

黑龙江依兰、牡丹江变质带 蓝闪片岩特征

白景文 王文兴 张海羽

(黑龙江地质矿产局区域地质调查一大队)

主题词: 依兰、牡丹江变质带; 蓝闪片岩; 高压变质作用

提 要: 通过对黑龙江省依兰、牡丹江等地的蓝闪片岩产出的地质环境、岩石类型、原岩类型的研究和对蓝闪石类及与其共生的多硅白云母、黑硬绿泥石、红帘石的测试鉴定, 证明依兰、牡丹江两地的蓝闪片岩为高压地质环境的产物, 属于蓝闪绿片岩相。

一、地质概况

依兰、牡丹江变质带分布在佳木斯地块上, 属于前寒武纪变质岩的一部分。佳木斯地块为黑龙江省出露的最古老的结晶基底。由两条变质带和被其围绕的麻粒岩陆核组成(图1-1、

图 1-1 依兰地质简图

Fig. 1-1 The geological sketch map of Yi Lan

1—第四系；2—下白垩系；3—山咀子组，石英片岩；4—鸡冠山组白云钠长片岩；5—老沟组，二云钠长片岩，大理岩；6—金满屯组，钠长片岩，石英岩；7—太平沟组，钠长绿泥片岩，蓝闪片岩；8—麻山群，石榴砂线黑云斜长片麻岩夹大理岩；9—花岗岩；10—超基性岩；11—混合花岗岩；12—蓝闪片岩产地；13—断层；14—不整合界线；15—推断地质界线；16—地质界线

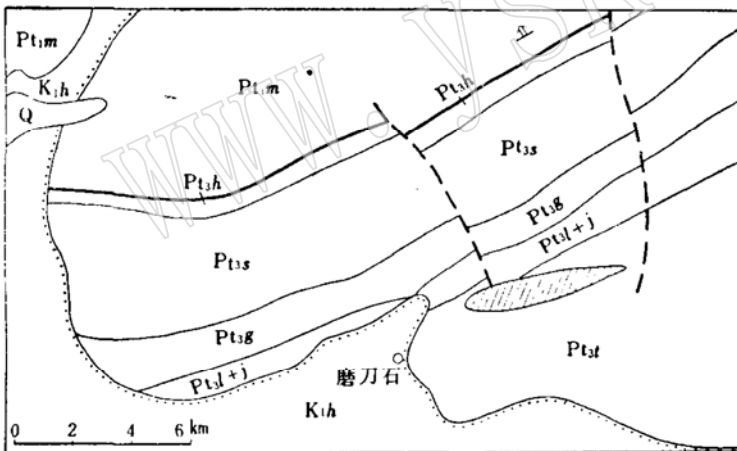
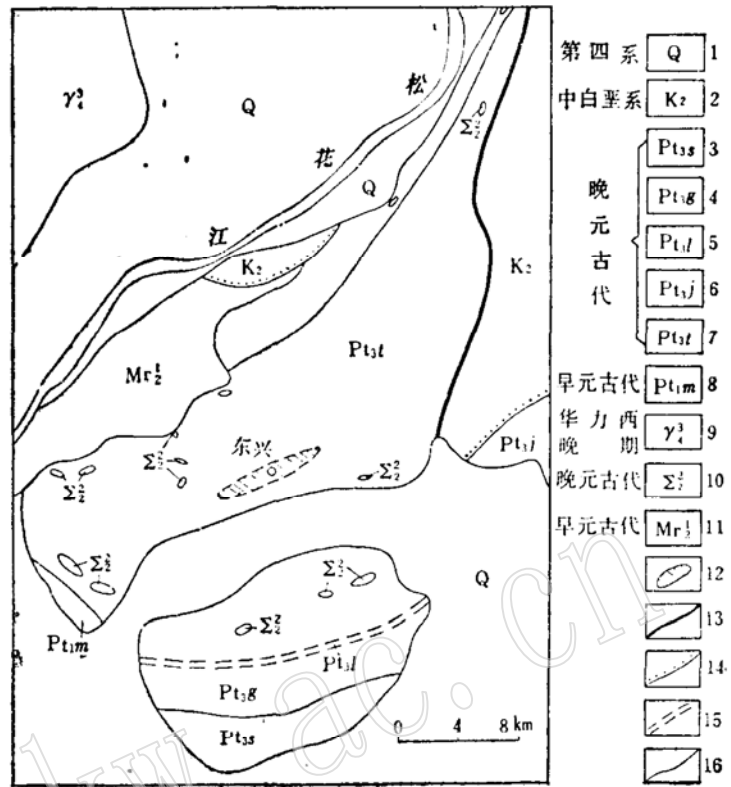


图 1-2 牡丹江地质简图

Fig. 1-2 The Geological sketch map of Mu Dan Jiang

1—松散堆积；2—砂砾岩；3—湖南营组：绿帘斜长角闪岩；4—咀子山组：石云片岩；5—鸡冠山组白云钠长片岩；6—老沟组—金满屯组钠长片岩大理岩；7—太平沟组钠长绿泥片岩，蓝闪片岩；8—麻山群斜长角闪岩；9—蓝闪片岩产地；10—断层；11—不整合地质界线；12—片理产状

图 1-2)。一条为麻山群（指原麻山群西麻山组），遭受了区域动力热流变质作用（低压型），另一条为黑龙江群，遭受了区域低温动力变质作用。两条变质带呈大致东西方向平行展布。在这两条变质带的东侧和北侧为区域高温变质作用的麻粒岩相变质岩。这样就构成了以古老陆核为核心的向外增生的陆台——地槽的构造格局。最终演变形成了稳定的大陆结晶地壳。

依兰和牡丹江两地的黑龙江群为一套反映优地槽环境的以基性火山岩为主和部分中酸性火山碎屑岩，杂砂岩，泥岩，硅质岩构成的火山沉积建造。层序较连续，自下而上可划分为

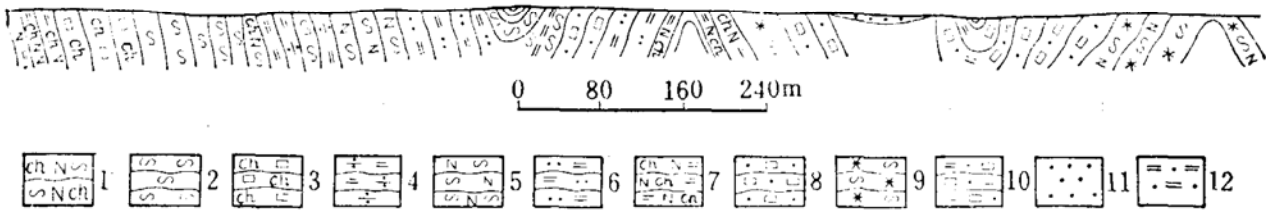


图 2 黑龙江省依兰县东兴太平沟组实测剖面图

Fig. 2 Measured profile of Tai Ping Gou formation from Dong Xing

Yi Lan, Hei Long Jiang

1—黑硬绿泥钠长绿泥片岩；2—绿泥片岩；3—黑硬绿泥斜长变粒岩；4—蓝闪白云片岩；5—钠长绿泥片岩；6—白云石英片岩；7—黑硬绿泥钠长白云片岩；8—斜长变粒岩；9—阳起绿泥片岩；10—含白云闪斜长石英变粒岩；11—第四纪沉积；12—糜棱岩化带

羊角沟、金满屯、老沟、鸡冠山和山咀子五个组。依兰地区黑龙江群厚度达6400余米，牡丹江地区达4000余米。^①

应强调指出，与黑龙江群变质岩共生的还有数十个超基性岩体，很少出现花岗质岩石。

二、黑龙江群变质岩

黑龙江群变质岩按原岩可分七个类型。

(一) 变质基性火山岩

绿泥钠长片岩、钠长绿帘绿泥片岩、钠长绿泥片岩和蓝闪片岩集中出现在黑龙江群的底部，在其它几个组也有少量出现。

代表性矿物组合：钠长石 + 绿泥石 + 楣石；绿泥石 + 钠长石 + 绿帘石 + 黝帘石；蓝闪石 + 多硅白云母 + 方解石 + 绿帘石 + 黑硬绿泥石 + 钠长石 + 楣石。

(二) 变质粘土岩，泥质砂岩

以白云片岩、含石榴黑硬绿泥白云片岩、二云母片岩、钠长白云片岩为主，这一类型分布较广，各组均能见到，在鸡冠山和山咀子组集中出现。

代表性矿物组合：白云母 + 钠长石 + 石榴石 + 石英；白云母 + 黑硬绿泥石 + 绿帘石 + 石榴石 + 钠长石 + 石英。

(三) 变质杂砂岩

代表性岩石类型为白云石英片岩，含石榴石白云石英片岩，二云石英片岩，钠长石英片岩。

代表性矿物组合：石英 + 白云母 + 钠长石 + 绿泥石 + 石榴石 + 绿帘石；石英 + 钠长石 + 白云母 + 黑云母 + 石榴石。

(四) 变质酸性火山岩及少量变质中性火山岩

主要的岩石类型为含石榴石黑云变粒岩，含黑硬绿泥斜长变粒岩，石英绿泥钠长片岩。主要见于鸡冠山组。

代表性矿物组合：斜长石 + 黑云母 + 石英 + 石榴石 ± 绿帘石。

① 黑龙江省地质局，区域地质调查报告，牡丹江市幅、依兰县幅，1:20万（地质部分）。

表1 岩石化学成分表
Table 1 Chemical composition of rocks

序号	样品编号	岩石名称	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	nnn	原岩
1	K ₈₃ P ₅ GS ₀₋₁	绿帘蓝闪白云片岩	42.00	2.42	14.96	7.24	4.91	0.175	7.75	7.36	2.09	4.10	0.425	7.27	碱性玄武岩
2	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₂	白云蓝闪片岩	41.32	2.26	13.18	4.10	5.08	0.100	4.56	12.67	3.70	2.17	1.400	8.67	玄武岩
3	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₄	含黑硬绿泥方解白云蓝闪片岩	46.40	1.95	13.94	6.05	5.02	0.200	4.43	7.24	3.18	4.54	0.325	6.36	玄武岩
4	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₅	蓝闪绿帘钠长片岩	49.12	2.36	16.62	9.16	5.48	0.150	2.77	4.56	3.63	4.35	0.225	1.97	碱性玄武岩
5	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₁₀	含黑硬绿泥蓝闪石英岩	91.66	0.14	2.68	0.89	2.16	0.150	0.67	0.12	0.72	0.68	0.125	0.01	硅质岩
6	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₁₁	钠长蓝闪绿泥片岩	48.16	2.00	11.48	5.09	6.94	0.125	11.20	5.00	2.44	2.65	0.300	3.55	玄武岩
7	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₁₄	钠长白云蓝闪片岩	49.16	2.59	15.07	5.50	6.73	0.175	7.77	3.11	5.27	1.00	0.350	3.34	玄武岩
8	K ₈₃ P ₅ GS ₁₀	绿泥片岩	48.40	1.83	5.58	4.81	6.81	0.175	16.10	9.87	0.95	0.19	0.225	4.29	玄武岩
9	K ₈₃ P ₅ GS ₁₋₂₇	黑硬绿泥片岩	39.46	2.15	11.46	8.22	7.14	0.250	15.91	5.51	0.60	0.04	0.35	8.66	玄武岩
10	K ₈₃ P ₅ GS ₄₈	黑硬绿泥斜长变粒岩	61.70	1.05	14.18	6.27	1.64	0.075	3.80	1.22	5.80	0.42	0.12	3.14	中性火山岩
11	K ₈₃ P ₅ GS ₂₄	黑硬绿泥白云片岩	71.54	0.44	13.77	2.77	1.25	0.25	1.26	0.53	3.45	2.20	0.100	2.39	砂岩

(五) 变质铁锰质硅质岩, 硅质岩

以富锰的红帘石石英岩、黑硬绿泥蓝闪石英岩、磁铁石英岩和纯石英岩为代表, 见于山咀子组和太平沟组。

代表性矿物组合: 石英 + 钠长石 + 红帘石 ± 白云母; 石英 + 黑硬绿泥石 + 蓝闪石 ± 钠长石; 磁铁矿 + 石英。

(六) 变质碳酸盐岩

大理岩、镁质大理岩集中出现在老沟组。

矿物组合: 方解石 + 白云母; 方解石 + 白云石; 方解石 ± 石英。

(七) 变质超基性岩, 基性岩

呈孤立的岩体产于碎屑岩中, 个别与变质基性岩共生, 有蛇纹岩、透闪石片岩、纯橄岩质蛇纹岩等类型。

从上述材料可以看出, 黑龙江群变质岩可分为两个变质相, 底部为蓝闪绿片岩相, 相当于低绿片岩相, 黑龙江群上部相当于高绿片岩相。

通过用D.M.肖(Shaw, 1972)的判别式; B.莫依纳等(Moino等1968)提出的((Al + Fe + Ti)对(Ca + Mg)图解; A.西蒙南(1953)提出的尼格里值(al + fm) - (c + alk)对Si图解以及Ti/100-Zr-Sr/2图解, Ti对Zr变异图, logTi对logCr图解, TiO₂、K₂O、P₂O₅三

角图和 Ti—V 投影图的判别, 变质基性岩可分为三种类型:

(一) 拉斑玄武岩 以 $\text{SiO}_2 > 45\%$ 到 50.80% 之间, TiO_2 一般在 $1.83 \sim 2.59$ 之间, K_2O 在 $0.19 \sim 1.00$ 左右, 在微量元素图解上投在大洋拉斑玄武岩区。

(二) 碱性玄武岩 SiO_2 为 $45.9\% \sim 50.04\%$, TiO_2 在 $1.95 \sim 3.00\%$ 之间, K_2O 在 $2.65 \sim 5.61\%$ 之间, 在 Ti-V 投影图上投在碱性玄武岩区。

(三) 细碧岩 为数不多, SiO_2 为 $48.86 \sim 49.82\%$, TiO_2 为 $3.21 \sim 3.087\%$, K_2O 为 $0.15 \sim 1.00\%$, Na_2O 为 $3.99\% \sim 4.81\%$ 左右。

该区的玄武岩类明显的特征是 TiO_2 、 K_2O 含量较高, 即使投在大洋拉斑玄武岩区的那些岩石, 这一特点也是较明显的。玄武岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 在 $0.704 \sim 0.708$ 之间, 结合本区尚有一部分酸性火山岩, 很少出现中性火山岩的双模式岩浆特征, 该区地质环境与大陆裂开的环境相似。

三、蓝闪绿片岩相的主要岩石类型

黑龙江群变质岩中的蓝闪石片岩出现在太平沟组(依兰称羊角沟组)的变质基性岩、变质泥质岩和变质硅质岩中。而在依兰地区则分布在东兴一带, 牡丹江地区出现在磨刀石到椅子圈一带。蓝片岩大致呈东西方向与变质地层的延伸方向一致, 整合地出现在绿片岩相岩石中。

主要的岩石类型

(一) 蓝闪绿帘钠长片岩 鳞片变晶结构, 片状构造。组成矿物: 青铝闪石 (10%), 钠长石 (40%), 绿帘石 (25%), 黝帘石 (4%), 多硅白云母 (15%), 石榴石 ($< 1\%$), 金属矿物 (6%), 其中蓝闪石可以分为三个世代 (详后)。

(二) 绿帘蓝闪白云片岩 岩石片理发育, 组成矿物为青铝闪石 (19%)、多硅白云母 (45%)、绿帘石 (10%)、钠长石、黝帘石 ($< 1\%$)、榍石 (25%)。第三世代的青铝闪石与片理一致, 为针状, 具环带结构, 中心部分为负延长, 边缘部分为正延长, 中心为青铝闪石, 边缘可能为蓝闪石。晶体弯曲变形。白云母 $2V \approx 0$, 为 3T 型多硅白云母。

(三) 白云蓝闪片岩 组成矿物有青铝闪石 (35%), 钠长石 (8%), 多硅白云母 (25%), 榍石 (25%), 方解石 (20%), 绿帘石 (20%), 黝帘石 (20%)。

(四) 含黑硬绿泥方解白云蓝闪片岩 青铝闪石 (45%), 白云母 (45%), 方解石 (7%), 绿帘石 (5%), 榍石 (15%), 黑硬绿泥石 ($< 1\%$), 钠长石 (2%)。第一世代青铝闪石被钠长石、方解石包裹, 呈放射状。第三世代为毛发状, 针状, 与片理一致。

(五) 含黑硬绿泥蓝闪石英岩 石英 (70%), 青铝闪石 (10%), 黑硬绿泥石 (3%), 白云母 (11%), 榍石 (6%), 青铝闪石集中呈条带, 有环带结构, 黑硬绿泥石为杆状、束状。

(六) 蓝闪白云片岩 主要矿物有青铝闪石 (30%), 白云母 (40%), 榍石 (25%), 黝帘石 (5%), 仅见第三世代青铝闪石。白色的云母 $2V = 0$, 为 3T 型多硅白云母。

(七) 钠长白云蓝闪片岩 岩石中的主要矿物有青铝闪石 (40%)、白云母 (20%), 榍石 (15%)、钠长石 (8%), 绿帘石 (7%), 黝帘石 (8%)、金属矿物 (2%)。见第一与第三世代青铝闪石。见有 3T 型多硅白云母等。

(八) 绿泥片岩 绿泥石 (0 ~ 97%), 钠长石 (3%), 还有少量的绿帘石, 黝帘石。

(九) 黑硬绿泥斜长变粒岩 主要矿物为黑硬绿泥石 (40%)、斜长石 (60%)。

(十) 黑硬绿泥白云石英片岩 石英 (60%), 白云母 (18%), 黑硬绿泥石 (7%), 钠长石 (10%), 黝帘石 + 石榴石 + 电气石 (5%)。

从上面的变质岩的矿物组合可以看出这两个地区的蓝闪石与绿片岩相矿物共生, 为蓝闪绿片岩 (亚) 相。

四、蓝闪片岩相标型矿物特征

(一) 蓝闪石类

可分三个世代, 第一世代为放射状和针状。晶体细小, 一般在0.09~0.15毫米。呈包体与碳质包体产在钠长石、方解石晶体内部。一般来说, 钠长石都有一个干净的再生边, 再生边中往往不包裹蓝闪石, 这是在另一变质作用下形成的边缘, 这表明蓝闪石类矿物至少是在二次钠长石生长之前形成的; 第二世代为长柱状晶 (0.75×0.15毫米), 无固定方向, 被片理环绕, 与片理呈较大的交角, 甚至垂直; 第三世代为针状, 毛发状等形态 (0.45~1.5毫米)。后两类蓝闪石常具环带结构, 一般中心负延长, 边缘为正延长。很明显, 这三个世代的蓝闪石形成的条件是有差异的, 前两个世代是在以静压力为主的条件下形成的, 以其无方向分布为证明。第三世代与前二者不同, 构成片理应力的作用明显, 这表明, 黑龙江群的蓝片岩先是在一个埋深条件下形成。后来又经过了一个应力起控制作用的环境。

表 2 蓝闪石类X—射线粉末衍射分析结果

Table 2 The analysis of X-ray powder diffraction of glaucophanes

	d	8.3	6.7	4.9	4.46	3.39	3.08	2.98	2.86	2.77	2.71	2.58	2.31	2.29	1.98
K ₈₈ P ₁ RZ ₁₋₁₄	1/I ₀	10	1	4	6	5	10	2	1	4	8	4	3	2	1
	d	8.3	7.15	4.90	4.46	3.39	3.06	3.00	2.95	2.755	2.70	2.60	2.525	2.39	1.94
K ₈₈ P ₁ RZ ₁₋₂₂	1/I ₀	10	5	4	6	5	9	2	1	3	8	4	3	2	1
	d	8.3	4.5	3.85	3.40	3.07	2.96	2.71	2.25	2.30	1.942	1.850	1.786	1.710	1.640
K ₈₈ P ₁ RZ ₁₋₄	1/I ₀	10	5	1	4	10	3	8	1	4	1	3	6	1	6
	d	8.3	4.48	3.070	2.71	2.58	2.30	2.25	2.01	1.980	1.920	1.845	1.641	1.620	1.605
K ₈₈ P ₁ RZ _{5a}	1/I ₀	10	4	10	8	4	5	2	3	2	1	3	7	2	3
	d	8.3	4.9	4.46	3.06	2.94	2.70	2.57	2.34	2.25	1.915	1.843	1.635	1.591	1.581
K ₈₈ P ₁ RZ ₁₀₋₅	1/I ₀	10	2	5	9	4	8	4	1	2	1	4	6	3	2
	d	8.3	4.89	4.46	3.07	2.95	2.70	2.57	2.25	2.5	1.915	1.842	1.636	1.604	1.509
K ₈₈ P ₁ RZ _{1-17a}	1/I ₀	10	3	6	9	4	8	8	1	5	1	2	7	3	2
	d	8.3	4.89	4.46	3.06	2.96	2.70	2.57	2.53	2.30	1.940	1.845	1.670	1.598	1.584
K ₈₈ P ₁ RZ _{1-12a}	1/I ₀	10	4	6	9	3	8	4	1	5	1	4	1	3	2
	d	8.2	4.9	4.46	3.07	2.95	2.705	2.58	2.25	2.15	1.98	1.776	1.710	1.581	1.550
K ₈₈ P ₁ RZ ₁₋₁₇	1/I ₀	10	2	3	9	1	8	4	1	5	1	4	1	3	2

蓝闪石类矿物经红外光谱测定为蓝闪石类，经X—射线粉晶分析（见表2），镜下鉴定（见表3），电子探针分析证实多数为青铝闪石（表4、见3），个别样品为蓝闪石。

表3 蓝闪石光学特征

Table 3 Optical characteristics of some glaucophanes

样品编号	矿物名称	结晶形态	消光角	多色性	光轴角	延性	世代	其它
K ₈₈ P ₈ b ₁₋₁₂	青铝闪石	放射状集合体，针状，长0.09—0.15mm	NmAc = 10°	Ng—浅亮紫色 Nm—暗蓝 NP—亮黄色	(-)2V = 42°	负	第一世代	被钠长石包裹，钠长石往往具干净的再生边
K ₈₈ P ₈ b ₁₋₁₂	青铝闪石	长柱状0.45×0.2mm ² ，具环带、波状消光	NmAc = 4°	Ng—紫罗蓝 Nm—天蓝 NP—淡黄	(-)2V = 34°	负	第二世代	与第三世代针状蓝闪石共存
K ₈₈ P ₈ b ₀₋₁	青铝闪石	长柱状0.45×0.15mm ²	NmAc = 6°	Ng—紫罗蓝 Nm—天蓝 NP—淡黄	(-)2V = 46°	负	第二世代	与第一世代、第三世代蓝闪石共存
K ₈₈ P ₈ b ₁₋₅	青铝闪石	长柱状，不完整	NmAc = 18°	Ng—紫罗蓝 Nm—深天蓝 NP—淡黄	(-)2V = 36°	负	第二世代	与第一世代、第三世代蓝闪石共存
K ₈₈ P ₈ b ₁₋₄	青铝闪石	长柱状0.45×0.20mm ²	NmAc = 9°	Ng—紫罗蓝 Nm—天蓝 NP—淡黄	(-)2V = 51°	负	第二世代	与第一世代、第三世代针状、毛发状蓝闪石共存
K ₈₈ P ₈ b ₀₋₂	岩铝闪青	0.75—1.5mm，具环带，中心正延性，边缘负延性	NmAc = 6°	Ng—紫罗蓝 Nm—天蓝 NP—淡黄	(-)2V = 47°	负	第三世代	与第一世代蓝闪石共存
K ₈₈ P ₈ b ₁₋₁₀	青铝闪石	针状，0.2—0.45mm	NmAc = 16°	Ng—紫罗蓝 Nm—天蓝 NP—淡黄	(-)2V = 42°	负	第三世代	
K ₈₈ P ₈ b ₁₋₁₄	青铝闪石	针状，0.6—1.5mm	NmAc = 7°	Ng—紫罗蓝 Nm—天蓝 NP—淡黄		负	第三世代	

(二) 多硅白云母

白色的云母在依兰、牡丹江地区的黑龙江群变质岩中广泛分布，几乎产于各类岩中石，并与蓝闪石类、黑硬绿泥石、红帘石共生。

(1) 光性特征：多硅白云母为片状、鳞片状集合体，单偏光下往往呈浅黄绿色、绿色色调。绝大多数2V值都在35°以下。如果把35°作为划分多硅白云母与理想白云母界线的话，那么，依兰、牡丹江地区的白色云母绝大部分为多硅白云母。其2V值在同一标本中也不相

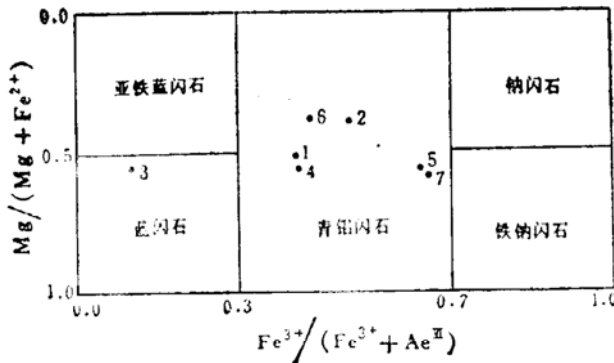


图3 蓝闪石的成分分类 (Leake, 1978)
Fig.3 Classification of glaucophane composition

表4 蓝闪石类矿物化学成分及其晶体化学参数表
Table 4 The chemical composition of the glaucophanes and their crystallochemical Parameters

顺序号	1	3	3	4	5	6	
样品编号	$K_{88}P_6RZ_{1-4}$	$K_{88}P_6RZ_{1-8}$	$K_{88}P_6RZ_{1-10}$	$K_{88}P_6RZ_{1-12}$	$K_{88}P_6RZ_{1-14}$	K_1Y_{85}	
矿物名称 氧化物	青铝闪石	青铝闪石	蓝闪石	青铝闪石	青铝闪石	青铝闪石	
SiO ₂	56.831	50.12	54.147	58.025	57.526	54.70	
TiO ₂	0.00	0.13	0.00	0.00	0.008	0.06	
Al ₂ O ₃	6.291	7.16	8.348	6.129	4.268	6.87	
Fe ₂ O ₃	6.38	10.59	1.77	7.048	10.85	8.25	
FeO	12.40	13.35	11.86	11.106	8.269	13.68	
MnO	0.177	0.24	0.362	0.267	0.042	0.23	
CaO	0.592	1.05	1.88	1.028	0.457	0.71	
MgO	7.629	5.33	9.344	8.047	8.907	6.22	
K ₂ O	0.090	1.23	0.00	0.00	0.00	0.35	
Na ₂ O	6.435		5.762	6.469	6.835	6.15	
P ₂ O ₅		5.16				0.10	
Cr ₂ O ₃	0.053	0.16	0.028	0.127	0.089		
NiO	0.111		0.351	0.470	0.00		
BaO			0.11	0.012			
H ₂ O*						0.64	
烧失量		4.57					
总计	96.989	94.52	96.96	98.728	97.251	97.96	
备注	电子探针分析	化学分析	电子探针分析	电子探针分析	电子探针分析	化学分析	
T	Si Al ^{IV}	8.2175 7.651	0.349	8.087	8.2327	8.317	8.165
C	Al ^{VI}	1.0721	0.935	1.392	1.0247	0.727	1.2036
	Ti		0.165			0.0009	0.0071
	Fe ³⁺	0.715	1.22	0.189	0.7545	1.18	0.9273
	Cr	0.0061		0.0034	0.0144	0.0148	
	Mg	1.643	1.211	1.971	1.7025	1.92	
	Mn			0.043	0.0324	0.0052	0.0286
	Ni	0.013		0.0399	0.0537		
B	Fe ²⁺	1.50	1.47	1.363	1.321	1	1.4495
	Mn		0.24	0.047			0.2581
	Ca	0.092	0.165	0.2849	0.156	0.0704	0.1130
	Na	1.80	1.523	1.58	1.7792	1.9166	1.6289
A	Na						0.1514
	K	0.0165	0.239				0.0663
以23个(O)为基础						*	

* 以24个(O, OH)为基础计算。

同, 可见有2V 值近于零的 3T型多硅白云母, 2M₁ 型者居多。

(2) 多硅白云母的化学成分 用电子探针方法分析了白云母的化学成分 (见表5)。

表 5 多硅白云母化学成分

Table 5 chemical composition of phengites

样 号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	FeO
K ₈₈ ph ₃	0.172	2.092	27.377	53.269	7.314	0.032	0.272	0.042	0.079	5.392
K ₈₈ ph ₄	11.01		25.72	60.92	1.58					0.78
K ₈₈ ph ₅		5.43	26.99	51.83	9.84					5.92
K ₈₈ ph ₆		5.71	29.55	52.07	9.54					3.14

在 Al₂O₃-FeO + Fe₂O₃ 的白云母的变质程度和成分关系图上都投在了蓝闪片岩区内 (见图 4)。经化学成分计算 Si = 3.48, Mg = 0.20, 属于多硅白云母的典型值。

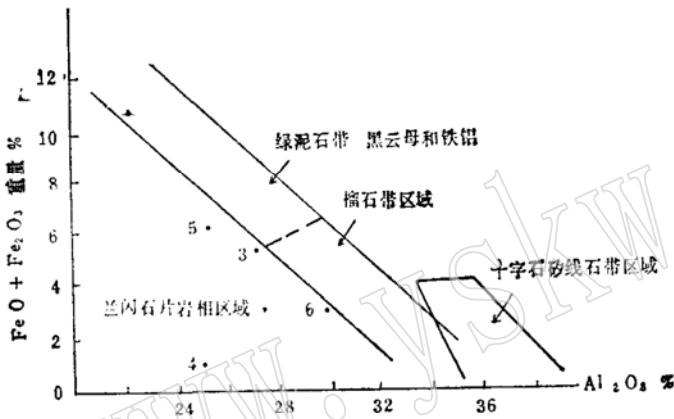


图 4 白云母的变质程度和成分关系 (都成秋穗, 1972)

Fig. 4 The relation between metamorphic rank and composition of muscovite (Miyashiro, 1972)

(3) 多硅白云母的 b₀值测定: 对依兰不同岩石类型的白色的云母都作了 b₀测定。结果发现绝大多数样品 b₀值都在9.00 Å 之上。其中88件有效样品的平均 b₀ 值为9.044 Å。通过对与蓝片岩和不与蓝片岩共生的多硅白云母的平均 b₀ 值计算发现, 产在蓝片岩地区多硅白云母 b₀ 值为 9.047 Å, 不产蓝闪石地区的 b₀ 值为9.041 Å。根据 Sassi (1974年) 提出的多硅白云母 b₀>9.040 Å 代表高压变质带的结论, 那么, 依兰、牡丹江地区的黑龙江群变质岩属于高压低温变质作用的产物。

(三) 黑硬绿泥石

黑硬绿泥石在黑龙江群变质岩中广泛产出, 几乎见于所有岩石类型。例如, 在绿泥片岩, 蓝闪片岩, 白云片岩, 斜长变粒岩、石英岩中都可见到丰富的黑硬绿泥石, 其中尤以斜长变粒岩中产出最富。根据镜下观察可识别出两个世代: 第一世代为片状、鳞片状, 与片理一致; 第二世代有杆状、放射状、束状, 其分布无一定方向。好似叠复在不同矿物之上。看来属于变形后形成的。

黑硬绿泥石在偏光镜下具十分醒目的多色性, N_g = N_m为深褐色、黑色, N_p 为金黄色, 易于识别。

经x-射线粉晶分析证实为黑硬绿泥石 (表 6)。

在高压相系中, 看来黑硬绿泥石在蓝闪片岩相和绿片岩相中容易形成。当此系列向下延

表6 黑硬绿泥石X-射线粉晶分析结果

Table 6 Analysis of x-ray powder diffraction

主 要 衍 射 数 值													
d/n Å	12.00	4.7	4.05	3.70	3.08	2.80	2.68	2.55	2.35	2.11	1.89	1.595	1.563
I/I ₀	10	1	5	5	5	3	6	10	8	5	3	4	4

伸到葡萄石—绿纤石相，向上延伸至绿帘石角闪岩相时，在延伸部分此矿物不太常见或缺失^[1]。都城秋穗强调指出：黑硬绿泥石的普遍出现和黑云母的缺失是绿片岩相高压亚相的特征，这与其中压和低压相系明显不同^[1]。由此看来，依兰、牡丹江的黑龙江群变质岩是在这样一种环境下形成的，代表了一个低温高压变质环境。

(四) 红帘石

红帘石为高压相变质岩中常见的一种矿物。见于黑龙江群山咀子组石英岩中，与之共生的矿物有少量的钠长石、白云母，绝大部分为石英。该岩石中常见软锰矿。红帘石在岩石中呈自形晶，单偏光下呈鲜艳的红色。

五、蓝闪绿片岩相的温度压力状态

(一) 压力 Sassi等(1974)用多硅白云母的 b_0 值作为低级变质泥岩压力计，其结果与野外地质情况相吻合，故应在低级变质岩地区广泛应用。Sassi等把9.000 Å和9.040 Å作为划分低、中、高压类型的界线。 $b_0 > 9.040$ Å为高压变质带，蓝闪片岩相白云母 b_0 值的范围大约在9.040~9.060 Å之间。

黑龙江群中多硅白云母的 b_0 的平均值为9.044 Å，日本三波川变质带多硅白云母的 b_0 值为9.054 Å，其压力为 7×10^{-8} Pa，美国西部弗兰西斯科的多硅白云母的 b_0 值为9.064 Å，压力为 8×10^{-8} Pa。那么依兰和牡丹江两地压力应低于 7×10^{-8} Pa。Cipirian等曾指出，多硅白云母的Mg含量反映了生成时的压力^①。日本三波川变质带多硅白云母的Mg离子数平均为0.18—0.32，美国西部弗兰西斯科变质带多硅白云母的Mg离子数为0.32~0.40，依兰、牡丹江两地多硅白云母的Mg离子数为0.20，压力低于上述地区，压力在 $6 \sim 7 \times 10^{-8}$ Pa，看来是可能的。

(二) 温度 绿片岩相的温度一般为300°~500°C，尽管有青铝闪石，多硅白云母、黑硬绿泥石这些高压矿物，但同时也出现了象绿帘石，黝帘石、阳起石等反映已由极低变质级进入低变质级的特征矿物。无疑温度应高于典型蓝闪—硬柱石片岩相。那么应相当于极低变质级的上限，低级变质级的下限，其形成温度大致在350~450°C左右。

六、讨 论

黑龙江群变质岩是由变质基性岩、杂砂岩、硅质岩及少量碳酸盐岩等组成，还有非层序的蛇纹岩体。这一类型从岩石组合来看与海洋地壳有类似之处，但不同于典型的洋壳环境，代表了由浅海向深海转化的下沉带，它似乎是一个由裂开的陆壳向洋壳转化的一个深海槽，

① 李春昱，1982，板块构造讲稿。

而在没完成这种转化时就被封闭了的一种环境。在封闭过程中发生了蓝闪石型向绿片岩过渡的蓝闪绿片岩的变质作用。

本文承蒙刘国惠研究员指导并提出修改意见且得到我队付玉忠、鲁德石、张晶华、邱玉书、龚淑云、王秀琴、朱明德等同志的帮助，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 都城秋穗, 1972, 变质作用与变质带, 地质出版社。

Character of Glaucophane Schists in Metamorphic Zone in Yi Lian, Mu Dan Jiang, Hei Long Jiang

Bai Jingwen Wang Wenxing Zhang Hairi

(Party No. 1 of Regional geologic Investigation Hei Long Jiang)

Key words: metamorphic zone in Yi Lian, Mu Dan Jiang;
glaucophane; high-pressure metamorphism

Abstract:

The glaucophane schists in Hei Long Jiang group occur in lower part of metabasalt. Protolith types of glaucophane schists are: basalt, silicic rock, marl. In the glaucophane green schist facies, there are several rock types: various green schists, quartzites, stilpnomelane-plagioclase leptynites, stilp-nomelane rock, glaucophane-epidote-albite Schists, epidote-glaucophane-muscovite schists, muscovite-glaucophane schists, stilpnomelane-bearing calcitemuscovite-glaucophane schists, stilpnomelane-bearing glaucophane quartzites and so on.

The glaucophane in schists is the crossite, which is divided into three generations, the first has radial and needle-like crystal, as inclusions occurred in albite and calcite; the second is the crystals of long prism showing various orientations and has been surrounded by the schistosity; the third has needle and hair crystals which identify with the schistosity. The material mentioned above indicates that the glaucophane growth is not only different in time, but diversity for their forming conditions in the physics and chemistry, which were changing then.

The majority of the white mica is phengite, $2v$ values are much less than 35° , the average values of " b° " is equal to 9.045 \AA , which represents more high-pressure metamorphic conditions.

The minerals described above constitute a typical high-pressure series. These minerals have mainly been associated with those in green schist facies. It represents aglaucophane green schist facies.