

云南江城勐野井组细碎屑岩主量元素特征及其物源属性探讨

石海岩^{1,2} 马海州¹ 苗卫良^{1,2} 张西营¹ 李永寿^{1,2} 马茹莹^{1,2} 李雯霞¹ 何照^{1,2}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 一定的泥岩地球化学特征对应于特定的源区和构造环境, 利用主量元素图解可以进行盆地物源分析。通过对思茅盆地江城勐野井矿区含盐系勐野井组(K_2me)及其下伏扒沙河组(K_1p)泥、砂岩的主量元素地球化学特征分析, 并结合岩石薄片观察结果, 表明物源区母岩类型主要为长英质岩石; 通过 $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ 及 $K_2O/Na_2O - SiO_2/Al_2O_3$ 判别图分析, 认为源区的构造背景具有类似于被动大陆边缘的特征; 成分变异指数 ICV 、化学蚀变指数 CIA 表明研究区砂、泥岩物源区经受了较强的化学风化作用。

关键词: 思茅盆地; 勐野井组; 主量元素; 地球化学特征; 物源分析

中图分类号: P59; P58

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2014)01-0012-09

引言

在特定的大地构造背景下, 受板块位置及岩浆活动的控制, 沉积盆地同其相应物源通过沉积物相互关联, 一定的盆地通常接受特定源区的碎屑供应^[1-2], 因此盆地内的陆源碎屑在很大程度上反映了物源的特征^[3]。物源区母岩经过风化、剥蚀、搬运、成岩一系列物理、化学过程, 一些不稳定成分虽然遭到破坏, 但碎屑岩的地球化学成分仍然主要受物源区控制, 从而使得其地球化学特征同样也为判别其母岩区的岩性特征、大地构造环境及演化进程等问题提供了有力证据^[4]。

勐野井钾盐矿床位于云南兰坪、思茅拗陷带的南部, 该带地处藏滇印支地槽褶皱系中段, 点苍山、哀牢山断裂带以西, 澜沧江断裂带以东^[5]。区内发育有巨厚的中生代红色碎屑岩和含盐建造, 主要含盐层为晚白垩世勐野井

组(K_2me)。本文以江城勐野井矿区所获取的钻孔(SHK4孔)岩芯样品为研究对象, 主要通过勐野井组含盐系细粒碎屑沉积物的主量元素地球化学分析和室内岩石薄片镜下研究, 结合区域地质资料, 对江城勐野井矿区含盐系勐野井组的物源区岩石类型及物源区大地构造背景进行了探讨, 初步确定了其源区主要的物源属性。

1 区域地质概况

江城勐野井矿区位于云南思茅盆地的东南侧, 思茅盆地东西两侧分别为哀牢山和澜沧江隆起^[6], 盆地受哀牢山构造带和澜沧江构造带的夹持, 有大体相同发展史的北部兰坪盆地、昌都拗陷和南部老挝及泰国呵叻高原和本区处在同一条构造带上^[7]。其中西部的澜沧江隆起带有大片华力西晚期花岗岩体, 东部的哀牢山变质带中有广泛片麻岩出露; 沿拗陷的东西边

收稿日期: 2013-08-21; 修回日期: 2013-10-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“中国陆块海相成钾规律及预测研究”子课题“兰坪—思茅新生代残留盆地成钾条件、机理和后期演化”(2011CB403004); 中国科学院知识创新工程重要方向项目“云南兰坪—思茅成盐盆地古钾盐成矿规律研究”(KZCX2-YW-344)

作者简介: 石海岩(1987-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为钾盐沉积地球化学。

缘大断裂带出露石炭系、二叠系、三叠系等, 广泛发育有华力西、印支期的基性—酸性火山岩和火山沉积岩^[8-9]。盆地内断裂构造复杂, 规模较大的基底断层和后期断层对矿区地质或岩体有不同程度的影响^[6]。盆地内沉积了厚逾万米的中新生代地层, 由海相、海陆过渡相及陆

相堆积而成, 反映出滇西海进—海退过程^[10-11]。由于后期强烈构造运动的影响, 局部地区地层厚度变化较大, 甚至出现不同程度的地层缺失。区内发育的地层主要为碎屑岩沉积, 部分地区发育有灰岩^[10-11]。

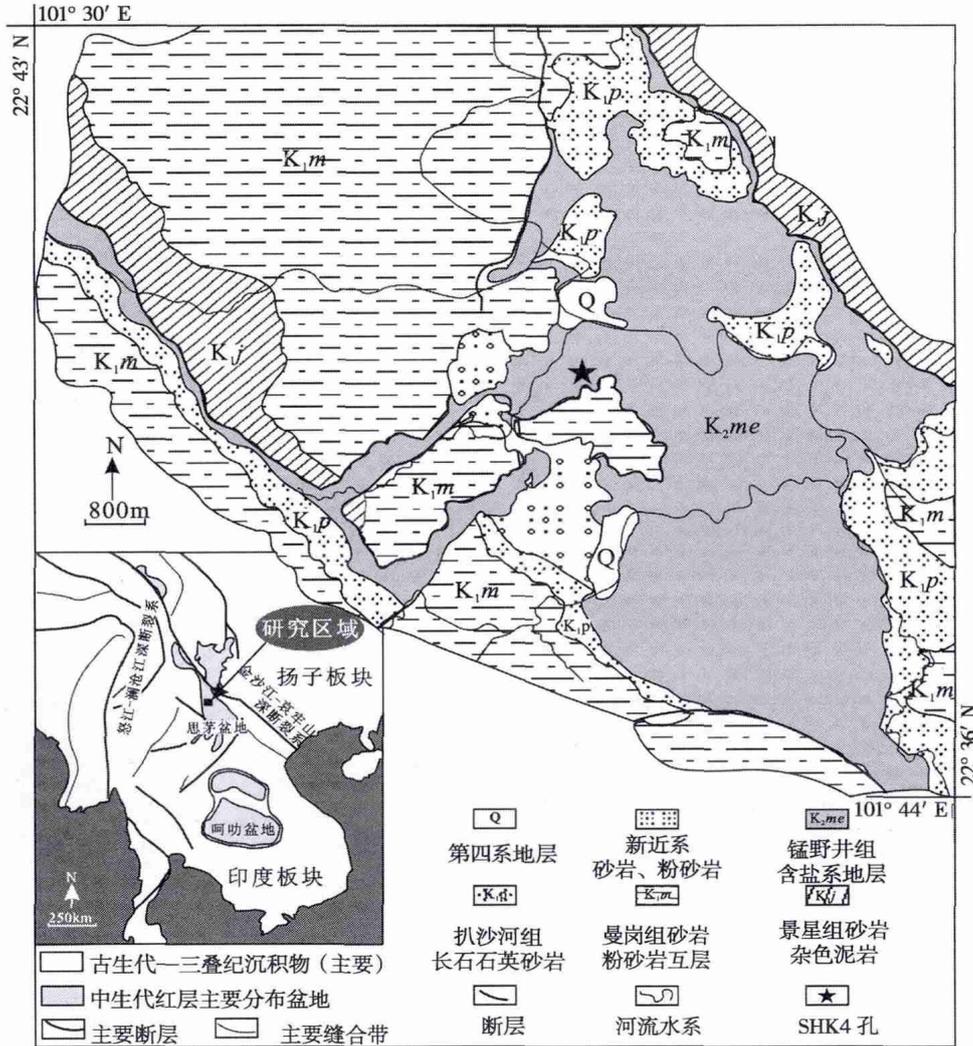


图 1 云南江城勐野井钾盐区域地形地质图(改自文献^[10])

Fig. 1 Topographic and geologic map of Mengyejing, Jiangcheng county, Yunnan province

SHK4 孔(22°40′58.39″N, 101°38′48.77″E) 位于江城勐野井矿区中部(图 1), 终孔深度 336.68 m, 自孔深 12.81 m 处开始进入勐野井组地层; 302.89 m 为勐野井组与下伏扒沙河组 (K_{1p}) 的不整合分界线。研究区因受构造运动与剥蚀作用的强烈叠加, 普遍缺失等黑组 (E_{2d}) 与勐腊组 (E_{3m}) 地层, 同时勐野井组地

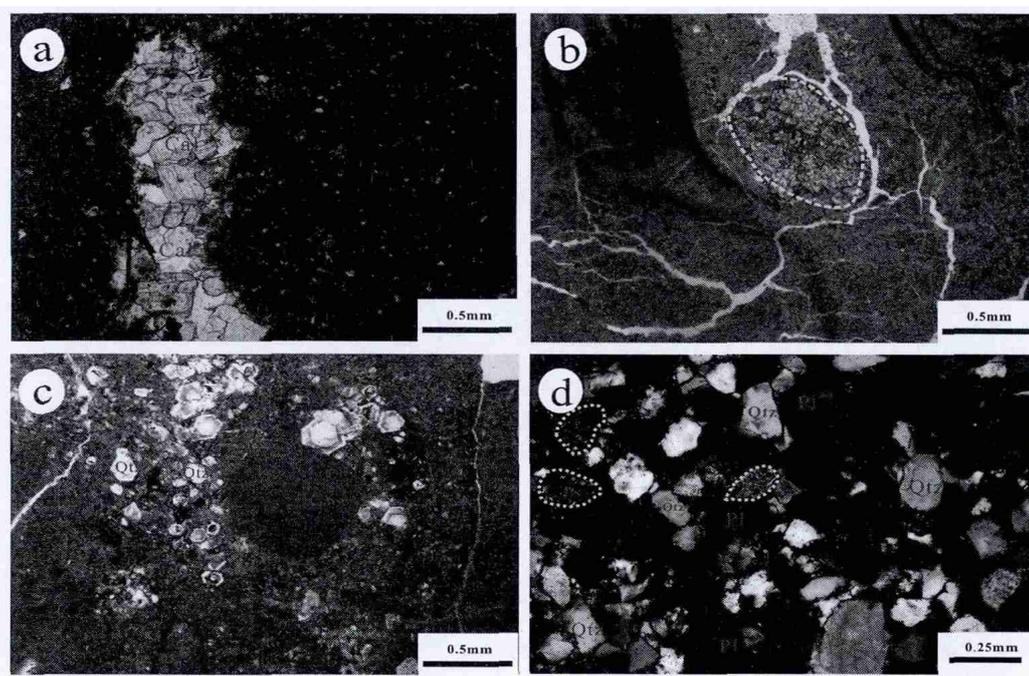
层上部也遭受了一定程度的剥蚀, 仅保留了含盐系底部地层, 并有第四系不整合覆盖其上。SHK4 孔剖面揭示了研究区勐野井组合盐系底部的成盐旋回, 且与下伏地层扒沙河组之间有一沉积间断期。勐野井组合盐系主要以盐岩类沉积(主要包括石盐、石膏和钾石盐) 和细粒碎屑岩为主, 构成碎屑岩—石膏—石盐—钾石

盐—石盐—石膏—碎屑岩的完整成盐旋回,其中钾石盐未单独成层,主要集中分布于泥砾质碎屑岩层的裂隙中。钻孔细粒碎屑岩层以泥岩为主,粉砂岩及细砂岩次之。整孔的碎屑岩层中均大量发育泥质、粉砂质泥砾成分,呈棕红色与灰绿色两种颜色不均匀分布,分选差且以次棱角状—棱角状产出,代表了近源物质输入的特征。

2 样品与测试

本文样品采自江城勐野井矿区 SHK4 孔岩

芯,该孔是研究区较完整打穿勐野井组并揭露扒沙河组上部地层的钻孔。按岩性特征来看,钻孔揭露的勐野井组可划分为 4 段,从上到下对应的编号为 M1、M2、M3、M4,将扒沙河组上段单独划分为一段,对应的编号为 P1。其中 M1,17~45 m 为淡化期,主要为紫红/灰绿色中厚层状泥砾岩;M2,47~70 m 为成盐期,灰绿色中厚层状含盐泥砾岩;M3,118~252 m 为成钾期,灰紫色厚层状泥砾质钾石盐;M4,257~302 m 为淡化期,为泥岩、砂岩,紫红色中薄层细粉砂岩;P1,302~312 m 为扒沙河组上部地层,灰色中薄层石英砂岩。



Qtz, 石英; Pl, 斜长石; Cal, 方解石; Ls, 沉积岩岩屑

图 2 钻孔 SHK4 样品薄片镜下特征

Fig. 2 Thin section characteristics of the samples by polarizing microscope from drilling core SHK4

从 SHK4 孔中选取代表性的样品 42 件,其中勐野井组 40 件,扒沙河组 2 件样品。对 42 件样品进行了常量元素含量分析及部分样品的岩矿薄片分析。常量元素分析是在同济大学海洋地质国家重点实验室中运用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)测试。为了尽量减少颗粒大小对化学成分的影响,通过湿筛过滤去除潜在的粗粒组分而选取 $<63 \mu\text{m}$ 的组分来代表全岩。过滤后样品经室温烘干后各称取 30 ~

40 mg 在 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烧制,用于计算烧失量(LOI)。经烧制后的样品在电热板上用 $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ 的混合溶液溶解,完全溶解后的样品用 2% 的稀硝酸稀释 1 000 倍用于测定主量元素。因测试过程中不能直接测定硅,数据中二氧化硅的浓度通过 100% 减去其它主量元素的浓度和烧失量获得。同步和重复测量的标样 GSR-5、GSR-6 和 GSD-9 结果显示所测的相对偏差小于 5%,为有效数据。岩矿分析在

中国科学院青海盐湖研究所用 Cal Zeiss 偏光显微镜 Axioskop 40 完成。

3 碎屑岩岩相学特征

勐野井组岩矿薄片分析表明,泥岩成分较为复杂,含有较多的碳酸盐类矿物(图 2a)及沉积岩岩屑(图 2b);泥岩中分布有颗粒较粗、大小混杂、磨圆较差、呈次棱角一次圆状分布的石英颗粒(图 2c),反映勐野井组近源沉积的特征。此外样品含少量黑云母及锆石,其中黑云母是一种易风化的矿物,它得以保存进一步表明勐野井组泥岩可能经历了相对近源或较为快速的沉积成岩过程。扒沙河组砂岩为中—细粒陆源碎屑结构,碎屑以石英为主,其次为沉积岩岩屑及少量的长石(图 2d),长石表面比较粗糙,风化严重。

4 主量元素地球化学特征及讨论

4.1 主量元素分析

研究区勐野井组细碎屑岩及扒沙河组两件砂岩样品的主量元素分析结果见表 1。澳大利亚后太古宇页岩(PAAS)被认为代表了上地壳的平均化学成分,可以用它作为一个重要的地球化学标准来分析样品的地球化学特征^[12]。从表 1 中可以看出,勐野井组样品中 SiO_2 质量分数较高,为 54.62% ~ 70.13%,平均值为 63.78%; Al_2O_3 次之,为 14.68% ~ 18.56%,平

均值为 16.38%; Fe_2O_3 为 3.73% ~ 6.16%,平均值为 5.02%。样品中 TiO_2 、 P_2O_5 的平均值与 PAAS 有相近的含量;其余主量元素的平均值与 PAAS 相比,具有富集 SiO_2 、 MgO 、 K_2O ,贫 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 和 MnO 的特征。将 SHK4 孔样品主量元素用澳大利亚后太古宇页岩(PAAS)数据标准化,按成盐期次做出各段主量元素平均含量 PAAS 标准化蛛网图(图 3),其中勐野井组(M1、M2、M3、M4)4 段主量元素含量曲线走势基本相似,成盐期与淡化期无明显区别,整体表现为富 MgO ,贫 MnO 、 CaO 、 Na_2O 和 P_2O_5 ,而 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 K_2O 与 PAAS 相差不多,基本一致。而扒沙河组除 SiO_2 和 CaO 与 PAAS 基本一致外,其余元素相比与 PAAS 是亏损的。

4.2 物源区性质分析

微量元素 Th、Sc 和高场强元素 Co、Cr 在水中停留时间短,几乎全部进入了沉积物中,这些相容和不相容元素的比例能够区分泥岩和砂岩中长英质、铁镁质来源的成分^[12-13]。Taylor 等^[12]的研究表明,Th/Sc 比值是最适合于用来判别物源区性质的指标之一。勐野井组细碎屑岩的 $w(\text{Th})/w(\text{Sc})$ 比值变化范围不大,在 1.04 ~ 1.85 之间,平均值为 1.46;扒沙河组两个砂岩样 $w(\text{Th})/w(\text{Sc})$ 比值分别为 1.36 和 1.26,平均 1.31。SHK4 孔样品略高于上地壳的 $w(\text{Th})/w(\text{Sc})$ (0.75),但远远高于下地壳的 $w(\text{Th})/w(\text{Sc})$ (0.04),表明勐野井组和扒沙河组源区物质以长英质为主。

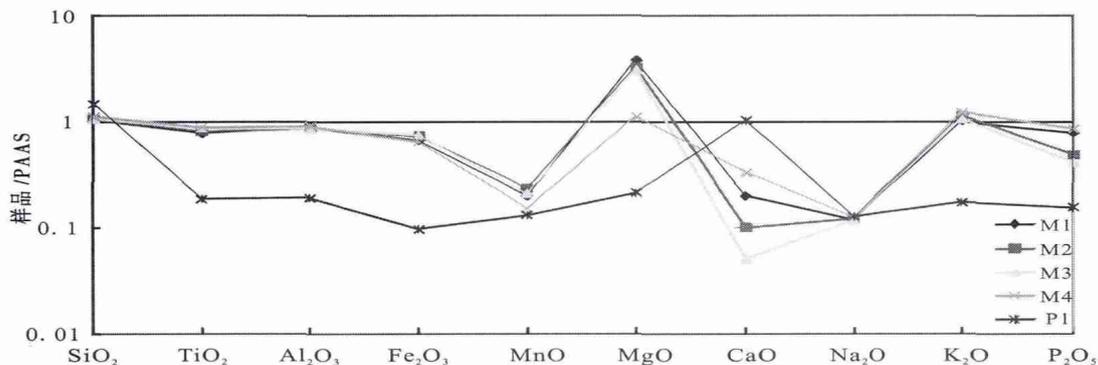


图 3 钻孔 SHK4 样品主量元素平均含量 PAAS 标准化蛛网图

Fig. 3 The average major elements each formation normalized against PAAS of the samples from drilling core SHK4

表 1 SHK4 孔样品全岩常量元素化学分析及其 LOI、CIA、ICV、CIW 值

Table 1		Whole rock chemical analysis and LOI, CIA, ICV, CIW values of the samples from drilling core SHK4												w/%		
地层	样号	岩性	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	LOI	CIA	ICV	CIW
	A1	泥岩	14.68	1.64	5.16	4.82	5.49	0.03	0.13	0.21	0.71	64.92	2.20	72.06	1.27	96.95
	A2	泥岩	15.83	0.06	5.57	5.92	4.34	0.03	0.14	0.02	0.77	65.51	1.80	70.48	1.02	98.73
	A3	泥岩	18.56	0.05	4.25	2.83	9.99	0.01	0.18	0.14	0.71	60.07	3.20	87.55	1.52	102.38
	A4	泥岩	17.76	0.05	4.31	1.94	15.44	0.02	0.12	0.28	0.80	54.62	4.66	96.14	2.33	108.48
	A5	泥岩	16.22	0.05	4.81	4.73	4.64	0.02	0.13	0.03	0.83	66.47	2.06	75.56	0.99	99.34
	A6	泥岩	15.34	0.05	4.69	2.95	9.96	0.02	0.13	0.09	0.70	63.54	2.53	83.84	1.87	101.58
	A7	泥岩	16.85	0.06	3.73	2.37	11.78	0.02	0.14	0.15	0.78	62.43	1.69	89.39	1.93	103.50
	A8	泥岩	15.87	0.07	5.49	3.87	6.13	0.02	0.14	0.08	0.80	57.56	9.97	79.47	1.25	100.60
	A9	泥岩	16.84	0.05	3.79	2.42	11.70	0.02	0.14	0.12	0.78	61.91	2.22	88.43	1.93	102.55
	A10	泥岩	15.83	0.37	5.33	4.47	4.93	0.03	0.13	0.10	0.79	67.36	0.64	75.58	1.08	98.34
	A11	泥岩	15.95	0.06	5.45	5.11	4.57	0.03	0.15	0.02	0.80	67.01	0.85	73.34	1.03	98.46
	A12	泥岩	15.75	0.15	5.59	4.65	4.77	0.03	0.15	0.05	0.79	67.75	0.31	74.86	1.07	98.47
	A13	泥岩夹石膏	16.66	0.13	4.85	3.07	11.63	0.03	0.15	0.11	0.77	58.20	4.41	84.18	1.99	101.20
	A14	泥砾岩	16.33	0.06	5.06	4.18	6.47	0.02	0.14	0.05	0.82	63.92	2.94	78.14	1.26	99.80
	A15	泥岩夹泥砾	16.87	0.18	5.47	2.69	12.00	0.02	0.13	0.17	0.74	57.28	4.43	87.34	2.03	102.89
	A16	泥岩	15.91	0.11	4.85	4.57	7.15	0.02	0.13	0.09	0.78	63.46	2.93	76.62	1.39	100.69
勐	A17	含盐泥岩	16.08	0.07	6.03	5.39	4.33	0.02	0.15	0.02	0.84	64.87	2.20	72.58	1.01	98.66
	A18	含盐泥岩	16.22	0.11	5.82	5.26	4.84	0.03	0.16	0.05	0.85	64.18	2.49	73.55	1.07	99.25
野	A19	含盐泥岩	15.21	0.09	4.59	5.13	4.40	0.02	0.15	0.02	0.86	67.15	2.39	72.16	1.03	98.06
	A20	含泥砾钾盐岩	16.12	0.06	5.12	4.27	7.62	0.02	0.13	0.06	0.85	62.50	3.25	77.69	1.46	100.04
井	A21	含泥石盐岩	16.40	0.07	4.93	3.64	8.41	0.02	0.15	0.05	0.87	61.99	3.47	80.35	1.55	99.65
	A22	泥砾钾盐岩	17.31	0.05	6.09	3.27	9.92	0.02	0.14	0.11	0.73	58.49	3.86	84.23	1.70	101.81
组	A23	含泥砾石盐岩	15.25	0.07	5.25	3.29	8.88	0.02	0.13	0.06	0.87	61.81	4.38	81.08	1.76	100.05
	A24	泥砾钾盐岩	14.84	0.06	5.58	3.44	6.80	0.02	0.14	0.05	0.85	65.23	3.00	79.74	1.47	99.72
	A25	含泥砾石盐岩	16.56	0.07	6.16	4.06	5.60	0.02	0.14	0.11	0.90	63.19	3.18	80.17	1.14	101.94
	A26	泥砾岩	15.36	0.06	5.39	3.91	6.40	0.02	0.13	0.07	0.82	63.90	3.94	78.76	1.33	100.64
	A27	含盐泥砾岩	16.87	0.06	5.28	4.19	6.66	0.02	0.13	0.06	0.85	62.56	3.31	78.82	1.25	100.07
	A28	含泥砾石盐岩	15.50	0.06	5.37	3.93	6.31	0.02	0.14	0.04	0.92	64.27	3.43	78.10	1.33	99.46
	A29	含盐泥岩	16.84	0.07	5.13	4.10	5.72	0.02	0.14	0.07	0.86	63.88	3.18	79.35	1.11	100.37
	A30	泥岩	15.82	0.06	5.12	3.85	5.96	0.02	0.13	0.07	0.85	64.86	3.27	79.47	1.22	100.55
	A31	泥岩	15.49	0.06	5.25	3.76	5.94	0.02	0.13	0.10	0.80	65.12	3.31	80.26	1.23	101.79
	A32	泥砾岩	15.91	1.78	4.46	5.08	4.41	0.03	0.14	0.11	0.78	63.45	3.84	72.61	0.98	97.04
	A33	含盐泥岩	16.89	0.09	5.22	4.35	4.63	0.02	0.13	0.14	0.84	64.60	3.07	80.00	0.92	103.07
	A34	泥岩	16.82	0.06	5.09	4.89	2.14	0.02	0.15	0.10	0.89	66.17	3.67	76.97	0.56	101.66
	A35	泥岩	18.24	0.08	4.74	4.52	1.88	0.01	0.16	0.17	0.93	65.78	3.49	81.02	0.45	103.61
	A36	泥岩	15.71	0.07	4.54	4.01	1.54	0.01	0.14	0.10	0.90	70.13	2.84	79.36	0.48	101.73
	A37	泥岩	18.32	0.42	3.39	4.30	1.63	0.01	0.14	0.13	0.91	66.51	4.24	79.06	0.40	99.01
	A38	泥砾岩	17.21	0.13	4.45	5.23	1.74	0.01	0.14	0.16	0.84	66.94	3.16	77.03	0.45	103.24
	A39	泥岩	18.20	0.11	4.86	4.07	1.61	0.02	0.16	0.14	0.87	65.84	4.13	81.79	0.42	102.01
	A40	泥砾岩	16.74	1.10	4.45	4.00	2.21	0.02	0.17	0.15	0.86	65.67	4.62	77.25	0.59	96.60
扒沙	A41	砂岩	3.69	1.92	0.74	0.68	0.41	0.02	0.14	0.03	0.20	90.45	1.73	75.14	0.59	88.45
河组	A42	砂岩	3.45	0.72	0.64	0.58	0.51	0.01	0.16	0.02	0.16	91.70	2.04	74.48	0.69	86.09
	PAAS ^[13]		18.88	1.29	7.18	3.68	2.19	0.11	1.19	0.16	0.99	62.4				

微量元素 Cr 和 Zr 主要反映铬铁矿和锆石的含量,其比值可以反映镁铁质与长英质物质对沉积物的相对贡献^[15]。SHK4 孔砂、泥岩所有样品的 $w(\text{Cr})/w(\text{Zr})$ 的比值均小于 1,其中勐野井组细碎屑岩变化范围在 0.33 ~ 0.52 之间,平均值为 0.44,扒沙河组砂岩该比值分别

为 0.57 和 0.35,平均 0.46,均表明物源区以长英质岩石为主。

$w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 也可以用来确定细碎屑岩源区岩石的成分,粘土矿物和长石的 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值就存在明显的差别。在碱性长石中 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值为 0.4 ~ 1,

在伊利石中大约为 0.3, 在其它粘土矿物中则接近于 0^[15]。Cox 等^[15]的研究表明, 当泥质岩中 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值大于 0.5 时, 表明母岩中具有相当数量的碱性长石; $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值小于 0.4 时, 说明母岩中只含有少量的碱性长石。SHK4 孔勐野井组泥岩的 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 在 0.11 ~ 0.37 之间, 平均值为 0.25, 小于 0.4, 因此母岩中碱性长石的含量较低。

Girty 等^[16]认为, 沉积物中 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$ 值小于 14 时, 沉积物物源可能来源铁镁质岩石; 而 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$ 值在 19 ~ 28 之间时, 物源可能来自于安山质和流纹质(或者花岗闪长质和英云闪长质)岩石^[16]。研究区勐野井组细碎屑岩样品的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$ 值都在 16.81 ~ 26.99 之间, 平均值为 19.99, 表明其物源主要为长英质岩石, 而非铁镁质岩石; 扒沙河组两个样品该比值分别为 18.56 和 20.94, 平均 19.75, 同样表明其物源主要为长英质岩石。

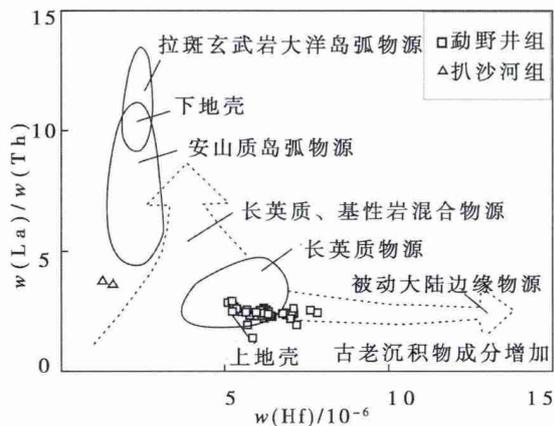


图 4 钻孔 SHK4 样品物源属性判别图(底图据文献^[17])

Fig. 4 Discrimination diagram for provenance attribute of the samples from drilling core SHK4

综上所述 $w(\text{Th})/w(\text{Sc})$ 、 $w(\text{Cr})/w(\text{Zr})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$ 的变化情况均表明 SHK4 孔勐野井组细碎屑岩和扒沙河组砂岩物源区以长英质岩石为主。Floyd 等^[17]利用微量元素的 $w(\text{Hf})-w(\text{La}/\text{Th})$ 判别图(图 4)来反映物源区的情况, 并且将源区更

加细分^[17-18]。在图 4 中勐野井组 40 个样品落在长英质源区并接近大陆上地壳的物质组分。微量元素 $w(\text{Hf})-w(\text{La}/\text{Th})$ 图解与以上根据元素对比值得出的结果也基本一致(表 2)。

4.3 化学蚀变及风化作用指标

物源区母岩中所含不稳定的元素氧化物(CaO 、 Na_2O 、 K_2O 和 MgO)和相对稳定的元素氧化物(Al_2O_3 、 ZrO_2 、 TiO_2) 在母岩遭受风化作用或是成岩过程中的化学交代作用后其含量会发生明显的变化^[19], 所以在对盆地沉积物的研究中, 经常通过一些指数, 如成分变异指数 ICV(index of compositional variability)、化学蚀变指数 CIA(chemical index of alteration)和化学风化作用指数 CIW(chemical index of weathering)来判断母岩的古风化强度和化学蚀变强度^[15 20-23]。风化作用使得不稳定的元素氧化物(CaO 、 Na_2O 、 K_2O)丢失, 而相对稳定的元素氧化物(Al_2O_3)相对增加, 所以 CIA 值的增加反映了风化强度的增加^[24]。

地层中细碎屑岩的再循环沉积会改变其原始成分, 因此本文采用成分变异指数 ICV 来判断物源区物质是否经历再循环沉积。成分变异指数定义为 $\text{ICV} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}^* + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3$ ^[15], 主要成分指摩尔分数, CaO^* 为硅酸盐中的 CaO 。当 ICV 值大于 1 时, 表明其含粘土矿物较少, 属构造活动时期的初始沉积; 当 ICV 值小于 1 时, 表明其含较多粘土矿物, 可能经历了再沉积作用或是强烈风化条件下的初始沉积^[25-26]。本研究中计算的 ICV 值绝大多数大于 1, 表明样品几乎未受到再沉积作用的影响, 代表构造活动的首次沉积, 因而其 CIA 值是原始沉积的真实记录。从深度 257 ~ 302 m 对应的样品 A32 到 A40, 其 ICV 值小于 1。扒沙河组两个样品的 ICV 值也小于 1。当 ICV 值 < 1 时则表明沉积物中有大量粘土矿物, 代表可能是经历了再沉积或强化学风化条件下的首次沉积, 由于样品时代较新, 可能是代表了强化学风化条件下的首次沉积。

表 2 SHK4 孔样品微量元素地球化学分析数据

Table 2		The geochemical trace element data of the samples from drilling core SHK4							$\mu\text{g/g}$
地层	样号	Th	Sc	Co	Cr	Zr	Hf	La	
	A1	11.15	10.32	11.03	69.73	152.06	5.11	31.80	
	A2	13.67	10.47	12.12	68.98	179.27	5.90	31.29	
	A3	20.66	11.20	3.06	55.73	166.40	5.84	28.55	
	A4	14.21	13.61	6.86	74.05	165.00	5.52	35.08	
	A5	13.22	10.77	8.25	79.85	153.42	5.28	35.54	
	A6	12.89	9.09	5.28	73.78	154.30	5.23	37.54	
	A7	13.09	12.37	6.89	78.46	158.11	5.36	33.94	
	A8	13.17	11.21	8.68	79.79	180.50	6.19	34.74	
	A9	13.39	12.40	6.54	78.97	152.19	5.24	33.13	
	A10	13.49	11.52	9.88	76.30	176.55	6.18	34.86	
	A11	13.92	10.39	10.23	76.03	161.25	5.69	26.78	
	A12	13.72	10.98	11.13	74.08	168.54	6.22	33.38	
	A13	15.27	11.65	11.24	77.89	163.35	5.75	35.43	
	A14	14.09	10.49	9.13	77.74	159.66	5.67	35.94	
	A15	14.80	12.08	5.97	75.94	158.96	5.64	36.32	
勐	A16	14.51	10.03	9.83	72.60	179.73	6.33	33.56	
	A17	13.82	10.53	12.41	76.31	176.65	6.44	31.35	
	A18	14.41	11.07	16.51	74.79	162.46	6.20	31.70	
野	A19	13.50	9.95	11.72	74.71	185.07	6.86	32.76	
	A20	15.38	9.91	7.60	75.85	185.06	6.86	36.08	
	A21	16.16	10.25	6.65	75.95	169.91	6.38	37.23	
井	A22	16.58	10.57	5.12	70.84	161.83	6.15	40.47	
	A23	14.26	10.21	5.62	73.20	167.12	6.32	33.96	
	A24	14.59	9.41	7.03	72.80	165.24	6.26	37.12	
组	A25	16.96	11.16	5.73	81.96	206.20	7.82	41.21	
	A26	15.18	9.50	5.58	72.96	161.35	6.07	38.39	
	A27	21.98	9.95	6.45	71.72	187.39	7.20	42.44	
	A28	14.85	9.85	7.37	75.05	177.50	6.75	35.63	
	A29	16.35	10.33	6.04	79.88	167.89	6.28	39.22	
	A30	15.58	10.10	6.57	74.77	190.19	7.11	37.27	
	A31	15.45	9.20	5.43	71.30	185.74	7.04	36.49	
	A32	16.45	9.24	6.08	67.04	157.95	6.12	38.02	
	A33	15.51	10.34	5.50	76.66	155.09	5.95	37.84	
	A34	18.28	10.00	1.95	80.45	189.35	7.09	47.75	
	A35	19.39	10.72	0.53	80.87	183.62	6.99	42.24	
	A36	16.10	9.21	0.55	72.08	204.78	7.62	40.81	
	A37	16.24	9.97	1.21	70.21	167.96	6.33	40.22	
	A38	14.56	10.12	1.80	71.28	168.70	6.38	33.59	
	A39	17.39	11.39	3.65	86.01	163.43	6.19	41.84	
	A40	15.63	10.58	3.99	75.39	167.01	6.32	37.16	
扒沙	A41	2.73	2.01	0.73	20.28	35.78	1.27	10.50	
河组	A42	2.48	1.97	2.22	15.75	45.40	1.52	8.94	
	上地壳 ^[14]	10.5	14.0	17.3	92.00	193.00	5.30	31.00	
	下地壳 ^[14]	1.20	31.00	38.00	215.00	68.00	1.90	8.00	

化学蚀变指数 CIA 的表达式为, $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$ 。主要成分指摩尔分数。 CaO^* 为硅酸盐中的 CaO, 即全岩中的 CaO 扣除掉化学沉积的 CaO

的摩尔分数。对于 CaO^* 的计算和校正, McLennan 等提出, $\text{CaO}^* = \text{CaO} - (10/3 \times \text{P}_2\text{O}_5)$, 且如果校正后的 CaO 摩尔数小于 Na_2O 的摩尔数, 则采用校正后的 CaO 摩尔数作为 CaO^* 的摩尔

数;反之,则采用 Na_2O 的摩尔数作为 CaO^* 的摩尔数^[27]。勐野井组细碎屑岩的 CIA 值为 70~96;平均为 79;扒沙河组砂岩的 CIA 值分别为 75、74;总体 SHK4 孔样品这一值偏高反映研究区砂、泥岩物源区经受的风化作用较强。

数据显示勐野井组样品的 K_2O 含量为 1.94~5.92,平均为 4.06,高于上地壳平均值 2.80。同时也高于 PAAS 平均值 3.68。大量研究表明,由于钾的交代作用使得钾元素在沉积

物中要比其在物源区母岩中更为富集^[24], Harnois^[22]引入了化学风化作用指数 $\text{CIW} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3) \times 100]$ 来判断钾交代现象。分析数据显示,勐野井组细碎屑岩呈现很高的 CIW 值(96.60~108.48),平均值为 100.60;扒沙河组砂岩的 CIW 值分别为 88.45 和 86.09,平均为 87.30,表明勐野井组细碎屑岩源区母岩较扒沙河组砂岩源区母岩有富钾的特征。

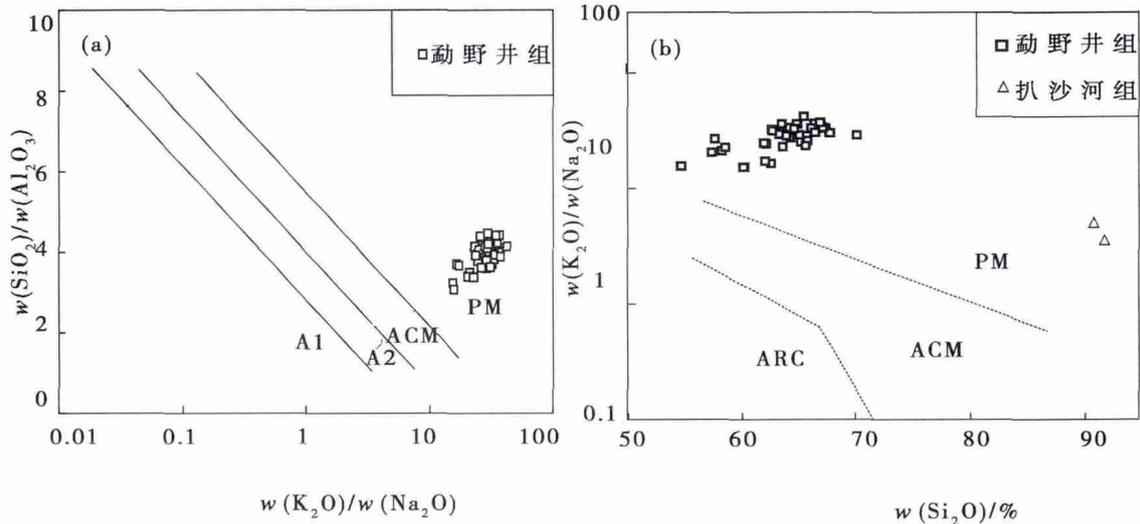


图 5 SHK4 孔样品主量元素对构造背景的指示(底图据文献^[28])

Fig. 5 The indication of major elements in the samples from drilling core SHK4 depression to tectonic setting

4.4 构造背景判别

碎屑沉积岩的地球化学特征主要取决于其组成成分,而成分与其物源和大地构造环境有着非常密切的关系。构造背景对物源具有一定的控制作用,沉积物的化学组成记录了成岩过程中构造活动变化情况,因此沉积岩的成分对恢复物源区构造背景发挥着重要作用。Roser 和 Korsch^[28]通过对世界不同地区已知构造背景的古砂岩、泥岩与现代砂泥质沉积物的常量元素特征的研究,认为 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 是反映构造环境最有效的指标,并总结出了砂岩和泥岩的构造背景判别图。在 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 图(图 5a)中,研究区勐野井组泥岩样品都落在被动大陆边缘一侧,表明勐野井组细碎屑岩物源区具有被动大陆边缘的构造背景。主量元素 $w(\text{SiO}_2)-$

$w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 判别图解(图 5b)也指示了勐野井组细碎屑岩与扒沙河组砂岩样品均具有被动大陆边缘的特点。以上两种判别图解的结果一致。

5 结 论

研究区勐野井组泥岩成分较复杂,含有较多的碳酸盐岩类矿物及沉积岩岩屑,泥岩中含颗粒较粗、大小不一的石英颗粒,反映了近源沉积的特征。扒沙河组砂岩碎屑成分多以石英为主,其次为岩屑,含少量长石,成分成熟度和结构成熟度均较高。研究区主量元素及其元素比值和相关判别图解表明了勐野井组细碎屑岩与扒沙河组砂岩的物源主要来自于长英质岩区,而非是铁镁质岩区;主量元素判别图解显示了晚白垩世勐野井组细碎屑沉积物和早白垩世扒

沙河组砂岩均形成于被动大陆边缘构造背景。

成分变异指数 ICV、化学蚀变指数 CIA 表明研究区砂、泥岩物源区经受了较强的化学风化作用; 化学风化作用指数 CIW 说明勐野井组泥岩较扒沙河组砂岩具有富钾的特征。

参考文献:

- [1] Dickinson W R , Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin , 1979 , 63(12) : 2164 - 2182.
- [2] 陈汉林 杨树锋 王清华 等. 塔里木板块早—中二叠世玄武岩浆作用的沉积响应 [J]. 中国地质 , 2006 , 33 (3) : 545 - 552.
- [3] 杨江海 杜远生 徐亚军 等. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析 [J]. 中国地质 , 2007 , 34(6) : 1032 - 1044.
- [4] Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation , Presentation , Interpretation [M]. London: Longman Scientific , Technical Press , 1993: 1 - 352.
- [5] 许效松 吴嘉陵. 云南勐野井钾盐矿床特征 , 微量元素地球化学及成因探讨 [J]. 中国地质科学院院报 , 1983 , 5(1) : 7 - 33.
- [6] 云南省地质局第十六地质队. 云南省江城勐野井钾盐矿区详细勘探地质报告 [M]. 1980 , 1 - 230.
- [7] 云南省地质局钾盐地质科学研究队编. 云南思茅地区钾盐地质研究论文集 [R]. 昆明: 云南省地质局 , 1980.
- [8] 肖章程 黄和旺. 云南省思茅盆地固体钾盐矿成矿物质来源 [J]. 中国西部科技 , 2009 , 8(23) : 9 - 11.
- [9] 陈跃昆 廖宗廷 魏志红 等. 兰坪—思茅中生代盆地的特征及构造演化 [J]. 石油实验地质 , 2004 , 26(3) : 219 - 228.
- [10] 郑智杰 尹宏伟 张震 等. 云南江城勐野井盐类矿床 Sr 同位素特征及成盐物质来源分析 [J]. 自然科学 , 2012 , 48(6) : 719 - 727.
- [11] 郑智杰. 勐野井矿区盐物质来源及成盐时代研究 [D]. 南京大学: 2012.
- [12] Taylor S R , McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution [M]. Oxford: Blackwell , 1985 , 1 - 312.
- [13] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [J]. Reviews in Mineralogy , 1989 , 21: 169 - 200.
- [14] Rudnick R L , Gao S. Composition of the continental crust [J]. Treatise on Geochemistry 2003 , 3: 1 - 64.
- [15] Cox R , Low D R , Cullers R L. The Influence of Sediment Recycling and Basement Composition on Evolution of Mudrock Chemistry in the Southwestern United States [J]. Geochim Cosmochim Acta , 1995 , 59(14) : 2919 - 2940.
- [16] Girty G H , Ridge D L , Knaack C. Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite , Sierra Nevada , California [J]. Journal of Sedimentary Research , 1996 , 66 (1) : 107 - 118.
- [17] Floyd P A , Leveridge B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho Basin , south Cornwall: Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones [J]. Journal of the Geological Society , London , 1987 , 144: 531 - 542.
- [18] 李双建 王清晨. 库车坳陷第三系泥岩地球化学特征及其对构造背景和物源属性的指示 [J]. 岩石矿物学杂志 , 2006 , 25(3) : 219 - 229.
- [19] Johnson M J. The System Controlling the Composition of Clastic Sediments [C] // Johnson M J , Basu A , Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments [S. l.]: Geol Soc Am Spec Paper , 1993: 1 - 19.
- [20] Fedo C M , Nesbitt H W , Young G M. Unraveling the Effects of Potassium Metasomatism in Sedimentary Rocks and Paleosols , with Implications for Weathering Conditions and Provenance [J]. Geology , 1995 , 23(10) : 921 - 924.
- [21] Nesbitt H W , Young G M. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites [J]. Nature , 1982 , 299: 715 - 717.
- [22] Harnois L. The CIW Index: A new Chemical Index of Weathering [J]. Sedimentary Geology , 1988 , 55(3 - 4) : 319 - 322.
- [23] Nesbitt H W , Young G M. Formation and Diagenesis of Weathering Profiles [J]. Journal of Geology , 1989 , 97(2) : 129 - 147.
- [24] Nesbitt H W , Young G M. Prediction of Some Weathering Trends of Plutonic and Volcanic Rocks Based on Thermodynamic and Kinetic Considerations [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 1984 , 48(7) : 1523 - 1534.
- [25] Cullers R L , Podkovyrov V N. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia , Russia: Implications for mineralogical and provenance control , and recycling [J]. Precambrian Research , 2000 , 104: 77 - 93.
- [26] Cullers R L , Podkovyrov V N. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group , southeastern Russia [J]. Precambrian Research , 2002 , 117: 157 - 183.
- [27] Mc L , Scott M. Weathering and Global Denudation [J]. The Journal of Geology , 1993 , 101: 295 - 303.
- [28] Roser B P , Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O / Na₂O ratio [J]. Journal of Geology , 1986 , 94(5) : 635 - 650.

(下转第 26 页)

Sedimentary Characteristics and Migration-transformation Laws of the Mercury Ore Marine Deposit in Guizhou Province

LU Da-lei ,CHEN Xiao-hu

(*College of Materials and Metallurgy , Guizhou University , Guiyang 550025 ,China*)

Abstract: Using the X-ray diffraction(XRD) and electron probe microanalysis(EPMA) to study the sedimentary characteristics of mercury ore , analyzing the law of mercury migration-transformation. Characterizations show that ore types consist of dolomite , calcite , powellite , cinnabar , calcium molybdate and a small amount of polonium; the mercury ore has compact structure and takes on bundled and fissured state; mercury is dominated by oxidized ores with the addition of trace amounts of elemental mercury , whose content is 0. 15% (by the mercury) approximately. A series of ligands , organic substances , inorganic particulate matters and clay minerals absorb mercury from the water and soil environments so as to formulate organic mercury(as methyl mercury) , a portion of mercury turn into the atmosphere.

Key words: Sedimentary; Mercury ore; EPMA; Occurrence; Migration-transformation

(上接第 20 页)

Characteristics and Provenance of Major Elements from Clastic Rocks of Mengyejing Formation in Jiangcheng , Yunnan , China

SHI Hai-yan^{1 2} , MA Hai-zhou¹ , MIAO Wei-liang^{1 2} , ZHANG Xi-ying¹ , LI Yong-shou^{1 2} ,
MA Ru-ying^{1 2} , LI Wen-xia¹ , HE Zhao^{1 2}

(1. *Qinghai Institute of Salt Lakes , Chinese Academy of Sciences , Xining 810008 , China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences , Beijing , 100049 , China*)

Abstract: A certain geochemical characteristics of the mudstones corresponding to the particular provenance and tectonic environments , and the basin provenance can be analyzed by major element diagrams. The analysis results of geochemical characteristics of major elements from the mudstones and sandstones from Mengyejing formation and pashahe formation in Simao Basin , combined with the observed results of rock slice show that the source rocks are mainly felsic. According to $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ diagrams , the author thinks that the tectonic setting of provenance has the similar characteristics of passive continental margin. CIA value and ICV value show that the source area has experienced a strong chemical weathering.

Key words: Simao basin; Mengyejing formation; Major element; Geochemical characteristics; Provenance analysis