

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

山东某铁矿区燕山期侵入杂岩的造岩矿物和蚀变矿物特征

董振信

(山东省地质局实验室)

一、侵入杂岩岩石、矿物特征

(一) 杂岩的阶段划分

这个燕山晚期杂岩体, 主要侵入于山东某铁矿区奥陶纪地层, 少数与寒武系和石炭-二叠系呈侵入接触关系。经各方面调查研究, 它具有多阶段侵入活动特点, 根据穿插关系主要可分五个期次。岩石类型及产出地点见下表(表 1)。各阶段侵入的岩浆岩往往在空间分布上密切伴生, 构成复式岩体, 其中以第一阶段岩浆活动较为强烈而广泛, 它形成各复式岩体的主体。

表 1

阶 段	主 要 岩 石 类 型	产 出 地 点	出 露 面 积
V	斑状花岗闪长岩	铁 铜 沟	1Km ²
IV	透辉正长闪长岩 透辉正长岩 石英二长岩、正长闪长岩 正长闪长岩、石英二长岩、透辉闪长岩	铁 铜 沟 金 牛 山 楠 峪 矿 山	2.35Km ²
III	闪长玢岩 含石英闪长玢岩 斑状石英正长闪长岩	铁 铜 沟 金 牛 山 楠 峪	4.25Km ²
II	角闪闪长玢岩 斑状角闪闪长岩	金 牛 山 楠 峪	3.25Km ²
I	辉石闪长岩、黑云母闪长岩、辉长苏长岩 含黑云母闪长岩、辉长闪长岩、辉长苏长岩 角闪辉长岩、辉长闪长岩、闪长岩 黑云母闪长岩、辉石闪长岩	铁 铜 沟 金 牛 山 楠 峪 矿 山	31.8Km ²

(二) 各阶段岩石、矿物和岩石化学特征及演化特点

1. 岩石特征与演化特点

第一阶段: 岩石主要类型为闪长岩类——黑云母闪长岩、辉石闪长岩(图版 I, 照片 1)及辉长闪长岩; 次为辉长岩类——角闪辉长岩、辉长苏长岩(图版 I, 照片 2)、橄榄辉长苏

长岩等。镜下呈半自形粒状结构、辉绿结构、反应边结构及聚晶结构等。主要矿物成分：斜长石（47.38—73.37%）、普通角闪石（8.73—28.20%）、普通辉石（0.12—24.53%）、黑云母（0.23—11.69%）、正长石（0.12—5.09%）、石英（0.08—5.97%）、顽火辉石-古铜-紫苏辉石（0—10.68%）、橄榄石（0—16.66%）。

第二阶段：岩石主要为斑状角闪闪长岩（图版I，照片3）、角闪闪长玢岩等，斑状及似斑状结构明显，斑晶主要由普通角闪石组成。基质为他形粒状结构。岩石由斜长石（46.86—68.62%）、普通角闪石（30.57—50.20%）、正长石（0.05—4.91%）及石英（0.03—1.19%）组成。

第三阶段：岩石主要为斑状石英正长闪长岩（图版I，照片4）、闪长玢岩、含石英闪长玢岩等。岩石结构呈斑状或似斑状，斑晶由斜长石组成。基质为他形粒状及文象结构。矿物成分：斜长石（48.13—71.01%）、普通角闪石（5.29—16.65%）、正长石（5—33.86%）、石英（4.20—11.09%）、黑云母（0—0.24%）。

第四阶段：岩石主要为正长闪长岩、石英二长岩、透辉正长闪长岩、透辉二长岩等。结构以半自形粒状结构为主，次为环边交代结构。矿物成分：斜长石（32.39—72.70%）、正长石（包括钠正长石）（4.80—48.69%）、透辉石（0.39—19.80%）、普通角闪石（0.71—

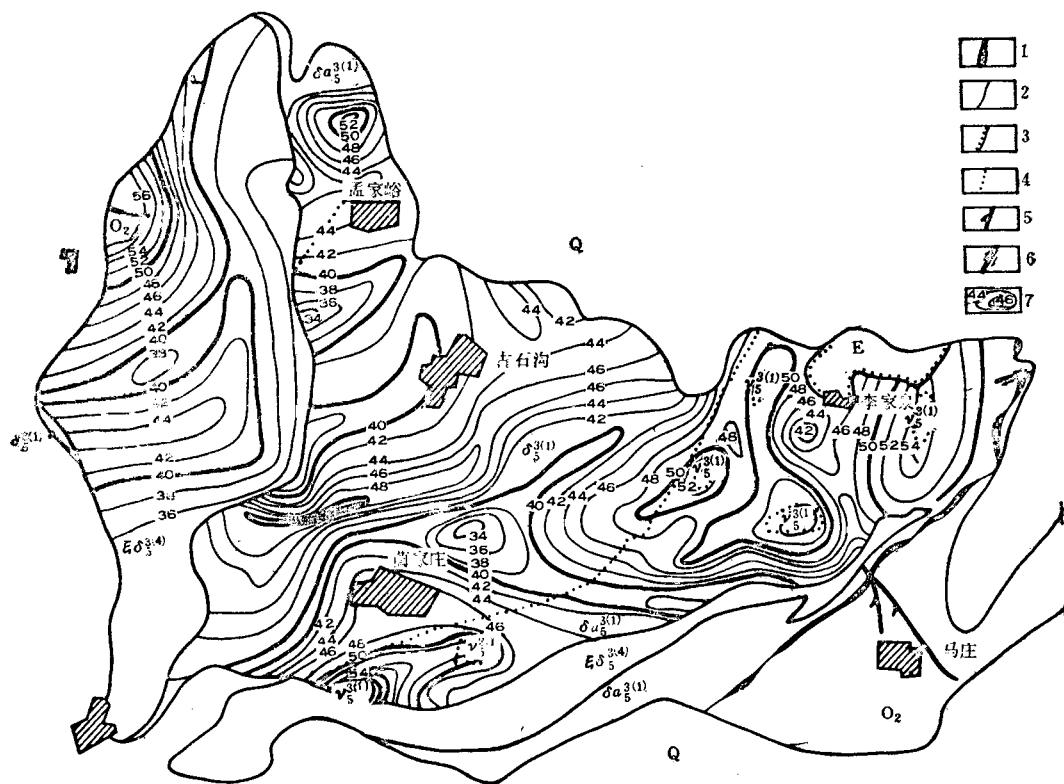


图1 矿山岩体斜长石牌号等值线图（据124个费氏台测定数据）

Q 第四系；E 第三系；O₂ 中奥陶世灰岩； $\delta\delta^{(4)}$ 正长闪长岩； $\delta\delta^{(3)}$ 含黑云母闪长岩； $\delta a_2^{(1)}$ 辉石闪长岩； $\nu_3^{(1)}$ 辉长岩；1. 矿体位置；2. 地质界线；3. 不整合界限；4. 岩体相变界限；5. 张扭性断层；6. 平推断层；7. 斜长石牌号等值线。

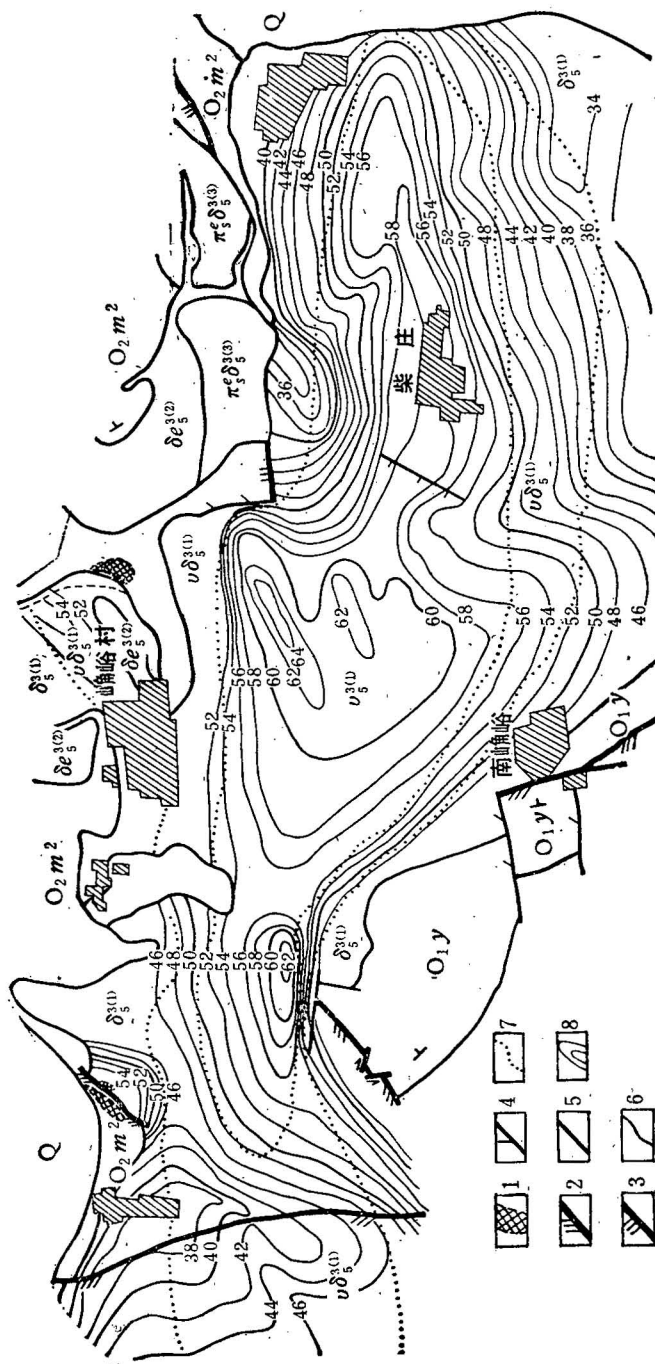


图2 峭峪岩体斜长石牌号等值线图(据116个费氏台测定数据)

第四系: O_{4m} 中奥陶马家灰岩; O_4 沱里组白云质灰岩; $\nu\delta_1^{(1)}$ 辉长闪长岩; $\delta_1^{(1)}$ 闪长岩; $\delta_2^{(1)}$ 角闪闪长岩; $\pi_2^{(1)}$ 斑状会石英正长闪长岩; $\mu_1^{(1)}$ 二长岩; Mb 大理岩 1. 矿体投影位置; 2. 压扭性断层; 3. 压性断层; 4. 张性断层; 5. 性质不明断层; 6. 地质界限; 7. 岩体相变界线; 8. 斜长石牌号等值线。

16.68%)、石英(0.89—16.48%)、黑云母(0—2.5%)。

第五阶段:岩石为斑状花岗闪长岩,呈似斑状结构,基质为半自形粒状结构,他形粒状结构。斑晶主要由条纹长石组成,其大小一般在5—20毫米。基质矿物一般大小在0.2—2毫米左右。矿物成分:斜长石(41.53—43.02%)、石英(22.55—29.88%)、钠正长石及条纹长石(15.20—30.69%)、黑云母(1.53—2.38%)、普通角闪石(0.24—4.41%)、钠闪石(0—0.15%)。

总的看,从早到晚,岩石的暗色矿物逐步渐少,颜色由深到浅;岩性由基性、中性、中偏碱性到酸性;结构上由等粒变为不等粒。

2. 主要造岩矿物特征及其演化特点

斜长石:(1)成分:从早到晚,An值整体上看是逐渐降低的。第一阶段的基性岩,斜长石的An值变化于50—80,一般An50—60;中性岩中,An30—50,一般An37—47。第二阶段的岩浆岩,An25—45,一般An32—43。第三阶段的岩浆岩,An30—50,一般An32—40。第四阶段的岩浆岩,可能由于受围岩同化混染作用的影响,斜长石An值有明显偏高现象,An35—60,一般An35—55。第五阶段的岩浆岩An值最低,An值为10—30。但必须指出,在同一侵入阶段的不同岩体中及同一岩体不同部位中,斜长石成分也是不尽相同的。如矿山岩体由于受强烈同化混染作用影响,斜长石牌号从岩体中心向外,有明显升高现象(图1),而嵯峪岩体除局部受同化混染作用强烈的含矿地段外,从岩体中心向边缘,斜长石牌号有规律地降低(图2)。

(2)环带构造:本区岩浆岩中,斜长石的环带构造较常见,但在不同阶段、不同岩石类型中的斜长石环带构造发育程度是不相同的,一般地说,在本区第一至第四阶段的中性、中偏基性、中偏碱性的岩石中广泛发育,而第一阶段的基性岩,尤其是第五阶段的斑状花岗闪长岩中的斜长石环带构造则少见。从费氏台测定结果来看,其环带类型主要有三种:(一)正环带类型(包括:正常波动型、正常脉动型、韵律式正常脉动型、正常波动和脉动混合型),各环之间为逐渐过渡或有较明显的晶体界线,它反映岩浆结晶过程中,由于本身的物理化学条件的变化而引起岩浆由基性向酸性方向演化的特征;(二)反环带类型主要见于同化混染强烈的岩体和部位;(三)正反环带混合类型(包括:正反脉动混合型、韵律式正反脉动混合型),这类环带构造的特点是从斜长石的中心向外,有跳跃式的升高或降低现象。这类环带也往往见于同化混染较强烈的岩体和部位的斜长石中。

(3)双晶构造:在各类岩浆岩的斜长石中,广泛地发育着双晶,但在不同阶段的岩浆杂岩中以及同一阶段不同岩体与部位中其斜长石双晶构造类型是有差异的。从费氏台双晶法测定的大量资料来看,第一阶段的基性—中性岩浆岩中,斜长石双晶类型主要为钠长石双晶、卡氏双晶及卡-钠联合双晶,且常见其三联晶。在一些同化混染强烈的岩体边缘相内,偶见有钠长-阿拉双晶、斜坡(左)双晶等类型。而第二、第三阶段的中性岩中,斜长石双晶类型除了钠长石双晶、卡氏双晶及卡-钠联合双晶外,还常见到钠长-阿拉双晶。第四、第五阶段的中偏碱性及酸性的岩浆岩中,斜长石双晶类型则以钠长-阿拉双晶占优势。

可见,从早到晚,斜长石双晶类型由以钠长石双晶、卡氏双晶、卡-钠联合双晶类型占优势逐渐变为钠长-阿拉双晶占优势。同时,在同化混染作用强烈地段的斜长石双晶类型比较复杂。

(4) 有序度: 根据矿山、崮峪两岩体斜长石测定的数据, 其斜长石有序度变化范围为 0.25—1.0, 而矿山岩体比崮峪岩体中斜长石有序度变化范围大得多, 这可能是与矿山岩体遭受强烈的同化混染作用, 致使成岩过程中物理化学条件变动较大有关。

(5) 钠化: 在早期斜长石的周边、解理缝、双晶纹内, 往往见到钠化现象, 它是成岩晚期的一种与成矿关系十分密切的碱质交代作用。在变化的单色光下, (010) 面上, 用油浸法测定折光率知 An 值为 5—20, 属钠-更长石。钠-更长石与早期斜长石接触界线呈不规则状, 不具双晶和环带, 形态亦不规则。

钾长石: 本区钾长石为正长石和钠正长石, 其成分变化于 $Or_{100}Ab_0$ — $Or_{60}Ab_{40}$ 范围内。第一阶段侵入体中的钾长石为正长石, $2V(-) = 60—70^\circ$, 它往往沿斜长石组成的“三角架”进行充填交代, 斜长石有被熔蚀现象。第二阶段的岩浆岩, 钾长石亦为正长石, $2V(-) = 72—80^\circ$, 产于岩石基质中。第三阶段侵入岩中, 钾长石为正长石, $2V(-) = 60—80^\circ$, 它往往出现于岩石基质中。第四阶段侵入岩中, 钾长石主要为钠正长石 $2V(-) = 32—71^\circ$, 成分变动大。常沿斜长石的周边进行交代, 形成环边交代结构, 有时, 还见有环带构造, 各环带的 $2V$ 大小不一, 从总的情况来看, 由环带中心向外, $2V$ 有变大趋势。第五阶段侵入岩中, 钾长石为钠正长石, $2V(-) = 50—82^\circ$, 结晶粗大, 其间往往分布着规则排列的斜长石。

斜方辉石: 该矿物主要见于本区基性岩及部分中偏基性的岩石中, 呈半自形—自形柱状及他形柱粒状, $2V(+) = 53—88^\circ$ 及 $2V(-) = 54—84^\circ$, $N_m = 1.6530—1.6901$, 属顽火-古铜-紫苏辉石, 但大部属顽火-古铜辉石。

单斜辉石: 按其种属主要有两种: 普通辉石和透辉石, 前者主要见于第一阶段侵入岩内, 后者见于第四阶段侵入岩内。普通辉石: $C \wedge Ng = 40—53^\circ$, $2V(+) = 50—66^\circ$, 一般 $2V(+) = 50—58^\circ$, 双晶常见, 双晶结合面为 (100)。透辉石: 呈半自形柱状, $C \wedge Ng = 38—48^\circ$, $2V(+) = 60—66^\circ$, 双晶亦常见, 双晶结合面为 (100), 化学成分中含钙石分子 $Ac \approx 7\%$ 。

普通角闪石与钠闪石: 岩浆侵入早期阶段的角闪石为普通角闪石, 而晚期(第五阶段)为钠闪石。在岩石中与普通辉石或透辉石连生者, 呈他形不规则状。而单独产出者, 为半自形—自形柱状晶, 且常具双晶。 $C \wedge Ng = 12—25^\circ$, $2V(-) = 63—89^\circ$ 。其间常含有磁铁矿及斜长石包体。钠闪石: 呈蓝色—淡黄色, 自形长柱状晶。 $2V(-) = 65^\circ$, 有时见其沿普通角闪石边缘进行交代。

黑云母: 颜色呈暗褐—浓黄色、棕褐—黄色及浅棕褐—浅黄色。他形、半自形及自形片状晶, $N_m = 1.6454—1.6602$, $2V(-) = 10—26^\circ$ 。从岩浆侵入阶段的早期至晚期, 颜色由深变浅, 自形程度变好, 而折光率和 $2V$ 有降低趋势。

3. 副矿物特征及演化特点

本区杂岩体中的副矿物为锆石、榍石、磷灰石、磁铁矿组合。值得注意的是, 早期侵入的岩浆岩中, 锆石晶形复杂, 主要由 {110}、{100} 柱面及 {131}、{311}、{111} 锥面组成的聚形。晚期晶形简单, 主要为 {100} 柱面及 {111} 锥面组成的聚形。同时, 在同化混染作用强烈的地段其晶形复杂。

4. 岩石化学演化特点

表 2 本区燕山期不同阶段岩浆侵

阶段	产 地	岩 石 名 称	样品 个数	化 学 组							
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
I	矿山岩体内部相	含黑云母闪长岩	4	55.45	0.58	15.27	6.69	2.99	0.13	6.22	5.78
	矿山岩体边缘相	辉石闪长岩	7	54.13	0.64	14.80	5.77	3.62	0.13	6.11	7.40
	嵛嵛岩体内部相	角闪辉长岩	5	50.95	0.68	15.53	4.14	6.17	0.17	7.15	9.02
	嵛嵛岩体过渡相	辉长闪长岩	2	57.40	0.66	16.29	3.59	3.92	0.10	3.91	5.56
	嵛嵛岩体边缘相	闪 长 岩	1	61.88	0.60	18.03	1.43	1.58	0.06	2.13	2.52
	金牛山岩体	辉长闪长岩	1	58.30	0.53	15.35	4.30	2.33	0.10	5.13	4.79
		黑云母闪长岩	1	56.80	0.48	13.59	3.94	3.03	0.08	8.01	4.39
	铁铜沟岩体	辉长苏长岩	2	48.95	0.69	14.14	2.54	8.48	0.20	11.58	10.59
		闪 长 岩	2	56.42	0.71	16.75	4.18	4.02	0.11	3.81	5.94
		平 均		55.59	0.62	15.53	4.06	4.02	0.12	6.01	6.22
II	嵛嵛岩体	角闪闪长岩	2	53.48	0.60	13.88	3.20	4.63	0.12	9.22	5.57
	金牛山岩体	角闪闪长玢岩	2	60.63	0.46	15.56	2.47	2.54	0.07	4.90	3.44
		平 均		57.06	0.53	14.72	2.84	3.58	0.10	7.06	4.50
III	嵛嵛岩体	斑状含石英正长闪长岩	1	64.66	0.35	16.53	1.73	2.30	0.06	1.92	2.20
	金牛山岩体	含石英闪长玢岩	1	60.74	0.39	15.68	2.26	3.64	0.09	3.78	3.65
	铁铜沟岩体	闪长玢岩	1	57.72	0.58	16.08	3.04	5.15	0.12	4.01	6.04
		平 均		61.04	0.44	16.10	2.34	3.70	0.09	3.24	3.93
IV	矿山岩体	正长闪长岩	8	60.53	0.51	15.58	2.48	2.97	0.07	3.56	5.15
	嵛嵛岩体	石英正长岩	1	68.58	0.33	16.67	0.65	1.53	0.03	0.95	1.18
		平 均		64.56	0.42	16.12	1.52	2.25	0.05	2.26	3.16
V	铁铜沟岩体	斑状花岗闪长岩	3	69.86	0.22	14.35	0.64	2.98	0.03	1.04	1.12

从早到晚, (一) SiO₂ 逐渐增加, 反映了 S 值及 Q 值有规律的增加 (表 2); (二) Fe₂O₃、FeO、MnO 及 MgO 有减少趋势, B 值表现逐渐变小; (三) Na₂O 及 K₂O 是逐渐增加的, 即 a 值也是逐渐增加的, 在查氏图碱性面上的向量点逐渐远离 SB 轴 (图 3)。K/Na + K 是逐渐增加的, 说明 K₂O 比 Na₂O 随着岩浆演化而增加的幅度大; (四) TiO₂ 有逐渐降低趋势。

5. 异种矿物晶体的规则连生

本区每一阶段的岩浆岩中, 都有一些异种造岩矿物构成规则连生, 但由于不同阶段的岩浆岩中矿物成分的差异, 呈规则连生的矿物组合类型也不一样。从费氏台测定资料来看, 呈规则连生的矿物, 在结晶和光学方位上都有定向排列特点, 但由于呈规则连生的矿物种类不同, 其定向排列情况, 也不相同, 兹择要分述如下:

斜方辉石与普通辉石: 两者在相应的结晶方位的排列上, 一般有两种情况发生: 两者的 a 、 b 、 c 同名轴相应靠近, 或斜方辉石的 a 、 b 、 c 与普通辉石的 b 、 a 、 c 结晶轴相应靠近 (图 4, 表 3)。这些现象的产生是与两者同属一链状结构类型, 特别是与两者有相近似的晶胞参数和面网密度有关系, 因斜方辉石的 a_0 、 b_0 、 c_0 分别与普通辉石的 $2a_0$ 、 b_0 、 c_0 相

人杂岩化学成分与查氏数值特征表

分 (%)						查 氏 数 值 特 征										
Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	总和	a	b	c	s'	f'	m'	c'	a	n	Q	
3.12	1.58	3.40	0.29	0.03	101.53	9.2	20.8	5.7	64.2	42.1	51.0	7.0		74.6	4.4	
3.40	1.93	2.43	0.33	0.42	101.11	10.2	22.9	4.8	62.0	36.6	44.9	18.5		73.3	-1.1	
2.93	0.84	2.40	0.39	0.07	100.44	7.7	26.4	6.6	59.2	36.6	46.5	17.0		83.9	-3.5	
4.07	2.42	2.16	0.38	0.07	100.53	12.6	15.8	4.8	66.8	44.3	42.5	13.2		72.5	3.6	
7.99	0.69	2.42	0.41	0.08	99.82	18.8	6.8	2.8	71.7	41.8	54.1	4.1		94.9	2.9	
3.29	2.09	4.21	0.44	0.00	100.86	10.5	15.7	5.3	68.5	38.8	56.7	4.5		70.7	10.7	
4.57	1.10	4.29	0.35	0.00	100.66	11.5	21.5	3.2	63.8	28.3	61.7	10.0		86.0	1.4	
1.73	0.25	1.31	0.36	0.16	100.98	4.0	34.4	7.1	54.5	29.4	55.1	15.5		90.0	-6.1	
3.86	2.16	2.25	0.38	0.10	100.69	11.9	16.0	5.6	66.4	47.6	41.0	11.4		72.9	3.5	
3.88	1.45	2.80	0.74	0.10	100.73	10.8	20.3	5.0	63.9	36.8	50.3	12.8		79.7	1.2	
3.72	1.86	4.12	0.36	0.06	100.82	10.6	26.1	3.7	59.6	26.7	62.3	10.9		75	-5.7	
6.44	0.72	2.83	0.34	0.00	100.40	14.8	13.9	2.9	68.4	32.9	58.5	8.7		93.6	4.3	
5.08	1.29	3.48	0.35	0.03	100.61	12.9	19.6	3.2	64.2	29.1	59.9	11.0		85.4	-0.5	
5.81	2.97	2.11	0.22	0.08	100.94	17.1	7.1	2.4	73.4	52.4	44.8	12.9		74.6	10.2	
5.28	2.01	2.32	0.29	0.13	100.26	14.5	12.9	3.3	69.4	41.8	49.2	9.0		80.2	6.4	
3.80	2.41	1.43	0.39	0.30	101.07	11.9	16.0	5.0	67.1	48.1	42.9	9.1		70.9	5.4	
4.96	2.46	1.96	0.30	0.17	100.75	14.5	12.1	3.6	69.8	44.9	44.4	10.1		75.5	7.0	
4.44	3.68	1.51	0.33	0.43	101.24	14.9	14.2	2.8	68.0	34.9	41.5	23.6		64.9	3.5	
8.02	0.55	1.59	0.18	0.10	100.36	18.0	4.5	1.4	76.1	42.6	33.8		23.5	95.6	14.8	
6.23	2.12	1.55	0.26	0.27	100.80	16.4	8.5	2.4	72.6	40.2	44.1	15.7		82.0	10.1	
4.42	4.21	1.13	0.20	0.24	100.44	15.4	5.7	1.3	77.6	58.8	29.4		11.8	61.2	23.1	

近似; 斜方辉石的 a_0 、 b_0 、 c_0 与普通辉石的 $2b_0$ 、 a_0 、 c_0 也相应近似。由于它们光学轴对结晶轴的依附关系, 两者的光学轴亦随结晶轴的定向排列而有规则地分布。

斜方辉石与普通角闪石: 两者的结晶和光学要素, 相互之间, 亦表现一定的排列方式, 其一是: 它们的 a 、 b 、 c 同名结晶轴及斜方辉石的 Ng 、 Nm 、 Np 与普通角闪石的 Ng 、

表 3 斜方辉石与普通辉石规则连生费氏台测定结果

斜 方 辉 石				普 通 辉 石		
	I	II	# ₁ (210)	I	II	# ₂ (110)
N	9.5°	277°	80°	331°	35°	99°
H	30°(W)	4°(W)	30°(E)	32.5°(W)	34°(E)	3°(E)
I	Ng	Nm(22°N)		Np	Ng	
$2V(+) = 76^\circ$				$C \wedge Ng = 36^\circ$		
$a_1 \wedge b_2 42^\circ$		$c_1 \wedge c_2 38^\circ$		$Np_1 \wedge Ng_2 32^\circ$		
$Ng_1 \wedge Np_2 32^\circ$		$Nm_1 \wedge Nm_2 42^\circ$				

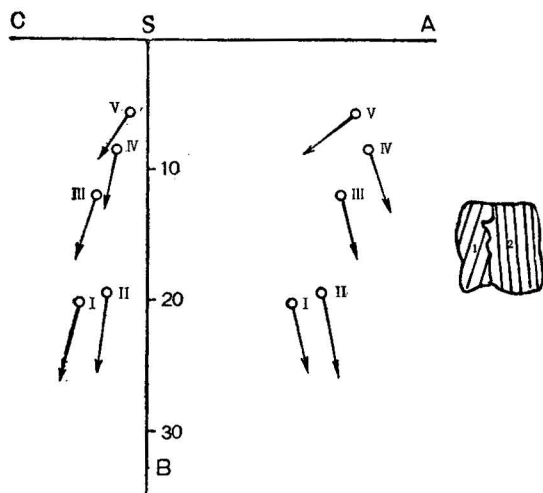


图3 燕山期不同阶段岩浆侵入体岩石化学成分查氏图

I 第一阶段 (25 个样), II 第二阶段 (4 个样),
III 第三阶段 (3 个样), IV 第四阶段 (9 个样),
V 第五阶段 (3 个样)

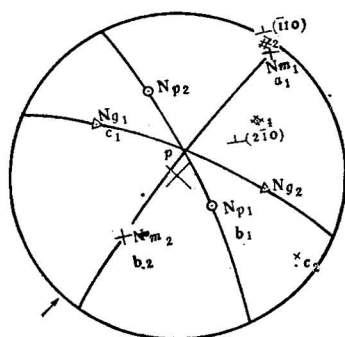


图4 斜方辉石与普通辉石规则连生

1. 斜方辉石,
2. 普通辉石

N_p 、 N_m 光学轴相应靠近 (表 4); 斜方辉石的 a 、 b 、 c 与普通角闪石的 b 、 a 、 c 结晶轴及与之相应地斜方辉石与普通角闪石的 N_g 、 N_m 、 N_p 同名光学轴分别相靠近。造成这两种结晶要素定向排列的原因是: 斜方辉石的 a_0 、 $2b_0$ 、 c_0 与普通角闪石的 $2a_0$ 、 b_0 、 c_0 相近似; 斜方辉石的 a_0 、 b_0 、 c_0 与普通角闪石的 b_0 、 a_0 、 c_0 , 相近似。它们光学轴的定向排列特征, 是由斜方辉石和普通角闪石的光性方位 ($C \wedge N_g = 12^\circ - 25^\circ$, $b // N_m$, $a \wedge N_p = 10^\circ$) 决定的。

表4 斜方辉石与普通角闪石规则连生费氏台测定结果

斜 方 辉 石			普 通 角 闪 石			
	I	II	I	II	$\#_2(\bar{1}10)$	$\#_2(\bar{1}\bar{1}0)$
N	270°	199°	281.5°	12°	344.5°	40.5°
H	50°(W)	15°(E)	2°(E)	23°(E)	5°(E)	3°(E)
I	N_g	$N_m(2^\circ S)$	$N_m(27^\circ S)$	N_p		
$2V(+) = 78^\circ$			$C \wedge N_g = 19^\circ$ $2V(-) = 80^\circ$			
$b_1 \wedge b_2 38^\circ$			$N_{p1} \wedge N_{m2} 38^\circ$			
$N_{g1} \wedge N_{g2} 48^\circ$			$c_1 \wedge c_2 39^\circ$			
			$N_{m1} \wedge N_{p2} 39^\circ$			

单斜辉石与普通角闪石: 普通辉石或透辉石被普通角闪石交代而构成连生体 (图版 I, 照片 5), 其结晶和光学要素的定向性, 也是很明显的, 一般有二种情况: (1) 单斜辉石与普通角闪石的 a 、 b 、 c 同名结晶轴及相应地 N_g 、 N_m 、 N_p 同名光学轴分别靠近, 无论从它们的横切面 (表 5), 还是纵切面上, (表 6) 的测定结果来看, 都有此种现象; (2) 单斜辉石的 a 、 b 、 c 与普通角闪石的 b 、 a 、 c 结晶轴分别相近, 与之相应地单斜辉石的 N_g 、 N_m 、

Np 与普通角闪石的 Ng、Np、Nm 光学轴分别相靠近。产生两者结晶要素有规则排列的原因,不仅是两者同属链状构造类型和相同的晶系,而更重要的是单斜辉石的 a_0 、 $2b_0$ 、 c_0 与普通角闪石的 a_0 、 b_0 、 c_0 分别相似及单斜辉石的 $2a_0$ 、 b_0 、 c_0 与普通角闪石的 b_0 、 a_0 、 c_0 也分别相似。

表 5 普通辉石与普通角闪石规则连生费氏台测定结果

普 通 辉 石					普 通 角 闪 石			
	I	II	#(110)	#(110)	I	II	#(110)	#(110)
N	146°	237°	104.5°	194.5°	238°	328°	121.5°	177°
H	24°(W)	1°(W)	12°(E)	11°(E)	9°(W)	3°(E)	14.5°(E)	8°(E)
I	Np	Nm(1°S)			Nm(42°S)	Np		
$C \wedge Ng = 42^\circ$ $2V(+) = 50^\circ$					$2V(-) = 89^\circ$			
$b_1 \wedge b_2 8^\circ$			$c_1 \wedge c_2 7^\circ$					
$Ng_1 \wedge Ng_2 22^\circ$			$Nm_1 \wedge Nm_2 8^\circ$		$Np_1 \wedge Np_2 21^\circ$			

表 6 透辉石与普通角闪石规则连生费氏台测定结果

透 辉 石				普 通 角 闪 石		
	I	II	#(110)	I	II	#(110)
N	320°	55°	5°	168.5°	261°	7°
H	20.5°(E)	20°(E)	18°(W)	19.5°(W)	10°(W)	8°(W)
I	Np	Ng		Np	Ng	
$C \wedge Ng = 44^\circ$				$C \wedge Ng = 16^\circ$		
$b_1 \wedge b_2 8^\circ$		$c_1 \wedge c_2 4^\circ$		$Np_1 \wedge Np_2 26^\circ$		
$Ng_1 \wedge Ng_2 28^\circ$		$Nm_1 \wedge Nm_2 8^\circ$				

斜长石与正长石(或钠正长石): 两者(图版 I, 照片 6)结晶要素的定向排列现象主要有二: 正长石(或钠正长石)的(010)、(001)解理面与斜长石的(010)、(001)解理面相应靠近,即两者的 b 、 c 结晶轴相应靠近(表 7); 正长石(或钠正长石)的(010)、(001)解理面与斜长石的(001)、(010)解理面相应靠近,亦即正长石(或钠正长石)的 b 、 c 轴与斜长石的 c 、 b 轴相应靠近(图 5, 表 8)。这些现象是受它们有相似的架状构造类型,尤其受它们有相近似的晶胞参数和相应面网密度所制约。比较一下两者的晶胞参数,就可以看出,不

表 7 斜长石与钠正长石规则连生费氏台测定结果

斜 长 石				钠 正 长 石				
	I	II	#(010)	I	II	#(110)	# ₂ (15.02)	# ₂ (010)
N	132°	225°	223°	130.5°	224°	164°	135°	224°
H	7°(E)	22°(E)	15°(E)	9.5°(E)	9°(E)	3°(E)	0.5°(E)	19°(E)
I	Np	Ng		Np	Ng			
$\perp(010)_1 \wedge \perp(010)_2 3^\circ$								
$Ng_1 \wedge Ng_2 3^\circ$			$Nm_1 \wedge Nm_2 4^\circ$		$Np_1 \wedge Np_2 2^\circ$			

仅钾长石的 a_0 、 b_0 、 c_0 (或 $2c_0$) 与斜长石的 a_0 、 b_0 、 c_0 相应近似, 而且钾长石的 a_0 、 $2c_0$ 、 b_0 与斜长石 a_0 、 b_0 、 c_0 (或 $2c_0$) 也分别相近似, 这就是上述两种现象产生的重要原因。同时, 由于它们光学方位的特点决定了在上述两种情况下, N_g 、 N_m 、 N_p 同名光学轴都相靠近的现象。

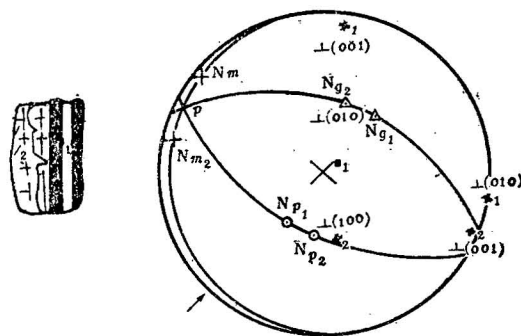


图 5 斜长石与钠正长石规则连生
1 斜长石, 2 钠正长石

表 8 斜长石与钠正长石规则连生费氏台测定结果

	斜 长 石				钠 正 长 石				
	I	II	# ₁ (001)	# ₁ (010)	I	II	# ₂ (100)	#(010)	# ₂ (001)
N	275°	186°	307.5°	36.5°	211.5°	118°	147°	118°	203°
H	40°(W)	3°(E)	5°(W)	0.5°(E)	4.5°(E)	41.5°(E)	45°(W)	43.5°(E)	3°(W)
I.	Ng	Nm (11.5°N)			Nm	Ng			
$\perp(010)_1 \wedge \perp(001)_2 14^\circ$ $\perp(001)_1 \wedge \perp(010)_2 37.5^\circ$ $Ng_1 \wedge Ng_2 19^\circ$ $Nm_1 \wedge Nm_2 26^\circ$ $Np_1 \wedge Np_2 18^\circ$									

还有一个值得注意的现象: 在上述各种规则连生体之间, 其两光率体具有一定的对称性, 这主要表现在吴氏网上 N_g 、 N_m 、 N_p 之同名轴的连线交于一点 (p), 该点则是一个二次对称轴的投影点, 即 Ng_1 与 Ng_2 , Nm_1 与 Nm_2 , Np_1 与 Np_2 以此轴相对称。假如构成连生体的两矿物是斜方晶系, 则相应的结晶轴之间, 也有对称分布特征。这些光率体对称性产生的原因, 可能与它们具有相同的光率体对称型 ($3L^2PC$) 有关。

总之, 本区侵入杂岩体中, 广泛地分布着异种晶体的规则连生现象, 按其成因主要是岩浆阶段交代作用的产物, 从构成规则连生的两矿物化学成分对比来看, 反映了一系列地球化学性状相近的 Mg 、 Fe^{2+} 、 Ca 、 K 、 Na 及 Al 、 Si 等元素的有规律的替代现象。因而在交代过程中, 异种矿物晶体构成规则连生, 对矿物的化学成分表现了一定的选择性。从它们的结晶要素、光学要素的定向排列现象来看, 说明了一种矿物交代另一种矿物时, 是沿一定的结晶和光学方向进行的。

在一些文献中^{[1][2]}, 把这些异种晶体的规则连生称为平行连生, 他们认为构成规则连生的两矿物之间, 某些结晶轴、面是平行的, 但从我们所测得的上述资料来看, 并不是这样, 而是以一定的角度相交, 一般交角较小, 偶见交角达 40° 以上。

二、成岩期后碱质交代蚀变作用特征

(一) 碱质交代的多阶段特点

成岩后, 从高温到低温形成了一系列碱质交代作用。如果说岩浆晚期碱质交代作用以面型为主的话, 那么, 这个时期的碱质交代作用则以裂隙型为主, 其主要蚀变为方柱石化、钠长石化、金云母化、沸石及绢云母化等。在成岩后的每个阶段中, 首先发生的是碱质交代作用的活化转移, 而后便是 Ca、Mg、Fe 等元素的沉淀富集, 如在早期方柱石化及钠长石化后, 便随之发生透辉石、石榴子石的交代; 热液期金云母化后, 则发生绿泥石、蛇纹石等矿物富集。从磁铁矿与其他交代蚀变矿物的交代共生关系来看, 它也是多阶段生成的, 早期往往与石榴石、次透辉石(或次透-低铁次透辉石)共生, 被金云母交代; 晚期它多交代金云母而与绿泥石、蛇纹石共生, 构成本区铁矿的主要生成时期。

(二) 主要交代蚀变矿物特征

1. 针柱石

呈柱状或不规则状, $N_o = 1.5612-1.5624$, $N_e = 1.5484-1.5488$ 。主要分布于内接触带, 多交代闪长岩中斜长石, 广泛发育于矿区。

2. 钙镁橄榄石

呈短柱状或他形粒状, $2V(-) = 82^\circ$, $2V_F = 80^\circ$, $2V_C = 84^\circ$, $r > v$, $N_g = 1.6770$, $N_m = 1.6665$, $N_p = 1.6619$ 。主要见于外接触带, 交代白云质大理岩及白云岩, 并往往被蛇纹石交代。

3. 镁铁尖晶石

常为半自形—自形等轴粒状, 具不规则裂纹, 均质, $N = 1.7812$, 化学成分: SiO_2 3.65, Al_2O_3 62.70, Fe_2O_3 8.20, FeO 3.50, MnO 0.70, MgO 19.83, CaO 0.86。晶体化学式: $(Mg_{7.3} Fe_{0.07}^{2+} Ca_{0.02} Mn_{0.01})_{0.83} (Al_{1.83} Fe_{0.15}^{3+} Si_{0.09})_{2.07} O_{4.00}$, 该矿物主要见于靠近白云质大理岩及白云岩的外接触带内, 且常见与磁铁矿共生。

4. 次透-低铁次透辉石

颜色为无色, 浅绿色或绿色, 柱状, 用双变法测其折光率; $N_m = 1.6904-1.7190$, 其成分, 钙铁辉石分子 $Hed = 22-71\%$, $2V(+) = 54-60^\circ$, 色散 $r > v$, $2V_C - 2V_F = 4-8^\circ$, 多见于内接触带, 且与石榴子石有互相包裹和镶嵌的现象。

将该矿物的光性与其化学成分、构造特征加以对比, 就可发现它们之间有着十分密切的关系: 矿物的颜色越深, 反映其成分中 $Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn$ 的量越高, 折光率随着 $Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn$ 的含量升高而升高, 随着 MgO 的含量降低而升高, 此外, 还与 Al 有关, 更确切地说, 随着八面体配位的 Al 增多, 折光率有升高现象, 该矿物的色散率($2V_C - 2V_F$)也因成分中 Fe 、 Ti 含量增高而变大。更有意义的是, 该矿物的光性, 随距铁矿体赋存部位的远近及矿化强度的大小而变化, 在越靠近矿体和矿越富的地段产出者, 其矿物颜色越深、折光率越高, 色散率越大, 反之, 亦然。该矿物含钙铁辉石分子数与之紧密共生的石榴子石类中含钙铁榴石分子数之比为正比相关关系, 其系数为 0.83, 这说明, 随着碱质交代作用

的进行,在溶液中含铁量有规律地变化情况下,该两个基本同时生成的矿物中的含铁量也随之同步变化。

5. 钙铝-钙铁榴石

呈浅棕色-暗棕褐色, $N = 1.7780—1.8560$, 钙铁榴石分子 $Andr = 26—86\%$, 往往呈粒状产出于内接触带中, 近矿地段比远矿地段、富矿地段比贫矿地段的石榴石, 颜色深, 折光率高, 其成分中含铁量也相应高。

6. 钠长石

呈他形粒状, 有时能见聚片双晶, $Ng = 1.5410$, $Np = 1.5320$, $An = 9$, 它往往呈脉状、网脉状产出, 穿插早期形成的石榴子石、次透辉石矿物。

7. 金云母

薄片下为无色-淡绿或绿-暗绿, 多色性明显, $Ng \cong Nm = 1.5838—1.6168$, $Np = 1.5478—1.5744$, 比一般金云母折光率高, $2V = 1—6^\circ$, 化学成分中富含 $Fe_2O_3 + FeO$ (3.46—7.52), 属富铁金云母类。其特征是: (1) 八面体配位的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Ti 、 Mn 含量增加, 折光率的值亦增加; (2) 四面体配位的 Al 降低, 八面体配位的 Al 及 Mg 含量升高, 折光率降低; (3) 如从离子半径、离子极化性能及装填程度来分析, 在八面体配位的元素中, Fe^{2+} 、 Mn 的半径是最大的, 其含量越多, 折光率越高, 且由于 Fe^{3+} 、 Ti 的极化性能比 Mg 、 Al 大得多, 因而, Fe^{3+} 、 Ti 含量增加, 使密度增加, 折光率亦必然升高。本区金云母广泛地发育于各矿区外接触带中, 离矿体不同地段及矿体贫富不同地段产出的金云母其光性是不一样的, 从远矿到近矿, 从贫矿到富矿, 金云母的颜色变深, 多色性变明显, 折光率升高, 而 $2V$ 则降低。

8. 绿泥石

主要为镁绿泥石, 还有很少量的叶绿泥石。

(1) 镁绿泥石: 光学性质: $2V(+) = 0^\circ—5^\circ$, $Ng = 1.5908—1.6172$, $Nm \cong Np = 1.5838—1.5998$ 。化学成分: SiO_2 31.46, Al_2O_3 19.08, FeO 0.73, Fe_2O_3 0.82, MgO 34.16, H_2O^+ 12.25; 晶体化学式: $(Mg_{4.82} Fe_{0.06})_{4.88} (Al_{1.11} Fe_{0.06}^{3+})_{1.17} (Si_{2.98} Al_{1.02} O_{10.00}) (OH_{7.74} O_{0.26})_{8.00}$ 。该矿物十分广泛地发育于外接触带的含矿地段, 与白云质大理岩、白云岩有成因联系。

(2) 叶绿泥石: 具柏林兰异常干涉色 $Ng = 1.5776—1.5838$, $Np = 1.5760—1.5828$ 。它往往发育于内接触带蚀变闪长岩中, 主要是由黑云母蚀变而来。

9. 蛇纹石

在含矿地段和远矿地段的蛇纹石种属是不一样的, 含矿地段主要为叶蛇纹石及胶蛇纹石, 远矿地段主要为纤维蛇纹石, 前两者折光率高, 化学成分中含铁量亦高, 从本区 2 个含矿地段的蛇纹石化学分析来看, $Fe_2O_3 + FeO$ 高达 1.91—2.30%。

(三) 磁铁矿金属矿物特征

磁铁矿为本区主要矿石矿物, 多呈半自形—自形等轴粒状, 一般颗粒较小, 在 0.2—0.5mm 左右。含 MgO 0.12—6.32%, 其 MgO 含量高者形成镁磁铁矿, 镁磁铁矿在空间分布上往往与白云岩及白云质大理岩有关。磁铁矿中含 TiO_2 0.06—3.05%, V_2O_5 含量

为 0.00—0.48%。

(四) 蚀变分带、矿物共生组合及元素迁移特征

本区蚀变带,从内向外,大致有六个带:(I)碱质交代闪长岩带→(II)方柱石、次透辉石闪长岩带→(III)石榴子石、次透-低铁次透辉石矽卡岩带→(IV)次透-低铁次透辉石、金云母岩带→(V)含矿绿泥-蛇纹岩带→(VI)蚀变大理岩带。但必须指出:由于各矿区的地质条件差异,其蚀变带的发育情况也不相同,且有迭加和缺失现象。内、外蚀变带矿物共生组合情况不一样,如从含 Ca、Mg 元素的矿物共生组合来分析,内带属钙镁矽卡岩,而外带属镁矽卡岩,矿物共生组合在空间上有规律变化,这与它们生成的次序及温度递变有关,从岩体向围岩方向,矿物形成的时间越来越晚。而生成温度是逐渐降低的,这是由磁铁矿中 TiO_2 的含量在空间上有规律递变这个事实得到说明的。

通过对本区有代表性矿区蚀变带的化学分析,并用 T. 巴尔特法进行计算(表 9),发现主要元素有如下几个特点:(1) K^+ 、 Na^+ 在蚀变过程中有明显变化,表明其化学性质很活泼。从内带向外带过渡,整体来说, Na^+ 是减少的, K^+ 是增加的,这也说明,随着溶液的

表 9 本区接触交代型铁矿交代蚀变岩石化学组份与 T. 巴尔特法计算结果

岩石名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O	CO_2	总和
碱质交代辉石闪长岩	52.19	0.57	13.61	4.56	4.81	0.15	5.92	11.77	3.46	1.28	1.99	0.38	0.21	100.90
	$\text{K}_{16} \text{Na}_{63} \text{Ca}_{118} \text{Mg}_{82} \text{Mn}_1 \text{Fe}_{38}^{2+} \text{Fe}_{33}^{3+} \text{Al}_{150} \text{Ti}_4 \text{Si}_{487} \text{OH}_{24} \text{P}_6 \text{C}_3$													
针柱石、次透辉石化闪长岩	46.13	0.57	13.71	4.84	2.14	0.111	10.65	12.43	2.29	1.21	0.27	4.79	1.05	100.19
	$\text{K}_{13} \text{Na}_{37} \text{Ca}_{111} \text{Mg}_{132} \text{Mn}_1 \text{Fe}_{15}^{2+} \text{Fe}_{30}^{3+} \text{Al}_{134} \text{Ti}_4 \text{Si}_{384} \text{OH}_{266} \text{P}_2 \text{C}_{12}$													
石榴子次透-低铁次透辉石矽卡岩	42.46	0.29	12.26	5.00	4.07	0.156	13.61	17.07	0.28	2.37	0.07	2.38	0.46	100.48
	$\text{K}_{28} \text{Na}_6 \text{Ca}_{168} \text{Mg}_{187} \text{Mn}_1 \text{Fe}_{32}^{2+} \text{Fe}_{33}^{3+} \text{Al}_{133} \text{Ti}_2 \text{Si}_{390} \text{OH}_{146} \text{P}_1 \text{C}_6$													
次透-低铁次透辉石、金云母岩	37.35	0.32	13.32	6.14	5.81	0.189	16.36	11.05	0.23	3.28	0.05	3.50	2.40	100.00
	$\text{K}_{38} \text{Na}_4 \text{Ca}_{106} \text{Mg}_{218} \text{Mn}_2 \text{Fe}_{43}^{2+} \text{Fe}_{41}^{3+} \text{Al}_{140} \text{Ti}_2 \text{Si}_{333} \text{OH}_{208} \text{C}_{30}$													
含矿绿泥-蛇纹岩	27.66	0.08	10.84	14.56	4.27	0.275	27.69	2.05	0.17	2.31	0.09	8.17	2.01	100.18
	$\text{K}_{24} \text{Na}_3 \text{Ca}_{18} \text{Mg}_{330} \text{Mn}_2 \text{Fe}_{28}^{2+} \text{Fe}_{37}^{3+} \text{Al}_{102} \text{Ti}_1 \text{Si}_{221} \text{OH}_{435} \text{P}_1 \text{C}_{22}$													

演化,以 Na 质交代占优势,逐渐变为以 K 质交代占优势;(2) Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 在碱质交代蚀变过程中,迁移性是比较大的,当 Na + K 含量高时,尤其是 Na 高时,而 $\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ 低,这无疑说明 Na、K 尤其是 Na 对 Fe 质活化转移起了重要作用。 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$,从内带向外带,有增高趋势,表明 Fe 的氧化系数变大;(3) Ca、Mg 元素,从内向外,有明显增高趋势,此说明它们的来源与围岩成分有关。 $\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ 与 Ca + Mg 的含量基本上成正消长关系。(4) Si^{4+} 在接触带的内侧含量最高,而向外逐渐减少, Al^{3+} 也有如此变化情况,表明它们主要来自与岩体侵入有关的溶液;(5) HO^- 是活动性很强的离子,不仅各带其含量变化幅度大,且往往在外接触带发生高度聚集。

近年来,地质一队和局实验室,对本区构造、地层、岩浆岩和围岩蚀变诸方面进行了专题研究工作;本文系这个专题研究工作的部分成果。专题参加人员还有地质一队何湘龙、

胡仁建、周丽华、张启成、宋世民、钟亚雄及施运亨同志。工作过程中有关同志给予热情帮助。我局何越教同志及中国地质科学院程裕洪同志对本文先后作了审阅,谨致谢忱。

参考资料从略

THE CHARACTERISTICS OF THE ROCK-FORMING AND ALTERATION MINERALS OF A YENSHANIAN INTRUSIVE COMPLEX IN AN IRON-ORE DISTRICT OF SHANDONG

Dong Zhenxin

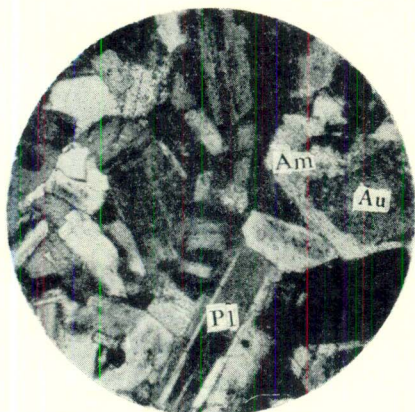
(Laboratory of Shandong Bureau of Geology)

Abstract

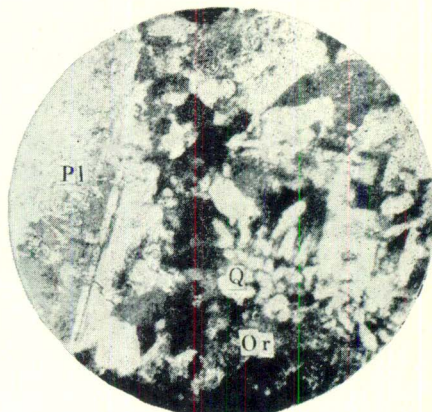
The Yenshanian magmatic complex consists of a series of poly-staged intrusions. The igneous rocks of each stage have their own characteristics in petrology, mineralogy and petrochemistry, and a certain regularity in the evolution of magma from its early to its late stage has revealed. The rock bodies related to the iron deposits show strong differentiation, assimilation and late stage metasomatism. The rocks are chiefly intermediate in composition and are characterized by a high content of CaO , $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO}$, alkalies, especially Na_2O , and also high ratio of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$.

Through the study, the author has noticed that different mineral-pairs occur in regular intergrowth of different genetic significance as follows: orthopyroxene and clinopyroxene; orthopyroxene and hornblende; clinopyroxene and hornblende; plagioclase and orthoclase. The corresponding crystal axes and planes of the pair minerals that constitute the intergrowth are near to, but not parallel to each other as usually supposed, and their optical elements possess feature of directed arrangement.

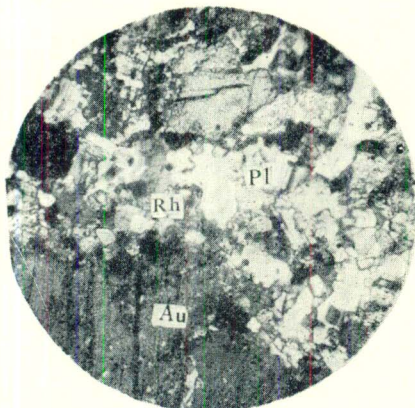
In the contact metasomatic iron ore deposits of this region, there occurs a strong alkaline metasomatism of the intrusive which reveals a remarkable alteration zonation. The physicochemical properties of minerals of the same group in various zones are different, for instance, there are certain differences in mineral variety and physicochemical properties for such mineral groups as garnet, pyroxene, phlogopite, chlorite, etc.



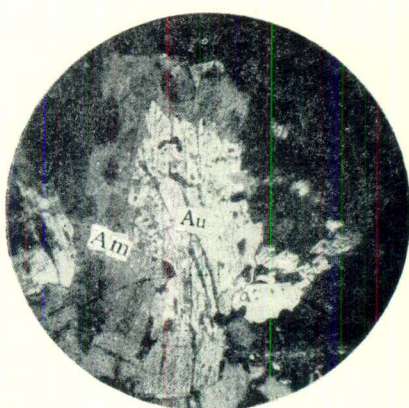
照片 1. 辉石闪长岩。
斜长石 (Pl) 双晶。普通角闪石 (Am) 沿普通辉石 (Au) 的周边进行交代, 两者构成规则连生。正交 $\times 30$ (JA73018 下水河)



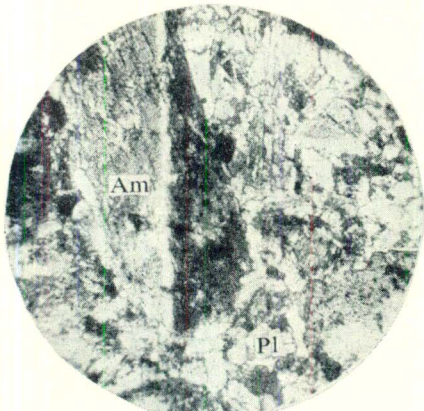
照片 4. 斑状石英正长闪长岩。
斑晶由斜长石 (Pl) 组成。基质具文象结构, 钾长石 (Or) 与石英 (Q) 交生。正交 $\times 30$ JA73046 峭峪



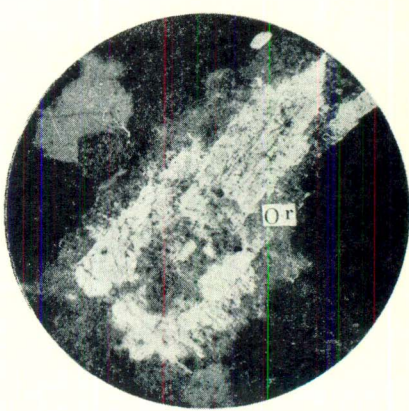
照片 2. 辉长苏长岩。
顽火-古铜辉石 (Rh) 细粒柱状晶体, 绕普通辉石 (Am) 粗大晶体外围分布。斜长石 (Pl) 呈他形板状晶体。正交 $\times 30$ (18号孔西尚庄)



照片 5. 普通角闪石 (Am) 沿普通辉石 (Au) 周边、解理缝进行交代, 两者构成规则连生。
正交 $\times 60$ (KA73020 矿山岩体)



照片 3. 斑状角闪闪长岩。
斑晶为普通角闪石 (Am) 基质由斜长石 (Pl) 及钾长石、黑云母等组成。正交 $\times 30$ ((JA73110 峭峪)



照片 6. 钠正长石 (Or) 沿斜长石 (Pl) 周边解理缝进行交代, 并保留其矿物外形轮廓, 两者构成规则连生。
正交 $\times 60$ (KA73120 矿山岩体)