

# 中国东北依兰地区块状蓝片岩的地球化学特征

黄映聪<sup>1</sup>, 张兴洲<sup>1</sup>, 熊小松<sup>2</sup>, 王跃<sup>1</sup>, 赵亮亮<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 黑龙江省依兰地区分布的黑龙江杂岩被认为是具有缝合带性质的构造混杂岩, 其中所含变基性火山熔岩中含有的变质矿物不具有定向组构特征, 因此称之为块状蓝片岩。特征变质矿物——蓝闪石的大量出现表明其经历过高压低温变质作用。常量地球化学分析表明, 其  $\text{SiO}_2$  含量均在 53% 以下,  $\text{TiO}_2$  含量超过 2%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  的含量为 2.77% ~ 6.41%,  $\text{Na}_2\text{O}$  的含量普遍大于  $\text{K}_2\text{O}$  的含量,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  变异图显示其具有碱性玄武岩特征, 微量元素地球化学分析显示其轻重稀土元素分异明显, 稀土元素配分曲线表现为轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的右倾型。球粒陨石标准化图解中, 不具有 Eu 的负异常,  $\text{Nb} \times 2 - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ ,  $\text{Ti}/100 - \text{Zr} - \text{Sr}/2$  与  $\text{Ba} - \text{Th} - \text{Nb} - \text{La}$  图解的综合分析表明, 块状蓝片岩具有碱性洋岛玄武岩(OIB)的特征, 它们应是佳木斯地块与松嫩地块之间古洋壳俯冲过程的残留, 这为探讨佳木斯陆块与松嫩陆块之间古老洋盆俯冲消减过程提供了重要依据。

**关键词:** 依兰地区; 黑龙江杂岩; 块状蓝片岩; 地球化学; 佳木斯陆块; 松嫩陆块

中图分类号: P588.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)05-0422-07

## Geochemical characteristics of massive blue schist in Yilan area, Northeast China

HUANG Ying-cong<sup>1</sup>, ZHANG Xing-zhou<sup>1</sup>, XIONG Xiao-song<sup>2</sup>, WANG Yue<sup>1</sup> and ZHAO Liang-liang<sup>1</sup>

(1: College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Lithosphere Research Center, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Heilongjiang mélange distributed in Yilan area of Heilongjiang Province is regarded as the tectonic mélange with features of suture zone. Some metamorphic basic lavas consisting of quite a few metamorphic minerals without directional characteristics are named massive blue schist. The existence of large quantities of glaucophane, a characteristic metamorphic mineral, indicates that these basic lavas have undergone high *P* low *T* metamorphism. Geochemical analyses of major elements show that all the samples have the following characteristics:  $\text{SiO}_2 < 53\%$ ,  $\text{TiO}_2 > 2\%$ , and  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2.77\% \sim 6.41\%$ . Geochemical analyses of trace elements reveal that the fractionation between LREE and HREE is quite obvious and the distribution pattern of REE is right oblique, with no negative Eu anomaly in the chondrite-normalized diagram. The  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  variation diagram indicates that metamorphic basic lavas have characteristics of alkali basalt, and the  $\text{Nb} \times 2 - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ ,  $\text{Ti}/100 - \text{Zr} - \text{Sr}/2$  and  $\text{Ba} - \text{Th} - \text{Nb} - \text{La}$  diagrams all suggest that these metamorphic basic lavas have characteristics of alkali ocean island basalt (OIB). The above understanding provides important evidence for the research on subduction of the palaeo-ocean crust between Jiamusi continental block and Songnen continental block.

**Key words:** Yilan area; Heilongjiang mélange; massive blue schist; geochemistry; Jiamusi continental block; Songnen continental block

高压低温变质岩通常被认为是大洋板块俯冲变质作用的产物, 记录了洋壳物质从俯冲到折返的动力学过程, 因此对它的研究将对研究大洋板块俯冲过程具有重要意义 (Cuinchi and Ricard., 1999)。对佳木斯陆块与松嫩陆块拼合的俯冲

杂岩带的研究始于 20 世纪 80 年代。范远成 (1979)<sup>①</sup> 最早提出黑龙江杂岩 (原黑龙江群) 是与板块构造有关的双变质带的高压带, 曹熹等 (1992) 通过研究认为黑龙江杂岩经历的高压低温变质作用对应于黑龙江原地体和麻山原地体的碰撞

收稿日期: 2007-07-20; 修订日期: 2008-04-28

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目 (40739905)

作者简介: 黄映聪 (1979-), 男, 博士研究生, 构造地质学专业, E-mail: huangyingcong@126.com。

① 范远成. 1979. 黑龙江省东部板块构造. 黑龙江省地质学会年会宣讲论文。

拼接,张兴洲等(1991)、张兴洲(1992)对黑龙江省萝北、依兰和牡丹江地区的黑龙江杂岩中蓝片岩的野外产出特征、岩石矿物组合、形成的温压条件及原岩环境进行了初步研究,认为其是佳木斯陆块与松嫩陆块的拼合作用产物;李锦轶等(1999)通过对牡丹江地区黑龙江杂岩的研究,将其从原黑龙江杂岩中解体出来称作“八面通杂岩”,认为是佳木斯陆块与兴凯陆块拼合作用的产物。近年的研究表明,依兰地区产出的黑龙江杂岩中含有大量原岩结构保存完好、变形作用极弱的块状蓝片岩岩块,呈透镜状产于青铝闪石片岩中(宋海峰等,2006)。以往的研究认为,蓝闪石片岩通常形成于应力较强的俯冲带中(Ernst,1988;Liou *et al.*,1990)。目前对于依兰地区产出的这些不具有定向结构的块状蓝片岩的形成机制尚无系统的研究,对其成因也存在着争论。本文拟通过对块状蓝片岩的地球化学方面的研究,探讨其原岩特征及其成岩环境,从而为进一步探讨佳木斯陆块与松嫩陆块的碰撞拼合过程提供依据。

### 1 地质背景

依兰地区黑龙江杂岩分布于佳木斯地块的中部(图1),牡丹江断裂的东侧。黑龙江杂岩由一套具有强烈变形结构、变质矿物组合以绿片岩相为主的各种变质变形岩石组成,经历了多期变质、变形作用的改造。这些岩石可分为基质和岩块两部分。基质为长英质片岩,岩块(或岩片)主要有超基性岩、变质辉长岩、变质基性火山岩(蓝片岩)、变质砂质岩和大理岩等。其中蓝片岩可分为两类,一类具有片状构造特征,另一类不具有片状构造特征。不具有片状构造特征的块状蓝片岩呈透镜状产于青铝闪石片岩中,断续分布于依兰县城的东部地区,出露面积最大的地段达 150 m<sup>2</sup> 左右。

### 2 岩石学特征

野外调查发现,依兰地区块状蓝片岩岩块从中心至边部的变形逐渐增强。岩块中心形成钠长石+绿帘石+蓝闪石矿物组合,矿物组成与边部矿物组成几乎相同,但不同的是岩块中心矿物定向非常明显,变形气孔中嵌晶状钠长石普遍拉长,往边部,钠质闪石转变为冻蓝闪石或透闪石,出现了阳起石,逐渐转变为绿色片岩,这说明块状蓝片岩岩块经历了后期叠加改造作用。但这一改造作用并不彻底,使其中心部位保留了初始变质变形特征,如清晰的枕状玄武岩的特征(宋海峰等,2006)。

从采集的岩块样品看,其变形较弱的部位均保存有完好的气孔、杏仁构造,气孔和杏仁体多数在 3 mm×4 mm,最大可达 4 mm×5 mm。显微镜下观察发现,块状蓝片岩为细粒

钠长绿帘蓝闪石岩,由绿帘石(45%)、钠长石(4%)、蓝闪石(50%)及少量绿泥石等组成,矿物共生组合为:蓝闪石+钠长石+绿帘石±绿泥石,粒度<1 mm,矿物分布不均匀、无方向性,不具有片状构造特征。杏仁体多由钠长石集合体构成,偶尔可见由绿帘石集合体构成的杏仁,这些钠长石集合体和绿帘石集合体中还包裹有大量的蓝闪石,并可见针柱状蓝闪石穿切杏仁体的多晶钠长石。

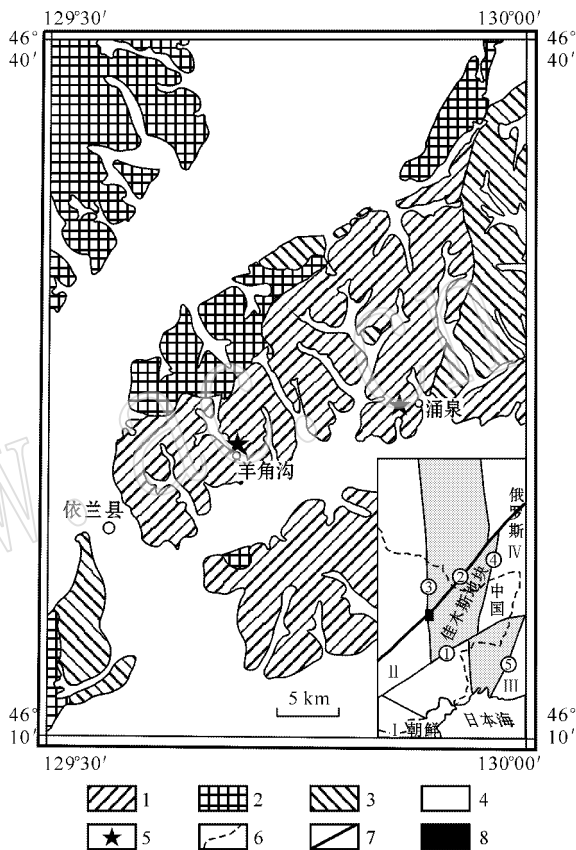


图 1 依兰地区黑龙江杂岩分布略图(据依兰幅 1:20 万地质图修改<sup>①</sup>)

Fig. 1 Distribution of Heilongjiang mélange in Yilan area(modified after 1:200 000 Geological Map of Yilan Sheet<sup>①</sup>)  
 I—中朝板块;II—松嫩地块;III—锡霍特阿林地块;IV—完达山增生带;①—敦化密山断裂;②—佳木斯依兰断裂;③—牡丹江断裂;④—同江-密山断裂;⑤—中央锡霍特阿林断裂;1—黑龙江杂岩;2—侵入岩;3—中生界;4—新生界;5—采样点;6—国界线;7—断裂;8—研究区  
 I—Sino-Korea plate;II—Songnen block;III—Xihot-Alin terrane;IV—Wandashan zone;①—Dunhua-Mishan fault;②—Jiamusi-Yilan fault;③—Mudanjiang fault;④—Tongjiang-Mishan fault;⑤—Central Xihot-Alin fault;1—Heilongjiang mélange;2—intrusive rock;3—Mesozoic;4—Cenozoic;5—sampling point;6—national boundaries;7—fault;8—study area

① 黑龙江省地质局区域地质测量队第五分队,1972. 依兰幅 1:20 万区域地质调查报告(L-52-XVI).

### 3 地球化学特征

#### 3.1 样品采集与分析方法

本次共采集样品 12 件, 1~4 号样品采自依兰县城东北部的羊角沟, 5~12 号样品采自涌泉地区(图 1)。首先将样品用蒸馏水洗净, 烘干后采用刚玉无污染颚式破碎机粗碎, 用玛瑙球磨机细碎至 200 目以下 ( $<0.74\text{ mm}$ )。1~4 号样品主量元素分析由湖北省实验地质研究所综合岩矿测试中心完成, 5~12 号样品由西北大学教育部重点实验室完成, 主量元素的分析方法均采用 X 射线荧光熔片法, 使用仪器为日本理学 3080E1 型波长色散 X 射线荧光光谱仪。所有样品的稀土和微量元素由吉林大学测试科学中心采用等离子体质谱法(ICP-MS)测定, 详细的分析流程和测试精度见文献(Lin *et al.*, 2000)。全部样品的岩石化学分析数据列于表 1。

#### 3.2 主量元素

从表 1 中可以看出, 除 1 号样品的  $\text{SiO}_2$  含量为 40.47% 外, 其余样品  $\text{SiO}_2$  的含量在 42.48%~47.76% 之间, 均值为 45.19%, 低于正常洋中脊玄武岩(N-MORB, 48.77%, Schilling *et al.*, 1983), 而与夏威夷洋岛碱性玄武岩(Hawaii-OIB 47.2%, Burke *et al.*, 1981)的含量比较接近。 $\text{TiO}_2$  和  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量在 2.48%~4.89% 与 0.42%~1.47% 之间, 平均值分别为 3.77% 和 1.09%, 明显高于 N-MORB(1.15% 和 0.09%) 而与 OIB(3.29% 和 0.68%) 相似。除 1 号样品的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量(16.64%) 高于 N-MORB(15.9%) 和 OIB(15.95%), 其他样品含量均低于 15%。 $\text{CaO}$  平均含量

(7.33%) 较 N-MORB(10.85%) 和 OIB(11.16%) 低,  $\text{MgO}$  平均含量为 5.24%, 远低于 N-MORB(9.76%), 而与 OIB(5.18%) 接近;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  的含量除 1 号样品较低外, 其余样品的均在 4.54%~6.41% 之间, 平均为 5.53%;  $\text{Na}_2\text{O}$  的含量普遍大于  $\text{K}_2\text{O}$  的含量, 表明岩石具有富 Na 的特征。在  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  变异图上所有样品位于碱性玄武岩区域(图 2a); 在  $\text{FeO}^{\text{T}} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  图解(图 2b)中, 大多数样品落在洋岛玄武岩区域; 而在  $\text{TiO}_2 - \text{MnO} \times 10 - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$  图(图 2c)上所有样品均显示洋岛碱性玄武岩的特征。样品  $\text{Mg}^{\#}$  值 [ $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ] 为 0.39~0.42, 比原生岩浆  $\text{Mg}^{\#}$  值(0.65~0.75)(Frey and Prinz, 1978)要低。

#### 3.3 稀土、微量元素

由于稀土元素(REE)和高场强元素(HFSE)在岩石蚀变和变质过程中属不活泼元素, 因而针对本区块状蓝片岩进行稀土元素和微量元素的测试, 对于探讨其形成构造环境以及母源岩浆成分等具有重要的指示作用。

由表 1 中可以看出, 所有样品的稀土元素总量都较高, 轻重稀土分异明显。在球粒陨石标准化图解(图 3a)中, 稀土分配曲线表现为轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型, 具有类似于洋岛玄武岩(OIB)的稀土分配形式, 没有  $\text{Eu}$  负异常( $\delta\text{Eu} = 0.92 \sim 1.05$ , 平均值为 1.00)。HFSE(Nb, Ti, Zr, Hf)及 LFSE(Rb, Ba, Sr)富集, 其中 Zr 的含量超过  $200 \times 10^{-6}$ , 绝大多数样品 Y 的含量超过  $30 \times 10^{-6}$ , 这种特征实际为大陆裂谷和 OIB 所共有。从微量元素蛛网图(图 3b)可以看出, Nb 和 Ta 相对富集, 特别是 Ta 的含量很高, 这表明块状蓝片岩的原岩很可能为 OIB。

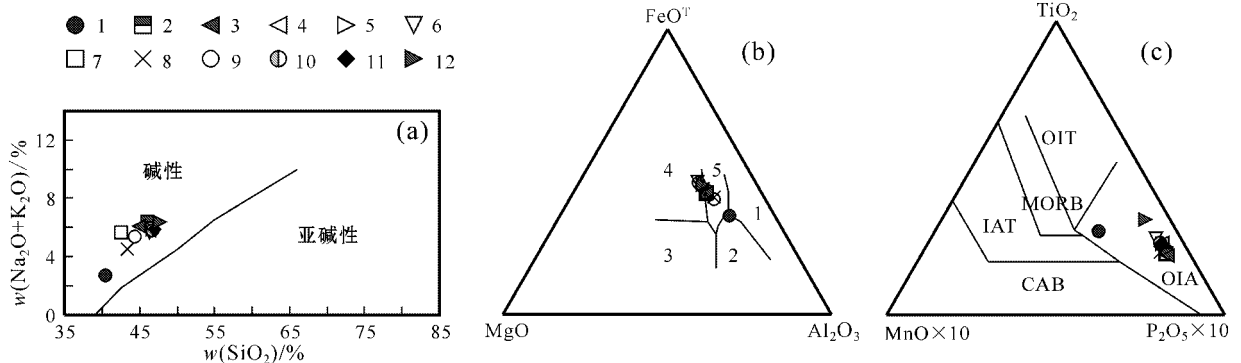


图 2  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  变异图(a, 据 Irvine 和 Baragar, 1971),  $\text{FeO}^{\text{T}} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  图解(b, 据 Pearce 等, 1977)和  $\text{TiO}_2 - \text{MnO} \times 10 - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$  图解(c, 据 Mullen, 1983)

Fig. 2 Diagram of  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (a, after Irvine and Baragar, 1971),  $\text{FeO}^{\text{T}} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  (b, after Pearce *et al.*, 1977) and  $\text{TiO}_2 - \text{MnO} \times 10 - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$  (c, after Mullen, 1983)

1—扩张中心岛屿; 2—岛弧及活动大陆边缘; 3—洋中脊玄武岩; 4—洋岛玄武岩; 5—大陆玄武岩; OIT—洋岛拉班玄武岩或海山拉班玄武岩; MORB—洋中脊玄武岩; IAT—岛弧拉班玄武岩; CAB—岛弧钙碱性玄武岩; OIA—洋岛碱性玄武岩

1—*island of expansion center*; 2—*island arc and margin of active continent*; 3—*middle ocean ridge basalt*; 4—*ocean island basalt*; 5—*continental basalt*;

OIT—*ocean island tholeiite basalt*; MORB—*middle ocean ridge basalt*; IAT—*island arc tholeiite basalt*; CAB—*island arc calcic-alkali basalt*;

OIA—*ocean island alkali-basalt*

表 1 块状蓝片岩的主量元素 ( $w_B/\%$ )、微量和稀土元素 ( $w_B/10^{-6}$ ) 分析结果Table 1 Major element ( $w_B/\%$ ), trace and rare earth element analyses ( $w_B/10^{-6}$ ) of massive blue schist

产地 样号	涌泉				羊角沟							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	40.47	46.07	44.95	46.27	46.70	46.33	42.48	43.36	44.28	46.67	46.93	47.76
TiO <sub>2</sub>	2.48	3.66	4.02	3.78	3.78	3.85	3.92	3.40	3.81	3.81	3.78	4.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.64	12.81	13.18	12.73	12.90	11.80	12.85	13.10	14.37	11.89	12.25	11.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	12.29	15.17	15.22	16.09	15.40	16.97	14.80	13.64	14.66	16.78	16.13	15.24
MnO	0.20	0.13	0.14	0.10	0.10	0.11	0.13	0.14	0.11	0.11	0.11	0.11
MgO	4.40	5.20	5.34	5.56	5.24	5.73	5.46	4.56	5.12	5.72	5.64	4.94
CaO	13.3	6.87	6.55	5.74	6.05	5.89	8.62	10.78	7.24	5.53	5.64	5.77
Na <sub>2</sub> O	1.36	4.51	3.57	3.30	3.31	3.44	3.04	3.99	3.02	3.48	3.61	5.71
K <sub>2</sub> O	1.41	1.90	2.53	2.49	2.57	2.26	2.62	0.55	2.40	2.31	2.30	0.65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.42	1.30	1.47	1.07	1.08	0.98	1.37	1.13	1.28	1.07	1.09	0.90
LOI	6.56	2.75	3.35	2.87	2.77	2.58	4.44	4.89	3.22	2.70	2.65	2.86
Total	99.53	100.37	100.30	100.00	99.90	99.94	99.73	99.54	99.51	100.07	100.13	100.38
Mg <sup>#</sup>			0.41	0.40	0.40	0.42	0.39	0.41	0.40	0.41	0.41	
La	22.1	48.6	48.5	35.72	45.2	27.56	36.82	37.2	55.82	28.03	27.54	28.4
Ce	58.2	124	127	97.01	119	76.27	102	99.09	140.5	77.07	77.81	77.2
Pr	8.67	18	18.2	14.42	16.8	11.55	14.26	14.23	19.65	11.56	11.81	10.8
Nd	45.5	92.7	93.2	72.59	83.2	59.06	72.85	72.03	97.52	58.37	61.37	54.8
Sm	13.7	24.4	24.1	19.5	22.2	16.37	19.66	19.08	26.25	15.94	17.24	15.1
Eu	4.82	8.44	8.11	6.364	7.29	5.205	6.382	6.512	9.713	5.154	5.301	5.14
Gd	14.8	23.8	23.3	20.01	22.5	16.69	19.93	19.76	27.65	16.2	17.61	14.9
Tb	2.23	3.24	3.13	2.576	2.88	2.134	2.489	2.462	3.545	2.106	2.265	2.19
Dy	11.2	14.1	13.7	11.71	13	9.782	11	10.86	15.88	9.71	10.33	10.1
Ho	1.71	1.79	1.78	1.585	1.76	1.371	1.479	1.448	2.095	1.345	1.429	1.42
Er	3.58	3.18	3.27	2.869	3.12	2.552	2.606	2.543	3.594	2.515	2.671	2.78
Tm	0.39	0.29	0.3	0.302	0.31	0.28	0.28	0.26	0.34	0.28	0.29	0.29
Yb	1.91	1.25	1.28	1.211	1.26	1.161	1.049	0.992 4	1.321	1.1	1.139	1.33
Lu	0.22	0.14	0.14	0.119	0.12	0.114 5	0.102 4	0.092 99	0.127 7	0.11	0.112 8	0.14
Rb	38.4	25.17	35.24	37.94	41	34.49	39.78	12.42	37.02	34.08	35.23	25.17
ΣREE	227.43	389.1	401.3	323.9	380	264.59	330.69	298.984	441.03	263.572	272.15	249.76
Sr	399.04	650.57	680.8	665.7	781	588.6	495.8	1139	1012	517.1	492.8	650.57
Ba	135.9	314.6	419	483.3	511	448.1	398.9	71.06	445.3	436.8	441.8	314.6
Nb	20.72	37.15	40.35	42.05	43.4	45.26	41.04	39.98	45.91	39.55	21.43	37.15
Ta	3.836	3.428	4.014	3.528	3.65	4.095	3.363	3.241	3.852	3.369	1.253	3.625
Zr	200.79	602.07	653.4	641.3	641	624.4	595	547.2	637.7	593.6	610.6	602.07
Hf	4.55	15	16.6	16.69	16.4	16.23	15.02	13.41	16.94	15.42	16.07	15
V	218.18	162.96	171.7	222.6	222	224.1	201.3	184.7	228.1	219.3	197.6	162.96
Pb	2.475	1.796	2.628	2.466	2.628	2.002	2.449	2.342	3.956	1.797	1.873	3.154
Th	1.11	3.4	3.69	2.386	3.17	3.196	2.488	2.1	3.099	2.335	2.815	3.4
U	0.5	1.04	1.51	1.694	1.54	1.565	1.538	1.186	1.779	1.414	1.482	1.04
Sc	22.46	7.16	7.71	5.79	5.6	7.8	3.72	3.009	4.539	7.159	3.693	7.16
Ni	175.12	58.65	65.15	70.35	60.9	89.08	48.85	48.18	76.39	71.29	66.9	58.65
Y	33.86	48.71	46.68	34.87	42	32.5	33.42	31.5	48.29	29.49	31.93	48.71

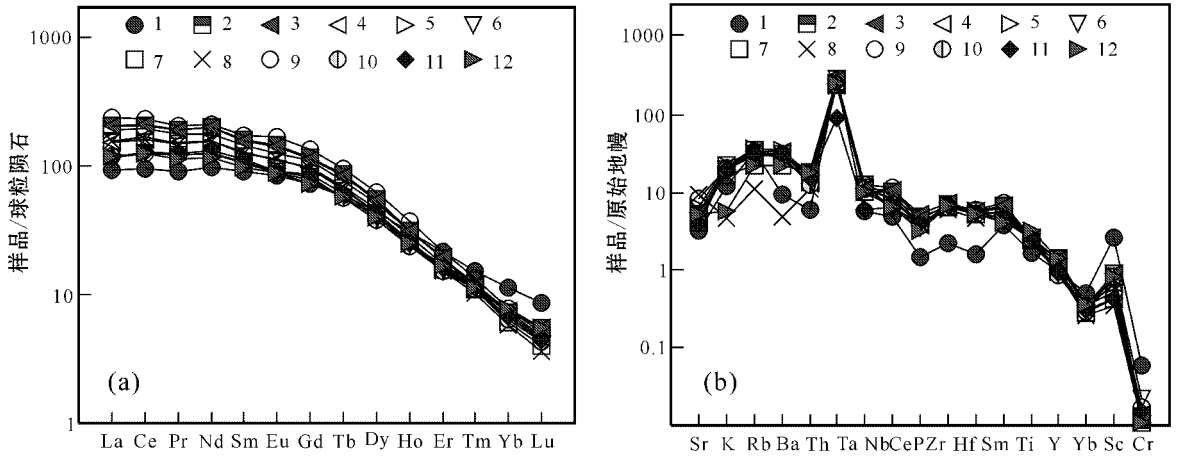


图 3 块状蓝片岩稀土元素配分曲线 (a) 和微量元素蛛网图 (b)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (a) and trace element spidergram (b) of massive blue schist

根据 Hofmann (1997) 的元素相容图解, 大洋来源的玄武岩具有正的 Nb 异常和负的 Pb 异常, 而大陆来源玄武岩正相反。从图 4a 中可以看出, 多数样品具有正的 Nb 异常和负的 Pb 异常特征, 因而可以认为本区块状蓝片岩的源岩形成于大洋环境 (少数样品表现出 Nb 的负异常不排除实验误差的原因)。在 Nb $\times$ 2 - Zr/4 - Y 图解 (图 4b) 中, 样品投影在大洋壳的板内碱性玄武岩区域, 而在图 5 上, 所有样品均投影在洋岛玄武岩 (OIB) 区域。

### 4 构造演化讨论

近年来的研究结果显示, 嘉荫-依兰缝合带具有复杂的岩

石组合, 蛇绿混杂岩既具有洋中脊玄武岩、板内拉斑玄武岩, 又有碱性玄武岩的特征。为确定这些岩石的形成时代运用锆石 U-Pb 测年方法获得的结果十分复杂 (650 ~ 170 Ma) (刘建辉, 2006)。对于经历蓝片岩相变质作用的时代目前尚未取得一致的认识, 张兴洲 (1992) 根据获得的 557.9 ~ 599.6 Ma 的蓝闪石单矿物 Ar-Ar 年龄, 认为其高压变质作用发生在新元古代; 李锦轶等 (1999) 根据牡丹江地区动力变质岩的 166 ~ 175 Ma 的角闪石和白云母 Ar-Ar 年龄, 叶慧文等 (1994) 根据牡丹江蓝片岩的 154.7 Ma 的青铝闪石单矿物 Ar-Ar 年龄, 认为敦化-密山断裂是发生在晚侏罗世的大规模左滑运动产物。最近 Wu 等 (2007) 则认为黑龙江杂岩经历蓝片岩相变质作用的时代应为晚侏罗世。黑龙江杂岩中蓝片岩相变质作用

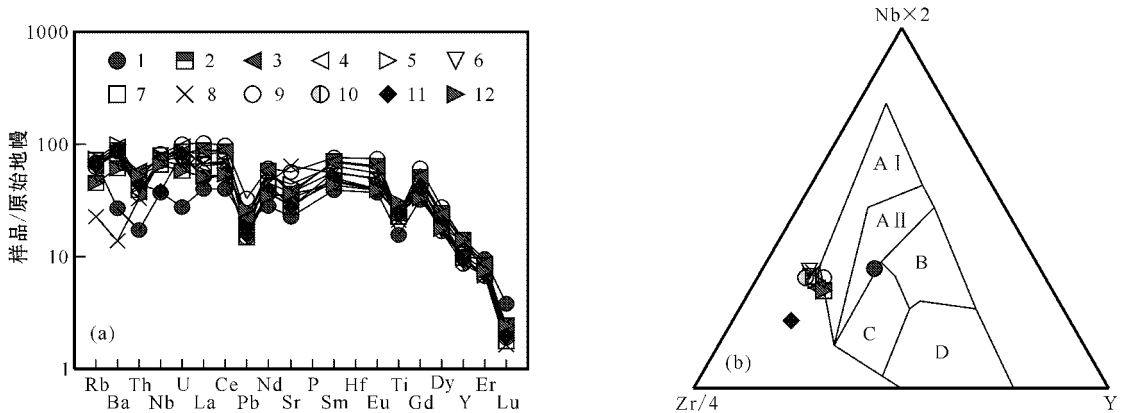


图 4 块状蓝片岩元素相容图解 (a) 和 Nb $\times$ 2 - Zr/4 - Y 图解 (b) (据 Meschede, 1986)

Fig. 4 Diagram of element compatibility (a) and Nb $\times$ 2 - Zr/4 - Y (b) of massive blue schist (after Meschede, 1986)

A I—板内碱性玄武岩; A II—板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩; B—E 型 MORB; C—板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩;

D—火山弧玄武岩和 N 型 MORB

A I—intraplate alkali-basalt; A II—intraplate alkali-basalt and intraplate tholeiite; B—E-MORB; C—intraplate tholeiitic basalt and volcanic arc basalt; D—volcanic arc basalt and N-MORB

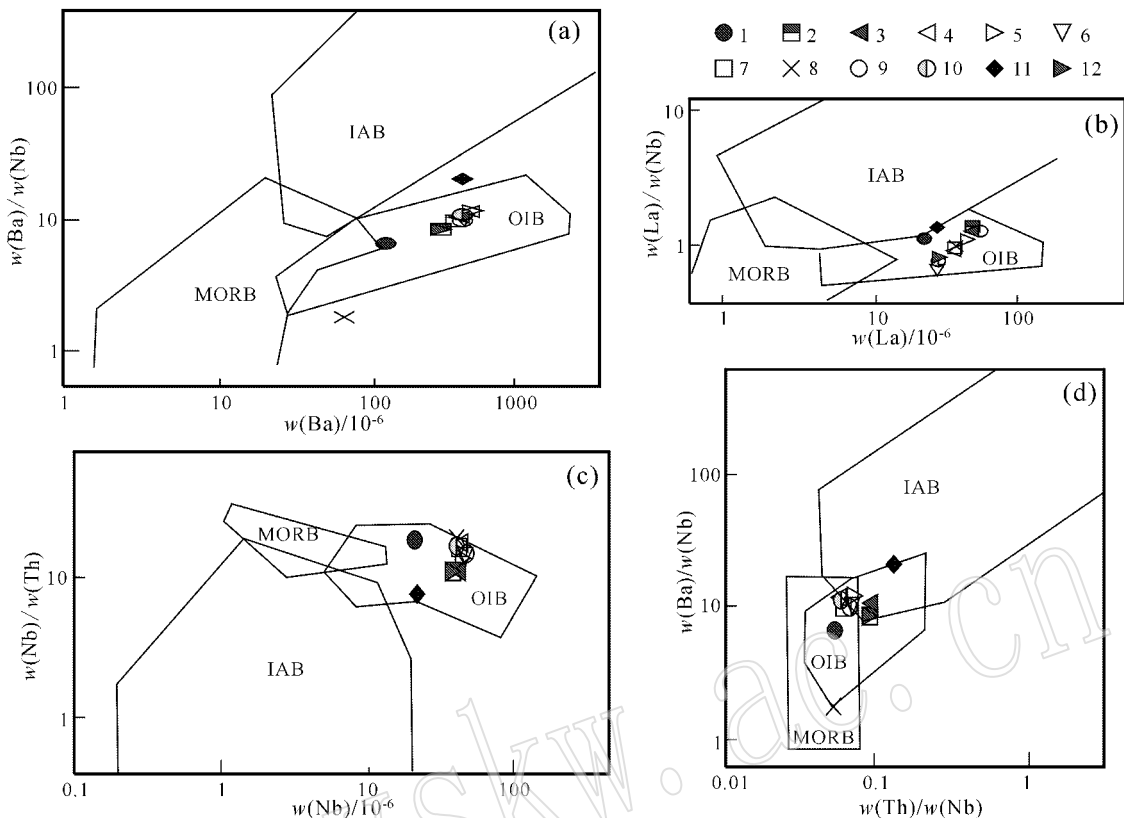


图 5 块状蓝片岩 Ba/Nb - Ba (a) La/Nb - La (b) Nb/Th - Th (c) 和 Ba/Nb - Th/Nb (d) 图解 (据李曙光, 1993)  
 Fig. 5 Ba/Nb - Ba (a) La/Nb - La (b) Nb/Th - Th (c) and Ba/Nb - Th/Nb (d) diagrams of massive blue schist  
 (after Li Shuguang, 1993)

MORB—洋中脊玄武岩 ; IAB—岛弧玄武岩 ; OIB—洋岛玄武岩

MORB—middle ocean ridge basalt ; IAB— island arc basalt ; OIB— ocean island basalt

时代的确定,是厘定佳木斯地块与松嫩地块碰撞拼合过程的重要内容。但是仅根据单纯的年代学资料去讨论佳木斯地块的构造演化过程,显得论据不足。实际上依兰-牡丹江缝合带的蛇绿混杂岩严格受牡丹江断裂的控制,在断裂以西基本上未见混杂岩的出露,因而牡丹江断裂的强烈活动可能是混杂岩抬升剥露的重要原因,混杂岩中青铅闪石 154.7 Ma 的 Ar-Ar 年龄与 166~175 Ma 的角闪石和白云母 Ar-Ar 年龄可能反映了牡丹江断裂最近一次的强烈活动时代。

综合分析依兰地区块状蓝片岩的地球化学特征,基本可以确定其构造环境为大洋板内洋岛环境。热模拟证实了产生蓝片岩的环境只能存在于俯冲带和相关的会聚板块处,但如果俯冲作用持续进行,已形成的蓝片岩将被带至上地幔中去,所以蓝片岩的保存、抬升和剥蚀机制是相当重要的(Thompson and Ridley, 1987)。受研究资料所限,笔者无法对黑龙江杂岩中蓝片岩的抬升、剥蚀机制给予圆满的回答,但有一点认识是可以肯定的,即后期构造改造过程中钠质流体的作用使得大量的脉状青铅闪石形成(叶慧文等,1994),而这一过程并非洋壳俯冲过程的反映。实际上黑龙江杂岩中钠质闪石的形成至少经历了早期洋壳俯冲作用和后期构造改造过程中钠

质流体活化这两个阶段(宋海峰等,2006),因而弄清楚钠质闪石的成因是正确解释蓝片岩形成时代的前提。

变质矿物的排列方式与其形成时的应力条件有关。黑龙江混杂岩中分布着大量的变基性火山碎屑岩(宋海峰等,2006),岩屑与胶结物均含有大量的蓝闪石,其变质程度相近,但岩屑变形极弱(或未变形),所含的蓝闪石不具有定向特征,而胶结物的变形却很明显且含有的蓝闪石明显定向。从依兰地区块状蓝片岩野外产出的结构构造特征来看,不定向组构特征的形成时间较早,且在后期改造过程(脉状青铅闪石形成)中受到的影响较弱,因而形成时间应早于晚侏罗世,它们的形成才是佳木斯地块与松嫩地块之间古洋壳俯冲过程的反映。

### 5 结论

(1) 依兰地区块状蓝片岩的原岩是碱性玄武岩。

(2) 依兰地区块状蓝片岩的原岩属于大洋板块内部的洋岛玄武岩。

(3) 依兰地区块状蓝片岩的原岩反映了佳木斯地块与松嫩地块之间存在过业已消失的洋盆。

(4) 依兰地区块状蓝片岩形成时间应早于晚侏罗世,是佳木斯地块与松嫩地块之间古洋壳俯冲过程的记录。

## References

- Burke K C, Kidd W S, Turcotte F, *et al.* 1981. Tectonics of basaltic volcanism. Basaltic volcanism study project [ J ]. Pergamon Press Inc. , 1 286.
- Cao Xi, Dang Zengxin, Zhang Xingzhou, *et al.* 1992. Jiamusi Composite Terranes [ M ]. Changchun: Jilin Publishing House of Science and Technology, 45~126 (in Chinese).
- Cuinci C and Ricard Y. 1999. HP/LT metamorphism and dynamic of the accretionary wedge [ J ]. Geophys. J. Int. , 136 : 620~628.
- Ernst W G. 1988. Tectonic history of subduction zones inferred from retrograde blueschist *P-T* path [ J ]. Geology, 16 : 1 801~1 804.
- Frey F A and Prinz M. 1978. Ultramafic inclusion from San Carlos, Arizona: petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis [ J ]. Earth Planet. Sci. Lett. , 38 : 129~176.
- Hofmann A W. 1997. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism [ J ]. Nature, 385 : 219~229.
- Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [ J ]. Canada Journal of Earth Science, 8(5): 523~548.
- Li Jinyi, Niu Baogui, Song Biao, *et al.* 1999. Crustal Formation and Evolution of Northern Changbaishan Mountains, Northeast China [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 46~49 (in Chinese).
- Li Shuguang. 1993. Ba-Th-Nb-La discrimination diagram of the formation tectonic setting of ophiolite [ J ]. Acta Petrologica Sinica, 9(2): 146~157 (in Chinese with English abstract).
- Lin Soulin, He Man, Hu Shenghong, *et al.* 2000. Precise determination of trace elements in geological samples by ICP-MS using compromise conditions and fine matrix-matching strategy [ J ]. Analytical Sciences, 16(12): 1 291~1 296.
- Liou J G, Maruyama S, Wang X, *et al.* 1990. Precambrian blueschist terranes of the world [ J ]. Tectonophysics, 181 : 97~111.
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [ J ]. Chemical Geology, 56(3~4): 207~218.
- Mullen E D. 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis [ J ]. Earth and Planetary Science Letters, 62(1): 53~62.
- Pearce T H, Gorman B E and Birkett T C. 1977. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks [ J ]. Earth and Planetary Science Letters, 36(1): 121~132.
- Schilling J G, Zajac M, Evans R, *et al.* 1983. Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 29 degrees N to 73 degrees N [ J ]. American Journal of Science, 283 : 510~586.
- Song Haifeng, Zhang Xingzhou, Wang Yue, *et al.* 2006. Origin and evolution of sodium amphibolites in metamorphic basic volcanic rocks from Yongquan area of Heilongjiang [ J ]. Global Geology, 25(1): 10~15 (in Chinese).
- Thompson A B and Ridley J R. 1987. Pressure-temperature-time (*P-T-t*) histories of orogenic belts [ J ]. Mathematical and Physical Sciences, 321(1 557): 27~44.
- Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Lo Chinghua, *et al.* 2007. The Jiamusi massif: a Jurassic accretionary terrane along the western Pacific margin of NE China [ J ]. Island Arc, 16 : 156~172.
- Ye Huiwen, Zhang Xingzhou, Zhou Yuwen, *et al.* 1994. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age and its geologic significance of vein crossite in glaucophane-schist, Mudanjiang area [ J ]. Journal of Changchun University of Earth Science, 24(4): 369~372 (in Chinese).
- Zhang Xingzhou. 1992. Early Collision History of Jiamusi Terrain-Structure of Heilongjiang Melange-Petrologic Evidences [ D ]. Changchun: Jilin University (in Chinese).
- Zhang Xingzhou and Zhang Yuanhou. 1991. Existence of blueschist and greenschist: new evidences of structure evolution of Heilongjiang melange [ J ]. Journal of Changchun University of Earth Science, 21(3): 277~282 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 曹 熹,党增欣,张兴洲,等. 1992. 佳木斯复合地体 [ M ]. 长春: 吉林科学技术出版社: 45~126.
- 李锦轶,牛宝贵,宋 彪,等. 1999. 长白山北段地壳的形成与演化 [ M ]. 北京: 地质出版社, 46~49.
- 李曙光. 1993. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图解 [ J ]. 岩石学报, 9(2): 146~157.
- 刘建辉. 2006. 黑龙江杂岩带的地质成因及其构造意义 [ D ]. 吉林大学硕士学位论文.
- 宋海峰,张兴洲,王 跃,等. 2006. 黑龙江涌泉地区变质基性火山岩中钠质角闪石的成因及演化 [ J ]. 世界地质, 25(1): 10~15.
- 叶慧文,张兴洲,周裕文,等. 1994. 牡丹江地区蓝片岩中脉状青铝闪石<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义 [ J ]. 长春地质学院学报, 24(4): 369~372.
- 张兴洲. 1992. 佳木斯地体的早期碰撞史——黑龙江岩系的构造-岩石学证据 [ D ]. 长春: 吉林大学.
- 张兴洲,张元厚. 1991. 蓝片岩与绿片岩共存: 龙江岩系构造演化新证据 [ J ]. 长春地质学院学报, 21(3): 277~282.