

文章编号: 1000-6524(2004)02-0097-12

辽西地区中侏罗世海房沟组火山岩地球 化学特征及其地质意义

武广^{1,2}, 李之彤², 王文武³

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130026; 2. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032;

3. 辽宁省化工地质勘查院, 辽宁 锦州 121000)

摘要: 辽西地区中侏罗世海房沟组火山岩的岩石共生组合为粗安岩-粗面岩-安山岩-英安岩, 属于高钾钙碱性-钙碱性火山岩系, 全岩 Rb/Sr 等时线年龄为 177.2 ± 28.0 Ma。岩石总体上反映出高 Al 高 Na 特点, $\text{SiO}_2 \geq 56.99\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15.45\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 1.35$ 。稀土元素分馏明显, $(\text{La}/\text{Yb})_N \geq 14.80$, $(\text{Ho}/\text{Yb})_N \geq 1.15$, 贫 Yb, Y ($\text{Yb} \leq 1.42 \times 10^{-6}$, $\text{Y} \leq 15.18 \times 10^{-6}$), 基本无 Eu 负异常 (0.86~1.03), 明显亏损 Rb、Nb、Zr、Ti, 而 Sr、Ba、K 及 LREE 富集, Rb/Sr 值均小于 0.1, 地球化学特征与埃达克岩十分类似, 属埃达克质岩。Sr、Pb 和 Nd 同位素资料反映出这套火山岩的源岩较深, 可能为古老的下地壳中基性变质岩部分熔融产物。研究表明: 海房沟组火山岩形成于板内环境, 与太平洋板块俯冲没有直接关系; 辽西地区中生代构造应力场的重大转换、广泛的岩浆活动和大规模断陷盆地群的形成与岩石圈拆沉作用密切相关。海房沟组埃达克质岩的确认对探讨辽西地区火山岩浆起源、壳幔相互作用及大陆动力学背景具有重要意义。

关键词: 埃达克质岩; 地球化学特征; 下地壳; 拆沉作用; 海房沟组; 辽西

中图分类号: P588.14:P59

文献标识码: A

Geochemical characteristics of the Middle Jurassic volcanic rocks from Haifanggou Formation in western Liaoning area and geological significance

WU Guang^{1,2}, LI Zhi_tong² and WANG Wen_wu³

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, China; 3. Liaoning Institute of Chemical Geology and Exploration, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The Middle Jurassic volcanic rocks of Haifanggou Formation in western Liaoning are intermediate-acid igneous rocks of the trachyandesite-trachyte-andesite-dacite assemblage. The volcanic rocks are close to calc-alkaline and high-K calc-alkaline series, and their whole rock Rb/Sr isochron age is 177.2 ± 28.0 Ma. They are enriched in Al ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15.45\%$) and Na ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 1.35$), and $\text{SiO}_2 \geq 56.99\%$. They are characterized by strongly fractionated REE [$(\text{La}/\text{Yb})_N \geq 14.80$, $(\text{Ho}/\text{Yb})_N \geq 1.15$], low Yb and Y ($\text{Yb} \leq 1.42 \times 10^{-6}$, $\text{Y} \leq 15.18 \times 10^{-6}$), absence of Eu negative anomaly (0.86~1.03), obvious depletion of Rb, Nb, Zr and Ti, relative enrichment of Sr, Ba, K and LREE, and low Rb/Sr ratios (< 0.1). These volcanic rocks are geochemically similar to adakite, and are hence regarded as adakite-like rocks. The Sr, Pb and Nd isotopic data indicate that they were derived from the partial melting of ancient intermediate-basic metamorphic rocks in the lower crust, and the

收稿日期: 2003-06-20; 修订日期: 2004-03-08

基金项目: 辽河石油勘探局基础研究资助项目(LYK19930622-01)

作者简介: 武广(1965-), 男, 在读博士, 研究员, 主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究, E-mail: sywguang@cgs.gov.cn.

depth of volcanic sources must have been very great. Studies show that the volcanic rocks were formed in an intraplate setting, with no direct relationship with the westward subduction of the Pacific plate. The lithospheric delamination must have been related to the obvious transformation of the Mesozoic tectonic stress field, the intense volcanic-magmatic activities and the formation of abundant fault basins in western Liaoning. The adakite-like rocks of Haifanggou Formation are of important geological significance in the study of magma derivation, crust-mantle process and geodynamics.

Key words: adakite-like rocks; geochemical characteristics; the lower crust; delamination; Haifanggou Formation; western Liaoning

辽西地区中侏罗世房沟组火山岩虽不是很发育,但其分布较广泛,是辽西中生代火山岩的重要组成部分。有关海房沟组火山岩地球化学资料虽有报道,但较少,且未做深入讨论(辽宁省地质矿产局,1989;王五力等,1990)。1993年笔者等曾在辽西南票地区测制了沙锅屯海房沟组剖面,所获资料表明海房沟组火山岩地球化学特征与埃达克岩(adakite)十分类似。本文试图通过对海房沟组火山岩系的地球化学研究,探讨辽西地区火山岩成因及其地质意义。

1 区域地质背景

辽西地区处于华北陆块北部,是一个远离中生代板块俯冲带的板内造山带(张长厚,1999)。自晚三叠世以来,该区发生了大规模的裂陷、断陷和拗陷作用,形成了众多的中生代火山-沉积盆地(李思田等,1988),火山岩以其活动时间长、强度大、出露面积广、岩石类型齐全而独具特色。该区中生代地层由兴隆沟组(J_{1x})、北票组(J_{1b})、海房沟组(J_{2h})、髫髻山组(J_{2t})、土城子组(J_{3t})、义县组(K_{1y})、九佛堂组(K_{1jf})、沙海组(K_{1s})、阜新组(K_{1f})和孙家湾组(K_{2s})组成,从老到新可划分为兴隆沟、髫髻山、兴安岭、义县和营城子5个火山旋回(陈义贤等,1997),是一套以钙碱性系列为主的岩石,岩石类型有玄武岩、玄武安山岩、安山岩、粗安岩、粗面岩、英安岩、流纹岩及相应的火山碎屑岩类。关于该区火山岩的成因,不同学者提出了太平洋板块俯冲作用(赵海玲等,1998)、裂谷作用(臧尧龄等,1993)、边缘陆块作用(王成善等,1993)、地幔柱(林强等,1998)、太平洋板块斜向俯冲导致的走滑剪切作用(吴福元等,1994)、岩石圈拆沉-去根作用(邓晋福等,1996)等观点。近年来,一些学者认为辽西地区存在燕山期埃达克岩或埃达克质岩(adakite-like),并认为中生代火

山岩是下地壳玄武质岩石部分熔融形成的(张旗等,2001a;李伍平等,2001)。

2 海房沟组火山岩的岩相学特征

研究剖面位于辽西南票地区沙锅屯镇西南的砂金沟至白枣树沟,剖面长约2.5 km(图1)。综合野外观察和室内显微镜鉴定,海房沟组火山岩岩石类型主要是粗安岩,其次是粗面岩、安山岩及英安岩。

(1) 粗安岩

岩石呈灰、褐灰、紫灰色。斑状结构,块状构造及气孔状和杏仁状构造,杏仁石为硅质、绿泥石和沸石等。斑晶含量15%~20%,有斜长石(10%~15%)、辉石(8%±)及碱性长石(2%~5%)。斜长石呈半自形板状,有聚片双晶及熔蚀现象,成分为中长石及更长石;辉石为自形短柱状,属普通辉石;碱性长石呈自形-半自形板状或被熔蚀为浑圆状,有的具卡式双晶,属歪长石成分。基质具玻晶交织结构,由玻璃质(35%±)、钾长石(25%±)、斜长石(35%±)及少量辉石微晶组成。

(2) 粗面岩

岩石呈浅紫色、灰绿色,块状构造,斑状结构及少斑结构。斑晶含量5%~15%,主要由碱性长石(4%~11%)及黑云母(1%~4%)组成。碱性长石多属歪长石成分,呈自形板状,有熔蚀现象;黑云母常有暗化边。基质具粗面结构及霏细结构,由钾长石(70%±)及少量黑云母(20%±)、石英(5%±)和绿帘石微晶组成。

(3) 安山岩

岩石呈灰、棕灰和灰黑色,多具斑状结构,极少为无斑或少斑结构,有时见杏仁状构造(杏仁石为玉髓)。斑晶含量3%~30%,主要是斜长石(25%±)、辉石或角闪石(3%~5%),有时见黑云母(1%±)。斜长石斑晶主要为中长石(An_{38-44}),亦见拉长石

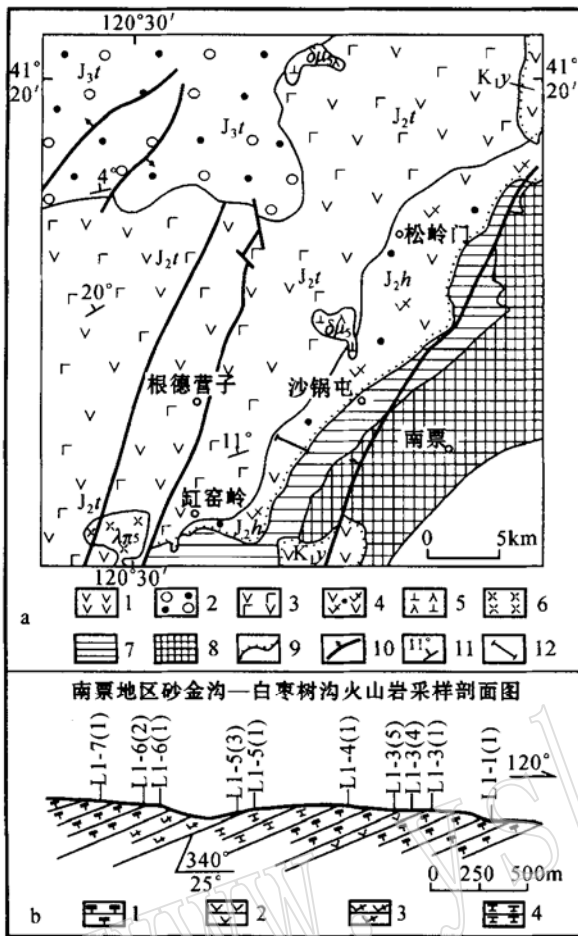


图 1 辽西南票地区地质简图(a)和火山岩采样剖面图(b)

Fig. 1 Sketch geological map of Nanpiao area (a) and sampling profile of the volcanic rocks(b)

a: 1—安山岩; 2—砂岩、砾岩; 3—玄武岩、安山岩; 4—安山岩、英安岩、砂岩; 5—闪长玢岩; 6—流纹斑岩; 7—古生界; 8—元古宇; 9—地质界线; 10—断层; 11—地层产状; 12—火山岩采样剖面; K₁y—义县组; J₃t—土城子组; J₂t—髫髻山组; J₂h—海房沟组;

b: 1—粗安岩; 2—安山岩; 3—英安岩; 4—粗面岩

a: 1—andesite; 2—sandstone and conglomerate; 3—basalt and andesite; 4—andesite, dacite and sandstone; 5—diorite porphyrite; 6—rhyolite porphyry; 7—Paleozoic; 8—Proterozoic; 9—geological boundary; 10—fault; 11—attitude; 12—section of sampling; K₁y—Yixian Formation; J₃t—Tuchengzi Formation; J₂t—Tiaojishan Formation; J₂h—Haifanggou Formation; 1—trachyandesite; 2—andesite; 3—dacite; 4—trachyte

(An 51~ 54), 呈自形板状, 有的具环带结构; 辉石为普通辉石, 多呈短柱状、柱状, 有时由聚合晶体构成斑晶; 角闪石为普通角闪石, 长柱状、柱状, 局部有被熔蚀现象。基质具玻晶交织结构或微晶交织结构, 常见板条状斜长石(80% 土)微晶呈半定向分布, 其次为辉石(10% 土)微晶及玻璃质。

(4) 英安岩

岩石呈灰绿色、灰色、灰褐色, 斑状结构。斑晶含量约 10%, 以斜长石(8% 土)为主, 其次为歪长石、角闪石、黑云母和石英。斜长石呈自形-半自形板状, 有环带构造并有熔蚀现象, 成分为更长石及中长石(An 28~ 36); 歪长石呈自形板状; 黑云母和角闪石均呈褐色, 并多强烈暗化; 石英少量, 呈他形粒状。基质具霏细结构、半晶质结构及微晶结构, 由细小长英质玻璃及斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石微晶组成, 微晶矿物常呈定向或半定向分布。

3 海房沟组火山岩地球化学特征

3.1 火山岩主量元素特征

海房沟组火山岩主量元素、稀土元素及微量元素分析结果见表 1。主量元素去烧失量归一后所有样品 SiO₂ ≥ 56.99%, Al₂O₃ ≥ 15.45%, 在碱质组分中, Na₂O/K₂O ≥ 1.35。岩石总体上反映出高 Al 高 Na 的特点。在 TAS 图解(图 2)中, 岩性主要为粗安岩, 并有少量的粗面岩、安山岩和英安岩, 为中性火山岩组合; 在 K₂O - SiO₂ 图解(图 3)中, 基本上都为高钾钙碱性系列, 有少数为钙碱性系列, 没有低钾类型岩石出现。

3.2 火山岩稀土元素特征

由表 1 可知, 稀土元素总量为 121.52 × 10⁻⁶ ~ 173.68 × 10⁻⁶, 基本无 Eu 负异常(0.86~ 1.03), 稀

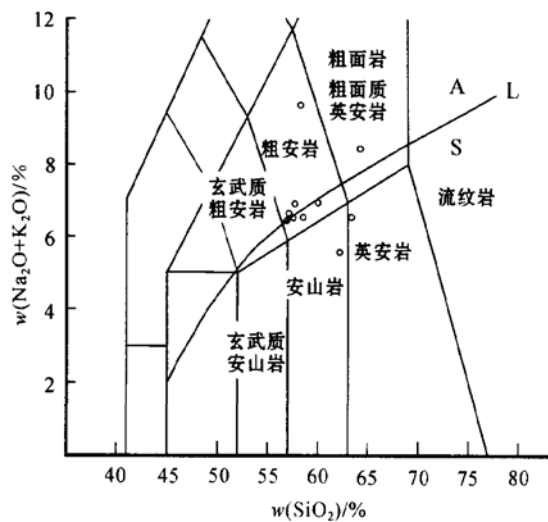


图 2 TAS 图解(据 Le Bas et al., 1986)

Fig. 2 TAS diagram(after Le Bas et al., 1986)

L 线为碱性(A)与非碱性(S)岩区界线(Miyashiro, 1978)

L—boundary between alkalic series(A) and subalkalic series(S)

表1 海房沟组火山岩主量元素($w_B/\%$)、稀土及微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果Table 1 Analyses of major elements($w_B/\%$), rare earth elements and trace elements ($w_B/10^{-6}$) from Haifanggou Formation

样号	L1_1(1)	L1_3(1)	L1_3(4)	L1_3(5)	L1_4(1)	L1_5(1)	L1_5(3)	L1_6(1)	L1_6(2)	L1_7(1)
岩石类型	粗安岩	粗安岩	安山岩	粗安岩	粗安岩	粗面岩	英安岩	粗安岩	粗安岩	粗安岩
SiO ₂	57.95	59.85	61.70	56.83	56.90	63.25	62.87	55.91	55.99	54.50
TiO ₂	0.98	0.94	1.00	1.22	0.90	0.62	0.67	0.86	0.84	0.70
Al ₂ O ₃	17.99	17.15	15.32	17.35	18.86	15.98	15.55	17.81	17.74	16.78
Fe ₂ O ₃	7.86	5.05	6.28	5.86	5.41	5.12	4.24	4.91	4.81	2.42
FeO	0.46	1.24	1.08	2.21	1.28	0.71	1.81	2.69	2.69	3.84
MnO	0.11	0.10	0.09	0.10	0.15	0.08	0.12	0.11	0.12	0.15
MgO	1.97	2.49	2.61	2.74	0.82	1.54	2.59	3.57	3.55	0.91
CaO	2.18	4.65	5.15	5.78	5.96	2.61	4.44	5.48	5.40	0.05
Na ₂ O	5.98	4.28	3.22	5.07	4.29	5.25	3.85	4.30	4.35	4.04
K ₂ O	3.47	2.61	2.39	1.47	2.14	3.05	2.65	2.05	2.11	2.49
P ₂ O ₅	0.40	0.41	0.35	0.42	0.37	0.31	0.33	0.42	0.42	0.45
LOI	0.89	0.76	1.14	1.60	2.58	0.95	0.70	1.32	1.40	5.01
Total	100.24	99.53	100.25	100.65	99.66	99.47	99.82	99.43	99.42	99.33
Na ₂ O/K ₂ O	1.72	1.64	1.35	3.45	2.00	1.72	1.45	2.10	2.06	1.62
La	31.16	39.82	28.48	30.53	27.61	32.36	33.16	27.85	27.22	32.43
Ce	57.85	71.90	46.41	54.34	45.47	51.50	56.53	57.18	60.44	68.31
Pr	7.62	9.57	6.69	8.03	6.76	7.96	7.36	7.68	7.44	7.96
Nd	29.62	35.26	24.96	31.49	25.71	28.67	28.38	30.04	28.59	31.62
Sm	6.12	6.15	5.35	6.61	5.40	5.46	5.02	5.50	6.07	5.76
Eu	1.54	1.71	1.35	1.81	1.39	1.41	1.34	1.55	1.62	1.72
Gd	4.42	4.07	3.36	4.52	3.58	3.60	3.41	3.97	4.03	4.12
Tb	0.63	0.54	0.46	0.62	0.53	0.48	0.44	0.52	0.48	0.48
Dy	3.03	2.31	2.10	2.60	2.59	2.22	2.25	2.50	2.55	2.53
Ho	0.57	0.39	0.37	0.49	0.49	0.41	0.38	0.44	0.43	0.43
Er	1.46	0.97	0.96	1.21	1.32	1.03	1.05	1.13	1.13	1.18
Tm	0.24	0.14	0.14	0.19	0.21	0.16	0.15	0.17	0.17	0.15
Yb	1.42	0.75	0.78	0.95	1.24	0.96	0.95	0.99	1.00	1.04
Lu	0.21	0.10	0.11	0.14	0.18	0.14	0.13	0.16	0.15	0.13
ΣREE	145.89	173.68	121.52	143.65	122.48	136.36	140.55	139.68	141.32	157.86
Eu/Eu*	0.86	0.98	0.91	0.96	0.91	0.91	0.94	0.97	0.94	1.03
(Ho/Yb) _N	1.17	1.51	1.38	1.50	1.15	1.24	1.16	1.29	1.25	1.20
(La/Yb) _N	14.80	35.78	24.53	21.64	15.02	22.74	23.51	18.95	18.37	21.01
Yb _N	6.79	3.59	3.73	4.55	5.93	4.59	4.55	4.74	4.78	4.98
Sr	727	1235	945	1033	834	830	830	928	866	685
Rb	61.5	46.5	38.6	25.9	51.8	54.5	50.3	31.8	38.9	40.9
Ba	2188	1529	1181	814	1052	1392	1260	972	1035	1242
Th	9.57	11.8	9.05	3.79	1.60	1.76	4.35	5.18	12.4	1.59
Nb	13.5	5.51	4.94	13.2	11.6	8.42	6.66	14.6	12.5	15.0
Zr	69.3	7.75	14.9	9.96	32.1	30.5	26.4	28.9	37.6	36.4
Cr	7.01	70.0	41.2	57.7	16.8	26.4	34.6	49.4	41.9	15.7
V	97.8	138	126	202	169	67.6	95.7	139	132	76.6
Ni	6.58	27.3	36.2	20.0	8.79	20.2	21.8	26.0	30.1	12.7
Cu	49.3	49.7	65.6	46.9	32.1	25.3	80.2	35.0	96.3	26.9
Pb	1.01	17.0	10.9	14.6	0.22	8.05	16.5	5.80	17.8	3.97
Zn	81.6	93.7	81.5	96.7	96.1	67.9	83.1	92.2	110	80.0
Co	21.8	18.4	22.4	25.8	15.5	16.3	18.0	27.6	26.2	19.2
U	1.94	3.58	1.95	1.66	1.90	1.03	1.98	1.75	3.06	0.98
Y	15.18	9.81	9.70	11.86	12.15	10.02	10.50	11.34	11.72	11.42
Sr/Y	47.89	77.82	97.42	87.10	68.64	82.83	79.05	81.83	73.89	59.98
Rb/Sr	0.08	0.04	0.04	0.03	0.06	0.07	0.06	0.03	0.04	0.06

注: 样品由国土资源部沈阳综合岩矿测试中心实验室测定; 主量元素采用 XRF 分析; 稀土元素和微量元素采用 ICP_MS 分析。

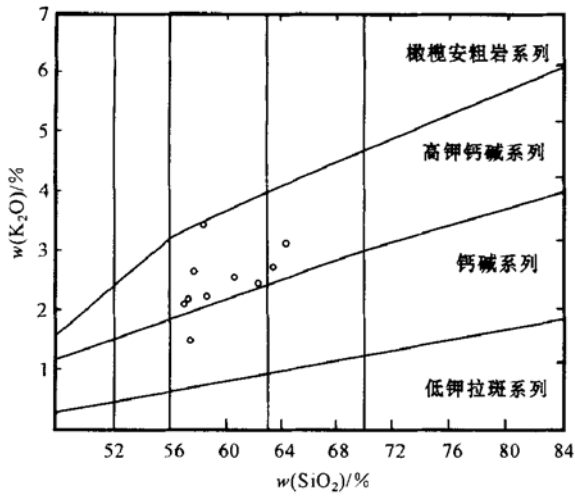


图 3 K₂O 与 SiO₂ 关系图解(据 Pecerrillo and Taylor, 1976)
Fig. 3 K₂O versus SiO₂ diagram (after Pecerrillo and Taylor, 1976)

土元素分馏明显[(La/Yb)_N ≥ 14.80, Yb ≤ 1.42 × 10⁻⁶, (Ho/Yb)_N ≥ 1.15], 配分曲线为轻稀土富集型(图 4)。将海房沟组火山岩 REE 配分形式与岛弧、山弧环境下的火山岩 REE 配分形式进行对比, 特征完全不同。前者 REE 强烈分异[(La/Yb)_N ≥ 14.80], LREE 富集, HREE 亏损(Yb ≤ 1.42 × 10⁻⁶), 而典型岛弧、山弧环境下的钙碱性安山岩和英安岩 HREE 较富集(Yb ≥ 2.50 × 10⁻⁶), REE 分异程度低[(La/Yb)_N < 10]; 海房沟组火山岩 Eu 基本上没有异常, 而后者具有 Eu 的负异常(Martin, 1999)。在(La/Yb)_N 与 Yb_N 相关图解(图 5)中, 其投影点主要落入太古宙 TTG 或埃达克岩与正常岛弧安山岩-英安岩-流纹岩过渡区。

3.3 火山岩微量元素特征

从海房沟组火山岩微量元素丰度(表 1)来看, 本区火山岩的大离子亲石元素如 Sr、Ba 等含量较高(分别为 891.3 × 10⁻⁶ 和 1 266.5 × 10⁻⁶), 高于美国西部盆岭地区钙碱性火山岩与日本岛弧火山岩(Hawkesworth *et al.*, 1995); 火山岩的某些过渡元素如 Cr、Ni、V、Cu、Zn 等含量明显高于典型岛弧、山弧钙碱性中-酸性火山岩的微量元素含量, 而某些不相容元素如 Nb、Zr、Pb、Y 等的含量低于后者, 如本区火山岩 Cr、Ni、Y 的含量分别为 36.07 × 10⁻⁶、20.97 × 10⁻⁶、11.37 × 10⁻⁶, 而典型岛弧、山弧钙碱性中-酸性火山岩的 Cr、Ni 含量分别为 5 × 10⁻⁶、8 × 10⁻⁶, Y 值一般大于 25 × 10⁻⁶(Martin, 1999)。在

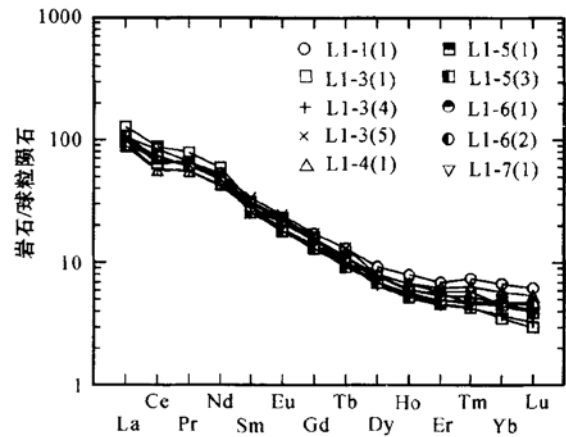


图 4 海房沟组火山岩稀土元素配分曲线图
Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the volcanic rocks from Haifanggou Formation
标准值引自 Boynton (1984)
normalization values after Boynton (1984)

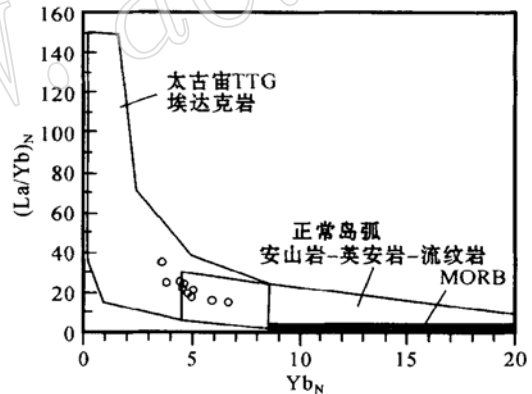


图 5 海房沟组火山岩(La/Yb)_N 与 Yb_N 相关图解
(据 Martin, 1986)

Fig. 5 Chondrite-normalized (La/Yb)_N versus Yb_N diagram
(after Martin, 1986)

原始地幔标准化归一的微量元素蛛网图(图 6)中, 海房沟组火山岩明显亏损的元素为 Rb、Nb、Zr, 而 Ba、K、Sr 及 LREE 富集。火山岩的 Rb/Sr 值均小于 0.1, 说明属于高 Sr 低 Rb 岩石, 其源岩来源较深。在 Sr/Y 与 Y 关系图解(图 7)中, 海房沟组火山岩投影点全部落入太古宙 TTG 或埃达克岩区, 明显不同于正常岛弧安山岩-英安岩-流纹岩系列, 属于高 Sr 低 Y 岩石。结合主量元素资料认为, 海房沟组火山岩地球化学特征与埃达克岩十分相似。

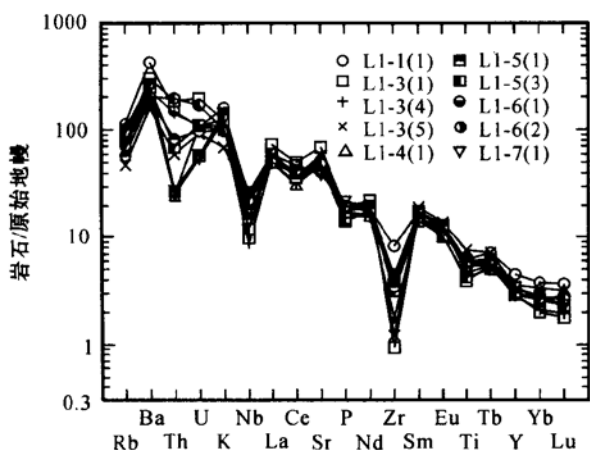


图6 海房沟组火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准值采用Taylor等, 1984)

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace elements web diagram of the volcanic rocks from Haifanggou Formation (normalization values after Taylor *et al.*, 1984)

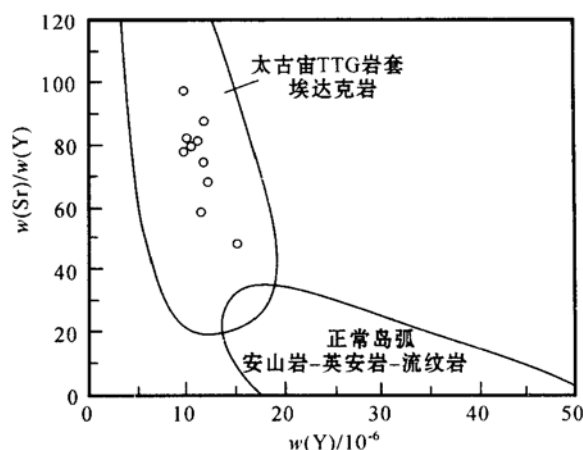


图7 海房沟组火山岩 Sr/Y 与 Y 关系图解(据 Defant and Drummond, 1990; Atherton and Petford, 1993)

Fig. 7 Plot of Sr/Y against Y for Haifanggou Formation volcanic rocks (after Defant and Drummond, 1990, and Atherton and Petford, 1993)

4 海房沟组火山岩的 Sr、Nd、Pb 同位素组成

前人对海房沟组火山岩同位素研究较少, 本次研究工作选取少量火山岩样品进行了 Rb、Sr、Pb 及 Nd 同位素测定, 测试结果见表 2。

4.1 Rb-Sr 等时线年龄

有关海房沟组火山岩的同位素年龄尚未见报道。本文得到的 Rb-Sr 等时线测定结果见表 2 和图 8。其中, 当样品数为 3 时, 其年龄为 177.2 ± 28.0 Ma, $r = 0.9877$; 当样品数为 4 时, 其年龄为 188.3 ± 43.7 Ma, $r = 0.9499$ 。这一年龄值恰好处于中侏罗世时限的底界附近, 且比该区髫髻山组火山岩的 Rb-Sr 等时线年龄 (167.0 ± 11.0 Ma) 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 (165.9 ± 0.8 Ma) 要大(陈义贤等, 1997), 正好与二者间的上下层位关系符合, 可以认为这一年龄值是基本可信的, 只是样品数量较少, 相关系数略低, 有待今后工作进一步完善。

这里应该提到, 陈义贤等(1997)测定了喀参 1 井钻孔中火山岩样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄, 自上而下, 在 900 m 处为 146.3 ± 8.5 Ma, 1300 m 处为 161.6 ± 1.6 Ma, 底部为 177.8 ± 7.7 Ma, 最后这一数据恰与本文的年龄值相当。上述钻孔中火山岩的年龄值是否反映了相当于髫髻山组和海房沟组火山岩的年龄变化, 值得进一步研究。

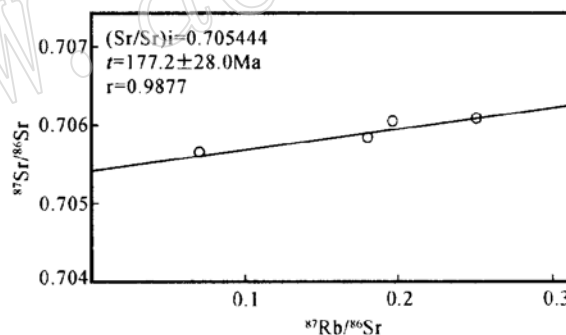


图8 海房沟组火山岩 Rb-Sr 等时线年龄图

Fig. 8 Rb-Sr isochron diagram of volcanic rocks from Haifanggou Formation

4.2 同位素资料物源示踪

海房沟组火山岩的锶初始值 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 较低, 为 0.70544~0.70545, 反映出火山岩可能来自上地幔或下地壳, 而且火山岩形成过程中基本上未受到中、上地壳物质的混染。火山岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值变化于 15.6367~16.3400 之间, 平均 15.9884; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 14.9982~15.5160 之间, 平均 15.2571; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 35.2055~36.5650 之间, 平均 35.8853, 说明火山岩岩浆来自上地幔或来自贫 U、Pb 的下地壳基底岩石。陈义贤等(1997)在建昌县喀参 1 井 1564.60 m 处所取的海房沟组英安质凝灰岩样品(KC1_21) 铅同位素资料为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

表 2 海房沟组火山岩 Rb-Sr-Pb-Nd 同位素测定结果

Table 2 Rb, Sr, Pb, Nd isotopic data of volcanic rocks from Haifangou Formation

样品	$w(\text{Rb}) / 10^{-6}$	$w(\text{Sr}) / 10^{-6}$	$^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$	结果			
L1_1(1)	62.54	720.17	0.2507	0.706100 ± 28	1. $n=3$ 时, $t=177.2 \pm 28.0$ Ma, ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) _i = 0.70544;			
L1_3(5)	25.49	1030.08	0.0714	0.705640 ± 20				
L1_5(1)	57.22	841.93	0.1965	0.706060 ± 15	2. $n=4$ 时, $t=188.3 \pm 43.7$ Ma, ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) _i = 0.70545			
L1_5(3)	51.85	835.69	0.1791	0.705854 ± 20				
样品	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) _i	($^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) _i	($^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) _i	μ	ω
L1_5(3)	15.8135 ± 0.05	15.0070 ± 0.03	35.4126 ± 0.05	15.6367 ± 0.05	14.9982 ± 0.03	35.2055 ± 0.05	6.3447	23.5148
L1_7(1)	16.5365 ± 0.04	15.5257 ± 0.03	36.8212 ± 0.11	16.3400 ± 0.04	15.5160 ± 0.03	36.5650 ± 0.11	7.0498	29.0943
KC1_21	16.268	15.192	36.138	16.0788	15.1826	35.9056	6.7879	26.3881
样品	$w(\text{Sm}) / 10^{-6}$	$w(\text{Nd}) / 10^{-6}$	$^{147}\text{Sm} / ^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$	$t_{\text{DM}} / \text{Ma}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$		
L1_5(3)	4.752	27.988	0.102685	0.511750 ± 34	1738.08	-15.20		

注: Rb-Sr 及 Pb 同位素由中国科学院地质研究所乔广生在 MAT260 同位素质谱仪上测定; Sm-Nd 同位素由中国科学院地质研究所乔广生在 VG_354 质谱仪上用同位素稀释法测定; 在 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 计算中, $\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$, $t = 177.2$ Ma; ($^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$)_{CHUR} = 0.512638, ($^{147}\text{Sm} / ^{144}\text{Nd}$)_{CHUR} = 0.1967, 样品 KC1_21 资料引自陈义贤等(1997)。

为 16.0788, $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 为 15.1826, $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 为 35.9056, 该样品的铅同位素比值正好位于笔者所测定的数据之间, 而且其值与笔者测试的 2 个样品的平均值十分接近, 说明本次所测试的铅同位素数据虽然较少, 但总体上还是反映出了海房沟组火山岩铅同位素组成特征。 $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$ 值较低, 为 0.511

750, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 亦较低, 为 -15.20, 但 t_{DM} 较高, 为 1738 Ga, 钐同位素值反映出火山岩浆来自古老的地下壳, 接近 I 型富集地幔。

为了与太古宙建平群变质岩石进行对比, 笔者收集了一些建平群变质岩的同位素数据(林宝钦等, 1997), 见表 3。

表 3 辽西地区建平群变质岩 Rb-Sr-Pb-Sm-Nd 同位素数据

Table 3 Rb, Sr, Pb, Sm, Nd isotopic data of metamorphic rocks from Jianping Group

样号	岩石名称	测试对象	$w(\text{Rb}) / 10^{-6}$	$w(\text{Sr}) / 10^{-6}$	$^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$	结果			
1	斜长角闪片麻岩	全岩	22.784	271.35	0.2425	0.708715	$t = 2500$ Ma ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) _i = 0.7000			
样号	岩石名称	测试对象	测定比值			换算成 177.2 Ma 的比值			参数	
			$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	($^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) _i	($^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) _i	($^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$) _i	μ	ω
M17_4	角闪斜长片麻岩	全岩	15.960	15.102	35.827	15.779	15.093	35.605	6.488	25.156
M23_1	角闪斜长片麻岩	全岩	16.077	15.070	35.833	15.893	15.061	35.611	6.602	25.180
M11_2	斜长角闪片麻岩	全岩	16.009	15.191	35.920	15.827	15.182	35.695	6.535	25.525
M21_1	斜长角闪片麻岩	全岩	16.631	15.313	36.645	16.432	15.303	36.395	7.142	28.396
样号	岩石名称	$w(\text{Sm}) / 10^{-6}$	$w(\text{Nd}) / 10^{-6}$	$^{147}\text{Sm} / ^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$	$t_{\text{DM}} / \text{Ma}^*$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)^*$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$		
6496	角闪石岩	9.1540 ± 1	42.360 ± 1	0.13083	0.511624	2790.04	-18.30	-19.78		
6441	含石榴角闪黑云母二辉斜长片麻岩	7.4657 ± 7	39.030 ± 2	0.11552	0.511347	2782.51	-23.34	-25.18		
6354	单辉角闪石岩	4.0248 ± 4	19.891 ± 2	0.12216	0.511493	2743.04	-14.61	-22.34		

注: 样品 1 资料引自郭洪中等(1992); 其他数据引自林宝钦等(1997); * 表示为本次计算, 计算参数同表 2。

太古宙建平群中基性变质岩的锶初始值 ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) 很低, 为 0.7000, 换算成 177.2 Ma 时的锶初始值为 0.70810; $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 值变化于 15.779 ~ 16.432 之间, 平均 15.983; $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 变化于 15.061 ~ 15.303 之间, 平均 15.160; $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 变

化于 35.605 ~ 36.395 之间, 平均 35.827, 与太古宙变质岩放射成因铅组分较低、而非放射成因铅 ^{204}Pb 很高的特征相同; 同时, 建平群变质岩的 $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$ 值较低, 其值变化于 0.511347 ~ 0.511624 之间, 平均 0.511488, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 很低, 其值变化于 -14.61 ~

- 23.34 之间, 平均 - 18.75, t_{DM} 很高, 其值变化于 2743.04~ 2790.04 Ma 之间, 平均为 2771.86 Ma。将海房沟组火山岩同位素特征与上述太古宙建平群同位素资料进行对比, 两者有许多相似之处。火山岩锶同位素初始值较低, 表明可能是继承了建平群变质岩低锶值的结果; 放射性铅比较低, 表明海房沟组火山岩的铅可能主要直接来自基底建平群中基性变质岩地层; 火山岩较低的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值、很低的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值和很高的 t_{DM} 值与太古宙建平群变质岩 Sm-Nd 同位素特征相似。可以认为, 海房沟组火山岩可能是下地壳基底中基性变质岩发生重熔的结果。

陈义贤等(1997)对辽西建昌喀参 1 井火山岩 Sr-Nd 同位素研究表明, 海房沟组火山岩源区由 EMI 型富集地幔为主控制, 与古老华北克拉通基底及古老大陆岩石圈有关; 郭洪中等(1992)将辽西太古宙建平群变质岩和亏损地幔作为端员组分, 采用 Faure 二元混合模拟公式(Faure, 1986)计算出辽西中侏罗世火山岩由 77.4% 的源区物质——建平群变质岩和 22.6% 的亏损地幔混合组成, 表明辽西中生代火山岩主要由晚太古代建平群变质岩经部分熔融后形成。

总之, 本区火山岩较低的 T_{Sr} 、很低的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和较高的 t_{DM} , 暗示其来自古老的地下壳, 而且该古老地下壳源区很少有中上地壳组分的加入, 但却带有明显的地幔印记。综合海房沟组火山岩铅同位素组成特点, 笔者认为, 海房沟组火山岩形成的深度较大, 源岩可能为古老下地壳中基性变质岩石。

5 讨论

5.1 辽西中生代火山岩与埃达克岩 埃达克岩

自从 Defant 等(1990)提出埃达克岩的概念以来, 埃达克岩已引起了国际上的广泛关注。埃达克岩(adakite)是一种中酸性富钠火成岩(安山岩、英安岩、钠质流纹岩及相应的侵入岩), 其突出的地球化学特征是 $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, 亏损重稀土元素(HREE)与 Y (如 $\text{Yb} \leq 1.9 \times 10^{-6}$, $\text{Y} \leq 18 \times 10^{-6}$), 高 Sr (大多数 $> 400 \times 10^{-6}$) $\text{La}/\text{Yb} (\geq 10.0)$ 与 $\text{Sr}/\text{Y} (> 20.0 \sim 40.0)$, 一般具有正 Eu 异常(少数具有极弱负 Eu 异常), 其岩相学与地球化学特征非常类似于太古宙 TTG 岩系(Drummond *et al.*, 1996; 钱青, 2001; 史仁灯等, 2003)。埃达克岩存在

两种成因类型(王强等, 2001): 一种由俯冲的年轻 ($\leq 25 \sim 30$ Ma) 大洋板块熔融形成(I 类埃达克岩); 另一种由增厚地壳环境中的玄武质下地壳熔融形成(II 类埃达克岩)。王焰等(2000)、张旗等(2001a)首先将埃达克岩的研究引入国内, 并提出了 O 型和 C 型埃达克岩的分类方案。

辽西中侏罗世海房沟组火山岩 $\text{SiO}_2 \geq 56.99\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15.45\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 1.35$, 岩石总体上反映出高 Al 高 Na 的特点, 亏损重稀土元素(HREE)与 Y ($\text{Yb} \leq 1.42 \times 10^{-6}$, $\text{Y} \leq 15.18 \times 10^{-6}$), 高 Sr ($> 685 \times 10^{-6}$) $\text{La}/\text{Yb} (\geq 21.94)$ 与 $\text{Sr}/\text{Y} (\geq 47.89)$, 基本无 Eu 负异常(0.86~ 1.03), 岩石总体上反映出高 Sr 低 Y 特征, 与 Defant 等(1990)定义的埃达克岩地球化学特征极为相似, 但海房沟组火山岩产于板内环境, 它应属埃达克质岩。

5.2 下地壳岩石部分熔融模拟

笔者采用部分熔融模式对源区岩石的部分熔融程度进行了数值模拟计算。为使所选源区岩石有较大的代表性, 本次选择燕山台褶带基性麻粒岩、太古宙建平群基性麻粒岩和中性麻粒岩作为源区岩石分别进行部分熔融程度模拟计算。源区岩石和火山岩初始岩浆的化学成分及稀土元素数据见表 4。本次模拟仅选取有可靠分配系数的 Ce、Nd 和 Sm 3 个稀土元素进行部分熔融百分数(F)计算。

据 Hanson(1978)给出的部分熔融方程经移项、整理后得到部分熔融百分数(F)计算公式为: $F(x) = [(C_{O(x)}/C_{L(x)}) - D_{(x)}]/(1 - P_{(x)})$ 。其中 $C_{O(x)}$ 为源区岩石某元素的含量, $C_{L(x)}$ 为火山岩初始岩浆中某元素的含量, $D_{(x)}$ 为源区岩石某元素的总分配系数, $D_{(x)} = \sum_i^n X^i Kd^i$, 其中 X^i 为某矿物所占的质量分数, n 为矿物相数目, Kd^i 为某元素的分配系数(表 5), P 为初熔熔体中某元素总分配系数, $P_{(x)} = \sum_i^n P^i Kd^i$, 其中 P^i 为由熔体化学成分进行标准矿物计算而获得的潜在矿物的质量分数。

根据表 4 数据, 以 CIPW 标准矿物计算方法, 获得源区华北地台燕山台褶带太古宙基性麻粒岩的矿物组合为 $\text{Hy}_{0.1749} \text{Di}_{0.2366} \text{Or}_{0.0501} \text{Pl}_{0.4409} \text{Mt}_{0.0671}$, 太古宙建平群基性麻粒岩的矿物组合为 $\text{Hy}_{0.2255} \text{Di}_{0.0968} \text{Or}_{0.0668} \text{Pl}_{0.4233} \text{Q}_{0.0859} \text{Mt}_{0.0764}$, 太古宙建平群中性麻粒岩的矿物组合为 $\text{Hy}_{0.1339} \text{Di}_{0.0248} \text{Or}_{0.1113} \text{Pl}_{0.5327} \text{Q}_{0.1297} \text{Mt}_{0.0579}$, 中生代海房沟组火山岩初始岩浆潜在矿物组合为 $\text{Hy}_{0.0452} \text{Di}_{0.0259} \text{Or}_{0.1503} \text{Pl}_{0.5827}$

表 4 用于模拟的火山岩源区岩石和海房沟组火山岩初始岩浆平均化学成分

Table 4 Chemical composition of magma source materials and initial magma from Haifanggou

Formation volcanic rocks																	
名称	岩石类型	样品数	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	Ce	Nd	Sm	数据来源
源区岩石	燕山台褶带 基性麻粒岩	8	49.45	0.71	13.63	4.60	9.04	0.22	6.84	10.74	2.42	0.81	0.20	15.5	10.0	2.70	鄯明长等, 1997
	建平群基 性麻粒岩	2	53.19	0.71	13.79	5.32	7.88	0.22	7.36	7.61	2.05	1.05	0.20	27.8	13.5	2.69	林宝钦等, 1997
	建平群中 性麻粒岩	6	60.53	0.60	15.66	3.95	5.11	0.09	3.78	4.80	4.01	1.91	0.25	28.9	15.9	3.03	林宝钦等, 1997
初始 岩浆	中酸性 火山岩	10	59.66	0.89	17.38	5.28	1.85	0.12	2.31	5.08	4.55	2.49	0.39	57.0	29.4	5.74	本文

表中主量元素含量单位为 $w_B/\%$, 稀土元素含量单位为 $w_B/10^{-6}$ 。

$Q_{0.1069} M_{t_{0.0370}}$ 。计算过程中采用紫苏辉石、透辉石和斜长石 3 种矿物计算 D 值和 P 值, 将这 3 种矿物的含量折合成 100%, 而忽略钾长石、石英和磁铁矿等矿物的影响。利用表 5 中 Kd 值, 计算出华北地台燕山台褶带太古宙基性麻粒岩中 Ce、Nd、Sm 元素的总分配系数分别为 $D_{1(Ce)} = 0.0864$ 、 $D_{1(Nd)} = 0.0820$ 、 $D_{1(Sm)} = 0.0957$, 太古宙建平群基性麻粒岩中 Ce、Nd、Sm 元素的总分配系数分别为 $D_{2(Ce)} = 0.0845$ 、 $D_{2(Nd)} = 0.0715$ 、 $D_{2(Sm)} = 0.0777$, 太古宙建平群中性麻粒岩中 Ce、Nd、Sm 元素的总分配系数分别为 $D_{3(Ce)} = 0.0996$ 、 $D_{3(Nd)} = 0.0731$ 、 $D_{3(Sm)} = 0.0685$; 初始岩浆中 Ce、Nd、Sm 元素的总分配系数

分别为 $P_{(Ce)} = 0.1114$ 、 $P_{(Nd)} = 0.0792$ 、 $P_{(Sm)} = 0.0706$ 。再利用上述部分熔融方程, 计算出华北地台燕山台褶带太古宙基性麻粒岩的部分熔融程度为 $F_{1(Ce)} = 0.21$ 、 $F_{1(Nd)} = 0.28$ 、 $F_{1(Sm)} = 0.40$, 太古宙建平群基性麻粒岩的部分熔融程度为 $F_{2(Ce)} = 0.45$ 、 $F_{2(Nd)} = 0.42$ 、 $F_{2(Sm)} = 0.42$, 太古宙建平群中性麻粒岩的部分熔融程度为 $F_{3(Ce)} = 0.46$ 、 $F_{3(Nd)} = 0.51$ 、 $F_{3(Sm)} = 0.49$ (表 5)。模拟计算结果表明, 海房沟组火山岩初始岩浆是由源区华北地台燕山台褶带太古宙基性麻粒岩经 21%~40% 的部分熔融形成的, 或是源区太古宙建平群中基性麻粒岩经 42%~51% 的部分熔融而形成的。

表 5 中基性岩石主要造岩矿物元素的 Kd 值(Hanson, 1978)及计算参数值

Table 5 Kd values of common rock-forming minerals from intermediate basic rocks (Hanson, 1978)

as well as calculated parameters

元素	Kd			D			P	F		
	紫苏辉石	透辉石	斜长石	D ₁	D ₂	D ₃		F ₁	F ₂	F ₃
Ce	0.024	0.07	0.120	0.0864	0.0845	0.0996	0.1114	0.21	0.45	0.46
Nd	0.033	0.12	0.081	0.0820	0.0715	0.0731	0.0792	0.28	0.42	0.51
Sm	0.054	0.18	0.067	0.0957	0.0777	0.0685	0.0706	0.40	0.42	0.49

5.3 海房沟组火山岩形成的构造环境分析

辽西中生代火山岩分布于北东—北北东向郯庐断裂带和大兴安岭—太行山—武陵山断裂带之间, 华北地块北缘东西向断裂带与上述北东和北北东向深断裂带相交汇, 构成菱形断裂网, 其构造位置较为特殊。

对伊泽奈崎(Izanagi)板块的古地磁研究结果表明, 太平洋板块向东亚大陆边缘的俯冲作用最早也在晚白垩世之后(Engelbreton *et al.*, 1985), 可见,

中侏罗世时期辽西地区不存在主动大陆边缘, 海房沟组火山岩与太平洋板块俯冲没有直接的关系(张旗等, 2001a)。近年来的研究表明, 在增厚的下地壳环境中, 底侵玄武质下地壳的熔融也可以形成与埃达克岩的地球化学特征类似的岩石(Atherton *et al.*, 1993)。晚三叠世—早、中侏罗世, 辽西地区一直受到华北地块与西伯利亚板块南北向碰撞—超碰撞的影响(武广等, 1997), 同时古太平洋板块向北北西方向运动(Maruyama, 1997), 使辽西地区处于挤

压环境。在中侏罗世末,由于上述三个方向挤压的最终结果是在郯庐断裂以西地区产生断褶和逆冲推覆构造(赵越等,1994)。该期推覆构造规模较大,在辽西和京西一带表现明显,说明辽西-冀北地区直到中侏罗世末期仍处于区域挤压背景,长期的挤压和逆冲推覆构造的发生必然使该区地壳加厚,中国东部埃达克质岩来源于增厚地壳的底部(张旗等,2001b),海房沟组火山岩可能为加厚的下地壳中基性变质岩部分熔融形成的。埃达克质岩重稀土元素的强烈亏损,表明源区残留大量的石榴石,含石榴石的残留体密度较大,与岩石圈一起发生拆沉作用,造成岩石圈减薄,地幔上涌,从而使地壳转入伸展作用,发生更加广泛的火山岩浆活动,进而造成大规模的断陷,形成断陷盆地群。从中侏罗世→晚侏罗世-早白垩世,辽西地区地壳/岩石圈经历了由厚减薄过程,区域应力场由挤压转变为拉张(朱夏,1983;李思田,1988;万天丰等,1993),发生了中生代最为强烈的火山活动,形成了义县组火山岩和辽西断陷盆地群。海房沟组埃达克质岩的厘定,为人们展示出了辽西地区中生代构造-岩浆演化的概貌,即晚三叠世-早、中侏罗世,在区域挤压背景下,形成了东北高原,为埃达克质岩的形成提供了加厚地壳环境;下地壳中基性变质岩在加厚地壳的高压条件下发生部分熔融,形成埃达克质岩;源区石榴石残留,导致岩石圈拆沉作用,地幔上涌;中侏罗世末期,地壳转入伸展作用,形成类似大陆裂谷型的晚侏罗世-早白垩世火山岩。可见,埃达克质岩对探讨辽西地区岩浆起源、壳幔相互作用及地球动力学具有重要意义。

6 结 论

(1) 海房沟组火山岩地球化学特征与埃达克岩十分相似,属于一套中酸性钙碱性-高钾钙碱性火山岩系,其岩石共生组合为粗安岩-粗面岩-安山岩-英安岩,岩石总体上反映出高 Al、高 Na、高 Sr 特点,亏损重稀土元素和 Y,地球化学特征与埃达克岩相似,属埃达克质岩。

(2) 海房沟组火山岩是由加厚的下地壳中基性变质岩部分熔融形成的,其部分熔融程度为 21%~51%,火山岩源岩来源较深。

(3) 拆沉作用是辽西地区岩石圈减薄的主要方式,由于岩石圈拆沉作用,导致辽西地区中生代构造应力场发生了由挤压到拉张的重大转换,从而发生

了广泛的火山岩浆活动,进而形成大规模的断陷盆地群。

致谢: 参加项目野外工作的还有王五力研究员、郑少林研究员;有关辽西地区火山岩和中生代盆地形成的大陆动力学背景与王五力研究员进行过多次讨论,对笔者很有启发;审稿人对本文做了认真审阅并提出了很好的修改意见,在此一并致以诚挚的感谢。

References

- Atherton M P and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 362: 144~ 146.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. Elsevier, 63~ 114.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. 1989. *Regional Geology of Liaoning Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 523~ 537 (in Chinese).
- Chen Yixian and Chen Wenji. 1997. *Chronology, Geochemistry and Setting of Mesozoic Volcanic Rocks in West Liaoning and Its Adjacent Regions* [M]. Beijing: Seismological Press, 1~ 279 (in Chinese).
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347 (18): 662~ 665.
- Deng Jinfu, Liu Houxiang, Zhao Hailing, et al. 1996. Yanshanian igneous rocks and orogeny model in Yanshan-Liaoning area[J]. *Geoscience: Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 10(2): 137~ 148 (in Chinese with English abstract).
- Drummond M S, Defant M J and Kepezhinskas P K. 1996. Petrogenesis of slab-derived trondhjemite-tonalite-dacite/adakite magmas [J]. *Earth Sciences*, 87: 205~ 215.
- Engelbreton D C, Jones D L, Schermer R G, et al. 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basins[J]. *Geol. Soc. Am.*, 206: 1~ 59.
- Faure G. 1986. *Principles of Isotope Geology* [M]. John Wiley and Sons, 141~ 247.
- Guo Hongzhong and Zhang Zhaochong. 1992. Essential characteristics of Mesozoic volcanic rocks in West Liaoning[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 11(3): 193~ 204 (in Chinese with English abstract).
- Hanson G N. 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 38: 28~ 43.
- Hawkesworth C, Turner S, Gallagher K, et al. 1995. Calc-alkaline magmatism, lithospheric thinning and extension in the basin and range [J]. *Geophys. Res.*, 100(B7): 102 71~ 102 86.
- Le Bas M J, et al. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. *J. Petro.*, 27(3): 745

~ 750.

- Li Sitian. 1988. Fault Basin Analysis and Coal Accumulation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 321(in Chinese).
- Li Wuping, Li Xianhua and Lu Fengxiang. 2001. Genesis and geological significance for the middle Jurassic high Sr and low Y type volcanic rocks in Fuxin area of west Liaoning, northeastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(4): 523~ 532(in Chinese with English abstract).
- Lin Baoqin, Cui Wenyuan, Wang Shiqi, *et al.* 1997. Archean Geology and Its Gold Deposits in West Liaoning [M]. Beijing: Seismological Press, 1~ 119(in Chinese).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, *et al.* 1998. Continental tectonic significance of Mesozoic rocks in northeastern China[J]. Scientia Geologica Sinica, 33(2): 129~ 139(in Chinese with English abstract).
- Martin H. 1986. Effect of steeper Archean geochemical gradient on geochemistry of subduction zone magmas [J]. Geology, 14: 753~ 756.
- Martin H. 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids[J]. Lithos, 46: 411~ 429.
- Maruyama S. 1997. Pacific type orogeny revisited: Miyashiro type orogeny proposed[J]. The Island Arc, 6: 91~ 120.
- Miyashiro A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series [J]. Contrib. Miner. Petro., 66: 91~ 104.
- Pecerillo A and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc alkaline volcanic rocks from the Kastamenu area northern Turkey [J]. Contrib. Miner. Petro., 58(1): 63~ 81
- Qian Qing. 2001. Adakite: Geochemical characteristics and genesis[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 297~ 306(in Chinese with English abstract).
- Shi Rendeng, Yang Jingsui and Wu Cailai. 2003. The discovery of adakitic dacite in Early Palaeozoic island arc volcanic rocks on the northern margin of Qaidam basin and its geological significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 22(3): 229~ 236 (in Chinese with English abstract).
- Wan Tianfeng. 1993. Mesozoic Cenozoic Intraplate Deformation Tectonic Stress Field and Its Application in Eastern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 27~ 29(in Chinese).
- Wang Chengshan, Zhao Zhichao, Cheng Xueru, *et al.* 1993. Volcanic rocks of marginal block type and surge tectonics of continental margin[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 20(4): 55~ 66(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Xu Jifeng and Zhao Zhenhua. 2001. The summary and comment on research on a new kind of igneous rock—adakite[J]. Advance in Earth Sciences, 16(2): 201~ 208(in Chinese with English abstract).
- Wang Wuli, Zheng Shaolin, Zhang Lijun, *et al.* 1990. Mesozoic Stratigraphy and Palaeontology of Western Liaoning[M]. Beijing: Geological Publishing House, 18~ 33(in Chinese).
- Wang Yan, Zhang Qi and Qian Qing. 2000. Adakite: geochemical characteristics and tectonic significances[J]. Scientia Geologica Sinica, 35(2): 251~ 256(in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Ge Wenchun and Sun Deyou. 1994. Strike slip structure and its significance for Mesozoic geological studies in eastern China [J]. World Geology, 13(1): 105~ 112(in Chinese with English abstract).
- Wu Guang and Wang Wuli. 1997. Mechanics and geodynamics of Mesozoic basins in West Liaoning[J]. Memoirs of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, 5~ 6: 167~ 183(in Chinese with English abstract).
- Yan Mingcai and Chi Qinghua. 1997. The Chemical Composition of Crust and Rocks in the Eastern Part of China[M]. Beijing: Science Press, 149~ 151(in Chinese).
- Zang Yaoling, Liu Zhiying, Jiang Yingxing, *et al.* 1993. The origination and evolution of the polygenic volcanic series in the Northeast China [A]. Li Zhaonai and Wang Bixiang. Volcanic Rocks, Volcanism and Related Mineral Resources[C]. Beijing: Geological Publishing House, 85~ 91(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changhou. 1999. A primary discussion on the intraplate orogenic belt[J]. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing). 6(4): 295~ 308(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, *et al.* 2001a. The characteristics and tectonic metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(2): 236~ 244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan and Wang Yuanlong. 2001b. Preliminary study on the components of the lower crust in east China Plateau during Yanshanian Period: Constraints on Sr and Nd isotopic compositions of adakite like rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(4): 505~ 513(in Chinese with English abstract).
- Zhao Hailing, Deng Jinfu and Chen Fajing. 1998. The petrologic characteristics of Mesozoic rocks and basins formation in northeastern China[J]. Geoscience, 12(1): 56~ 61(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yue, Yang Zhenyu and Ma Xinghua. 1994. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in Eastern Asia[J]. Scientia Geologica Sinica, 29(2): 105~ 119(in Chinese with English abstract).
- Zhu Xia. 1983. Structure and Its Evolution of Mesozoic Cenozoic Basins in China[M]. Beijing: Science Press, 1~ 224(in Chinese).

附中文参考文献

- 陈义贤, 陈文寄. 1997. 辽西及邻区中生代火山岩——年代学、地球化学和构造背景[M]. 北京: 地震出版社, 1~ 279.
- 邓晋福, 刘厚祥, 赵海玲, 等. 1996. 燕辽地区燕山期火成岩与造山模型[J]. 现代地质, 10(2): 137~ 148.
- 郭洪中, 张招崇. 1992. 辽宁西部火山岩的基本特征[J]. 岩石矿物学杂志, 11(3): 193~ 204.
- 李思田. 1988. 断陷盆地分析与煤聚积规律[M]. 北京: 地质出版社, 1~ 321.
- 李伍平, 李献华, 路凤香. 2001. 辽西中侏罗世高 Sr 低 Y 型火山岩的成因及其地质意义[J]. 岩石学报, 17(4): 523~ 532.

- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 523~ 537.
- 林宝钦, 崔文元, 王时麒, 等. 1997. 辽西太古宙地质与金矿[M]. 北京:地震出版社, 1~ 119.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 1998. 中国东北地区中生代火山岩的大陆构造意义[J]. 地质科学, 33(2): 129~ 139.
- 钱青. 2001. adakite的地球化学特征及成因[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 297~ 306.
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来. 2003. 柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃达克质英安岩的发现及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 22(3): 229~ 236.
- 万天丰. 1993. 中国东部中生代板内变形构造应力场及其应用[M]. 北京:地质出版社, 27~ 29.
- 王成善, 赵治超, 程学儒, 等. 1993. 边缘陆块型火山岩的建立与大陆边缘涌动构造[J]. 成都地质学院学报, 20(4): 55~ 66.
- 王强, 许继锋, 赵振华. 2001. 一种新的火成岩——埃达克岩的研究综述[J]. 地球科学进展, 16(2): 201~ 208.
- 王五力, 郑少林, 张立君, 等. 1990. 辽宁西部中生代地层古生物[M]. 北京:地质出版社, 18~ 33.
- 王焰, 张旗, 钱青. 2000. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质科学, 35(2): 251~ 256.
- 吴福元, 葛文春, 孙德有. 1994. 走滑构造及对中国东部中生代地质研究的意义[J]. 世界地质, 13(1): 105~ 112.
- 武广, 王五力. 1997. 辽西中生代盆地形成的力学机制及其大陆动力学背景[J]. 沈阳地质矿产研究所集刊, (5~ 6): 167~ 183.
- 鄢明才, 迟清华. 1997. 中国东部地壳与岩石化学组成[M]. 北京:科学出版社, 149~ 151.
- 臧尧龄, 刘志英, 姜应星, 等. 1993. 中国东北部火山岩带多重岩系叠加性及其成因和演化[A]. 李兆熊, 王碧香. 火山岩、火山作用及有关矿产[C]. 北京:地质出版社, 85~ 91.
- 张长厚. 1999. 初论板内造山带[J]. 地学前缘, 6(4): 295~ 308.
- 张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001a. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 17(2): 236~ 244.
- 张旗, 王焰, 王元龙. 2001b. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探:埃达克质岩Sr、Nd同位素制约[J]. 岩石学报, 17(4): 505~ 513.
- 赵海玲, 邓晋福, 陈发景, 等. 1998. 中国东北地区中生代火山岩岩石学特征与盆地形成[J]. 现代地质, 12(1): 56~ 61.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 29(2): 105~ 119.
- 朱夏. 1983. 中国中生代盆地构造和演化[M]. 北京:科学出版社, 1~ 224.

《岩石矿物学杂志》再次入选地质学类 “全国中文核心期刊”

日前,本刊编辑部接到北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2004版编委会的入编通知,得知我刊荣幸地被再次确定为地质学类“全国中文核心期刊”,并被编入《中文核心期刊要目总览》2004版(即第四版)。2004版核心期刊的评选,采用了被索量、被摘量、被引量、它引量、被摘率、影响因子、获国家奖或被国内外重要检索工具收录等7个评价指标,经过大规模的定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的近12000种中文期刊中评选出1800种核心期刊。该书定于2004年7月由北京大学出版社正式出版。

《岩石矿物学杂志》编辑部

2004_05_10