

文章编号: 1004—5589 (2009) 04—0414—10

大兴安岭东北部早白垩世秀山火山-侵入杂岩体特征及成因

于峻川^{1,2}, 韩振哲^{1,3}, 尹志刚³, 李振德³, 吕军^{1,3}, 李文龙³, 李娟娟³

1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;
2. 中国地质大学 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083;
3. 黑龙江省地质调查研究总院 齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161005

摘要: 大兴安岭东北部秀山林场一带的早白垩世花岗质火山-侵入杂岩体由喷发旋回期的流纹岩、流纹质熔结凝灰岩-粗面英安岩、粗安岩和浅成侵入期的二长花岗斑岩-晶洞正长花岗岩-文象碱长正长花岗岩构成。晚期侵入岩体充填于火山喷发形成的塌陷破火山口中央, 岩石具文象结构、晶洞构造等特征, 未见碱性暗色矿物。流纹岩 (118.20 ± 1.90 Ma) 与侵入岩形成时代 ($116.86 \sim 118.3$ Ma) 相近。杂岩体岩石大多数属碱性系列, 具高硅、富碱、铝、Ga 和高场强元素 (HFSE) 的特征, 各岩石微量元素蛛网图上曲线形态基本一致, 均出现 Sr、Ba 谷, 稀土配分曲线也相似, 呈轻稀土富集的不对称右倾“海鸥”型, δEu 中等亏损。流纹岩与石英正长岩的⁸⁶Sr/⁸⁷Sr 初始值 ($0.708\ 734 \sim 0.711\ 488$)、¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 初始值 ($0.512\ 485 \sim 0.512\ 503$) 相近。杂岩体具时、空、源的一致性, 为铝质 A₁ 型火山-侵入杂岩体, 形成于岩石圈伸展机制下的非造山板内拉张构造环境。

关键词: 花岗质火山-侵入杂岩体; 岩石化学; 时空源一致性; 大兴安岭东北部

中图分类号: P534.53; P588.12 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2009.04.002

Characteristics and petrogenesis of Early Cretaceous Xiushan volcanic-intrusive complex in northeastern Da Hingan Mt.

YU Jun-chuan^{1,2}, HAN Zhen-zhe^{1,3}, YIN Zhi-gang³,
LI Zhen-de³, LU Jun^{1,3}, LI Wen-long³, LI Juan-juan³

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobeing Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. Qiqihar Branch of Heilongjiang Institute of Geological Investigation and Research, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China

Abstract: Early Cretaceous granitic volcanic-intrusive complex in Xiushanlinchang of northeastern Da Hingan Mt. consists mainly of rhyolite, rhyolite ignimbrite-trachytic dacite, trachyandesite formed in eruptive cycle stage and adamellite porphyry-geode syenogranite-graphic alkali feldspar syenogranite formed in hypabyssal invasion stage. Later intrusive body filling in the center of collapse caldera formed by volcanic eruption, and the rocks have graphic texture and geode structure without dark alkaline minerals. The age of rhyolite (118.20 ± 1.90 Ma) is similar to the intrusive rocks ($116.86 \sim 118.3$ Ma). Most rocks of the complex belong to alkaline series with high silicon, alkali, aluminum, Ga and HFSEs. The spider diagrams of trace elements of these rocks are close, with Sr, Ba low valley. The rare-earth distribution patterns are similar too, and present slightly LREE enrichment

收稿日期: 2009-03-07; 改回日期: 2009-11-05

基金项目: 中国地质调查局基础地质调查项目 (0199115050)

asymmetric right-wing "seagull" type and medium Eu negative anomaly. The $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ initial values of rhyolite and quartz syenite are also similar. The time-space-source consistency indicates that the complex is aluminum A₁-type granite and formed in non-orogenic intraplate extensional tectonic setting under the extension mechanism of lithosphere.

Key words: granitic volcanic-intrusive complex; petrochemistry; time-space-source consistency; northeastern Da Hinggan Mt.

大兴安岭东北部秀山林场一带大地构造位置属中亚造山带东段的兴蒙造山带, 该区燕山期岩浆活动强烈, 火山岩依次经历了晚侏罗世塔木兰沟期基性火山岩、早白垩世光华期酸性火山岩及甘河期基性火山喷发活动, 以酸性火山活动强烈为特征。近年来, 关于大兴安岭中生代火山岩的成因及构造环境的认识有: 与太平洋板块俯冲作用有关的活动大陆边缘环境; 与大陆裂谷作用有关; 与大陆根-柱构造有关; 与地幔柱有关等不同观点^[1-10]。表明大兴安岭造山作用的复杂性, 这对认识大兴安岭中生代火山岩带, 解释岩浆活动规律起到了一定的作用, 但许多认识尚有待深化。大兴安岭东北部秀山早白垩世 A 型花岗质火山-侵入杂岩产于火山机构中, 本文在对其进行地质、地球化学特征研究的基础上, 讨论其时、空、源关系及其成因、形成的构造背景, 这将有助于深化大兴安岭中生代火山岩的认识。

1 火山-侵入杂岩体特征

秀山火山-侵入杂岩体位于大兴安岭中生代火山岩带北端的阿龙山镇东南约 20 km 处, 产于大型环状的破火山口塌陷构造。基底地层主要由早石炭世花岗岩和泥盆系大民山组沉积岩组成。破火山口在平面上形态为椭圆形, 面积约 1 000 km² (图 1), 在剖面上呈南北对称, 东陡西缓的漏斗状。

按岩浆活动方式及形成先后顺序, 秀山火山-侵入杂岩的形成可分为早期火山喷发和晚期超浅成侵入两个岩浆活动旋回。早期火山喷发旋回形成的流纹岩年龄为 (118.20 ± 1.90) Ma (K-Ar 全岩), 火山间歇期沉积夹层中产早白垩世 *Nestoria* 化石, 晚期超浅成侵入旋回形成的晶洞正长花岗岩年龄为 118.3 Ma (K-Ar 全岩), 二长花岗斑岩年龄为 (116.86 ± 1.72) Ma (K-Ar 全岩)^①, 说明杂岩体中的火山岩与侵入岩两者形成时代相近, 均形成于早白垩世。

1.1 早期火山喷发旋回期

早期火山喷发旋回期按岩性、火山地层层序特征可进一步分为两个阶段: 第一阶段形成光华组一段 (K₁gn¹), 主要分布于火山口四周。岩石类型主要有火山碎屑流相流纹质熔结凝灰岩、爆发相流纹质凝灰岩、喷溢相流纹岩和粗面英安岩等, 局部见少量火山沉积相碳质泥岩, 产 *Nestoria* 化石, 显示出早白垩世特点。

第二阶段形成光华组二段 (K₁gn²) 英安岩、英安质火山碎屑岩和粗安岩等, 仅出露于火山口附近或火山机构的上部层位, 出露规模较小。

1.2 晚期岩浆浅成侵入旋回期

晚期超浅成侵入旋回期形成的超浅成中央侵入杂岩体充填于破火山口中心, 侵入周围早期火山喷发旋回期形成的酸性火山岩中。岩体呈不规则长椭圆形, 长轴近东西向, 出露面积约 150 km²。岩体可分为边缘相、过渡相及中心相, 分别由细粒二长花岗斑岩、细粒晶洞正长花岗岩和细粒文象碱长正长花岗岩组成, 相互间为相变接触关系。副矿物组合以磁铁矿、磷灰石为主, 并见少量萤石。

2 杂岩体岩石化学、地球化学特征

火山-侵入杂岩体的早期火山喷发旋回期火山岩总体上表现为高硅高钾、富碱质的特征 (表 1), SiO₂ 为 61.18% ~ 76.36% (平均为 69.24%), (Na₂O + K₂O) 为 6.38% ~ 11.60% (平均为 7.93%), 总体上 K₂O > Na₂O, Al₂O₃ 为 12.4% ~ 16.56% (平均为 14.05%), MgO 为 0.17% ~ 1.49% (平均为 0.63%), CaO 为 0.28% ~ 2.71% (平均为 1.03%)。在 TAS 图 (图 2a) 中, 主要落入流纹岩和粗面英安岩区, 少量为粗安岩, 为一套

① 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万阿龙山镇幅区域地质调查报告. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查院. 2003.

岩区。岩石铝饱和指数 A/CNK 为 $0.95 \sim 1.27$ (平均为 1.05), 为偏铝质-过铝质岩石, 在判别岩石含铝性的 $A/CNK - A/NK$ 图 (图略) 中均落入过铝质-偏铝质岩石区。

在哈克图解上 (图 3), 杂岩体的 SiO_2 与 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 MgO 、 P_2O_5 均呈负相关, 与 Na_2O 、 K_2O 相关性不明显。其中火山岩从早期至晚期喷发阶段, 随 SiO_2 含量逐渐降低, Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 、 MgO 、 P_2O_5 等逐

渐升高, 岩石的 DI 值 ($93 \sim 73$) 逐渐变小, SI 值 ($1.97 \sim 11.60$) 逐渐变大, 显示出岩浆反序列演化特征, 这与火山岩岩石类型变化相吻合。晚期的侵入岩从早期至晚期就位阶段, 随 SiO_2 含量逐渐升高, Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 、 MgO 、 P_2O_5 等逐渐降低, 岩石的 DI 值 ($80 \sim 97$) 逐渐变大, SI 值 ($9.80 \sim 0.78$) 逐渐变小, 显示出岩浆正序列演化特征。

表 1 秀山火山-侵入杂岩体岩石化学分析结果表

Table 1 Analysis results of major elements of volcanic - intrusive complex in Xiushan

$w_B/\%$

样品	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOS	Σ	δ
$P_{34}GS5$		70.38	0.30	13.78	1.10	3.62	0.06	0.12	0.56	4.63	5.80	0.01	0.24	100.6	3.97
$P_{34}GS8$	细粒文象碱	70.20	0.30	13.82	0.82	1.74	0.04	0.24	0.85	4.71	6.24	0.08	0.60	99.64	4.41
$P_{34}GS10$	长正长花岗	72.04	0.30	14.18	1.35	0.82	0.04	0.20	0.73	4.75	5.91	0.08	0.48	100.70	3.91
$P_{34}GS13$	岩	70.78	0.20	13.67	1.00	2.86	0.05	0.14	0.76	4.49	5.98	0.08	0.02	100.00	3.95
$P_{34}GS30$		70.42	0.30	14.02	0.71	3.12	0.02	0.19	0.69	4.49	6.13	0.08	0.66	100.60	4.11
$P_{34}GS2-1$	细粒晶洞	71.06	0.30	14.02	1.24	1.94	0.05	0.14	0.60	4.70	5.89	0.01	0.34	100.30	4.00
$P_{36}GS14$	正长花岗岩	70.00	0.20	14.86	1.95	1.01	0.04	0.26	0.51	5.34	5.73	0.10	0.74	100.70	4.54
$P_{34}GS55$		69.62	0.30	14.44	1.00	3.13	0.06	0.22	0.86	4.87	6.11	0.08	0.15	100.70	4.53
$P_{34}GS60$		63.92	0.48	15.84	2.02	3.28	0.08	0.76	2.13	4.90	5.58	0.20	0.48	99.67	5.25
$P_{34}GS62$		64.32	0.50	15.94	2.38	2.10	0.07	0.79	2.29	4.66	5.99	0.20	1.04	100.30	5.32
$P_{34}GS68$	细粒二长	64.64	0.50	16.03	1.98	2.42	0.07	0.91	2.10	4.88	5.55	0.20	0.88	100.20	5.03
$P_{34}GS70$	花岗斑岩	67.74	0.50	15.62	1.41	5.15	0.09	0.88	2.08	4.63	5.22	0.20	0.40	100.60	3.92
$P_{36}GS20$		68.06	0.20	15.88	1.55	2.07	0.06	0.23	0.64	5.52	6.08	0.08	0.34	100.70	5.37
$P_{14}GS49$		65.02	0.52	15.07	2.26	2.56	0.03	1.52	2.15	4.85	4.32	0.23	1.70	100.20	3.82
$P_{21}GS52$		65.58	0.55	15.82	2.06	2.66	0.05	0.82	1.79	4.69	4.95	0.28	1.02	100.30	4.12
$P_{13}GS75$		73.93	0.28	12.80	1.15	2.30	0.02	0.55	0.80	1.89	4.68	0.11	1.39	99.91	1.40
$P_{13}GS77$		73.20	0.33	13.17	1.51	2.28	0.04	0.36	0.55	1.65	5.75	0.05	0.92	99.82	1.82
P_3GS78	流纹岩	73.54	0.28	13.01	1.45	1.56	0.03	0.29	0.30	4.07	5.02	0.09	0.40	100.04	2.71
$P_{22}GS11$		75.50	0.29	12.43	1.49	1.38	0.02	0.20	0.28	4.85	2.25	0.12	0.86	99.67	1.55
$P_{25}XT37$		76.36	0.20	12.86	0.80	0.68	0.02	0.21	0.31	3.10	4.97	0.05	0.74	100.30	1.95
$P_{25}XT44$		76.10	0.10	13.10	0.77	0.64	0.01	0.17	0.35	3.79	5.23	0.05	0.44	100.75	2.46
$P_{13}GS44$	流纹质熔结	72.18	0.29	12.58	1.47	2.56	0.02	0.46	0.97	2.85	4.58	0.13	1.56	99.65	1.89
$P_{21}GS38$	凝灰岩	67.12	0.58	15.84	2.39	1.38	0.04	1.33	1.05	1.24	5.14	0.28	2.98	99.37	1.69
$P_{13}GS28$	粗面英安岩	67.14	0.38	14.92	2.04	2.54	0.04	0.78	1.79	3.14	5.10	0.08	2.10	100.05	2.81
$P_{21}GS37$		68.18	0.45	15.22	1.75	2.54	0.06	0.41	0.95	4.15	5.03	0.23	0.37	99.34	3.35
$P_{13}GS19$	粗安岩	61.30	0.49	16.56	1.75	3.44	0.06	1.49	2.71	4.44	4.29	0.22	3.36	100.11	4.17
P_5GS6		61.18	0.85	16.09	3.12	2.98	0.05	1.34	2.33	4.46	3.48	0.35	3.02	99.25	3.47

注: 样品由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院实验室测试 (2002)。Si 和烧头量采用重量法, Al、Fe 采用滴定法, Ti、P 采用比色法, K、Na、Ca、Mg、Mn 采用原子吸收光谱法。

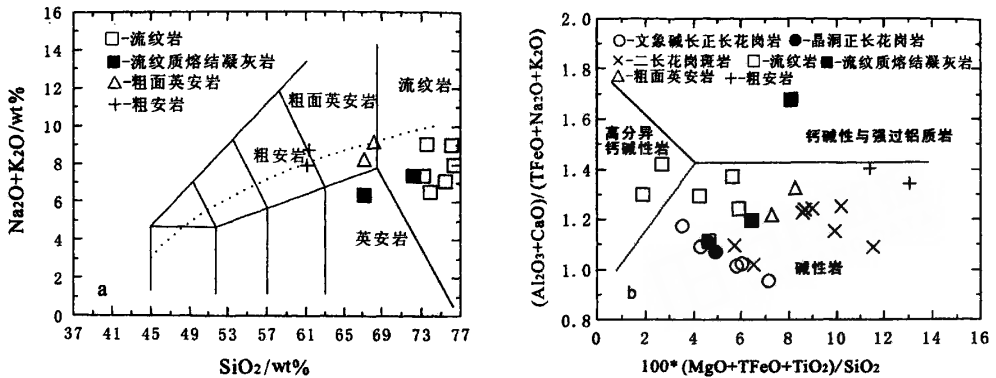


图2 秀山火山-侵入杂岩体 TAS 图 (a) 及岩类主元素判别图 (b)

Fig. 2 TAS diagram (a) and major element discrimination diagram (b) of volcanic-intrusive complex in Xiushan

杂岩体中各岩石稀土配分曲线总体相似, 呈左高右低、左陡右缓的轻稀土富集的不对称右倾“海鸥”型, δEu 中等亏损 (图 4a), 但不同岩石类型间存在一定差异。火山岩 ΣREE 为 $159.66 \times 10^{-6} \sim 276.91 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值 (LREE/HREE) 为 $5.12 \sim 14.04$, δEu 为 $0.18 \sim 0.45$ (平均为 0.35) (表 2)。火山喷发旋回期从早期至晚期的流纹岩、流纹质熔结凝灰岩-粗面英安岩-粗安岩, 岩石稀土总量增加, δEu 亏损逐渐增强, 轻重稀土比值降低, 说明了岩浆反演化的特征。侵入岩的 ΣREE 为 $163.96 \times 10^{-6} \sim 276.80 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值 (LREE/HREE) 为 $4.44 \sim 6.86$, δEu 为 $0.30 \sim 0.70$ (平均为 0.51) (表 2)。侵入旋回期从早期至晚期的石英二长斑岩-晶洞石英正长岩-文象碱长石英正长岩, 岩石稀土总量逐渐降低, 轻重稀土比值略有增高, δEu 亏损逐渐增强, 也说明了岩浆正演化的特征。

杂岩体各岩石的微量元素曲线形态基本一致 (图 4b), 均出现 Sr、Ba 谷, 说明存在一定程度的岩浆同源性, 但 Sr、Ba 的形态存在一定程度的变化, 其中火山喷发旋回期和侵入旋回期的晚期岩石中 Sr、Ba 谷更加明显。

3 杂岩体时空源一致性特征

花岗质火山-侵入杂岩具有同时间、同空间和同物质来源的特征, 简称时空源三者的一致性。所谓同时间是指火山岩和花岗岩的形成时代相近, 所

谓同空间是火山岩与花岗岩存在于同一火山机构内或相邻的空间, 所谓同物质来源是火山岩与花岗岩具有相似的物质源区^[11]。

秀山火山-侵入杂岩体的时、空、源一致性主要表现在: ①早期火山喷发期火山岩和晚期超浅成侵入期岩体, 形成于同一火山机构中, 且两者形成年龄相近, 具有时间、空间上的一致性特征; ②在哈克图解 (图 3) 中, 火山岩与侵入岩构成了较好的线性关系, 且各岩石的稀土配分曲线、微量元素蛛网图曲线形态总体上相似, 说明了两者的同源性的特点; ③流纹岩的 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 初始值为 0.711488 , $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始值为 0.512503 , 与细粒二长花岗斑岩的 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 初始值 (0.708734) 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始值 (0.512485) 相近^①, 说明两者来源于同一岩浆源区, 其形成可能与地壳物质的部分熔融有关。

4 杂岩体成因及其形成的构造背景

秀山火山-侵入杂岩体中的早期火山岩为高钾钙碱性系列, 火山岩石中的流纹岩 SiO_2 、 MgO 、 TiO_2 、 FeO 、 CaO 、 P_2O_5 等含量及 Ba、Sr、Th 含量与低 Sr 流纹岩相似, 而粗面英安岩、粗安岩等与高 Sr 流纹岩相似^[69]。杂岩体的火山岩中以低 Sr 流

① 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万阿龙山镇幅区域地质调查报告. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查院. 2003.

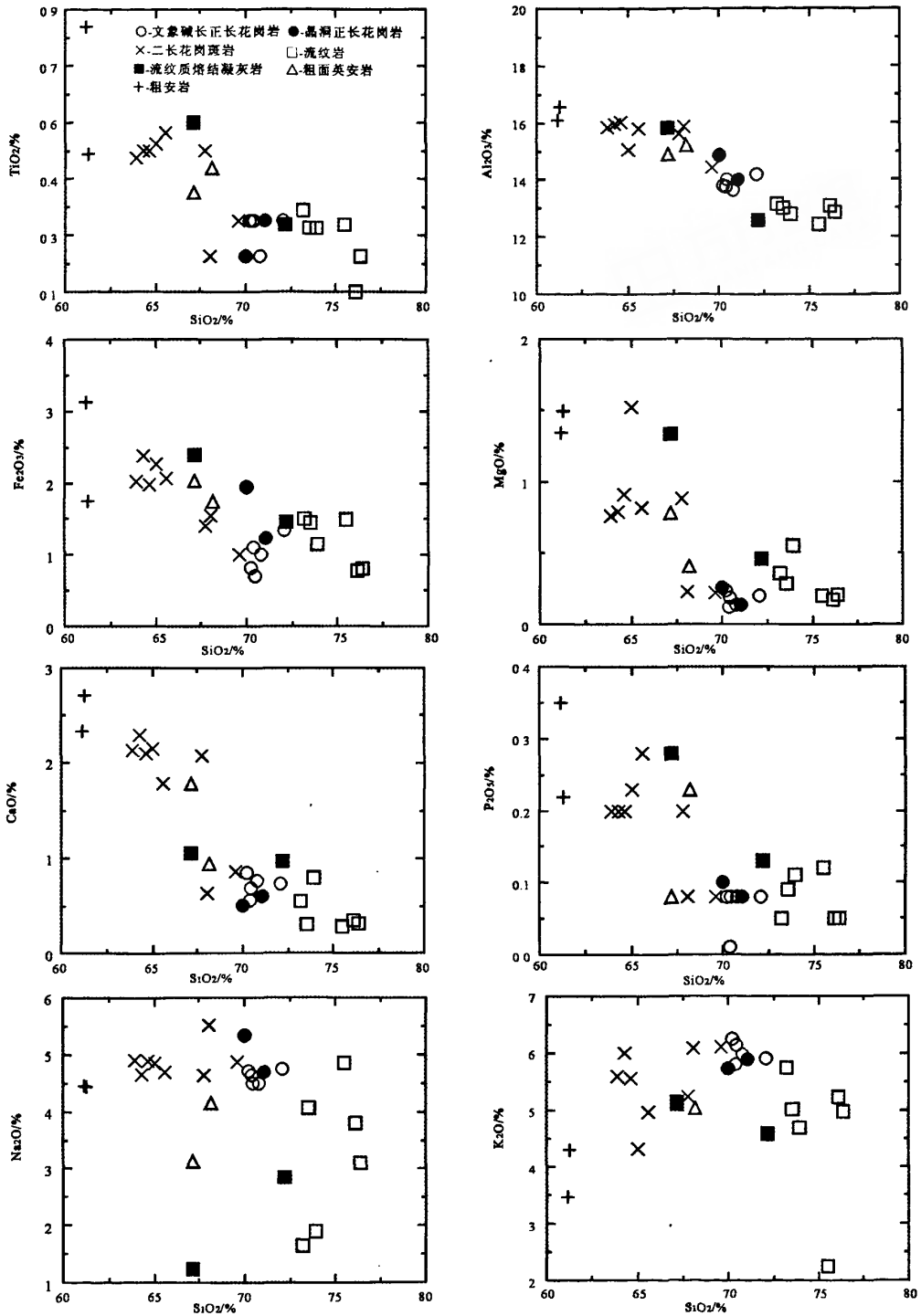


图 3 哈克图解
Fig. 3 Haker diagrams

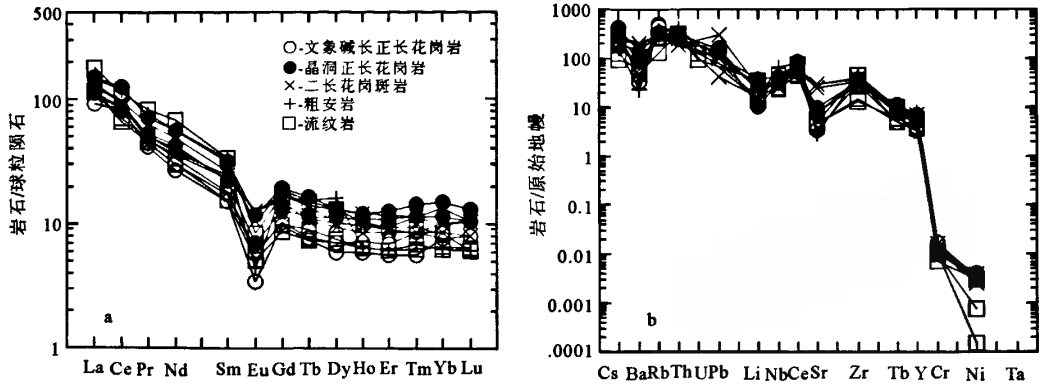


图4 秀山火山-侵入杂岩体稀土元素配分曲线图 (a) 及微量元素蛛网图 (b)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE pattern (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergram (b) of volcanic-intrusive complex in Xiushan

表2 秀山火山-侵入杂岩体微量、稀土元素分析结果表

Table 2 Analysis results of trace elements and REEs of volcanic-intrusive complex in Xiushan

序号	样号	岩性	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Sc	Nb	Ta	Zr	Hf	Pb	Ga	U	Th	Cr	Ni	Co
1	P ₁₄ TC ₅	细粒文象碱长正长花岗岩	17	274	6.4	63	170	3.0	23	2.1	240	8.1	18			20	52	7	3.2
2	P ₃₄ TC ₁₀	长正长花岗岩	17	246	5.1	130	300	3.6	21	1.4	300	10	19			19	32	6	1.4
3	C ₂ A ₅₆₆	细粒晶洞	31	168	5.3	170	450	4.2	23	3.0	280	12		56	2.9	21	34	8	3.9
4	P ₃₆ TC ₁₄	正长花岗岩	8.8	179	7.6	140	660	4.9	17	1.2	270	8.6	16			16	33	6	3.6
5	P ₃₆ TC ₂₀		13	157	3.4	140	800	4.3	16	1.3	230	6.9	5			16	37	5	1.1
6	P ₃₄ TC ₅₅	细粒二长	22	156	4.3	450	990	6.0	15	1.4	270	7.6	36			12	42	5	5.6
7	P ₃₄ TC ₆₂	花岗斑岩	19	166	4.8	530	1000	6.4	17	1.5	300	9.2	13			12	50	5.9	6.0
8	P ₃₄ TC ₆₈		24	166	5.0	510	1060	6.4	14	1.4	320	9.5	12			12	40.9	7.7	6.4
9	P ₅ XT ₆	粗安岩	13.1	200	2.88	53	120	3.7	36	3.2	340	14		44	2.3	27	48.5	6.7	6.0
10	P ₂₂ XT ₁₁		11.8	72.5	2.28	89	250	4.4	25	2.5	370	15		48	2.2	20	21.1	6.1	2.1
11	P ₂₅ XT ₃₇	流纹岩	29.5	150	1.7	82	310	1.7	13	1.5	110	2.8		17	1.7	17.7	32.6	0.30	2.0
12	P ₂₅ XT ₄₄		25.4	144	3.6	81	300	1.5	14	1.5	120	4.0		18	2.2	18.3	30.2	1.5	1.4
序号	Be	Sn	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	δEu
1	4.5	2.0	33.7	81	5.70	19	3.40	0.30	2.90	0.42	2.24	0.50	1.40	0.20	1.90	0.30	11.0	164.57	0.30
2	4.5	1.7	33.9	77	6.00	21	3.90	0.50	3.10	0.44	2.65	0.60	1.70	0.30	1.90	0.30	13.0	166.39	0.40
3	2.6	6.6	40.9	79	7.30	30	5.00	0.60	3.90	0.65	4.22	0.90	2.70	0.40	2.80	0.40	19.0	198.41	0.40
4	3.9	2.5	55.5	120	9.70	39	7.10	1.00	5.80	0.94	4.96	1.00	3.10	0.50	3.70	0.50	24.0	276.22	0.50
5	3.8	4.5	48.8	93	8.60	34	6.00	0.90	5.40	0.80	4.84	1.00	2.90	0.40	3.30	0.40	24.0	233.81	0.50
6	3.7	0.5	42.2	82	6.90	26	5.60	1.10	4.80	0.63	3.80	0.80	2.30	0.40	2.40	0.40	19.0	198.15	0.60
7	2.8	1.1	45.9	89	6.90	28	5.20	1.10	5.10	0.78	3.88	0.80	2.20	0.30	2.50	0.40	19.0	210.85	0.70
8	3.3	0.9	39.4	84	6.50	25	5.20	1.10	4.05	0.60	3.52	0.70	2.10	0.30	2.10	0.30	17.0	193.33	0.70
9		3.8	54.2	113	10.30	40.4	7.45	0.38	5.58	0.87	6.10	1.19	3.30	0.48	3.07	0.33	26.5	273.15	0.18
10		3.3	65.6	108	11.20	48.3	7.65	0.73	5.1	0.86	4.92	0.87	2.34	0.33	2.08	0.23	18.7	276.91	0.34
11	2.2	3.68	43.2	67.4	6.41	23.4	4.05	0.53	2.96	0.51	2.81	0.54	1.53	0.22	1.62	0.24	13.0	168.42	0.45
12	3.0	4.02	42.6	63.3	6.21	21.2	3.53	0.44	2.63	0.42	2.64	0.54	1.52	0.24	1.56	0.23	12.6	159.66	0.43

注：样品由宜昌地质矿产研究所用 ICP-MS 测试 (2001~2002)，分析方法采用碱熔法、离子交换富集分离法测定，其他均采用酸熔法测定，以 AMH-1 和 GBPG-1 为参考标样，相对误差 (RSD) 均 <5%。

纹岩为主，高 Sr 粗面英安岩为次，与东非裂谷型流纹岩更为相似^[69]，也与多块体挤压大陆活动区火成岩组合相似^[12]，可能说明岩石形成于大陆活化区从挤压向拉张转化阶段，而不同于典型俯冲成因的钙碱性系列安山岩-英安岩-流纹岩。

火山-侵入杂岩的 Ga 含量为 $17.0 \times 10^{-6} \sim 56.0 \times 10^{-6}$ (平均为 36.6×10^{-6})，略高于中国、世界的典型 A 型花岗岩平均值 ($18.54 \times 10^{-6} \sim 24.6 \times 10^{-6}$)；岩石 $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 值为 $2.50 \sim 7.31$ (平均为 4.97)；岩石中微量元素组合 (Zr + Nb + Ce + Y) 含量为 $355.0 \times 10^{-6} \sim 521.7 \times 10^{-6}$

$\geq 350 \times 10^{-6}$ ；岩石 ΣREE 含量为 $193.33 \times 10^{-6} \sim 276.91 \times 10^{-6}$ ， δEu 为 $0.18 \sim 0.70$ (平均 0.46)，中等亏损，在微量标准化蛛网图上出现 Ba、Sr 负异常，这些特征均符合 A 型花岗岩的要素^[13-15]。在 (TFeO/MgO) - SiO₂ 图 (图 5a)、(TFeO/MgO) - (Zr + Nb + Ce + Y) 图 (图 5b) 和 (Na₂O + K₂O)/CaO - (Zr + Nb + Ce + Y) 图 (图 5c) 中，岩石均落入 A 型花岗岩区。在 Eby (1992) 提出的 A₁、A₂ 型判别图解 (图 5d、e) 中，岩石落入 A₁ 型花岗岩区，说明其形成受控于张性构造背景的非造山板内构造环境^[13-15]。

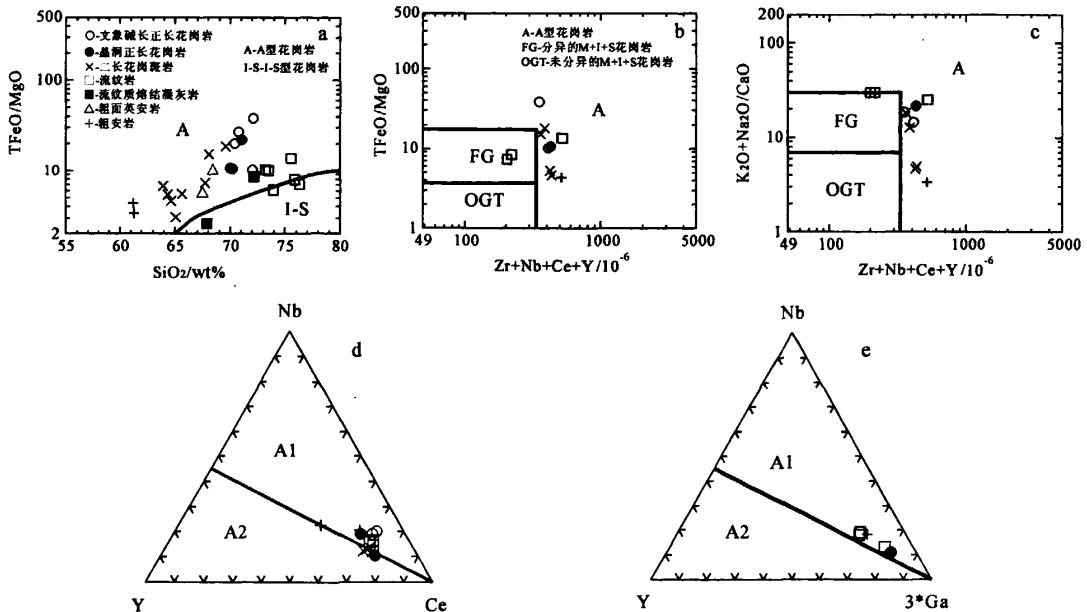


图 5 秀山火山-侵入杂岩体 TFeO/MgO-SiO₂ 图 (a)；TFeO/(MgO)-(Zr+Nb+Ce+Y) 图和 (Na₂O+K₂O)/(CaO)-(Zr+Nb+Ce+Y) 图 (b、c)；Nb-Y-Ce 图和 Nb-Y-3*Ga 图 (d、e)

Fig. 5 TFeO/MgO-SiO₂ (a)；TFeO/(MgO)-(Zr+Nb+Ce+Y) and (Na₂O+K₂O)/(CaO)-(Zr+Nb+Ce+Y) diagrams (b、c)；Nb-Y-Ce and Nb-Y-3*Ga diagrams (d、e) of volcanic-intrusive complex in Xiushan

杂岩体的晚期浅成侵入岩体就位于早期火山喷发形成的破火山口塌陷中央，岩石大多发育文象结构、晶洞构造及较自形的锥状高温石英，说明高温岩浆浅成就位的特点与区域上的光华组三段（或称为上库力组三段）碱性流纹岩具可比性^[16]，说明了两者为“同源、不同成岩环境”，即超浅成侵入与喷发的不同特征。岩体中无主动侵位造成的定向组构、岩浆面理等构造应变，与围岩接触界面多

见有岩枝、岩脉等，并与围岩构造线方向不一致，围岩也不因岩体侵入而发生变形，明显表现出拉张环境下的被动就位的构造样式。

秀山早白垩世火山-侵入杂岩体具铝质 A₁ 型岩浆岩特征，晚期 A₁ 型侵入岩与区域上的光华组三段（或称上库力组三段）A₁ 型碱性流纹岩基本类似^[16]，分别是超浅成侵入相与喷发相产物，表现出“同源多位、同位多期”的不同成岩环境特征，

并与早期火山喷发形成的酸性火山岩共同构成时、空、源上高度一致的另一构造-岩浆序列。火山-侵入杂岩的早期高钾钙碱性系列火山岩向晚期碱性系列侵入岩岩石系列演化,为同一源区、不同温度、不同熔融程度形成的岩浆的产物,这与江西寻乌火山-侵入杂岩体相似^[17],不同于中国东南部桐庐同熔型(I型)和云山-魁岐碱性(A型)火山-侵入杂岩体中的火山岩与侵入岩两者岩石系列相同的特征^[11]。杂岩体的形成暗示了该地区早白垩世火山喷发后的崩塌塌陷的张性构造环境,反映了从此该地区进入造山后的伸展阶段,是造山后伸展背景下的热隆构造的具体表现^[5]。与此同时,杂岩体与区域上的甘河期碱性系列玄武岩-A₁型流纹岩-A₁碱性花岗岩等,均反映出大陆板内拉张减薄的构造环境^[6,9]。

5 结论

(1) 秀山早白垩世火山-侵入杂岩体产于大型破火山机构中,具有时间、空间、物源上的一致性,由喷发旋回期的流纹质熔结凝灰岩、流纹岩及粗面英安岩和超浅成侵入期的二长花岗斑岩-晶洞正长花岗岩-文象碱长正长花岗岩构成。杂岩体中各岩石均具高硅、富碱、铝和富Ga、高场强元素(HFSE)的特征,并由早期高钾钙碱性火山岩向晚期碱性系列侵入岩演化。

(2) 杂岩体中各岩石微量元素曲线形态基本一致,均出现Sr、Ba谷,稀土配分曲线也相似,呈轻稀土富集的不对称右倾“海鸥”型,δEu中等亏损。杂岩体中的流纹岩(118.20 ± 1.90 Ma)与晶洞正长花岗岩(116.86 ~ 118.3 Ma)形成时代相近,且具相似的⁸⁶Sr/⁸⁷Sr初始值(0.708 734 ~ 0.711 488)和¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd初始值(0.512 485 ~ 0.512 503)。

(3) 秀山火山-侵入杂岩体具A₁型岩浆岩的特征,与区域上的光华组三段(或称为上库力组三段)A₁型碱性流纹岩基本类似,分别是超浅成侵入相与喷发相产物,表现出“同源多位、同位多期”的不同成岩环境特征,均形成于大陆板内拉张减薄环境,其成因可能与岩石圈伸展-减薄作用下的地壳物质的部分熔融有关。

参考文献:

[1] 赵国龙, 杨桂林, 傅嘉友, 等. 大兴安岭中南部中生

代火山岩[M]. 北京: 科学技术出版社, 1989: 1-260.

ZHAO Guo-long, YANG Gui-lin, FU Jia-you, et al. Mesozoic volcanic rocks in the central-southern Daxing'anling Mountains [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1989: 1-260.

[2] 马家骏, 方大赫. 黑龙江省中生代火山岩初步研究[J]. 黑龙江地质, 1991, 2(2): 1-16.

MA Jia-jun, FANG Da-he. A preliminary study of the Mesozoic volcanic rocks in Heilongjiang Province, China [J]. Heilongjiang Geology, 1991, 2(2): 1-16.

[3] 蒋国源, 权恒. 大兴安岭根河海拉尔盆地中生代火山岩[J]. 沈阳地质矿产研究所刊, 1988, 3: 23-100.

JIANG Guo-yuan, QUAN Heng. Mesozoic volcanic rocks of Genhe and Hailaer basins in Daxing'anling Mountains [J]. Bulletin of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, 1988, 3: 23-100.

[4] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造—大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 18-24.

DENG Jin-fu, ZHAO Hai-ling, MO Xuan-xue, et al. Continental roots-plume tectonics of China—key to the continental dynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 18-24.

[5] 邵济安, 张履桥, 肖庆辉, 等. 大兴安岭的隆起—一种可能的陆内造山机制[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 789-794.

SHAO Ji-an, ZHANG Lu-qiao, XIAO Qing-hui, et al. Rising of Da Hinggan Mts in Mesozoic: a possible mechanism of intracontinental orogeny [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 789-794.

[6] 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩与玄武岩的成因联系[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(4): 322-328.

LIN Qiang, GE Wen-chun, SUN De-you, et al. Genetic relationships between two types of Mesozoic rhyolite and basalts in Great Daxing'anling Ridge [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(4): 322-328.

[7] 林强, 葛文春, 曹林, 等. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 208-222.

LIN Qiang, GE Wen-chun, CAO Lin, et al. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: the bimodal volcanic rocks [J]. Geochimica, 2003, 32

- (3): 208-222.
- [8] 林强. 东北亚中生代火山岩研究若干问题的思考 [J]. 世界地质, 1999, 18 (2): 14-22.
LIN Qiang. Some thoughts on Mesozoic volcanic rocks in Northeast Asia [J]. World Geology, 1999, 18 (2): 14-22.
- [9] 葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究 [J]. 地球科学, 2000, 25 (2): 172-178.
GE Wen-chun, LIN Qiang, SUN De-you, et al. Geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxinganling [J]. Earth Science, 2000, 25 (2): 172-178.
- [10] 张昱, 赵焕力, 李仰春, 等. 大兴安岭北段根河地区早白垩世火山杂岩特征及其成因探讨 [J]. 中国地质, 2005, 32 (3): 405-410.
ZHANG Yu, ZHAO Huan-li, LI Yang-chun, et al. Characteristics of Early Cretaceous volcanic complexes in the Genhe area in the northern segment of the Da Hinggan Mountains; with a discussion of their genesis [J]. Geology in China, 2005, 32 (3): 405-410.
- [11] 王德滋, 周金城, 邱检生, 等. 中国东南部中生代花岗质火山-侵入杂岩特征与成因 [J]. 高校地质学报, 2000, 6 (4): 487-498.
WANG De-zi, ZHOU Jin-cheng, QIU Jian-sheng, et al. Characteristics and petrogenesis of Late Mesozoic granitic volcanic-intrusive complexes in southeastern China [J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6 (4): 487-498.
- [12] 李兆鼎, 权恒, 李之彤, 等. 中国东部中、新生代火成岩及其深部过程 [M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1-108.
LI Zhao-ding, QUAN Heng, LI Zhi-tong, et al. Mesozoic volcanic rocks and their deep process in eastern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 1-108.
- [13] 吴锁平, 王梅英, 戚开静. A型花岗岩研究现状及其述评 [J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26 (1): 57-66.
WU Suo-ping, WANG Mei-ying, QI Kai-jing. Present situation of A-type granites: a review [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2007, 26 (1): 57-66.
- [14] 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志 [J]. 中国科学 (B辑), 1995, 25 (4): 418-426.
HONG Da-wei, WANG Shi-guang, HAN Bao-fu, et al. Tectonic setting classifications and discrimination criteria for alkaline granites [J]. Science in China (Ser. B), 1995, 25 (4): 418-426.
- [15] Edy C N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and implications [J]. Geology, 1992, 20: 641-644.
- [16] 葛文春, 李献华, 林强, 等. 呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义 [J]. 地质科学, 2001, 36 (2): 176-183.
GE Wen-chun, LI Xian-hua, LIN Qiang, et al. Geochemistry of Early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun lake, Daxing-anling and its tectonic implications [J]. Chinese J Geol, 2001, 36 (2): 176-183.
- [17] 巫建华, 刘帅, 周维勋, 等. 江西寻乌破火山口火山-侵入杂岩地球化学特征及其成因意义 [J]. 东华理工学院学报, 2004, 27 (1): 33-43.
WU Jian-hua, LIU Shuai, ZHOU Wei-xun, et al. The geochemistry and petrogenesis of the volcanic-intrusive rocks in broken crater of Xunwu, Jiangxi [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2004, 27 (1): 33-43.