx}} + (\text{Fe}^{2+}/\text{Mg})_{\text{cpx}}$
- • $K_I = \text{Mn}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}) + \text{Mn}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})_{\text{cpx}}$
- • • $K_D = X_{\text{MnSiO}_2}/1 - X_{\text{MnSiO}_2} + 1 - X_{\text{MgCaSi}_2\text{O}_6}/X_{\text{MgCaSi}_2\text{O}_6}$

共生辉石—石榴石中 Fe^{2+} 、 Mg 的分配系数 表 7

编 号	Fe^{2+}/Mg						K_D^*	
	石榴石 (gar)		斜方辉石 (opx)		单斜辉石 (cpx)		$\text{cpx} \rightarrow \text{gar}$	$\text{opx} \rightarrow \text{gar}$
小—01	9	1.947			M_{19}	0.291	6.69	
小—08	14	1.668			M_{18}	0.326	5.12	
芦—03	20	5.688	M_{14}	2.173				2.62
芦—04	M_{10}	1.614	M_8	0.601	M_9	0.291	5.55	2.69
半—04	M_{11}	3.283	M_{12}	0.851	M_{13}	0.438	7.40	3.86
半—09	1	1.576			M_{14}	0.329	4.79	
蔡—A		1.718				0.265	6.48	

- $K_F = \text{Fe}^{2+}/\text{Mg}_{(\text{gar})} + \text{Fe}^{2+}/\text{Mg}_{(\text{opx或cpx})}$

计算所得温度、压力数值 表 8

样 号	P.S.Dahl法		C.T.Herzberg法	
	$t(^{\circ}\text{C})$	P (千巴)	$t(^{\circ}\text{C})$	P (千巴)
小—01	700	7		
小—02	800	7		
小—08				
小—13			780	9
芦—03	850	7		
芦—04	745—780	7	810	9
半—04	700—745	7	820	9
半—09	780	7		
蔡—A	700	7		
平 均	755	7	803	9

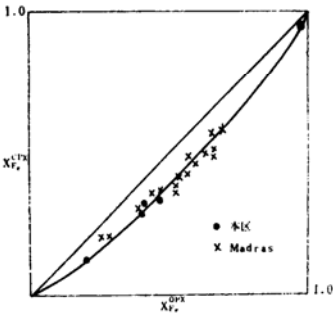


图 6 辉石 $X_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{cpx}}$ 对 $X_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{gar}}$ 的标绘图
对角线是 Fe 的等摩尔分数线, 曲线是麻粒岩相条件下平衡的辉石组分的 Saxena (1968) 等摩尔分数线。

Kf值为1.1—1.4; Madras的Kp值为1.7—2.0, Kf值为0.8—1.7。将共生二辉石的 $x_{Fe}^{Fe^{2+}}$ 对 $x_{Fe}^{Fe^{3+}}$ 作图(如图6所示),所有的点都落在麻粒岩相条件下平衡的辉石组分的Saxena⁽³⁾等摩尔分数线上,同时在图中标出了Madras麻粒岩二辉石对⁽⁴⁾的投影点,以便比较。

共生的opx—gar矿物对和cpx—gar矿物对,各自的 Fe^{2+} 、Mg分配系数 K_D 值分别为2.62—3.86和5.12—7.40。美国Montana州Ruby地区⁽⁵⁾相应矿物对间的分配系数 K_D 值分别为3.52—5.79和6.48—9.08,与本地区结果相近,但稍偏高。

以上分配系数的研究说明本区的两种辉石和石榴石是在麻粒岩相条件下生成的,达到了物理化学平衡,基本呈理想固溶体状态。这些分配系数与矿物、岩石成分无关,只与形成时的温度、压力有关。因此,我们可以说密云群大槽组的小槽、芦头铁矿与沙厂组的半截峪、蔡家洼铁矿含铁岩系皆属麻粒岩相,其变质作用的P—T条件相同。

2. 变质作用的P—T条件

为计算变质作用的P—T条件,我们采用了Pöter S. Dahl⁽⁶⁾石榴石—单斜辉石地质温度计以及C. T. Herzberg⁽⁷⁾辉石地质温度计和地质压力计法。计算所得本区变质作用的温度和压力综合如表8所示。

由表8可以看出P. S. Dahl法与C. T. Herzberg法所得结果基本一致,分别为755℃、7千巴和803℃、9千巴。所以,本区变质作用的温度、压力数值采

用这两种方法的结果,即温度为750—800℃,压力7—9千巴。

四、几点认识

1. 本区铁矿床的成因,是以沉积作用为主的火山—沉积变质铁矿床。

2. 密云群大槽组与沙厂组皆属麻粒岩相,其变质作用的温度为750—800℃,压力7—9千巴,属中压相系。

(文中所有化学分析结果皆为北京市地质局实验室分析)

参考文献

- (1) Tröger W. E., 1971, Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale.
- (2) Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman J., Rock-Forming mineral. P. 34 and Table 4, 9.
- (3) Onuma, K. and Yagi, K. 1971. Min. Mag. 38. 471—480.
- (4) Leelanadam C., Ph. D (Osmnia), Ph. D (Cantab), 1967. Min. Mag. Vol. 36, No. 278, P. 153.
- (5) Saxena, S. K., Ghose S., 1971, The American mineralogist. Vol. 56, P. 532
- (6) Peter S. D. 1980 The American mineralogist, Vol. 65, No. 9—10
- (7) Herzberg C. T., 1978, Geochim. Cosmochim., Vol. 42, P. 945—960.

A Genetic Mineralogic Study on the Archaean Metamorphic Iron Deposits in Banjieyu Region, Miyun District, Beijing

Zhou Hongxun

Abstract

The systematic determinations of the chemical compositions, physical properties, crystal structures and the fabric characteristics of 37 samples of pyroxene, garnet and magnetite collected from the iron-bearing formation have

(下转第189页)

(上接第 205 页)

been made. On the basis of these data connecting with the nature of the primary rocks it may be considered that the iron deposits in this district are metamorphic volcanosedimentary iron deposits.

The distribution coefficients of Fe^{2+} , Mg, Mn between these minerals are nearly constant. In comparison with the distribution coefficients of Koudapalli granulite, Madras granulite and Ruby granulite, we found that they are very similar. It may be concluded that physicochemical balance was attained in the process of metamorphism and the metamorphic facies in the district belongs to the granulitic facies.

The P-T conditions of metamorphism in this district have been determined by using four methods of pyroxene geothermometer. The temperature of metamorphism was about $750-800^{\circ}\text{C}$. and the pressure was about 7-9 Kb.

更正:

本刊1983第2卷第1期第62页表2中应为 Mo^{6+} , Te^{6+} , Se^{6+} , Ge^{6+} 第64页第5行“ En^{2+} ”中应为 Eu^{2+} 。又76页右下列2行中“在兹刊”应为“庄兹利”第2期131页右9行“Ti(Ⅲ)含量→氧化”应为“Ti(Ⅲ)含量小且比Fe(Ⅱ)易氧化”。