doi：10.3969/j.issn.1003-2029.2024.02.007

日照市海滩沉积物地球化学元素特征及物源研究

肖倩文[1,2]，姚 强[1]，冯英明[1,2]，郝 义[1,2,3]

（1. 山东省煤田地质局第一勘探队，山东 青岛 266001；2. 日照海洋地质院士工作站，山东 日照 276800；
3. 中国海洋大学海洋地球与科学学院，山东 青岛 266100）

摘 要：海滩是大自然赋予人类宝贵的自然资源，作为著名的海滨旅游城市，日照市拥有丰富的海滩资源。目前，国内对日照市海滩沉积物地球化学特征和物源的研究相对薄弱，掌握海滩沉积物特征对后续海滩保护、海洋管理和滨海旅游业的发展具有重要意义。本文对日照市自北向南 4 个海滩 5 个探槽所采集的 73 个海滩样品，进行了沉积物粒度、常微量和稀土元素测试分析，系统地研究了日照市海滩沉积物的地球化学元素在平面上的变化特征与其物质来源。结果显示，日照市海滩沉积物普遍较粗，以粗砂和中砂为主，自北向南沉积物呈现细–粗–细的变化特征。常量元素以二氧化硅（SiO_2）为主，其次为三氧化二铝（Al_2O_3）和氧化钾（K_2O）、氧化钠（Na_2O）、氧化钙（CaO）等；微量元素以钡（Ba）、锶（Sr）、锆（Zr）为主；稀土元素呈现明显的轻稀土元素富集、重稀土元素亏损，球粒陨石标准化曲线呈现左高右低的“V”形曲线，铕（Eu）异常变化范围较大，从正异常–负异常，无明显铈（Ce）异常。通过与长江、黄河及周边中小型入海河流沉积物的稀土元素对比分析，发现研究区内沉积物物质来源较复杂，主要为陆源物质，受到黄河及周边中小河流的影响程度较高。

关键词：日照市海滩；沉积物粒度；常微量元素；稀土元素；平面变化特征；物源

中图分类号：P67 **文献标识码：**A **文章编号：**1003-2029（2024）02-0058-12

随着经济的快速发展，以及人们休闲旅游意识的不断加强，沿海地区已经逐渐成为人们休闲度假的首选。然而，滨海地区是环境变化的敏感区和生态系统较为脆弱的地带，海滩生态环境逐步恶化、海岸带防护压力增大等已成为普遍问题[1]。日照市地处山东半岛南部，北邻青岛市，南依江苏连云港市，日照市海岸带北起棋子湾（119°37′E，35°36′N），南至岚山头（119°18′E，35°06′N），海岸线长约 100 km，是国内外著名的海滨旅游城市，拥有十分丰富的海滩资源[1]。

国内外对沙滩的研究多集中于砂质海岸，20 世纪 50 年代起，国外开始对砂质海岸进行系统研究。PASSEGA R[2-3]通过分析大量的样品，得出了划分沉积作用方式的 C-M 图。FOLK R 等[4]在 1957 年提出了统计粒度参数的图解法公式。VISHER G[5]于 1969 年提出了不同沉积环境的概率累积曲线图模式。COLLINS G[6]于 1992 年提出了判断沉积物的粒径变化趋势及运移趋势的方法。国内部分学者曾对日照市海滩沉积特征展开了基础研究。吕亚男[7]、王琦等[8]分别对日照市近岸海域海滩沉积物的物质来源进行了综合研究；宋红瑛等[9]对日照市海岸带近海表层沉积物的粒度特征和沉积环境进行了计算分

收稿日期：2023-10-09

基金项目：山东省自然资源厅 2021 年度省级地质勘查项目（鲁勘字〔2021〕57 号）；山东省煤田地质局科研专项项目（鲁煤地科字〔2023〕1 号）；日照市自然科学基金资助项目（RZ2022ZR50）

作者简介：肖倩文（1997—），女，硕士，助理工程师，主要从事海洋沉积方面的研究。E-mail：xiaoqianwen0215@163.com

通讯作者：冯英明（1984—），男，本科，工程师，主要从事工程地质和海洋地质方面的研究。E-mail：865402851@qq.com

析。地球化学元素和沉积物物源是研究沉积环境不可缺少的环节，依据物源研究结果可以进一步探究沉积物物源区的气候条件和构造环境背景[10]。沉积物中的稀土元素组分主要受到源岩的控制，受风化剥蚀作用、搬运沉积作用、变质和成岩作用等其他因素的影响较小，并且稀土元素不易迁移，在所有沉积物类型中，稀土元素的各个参数基本不受沉积物底质类型的影响，决定它们变化特征的主要控制因素是物质来源。因此，稀土元素是对沉积物进行物源判别的有效手段[11-16]，对于沙滩沉积物研究十分必要。

目前，国内对日照市海滩沉积物地球化学特征和物源的研究还相对薄弱，本文将在前人研究的基础之上，对日照市不同海滩沉积物的地球化学元素特征及其物质来源进行研究分析，从而为后续沙滩保护、海岸带保护，海洋管理和滨海旅游业的发展提供一定的科学依据和理论基础。

1　研究区概况

日照市海岸带地理位置位于黄海中部，北起白马河口，南到绣针河口，岬湾相连，发育了较为平直的基岩砂砾质海岸。近海海域主要受到黄海沿岸流的影响，潮流主方向以风海流为主，海底近岸泥沙在潮流的作用下由北向南运移[17]，泥沙的主要来源为沿岸河流入海物质和沿岸冲刷物。日照市海岸线全长（含岛岸线）99.6 km，岸线上有 23 km 的优质沙滩[18]，自北向南主要有海滨国家森林公园沙滩、大陈家村沙滩、东小庄村沙滩、富蓉村沙滩、万平口海水浴场沙滩、金沙岛海水浴场沙滩、岚山第一海水浴场沙滩等 7 个沙滩。本文研究区主要涉及大陈家村沙滩、万平口海水浴场沙滩、金沙岛海水浴场沙滩及岚山第一海水浴场沙滩。

日照市海岸走向受 NE-SW 向的构造控制。区内属暖温带湿润气候，四季分明，受海洋影响显著。研究区内没有在此入海的大型河流，但境内中小型河流纵横，自北向南主要有两城河、潮白河、傅疃河、巨峰河、龙王河和绣针河，多数流入黄海，流向多为北西至南东向，其中，傅疃河是最大的独流入海河道[1,17]。

2　材料与方法

2.1　样品采集

本文 73 个沉积物样品来自日照市自北向南 4 个沙滩 5 个探槽，分别为大陈家村沙滩 TC05 探槽，万平口海水浴场沙滩 TC07 探槽，金沙岛海水浴场沙滩 TC09、TC10 探槽，岚山第一海水浴场沙滩 TC11 探槽（图 1、表 1）。探槽深度一般为 2~3 m，槽口宽 2~3 m，长 4~5 m，槽底宽 0.5~1 m，长 1~1.5 m，呈开口大底部小的倒锥形，槽壁平整。

2.2　测试方法

2.2.1　粒度测试

粒度测试由山东省物化探勘查院实验室完成，该实验室具备 CMA（China Inspection Body and Laboratory Mandatory Approval）资质。

细颗粒样品使用激光粒度仪法进行测试，由山东省物化探勘查院实验室负责测定，使用的仪器为英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪。该仪器粒径测量范围为 0.02~2 000 μm，分辨率为 0.01Φ，重复测量的相对误差小于 3%。激光粒度仪进行了计量标定且在有效期内。

粗颗粒样品使用筛析法进行测试。将沉积物样品烘干后，让砂样通过一系列不同筛孔的标准筛，按 1/2Φ 间隔，将其分离成 14 个粒级，分别称重，求得以质量分数表示的粒度分布。筛析法适用于约 0.063~4 mm 的粒度分布测量。

测试结束后，对测量数据进行统计，使用文献[4]提出的计算公式，计算了各粒度参数，包括平均粒径（Mz）、分选系数（δ）、偏态系数（Sk）、峰态（Ku），采用 Folk 分类方法进行沉积物类型划分。

2.2.2　地球化学元素测试

地球化学元素分析在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成，该实验室具备 CMA 资质。主量元素由 Axiosmax X 射线荧光光谱仪测定，稀土及微量元素由 X Serise2 电感耦合等离子体质谱仪测定。测试环境条件：温度为 19~21℃；相对湿度为 25%~35%。Axiosmax X 射线荧光光谱仪测角仪重现性：0.000 1°，X Serise2 电感耦合等离子体质谱仪波长范围：0~260 amu。检测仪器均进行了计量标定且在有效期内。

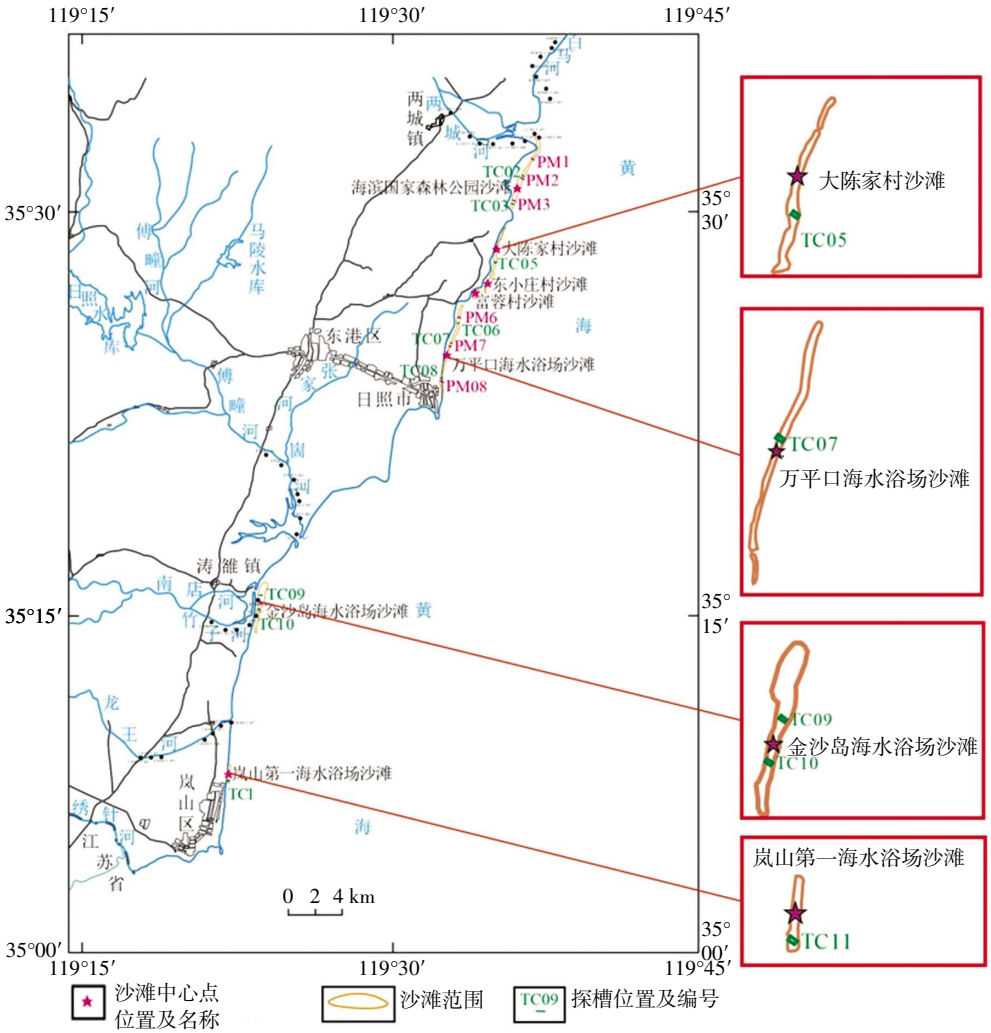


图 1 研究区示意图

表 1 样品采集情况表

探槽编号	采集位置	样品数量
TC05	大陈家村沙滩	11
TC07	万平口海水浴场沙滩	14
TC09	金沙岛海水浴场沙滩北	18
TC10	金沙岛海水浴场沙滩南	13
TC11	岚山第一海水浴场沙滩	16

3 粒度及地球化学元素平面变化特征

3.1 粒度特征

本文沉积物粒度数据选取每个探槽的平均值进行分析，结果显示，日照市海滩沉积物粒度均以砂为主，TC05 探槽主要为粗砂和中砂，平均粒径 0.57 mm；分选中等，偏态为极正偏，峰态窄。TC07 探槽主要为粗砂和中砂，平均粒径 1.13 mm；分选中等，偏态为正偏，峰态中等。TC09 探槽主要为中砂和细砂，平均粒径 0.34 mm；分选差，偏态为极正偏，峰态很窄。TC10 探槽以中砂和细砂为主，平均粒径 0.42 mm；分选差，偏态为极正偏，峰态很窄。TC11 探槽以粗砂和中砂为主，平均粒径 0.47 mm；分选较好，偏态正偏，峰态中等（表 2）。

表 2 研究区沉积物粒度及主要参数

探槽编号	平均粒径/mm	分选系数	偏态	峰态
TC05	0.57	0.90	0.74	1.30
TC07	1.13	0.76	0.26	1.05
TC09	0.34	1.20	1.45	2.14
TC10	0.42	1.27	1.44	2.18
TC11	0.47	0.70	0.37	0.99

注：表中粒度数据为每个探槽的平均值。

图 2 中，探槽自上而下由北至南分布。从图 2 中可看出，日照市海滩沉积物自北向南粒度呈现细–

粗–细的变化趋势，万平口海水浴场海滩沉积物粒度最粗，南部海滩粒度普遍比北部海滩细。分选系数、偏态和峰态呈现相同的变化趋势，自北向南呈现低–高–低的变化趋势，其中，金沙岛海水浴场海滩的沉积物分选最差，偏态为极正偏，峰态很窄。

3.2　常量元素特征

日照市海滩沉积物常量元素平均含量最高的为 SiO_2（73.93%~85.96%），其次为 Al_2O_3（5.60%~12.45%），最低的是五氧化二磷（P_2O_5）（0.03%~0.08%）和氧化锰（MnO）（0.02%~0.07%），其余元素含量由高到低依次为 K_2O（2.63%~4.43%）、Na_2O（1.16%~3.34%）、CaO（0.64%~1.69%）、氧化亚铁（FeO）（0.34%~1.61%）、氧化铁（Fe_2O_3）(0.72%~1.49%)、氧化镁（MgO）（0.12%~0.66%）、二氧化钛（TiO_2）（0.14%~0.47%）(表 3)。

从图 3 可看出，SiO_2 和 FeO 的变化趋势相似，自北向南呈现先减小再增大的变化趋势；Al_2O_3、K_2O、Na_2O、CaO、Fe_2O_3 的变化趋势相似，自北向南呈现先增大后减小的变化趋势；MgO、TiO_2、P_2O_5、MnO 的变化趋势相似，呈现减小–增大–减小的变化趋势。

3.3　微量元素特征

日照市海滩沉积物中微量元素含量最高的是 Ba（910.78~1 635.63 μg/g），其次是 Sr（142.70~348.13 μg/g），含量最低的是锶(Sc)(1.38~5.17 μg/g)和钴（Co）（1.74~4.37 μg/g），其余元素含量由高到低依次为 Zr（86.28~561.79 μg/g）、钒（V）(16.28~34.66 μg/g)、钍（Th）（3.90~11.96 μg/g）、镍(Ni)(3.39~8.93 μg/g）和铪(Hf)(2.13~8.42 μg/g)(表 4)。

从图 4 中可看出，研究区内沉积物微量元素自北向南存在 3 种变化趋势。Ba 和 Sr 变化趋势一致，自北向南呈现先增大后减小的趋势，在万平口海水

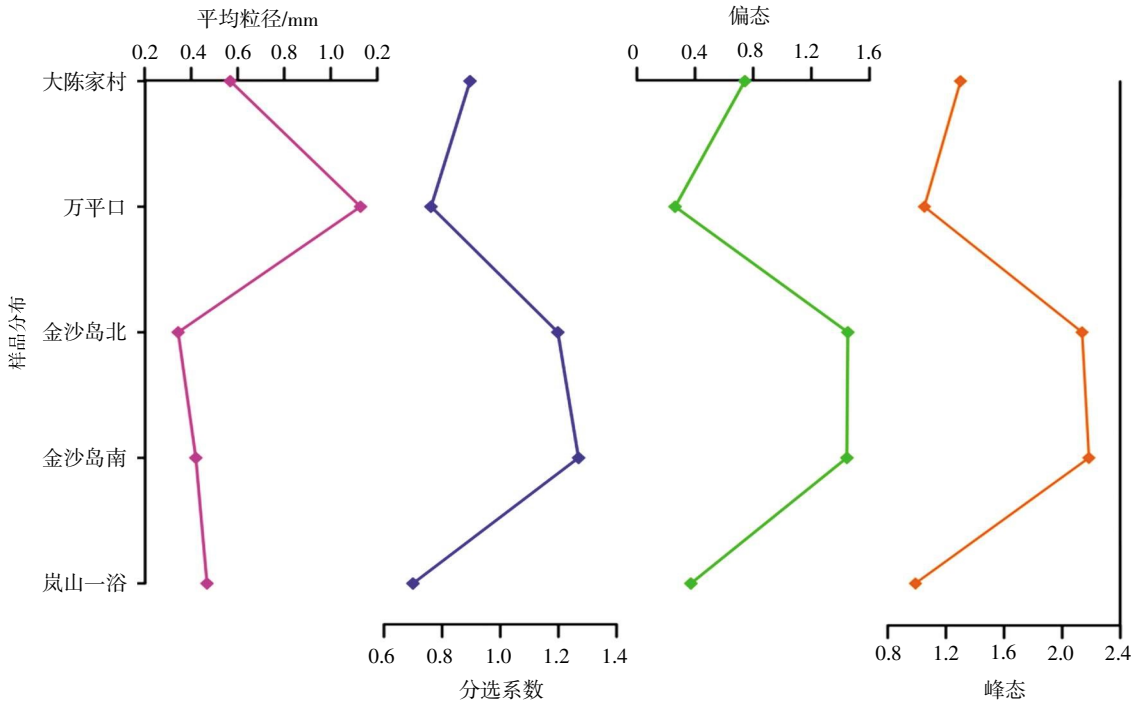


图 2　研究区沉积物粒度变化图

表 3　研究区沉积物常量元素含量

样品	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	FeO	CaO	Fe_2O_3	MgO	TiO_2	P_2O_5	MnO
TC05	85.96	5.60	2.63	1.16	1.42	0.98	0.72	0.22	0.25	0.04	0.04
TC07	82.03	7.65	3.81	1.53	0.34	1.69	1.09	0.12	0.14	0.03	0.02
TC09	73.93	12.45	4.43	3.34	0.45	1.54	1.36	0.66	0.41	0.08	0.06
TC10	77.98	9.60	4.19	2.24	1.61	1.03	1.49	0.37	0.47	0.05	0.07
TC11	81.31	8.61	3.92	1.90	1.34	0.64	0.99	0.24	0.21	0.04	0.06

注：表中常量元素含量均为百分比（%）。

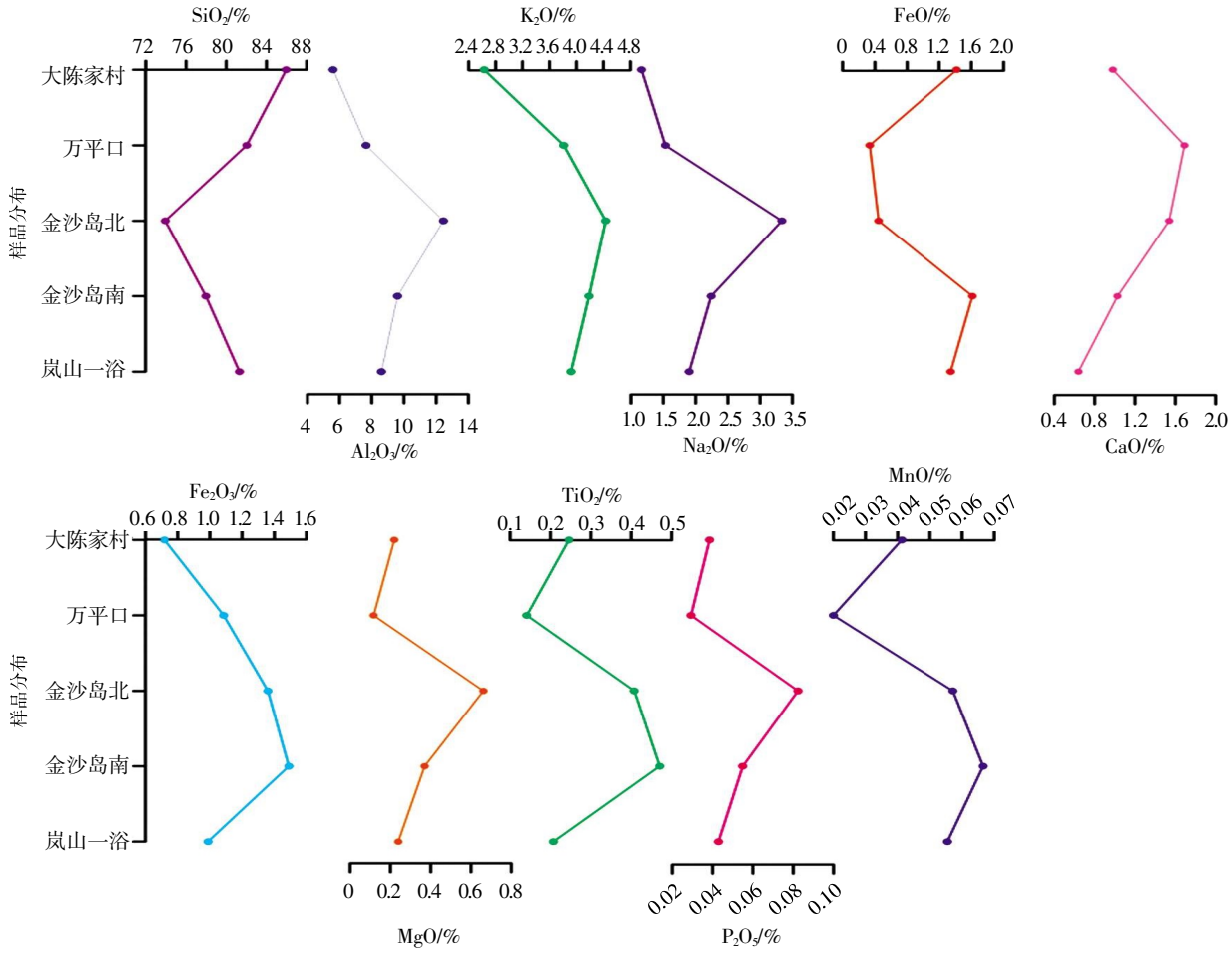


图 3　研究区沉积物常量元素变化图

表 4　研究区沉积物微量元素含量

单位：μg·g^{-1}

探槽编号	Ba	Th	Sr	Zr	Hf	V	Co	Ni	Sc
TC05	910.78	3.90	142.70	97.85	2.13	16.28	2.70	5.59	3.75
TC07	1 581.40	4.52	323.24	86.28	2.66	23.44	1.74	3.39	1.38
TC09	1 635.63	6.96	348.13	236.20	6.64	31.07	4.37	8.93	4.50
TC10	1 442.58	11.96	290.71	561.79	8.42	34.66	3.86	8.19	5.17
TC11	1 340.46	3.99	248.77	109.42	2.23	18.95	3.17	7.31	4.42

浴场沙滩处明显增大；Th、Zr、Hf、V 变化趋势一致，为先增大后减小，在金沙岛海水浴场沙滩南部处显著增大，含量最高；Co、Ni、Sc 变化趋势一致，为先减小后增大再减小的变化趋势，在万平口海水浴场沙滩明显减小，在金沙岛海水浴场沙滩北部又显著增大。

3.4　稀土元素特征

研究区内沉积物稀土元素（Rare Earth Element，REE）总含量（Σ*REE*）为 105.82~200.90 μg/g，除金沙岛海水浴场沙滩南部的 TC10 探槽外，研究区内沉积物的稀土元素总量均明显低于中国浅海沉积物平均值 156.96 μg/g[14]，也低于长江沉积物平均值 167.10 μg/g 和黄河沉积物平均值 137.45 μg/g[12]。这是由于稀土元素主要赋存在黏土粒级中，而研究区内沉积物粒度普遍较粗，以砂粒级为主，黏土粒级含量很少。研究区沉积物中轻稀土（Light Rare Earth Element，LREE）含量 *LR* 为 85.01~182.07 μg/g，重稀土（Heavy Rare Earth Element，HREE）含量为 9.25~18.83 μg/g，轻重稀土比值（*LR*/*HR*）为 8.10~9.97（表 5、表 6），明显富集轻稀土而亏损重稀土。Eu 异常（*δEu*）为 0.61~1.83，Ce 异常（*δCe*）为 0.84~1.06。

除 Lu 和 Eu 元素外，研究区内海滩沉积物的稀土元素和 Σ*REE*、*LR* 自北向南变化趋势基本一致，

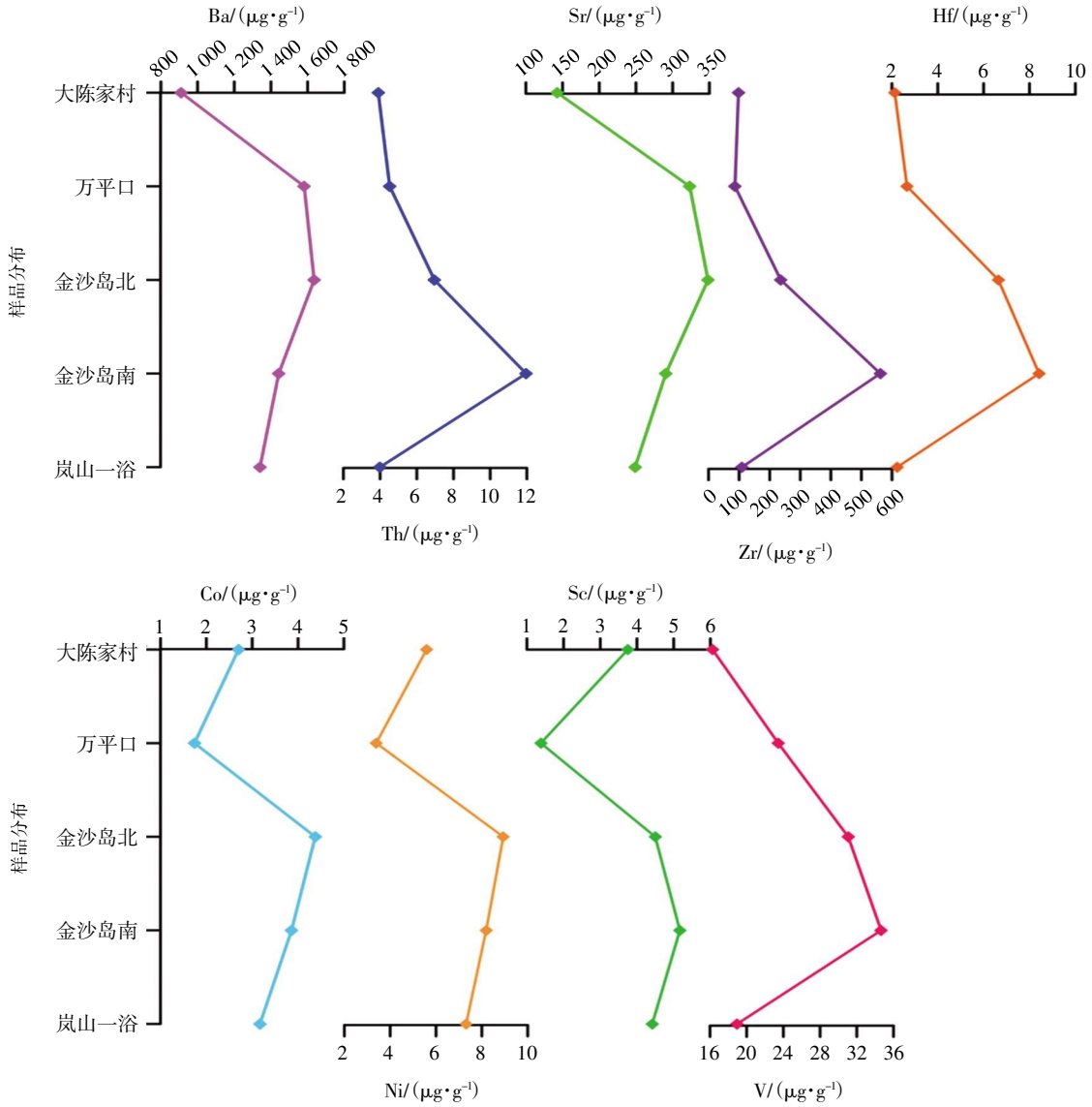


图 4　研究区沉积物微量元素变化图

表 5　研究区沉积物及周边主要河流稀土元素含量

单位：μg·g⁻¹

沉积物/样品区域	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
TC05	23.77	51.92	5.74	21.70	4.47	0.70	3.56	0.60	3.58	0.72	2.10	0.33	2.16	0.27
TC07	19.63	37.72	4.77	18.43	3.33	1.13	2.86	0.44	2.47	0.45	1.30	0.23	1.31	0.19
TC09	30.91	58.55	7.25	27.69	4.91	1.50	4.26	0.66	3.77	0.71	2.06	0.37	2.18	0.34
TC10	45.04	77.74	11.04	39.61	7.21	1.44	5.85	0.87	4.95	0.95	2.66	0.42	2.71	0.41
TC11	21.52	39.16	6.15	20.09	3.42	0.96	2.93	0.57	2.58	0.51	1.63	0.29	1.42	1.63
白马河	32.06	59.14	6.80	24.71	4.19	1.18	3.75	0.56	3.22	0.62	1.86	0.34	2.06	0.33
两城河	25.54	43.69	5.00	17.60	2.87	0.94	2.56	0.37	2.10	0.40	1.17	0.21	1.27	0.20
傅疃河	34.84	66.86	6.61	24.49	4.22	1.40	3.62	0.54	3.07	0.58	1.69	0.30	1.77	0.27
竹子河	33.12	68.86	6.38	23.78	4.05	1.41	3.57	0.53	3.02	0.56	1.64	0.29	1.72	0.27
龙王河	23.38	53.03	5.33	20.04	3.66	0.96	3.35	0.54	3.20	0.63	1.89	0.35	2.09	0.34
长江	36.09	65.08	8.33	32.60	6.09	1.30	5.58	0.85	4.71	0.98	2.56	0.37	2.23	0.33
黄河	28.97	53.92	7.70	26.67	4.99	1.04	4.56	0.75	3.92	0.84	2.23	0.35	2.05	0.31

注：长江、黄河数据引自文献[12]。

表 6 研究区沉积物及周边主要河流稀土元素参数

单位：μg·g^{-1}

沉积物/样品区域	*ΣREE*	*LR*	*HR*	*LR/HR*	*δEu*(CN)	*δCe*(CN)	*La/Sm*(UCC)	*Gd/Yb*(UCC)	*Gd/Lu*(UCC)
TC05	103.54	108.29	13.33	8.10	0.61	1.06	0.83	0.95	1.15
TC07	94.26	85.01	9.25	9.54	1.83	0.90	1.04	1.25	1.22
TC09	145.17	130.82	14.36	9.46	1.20	0.93	1.02	1.15	1.08
TC10	200.90	182.07	18.83	9.95	0.78	0.84	1.01	1.27	1.23
TC11	105.82	91.30	11.56	9.97	0.96	0.89	1.05	1.18	1.33
白马河	140.84	128.08	12.76	10.16	0.91	0.93	1.15	1.08	0.98
两城河	103.91	95.64	8.28	11.56	1.14	0.88	1.35	1.17	1.09
傅疃河	150.27	138.43	11.84	11.55	1.11	0.98	1.22	1.20	1.13
竹子河	149.20	137.60	11.60	11.44	1.22	1.00	1.22	1.21	1.11
龙王河	118.79	106.40	12.39	8.47	0.96	1.08	0.98	0.93	0.85
长江	167.10	149.49	17.61	8.49	0.68	0.92	0.89	1.45	1.42
黄河	137.67	122.66	15.01	8.17	0.67	0.92	0.87	1.29	1.24

注：球粒陨石标准化值（Chondrite Normalized Values，CN）引自文献[19]；上陆壳标准化值（Upper Continental Crust，UCC）引自文献[20]；长江、黄河数据引自文献[12]。

均呈现先减小后增大再减小的变化趋势，均在万平口海水浴场沙滩处减小，而后在金沙岛海水浴场沙滩处增大。Eu 自北向南呈现先增大后减小的变化趋势，Lu 在北部变化很小，在最南部岚山第一海水浴场沙滩处显著增大（图 5、图 6）。

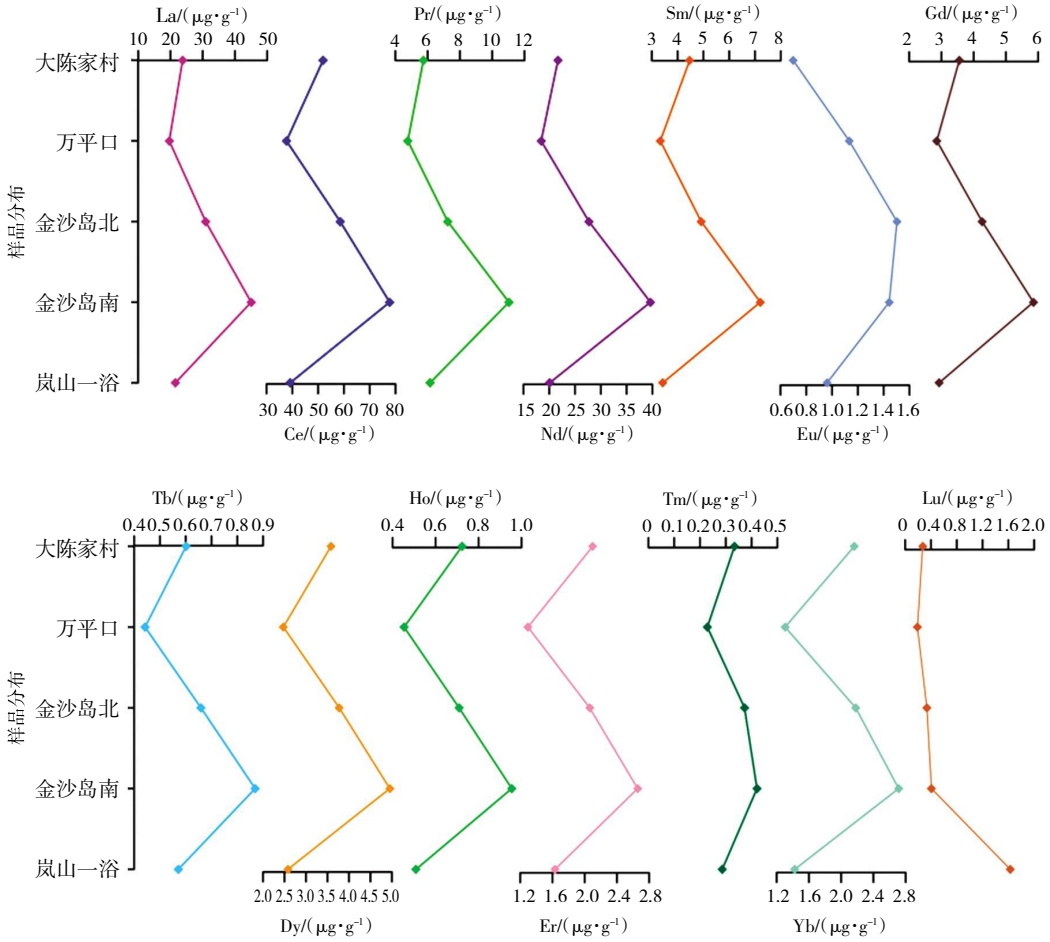


图 5 研究区沉积物稀土元素含量变化图

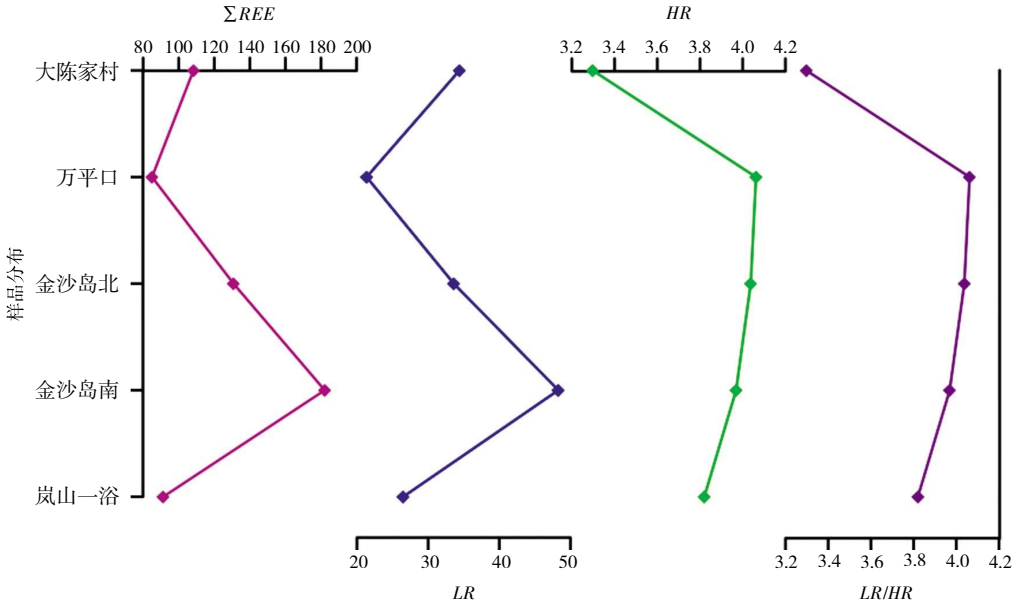


图 6　研究区沉积物稀土元素主要参数变化图

4　物源探讨

稀土元素具有稳定的化学性质，海洋沉积物中稀土元素的含量主要受控于物源和矿物学特征[21]，受化学风化剥蚀、搬运、水动力条件、沉积作用、成岩作用和变质作用的影响较小，其含量和分布特征是判断沉积物来源的有效方法[22]，因此常用稀土元素来示踪沉积物源。

研究区内沉积物的 Σ*REE* 平均值为 129.94 μg/g，与黄河沉积物[12]（137.45 μg/g）很接近，与上陆壳值[23]（148 μg/g）、中国浅海沉积物[14]（156.96 μg/g）和长江沉积物[12]（167.10 μg/g）较为接近，而与深海黏土[24]（411 μg/g）和大洋中脊玄武岩[19]（36.14 μg/g）相差较大，表现出明显的“亲陆性”。稀土元素球粒陨石标准化配分模式呈现左高右低的“V”形曲线（图 7），*LR*/*HR* 比值较高，说明轻重稀土具有较强的分异作用，也表明其陆源碎屑含量较高，说明日照市海滩沉积物应主要来自陆源。

Eu 异常（*δEu*）和 Ce 异常（*δCe*）是可以反映物源区风化程度和沉积物环境的重要信息[25]。利用 *δEu* 和 *δCe* 计算公式[26]分别计算研究区内样品的*δEu* 和 *δCe* 值。

$$\delta Eu = \frac{Eu_N}{\sqrt{Sm_N Gd_N}} \tag{1}$$

$$\delta Ce = \frac{Ce_N}{\sqrt{La_N Pr_N}} \tag{2}$$

式中，Eu_N、Sm_N、Gd_N、Ce_N、La_N、Pr_N 为球粒陨石标准化值。计算结果见表 6。

Eu 在斜长石中非常富集，基性岩常呈现 Eu 正异常，酸性岩由于斜长石的析出而呈现 Eu 负异常[10,27-28]。

研究区内各沉积物稀土元素球粒陨石标准化的样品 *δEu* 值为 0.61~1.83，自北向南变化范围较大，TC05 和 TC10 探槽沉积物显示明显的 Eu 负异常，TC07 探槽沉积物显示明显的 Eu 正异常，TC09 探槽沉积物具轻微的 Eu 正异常，TC11 探槽无明显 Eu 异常。因此推测 TC05 和 TC10 探槽内沉积物的母岩可能为酸性岩，TC07 和 TC09 探槽内沉积物的母岩可能为基性岩。

研究区海域有山东半岛南部沿岸流（为黄海沿岸流的一分支）经过，且沿岸没有大河汇入，仅有若干中小河流入海。因此，本文对日照市内若干中小河流流域沉积物样品进行了稀土元素分析，绘制了稀土元素球粒陨石标准化曲线图（图 7）。

从稀土元素球粒陨石标准化曲线配分模式可看出，TC05 探槽沉积物与白马河基本完全一致，与黄河、长江十分相似；TC07 探槽与两城河、龙王河较为相似，与傅疃河、竹子河也有一定程度相似；TC09 探槽与竹子河、傅疃河、两城河较为相

似；TC10 探槽与长江、黄河基本一致，与龙王河的配分模式也十分相似；TC11 探槽与龙王河、黄河较为相似。说明日照市部分海滩沉积物可能在一定程度上受到黄河和长江输入物质的影响，同时周边入海的中小河流对日照市海滩沉积物的物源影响较大。从稀土元素球粒陨石标准化配分模式曲线来看，大陈家村沙滩的沉积物物源主要受白马河输入沉积物的影响；万平口海水浴场海滩沉积物可能受到两城河、白马河、傅疃河、竹子河沉积物的共同影响；金沙岛海水浴场沙滩沉积物来源较复杂，部分沉积物主要受竹子河、傅疃河、两城河物源影响，部分沉积物受到黄河、长江和龙王河的影响；岚山第一海水浴场沙滩主要受龙王河和黄河的影响。

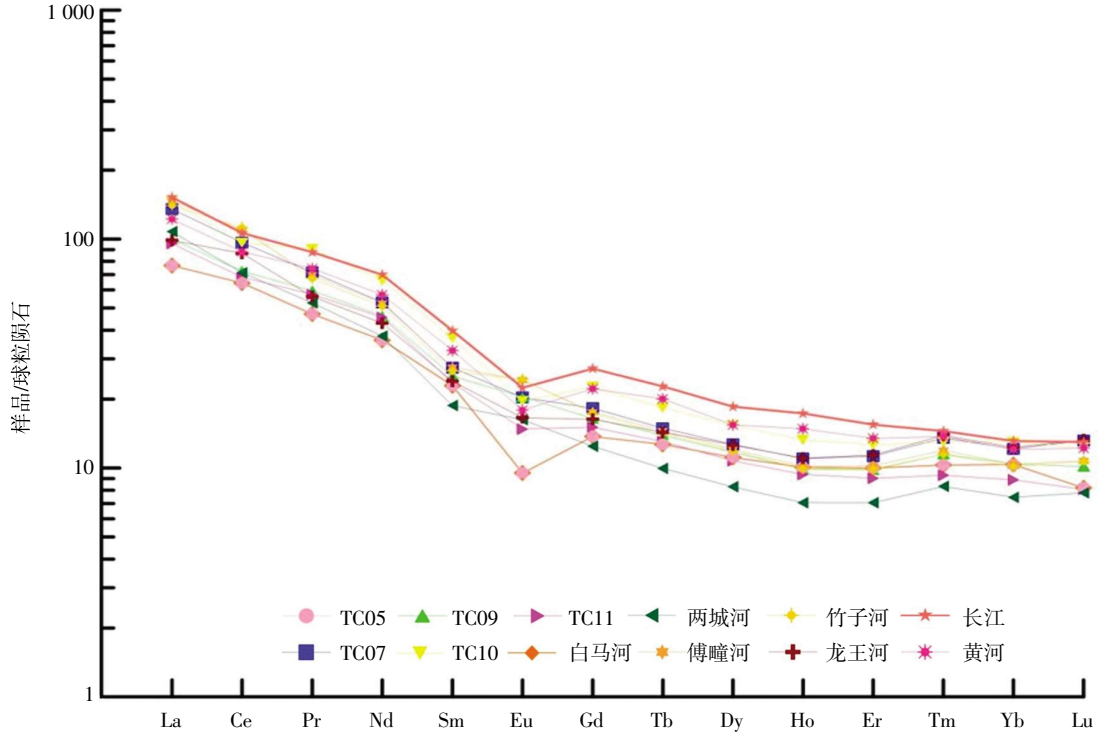
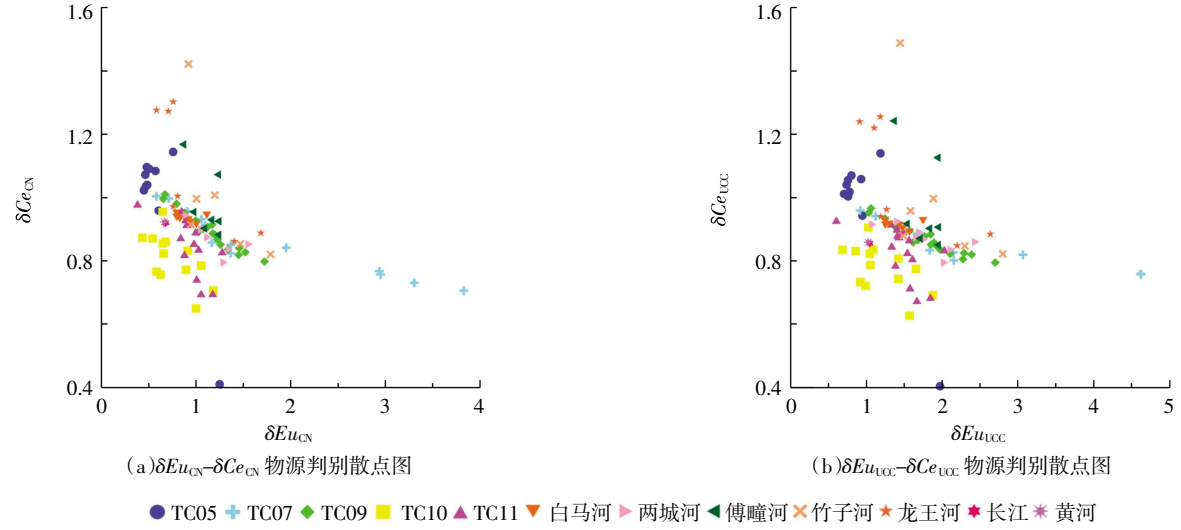


图 7 研究区沉积物及周边主要河流稀土元素球粒陨石标准化曲线（标准化数据引自文献[19]）

为了进一步确认研究区内沉积物的来源，本文选取了 δEu_{CN}、δCe_{CN}、δEu_{UCC}、δCe_{UCC}、$(La/Sm)_{UCC}$、$(Gd/Yb)_{UCC}$ 和 $(Gd/Lu)_{UCC}$ 等稀土元素参数进行计算并投点（图 8、图 9）。结果与稀土元素球粒陨石标准化配分模式显示的沉积物来源基本一致。

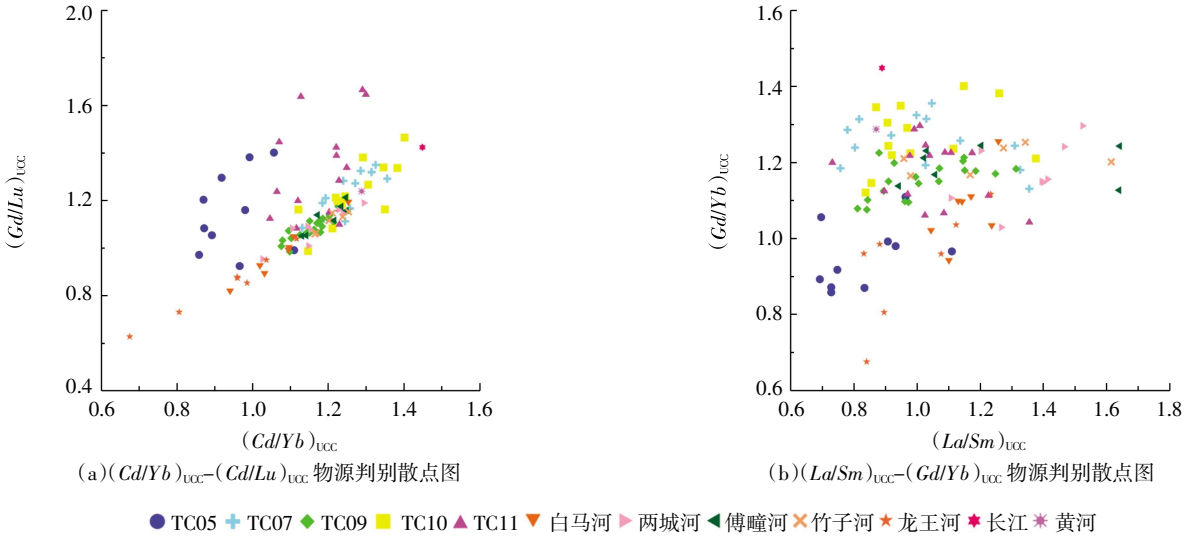
此外，项目曾对日照市周边中小河流及 TC09 探槽沉积物的碎屑矿物成分及含量进行了检测，测试结果显示沉积物中轻矿物均以石英和长石为主，探槽沉积物中石英含量约 28.58%，长石含量约 63.04%，与竹子河（石英 29.50%、长石 59.11%）、两城河（石英 29.13%、长石 59.98%）十分接近。重矿物以普通角闪石、绿帘石、磁铁矿和锆石等为主，探槽沉积物中普通角闪石含量约为 32.14%，与傅疃河（49.94%）较为接近；绿帘石含量约为 25.13%，与竹子河（22.00%）较为接近；磁铁矿含量约为 10.96%，与两城河（10.63%）和傅疃河（9.70%）较接近。即 TC09 探槽沉积物的碎屑矿物成分与两城河、竹子河、傅疃河较为一致，与稀土元素特征显示的物源特征信息相同，说明研究区内稀土元素含量主要受物源控制，以稀土元素判别物源较为合理可靠。

综上所述，日照市海滩沉积物稀土元素比值与黄河较为接近，周边入海的中小河流对沉积物物源具有较大影响。大陈家村沙滩沉积物源主要为白马河；万平口海水浴场海滩沉积物源可能为来自两城河、傅疃河、竹子河和黄河的混合物源；金沙岛海水浴场沙滩沉积物来源较复杂，受到竹子河、傅疃河、两城河、黄河、龙王河的共同影响；岚山第一海水浴场沙滩主要受周边中小河流的影响。



（a）δEu_{CN}–δCe_{CN} 物源判别散点图　　（b）δEu_{UCC}–δCe_{UCC} 物源判别散点图

图 8　研究区沉积物物源判别散点图



（a）$(Cd/Yb)_{UCC}$–$(Cd/Lu)_{UCC}$ 物源判别散点图　　（b）$(La/Sm)_{UCC}$–$(Gd/Yb)_{UCC}$ 物源判别散点图

图 9　研究区沉积物物源判别散点图

5　结　论

本文基于日照市 4 个海滩 5 个探槽所采集的 73 个沉积物样品，对日照海滩沉积物粒度、常微量和稀土元素进行测试分析，并对海滩沉积物物源进行了研究，得出以下主要结论。

（1）日照市海滩沉积物粒度以砂为主，主要为粗砂和中砂，分选中等–差，偏态主要为正偏和极正偏，峰态中等–窄，自北向南沉积物粒度呈现细–粗–细的变化趋势。

（2）日照市海滩沉积物常量元素以 SiO_2 为主，其次为 Al_2O_3 和 K_2O、Na_2O、CaO；微量元素以 Ba、Sr、Zr 为主；稀土元素自北向南呈现减小–增大–减小的变化趋势，稀土元素球粒陨石标准化曲线呈现左高右低的“V”形曲线，明显富集轻稀土而亏损重稀土。

（3）日照市海滩沉积物来源表现为多源性，主要受黄河及周边入海的中小河流影响，受周边中小河流沉积物影响程度更高。大陈家村沙滩沉积物源主要为白马河；万平口和金沙滩海水浴场海滩沉积物源为混合物源，可能受两城河、傅疃河、竹子河和黄河共同影响；岚山第一海水浴场沙滩主要受周边中小河流的影响。

参考文献：

[1] 褚智慧. 日照市海滩沉积地貌及质量评价[D]. 青岛：中国海洋大学，2013.

[2] PASSEGA R. Grain size representation by CM patterns as a geologic tool[J]. Journal of Sedimentary Research，1964，34(4)：830–847.

[3] PASSEGA R. Texture as characteristic of clastic deposition[D]. United Kingdom：University of Cambridge，1957.

[4] FOLK R，WARD W. Brazos River Bar：A Study in the Significance of Grain Size Parameters[J]. Journal of Sedimentary Research，1957，27(1)：3–26.

[5] VISHER G. Grain size distributions and depositional processes[J]. Journal of Sedimentary Research，1969，39(3)：1074–1106.

[6] COLLINS G. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”[J]. Sedimentary Geology，1992，90(1–2)：47–60.

[7] 吕亚男. 山东日照近岸沉积物的重矿物分布与来源[J]. 山东海洋学院学报，1982，12(3)：43–52.

[8] 王琦，吕亚男，张建华. 山东省日照县近岸沉积物的物质来源及扩散方向[J]. 山东海洋学院学报，1978(2)：41–50.

[9] 宋红瑛，刘金庆，印萍，等. 日照近海表层沉积物粒度特征与沉积环境[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2016，46(3)：96–104.

[10] 王轲，翟世奎. 沉积物源判别的地球化学方法[J]. 海洋科学，2020，44(12)：132–143.

[11] SALVEMINI A. REE distribution in the clay fraction of pelites from the southern Apennines, Italy[J]. Chemical Geology，1992，99(4)：253–263.

[12] 文启忠，余素华，孙福庆，等. 陕西洛川黄土剖面中的稀土元素[J]. 地球化学，1984，2：126–133.

[13] 张忆. 长江口及邻近海域沉积物元素地球化学特征及物源分析[D]. 青岛：国家海洋局第一海洋研究所，2010.

[14] 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.

[15] 赵一阳，王金土，秦朝阳，等. 中国大陆架海底沉积物中的稀土元素[J]. 沉积学报，1990，8(1)：37–43.

[16] 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学的若干模式[J]. 地质科学，1983，4：307–314.

[17] 苗苗. 日照海岸带动力地貌与潮间带生物多样性研究[D]. 日照：曲阜师范大学，2021.

[18] 种衍飞，郝义. 日照海岸带沙滩侵蚀现状及沉积物粒度特征分析[J]. 海洋地质前沿，2020，36(1)：19–29.

[19] SUN M. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society London Special Publications，1989，42(1)：313–345.

[20] TAYLOR S，MCLENNAN S M. The continental crust: Its composition and evolution[J]. The Journal of Geology，1985，94(4)：57–72.

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

[22] 杨文光，谢昕，郑洪波，等. 南海北部陆坡高速堆积体沉积物稀土元素特征及其物源意义[J]. 矿物岩石，2012，32(1)：74–81.

[23] TAYLOR S，MCLENNAN S M. The geochemical evolution of the continental crust[J]. Reviews of Geophysics，1995，33 (2)：328–339.

[24] 沈华悌. 深海沉积物中的稀土元素[J]. 地球化学，1990，4：340–348.

[25] 张晓波，张勇，孔祥淮，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.

[26] 赵振华，王中刚，于学元. 稀土元素地球化学[M]. 北京：科学出版社，1989.

[27] GREGORY E，BALZ S. Rare earth elements in Holocene reefal microbialites: A new shallow seawater proxy[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta，2000，64(5)：1557–1565.

[28] 朱赖民，高志友，尹观，等. 南海表层沉积物的稀土和微量元素的丰度及其空间变化[J]. 岩石学报，2007，23(11)：2963–2980.

Geochemical Elements Characteristics and Provenance Research of Sediments from Rizhao Beach

XIAO Qianwen[1,2], YAO Qiang[1], FENG Yingming[1,2], HAO Yi[1,2,3]

(1. The First Prospecting Team of Shandong Coal Geology Bureau, Qingdao 266001, China; 2. Rizhao Marine Geology Academician Workstation, Rizhao 276800, China; 3. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: In this paper, sediment particle size, major elements and rare earth elements of 73 samples were measured and analyzed based on the samples collected from 4 beach exploratory trenches from north to south in Rizhao City. The variation characteristics and provenance of geochemical elements in beach sediments in Rizhao City were systematically studied. According to the results, the beach sediments in Rizhao City were generally coarse, mainly coarse sand and medium sand, and the sediments presented the characteristics of fine-coarse-fine from north to south. The main major elements were SiO_2, followed by Al_2O_3, K_2O, Na_2O and CaO, etc. The trace elements mainly were Ba, Sr and Zr. The rare earth elements showed obvious enrichment of light rare earth elements and deficit of heavy rare earth elements. And the standardized curve of chondrite of rare earth element showed a V-shaped curve with left high and right low. The range of Eu anomalies varied widely, from positive anomalies to negative anomalies, with no obvious Ce anomalies. Through the comparative analysis of rare earth elements in the sediments of the Yangtze River, the Yellow River and the surrounding small and medium-sized rivers entering the sea, it was found that the sediment provenance were complex, mainly were terrigenous matters, and were highly influenced by the Yellow River and the surrounding small and medium-sized rivers.

Key words: Rizhao beach; grain size of sediment; major and trace element; rare earth element; changing characteristics of the plane; provenance