

三亚市近岸海域 SYD1 钻孔沉积物的 稀土元素和物质来源

张从伟,李亮,张匡华,龙根元

(海南省海洋地质调查研究院 海口 570206)

摘要:文章采集三亚市近岸海域 SYD1 钻孔的沉积物样品,对其稀土元素的含量进行计算和对比;通过对稀土元素 $\delta\text{Eu}_{\text{CN}}$ 、 $\delta\text{Ce}_{\text{CN}}$ 和 LREE/HREE 等的平均值以及球粒陨石标准化配分模式的分析和对比,探讨该区沉积物的物质来源。研究结果表明:SYD1 钻孔沉积物稀土元素总量的平均值低于中国浅海沉积物和南海海域表层沉积物;稀土元素含量受沉积物粒度影响,符合“元素粒度控制律”;该区沉积物源具有大陆地壳性质,以海南岛近岸陆源碎屑为主。

关键词:海洋沉积物;稀土元素;配分模式;球粒陨石标准化;海洋地球化学

中图分类号:P736.21+2;P736.4+1

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)06-0034-06

Rare Earth Elements and Material Sources of SYD1 Borehole Sediments in Sanya Offshore Area

ZHANG Congwei, LI Liang, ZHANG Kuanghua, LONG Genyuan

(Marine Geological Survey Institute of Hainan Province, Haikou 570206, China)

Abstract: In this paper, the concentration of the rare earth elements was calculated and compared by the sediment samples collected from SYD1 borehole in the offshore area of Sanya. Through the analysis and comparison of the chondrite-normalized REE distribution patterns, and the mean value of $\delta\text{Eu}_{\text{CN}}$, $\delta\text{Ce}_{\text{CN}}$, LREE/HREE, the material sources of the sediments were discussed. The results showed that the mean value of the REE in the SYD1 borehole was lower than that in China's shallow sea sediments and surface sediments in the South China Sea. The concentration of REE in the drilling sediments was controlled by the grain size, and following the “elemental particle-size control law”. The sedimentary source of this area reflected the characteristics of the continental crust, and was mainly from the nearby terrestrial detritus of Hainan island.

Key words: Marine sediment, Rare earth elements, Distribution patterns, Chondrite-normalized, Marine geochemistry

收稿日期:2017-11-01;修订日期:2018-05-17

基金项目:海南省国土资源厅“海南岛海岸带综合地质调查与评价(跨年度项目)”项目(HZ2015-235)。

作者简介:张从伟,工程师,硕士,研究方向为地球化学和海洋地质

稀土元素(REE)在地壳岩石中分布广泛,在表生环境中具有相对稳定和相似的地球化学性质。在一般的沉积和变质作用过程中,稀土元素的分布模式保持不变,可将源岩的信息带入新的混合沉积物^[1-2],因此可利用沉积物中稀土元素的组成特征,对沉积物的物源性质和气候环境变化进行示踪^[3]。稀土元素受到地球化学研究者的广泛重视,海底沉积物稀土元素的丰度、配分模式和一些重要参数对于探讨沉积物的形成条件、物源性质和气候环境变化具有重要意义^[4-12]。目前针对三亚市近岸海域沉积物稀土元素的研究较少,本研究根据 SYD1 钻孔的沉积物样品数据,对其稀土元素含量和沉积物源等进行探讨。

1 样品采集和测试分析

SYD1 钻孔位于三亚市近岸崖州湾海域、宁远河入海口外围,具体位置如图 1 所示。

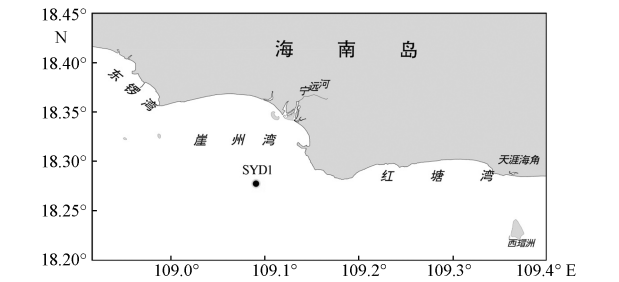


图 1 三亚市近岸海域 SYD1 钻孔采样站位

SYD1 钻孔处水深为 20.7 m,钻孔总进尺为 21.8 m,取芯长度为 15.4 m。于岩芯剖面自下而上共采集沉积物样品 27 个,按照海洋区域地质调查规范进行样品的室内处理和测试分析。其中,沉积物

粒度采用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测量;用于稀土元素含量分析的样品经 60℃烘干后,用玛瑙研钵研磨至 200 目,以 HCL+HClO₄+HF 加热分解,制成 2%的盐酸溶液,采用 ME-MS81 熔融法电感耦合等离子体光谱法测定。测试分析的误差均符合要求。

2 SYD1 钻孔沉积物稀土元素的含量

根据沉积物的岩性和粒度特征,可将 SYD1 钻孔沉积物划分为 10 层(图 2)。

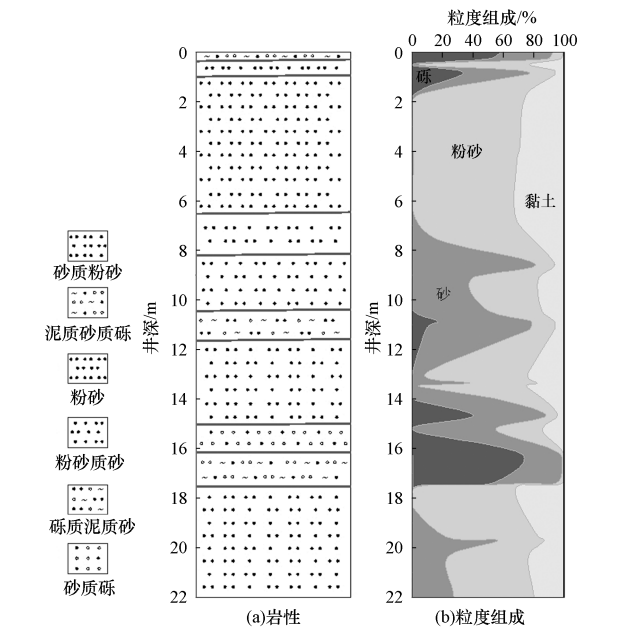


图 2 SYD1 钻孔沉积物的岩性和粒度组成

27 个沉积物样品的稀土元素的地球化学分析数据如表 1 所示。

表 1 SYD1 钻孔沉积物稀土元素的含量分析结果

样品编号	采样 深度/m	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)													
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SYD1-1	0.00	8.50	17.20	1.96	8.20	1.77	0.30	1.30	0.19	1.02	0.21	0.59	0.09	0.71	0.10
SYD1-2	0.28	13.70	27.30	2.99	11.60	2.34	0.45	1.69	0.29	1.55	0.31	0.91	0.13	1.05	0.15
SYD1-3	0.51	29.50	52.90	5.85	23.40	4.48	0.80	2.95	0.51	3.08	0.62	1.84	0.28	2.12	0.30
SYD1-4	0.85	21.00	42.40	4.70	19.60	4.07	0.68	2.92	0.44	2.41	0.51	1.52	0.22	1.69	0.24
SYD1-5	1.80	32.50	65.70	7.58	31.30	6.12	1.18	4.48	0.77	4.18	0.82	2.36	0.36	2.65	0.37
SYD1-6	3.80	44.90	92.00	10.25	42.40	8.50	1.57	6.25	1.01	5.41	1.07	3.07	0.46	3.22	0.45
SYD1-7	4.47	47.90	98.40	10.95	45.80	8.96	1.70	6.56	1.07	5.87	1.18	3.37	0.48	3.62	0.48

续表

样品编号	采样 深度/m	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)													
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SYD1-8	6.60	53.70	114.00	12.00	47.70	9.48	1.34	6.23	1.05	5.89	1.18	3.39	0.49	3.81	0.52
SYD1-9	7.60	40.10	82.00	8.82	35.90	6.88	1.03	4.88	0.83	4.63	0.93	2.72	0.42	3.26	0.43
SYD1-10	8.56	16.00	30.00	3.39	13.20	2.39	0.51	1.83	0.33	1.77	0.40	1.10	0.19	1.54	0.21
SYD1-11	9.17	32.30	64.30	7.07	28.30	5.55	0.82	3.90	0.65	3.66	0.78	2.33	0.36	2.67	0.38
SYD1-12	10.40	18.50	36.80	3.97	15.70	3.14	0.53	2.12	0.41	2.33	0.50	1.49	0.23	1.85	0.27
SYD1-13	10.87	10.80	19.20	2.29	9.20	1.70	0.38	1.22	0.21	1.36	0.31	0.88	0.15	1.17	0.16
SYD1-14	11.20	9.80	17.20	2.07	7.90	1.40	0.37	1.00	0.17	1.05	0.23	0.64	0.11	0.86	0.11
SYD1-15	12.97	32.10	63.80	7.01	28.50	5.48	0.82	3.72	0.62	3.51	0.76	2.13	0.33	2.62	0.35
SYD1-16	13.36	20.20	38.60	4.35	17.30	3.35	0.58	2.33	0.40	2.22	0.46	1.38	0.22	1.68	0.21
SYD1-17	13.48	32.20	63.20	6.92	27.50	5.28	0.84	3.85	0.61	3.48	0.73	2.09	0.31	2.44	0.34
SYD1-18	14.00	19.60	37.80	4.28	16.80	3.00	0.49	2.05	0.36	2.21	0.46	1.37	0.21	1.67	0.22
SYD1-19	14.67	13.20	24.80	2.80	11.50	2.23	0.42	1.53	0.26	1.49	0.30	0.91	0.14	1.08	0.16
SYD1-20	15.24	20.30	38.80	4.40	17.00	3.08	0.47	2.14	0.38	2.20	0.48	1.57	0.26	2.01	0.30
SYD1-21	16.20	13.40	23.40	3.02	11.70	2.22	0.26	1.41	0.25	1.37	0.27	0.80	0.14	0.95	0.15
SYD1-22	17.40	7.00	12.90	1.56	6.40	1.28	0.26	0.83	0.15	0.83	0.18	0.53	0.08	0.69	0.09
SYD1-23	17.60	43.30	87.60	9.23	36.80	7.00	1.03	5.15	0.89	4.97	1.07	3.26	0.52	3.72	0.50
SYD1-24	19.50	44.40	91.00	9.79	38.00	7.72	1.04	5.27	0.93	5.22	1.06	3.35	0.51	3.95	0.52
SYD1-25	19.70	18.10	35.20	4.00	15.60	3.01	0.50	2.13	0.37	2.19	0.45	1.28	0.23	1.73	0.25
SYD1-26	20.35	34.50	69.50	8.16	33.20	6.64	0.99	4.74	0.77	4.42	0.91	2.79	0.40	3.20	0.41
SYD1-27	21.80	36.40	70.70	7.93	31.60	6.02	0.97	4.39	0.78	4.01	0.86	2.53	0.40	3.13	0.44

经计算,得到 SYD1 钻孔沉积物稀土元素的含量 参数,并与其他区域稀土元素含量进行对比(表 2)。

表 2 SYD1 钻孔沉积物稀土元素含量参数和与其他区域的对比

含量参数	SYD1 钻孔沉积物		海南岛砂岩	中国	南海	地壳 ^[15]	中国浅海	南海海域
	变化范围	平均值	母质土壤 ^[1]	土壤 ^[13]	大陆架 ^[14]		沉积物 ^[16]	表层沉积物 ^[17]
La/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	7.00~53.70	26.44	16.59	39.70	40.51	30.00	33.00	—
Ce/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	12.90~114.00	52.47	31.22	68.40	57.65	60.00	67.00	—
Pr/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	1.56~12.00	5.83	2.60	7.17	10.17	8.20	7.37	—
Nd/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	6.40~47.70	23.41	8.28	26.40	36.77	28.00	29.00	—
Sm/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	1.28~9.48	4.56	1.36	5.22	5.69	6.00	5.60	—
Eu/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.26~1.70	0.75	0.23	1.03	1.35	1.20	1.00	—
Gd/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	1.30~6.56	3.22	1.26	4.60	5.81	5.40	5.11	—
Tb/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.15~1.07	0.54	0.22	0.63	0.83	0.90	0.73	—
Dy/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.83~5.89	3.05	1.55	4.13	3.21	3.00	3.42	—
Ho/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.18~1.18	0.63	0.32	0.87	0.34	1.20	0.64	—
Er/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.53~3.39	1.86	0.94	2.54	1.95	2.80	1.50	—
Tm/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.08~0.52	0.29	0.16	0.37	0.13	0.48	0.15	—

续表								
含量参数	SYD1 钻孔沉积物		海南岛砂岩	中国	南海	地壳 ^[15]	中国浅海	南海海域
	变化范围	平均值	母质土壤 ^[1]	土壤 ^[13]	大陆架 ^[14]		沉积物 ^[16]	表层沉积物 ^[17]
Yb/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.69~3.95	2.19	1.10	2.44	1.59	3.00	2.20	—
Lu/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.09~0.52	0.30	0.16	0.36	0.36	0.50	0.34	—
$\Sigma\text{REE}/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	32.78~260.78	125.52	65.99	163.86	166.36	150.68	157.06	149.18
LREE/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	29.40~238.22	113.44	60.28	147.92	152.14	133.40	142.97	131.90
HREE/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	3.38~22.63	12.08	5.71	15.94	14.22	17.28	14.09	17.20
LREE/HREE	7.98~10.56	9.39	10.56	9.28	10.70	7.72	10.15	7.67
La/Yb _{CN}	5.37~8.20	7.01	8.77	9.46	14.81	5.81	8.72	—
La/Sm _{CN}	2.78~4.05	3.41	—	—	—	—	—	—
Gd/Yb _{CN}	0.76~1.41	1.04	—	—	—	—	—	—
$\delta\text{Eu}_{\text{CN}}$	0.42~0.91	0.57	0.53	0.63	0.71	0.63	0.56	—
$\delta\text{Ce}_{\text{CN}}$	0.86~1.05	0.99	1.06	0.92	0.67	0.91	1.01	—

注:ΣREE、LREE 和 HREE 分别表示稀土元素总量、轻稀土元素含量和重稀土元素含量;CN 表示采用球粒陨石标准化^[18]的值;δEu_{CN}和 δCe_{CN}分别为判断沉积物分异程度的参数,其值接近于 1 即表明相对参照物没有明显分异,反之即表明已产生明显分异。

由表 2 可以看出,SYD1 钻孔沉积物稀土元素总量的平均值低于中国浅海沉积物和南海海域表层沉积物。

SYD1 钻孔沉积物稀土元素含量参数的垂向变化如图 3 所示。

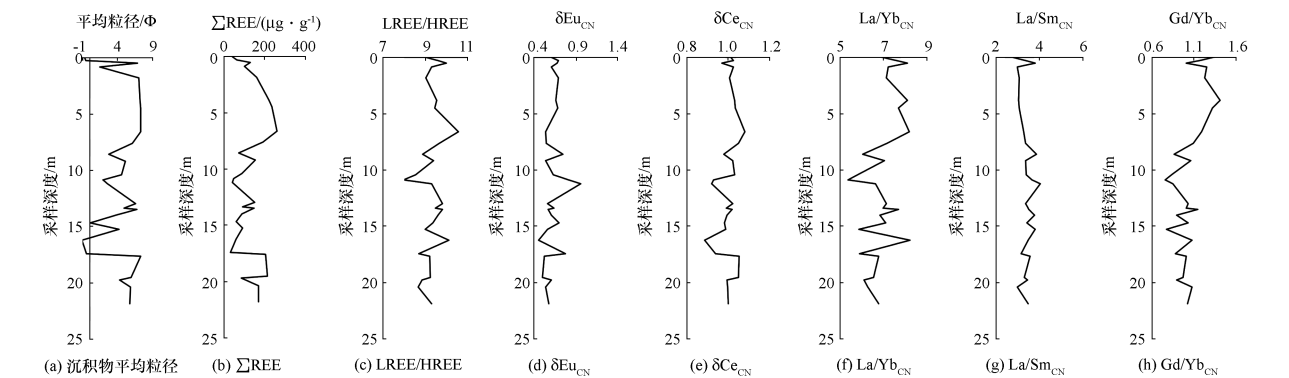


图 3 SYD1 钻孔沉积物稀土元素含量参数的垂向变化

由图 3 可以看出,绝大部分参数在垂向的相同位置上存在相似或相反的变化规律,这应是沉积环境发生变化的直接反映。其中,沉积物平均粒径与稀土元素总量在垂向变化上几乎一致,充分说明稀土元素含量受沉积物粒度影响,符合赵一阳等^[16]提出的“元素粒度控制律”。

3 SYD1 钻孔沉积物的物质来源

3.1 利用稀土元素含量参数判断

由表 2 可以看出,本次采集的 27 个沉积物样品

的底质类型不同,但所有样品稀土元素的 Eu 异常、Ce 异常以及能够反映轻/重稀土元素分异度的参数都很接近,说明稀土元素含量参数的变化特征可能主要受物质来源的影响,因此可利用这些参数判断研究区沉积物源。

(1)Eu 异常可用来判断沉积物的分异程度。经球粒陨石标准化的沉积物样品 δEu_{CN} 值的总体变化范围较小,其平均值与海南岛砂岩母质土壤、中国土壤、地壳和中国浅海沉积物较接近,且基本都存在明显的 Eu 负异常,表明相对于球粒陨石,SYD1

钻孔沉积物已发生明显分异,分异程度与大陆地壳接近,可反映该区沉积物源的大陆地壳性质。

(2)经球粒陨石标准化的沉积物样品 δC_{eCN} 值的平均值与海南岛砂岩母质土壤、中国土壤、地壳和中国浅海沉积物较接近,且基本无 Ce 异常现象。

(3)沉积物样品的轻稀土元素含量远高于重稀土元素含量,LREE/HREE 值的平均值与海南岛砂岩母质土壤、中国土壤和中国浅海沉积物较接近,表现出明显的轻稀土元素相对富集的特点。轻稀土元素富集通常被认为是陆源碎屑的标志性特征,从而可反映该区沉积物的陆源特征。

3.2 利用稀土元素配分模式判断

沉积物稀土元素的配分模式已被广泛应用于物源判断和环境恢复,目前对其研究一般采用球粒陨石标准化以及上陆壳(UCC)或北美页岩(NASC)标准化 2 种途径,从而了解沉积物在沉积过程中混合和均化的影响和分异度^[19]。由于球粒陨石被认为是地球的原始物质,本研究采用球粒陨石标准化反映沉积物样品相对于地球原始物质的分异程度,进而揭示研究区的物源特征^[19]。

通过对 SYD1 钻孔沉积物稀土元素含量的平均值进行球粒陨石标准化,绘制其配分曲线,并与其他区域的稀土元素球粒陨石标准化的配分曲线进行对比,如图 4 所示。

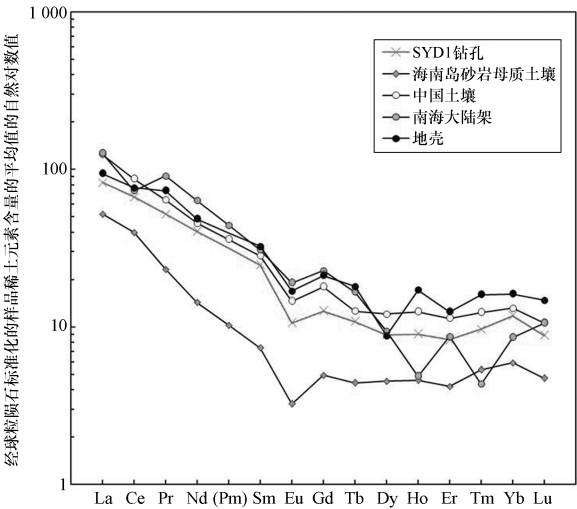


图 4 SYD1 钻孔沉积物稀土元素的配分模式和其他区域的对比

由图 4 可以看出,SYD1 钻孔沉积物稀土元素的配分曲线为向右倾斜的负斜率模式,相对于富集的轻稀土元素,La~Eu 段曲线较陡,而 Eu~Lu 段曲线较平缓,在 Eu 处呈明显的“V”字形,表明中等程度的 Eu 负异常,是大陆地壳稀土元素的典型特征;此外,与海南岛砂岩母质土壤和中国土壤最相似,与地壳较相似,而与南海大陆架差异较大,反映该区沉积物源以海南岛近岸陆源碎屑为主。

4 结语

本研究采集三亚市近岸海域 SYD1 钻孔的沉积物样品,对其稀土元素的含量和物质来源进行分析和对比,主要得出 2 个结论。

(1)该区沉积物稀土元素总量的平均值低于中国浅海沉积物和南海海域表层沉积物;稀土元素含量受沉积物粒度影响,符合“元素粒度控制律”。

(2)利用稀土元素含量参数和球粒陨石标准化配分模式,判断该区沉积物源具有大陆地壳性质,以海南岛近岸陆源碎屑为主。

参考文献

[1] 王月,沈建伟,王旭,等.海南岛三亚小东海岸礁礁坪沉积物的稀土元素分布特征[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(5): 59—66.

[2] MCLENNAN S M.Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes[J].Reviews in Mineralogy and Geochemistry,1989,21(1): 169—200.

[3] 付淑清,朱照宇,欧阳婷萍,等.南海南部陆坡晚第四纪沉积物稀土元素及环境意义[J].热带地理,2010,30(1):24—25.

[4] KLAVER G T,VAN WEERING T C E.Rare earth element fractionation by selective sediment dispersal in surface sediments: the Skagerrak [J]. Marine Geology, 1993, 111: 345—359.

[5] MUNKSGAARD N C,LIM K,PARRY D L.Rare earth elements as provenance indicators in North Australian estuarine and coastal marine sediments[J].Estuarine Coastal and Shelf Science,2003,57(3):399—409.

[6] MOREY G B,SETTERHOLM D R.Rare earth elements in weathering profiles and sediments of Minnesota: Implications for provenance studies[J].Journal of Sedimentary Research, 1997,67:105—115.

(以下内容转至第 61 页)

25(8):33—36.

[13] 刘明.陆海统筹与中国特色海洋强国之路[D].北京:中共中央党校,2014.

[14] 邹广,钟澄.沿海城市海陆统筹发展的几个问题[J].开放导报,2015(4):61—64.

[15] 曹忠祥,刘保奎,王丽.广西陆海统筹发展调查与思考[J].海洋开发与管理,2015,32(3):53—57.

[16] 蔡安宁,李婧,鲍捷,等.基于空间视角的陆海统筹战略思考[J].世界地理研究,2012(1):26—34.

[17] 张惠荣.海域使用权与土地使用权相互转化中的法律问题探讨[J].海洋开发与管理,2008,25(12):49—53.

[18] 范娇娇.基于陆海统筹的南通市沿海滩涂区域空间管制研究[D].芜湖:安徽师范大学,2015.

[19] 罗艳,谢健,王平,等.国内外填海工程对广东省的启示[J].海洋开发与管理,2010,27(3):23—26.

[20] 曹忠祥,宋建军,刘保奎,等.我国陆海统筹发展的重点战略任务[J].中国发展观察,2014(9):42—45.

[21] 高更和,李小建.区域可持续发展评估的公众参与视角:以地方 21 世纪议程南阳试点为例[J].地理科学进展,2005,24(5):97—104.

[22] 刘洪滨,孙丽.胶州湾围垦行为的博弈分析及保护对策研究[J].海洋开发与管理,2008,25(6):80—88.



(上接第 38 页内容)

[7] YANG S Y,LI C X,LEE C B,et al.REE geochemistry of suspended sediments from the rivers around the Yellow Sea and provenance indicators [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(11):1135—1139.

[8] 李春娣,颜文,陈木宏,等.西太平洋暖池温区中心 REE 记录的沉积序列及特征气候事件[J].自然科学进展,2005,15(7):830—836.

[9] 刘宝林,王亚平,王吉中,等.南海北部陆坡海洋沉积物稀土元素及物源和成岩环境[J].海洋地质与第四纪地质,2004,24(4):17—23.

[10] 田正隆,戴英,龙爱民,等.南沙群岛海域沉积物稀土元素地球化学研究[J].热带海洋学报,2005,24(1):8—14.

[11] SHOLKOVITZ E R,ELDERFIELD H,SZYMCZAK R,et al. Island weathering:river sources of rare earth elements to the Western Pacific Ocean [J]. Marine Chemistry, 1999, 68:39—57.

[12] 韩吟文,马振东,张宏飞,等.地球化学[M].北京:地质出版社,2003.

[13] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等.中国土壤环境背景值研究[J].环境科学,1991,12(4):12—19.

[14] 郑凯清.南海 HX132 柱状沉积物稀土元素特征及其沉积环境意义[D].北京:中国地质大学,2012.

[15] SONG Y H,SHEN L P,WANG X J.Preliminary investigations on the behavior of REE in crusts of weathering of some rocks[J].Chinese Science Bulletin,1988,33(15):1279—1283.

[16] 赵一阳,鄢明才.中国浅海沉积物地球化学[M].北京:科学出版社,1994.

[17] 吴绍渊.南海海底稀土元素研究进展[J].海洋科学,2014,38(3):116—121.

[18] HASKIN M A,HASKIN L A. Rare earths in European shales:a redetermination[J].Science,1966,154:507—509.

[19] 李双林.东海陆架 HY126EA1 孔沉积物稀土元素地球化学[J].海洋学报,2001,23(3):127—132.