

青海柴达木盆地马海凹陷冷湖地区 古—新近系泥岩地球化学特征及物源区性质

崔庆岗,杜小亮,孟令华,周龙涛

(中化地质矿山总局山东地质勘查院,山东泰安 271000)

摘要:为了明确柴达木盆地马海凹陷沉积物物源的演化过程,以古—新近系泥岩的主要元素、微量元素和稀土元素测试数据为基础,采用数值对比及判别图解等方法对研究区物源性质、构造背景和古气候特征进行了深入研究。稀土元素分布配分形式显示轻稀土元素富集,重稀土元素则较平稳, Eu 出现负异常的特征。 $V/(V+Ni)$, Ce/La 比值及 Ce_{anom} 表明古环境处于缺氧环境;构造背景图解 $La/Yb - \sum REE$, $La/Sc - Co/Th$, $K_2O/Na_2O - SiO_2/Al_2O_3$, $La - Th - Sc$, $Th - Sc - Zr/10$ 表明马海凹陷冷湖地区泥岩处于活动大陆边缘和大陆岛弧环境;母岩物源复杂,岩性为长英质火山岩和铁镁质岩均可见;古气候指标 CAI 及 Sr/Cu 比值反映了源区古气候主要为干热气候或构造活动区,风化程度较弱。

关键词:古—新近系;地球化学特征;物源分析;马海凹陷;柴达木盆地;青海省

中图分类号:P596

文献标识码:A

引文格式:崔庆岗,杜小亮,孟令华,等.青海柴达木盆地马海凹陷冷湖地区古—新近系泥岩地球化学特征及物源区性质[J].山东国土资源,2016,32(4):32-39. CUI Qinggang, DU Xiaoliang, MENG Linghua, etc. Geochemical Characteristics and Its Provenance Nature of Paleogene—Neogene Mudstone of Lenghu Area in Mahai Sag of Qaidam Basin in Qinghai Province[J]. Shandong Land and Resources, 2016,32(4):32-39.

元素地球化学方法判别环境领域最初主要应用于火山岩,后期扩展到沉积岩,并在构造背景、物源及沉积环境中得到了广泛应用^[1]。碎屑沉积岩记录了母岩成分、物源区古化学风化条件、大地构造背景等方面的信息。泥岩粒度上较均一、沉积期后不渗透性和微量元素丰度较高,这些优点使其最适合用来追溯物源区性质、判别其构造背景及古环境^[2]。物源是制约沉积物稀土元素组成的主要因素,稀土元素的分异参数可以用来示踪物源和沉积环境^[3-4]。稀土元素及某些微量元素能够有效地指示地质作用过程、物源区特征、大地构造背景及物源区古化学风化特征^[5-6],特别是稀土元素、高场强元素、Cr 和 Co 等溶解度低,分异作用弱,尽管其地球化学成分受母岩化学风化、搬运、沉积分选及埋藏后成岩作用等影响,但其稳定性仍能够指示物源区

性质^[7]。因此,利用沉积物中元素地球化学变化特征来分析沉积环境。此次以青海省马海凹陷冷湖地区古—新近系泥岩地球化学元素分析结果为基础,对主量元素、微量元素及稀土元素组分含量及特殊元素比值进行深入探讨,为研究区物源判别及沉积环境识别提供理论方法。

1 区域地质构造背景

柴达木盆地周缘为三大山脉所包围,北部、南部、西部分别为祁连山脉、昆仑山脉、阿尔金山脉。在构造上北为南祁连—柴北缘断裂带^[8],西为阿尔金山断裂带^[9],具有典型的盆山构造格局和岩石圈板块地球动力学背景^[10]。研究区位于柴达木盆地北缘之北缘走滑冲断系,涉及3个二级构造单元:平台

收稿日期:2015-07-15;修订日期:2015-08-26;编辑:王敏

地调项目:中国地质调查局“青海省冷湖区委宗马海湖地区 J46E010015, J46E010016, J46E011016, J46E011017 四幅 1:5 万区域地质调查”;项目编号 12120113033030

作者简介:崔庆岗(1984—),男,山东聊城人,工程师,主要从事固体矿产勘查、区域地质调查等工作;E-mail:cqg1985@126.com

凸起、赛南凹陷、冷湖走滑构造带(图 1)。区内古一新近系较发育,出露地层有干柴沟组(E_3N_{1g})、油砂山组(N_{2y})和狮子沟组(N_{2s})。其岩性组合以泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、各类砂岩、细砾岩等多次

韵律沉积为特征,沉积体系以冲积扇-扇三角洲相-湖泊为主,局部为冲积扇-辫状河三角洲-湖泊相^[11]。

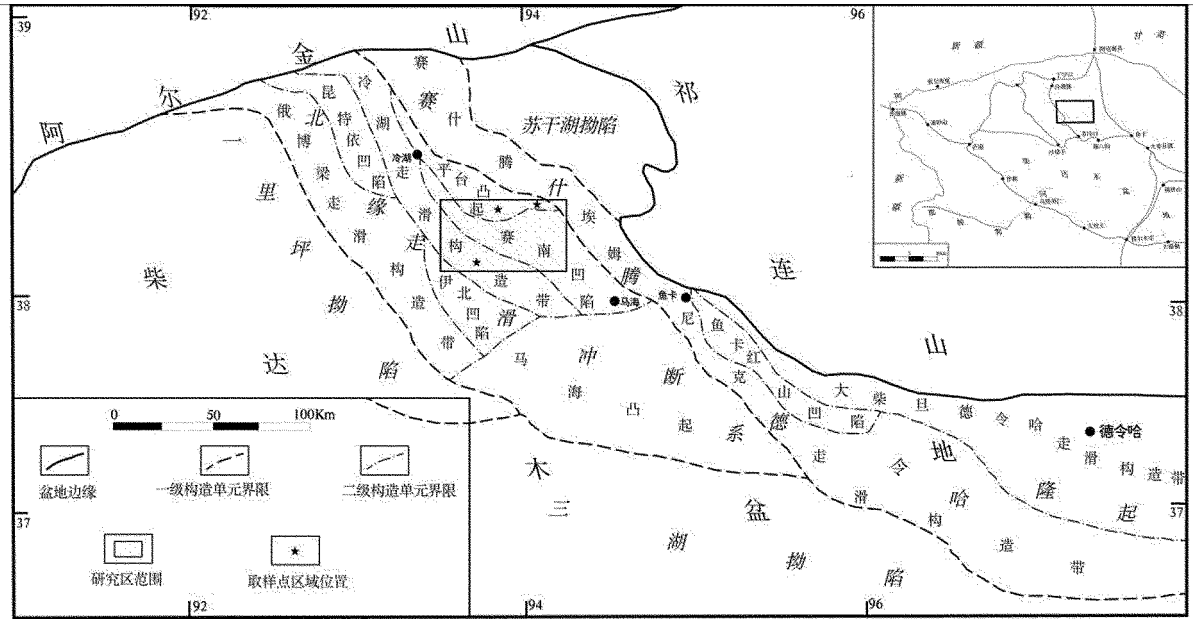


图 1 柴北缘构造图及研究区位置图

2 样品采集及测试

从研究区南部平台凸起、北部冷湖走滑构造带共采集 9 件泥岩样品,采样位置如图 1 所示。所有样品先压碎至 200 目以下,然后在高温炉中 500℃ 下高温加热 2 h 以剔除泥岩中有机质及粘土矿物中的结晶水,用 HF+HNO₃ 混合酸进行分解。主量元素采用原子吸收光谱仪(WFX-130A),微量元素采用电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测试,分析采用国际标样、空白样监控。样品处理及测试在山东省地质科学研究院重点实验室完成。

3 泥岩地球化学特征

3.1 主量元素特征

从表 1 中可以看出马海凹陷冷湖地区古一新近纪泥岩样品与 PAAS 相比较^[7],具有富含 MgO, Na₂O, CaO; 分别为 3.14% (2.48% ~ 4.01%), 2.23% (1.68% ~ 3.22%), 7.04% (4.51% ~ 12.16%); P₂O₅, MnO, Al₂O₃, K₂O, SiO₂, TiO₂ 含量偏低; 分别为 0.004 0% (0.003 5% ~ 0.004 6%), 0.072% (0.054% ~

0.095%), 14.15% (12.07% ~ 16.44%), 2.82% (2.20% ~ 3.60%), 54.35% (51.02% ~ 57.82%), 0.88% (0.80% ~ 0.98%)。SiO₂ 亏损程度并不高, K₂O 和 Al₂O₃ 不完全亏损是由于碳酸盐岩稀释的影响。Al 和 K 元素长富集于长石和伊利石、高岭土等粘土矿物中^[12], Al₂O₃ 和 K₂O 的亏损与这些矿物含量少有较大的关系。CaO 含量特别富集, MgO 含量较富集, Ca 一般与碳酸盐岩有关, Mg 则主要存在于基性岩中^[13], 总体说明区域内沉积环境母岩性质相对较复杂。

3.2 微量元素特征

马海凹陷冷湖地区古一新近纪泥岩微量元素分析结果见表 2。除 Cr (70.3~184.1 ug/g), Zn (72.5~116.0 ug/g), Zr (58.1~324.8 ug/g), Ba (333.9~583 ug/g), Sr (163~315.3 ug/g) 和 V (76.84~227.9 ug/g) 含量超过 100 ug/g 外; 其他微量元素均小于 100 ug/g。与大陆上地壳微量元素丰度相比较, 过渡元素 Sc, Cr, Co, Ni, V 均高于上地壳、低于下地壳; 而 Cr 通常富集于基性和超基性岩中; 说明区内母岩中混入了基性和超基性岩, Cu, Zn 高于上地壳及下地壳丰度; 高场强元素 Zr, Pb, Th 略高于上

表 1 冷湖地区古—新近纪泥岩主量元素含量及元素比值

样号	1		2		3		4		5		6		7		8		9		平均值	PAAS
	$E_3 - N_1g^1$	$E_3 - N_1g^1$	$E_3 - N_1g^2$	$E_3 - N_1g^2$	N_2y^1	N_2y^1	N_2y^2	N_2y^2	N_2y^1	N_2y^1	N_2y^2	N_2y^2	N_2y^1	N_2y^1	N_2y^2	N_2y^2	N_2s	N_2s		
SiO ₂	51.32	54.3	54.28	51.02	53.49	53.25	57.82	56.37	57.33	54.35	62.4									
Fe ₂ O ₃	6.44	5.38	5.41	5	5.61	6.97	4.77	6.05	5.96	5.73	7.18									
Al ₂ O ₃	16.44	13.62	13.16	12.07	13.79	15.88	12.52	14.85	15.05	14.15	18.88									
TiO ₂	0.93	0.88	0.81	0.85	0.88	0.98	0.8	0.87	0.9	0.88	0.99									
K ₂ O	3.6	2.7	2.59	2.49	2.74	3.44	2.2	2.73	2.92	2.82	3.68									
Na ₂ O	2.13	2.18	2.39	1.68	1.94	1.92	3.22	2.41	2.16	2.23	1.19									
CaO	5.03	8.05	8.69	12.16	8.1	4.51	6.89	5.27	4.7	7.04	1.29									
MgO	4.01	2.97	2.95	2.48	3.01	3.86	2.63	3.24	3.14	3.14	2.19									
P ₂ O ₅	0.0046	0.0042	0.0043	0.0037	0.0035	0.0041	0.0041	0.0037	0.0036	0.004	0.16									
MnO	0.054	0.075	0.086	0.095	0.074	0.063	0.073	0.071	0.054	0.072	0.11									
L.O.I	9.77	9.45	10.22	12.19	9.7	8.65	8.46	7.4	7.43	9.25										
Total	99.73	99.61	100.59	100.04	99.34	99.53	99.39	99.26	99.65	99.68										
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.22	0.2	0.2	0.21	0.2	0.22	0.18	0.18	0.19	0.2										
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	17.68	15.48	16.25	14.2	15.67	16.2	15.65	17.07	16.72	16.1										
CIA	60	57	55	59	60	61	49	58	59	58										

注:PAAS为澳大利亚太古宇页岩;化学蚀变指数 $CIA = (Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + K_2O + Na_2O)) \times 100$, 式中化学成分含量均为摩尔数, CaO^* 指存在于硅酸盐矿物的 CaO 。当 CaO 摩尔数大于 Na_2O 摩尔数时 $mCaO^* = mNa_2O$, 而当小于 Na_2O 摩尔数时 $mCaO^* = mCaO^{[14]}$ 。

表 2 冷湖地区古—新近纪泥岩微量元素含量及元素比值

样号	1		2		3		4		5		6		7		8		9		平均值	上地壳	下地壳
	$E_3 - N_1g^1$	$E_3 - N_1g^1$	$E_3 - N_1g^2$	$E_3 - N_1g^2$	N_2y^1	N_2y^1	N_2y^2	N_2y^2	N_2y^1	N_2y^1	N_2y^2	N_2y^2	N_2y^1	N_2y^1	N_2y^2	N_2y^2	N_2s	N_2s			
Sc	30.5	13.3	18.4	15.2	18.2	16.1	16	13.7	18.2	17.7	11	31									
Cr	184.1	70.3	105.8	90.3	94.3	101.6	94.3	91.7	120.2	105.8	35	215									
Co	33.1	14.5	20.5	15.9	20.6	20.9	18.4	17.5	21.3	20.3	10	38									
Ni	21.2	27.5	34.2	33.5	41.5	40.8	35.5	35.2	45.5	35	20	88									
Cu	33	10.1	47.3	29.5	51.5	37	38.9	36.5	45.5	36.6	25	26									
Zn	116	72.5	104.9	77.6	113.9	111.6	100.6	98.6	134.8	103.4	71	78									
Zr	58.1	149	178.5	193.7	233.6	294.1	259.6	259.8	324.8	216.8	190	68									
Hf	2.61	3.87	4.6	5.55	6.2	7.57	7.28	7.21	8.6	5.9	5.8	1.9									
Tl	0.38	0.7	1.04	0.53	0.71	0.79	0.67	0.69	0.99	0.7	0.75	0.25									
Pb	12.8	24.6	28.6	21.5	27.8	26.4	28.2	25.7	33.3	25.4	20	4.2									
Th	8	19.8	21.3	11.9	13.3	12.5	12.5	12.7	19.5	14.6	10.7	1.2									
U	1.3	2.2	3.4	3.4	4	2.9	3.3	2.7	4	3	2.8	0.2									
Ba	333.9	490.5	583	575.6	537.3	464.9	563.9	491.7	497.7	504.3	550	259									
Sr	247.5	163.1	163	315.3	204.6	148.7	188.6	181	157.3	196.6	350	348									
V	227.9	76.84	103.5	104	123.9	110.1	105.2	97.58	125.1	119.3	60	196									
Sr/Cu	7.50	16.15	3.45	10.69	3.97	4.02	4.85	4.96	3.46	5.37	14.00	13.38									
V/(V+Ni)	0.91	0.74	0.75	0.76	0.75	0.73	0.75	0.73	0.73	0.77	0.75	0.69									

注:上地壳、下地壳丰度值数据来源于 Taylor and McLennan^[7]。

地壳丰度、远高于下地壳丰度; Hf, U, Tl 低场强元素接近上地壳丰度、远高于下地壳丰度; 其中 Th 元素常富集在中酸性岩中, 表明区内母岩以中酸性岩为主; 低场强元素 Ba 低于上地壳丰度、高于下地壳丰度, Sr 低于上地壳丰度及下地壳丰度, 这与 Sr 离子半径较小, 容易以游离形态被地下水、地表水带走有较大的关系^[13]。这种含量的变化与物源供应及环境地球化学有关。

3.3 稀土元素特征

从表 3 中可以看出, 轻稀土元素相比重稀土元素富集, 其中轻稀土元素 La, Ce, Nd 丰度值较高。稀土元素 ΣREE 在 $130.95 \times 10^{-6} \sim 239.78 \times 10^{-6}$ 之间, 稀土总量中等, 含量变化较大。LREE 富集, LREE/HREE 比值 5.34~13.68, 轻稀土元素相对富集, 轻、重稀土元素分馏明显。指示轻、重稀土元素分异程度的 $(La/Yb)_N$ 在 4.74~38.08, 表明分异程度较高;

表 3 冷湖地区古—新近纪泥岩微量元素含量及元素比值

样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均值
	$E_3 - N_1 g^1$	$E_3 - N_1 g^1$	$E_3 - N_1 g^2$	$E_3 - N_1 g^2$	$N_2 y^1$	$N_2 y^1$	$N_2 y^2$	$N_2 y^2$	$N_2 s$	
La	24.1	47.4	54.5	35.8	39.5	38.0	40.0	40.9	46.5	40.8
Ce	49.2	85.9	100.6	69.0	76.3	70.5	72.8	76.0	87.4	76.4
Pr	6.2	10.1	12.1	8.7	9.0	8.7	8.6	9.1	10.5	9.2
Nd	24.6	35.8	44.4	32.5	34.1	32.3	32.2	33.6	38.6	34.2
Sm	4.98	6.34	8.16	6.12	6.27	6.09	6.03	6.34	7.16	6.4
Eu	1.23	1.17	1.55	1.39	1.38	1.29	1.31	1.31	1.44	1.3
Gd	4.99	5.73	7.30	5.47	5.79	5.58	5.65	5.83	6.47	5.9
Tb	0.88	0.82	1.06	0.87	0.92	0.90	0.90	0.90	1.02	0.9
Dy	5.71	3.94	5.38	5.05	5.36	5.23	5.31	5.15	5.91	5.2
Ho	1.16	0.58	0.82	1.01	1.03	1.03	1.07	0.99	1.13	1.0
Er	3.50	1.47	2.02	3.06	3.23	3.16	3.32	3.11	3.58	2.9
Tm	0.53	0.15	0.24	0.47	0.50	0.50	0.51	0.48	0.54	0.4
Yb	3.36	0.82	1.44	2.94	3.14	3.23	3.29	3.05	3.54	2.8
Lu	0.53	0.14	0.22	0.45	0.50	0.52	0.53	0.50	0.61	0.4
ΣREE	130.95	200.26	239.78	172.88	187.06	176.97	181.61	187.28	214.23	187.9
ΣLREE	110.29	186.62	221.31	153.55	166.60	156.81	161.04	167.29	191.44	168.3
ΣHREE	20.65	13.64	18.47	19.32	20.46	20.15	20.58	20.00	22.79	19.6
L/H	5.34	13.68	11.98	7.95	8.14	7.78	7.83	8.37	8.40	8.80
Ce/La	2.04	1.81	1.85	1.93	1.93	1.86	1.82	1.86	1.88	1.87
(La/Yb) _N	4.74	38.08	25.06	8.04	8.31	7.75	8.04	8.87	8.65	13.1
(La/Sm) _N	2.97	4.58	4.09	3.59	3.86	3.82	4.07	3.95	3.97	3.90
(Gd/Yb) _N	1.19	5.59	4.08	1.49	1.48	1.38	1.38	1.54	1.47	2.20
δEu	0.75	0.59	0.61	0.73	0.70	0.67	0.68	0.65	0.64	0.70
Ce _{anom}	-0.03	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05

注: $\Sigma REE = \Sigma LREE + \Sigma HREE$; $L/H = \Sigma LREE / \Sigma HREE$; $\Sigma LREE = La + Ce + Pr + Nd + Sm + Eu$; $\Sigma HREE = Gd + Tb + Dy + Ho + Er + Tm + Yb + Lu$; $\delta Eu = 1/2Eu_N / (Sm_N + Gd_N)$; $Ce_{anom} = \lg(3Ce_N / 2(La_N + Nd_N))$; N 球粒陨石标准化值^[15]。

指示轻稀土元素分异程度的 $(La/Sm)_N$ 在 2.97 ~ 4.58, 变化范围相对比较较小, 平均值 3.90, 分异程度好; 指示重稀土元素分异程度的 $(Gd/Yb)_N$ 在 1.19 ~ 5.59, 分异程度差。δEu 值在 0.59 ~ 0.75 之间, 显示 Eu 负异常。

经球粒陨石标准化 REE 配分模式曲线(图 2)^[15], REE 分布趋势基本一致, 总体上表现轻稀

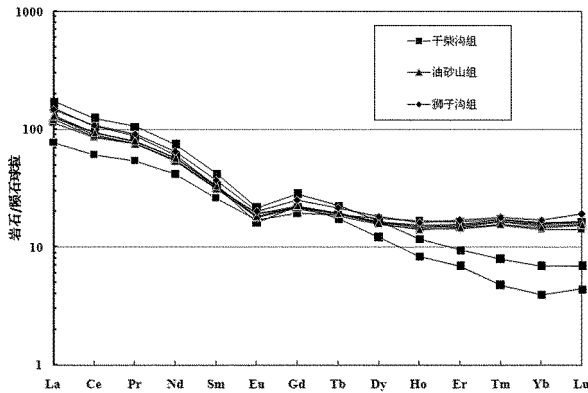


图 2 古—新近纪泥岩球粒陨石标准化的 REE 配分图

元素相对富集、重稀土元素平坦、Eu 负异常等特征。

4 地质意义讨论

4.1 氧化还原反应

V 与 Ni 同属铁族元素, 其离子态随氧化度变化而随之改变的相似性质, 主要被胶体或粘土等吸附后沉淀, 但 V 富集环境为氧化环境, 而 Ni 则为还原环境, 因为 $V/(V+Ni)$ 比值可反映沉积水体的氧化还原反应状态^[16]。 $V/(V+Ni)$ 值 >0.84 , $0.6 \sim 0.84$, <0.6 分别代表了水体分层中出现 H_2S 的厌氧环境、分层不强的厌氧环境、分层弱的贫氧环境^[17]; 研究区 $V/(V+Ni)$ 为 $0.73 \sim 0.91$, 平均值 0.77 (图 3), 可知区内泥岩主要形成于分层不强的厌氧环境及分层弱的贫氧环境。

Ce_{anom} 可判别古环境缺氧环境, $Ce_{anom} < -0.10$ 为 Ce 亏损, $Ce_{anom} > -0.10$ 为 Ce 富集, 分别指示氧化条件、缺氧条件^[18]; 研究区样品 Ce_{anom} 为 $-0.03 \sim -0.06$, 表示所有样品均处于缺氧环境下。此外,

Ce/La 值在 <1.5, 1.5~1.8, >2.0 分别代表着富氧环境、贫氧环境、厌氧环境; 研究区内 Ce/La 值在 1.81~2.04, 平均值 1.88, 指示泥岩主要形成于贫氧环境和厌氧环境。

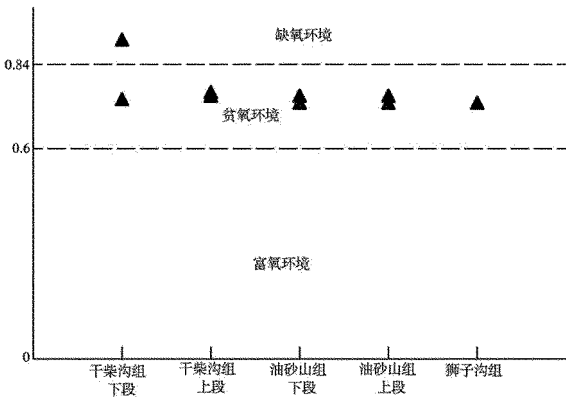


图 3 古-新近纪泥岩 V/(V+Ni) 分布图

4.2 物源性分析

稀土元素特性及其比值变化能够很好的判别处物源区的性质尤其是稀土元素配分模式可客观反映沉积物物源性质^[19-20]。REE 配分模式曲线上表现出轻稀土元素相对富集、重稀土元素均一、Eu 元素具有负异常等特征, 与上地壳分布形态相似, 说明研究区泥岩原始物质来源于上地壳, 但可能遭到了一定的分异作用。若母岩为花岗岩类, 沉积岩多为 Eu 负异常, 母岩为玄武岩则沉积岩多无 Eu 异常, 推测源区母岩主要以花岗岩为主^[21]。稀土元素, Th, Sc 和高场强元素在水中停留的时间较短; 几乎全部都进入到了沉积岩中, 利用相容和不相容的元素比例可将长英质、镁铁质成分区分开来^[22]。Allegre 利用 La/Yb- Σ REE 判别图解得知(图 4)^[23], 研究区内以花岗岩、沉积岩及碱性玄武岩混合物为主。Gu 据长英质岩富集 La 和 Th、基性岩富集 Co, Sc 和 Cr 的特点; 利用 Co/Th-La/Sc 源区判别图解可知(图 5)^[24], 泥岩样品主要落入长英质火山岩和安山岩之间, 反应源区母岩物质复杂。

K_2O/Al_2O_3 值可确定泥岩源区母岩成分, 碱性长石中为 0.4~1.0, 伊利石中约为 0.3, 其他粘土矿物中接近 0, 研究区内泥岩中 K_2O/Al_2O_3 值 0.18~0.22, 表明母岩碱性长石含量较低, 推测与泥岩本身固有性质有关^[25]。此外, 泥岩中 Al_2O_3/TiO_2 值小于 14 时, 物源可能来源与铁镁质岩石, 在 19~28 之间时物源可能来源花岗岩闪长岩、英云闪长岩(或安

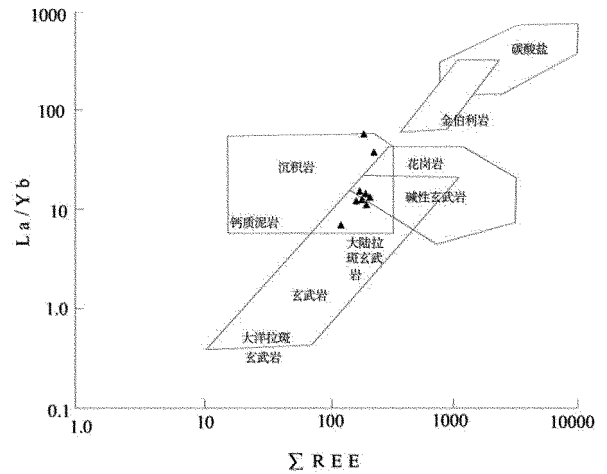


图 4 泥岩 La/Yb- Σ REE 物源属性判别图

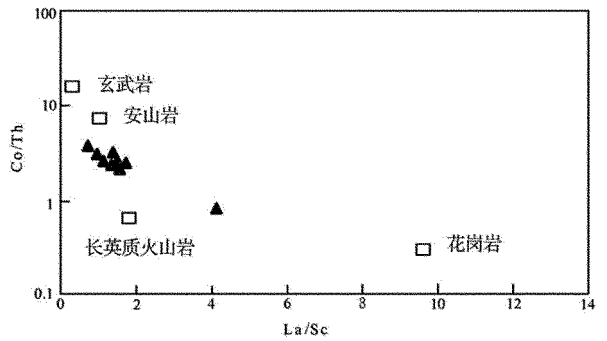


图 5 泥岩 La/Sc-Co/Th 物源属性判别图

山质和流纹质岩石); 研究区内泥岩在 14.20~17.68, 平均 16.10, 表明其主要来源长英质岩, 且有少量的镁铁质岩石混入^[26]。

4.3 构造背景判别

Roser and Korsch 认为, K_2O/Na_2O 比值是反映构造环境重要指标之一, 并提出了 SiO_2-K_2O/Na_2O 构造环境判别图解(图 6)^[27]。从图 6 上看, 泥岩样品主要落在活动大陆边缘和长英质侵入岩碎屑的活化岛弧环境。

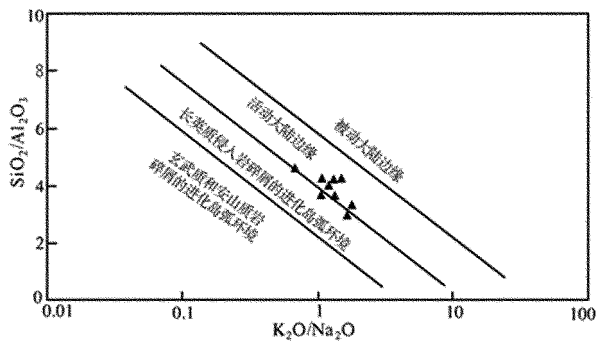


图 6 泥岩 $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ 构造背景判别图

微量元素及稀土元素稳定性相比主量元素较好,尤其 La, Sc, Zr, Th 等元素;在风化、搬运、沉积过程中很难受到地质作用的影响,因此,利用微量元素的特征可判别源区类型及大地构造背景。应用 Mukul R 提出的 La-Th-Sc 判别图解(图 7), Th-Sc-Zr/10 判别图解(图 8)^[6], 研究区泥岩样品主要落入大陆岛弧区域内,少量在活动大陆边缘区域内。

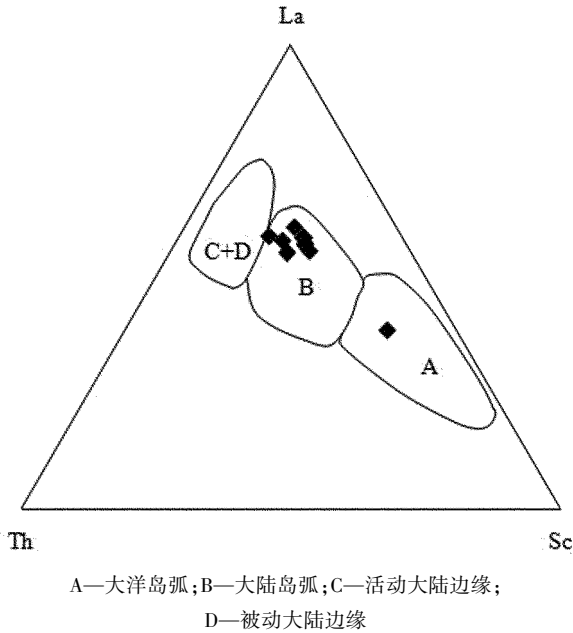


图 7 泥岩 La-Th-Sc 构造背景判别图

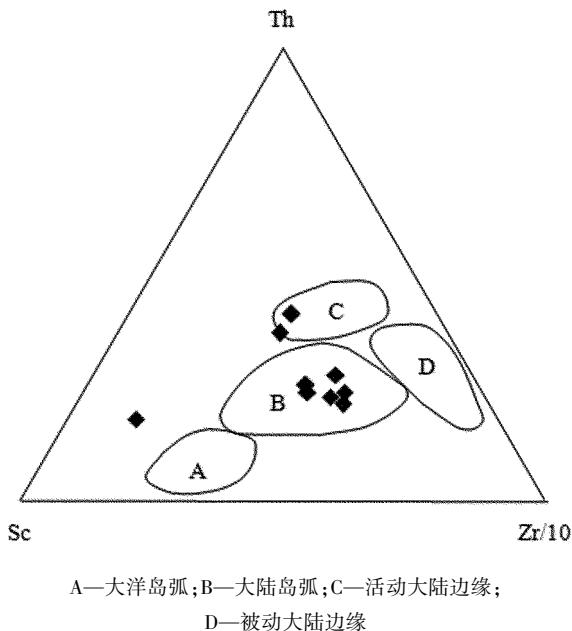


图 8 泥岩 Th-Sc-Zr/10 构造背景判别图

湖地区古一新近纪泥岩沉积物物源来自于活动大陆边缘和大陆岛弧环境。这与柴达木盆地古近纪以来的构造运动是一致的。柴达木盆地在古近纪时期周边发育一系列岛链状隆起,挤压变形并不强烈,沉积和构造环境较为稳定;新近纪以来盆地属挤压环境下的陆内拗陷盆地^[28]。

4.4 古气候分析

岩石在风化过程中, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ 等活泼元素流失; Al^{3+} , Ti^{4+} 等不活泼元素富集在风化物中, 据此, Nesbitt^[30] 提出化学蚀变系数确定物源区风化特征。CIA 计算公式为: $\text{CIA} = (\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})) \times 100$, 式中化学成分含量均为摩尔数。CIA 值在 50 左右、100 时分别代表着物源区岩石未遭到化学风化、遭到强烈的化学风化。泥岩样品 CIA 指数变化范围 49~61, 为中—低风化程度, 也揭示物源区处于干旱气候条件或构造活动区^[13, 29]。

Sr/Cu 比值可作为指示古气候的指标, 已成为判别古气候的重要手段。Sr/Cu 值 > 5、1~5 分别代表干热气候、温湿气候, 研究区 Sr/Cu 值在 3.45~16.16, 平均值 6.57, 表明源区古气候主要为干热气候^[15]。

5 结论

该文通过数理统计的方法系统分析了马海凹陷冷湖地区泥岩的主量元素、微量元素及稀土元素特征及分布规律, 并且探讨了物质来源、构造背景、古气候等。

(1) 马海凹陷冷湖地区泥岩的稀土总量较高, ΣREE 在 $130.95 \sim 239.78 \times 10^{-6}$, 平均 187.9×10^{-6} , ($\Sigma \text{LREE} / \Sigma \text{HREE}$) 及 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值显示轻稀土元素相对富集, 轻、重稀土元素分馏明显。Eu 显示负异常 (0.59~0.75, 平均 0.70)。

(2) 利用 $V/(V+\text{Ni})$ 比值 (0.73~0.91, 平均值 0.77)、 Ce_{anom} (-0.03~-0.06, 平均值 -0.05), 推测泥岩样品沉积古环境处于缺氧环境下。

(3) 利用构造背景图解中 $\text{La}/\text{Yb} - \Sigma \text{REE}$ 图、 $\text{La}/\text{Sc} - \text{Co}/\text{Th}$ 图、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 图、 $\text{La} - \text{Th} - \text{Sc}$ 图、 $\text{Th} - \text{Sc} - \text{Zr}/10$ 图可知, 马海凹陷冷湖地区泥岩处于活动大陆边缘和大陆岛弧环境, 母岩物源复杂, 长英质火山岩和铁镁质岩均可见。

(4) 利用古气候指标 CAI 及 Sr/Cu 比值, 其变

综合上述地球化学研究结果认为, 马海凹陷冷

化反映了源区古气候主要为干热气候或构造活动区,风化程度较弱。

参考文献:

- [1] 张金亮,张鑫.塔里木盆地志留系古海洋沉积环境的元素地球化学特征[J].中国海洋大学学报,2006,36(2):200-208.
- [2] Condie K C.Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales [J].Chemical Geology,1993,104:1-37.
- [3] 张廷山,陈晓慧,兰光志,等.川东南地区志留纪稀土元素分布及其地质意义[J].西南石油学院学报,1998,20(3):26-30.
- [4] 杨守业,李从先, Lee CB,等.黄海周边河流的稀土元素地球化学及沉积物物源示踪[J].科学通报,2003,48(11):1233-1236.
- [5] Cullers RL, Basu A, Suttner L. Geochemical signature of provenance in sand - size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholite, Montana, USA [J]. ChemGeol, 1988, 70:335-348.
- [6] Bhatia MR, Crook K A W. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin [J]. Contrib Mineral Petrol, 1986, 92:181-193.
- [7] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution [M]. Blackwell, Oxford, 1985, 1-312.
- [8] 汤良杰,金之钧,张明利.柴达木盆地构造古地理分析[J].地学前缘,2000,7(4):421-429.
- [9] 陆松年,王惠初,李怀坤,等.柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J].地质通报,2002,21(1):19-23.
- [10] 杨经绥,宋述光,许志琴,等.柴达木盆地北缘早古生代高压-超高压变质带中发现典型超高压矿物-柯石英[J].地质学报,2001,56(2-3):187-206.
- [11] 陈宜华, Mcrivette E W, 李丽, 等.东昆仑造山带多期隆升历史的地质热年代学证据[J].地质通报,2011,3(11):1647-1610.
- [12] 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):221-229.
- [13] 余焯,张昌民,李少华,等.惠州凹陷珠江组泥岩地球化学特征及其地质意义[J].中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(1):40-49.
- [14] Sun SS, McDonough WF. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Saunders AD and Norry MJ. Magmatism in the Ocean Basins [M]. Geol. Soc. Spec. Pub., London, 1989, 42:313-345.
- [15] 谢国梁,沈玉林,赵志刚,等.西湖凹陷平北地区泥岩地球化学特征及其地质意义[J].地球化学,2013,42(6):599-610.
- [16] Cara Davis, Lisa M. Pratt, William V. Sliter, Luis Mompert, Bruno Murat. Factors Influencing Organic Carbon and Trace Metal Accumulation in the Upper Cretaceous La Luna Formation of the Western Maracaibo Basin, Venezuela [M]. Boulder: Geological Society of America, 1999.
- [17] Elderfield H, Greaves M J. The rare earth elements in seawater [J]. Nature, 1982, 296(5854):214-219.
- [18] McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, et al. Geochemical Approaches to Sedimentation Provenance and Tectonics [C]// Jonhanson MJ. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Boulder Geological Society of America, 1993:21-40.
- [19] 张虎才,张文翔,常凤琴,等.稀土元素在湖湘沉积中的地球化学分异——以柴达木盆地贝壳剖面为例[J].中国科学(D辑),2009,39(8):1160-1168.
- [20] 路晓平,王仁善,刘卫东,等.青海省都兰县江各早一中三叠世火山岩岩石学特征及构造环境[J].山东国土资源,2014,30(8):16-20.
- [21] 刘英俊,曹励明.元素地球化学导论[M].北京:地质出版社,1984:24-343.
- [22] 白宪洲,何明友,王玉婷,等.四川若尔盖地区西康群地球化学特征及其物源区和古风化程度分析[J].现代地质,2010,24(1):151-157.
- [23] Allegre C T. Quantitative models of trace planet [J]. Earth Planet Sci Lett, 1978, 38(1):1-25.
- [24] Gu X X, Liu J M, Zheng M H, et al. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: Geochemical evidence [J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72:393-407.
- [25] Wronkiewicz D J, Condie K C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source - area weathering and provenance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51:2401-2416.
- [26] 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.
- [27] Roser B P and Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone - mudstone suites using SiO₂ content and K₂O / Na₂O ratio [J]. Journal of Geology, 1986, 94:635-650.
- [28] 金之钧,李京昌.柴达木盆地新生代波动过程及与油气关系[J].地质学报,2006,80(3):359-365.
- [29] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Iutites [J]. Nature, 1982, 299:715-717.

Geochemical Characteristics and Its Provenance Nature of Paleogene—Neogene Mudstone in Lenghu Area in Mahai Sag of Qaidam Basin in Qinghai Province

CUI Qinggang, DU Xiaoliang, MENG Linghua, ZHOU Longtao

(Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical and Geological Mining Bureau, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: In order to reveal the evolution process of Mahai sag in Qaidam basin, taking data of major elements, trace elements and rare elements of Paleogene - Neogene mudstone in study area, using the numerical value comparison and the chart identification, the provenance attitude, tectonic setting and palaeoclimate have been studied in this paper. The REE distributions of mudstones show LREE enrichment, have a flat HREE pattern and a weak Eu anomaly. As showed by the numerical of $V/(V+Ni)$, Ce/La and Ce_{anom} , the palaeoclimate in anaerobic environment. From the discrimination diagram of $La/Yb - \sum REE$, $La/Sc - Co/Th$, $K_2O/Na_2O - SiO_2/Al_2O_3$, $La - Th - Sc$, $Th - Sc - Zr/10$, Paleogene - Neogene mudstone in Mahai sag in the area are in active continent margin and continental island arc environment. Felsic volcanic rock and femic rock could be seen, provenance parent rock composition is quite complicated. Chemical Index alteration (CAI) and the ratio of Sr/Cu indicate that the intensity of chemical weathering is relatively hot and weak, and tectonic setting belongs to an active tectonic zone.

Key words: Paleogene - Neogene; geochemical characteristics; provenance analysis; Mahai sag; Qaidam basin; Qinghai province