

苏州河市郊段底泥重金属污染特征及对河道疏浚的影响

赵 健s 郑祥民s 毕春娟s 黄昌发

o 华东师范大学地理系 教育部城市与环境动态过程实验室, 上海 yuadΓyp

摘 要H 通过对苏州河市郊段河道底泥较高密度的采样和分析s 揭示了该河段重金属(Πs s φo s η2 s Π6 s Πo s ∂χ) 的沿程和垂直分布特征以及这些特征形成的主要原因。在此基础上, 分析了该段河道的疏浚中所应注意的问题。

关键词H 苏州河市郊段; 底泥; 重金属; 分布特征; 河道疏浚

中图分类号He xzy 文献标识码HΞ 文章编号Htauav—uyΓΔytauwpx —uyΔ—uA

Πφξ6ξπ8σ6χ8χπi 3τ Φσξ63 ε σ8ξ6 φ30098χ32 χ2 s σρχ1 σ287 3τ s94 φ39 ρχ6σ6 ξ8 s90960ξ2 X28σ60ξ6
ξ2ρ X2τ99σ2πσi 32 P6σρυχ2υ φ6ξ2
ηΦΞφ Ψξ2 s ηΦΣ∂Υ εχξ2υμ1χ2 s OX Πφ92μφξ2 s ΦβΞ∂Υ Πφξ2υμξ
o Υσ3υ6ξ4φ3 Pσ4ξ681σ28 3τ Σξ78 Πφχξ ∂361ξ6 β2χ6σ67χ63 s β60ξ2 & Σ20χ6321σ228ξ6 P32ξ1χπi ξ2ρ Υσ3π31498ξ8χ32
∂ξ636ξ8363 s s φξ2υφξχ yuadΓy Πφχξξp
Ξo786ξπ8 H φ2 8φσ oξiχi 3τ 8φσ ξ2ξ637χi ξ2ρ 789ρ3 32 7σ6σξ6 φσξ63 1σ8ξ67 o Π6 s φo s η2 s Π6 s Πo s ∂χpχ2 7σρχ1 σ287 3τ
8φσ 790960ξ2 6σξπφ 3τ s94 φ39 ρχ6σ6 s8φχi 4ξ4σ6 6σ6σξ6σρ 8φσ ρχ86χo98χ6σ πφξ6ξπ8σ6χ8χπi 3τ 8φσiσ φσξ63 1σ8ξ67 χ2 632–
υχ69 ρχ2ξ6 ξ2ρ6σ68χπξ6 ρχ6σπ8χ327 uX2 ξρρξχ32 s7σ6σξ6 46300σ178 φξ8 7φ390ρ6σπσχ6σ ξ88σ28χ32 ρ96χ2υ 8φσ ρ6σρυχ2υ 40ξ2
1ξi σ6ξ69ξ8σρ u
Ωσ136ρH 790960ξ2 6σξπφ 3τ s94 φ39 ρχ6σ6 Θ7σρχ1 σ287 Θ φσξ63 1σ8ξ67 Θ ρχ86χo98χ6σ πφξ6ξπ8σ6χ8χπi Θρ6σρυχ2υ 40ξ2

x 前言

苏州河为黄浦江主要支流, 全长xyBω1, 在上海境内长Bxwω1, 是上海市承担多种功能的地表水体, 在引排水、通航、灌溉等多方面发挥着重要的作用。苏州河为典型的平原河流, 沿途河道比降小, 支流纵横交错。在上海境内有蕴藻浜、东大盈、华漕港等xΓ条主要支流。由于河道蜿蜒曲折, 致使水流不畅, 流速减慢, 加上苏州河又为中等感潮河流, 潮水的顶托使得流速更加缓慢。由于排污不畅, 而河道及支流沿岸人口众多, 工农业发达, 排放的各类污染物随河流悬浮物一起沉积, 经过长年积累形成污染底泥。

xZZz 年上海市建成了苏州河一期污水截流工程, 污水来源大大减少, 水质明显改善, 但河道污染底

泥中含有大量的有机、无机污染物质, 却可以通过与上覆水体的物理、化学和生物交换作用, 重新溶于水中, 成为制约上覆水质的二次污染源。因此, 对河道污染底泥的疏浚, 成为彻底改善苏州河水质的必要工程。在各类污染物中, 重金属污染物由于不能降解, 且可在一定条件下通过吸附、络合、螯合等方式溶于水中, 若被生物体吸收后, 还可随食物链逐级累积, 危害极大。因此, 合理地处理重金属污染超标的底泥, 是河道疏浚工程的重点。

苏州河市郊段河道延伸长且各处污染状况差别甚大, 在实施底泥疏浚工程时必须对不同位置底泥的污染程度和分布特征作详细的调查研究, 然后因地制宜地采取不同的治理措施, 才能既保证工程质量, 又可避免浪费。

y 底泥样品的采集与分析

yux 采样步骤

为了能较系统地反映出底泥的污染特征和空间

收稿日期: ytauav—ux—uZ

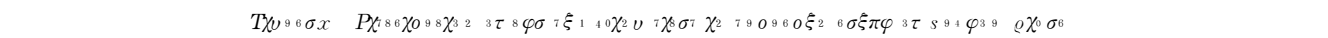
基金项目: 上海市青年科技启明星后跟踪项目子课题

作者简介: 赵 健, xZZz—p, 男, 上海华东师范大学地理系硕士研究生。

分布特征,结合苏州河市郊段的河道形态、地貌特征和城镇分布,自北新泾至东大盈共采集了*yA*个柱样。在设计采样点时,保证主要支流口和弯道附近都布有采样点,同时,相邻支流口间的直道也至少设一个采样点。图*xp*。采得柱样长度*Bw—Zavπ¹*,大多柱样

基本打穿污染层,见到了底部灰色、灰黄色河道自然泥,每个柱样可见明显的垂直分层现象。在野外作业船上,对每个柱样按*xw—ywπ¹*间距分为*B*段,对每段泥样均沿纵向分割取样,所有采得样品编号后置于聚乙烯保鲜袋中密封保存以备室内分析。

图*x* 苏州河市郊段采样点位置图



yuy 底泥的岩性特征

苏州河市郊段底泥三段式层序结构表现明显。表层为比较稀软的灰黑色流动浮泥层(简称浮泥层),中部为灰黑色到黑色的污染泥层(简称黑泥层),底部为灰色到灰黄色的河道自然泥层(简称黄泥层)。污染泥层厚度不均,多在*xwπ¹*以下,个别河段超过*Bvπ¹*,总体上,越近市区,其颜色越深,厚度越大。

yuk 分析方法

将底泥样品低温烘干(*s I Av*℃),研磨成粉末样,然后过*xxw*目网筛。取筛后的粉末样*wBv*,用氢氟酸—高氯酸消化法*o Φ ϑ ϕ_z—ΦT—ΦΠ ϕ_Ap*进行高温消化,经稀释定容后用*XΠp*离子发射光谱仪分别测定溶液中*Π⁶*、*ϕo*、*η²*、*Π⁶*、*Πρ*、*ϑχ*等重金属元素的浓度,测量误差≤*xw*%。

z 重金属含量及分布特征

z w 重金属的含量水平及相关性

表*x*列出了苏州河市郊段底泥不同层位重金属

元素的含量变化范围及平均值。由表*x*可见,底泥重金属含量与三段式层序结构密切对应,中部黑泥层的重金属含量最高,表层浮泥层的含量次之,底部黄泥层的含量最低。与苏州河沿岸土壤重金属的背景含量相比,黄泥层中各重金属含量普遍较低,表明该层基本未受重金属污染,而黑泥层和浮泥层则较复杂,其中*Π⁶*平均含量比土壤背景高*z—A*倍,*η²*比土壤背景高大约*z*倍,*Πρ*比土壤背景高*y—A*倍,*ϕo*和*ϑχ*基本一致,*Π⁶*低于土壤背景含量。若仅看平均含量,该河段重金属污染不太严重,但需特别注意的是,重金属污染元素并非均匀地沿河道分布,在某些河段*s*例如接近市区的华漕港和北新泾附近重金属超标相当严重,比背景含量高*xw*倍以上。

通过对黑泥层各重金属含量进行统计分析(表*y*)可以发现,除*Π⁶*与其它元素相关性较差外,其余各重金属元素含量之间具有较为明显的相关性,平均相关系数达*wΓy*以上。这一特征表明,该河段沿岸污染源排放的污染物中包含了多种类型的重金属元素,经

表 <i>x</i> 苏州河市郊段底泥各层位重金属含量(1 <i>υ</i> · <i>ωw^{−2}</i>)											
<i>αξ00σx Π⁶28σ2873τφσξ031σ8ξ07χ2ρχτσ0287σρχ1σ280ξ3σ073τ790960ξ2594φ39ρχ6σ6(1υ·ωw^{−2})</i>											
层位	<i>Π⁶</i>		<i>ϕo</i>		<i>η²</i>		<i>ϑχ</i>		<i>Π⁶</i>		<i>Πρ</i>
	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	
浮泥层	<i>Δv</i>	<i>xy—xZB</i>	<i>yw</i>	<i>Γ—Bv</i>	<i>ywΔ</i>	<i>BZ—ArΔ</i>	<i>zE</i>	<i>xx—Γx</i>	<i>zz</i>	<i>Γ—EΓ</i>	<i>wκz</i> <i>wκB—wκΔ</i>
黑泥层	<i>Ex</i>	<i>xy—zxE</i>	<i>yA</i>	<i>E—ZA</i>	<i>yzx</i>	<i>zw—Zyw</i>	<i>Av</i>	<i>xy—xxx</i>	<i>Ay</i>	<i>xy—xyx</i>	<i>wBBA</i> <i>waxx—yBx</i>
黄泥层①	<i>yy</i>	—	<i>xy</i>	—	<i>zΓ</i>	—	<i>yZ</i>	—	<i>yB</i>	—	<i>waw</i> —
土壤背景②	<i>yAuA</i>		<i>yxκv</i>		<i>ΔAvΔ</i>		<i>yZuZ</i>		<i>Γz uA</i>		<i>waxz</i>
控制标准③	<i>I BAv</i>		<i>I x vav</i>		<i>I x vav</i>		<i>I yav</i>		<i>I x vav</i>		<i>I yw</i>

注: ① 不同河段黄泥层(自然泥层)重金属含量变化不大,故仅列出该层重金属平均含量。
② 土壤重金属背景含量引自《中国土壤元素背景值》,中国环境科学出版社*xZZw*。
③ 引自原城乡建设部*xZEA*年发布的《农用污泥中污染物控制标准》中对*ΦΔΓuB*的中、碱性土壤的规定。

过长期积累，导致底泥中各种重金属污染物含量增加。 Π_6 在含量和相关性方面的异常可能是由于苏州河底泥中, Π_6 有约占 $\Delta\omega\%$ — $\Delta B\%$ 的形态属于不稳定或不太稳定、在一定条件下可向水相释放的形态^[8],从而导致底泥中含量的降低并影响与其它重金属元素的相关性。

表 y 重金属含量相关系数矩阵						
$\alpha\xi_0\sigma_y$	$\Pi_6\sigma_0\xi_3\chi_2$	$\pi_3\sigma\tau\chi_2\sigma_{28}$	$\xi_3\sigma_6\chi_2$	$3\tau_8\varphi\sigma\pi_3$	$28\sigma_{28}$	3τ
$\varphi\sigma\xi_3$	1	$\sigma_8\xi_0\gamma_2$	$7\sigma\rho\chi_1$	$\sigma_{28}7$	$3\tau_7$	$909\sigma_0\xi_2$
φ_{39}	φ_{39}	φ_{39}	φ_{39}	φ_{39}	φ_{39}	φ_{39}
元素	ϕ_0	η_2	Π_6	Π_6	$\vartheta\chi$	
η_2	$w\delta A$					
Π_6	$w\delta y$	$w\delta\Gamma A$				
Π_6	$w\alpha x$	$w\alpha E$	$w\alpha A$			
$\vartheta\chi$	$w\alpha y$	$w\delta y$	$w\alpha\Delta$	$w\alpha y$		
$\Pi\rho$	$w\delta\Delta$	$w\delta Ex$	$w\delta BB$	$w\delta z$	$w\delta\Gamma A$	

z uy 重金属分布特征

z uyw 沿程分布特征

苏州河市郊段底泥重金属在沿程不同河段的分布差异较大，但各元素的分布趋势基本相同，具有两个明显特征：首先，各元素含量自上游而下呈波状起伏分布，一般在主要支流口附近和弯道凸岸含量较高，如 x 号采样点 o 东大盈口 p 、 A 号采样点 o 蕴藻浜口 p 、 xw 号采样点 o 盐铁塘口 p 、 $x\Gamma$ 号采样点 o 封浜口 p 、 yw 号采样点 o 沙河附近凸岸边 p 、 $y\pi$ 号采样点 o 新槎浦口至北新泾中间凸岸边 p 等，而在直道含量则普遍相对较低，如 z 号采样点 o 东大盈口至蕴藻浜口间直道 p 、 xx 号采样点 o 盐铁塘以东 $x\iota B\omega_1$ 处直道 p 、 yA 号采样点 o 真北路以上 yw_1 处直道 p 等。支流口附近重金属含量较高表明沿岸支流是重金属污染物的主要来源。弯道凸岸含量高是由于苏州河市郊段河道曲折且基本未建防汛堤，因此自然河流的水动力特征表现明显，沉积物在弯道凹岸侵蚀、凸岸堆积，从而在弯道凸岸积累了大量的重金属污染物，其平均含量一般比直道高 $x\iota B$ — y 倍， $\Pi\rho$ 高达 B 倍以上(表 z)。第二，各元素含量自上游而下呈上升趋势，即上游河段污染元素含量较少，越向下游，重金属含量逐渐增加。这一特点的形成，是由于越接近市区，人口和工业逐渐密集、

表 z 苏州河市郊段不同类型河道重金属含量 $o_1v\cdot\omega v^{-x}p$

$\alpha\xi_0\sigma_z$ $\Pi_328\sigma_{28}73\tau$ $\varphi\sigma\xi_3$ 1 $\sigma_8\xi_0\gamma_2$ $\rho\chi\tau\sigma_6\sigma_{28}$ $6\chi_0\sigma_6$ $1\xi_373\tau$

$790960\xi_2$ $594\varphi_{39}$ φ_{39} φ_{39} φ_{39} φ_{39} φ_{39}

$(1v\cdot\omega v^{-x})$

河道	ϕ_0	$\vartheta\chi$	Π_6	Π_6	η_2	$\Pi\rho$
支流口	$zz\iota Z$	$BA\iota y$	$AZ\iota y$	$E\Gamma\iota E$	$y\Gamma w\iota\kappa$	$w\iota\kappa E$
弯道	$zZ\iota A$	$Zw\iota B$	$\Gamma w\iota B$	$Zx\iota\kappa$	$zz\Gamma$	$x\iota yx$
直道	$yw\iota y$	$AB\iota w$	$AA\iota w$	$\Gamma\Delta\iota B$	$yw\iota y\iota\alpha$	$w\iota yB$

注：表内数据为各类型河道黑泥层重金属平均含量

排污量增加的缘故。

z uy uy 垂直分布

苏州河市郊段底泥重金属在垂直方向上与其层序结构相对应，呈现出明显的峰值分布特征，一般在表层浮泥层和黄泥层含量较低，而在中部黑泥层的含量最高。以接近市区 $x E$ 号样点为例，该采样点位华漕港附近，取样水深 $x\iota B_1$ ，柱样长度 $E\alpha\pi_1$ ，柱样顶部 $x\iota\pi_1$ 为灰黑色浮泥层 o ，编号 $x E-xp$ ，中部 $zw-A\alpha\pi_1$ 及 $Bw-\Gamma w\pi_1$ 为黑色污染层 o ，分别编号 $x E-y$ 和 $x E-zp$ ，底部 $\Gamma w-A\alpha\pi_1$ 和 $\Delta w-E\alpha\pi_1$ 为黄泥层 o ，分别编号 $x E-A$ 和 $x E-Bp$ 。该样点重金属含量均自浮泥层开始上升，在中部黑泥层达到峰值，而到了底部黄泥层含量急剧降低(图 y)。重金属垂直分布特征表明底泥中部黑泥层为污染物主要富集区，在底泥疏浚时，该层污泥应彻底清除，以防对上游来水产生二次污染。

A 对底泥疏浚的影响与建议

$A\iota w$ 由上述分析可知，苏州河市郊段河道底泥与沿岸土壤相比，总体上重金属污染不太严重，而且各重金属无论平均含量还是峰值含量均低于 $x ZEA$ 年原城乡建设环境保护部颁布的《农用污泥中污染物控制标准》对农田施用污泥最高容许含量的规定(表 x)。另外，由于上海地区土壤偏碱性， Φ 值为 $\Delta\alpha w-E\alpha w$ 且含有一定的石灰性物质^[9]，这样的土壤环境可导致重金属的活动性降低。因此，该河段疏浚出的底泥大部分可就近施用于农田作为肥料。

$A\iota y$ 由于该河段底泥重金属分布不均匀，有些河段重金属含量远远超过沿岸土壤背景值 s 甚至接近《农用污泥中污染物控制标准》的容许含量，如北新泾附近 Π_6 的峰值含量可高达 $z x E_1v\cdot\omega v^{-x}$ ， η_2 的峰值含量可高达 $Z y w_1v\cdot\omega v^{-x}$ ，分别接近国家规定的 $B\alpha w_1v\cdot\omega v^{-x}$ 和 $x\tau\alpha w_1v\cdot\omega v^{-x}$ 的最高容许量。另外，上海市郊农田主要为蔬菜地，地下水位较高，须特别小心重金属污染物对人体的危害和对地下水源的影响。因此，对于重金属含量特别高的河段，包括主要支流口附近、弯道凸岸地区和华漕以下接近市区的河段，疏浚出的底泥不宜作为农用肥料，可作为园林、花卉用土或填埋垃圾场。

B 结论

$B\iota w$ 苏州河市郊段底泥与沿岸土壤背景相比，重金属平均含量超标不多；与国家标准相比，低于规定的最

图 y 典型样点重金属垂直分布图

$$T\chi_{96\sigma y} \gamma_{\sigma 68} \chi \pi \xi^0 \rho \chi_{786} \chi_{098} \chi_{32} \tau \varphi \sigma \xi^0_{31} \sigma \xi^0_{7} \chi^2_{28} \varphi \sigma_{75} \rho \chi_1 \sigma_{287} \tau_{79} o_{96} o \xi^2_{594} \varphi_{39} \varrho \chi^0_{\sigma 6}$$

高容量。但重金属分布不均匀,有些河段污染较为严重,甚至接近国家规定的最高容量。

By 各重金属元素的含量存在较为密切的相关性,沿程方向上呈波状分布趋势并自上游而下趋于增加,一般在弯道凸岸附近和主要支流口附近含量较高,而在直道含量相对较低。在垂直方向上具有峰值分布特征,黑泥层含量最高,浮泥层次之,黄泥层最低。

Buz 在实施疏浚工程时,疏浚出的大部分底泥可就近

施用于农田作为肥料,但对于污染程度较高的主要支流口附近、弯道凸岸地区和接近市区的河段,须另做处理。

参考文献H

裘祖楠,等 \$u\$ 苏州河底泥中铬和镉的特性、评价和治理 \$u\$ 上海环境科学, \$xZZT, xB(xy);yx-yAu\$

$\theta_{\mathcal{YK}}$ 上海市土壤普查办公室 u 上海土壤 $\theta \in \kappa u$ 上海 H 上海科技出版社,
 $xZZ_Y u \Gamma \Delta - A_Y E u$

o 上接第Z 页p

放的影响因素,有利于达到减排的目的,才能对农田系统 $\mathcal{D}_{y\phi}$ 排放量作出更为准确的估算。

参考文献H

[illegible]
$$\begin{array}{l} \eta z \kappa X f \phi \Pi \text{ } ^6 \sigma \text{ } _4 \text{ } ^3 \text{ } ^6 \text{ } ^8 \text{ } u \Sigma \text{ } ^7 \text{ } ^8 \text{ } \chi \text{ } _1 \text{ } \xi \text{ } ^8 \text{ } \sigma \rho \text{ } _7 \text{ } ^3 \text{ } ^9 \text{ } ^6 \text{ } \pi \sigma \text{ } ^7 \text{ } \xi \text{ } ^2 \text{ } \rho \text{ } _7 \text{ } \chi \text{ } ^2 \text{ } \omega \text{ } ^5 \text{ } ^3 \text{ } \tau \text{ } ^2 \text{ } \chi \text{ } ^6 \text{ } ^3 \text{ } ^9 \text{ } ^7 \text{ } ^3 \text{ } ^2 \text{ } \chi \rho \sigma u \\ \Pi \xi \text{ } _1 \text{ } ^0 \text{ } ^6 \text{ } \chi \rho \upsilon \sigma \text{ } \beta \text{ } ^2 \text{ } \chi \text{ } ^6 \text{ } ^6 \text{ } ^7 \text{ } \chi \text{ } ^3 \text{ } \phi \text{ } ^6 \text{ } \sigma \text{ } ^7 \text{ } ^7 \text{ } s \Pi \xi \text{ } _1 \text{ } ^0 \text{ } ^6 \text{ } \chi \rho \upsilon \sigma \text{ } s x Z Z \gamma u \end{array}$$
[illegible]
$$\begin{aligned} & \partial \mathcal{B} \times \Pi_{3 \ 9 \ 2} \pi \chi^0 \tau_{3 \ 6} \Xi \nu^6 \chi^{\pi 0 \ 8 \ 9 \ 6} \xi^0 s \pi \chi^0 \sigma^2 \pi \sigma \xi^2 \rho \alpha \sigma \pi \varphi^2 \ 3 \ 0 \ 3 \ \nu_3 \ u \mathfrak{f}^6 \sigma^4 \xi^6 \chi^2 \nu \ \beta s \\ & \xi \nu^6 \chi^{\pi 0 \ 8 \ 9 \ 6} \sigma \tau_{3 \ 6} \ \nu^0 \ 3 \ 0 \ \xi^0 \ \pi \chi^1 \ \xi^8 \sigma \ \pi \varphi \xi^2 \ \nu \sigma \ u \alpha \xi^7 \omega \ T^3 \ 6 \ \pi \sigma \ \varrho \sigma^4 \ 3 \ 6 \ 8 \ \ 2 \ 3 \ u \end{aligned}$$
$$xxZs \Xi\sigma \mid \sigma^7 \mid s X_3 \mid \xi \mid s xZZ_yu$$

土壤学进展

$$\theta \Delta \kappa \in \chi^2 \vee \Upsilon \in u \vartheta_y \phi \sigma \mid \chi_1 \vdash \chi_2 \quad \tau_{631} \mid \pi_{6340} \xi_2 \rho \chi_2 \quad \Pi \varphi \chi_2 \xi \theta \Psi \kappa u \vartheta_{986} \chi \sigma_{28}$$

$$\Pi_3 \pi_0 \chi_2 \vee \chi_2 \quad \Xi \nu_{633} \sigma \pi_{37378} \sigma \mid \tau_s x Z Z e s \quad B y o y - z p \quad H y A Z - y B A u$$
[illegible]
$$\begin{array}{l} \theta Z\kappa \Omega\sigma^0s \in s \Omega\tilde{\xi}_{40}\xi_2 \partial \Xi s \delta^3\tau\tilde{7}s \ S \Pi s\sigma \xi_0 u \Sigma^1 \chi^7\chi^6 2^7 3\tau \ 2\chi^6 63397 \\ 32\chi\sigma s \tau^6 1 \ 8634\chi\tau^5 0 \ \tau^6 6\sigma^7 8 \ 73\chi^1: H\sigma^4\tau^3 2^7 \sigma \ 83 \ \tau\sigma^6\sigma\chi\chi^5 \xi_s \chi^2 \ 1 \ \chi\varphi \\ \xi^1_{1 \ 1} \ 32\chi^0 1 \ s \ 2\chi^6 \xi^6 s \sigma s \xi^2 \rho \ 1 \ \varphi^3 74 \ \varphi \xi^8 \sigma \theta \Psi \kappa \ u \Psi \Upsilon \sigma^3 4 \ \varphi^3 \ 7 \ \varrho \sigma^1 \ w ZEEs \\ Z\kappa \ H \ \Gamma wv -x \ \Gamma wAu \end{array}$$

$\theta_{xx}\alpha$ 于克伟^s陈冠雄^s杨思河^u 几种旱地农作物在农田 $\mathcal{D}_y\phi$ 释放中的
作用及环境因素的影响 $\rho\psi\mathfrak{K}$ u 应用生态学报 $s_xZZB_s\Gamma(A)$ $zE\Delta-$
 $zZx u$