

DOI: 10. 16562/j. cnki. 0256-1492. 2016. 06. 017

山东半岛南部滨浅海区 QDZ03 孔 稀土元素组成与物源判别

仇建东^{1,2}, 王双¹, 刘健^{1,2}, 张勇¹, 孔祥淮

(1. 国土资源部 海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 青岛 266061)

摘要:对最近在山东半岛南部滨浅海区获得的全取心 QDZ03 孔做了稀土元素地球化学分析,探讨了稀土元素组成特征和钻孔沉积物物质来源。根据钻孔稀土元素的垂向变化特征,并结合沉积物粒度、颜色、测年等其他指标,QDZ03 孔可分为 5 段,包括 2 个海相段和 3 个陆相段,海相段的稀土元素总量略大于陆相段。钻孔稀土元素总量为 83.87~219.26 $\mu\text{g/g}$,平均值为 167.55 $\mu\text{g/g}$,与北美页岩平均值相当,高于上部地壳和黄河沉积物平均值。通过稀土元素配分模式、Ce-La 元素的 DF 判别函数及 LREE/HREE 与 ΣREE 关系分析认为,钻孔沉积物物质来源在晚更新世前后发生了一定的变化,在晚更新世前,物源可能是混合源或受到后期环境改造影响较大,晚更新世以后,钻孔沉积物主要受到五龙河和黄河沉积物的影响,尤其是近 2 000 a 以来,钻孔沉积物物质与黄河沉积物接近程度最高。

关键词:稀土元素; QDZ03 孔; 物源; 山东半岛

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2016)06-0143-09

海岸带沉积物的地球化学记录提供了过去环境变化的资料,从沉积物的元素组成可以反映不同沉积环境的信息,从元素地球化学方面探讨沉积物所记录的气候环境信息,已越来越多地用于全球气候变化研究。稀土元素(REE)作为特殊的元素在地球化学研究中占有相当重要的地位,沉积物中的 REE 已经被广泛地应用在沉积物物质来源、海洋古环境变化、流域盆地的化学风化等研究中。

近年来,对山东半岛沿岸海域沉积物的地球化学特征已有了初步的认识^[1-2],其 REE 特征主要表现为轻稀土元素(LREE)富集、重稀土元素(HREE)平坦以及中等程度的 Eu 异常,其物质来源主要包括现代黄河沉积物和周边中小河流^[3]。但以前的研究主要集中于表层样,尤其是山东半岛南部滨浅海区,缺少钻孔的研究,尚未从历史的角度探讨该区元素地球化学的变化。因此,本文依据最近在山东半岛南部滨浅海区获得的全取心 QDZ03 孔,对钻孔沉积物开展高密度的稀土元素分析测试,探讨本区晚第四纪以来的稀土元素组成特征,并追溯其物质来源。

基金项目:国家自然科学基金项目(41306063,41330964);国土资源部地质调查专项(GZH200900501)

作者简介:仇建东(1983—),男,助理研究员,从事海洋沉积地质与第四纪地质研究,E-mail:jiandongqiu@163.com

收稿日期:2016-09-15; **改回日期:**2016-10-28. 文凤英编辑

1 材料与方法

1.1 样品采集

2011 年 5 月,青岛海洋地质研究所在山东半岛南部滨浅海区进行了地质浅钻取样,钻孔 QDZ03 孔为全取心钻孔,岩心总长 35.98 m,钻孔进尺 40.2 m,地层平均采取率 89.5%,地理坐标为 36°16′03.21″N、120°56′58.77″E,水深 15.5 m(图 1),施工船为“勘 407”综合调查船,采用工艺为跟管钻进、孔底锤击绳索取心。在室内对 QDZ03 孔以 10~12 cm 的间隔进行取样,共采集粒度样品 348 个,地球化学样品 342 个。

1.2 测试方法

样品测试在中国地质调查局青岛海洋地质研究所实验检测中心完成。粒度分析的沉积物样品约 10 g,经双氧水和稀盐酸浸泡处理,除掉有机质和碳酸盐,然后洗盐,用六偏磷酸钠溶液经超声波分散后,用英国马尔文(MALVERN)公司生产的 Mastersizer-2000 型激光粒度分析仪进行粒度测试。仪器测量范围为 0.02~2 000 μm ,粒级分辨率为 0.01 Φ ,重复测量的相对误差 $<2\%$ 。

稀土元素测试步骤如下:试样经过氧化钠溶解

后,用水提取,稀土元素形成氢氧化物沉淀,加三乙醇胺掩蔽 Fe、Al,加 EDTA 络合 Ca、Ba,过滤。稀土元素氢氧化物沉淀溶于 2 mol/L 的盐酸,经强酸性阳离子交换树脂分离富集后,再用 2 mol/L 的盐酸提取,蒸发定容后采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定 14 个稀土元素含量(不包括 Y)。为了保证测试精度和准确度,分别对不同样品进行了重复分析与标样分析,最终稀土元素的相对误差优于 5%。

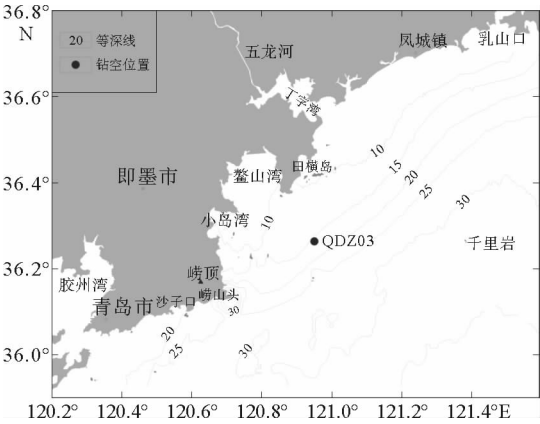


图 1 QDZ03 孔位置
Fig. 1 Location of core QDZ03

2 结果与讨论

2.1 稀土元素组成的垂向变化

根据 QDZ03 孔钻孔沉积物稀土元素含量的变化(表 1 和图 2),并参考沉积物的颜色、粒度、测年等其他指标^[4],可将 QDZ03 孔自上而下划分为 5 层(图 3)。

DU1(0~8.63 m):稀土元素总量自下而上逐渐增高,平均值 182.26 $\mu\text{g/g}$,为全孔 5 个层段中的最高值。沉积物粒度下粗上细,整体上显示正粒序,下部为绿黄灰色黏土质粉砂夹粉砂—细砂质透镜体,上部为绿灰色黏土质粉砂,岩性均匀。沉积物粒径为 5.44~7.19 Φ ,平均为 6.68 Φ ,为全新世以来形成的滨岸、浅海沉积。

DU2(8.63~12.20 m):稀土元素总量变化较大,平均值为 156.20 $\mu\text{g/g}$,比上段有所降低。沉积物组成主要为褐黄、灰黄、深灰色黏土质粉砂—粉砂—细砂,局部夹黏土质条带,可见棕色锈斑和大量黑色炭质斑点,零星贝壳碎片。沉积物粒径为 4.06~6.89 Φ ,平均值为 5.68 Φ ,为氧同位素 3 期晚期至 2 期形成的陆相河流湖泊沉积。

DU3(12.20~17.40 m):稀土元素总量变化进一步增大,为 109.67~187.06 $\mu\text{g/g}$,平均值为 149.93 $\mu\text{g/g}$,为全孔 5 个层段中的最低值。岩心沉积物主要为暗灰色黏土质粉砂—粉砂及与黏土质条带密集薄互层,零星炭质斑点和棕色斑块。沉积物粒径为 4.62~6.14 Φ ,平均值为 5.42 Φ 。参考本段中 3 个 OSL 测年年龄(69.3 $\pm$ 6)~(61.8 $\pm$ 6)ka,我们认为该段为氧同位素 4 期低海面时期形成的陆相河流湖泊沉积。

DU4(17.40~28.89 m):稀土元素总量有所上升,并且变化较为平缓,平均值为 175.02 $\mu\text{g/g}$ 。岩心沉积物主要由深灰、暗绿灰色黏土质粉砂、黏土质粉砂—粉砂与黏土质条带密集互层组成,零星贝壳碎片。沉积物粒径为 5.04~7.70 Φ ,平均值为 6.87 Φ ,为形成于氧同位素 5 期受潮汐影响的浅海相沉积。

DU5(28.89~40.02 m):稀土元素总量变化最为剧烈,为 83.87~219.26 $\mu\text{g/g}$,平均值为 158.52 $\mu\text{g/g}$ 。岩心沉积物为褐黄色、棕黄色黏土质粉砂和深灰色粉砂-细砂夹杂灰黄色黏土质线理、条带,较多棕色锈斑,偶见钙质结核,生物扰动较强,见 2 个垂直层面的虫孔,内部被细砂充填。沉积物粒径为 3.74~6.45 Φ ,平均值为 5.47 Φ 。本段沉积年龄早于氧同位素 5 期,可能形成于氧同位素 6 期时的低海平面时期或更早的时期,主要包括河流湖泊沉积及滨岸沉积。

2.2 稀土元素总量变化与 Eu、Ce 异常

钻孔中稀土元素总量(ΣREE)变化范围为 83.87~219.26 $\mu\text{g/g}$,平均值为 167.55 $\mu\text{g/g}$,与北美页岩平均值(163 $\mu\text{g/g}$)^[5]相当,高于上部地壳的 REE 平均含量(146 $\mu\text{g/g}$)^[6]。与中国邻海表层沉积物 REE 的平均含量相比,该孔沉积物稀土元素总量低于渤海(229.29 $\mu\text{g/g}$)和南海(187.58 $\mu\text{g/g}$),高于黄海(134.03 $\mu\text{g/g}$)和东海(140.03 $\mu\text{g/g}$)^[7-8];与中国内陆河流沉积物的稀土总量相比,与长江(167.11 $\mu\text{g/g}$)沉积物含量相当,而高于黄河(137.74 $\mu\text{g/g}$)沉积物^[9]含量。钻孔 QDZ03 沉积物中 LREE 占 90.30%,LREE/HREE 平均值为 9.33,即轻稀土相对富集。

陆相沉积段(DU2、DU3 和 DU5) ΣREE 平均值为 155.73 $\mu\text{g/g}$,其中 LREE 占 90.34%,HREE 占 9.66%,为轻稀土富集型。海相沉积段(DU1 和 DU4)的 ΣREE 平均值为 178.57 $\mu\text{g/g}$,其中 LREE 占 90.24%,HREE 占 9.76%,为轻稀土富集型。陆相沉积段的稀土含量相比于海相沉积段略低。

表 1 QDZ03 孔各段沉积物稀土元素的特征参数
Table 1 Main indices of REE in core QDZ03

沉积段(样品数)		$\Sigma\text{REE}/(\mu\text{g/g})$	LREE/%	HREE/%	LREE/HREE	δEu	δCe
QDZ03(342)	最大	219.26	91.91	11.10	11.37	0.82	1.09
	最小	83.87	88.90	8.08	8.01	0.58	0.88
	平均	167.55	90.30	9.70	9.33	0.71	0.96
S _{陆相} (165)	平均	155.73	90.34	9.66	9.35	0.71	0.95
DU2	最大	178.49	91.49	11.06	10.75	0.78	1.09
	最小	112.14	88.94	8.51	8.04	0.66	0.91
	平均	156.20	90.11	9.89	9.14	0.72	0.96
DU3	最大	187.06	91.02	10.71	10.14	0.82	0.98
	最小	109.67	89.29	8.98	8.33	0.69	0.93
	平均	149.93	90.30	9.70	9.31	0.73	0.95
DU5	最大	219.26	91.92	11.10	11.37	0.80	1.02
	最小	83.87	88.90	8.08	8.01	0.58	0.88
	平均	158.52	90.49	9.51	9.56	0.70	0.94
S _{海相} (177)	平均	178.57	90.24	9.76	9.25	0.70	0.97
DU1	最大	197.52	90.90	10.64	9.99	0.73	1.00
	最小	155.76	89.36	9.10	8.40	0.67	0.95
	平均	182.26	90.18	9.82	9.19	0.70	0.98
DU4	最大	195.39	90.84	10.19	9.92	0.73	0.98
	最小	138.20	89.81	9.16	8.81	0.68	0.90
	平均	175.02	90.30	9.70	9.32	0.70	0.96

注:S_{海相}代表海相段,S_{陆相}代表陆相段, δCe 和 δEu 代表球粒陨石标准化后数值.

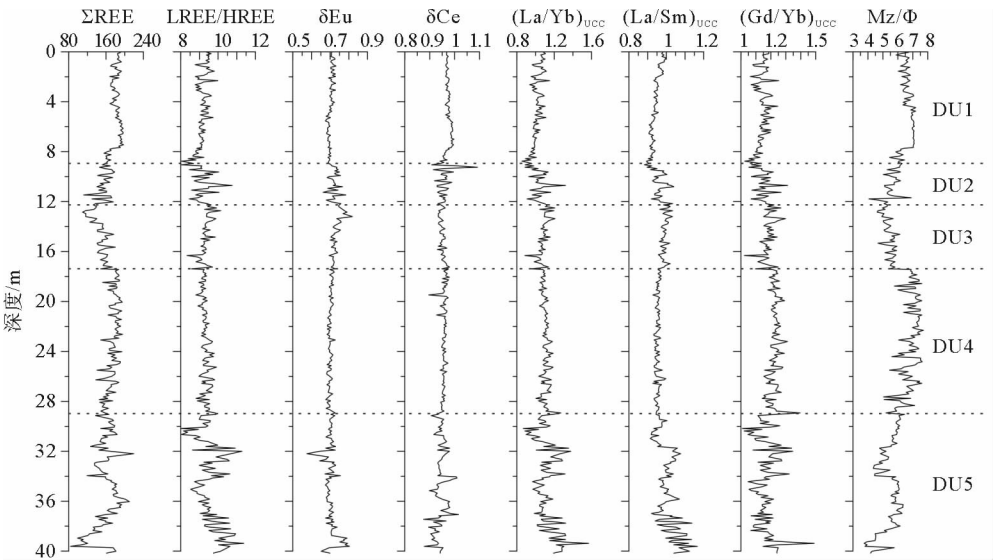


图 2 山东半岛南部滨浅海区 QDZ03 孔稀土元素特征参数垂向变化
Fig.2 Variation in REE main indices with depth in core QDZ03

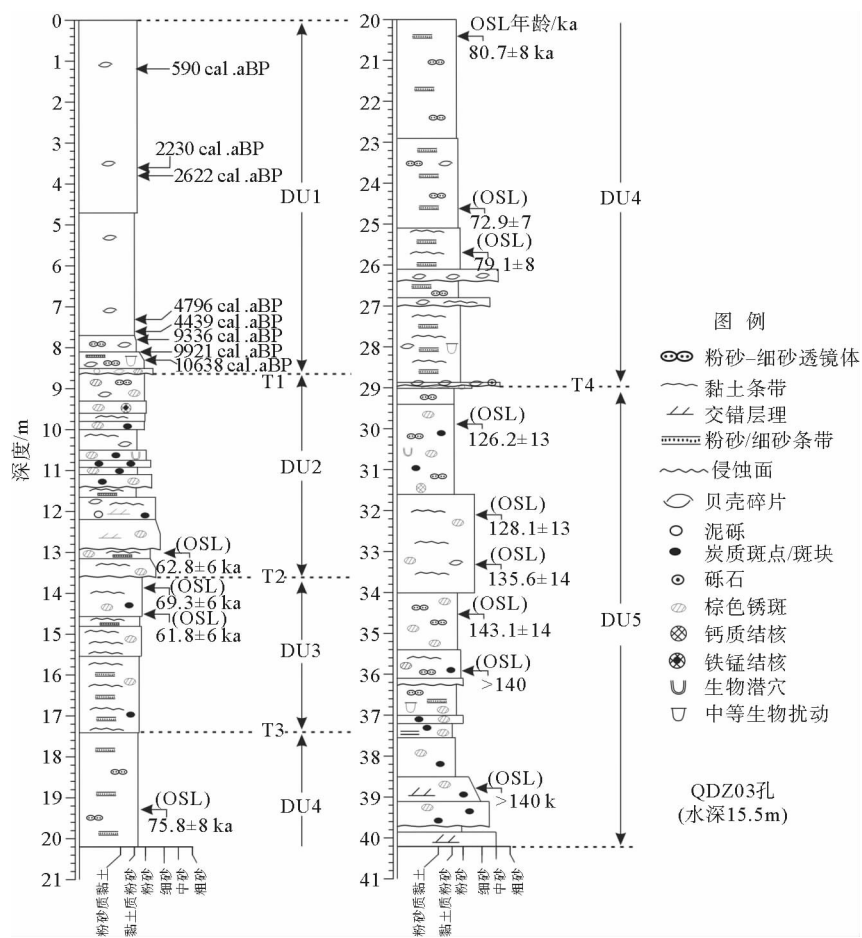


图 3 山东半岛南部滨浅海区 QDZ03 孔岩性柱状图(修改自文献[4])(DU1—DU5:沉积单元)
Fig. 3 Lithologic column of core QDZ03 (modified from reference [4])(DU1 to DU5 are depositional units)

QDZ03 孔沉积物稀土元素的总量(ΣREE)随深度的变化趋势与中值粒径的变化趋势基本一致(图 2),说明物源物质沉积后环境对其改造不明显;自上而下 ΣREE 略微变小,而 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{UCC}}$ 略微升高,即稀土元素总量有所减少,而轻稀土富集程度有所增加。轻重稀土之间的分异程度 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{UCC}}$ 与 ΣREE 变化在不同深度表现出不同的相关关系,而 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{UCC}}$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{UCC}}$ 的变化与 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{UCC}}$ 基本同步(图 2),反映了轻稀土元素含量的变化总体上决定了稀土总量的变化。

样品球粒陨石标准化的 δEu 值变化范围为 0.58~0.82,平均值为 0.71(表 1),变化较小,且与中国东部上陆壳($\delta\text{Eu}=0.63$)、长江沉积物($\delta\text{Eu}=0.65$)和黄河沉积物($\delta\text{Eu}=0.59$)的 δEu 值相近,Eu 出现明显的负异常,表明相对于球粒陨石,QDZ03 孔沉积物已经产生明显的分异,分异程度接近于大陆地壳;而球粒陨石标准化样品的 δCe 值变化范围为 0.88~1.09,平均值为 0.96,略具负异常,说明无论在源区岩石风化过程中还是在陆架海区的沉积过

程中均不具备形成 Ce 异常的环境,且其平均值与中国东部上陆壳($\delta\text{Ce}=0.99$)基本一致,而与海水差别较大,说明该钻孔的沉积物来源区的氧化-还原条件和酸碱性可能变化不大,稀土元素主要是由大陆岩石风化搬运而来,非海水提供。

δEu 值在陆相沉积段平均值为 0.71,在海相段为 0.70,两者差别不大,显示出明显的负异常;而 δCe 在陆相沉积段为 0.95,海相段为 0.96,两者大致相同,负异常不明显。

2.3 稀土元素分配模式

QDZ03 孔沉积物经球粒陨石标准化后的不同沉积段的配分模式基本一致(图 4)。随着元素从 La 到 Lu 稀土元素的球粒陨石标准化值逐渐降低,La-Eu 曲线较陡,Eu-Lu 曲线较平缓,其配分曲线都表现出明显的右倾负斜率模式,REE 呈现出轻稀土元素富集,重稀土元素平坦以及中等程度的 Eu 异常的特征。在 Eu 处有一个明显的负异常,无明显 Ce 异常;轻、重稀土具较强的分异作用,稀土元素分布

模式呈左高右低的 V 型曲线。通过 QDZ03 孔沉积物与黄河沉积物、崂山花岗岩以及田横岛煌斑岩稀土元素分布模式进行比较,发现其与田横岛煌斑岩和崂山花岗岩的稀土元素分布模式相差较远,而与黄河沉积物稀土元素分布模式比较接近,具有负斜率、Eu 负异常特征,轻稀土相对于重稀土富集程度较高,表明了该孔的沉积物与现代黄河物质有相同的物质来源,而且具有一定的亲陆性。

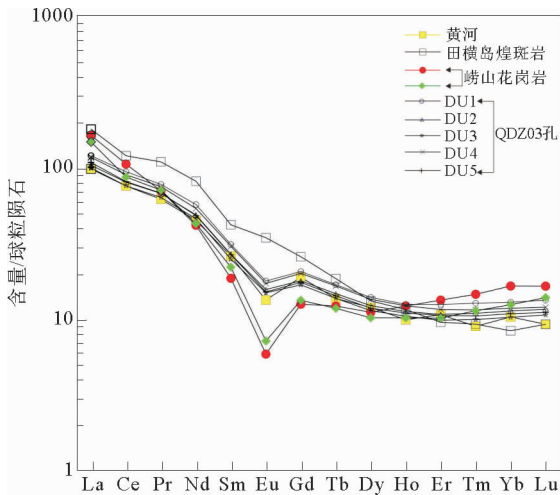


图 4 QDZ03 孔和黄河沉积物及崂山花岗岩和田横岛煌斑岩球粒陨石标准化曲线
(黄河沉积物,崂山花岗岩,田横岛煌斑岩数据分别来自文献[10-14])
Fig. 4 Distribution patterns of chondrite-normalized REEs of the samples in core QDZ03, sediment of the Yellow River, granite of Laoshan Mountain, and lamprophyre of Tianheng Island
(data of Yellow River sediment, Laoshan granite, and Tianheng lamprophyre are from references [10-14])

经中国东部上陆壳标准化后 QDZ03 孔不同深度沉积物稀土元素含量虽有差异(图 5),但配分模式基本一致,配分曲线均为平缓的对称模式。曲线以元素 Gd 为对称点,La/Yb(UCC)平均值为 1.08,其中稀土元素基本没有发生明显分异,而 Gd/Yb(UCC)值多接近于 1,曲线基本左右对称。经上陆壳(UCC)标准化后计算得到 δCe 值为 0.56~0.70,平均值为 0.62,样品表现出明显的 Ce 负异常,而上陆壳(UCC)标准化样品的 δEu 值为 0.88~1.25,平均值为 1.08,基本不显示 Eu 异常。说明各层沉积物具有相同的物源区,并且在沉积过程中没有明显的分异。

从图 5 中我们可以看出,通过对黄河、田横岛煌斑岩、崂山花岗岩以及 QDZ03 钻孔沉积物稀土元素的上陆壳标准模式进行对比分析,可以看出 QDZ03

钻孔各沉积相段的稀土元素配分模式和黄河沉积物最为接近,但稍有不同,而与田横岛煌斑岩和崂山花岗岩稀土元素配分模式相差较大,且海相沉积段稀土元素含量明显高于陆相沉积段,这说明该钻孔沉积物与黄河沉积物有一定的相似性,而与田横岛煌斑岩以及崂山花岗岩相关性不大。

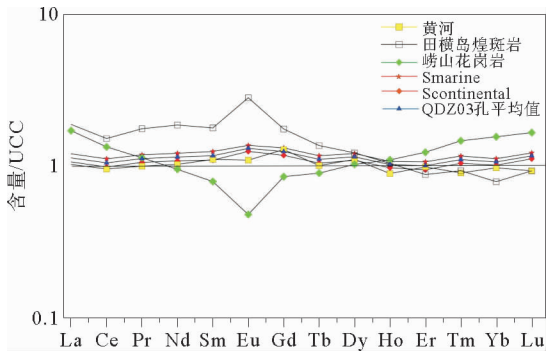


图 5 QDZ03 孔与黄河沉积物及崂山花岗岩和田横岛煌斑岩稀土元素上陆壳标准化曲线对比
Fig. 5 Distribution patterns of UCC-normalized REEs of the samples in core QDZ03, sediment of the Yellow River, granite of Laoshan Mountain, and lamprophyre of Tianheng Island

QZD03 孔海相段($S_{\text{海相}}$)呈近似平坦的直线型(图 6a),各个海相段稀土元素虽然在含量上略有不同但稀土元素型式比较接近,呈狭窄的束状,其中轻稀土的分布十分一致,具有平行变化,而重稀土在含量上稍有不同。La/Yb(UCC)值均较小,变化范围为 0.87~1.57,平均值为 1.08,轻重稀土元素没有发生明显分异。

各陆相沉积段 REE 型式相对海相段较紧密,呈近似平坦的直线型(图 6b),各段沉积物稀土元素含量相差不大,轻稀土和重稀土分布十分一致,表现为平行变化。La/Yb(UCC)值均较小,变化范围为 0.85~1.21,平均值为 1.06,基本没有明显的轻重稀土分异。

2.4 物源探讨

稀土元素在表生环境中相对稳定,沉积物中 REE 组成及分布模式主要取决于源岩,而受风化剥蚀、搬运、水动力、沉积、成岩及变质作用影响小,因而 REE 常用作沉积物的物源示踪剂。

研究区有山东半岛南部沿岸流(黄海沿岸流的一个分支)经过,而且沿岸没有大河汇入,仅有若干中小河流入海。黄河沿岸流携带黄河入海物质沿途沉积^[15],可将部分黄河物质带入研究海区。因此,

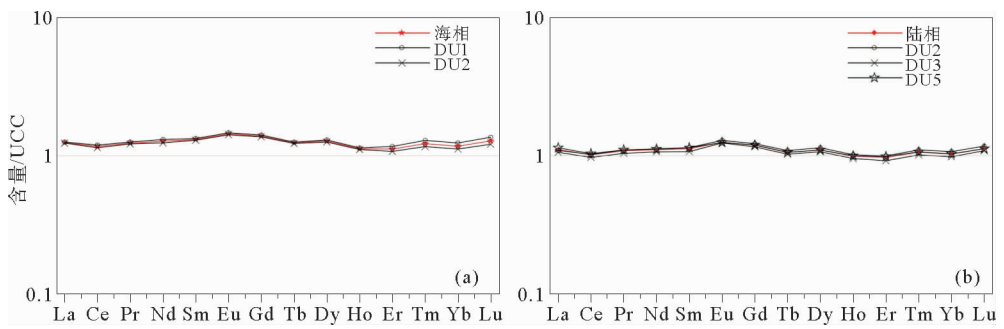


图 6 QDZ03 孔沉积物稀土元素上陆壳标准化曲线
(a) 各海相沉积段稀土元素分布模式; (b) 各陆相沉积段稀土元素分布模式
Fig. 6 Distribution patterns of UCC-normalized REEs of the samples in core QDZ03
(a) Distribution patterns of marine facies; (b) Distribution patterns of continental facies

判断研究区钻孔沉积物源区主要是将入海的中小河
流物质和沿岸流携带物质进行对比。可以利用判别
函数 DF 来判断两者的接近程度。判别函数 DF 的
计算公式^[16]如下:

$$DF = | (C_{ix} - C_{im}) | / C_{im}$$

式中: C_{ix} 表示 QDZ03 孔元素 i 的质量分数或
两元素质量分数比; C_{im} 为端元中元素 i 的质量分
数或两元素的质量分数之比。一般来讲,DF 值越接
近于 0,则表示两种沉积物的地球化学特征越接近。

为了有效判断沉积物之间的接近程度,进行对
比的元素应尽可能具备如下特点:地球化学性质较
稳定,在风化、搬运、沉积等过程中几乎被等量地转
移到碎屑沉积物中,能更好地反映物源的信息。稀
土元素是一组地球化学性质相近的元素,符合物源区

判断的条件。为了消除沉积物粒度对元素丰度的影
响,一般采用元素对的比值进行比较研究,因为稀土
元素在沉积物的不同粒径中具有相似的富集规律。

我们选取 Ce/La 作为对比元素,以附近的中小
河流(五龙河、乳山河)和长江、黄河作为端元,系统
计算了 QDZ03 孔沉积物的 DF 值。如图 7 为 Ce-La
的判别函数随深度的变化。判别函数越小,表明沉
积物化学成分越接近研究区沉积物组成。图 7 表
明,黄河、五龙河、乳山河、长江的判别函数(DF_{hh} 、
 DF_{wh} 、 DF_{rsh} 、 DF_{cj})在晚更新世前后发生了一定的变
化。在晚更新世以前(DU 5 沉积单元), DF_{hh} 、
 DF_{wh} 、 DF_{rsh} 、 DF_{cj} 值基本都小于 0.08,没有明显的差
别,说明当时钻孔沉积物有可能是混合源或受到后
期环境改造影响较大,可能与当时的海流状况、黄河

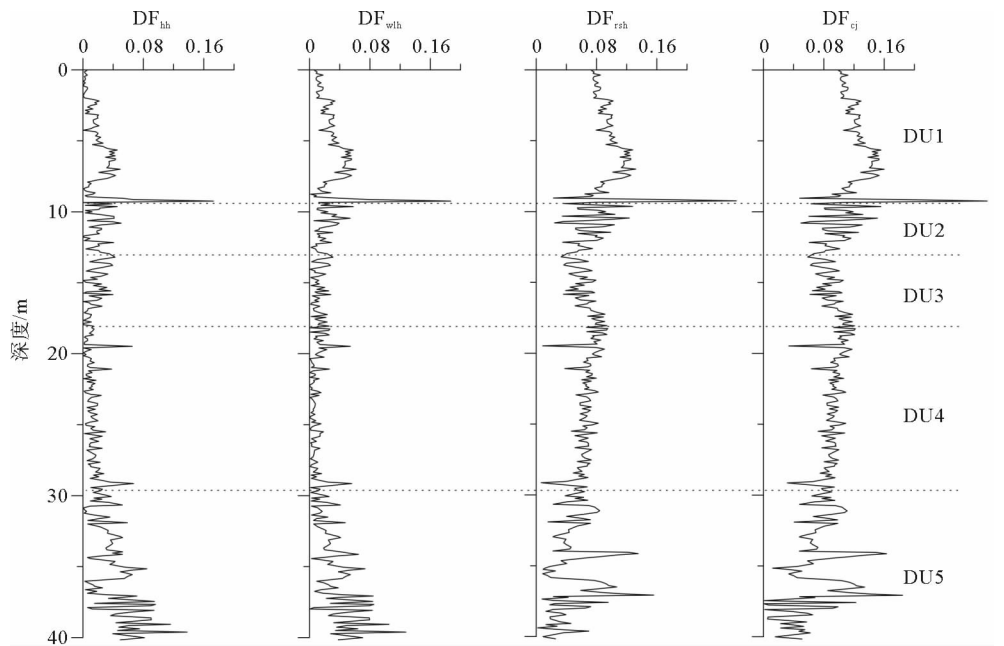


图 7 QDZ03 孔沉积物的 Ce-La 判别函数随深度的变化
Fig. 7 Variation in discriminate function of Ce-La for sediments from core QDZ03

和长江的入海流路有关。进入晚更新世之后, DF_{hh} 和 DF_{wh} 值小于 0.04, 明显低于 DF_{rsh} 和 DF_{cj} 值, 说明钻孔沉积物物源更接近于五龙河和黄河。钻孔位置靠近五龙河河口, 因而河流沉积物会对钻孔产生一定的贡献。同时, 在沿岸流的影响下, 黄河沉积物会被携带至本区而沉积。在全新世(DU 1 沉积单元)早期, DF_{hh} 、 DF_{wh} 、 DF_{rsh} 、 DF_{cj} 值虽有一定的波动, 但可看出, 钻孔沉积物物源仍然以黄河和五龙河沉积物为主。全新世中期(6 000~7 000 aBP)以后, 随着黄海暖流的形成, 黄河沉积物对本区的影响明显增加, 尤其是近 2 000 a, DF_{hh} 值接近于 0, 说明钻孔沉积物的源区与黄河沉积物接近程度最高。

此外, 从钻孔沉积物 LREE/HREE 与 Σ REE 二元图可以看出(图 8), DU5 沉积单元的样品投点极为分散, 说明其物质来源较杂或受到后期环境改造影响较大, 而其他 4 个单元沉积物样品的投点较为集中, 并且主要介于黄河沉积物和五龙河、乳山河沉积物之间, 说明其物质来源主要是黄河沉积物和近源的中小河流沉积物。分析结果与通过 QDZ03 孔沉积物稀土元素球粒陨石标准化曲线(图 4)和上陆壳标准化曲线(图 5)得到的结论基本一致, 也与先前的研究结论^[3,15]相符合。

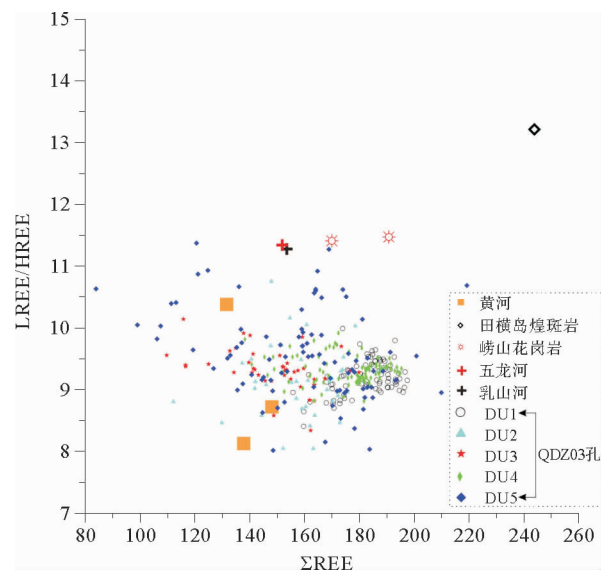


图 8 QDZ03 孔、黄河、五龙河和乳山河沉积物及崂山花岗岩、田横岛煌斑岩 LREE/HREE 与 Σ REE 二元图
(五龙河、乳山河数据来自文献[3])
Fig. 8 Σ REE-LREE/HREE diagram of sediments of the samples of core QDZ03, sediment of the Yellow River, Wulong River, Rushan River, granite of Laoshan Mountain, and lamprophyre of Tianheng Island (data on Wulong River and Rushan River are from reference [3])

3 结论

- (1)QDZ03 孔沉积物稀土元素总量(Σ REE)变化范围为 83.87~219.26 $\mu\text{g/g}$, 平均值为 167.55 $\mu\text{g/g}$, 与北美页岩平均值相当, 高于上部地壳的含量值, 与长江沉积物含量相当, 而高于黄河沉积物。其中 LREE 占 90.30%, LREE/HREE 平均值为 9.33, 即轻稀土相对富集, 且轻稀土元素含量的变化总体上决定了稀土总量的变化。
- (2)经球粒陨石(CN)标准化后, 配分曲线上轻稀土部分较陡, 重稀土部分比较平坦, 存在显著的 δEu 异常, 曲线模式与黄河沉积物质一致, 经过分析 δEu 、 δCe , 发现该孔沉积物稀土元素主要是由大陆岩石风化搬运来的, 而不是海水提供; 经上陆壳(UCC)标准化后, 配分曲线上分布模式基本一致, 表现为平缓的对称模式。
- (3)判别函数表明, 在晚更新世前后, 钻孔沉积物物源发生了一定的变化。在晚更新世以前, 可能主要是混合源或受到后期环境改造影响较大。晚更新世以来, 钻孔沉积物主要受到五龙河和黄河沉积物的影响, 尤其是近 2 000 a 以来, 钻孔沉积物源区与黄河沉积物接近程度最高。

参考文献(References)

[1] 孔祥准,刘健,李巍然,等. 山东半岛东北部滨浅海区表层沉积物的稀土元素及其物源判别[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(3): 51-59. [KONG Xianghuai, LIU Jian, LI Weiran, et al. Geochemistry of REE and provenance of surface sediments in the littoral area of the northeastern Shandong Peninsula[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(3):51-59.]

[2] 李国刚,胡邦琦,李军,等. 山东半岛沿岸海域表层沉积物的常量元素及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3):45-54. [LI Guogang, HU Bangqi, LI Jun, et al. Geochemistry of major elements in the surface sediments of the offshore area of Shandong Peninsula and its geological implications[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2012, 32(3): 45-54.]

[3] 张晓波,张勇,孔祥准,等. 山东半岛南部近岸海域表层沉积物稀土元素的物源指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(3):57-66. [ZHANG Xiaobo, ZHANG Yong, KONG Xianghuai, et al. Rare earth elements analysis for provenance study of surface sediments off south Shandong Peninsula[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2014, 34(3): 57-66.]

[4] QIU Jiandong, LIU Jian, SAITO Yoshiki, et al. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the south-

ern Shandong Peninsula in the western South Yellow Sea[J]. Journal of Ocean University of China, 2014, 13(5):747-760.

[5] Gromet L P, Dymek R F, Haskin L A et al. The "North American Shale Composite", its compilation, major and trace element characteristics[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, 48(12): 2469-2482.

[6] Taylor S R, McLennan S M. The composition and evolution of the continental crust: Rare earth element evidence from sedimentary rocks[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 1981,301: 381-399.

[7] 王金土. 黄海表层沉积物稀土元素地球化学[J]. 地球化学, 1990(1): 44-53. [WANG Jintu. Geochemical characters of REEs in the Huanghai Sea surface sediments[J]. Geochimica, 1990(1):44-53.]

[8] 沈华梯. 深海沉积物中的稀土元素[J]. 地球化学, 1990(4): 340-348. [SHEN Huati. Rare earth elements in deep-sea sediments[J]. Geochimica, 1990(4):340-348.]

[9] 杨守业, 李从先. 长江与黄河沉积物 REE 地球化学及示踪作用[J]. 地球化学, 1999, 28(4): 374-380. [YANG Shouye, LI Congxian. REE geochemistry and tracing application in the Yangtze River and the Yellow River sediments[J]. Geochimica, 1999, 28(4): 374-380.]

[10] YANG Shouye, JING Hoisoo, CHOI Mansik, et al. The rare earth element compositions of the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) river sediment [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 201: 407-419.

[11] 杨守业, 李从先, JUNG Hoi-soo, 等. 黄河沉积物中 REE 制约与示踪意义再认识[J]. 自然科学进展, 2003a, 13: 365-371. [YANG Shouye, LI Congxian, JING Hoi-soo, et al. Constraints and tracer significance rethinking of the REE in the Yellow River sediments [J]. Advance in Nature Sciences, 2003, 13: 365-371.]

[12] YANG Shouye, LI Congxian, LEE C. B. et al. REE geochemistry of suspended sediments from the rivers around the Yellow Sea and provenance indicators [J]. Chinese Science Bulletin, 2003b, 48: 1135-1139.

[13] 韩宗珠, 倪帮发, 赵广涛, 等. 青岛崂山碱性花岗岩的元素地球化学研究[J]. 海洋湖沼通报, 1991, 1: 16-23. [HAN Zongzhu, NI Bangfa, ZHAO Guangtao, et al. The elemental geochemistry of Alkali-Granite from Laoshan area [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1991, 1: 16-23.]

[14] 韩宗珠, 李敏, 李安龙, 等. 青岛田横岛北岸海滩沉积物稀土元素特征及物源判别[J]. 海洋湖沼通报, 2010, 3: 132-136. [HAN Zongzhu, LI Min, LI Anlong, et al. REE characteristic and provenance discrimination of sediments from beach north shore of Tianheng Island in Qingdao [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010, 3: 132-136.]

[15] 秦蕴珊, 李凡. 黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响[J]. 海洋科学集刊, 1986, 27: 125-135. [QIN Yunshan, LI Fan. Study on the influence of sediment loads discharged from Yellow River on sedimentation in the Bohai Sea and Huanghai Sea[J]. Studia Marine Sinica, 1986, 27: 125-135.]

[16] 蓝先洪, 张宪军, 赵广涛, 等. 南黄海 NT1 孔沉积物稀土元素组成与物源判别[J]. 地球化学, 2009, 38(2): 123-132. [LAN Xianhong, ZHANG Xianjun, ZHAO Guangtao, et al. Distributions of rare earth elements in sediments from core NT1 of the South Yellow Sea and their provenance discrimination[J]. Geochimica, 2009, 38(2): 123-132.]

GEOCHEMISTRY OF REE IN SEDIMENTS OF CORE QDZ03 OFF SOUTHERN SHANDONG PENINSULA AND ITS IMPLICATIONS FOR PROVENANCE

QIU Jiandong^{1,2}, WANG Shuang¹, LIU Jian^{1,2}, ZHANG Yong¹, KONG Xianghuai¹

(1. The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;
2. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: With the data of rare earth elements (REE) of the sediments from the core QDZ03 acquired off the southern Shandong Peninsula recently, we discuss the REE composition and its bearing on provenance of the sediments in this paper. According to the vertical change in REE, grain size and color with age, the core QDZ03 can be divided into 5 segments, including 2 marine and 3 continental segments. The total of REE in the marine is higher than that in the continental facies. The total REE of the core changes between 83.87~219.26 $\mu\text{g/g}$, with an average at 167.55 $\mu\text{g/g}$, which is the same as the north American shale, but higher than those of the upper crust and the Yellow River sediment. Based on the distribution patterns of REEs, using the D/F discrimination function of Ce-La and correlation of LREE/HREE and ΣREE , we infer that the source of core QDZ03 has an obvious change before and after late Pleistocene. Before late Pleistocene, there might be a mixed-source or the sediments have affected by the later environment. The main source after late Pleistocene is mainly from the Yellow River and the local small rivers, especially for the deposits of recent 2000 yr, which are close to the Yellow River sediment.

Key words: rare earth elements; provenance; core QDZ03; Shandong Peninsula