

西五里湖疏浚底泥资源化处理的二次污染问题研究

李 磊¹,朱 伟²,赵 建²,陈 刚²

(1.河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098;2.河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 针对疏浚底泥常规处理方法的不足,采用固化处理方式对西五里湖重污染水体疏浚底泥进行处理.结合室内试验和数值模拟方法对疏浚泥直接堆放和经固化处理两种情况下的二次污染问题进行了对比分析.研究表明,固化处理可以减缓疏浚泥中污染物的溶出速率,对周围环境的二次污染远远小于未经处理的疏浚泥,但是要注意选择二次污染小的固化材料.渗透系数是控制疏浚泥二次污染的重要因素,降低渗透系数可以减少疏浚泥的二次污染.

关键词 疏浚泥 固化处理 二次污染 渗透系数
中图分类号 X705 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2005)02-0127-04

港口建设、航道整治以及湖泊治理过程中都会产生大量的疏浚泥.在发达国家大多将疏浚泥转化为土工、建筑材料进行再生利用,不但减少了废弃淤泥对环境的影响,而且产生了新的土工材料资源,是个一举两得的好方法^[1].但是疏浚泥产生地一般多为污染严重的海区、河道或湖泊,固化处理后的疏浚泥是否会对环境造成二次污染是固化技术推广中的关键性问题.

疏浚泥中的污染物进入周围环境是一个长期的过程,但是目前关于疏浚泥堆放对周围环境造成二次污染问题的研究大多仅局限于室内的短期淋滤、溶出、浸泡或者离心分离试验等^[2,3].疏浚泥固化处理后室内试验测得的渗透系数数量级为 $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$.对这种固化处理后的低渗透性物质采用数值模拟方法可以缩短研究周期,以了解不同外部条件下疏浚泥中的污染物对周围环境的污染程度.

对西五里湖底泥通过固化技术进行再生资源化处理,处理后的疏浚泥 7 d 单轴抗压强度可以达到 150 kPa,能够满足作为工程材料的需要^[4].本文针对西五里湖重污染水体疏浚底泥处理中存在的二次污染问题,结合室内溶出试验和数值模拟结果,对疏浚泥不经处理和经过固化处理两种方式下的二次污染问题进行对比研究,明确了固化处理措施对减少疏浚泥二次污染的重要作用.

1 西五里湖疏浚底泥二次污染问题的试验及结果分析

为了对比研究疏浚泥直接堆放和资源化处理后污染物向水体释放的规律,采用溶出试验方法,分别将未经处理的疏浚泥和固化处理后的疏浚泥浸泡在水中,间隔一段时间取水样,监测其中代表性污染物的溶出量,通过对比,以反映固化处理对污染物溶出的减缓作用.

西五里湖为重度富营养化水体,底泥中的主要污染物质为有机质、P 和 N,本文试验所采用的测定方法和测定值见表 1.试验中取疏浚泥原泥样和固化样各 330 g,两份试样中均加入 670 mL 的自来水,置于 1 000 mL 的烧杯中.为了减少蒸发,将烧杯置于封闭罩内,定期分析水样中的 TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$,分析方法为钼酸盐比色法和纳氏比色法.自来水中 TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的初始值分别为 0 mg/L 和 0.149 6 mg/L.浸泡试样水体中 TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化曲线如图 1 所示.

表 1 西五里湖底泥代表性污染物
测定方法及测定值

Table 1 Methods for measuring the representative pollutants in sediment of west Wulihu Lake		
代表性污染物	测定方法	质量分数
有机质	无水酒精燃烧法	0.048 9
TP	高氯酸-硫酸消化法	1.933×10^{-4}
TN	重铬酸钾-硫酸消化法	2.53×10^{-4}

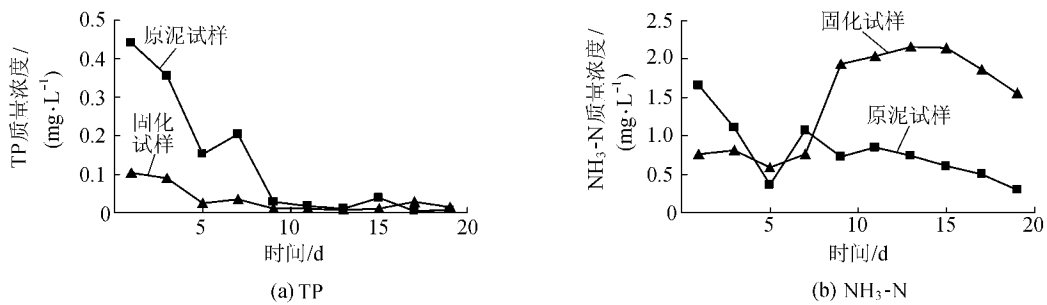


图 1 原泥和固化处理后 TP 和 NH₃-N 溶出对比试验

Fig.1 Comparison of TP and NH₃-N leaching from raw sediment and solidified sample

从图 1 中可以看出：

a. TP 向水中的释放量固化试样小于原泥样,表明固化处理可以有效减缓污染物向水体的释放.

b. 为了对比研究水体扰动条件下两种试样向水体中释放污染物的规律,在测第 4 个数据前将水样进行扰动.从图中可以看出,两种试样水体中的 TP 及 NH₃-N 质量浓度均有上升,但是固化样向水中的 TP 释放量小于原泥的释放样,表明固化处理可以有效控制扰动水条件下污染物向水中的释放.

c. 固化样中 NH₃-N 的释放-吸附规律与 TP 的释放-吸附规律不同,高于不经固化处理的原泥浸泡液中 NH₃-N 的质量浓度.造成这种现象的原因是添加的固化材料中含有硝酸盐类物质,导致水体中 NH₃-N 质量浓度增加,但其最终趋于吸附,表明在选择固化材料时要注意选择二次污染小的.

2 西五里湖疏浚底泥二次污染问题的数值模拟

通过室内溶出试验仅能半定量描述未经处理和经固化处理后的疏浚泥污染物的溶出规律.为了全面了解疏浚泥的二次污染状况,需要结合数值分析手段模拟污染物的长期运移规律.

2.1 数值分析的基本理论

为了简化分析过程,假定污染物为惰性物质,不发生吸附和化学反应.二维流场中污染物的对流扩散方程可以表示为

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D_{xx} \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + D_{yy} \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} - v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} - v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \tag{1}$$

式中： ρ ——污染物质的质量浓度； D_{xx}, D_{yy} ——纵、横向弥散系数； v_x, v_y —— x, y 方向的流速. 式(1)结合水流方程和一定的边界条件,是污染物在地下水中的迁移扩散方程.

2.2 数值模拟参数确定方法和边界条件

疏浚泥中污染物成分相当复杂.采用盐分传感器测定疏浚泥中可溶性离子的总质量浓度,将总的污染物质量浓度作为模拟的目标,既避免了分析复杂的底泥成分,也可以反映疏浚泥对地下水的综合污染程度.

弥散系数的确定目前常用的手段为室内试验方法,但是由于疏浚泥尤其是固化处理后的疏浚泥渗透系数太低,室内试验周期相当长,且结果尺度效应明显^[5],所以本文的研究中采用下述经验公式进行确定.

$$D_{xx} = \alpha_L \frac{v_x^2}{v} + \alpha_T \frac{v_y^2}{v} \tag{2}$$

$$D_{yy} = \alpha_T \frac{v_x^2}{v} + \alpha_L \frac{v_y^2}{v} \tag{3}$$

式中： α_L, α_T ——纵、横向弥散度； v ——总流速.

根据文献[6]的研究,纵向弥散度的对数和污染物迁移距离的对数成相关关系

$$\lg L_s \propto \frac{1}{0.558} \lg \alpha_L \tag{4}$$

横向弥散度一般表示为^[7]

$$\alpha_T = \frac{\alpha_L}{10} \tag{5}$$

计算区域取地下水位以下 2.0 m 的 1 个横剖面,尺寸为 175 m × 100 m,其中模拟的疏浚泥堆放区域为

50 m×50 m. 模拟区域如图 2 所示,共剖分为 5000 个单元,5151 个结点,边界条件和初始条件表示如下.

质量浓度初始条件：

$$\rho(x,y,0) = \begin{cases} \rho_0 & (25 \leq x,y \leq 75) \\ 0 & (x,y < 25 \text{ 或 } x,y > 75) \end{cases}$$

水头边界条件：

$$h \Big|_{x=0} = 2 \qquad h \Big|_{x=175} = 0.2$$

2.3 疏浚泥直接堆放和固化处理后二次污染对比计算

根据堆场周围的地质情况和上述确定参数的方法,计算区域的参数如表 2 所示.

根据上述有限元方法和计算参数,分别模拟疏浚泥直接堆放和经固化处理两种条件下底泥中的污染物在地下水作用下 20 a 后的分布范围,如图 3 所示.从计算结果可以看出：

表 2 计算参数
Table 2 Calculation parameter

泥 样	渗透系数/ (m·d ⁻¹)	纵向 弥散度/m	横向 弥散度/m	污染物质量 浓度/(g·L ⁻¹)
疏浚泥原泥	1.6×10 ⁻³	8.9	0.89	23.56
固化后疏浚泥	5.7×10 ⁻⁴	8.9	0.89	23.56
周围地层	8.6×10 ⁻²	14.8	1.48	0

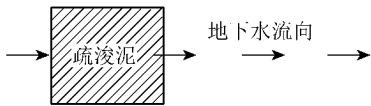
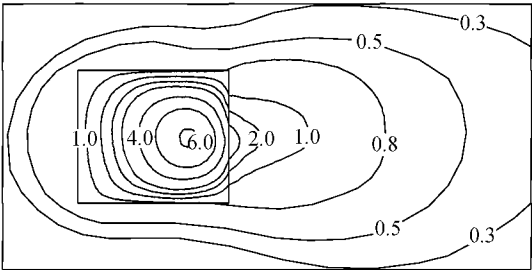
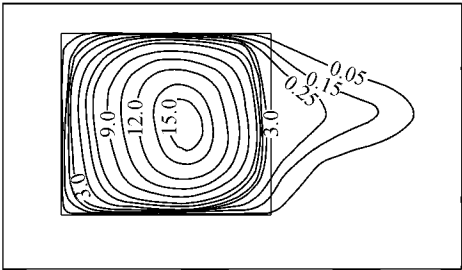


图 2 计算区域示意图
Fig.2 Sketch of calculation area



(a)直接堆放



(b)固化后

图 3 疏浚泥污染物质量浓度分布(单位 g/L)

Fig.3 Pollutant distribution in dredged sediment

- a. 未经处理的疏浚泥对地下水的污染范围远远大于固化处理后疏浚泥的污染范围.
- b. 未经处理的疏浚泥污染物运移的锋面浓度远远高于固化处理后污染物运移的锋面浓度.
- c. 经过地下水的长期作用,固化疏浚泥的污染物浓度比未固化疏浚泥的浓度高,但其锋面浓度值低,说明固化处理措施可以有效减缓污染物的溶出,地下水有充足的时间将污染物稀释到相当低的浓度.
- d. 弥散度的取值问题一直是国内外的一个难题.本文根据经验公式取值,仅仅考虑了弥散度和运移距离的关系,忽略了介质本身的特性,所以疏浚泥原泥和固化后的疏浚泥弥散度在数值上相等,但是渗透系数相差较大.正是由于渗透系数的不同造成最后计算结果相差巨大,所以也可以从这个角度说明渗透系数在控制介质污染物迁移中起主导作用,渗透系数是疏浚泥固化后二次污染评价的关键指标.

3 结 论

- a. 堆场处理大量的疏浚泥不仅要占用宝贵的土地资源,而且疏浚泥的干化周期长,容易产生二次污染.采用固化处理措施不仅可以将其变为能够再生利用的土工材料,而且可以减轻疏浚泥对周围环境的二次污染.
- b. 经过固化处理的疏浚泥 TP 的溶出量大大低于未经处理的疏浚泥,但 NH₃-N 的溶出量高于未经处理的疏浚泥,这与固化材料的选取有关.开发二次污染小的固化材料是今后有待深入研究的问题.
- c. 数值模拟结果表明,固化措施能够显著减缓疏浚泥中污染物的溶出,有利于周围介质对污染物的稀释、净化.
- d. 降低渗透系数是控制疏浚泥二次污染的一条较为可行的途径,应当通过深入研究建立以渗透系数为主要控制指标的疏浚泥再生资源化二次污染评价体系.

参考文献：

[1] 朱伟,张春雷,刘汉龙,等.疏浚泥处理再生资源技术的现状[J].环境科学与技术,2002,25(4):39—41.
[2] 李玉华,吕炳南,张景成,等.河底淤泥固化处理及相关试验[J].哈尔滨建筑大学学报,1999,32(6):66—69.
[3] SINGH,S P,TACK F M G,GABRIELS D,et al.Heavy metal transport from dredged sediment derived surface soils in a laboratory rainfall simulation experiment[J].Water,Air and Soil Pollution,2000,118(1—2):73—86.
[4] 范昭平.有机质对淤泥固化的影响机理及对策研究[D].南京:河海大学,2004.
[5] GELHAR L W,WELTY C,REHFELDT K R.A critical review of data on fields cale dispersion in aquifes[J].Water Resources Research,1992,28(7):1955—1974.
[6] 李国敏,陈崇希.空隙介质水力弥散尺度效应的分形特征及弥散度初步估计[J].中国地质大学学报,1995,20(4):406—407.
[7] 刘兆昌,张兰生,聂永丰,等.地下水系统的污染与控制[M].北京:中国环境科学出版社,1991.299—300.

Research of secondary pollution induced by reutilization
of dredged sediment from west Wulihu Lake

LI Lei¹, ZHU Wei², ZHAO Jian², CHEN Gang²

(1. Geotechnical Research Institute of Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract :In consideration of some disadvantages in conventional methods for treatment of dredged sediment, the method of solidification was adopted for treatment of dredged sediment from the seriously polluted water body of the west Wulihu Lake. A contrast analysis was made of the secondary pollution induced by dredged sediment without treatment and after solidification treatment by the way of laboratory test and numerical simulation. The result shows that the solidification treatment can decelerate the release of pollutants, and the degree of the secondary pollution is lower than that of untreated dredged sediment, but the selection of solidifying materials should be paid much attention. Furthermore, it is concluded that the coefficient of permeability is the important factor for control of the secondary pollution, and that the less seepage means the less secondary pollution.

Key words :dredged sediment ; solidification ; secondary pollution ; coefficient of permeability