

文章编号: 1000-4734(2014)01-0107-10

银根—额济纳旗盆地苏红图坳陷早白垩世 火山岩地球化学特征与成因

钟福平^{1,2}, 钟建华^{3,4}, 王毅⁵, 由伟丰⁵

(1. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地, 河南 焦作 454003; 2. 河南理工大学 安全科学与工程 工程学院 瓦斯地质研究所, 河南 焦作 454003; 3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 4. 中国石油大学(华东) 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 5. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 银根—额济纳旗盆地苏红图坳陷早白垩世火山活动强烈。火山岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄值为 $106.48 \pm 1.32 \sim 113.12 \pm 1.38 \text{ Ma}$; 里特曼指数、 K_2O 和 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 与 SiO_2 的关系表明该区火山岩为钾质碱性玄武岩; 微量元素 Nb、Ta 富集的特点显示出苏红图火山岩具有洋岛玄武岩(OIB)特征, 说明其源区可能主要是对流的软流圈地幔。火山岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值分别变化在 $0.705477 \sim 0.707098$ 及 $0.512318 \sim 0.512480$ 之间, 其 Nd、Sr 同位素组成靠近第一类富集地幔(EMI)端元, 并有向 EM II 延伸的趋势, 显示本区火山岩的源区很大程度上受 EMI 的影响, 并受 EM II 的微弱影响。此外, 随着 ϵ_{Nd} 的减少, P_2O_5 、Rb、Sr、Ba 及 Zr 逐渐富集, 暗示苏红图火山岩没有经历明显的地壳物质混染。所以, 苏红图火山岩是来自对流软流圈地幔的熔融产物。岩浆在快速上升过程中受到了 EMI 型地幔的混染, 但是没有受到明显的地壳物质混染, 经分离结晶形成苏红图钾质碱性玄武岩。

关键词: 银根—额济纳旗盆地; 苏红图坳陷; 早白垩世; 玄武岩;

中图分类号: P588.1; P597 **文献标识码:** A

作者简介: 钟福平, 男, 1978 年生, 博士, 讲师, 从事构造地质方面科研与教学工作. E-mail: zhongfp@hpu.edu.cn

额济纳旗—银根盆地(以下简称银—额盆地)位于塔里木、哈萨克斯坦、西伯利亚和华北 4 个板块的结合部位。该盆地地跨 4 个性质不同的大地构造单元, 与国内其它盆地相比, 具有复杂多变的地质构造背景, 经历了变质结晶基底-褶皱基底的形成、沉积盖层发育、板内伸展和陆内造山等不同演化阶段。银—额盆地内部火山岩发育, 在查干凹陷、苏红图坳陷以及尚丹坳陷东部均有分布^[1]。火山喷发期次主要有 3 期, 第一期为印支期; 第二期为燕山早期; 第三期为燕山晚期(早白垩早期、早白垩晚期, 晚白垩晚期), 其中早白垩晚期火山岩活动最为强烈, 波及面较广, 由中基性火山熔岩组成, 产于下白垩统苏红图组中^[2,3]。

苏红图坳陷位于银—额盆地的东端, 该地偏远且道路交通很不便利, 很少有学者对该地区该期火山岩做过详细研究。在已有的成果中, 主要

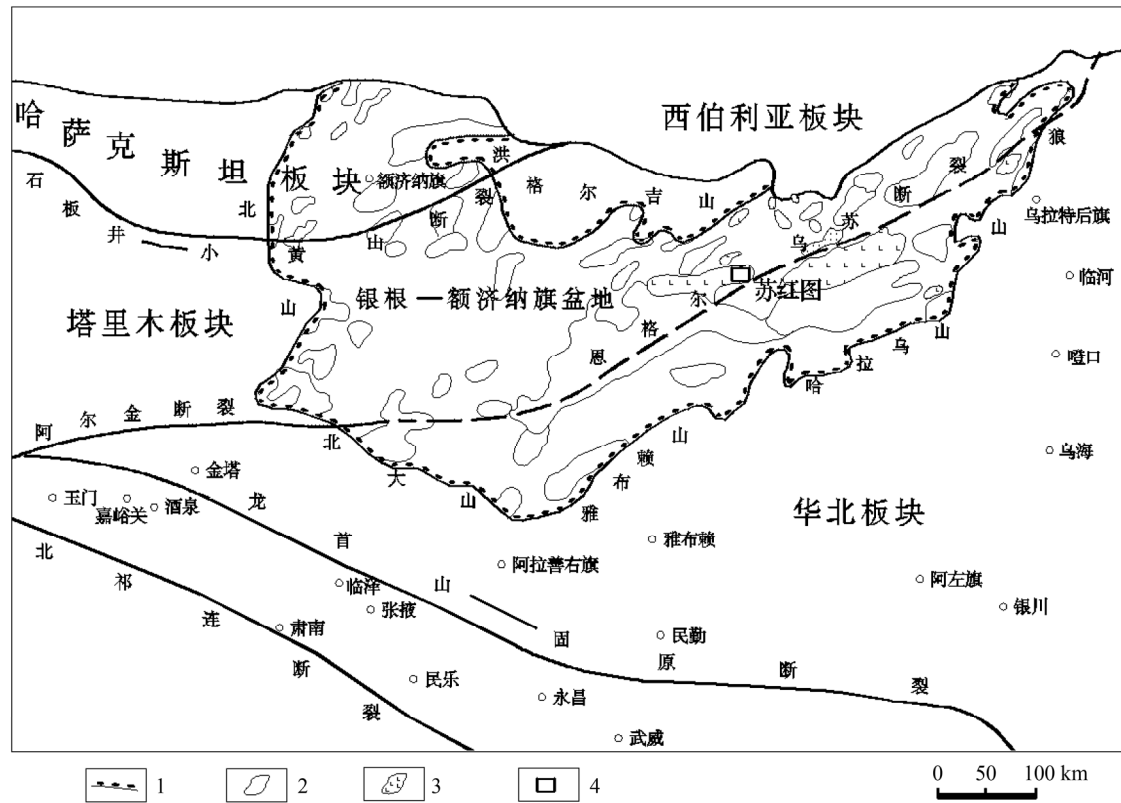
是针对该地区火山岩岩石类型、同位素年龄、地球化学特征及火山岩与油气之间的关系做过少量研究^[4-6], 此外, 钟福平等^[7,8]对该地区的火山岩的幔源特征进行过一些对比探讨。对银—额盆地油气勘探表明, 下白垩统巴音戈壁组及苏红图组下段具有生烃潜力^[9], 而早白垩世火山岩对油气的成藏具有重要的影响, 随着国民经济发展对油气资源的需求, 对该地区早白垩世火山岩进行详细研究具有重要长远意义。本文作者在苏红图坳陷采集了大量样品(图 1), 在大量的实验数据基础上, 对该地区的火山岩的年代及其地球化学特征进行了分析, 此外, 还对该地区火山岩成因进行了探讨。

1 火山岩年代学

前人对苏红图坳陷火山岩年龄做过一些研究。吴少波等^[4,5]通过地层的接触关系研究将分布于苏红图坳陷的该套火山岩认定为早白垩世中晚期。卫平生等^[1]根据岩石地球化学研究, 位于银—额盆地东部的查干凹陷查参 1 井中岩石 K-Ar

收稿日期: 2012-12-12

基金项目: 国家科技重大专项(编号: 2011ZX05040); 中国西北地区构造-岩相古地理研究与编图(编号: YPH08107); 河南理工大学博士基金(编号: B2012-109)



1-盆地边界; 2-火山岩分布; 3-早白垩世火山岩分布; 4-火山岩采样位置

图1 研究区位置

Fig. 1. Geographic location of Innggen-Ejin Qi Basin.

同位素测年值为 115.6~116.7 Ma。本文对在苏红图坳陷野外采集的样品进行 Ar-Ar 测试 (由中国科学院地质与地球物理研究所测试), 得到年龄值为 106.48 ± 1.32 Ma~ 113.12 ± 1.38 Ma (表 1、2, 图 2、3), 属早白垩世火山岩, 与前人研究结果相吻合。

2 地球化学特征

2.1 样品及测试方法

将采集的样品选送部分至中国科学院地质与地球物理研究所进行测试, 测试项目为常量元素、微量元素、Sr-Nd-Pb 同位素, 其中常量、微量元素测试各 24 件, 同位素 6 件。

常量元素分析方法: 用 0.6 g 样品和 6 g 四硼酸锂制成的玻璃片在 Shimadzu XRF-1500 上测定氧化物的质量分数, 精度优于 2%~3%。

微量元素采用酸溶法: 样品溶液制备好后, 在 Element II 型 ICP-MS 上测试, 按照 GSR-1 和 GSR-2 国家标准, 元素质量分数大于 10×10^{-6} 的元素精度优于 5%, 小于 10×10^{-6} 的元素优于 10%。

Sr、Nd 同位素分析方法: 称取约 100 mg 全岩粉末样品, 加入适量的 ^{87}Rb - ^{84}Sr 和 ^{149}Sm - ^{150}Nd 混合稀释剂和纯化的 HF-HClO₄ 混合试剂后, 在高温下完全溶解。Rb-Sr 分离和纯化在装有 5 ml AG50W-X12 交换树脂 (200~400 目) 的石英交换柱进行, Sm 和 Nd 的分离和纯化是在石英交换柱用 1.7 mL Teflon 粉末为交换介质完成。采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 和 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 分别校正测得 Nd 和 Sr 同位素比值。Nd 标样 Jndi-1 测定结果为 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512107$, Sr 标样 NBS987 测定结果为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710276$ 。Rb-Sr 和 Sm-Nd 的全流程本底分别为 100 pg 和 50 pg 左右。

Pb 同位素的分析方法: 采用 HF 溶解样品, 溶样后蒸干样品溶液, 用 6 mol/L HCl 将氟化物样品转为氯化物, 蒸干后, 用 0.6 mol/L HBr 提取样品。在装有 80 μl AG1x (100~200 目) 交换树脂的 Teflon 交换柱上, 采用 0.6 mol/L HBr 和 6 mol/L HCl 流程分离纯化 Pb 样品。同位素比值测量采用德国 Finnigan 公司 MAT262 固体源质谱仪, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值误差小于 0.5%。

表1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温分析结果

Table 1. Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar stage warming

温度/°C	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$	$^{40}\text{Ar}^*/\%$	$^{39}\text{Ar}_k/\%$	年龄/Ma	$\pm 2\sigma/\text{Ma}$
800	701.20117	2.83541	2.37229	0.414464	0.06	0.34	3.6	150.35
850	1347.63371	1.51256	4.54096	5.908866	0.44	1.83	50.7	275.71
900	377.25698	1.54868	1.22754	14.659909	3.88	4.67	123.2	70.66
950	94.59198	1.71983	0.26732	15.759120	16.64	13.26	132.2	15.59
990	44.86243	1.25496	0.10511	13.915625	30.99	13.21	117.2	6.39
1030	33.75397	1.08670	0.06894	13.479338	39.90	10.35	113.6	4.37
1070	35.48988	0.81590	0.07659	12.932506	36.41	5.71	109.1	4.91
1110	27.21932	0.76648	0.04611	13.662610	50.16	6.75	115.1	3.27
1150	20.10580	1.47922	0.02323	13.376534	66.45	8.36	112.8	1.90
1180	21.19297	2.36783	0.02721	13.368360	62.95	5.71	112.7	2.67
1210	20.25695	2.63317	0.02429	13.319324	65.60	6.26	112.3	2.43
1260	19.66864	4.47057	0.02273	13.358679	67.66	10.48	112.6	1.92
1330	21.43974	9.43589	0.03002	13.427904	62.13	4.98	113.2	2.67
1450	20.24739	7.92726	0.02506	13.563974	66.54	8.11	114.3	2.13

表2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温分析结果

Table 2. Analysis results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar stage warming

温度/°C	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$	$^{40}\text{Ar}^*/\%$	$^{39}\text{Ar}_k/\%$	年龄/Ma	$\pm 2\sigma/\text{Ma}$
800	78.74380	0.56554	0.26173	1.448856	1.84	1.97	12.9	± 18.2
850	189.24489	0.96147	0.62531	4.544667	2.40	4.38	40.3	± 40.6
900	94.08039	1.18663	0.28533	9.870298	10.48	7.77	86.3	± 17.8
940	21.27121	0.43903	0.03040	12.328428	57.94	9.48	107.2	± 2.0
980	20.05984	0.38474	0.02585	12.455932	62.07	8.75	108.3	± 2.0
1020	21.02690	0.36767	0.03005	12.179294	57.90	6.40	105.9	± 2.1
1050	21.58730	0.37745	0.03226	12.088074	55.98	6.96	105.2	± 2.3
1080	23.09013	0.48025	0.03766	12.002888	51.96	9.80	104.5	± 2.5
1110	24.75671	0.56895	0.04324	12.029227	48.57	7.43	104.7	± 2.8
1140	25.41226	0.60758	0.04502	12.163771	47.84	7.48	105.8	± 3.0
1170	27.03045	0.67962	0.04993	12.335917	45.61	8.17	107.3	± 3.2
1200	25.33075	0.86710	0.04448	12.263561	48.38	6.83	106.7	± 3.4
1250	26.59450	1.34128	0.04871	12.319973	46.27	6.23	107.1	± 3.3
1330	29.33296	1.72995	0.05849	12.205260	41.55	3.00	106.2	± 4.0
1450	28.11178	1.56163	0.05306	12.571883	44.66	5.36	109.3	± 3.5

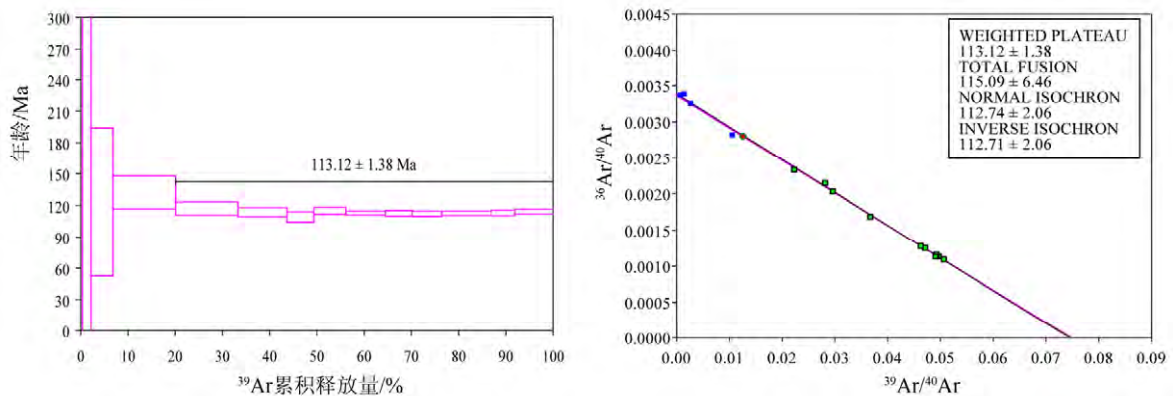


图2 苏红图火山岩坪年龄和反等时线年龄

Fig. 2. Plateau and reverse isochron age of vulcanite of Suhongtu.

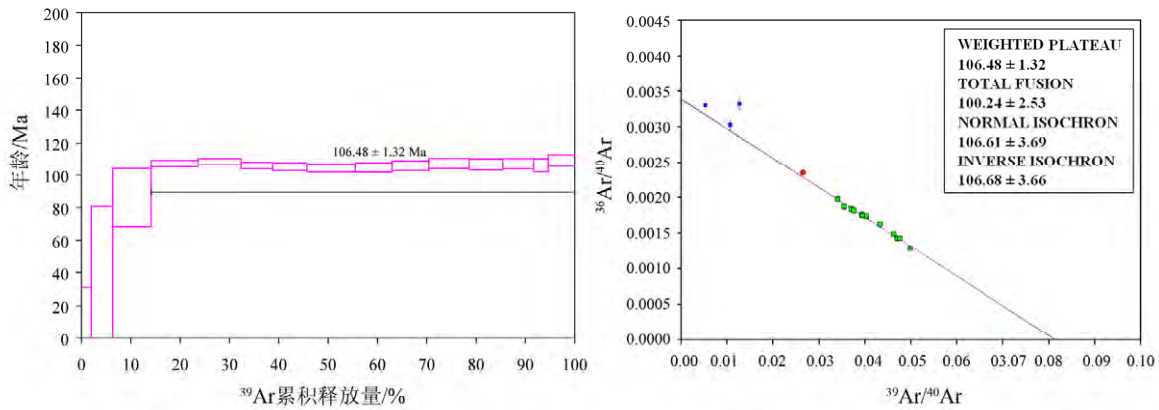


图3 苏红图火山岩坪年龄和反等时线年龄
Fig. 3. Plateau and reverse isochron age of vulcanite of Suhongtu.

2.2 主量元素特征

对实验数据进行分析, 火山岩 SiO_2 质量分数为 47.58%~56.28%, 平均质量分数为 49.63%, 为中-基性火山岩。计算里特曼指数 σ 得到: $4.7 < \sigma < 7.9$, 平均值为 6.3, 属碱性系列火山岩^[10]。 MgO 的质量分数为 0.51%~7.82%, 平均质量分数为 5.27%。 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 的质量分数为 4.95%~7.51%, 平均质量分数为 6.37%, 在 TAS 图解中, 24 个样品中大多落在粗玄武岩及玄武粗安岩中(图 4), 而在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 图解中 24 个样品均落在碱性玄武岩系列区域中(图 5)。

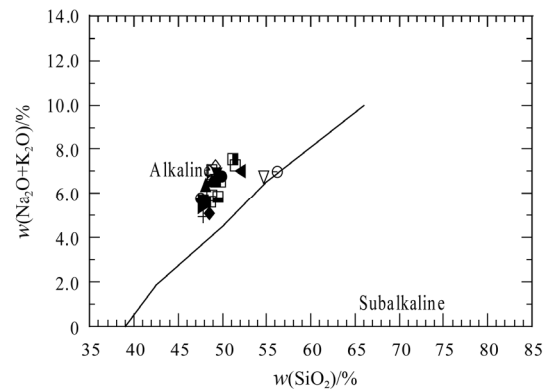


图5 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 图解
Fig. 5 Diagram of SiO_2 and $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$

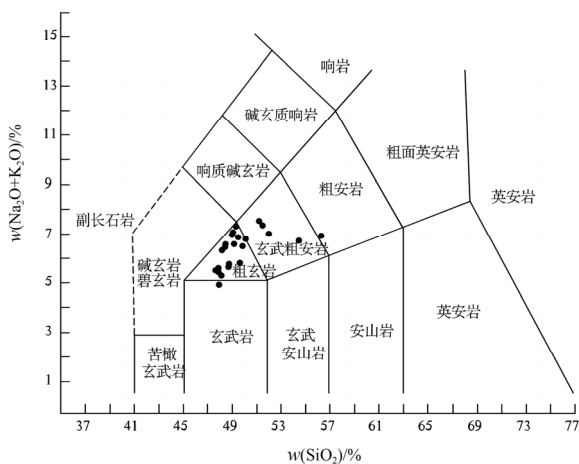


图4 苏红图火山岩 TAS 图解
Fig. 4. TAS diagram for Suhongtu volcanic rocks.

K_2O 质量分数 1.03%~3.09%, 平均质量分数为 2.04%, 在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图解中, 绝大多数的样品落在高钾玄武岩区域中(图 6)。此外, 火山岩富铝, Al_2O_3 质量分数为 14.67%~17.94, 平均质量分数为 16.27%。

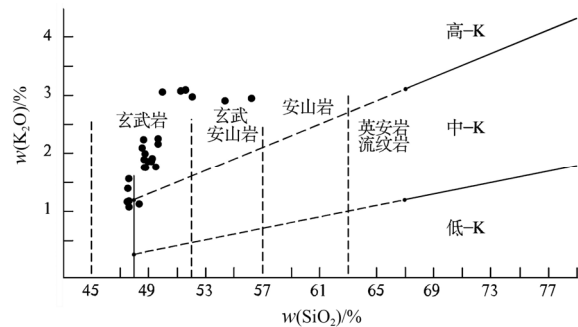


图6 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图解
Fig. 6. Diagram of SiO_2 and K_2O .

在 Harker 图解中, K_2O 、 P_2O_5 的质量分数随 SiO_2 的质量分数增大而增大, $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 MgO 的质量分数随 SiO_2 质量分数增加而减少, 而 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 CaO 的质量分数随 SiO_2 的增大没有明显的变化(图 7)。

2.3 微量元素特征

对该区火山岩微量元素数据进行处理, 作微量元素/球粒陨石的蜘蛛图解(图 8)。从图中可

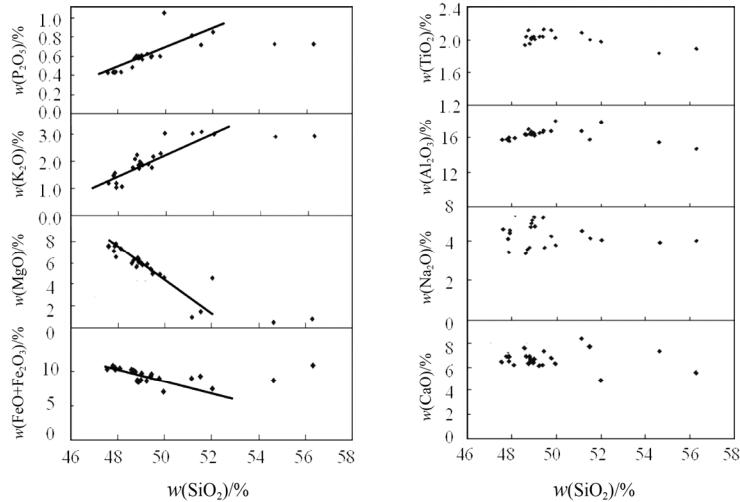


图 7 苏红图火山岩的 Harker 图解

Fig. 7. Harker diagrams for the volcanic rocks from Suhongtu depression.

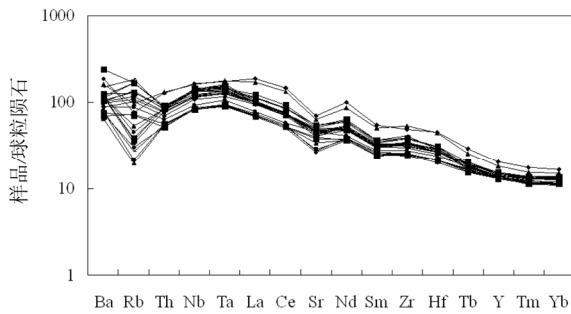


图 8 苏红图火山岩微量元素/球粒陨石标准化模式图

Fig. 8. Chondrite-normalized trace element diagram.

以看出 Rb 元素质量分数变化比较大, 有些出现了亏损, 有些出现富集, 而 Ba、Nb、Ta、La 等大亲石离子 (LILE) 及 LREE 离子富集。由于 Nb、Ta 元素具有富集的特点, 显示出了具有洋岛玄武岩 (OIB) 特征, 说明了苏红图火山岩岩浆主要来自于对流的软流圈地幔。此外, 微量元素 Sr 出现了轻微的亏损, 这可能与斜长石的分离结晶作用有关^[11]。

在 MgO 质量分数大于 4% 条件下, 不相容元素如 Nb、Zr、Y、Rb、Sr、Ba 等的丰度随着 MgO 质量分数的减少而增加 (图 9)。相容元素 Sc 的丰度范围为 15.044~26.963, 平均值为 22.954; Ni 的丰度范围为 15.934~119.607, 平均值为 79.738; Co 的丰度范围为 10.380~43.518, 平均值为 31.692; Cr 的丰度范围为 49.168~237.138, 平均值为 174.421, 它们与 MgO 均呈正相关关系 (图 10)。该区火山岩 Nb/U 的值为 18.91~94.90, 平均值为 51.24, Ce/Pb 的值为 9.10~15.81, 平均值为 13.83, 这些比值都要大于原始地幔值 Nb/U ≈ 30, Ce/Pb ≈ 9^[12], 明显大于上陆壳平均值 Nb/U

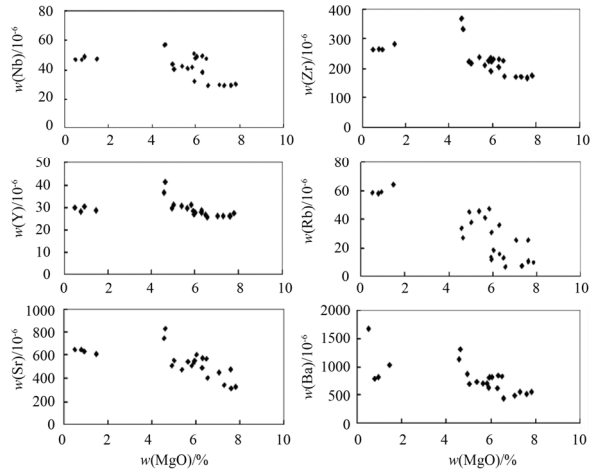


图 9 MgO 与 Nb、Zr、Y、Rb、Sr、Ba 关系图

Fig. 9. Diagram for MgO vs. Nb, Zr, Y, Rb, Sr and Ba, respectively.

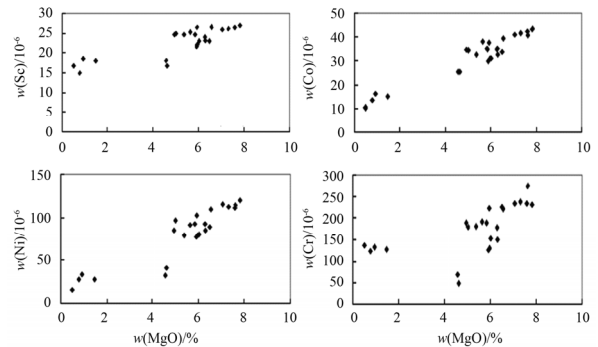


图 10 Sc、Ni、Co、Cr 与 MgO 呈正相关关系

Fig. 10. Relationship diagram for MgO vs. Sc, Ni, Co and Cr, respectively.

≈ 9, Ce/Pb ≈ 3^[13]。

此外, 对 Zr、Ti、Nb、Y 等元素之间的关系进行了分析处理。在 Zr/Ti 与 Nb/Y 关系图 (图

11), 样品均落入碱性玄武岩范围内; 在 Zr/Y 与 Zr 关系图 (图 12), 样品数据均落入板内碱性玄武岩范围, Ti-Zr-Sr 之间的关系图 (图 13), 样品均落入钙碱性玄武岩范围内, Nb-Zr-Y 之间的关系图 (图 14), 样品均落入板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩范围内。

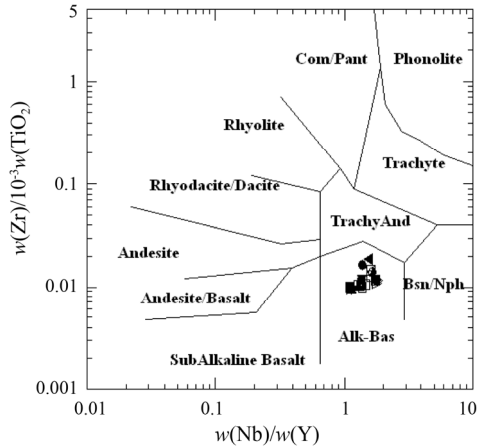


图 11 Zr/Ti 与 Nb/Y 关系图
Fig. 11. Diagram for Zr/Ti and Nb/Y.

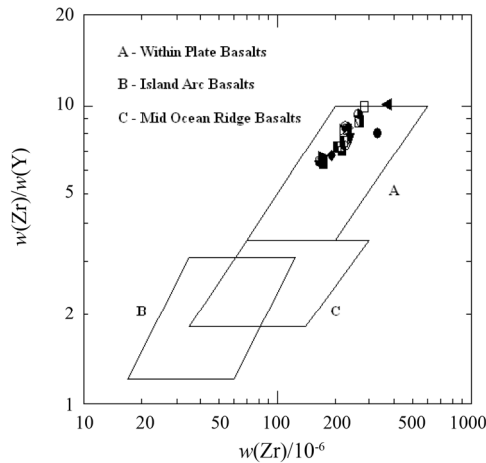


图 12 Zr/Y 与 Zr 关系图
Fig. 12. Diagram for Zr/Y and Zr.

该区火山岩 REE 质量分数变化范围比较大, 为 121.685~312.394, 平均质量分数为 169.477, 从稀土元素球粒陨石^[14]标准化模式图可以看出, 模式图为右倾式分配模式 (图 15), 火山岩轻稀土元素富集, 而重稀土元素相对亏损, LREE 质量分数为 102.317~281.506, 平均质量分数为 148.838; HREE 质量分数为 17.707~30.888, 平均质量分数为 20.638。(La/Yb)_N 为 6.158~11.501, 平均为 8.126。总体上, 24 个样品的稀土元素分配模式相似 (图 15), 说明它们可能来自同一物源区。

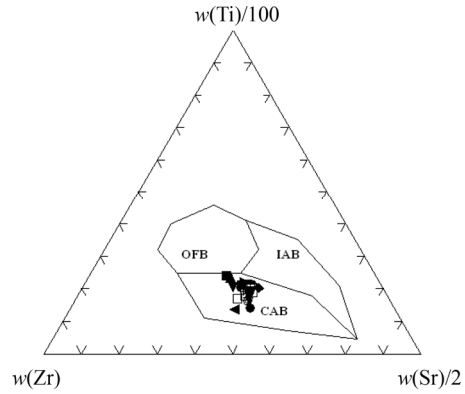


图 13 Ti、Zr、Sr 之间的关系图
Fig. 13. Diagram for Ti, Zr and Sr.

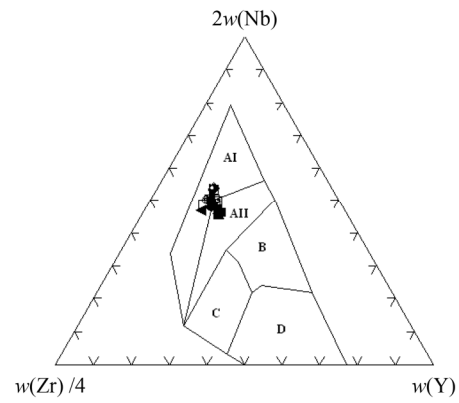


图 14 Nb、Zr、Y 之间的关系图
Fig. 14. Diagram for Nb, Zr and Y.

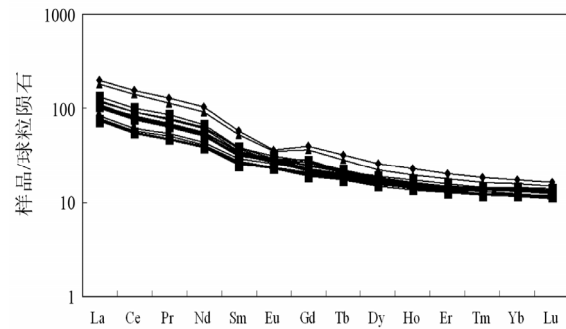


图 15 苏红图火山岩稀土元素/球粒陨石标准化模式图
Fig. 15. Chondrite-normalized rare earth element diagram for volcanic of Suhongtu depression.

w(Sr)/w(Ba)的值为 0.3877~0.9108, 平均值为 0.7146, w(Sr)/w(Ba)的值为 4.3623~5.5590, 平均值为 5.0009。苏红图 24 个火山岩样品的 δEu 为 0.754~1.061, 平均值为 0.971, 为轻微亏损, 说明了没有斜长石分离结晶。24 样品的 δCe 为 0.894~0.964, 平均值为 0.917, 为轻微 Ce 负异常, 岩石 Ce 负异常可能由于遭受分化作用或者是源区物质固有特征的体现^[15]。

2.4 同位素特征

同位素 Nd 为不相容元素, 因而在地幔部分熔融时, 熔融程度越低, 岩浆的 Nd 越富集, ϵ_{Nd} 也就越小。苏红图火山岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值分别为 0.705477~0.707098 及 0.512318~0.512480 (表 3)。 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值均小于未分异球粒陨石地幔值 0.512638, 并 ϵ_{Nd} 均为负值, $\epsilon_{Nd}=-6.24\sim-3.08$ 。在 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 、 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 及 ϵ_{Nd} 相关性图解上 (图 16), 火山岩的 Nd、Sr 同位素组成靠近第一类富集地幔 (EMI) 端元, 并有向 EMII 延伸的趋势, 显示本区火山岩的源区主要受 EMI 控制, 并受 EMII 的微弱影响^[16]。

苏红图火山岩同位素 Pb 值比较接近, 比值变化范围较窄, 分别为: $^{206}Pb/^{204}Pb=17.8307\sim 17.9368$, 平均值为 17.8741; $^{207}Pb/^{204}Pb=15.4689\sim 15.4916$, 平均值为 15.4805; $^{208}Pb/^{204}Pb=37.4447\sim 38.1678$, 平均值为 37.9892, 火山岩的 $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$, $^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化范围很小, 相对集中, 显示了其岩浆同源性。对该区火山岩 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 关系图解

(图 17), 可以看出, 该区火山岩主要受 EMI 源区的影响。

3 岩浆成因探讨

根据源区岩浆微量元素特征, 可以很好地探讨源区组成和岩浆作用过程^[24]。图 18 中由于 Nb、

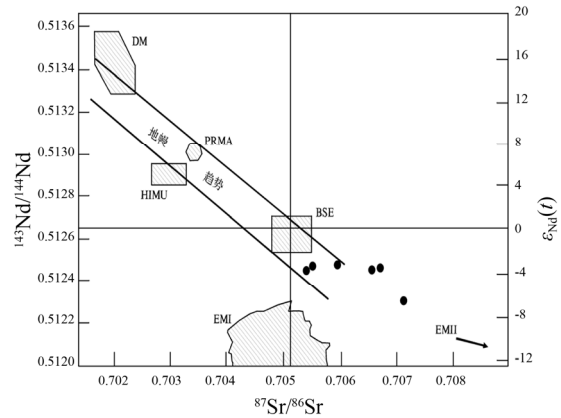


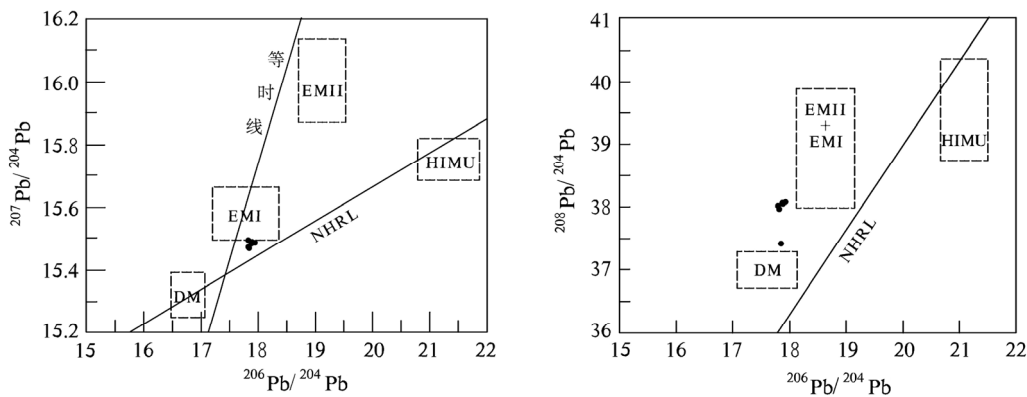
图 16 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 、 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 及 ϵ_{Nd} 关系图解
Fig. 16. Diagram of relation of $^{87}Sr/^{86}Sr$, $^{143}Nd/^{144}Nd$ and ϵ_{Nd} .

表 3 苏红图火山岩同位素数据

Table 3. Isotopes of the Suhongtu volcanic rocks

样品	$^{206}Pb/^{204}Pb$	2SE(M)/%	$^{207}Pb/^{204}Pb$	2SE(M)/%	$^{208}Pb/^{204}Pb$	2SE(M)/%	$^{87}Sr/^{86}Sr$	(2σ)	$^{143}Nd/^{144}Nd$	(2σ)
sht-06	17.9368	0.015	15.4832	0.016	38.1678	0.018	0.706611	0.000012	0.512457	0.000015
sht-08	17.8987	0.009	15.4818	0.010	38.1503	0.010	0.706782	0.000008	0.512475	0.000015
sht-11	17.9089	0.011	15.4831	0.012	38.1483	0.013	0.705867	0.000012	0.512480	0.000015
sht-18	17.8307	0.011	15.4916	0.012	37.4447	0.013	0.707098	0.000014	0.512318	0.000014
sht-23	17.8386	0.011	15.4689	0.012	37.9882	0.011	0.705498	0.000010	0.512471	0.000015
sht-28	17.8309	0.020	15.4745	0.023	38.0358	0.030	0.705477	0.000012	0.512445	0.000016

注: 2SE(M)/%为测量误差。



EMI 和 EMII 为富集地幔端元; DM 为亏损地幔同位素组成范围; HIMU 为高 U/Pb 地幔组成范围; NHRL 为北半球参考线

图 17 火山岩 $^{206}Pb/^{204}Pb$ - $^{207}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{206}Pb/^{204}Pb$ - $^{208}Pb/^{204}Pb$ 关系图解

Fig. 17. Pb isotopic compositions of the Suhongtu volcanic rocks $^{206}Pb/^{204}Pb$ vs. $^{207}Pb/^{204}Pb$ and $^{206}Pb/^{204}Pb$ vs. $^{208}Pb/^{204}Pb$.

Ta 元素具有富集的特点, 显示出了具有洋岛玄武岩 (OIB) 特征, 说明了苏红图火山岩岩浆主要来自于对流的软流圈地幔; 而从同位素特点来看, 该区 6 个火山岩 ϵ_{Nd} 均小于 0, 为 -6.24~-3.08, 很显然岩浆源区具有富集的特征, 且在 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 及 ϵ_{Nd} 相关性图解上, 火山岩的 Nd、Sr 同位素组成靠近第一类富集地幔 (EMI) 端元, 并有向 EM II 延伸的趋势, 显示本区火山岩的源区受 EMI 影响很大, 受 EM II 的微弱影响, 对该区火山岩 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系图解, 也可以看出, 该区火山岩主要受 EMI 源区的影响。

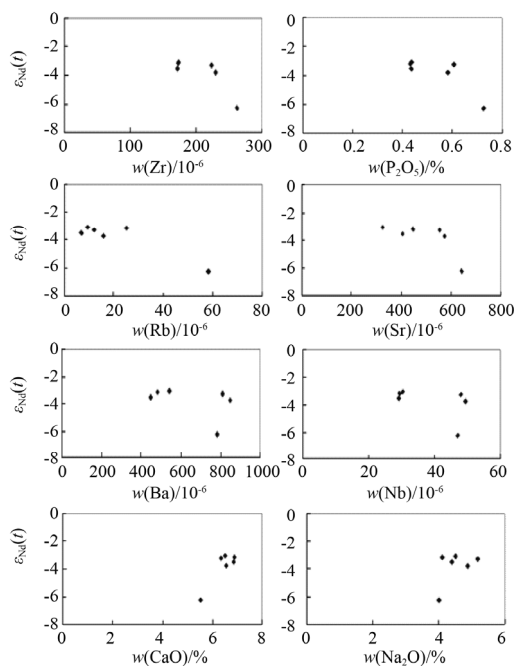


图 18 苏红图火山岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 与 Zr、 P_2O_5 、Rb、Sr、Ba、Nb、CaO、 Na_2O 关系图

Fig. 18. Diagram of $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ and Zr, P_2O_5 , Rb, Sr, Ba and Nb for volcanic of Suhongtu depression.

从图 18 中可以看出, 随着 ϵ_{Nd} 的减少, Zr、 P_2O_5 、Rb、Sr、Ba 及 Nb 逐渐富集, 暗示着苏红图火山岩没有经历明显的地壳物质混染^[25]。而 Na_2O 、CaO 等主量元素随着 ϵ_{Nd} ($\epsilon_{\text{Nd}}=-6.24\sim-3.08$) 的增加而增加, 是因为随着部分熔融程度增加, 地幔中的角闪石、金红石和金云母开始部分熔融, 富集了 Na 和 Ca 元素。此外, 如果火山岩岩浆被上地壳物质混染, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值应该更大些, 变化范围更宽些。苏红图火山岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值远小于现今大陆地壳 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值 (平均为 0.719), 也可以说明它们没有受到明显的地壳物质混染, 再者, 岩石的低 Rb/Ba, Rb/Sr 值和高 Ti/Y 比值

排除了岩浆被地壳混染的可能^[26]。

从前面分析得到该区火山岩中微量元素 Ba、Nb、Ta、La 等大亲石离子 (LILE) 富集, 这些元素的丰度受控于源区组分、残余矿物相、部分熔融程度以及随后的分离结晶作用的程度^[27]。用微量元素的分配系数可以来研究岩浆的平衡部分熔融和分离结晶作用^[28], 从 $w(\text{La})/w(\text{Sm})$ 比值对 $w(\text{La})$ 作图 (图 19) 我们可以发现苏红图火山岩岩浆既有部分熔融特征, 又带有分离结晶的特征, 所以, 苏红图火山岩可能为平衡部分熔融及随后的分离结晶共同作用的产物。

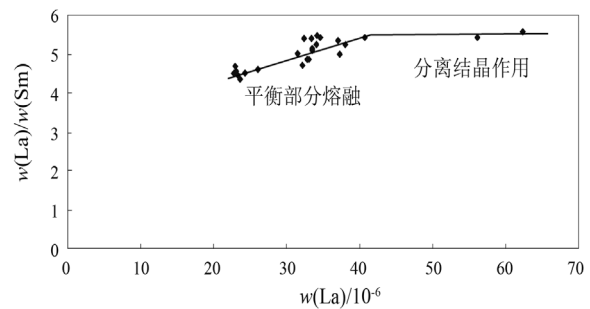


图 19 La/Sm-La 关系图

Fig. 19. Diagram of the relation between $w(\text{La})/w(\text{Sm})$ and $w(\text{La})$.

前面分析在 MgO 质量分数大于 4% 条件下, 不相容元素如 Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ba 等的丰度随着 MgO 质量分数的减少而增加, 相容元素 Sc、Ni、Co、Cr 等它们与 MgO 均呈正相关关系, 表明岩浆演化早期经历了一定的橄榄石或单斜辉石的分离结晶作用致使熔体在上升过程中经历了一定的矿物结晶分异作用^[28,29]。分离结晶作用期间, 橄榄石可能是从熔体中移走的主要矿物, 但是低 Sc 浓度 (0.146~14.482 $\mu\text{g/g}$, 平均 3.593 $\mu\text{g/g}$) 可能表明发生了少量的单斜辉石分离结晶作用, 此外, 有些岩石样品中的 MgO 质量分数较低 (低于 4%), 表明分离结晶作用进行非常强烈。

人们对西伯利亚、华北和塔里木等稳定块体之间的碰撞拼合已有了较为一致的认识^[31-35]。Zhao 等^[31]根据古地磁研究结果, 提出西伯利亚板块、内蒙古褶皱带和华北地块的碰撞拼合最后结束时间为晚侏罗世; 任收麦等^[36]通过古地磁研究, 提出在早白垩世, 西伯利亚板块、内蒙古褶皱带和华北块体在动力学上已成为整体; 本文及前人研究^[4-5]认为苏红图拗陷火山岩属于钾质碱性玄武岩, 而钾质碱性玄武岩通常只形成于大陆环境^[37]。前面对火山岩微量元素测试结果进行处

理分析得到的 Zr-Zr/Y 之间的关系(图 12)以及 Nb-Zr-Y 之间的关系图(图 13)说明样品均为大陆板内玄武岩,所以该区早白垩世火山岩形成于大陆板块内部。

综上,在早白垩世 $106.48 \pm 1.32 \sim 113.12 \pm 1.38$ Ma 期间,岩石圈处于减薄期,随着岩石圈地幔的减薄,对流的软流圈地幔岩浆快速上涌,在上升过程中受到了 EMI 型地幔的混染,但是没有受到明显的地壳物质混染,产生减压部分发生熔融,经分离结晶形成陆内苏红图高钾玄武岩。

4 结论

(1) 苏红图火山岩年龄值为 $106.48 \pm 1.32 \sim 113.12 \pm 1.38$ Ma, 属于早白垩世。元素组成特征

显示苏红图火山岩为钾质碱性玄武岩;

(2) 早白垩世,银根—额济纳旗盆地苏红图坳陷地区所在的岩石圈处于减薄期,随着岩石圈地幔的减薄,对流的软流圈地幔岩浆快速上涌,岩浆在上升过程中可能受到了 EMI 型地幔的混染,但没有受到明显的地壳物质混染,并经分离结晶形成陆内苏红图高钾玄武岩。

致谢: 在野外工作的还有浙江油田的张磊、胜利油田的嵇元杰、中国石油大学(华东)研究生王安东、孟玮、王金华等,在成文过程中得到了中科院广州地化所郭锋研究员的无私帮助,广西地质调查局的覃晓峰博士在火山岩分析方面给予了无私帮助,中国科学院地质地球物理研究所的老师对火山岩精心的分析测试,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 卫平生,张虎权. 银根—额济纳旗盆地油气地质特征及勘探前景[M]. 北京:石油工业出版社,2006: 37-42.
- [2] 郭彦如. 查干断陷湖盆层序地层框架中的含油气系统研究[D]. 北京:中国地质大学,2003.
- [3] 陶国强. 查干德勒苏凹陷构造特征与油气成藏条件研究[D]. 北京:中国地质大学,2003.
- [4] 吴少波,白玉宝,刘勇,等. 银根盆地苏红图火山岩特征及其与油气的关系[J]. 西安石油学院学报,1998,13(6): 8-11.
- [5] 吴少波,白玉宝,杨友运. 银根盆地早白垩世火山岩特征及形成的大地构造环境[J]. 矿物岩石,1999,19(1): 24-28.
- [6] 张爱平. 内蒙古银额盆地查干凹陷构造特征及其与油气关系[D]. 北京:中国地质大学,2003.
- [7] 钟福平,钟建华,王毅,等. 银—额盆地苏红图坳陷早白垩世火山岩对阿尔金断裂研究的科学意义[J]. 地学前缘,2011,18(3): 233-240.
- [8] 钟福平,钟建华,由伟丰. 银—额盆地苏红图坳陷早白垩世火山岩幔源特征[J]. 地质学报,2011,85(12): 2003-2013.
- [9] 陈建平,王东良,秦建中,等. 银根—额济纳旗盆地原油的发现及其主要地球化学特征[J]. 地球化学,2001,30(4): 335-342.
- [10] 常丽华,曹林,高福红,等. 火成岩鉴定手册[M]. 北京:地质出版社,2009: 2-6.
- [11] 陈小雨,刘嘉麒,郭正府,等. 望天鹤火山岩地球化学特征及其成因[J]. 岩石学报,2008,24(11): 2576-2584.
- [12] Hofmann A W. Chemical differentiation of the Earth: The relationship between mantle, continental crust and oceanic crust [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1988, 90: 297-314.
- [13] Taylor S R, McLennan S M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. Oxford: Blackwell, 1985.
- [14] Rollison H R. 岩石地球化学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2000: 112-118.
- [15] 鄢全树,石学法,王昆山,等. 南海新生代碱性玄武岩主量、微量元素及 Sr-Nd-Pb 同位素研究[J]. 中国科学(D)辑,2008,38(1): 56-71.
- [16] Zindler A, Hart S R. Chemical Geodynamics [J]. *Ann Rev Earth and Planetary Science Letters*, 1986, 14: 493-571.
- [17] Cliff R A, Baker P E, Mather N J. Geochemistry of Inaccessible Island volcanic [J]. *Chem Geol*, 1991, 92: 251-260.
- [18] Tu Kan, Folwer M F J, Carlson R W. Sr, Nd, and Pb isotopic compositions of Hainan Basalts(south China): Implications for a subcontinental lithosphere Dupal source [J]. *Geology*, 1991, 19: 567-569.
- [19] McCullough M T, Jaques A L, Nelson D R, Lewis J D. Nd and Sr isotopes in kimberlites and lamproites from Western Australia: an enriched mantle origin [J]. *Nature*, 1984, 310: 198-202.
- [20] Hoernle K, Tilton G, Schmincke H U. Sr-Nd-Pb isotopic evolution of Gran Canaria: Evidence for shallow enriched mantle beneath the Canary Islands [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1991, 106: 44-56.
- [21] Song Y, Frey F A. Geochemistry of peridotite xenoliths in basalt from Hannuoba, Eastern China: Implications for subcontinental mantle heterogeneity [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1989, 53: 97-113.
- [22] Vidal P, Chauvel C, Brousse R. Large mantle heterogeneity beneath French Polynesia [J]. *Nature*, 1984, 307(9): 536-538.
- [23] Gerlach D, Cliff R, Davies G R. Magma sources of the Cape Verdes archipelago: Isotopic and trace element constraints [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1988, 25: 2979-2992.
- [24] Miller C, Schuster R, Klotzli U, et al. Distribution of titanium and the rare earth elements between peridotitic minerals [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1999, 110: 321-328.
- [25] Han B F, Wang S G, Kagami H. Trace element and Nd-Sr isotope constraints on origin of the Chifeng flood basalts, North China [J]. *Chemical Geology*, 1999, 155: 187-199.

- [26] 李毅, 吴泰然, 罗红玲, 等. 内蒙古四子王旗早白垩世钾玄岩的地球化学特征及其形成构造环境[J]. 岩石学报, 2006, 22(11): 2791-2800.
- [27] Wilson M. *Igneous Petrogenesis* [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [28] 韩文吟, 马振东. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [29] 刘燊, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 鲁西青山组火山岩形成的构造背景及其成因探讨: 主元素和微量元素证据[J]. 地球化学, 2003, 32(4): 306-316.
- [30] 孙林华, 王岳军, 范蔚茗, 等. 新疆巴楚辉绿岩岩脉的岩石成因和大地构造意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1369-1380.
- [31] Zhao X X, Che R S, Zhou Y X, et al. New paleomagnetic results from North China: Collision and suturing with Siberia and Kazakastan [J]. *Tectonophysics*, 1990, 181: 43-81.
- [32] 方大钧, 王朋岩, 沈忠悦, 等. 塔里木地块新生代古地磁结果及显生宙视极移曲线[J]. 中国科学(D)辑, 1998, 28(增刊): 90-96.
- [33] 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D)辑, 1998, 28(增刊): 1-16.
- [34] Huang B C, Otofujii Y, Yang Z, et al. New Silurian and Devonian palaeomagnetic results from the Hexi Corridor terrane, Northwest China and their tectonic implication [J]. *Geophys J Int*, 2000, 140(1): 132-146.
- [35] Zhao X, Coe R, Gilder S A, et al. Palaeomagnetism constrains on the palaeogeography of China: implications for Gondwanaland [J]. *Aust J Earth Sci*, 1996, 3: 643-672.
- [36] 任收麦, 朱日祥, 黄宝春, 等. 造山带内古地磁研究-以苏宏图早白垩世火山岩为例[J]. 中国科学(D)辑, 2002, 10: 799-804.
- [37] 万渝生, 伍家善, 耿元生. 碱性玄武岩形成的时限及其地质意义[J]. 地球学报, 1995, 16(4): 365-372.

Geochemistry Characteristics and Origin of Early Cretaceous Volcanic Rocks in Suhongtu Depression, Inner Mongolia, China

ZHONG Fu-ping^{1,2}, ZHONG Jian-hua^{3,4}, WANG Yi⁵, YOU Wei-feng⁵

(1. State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control, Hennan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

2. School of Safety Science & Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China;

4. Institute of Earth Resources and Information, University of Petroleum (East China), Dongying 257061, China;

5. Research Institute of Exploration and Development, China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100083, China)

Abstract: In the Early Cretaceous the volcanic activity was strong in the depression of Suhongtu in Inggeng-Ejin Qi basin. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age was $106.48 \pm 1.32 \sim 113.12 \pm 1.38$ Ma of the volcanic rocks through analysis test of the field samples. We analyzed the volcanic rocks' experimental data oxides, trace, REE and isotopic. Content of silica is $47.58\% \sim 56.28\%$, and the volcanic rocks are belong to potassic alkali basalt with Rittmann index value. Trace elements Ba, Nb, Ta, La and other large ion lithophile elements (LILE) and LREE are concentrated, with HREE losses and minor Sr loss. Under the conditions of MgO content is more than 4% incompatible elements Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, etc. With the abundance of a decrease in MgO content increased, while the compatible elements Sc, Ni, Co, Cr has a positive correlation with MgO, indicate that the early evolution of magma through a certain amount of olivine or clinopyroxene crystallization resulted in the separation of rising melt process or a high magma chamber has undergone a certain amount of mineral crystallization differentiation. The isotope $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios are changed in $0.705477 \sim 0.707098$ and $0.512318 \sim 0.512480$. In the Nd, Sr correlation diagram, the volcanic rocks of the Nd, Sr isotopic compositions close to the first category enriched mantle (EMI) end-member, and has the trend of extended to EM II shows the source region of volcanic rocks in this area mainly affected by EMI control, and the impact of the weak by the EMII, in addition, with the ϵ_{Nd} reduction, P_2O_5 , Rb, Sr, Ba, and Zr gradual accumulation, suggest that the volcanic rocks have not experienced significant crustal contamination of the material. In this period, the research area lithosphere was thinning period, with the lithospheric mantle thinning, account for the formation of pre-enrichment mantle asthenosphere upwelling quickly, in the upwelling process, the crustal material mixed dye rarely occurring, resulting in some decompression melting occurs. So the volcanic rocks in this area are the products of lithospheric thinning during early Cretaceous.

Key words: Inggeng-Ejin Qi Basin; Suhongtu depression; Early Cretaceous; basalt