

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.04.005

## 淮河中游泥沙对磷吸附/解吸规律

肖洋<sup>1,2,3</sup>, 余维维<sup>1,2</sup>, 成浩科<sup>1,2</sup>, 李金书<sup>2</sup>, 唐洪武<sup>1,2,3</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098;

3. 水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 选取淮河中游泥沙, 通过室内静态试验, 研究泥沙对磷的吸附/解吸动力学和平衡过程。吸附/解吸动力学试验结果表明: 泥沙对磷的吸附/解吸动力学过程均可分为快、慢2个阶段, 快速反应阶段均发生在前1.5 h, 但吸附速率远大于解吸速率, 约为解吸速率的16倍。吸附/解吸平衡试验结果表明: 泥沙对磷的固相平衡吸附量随液相磷质量浓度的增大而增大, 在低浓度区其增速较快, 当液相磷浓度进一步增大时其增速逐渐变缓; 泥沙对磷的固相平衡解吸量随固相平衡吸附量的增加而增大; 单位质量泥沙对磷的平衡解吸量约为平衡吸附量的16%~40%, 被吸附的磷不能完全解吸, 吸附过程与解吸过程并非可逆过程。泥沙对磷的截留能力与单位质量泥沙固相平衡吸附量呈线性正相关, 淮河中游泥沙对磷的截留率达到0.847。

**关键词:** 淮河泥沙; 吸附; 解吸; 磷; 吸附速率; 解吸速率; 磷截留率

中图分类号: TV149.1; X522

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2015)04-0307-06

## Phosphorus adsorption and desorption behavior of sediments in midstream of Huaihe River

XIAO Yang<sup>1,2,3</sup>, YU Weiwei<sup>1,2</sup>, CHENG Haoke<sup>1,2</sup>, LI Jinshu<sup>2</sup>, TANG Hongwu<sup>1,2,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Indoor static experiments were conducted to investigate the kinetics and equilibrium processes of phosphorus (P) adsorption and desorption by sediments collected from the midstream of the Huaihe River. The results of the kinetics experiments showed that the kinetics process of the P adsorption and desorption could be divided into a fast stage and a slow stage, and that the fast stage occurred in the first 1.5 hours, while the adsorption rate was about 16 times of the desorption rate. The results of the equilibrium experiments showed that the amount of the solid phase equilibrium absorption of P by sediments increased with the liquid phase P concentration, and the increasing speed was faster when the liquid phase P concentration was low, but gradually slowed when the liquid phase P concentration further increased. The amount of the solid phase equilibrium desorption of P by sediments increased with the increase of the amount of the solid phase equilibrium absorption of P. The amount of equilibrium adsorption and desorption of P by sediments per unit mass was 16% to 40% of the amount of equilibrium adsorption of P. The adsorbed P could not be completely desorbed, which indicated that the adsorption process and the desorption process were not reversible. There was a linear positive correlation between the P

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 国家自然科学基金(51179055, 51239003); 江苏高校优势学科建设工程项目(SYS1401)

作者简介: 肖洋(1974—), 男, 贵州铜仁人, 教授, 博士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: sediment\_lab@hhu.edu.cn

retention capacity by sediments and the amount of solid phase equilibrium adsorption of P by sediments per unit mass, and the retention rate of P by sediments was 0.847 in the midstream of the Huaihe River.

**Key words:** sediments in Huaihe River; adsorption; desorption; phosphorus; adsorption rate; desorption rate; phosphorus retention rate

磷是水体富营养化的重要限制因素之一,在水体中主要以颗粒态和溶解态2种形式存在。研究<sup>[1-2]</sup>表明,河流中80%~90%以上的磷通过吸附作用以颗粒态的形式富集在泥沙颗粒上,当水动力条件发生变化时,颗粒态的磷解吸并重新释放进入上覆水中,造成水体的二次污染。因此,泥沙对磷的吸附/解吸行为决定了磷在水体中的迁移转化过程。

影响泥沙对磷吸附/解吸特性的因素很多,如pH、化学组分、粒径、温度、水动力条件等<sup>[3-7]</sup>,研究方法有的侧重吸附试验,有的侧重解吸试验,将吸附和解吸过程作为一个整体来研究的还不多见。譬如:杨程<sup>[8]</sup>通过泥沙对磷的吸附/解吸动力学试验和等温平衡试验,分析了不同pH和泥沙质量浓度分别对三峡库区悬沙吸附过程和解吸过程的影响;王晓青等<sup>[9]</sup>通过吸附/解吸动力学试验,研究了三峡库区泥沙对磷的吸附/解吸特性,发现细颗粒泥沙吸附磷酸盐的速率明显快于解吸速率;黄岁樑等<sup>[10]</sup>指出泥沙吸附/解吸重金属污染物的过程仅部分可逆;许晓伟等<sup>[11]</sup>通过等温平衡试验研究了泥沙对砷的吸附/解吸特性,发现有机污染物被吸附到颗粒物表面后可与颗粒物中的某些组分发生键合作用,在解吸时不能完全释放出来,使解吸存在一定的滞后性,进一步证明泥沙对污染物的吸附/解吸过程并非可逆过程;针对泥沙的解吸滞后现象,Wang等<sup>[12]</sup>通过泥沙对磷的吸附/解吸等温平衡试验,研究了泥沙截留污染物的能力,发现河口、湖泊、河流等区域泥沙对磷的截留率达到85%~98%。上述研究从不同角度对比了泥沙吸附与解吸过程之间的差异,然而,综合泥沙吸附/解吸动力学和等温平衡试验来对比泥沙对磷吸附/解吸过程差异的相关研究还较少,所揭示的吸附/解吸规律尚不完善。

笔者以淮河中游蚌埠段泥沙为研究对象,通过吸附/解吸动力学试验和等温平衡试验,研究泥沙对磷的吸附/解吸特性,比较吸附与解吸过程之间的差异,分析泥沙对磷的截留能力,希望为进一步研究泥沙与磷的相互作用机理奠定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

泥沙样品取自淮河蚌埠段吴家渡水文站附近,采用小型箱式分层底泥采样器采集后剔除杂物,用去离子水清洗后于背阴通风处风干,碾压、研磨,混匀后过100目筛,于棕色玻璃瓶4℃保存。

水样取自沙样采集点垂线正上方,经0.45 μm滤膜过滤,用钼锑抗分光光度法<sup>[13]</sup>测定水样中的可溶性正磷酸盐质量浓度 $C_{\text{sp}}$ 。

### 1.2 试验方案

根据淮河流域水资源保护局2001—2010年的水质资料统计,淮河的月平均水温约为17.8℃,平均pH约为7.4。为模拟天然情况,将恒温振荡箱的温度设定为18℃,振荡频率设为150 r/min, pH设为7.0±0.5。同时,试验溶液中均加入2滴0.1%的氯仿以抑制微生物活动。解吸试验中,为使已吸附的活性磷最大程度地解吸,了解泥沙对磷的截留能力,在吸附饱和沙中加入中性盐溶液,以氯离子取代泥沙表面吸附的磷酸根离子<sup>[12]</sup>。

#### 1.2.1 吸附/解吸动力学试验

吸附动力学试验:在质量浓度为1 mg/L、体积为200 mL的 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液中加入1.5 g沙样恒温振荡,分别于0 h、0.17 h、0.25 h、0.5 h、1.0 h、1.5 h、3 h、6 h、9 h、12 h、24 h、32 h、48 h取样,经0.45 μm滤膜过滤测定溶液中磷的质量浓度。

解吸动力学试验:在若干离心管中加入0.5 g沙样,加入初始质量浓度为1 mg/L的 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液40 mL,恒温振荡24 h后离心分离出上清液,加入0.02 mol/L的KCl溶液40 mL,恒温振荡,取样时刻分别为0 h、0.08 h、0.17 h、0.5 h、1.0 h、1.5 h、3 h、6 h、9 h、16 h、24 h,过滤后测定溶液中磷的质量浓度。

#### 1.2.2 等温平衡吸附/解吸试验

等温平衡吸附试验:在若干100 mL离心管中加入0.5 g沙样和40 mL不同初始质量浓度的 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液

(初始质量浓度分别为 0 mg/L、0.5 mg/L、1.0 mg/L、2.0 mg/L、5.0 mg/L、8.0 mg/L、10.0 mg/L、15.0 mg/L、20.0 mg/L),于恒温振荡箱中振荡 24 h,待吸附平衡后取样离心过滤,测定溶液中磷的质量浓度。

等温平衡解吸试验:采用等温平衡吸附试验中达到吸附平衡的样品,等温平衡吸附试验结束后,分离上清液,加入 0.02 mol/L 的 KCl 溶液 40 mL,恒温振荡 24 h 后离心过滤,测定溶液中磷的质量浓度。

### 1.3 分析方法

泥沙样品级配分析采用马尔文激光粒度仪,比表面积、孔隙特性采用 JW-BK 型静态容量法氮吸附仪进行分析。泥沙颗粒的 Fe、Mn、Al、Ca 元素含量通过微波消解<sup>[14]</sup>,采用电感耦合等离子光谱仪测定。颗粒表面总磷含量经 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消解法<sup>[15]</sup>消解后利用钼锑抗分光光度法进行测定。

## 2 结果分析

### 2.1 泥沙物理化学特性

淮河中游泥沙 93% 以上为粉沙,中值粒径  $D_{50}$  为 14.728  $\mu\text{m}$ ,不均匀系数  $S_0$  值为 1.04,均匀程度较好。平均孔径为 6.177 nm,属中孔材料。与中国水系沉积物的化学元素平均含量相比较,淮河中游泥沙中 Mn 和 TP 质量比分别为 502.2 mg/kg 和 404.6 mg/kg (略低于平均值),Fe、Al 和 Ca 的质量比分别为 25 552.3 mg/kg、1 825.2 mg/kg、6 872.7 mg/kg (高于平均值)。

### 2.2 泥沙吸附/解吸动力学过程

初始磷质量浓度为 1 mg/L 时,泥沙对磷的吸附/解吸动力学过程见图 1。由图 1 可知,泥沙对磷的吸附动力学过程分为快吸附和慢吸附 2 个阶段:快吸附阶段发生在前 1.5 h,吸附量达 24 h 吸附量的 90%,快吸附速率为 0.0752 mg/(g·h);慢吸附阶段的平均吸附速率仅为 0.00173 mg/(g·h),泥沙对磷的 24 h 吸附量为 0.0415 mg/g。与吸附动力学过程相似,泥沙对磷的解吸过程也可分为快解吸和慢解吸 2 个阶段,快解吸阶段发生在解吸的前 1.5 h,解吸量达 24 h 解吸量的 80%,快解吸速率为 0.00477 mg/(g·h) 吸附饱和沙的最大解吸量为 0.0129 mg/g。对比泥沙吸附与解吸动力学过程,发现在快吸附/解吸阶段,泥沙对磷的吸附速率约为解吸速率的 16 倍,24 h 吸附量约为 24 h 解吸量的 3.2 倍,表明泥沙对磷的吸附过程快于解吸过程,吸附在泥沙上的磷在解吸过程中不能完全解吸,泥沙对磷的吸附/解吸过程不是可逆的过程。采用 Elovich 方程和准二级动力学方程对泥沙对磷的吸附/解吸动力学过程进行拟合,拟合参数见表 1。由表 1 和图 1 可知,准二级反应模型对泥沙吸附动力学过程的拟合优于 Elovich 模型,而 Elovich 模型对解吸动力学过程的拟合优于准二级反应模型。

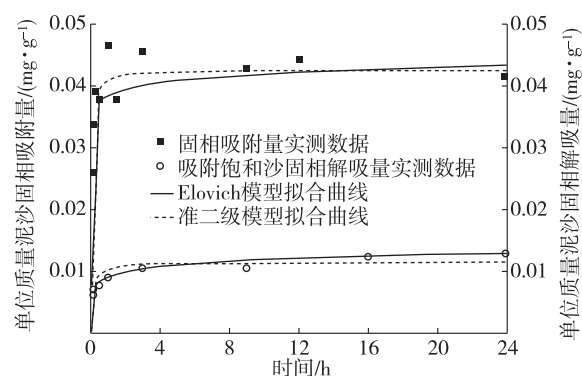


图 1 泥沙吸附/解吸动力学过程

Fig.1 Kinetics process of P adsorption and desorption by sediments

表 1 泥沙吸附/解吸动力学过程模型拟合参数

Table 1 Fitting parameters of kinetics process model of adsorption and desorption by sediments

| 试验工况          | Elovich 模型                                                   |                                                        |       | 准二级反应模型                             |                                                         |       |
|---------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
|               | $\alpha/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ | $\beta/(\text{g} \cdot \text{h} \cdot \text{mg}^{-1})$ | $R^2$ | $Q/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ | $k/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ | $R^2$ |
| 吸附动力学过程       | $1.31 \times 10^8$                                           | 656.7278                                               | 0.85  | 0.04238                             | 633.7166                                                | 0.89  |
| 吸附饱和和沙解吸动力学过程 | 2.81878                                                      | 844.3009                                               | 0.79  | 0.01157                             | 756.7275                                                | 0.66  |

注: $\alpha$ 表示泥沙对磷的初始吸附速率, $\beta$ 表示与表面覆盖度和活化能有关的常数, $Q$ 表示单位质量泥沙对磷的固相平衡吸附量, $k$ 表示准二级吸附反应速率常数。

### 2.3 等温平衡吸附/解吸过程

等温平衡吸附试验中,泥沙磷含量包括 2 部分:(a)原样沙本身的磷含量,用  $P_{\text{nap}}$  表示,反映泥沙的受污染程度;(b)泥沙从溶液中吸附的磷。为消除泥沙本身的磷含量对试验结果的影响,采用改进的 Langmuir 型等温吸附模型描述泥沙对磷的等温平衡吸附过程,改进的 Langmuir 等温吸附模型参数见文献[7]。在改进

的 Langmuir 等温吸附模型参数中,  $Q_{\max}$  为泥沙对磷的最大吸附量(用来反映泥沙吸附磷的容量因子),  $C_{\text{epc}0}$  为固相吸附量为零时的磷质量浓度, 该浓度下泥沙对磷的吸附、解吸作用处于动态平衡状态<sup>[16]</sup>。

采用改进的 Langmuir 等温吸附模型拟合的等温平衡吸附过程见图 2。由图 2 可以看出, 单位质量泥沙的固相平衡吸附量 ( $Q_e$ ) 随吸附平衡时液相磷质量浓度的增大而增大, 在低浓度区 (2 mg/L 以下) 增速较快, 当液相磷质量浓度进一步增大, 增速逐渐变缓, 这是因为随着液相磷质量浓度的增大, 泥沙表面的剩余吸附位减少, 对磷的吸附速率减小。改进的 Langmuir 等温吸附模型拟合得出淮河泥沙  $P_{\text{nap}}$  为 0.012 mg/g,  $Q_{\max}$  为 0.404 mg/g,  $C_{\text{epc}0}$  为 0.294 mg/L。由  $C_{\text{epc}0}$  的含义可知, 当  $C_{\text{epc}0}$  高于水体中的溶解性活性磷浓度  $C_{\text{stp}}$  时, 泥沙颗粒将向水体中释放磷, 当  $C_{\text{epc}0}$  低于  $C_{\text{stp}}$  时, 泥沙颗粒会从水体中吸附磷。根据实测水样分析, 淮河蚌埠段水体中的  $C_{\text{stp}}$  为 0.024~0.057 mg/L, 远低于泥沙的  $C_{\text{epc}0}$ , 故当水动力条件发生变化时, 该区域的泥沙可作为磷的“源”, 向上覆水中释放磷, 造成水体二次污染。

泥沙对磷的解吸平衡过程可采用二参数指数模型和三参数指数模型<sup>[12]</sup>进行模拟。二参数指数模型表达式(式(1))、三参数指数模型表达式(式(2))如下:

$$Q_{\text{des}} = ae^{bQ_e} \quad (1)$$

$$Q_{\text{des}} = P_{\text{nap}} + ae^{bQ_e} \quad (2)$$

式中:  $Q_{\text{des}}$ ——单位质量泥沙固相平衡解吸量, mg/g;  $a$ ——表征泥沙解吸电位的常数, mg/g;  $b$ ——表征泥沙解吸速率的常数, g/mg。

吸附饱和泥沙在 KCl 溶液中的等温平衡解吸过程见图 3。由图 3 可以看出, 泥沙对磷的解吸量随着固相平衡吸附量的增加呈近似线性增长。采用二参数指数模型和三参数指数模型对试验数据进行拟合, 结果表明, 等温平衡解吸过程中, 二参数指数模型的  $a = 0.0133$  mg/g,  $b = 4.152$  g/mg,  $R^2 = 0.85$ ; 三参数指数模型的  $a = 26.3322$  mg/g,  $b = 0.0058$  g/mg,  $P_{\text{nap}} = -26.3278$  mg/g,  $R^2 = 0.95$ 。以上结果表明三参数指数模型对泥沙的解吸平衡过程拟合效果优于二参数指数模型。需要指出的是, 被  $\text{Cl}^-$  取代解吸出的磷主要以可交换态被吸附在泥沙的矿物组分或金属氧化物表面, 通常认为这部分磷活性很强, 对上覆水体的水质有较大影响<sup>[12]</sup>。

比较图 2、图 3 可知, 单位质量泥沙对磷的平衡解吸量约为平衡吸附量的 16%~40%, 被吸附的磷不能完全解吸, 表明泥沙对磷的吸附和解吸过程不是可逆过程, 被泥沙吸附的污染物在外界条件发生变化时不能完全解吸, 泥沙解吸存在滞后性。

定义泥沙对磷的截留能力 ( $Q_{\text{ret}}$ ) 为泥沙平衡吸附量和解吸量的差值, 即不可逆吸附磷含量。Wang 等<sup>[12]</sup>通过对不同来源的泥沙吸附/解吸特性调查研究, 发现  $Q_{\text{ret}}$  与泥沙的平衡吸附量之间存在线性相关关系:

$$Q_{\text{ret}} = K_r Q_e + d \quad (3)$$

式中:  $K_r$ ——泥沙对磷截留率常数 ( $K_r \leq 1$ );  $d$ ——截距, mg/g。

如图 4,  $Q_{\text{ret}}$  与  $Q_e$  有良好的线性关系 ( $R^2 = 0.998$ ),  $K_r$  为 0.847。对比淮河泥沙和 Wang 等<sup>[12]</sup>所研究的河口、海洋、河流、湿地、沟渠及湖泊沉积物对磷的截留率, 淮河泥沙对磷的截留率与 Wang 等<sup>[12]</sup>所测佛罗里达州奥基乔比湖泥沙的截留率 (0.845) 相近, 低于佛罗里达州圣约翰河泥沙的截留率 (0.892), 这可能是因为淮河水体中磷浓度较高, 泥沙表面剩余吸附位相对较少, 淮河泥沙对再吸附磷的截留能力低于圣约翰河泥沙

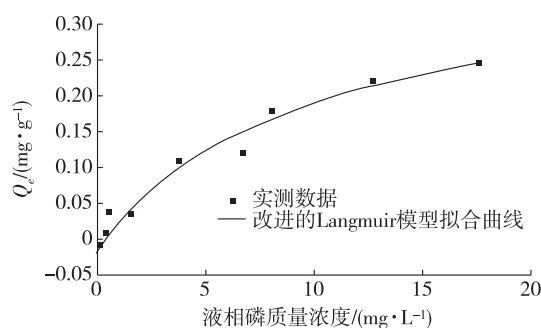


图2 泥沙等温平衡吸附过程

Fig. 2 Isothermal equilibrium adsorption process of sediments

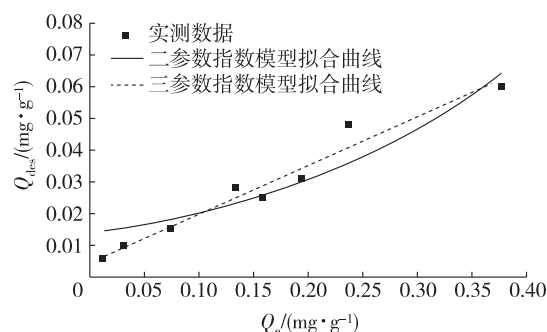


图3 泥沙等温平衡解吸试验数据拟合

Fig. 3 Data fitting of isothermal equilibrium desorption experiment

的截留能力。

### 3 结 论

a. 泥沙对磷的吸附/解吸动力学过程均可分为快、慢2个阶段,快速反应阶段均发生在前1.5 h,吸附量达24 h吸附量的90%,解吸量达24 h解吸量的80%,快速反应阶段的吸附速率远大于解吸速率,约为解吸速率的16倍,24 h吸附量约为24 h解吸量的3.2倍。吸附在泥沙上的磷在解吸过程中不能完全解吸,泥沙对磷的吸附/解吸过程不是可逆的过程。

b. 等温平衡吸附试验中,泥沙对磷的固相平衡吸附量随吸附平衡时液相磷质量浓度的增大而增大,在低浓度区(2 mg/L 以下)增速较快,当液相磷质量浓度进一步增大,增速逐渐变缓。淮河蚌埠段水体中的溶解性活性磷质量浓度为0.024~0.057 mg/L,远低于泥沙的零平衡磷质量浓度 $C_{\text{epc0}}$ ,该区域的泥沙可作为磷的“源”,向上覆水中释放磷,造成水体二次污染。泥沙对磷的固相平衡解吸量随着固相平衡吸附量的增加而增大。单位质量泥沙对磷的平衡解吸量约为平衡吸附量的16%~40%,被吸附的磷不能完全解吸,解吸具有滞后性。

c. 泥沙对磷的截留能力与单位质量泥沙固相平衡吸附量之间存在显著的线性正相关关系,淮河中游泥沙对磷的截留率为0.847,低于佛罗里达州圣约翰河泥沙对磷的截留率(0.892),淮河泥沙受磷污染较重,对再吸附磷的截留能力降低。

### 参考文献:

- [1] 洪一平,叶闽,臧小平. 三峡水库水体中氮磷影响研究[J]. 中国水利, 2004(20): 23-24. (HONG Yiping, YE Min, ZANG Xiaoping. Research on the effects of nitrogen and phosphorus in Three Gorges Reservoir[J]. China Water Resources, 2004 (20): 23-24. (in Chinese))
- [2] 段水旺,章申,陈喜保,等. 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计[J]. 环境科学, 2000, 21(1): 53-56. (DUAN Shuiwang, ZHANG Shen, CHEN Xibao, et al. Concentrations of nitrogen and phosphorus and nutrient transport to estuary of the Yangtze River[J]. Environmental Science, 2000, 21(1): 53-56. (in Chinese))
- [3] XIAO Yang, ZHU Xiaolian, CHENG Haoke, et al. Characteristics of phosphorus adsorption by sediment mineral matrices with different particle sizes[J]. Water Science and Engineering, 2013, 6(3): 262-271.
- [4] LIKANEN A, MURTONIEMI T, TANSKANEN H, et al. Effects of temperature and oxygen availability on greenhouse gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake[J]. Biogeochemistry, 2002, 59(3): 269-286.
- [5] 肖洋,陆奇,成浩科,等. 泥沙表面特性及其对磷吸附的影响[J]. 泥沙研究, 2012(6): 64-68. (XIAO Yang, LU Qi, CHENG Haoke, et al. Surface properties of sediments and its effect on phosphorus adsorption[J]. Journal of Sediment Research, 2012(6): 64-68. (in Chinese))
- [6] 禹雪中,钟德钰,李锦秀,等. 水环境中泥沙作用研究进展及分析[J]. 泥沙研究, 2004(6): 75-80. (YU Xuezhong, ZHONG Deyu, LI Jinxiu, et al. Review of studies on sediment in water environment[J]. Journal of Sediment Research, 2004 (6): 75-80. (in Chinese))
- [7] ZHOU Aimin, TANG Hongxiao, WANG Dongsheng. Phosphorus adsorption on natural sediments: modeling and effects of pH and sediment composition[J]. Water Research, 2005, 39(7): 1245-1254.
- [8] 杨程. 三峡库区悬浮态泥沙吸附解吸磷酸盐影响因素研究[D]. 重庆:重庆大学, 2007.
- [9] 王晓青,李哲,吕平毓,等. 三峡库区悬移质泥沙对磷污染物的吸附解吸特性[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 31-36. (WANG Xiaqing, LI Zhe, LYU Pingyu, et al. Adsorption and desorption of phosphorus on suspended particles in the Three Gorges area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(1): 31-36. (in Chinese))
- [10] 黄岁樑,万兆惠,王兰香. 不同粒径泥沙解吸重金属污染物静态试验研究[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 1995, 10(2): 204-213. (HUANG Suiliang, WAN Zhaohui, WANG Lanxiang. Experimental research on heavy metal desorption for sediment with different grain size[J]. Journal of Hydrodynamics: Ser A, 1995, 10(2): 204-213. (in Chinese))
- [11] 许晓伟,黄岁樑. 海河沉积物对砷的吸附解吸行为研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(1): 114-122. (XU Xiaowei, HUANG

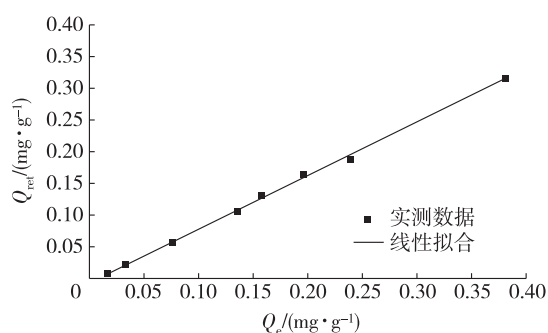


图4  $Q_d$ 与 $Q_e$ 的相关关系

Fig. 4 Correlation between  $Q_d$  and  $Q_e$

- Suiliang. Adsorption-desorption behaviors of phenanthrene on sediments from the Haihe River[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(1): 114-122. (in Chinese))
- [12] WANG Qingren, LI Yuncong. Phosphorus adsorption and desorption behavior on sediments of different origins[J]. Journal of Soils and Sediments, 2010, 10(6): 1159-1173.
- [13] GB/T 11893—1989 水质总磷的测定——钼酸铵分光光度法[S].
- [14] 刘敬勇,孙水裕. 微波消解-火焰原子吸收法测定广州市污水污泥中重金属的活性形态[J]. 环境化学, 2011, 30(4): 880-884. (LIU Jingyong, SUN Shuiyu. Determination of heavy metal species in the municipal sewage sludge of Guangzhou by microwave digestion flame atomic adsorption spectrometry (FASS) [J]. Environmental Chemistry, 2011, 30(4): 880-884. (in Chinese))
- [15] 司皖甦,王芹. 两种消解方法测定湖泊沉积物中总磷的比较[J]. 仪器仪表与分析监测, 2008(1): 39-40. (SI Wansu, WANG Qin. Comparison of monitoring total phosphorus in lake sediments by two digestion methods[J]. Instrumentation Analysis Monitoring, 2008(1): 39-40. (in Chinese))
- [16] TAYLOR A W, KUNISHI H M. Phosphate equilibria on stream sediment and soil in a watershed draining an agricultural region [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1971, 19(5): 827-831.

· 简讯 ·

## 《江河之子》正式出版

20 多年来,刘国纬先生在《水科学进展》“水科学家”栏目中写下了 40 位已故水科学家的小传,如今终于整理成册,取名《江河之子》,并于 2014 年 12 月由科学出版社出版。《江河之子》承载了对已故科学家的怀念,记录了这些科学家们的生平趣事、治学风范以及他们为水科学事业做出的重要贡献。同时,这是一部以人物为载体的史书,她记载了 20 世纪中华水科学发展的历程,记录了一个个在中华水科学史上具有划时代意义的重要人物和重要决定。滚滚长江东逝水,浪花淘尽英雄,20 世纪的大禹传人一个个离开了,21 世纪的大禹传人在崛起,《江河之子》的出版是一种传承,传承前赴后继的科学事业,传承治水人的精神和理念。江河万古奔流,大禹传人辈出,“江河之子”必将接力相传,续写治水人的壮丽篇章。

(本刊编辑部供稿)

