

# Petrology, Geochemistry Characteristics and Genesis of the Mid Jurassic Volcanic Rocks of the Lanqi Formation, Qinglong Orefield

Guochen Li<sup>1</sup>, Xiang Sun<sup>1</sup>, Yi Luo<sup>1</sup>, Yong Gu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing

<sup>2</sup>School of Earth Science and Resource, China University of Geosciences, Beijing

Email: [396582051@qq.com](mailto:396582051@qq.com)

Received: May 9<sup>th</sup>, 2015; accepted: May 23<sup>rd</sup>, 2015; published: May 29<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The Lanqi volcanic rocks at mid Jurassic are composed of a series of intermediate volcanic rocks and volcanic-clastic rocks. They are the most important protecting thick cover on the orebody. This formation could be divided into three layers based on the volcanic petrography feature: the lower—andesitic agglomerate, breccia, porphyroclast and andesite; the middle—the purple Red tuffaceous sandstone and conglomerate; the upper—vesicular andesite with thin layer black mica crystal tuff. The Lanqi volcanic rocks are characterized by low MgO value, low TiO<sub>2</sub> value, high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> value and high K<sub>2</sub>O value, belonging to quasi-aluminous, high-k calc-alkaline series. The REE, compatible elements and incompatible elements suggest that lower crust magma is mixed with some mantle magma and shows a trend of strong-weak-strong of contamination levels in different stages. The formation of magma is not due to the Large-scale crystallization differentiation, but probably mainly due to the partial melting. The tectonic setting is at intraplate orogeny, on the stage of transformation from the earthcrust shorting thickening to thinning.

## Keywords

Lanqi Formation, Intermediate Volcanic Rocks, Petrology, Geochemistry, Genesis

---

# 青龙矿田兰旗组火山岩岩石学、地球化学特征及成因探讨

李国臣<sup>1</sup>, 孙祥<sup>1</sup>, 罗毅<sup>1</sup>, 谷勇<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>核工业北京地质研究院, 北京

<sup>2</sup>中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京

Email: [396582051@qq.com](mailto:396582051@qq.com)

收稿日期: 2015年5月9日; 录用日期: 2015年5月23日; 发布日期: 2015年5月29日

## 摘要

青龙铀矿田中侏罗统兰旗组为一套较厚中性火山熔岩-火山碎屑岩, 是含矿层上覆最重要保护层。基于火山岩相学特征将兰旗组划分为3段: 下段安山集块岩、安山角砾岩、及碎斑安山岩、安山岩; 中段紫红色凝灰质砂岩、砾岩; 上段气孔状安山岩夹薄层黑云母晶屑凝灰岩。对各层位的火山熔岩进行了岩石地球化学分析, 结果显示总体具有低镁低钛高铝高钾特征, 属准铝质系列和高钾钙碱性系列; 稀土元素、相容元素、不相容元素等显示下地壳岩浆混入幔源特征, 并显示了各阶段混染程度存在强-弱-强演化趋势; 岩浆成因并非大规模结晶分异, 可能主要为部分熔融; 其形成构造背景为板内造山环境, 处于地壳缩短加厚晚期向减薄转换阶段。

## 关键词

兰旗组, 中性火山岩, 岩石学, 地球化学, 成因

## 1. 引言

研究区位于河北省境内与辽宁省邻界处, 大地构造位置处于秦皇岛岩浆弧与燕辽裂谷带过渡部位, 属建昌盆地南缘。基底由似斑状钾质混合花岗岩和中元古代地层组成; 上覆中侏罗海防沟组、统兰旗组、晚侏罗统土城子组、早白垩统义县组等地层。燕山期花岗闪长岩及白垩期北西向石英正长斑岩脉、辉绿岩脉及环形大青山火山机构发育(图1)。前人曾对区域上如北京西山、冀北、辽西地区对兰旗组展开大量研究[1]-[3], 而本区兰旗组火山岩层序、岩性、岩石学特征、地球化学及岩浆演化成因等特征未见公开报道, 本文拟从以上角度揭示其火山岩特征属性, 探讨其演化过程, 为理解岩浆深部作用提供依据。

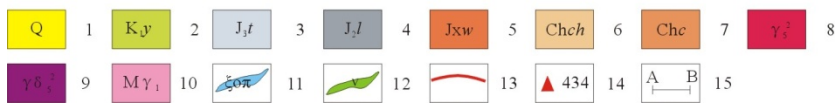
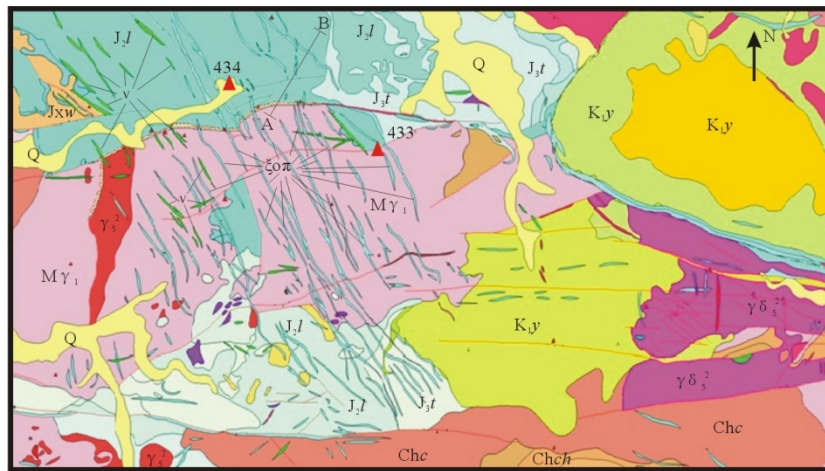
## 2. 研究方法

为厘定矿田兰旗组地层层序、岩性组合、岩相变化、接触关系等野外地质特征, 本次野外调查以实测地质剖面为主(见图1中A-B)结合路线地质调查方法去剖析其宏观特征, 镜下观察认识其火山岩岩石学特征。对其地球化学特征, 按照元素岩浆地球行为中相似性分组进行讨论, 对比各个阶段差异及变化, 以判定岩浆地球化学属性, 推断岩浆来源、演化过程及形成地质背景。

地球化学样品碎成200目以下粉末, 分析在核工业北京地质研究院分析研究所完成, 主量元素用X射线荧光分析, 使用仪器为AB104-L, PW2404 X射线荧光光谱仪, 检测方法和依据参照GB/T 14506.14-2010《硅酸盐岩石化学分析方法, 第14部分: 氧化亚铁量测定》, GB/T 14506.28-2010《硅酸盐岩石化学分析方法, 第28部分: 16个主次成分量测定》; 微量元素用ICPMS方法分析, 使用Agilent7500a ICP-MS仪器, 检测依据: GB/T14352-2010, GB/T14353-2010。

## 3. 火山岩岩石学特征

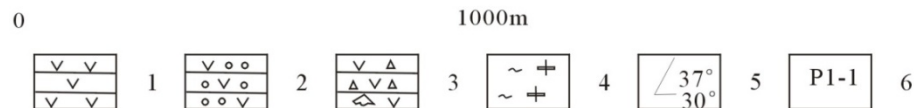
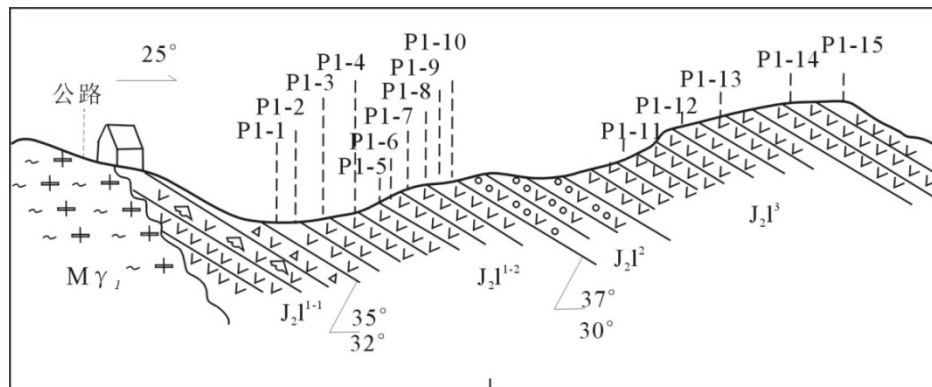
野外调查基于火山岩岩相将本期兰旗组( $J_2$ )分为三个岩段(图2)。下段下部 $J_2^{1-1}$ 为安山集块岩、安山



1 第四系；2 义县组中性 - 酸性火山岩；3 土城子组紫红色碎屑岩；4 兰旗组火山岩；5 蓟县系雾迷山组燧石条带灰岩；6 长城系串岭沟组页岩夹砂岩；7 长城系常州沟组碎屑岩及页岩；8 燕山期花岗岩；9 燕山期花岗岩闪长岩；10 似斑状钾质混合花岗岩；11 石英正长斑岩脉；12 辉绿岩脉；13 断裂；14 矿床位置及编号；15 实测剖面位置及编号

Figure 1. Geologic map of Qinglong U deposit field & position of geology survey section line

图 1. 青龙铀矿田地质图及实测剖面位置



1 安山岩；2 凝灰质砂岩；3 安山角砾岩、集块岩；4 似斑状钾质混合花岗岩；5 产状；6 采样位置及样号

Figure 2. Geology survey section line of the Lanqi volcanic rocks in Qinglong Orefield

图 2. 青龙矿田兰旗组火山岩剖面

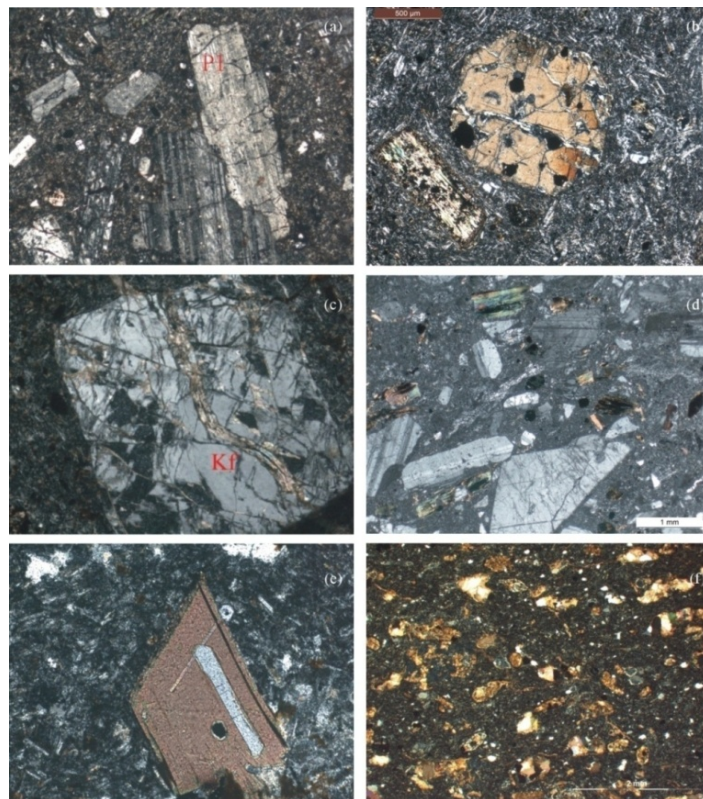
角砾岩，为典型近火山口爆发相(图 3(a))产物，集块大小十几厘米至几十厘米，出露厚度不均匀，几十米至几米，范围不大，有的地段缺失；下段上部 J<sub>2</sub>l<sup>1-2</sup>为灰紫色碎斑安山岩、安山岩，斑状结构，斑晶以斜长石为主，少量钾长石、辉石和角闪石，多具强烈碎裂特征(图 4(a)，图 4(b)，图 4(c))，斑晶含量 20%~35%，基质为玻晶交织结构，副矿物为磷灰石、磁铁矿，代表火山爆发后平静的溢流相(图 3(b))，厚度较厚可达 1500 m；中段(J<sub>2</sub>l<sup>2</sup>)为紫红色凝灰质砂岩、砾岩，紫红色泥质砂质胶结，厚十几米，代表火山喷发间歇期河流相(图 3(c))；上段(J<sub>2</sub>l<sup>3</sup>)紫红色气孔状安山岩(图 4(f))夹薄层黑云母晶屑凝灰岩(图 4(d))，气孔构造或杏



a:  $J_2^{1-1}$  安山质集块岩; b:  $J_2^{1-2}$  碎斑安山岩; c:  $J_2^2$  凝灰质砂岩; d:  $J_2^3$  气孔状安山岩

Figure 3. Landscape geology pictures of Lanqi formation volcanic rocks

图 3. 兰旗组火山岩野外露头特征



(a) 碎斑安山岩斜长石斑晶碎裂; (b) 碎斑安山岩辉石斑晶碎裂; (c) 碎斑安山岩少量钾长石斑晶碎裂; (d) 安山质晶屑凝灰岩; (e) 气孔安山岩见黑云母斑晶包含磷灰石; (f) 气孔安山岩杏仁体

Figure 4. Microscope pictures of Lanqi formation volcanic rocks

图 4. 兰旗组火山岩镜下显微特征

仁构造, 杏仁体充填石英或方解石集合体, 斑晶出现黑云母, 副矿物为磷灰石(图 4(e))、磁铁矿, 代表较为平静的火山溢流 - 沉积相(图 3(d))。

巨厚的火山熔岩厚度显示兰旗期火山活动强烈, 持续时间长, 火山物质来源充足, 代表了构造-岩浆活跃的构造背景阶段; 岩性有规律重复变化反映火山活动呈韵律式特征。

#### 4. 地球化学特征

样品采集于沿 A-B 剖面自下至上的火山熔岩, 可分为三类: 第一组  $J_2^{1-2}$  碎斑安山岩, 第二组  $J_2^{1-2}$  安山岩, 第三组  $J_2^3$  气孔状安山岩, 采样位置见图 2。

主量元素实验分析结果见表 1。兰旗组火山岩  $SiO_2$  含量 56.51%~62.1%, 按酸度属安山岩范围;  $MgO$  含量 0.44%~3.31%,  $Mg\#6\sim46$ , 多 15~31, 故为明显低镁端元系列, 指示派生岩浆成因;  $K_2O$  1.72%~4.81%, 偏高指示亲壳程度较高, 且晚期有增强趋势;  $(K_2O + Na_2O)$  含量 7.02%~9.28%, 较高; 里特曼指数  $\delta$  三个小于 3.3, 多数大 3.3 指示钙碱性 - 碱性过渡范围的碱度;  $Al_2O_3$  含量偏高几乎全部大于 15%,  $A/CNK$  0.83~1.05, 属于铝不饱和系列的准铝质;  $TiO_2$  含量 0.58%~1.08%,  $P_2O_5$  含量 0.232%~0.459%。

$SiO_2$ - $Zr/TiO_2$  图解确定火山岩地球化学命名, 结果显示兰旗组以安山岩为主(图 5), 晚期向粗安岩演化。在  $SiO_2$ - $K_2O$  图解(图 6)中, 主要落入高钾钙碱性系列区, 表明兰旗组火山岩总体富钾。主要元素氧

**Table 1.** Major elements chemical compositions of the Late Jurassic volcanic rock of Lanqi Formation, Qinglong ore-field in Hebei province

**表 1.** 河北青龙矿田兰旗组火山岩主量元素分析结果

	P1-1	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-7	P1-8	P1-9	P1-10	P1-11	P1-12	P1-13	P1-14	P1-15
	碎斑安山岩					安山岩					气孔状粗安岩				
$SiO_2$	58.69	59.53	59.05	61.12	57.11	57.28	60.2	57.57	57.46	57.1	63.21	60.75	60.2	62.82	56.51
$Al_2O_3$	15.49	15.58	15.64	16.33	17.76	16.97	17.09	16.7	18.16	16.46	17.18	14.47	15.97	18.1	17.28
$Fe_2O_3$	5.76	5.93	6.3	6.69	7.33	7.36	5.82	7.61	7.57	5.74	5.51	5.99	6.3	3.1	3.32
$MgO$	2.11	1.84	2.92	2.14	2.47	3.31	2.41	2.82	1.65	2.22	0.365	1.69	2.29	0.44	2.93
$CaO$	4.27	4.18	4.05	3.42	4.16	3.54	2.4	4.33	4.83	5.68	2.9	3.66	4.96	2.54	4.07
$Na_2O$	3.8	4.26	3.73	4.46	5.69	4.84	5.72	4.47	4.04	3.38	5.47	3.37	4.04	4.99	4.86
$K_2O$	3.79	3.28	2.85	3.36	2.27	2.2	3.15	2.55	1.72	3.21	3.52	4.81	2.54	4.29	3.15
$MnO$	0.043	0.097	0.062	0.092	0.055	0.073	0.069	0.083	0.1	0.283	0.058	0.057	0.087	0.04	0.1
$TiO_2$	0.725	0.749	0.767	0.757	1.08	1.05	0.891	0.906	0.662	0.635	0.642	0.636	0.757	0.58	0.72
$P_2O_5$	0.258	0.274	0.284	0.273	0.431	0.458	0.379	0.384	0.459	0.455	0.429	0.232	0.268	0.34	0.29
$FeO$	4.98	4.18	4.23	1.33	1.6	2.86	1.83	2.52	3.25	4.74	0.67	4.25	2.48	1.32	2.73
LOS	2.42	1.93	1.65	1.4	1.35	1.78	1.25	1.02	2.3	1.48	0.95	0.88	2.65	1.111	3.7038
$K_2O/Na_2O$	1	0.77	0.76	0.75	0.4	0.45	0.55	0.57	0.43	0.95	0.64	1.43	0.63	0.86	0.65
A/CNK	0.85	0.86	0.94	0.95	0.92	1.01	0.99	0.93	1.05	0.85	0.95	0.83	0.87	0.85	0.87
Mg#	19	17	27	26	27	31	31	27	15	20	6	16	25	10	46
$Na_2O + K_2O$	7.59	7.54	6.58	7.82	7.96	7.04	8.87	7.02	5.76	6.59	8.99	8.18	6.58	9.28	8.01
$\delta$	3.67	3.44	2.70	3.37	4.49	3.47	4.57	3.38	2.29	3.08	4.00	3.77	2.52	4.35	4.75

注:  $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$  摩尔数;  $Mg\# = 100Mg / (Mg + Fe)$ ;  $\delta = (Na_2O + K_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$ 。  
分析采用 X 荧光分析, 分析单位: 核工业北京地质研究院分析测试研究中心。

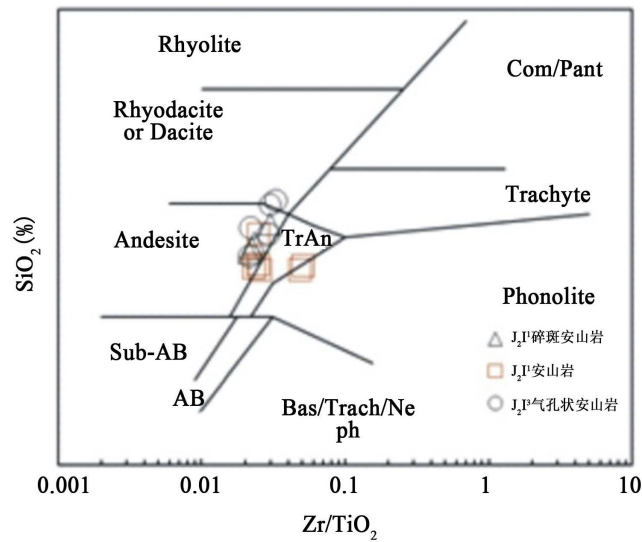


Figure 5. Microscope pictures of Lanqi formation volcanic rocks  
图 5. 兰旗组火山岩镜下显微特征

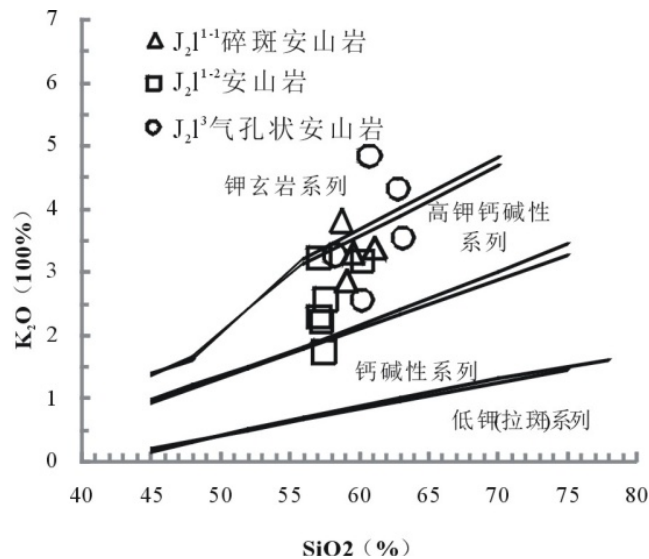


Figure 6. SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram of Lanqi formation volcanic rocks  
图 6. 青龙矿田兰旗组火山岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 系列判别图

化物对 SiO<sub>2</sub> 哈克图解(图 7)显示出良好的线性相关关系, 指示样品代表的各阶段火山岩浆良好的亲缘关系。

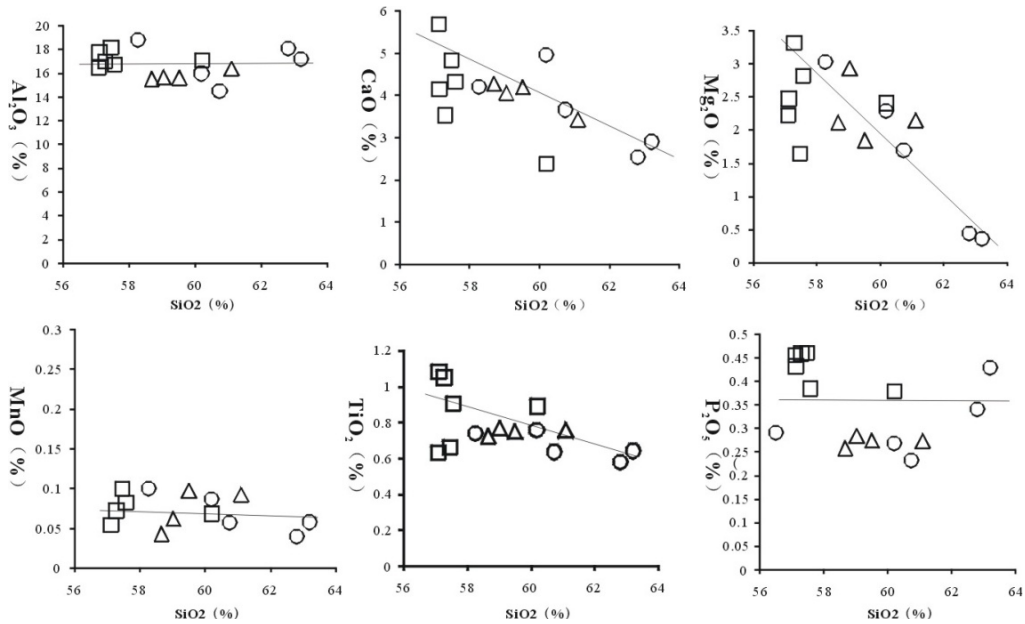
微量及稀土元素实验分析结果见表 2。大离子亲石元素 Sr ( $607\sim 1781 \times 10^{-6}$ )、Ba ( $919\sim 1886 \times 10^{-6}$ )、Pb ( $10.9\sim 46.7 \times 10^{-6}$ )、K<sub>2</sub>O (1.72%~4.81%)、Rb ( $26.5\sim 94.1 \times 10^{-6}$ )等含量较高(表 2), 且向晚阶段有增多的趋势, 强不相容元素 K、Rb、U、Th 有先减少后增多趋势, 微量蛛网图(图 8)也显示 Ba、K 等富集; Nb、Ta、Zr、Hf 等 HFS 亏损, 以上指示该组火山岩总体为大陆下地壳特征; 相容元素 Cr ( $107\sim 1.86 \times 10^{-6}$ )、Co ( $25.7\sim 4.91 \times 10^{-6}$ )、Ni ( $37.8\sim 2.29 \times 10^{-6}$ )含量偏低, 暗示地幔原生岩浆贡献较弱, 而早阶段→晚阶段有强→弱→强趋势, 可能预示地幔物质混染程度存在相似规律; Sr 和 Ba 的富集也说明岩浆演化未经历明显的结晶分异; Sr 高而 Y 低, 较高的 Sr/Y 比值(表 2)暗示石榴石相的残余。

**Table 2.** Trace & REE elements chemical compositions ( $\times 10^{-6}$ ) of the Late Jurassic volcanic rock of Lanqi Formation, Qinglong ore-field in Hebei province  
**表 2.** 河北青龙矿田兰旗组火山岩微量及稀土元素分析结果( $\times 10^{-6}$ )

	P1-1	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P1-7	P1-8	P1-8	P1-10	P1-11	P1-12	P1-13	P1-14	P1-15
	碎斑安山岩				安山岩				气孔状粗安岩						
V	114	114	123	118	167	144	107	137	81.9	80	54.8	98.8	115	102	154
Cr	97.5	98.9	107	51.6	73.2	67.3	59.9	65	1.86	1.99	5.77	78.9	48.9	6.95	76.5
Co	17.4	19.4	21.3	17.4	21.8	25.7	15.4	20	15.7	12	4.91	15.3	15.9	7.07	21.1
Ni	32.5	36.8	37.8	19.9	28.4	27.8	24.6	25.5	2.57	2.29	3.43	31.6	17	2.99	18.9
Rb	83.2	69.6	61.7	74	37.7	26.5	53.8	44	11.1	43.8	57.1	90.7	39.3	94.1	67.1
Sr	614	661	607	705	1347	886	873	1031	1131	709	768	504	1781	1012	695
Y	9.6	11.6	12.7	16.8	13.4	16	10.8	12.9	21.3	18.3	9.48	9.21	15.4	27.2	21.7
Nb	7.58	7.81	7.98	9.55	7.56	10.4	8.36	7.99	9.36	8.94	8.98	8	9.43	20.4	12.2
Ba	919	1140	1054	1229	1424	1023	1501	1414	1875	1886	1566	1514	1738	1604	931
La	30.4	32.2	32.4	42.4	37.7	53.3	38.1	39.3	53.6	46.2	43.2	32.9	42.8	44.7	33.4
Ce	57.1	70.6	58.5	83	72.9	70.7	69.6	66.1	74.5	92.9	64.2	53.7	83.9	79.7	61.6
Pr	7.18	7.66	7.58	9.28	9.42	11.2	8.72	9.15	11	9.89	9.19	7.3	9.13	9.9	7.74
Nd	26.9	28.6	28.5	34.5	37.2	42	32.4	34.9	41.1	36.9	33.6	27	34.2	38	30.1
Sm	4.77	5.11	5.05	6.25	6.81	7.28	5.73	6.24	7.12	6.35	5.54	4.74	6.14	6.31	5.18
Eu	1.28	1.22	1.41	1.5	1.88	1.92	1.47	1.8	2.13	1.85	1.46	1.09	1.52	1.68	1.42
Gd	3.6	3.89	3.87	5.14	4.86	5.5	4.5	4.77	5.86	5.28	4.17	3.55	4.96	5.35	4.48
Tb	0.485	0.55	0.544	0.723	0.692	0.76	0.596	0.663	0.843	0.746	0.546	0.5	0.697	0.82	0.67
Dy	2.13	2.4	2.39	3.13	2.88	3.25	2.43	2.79	3.77	3.35	2.08	2.08	2.95	5.04	4.12
Ho	0.379	0.446	0.449	0.607	0.518	0.598	0.434	0.512	0.732	0.659	0.36	0.378	0.558	0.97	0.77
Er	1	1.15	1.15	1.62	1.32	1.54	1.15	1.3	1.98	1.81	0.928	0.964	1.52	2.63	2.19
Tm	0.163	0.185	0.191	0.248	0.204	0.239	0.167	0.196	0.327	0.287	0.13	0.153	0.234	0.44	0.35
Yb	0.981	1.08	1.12	1.59	1.21	1.36	1.01	1.17	1.92	1.81	0.781	0.948	1.45	2.76	2.28
Lu	0.141	0.164	0.167	0.23	0.173	0.197	0.145	0.168	0.297	0.284	0.112	0.134	0.219	0.44	0.37
Ta	0.542	0.537	0.531	0.657	0.4	0.539	0.47	0.424	0.482	0.457	0.551	0.563	0.606	30	1.13
Pb	46.7	34.2	18.1	14.8	15.7	26.8	15.2	19.3	14.8	12.9	29	23.3	16.7	16.6	10.9
Th	4.47	4.48	4.43	5.55	1.56	2.36	2	1.86	2.37	2.18	3.1	5.05	5.84	5.72	6.69
U	1.17	5.32	1.04	1.21	0.53	0.533	0.548	0.573	0.653	0.609	0.78	1.76	1.29	1.71	1.93
Zr	156	175	173	227	279	244	220	226	341	311	212	141	224	172	155.9
Hf	4.58	4.77	4.79	5.95	6.34	7.44	6.53	6.31	6.6	6.15	6.83	4.48	5.69	11.3	11.5
Rb/Sr	0.1355	0.1053	0.1016	0.105	0.028	0.0299	0.0616	0.0427	0.0098	0.0618	0.0743	0.18	0.0221	0.093	0.0965
Sr/Y	63.96	56.98	47.79	41.96	100.52	55.36	80.83	79.92	53.10	38.7	81.01	54.72	115.64	37.21	32.03
La/Yb	30.99	29.81	28.93	26.67	31.16	39.19	37.72	33.59	27.92	25.52	55.31	34.70	29.520	16.20	14.65
La/Nb	4.01	4.12	4.06	4.44	4.99	5.13	4.56	4.92	5.73	5.17	4.81	4.11	4.54	2.19	2.74

注：分析采用 ICPMS 方法，分析单位：核工业北京地质研究院分析测试研究中心。

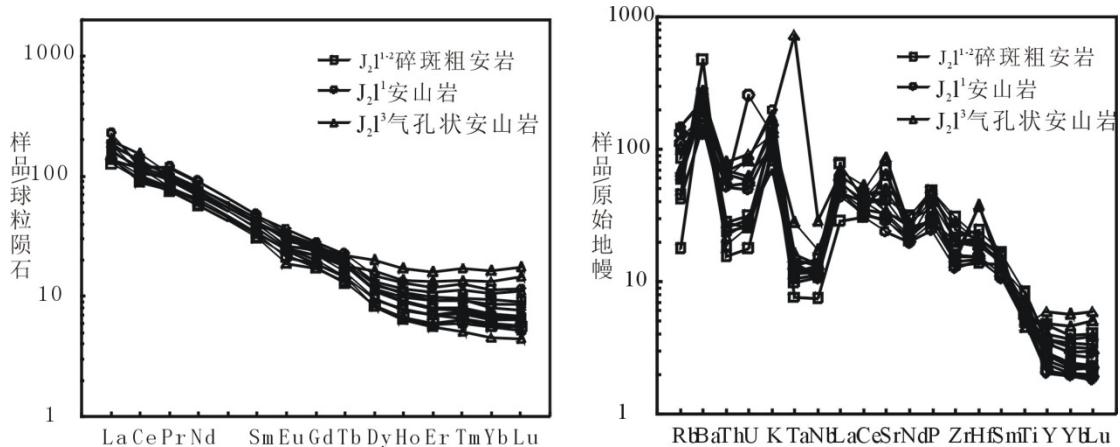
稀土元素总量较高( $135\sim 208$ ) $\times 10^{-6}$ ，离散性不强，指示相对集中(较快、较短)岩浆演化过程，岩浆演化来不及大规模结晶分异。稀土配分曲线(图 8 右)呈现轻稀土富集的强烈右倾型无 Eu 异常的平滑曲线，



图解呈现良好的线性相关，证明了各阶段的岩浆亲缘性；△：J<sub>2</sub><sup>1-1</sup> 碎斑安山岩；□：J<sub>2</sub><sup>1-1</sup> 安山岩；○：气孔状安山岩

Figure 7. SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram of Lanqi formation volcanic rocks

图 7. 青龙矿田兰旗组火山岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 系列判别图



图解呈现良好的线性相关，证明了各阶段的岩浆亲缘性；△：J<sub>2</sub><sup>1-1</sup> 碎斑安山岩；□：J<sub>2</sub><sup>1-1</sup> 安山岩；○：气孔状安山岩

Figure 8. Ree patterns & spider diagram for Lanqi volcanic rocks

图 8. 兰旗组火山岩稀土元素球粒陨石标准化分配曲线及微量元素蛛网图

LREE/HREE 一般 13~15, La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 一般 20~30; 配分型式显示大陆裂谷型玄武岩特征, 重稀土亏损也暗示源区强烈的石榴石残余相, δEu 接近 1 (0.78~0.95), 显示未经强烈结晶分异作用。

### 5. 兰旗组火山岩岩浆演化及成因讨论

兰旗组火山岩下段矿物见辉石、角闪石, 上段则出现较多黑云母, 化学分析 SiO<sub>2</sub> 含量升高, 指示岩浆向高酸度方向演化。火山岩套缺失玄武质、英安质和粗面质等过渡性成分的岩浆, 及地球化学特征表明岩浆结晶分异并非主导演化作用。相容元素 Cr、Co、Ni 及 MgO 含量, 出现高-低-高变化趋势, 说明壳幔混杂作用的相对也存在强-弱-强过程。高场强元素 Nb、Ta 亏损、稀土配分型式模型显示岩浆



来源以下地壳为主。轻重稀土分馏强烈、重稀土亏损及较高的 Sr/Y 可能暗示源区石榴石相残余,则反映地壳加压增厚的背景。区域上上覆土城子组其形成古环境为类似于今天青藏高原的干旱陆相山间盆地[1]、同时期发育大量的近东西向逆冲推覆断层[4],证实了地壳加厚的背景;兰旗组之后 A 型花岗岩侵入[5]和高钾钙碱性中基性火山岩喷发[6]以及断陷盆地形成证实了区域岩石圈伸展引伸。地球化学显示兰旗组晚阶段壳幔混染作用增强趋势,则预示兰旗晚期陆壳处于由增厚开始转换为减薄的变化阶段特征。

## 6. 结论

(1) 青龙矿田中侏罗统兰旗组为一套巨厚的中性火山熔岩夹火山碎屑岩建造,可划分为火山爆发相、溢流相、火山沉积相三种。火山喷发-间歇-溢流岩相变化则说明火山呈韵律式有规律的活动。

(2) 兰旗组火山岩石化学主要呈低镁端元准铝质高钾钙碱性系列,各阶段岩浆具有良好亲缘性,岩浆富集大离子亲石元素、亏损高场强元素,稀土配分呈平滑右倾的大陆裂谷模式。

(3) 地球化学特征显示早阶段向晚阶段向酸度升高方向演化,岩浆来源可能主要来自下地壳并混入幔源物质,早阶段至晚阶段经历强-弱-强变化;岩浆形成之后演化未经历大规模结晶分异作用,成因可能为部分熔融。

(4) 成岩背景主要为板内地壳收缩增厚加压,晚阶段有克拉通减薄趋势。

## 基金项目

本文为国土资源大调查项目(编号 1212011220784)的成果。

## 参考文献 (References)

- [1] 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等 (2004) 燕山运动与东亚构造体制的转换. *地学前缘*, **3**, 319-328.
- [2] 李伍平, 路凤香, 李献华, 等 (2001) 北京西山髻髻山组火山岩的火山岩地球化学特征与岩浆起源. *岩石矿物学杂志*, **2**, 123-133.
- [3] Gao, S., Rudnick, R.L., Yuan, H.L., et al. (2004) Recycling lower conditional crust in North China craton. *Nature*, **432**, 892-897.
- [4] Davis, G.A. (2003) The Yanshan belt of North China, Tectonics, adakitic, magmatism, and crustal evolution. *Earth Science Frontiers*, **10**, 373-384.
- [5] 杨富全, 吴海, 刘晓文, 等 (2003) 冀北甲山正长岩——燕山陆内造山带岩石圈减薄的早期记录. *地质论评*, **5**, 474-485.
- [6] 李伍平, 李献华, 路凤香, 等 (2002) 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景. *岩石学报*, **2**, 193-204.