

doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2014.03.009

内蒙古翁牛特旗地区早二叠世火山岩 地球化学特征及其构造意义

曹代勇¹, 赵发³, 刘登^{1,2}, 刘新华², 杨荣丰²

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;

2. 湖南科技大学土木工程学院, 湖南湘潭 411201; 3. 云南永昌铅锌股份有限公司, 云南保山 650217)

摘要: 研究区早二叠世火山-沉积岩系主要由火山角砾岩、凝灰质砂岩、凝灰岩、硅质岩、流纹岩、安山岩、珍珠岩等组成。其沉积建造和岩性组合表明: 早二叠世, 研究区位于岛弧和俯冲带之间的弧前盆地环境。二叠系下统额里图组火山岩的 $\text{SiO}_2 = 50.23\% \sim 73.56\%$, $\text{Mg}^\# = 6.21 \sim 49.54$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5.27\% \sim 10.73\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.36 \sim 4.17$, 其中安山岩 $\text{Mg}^\# = 49.54 \sim 62.61$, 归属为高钾钙碱性-钾玄岩系列。微量元素 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 介于 $5.52 \sim 9.89$ 之间, $\delta\text{Eu} = 0.09 \sim 0.90$, 具有中等-强烈负铕异常, 相对富集大离子亲石元素包括 Rb, K, La, Th 等, 而等高场强元素 P, Ta, Nb, Ti 则表现亏损, 指示岩浆形成于与俯冲带有关的岛弧或活动大陆边缘的构造环境。R1-R2 因子投影判别图解亦表明其形成于同碰撞阶段, 反映古亚洲洋板块向北陆块俯冲持续过程持续的地球动力学环境。综上所述, 可认为早二叠世期间, 该地区仍处于古亚洲洋海域, 而不是陆内裂陷槽。

关键词: 翁牛特旗; 火山岩; 早二叠世; 额里图组; 地球化学; 构造背景

中图分类号: P595

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2014)03-0037-07

Geochemical characteristics and tectonic implications of the early Permian volcanic rocks from Ongniud Banner, Inner Mongolia

CAO Daiyong¹, ZHAO Fa³, LIU Deng^{1,2}, LIU Xinhua², YANG Rongfeng²

(1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. Yunnan Yongchang Lead & Zinc Co. Ltd, Baoshan, 650217, China)

Abstract: The Early Permian volcano-sedimentary sequences of Ongniud Banner consist mainly of andesite, rhyolite, perlite, volcanic breccia, tuff, tuffaceous sandstone, siliceous rock. Rock assemblage and sedimentary formations indicate that are of fore-arc basin sedimentary feature between subduction zone and island arc in Early Permian. The volcanic rocks from Elitu Formation have $\text{SiO}_2 = 50.23\% \sim 73.56\%$, $\text{Mg}^\# = 6.21 \sim 49.54$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5.27\% \sim 10.73\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.36 \sim 4.17$, belonging to high-K cal-alkaline (HK CA) ~ shoshonite (SHO) series. The volcanic rocks are characterized with $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.52 \sim 9.89$, mid-intensive negative Eu abnormality, LILE enrichment such as Rb, K, La, Th and HFSE depletion such as P, Ti, Ta, Nb, and indicating that magma was formed in the tectonic setting of the island arc and active continental margin related to the plate subduction. R1-R2 diagram also indicates that volcanic rocks are generated at syn-collision or post-orogenic period, perhaps representing the mid-later subduction stage of the Palaeo-Asian Ocean Plate and North China Plate. Taken together, it suggests that the region located still in the Palaeo-Asian Ocean, rather than the intracontinental taphrogenic trough in Early Permian.

Key words: Ongniud Banner; volcanic rocks; early Permian; Elitu formation; geochemistry; tectonic setting

收稿日期: 2014-03-03

基金项目: 内蒙古自治区区域地质调查专项(NMKD2008-16)

通信作者: 曹代勇(1955-), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 主要从事煤田地质和构造地质研究. E-mail: cdy@cumt.edu.cn

研究区在大地构造位置处于华北陆块与西北利亚陆块对接带之区域,归属为古亚洲洋构造域(图1).早古生代时期为太平洋型活动的大陆边缘,经历华力西期旋回,尤其是晚石炭世至早二叠世早期演化,又处于活化地槽环境^[1].二叠纪火山岩-沉积岩系广布于内蒙古中部及大兴安岭地区,西拉木伦河南、北两侧二叠系地层存在较大的差异,主要表现在岩石组合和动植物化石等方面.这表明在二叠纪时期,西拉木伦断裂两侧可能属于不同的构造单元^[2].内蒙古地质勘探局经过多年的地层清理工作,将二叠系地层的称谓作出如下之约定:对于早二叠世火山-沉积岩系,西拉木伦河以南的部分称为额里图

组,以北区域则称作大石寨组^[1-2].关于二叠纪时期古亚洲洋的演化问题以及华北陆块与西伯利亚陆块的拼接一直存在不同的认识.一些学者认为,古亚洲洋在闭合于中生代,在二叠纪时期主要表现为裂谷活动^[3],洪大卫等认为晚泥盆世末-早石炭世初,古亚洲洋的残余海盆最后封闭,西伯利亚板块同中朝板块发生碰撞,碰撞位置在索伦山-贺根山蛇绿岩带一线^[4-6].然而,不少学者则认为碰撞拼合的时限在290~250 Ma之间^[7-9].本文在额里图组火山-沉积岩系野外地质调查和岩相学研究基础上,旨在通过火山岩主微量元素特征分析,探讨火山岩的成岩物质来源及构造环境.

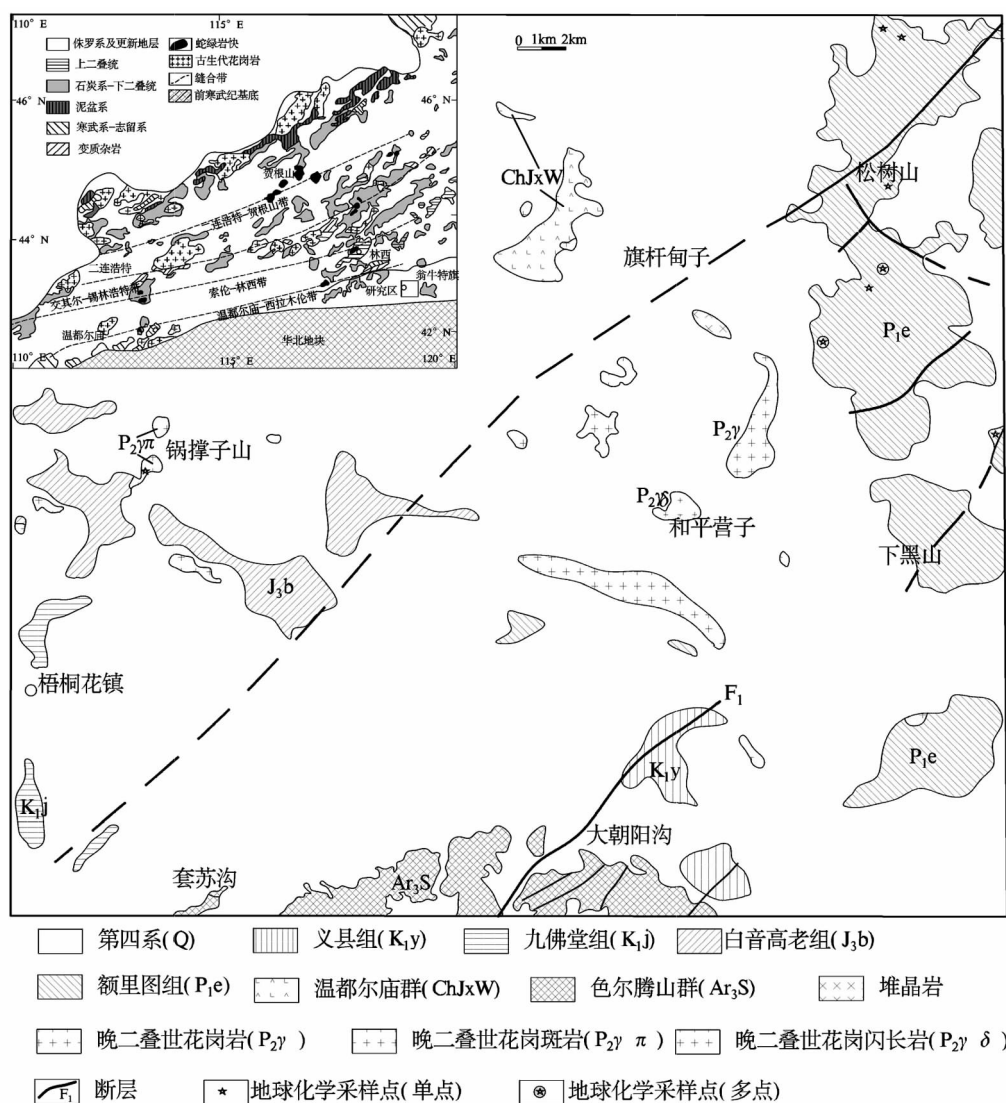


图1 大地构造示意图及研究区地质简图

1 典型剖面描述

二叠系下统额里图组火山-沉积岩系分布于翁牛特旗北部西拉木伦河以南,因风成砂覆盖,出露零星,主干剖面位于松树山,实测总厚度

2 185.14 m(图2),现将实测剖面描述如下:

21. 上部为灰褐色安山岩,下部浅灰色角闪安山岩,含少量岩屑 235.0 m

20-19. 上分层英安质岩屑晶屑凝灰岩,夹少量火山角砾,下分层为流纹质晶屑凝灰岩 143.0 m

- 18. 深灰色珍珠岩,部分岩石存在硅化,见少量石英细脉,火山角砾较常见 91.0 m
- 17. 上部为浅黄色晶屑凝灰岩,含大量火山角砾;下部为晶屑玻屑凝灰岩,角砾较少 325.0 m
- 16. 灰色安山岩,内含少量泥质成分,层理较为清楚,沿层理可见少量的黄铁矿化 178.1 m
- 15. 上部黑色晶屑凝灰岩,夹少量安山质岩屑,下部为深灰色辉石安山岩 212.3 m
- 14. 黄褐色-浅黄色火山角砾岩,火山角砾分选较差 84.0 m
- 13. 浅灰色粉砂岩,砂质成分以凝灰质居多,夹2~3层硅质岩,含大量疑似化石,未鉴定 116.0 m
- 12. 浅黄色英安质岩屑凝灰岩,含少量角砾,大多为安山岩岩屑 140.2 m
- 11-10. 上部灰色安山质火山角砾岩;下部为凝灰质粉砂岩,于粉砂岩中见 *Pecopteris tenuicostata*, *P. anderssonii*, *T. angustifolia*, *Calamites sp.* 等 72.9 m

- 9. 淡黄色英安质流纹岩,少量浅黄色岩屑晶屑凝灰岩及含角砾岩屑凝灰岩 58.7 m
- 8. 淡黄色安山岩,夹辉石安山岩,呈微弱蚀变,少量辉钼矿化 5.6 m
- 7. 灰色-灰褐色晶屑凝灰岩,夹少量辉石安山岩,微弱蚀变,石英细脉发育 34.9 m
- 6. 浅灰色状安山,气孔构造发育,蚀变弱,微弱黄铁矿化 6.9 m
- 5. 上部为灰色安山岩,夹少量英安质安山岩;下部为角闪安山岩 176.3 m
- 4. 上部褐色辉石安山岩,下部角闪安山岩 227.3 m
- 3. 浅黄色-灰色安山岩,杏仁构造发育,偶见气孔构造 141.5 m
- 2. 浅灰色角闪质含岩屑安山岩 19.0 m
- 1. 灰褐色安山岩,碳酸盐化强烈,岩石呈碎裂状,含辉钼矿化 8.2 m

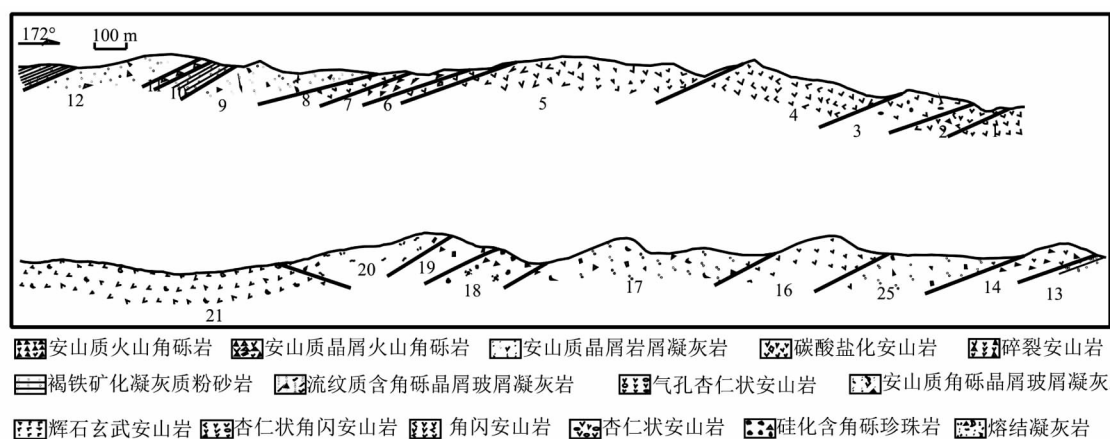


图2 松树山地区二叠系下统额里图组实测地质剖面

该套火山-沉积岩系较为复杂,主要由安山岩类、沉凝灰岩类、凝灰岩类、火山角砾岩类,泥岩类,硅质岩,珍珠岩等组成多个熔岩-沉积岩-火山碎屑岩的火山喷发-沉积旋回系列. 值得关注的是: 硅质岩在该岩石系列中广泛分布,有别于大石寨组火山岩系的组成,目前未见西拉木伦河以北的大石寨组火山岩存在硅质岩的报道. 硅质岩作为火山岩的夹层出现,该沉积系列反映典型被动大陆边缘沉积环境^[10-12],表明该时期洋壳正处于俯冲快速消减阶段^[13-14]. 因此,下二叠统额里图组火山-沉积岩系的沉积旋回特征反映浅海相的沉积成岩环境(图3),表明早二叠世是古亚洲洋壳向华北陆块快速俯冲的重要时期,古亚洲洋在该时期并未发生真正意义上的闭合.

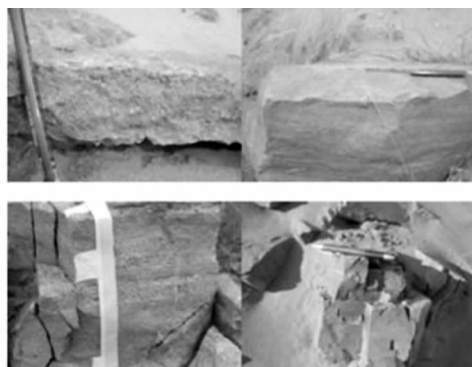


图3 松树山额里图组沉积层序照片

2 火山岩地球化学特征

本文采集火山岩样品 11 件,主微量元素分析在北京核工业地质分析测试研究中心分析,分析结果见表 1.

表1 翁牛特旗早二叠世火山岩主量元素(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)组成

样品编号	HN001	HN002	HN003	HN004	HN005	HN006	HN007	DPZ001	DLG001	XPZ001	009H
岩性	英安质晶 屑凝灰岩	流纹质熔 结凝灰岩	流纹质熔 结凝灰岩	流纹岩	英安质 凝灰岩	辉石安 山岩	安山岩	流纹岩	流纹岩	熔结凝 灰岩	流纹岩
SiO ₂	68.95	71.12	73.56	68.35	72.52	50.25	59.06	61.64	74.83	69.66	70.96
TiO ₂	0.32	0.31	0.28	0.53	0.46	1.47	1.54	1.04	0.28	0.42	0.58
Al ₂ O ₃	10.54	12.64	12.01	14.48	13.90	17.78	17.26	15.22	8.75	14.14	13.45
Fe ₂ O ₃	7.06	4.41	2.85	5.18	3.33	10.55	7.99	7.36	5.41	4.51	2.23
FeO	0.80	0.78	0.94	0.61	0.37	1.05	0.72	0.43	0.80	0.55	0.22
TFeO	7.15	4.74	3.50	5.27	3.36	10.53	7.90	7.05	5.66	4.60	2.22
MnO	0.65	0.31	0.11	0.12	0.08	0.26	0.16	0.24	0.05	0.20	0.10
MgO	0.91	0.51	0.08	0.18	0.22	4.95	1.24	1.86	0.07	0.73	0.31
CaO	1.06	0.30	0.15	0.25	0.23	4.86	1.62	2.78	0.20	1.37	0.51
Na ₂ O	3.53	3.46	4.52	3.73	5.18	4.25	3.98	3.41	2.24	2.80	6.24
K ₂ O	4.20	4.49	4.28	4.83	1.52	1.02	4.00	3.79	6.17	3.50	4.49
P ₂ O ₅	0.04	0.01	0.02	0.07	0.02	0.20	0.34	0.27	0.05	0.13	0.08
Total	98.06	98.34	98.80	98.33	97.84	96.64	97.91	98.04	98.85	98.01	99.16
Na ₂ O/K ₂ O	0.84	0.77	1.06	0.77	3.41	4.17	1.00	0.90	0.36	0.80	1.39
Na ₂ O + K ₂ O	7.73	7.95	8.80	8.56	6.70	5.27	7.98	7.20	8.41	6.30	10.73
Mg [#]	30.93	26.35	6.21	10.69	18.73	62.61	36.07	49.54	4.21	35.61	33.20
Rb	85.20	82.40	61.40	107.60	67.10	18.70	108.00	79.60	190.80	74.20	57.00
Sr	141.40	84.30	48.00	90.60	531.60	391.00	419.40	491.10	51.00	234.20	111.00
Ba	1249.00	1183.60	742.30	828.20	588.10	398.70	789.80	816.40	196.60	841.00	926.00
Th	14.50	13.10	12.70	16.20	11.20	9.10	9.20	5.50	10.60	9.20	5.32
U	2.83	3.33	3.28	4.38	5.25	0.90	3.25	2.50	5.95	3.35	2.33
Nb	11.90	13.30	20.60	23.30	13.10	8.70	12.10	13.70	18.20	9.60	23.20
Ta	3.20	3.70	5.20	6.90	4.10	2.20	3.70	4.20	6.60	2.80	
Zr	268.13	266.27	326.44	470.89	312.52	138.96	329.08	360.54	217.95	222.36	882.00
Co	3.10	4.90	3.90	2.50	2.50	27.20	13.70	5.80	2.60	3.90	3.88
Ni	9.00	6.30	4.80	7.00	6.00	18.80	11.80	8.70	2.30	5.70	3.42
Cr	20.50	16.30	7.20	11.10	8.40	28.50	28.00	19.10	7.20	16.40	12.70
V	24.70	27.00	10.00	11.00	20.60	84.20	91.40	49.20	7.50	31.40	25.90
Sc	9.80	7.90	3.50	6.70	3.80	25.40	12.90	20.20	4.60	11.50	7.16
La	34.70	28.60	33.50	41.24	28.07	30.30	39.00	17.65	71.64	37.04	31.00
Ce	58.93	62.21	68.49	83.63	48.24	56.40	77.04	32.67	123.83	76.99	66.00
Pr	6.15	6.14	8.59	10.83	7.07	7.28	10.14	3.88	14.42	9.43	8.58
Nd	20.95	21.24	33.27	41.52	26.39	28.47	40.94	15.83	53.52	36.96	31.80
Sm	3.15	4.01	8.19	10.28	5.52	6.79	10.51	3.26	12.06	9.04	6.42
Eu	0.56	0.11	1.66	2.11	0.75	0.96	1.92	0.98	3.39	2.39	1.75
Gd	2.96	3.93	8.78	11.33	4.08	4.36	10.67	3.39	13.48	9.57	5.83
Tb	0.44	0.53	0.82	0.96	0.48	0.54	0.89	0.53	1.00	0.83	1.06
Dy	1.20	2.86	6.91	9.17	2.84	3.10	7.55	2.82	9.22	7.02	6.54
Ho	0.46	0.82	1.59	2.01	0.74	0.90	2.70	0.79	2.03	1.60	1.36
Er	0.66	1.78	4.03	5.42	2.40	2.32	4.35	1.67	5.26	4.00	3.92
Tm	0.15	0.36	0.66	0.86	0.45	0.46	0.69	0.30	0.82	0.63	0.60
Yb	0.63	2.45	4.34	5.70	2.97	3.24	4.53	1.93	5.20	3.98	4.03
Lu	0.19	0.42	0.72	0.95	0.40	0.60	0.73	0.34	0.85	0.64	0.63
Y	36.20	38.00	37.30	44.60	33.50	22.30	36.50	44.80	34.40	30.10	28.90
ΣREE	131.12	135.47	181.54	226.02	130.40	145.71	211.66	86.03	316.72	200.15	169.52
LREE	124.43	122.31	153.69	189.61	116.03	130.19	179.55	74.27	278.87	171.87	145.55
HREE	6.69	13.16	27.85	36.41	14.36	15.52	32.11	11.76	37.86	28.28	23.97
LREE/HREE	18.61	9.30	5.52	5.21	8.08	8.39	5.59	6.31	7.37	6.08	6.07
(La/Yb) _N	39.78	8.36	5.54	5.19	6.79	6.70	6.18	6.57	9.89	6.68	5.52
δEu	0.56	0.09	0.60	0.60	0.49	0.54	0.55	0.90	0.81	0.79	0.87

2.1 主量元素特征

火山岩的 $SiO_2 = 50.25\% \sim 73.56\%$, $TiO_2 = 0.23\% \sim 1.54\%$, $Al_2O_3 = 10.54\% \sim 17.78\%$, 其 $Mg^\# = 6.21 \sim 49.54$, 其中安山岩 $Mg^\# = 49.54 \sim 62.61$, $(Na_2O + K_2O) = 5.27\% \sim 10.73\%$, Na_2O/K_2O 值介于 $0.36 \sim 4.17$ 之间. 据火山岩的全碱 - 二氧化硅 (TAS) (图4) 和二氧化硅 - 氧化钾 (图5) 变异图判别, 额里图组火山岩落入粗面安山岩 - 流纹岩区域, 属于高钾钙碱性 - 钾玄岩系列.

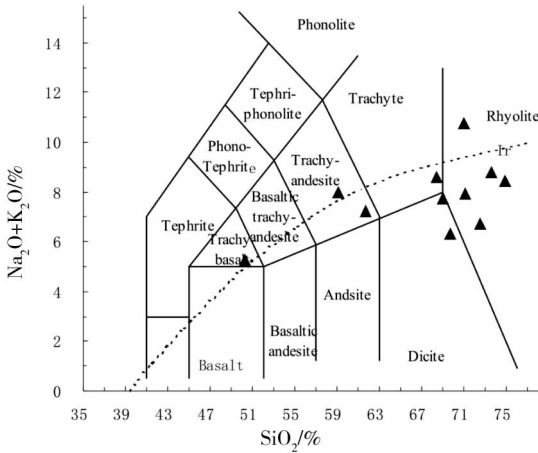


图4 早二叠世火山岩的 TAS 图 (据 Middlemost and Eric, 1994)

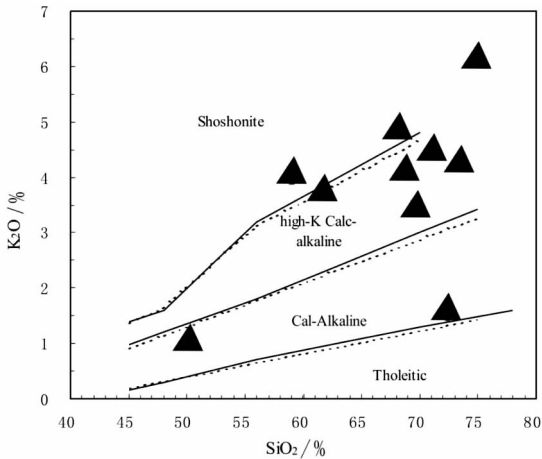


图5 早二叠世火山岩的硅钾图 (据 Peccerillo and Taylor, 1976)

2.2 微量元素特征

稀土元素总量 (ΣREE) 介于 $85.02 \times 10^{-6} \sim 317.62 \times 10^{-6}$ 之间, 平均为 201.32×10^{-6} , $(La/Yb)_N$ 比值 $= 5.52 \sim 9.89$. 样品稀土元素球粒陨石标准化图解 (图6) 显示: 配分曲线呈明显右倾型, 大致分为2段: 重稀土部分表现平坦型, 而轻稀土元素则较为陡倾, 这表明轻重稀土分异较为明显;

另外, 轻稀土曲线较陡亦说明轻稀土的分异较重稀土尤为强烈. 铕异常对于不同岩石类型表现亦存在较大的差异, 具体表现为流纹岩样品 Eu 负异常弱 ($\delta Eu = 0.86$), 而安山岩和英安质凝灰岩 Eu 负异常中等 ($\delta Eu = 0.55$), Eu 负异常强烈的岩石类型为流纹质熔结凝灰岩 ($\delta Eu = 0.09$).

在样品的原始地幔标准化蛛网图 (图7) 中, 相对富集包括 Ba, Rb, K, Th 等大离子亲石元素, 而亏损的高场强元素有 Ti, Nb, P, Sr 等.

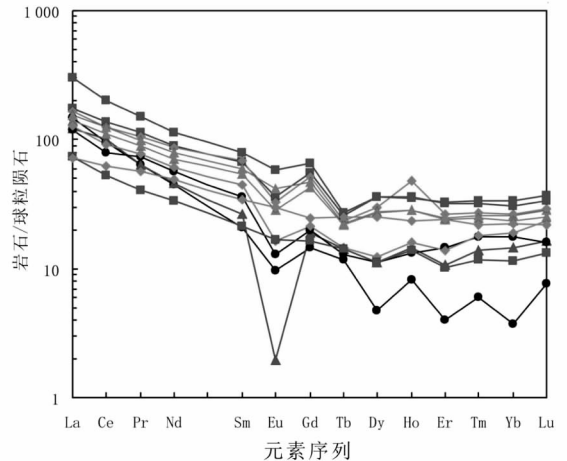


图6 早二叠世火山岩球粒陨石标准化稀土配分图 (标准化值据 Sun and McDough, 1989)

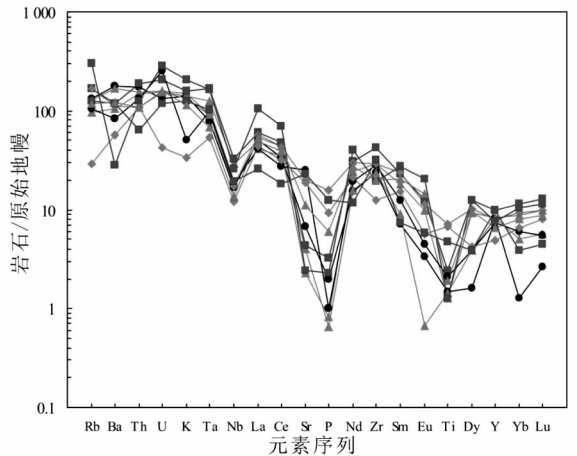


图7 早二叠世火山原始地幔标准化微量元素蛛网图 (标准化值据 Sun and McDough, 1989)

3 讨论

3.1 岩浆成因

额里图组火山岩具有较高的 SiO_2 含量 ($SiO_2 = 50.25\% \sim 73.56\%$), 比较而言, 相对富集 Ba, Rb, K, Th 等大离子亲石元素, 而如 Ti, Nb, P, Sr 等高场强元素则表现为严重亏损, P, Ti 亏损说明了

岩浆经历了钛铁矿和磷灰石等矿物的高程度结晶分异过程^[15], $Mg^{\#}$ 介于4.21~36.07的火山岩,表明了该岩浆来自于下地壳熔融^[16-17],但是安山岩中高 $Mg^{\#}$ 值(平均为56.71)的存在,同时亦说明了原始岩浆来源于亏损地幔楔部分熔融^[18-19].

3.2 构造环境

二叠系下统额里图组火山-沉积岩系较为复杂,主要由安山岩类、沉凝灰岩类、凝灰岩类、火山角砾岩类、泥岩类、硅质岩、珍珠岩等组成多个熔岩-沉积岩-火山碎屑岩的火山喷发-沉积旋回系列,其中火山岩属高钾钙碱性-钾玄岩系列,沉积系列了反映被动大陆边缘的环境;其中含有大量高镁值安山岩,说明岩浆其中的一部分成分来自于亏损地幔楔部分的熔融^[18-19],亦说明该地区在早二叠世处于板块消减带的地球动力学环境。

本文根据 De la Roche et al^[20] 提出的阳离子数的有效组合参数 $R1$ 和 $R2$ 计算方法,分别计算 $R1$ 和 $R2$ 参数. 尽管对这2个参数并没有明确的地质环境意义,但是因为计算该参数采用了多个岩石主量元素,同时经过很多火山岩形成环境的实例检验结果,具有一定的可信度. 本文投影参数 $R1$ 和 $R2$ 计算如下:

$$R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti) \quad (\text{其中, Fe 代表全铁}),$$

$$R2 = Al + 2Mg + 6Ca.$$

计算结果如表2. 以 $R1$ 为 X 轴, $R2$ 为 Y 轴, 构建 $R1-R2$ 因子判别图解以进行火山岩形成构造环境判别(图8). 其中7件样品落入同碰撞期,2件落入后造山的区域,初步反映了二叠纪早期古亚洲洋向华北地台俯冲的地球动力学过程.

表2 翁牛特旗早二叠世火山岩 $R1-R2$ 因子组成

样品编号	$R1$	$R2$
HN001	2 149	365
HN002	2 318	305
HN003	2 188	255
HN004	1 938	320
HN005	2 529	308
HN006	1 268	1 114
HN007	1 326	573
DPZ001	1 785	688
DLG001	2 580	197
XPZ001	2 687	460
009H	1 384	334

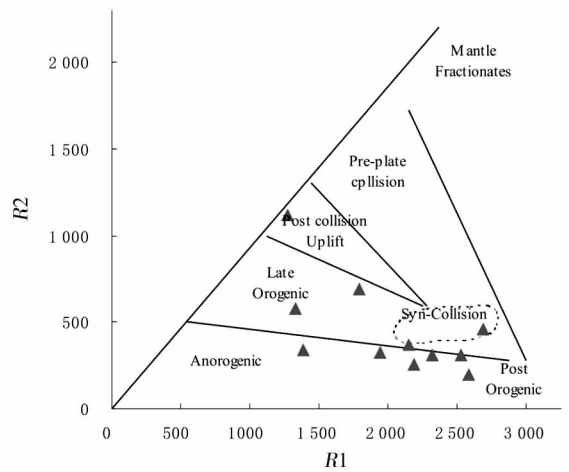


图8 早二叠世火山岩 $R1-R2$ 构造环境判别图

4 结论

在对二叠系下统额里图组火山-沉积岩系野外地质调查和岩相学研究基础上,结合火山岩岩石地球化学分析,初步得出以下结论:

1) 二叠系下统额里图组火山-沉积岩系较为复杂,主要由安山岩类、沉凝灰岩类、凝灰岩类、火山角砾岩类、泥岩类、硅质岩、珍珠岩等组成多个熔岩-沉积岩-火山碎屑岩的火山喷发-沉积旋回系列,反映典型被动大陆边缘沉积环境,是洋壳快速消减的必然结果.

2) 额里图组火山岩具有较高的 SiO_2 含量,相对富集 Ba, Rb, K, Th 等大离子亲石元素,而亏损 Ti, Nb, P, Sr 等高场强元素,安山岩 $Mg^{\#}$ 值介于49.54~62.61,亦说明了该地区处于板块消减带的构造环境,原始岩浆应来源于受俯冲板片脱水熔融交代的亏损地幔楔的部分熔融.

3) 二叠纪早期,该区处于古亚洲洋壳快速向华北地台俯冲造山的构造环境,仍处于古亚洲洋海域,而不是陆内裂陷槽.

参考文献:

- [1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [2] 邵济安,张履桥,牟宝磊,等. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景[M]. 北京:地质出版社, 2007.
- [3] 唐克东. 中朝陆台北侧褶皱带构造发展的几个问题[J]. 现代地质, 1989, 3(2):195-204.
- [4] 洪大卫,黄怀曾,肖宜君,等. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报, 1994, 68

- (3):219-229.
- [5] Tang K D. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the north margin of the Sino - Korean craton [J]. *Tectonics*, 1990(9):249-260.
- [6] 任纪舜. 中国东部及邻区大地构造演化新见解[J]. *中国区域地质*, 1989(4):289-300.
- [7] Chen B, Jahn B M, Wilde S, Xu B. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications [J]. *Tectonophysics*, 2000 (328):157-182.
- [8] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Tectonics*, 2003, 22 (6): 1609-1693.
- [9] Wu F Y, Zhao G C, Sun D Y, et al. The hulan group: its role in the evolution of the central asian orogenic belt of NE China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007 (30):542-556.
- [10] 蒋干清,高德臻,张维杰,等. 内蒙古苏尼特左旗下二叠统哲斯组沉积组合类型及沉积序列演化[J]. *现代地质*, 1995,9(2):149-161.
- [11] 蒋干清,张维杰,肖荣阁,等. 内蒙古苏尼特左旗二叠纪地层的划分与对比[J]. *现代地质*, 1995,9(2):162-169.
- [12] 鲍庆中,张长捷,吴之理,等. 内蒙古东南部西乌珠穆沁旗地区石炭纪-二叠纪岩石地层和层序地层[J]. *地质通报*, 2006,25(5):572-579.
- [13] 徐备,陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构及演化[J]. *中国科学(D辑)*, 1997,27(3):227-232.
- [14] 罗红玲,吴泰然,赵磊. 华北板块北缘乌梁斯太 A 型花岗岩体锆石 SHRIMP U - Pb 定年及构造意义[J]. *岩石学报*, 2009,25(3):515-526.
- [15] Thirlwall M F, Smith T E, Graham A M, et al. High field strength element anomalies in arc lavas: source or process [J]. *Journal of Petrology*, 1994, 35(3):819-838.
- [16] Chen B, Arakawa Y. Elemental and Nd - Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar fold belt (NW China), with implications for Phanerozoic continental growth [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, 69(5):1307-1320.
- [17] 李涤,何登发,樊春,等. 东准噶尔早二叠世后碰撞岩浆活动:温都卡拉流纹岩 SHRIMP U - Pb 年代学、地球化学和 Hf 同位素的制约[J]. *岩石学报*, 2013, 29(1):317-337.
- [18] 曹花花,许文良,裴福平,等. 华北板块北缘东段二叠纪的构造属性:来自火山岩锆石 U - Pb 年代学与地球化学的制约 [J]. *岩石学报*, 2012, 28(9):2733-2750.
- [19] 郭峰,范蔚茗,李超文,等. 早古生代亚洲洋俯冲作用:来自内蒙古大石寨玄武岩的年代学与地球化学证据 [J]. *中国科学(D辑)*, 2009,39(5):569-579.
- [20] Roche H, Leterrier J, Grande Claude P, et al. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 - R2 diagrams and major elements analyses - its relationship and current nomenclature [J]. *Chemical Geology*, 1980(29):183-210.