

依兰地区原黑龙江群碱性玄武质火山碎屑岩的发现及地球动力学意义探讨

宋海峰^{1,2}, 刘正宏¹, 徐仲元¹, 王跃¹

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 长春工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要: 在依兰地区原黑龙江群中发现了一套火山碎屑岩, 它由岩屑和细粒的火山碎屑物组成, 岩屑呈透镜状、焰舌状等, 细粒火山碎屑物发生了强烈变形。二者矿物组成相似, 均由钠质闪石、钠长石、绿帘石以及少量绿泥石组成, 但各矿物含量及特征差别较大。火山碎屑岩岩屑的地球化学特征表明, 岩屑为碱性玄武岩, $LREE/HREE = 3.87 \sim 4.24$ (La/Yb)_n = 7.20~8.12, $Eu^*/Eu = 1.03 \sim 1.09$, 稀土元素配分曲线为右倾型。岩屑微量元素与 MORB 相比, 富集 Sr、K、Rb、Ba 等不相容元素, Yb 含量略低于 MORB, 初步确定岩屑为形成于大洋板内洋岛环境的碱性玄武岩。在岩浆喷出尚未完全凝固之前, 大洋板块内的热点再次活动, 早期形成的碱性玄武岩破碎, 形成塑性-半塑性岩屑, 并被火山碎屑物胶结, 它们为大洋板内“轴外火山作用”形成的洋岛型火山碎屑岩。这一发现为恢复该地区的古构造环境、确定原黑龙江群的构造属性提供了新的线索。

关键词: 碱性玄武岩; 火山碎屑岩; 黑龙江增生杂岩; 依兰

中图分类号: P588.21⁺1; P588.14⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)03-0205-07

The discovery of alkaline basaltic pyroclastic rocks in original Heilongjiang Group of Yilan area and its geodynamic significance

SONG Hai-feng^{1,2}, LIU Zheng-hong¹, XU Zhong-yuan¹ and WANG Yue¹

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Changchun Institute of Technology, Changchun 130021, China)

Abstract: In this paper, a set of pyroclastic rocks was discovered in the original Heilongjiang Group of Yilan area. They are composed of debris and fine-grained pyroclastics. The debris is in the lenticular and flame forms, whereas the fine-grained pyroclastics have been highly deformed. With similar composition, they are comprised of sodium amphibole, albite, epidote and minor amounts of chlorite; nevertheless, there is an obvious difference between them in mineral content and mineral characteristics. Geochemical characteristics of pyroclastic rocks suggest that the debris belongs to alkaline basalt, with its $LREE/HREE$ ratio between 3.87 and 4.24, its $(La/Yb)_n$ between 7.20 and 8.12, its Eu^*/Eu ratio between 1.03 and 1.09, and its REE distribution partition curve being of the right-oblique type. Compared to things of MORB, the trace elements of pyroclastics are more enriched in such incompatible elements as Sr, K, Rb and Ba. Yb is slightly lower than that in MORB. In the $Zr - Zr/Y$ diagram and $TiO_2 - MnO \times 10 - P_2O_5 \times 10$ diagram, points of all samples are plotted in the oceanic-island basalt and interpolated area. It is considered that pyroclastics are alkaline basalts formed in an ocean island environment within the oceanic plate. Before the complete coagulation of these oceanic-island alkaline

收稿日期: 2007-11-22; 修订日期: 2008-01-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40572117)

作者简介: 宋海峰(1968-), 男, 汉族, 博士, 构造地质学专业, 主要从事变质变形构造等方面研究, E-mail: hfsong68@163.com。

basalts, the hotspot in the oceanic plate became active again and broke the previously-formed alkaline basalts into plastic-semiplastic debris, which was then cemented by pyroclastics. The pyroclastics are ocean island type pyroclastics formed by "off-axis volcanism" within the oceanic plate. This discovery has provided some new clues to the paleotectonic environment and to the determination of tectonic attributes of the original Heilongjiang Group.

Key words: alkaline basalt; volcanoclastic rocks; Heilongjiang accretionary complexes; Yilan area

对佳木斯地块的研究已有数十年的历史,积累了许多宝贵的资料,但由于地质露头差、地质历史比较复杂等多方面原因,对该地区的一些重大地质问题存在着截然不同的看法,尤其对佳木斯地块原黑龙江群的归属问题争论较大(徐公愉等,1986;刘静兰,1988;曹熹等,1992;张兴洲,1992;黑龙江省地质矿产局,1993;赵春荆等,1996;李锦轶等,1999)。近年来通过对原黑龙江群的地质产状、原岩建造、大地构造环境等方面的深入研究,确定了依兰地区原黑龙江群为增生杂岩(白景文等,1988;曹熹等,1992;张兴洲,1992;李锦轶等,1999)。尽管上述研究取得了一定的成果,但目前还存在一些需要解决的问题,如该地区这套增生杂岩中变质火山岩的原岩类型及它们形成的构造环境、变质火山岩与绿色片岩之间的关系等问题。本文以依兰地区原黑龙江群为研究对象,通过对其地质特征、岩相学和地球化学特征的分析,讨论了依兰地区原黑龙江群变质火山岩的原岩类型及可能形成的大地构造背景、变质火山岩与绿色片岩之间的关系。

1 区域地质概况

佳木斯地块位于兴蒙造山带东段,处于华北板块、西伯利亚板块和太平洋板块所夹持地区,它的西侧为牡丹江断裂,东侧为同江-当壁断裂,西北侧为佳-依断裂,东南侧为敦-密断裂,变质杂岩主要由麻山群、兴东群和原黑龙江群组成(图1)。

麻山群为佳木斯地块变质杂岩的重要组成部分,主要分布于佳木斯地块南部,为一套富铝含墨、与孔兹岩系相当的高级变质杂岩(姜继圣,1996),构成了佳木斯地块前寒武纪变质基底(曹熹等,1992;黑龙江省地质矿产局,1993;姜继圣,1996)。最近通过锆石定年研究发现,麻山群的变质年龄为500 Ma左右(宋彪等,1997;Wilde *et al.*, 2001),佳木斯地块可能属于泛非期冈瓦纳超级大陆的一部分(Wilde *et al.*, 2001)。

兴东群主要分布于佳木斯地块中部,岩石组合

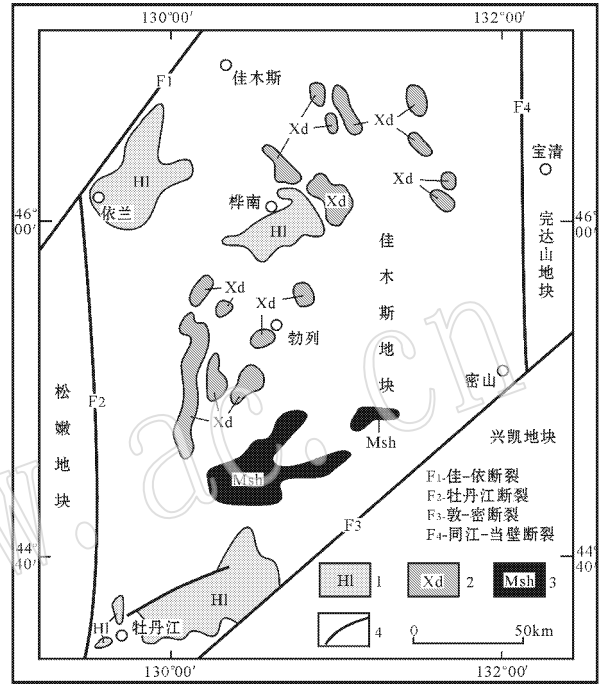


图1 佳木斯地块变质杂岩分布特征 据李锦轶等(1999)修改]

Fig. 1 Distribution of metamorphic complexes in Jiamusi terrain (modified from Li Jinyi *et al.*, 1999)
1—原黑龙江群;2—兴东群;3—麻山群;4—断裂
1—original Heilongjiang Group; 2—Xingdong Group; 3—Mashan Group; 4—fault

与麻山群相似,经对比研究发现,兴东群与麻山群完全可以对比(黑龙江省地质矿产局,1993)。

原黑龙江群位于牡丹江断裂东侧,呈南北向带状分布,主要分布于牡丹江、依兰地区。早期将它视为变质地层,并按传统地层学的划分方案进行了划分(黑龙江省地质矿产局,1993);之后有研究者认为它构成了前寒武纪花岗-绿岩带(刘静兰,1988;赵春荆等,1996)。通过对原黑龙江群岩石学、矿物学以及微体古生物学的研究发现,原黑龙江群为一套增生杂岩,为佳木斯地块与松嫩地块拼合过程中形成的一套增生杂岩(白景文等,1988;叶惠文,1990;张兴洲,1992;曹熹等,1992),佳木斯地块与松嫩地块之间的古洋盆主闭合期为加里东时期(张兴洲,

1992) 本文称这套增生杂岩为黑龙江增生杂岩。

2 增生杂岩和火山碎屑岩的地质特征

依兰地区的黑龙江增生杂岩整体上呈南北向带状分布, 现存面理方向为北东向, 它由基质和岩块两部分组成, 二者为断层接触。基质为长英质片岩, 占杂岩的 70% 左右, 为一套活动大陆边缘的沉积岩系(曹熹等, 1992, 张兴洲, 1992); 岩块包括超基性岩块、变质火山岩岩块和大理岩岩块, 它们分布于长英质片岩之中, 占杂岩的 30% 左右, 这些岩块的长轴方向与面理方向一致(图 2), 为一套肢解的蛇绿岩套岩石组合(曹熹等, 1992, 张兴洲, 1992)。

除早期在涌泉发现保留枕状构造的变基性火山熔岩外(曹熹等, 1992, 张兴洲, 1992), 笔者在依兰地区首次发现了变质火山碎屑岩。变质火山碎屑岩出露于涌泉南西大架子山附近, 出露面积约 15 m × 8 m。火山碎屑岩呈透镜状残存于绿色片岩中, 中部的岩屑较大, 变形较弱, 原岩特征保存较好; 边部岩屑较小, 变形强烈, 向两侧由火山碎屑岩逐渐过渡到绿色片岩(图 3)。

火山碎屑岩呈浅灰色, 碎屑物分选差, 成分和结构、构造变化大, 缺乏稳定的层理(图 4a)。它由两部分组成, 一部分为塑性-半塑性岩屑, 呈透镜状、焰舌状、树叉状、纺锤状等, 最大可达 18 cm × 5 cm, 最小为 2 cm × 1 cm, 含量大于 70%, 整体变形极弱; 另一部分为细粒的火山碎屑, 含量小于 30%, 普遍发生了强烈变形, 产状变化较大(图 4b)。

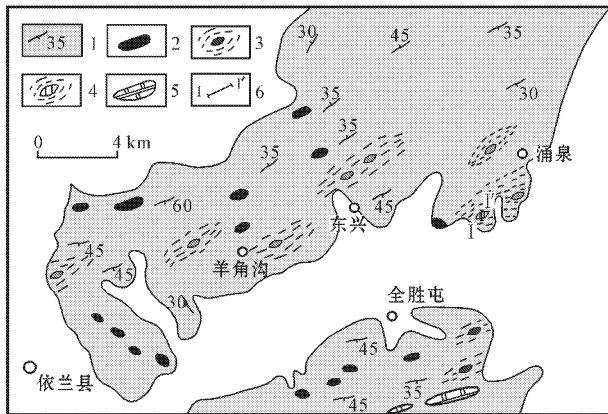


图 2 依兰地区黑龙江增生杂岩分布特征

Fig. 2 Distribution of Heilongjiang accretionary complexes in Yilan area

1—长英质片岩及产状; 2—超基性岩; 3—变质火山熔岩及绿色片岩; 4—变质火山碎屑岩及绿色片岩; 5—大理岩; 6—图 3 的位置
1—felsic schist and its occurrence; 2—ultrabasic rocks; 3—metamorphic volcanic lava and greenschist; 4—metamorphic volcanoclastic rocks and greenschist; 5—marble; 6—location of section Fig. 3

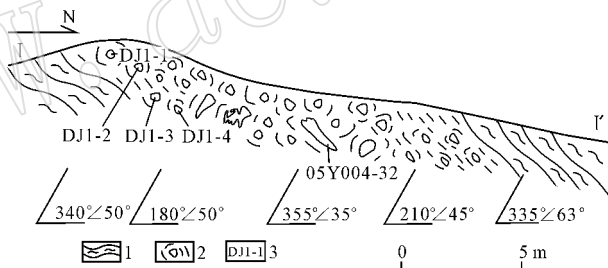


图 3 变质火山碎屑岩与绿色片岩之间关系

Fig. 3 Relationship between metamorphic volcanoclastic rocks and greenschist

1—绿色片岩; 2—变质火山碎屑岩; 3—取样位置及编号
1—greenschist; 2—metamorphic volcanoclastic rocks; 3—sampling position and serial number

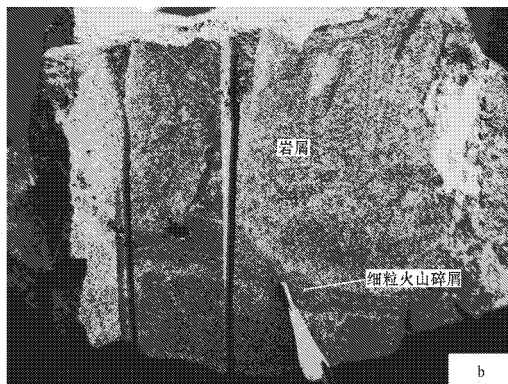


图 4 变质火山碎屑岩产出特征(a)及火山碎屑岩变形特征(b)

Fig. 4 Modes of occurrence of metamorphic volcanoclastic rock(a) and deformational characteristics of volcanoclastic rock(b)

火山碎屑岩中岩屑和细粒火山碎屑物的矿物组成相似,均由钠质闪石、钠长石、绿帘石及少量绿泥石组成,但二者在结构、构造上差别较大,岩屑具有的粗粒变晶结构、块状构造与细粒火山碎屑物具有的细粒变晶结构、片状构造显著不同。镜下观察二者在矿物含量、结构构造上也存在较大差异。

岩屑(图5a)中含有大量的钠质闪石(30%~35%),自形程度较高,不定向均匀分布,多具环带结构,含有绿帘石包体,粒度多数在 $0.1\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$,最大 $0.2\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$;钠长石(30%~35%),多呈团块状,粒度多数在 $0.3\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$,内部含

有细小的钠质闪石和绿帘石包体;绿帘石(30%~40%),半自形,多呈团块状分布;岩石中含有少量的绿泥石。细粒火山碎屑物(图5b)中矿物粒度明显小于岩屑中矿物粒度,并且在细粒火山碎屑物中含有和岩屑矿物组成、结构构造特征相似的细小岩屑。其中钠质闪石含量30%~35%,定向排列,钠长石极少,含量小于5%,多分布于细小岩屑中;绿帘石(50%~60%)多呈条带状分布;岩石中含有少量的绿泥石(由于绿泥石含量很少,并且粒度也很小,在图5中未显示出;火山碎屑岩中钠质闪石的特征及成因将在另文中详述)。

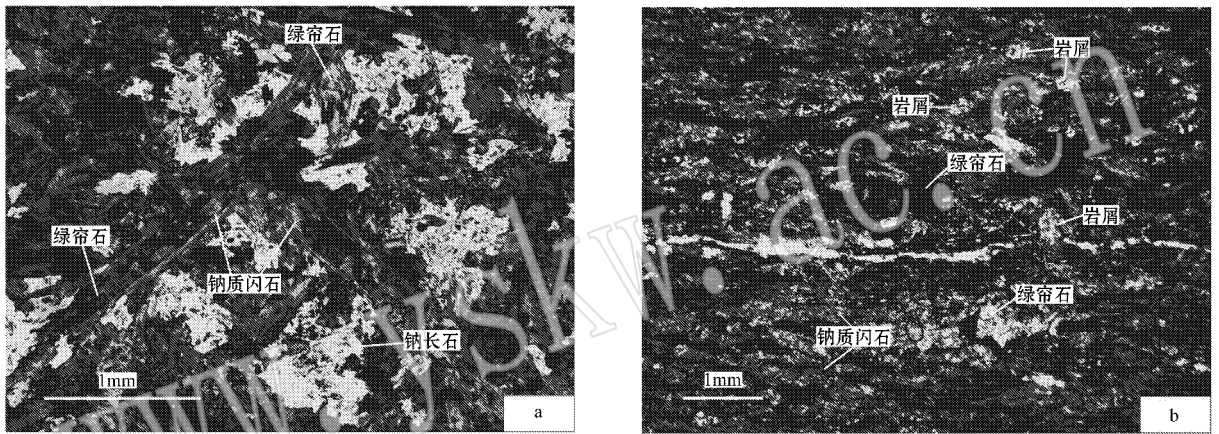


图5 火山碎屑岩岩屑(a)与细粒火山碎屑物(b)的特征(单偏光)

Fig. 5 Characteristics of pyroclastic debris (a) and fine-grained volcanic debris (b) (plain-polarized light)

3 样品采集与测试

为进一步探讨火山碎屑岩的地球化学特征及可能形成的构造背景,对该区分布的火山碎屑岩中的岩屑进行了样品采集,共采集了5个样品,其中DJ1-1、DJ1-2、DJ1-3、DJ1-4号样品取自火山碎屑岩边部的岩屑,这些火山碎屑岩变形较强;05Y004-32号样品取自火山碎屑岩中部的岩屑,这些火山碎屑岩变形较弱,取样位置见图3。

首先将测试样品用蒸馏水洗净,然后用特制的刚玉瓷无污染颚式破碎机粗、中碎,用玛瑙球磨机细碎至200目以下($<0.74\text{ mm}$)。全部分析测试由西北大学教育部大陆动力学重点开放实验室完成,主量元素采用日本Rigaku公司的RIX-2100型光谱仪,仪器检出限为 10^{-6} ,元素的测定精度可达0.01%,误差分析小于5%;微量元素及稀土元素采

用美国Perkin Elmer公司ELAN6100DRC型电感耦合等离子质谱(ICP-MS)测定,分析精度和准确度一般优于10%,全部样品的岩石化学分析数据列于表1。

4 火山碎屑岩岩屑的地球化学特征

从表1可见,岩屑的 SiO_2 含量介于50.24%~51.68%之间, $\text{TiO}_2 > 2\%$ (2.25%~3.19%),高碱, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) > 5\%$,且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$,属碱性玄武岩。

岩屑的稀土元素总量较高($\sum \text{REE} = 167.99 \times 10^{-6} \sim 188.92 \times 10^{-6}$);富集轻稀土元素, $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.87 \sim 4.24$;轻、重稀土元素分馏明显, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 7.20 \sim 8.12$;无明显铕异常($\text{Eu}^*/\text{Eu} = 1.03 \sim 1.09$)。稀土元素配分曲线为右倾型(图6a),与洋岛碱性玄武岩具有相似的稀土元素配分曲线,类似夏威夷洋岛玄武岩(Frey, 1984)。

岩屑微量元素与MORB相比,均富集Sr、K、

表 1 火山碎屑岩岩屑常量元素 ($w_B/\%$)、稀土和微量元素 ($w_B/10^{-6}$) 组成

Table 1 Composition of major ($w_B/\%$), rare earth and trace elements ($w_B/10^{-6}$) in pyroclastics

序号	1	2	3	4	5
样品号	DJ1-1	DJ1-2	DJ1-3	DJ1-4	05Y004-32
SiO ₂	51.21	51.58	50.69	51.68	50.24
TiO ₂	2.59	2.57	3.11	2.25	3.19
Al ₂ O ₃	13.18	14.57	12.58	13.92	13.56
TF ₂ O ₃	13.30	11.88	13.83	12.32	13.80
MnO	0.10	0.09	0.10	0.10	0.11
MgO	3.91	3.27	4.08	3.44	3.52
CaO	6.92	7.42	7.20	6.86	7.20
Na ₂ O	6.44	6.25	5.96	6.51	4.44
K ₂ O	0.38	0.27	0.39	0.23	1.15
P ₂ O ₅	0.79	0.71	0.82	0.82	0.65
LOI	1.40	1.45	1.43	1.41	2.21
Total	100.22	100.06	100.19	99.54	100.07
La	19.34	20.00	20.44	17.27	22.05
Ce	51.28	51.83	53.85	47.01	58.18
Pr	7.74	7.80	8.02	7.17	8.67
Nd	40.20	41.02	41.87	37.45	45.48
Sm	12.13	12.63	12.59	11.43	13.65
Eu	4.44	4.75	4.62	4.29	4.82
Gd	13.43	14.25	14.15	12.54	14.81
Tb	2.08	2.29	2.19	1.97	2.23
Dy	10.38	11.58	10.92	9.99	11.21
Ho	1.56	1.75	1.64	1.51	1.71
Er	3.22	3.53	3.39	3.12	3.58
Tm	0.36	0.37	0.37	0.33	0.39
Yb	1.62	1.73	1.70	1.62	1.91
Lu	0.20	0.20	0.20	0.19	0.22
Sr	275.00	335.00	270.00	306.00	296.00
Rb	5.53	2.96	5.07	2.02	20.30
Ba	74.80	46.90	78.60	36.10	406.00
Th	1.29	1.25	1.39	1.30	1.74
Ta	1.01	1.00	1.06	1.01	1.28
Nb	14.90	15.00	16.30	14.50	19.20
Ce	51.30	51.80	53.80	47.00	58.20
Zr	248.00	247.00	275.00	258.00	347.00
Hf	7.24	7.17	7.81	7.31	9.64
Sm	12.10	12.60	12.60	11.40	13.70
Y	40.20	46.10	43.40	40.10	43.80
Yb	1.62	1.73	1.70	1.62	1.91
Na ₂ O+K ₂ O	6.82	6.52	6.35	6.74	5.59
∑REE	167.99	173.74	175.94	155.88	188.92
LREE/HREE	4.11	3.87	4.09	3.99	4.24
(La/Yb) _N	8.06	7.79	8.12	7.20	7.79
Eu*/Eu	1.06	1.08	1.05	1.09	1.03

Rb、Ba 等不相容元素。DJ1-1、DJ1-2、DJ1-3、DJ1-4 号样品由于取自火山碎屑岩边部岩屑，变形较强，因此样品中 Sr、K、Rb、Ba 等不相容元素含量偏低，可能与构造变形过程中元素的流失有关。除与石榴二

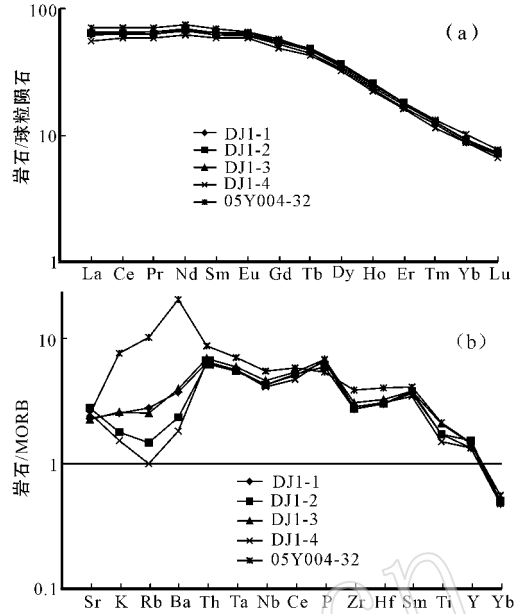


图 6 变质火山碎屑岩岩屑稀土分配曲线 [a, 标准化值按 Boynton (1984) 和微量元素蛛网图 [b, 据 Pearce (1983)]
Fig. 6 REE partition curve (a, after Boynton, 1984) and trace element spider diagram (b, after Pearce, 1983) of metamorphic pyroclastics

辉橄榄岩相容元素 Yb 含量略低于 MORB 外，总体上显示高“隆起”特征 (图 6b)，具有大洋板内玄武岩特征 (Pearce, 1982)。

在 Zr/Y - Zr 图解中，所有样品均投影到板内玄武岩区 (图 7a)；在 TiO₂ - MnO × 10 - P₂O₅ × 10 图解中，所有样品均投影到 OIA 区 (图 7b)。

岩屑的地球化学特征说明，它们可能形成于大洋板内洋岛环境，与夏威夷洋岛玄武岩具有相似的地球化学特征。

5 碱性玄武质火山碎屑岩的地球动力学意义探讨

通过对这类岩石岩屑的形态以及岩屑和细粒火山碎屑物的矿物组成特征的分析，确定依兰地区出露的这类岩石为火山碎屑岩。火山碎屑岩中的岩屑为碱性玄武质岩石，其形成的构造环境可以为大陆裂谷，也可形成于大洋板块内大洋岛屿。通过对岩屑地球化学特征的分析，本文趋向认为它可能形成于大洋板块内洋岛环境。大洋板内热点早期喷出的碱性玄武岩，在未完全凝固之前，洋底热点再次活动，使早期形成的碱性玄武岩在半凝固状态下破碎，形成了不同形状的塑性-半塑性岩屑，被细粒的火山碎

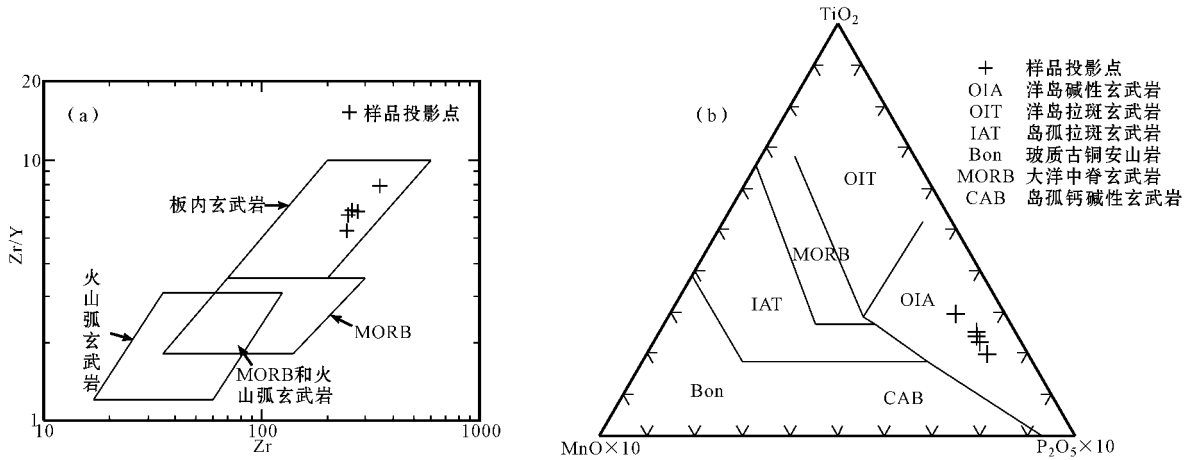


图 7 变质火山碎屑岩岩屑 $Zr/Y - Zr$ 图解 (a, 据 Pearce and Norry (1979)) 和 $TiO_2 - MnO \times 10 - P_2O_5 \times 10$ 图解 (b), 据 Muller (1983)]

Fig. 7 $Zr/Y - Zr$ diagram (a, after Pearce and Norry, 1979) and $TiO_2 - MnO \times 10 - P_2O_5 \times 10$ diagram (b, after Muller, 1983) of metamorphic pyroclastics

屑物胶结, 形成了洋岛型火山碎屑岩。

蛇绿岩是产于扩张脊的镁铁-超镁铁岩组合, 而上覆的硅质岩及其他深海沉积物及火山岩被称为“蛇绿岩上覆岩系”(张旗等, 1997) 其中的火山岩来自扩张脊之外的岩浆源区, 称之为“轴外火山作用”(张旗, 1995)。如果在一个造山带中识别出上覆岩系的成员, 可以代表古洋盆封闭的位置, 从鉴别在某一地质时期有无洋盆存在这一点来说, 上覆岩系与蛇绿岩具有同样的意义(张旗等, 2001)。

本文初步确定该地区出露的火山碎屑岩为形成于大洋板块内洋岛环境, 属轴外火山作用的产物, 为蛇绿岩的上覆岩系, 据此推测在佳木斯地块和松嫩地块之间曾经存在一个古洋盆。在古洋盆闭合过程中, 由于洋岛是海底的正地形, 洋岛型火山碎屑岩被仰冲上来得以保存, 它呈透镜状残存于绿色片岩之中, 与绿色片岩之间为渐变过渡关系, 说明了二者之间具有亲缘关系。本区洋岛型火山碎屑岩的发现为恢复该地区的古构造环境提供了新的线索, 也进一步证明了依兰地区原黑龙江群为一套增生杂岩。但对这类火山碎屑岩的形成环境及过程, 应进行更深入、详细的工作来进一步确定。

References

Bai Jingwen, Wang Wenxing, Zhang Hairi, *et al.* 1988. Character of glaucophane schists in metamorphic zone in Yilan, Mudanjiang, Heilongjiang [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 7(4): 298-308

(in Chinese with English abstract).

Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. Elsevier, 63-114.

Cao Xi, Dang Zengxin, Zhang Xingzhou, *et al.* 1992. Jamusi Complex Terrair [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 45-126 (in Chinese).

Frey F A. 1984. Rare earth elements abundances in upper mantle rocks [A]. Henderson P. Rare Earth Elements Geochemistry [C]. 153-203.

Geologic Bureau and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. Regional Geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 8-43 (in Chinese).

Jiang Jisheng. 1996. Formation and Evolution of Khondalite Series in China- A Case Study from Mashan Group [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 5-17 (in Chinese).

Li Jinyi, Niu Baogui, Song Biao, *et al.* 1999. Crustal Formation and Evolution of Northern Changbai Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 46-49 (in Chinese).

Liu Jinglan. 1988. Geological study of Jamusi terrane of Precambrian [J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 2(18): 147-156 (in Chinese).

Mullen E D. 1983. $MnO/TiO_2/P_2O_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62: 53-63.

Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lauas from destructive plate boundaries [A]. Thorpe R S. Andesites [C]. New York: John Wiley & Sons, 525-548.

Pearce J A. 1983. Role of the sub-continental margins [A]. Hawkesworth C J and Norry M J. Continental Basalts and Mantle Xenoliths [C]. Shiva, Nantwich, 230-249.

Pearce J A and Norry M J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*

69:33~47.

Song Biao, Li Jinyi, Niu Baogui, *et al.* 1997. Single-grain zircon ages and its implications in biotite-plagioclase gneiss in Mashan Group in the Eastern Heilongjiang [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 18(3): 306~312 (in Chinese).

Wilde S A, Wu Fuyuan and Zhang Xingzhou. 2001. The Mashan Complexes: SHRIMP U-Pb zircon evidence for a late pan-African metamorphic event in NE China and its implication for global continental reconstructions [J]. *Geochimica*, 30(1): 35~50 (in Chinese).

Xu Gongyu and Fang Wenchang. 1986. Origin and evolution of the Jiamusi massif [J]. *Geology of Jilin*, (2): 31~38 (in Chinese).

Ye Huiwen. 1990. Study of amphiboles from blueschists in China [J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 2(2): 129~138 (in Chinese).

Zhang Qi. 1995. Some problems concerning the ophiolite study [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11 (Supplement): 228~240 (in Chinese).

Zhang Qi, Wang Yueming, Qian Qing, *et al.* 1997. Geochemical characteristics of pillow lavas in ophiolite and its overlying rock sequence in the Laohushan area from Jingtai County, Gansu Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 13(1): 92~99 (in Chinese).

Zhang Qi and Zhou Guoqing. 2001. Ophiolites of China [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1~15 (in Chinese).

Zhang Xingzhou. 1992. Early collision history of Jiamusi terrain-structure of Heilongjiang mélange-petrologic evidences: doctor's degree papers of Changchun Geology College [D]. Changchun: Jilin University (in Chinese).

Zhao Chunjing, Peng Yujing, Dang Zengxin, *et al.* 1996. Tectonic Framework and Crust Evolution of Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces [M]. Shenyang: Liaoning University Press, 36~66 (in Chinese).

附中文参考文献

白景文, 王文兴, 张海明, 等. 1988. 黑龙江依兰、牡丹江变质带蓝闪片

岩特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 7(4): 298~308.

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.

黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 8~43.

姜继圣. 1996. 中国孔兹岩系的形成与演化——以麻山群为例 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 5~17.

刘静兰. 1988. 佳木斯中间地块前寒武纪地质研究 [J]. *长春地质学院学报*, 2(18): 147~156.

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.

宋彪, 李锦轶, 牛宝贵, 等. 1997. 黑龙江省东部麻山群黑云斜长片麻岩中锆石的年龄及其地质意义 [J]. *地球学报*, 18(3): 306~312.

Wilde S A, 吴福元, 张兴洲. 2001. 中国东北麻山杂岩晚泛非期变质的锆石 SHRIMP 年龄证据及全球大陆再造意义 [J]. *地球化学*, 30(1): 35~50.

徐公愉, 方文昌. 1986. 佳木斯中间地块的由来与发展 [J]. *吉林地质*, (2): 31~38.

叶惠文. 1990. 中国蓝片岩中闪石族矿物的研究 [J]. *长春地质学院学报*, 20(2): 129~138.

张旗. 1995. 蛇绿岩研究中的几个问题 [J]. *岩石学报*, 11(增刊): 228~240.

张旗, 王岳明, 钱青, 等. 1997. 甘肃景泰县老虎山地区蛇绿岩及其上覆岩系中枕状熔岩的地球化学特征 [J]. *岩石学报*, 13(1): 92~99.

张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1~15.

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.

赵春荆, 彭玉鲸, 党增欣, 等. 1996. 吉黑东部构造格架及地壳演化 [M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 36~66.