

黄河河口段与海河河口段沉积物碳酸盐对比分析

王艳君, 金秉福

(鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 利用筛析-沉降法对黄河系及海河系沉积物进行了粒度特征分析, 黄河系沉积物以极细砂-粗粉砂为主, 分选性中等, 粒度分布正偏, 峰态曲线尖窄; 海河系沉积物以细粉砂为主, 分选性较差, 粒度分布正偏, 峰态曲线较平缓。测定黄河系及海河系沉积物碳酸盐的粒度百分含量及碳酸盐加权粒度百分含量, 结果表明: 黄河系沉积物碳酸盐粒度百分含量加权平均值为 11.36%, 细砂碳酸盐粒度百分含量较高(15.24%), 随粒度越细波动式降低后逐步增加, 并在黏土富集, 达 20.67%; 海河系沉积物中碳酸盐粒度百分含量加权平均值为 15.05%, 比黄河系略高, 呈两端高中间低不对称鞍形粒度分布。黄河系与海河系碳酸盐粒度百分含量受粒度控制, 对全样碳酸盐贡献最大的粒度黄河系为粗粉砂, 海河系为细粉砂。黄河系全岩碳酸盐平均粒度百分含量与马兰黄土相近, 与黄渤海泥质区相当, 表明黄河沉积物的主要来源是马兰黄土, 黄河在沉积物搬运过程中对黄土碳酸盐没有明显改造, 黄河沉积物黏土组分是黄渤海泥质区沉积物高碳酸盐的主要影响因素。

关键词: 碳酸盐; 粒度分布; 沉积物; 黄河系; 海河系

中图分类号: P736 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)07-0094-11

DOI: 10.11759/hyxx20161208001

黄河作为世界含沙量最多的河流, 其中 90% 以上的泥沙来源于黄土地区, 沉积物来源集中, 这些物质大部分堆积在河口三角洲地区, 受黄土组分的影响, 黄河沉积物中的碳酸盐包括原生碳酸盐、次生碳酸盐和自生碳酸盐, 碳酸盐含量较高^[1-2], 以方解石为主, 白云石次之。海河系中多数支流发源和流经黄土高原, 河流含沙量较大, 由于人工建闸、挖沙清淤, 受物源及人为影响, 海河与黄河的沉积物特征既相似也有差异。

目前, 许多学者^[3-8]对黄河沉积物碳酸盐特征研究较为深入, 而对黄河系(现行黄河、废黄河、黄河故道)和海河系(海河、永定新河、独流减河、子牙河、潮白河)沉积物不同粒度碳酸盐含量特征研究很少, 已有研究表明, 黄河沉积物中碳酸盐主要控制因素是物源, 杨作升等^[9]研究了黄河沉积物碳酸盐含量与粒度的关系, 指明了碳酸盐的粒控性, 并作为黄河源沉积物的示踪指标追踪黄河泥沙入海后的运移方向。部分学者研究了黄河粒度组成、碳酸盐矿物类型及其影响因素, 认为碳酸盐矿物分布与物质来源、沉积物类型和沉积环境有密切联系^[10-12]。顾兆炎^[13]、赵景波^[14]和 Frakes^[15]对黄土碳酸盐含量及氧、碳稳定同位素分析, 初步揭示了黄土-古土壤序列中碳酸盐同位素组成与气候和环境的关系。这些相关

研究揭示了黄河沉积物碳酸盐粒度分布特征, 指明了其物质来源和沉积环境对碳酸盐的影响。而对海河流域沉积物的研究大多数为生态环境、重金属和有机质含量、沉积物的粒度特征、沉积物组成、沉积速率及沉积物矿物学等特征^[16-21]等方面, 未针对海河系沉积物不同粒度碳酸盐含量对比进行系统分析研究。

本文基于黄河系和海河系 13 个表层沉积物, 主要利用筛析-沉降析法测定黄河系和海河系沉积物粒度特征, 通过重量分析法测定黄河系及海河系沉积物各样品不同粒度的碳酸盐粒度百分含量及碳酸盐的加权粒度百分含量, 对比分析碳酸盐的粒度分布特征, 确定和对比碳酸盐粒控性的差异, 并分析其影响因素, 这将补充国内对黄河及海河沉积物特征的认识。

1 研究区概况

黄河是世界上含沙量最多的河流, 多年平均输

收稿日期: 2016-12-08; 修回日期: 2017-03-15

基金项目: 国家自然科学基金(41576057)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41576057]

作者简介: 王艳君(1991-), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 河口海岸过程分析与应用, 电话: 17862824112, E-mail: yjwangwst@163.com; 金秉福, 通信作者, 教授, 主要从事海洋地质研究, E-mail: bfjin@126.com

沙量为 $8.39 \times 10^9 \text{ t}^{[22]}$, 自西向东跨过不同气候带和地貌单元, 在东营市河口区注入渤海的莱州湾, 干流长约 5 464 km, 黄河流经黄土高原地区, 携带大量泥沙, 是黄河沉积物粉砂和黏土组分的主要来源, 具有沙多水少特点^[23-24]。废黄河, 又称淤黄河, 是黄河在 1128 年夺淮入海在江苏北部形成的河流, 如今河流水流量较小, 大部分几近干涸^[25]。黄河故道位于东营市河口区, 是 1947-1976 年黄河河口段由人工截流改道, 变分流入海为独流入海, 现今已废弃的黄河河道, 河流水量小^[26-27]。

海河为华北最大的水系, 主要由北运河、永定河、大清河、子牙河、南运河五大河流汇合而成, 主流河长 1 036 km, 流域总面积为 $31.82 \times 10^4 \text{ km}^2$, 年均径流量为 $2.11 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 年输沙量约 $6 \times 10^6 \text{ t}^{[28]}$ 。海河干流由大沽口入渤海湾, 构成一个典型的扇状水系, 比较容易促使洪水集中。海河系水系众多, 部分支流发源和流经黄土地区, 是海河流域主要的泥沙源地。黄河多次迁徙、改道, 几次北上侵夺海河河道入海, 海河水系形成与黄河有密切关系, 二者沉积

物之间既相似也有差异。

2 样品与方法

2.1 样品采集

本文以黄河系、海河系河口区 13 个表层沉积物样品为分析材料, 结合粒度特征、碳酸盐粒级百分含量, 探究分析了黄河及海河沉积环境及物质来源。

样品采集: 选取代表性取样位置, 通过 25 cm×25 cm 表层取样方式, 采集河口段表层沉积物样品。现行黄河样品(HH1、HH2、HH3)2015 年 12 月采于黄河河口区利津大桥附近; 废黄河样品(FH1、FH2、FH3)2016 年 3 月取自于江苏省淮安市涟水县的废黄河大桥附近河段; 黄河故道样品(HG8、HG9)采于 2005 年 5 月枯水期东营市河口区黄河故道段; 海河系沉积物样品(DL4、ZY3、THH4、YD3、CB2)取自 2016 年 4 月枯水期, 分别位于海河、独流减河、子牙河、永定新河、潮白河, 共采集 13 个表层样品, 样品的采样位置见表 1, 采样点分布图如图 1 所示。

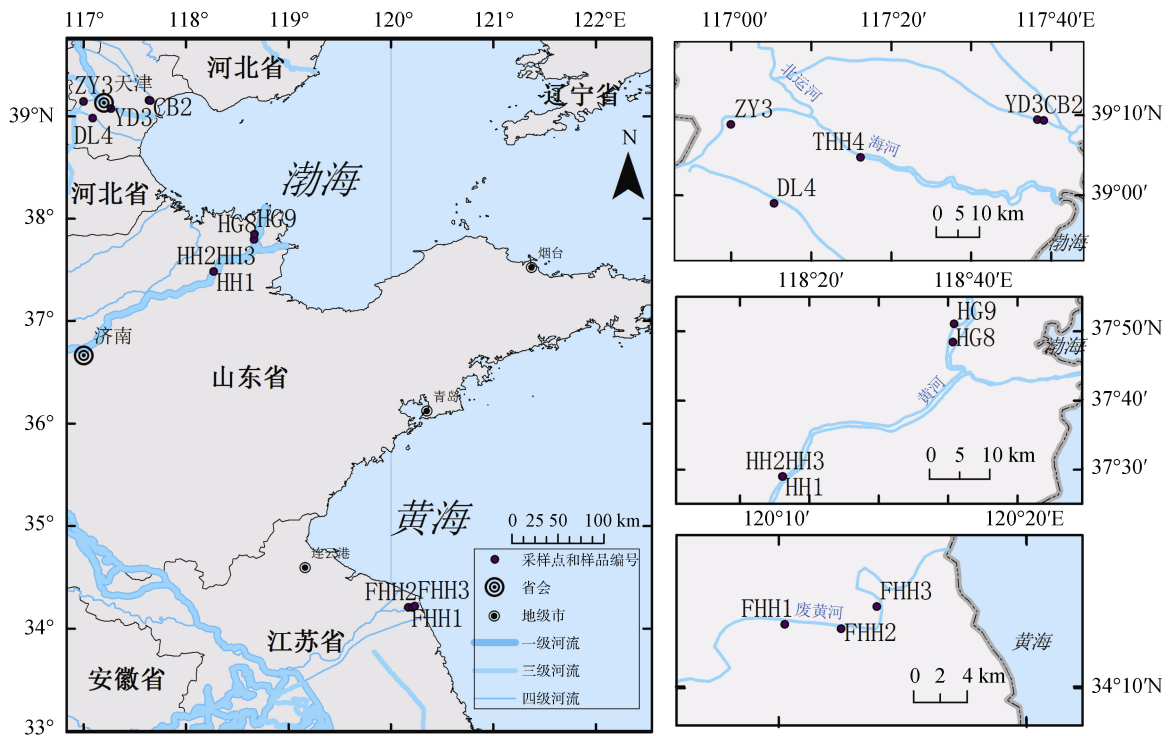


图 1 黄河、海河河口段表层沉积物采样站位

Fig. 1 The Yellow River estuary and the Haihe River estuary sediments sampling stations

2.2 粒度分析

本文采用 Friedman 的沉积物粒度划分标准, 通

过筛分法及 Stokes 沉降原理^[29-30]获得不同粒级区间的沉积物, 对于粒度 $\phi < 4$ 的部分采用筛析法, $\phi > 4$

表 1 黄河与海河河口段采样站位

Tab. 1 The Yellow River and the Haihe River estuary sampling stations

样品编号	采样位置	采样地点
HH1	37°29'3.12"N, 118°16'7.75"E	利津大桥右岸
HH2	37°29'3.59"N, 118°16'8.26"E	利津大桥右岸北
HH3	37°29'3.73"N, 118°16'9.41"E	利津大桥右岸北
HG8	37°48'23.70"N, 118°40'39.42"E	东营市河口区
HG9	37°51'1.08"N, 118°40'51.52"E	东营市河口区
FH1	34°12'31.60"N, 120°10'14.49"E	废黄河大桥南岸
FH2	34°12'21.06"N, 120°12'31.38"E	废黄河大桥东河南岸
FH3	34°13'14.05"N, 120°13'57.78"E	废黄河附近农田地取样
DL4	38°58'57.63"N, 117°05'18.16"E	团泊大桥下河边
ZY3	39°02'51.64"N, 116°58'55.92"E	叉口淤积凸岸北侧
YD3	39°09'26.56"N, 117°38'17.66"E	永定新河-水闸处河岸边取样
THH4	39°04'44.44"N, 117°16'09.00"E	新建桥下河对岸取样
CB2	39°09'20.51"N, 117°39'04.16"E	潮白河闸上方 2km 处河边取样

部分采用沉降法(吸管法)。实验中所用水均为蒸馏水,取 100~150 g 样品进行烘干并称其质量,将样品浸泡,超声波分散处理后,用蒸馏水过 $\Phi=4$ 水筛,样品反复冲洗,直至过筛后水无悬浊液为止,将 $\Phi<4$ 部分烘干后称其质量并记录; $\Phi<4$ 样品用 $\Phi=0.5$ 间隔的套筛进行手工干筛,每次干筛震荡约 10 min,直至析出全部粒度,并记录各粒度质量;冲洗下来的悬液置于 1 000 mL 量筒中,根据 Stokes 定律用吸管法准确吸取各粒度悬液,烘干后称其质量,并计算各粒度百分含量,并将上述实验步骤所得数据绘制频率分布图和概率累积图,选择 Folk-Ward(1957)公式^[31]运用图解法计算样品的粒度参数平均粒度(Φ)、标准偏差(σ_1)、偏态(SK)和峰态(K_G)^[32-33]。

2.3 碳酸盐含量测定

对于碳酸盐含量的测定方法较多,主要有容量法、气量法、扩散法、重量法、快速定量分析法等^[34],本文采用重量分析法测定沉积物各粒度碳酸盐含量^[35],重量分析法人为控制性较好,具有测量迅速,精度较高,测试工具和步骤简化的特点。将粒度分析中所得各粒度样品分为细砂($\Phi<3$)、极细砂($\Phi=3\sim4$)、粗粉砂($\Phi=4\sim5$)、细粉砂($\Phi=5\sim8$)、黏土($\Phi>8$)五部分,在 70℃ 下烘干 8 h,将各粒度样品分别称取 1 g 左右并记录,分别加入适量 5 mol/L 稀盐酸溶液,在室温条件下(25℃)反应 30 min,反应过程中不断搅动使其反应完全,并用蒸馏水冲洗烘干后,分别称其质量,前后质量差为碳酸盐含量,据此分别计算碳酸盐的

粒度百分含量,重复做 3 次平行实验,计算其平均值,获取较精确的碳酸盐的粒度百分含量。

3 结果与分析

3.1 粒度特征

沉积物的粒度分布特征主要受控于物源和沉积环境。由粒度分析数据结果及频率分布曲线(图 2)分析得出:黄河系沉积物粒度集中于 $\Phi=3.5\sim6.0$,平均粒度百分含量为 85.68%,其中极细砂($\Phi=3.5\sim4.0$)平均粒度百分含量为 42.73%,粗-中粉砂($\Phi=4\sim6$)平均粒度百分含量为 42.95%,以极细砂-粗粉砂为主,频率分布曲线均为单峰正偏曲线,曲线尖窄,表明水动力较强,黄河系物质来源集中。其中黄河故道沉积物粒度集中于 $\Phi=3.5\sim4.0$,平均粒度百分含量为 61.58%,以极细砂为主;现行黄河及废黄河沉积物均以极细砂-粗粉砂为主,该粒度区间平均粒度百分含量分别为 77.56%、66.71%。

海河系沉积物粒度集中于 $\Phi=5\sim8$,平均粒度百分含量为 50.31%,粗粉砂平均粒度百分含量为 24.79%,细粉砂($\Phi=6\sim8$)平均粒度百分含量为 29.51%,各支流沉积物粒度频率分布曲线集中度较高,均为单峰正偏,曲线较平缓。

本文用图解法分别计算黄河系与海河系沉积物的粒度参数,结果见表 2。黄河系沉积物属于极细砂-粗粉砂,除样品 HH2、HG8 分选性较差外,其余分选性好;海河系沉积物属于粗-细粉砂,分选性均为中等-差。

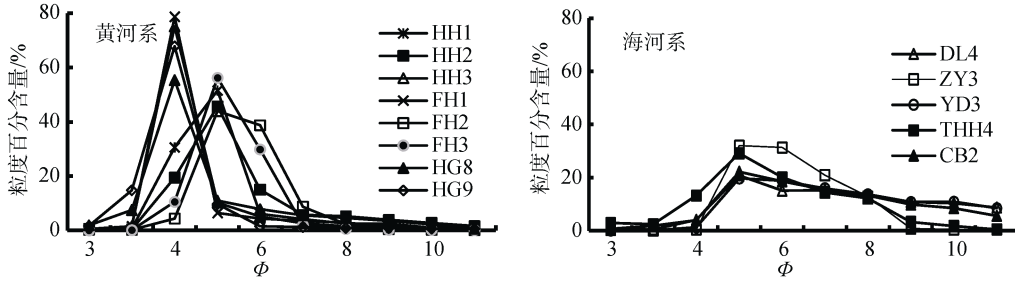


图2 黄河系与海河系沉积物粒度百分含量

Fig. 2 Particle size distribution of sediments in the Yellow River and the Haihe River

表2 黄河系、海河系沉积物粒度参数

Tab. 2 Grain size parameters of the Yellow River and the Haihe River sediments

样品编号	ϕ	σ_1	SK	K_G
HH1	5.00	1.11	0.25	1.64
HH2	5.33	1.51	0.47	2.05
HH3	4.33	0.70	1.00	2.32
FH1	4.33	0.45	0.50	2.32
FH2	5.67	0.70	-0.67	1.23
FH3	5.33	0.55	0.50	0.82
HG8	5.00	1.58	0.91	2.25
HG9	3.83	0.50	-0.20	1.12
DL4	6.50	1.29	0.13	0.67
ZY3	5.19	1.12	0.12	0.82
YD3	6.31	1.97	0.19	1.14
THH4	4.94	1.51	0.31	0.88
CB2	6.14	1.98	0.26	0.82

河流沉积物搬运方式主要有3种：推移、跃移、悬移，在概率累积图中体现为底部推移质、中部跃移质、顶部悬移质三段式，GRAPHER 绘制黄河系和海河系粒度概率累积图(图 3)，结果表明：黄河系和海河系均呈现为分段式，跃移质和悬移质特征比较明显，黄河系沉积物以极细砂和粗粉砂为主，跃移质部分坡度较陡，分选较好，说明该沉积物的水动力条件较强，沉积动力比较单一；海河系沉积物均以细粉砂为主，跃移质部分与黄河系相比坡度较缓，分选相对较差，总体反映海河系水动力条件较弱。

3.2 碳酸盐含量

碳酸盐主要指沉积物中的方解石、白云石、文石等碳酸盐矿物^[36]，伴有微量磷酸盐矿物。研究结果见表3、表4及图4。

黄河系沉积物碳酸盐含量在不同粒度中差别明显，碳酸盐粒度百分含量为4.12%~28.88%，其加权平均值为11.36%，其中现行黄河、废黄河、黄河故

道沉积物碳酸盐粒度百分含量的加权平均值分别为12.4%、13.15%、7.11%。在黄河系沉积物中，黏土($\phi > 8$)碳酸盐粒度百分含量最高，加权平均值为20.67%，其次为细砂，碳酸盐粒度百分含量加权平均值为15.24%，极细砂碳酸盐粒度百分含量最低，加权平均值为9.27%。其中样品FH1、HG9碳酸盐粒度百分含量于细粉砂最高(分别为19.28%、12.42%)，由于沉积物细砂的钙质结核使得该粒度碳酸盐粒度百分含量较高，随粒径变小而递增，呈两端高中间低不对称鞍形粒度分布。

黄河系沉积物碳酸盐加权粒度百分含量为0.01%~9.34%，碳酸盐加权粒度百分含量总量平均值为11.37%，其中现行黄河、废黄河、黄河故道沉积物中碳酸盐加权粒度百分含量总量平均值分别为12.4%、13.16%、7.11%。现行黄河及废黄河沉积物碳酸盐加权粒度百分含量较高，黄河故道沉积物碳酸盐加权粒度百分含量最低。黄河系沉积物细砂碳酸盐加权粒度百分含量最低(0.01%~0.25%)，大部分于

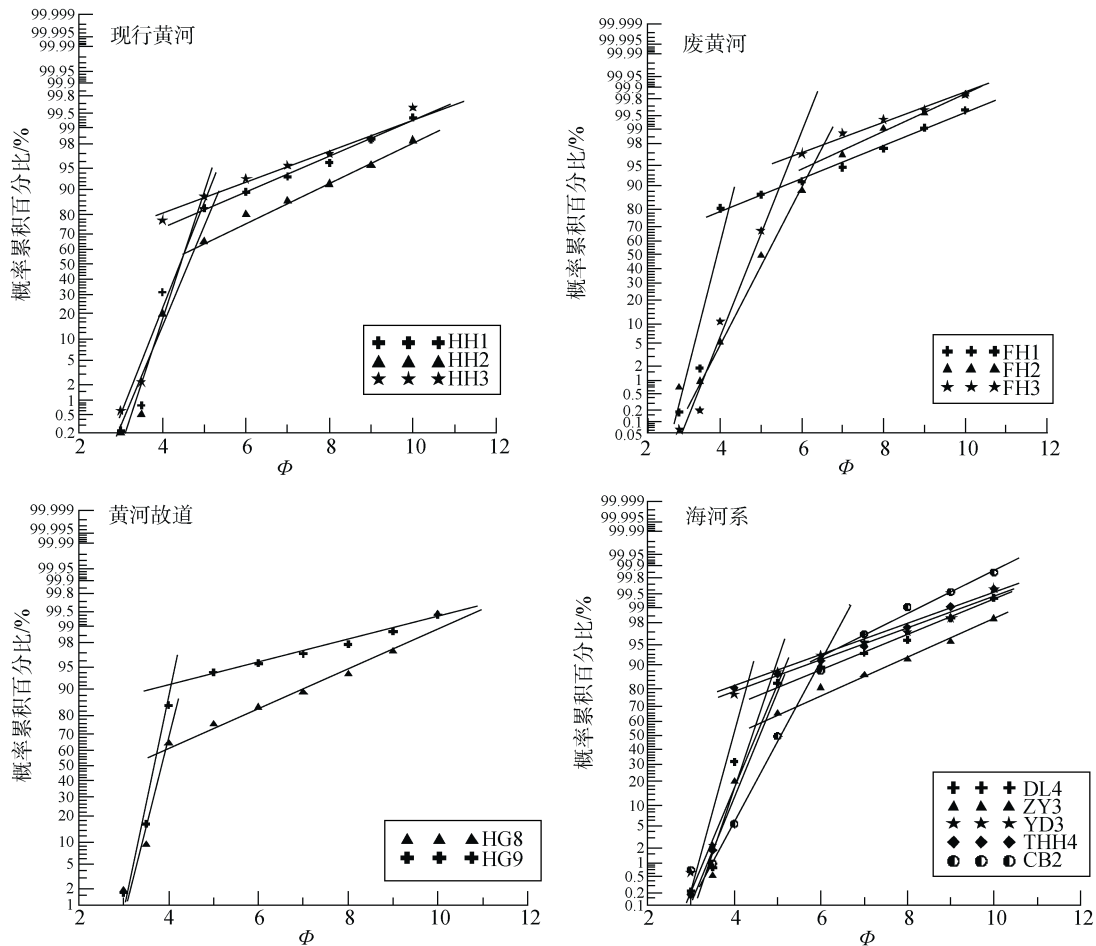


图3 黄河系与海河系沉积物概率累积图

Fig. 3 Cumulative probability of sediments in the Yellow River and the Haihe River

粉砂($\phi=4\sim 8$)最高(4.88%~8.49%)。现行黄河沉积物中,除样品 HH3 极细砂碳酸盐加权粒度百分含量最高(7.82%)外,样品 HH1、HH2 粗粉砂碳酸盐加权粒度百分含量最高(分别为 6.78%、4.88%);废黄河沉积物中,样品 FH1 极细砂碳酸盐加权粒度百分含量最高(9.34%),其次为细粉砂($\phi=5\sim 8$)碳酸盐加权粒度百分含量较高(2.07%),样品 FH2 中-细粉砂($\phi=5\sim 8$)碳酸盐加权粒度百分含量最高(8.49%),其次粗粉砂碳酸盐加权粒度百分含量较高(5.05%),样品 FH3 粗粉砂碳酸盐加权粒度百分含量最高(6.43%),其次为中-细粉砂碳酸盐加权粒度百分含量较高(4.67%);黄河故道沉积物极细砂碳酸盐加权粒度百分含量最高(分别为 3.37%、3.40%)。总体上黄河系沉积物中碳酸盐加权粒度百分含量呈正态分布,表现为两端低中间高,沉积物碳酸盐加权粒度百分含量集中度较低。

海河系沉积物碳酸盐含量在不同粒度中差异较

大,碳酸盐粒度百分含量介于 6.96%~41.90%,其加权平均值为 15.05%,除样品 ZY3 极细砂中含有生物介壳较多,碳酸盐粒度百分含量最高(41.90%),样品 DL4 中-细粉砂碳酸盐粒度百分含量较高(20.25%)以外,各支流沉积物细砂碳酸盐粒度百分含量最高(约 28%),其次为黏土,碳酸盐粒度百分含量加权平均值为 17.18%,粗粉砂碳酸盐碳酸盐粒度百分含量最低(约 10%)。由于细砂中含有肉眼能辨别的生物介壳,所测得碳酸盐粒度百分含量较高,沉积物碳酸盐粒度百分含量均呈现随粒径变小先减小后缓慢上升而趋于稳定,呈两端高中间低不对称鞍形粒度分布,与黄河系情况相近。

海河系沉积物碳酸盐加权粒度百分含量在 0.05%~10.98%,加权粒度百分含量总量平均值为 15.05%,各支流沉积物细砂碳酸盐加权粒度百分含量最低(0.05%~0.67%),中-细粉砂最高(6.82%~10.98%),沉积物碳酸盐加权粒度百分含量曲线两端低中间高,

集中度较高。

综上所述分析得出,黄河系沉积物黏土碳酸盐粒度百分含量最高,而粗粉砂碳酸盐加权粒度百分含量最高,现行黄河及废黄河碳酸盐粒度百分含量及加权粒度百分含量较高,黄河故道碳酸盐粒度百分含量及加权粒度百分含量最低。粒度分析数据中显示黄河系沉积物以粗粉砂为主,故粗粉砂碳酸盐加权粒度百分含量对全样碳酸盐贡献最大,在沉积

物粒度分布中,细砂所占权重最小,碳酸盐粒度百分含量虽然较高,其碳酸盐加权粒度百分含量最低,对全样碳酸盐贡献最低。海河系沉积物细砂因含有较多生物介壳影响,碳酸盐粒度百分含量最高,其次为黏土碳酸盐粒度百分含量较高,而碳酸盐加权粒度百分含量均集中于中-细粉砂。海河系与黄河系相比沉积物碳酸盐粒度百分含量较高,碳酸盐加权粒度百分含量集中度高。

表 3 黄河系与海河系沉积物碳酸盐粒度百分含量

Tab. 3 Granularity of carbonate content in the Yellow River and the Haihe River sediments

样品编号	碳酸盐粒度百分含量(%)					碳酸盐粒度百分含量 加权平均值(%)
	细砂	极细砂	粗粉砂	细粉砂	黏土	
HH1	15.78	11.07	13.14	17.05	28.88	13.66
HH2	14.65	8.97	10.68	13.54	20.29	11.90
HH3	16.45	10.19	13.04	17.97	24.39	11.68
FH1	16.65	11.64	12.23	19.28	16.39	12.62
FH2	18.12	12.45	11.49	17.07	22.06	14.46
FH3	18.43	10.42	11.42	14.42	24.98	12.37
HG8	13.54	5.36	11.60	17.09	20.74	9.29
HG9	8.30	4.12	7.76	12.42	7.64	4.93
DL4	28.64	11.74	11.46	20.25	19.92	18.01
ZY3	36.04	41.90	12.17	16.85	14.32	15.55
THH4	22.92	10.10	9.08	16.28	18.05	13.50
YD3	34.83	12.00	6.96	14.10	16.93	13.55
CB2	33.69	10.98	10.32	15.77	16.66	14.62

表 4 黄河系与海河系沉积物碳酸盐加权粒度百分含量

Tab. 4 Granularity of carbonate weighted content in the Yellow River and the Haihe River sediments

样品编号	碳酸盐加权粒度百分含量(%)					碳酸盐加权粒度 百分含量总量(%)
	细砂	极细砂	粗粉砂	细粉砂	黏土	
HH1	0.04	3.45	6.78	2.20	1.20	13.67
HH2	0.03	1.77	4.88	3.52	1.69	11.89
HH3	0.10	7.82	1.34	1.69	0.73	11.68
FH1	0.03	9.34	0.78	2.07	0.41	12.63
FH2	0.13	0.57	5.05	8.49	0.22	14.46
FH3	0.01	1.11	6.43	4.67	0.16	12.38
HG8	0.25	3.37	1.28	3.08	1.30	9.28
HG9	0.14	3.40	0.75	0.48	0.16	4.93
DL4	0.22	0.54	2.39	8.90	5.95	18.01
ZY3	0.12	0.30	3.90	10.98	0.25	15.55
THH4	0.67	1.59	2.65	7.61	0.98	13.50
YD3	0.05	0.18	1.37	6.82	5.13	13.55
CB2	0.25	0.64	2.29	7.47	3.98	14.62

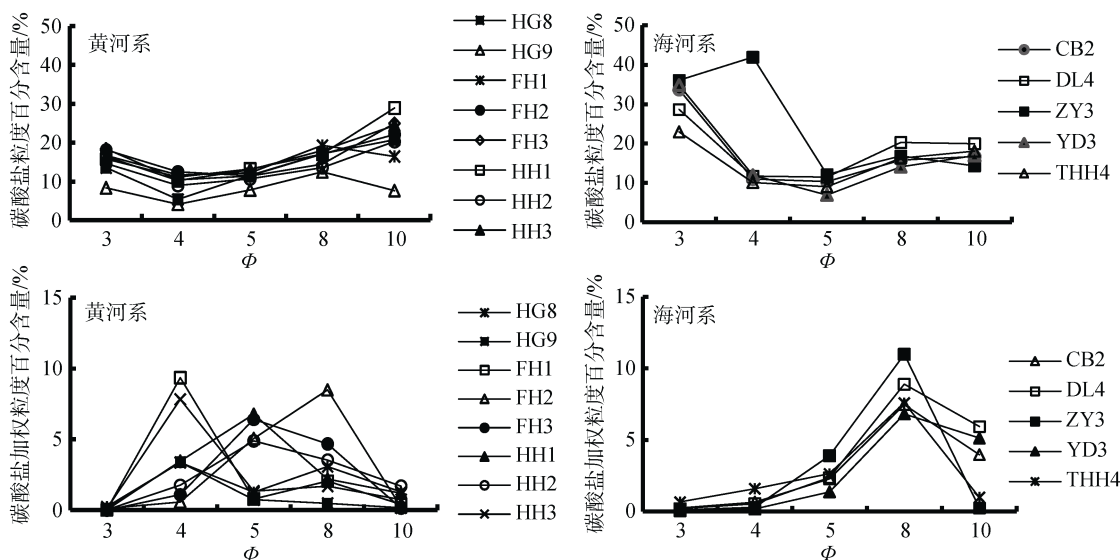


图 4 黄河系与海河系沉积物碳酸盐粒度百分含量和加权粒度百分含量

Fig. 4 Granularity of carbonate content and carbonate weighted content in the Yellow River and the Haihe River sediments

4 讨论

4.1 物质来源

沉积物物源是碳酸盐的基本控制因素。碳酸盐是黄土的重要组成部分，既有原岩风化带入的母岩盐，也有淋滤淀积迁移形成次生碳酸盐，并以后者为主，具有多源性，尤以马兰黄土、离石黄土中的碳酸盐含量最高，对现行黄河沉积物碳酸盐的含量贡献最大^[37]。现行黄河及海河系部分支流发源流经黄土地区，沉积物来源集中，黄河系及海河系沉积物中碳酸盐组分与黄土相近。其中次生碳酸盐是在黄土黏粒空隙中形成的粉砂粒度的次生方解石胶结物，少部分以结核形式存在，粒度较细，在粗粒度中含量不高，随着粒度变细，方解石含量逐渐增高^[9, 42-43]，表现为黏土碳酸盐富集。废黄河与黄河故道沉积物均来源于现行黄河，碳酸盐粒度百分含量及加权粒度百分含量与现行黄河基本吻合，表明所受流域沉积环境影响较小。

本文研究显示黄河系沉积物碳酸盐粒度百分含量的加权平均值为 11.36%，黏土碳酸盐粒度百分含量相对富集，其加权平均值为 20.67%，其中

现行黄河黏土碳酸盐粒度百分含量加权平均值为 24.52%。黄河系沉积物碳酸盐加权粒度百分含量中-粗粉砂贡献最大，集中度较低，其中黄河及废黄河沉积物碳酸盐加权粒度百分含量较高，碳酸盐加权粒度百分含量总量平均值分别为 12.41%、13.16%，黄河故道碳酸盐加权粒度百分含量最低为 7.11%(受淋滤作用影响)。海河系沉积物粒度相较黄河系更细，以细粉砂为主，其碳酸盐粒度百分含量为 15.05%，细砂和黏土碳酸盐粒度百分含量较高；海河系沉积物碳酸盐加权粒度百分含量集中度较高，细粉砂贡献最大，中-细粉砂碳酸盐加权粒度百分含量最高，碳酸盐加权粒度百分含量总量平均值为 8.36%。据刘东生^[38]对黄土高原 3 种典型黄土碳酸钙研究(见表 5)，富含碳酸盐是黄土的一大特性，尤以马兰黄土(11.96%)、离石黄土(10.70%)中的碳酸盐含量最高，对黄河沉积物碳酸盐的贡献最大，与本文现行黄河碳酸盐粒度百分含量加权平均值 12.4%差异不大，表明黄河在搬运过程中对黄土碳酸盐没有明显改造，且马兰黄土是现行黄河沉积物的主要来源，黄河沉积物碳酸盐粒控性受粗粉砂影响较大，流域沉积环境对沉积物碳酸盐影响较小。

表 5 黄土高原三种典型黄土的碳酸盐含量^[38]与黄河系、海河系碳酸盐粒度百分含量加权平均值

Tab. 5 Carbonate content of three typical kinds of loess on Loess Plateau and weighted average granularity carbonate content of the Yellow River and the Haihe River

样品	马兰黄土 ^[38]	离石黄土 ^[38]	午城黄土 ^[38]	黄河系	海河系
碳酸盐含量(%)	11.96	10.70	6.67	11.36	15.05

相关研究表明,黄河现代河口区碳酸盐粒度百分含量平均含量为 13%^[39],与本文研究得出现行黄河碳酸盐粒度百分含量加权平均值 12.4%相近。碳酸盐低值区(均<5%)在黄河故道口与黄河口之间的近岸区与莱州湾南部^[40]。与本文分析结果黄河故道碳酸盐粒度百分含量及加权粒度百分含量最低相吻合。长江沉积物全样碳酸盐粒度百分含量在 4%~8%,碳酸盐粒度百分含量平均值为 6.3%,呈衰变型粒度分布,与黄河情况相反,差异明显^[8]。现代黄河物质、老黄河三角洲物质对南黄海沉积物碳酸盐贡献最大,其表层沉积物碳酸盐含量呈现南高北低,西高东低总特征^[40]。由此显示,碳酸盐可以作为黄河沉积物的特征成分或示踪成分来追溯黄河沉积物在中国渤海、黄海甚至东海陆架上的分布和影响。

现有研究表明,渤海泥质区表层沉积物主要以黏土质粉砂为主,西北部沉积物较细,东南部沉积物相对较粗^[41],渤海东部陆架区碳酸盐盐粒度百分含量平均值为 8%^[37],与本文现行黄河碳酸盐粒度百分含量加权平均值 12.4%差异较小,表明渤海中部地区沉积物受黄河源物质影响较大,除此之外海洋沉积作用对沉积物的搬运和沉积也有重要影响,制约沉积物的扩散方向。

黄海泥质区碳酸盐是海洋自生的碳酸盐与陆源输入碳酸盐的混合物,受海洋生物及碳酸盐的溶蚀与沉淀等因素影响,碳酸盐粒度百分含量平均值较高(21.46%)^[40]与本文黄河系黏土部分碳酸盐粒度百分含量加权平均值 19.33%差异不大,许多学者认为黄海泥质区沉积物碳酸盐含量高与现行黄河和废黄河沉积物有关^[44-45],本文研究表明黄河沉积物的黏土部分可能是黄海泥质区沉积物主要来源,黄河沉积物入海以后被水动力分选,泥质部分经悬浮搬运至黄海泥质沉积区。

4.2 水动力条件

沉积物中碳酸盐含量除物源影响外,河流水动力条件对碳酸盐的形成也有重要影响。水动力作用直接控制沉积物分布,间接控制和影响碳酸盐分布,水动力的不断作用下,沉积物发生重力分异,使细粒组分在水动力作用相对较弱的地域堆积,细粒组分越多,碳酸盐含量越高^[37]。根据黄河系与海河系沉积物粒度组成和粒度参数变化,黄河系沉积物属于极细砂-粗粉砂,分选性中-差,沉积环境中水动力表现强-弱的变化。海河系沉积物属于粗-细粉砂,基本由粉砂和黏土组成,细粒的沉积物反映了海河水

动力条件较弱的环境。海河系水动力条件较弱,沉积物粒度相比于黄河系更细,而黄河的水动力条件远远大于海河,沉积物粒度相对较大,表现为海河系沉积物碳酸盐粒度百分含量及加权粒度百分含量均大于黄河系。而黄河故道的沉积物主要来源于现行黄河,该区地势较高,表层沉积物易受降水等因素影响,淋滤作用显著,表现为黄河故道碳酸盐粒度百分含量最低。

海河系沉积物碳酸盐粒度百分含量黄河系相比较高,富集于黏土组分,细粒度沉积物碳酸盐粒度百分含量与黄河系近似(海河系略高)。海河入海泥沙远比黄河少,对黄、渤海表层沉积物碳酸盐影响远远不及黄河的影响,但在环境变迁研究中对渤海湾小区域沉积物成分的影响不应忽视,据现行黄河与海河沉积物碳酸盐粒度百分含量与粒度的关系,可以作为黄渤海沉积物物源判别、沉积相识别的指标。

5 结论

1) 黄河系沉积物以粗粉砂为主,平均粒度百分含量为 42.95%,分选性中等,粒度分布正偏,峰态曲线尖窄,跃移质特征明显;海河系沉积物以中-细粉砂为主,平均粒度百分含量为 50.31%,分选性较差,粒度分布正偏,峰态曲线较平缓,悬移质特征明显。

2) 海河系与黄河系碳酸盐粒度百分含量较高,海河系略高于黄河系,它们均受粒度控制,在其粒度主要分布区间,碳酸盐粒度百分含量随粒度变细而增高,黏土碳酸盐粒度百分含量达到最高,黏土碳酸盐粒度百分含量加权平均值分别为 17.18%,20.67%。而对全样碳酸盐贡献最大的粒度黄河系为粗粉砂,海河系为细粉砂。

3) 黄河系全岩碳酸盐与马兰黄土相近,黄渤海泥质区碳酸盐平均含量与黄河黏土部分相当,表明黄河在沉积物搬运过程中对黄土碳酸盐没有明显改造,黄河黏土部分是黄渤海泥质区沉积物高碳酸盐的主要影响因素。

参考文献:

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 192-201.
Liu Dongsheng. Loess and Environment[M]. Beijing: Science Press, 1985: 192-201.
- [2] 文启忠. 中国黄土地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 115-159.
Wen Qizhong. The Loess Geochemistry in China[M].

- Beijing: Science Press, 1989: 115-159.
- [3] 吴世迎. 从黄海碳酸盐分布特征探讨黄河在黄海沉积过程中的作用[C]//施雅风, 王靖泰. 第三届全国第四纪学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1982: 95-102.
Wu Shiyong. Discussion on the role of the Yellow River in the Yellow Sea sedimentation from the distribution characteristics of carbonates in the Yellow Sea[C]//Shi Yafeng, Wang Jingtai. Proceedings of the Third National Symposium on Quaternary. Beijing: Science Press, 1982: 95-102.
- [4] Milliman J D, Beardsley R C, Yang Zuosheng, et al. Modern Huanghe derived muds on the outer shelf of the East China Sea: Identification and potential transport mechanisms[J]. *Cont Shelf Research*, 1985, 4: 175-188.
- [5] 孙白云. 黄河口区全新世沉积物中的碳酸盐矿物[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1988, 8(4): 32-41.
Sun Baiyun. Carbonate minerals in Holocene sediments of the Yellow River Estuary[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1988, 8(4): 32-41.
- [6] 韩桂荣, 刘玉海. 黄河口海区沉积物柱样中碳酸盐组分[J]. *海洋与湖沼*, 1993, 24(5): 457-466.
Han Guirong, Liu Yuhai. Carbonate fractions in sediments of Yellow River Estuary[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1993, 24(5): 457-466.
- [7] Mount J F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments: a propose first-order textural and compositional classification[J]. *Sedimentology*, 1985, 14: 28-31.
- [8] 范德江, 杨作升, 王文正. 长江、黄河沉积物中碳酸盐组成及差异[J]. *自然科学进展*, 2002, 12(1): 60-64.
Fan Dejiang, Yang Zuosheng, Wang Wenzheng. Composition and difference of carbonates in sediments of the Yangtze River and the Yellow River[J]. *Progress in Natural Science*, 2002, 12(1): 60-64.
- [9] Yang Zuosheng, Wang Zhaoxiang, Qu Jianzhong, et al. Study on carbonates from the coastal zone of the Yellow River delta and adjacent Bohai Gulf[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1989, 19(3): 91-99.
- [10] Wang Xunming, Dong Zhibao, Zhang Jiawu, et al. Grain size characteristics of dune sands in the central-Taklimakan Sand Sea[J]. *Sedimentary Geology*, 2003, 161: 1-14.
- [11] Zhang Jiaqiong, Zhang Chunlai, Zhou Na, et al. Spatial pattern of grain-size distribution in surface sediments as a result of variations in the aeolian environment in China's Shapotou railway protective system[J]. *Aeolian Research*, 2011, 3: 295-302.
- [12] Livingston I, Wiggs G F S, Weaver C M. Geomorphology of desert sand dunes: A review of recent progress[J]. *Science Direct*, 2007, 80: 239-257.
- [13] 顾兆炎, 韩家懋, 刘东生. 中国第四纪黄土地球化学研究进展[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(1): 42-55.
Gu Zhaoyan, Han Jiamao, Liu Dongsheng. Research progress of Quaternary loess geochemistry in China[J]. *Quaternary Research*, 2000, 20(1): 42-55.
- [14] 赵景波. 黄土中古土壤 CaCO₃ 淀积层及其意义[J]. *西安工程学院学报*, 1998, 20(3): 47-49.
Zhao Jingbo. CaCO₃ deposit and its significance in Middle Loess Soil[J]. *Journal of Xi'an Engineering University*, 1998, 20(3): 47-49.
- [15] Frakes L A, Sun J Z. A carbon isotope record of the upper Chinese loess sequence: Estimates of plant types during stadial and interstadials[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1994, 108: 183-189.
- [16] 郁滨赫. 渤海湾(天津段)近岸海域现代沉积速率及沉积环境研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2013.
Yu Binhe. Study on the modern sedimentation rate and sedimentary environment of Bohai Bay (Tianjin section)[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2013.
- [17] 孙钦帮, 王阳, 张冲, 等. 渤海湾西南部近岸海域表层沉积物重金属的含量分布与污染评价[J]. *人民珠江*, 2016, 37(10): 89-93.
Sun Qinbang, Wang Yang, Zhang Chong, et al. Distribution and pollution evaluation of heavy metals in surface sediments of coastal waters in the southwest of Bohai Bay[J]. *People of the Pearl River*, 2016, 37(10): 89-93.
- [18] 宋金明, 徐亚岩, 段丽琴, 等. 渤海湾百年来沉积物 Li/Ba 和 Rb/Sr 协同变化的地球化学特征与环境指示作用[J]. *海洋科学*, 2014, 38(1): 79-84.
Song Jinming, Xu Yayan, Duan Liqin, et al. Geochemical characteristics and environmental indicators of Li/Ba and Rb/Sr synergistic variation of sediments in the Bohai Bay[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(1): 79-84.
- [19] 王福. 渤海湾海岸带 ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs 示踪与测年研究: 现代沉积及环境[D]. 北京: 中国地质科学院, 2009.
Wang Fu. Bohai Bay coastal zone ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs tracer and dating study: modern sedimentation and environment[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2009.
- [20] 赵津, 刘汝海, 金嘉欣, 等. 子牙新河下游湿地土壤重金属垂直分布及形态特征[J]. *环境化学*, 2016, 35(10): 2045-2050.
Zhao Jin, Liu Ruhai, Jin Jiabin, et al. Vertical distribution and morphological characteristics of heavy metals in wetland soils along the lower reaches of Ziya river[J]. *Environmental Chemistry*, 2016, 35(10): 2045-2050.
- [21] 刘明, 张爱滨, 范德江, 等. 渤海中部底质沉积物重金属环境质量[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(2): 279-290.
Liu Ming, Zhang Aibin, Fan Dejiang, et al. The quality of heavy metals in sediments of the central Bohai Sea[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*,

- 2012, 32(2): 279-290.
- [22] Dai Shibao, Yang Shilun, Gao ang, et al. Over the past 50 years, the main Chinese river sediment changes [J]. *Sediment Research*, 2007(2): 49-58.
- [23] 赵清贺, 卢训令, 汤茜, 等. 黄河中下游河岸缓冲带土壤粒径分形特征[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(5): 38-46.
Zhao Qinghe, Lu Xunling, Tang Qian, et al. Fractal characteristics of soil particle size in the middle and lower reaches of the Yellow River[J]. *Science and Technology of Soil and Water Conservation in China*, 2016, 14(5): 38-46.
- [24] 《黄河水利史述要》编写组. 黄河水利史述要[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
《The Yellow River water conservancy history》Compilation Group. *The Yellow River Water Conservancy History*[M]. Beijing: Water Resources and Electricity Press, 1984.
- [25] 徐伟, 彭修强, 贾培宏, 等. 苏北废黄河三角洲海岸线历史时空演化研究[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2014, 50(5): 577-584.
Xu Wei, Peng Xiuqiang, Jia Peihong, et al. A study on the historical spatial and temporal evolution of the Yellow River delta in northern Jiangsu province[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 2014, 50(5): 577-584.
- [26] 薛力园, 侯雪景, 刘健, 等. 苏北老黄河三角洲北部末次冰盛期以来沉积序列研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2014, 34(3): 14-19.
Xue Liyuan, Hou Xuejing, Liu Jian, et al. Sedimentary sequence study on the last ice age in the north Yellow River delta[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2014, 34(3): 14-19.
- [27] 刘晓燕. 黄河河口研究概况[C]//中国水利学会, 黄河研究会. 黄河河口问题及治理对策研讨会专家论文集. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
Liu Xiaoyan. A survey of the Yellow River estuary[C]//China Water Conservancy Society, The Yellow River Research Association. *The Yellow River Estuary Problem and its Countermeasures*. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2003.
- [28] 仲小敏, 李兆江. 天津地理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2011, 47.
Zhong Xiaomin, Li Zhaojiang. *Tianjin Geography*[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2011, 47.
- [29] 吴立敏. 几种常见粒度分析方法的比对研究[J]. *中国计量*, 2014, 6: 105-107.
Wu Limin. Comparison of several common particle size analysis methods[J]. *China Metrology*, 2014, 6: 105-107.
- [30] 刘志杰, 公衍芬, 周松望, 等. 海洋沉积物粒度参数3种计算方法的对比研究[J]. *海洋学报(中文版)*, 2013, 35(3): 179-188.
Liu Zhijie, Gong Yanfen, Zhou Songwang, et al. Comparative study on three calculation methods of granularity parameters of marine sediments[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 35(3): 179-188.
- [31] Folk R L, Ward W C. Brazos river bar: a study in the signification of grain size parameters[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27: 3-27.
- [32] 蔡国富, 范代读, 尚帅, 等. 图解法与矩值法计算的潮汐沉积粒度参数之差异及其原因解析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2014, 34(1): 196-204.
Cai Guofu, Fan Daidu, Shang Shuai, et al. The sifference of tidal deposition particle size parameters calculated by graphic method and moment method and its cause analysis[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2014, 34(1): 196-204.
- [33] 金秉福. 粒度分析中偏度系数的影响因素及其意义[J]. *海洋科学*, 2012, 36(2): 129-135.
Jin Bingfu. Influence factors and its significance of skewness coefficient in grain size analysis[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(2): 129-135.
- [34] 郁慧福. 碳酸盐测定方法现状及方法比较[J]. *海洋地质动态*, 2007, 23(1): 35-39.
Yu Huifu. Comparison of methods and methods for determination of carbonate[J]. *Marine Geology Dynamics*, 2007, 23(1): 35-39.
- [35] 陈栋栋, 韩军青. 重量分析法测量黄土沉积中碳酸盐含量[J]. *山西师范大学学报*, 2010, 24(3): 89-93.
Chen Dongdong, Han Junqing. Determination of carbonate content in Loess sediments by gravimetric analysis[J]. *Journal of Shanxi Normal University*, 2010, 24(3): 89-93.
- [36] 谭红兵, 马海洲, 张西营. 碳酸盐研究与其记录的环境变化[J]. *盐湖研究*, 2003, 11(4): 21-27.
Tan Hongbing, Ma Haizhou, Zhang Xiying. Carbonate research and environmental changes recorded[J]. *Salt Lake Research*, 2003, 11(4): 21-27.
- [37] 何良彪. 黄河三角洲沿岸及临近海区细粒沉积物中的碳酸盐[J]. *海洋科学*, 1991, (3): 41-44.
He Liangbiao. Carbonate in fine sediments from coastal and offshore areas of the Yellow River Delta[J]. *Marine Sciences*, 1991, 3: 41-44.
- [38] 刘东生. 黄河中游的黄土[M]. 北京: 科学出版社, 1964: 41-52.
Liu Dongsheng. *Loess in the middle reaches of the Yellow River*[M]. Beijing: Science Press, 1964: 41-52.
- [39] 郭飞, 高茂生, 侯国华, 等. 莱州湾07钻孔沉积物晚更新世以来的元素地球化学特征[J]. *海洋学报*, 2016, 38(3): 146-155.
Guo Fei, Gao Maosheng, Hou Guohua, et al. Geochemical characteristics of the sediments of 07 boreholes in the Laizhou Bay since late Pleistocene[J]. *Journal of Oceanography*, 2016, 38(3): 146-155.
- [40] 陈志华, 石学法, 王相芹. 南黄海表层沉积物碳酸盐

- 及 Ca、Sr、Ba 分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(4): 10-16.
- Chen Zhihua, Shi Xuefa, Wang Xiangqin. Distribution of carbonate, Ca, Sr and Ba in surface sediments of the south Yellow Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(4): 10-16.
- [41] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及输运趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 140-147.
- Qiao Shuqing, Shi Xuefa, Wang Guoqing, et al. Discussion on grain size characteristics and transport trend of sediment in Bohai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(4): 140-147.
- [42] 乔淑卿. 沉积物中碳酸盐(方解石和白云石)测定方法的研究[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(3): 484-488.
- Qiao Shuqing. Study on the determination of carbonate (calcite and dolomite) in sediments[J]. Journal of Ocean University of China, 2006, 36(3): 484-488.
- [43] 朱佛宏. 海洋磷块岩中铀和稀土的自生矿物[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(6): 906.
- Zhu Fohong. Authigenic minerals of uranium and rare earth in marine Phosphorite[J]. Marine Geology Dynamics, 2006, 22(6): 906.
- [44] Park Y A, Khim B K. Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea[J]. Marine Geology, 1992, 104: 205-213.
- [45] 蔡德陵, 石学法, 周卫健, 等. 南黄海悬浮体和沉积物组成的物质来源和运移: 来自碳稳定同位素组成的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 16-23.
- Cai Deling, Shi Xuefa, Zhou Weijian, et al. Substance source and transport of suspended solids and sediments in the South Yellow Sea: Evidence from the composition of carbon stable isotopes[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(Supplement): 16-23.

Comparative analysis of carbonates in sediments of the Yellow River and the Haihe River estuaries

WANG Yan-jun, JIN Bing-fu

(College of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China)

Received: Dec. 8, 2016

Key words: carbonate; grain size distribution; sediment; the Yellow River System; the Haihe River System

Abstract: The sediment sieve settlement method is used to analyze granulometry of sediments in the Yellow River and the Haihe River systems. Sediments in the Yellow River are very fine sand and coarse silt with medium sorting, and statistical analysis shows a positive skewness in the size distribution with a narrow kurtosis curve. The Haihe River sediment is fine silt with poor sorting, a partial size distribution, and a relatively flat kurtosis curve. The carbonate content of different grain sizes in the Yellow River and the Haihe River sediments is measured in addition to the proportion of whole carbonate; results show an average carbonate content of carbonate sediments in the Yellow River of 11.36%; the fine-sand grain content is higher at an average of 15.24% (the level of fluctuation gradually decreases with an increase in the grain size), and there is an average enrichment in the clay part of 20.67%; The average carbonate content in the Haihe River sediments is 15.05%, therefore slightly higher than in the Yellow River, and shows a low-asymmetric saddle size distribution at both ends. The proportion of carbonate in both rivers is controlled by particle size; in the Yellow River the coarse-grained silt has the greatest contribution to whole carbonate, whereas in the Haihe River the fine powder has the greatest contribution. The main rocks of the Yellow River are similar to the carbonate content of Malan loess, which is equivalent to the carbonate content in the muddy area of the Yellow Sea and the Bohai Sea, thereby indicating that the main source of the Yellow River sediments is the Malan loess. There is no evident modification of the carbonate content in the process of sediment transport in the Yellow River, and the main factors influencing the high carbonate content of the muddy area of the Yellow Sea are the fine elements from the Yellow River.

(本文编辑: 刘珊珊)