

长江中游航道整治工程区沉积物及有机质变化

郭杰^{1,2}, 王珂¹, 段辛斌¹, 陈大庆¹, 刘绍平¹, 黄成涛³, 李明³, 陈祖欣⁴

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;

2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

3. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011;

4. 长江武汉航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要:为了探究长江中游航道整治水下工程区不同恢复阶段沉积物粒度和有机质含量特征与变化规律,2017年3月、6月、9月分别对长江中游6个恢复时间分别为2、3、4、5、10、15年的航道整治工程区进行了沉积物采集,室内利用Master size 2000型激光粒度仪进行分析,并采用 MM_{F_0} 矩值法公式计算粒度特征,灼烧法测量沉积物有机质含量,分析沉积物粒度和有机质含量随恢复时间的变化情况,以及粒度特征参数和有机质含量之间的关系。结果表明,长江中游护岸水下工程区沉积物组成主要以砂为主,粘土、粉砂和砂的平均含量分别是(7.34±4.58)%、(24.26±1.00)%和(68.39±14.06)%。表层沉积物的粒径2.43~6.79 ϕ ,平均值是3.95 ϕ ,中值粒径2.41~6.05 ϕ ,平均值为3.65 ϕ ,整体上粒径偏小。工程恢复越久,小颗粒组分占比越高,平均粒径越大;有机质含量随工程恢复时间的增长而增高,河流的涨枯期对有机质含量的影响不显著;表层沉积物中粘土和粉砂总含量、平均粒径、中值粒径与有机质含量关系极显著。本研究结果既符合河流纵向沉积物粒度分布规律,也反映了时间尺度对沉积物粒度组成和有机质含量的影响。

关键词: 粒度特征; 有机质含量; 沉积物; 航道整治; 长江中游

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2020)01-0053-07

长江中下游岸线多由抗冲性较弱的全新世松散沉积物组成。三峡工程运行后,由于清水下泄和河床冲刷,河道原有的泥沙动态平衡被打破,因此对碍航河段实施了大量的航道整治项目(施少华等,2002)。航道整治建筑物的使用,减缓了水流速度,促进了泥沙沉积(杨石磊,2014)。沉积物位于相面的交界处,对水生生态系统具有重要影响(燕文明等,2015)。航道整治水下工程区沉积物淤积量、沉积物的粒径组成和有机质含量会随着时间有所改变(周海等,2005)。沉积物粒度级配特征和有机质含量常被用来描述沉积物的特征,是生态环境的重要指标(张晓东等,2007;于培松等,2011;王启栋,2015)。沉积物粒度级配特征是其最基本的属性,而粒度参

数则是粒度特征的量化表示,是级配特征最直接的反映(Roux et al, 2002)。沉积物粒度特征受水动力、泥沙供给、物源特征以及人为活动等因素的影响(王兆夺等,2015)。对沉积物粒度空间分布和时间变化研究,不仅能反应沉积物运移趋势,还能对未来沉积环境变化作出预测(傅开道等,2015)。

目前,对长江沉积物的研究区域主要集中在长江口和近海(刘红等,2007;于培松等,2011);研究目的集中在评价三峡大坝建成后对泥沙的影响(徐晓君,2010;马倩倩等,2015,黄鹏程,2016);已有研究给出了长江沉积物大尺度的时空分布特性。杨云平等(2014)研究长江口陆架表层沉积物时,发现北槽深水航道整治工程造成泥质区域面积减小、位置南偏;张功瑾等(2017)评价了丁坝群附近的泥沙沉积特征,指出影响北槽丁坝群在不同工程阶段下沉积物厚度及地形变化,同时沉积物呈现洪季多淤积、枯季少淤积的特征;但已有报道没有关于航道整治工程水下工程区生境恢复过程中沉积物级配特征和有机物含量变化情况的研究。

本文通过空间换时间的研究方法,对建造于不同时间的航道整治水下工程区的沉积物样品进行采集,开展粒度分析和有机物含量分析,以反映航道整

收稿日期: 2018-10-07

基金项目: 国家重点研发计划资助(National Key R & D Program of China)-2018YFD0900901;长江中下游水下航道整治工程区生境恢复过程研究;生态环境部生物多样性调查、观测和评估项目(2019-2023年)。

作者简介: 郭杰,1990年生,男,硕士研究生,研究方向为渔业资源。E-mail: guojie2575@163.com

通信作者: 王珂,1982年生,女,副研究员,研究方向为鱼类生态。E-mail: wangkelily@126.com

治水下工程区生境恢复过程中沉积物在时间上的变化特征及颗粒物的粒度和有机质含量间的相关关系,为航道整治水下工程区生境的恢复过程研究提供数据基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域位于长江中游,按照完工时间的长短,选取6个航道整治工程,分别是碾子湾整治工程(石首 S_3)、周天控导工程(江陵 S_2)、腊林洲岸坡守护工程(荆州 S_1)、新洲-九江整治工程(九江 S_6)、牯牛沙二期工程(黄石 S_5)、荆江窑监航道整治工程(监利 S_4),上述6个工程的完工时间分别是2002年、2007年、2012年、2013年、2014年和2015年,恢复时间分别是15年、10年、5年、4年、3年和2年。工程位置见图1。

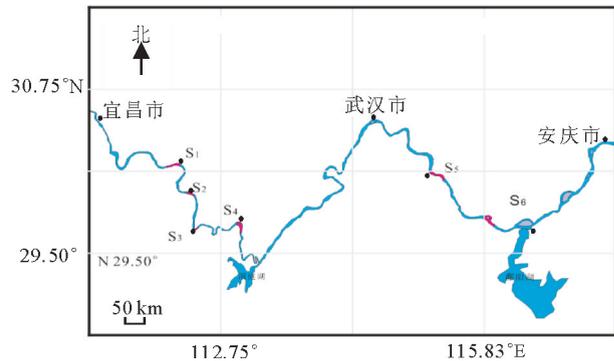


图1 采样点分布

Fig.1 Location of sampling sites

1.2 样品采集

2017年3月、6月和9月,对选定的工程中心区域进行样品采集,乘船或涉水用SC-901A型活塞式柱状采泥器采集底泥,并深度采集到航道整治工程构筑物的界面,手机GPS定位记录坐标。每个工程区平行采样3次。将样品密封于聚乙烯保鲜袋中,置于车载冰箱中4℃下保存,带回实验室完成相关测试。

1.3 样品测试和分析方法

样品在55℃的恒温箱中风干,并混合均匀(宋静宜等,2013)。每个样品加入15 mL质量分数为3%的 H_2O_2 以去除有机碳,再加入5 mL浓度为3 mol/L的HCl以去除无机碳,离心并用蒸馏水清洗,超声波充分振荡30 min后,用Mastersizer 2000型激光粒度仪(可测粒度范围为0.02~2 000 μm)进行样品粒度分析,粒径分辨率为0.01 ϕ ,重复测量相对误差小于3%。本实验采用550℃灼烧减量法测

定泥沙颗粒的有机质含量,其相对误差为10.05% (吴才武等,2015)。

根据 MM_{Fr} 矩值法公式计算粒度的特征(蔡国富等,2014)。沉积物粒度的特征参数,平均粒度(D_{mean})、分选系数(δ)、偏态值(S_k)和峰态值(K_u)分别用粒度分布的一阶矩、二阶矩、三阶矩和四阶矩的函数表示。 $\sum f=100$, $\phi=-\log_2 d$,其中 d 为粒径(mm),粒级标准为乌顿-温德华氏等比制 ϕ 值粒级标准。矩值法计算公式为:

$$\text{平均粒度: } \bar{X} = \frac{\sum f M_{\phi}}{100}$$

分选系数(标准偏差):

$$\delta = \sqrt{\sum f (M_{\phi} - \bar{X})^2 / 100}$$

$$\text{偏态: } S_k = \frac{\sum f (M_{\phi} - \bar{X})^3 / \delta^3}{100}$$

$$\text{峰态: } K_u = \frac{\sum f (M_{\phi} - \bar{X})^4 / \delta^4}{100}$$

式中: f 为各粒级范围的百分含量; M_{ϕ} 为粒径。

沉积物参照Trefethen(1950)分类标准,即:粒径 >2 mm为砾石,0.063~2 mm为砂,0.004~0.063 mm为粉砂, <0.004 mm为粘土。沉积物分选性、偏度、峰度的分级依据 MM_{Fr} (1957),详见表1。

表1 粒度参数分级标准

Tab.1 Grading criteria of grain size

| 分选性 | 分选系数 | 偏度 | 偏态值 | 峰度 | 峰态值 |
|-----|-----------|-----|-------------|-----|------------|
| 极好 | <0.65 | 极负偏 | <-0.53 | 很平坦 | <1.46 |
| 好 | 0.65~0.81 | 负偏 | -0.53~-0.13 | 平坦 | 1.46~2.35 |
| 较好 | 0.81~1.07 | 近对称 | -0.13~0.13 | 中等 | 2.35~3.15 |
| 中等 | 1.07~1.40 | 正偏 | 0.13~0.53 | 尖锐 | 3.15~4.88 |
| 较差 | 1.40~2.00 | 极正偏 | >0.53 | 很尖锐 | 4.88~10.42 |
| 差 | 2.00~4.00 | | | 极尖锐 | >10.42 |
| 极差 | >4.00 | | | | |

1.4 数据处理

数据统计和绘图使用Origin9.0,用SPSS22.0进行数据相关性分析。

2 结果与分析

2.1 沉积物粒径级配特征

长江中游护岸水下工程区沉积物组成主要以砂为主(图2)。粘土、粉砂和砂的平均含量分别是(7.34 \pm 4.58)%、(24.26 \pm 1.00)%和(68.39 \pm 14.06)%,各采样区之间粘土、砂和粉砂的变化较为明显。通过粘土-粉砂-砂的三元相图显示,建造

2年、3年、4年和5年采样区间粘土、粉砂和砂组成差别不大, 样点投影较集中, 与10年、15年采样区间粘土、粉砂和砂的组成差别较大, 样点投影较分散。各采样区砂的含量为49.79%~90.28%, 整体呈现出随着恢复时间的变长、砂含量逐渐下降的趋势; 2年、3年、4年、5年、10年和15年采样区的砂含量分别为(75.09±9.36)%、(78.14±18.98)%、(56.12±23.20)%、(75.63±29.64)%、(53.67±32.73)%和(49.79±24.09)%。

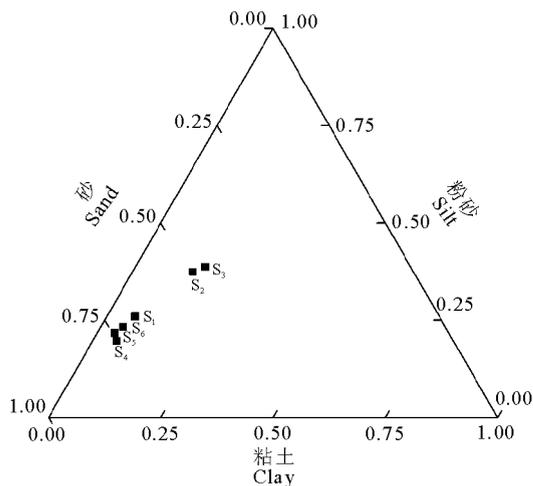


图 2 沉积物粒度组分三元相图

Fig.2 Sediment texture triangle for the study area

沉积物粒度参数可以用来分析其来源和沉积环境, 沉积物平均粒径和分选系数与沉积物来源紧密相关, 偏态和峰态显示了粒度输运形式及沉积环境对粒度的改造结果(张富元等, 2003)。综合3次采样数据, 依据 MM_{Fr} (1957) 的粒度分级表对各工程区粒度分布情况描述(表 2)。长江中游工程区沉积物整体上的特征为分选性差, 呈极正偏态, 分布尖锐。

各采样区的表层沉积物粒径 2.43~6.79 ϕ , 平均值是 3.95 ϕ , 中值粒径 2.41~6.05 ϕ , 平均值为 3.65 ϕ , 整体上粒径偏小, 2年、3年和5年沉积物的平均粒径在 3.30 ϕ 左右, 4年、10年和15年沉积物的平均粒径为 4.60 ϕ 左右。平均粒径和中值粒径最小出现在2年采样区, 平均粒径和中值粒径最大出现在15年采样区, 同时10年和15年的平均粒径和中值粒径差别不大, 与沉积物类型分布规律一致。分选系数在 0.49~3.54, 平均值为 1.88, 根据分选系数等级表, 整体分选性较差。4年和10年采样区分选系数大于2, 属于分选性差的等级, 其他各采样点属于分选性较差等级, 分选系数 1.4~2.0, 但10年和15年分选系数差别不大。偏度值为 0.02~5.10,

平均值是 1.23, 偏度变化范围较大, 沉积物粒度呈极正偏, 随着恢复时间, 偏度逐渐减少。峰度值介于 2.03~11.86, 平均值 2.03, 随着恢复时间, 峰态逐渐变窄。

表 2 沉积物粒径分布曲线特征参数

Tab.2 Characteristic parameters of sediment particle size distribution

| 时 间 | 地 点 | 平均粒 径/ ϕ | 中值粒 径/ ϕ | 分选 系数 | 偏 度 | 峰 度 |
|-----|----------------|---------------|---------------|-------|------|-------|
| 3 月 | S ₄ | 3.75 | 3.65 | 1.50 | 1.74 | 7.48 |
| | S ₅ | 2.78 | 2.62 | 0.97 | 2.37 | 11.16 |
| | S ₆ | 2.75 | 2.52 | 1.23 | 1.62 | 6.67 |
| | S ₁ | 2.43 | 2.42 | 0.52 | 0.04 | 2.44 |
| | S ₂ | 3.00 | 2.79 | 1.23 | 1.55 | 6.58 |
| | S ₃ | 2.58 | 2.57 | 0.49 | 0.02 | 2.46 |
| 6 月 | S ₄ | 3.64 | 2.47 | 3.03 | 0.61 | 2.03 |
| | S ₅ | 3.60 | 3.68 | 2.30 | 0.54 | 2.99 |
| | S ₆ | 4.58 | 4.32 | 1.99 | 0.93 | 3.54 |
| | S ₁ | 4.35 | 4.38 | 1.93 | 0.71 | 3.97 |
| | S ₂ | 4.45 | 4.64 | 2.34 | 0.31 | 2.79 |
| | S ₃ | 4.65 | 4.51 | 1.93 | 0.76 | 3.91 |
| 9 月 | S ₄ | 2.43 | 2.41 | 0.63 | 0.44 | 5.50 |
| | S ₅ | 3.39 | 3.21 | 1.19 | 5.10 | 6.78 |
| | S ₆ | 6.46 | 5.37 | 3.54 | 0.71 | 2.17 |
| | S ₁ | 3.15 | 2.48 | 2.64 | 3.08 | 11.86 |
| | S ₂ | 6.30 | 5.55 | 2.98 | 0.94 | 3.00 |
| | S ₃ | 6.79 | 6.05 | 3.40 | 0.71 | 2.35 |

分析粒度参数双变量之间的相关关系如表 3 所示。平均粒径、中值粒径和分选系数两两之间呈正相关关系, 偏度和峰度呈正相关关系, 平均粒径、中值粒径、分选系数和偏度、峰度之间呈负相关关系; 说明随着沉积物平均粒径的增大, 标准偏差变大, 偏态极偏, 峰态窄, 分选呈逐渐变差的趋势, 与刘宪斌等(2016)的研究结果相似。

统计结果表明, 平均粒径与中值粒径和分析系数之间的相关性极显著($P < 0.01$), 平均粒径与峰度之间为显著相关($P < 0.05$), 中值粒径与分选系数和峰度显著相关($P < 0.05$), 偏度和峰度之间也呈现出显著相关关系($P < 0.05$)。对3月、6月和9月的沉积物粒度参数进行单因素方差分析发现, 平均粒径在3月和6月差异不显著($P > 0.05$), 6月和9月差异不显著($P > 0.05$), 3月和6月之间差异显著($P < 0.05$)。3月沉积物分选系数与6月和9月沉积物粒度参数差异显著($P < 0.05$), 6月和9月之间的分选系数差异不显著($P > 0.05$)。中值粒径、偏度和峰度在3月、6月和9月两两之间差异不显著($P > 0.05$), 整体来说沉积物的粒径参数在一年内的变化不明显。

表3 粒度参数之间的关系

Tab.3 Relationships between particle size parameters

| 参数 | 平均粒径 | 中值粒径 | 分选系数 | 偏度 | 峰度 |
|------|---------|---------|--------|--------|----|
| 平均粒径 | 1 | | | | |
| 中值粒径 | 0.960** | 1 | | | |
| 分选系数 | 0.831** | 0.703** | 1 | | |
| 偏度 | -0.183 | -0.227 | -0.103 | 1 | |
| 峰度 | -0.452* | -0.475* | -0.296 | 0.702* | 1 |

注:**表示相关性极显著($P<0.01$);*表示相关性显著($P<0.05$)。

Note:** indicates an extremely significant correlation ($P<0.01$); * indicates a significant correlation ($P<0.05$).

2.2 有机质变化情况

调查的6个航道整治工程区有机质含量在1.06%~4.82%,平均值为(3.06±1.30)%。3月枯水期有机质含量为1.06%~3.53%,平均值(2.75±1.05)%;6月丰水期有机质含量为2.23%~4.82%,平均值为(3.65±1.01)%;9月平水期有机质含量为1.28%~4.73%,平均值为(2.80±1.46)%。对3月、6月和9月长江中游的有机质含量进行单因素方差分析, $F=0.908, P=0.272>0.05$,说明长江中游有机质含量在3月枯水期、6月丰水期和9月平水期之间的差异不显著(图3)。

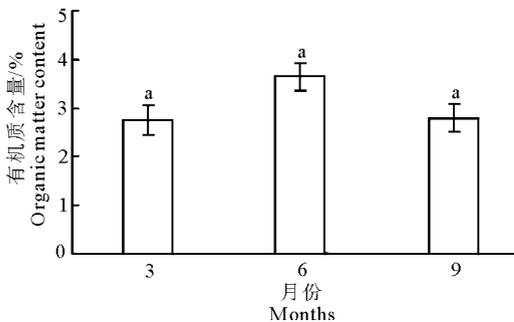


图3 有机质含量季节变化

Fig.3 Seasonal change in organic matter content

随着恢复年限的增加,有机质含量呈现出逐渐增多的趋势,2年和3年采样区有机质的含量相对较低,5年、10年和15年采样区有机质含量相对较高(图4)。对不同恢复年限的采样点沉积物有机质

表4 沉积物中粒度参数与有机质含量的相关性

Tab.4 Correlation coefficients between grain size and organic matter in sediment samples

| 检验指标 | 有机质参数 | | | | | |
|-------|---------|---------|-------|--------|--------|---------|
| | 平均粒径 | 中值粒径 | 分选系数 | 偏度 | 峰度 | 粘土粉砂含量 |
| P | 0.004** | 0.001** | 0.260 | 0.023* | 0.034* | 0.002** |
| r | 0.60 | 0.65 | | -0.49 | -0.47 | 0.64 |
| R^2 | 0.36 | 0.42 | | 0.24 | 0.30 | 0.41 |

注:**表示相关性极显著($P<0.01$);*表示相关性显著($P<0.05$)。

Note:** indicates an extremely significant correlation $P<0.01$; * indicates a significant correlation ($P<0.05$).

含量进行单因素方差分析,结果显示,2年、3年、4年和5年采样区有机质含量两两之间差异不显著($P>0.05$)。10年采样区和15年采样区有机质含量差异不显著($P>0.05$)。10年采样区与2年采样区和3年采样区的有机质含量差异显著($P<0.05$),15年采样区与2年、3年、4年和5年采样区的有机质含量差异显著($P<0.05$)。说明在较短的时间间隔内,有机质含量差异不大;同时,在恢复过程中,有机质含量会呈现波动式的增加。

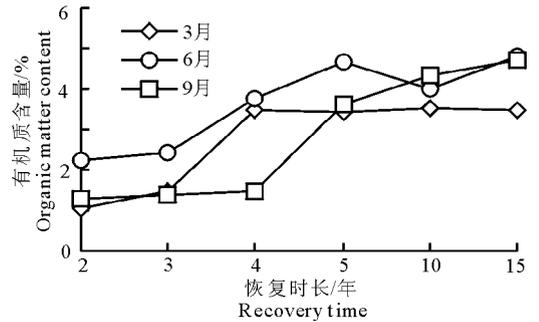


图4 有机质含量年际间的变化

Fig.4 Interannual variation of organic matter content

2.3 粒径和有机质的关系

将沉积物粒度参数平均粒径、中值粒径、分选系数、偏度、峰度以及粘土和粉砂组分占比与沉积物中有机质含量进行回归分析(表4)。粘土和粉砂含量、平均粒径、中值粒径与有机质含量关系极显著($P<0.01$),偏度与有机质含量关系差异显著($P<0.05$),而分选系数、峰度与有机质关系不显著($P>0.05$)。

沉积物平均粒径(X)与有机物含量(Y)呈正相关,两者的关系如下:

$$Y = 0.5574X + 0.834 \quad (R^2 = 0.3642, P < 0.01, n = 18)$$

沉积物中值粒径(X)与有机物含量(Y)呈正相关,两者的关系如下:

$$Y = 0.5844X + 1.1144 \quad (R^2 = 0.4224, P < 0.01, n = 18)$$

黄向青等(2014)研究认为有机质与平均粒径和中值粒径存在线性关系,对粒径为 10ϕ 响应最高。沉积物粒度参数偏度(X)与有机物含量(Y)呈负相关,两者的关系如下:

$$Y = -0.5196X + 3.5715 \quad (R^2 = 0.2414, P < 0.05, n = 18)$$

沉积物粒度右偏有利于有机质积聚。沉积物粒度参数峰度(X)与有机物含量(Y)呈负相关,两者的关系如下:

$$Y = -0.2226X + 4.1111 \quad (R^2 = 0.2961, P < 0.05, n = 18)$$

沉积物中粘土和粉砂总含量(X)与有机物含量(Y)呈现很好的正相关,两者的关系如下:

$$Y = 0.0301X + 1.9706 \quad (R^2 = 0.4112, P < 0.01, n = 18)$$

于培松等(2011)研究长江口沉积物中粘土粉砂含量(B)与有机碳(TOC)的关系与本研究结果相似,两者的关系如下:

$$TOC = 0.064B + 0.11 \quad (R^2 = 0.65, P = 0.01)$$

3 讨论

3.1 表层沉积物级配特征变化及其影响因素

马倩倩等(2015)研究表明,长江表层沉积物以粉砂和砂为主,粉砂占沉积物含量的 45.8%,砂占沉积物含量的 41.4%,粘土占沉积物含量的 12.8%,本文研究结果与其差别不大,但本次研究的粘土和粉砂含量低,砂含量比其结果高,可能是由于采样区域和底泥深度差异造成的。不同采样区,表层沉积物之间由于粒径和比重不同,对水动力的响应有很大差别,不同粒度特征的沉积物分布是对研究区内水动力强弱的最直接反应(Gibbs et al, 1997);粘土的粒径小、比重轻,对水动力反应敏感,水动力强的区域粘土含量高,砂含量低,水动力弱的区域,粘土含量低,砂含量高(Rice et al, 1998; 朱耀军等, 2012; 祝贺等, 2017);沉积物粒度的空间差异受研究区域水动力条件的影响,但水动力条件最终取决于水文、障碍物等因素(刘金铃等, 2008)。由于淤积等原因,不同时期的航道整治工程对水流的阻碍和减速作用不同,悬浮颗粒物沉积类型也不同。

3.2 表层沉积物有机质含量的变化特征

沉积物粒度参数在枯水期、丰水期和平水期之间差异不显著,因而有机质的含量差异也不显著。马倩倩等(2015)也指出,粒径是长江河流中沉积有机质含量高低的主要影响因素。各采样区 6 月的有

机质含量相对高于 3 月和 9 月,可能主要原因是夏季雨水多,陆源有机质被带到工程区。马倩倩等(2015)认为陆源是整个长江有机质的主要来源,对有机质的组成与分布影响较大。不同工程区水动力条件的差异也是造成沉积物有机质含量差异的原因之一,有机质的含量有空间和季节的变化,其季节变化主要由水动力的改变而引起(王启栋等, 2015);黄向青等(2014)通过在广西近海平原西北部 2006-2009 年采样分析发现,2007 年呈现递增,2008 年递减,2009 年又波动式增加,但有机质的含量总体上是增加的;张娜等(2016)指出,随着生态系统的逐步恢复,有机碳的含量显著提高,并且其分布特征和品质变化与生态条件和环境变化具有高度的一致性。

3.3 表层沉积物有机质含量与粒径特征

沉积物中有机质的含量主要受沉积物级配的影响。粒径组成是沉积物非常重要的特征之一,不同粒径的沉积物颗粒具有不同的比表面积和质量,因而具有不同的特征,对固-液界面上物质交换的影响存在差异(金相灿, 1990),从而造成沉积物中有机物含量的差异。王圣瑞等(2004)研究表明,粘粒级的沉积物中有机质含量最高,细砂粒级其次,粗砂粒级再次,粉砂粒级最低。沉积物粒度参数平均粒径、中值粒径和粘土粉砂含量与有机质含量呈显著相关性,有机质的含量与沉积物密切相关,并且主要受到粒径较小的沉积物影响(Keil et al, 1998)。随着沉积物颗粒变细,小颗粒成分增多,平均粒径和中值粒径增大,有机质含量也呈现出增加的趋势;其可能原因是颗粒粒径越小,小颗粒含量越多,颗粒物的比表面积就越大,因而能吸附的有机质含量就越多,也更利于有机质的保存(Lin et al, 2002)。在偏态方面,有机质含量和偏态系数呈现负相关关系。偏态系数越小,表示小颗粒组分越多,有机质含量也越高。

4 结论

(1)长江中游 6 个航道整治工程区沉积物组成中,砂的含量占优势,粘土和粉砂的含量随着工程区恢复时间的延长而增加。

(2)平均粒径和分选性参数的变化趋势一致,随着恢复时间的增长,先增大,后相对稳定;偏度和峰度的变化趋势一致,随着恢复时间的增长,无显著的变化规律。

(3)有机质含量在一年的枯水期、丰水期和平水期变化不显著,恢复时间久的工程点,有机质含量高于恢复期短的工程点。

(4)长江表层沉积物中,粘土和粉砂含量、平均粒径、中值粒径与有机质含量关系极显著,偏度与有机质含量关系显著,分选系数、峰度与有机质关系不显著。

参考文献

蔡国富,范代读,尚帅,等,2014.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,34(1):195-204.

傅开道,杨文辉,苏斌,等,2015.流域环境变化的河流沉积物粒度响应——澜沧江案例[J].地理科学进展,34(9):1148-1155.

黄鹏程,2016.三峡典型淤积河段细颗粒泥沙理化特性研究[D].重庆:重庆交通大学.

黄向青,梁开,夏真,等,2014.广西近岸海域水下平原表层沉积物中有机质分布及其积累[J].广西科学院学报,30(2):112-119.

金相灿,屠清瑛,1990.湖泊富营养化调查规范(第2版)[M].北京:中国环境科学出版社.

刘红,何青,王元叶,等,2007.长江口表层沉积物粒度时空分布特征[J].沉积学报,25(3):445-455.

刘金铃,李柳强,林慧娜,等,2008.中国主要红树林区沉积物粒度分布特征[J].厦门大学学报(自然版),47(6):891-893.

刘宪斌,李孟沙,梁梦宇,等,2016.曹妃甸近岸海域表层沉积物粒度特征及其沉积环境[J].矿物岩石地球化学通报,35(3):507-514.

马倩倩,魏星,吴莹,等,2015.三峡大坝建成后长江河流表层沉积物中有机物组成与分布特征[J].中国环境科学,35(8):2485-2493.

施少华,林承坤,杨桂山.2002.长江中下游河道与岸线演变特点[J].长江流域资源与环境,11(1):69-73.

宋静宜,傅开道,苏斌,等,2013.澜沧江水系底沙重金属含量空间分布及其污染评价[J].地理学报,68(3):389-397.

唐洪武,李福田,肖洋,等,2002.四面体框架群护岸型式防冲促淤效果试验研究[J].水运工程,(9):25-28.

王启栋,宋金明,李学刚,等,2015.黄河口湿地有机碳来源及其对碳埋藏提升策略的启示[J].生态学报,35(2):568-576.

王圣瑞,赵海超,周小宁,等,2004.五里湖与贡湖不同粒径沉积物中有机质、总氮和磷形态分布研究[J].环境科学研究,17(S1):11-14.

王兆夺,于东生,2015.泉州湾表层沉积物粒度特征分析[J].应用海洋学学报,34(3):326-333.

吴才武,夏建新,段峥嵘,等,2015.土壤有机质测定方法述评与展望[J].土壤,47(3):453-460.

燕文明,刘凌,周利,等,2015.里下河地区代表性浅水湖泊表层沉积物可转化态氮的赋存特征[J].水资源保护,31(5):30-34.

杨石磊.2014.实体丁坝群与透水桩坝护岸机理试验研究[D].西安:西北农林科技大学.

于培松,薛斌,潘建明,等,2011.长江口和东海海域沉积物粒径对有机质分布的影响[J].海洋学研究,29(3):202-208.

张富元,章伟艳,杨群慧,2003.南海东部海域沉积物粒度分部特征[J].沉积学报,21(3):452-460.

张功瑾,路川藤,罗小峰,等,2017.长江口深水航道治理工程不同阶段北槽丁坝群坝田泥沙冲淤分析[J].水运工程,(9):121-125.

张晓东,翟世奎,许淑梅,2007.长江口外近海表层沉积物粒度的级配特性及其意义[J].中国海洋大学学报(自然科学版),37(2):328-334.

朱耀军, Bourgeois C, 林广旋,等,2012.湛江高桥红树林表层沉积物的粒度空间分布特征[J].应用生态学报,23(8):2114-2120.

祝贺,孙志高,衣华鹏,等,2017.曹妃甸近岸表层沉积物粒度和粘土矿物分布特征研究[J].地球与环境,45(3):306-313.

Folk R L, Ward W C, 1957. Brazos river bar: a study in the signification of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3-27.

Gibbs J R, 1997. Clay mineral segregation in the marine environment[J]. Journal of Sedimentary Research, (1): 237-243.

Keil R G, Tsamakis E, Giddings J C, et al, 1998. Biochemical distributions (amino acids, neutral sugars, and lignin phenols) among size-classes of modern marine sediments from the Washington coast[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 62(8):1347-1364.

Lin S, Hsieh I J, Huang K M, et al, 2002. Influence of the Yangtze River and grain size on the spatial variations of heavy metals and organic carbon in the East China Sea continental shelf sediments[J]. Chemical Geology, 182(2):377-394.

Rice S, 1998. Which tributaries disrupt downstream fining along gravel-bed rivers? [J]. Geomorphology, 22(1): 39-56.

Roux J P L, O'Brien R D, Rios F, et al, 2002. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters [J]. Computers & Geosciences, 28(5):717-721.

Trefethen J M, 1950. Classification of sedimentents[J]. American Journal of Science, 248:55-62.

Sediment and Organic Matter Dynamics in Channel Project Areas of the Middle Yangtze River

GUO Jie^{1,2}, WANG Ke¹, DUAN Xin-bin¹, CHEN Da-qing¹, LIU Shao-ping¹,
HUANG Cheng-tao³, LI Ming³, CHEN Zu-xin⁴

(1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of
Fishery Sciences, Wuhan 430223, P.R.China;

2. Wuxi Fishery College NAU, Wuxi 214081, P.R.China;

3. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, P.R.China;

4. Wuhan Waterway Bureau of the Yangtze River, Wuhan 430010, P.R.China)

Abstract: Discharge from Three Gorges Reservoir has caused bank collapse in the middle reaches of Yangtze River. To fortify banks, hydraulic structures have been constructed to decrease flow and promote deposition of clay and sand. In this study, we analyzed the grain size and organic content of sediments in channel regulation areas of the middle Yangtze River at different stages. The objectives were to explore the dynamics of changing particle size and organic matter content after construction of hydraulic structure and the relationship between organic matter content and particle size. The study provides basic data for habitat remediation by construction of channel regulation projects. In March, June and September of 2017, sediments were collected in areas with hydraulic structures in place for periods of 2, 3, 4, 5, 10 and 15 years. The Master Size 2000 instrument and MM_{Fr} formula were used to characterize grain size of sediment samples and the combustion method was used to determine organic content. Results show that sand was the main component in sediments. The average proportions of clay, silt and sand for the sediments were, respectively, $(7.34 \pm 4.58)\%$, $(24.26 \pm 1.00)\%$ and $(68.39 \pm 14.06)\%$. The particle size range of surface sediments was $2.43 - 6.79\phi$ (average, 3.95ϕ) and median particle diameter range of $2.41 - 6.05\phi$ (average, 3.65ϕ). The particles were generally small. The proportion of organic matter in the sediment ranged from 1.06% to 4.82% [average, $(3.06 \pm 1.30)\%$]. Organic matter content varied with season: $(2.75 \pm 1.05)\%$ in March, $(3.65 \pm 1.01)\%$ in June and $(2.80 \pm 1.46)\%$ in September. The longer the recovery project operated, the higher the proportion of small particles accounted for and the larger the average particle size was. The proportion of organic matter increased with time, but no distinct relationship was found between organic matter content and wet/dry periods. The total content of clay and silt, average particle size and median particle size of sediments all correlated significantly with organic matter content. The results of this study are consistent with the normal distribution pattern of sediment grain size and reflect the influence of time on grain size composition and organic matter content in river sediments.

Key words: sediment grain size; organic matter content; surface sediments; channel regulation projects; the middle reaches of the Yangtze River