

Analysis of the Correlation between Main Pollutants and Suspended Solids in Yangtze Estuary Waters

Xunping Qiu

Shanghai Branch of Water Resources Protection Bureau of Yangtze River Basin, Shanghai
Email: 691448379@qq.com

Received: Oct. 5th, 2018; accepted: Oct. 18th, 2018; published: Oct. 30th, 2018

Abstract

In this paper, SPSS statistical software was used to analyze the correlation between main pollutants and suspended substances and the composition of total phosphorus in the Yangtze river estuary, based on the four parameters in the water quality monitoring section of the Three-Gorges sub-system from 2012 to 2016 by classifying water period/fluctuation tide/upper and lower layers. The results show that the concentration of each parameter in non-flood season is generally greater than that in flood season. Compared with the shake sample, the average decrease rate of TP in the filter sample reached 64.8%, and that of COD_{Mn} was 40.6%. Soluble total phosphorus accounted for 47.6% of TP in the precipitate sample, while granular phosphorus accounted for 52.4%. Soluble total phosphorus accounted for 29.8% of TP in the shake sample, while granular phosphorus accounted for 70.2%. There is no correlation between the filter sample and the suspended substance, but there is an extremely significant positive correlation or significant positive correlation between the shake sample and the precipitate sample and the suspended substance. In general, the correlation coefficients of TP in the shake samples and suspended matter are greater than those of the precipitate samples, as same to COD_{Mn}.

Keywords

Yangtze Estuary, Correlation, Permanganate Index, Total Phosphorus, Total Nitrogen, Suspended Solids

长江口水域主要污染物与悬浮物相关性分析

邱训平

长江流域水资源保护局上海局, 上海
Email: 691448379@qq.com

收稿日期: 2018年10月5日; 录用日期: 2018年10月18日; 发布日期: 2018年10月30日

作者简介: 邱训平, 女, 生于1965年8月, 本科学历, 就职于长江流域水资源保护局上海局保护协调室, 高级工程师。

摘要

本文利用SPSS统计软件,对2012~2016年长江口三峡子系统水质监测断面的4个水质参数,按汛期非汛期/涨落潮/上下层的分类,开展长江口水域主要污染物与悬浮物间的相关性及总磷组成研究分析。分析结果显示,监测时段内各参数浓度总体上为非汛期大于汛期;抽滤样与摇匀样相比,TP平均下降率达到64.8%, COD_{Mn} 为40.6%;全年可溶性总磷占 $TP_{悬}$ 比为47.6%,而颗粒态磷为52.4%;可溶性总磷占 $TP_{沉}$ 比为29.8%,而颗粒态磷为70.2%。抽滤样与悬浮物基本不存在相关性,而摇匀样和沉淀样与悬浮物呈极显著正相关或显著正相关。总体上水质参数与SS的相关系数R存在 $R_{TP_{悬}} > R_{TP_{沉}}$ 和 $R_{G_{悬}} > R_{G_{沉}}$ 的规律。

关键词

长江口,相关性,高锰酸盐指数,总磷,总氮,悬浮物

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 综述

水体中悬浮物(SS)能作为污染迁移转化的载体,在迁移过程中发生生物化学作用,还能吸附和富集污染物,不断发生沉降、混合稀释、絮凝作用,使水质环境发生变化而导致局部污染[1]。进入天然水体的大部分营养污染物会被水中悬浮泥沙吸附并随同泥沙颗粒一起运动或沉积在河湖底部,形成具有一定厚度的营养性污染物沉积物层,成为水体污染的内源。

目前对水库、湖泊、河床沉淀物内磷的形态特征及演变报道较多,但对水体中SS含量与磷的形态及高锰酸盐指数(COD_{Mn})等相关性的研究相对较少。已有研究成果显示,水体中磷和 COD_{Mn} 与SS间关系密切。如王华等[2] 2005年对滇池及流域环境水中磷与SS的相关性分析研究结果显示,水体中SS含量高低决定了磷的主要存在形式。SS含量高的河道,磷主要以颗粒态磷的形式存在;SS含量低的河道,磷主要存在形式为可溶性总磷,可溶性总磷中一半以上由正磷酸盐组成。总磷(TP)与SS呈显著的正相关性,颗粒态磷、下降率与SS呈极显著的正相关性。牟学军等[3] 2001年对松花江佳木斯江段地面水中 COD_{Mn} 与SS的相关性探讨研究结果显示,松花江佳木斯江段在丰水期,水中的SS值明显偏高,而 COD_{Mn} 的测定结果也高于正常值。对其二者相关性研究结果显示,二者间存在着正相关,SS值偏高, COD_{Mn} 值也随着升高。娄保锋等[4][5]对三峡水库干流江段的水样处理方式对水质参数监测值影响结果表明, COD_{Mn} 、TP和重金属(铜、铅和汞)等水质参数会受到显著影响,总氮(TN)受影响较小。

以上研究水域均不受咸潮影响,而在入海河口及其邻近海域,咸淡水发生强烈混合,伴随着各种物理、化学、生物等作用,悬浮体的物质组成、颗粒大小、形态特征等发生了很大变化,多项研究表明,在河口处大量悬浮体对污染物质有着明显而强烈的吸附作用,也即“清除效应”,不同组分颗粒物的吸附效果不同,从而对环境产生了一定的影响[6]。

目前关于长江口水域悬浮物与 COD_{Mn} 和TP等相互关系的研究鲜有文献报道。长江流域水资源保护局在吴淞口下23 km设有长江三峡工程生态与环境监测断面(简称“长江口三峡子系统水质监测”),该断面积累了磷和 COD_{Mn} 等不同前处理方式下的长期监测成果。本文按汛期非汛期、涨落潮和上下层分类,进行TP、 COD_{Mn} 、TN和SS的变化特征分析,并探讨它们之间的相关性。文中列出了该水域SS的相关研究成果,以了解长江河口水体中SS特征。

2. 站点及监测概述

2.1. 监测断面基本情况

长江口三峡子系统水质监测断面位于吴淞口下 23 km, 在长江口南支南港内, 位于南港的北槽和南槽分界附近。该断面实行单月监测, 全年共 6 次。每次按涨落潮(落平和涨平)分别采样。断面设 5 条垂线, 每条垂线设上下 2 个监测点, 位于水面下 0.5 m 和河底上 0.5 m。监测项目包括水深、水温等共计 22 项常规参数。其中磷、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、汞砷铜铅镉共计 7 项开展了抽滤、沉淀 30 min 和摇匀 3 种水样前处理下的水质分析。

2.2. 分析系列及参数选择

选择 2012~2016 年共计 5 a 的水质系列。

水质参数选择 TP、COD_{Mn}、TN 和 SS 共 4 个指标。其中 TP 和 COD_{Mn} 共有 3 种监测成果, SS 为摇匀取样后的监测成果, TN 为沉淀 30 min 后取上层样的监测成果。

2.3. 参数测定方法

4 个水质参数的测定方法见表 1。

3. 研究内容及方法

3.1. 研究内容

1) 2012~2016 年水质参数总体特征值分析。分汛期(5~10 月), 非汛期(11 月~次年 4 月)和全年进行 14 个项目浓度的变化范围、均值和标准差的统计分析。

2) 相关性分析及显著性检验。分析 3 种前处理(摇匀、沉淀 30 min、抽滤)下的长江口 TP 和 COD_{Mn} 与 SS、TN 与 SS 间可能存在的相关性, 并进行显著性检验。

3) 为了解悬浮物特性及其与污染物间的关系, 收集近年水体悬浮物及其水质相关研究的成果。

3.2. 研究方法

1) 磷形态定义

将水样摇匀或沉淀 30 min 后取样, 消解后再测定为总磷; 将水样经 0.45 μm 滤膜的滤液消解后测定, 为可溶性总磷; 将水样经 0.45 μm 滤膜的滤液直接测定的, 为磷酸盐; 总磷与可溶性总磷之差, 为颗粒态磷。

2) 符号定义

$$P1 = TP_{混} - TP_{抽}, P2 = TP_{沉} - TP_{抽}, P3 = TP_{混} - TP_{沉} \quad (1)$$

$$G1 = G_{混} - G_{抽}, G2 = G_{沉} - G_{抽}, G3 = G_{混} - G_{沉} \quad (2)$$

$$PXL1 = P1/TP_{混} \times 100\%, PXL2 = P2/TP_{沉} \times 100\%, PXL3 = P3/TP_{混} \times 100\% \quad (3)$$

$$GXL1 = G1/G_{混} \times 100\%, GXL2 = G2/G_{沉} \times 100\%, GXL3 = G3/G_{混} \times 100\% \quad (4)$$

Table 1. List of water quality monitoring project determination methods

表 1. 水质监测项目测定方法一览表

参数	分析方法	检出限(mg/L)	方法来源
COD _{Mn}	高锰酸盐指数法	0.5	GB11892-1989
TN	碱性过硫酸钾分光光度法	0.05	HJ636-2012
TP	钼酸铵分光光度法	0.01	GB11893-1989
SS	重量法	10	GB11901-1989

式中：TP_混和G_混分别为摇匀后取样的总磷和COD_{Mn}；TP_沉和G_沉分别沉淀30 min后取样的总磷和COD_{Mn}；TP_抽和G_抽分别经0.45 μm滤膜抽滤后取样的可溶性总磷和COD_{Mn}。

根据以上磷形态定义，P1和P2为颗粒态磷，PXL1~PXL3为磷下降率，GXL1~GXL3为COD_{Mn}下降率。

3) 数据统计分析软件

使用Spss 14.0统计软件做水质参数特征值和相关性分析。当显著性P < 0.05说明两变量具有显著相关性，当显著性P < 0.01说明两变量具有极显著相关性，相关性大小取决于相关系数R，当R > 0时，表示两变量正相关，R < 0时，两变量为负相关。相关程度一般划分为四级：|R| > 0.95存在显著性相关；|R| ≥ 0.8高度相关；0.5 ≤ |R| < 0.8中度相关；0.3 ≤ |R| < 0.5低度相关；|R| < 0.3关系极弱，认为不相关；R = 0无线性相关。

4. 结果与讨论

4.1. 特征值分析

按汛期和非汛期，分别对5年系列的水质参数浓度和下降率进行特征值分析，分析结果见表2和表3。

Table 2. Characteristic values of water quality parameters concentration from 2012 to 2016 (unit: mg/L)

表 2. 2012~2016 年水质参数浓度特征值(单位: mg/L)

水质参数	汛期(样本 300 个)			非汛期(样本 300 个)			全年(样本 600 个)		
	变化范围	均值	标准偏差	变化范围	均值	标准偏差	变化范围	均值	标准偏差
SS	5~1095	95.1	110.2	5~765	136.6	124.1	5~1095	115.9	119.1
TN	1.45~5.62	2.41	0.55	1.44~5.48	2.82	0.65	1.44~5.62	2.61	0.64
G _混	1.8~7.7	3.7	1.0	1.6~9.8	3.9	1.4	1.6~9.8	3.8	1.2
G _沉	1.5~4.9	2.4	0.6	1.6~5.8	2.9	0.8	1.5~5.8	2.7	0.7
G _抽	1.3~3.7	2.0	0.4	1.4~3.6	2.3	0.4	1.3~3.7	2.1	0.4
G1	0.1~4.6	1.7	0.9	0~7.7	1.7	1.3	0~7.7	1.7	1.1
G2	0~1.8	0.4	0.3	0~3.1	0.6	0.6	0~3.1	0.5	0.5
G3	0~3.7	1.3	0.8	0~5.6	1.1	1.0	0~5.6	1.2	0.9
TP _混	0.090~1.51	0.203	0.130	0.110~0.76	0.253	0.114	0.090~1.51	0.228	0.125
TP _沉	0.034~0.335	0.124	0.039	0.079~0.463	0.162	0.057	0.034~0.463	0.143	0.052
TP _抽	0.005~0.124	0.061	0.020	0.005~0.135	0.075	0.017	0.005~0.135	0.068	0.020
P1	0.024~1.454	0.142	0.133	0.030~0.701	0.179	0.113	0.024~1.454	0.160	0.125
P2	0~0.268	0.063	0.040	0.008~0.404	0.087	0.057	0~0.404	0.075	0.051
P3	0~1.353	0.079	0.113	0.001~0.464	0.091	0.081	0~1.353	0.085	0.098

Table 3. Characteristic value of water quality parameter reduction rate from 2012 to 2016 (unit: %)

表 3. 2012~2016 年水质参数下降率特征值(单位: %)

下降率	汛期(样本 300 个)			非汛期(样本 300 个)			全年(样本 600 个)		
	变化范围	均值	标准偏差	变化范围	均值	标准偏差	变化范围	均值	标准偏差
GXL1	0.0~78.8	38.6	16.1	4.8~72.7	42.6	12.9	0.0~78.8	40.6	14.7
GXL2	0.0~53.6	18.7	12.9	0.0~43.6	15.9	9.8	0.0~53.6	17.3	11.5
GXL3	0.0~68.2	24.7	14.9	0.0~67.3	31.7	13.1	0.0~68.2	28.2	14.5
PXL1	23.2~97.0	66.0	13.7	21.2~98.0	63.5	17.0	21.2~98.0	64.8	15.5
PXL2	8.7~96.9	50.7	14.4	0.0~96.5	47.9	17.9	0.0~96.9	49.3	16.3
PXL3	0.7~75.1	31.6	15.7	0.0~89.5	31.0	19.8	0.0~89.5	31.3	17.8

由表 2 可见, 各水质参数浓度存在非汛期大于汛期的规律。由表 3 可见, 抽滤样与摇匀样相比, TP 平均下降率达到了 64.8%, COD_{Mn} 为 40.6%。6 个下降率指标标准差在 11.5%~17.8% 范围内变化。水体中可溶性总磷和颗粒态总磷所占比值见表 4。

对于汛期, 可溶性总磷占 TP_沉 比为 49.2%, 颗粒态磷占 TP_沉 比为 50.8%, 二者相差较小; 可溶性总磷占 TP_混 比为 30.0%, 颗粒态磷占 TP_混 比为 70.0%, 相差较大。

对于非汛期, 可溶性总磷占 TP_沉 比为 46.3%, 颗粒态磷占 TP_沉 比为 53.7%; 可溶性总磷占 TP_混 比为 29.8%, 颗粒态磷占 TP_混 比为 70.2%。

分析结果表明, 不同汛期和非汛期的比值差异较小。3 种前处理下水质参数浓度不同水期柱状示意图见图 1。

4.2. 相关性分析

本研究利用三峡子系统监测断面 5 a 实测点位资料, 分析 SS 与 COD_{Mn}、TP 和 TN 间的相关性。样本按总体、汛期非汛期、涨落潮、上下层分别进行相关系数研究。分析样本共计 600 个, 分时段和上下层时的分析样本数为 300 个。水质参数相关性分析结果见表 5 和表 6。

1) 总体分析结果

5 a 共计 600 个样本的相关性分析结果表明, 分析项目中除 TP_抽 和 G_抽 外, 均与 SS 呈极显著正相关, 相关系数 R 在 0.121~0.494 范围内变化, 属于低度相关和关系极弱范围之内。摇匀下水质参数浓度的相关系数明显大于沉淀 30 min 下水质参数浓度的相关系数, 即 $R_{TP_{混}} > R_{TP_{沉}}$ 、 $R_{P1} > R_{P2}$ 、 $R_{PXL1} > R_{PXL2}$ 。这表明 SS 含量相对高的水样中水质参数浓度与 SS 相关性更加明显一点。分析结果还表明, 抽滤下水质参数浓度与 SS 不存在相关性。

2) 按时段或分层的分析结果

Table 4. Total phosphorus composition in water (unit: %)

表 4. 水体中总磷组成汇总表(单位: %)

比值	汛期		非汛期		全年	
	可溶性总磷	颗粒态磷	可溶性总磷	颗粒态磷	可溶性总磷	颗粒态磷
TP _抽 /TP _沉	49.2	50.8	46.3	53.7	47.6	52.4
TP _抽 /TP _混	30.0	70.0	29.6	70.4	29.8	70.2

注: 颗粒态磷所占比值为 100—可溶性总磷所占比值。

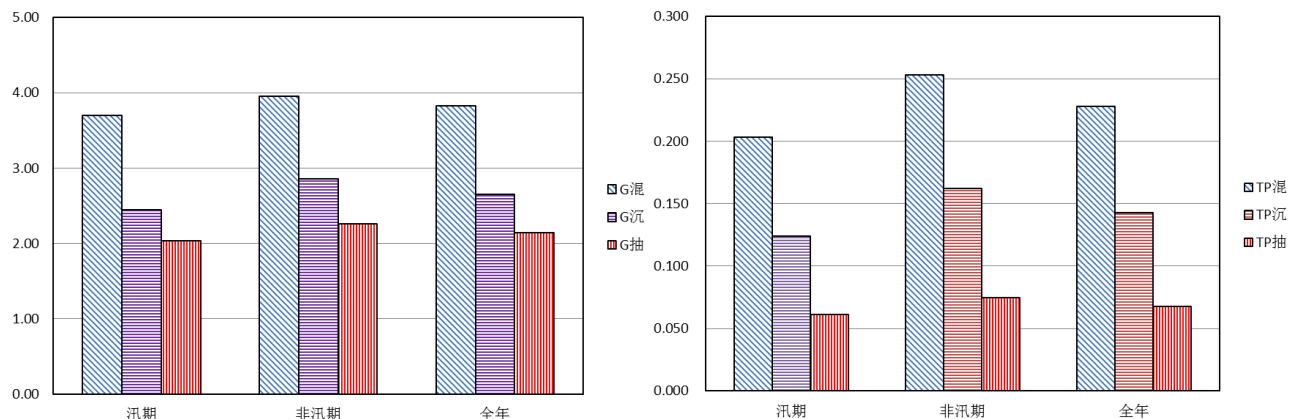


Figure 1. Schematic diagram of water quality parameter concentration under three pretreatment conditions

图 1. 3 种前处理下水质参数浓度柱状示意图

Table 5. Summary of correlation analysis results of TP and TN and SS
表 5. TP 和 TN 与 SS 相关性分析成果汇总表

项目	非汛期	汛期	落潮	涨潮	上层	下层	总体
TP _混	0.448**	0.188**	0.405**	0.293**	0.081	0.289**	0.338**
TP _沉	0.300**	0.124*	0.228**	0.323**	0.094	0.201**	0.276**
TP _抽	-0.132*	0.080	0.053	0.015	0.109	-0.023	0.035
P1	0.469**	0.174**	0.398**	0.290**	0.056	0.292**	0.333**
P2	0.338**	0.090	0.213**	0.328**	0.023	0.210**	0.270**
P3	0.421**	0.173**	0.407**	0.205**	0.054	0.260**	0.282**
PXL1	0.415**	0.139*	0.272**	0.277**	0.025	0.267**	0.276**
PXL2	0.292**	-0.030	0.062	0.209**	-0.063	0.124*	0.134**
PXL3	0.367**	0.232**	0.353**	0.233**	0.109	0.241**	0.290**
TN	-0.110	0.301**	0.217**	0.010	0.005	0.117*	0.121**

注: **指 0.01 水平(双侧)上极显著相关, *指 0.05 水平(双侧)上显著相关。

Table 6. Summary of COD_{Mn} and SS correlation analysis results
表 6. COD_{Mn} 与 SS 相关性分析成果汇总表

项目	非汛期	汛期	落潮	涨潮	上层	下层	总体
G _混	0.479**	0.389**	0.455**	0.445**	0.294**	0.380**	0.450**
G _沉	0.130*	0.203**	0.214**	0.191**	0.047	0.125*	0.201**
G _抽	-0.110	0.050	0.061	-0.034	0.024	-0.059	0.012
G1	0.540**	0.443**	0.480**	0.509**	0.350**	0.425**	0.494**
G2	0.259**	0.302**	0.260**	0.330**	0.055	0.226**	0.293**
G3	0.554**	0.378**	0.467**	0.443**	0.382**	0.391**	0.457**
GXL1	0.477**	0.394**	0.365**	0.456**	0.320**	0.347**	0.407**
GXL2	0.294**	0.219**	0.225**	0.340**	0.024	0.235**	0.278**
GXL3	0.436**	0.317**	0.331**	0.316**	0.347**	0.268**	0.325**

注: **指 0.01 水平(双侧)上显著相关, *指 0.05 水平(双侧)上显著相关。

① 从水期来看, 对于磷参数, 除 TP_抽之外, 其它的非汛期与 SS 呈极显著正相关, R 在 0.292~0.469 范围内变化; 而汛期与 TP_抽有关的项目与 SS 不存在相关性, 其它的则呈极显著正相关或显著性相关。对于 COD_{Mn}, 除 G_抽之外, 汛期和非汛期均与 SS 呈极显著正相关或显著正相关, R 在 0.130~0.554 范围内变化。对于 TN, 仅汛期与 SS 呈极显著正相关, R 为 0.301。

② 从涨落潮来看, 对于磷参数, 除 TP_抽之外, 其它的涨潮与 SS 呈极显著正相关, R 在 0.205~0.328 范围内变化; 而落潮除 TP_抽和 PXL2 与 SS 不存在相关性, 其它的均呈极显著正相关, R 在 0.213~0.407 范围内变化。对于 COD_{Mn}, 除 G_抽之外, 涨潮和落均与 SS 呈极显著正相关, R 在 0.191~0.509 范围内变化。对于 TN, 仅落潮与 SS 呈极显著正相关, R 为 0.217。

③ 从上下层来看, 对于磷参数, 各项目上层与 SS 不存在相关性, 而下层除 TP_抽之外, 其它均与 SS 呈极显著正相关或显著正相关, R 在 0.124~0.292 范围内变化; 对于 COD_{Mn}, 上层 9 个项目中有 4 个与 SS 不存在相关性, 其它均为极显著正相关, R 在 0.294~0.382 内变化; 下层除 G_抽外, 其它 8 个项目均与 SS 呈极显著正相关或显著正

相关, R 在 0.125~0.425 范围内变化。对于 TN, 上层与 SS 不存在相关, 下层与 SS 呈显著性正相关, R 为 0.117。

3) 成因分析

① 抽滤之后水样分析与 SS 间不存在相关性, 这是由于水样过滤去掉了水体中的 SS。

② 上层水样中磷参数与 SS 间均不存在相关性, 分析认为是由于上层 SS 浓度相对较低, 2012~2016 年上层 SS 浓度在 5~354 mg/L 范围内变化, 其中大于 100 mg/L 仅占 23.7%, 而下层为 50.3%。这说明长江河口上层磷参数基本不受 SS 的影响。

③ TN 仅在汛期与 SS 呈极显著正相关, 这可能意味着 TN 主要来源于流域的面源污染, 汛期大量雨水将流域内面源污染冲刷进河流。

4) 小结

各分析时段或测点上, $G_{抽}$ 、 $TP_{抽}$ 与 SS 基本不存在相关性, 其不会随 SS 的变化而变化。各分析时段或测点上, $TP_{混}$ 、 $G_{混}$ 、 $TP_{沉}$ 、 $G_{沉}$ 与 SS 多数呈极显著正相关或显著正相关, 这表明它们会随 SS 的变化而变化。TN 仅在汛期、落潮、下层和总体时段上, 与 SS 呈极显著正相关或显著正相关。上层水样中磷参数、TN、 $G_{沉}$ 均与 SS 不存在相关性。总体上水质参数与 SS 的相关系数存在 $R_{TP_{混}} > R_{TP_{沉}}$ 和 $R_{G_{混}} > R_{G_{沉}}$ 的规律。

5. 水体悬浮物及其水质相关研究

5.1. 长江口水域悬浮物相关研究

根据已有研究成果, 长江口水域悬浮物含量影响因素包括以下几点:

1) 许多实测研究证明, 最大沙含量出现在河口最大浑浊带上, 向上游和下游方向含量都低于最大浑浊带的, 而影响最大浑浊带最重要的因素是水动力作用。风也是影响沙含量高低的重要的动力要素, 风引起的波浪掀沙作用会增高水体中的沙含量。

2) 根据前人[7]研究结果, 潮周期内沙含量的大小是与潮汐状况有关的, 潮流流速大时, 底部再悬浮作用强烈, 沙含量较高。大小潮周期内大潮时沙含量高于小潮的, 沙含量具有与潮汐变化相类似的周期。不同季节中口内径流作用占优, 沙含量在夏季高而在冬季低, 在口外由于冬季叠加了风引起的波浪掀沙作用, 冬季的含量高于夏季的。

3) 对于长江口悬沙粒径, 邢超锋等人[8]开展的长江口航道沉积物特征及泥沙来源研究结果显示, 长江口北槽底层悬沙中值粒径变化范围为 5~25 μm , 且组分主要以粉砂为主。而据刘红研究, 河口上段悬沙中值粒径为 8~12 μm , 拦门沙海域为 12~24 μm , 拦门沙口外区域为 6~12 μm 。而 7.8~26.3 μm 组分对应的是粉砂组分, 结合上下游悬沙粒度、组分特性, 发现两者有直接联系, 可见 7.8~26.3 μm 组分正代表了流域来沙和海域来沙的沉积环境。

5.2. 长江上游悬浮物与水质关系研究

张筑元等学者[9]于 2006 年对长江寸滩断面水样, 就不同自然沉降时间时 SS 对测定结果的影响进行研究。研究结果见表 7。由表可见, 水样自然沉降 30 min 后, SS 含量几乎降低了二分之一; 自然沉降时间在 6 h 内, 随着自然沉降时间的延长, SS 含量迅速降低; 6 h 后, 随着自然沉降时间的延长, SS 含量缓慢降低; 对于 TN、TP、化学需氧量(COD)和 COD_{Mn} , 其测定结果随自然沉降时间的延长和 SS 含量的降低而降低。

根据 0、30 min 和抽滤下的水质浓度计算下降率, PXL1、PXL2 和 PXL3 分别为 89.2%、80.8%和 43.7%, GXL1、GXL2 和 GXL3 分别为 89.5%、83.7%和 35.7%, 以上结果均在本研究监测断面的下降率变化范围内。

6. 结论

1) 2012~2016 年间 $G_{混}$ 、 $G_{沉}$ 和 $G_{抽}$ 均值分别为 3.8 mg/L、2.7 mg/L 和 2.1 mg/L, $TP_{混}$ 、 $TP_{沉}$ 和 $TP_{抽}$ 分别为

Table 7. Summary of sedimentation time and parameter concentration at Cuntan section (unit: mg/L)
表 7. 长江寸滩断面水样沉淀时间与参数浓度汇总表(单位: mg/L)

参数	沉淀时间(min)								抽滤
	0	30	60	120	240	360	480	720	
SS	1002	412	230	185	170	38.0	42.0	42.0	
TN	1.87	1.54	1.48	1.36	1.33	1.29	1.27	1.24	0.53
TP	0.378	0.213	0.158	0.136	0.115	0.114	0.110	0.092	0.041
COD _{Mn}	19.2	12.3	9.73	8.75	6.54	5.66	5.15	4.87	2.01
COD	33.1	21.8	18.0	14.5	14.1	12.6	12.9	12.6	5.28

注: 抽滤为经 0.45 μm 滤膜过滤。

0.228 mg/L、0.143 mg/L 和 0.068 mg/L, SS 和 TN 分别为 115.9 mg/L 和 2.61 mg/L, 各参数浓度总体上为非汛期大于汛期。

2) 抽滤样与摇匀样相比, 下降率为最大。其中 TP 下降率平均达到 64.8%, COD_{Mn} 为 40.6%。6 个下降率指标标准差在 11.5%~17.8% 范围内变化。

3) 全年可溶性总磷占 TP_沉 比为 47.6%, 而颗粒态磷为 52.4%; 可溶性总磷占 TP_混 比为 29.8%, 而颗粒态磷为 70.2%; 汛期和非汛期前者比值相差在 3% 左右, 后者相差仅为 0.4%。

4) 各分析时段或测点的 G_抽 和 TP_抽 与 SS 基本不存在相关性, 而 TP_混、G_混、TP_沉、G_沉 与 SS 多数呈极显著正相关或显著正相关, R 在 0.12~0.47 范围内变化, 表现为低度相关或关系极弱。

5) TN 仅在汛期和落潮与 SS 呈极显著正相关, R 分别为 0.301 和 0.217; 而上层 TN 与 SS 不存在相关性, 下层则为显著正相关; 总体上, TN 与 SS 存在极显著性正相关, R 为 0.121。

6) 总体上水质参数与 SS 的相关系数存在 $R_{TP_{混}} > R_{TP_{沉}}$ 和 $R_{G_{混}} > R_{G_{沉}}$ 的规律。

参考文献

- [1] HAAKANSON, L., ECKHÉLL, J. Suspended particulate matter (SPM) in the Baltic Sea—New empirical data and models. *Ecological Modeling*, 2005, 189(1/2): 130-150.
- [2] 王华, 吴佳, 冯文波, 等. 滇池及流域环境中磷与悬浮物的相关性分析[J]. *环境科学与技术*, 2015, 38(5): 84-88.
WANG Hua, WU Jia, FENG Wenbo, et al. Correlation of phosphorus and suspended solids in environmental water of Dianchi lake watershed. *Environmental Science & Technology*, 2015, 38(5): 84-88. (in Chinese)
- [3] 牟学军, 王福军, 肖瑶. 松花江佳木斯江段地面水中高锰酸盐指数与悬浮物的相关性探讨[J]. *黑龙江环境通报*, 2001, 25(2): 94-96.
MOU Xuejun, WANG Fujun, and XIAO Yao. The correlation between high permanganate index and suspended matter in the ground water of Jiamusi section in Songhua River. *Heilongjiang Environmental Journal*, 2001, 25(2): 94-96. (in Chinese)
- [4] 娄保锋, 朱圣清. GB3838-2002 实施前后水质参数的可比性研究[J]. *人民长江*, 2008, 39(23): 127-129.
LOU Baofeng, ZHU Shengqing. GB3838-2002 water quality parameters before and after the comparability study. *The People of the Yangtze River*, 2008, 39(23): 127-129. (in Chinese)
- [5] 娄保锋, 陈永柏, 翁立达, 等. 水样不同处理方式对高锰酸盐指数测定值的影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(1): 143-143.
LOU Baofeng, CHENG Yongbai, WENG Lida, et al. The influence of different treatment methods of water samples on the determination of permanganate index. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(1): 143-147. (in Chinese)
- [6] 邵和宾, 范德江, 麦晓磊, 等. 长江口典型断面悬浮体颗粒类型与粒级构成及其影响因素[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(3): 47-56.
SHAO Hebin, FAN Dejiang, MAI Xiaolei, et al. Types and size of suspended particles in a typical cross section at the Changjiang estuary and influence factors. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(3): 47-56. (in Chinese)
- [7] 李婧, 高抒, 汪亚平. 长江口水域悬沙含量时空变化卫星遥感定量研究方法探讨[J]. *海洋学报*, 2009, 31(4): 167-175.

- LI Jing, GAO Shu, and WANG Yaping. Satellite remote sensing and quantitative research methods of temporal and spatial variation of suspended sediment in Yangtze estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(4): 167-175. (in Chinese)
- [8] 邢超锋, 何青, 邓智瑞, 等. 长江口航道柱样沉积物特征及泥沙来源[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2015, 35(5): 9-17.
XING Chaofeng, HE Qing, DENG Zhirui, et al. The Yangtze estuary waterway column sample characteristic of sediment and sediment source. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2015, 35(5): 9 -17. (in Chinese)
- [9] 张筑元, 李晓, 叶翠, 等. 悬浮物对三峡水库水质测定结果的影响[J]. *中国环境监测*, 2006, 22(5): 52-54.
ZHANG Zhuyuan, LI Xiao, YE Cui, et al. The influence of suspended solids on the testing results of the three gorges reservoir water quality. *Journal of Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(5): 52-54. (in Chinese)