

内蒙古西部银根-额济纳旗盆地及邻区二叠纪火山岩的地球化学特征和构造环境

党 犇^{1,2}, 赵 虹^{1,2}, 林广春^{1,2}, 仵康林¹, 康晓燕¹, 葛海影¹, 吴 斌¹, 刘少红¹

DANG Ben^{1,2}, ZHAO Hong^{1,2}, LIN Guang-chun^{1,2}, WU Kang-lin¹,

KANG Xiao-yan¹, GE Hai-ying¹, WU Bin¹, LIU Shao-hong¹

1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054

1. College of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering,

Ministry of Education, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要: 银-额(银根-额济纳旗)盆地及其邻区二叠纪火山岩分布广泛, 目前对其成因和构造背景研究还很薄弱。对该区火山岩岩石学和元素地球化学特征进行研究, 为恢复二叠纪盆地性质与古构造环境提供了岩石地球化学约束。分析的二叠纪火山岩主要岩石类型为玄武岩、玄武安山岩和安山岩, 显示亚碱性系列的特征。 $Mg^\#$ 介于 0.53~0.86 之间, 高场强元素 Nb、Ta、Ti 明显亏损, 岩石轻度富集轻稀土元素(LREE), $(La/Yb)_N=1.68\sim6.10$, Eu 亏损不明显($\delta Eu=0.64\sim0.99$), 稀土元素配分曲线右倾较缓。总体上既显示了板内构造环境的特征, 又具有俯冲带地球化学的印记。综合沉积建造特征和邻区的研究结果, 认为银-额盆地二叠纪火山岩形成于板内裂谷环境, 且很可能与地幔柱事件有关, 岩浆在上升过程中受到地壳物质不同程度的混染。

关键词: 二叠纪; 火山岩; 地球化学; 构造环境; 额济纳旗地区

中图分类号: P534.46; P588.14; P595

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)06-0923-09

Dang B, Zhao H, Lin G C, Wu K L, Kang X Y, Ge H Y, Wu B, Liu S H. Geochemistry and tectonic setting of Permian volcanic rocks in Yingen-Ejin Banner basin and its neighboring areas, western Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 923-931

Abstract: Permian volcanic rocks are widespread in Yingen-Ejin Banner basin and its neighboring areas, and their genesis and tectonic setting remain a problem of much controversy. Based on a petrologic and geochemical analysis of Permian volcanic rocks in the study area, this paper attempts to clarify the palaeo-tectonic setting and provides independent evidence for understanding the nature of the basin. The volcanic rocks are dominated by basalts, basaltic-andesite and andesite, which fall into the sub-alkaline series. $Mg^\#$ content of this suite ranges from 0.53 to 0.86, exhibiting strong depletion of the high field strength elements Nb, Ta and Ti and slight enrichment of LREE. In terms of REE, $(La/Yb)_N$ content ranges from 1.68 to 6.10, showing insignificant Eu depletion ($\delta Eu=0.64\sim0.99$) and slightly right-oblique REE distribution patterns. These data show not only the characteristics of an intraplate setting on the whole but also the signature of a subduction zone. Combined with the sedimentary formation characteristics, the authors have reached the conclusion that the Permian magmatic activity of the study area was generated in an intraplate setting, with variable degrees of contamination of the crust during magmatic ascending, related probably to the mantle plume event.

Key words: Permian; volcanic rocks; geochemistry; tectonic setting; Ejina Banner area

收稿日期: 2011-03-23; 修订日期: 2011-05-03

资助项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》(编号: 1212010733506)和教育部中央高校基本科研业务费专项基金项目《川西北石棉-泸定-丹巴地区新元古代基性-超基性岩成因及构造环境研究》(编号: CHD2010JC038)

作者简介: 党犇(1966-), 男, 博士, 副教授, 从事矿产普查勘探教学与研究。E-mail: xadangben@163.com

研究区位于内蒙古西部的银根—额济纳旗盆地及其邻区,是中亚造山带南缘天山—兴安造山系的主要组成部分^[1-2],区域上二叠纪也是金属矿产的重要成矿时期。在公开发表的文献中,对于研究区内广泛出露的二叠纪火山岩进行系统论述和研讨的很罕见,对其形成的构造环境或认为属于大陆边缘裂谷^[3],或认为属于沟—弧—盆体系^[4-8];而位于研究区以西的天山及邻区二叠纪火山岩成因的研究程度颇高,对其构造环境目前主要有活动大陆边缘^[9-10]、板内裂谷环境^[11-13]等观点。笔者基于近几年详细的野外调研和取样,主要通过对研究区二叠纪火山岩岩石学与地球化学特征的分析,结合区内沉积建造特征的研究并与天山及邻区火山岩地球化学特征进行对比,探讨其形成的构造环境及岩石成因。这不仅有助于揭示银根—额济纳旗及其邻区二叠纪原型盆地的性质和区域构造的演化特征,对本区石

炭系—二叠系油气资源远景调查和相关矿产资源的潜力评价、勘查开发也有重要意义。

1 区域地质背景

银根—额济纳旗及其邻区位于西伯利亚板块与塔里木板块、华北板块之间的中亚造山带南缘^[1],具体位置处于古亚洲构造域与特提斯构造域交汇部位的天山—兴安造山系弧顶部位之北山—内蒙古造山带^[2],构造位置非常特殊(图1)。

银根—额济纳旗及其邻区二叠系为一套活动型的以浅海相为主的火山—沉积建造,晚期发育陆相火山沉积建造。岩石地层自下而上为阿木山组(C_2-P_1a)上部层位、埋汗哈达组(P_{1-2m})、阿其德组(P_2a)和哈尔苏海组(P_3h)或方山口组(P_3f)。沉积建造类型主要为浅海陆棚相、广海海岸相、碳酸盐台地相、辫状河三角洲相和扇三角洲相^[14-15]的碎屑岩和碳酸盐岩

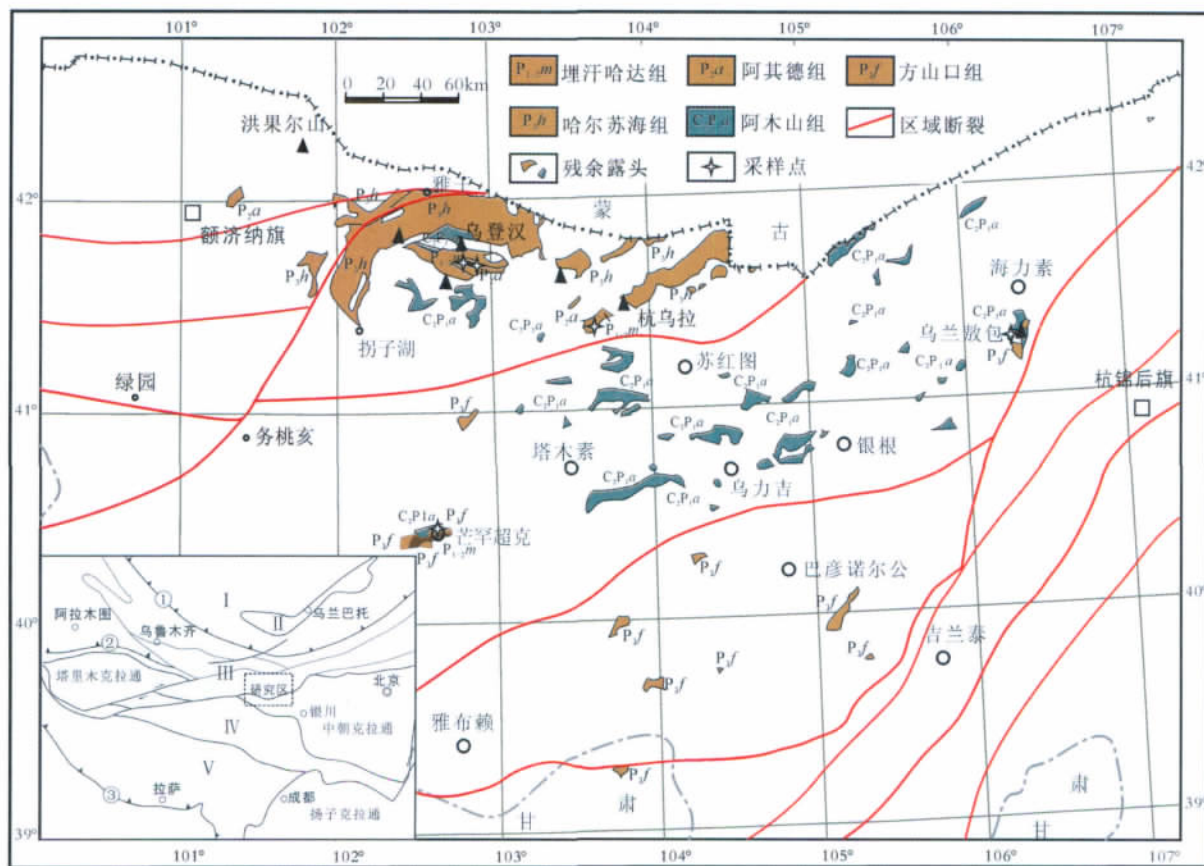


图1 银根—额济纳旗盆地及其邻区构造地质简图

Fig. 1 Tectonic and geological sketch map of the Yingen-Ejin Banner basin and its neighboring areas
I—萨彦—额尔古纳造山带; II—蒙古—鄂霍次克造山带; III—天山—兴安造山带; IV—昆仑—祁连—秦岭造山系;
V—滇藏造山带; ①—额尔齐斯—佐伦—黑河缝合带; ②—天山南缘缝合带; ③—雅鲁藏布缝合带

沉积,缺乏半深海—深海相沉积。总体上早—中二叠世具有退积型沉积充填序列特征,而晚二叠世具有进积型沉积充填序列特征。火山岩主要产于中二叠统阿其德组 and 上二叠统方山口组中,而上二叠统哈尔苏海组火山岩不发育,仅见于局部。剖面中火山岩与正常沉积地层呈不等厚互层产出,反映出火山喷发的多旋回性特点。火山岩建造以中性、中酸性、酸性火山岩发育为特征,基性火山岩相对不发育。从露头看,二叠纪火山岩分布范围广泛,但发育层位和平面分布上有差异。中二叠世主要属于海相火山喷发,在额成黑地区见有枕状构造和杏仁构造玄武岩;晚二叠世则以海陆交互相—陆相火山喷发为主,在研究区东南部雅布赖山东南侧西渠镇—阿贵庙—巴音诺尔公一带,发育陆相火山岩(P_3f),据前人的资料综合,多处(哈布达哈拉、克什廷敖包、水受)显示出火山喷发中心或火山喷发机构的特征。

2 样品描述与分析方法

火山岩样品采自研究区二叠纪火山岩露头区,基性火山岩样品主要分布在额成黑、埋汗哈达西南、杭乌拉西南、茫汗超克、乌兰敖包等地区,分析讨论的样品主要是玄武质火山岩类。火山岩的时代主要根据其沉积夹层或上下正常沉积地层中所产丰富的腕足、珊瑚、苔藓虫、菊石等二叠纪化石确定(据 1:20 万拐子湖幅、哈日奥日布格幅等)。主要火山岩类型的岩石学特征如下。

玄武岩:呈灰、灰绿色,斑状结构,基质为交织结构,杏仁构造、块状构造。斑晶由基性斜长石和辉石构成。斜长石斑晶约占 25%,晶体形态多呈半自形板状,晶体粒径大小不等,一般在 0.22~2mm 之间,有聚斑现象,双晶常见,并有轻度绢云母化。辉石斑晶约占 10%,晶体形态多为半自形柱状,粒径大小一般在 0.45~1.1mm 之间。基质由细小的斜长石、绿泥石和铁质组成,基性斜长石占 43%~45%,晶体多呈细小的板条状杂乱交错分布,呈交织结构。辉石较均匀地分布于斜长石集合体中,含量约占 12%。

玄武安山岩:呈暗棕色,斑状结构,基质为玻晶交织结构,杏仁状构造。岩石中斑晶由少量辉石和斜长石组成。辉石斑晶占 6%,晶体形态多呈柱状,晶体的粒径在 0.4~0.5mm 之间。斜长石斑晶占 2%,晶体

形态多为半自形板状晶体,晶体粒径一般在 0.2~0.38mm 之间。岩石中基质由玻璃质、斜长石晶体及铁质物组成,玻璃质占 40%,斜长石占 37%,铁质占 5%。岩石中有少量杏仁体,形状为椭圆形或不规则状,直径大小在 0.2~1mm 之间,充填物为方解石、石英晶体。

安山岩:呈灰绿色,交织结构,杏仁状构造。岩石矿物成分主要由中基性斜长石和少量的辉石组成。斜长石在岩石中均以细小的小板条状晶体彼此间呈平行状或杂乱状分布,形成交织状结构。岩石已经强烈次生蚀变,斜长石晶体大部被绿泥石和绿帘石代替,只保留了原生矿物的晶体假像。岩石中有一定数量的气孔,形态多呈圆形和椭圆形,少数呈拉长的扁透镜状,直径大小在 0.3~1mm 之间,气孔充填物多为石英和绿泥石小晶体。

选取代表性样品进行主量、稀土和微量元素测试,所有样品均由中国地质调查局西安地质矿产研究所实验测试中心完成。主量元素采用荧光光谱方法分析,测试仪器为荷兰帕纳科公司生产的 Axios 4.0kW 顺序式 X 射线荧光光谱仪,分析误差小于 5%;微量、稀土元素采用 ICP-MS 分析方法,测试仪器型号为美国热电公司生产的 Series 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),分析误差小于 8%。

3 岩石地球化学特征

22 个火山岩样品的主量、稀土和微量元素分析结果列于表 1。样品普遍具有不同程度的蚀变(烧失量 LOI>1.5%),由于 K、Na 和低场强元素(LFSE: Cs、Rb、Sr、Ba)在蚀变过程中可能发生了迁移,因此本文将主要依据高场强元素(HFSE: Ti、Zr、Y、Nb、Ta、Hf)、Th、稀土元素(REE)等不活泼元素对样品进行岩石学分类和构造环境、成因讨论。

3.1 主量元素地球化学

火山岩样品的 SiO_2 含量在 49.42%~62.51% 之间, Al_2O_3 含量为 13.65%~16.46%, MgO 含量为 2.25%~8.26%, 样品的部分碳酸盐化造成 CaO 含量有所升高。样品的 $Mg^\#$ 值介于 0.53~0.86 之间,反映了从堆晶到原始到分异演化岩浆的组分。 Na_2O+K_2O 含量部分较高,分布在 3.34%~7.89% 之间,且 $Na_2O>K_2O$ 。部分样品 LOI 较高,显示后期蚀变的影响。在 TAS 岩石分类图^[16]上,由于蚀变对 K_2O 、 Na_2O

表 1 研究区二叠纪火山岩主量元素、稀土元素和微量元素分析结果

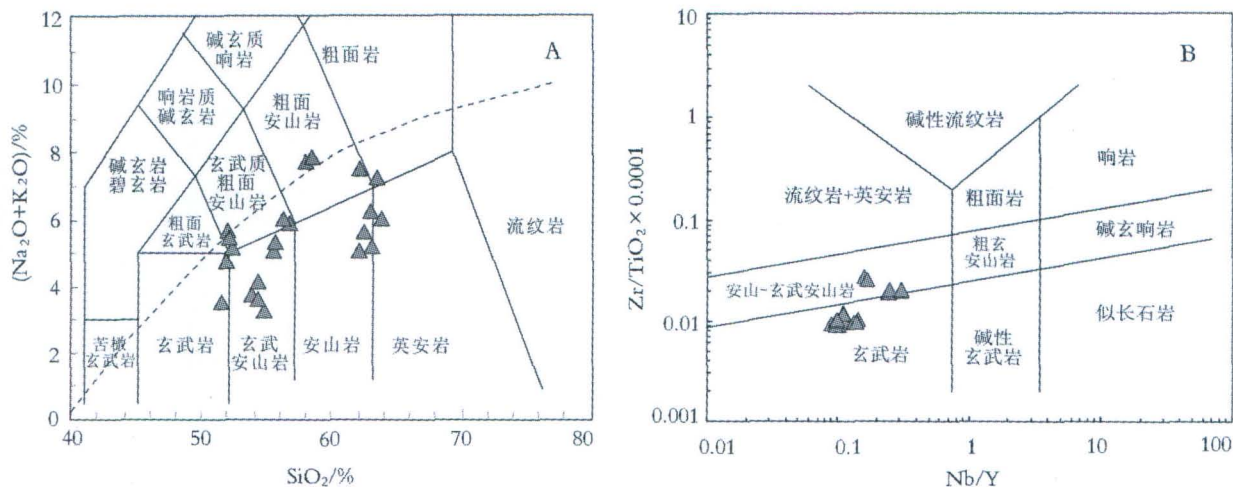
Table 1 Major elements, REE and trace elements analyses
of Permian volcanic rocks in the study area

样品号	08DH53	08DH54	08DH55	08DH47	08DH48	08DH49	09DH60	09DH61	09DH62	09DH63	09DH64
岩性	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武 安山岩	安山岩	玄武 安山岩	玄武 安山岩	玄武岩	玄武岩	玄武 安山岩	玄武 安山岩
主量元素											
SiO ₂	49.84	49.42	50.17	55.47	59.27	56.19	53.93	49.85	50.60	55.27	54.20
TiO ₂	2.16	2.29	2.16	0.93	0.89	1.01	2.00	2.07	2.14	2.42	2.48
Al ₂ O ₃	14.66	14.64	14.94	15.56	14.91	16.46	13.96	15.67	14.18	13.83	13.65
Fe ₂ O ₃	3.41	4.34	4.85	2.08	1.59	1.61	3.72	2.99	8.14	5.21	6.61
FeO	7.05	6.46	5.25	3.99	3.50	4.25	5.62	7.63	4.23	4.94	4.89
MnO	0.20	0.20	0.18	0.11	0.10	0.11	0.15	0.20	0.15	0.18	0.18
MgO	4.83	4.80	4.51	4.92	4.01	5.14	3.83	5.61	3.70	3.07	3.10
CaO	8.90	7.03	8.20	4.85	3.66	3.51	8.56	9.03	8.32	6.24	6.70
Na ₂ O	3.72	4.48	3.19	5.01	5.66	5.77	4.77	2.89	4.42	4.69	4.46
K ₂ O	0.87	0.93	1.79	2.42	1.55	1.82	0.19	0.56	0.93	1.10	0.76
P ₂ O ₅	0.28	0.33	0.43	0.26	0.25	0.27	0.26	0.24	0.29	0.44	0.34
LOI	3.15	4.43	3.43	3.43	3.64	3.29	3.01	3.25	2.85	2.59	2.57
H ₂ O ⁺	2.20	2.44	1.58	2.82	2.11	2.70	1.71	2.36	1.64	1.49	1.44
H ₂ O ⁻	0.13	0.19	0.19	0.30	0.28	0.24	0.11	0.27	0.16	0.12	0.12
Mg [#]	0.55	0.57	0.60	0.69	0.67	0.68	0.55	0.57	0.61	0.53	0.53
稀土元素											
La	12.6	14.6	17.2	24.5	21.4	24.8	9.52	8.85	10.9	15.2	12.8
Ce	30.7	36.5	43.2	48.4	42.1	49.7	25.9	24.2	28.2	40.5	34.2
Pr	4.66	5.37	6.38	5.94	5.12	6.10	4.04	3.61	4.26	5.97	5.11
Nd	24.5	27.7	32.7	25.9	22.8	27.0	19.2	17.8	20.4	27.7	23.7
Sm	6.53	7.34	8.47	5.38	4.94	5.59	5.66	5.24	6.14	8.27	7.08
Eu	2.15	2.25	2.66	1.63	1.23	1.49	1.70	1.74	1.84	2.20	2.05
Gd	7.39	8.45	9.74	5.36	4.84	5.60	6.44	6.05	6.97	8.99	7.97
Tb	1.28	1.43	1.64	0.88	0.82	0.90	1.04	0.99	1.11	1.47	1.31
Dy	7.82	8.87	10.02	5.12	4.74	5.46	7.38	7.00	7.87	10.20	9.28
Ho	1.59	1.72	1.98	1.01	0.93	1.07	1.66	1.49	1.72	2.17	1.99
Er	4.65	5.00	5.76	3.14	2.95	3.30	4.27	3.98	4.46	5.74	5.24
Tm	0.67	0.73	0.84	0.47	0.40	0.47	0.65	0.59	0.69	0.88	0.79
Yb	4.50	4.56	5.32	2.89	2.66	3.01	3.98	3.79	4.17	5.31	4.80
Lu	0.63	0.64	0.78	0.44	0.41	0.46	0.59	0.55	0.64	0.79	0.73
δEu	0.94	0.87	0.89	0.92	0.76	0.81	0.85	0.94	0.85	0.77	0.83
(La/Yb) _N	2.01	2.30	2.33	6.10	5.78	5.92	1.72	1.68	1.88	2.06	1.92
ΣREE	110	125	147	131	115	135	92.0	85.9	99.4	135	117
LREE/HREE	2.84	2.98	3.07	5.79	5.50	5.65	2.54	2.51	2.60	2.81	2.65
微量元素											
Ti	12949	13744	12932	5591	5311	6037	11988	12408	12827	14505	14865
V	325	265	244	139	127	148	265	274	294	205	304
Rb	20.8	20.5	45.7	42.0	29.6	24.1	4.6	11.3	28.4	25.9	25.0
Sr	307	218	236	177	195	226	182	290	253	198	210
Ba	157	157	215	393	324	255	55.8	176	149	226	225
Zr	196	232	263	194	184	220	183	181	212	285	251
Hf	5.23	6.12	7.05	5.11	4.66	5.62	4.41	4.30	5.03	6.86	5.98
Nb	4.12	4.93	5.63	7.22	6.77	7.97	3.61	3.70	4.29	6.14	4.92
Ta	0.56	0.50	0.55	0.56	0.50	0.62	0.29	0.28	0.34	0.48	0.40
Y	42.6	46.1	53.3	29.1	26.2	30.4	43.4	40.4	46.8	58.4	52.7
Th	1.61	2.16	2.39	4.97	4.91	5.31	1.47	1.30	1.58	3.02	2.33
U	0.91	1.99	0.92	1.20	1.51	1.23	0.73	0.50	0.82	1.44	0.83
Nb/U	4.54	2.47	6.10	6.00	4.48	6.50	4.95	7.40	5.23	4.26	5.93

续表 1

样品号	09DH53	09DH54	09DH55	09DH55	09DH1	09DH2	09DH3	09DH4	09DH5	09DH37	09DH38
岩性	安山岩	安山岩	安山岩	安山岩	玄武 安山岩	玄武 安山岩	玄武 安山岩	玄武 安山岩	玄武 安山岩	安山岩	安山岩
主量元素											
SiO ₂	61.54	60.56	61.24	60.78	52.22	52.41	54.97	52.94	52.52	61.37	62.51
TiO ₂	0.93	0.93	0.92	0.93	0.90	1.06	1.04	1.02	1.02	0.69	0.74
Al ₂ O ₃	16.04	16.03	15.8	16.06	15.55	15.59	16.18	14.93	15.70	15.09	16.02
Fe ₂ O ₃	3.27	3.05	2.88	2.26	5.99	4.91	6.03	4.07	3.34	3.63	3.13
FeO	3.36	3.65	3.75	4.35	1.70	3.31	1.55	4.01	4.48	2.10	2.71
MnO	0.09	0.11	0.12	0.13	0.12	0.15	0.10	0.14	0.14	0.14	0.19
MgO	3.23	3.41	3.27	3.06	4.56	6.98	5.20	8.26	7.19	2.25	2.56
CaO	3.71	4.61	2.99	3.90	10.82	9.00	6.54	7.77	8.57	4.18	3.98
Na ₂ O	3.21	3.18	3.58	2.84	3.93	2.93	5.05	2.86	3.39	4.96	3.75
K ₂ O	1.91	1.78	2.52	2.69	0.10	0.75	0.88	0.36	0.14	2.07	2.17
P ₂ O ₅	0.17	0.18	0.18	0.18	0.26	0.14	0.16	0.13	0.14	0.18	0.19
LOI	2.57	2.54	2.78	2.84	3.87	2.81	2.33	3.55	3.36	3.37	2.08
H ₂ O ⁺	1.88	1.90	1.90	1.60	2.22	1.37	1.42	2.14	2.00	1.49	1.31
H ₂ O ⁻	0.31	0.33	0.30	0.18	0.22	0.29	0.26	0.30	0.16	0.25	0.23
Mg [#]	0.63	0.62	0.61	0.56	0.83	0.79	0.86	0.79	0.74	0.66	0.63
稀土元素											
La	22.7	24.7	25.0	7.30	7.50	7.00	7.20	7.10	18.3	17.8	22.7
Ce	49.9	53.9	54.5	16.8	17.6	17.0	17.0	17.0	42.3	41.6	49.9
Pr	6.17	6.58	6.75	2.38	2.49	2.44	2.43	2.41	5.65	5.58	6.17
Nd	24.0	25.6	25.8	10.6	11.4	11.2	10.9	11.2	23.5	23.4	24.0
Sm	5.44	5.64	5.73	3.00	3.16	3.14	3.12	3.06	5.90	5.80	5.44
Eu	1.26	1.30	1.23	0.92	1.11	1.08	1.06	1.06	1.23	1.30	1.26
Gd	5.13	5.44	5.49	3.32	3.66	3.78	3.55	3.62	5.81	5.85	5.13
Tb	0.76	0.81	0.82	0.53	0.57	0.55	0.56	0.56	0.88	0.89	0.76
Dy	5.34	5.34	5.35	3.41	3.75	3.80	3.70	3.64	5.57	5.75	5.34
Ho	1.12	1.13	1.15	0.73	0.81	0.82	0.77	0.80	1.20	1.23	1.12
Er	2.93	3.04	3.04	2.00	2.14	2.17	2.18	2.17	3.29	3.31	2.93
Tm	0.45	0.47	0.47	0.29	0.32	0.32	0.30	0.32	0.50	0.51	0.45
Yb	2.94	2.96	2.97	1.82	1.95	2.04	1.87	1.94	3.21	3.28	2.94
Lu	0.42	0.44	0.44	0.28	0.30	0.31	0.29	0.30	0.52	0.52	0.42
δEu	0.70	0.72	0.71	0.66	0.88	0.99	0.95	0.97	0.97	0.64	0.68
(La/Yb) _N	6.00	5.55	6.00	6.06	2.87	2.77	2.46	2.78	2.65	4.10	3.90
ΣREE	134	129	137	139	53.3	56.8	55.6	55.0	55.2	118	117
LREE/HREE	5.94	5.73	6.00	6.03	3.31	3.21	3.03	3.16	3.14	4.62	4.47
微量元素											
Ti	5574	5514	5574	5395	6354	6234	6114	6114	4136	4436	5574
V	129	128	129	150	187	117	163	176	114	123	129
Rb	74.1	104	133	3.20	24.6	32.2	11.3	3.70	70.8	71.2	74.1
Sr	268	262	238	115	426	204	349	388	441	430	268
Ba	394	457	433	75.0	210	156	112	55.0	338	598	394
Zr	191	198	201	91.2	98.9	96.9	96.3	97.0	204	202	191
Hf	4.84	4.91	5.06	2.25	2.47	2.41	2.39	2.42	5.11	4.99	4.84
Nb	9.78	10.20	10.30	2.74	2.89	2.86	2.81	2.85	5.27	5.70	9.78
Ta	0.73	0.76	0.78	0.21	0.23	0.21	0.21	0.22	0.39	0.41	0.73
Y	29.8	31.2	31.4	19.7	21.3	21.9	20.5	21.0	33.8	34.2	29.8
Th	6.84	7.56	7.52	1.55	1.49	1.39	1.33	1.38	6.50	6.60	6.84
U	2.22	2.28	2.08	2.03	0.61	1.34	0.52	0.51	2.00	1.91	2.22
Nb/U	4.41	4.47	4.95	1.35	4.74	2.13	5.40	5.59	2.64	2.98	4.41

注:主量元素含量%,稀土和微量元素 10⁻⁶

图2 研究区火山岩 TAS 图解(A)^[16]和 Nb/Y-Zr/TiO₂ 岩石分类图解(B)^[17]Fig. 2 TAS(A) and Zr/TiO₂-Nb/Y(B) diagrams of Permian volcanic rocks in the study area

的影响,部分样品点投入偏碱性区域(图 2-A)。在 Nb/Y-Zr/TiO₂ 岩石分类图^[17]上,所有样品 Nb/Y<0.5,落入亚碱性岩石范围内(图 2-B),岩石类型主要为玄武岩、玄武安山岩和安山岩。

3.2 稀土元素地球化学

稀土元素配分模式(图 3-A)表明,火山岩稀土元素总量变化较大($\Sigma\text{REE}=53.3\times 10^{-6}\sim 139\times 10^{-6}$),LREE/HREE 在 2.51~6.03 之间,轻重稀土元素分馏不明显, $(\text{La}/\text{Yb})_N=1.68\sim 6.10$ 。整体上呈现 LREE 轻度富集、配分曲线平缓的特征。部分样品显示 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.64\sim 0.99$),这可能与后期斜长石的分离结晶有关。

3.3 微量元素地球化学

在原始地幔标准化蛛网图(图 3-B)上,火山岩样品均具有稍微右倾的分布形式,不相容元素相对富集,总体上呈现“隆起”模式。样品强烈富集 Th, 高场强元素 Ta、Nb 等明显亏损,Ti 呈现负异常,表现出类似于岛弧环境的地球化学特征,推测可能是岩浆在上升过程中受到陆壳物质加入混染的结果^[12,18-20]。

4 讨论

4.1 构造环境综合分析

在微量元素蛛网图(图 3-B)上,样品显示出与

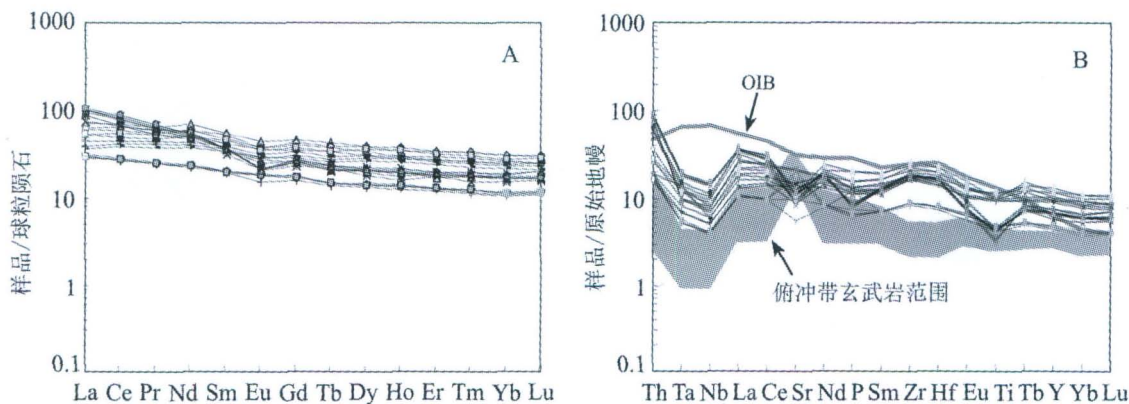


图3 研究区二叠纪火山岩样品的稀土元素分布形式(A)和微量元素蛛网图(B)

(球粒陨石 REE 数据、原始地幔和洋岛玄武岩 OIB 数据引自文献[21], 俯冲带玄武岩数据引自文献[22])

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (A) and primitive mantle-normalized spidergram (B) for Permian volcanic rocks in the study area

岛弧玄武岩相似的 Nb-Ta-Ti 负异常,但不相容元素的丰度总体上高于岛弧玄武岩,介于洋岛玄武岩和岛弧玄武岩之间,表现出板内和岛弧玄武岩双重性质的地球化学特征。

虽然样品表现出 Nb-Ta-Ti 亏损等弧/碰撞环境的地球化学特征,但 Nb-Ta-Ti 亏损不一定和岛弧/碰撞相联系,这很可能是受到大陆地壳或大陆岩石圈物质混染的结果。我们注意到,样品的 Th 含量变化大($1.30 \times 10^{-6} \sim 7.56 \times 10^{-6}$),Nb/U 比值低(1.35~6.50;大陆壳中 Nb/U 比值为 9.7^[23];在 OIB 和 MORB 中为 47,球粒陨石和原始地幔为 34^[21]),同时在 Zr/Nb-Ce/Yb 相关图(图 4)上,样品与大陆地壳组分(BC)线性相关,都暗示火山岩样品普遍受到地壳物质不同程度的混染。

大陆地壳的混染作用能够产生类似岛弧环境地球化学特征的印记(例如 Nb-Ta-Ti 的负异常),从而常会导致将受地壳混染的板内玄武岩误判为岛弧玄武岩^[12,24]。在不用 Nb、Ta 或 Ti 作为判别因子的

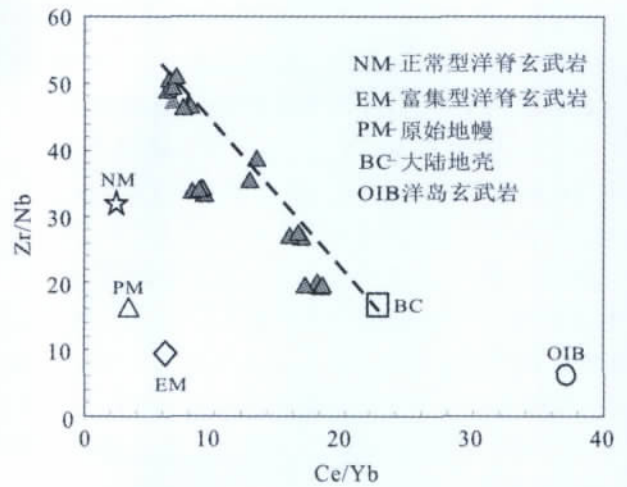


图 4 研究区二叠纪火山岩样品的 Zr/Nb-Ce/Yb 图解 (NM、PM、EM、OIB 数据引自文献[21],BC 数据引自文献[23])

Fig. 4 Zr/Nb-Ce/Yb diagram for Permian volcanic rocks in the study areas

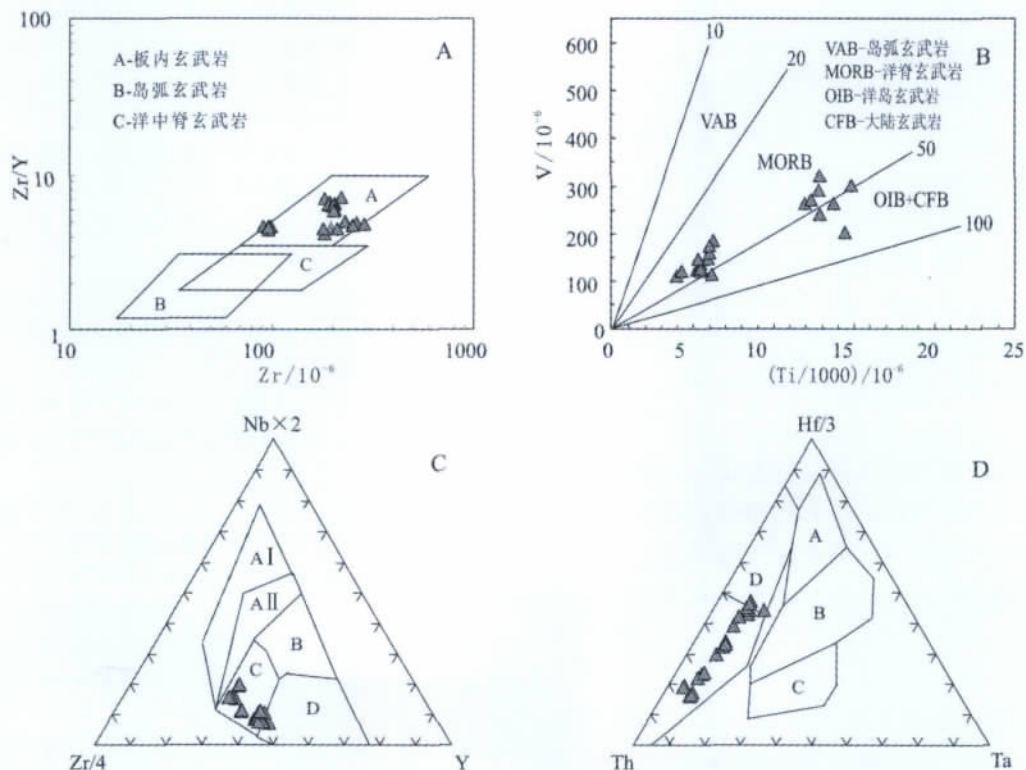


图 5 研究区二叠纪火山岩样品的构造环境判别图解

Fig. 5 Tectonic discrimination diagrams of Permian volcanic rocks in the study area

A—Zr/Y-Zr 判别图,底图据参考文献[25];B—V-Ti 判别图,底图据文献[26];C—Zr-Nb-Y 判别图,底图据文献[27],其中 A I 区为板内碱性玄武岩,A II 区是板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩,B 区为 E 型 MORB,C 区是板内拉斑玄武岩和火山玄武岩,D 区为 N 型 MORB 和火山玄武岩;D—Th-Hf-Ta 判别图,底图据文献[28],其中 A 区是 N 型 MORB,B 区为 E 型 MORB 和板内拉斑玄武岩,C 区为板内碱性玄武岩,D 区为火山玄武岩,其中岛弧拉斑玄武岩的 Hf/Th>3,而钙碱性玄武岩 Hf/Th<3

地球化学图解(如 $Zr/Y-Zr$ 图解)上可以看出:在 $Zr/Y-Zr$ 相关图(图 5-A)^[25]上,所有样品的 Zr/Y 比值和 Zr 含量高而落入板内玄武岩范围内;在 $Ti-V$ 相关图(图 5-B)^[26]上,所有样品的 Ti/V 比值都在 20~100 之间,集中在 50%左右,明显高于岛弧玄武岩,与 MORB 和 OIB 相当。但由于 Nb、Ta 亏损的影响,在 $Zr-Y-Nb$ 判别图(图 5-C)^[27]上,样品点落入板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩的范围内,少数样品向 N-MORB 过渡;在 $Th-Hf-Ta$ 判别图(图 5-D)^[28]上也有与 $Zr-Y-Nb$ 判别图^[27]类似的情况,总体上落入火山弧玄武岩范围内。样品很可能受到了地壳物质的混染,在部分构造判别图上向“弧”区偏移。

综上所述,笔者认为银根—额济纳旗及其邻区火山岩应形成于板内裂谷环境,与天山及邻区(包括吐—哈盆地、三塘湖盆地)二叠纪火山岩的成因类似^[12,29-31],岩浆在上升过程中受到了地壳物质的混染。

4.2 构造和找矿意义

以上研究表明,银根—额济纳旗及其邻区二叠纪火山岩形成于板内裂谷环境。这一结论与前文所述的研究区二叠纪以浅海相和碳酸盐台地相为主的沉积建造和早—中二叠世(埋汗哈达组—阿其德组)退积型沉积充填序列所反映的伸展性区域构造沉积背景非常吻合。与邻区对比分析表明,该火山岩的形成与天山及邻区石炭纪—早二叠世裂谷火山岩^[11-12]具有类似的成因,且很可能与地幔柱事件有关,由于缺少同位素等方面的资料,因此还需要开展进一步的深入研究。

本项研究所取得的结论为石炭纪—二叠纪区域构造演化研究和原型盆地分析提供了比较可靠的依据,对于本区石炭系—二叠系油气资源远景调查和相关矿产资源成矿作用研究都有重要意义。

5 结 论

银根—额济纳旗及其邻区二叠纪火山岩主要为中酸性火山岩,有少量基性火山岩,形成于板内裂谷环境,岩浆在上升过程中受到地壳物质的混染。岩石形成时的构造背景与同时期沉积建造、退积型沉积充填序列所反映的伸展性区域构造的沉积背景比较吻合,也与天山及邻区石炭纪—早二叠世裂谷火山岩具有类似的成因,且很可能与地

幔柱事件有关。

致谢:中国地质调查局西安地质调查中心卢进才教授级高级工程师、李玉宏教授级高级工程师、冯益民研究员和长安大学资源学院吴文奎教授在研究工作中给予帮助和指导,中国地质科学院矿产资源研究所、中国地质调查局宜昌地质矿产研究所、中国石油大学(北京)、长江大学的相关人员参加了野外调研工作,在此一并致以衷心的感谢。

参考文献

- [1] Dobrestsov N L, Berzin N A, Buslov M M. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian[J]. International Geology Review, 1995, 37: 335-360.
- [2] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚. 1:500 万中国及邻区大地构造图及简要说明——从全球看中国大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [3] 周立发, 赵重远, 郭忠铭. 阿拉善及邻区沉积盆地的形成与演化[J]. 西安: 西北大学出版社, 1995: 57-92.
- [4] 王廷印, 王金荣, 王士政. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带的发现及其构造意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1992, 18(2): 194-196.
- [5] 王廷印, 王金荣, 刘金坤, 等. 宗乃山—沙拉扎山陆壳基底火山弧火成岩组合及地球化学特征[J]. 地球化学, 1994, 23(增刊): 162-172.
- [6] 王廷印, 王士政, 王金荣. 阿拉善古生代陆壳的形成和演化[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1994.
- [7] 王廷印, 高军平, 王金荣, 等. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用[J]. 地质学报, 1998, 72(2): 126-137.
- [8] 王廷印, 张铭杰, 王金荣, 等. 恩格尔乌苏冲断带特征及大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(4): 385-394.
- [9] 肖文交, 韩春明, 袁超, 等. 新疆北部石炭纪—二叠纪独特的构造—成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1062-1076.
- [10] 李锦轶, 宋彪, 王克卓, 等. 东天山吐哈盆地南缘二叠纪幔源岩浆杂岩: 中亚地区陆壳垂向生长的地质记录[J]. 地球学报, 2006, 27(5): 424-446.
- [11] 夏林圻, 李向民, 夏祖春, 等. 天山石炭—二叠纪大火成岩省裂谷火山作用与地幔柱[J]. 西北地质, 2006, 39(1): 1-49.
- [12] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山及邻区石炭纪—早二叠世裂谷火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 2008, 41(4): 1-68.
- [13] 周鼎武, 柳益群, 邢秀娟, 等. 新疆吐—哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩形成古构造环境恢复及区域构造背景示踪[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36(2): 143-153.
- [14] 赵省民, 陈登超, 邓坚. 内蒙古西部银根—额济纳旗地区石炭系—二叠系碳酸盐岩沉积模式及其石油地质意义[J]. 地质通报, 2010, 29(2/3): 351-359.
- [15] 赵省民, 陈登超, 邓坚. 银根—额济纳旗及邻区石炭系—二叠系的沉积特征及石油地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84(8): 1183-1194.
- [16] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram

- [J]. *Journal of Petrology*, 1986, 27: 745-750.
- [17] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed igneous rocks [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1976, 28: 459-469.
- [18] Saunders A D, Tarney J. Geochemical characteristics of basaltic volcanism in back-arc basins [C]//Kokelaar B P, Howells M F. *Marginal Basin Geology: Volcanic and Associated Sedimentary and Tectonic Processes in Modern and Ancient Marginal Basins*. Geological Society of London Special Publication, London, 1984: 592-761.
- [19] 张旗, 钱青, 王焰. 造山带火成岩地球化学研究 [J]. *地学前缘*, 1999, 6(3): 113-120.
- [20] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 利用地球化学方法判别大陆玄武岩和岛弧玄武岩 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2007, 26(1): 77-89.
- [21] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 1989, 42: 528-548.
- [22] Tatsumi Y, Eggins S M. *Subduction Zone Magmatism* [M]. Cambridge, Boston: Black Well Science, 1995: 1-211.
- [23] Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust [M]//Rudnick R L. *The crust: Vol.3. Treatise on geochemistry*. Oxford: Elsevier-Pergamon, 2003: 1-64.
- [24] Ernst R E, Buchan K L, Campbell I H. Frontiers in large igneous province research [J]. *Lithos*, 2005, 79: 271-297.
- [25] Pearce J A, Norry M J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1979, 69: 33-47.
- [26] Shervais J W. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1982, 31: 457-484.
- [27] Meschede M. A method of discriminating between different types of mid-ocean basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. *Chem. Geol.*, 1986, 56: 207-218.
- [28] Wood D A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crust contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1980, 50: 11-30.
- [29] 邢秀娟, 周鼎武, 柳益群, 等. 吐-哈盆地及周缘早二叠世火山岩地球化学特征及大地构造环境探讨 [J]. 2004, 22(1): 50-55.
- [30] 郝建荣, 周鼎武, 柳益群, 等. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 189-198.
- [31] 赵泽辉, 郭召杰, 韩宝福, 等. 新疆三塘湖盆地古生代晚期火山岩地球化学特征及其构造-岩浆演化意义 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 109-214.