

内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠纪暗色泥岩 微量元素和稀土元素地球化学特征

宋健¹⁾, 赵省民¹⁾, 陈登超²⁾, 邓坚¹⁾, 苗忠英¹⁾, 明承栋³⁾, 陆程¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 中国石化胜利油田地质勘探院, 山东东营, 257015; 3) 中国地质大学(北京), 北京, 100083

内容提要:对泥岩微量元素系统分析表明, 额济纳旗及邻区二叠纪整体为半咸水环境, 纵向上, 二叠纪水体盐度逐渐降低, 海水逐渐淡化的过程与裂谷盆地演化消亡的过程同步; 横向上, 东部(雅干以东)古盐度明显高于西部(北山地区), 这与区内水体东深西浅的沉积古地理格局有关, 与古生物分布特征反映的古盐度一致。综合泥岩 V/V+Ni、Ce_{anom} 分析, 认为区内二叠纪整体为缺氧、还原环境, 该环境有利于有机质保存。综合泥岩稀土元素配分模式及野外地质调查资料分析表明, 区内泥岩的原始物质应来自上地壳, 其母岩可能为花岗岩和粘土岩的混合成因。

关键词: 泥岩; 微量元素; 稀土元素; 古盐度; 还原环境; 母岩; 二叠纪; 内蒙古

额济纳旗及邻区为我国西北地区油气勘探程度极低地区之一, 近几年研究发现, 区内二叠系具有良好的油气资源前景(卢进才等, 2011a), 然而关于区内二叠纪的沉积古地理研究多集中于几套发育丰富化石的灰岩段(赵省民等, 2010, 2011; 卜建军等, 2011), 对于区内大套的泥岩段, 前人的研究主要集中在于烃源岩潜力评价方面(卢进才等, 2010, 2011b; 陈践发等, 2010, 2011), 关于其岩相古地理方面的研究很少。沉积介质及母岩性质分析是岩相古地理研究工作中的重要内容。沉积岩中某些微量元素能反映沉积水体介质的盐度、氧化还原性等特征(刘宝珺, 1980; 刘宝珺等, 1985)。稀土元素在母岩风化、搬运及沉积成岩过程中具有稳定性, 其配分模式从源岩到沉积岩没有明显的变化, 对其分析可以判别沉积岩的母岩特征; 同时, 稀土元素 Ce 特征可以很好反映水体介质的氧化还原性(Wright et al., 1987; 朱如凯等, 2002; 张金亮等, 2006; 冯兴雷等, 2010); 因此, 对沉积岩的稀土元素特征分析被广泛应用于物源和沉积介质性质的研究工作中。本文通过对额济纳旗及邻区二叠纪暗色泥岩微量元素和稀土元素特征分析, 对区内沉积介质及母岩特征进行了剖析, 以期为该区的油气地质勘探提供有价值的信息。

1 区域地质概况

研究区位于我国西北地区中部的内蒙古和甘肃两省交界地域, 主要包括内蒙古西部的阿拉善及蒙甘交界的北山等地区; 构造位置上, 位于古亚洲域与特提斯域交汇部位, 海西期发育北天山-红石山裂谷裂陷盆地、北山板内裂谷系及锡林浩特板内裂谷裂陷系等(徐学义等, 2008)。区内二叠纪为板内裂谷环境(左国朝等, 2003; 党彝等, 2011), 构造、岩浆活动复杂, 加之相对海平面变化的影响, 地层岩性、岩相变化大, 横向对比难度大, 导致区内发育东西两套不同的岩石地层系统; 二叠纪雅干以东自下而上发育埋汗哈达组、阿其德组和哈尔苏海组, 北山地区自下而上发育双堡塘组、菊石滩组、金塔组和方山口组(表1)。埋汗哈达组为细碎屑岩夹生物碎屑灰岩, 双堡塘组为砂岩夹粉砂质泥岩、砂砾岩及生物碎屑灰岩; 阿其德组为碎屑岩、中酸性火山岩夹灰岩, 菊石滩组为泥岩夹砂岩, 金塔组为中酸性火山岩夹细碎屑岩; 哈尔苏海组为砂岩、粉砂岩夹灰岩、砾岩, 方山口组为中酸性火山岩。

2 样品采集及分析

通过近三年的野外地质调查, 对区内二叠系的

注: 本文为中国地质调查局“天山-兴蒙构造带石炭-二叠系对比研究”项目(编号 1212011120966)资助成果。

收稿日期: 2012-05-03; 改回日期: 2012-08-05; 责任编辑: 周健。

作者简介: 宋健, 男, 1983年生。硕士研究生, 层序地层学与沉积学。Email: songjian5596@126.com。通讯作者: 赵省民, 男, 1964年生。博士, 研究员, 从事层序地层学、沉积学及石油地质学研究。Email: xxmmzh@163.com。

相沉积, $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 之间为半咸水沉积, 小于 200×10^{-6} 为淡水沉积(Walker, 1963, 1968)。

分析表明, 研究区二叠系相当硼含量在 $95 \times 10^{-6} \sim 438 \times 10^{-6}$ 之间, 平均 219.18×10^{-6} ; 反映整体为半咸水沉积环境。各地层相当硼含量平均值(表 2) 表现为, 北山地区, 双堡塘组(221.2×10^{-6}) → 菊石滩组(184.05×10^{-6}) → 金塔组(153.33×10^{-6}); 雅干以东地区, 埋汗哈达组(278.63×10^{-6}) → 阿其德组(214.33×10^{-6}) → 哈尔苏海组(188.3×10^{-6})。纵向上, 相当硼含量逐渐降低, 表现出由半咸水向淡水沉积环境的演化过程; 同一层位地层中, 雅干东部地区明显较高, 表明其盐度高于北山地区(图 2)。

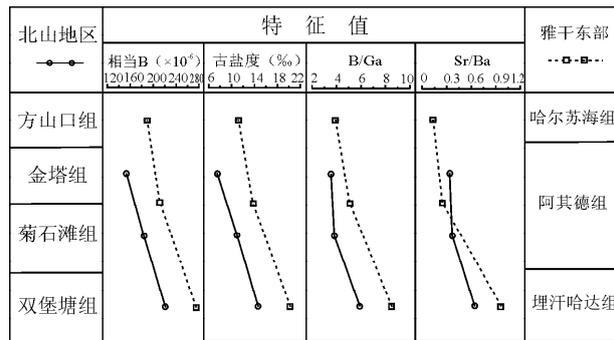


图 2 额济纳旗及邻区二叠纪泥岩微量元素特征值曲线

Fig. 2 The characteristic value curves about trace element of the Permian mudstones in Ejinaqi and its surrounding areas

Adams 等 (1965) 通过研究现代河口沉积地球化学资料总结出水体盐度和相当硼含量的关系式:

$$Y = 0.0977B_{\text{相当}} - 7.043$$

式中 Y 为古盐度(%), $B_{\text{相当}}$ 为 Walker 相当硼含量($\times 10^{-6}$), 据此可以定量反映沉积水体的古盐度情况。

分析表明, 区内二叠系古盐度介于 $3.51\% \sim 35.75\%$ 之间, 平均 14.37% , 反映古水体整体为半咸水环境。各地层古盐度平均值(表 2) 表现为, 北山地区, 双堡塘组(14.6%) → 菊石滩组(10.94%) → 金塔组(7.4%); 雅干以东地区, 埋汗哈达组(20.18%) → 阿其德组(13.9%) → 哈尔苏海组(11.35%), 表明研究区二叠纪水体盐度逐渐降低, 且雅干东部地区古盐度明显高于北山地区(图 2)。

3.2 B/Ga 值

硼钡比值对于古盐度具有较好的指示意义, B/Ga 值与古盐度呈正相关性, 可以据此判断沉积环境; 当 $B/Ga > 4.5$ 时, 属于海相环境; B/Ga 介于 $3.3 \sim 4.5$ 之间时, 属于过渡环境; $B/Ga < 3.3$ 时, 属于

淡水沉积(吴少波, 2001; 李福来等, 2009)。

研究区二叠系 B/Ga 介于 $1.4 \sim 15.05$ 之间, 平均为 5.54 , 反映本区二叠纪主体为海相沉积。各地层 B/Ga 平均值(表 2) 表现为, 北山地区, 双堡塘组(5.98) → 菊石滩组(3.77) → 金塔组(3.42); 雅干以东地区, 埋汗哈达组(8.5) → 阿其德组(5.06) → 哈尔苏海组(3.96); 纵向上, B/Ga 值表现出逐渐降低趋势, 反映盐度逐渐降低; 同一层段, 雅干东部地区明显高于北山地区(图 2), 这与通过相当硼含量判断的古盐度特征一致。

3.3 Sr/Ba 值

锶钡比值对古盐度的变化较敏感; 随着水体矿化度增加、盐度不断升高时, 首先 Ba 以 $BaSO_4$ 的形式析出, 当水体咸化到一定程度时, Sr 才会以 $SrSO_4$ 的形式析出。因此, 可以根据沉积物中 Sr/Ba 值来反映水体古盐度情况, 即 Sr/Ba 值与古盐度呈明显的正相关关系(张金亮等, 2006; 许璟等, 2010)。

研究区二叠系各地层 Sr/Ba 平均值(表 2) 表现为, 北山地区, 双堡塘组(0.65) → 菊石滩组(0.36) → 金塔组(0.33), 比值逐渐变小, 反映古盐度逐渐降低; 雅干以东地区, 埋汗哈达组(0.95) → 阿其德组(0.13) → 哈尔苏海组(0.24), 整体上来看, 比值表现出降低趋势(图 3), 也反映出沉积水体的古盐度逐渐降低。

综上, 通过对区内二叠纪泥岩相当硼含量、Adams 古盐度、 B/Ga 值、 Sr/Ba 值分析表明, 研究区二叠纪整体为半咸水沉积; 纵向上, 沉积水体盐度逐渐降低, 横向上, 雅干东部地区古盐度明显高于北山地区。

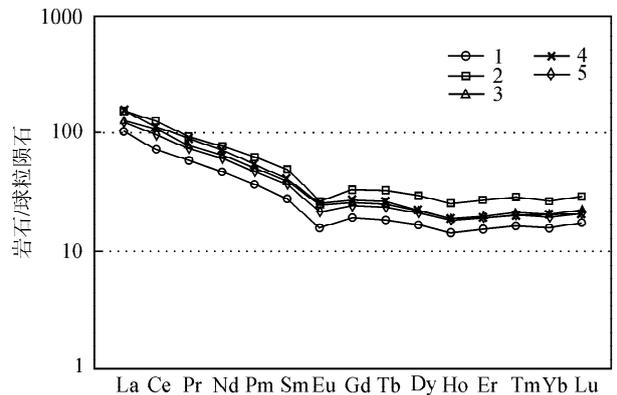


图 3 额济纳旗及邻区二叠纪泥岩稀土元素配分模式曲线

Fig. 3 The REE distribution patterns of the Permian mudstones in Ejinaqi and its surrounding areas

1—埋汗哈达组; 2—阿其德组; 3—哈尔苏海组; 4—双堡塘组; 5—二叠系

1—Maihanhada Formation; 2—Aqide Formation; 3—Haersuhai Formation; 4—Shuangbaotang Formation; 5—Permian

表 2 额济纳旗及邻区二叠纪泥岩微量元素特征值

Table 2 The characteristic value about trace element of the Permian mudstones in Ejinaqi and its surrounding area

雅干东部						
地层组	剖面位置	相当硼($\times 10^{-6}$)	古盐度(‰)	B/Ga(各剖面)	Sr/Ba(各剖面)	V/V+Ni(各剖面)
哈尔苏海组	查黑林格顺	$\frac{108\sim 348}{199.06(16)}$	$\frac{3.51\sim 26.96}{12.41(16)}$	$\frac{1.4\sim 8.3}{4.53(16)}$	$\frac{0.07\sim 0.41}{0.17(16)}$	$\frac{0.53\sim 0.77}{0.67(16)}$
	哈尔苏海	$\frac{125\sim 248}{176(14)}$	$\frac{5.17\sim 17.19}{10.15(14)}$	$\frac{2.22\sim 5.17}{3.3(14)}$	$\frac{0.05\sim 0.82}{0.31(14)}$	$\frac{0.43\sim 0.82}{0.68(14)}$
平均		188.3	11.35	3.96	0.24	0.67
阿其德组	阿其德海尔罕	$\frac{128\sim 143}{135.6(5)}$	$\frac{5.46\sim 6.93}{6.21(5)}$	$\frac{2.57\sim 3.13}{2.93(5)}$	$\frac{0.09\sim 0.15}{0.13(5)}$	$\frac{0.71\sim 0.8}{0.75(5)}$
	埋汗哈达	$\frac{175\sim 344}{253.7(10)}$	$\frac{10.05\sim 26.57}{17.74(10)}$	$\frac{4.38\sim 8.16}{6.12(10)}$	$\frac{0.04\sim 0.28}{0.14(10)}$	$\frac{0.53\sim 0.72}{0.65(10)}$
平均		214.33	13.9	5.06	0.13	0.68
埋汗哈达组	埋汗哈达	$\frac{172\sim 438}{320.2(20)}$	$\frac{9.76\sim 35.75}{24.24(20)}$	$\frac{4.23\sim 15.05}{10.36(20)}$	$\frac{0.1\sim 6.72}{0.88(20)}$	$\frac{0.57\sim 0.77}{0.67(20)}$
	杭乌拉	$\frac{95\sim 292}{195.5(10)}$	$\frac{2.24\sim 21.49}{12.06(10)}$	$\frac{2.49\sim 7.48}{4.76(10)}$	$\frac{0.21\sim 1.78}{1.1(10)}$	$\frac{0.54\sim 0.79}{0.69(10)}$
平均		278.63	20.18	8.5	0.95	0.68
北山地区						
地层组	剖面位置	相当硼($\times 10^{-6}$)	古盐度(‰)	B/Ga(各剖面)	Sr/Ba(各剖面)	V/V+Ni(各剖面)
金塔组	六驼山	$\frac{114\sim 221}{153.33(3)}$	$\frac{4.09\sim 14.55}{7.4(3)}$	$\frac{2.32\sim 4.66}{3.42(3)}$	$\frac{0.18\sim 0.46}{0.33(3)}$	$\frac{0.75\sim 0.79}{0.78(3)}$
菊石滩组	古铜井	$\frac{163\sim 230}{200.57(7)}$	$\frac{8.88\sim 15.43}{12.55(7)}$	$\frac{2.9\sim 4.16}{3.73(7)}$	$\frac{0.17\sim 0.51}{0.37(7)}$	$\frac{0.75\sim 0.78}{0.76(7)}$
	芦苇井	$\frac{141\sim 275}{172.49(10)}$	$\frac{6.73\sim 19.82}{9.81(10)}$	$\frac{3.1\sim 6.26}{3.8(10)}$	$\frac{0.22\sim 0.48}{0.35(10)}$	$\frac{0.76\sim 0.82}{0.8(10)}$
平均		184.05	10.94	3.77	0.36	0.78
双堡塘组	卡路山	$\frac{165\sim 266}{221.2(5)}$	$\frac{7.1\sim 19.0}{14.6(5)}$	$\frac{4.34\sim 7.82}{5.98(5)}$	$\frac{0.41\sim 1.16}{0.65(5)}$	$\frac{0.71\sim 0.76}{0.73(5)}$

注:165~266/221.2(5)表示最大值~最小值/平均值(样品数);由于测试数据较多,表中只列出部分处理后数据。

3.4 V/V+Ni 值

V/V+Ni 值可以反映沉积介质氧化还原性, V/V+Ni>0.46 为还原环境, V/V+Ni<0.46 为氧化环境(Hatch et al., 1992)。

分析表明,区内二叠纪 100 件泥岩的 V/V+Ni 值介于 0.43~0.82 之间,除两件样品(分别为 0.43、0.44)比值小于 0.46 外,其余样品均大于 0.5,平均 0.7;各地层组 V/V+Ni 平均值分别为:双堡塘组(0.73)、埋汗哈达组(0.68)、菊石滩组(0.78)、金塔组(0.78)、阿其德组(0.68)、哈尔苏海组(0.67),均远大于 0.46;表明研究区二叠纪为较强的还原环境,这对有机质的保存十分有利。

4 稀土元素地球化学特征

研究区二叠纪泥岩稀土元素分析结果表明,各地层组稀土元素总量介于 $117.30 \times 10^{-6} \sim 195.74 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 151.14×10^{-6} (表 3);总的来

看,区内样品的稀土总量与泥质岩的平均稀土总量 (144.85×10^{-6}) 较接近。

区内二叠纪泥质岩(LREE/HREE)_N 介于 6.08~7.52 之间,平均 6.64(表 3),比值较大,表明区内轻稀土元素较重稀土元素富集。区内样品 La_N/Yb_N 介于 5.72~7.91 之间,平均 6.43;La_N/Lu_N 介于 5.24~7.82 之间,平均 6.01;Ce_N/Yb_N 介于 4.64~5.63 之间,平均 4.99;La_N/Sm_N 介于 3.08~3.88 之间,平均 3.42;Gd_N/Yb_N 介于 1.22~1.35 之间,平均 1.26(表 3);表明区内样品的轻、重稀土元素分异程度较高,轻稀土元素之间分异明显,而重稀土元素之间分异不明显。区内样品的 δ Eu 介于 0.64~0.76 之间,平均 0.70,具有较明显的负异常; δ Ce 介于 0.90~1.03,平均 0.98,Ce 异常性不明显(表 3)。

对样品进行球粒陨石标准化,从配分模式曲线(图 3)上看出,埋汗哈达组、阿其德组、哈尔苏海组与双堡塘组的 REE 配分模式趋势一致,均表现为轻

表 3 额济纳旗及邻区二叠系稀土元素地球化学分析数据($\times 10^{-6}$)

Table 3 The REE data ($\times 10^{-6}$) of the Permian mudstones in Ejinaqi and its surrounding areas

地层	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
埋汗哈达组	24.29	44.48	5.56	22.19	4.25	0.91	3.91	0.68	4.18	0.81	2.54	0.41	2.67	0.43
阿其德组	36.20	77.83	8.88	36.08	7.59	1.54	6.84	1.23	7.61	1.46	4.49	0.73	4.54	0.74
哈尔苏海组	30.97	66.51	7.55	30.52	6.09	1.46	5.39	0.95	5.63	1.08	3.30	0.54	3.52	0.56
双堡塘组	37.95	69.78	8.51	33.7	6.31	1.48	5.62	0.99	5.70	1.06	3.15	0.56	3.44	0.52
二叠系	29.69	59.49	7.02	28.30	5.60	1.25	5.03	0.88	5.34	1.02	3.16	0.51	3.31	0.53

地层	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	La _N /Yb _N	La _N /Sm _N	Gd _N /Yb _N	La _N /Lu _N	Ce _N /Yb _N	δ Eu	δ Ce	Ce _{anom}	样品数(件)
埋汗哈达组	117.30	101.67	15.63	6.50	6.54	3.69	1.22	6.05	4.64	0.67	0.90	-0.071	20
阿其德组	195.74	168.11	27.63	6.08	5.72	3.08	1.25	5.24	4.76	0.64	1.03	-0.015	8
哈尔苏海组	164.08	143.10	20.98	6.82	6.32	3.28	1.27	5.93	5.25	0.76	1.03	-0.014	16
双堡塘组	178.65	157.68	20.97	7.52	7.91	3.88	1.35	7.82	5.63	0.74	0.91	-0.065	5
二叠系	151.14	131.35	19.79	6.64	6.43	3.42	1.26	6.01	4.99	0.70	0.98	-0.039	49

注:样品选自埋汗哈达剖面埋汗哈达组、阿其德组,查黑林格顺剖面哈尔苏海组、卡路山剖面双堡塘组;二叠系为所有样品的平均值;由于实验样品较多,表中稀土元素数值为各样品所测稀土元素含量的算术平均值;La_N/Sm_N、La_N/Yb_N、Gd_N/Yb_N、La_N/Lu_N均为球粒陨石标准化比值; δ Eu、 δ Ce、Ce_{anom}为异常系数。

稀土富集、重稀土亏损型;分布曲线上,轻稀土区曲线较陡、斜率较大,呈明显的“右倾”形势,表明区内LREE分馏程度较高;重稀土区曲线较平、斜率较小,表明HREE分馏程度较低;Eu处呈明显的“谷”状,表现出明显的Eu负异常,Ce表现出弱亏损-弱正异常现象。

沉积岩的稀土元素特征可以反映沉积水体的氧化-还原条件;Wright等(1987)提出Ce异常(Ce_{anom})计算公式:

$$Ce_{anom} = \lg [3Ce_n / (2La_n + Nd_n)]$$

式中Ce_n、La_n及Nd_n分别为Ce、La及Nd实测数值在与北美页岩标准化之后的数值。当Ce_{anom} > -0.1时,指示缺氧、还原的古水体环境;当Ce_{anom} < -0.1时,指示氧化的古水体环境。

样品分析表明,区内二叠纪泥岩Ce_{anom}介于-0.071~-0.014之间,平均-0.039(表3),均大于-0.1,表明区内二叠纪水体处于缺氧、还原环境,这与泥岩微量元素V/V+Ni判断的沉积介质性质相吻合,该水体环境有利于有机质的保存。

5 讨论

5.1 古盐度及其地质意义

古盐度是沉积环境的重要标志,对于沉积水体古盐度复原有助于恢复古环境、探讨环境变化的过程和机理(文华国等,2008),从而更好的认知沉积盆地的古地理格局及其演化过程。本次研究表明,区内二叠纪水体盐度具有纵向上逐渐降低,横向上雅干东部明显高于北山地区的特征。

纵向上,区内石炭纪—二叠纪为裂谷环境,早石炭世盆地规模较小;之后裂谷规模不断扩大,至早二叠世紫松期规模最大;早二叠世隆林期(双堡塘组/埋汗哈达组沉积期)至晚二叠世末(方山口组/哈尔苏海组沉积期)裂谷盆地逐渐消亡(卢进才等,2011b)。海相裂谷盆地消亡过程中,海水逐渐退去,大陆淡水对沉积盆地的影响逐渐增强,使得盆地水体盐度逐渐降低。可以看出区内二叠纪水体淡化的过程与裂谷盆地演化消亡的过程是同步的。

横向上,早二叠世,北山地区的卡路山剖面双堡塘组主体为开阔海岸相沉积,夹部分碳酸盐台地相、辫状河三角洲相及浅海陆棚相沉积,由于卡路山靠近敦煌古陆,受大陆淡水的影响较强,使得该区水体盐度较低;而同时代的雅干东部埋汗哈达剖面埋汗哈达组,主体为浅海陆棚相沉积,夹部分碳酸盐台地相、辫状河三角洲相沉积,由于该处离古陆较远,受大陆淡水的影响小,水体盐度较高;区内水体表现出东(雅干东部)深西(北山地区)浅,盐度东高西低的特征。晚二叠世北山地区已渐近演化成陆相,发育以陆相中酸性火山岩为主的方山口组;同时期,雅干东部查黑林格顺剖面哈尔苏海组主体为浅海陆棚相,夹部分辫状河三角洲相沉积,靠近雅干地区发育大套辫状河三角洲沉积的砾岩,同样表现出区内水体东深西浅,盐度东高西低的特征。此外,北山和雅干东部地区二叠纪古生物组合及生物个体形态差异(卜建军等,2011)也反映出区内二叠纪水体东深西浅,盐度东高西低的特征。

综上所述可以看出,研究区二叠纪水体古盐度特征

与盆地的演化过程及区域沉积古地理格局具有很好的对应关系。

5.2 有机质富集的控制因素

有机质的富集与否主要受控于沉积环境的有机质产出率与保存条件两个因素。研究发现,区内二叠纪总体为覆水较深的浅海沉积环境(赵省民等, 2011),该环境中海洋生物丰富,具有较高的有机质产出率;通过对泥岩 $V/V+Ni$ 、 Ce_{anom} 分析表明,该区二叠纪水体具有较强的还原性,该环境有利于有机质的保存。可见,具有较强还原性的浅海环境为区内有机质富集创造了强有利的条件。在该区开展的油气基础地质调查发现二叠系发育埋汗哈达组、哈尔苏海组两套较好的烃源岩(陈践发等, 2010)也证实了这一点。

5.3 沉积物母源特征

基于母岩中某些元素(如 Th、Se、Ti、稀土元素)在风化、搬运、沉积及成岩过程中具有稳定的特性,可以通过元素地球化学方法对沉积物物源进行示踪(张金亮等, 2006)。对区内样品进行球粒陨石标准化处理,可以看出,埋汗哈达剖面埋汗哈达组、阿其德组,查黑林格顺剖面哈尔苏海组及卡路山剖面双堡塘组的稀土元素配分模式曲线具有较好的相似性(图 2),根据“相似同源”原理,表明具有相同的物源供给;其模式与上地壳稀土元素配分模式(LREE 富集、HREE 稳定和明显的 Eu 负异常等特征(廖志伟等, 2011))基本一致,表明区内原始物质应来自上地壳。

泥质岩对母岩的稀土元素具有很大的继承性, δEu 可以作为鉴别物质来源的重要参数。花岗岩多具有钕负异常($\delta Eu < 0.90$),玄武岩多无钕异常

($0.90 < \delta Eu < 1.0$) (张金亮等, 2006)。区内泥岩具有较明显的 Eu 负异常,其母岩应主要为花岗岩;同时,该区石炭系-二叠系普遍发育中酸性火山岩(卢进才等, 2011c);野外调查发现区内砂岩多为以中酸性火山岩岩屑为主要组成的岩屑砂岩、长石岩屑砂岩,砾岩中砾石主要为中酸性火山岩(赵省民等, 2010);表明花岗岩应为区内重要的沉积母岩。将稀土总量与 $(Y_a/Y_b)_N$ 比值进行投影,大多数数据点落在钙质泥岩和玄武岩的交汇区(图 4);但是玄武岩的 Eu 负异常不明显,因此,玄武岩作为沉积母岩应予以排除,钙质泥岩可能为区内二叠系的沉积母岩。野外调查发现,卡路山双堡塘组与下伏下石炭统红柳园组呈角度不整合接触,该处红柳园组发育巨厚的暗色泥岩,双堡塘组的沉积物源很有可能来自红柳园组泥岩层段;可能红柳园组泥岩本身具有 Eu 负异常,其经风化、剥蚀再沉积,导致了双堡塘组泥岩继承了其 Eu 负异常的特征,这需要进一步的研究。

通过稀土元素分析,结合区内地质资料,认为该区二叠系的原始物质应来自上地壳,其母岩可能为花岗岩和粘土岩的混合成因。

6 结论

(1)区内二叠纪主体为半咸水环境;纵向上,自早二叠世至晚二叠世水体盐度逐渐降低,海水淡化的过程与裂谷盆地演化消亡的过程同步;横向上同一层段,雅干东部的盐度明显高于北山地区,这与区内的古地理格局(水体东深西浅)有关,与古生物分布特征反映的古盐度情况(东高西低)一致。

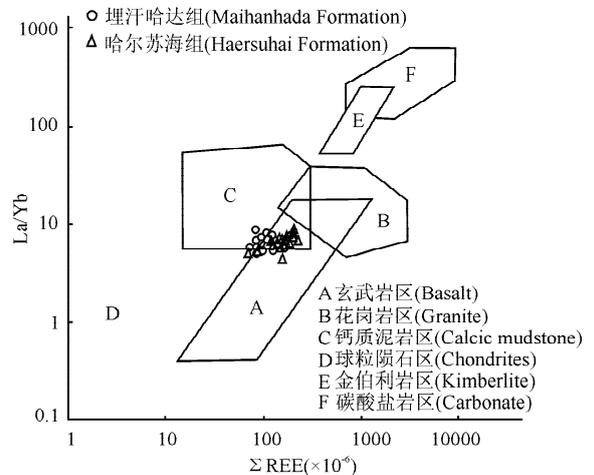
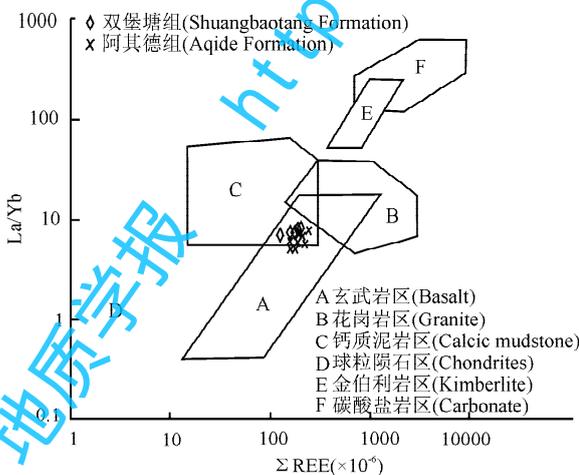


图 4 额济纳旗及邻区二叠纪泥质岩 $La/Yb-\Sigma REE$ 图解

Fig. 4 Plot of $La/Yb-\Sigma REE$ for the Permian mudstones in Ejinaqi and its surrounding areas

(2) 泥岩微量元素 $V/V + Ni$ 值及稀土元素 Ce_{anom} 分析表明, 研究区二叠纪整体处于缺氧、还原环境, 该环境有利于有机质保存。

(3) 泥岩稀土元素配分模式表明, 轻、重稀土元素分异程度较高, 轻稀土元素之间分异明显, 重稀土元素之间分异不明显, Eu 表现出明显负异常, Ce 接近正常。根据稀土元素配分模式, 结合野外地质调查资料, 认为区内原始物质应来自上地壳, 物源可能为花岗岩和粘土岩的混合成因。

致谢: 中国地质调查局西安地质调查中心卢进才主任、吉林大学孙跃武教授和宜昌地质矿产研究所、长安大学、中国石油大学(北京)及长江大学的相关人员共同参加了野外工作, 在此致以衷心的感谢!

参 考 文 献

《中国地层典》编委会. 2000. 中国地层典—二叠系. 北京: 地质出版社.

卜建军, 段先峰, 牛志军. 2011. 内蒙古西部额济纳旗及邻区中二叠统腕足类动物群的特征和时代. 地质通报, 30(6): 943~954.

陈践发, 卢进才, 石正勇, 唐友军. 2010. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系烃源岩的发育特征和生烃潜力评价. 地质通报, 29(2~3): 346~350.

陈践发, 卢进才, 唐友军, 魏建设, 朱雷, 姜亨, 王冠男. 2011. 内蒙古西部银根—额济纳旗盆地石炭系—二叠系暗色泥质岩有机质丰度变化特征和生烃潜力. 地质通报, 30(6): 859~864.

党森, 赵虹, 林广春, 仵康林, 康晓燕, 葛海影, 吴斌, 刘少红. 2011. 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. 地质通报, 30(6): 923~931.

冯兴雷, 付修根, 谭富文, 陈文彬. 2010. 北羌塘盆地沃岩山剖面上三叠统土门格拉组沉积岩地球化学特征与构造背景分析. 现代地质, 24(5): 910~918.

李福来, 曲希玉, 刘立, 杨德明, 王德海, 赵国祥. 2009. 内蒙古东北部上二叠统林西组沉积环境. 沉积学报, 27(2): 265~272.

廖志伟, 陈洪德, 陈安清, 赵俊兴, 王峰, 张建华, 李洁, 刘洋. 2011. 鄂尔多斯盆地南部二叠系山西组二段泥岩稀土元素特征及地质意义. 石油天然气学报, 33(9): 7~12.

刘宝珺, 曾允孚. 1985. 岩相古地理基础和工作方法. 北京: 地质出版社, 210~225.

刘宝珺. 1980. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 286~289.

卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 李玉宏, 魏建设. 2011a. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积后的构造演化、盖层条件与油气信息——石炭系—二叠系油气地质条件研究之三. 地质通报, 30(6): 835~849.

卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 李玉宏, 魏建设. 2011b. 内蒙古西部额济纳

旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之一. 地质通报, 30(6): 811~826.

卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 李玉宏, 魏建设. 2011c. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系的储集条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之二. 地质通报, 30(6): 827~837.

卢进才, 魏仙样, 魏建设, 李玉宏. 2010. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件初探. 地质通报, 29(2~3): 330~340.

文华国, 郑荣才, 唐飞, 郑爱萍, 桑廷元, 陈守春, 李瑰丽, 李联新. 2008. 鄂尔多斯盆地耿湾地区长 6 段古盐度恢复与古环境分析. 矿物岩石, 28(1): 114~120.

吴少波. 2001. 博格达山前凹陷上二叠统乌拉泊组沉积相及沉积模式. 沉积学报, 19(3): 333~339.

徐学义, 何世平, 王洪亮. 2008. 中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区. 北京: 科学出版社.

许璟, 蒲仁海, 杨林, 李文红. 2010. 塔里木盆地石炭系泥岩沉积时的古盐度分析. 沉积学报, 28(3): 509~517.

张金亮, 张鑫. 2006. 塔里木盆地志留系古海洋沉积环境的元素地球化学特征. 中国海洋大学学报, 36(2): 200~208.

赵省民, 陈登超, 邓坚, 李锦平. 2011. 银根—额济纳旗及邻区石炭—二叠纪碳酸盐岩的沉积特征及其地质意义. 地球科学, 36(1): 62~72.

赵省民, 陈登超, 邓坚. 2010. 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. 地质学报, 84(8): 1183~1194.

宋如凯, 郭宏磊, 何东博, 罗忠, 邵龙义. 2002. 中国西北地区石炭系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义. 现代地质, 16(2): 130~136.

左国朝, 刘义科, 刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化. 甘肃地质学报, 12(1): 1~15.

Adams T D, Haynes J R, Walker C T. 1965. Boron in Holocene illites of the dovey estuary, wales, and its relationship to palaeosalinity in cyclothem. Sedimentology, 4: 189~195.

Hatch J R, Leventhal J S. 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environmental and geochemistry of the upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone Wabaunsee County, Kansas, USA. Chemical Geology, 99: 65~82.

Walker C T. 1963. Departure curves for computing palaeosalinity from Boron in illites and shales. AAPG Bulletin, 47: 833~841.

Walker C T. 1968. Evaluation of boron as a palaeosalinity indicator and its application to offshore prospects. AAPG Bulletin, 52: 751~766.

Wright J, Schrader H, Holser W T. 1987. Paleoredox variations in ancient oceans recorded by rare earth elements in fossil apatite. Geochimica et Cosmochimica Acta, 51: 631~644.

Rare Earth and Trace Elements Geochemical Characteristics of the Dark Permian Mudstones in Ejinaqi and Its Surrounding Areas, Western Inner Mongolia

SONG Jian¹⁾, ZHAO Xingmin¹⁾, CHEN Dengchao²⁾, DENG Jian¹⁾, MIAO Zhongying¹⁾,
MING Chengdong³⁾, LU Cheng¹⁾

1) *Institute of Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *Shengli Oilfield Geological Survey Institute, Sinopec, Dongying, Shandong, 257015;*

3) *Chinese Geology University (Beijing), Beijing, 100083*

Abstract

The analysis of trace elements of the dark Permian mudstones shows that Ejinaqi and its surrounding areas were semi-salt water sedimentary environment during the Permian. Vertically, the water salinity was gradually reduced, and this process was synchronous with the extinctive process of the rift basin. Horizontally, salinity in the east (to east of the Yagan area) was obviously higher than that in the west (Beishan area), which was probably related to paleo-geographical sedimentary pattern (deep water in the east and shallow in the west), and was consistent with the distribution characteristics of paleontology. Combined with the analysis of $V/V+Ni$ and Ce_{anom} of mudstones, it is suggested that Permian period was characteristic of reductive environment and was helpful to the preservation of organic matters. Combination of distributive pattern of the rare earth elements from dark mudstones with field geological survey indicates that its province was from the upper crust and its parent rocks were the mixing of claystones and granite rocks in the studied area.

Key words: mudstones; trace elements; rare earth elements; paleosalinity; reductive environment; parent rocks; Permian; Inner Mongolia