

上海潮滩沉积物重金属的 动力学累积特征*

许世远 陶 静 陈振楼 陈中原 吕全荣

(华东师范大学地理系, 上海 200062)

提要 1993年7—8月, 在上海长江口南岸和杭州湾北岸淤泥质潮滩不同地貌部位, 采集表层沉积物和柱状沉积物样品, 采用筛析法、离心法、火焰原子吸收法、 ^{210}Pb 法等分别对沉积物粒度、重金属总量、不同粒级重金属含量以及沉积速率等进行了分析和测定。结果表明, 潮滩沉积物重金属的空间分布格局并不受沿岸排污的直接影响, 而与沉积动力作用密切相关。在水动力条件较弱的淤涨岸段和高潮滩部位, 伴随着细颗粒泥沙的大量堆积, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd等重金属元素明显趋于富集。

关键词 淤泥质潮滩 重金属 累积 动力学

目前, 滨海大城市普遍采用沿岸排污入海的方式, 处置工业废水和生活污水, 因海水对污染物的稀释净化能力很强, 所以这一排污方式一般不会对近海环境造成明显的影响。但近年来的一些研究表明, 排污过程中部分难降解的污染物, 如重金属等, 往往通过悬浮泥沙的吸附和搬运重新累积于沿岸滩地中, 从而使滩地环境质量面临日益恶化的趋势(陈静生等, 1985; Adams, 1992; Farmer, 1991; Williams et al., 1994)。本研究以上海淤泥质潮滩为例, 通过长江口南岸和杭州湾北岸潮间带重金属空间分布规律及其主要控制因素的探讨, 初步揭示了重金属在潮滩的动力学累积特征。

1 采样与分析方法

1.1 采样

研究区北起浏河口, 南至汇角, 西达杭州湾北岸漕泾一带, 全长约130km, 理论基准面以上滩地面积近240km², 约占上海滩地总面积的40%左右。1993年7—8月, 在潮间带沿程布设18个采样点和9个采样断面(图1), 其中每个断面按高、中、低潮滩分别设置三个采样点, 共采集了45个表层沉积物样品。同时, 分别在A、B和C断面的高、中潮滩用探槽法采集了6个长为1.5m或2m的沉积物柱状样, 以5—10cm的间距现场分样。

1.2 分析方法

样品运回实验室后低温保存, 分别进行粒度、重金属总量、不同粒级重金属含量以及沉积速率等各项分析。其中, 粒度分析采用筛析法和离心法, 所用仪器为自动离心测量仪

* 国家自然科学基金资助项目, 49271009号。许世远, 男, 出生于1938年10月, 教授。

本文在写作过程中, 虞志英、俞立中教授提出了宝贵意见; 吴国元教授、谢琳同学协助工作, 谨志谢忱。

收稿日期: 1996年5月3日, 接受日期: 1997年1月20日。

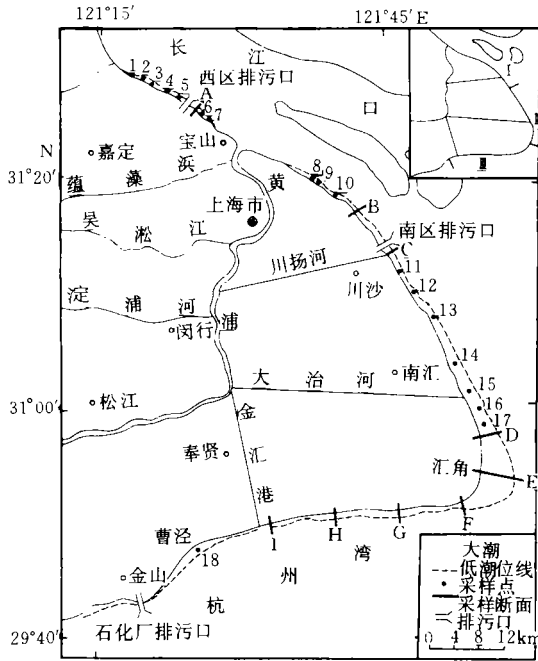


图1 研究区域和采样站位

Fig.1 The study area and location of sampling stations

征,自北向南依次可分为:浏河至川沙县境内的微冲微淤的稳定段(I),川沙、南汇县界至汇角的淤涨段(II),以及汇角至漕泾的冲淤交替段(III)(图1右上图)。滩地微地貌沉积分异显著,其中高潮滩多由粘土质粉砂和粉砂质粘土组成,中潮滩以粉砂和粘土质粉砂为主,而低潮滩则以粉砂和细砂为主(李九发,1990;陈卫跃,1991)。

2.1.1 沿程纵向分布 从重金属总量分析结果来看,本区重金属的沿程分布与沉积动力条件密切相关。在水动力条件较弱的淤涨岸段II,重金属明显富集,其中Cu,Zn和Pb的平均含量均为全区最高,分别达 42.8×10^{-6} 、 102.3×10^{-6} 和 54.5×10^{-6} 。而在水动力作用较强的杭州湾北岸冲淤交替段III,重金属元素含量普遍较低,其中Cu,Zn和Pb的平均含量分别仅为 14.2×10^{-6} 、 91.5×10^{-6} 和 13.7×10^{-6} 。浏河至川沙县境内的微冲微淤稳定段I,由于受人工丁坝和长江河口径潮流的影响,水动力条件存在明显的局地差异,故重金属含量波动较大,全区Cu,Zn最高值和Cu,Zn,Pb,Cr最低值均位于本段。

值得注意的是,本区沉积物重金属含量与距排污口的距离不呈明显相关性,其峰值均偏离排污口。如近西区排污口岸段元素峰值位于其下游2km处,即受人工丁坝保护的微淤岸段,而近南区排污口岸段元素峰值位于其上游4km处的一内凹滩地。可见,潮滩沉积动力环境基本上控制了重金属元素的分布格局。

2.1.2 横向分布 从9个横断面的分析结果来看,本区沉积物重金属含量呈明显的带状分布,主要表现为高潮滩重金属含量偏高,中、低潮滩含量较低(图2)。如近西区排污口A断面,高潮滩各元素含量分别为Cu, 45.36×10^{-6} ; Zn, 550.86×10^{-6} ; Pb, $234.88 \times$

(Horiba Capa-500)。重金属(包括Cu, Zn,Pb,Cr,Cd五个元素)总量测定采用火焰原子吸收法:沉积物低温烘干,研磨至200目以下,用硝酸-高氯酸-氢氟酸消解前处理后,在Spectraa-10/20型原子吸收分光光度计上测定各元素含量,分析误差 $< \pm 10\%$ 。同时,选择部分样品,用Stocks静水沉降法连续提取 $< 0.5\mu\text{m}$ 、 $< 2\mu\text{m}$ 、 $< 4\mu\text{m}$ 和 $< 16\mu\text{m}$ 的细颗粒沉积物,采用与总量测试相同的方法分别测定各粒级沉积物重金属含量。此外,选择两个沉积物柱状样进行 ^{210}Pb 分析,以确定滩地的沉积速率。

2 结果

2.1 潮滩沉积物重金属空间分布特征

研究区内滩地分属长江口南边滩和杭州湾北岸口门段,主要污染物源有西区、南区和金山石化厂三大排污口以及黄浦江(图1)。根据滩地冲淤变化特征,

10^{-6} ; Cr, 65.05×10^{-6} ; Cd, 0.962×10^{-6} ;是中、低潮滩相应各元素含量的 1.5—9.8 倍。显然,这种元素含量的分带规律与潮滩的动力沉积分异作用密切相关。

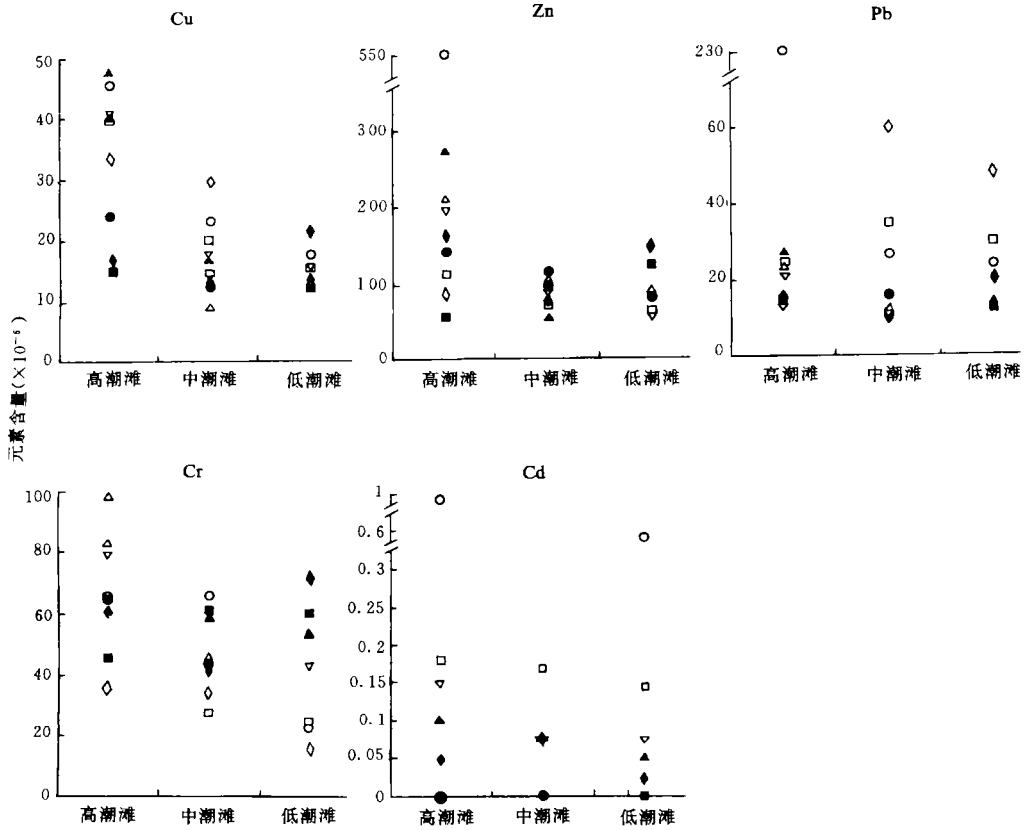


图2 上海潮滩沉积物重金属分布

Fig.2 The distribution of heavy metals in tidal flat sediment of Shanghai

断面: ○ A; ◇ B; □ C; ∠ D; ▽ E; ● F; ◆ G; ■ H; ▲ I.

2.2 潮滩沉积物重金属含量与粒径的关系

沉积物分级测试结果表明,重金属含量与沉积粒径密切相关,在细颗粒沉积物中明显趋于富集。粒径为 $< 16\mu\text{m}$ 的细颗粒沉积物中重金属含量普遍高于总量,以 G 断面中潮滩样品的 Cu 为例,沉积物中总量为 13.40×10^{-6} , $< 16\mu\text{m}$ 级为 20.87×10^{-6} , $< 4\mu\text{m}$ 级为 34.40×10^{-6} , $< 2\mu\text{m}$ 级为 77.51×10^{-6} , $< 0.5\mu\text{m}$ 级为 45.11×10^{-6} 。四种粒径中 $< 2\mu\text{m}$ 级为元素富集的峰值粒径,有 78% 的元素峰值出现在该粒径。同时,这一粒径的元素含量对外界环境的反应极为灵敏,在污水带扩散范围内,该粒径的重金属含量明显偏高,因而提取并测定细颗粒中的元素含量可以为追踪污染源的扩散范围提供较为有效的评价指标(陈静生等,1985; Groot,1976)。从沿程各岸段各地貌部位表层沉积物 $< 2\mu\text{m}$ 粒径中重金属含量的变化来看,排污口岸段各元素含量普遍高出 II 段和 III 段的 1—4 倍,其变化范围分别为 Cu, 29.53×10^{-6} — 225.68×10^{-6} ; Zn, 58.18×10^{-6} — 842.25×10^{-6} ; Pb, 9.35×10^{-6} — 581.8×10^{-6} ; Cr, 58.43×10^{-6} — 566.65×10^{-6} ; Cd, 0.025×10^{-6} — 0.925×10^{-6} 。其中,以

工业废水排放为主的西区口岸段各元素含量又高于以生活污水排放为主的南区口岸段 3—4 倍。可见沿岸排污对潮滩沉积物的直接污染范围非常有限,一般仅限于污水带延伸的岸段。

将各分级样品元素含量按其粒级百分比相加,求得 $< 16\mu\text{m}$ 颗粒中各元素含量占总量的平均比值分别为: Cu, 73%; Zn, 62%; Cr, 76%; Cd, 64%。可见在 $< 16\mu\text{m}$ 细颗粒沉积物中,普遍富集了占总量 60% 以上的重金属。这一现象在河床和海湾底质的研究中也有报道,一般认为与细颗粒沉积物对重金属的吸附有关(陈静生等, 1985; Groot, 1976; Windom et al., 1989; Croudace et al., 1995)。值得注意的是,铅的比值低于 60%,这可能与本区铅主要来源于大气降尘有关。

2.3 潮滩沉积物重金属累积通量

2.3.1 沉积速率和背景值

由于受局部地形、径潮流、波浪等多种因素的影响,潮滩沉积速率在不同地段间往往存在很大差异。表 1 分别列出了上海潮滩 A, C, D 三个断面高潮滩的沉积速率,其中 A 和 C 断面的沉积速率用 ^{210}Pb 方法确定, D 断面的沉积速率则根据 1982—1984 年间实测的沉积物淤积厚度确定(李九发, 1990)。由表 1 可见, D 断面的沉积速率远高于 A 和 C 断面,反映了淤涨岸段的沉积特征。

表 1 上海潮滩沉积速率

Tab.1 Sedimentary rates in tidal flat of Shanghai

岸 段	断 面	地貌部位	沉积速率 (cm/a)
I	A	高潮滩	1.85
I	C	高潮滩	2.09
II	D	高潮滩	15.40

按 C 断面的沉积速率 2.09cm/a 推算,其高潮滩 1.5m 和中潮滩 2m 深处的沉积物约形成于 70—100a 前。由于 C 断面附近的南区排污口建于 70 年代初,所以这两个深度各元素的平均含量基本可以代表本区排污以前的环境背景值(表 2)。这些数值与朱积安(1991)的研究结果较为一致。

表 2 上海潮滩沉积物重金属背景值 ($\times 10^{-6}$)

Tab.2 The background contents ($\times 10^{-6}$) of heavy metals in tidal flat sediment of Shanghai

地貌部位	深度 (m)	沉积物类型	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd
高潮滩	1.5	粘土质粉砂	17.46	48.14	21.38	26.73	0.11
中潮滩	2.0	粉砂	17.40	49.43	18.89	29.81	0.07
平 均	值		17.43	48.79	20.14	28.27	0.09

2.3.2 自然累积通量 (F_a) 和人为累积通量 (F_b)

根据潮滩沉积速率和重金属含量,分别估算了岸段 I 和 II 中 A, C, D 三个断面各重金属元素的 F_a 和 F_b , 所得结果列于表 3。由表 3 可见,远离排污口的 D 断面各重金属元素的 F_a 和 F_b 均高于近排污口的 A 和 C 断面,这表明水动力作用比较微弱的淤涨岸段是自然和人为释放、累积重金属元素的重要场所之一。同时,除个别元素外,各岸段重金属元素的 F_b 基本上已接近或超过 F_a , 其中尤以 Zn 和 Cd 最为突出,说明人为排污对潮滩环境质量的影响日趋严重。此外,同在排污口附近的 A 和 C 断面各重金属元素的自然累积通量虽然比较接近,但其人为累积通量却存在较大差

异, A 断面重金属的人为累积通量明显偏高, 反映了工业废水对潮滩沉积环境的污染程度远甚于城市生活污水。

表3 上海潮滩沉积物重金属的 F_a 和 F_b [$\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$]

Tab.3 F_a and F_b of heavy metals in tidal flat sediments of Shanghai [$\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$]

岸 段	断 面	元 素	F_b	F_a	F_a / F_b
I	A	Cu	46	74	1.6
		Zn	130	1338	10.3
		Pb	54	572	10.6
		Cr	75	98	1.3
		Cd	0.24	2.32	9.7
	C	Cu	52	68	1.3
		Zn	147	190	1.3
		Pb	61	9	0.1
		Cr	85	51	0.6
		Cd	0.27	0.27	1.0
II	D	Cu	387	501	1.3
		Zn	1087	3546	3.3
		Pb	447	77	0.2
		Cr	627	1214	1.9
		Cd	2.00	22.40	11.2

3 讨论与结论

上海沿岸潮滩水动力条件存在显著差异, 其中长江口南边滩地为一弱中潮岸段, 平均潮差 2.1—3.2m, 杭州湾北岸滩地则为强中潮高能岸段, 平均潮差 3.0m 以上。而同属长江口南边滩的 I, II 段滩地, 沉积动力条件也存在明显差异。与上游 I 段滩地相比, II 段滩地由于滩宽坡缓, 波能和潮能在滩地上的耗散作用比较强烈, 所以泥沙易于堆积。同时, II 段滩地处于河口咸淡水频繁交汇地带, 水体物化条件也进一步促进细颗粒泥沙的絮凝沉降。就垂岸来看, 波、潮流在运移过程中, 受滩地摩阻, 能量自海向陆逐渐衰减。以南汇东滩为例, 在洪季大、小潮期间, 低潮滩涨潮流流速为 28—86cm/s, 中潮滩为 23—49cm/s, 高潮滩为 11—35cm/s。另据对点位 18 附近滩地的研究, 波浪从低潮滩传到中潮滩, 波能损耗可达 80% 以上(陈卫跃, 1991)。这些作用叠加于潮滩沉积的“沉降滞后”和“冲刷滞后”的基本分异作用上, 产生了正反馈的效应, 促使细颗粒泥沙向潮滩上部聚集, 加剧了潮间带沉积物自海向陆由粗变细的沉积结构分带现象。细颗粒泥沙在淤涨岸段和高潮滩部位的大量聚集和沉降, 尤其是对重金属元素有较强吸附力的 $< 16\mu\text{m}$ 级极细粉砂和粘粒的富集, 将相伴产生元素在滩地的累积现象。而 $< 2\mu\text{m}$ 级虽是重金属含量的峰值粒级, 但在潮滩沉积物的粒度组成中, 这一粒级的百分含量一般 $< 5\%$, 所以与 $< 16\mu\text{m}$ 级相比, 其元素含量对沉积物元素总含量的贡献有限。可见, 潮间带沉积物重金属的空间分布格局并不受大型排污的直接影响, 而与动力沉积分异过程的控制有关。

重金属累积通量的分析进一步表明,弱水动力条件的淤涨岸段及高潮滩部位是重金属的一个重要归宿场所。这些地区往往生物作用强烈,氧化还原梯度大,有利于重金属的累积。但与沉积相对稳定的湖泊和海洋相比,潮滩的季节性动态变化相当显著,如遇上灾害性的天气和风浪条件,潮滩沉积物中累积的重金属污染物可能会再次释放出来,形成突发性的环境污染事件。为此,笔者将进一步开展潮滩沉积物重金属释放过程的研究。

参 考 文 献

- 李九发, 1990, 海洋学报, 12(1): 75—82。
 朱积安, 1991, 华东师范大学学报(自然科学版), 3: 79—85。
 陈静生等, 1985, 环境科学学报, 5(2): 129—139。
 陈卫跃, 1991, 海洋学报, 3(6): 813—821。
 Adams, W. J., 1992, *Environ. Sci. Technol.*, 26: 1864—1870。
 Croudace, I. W. et al., 1995, *Environ. Sci. Technol.*, 29: 1288—1296。
 Farmer, J. G., 1991, *Environ. Geochem. Health.*, 13: 76—82。
 Groot, A. J. De, 1976, *Estuar. Chem.*, 5: 243—256。
 Williams, T. P. et al., 1994, *Mar. Pollut. Bull.*, 28: 277—290。
 Windom, H. L. et al., 1989, *Environ. Sci. Technol.*, 23: 314—320。

DYNAMIC ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN TIDAL FLAT SEDIMENTS OF SHANGHAI

Xu Shiyuan, Tao Jing, Chen Zhenlou, Chen Zhongyuan, Lü Quanrong

(Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract Based on the long-term observation of Shanghai tidal flats south of the Changjiang River mouth and north of Hangzhou Bay respectively, this study used 45 surface sediment samples and 6 sediment cores collected during July and August in 1993. The sampling sites were distributed along the stable bank, accumulating bank, and eroded bank, located respectively at the high, middle and low tidal flats. Sample analysis includes particle size, heavy metal contents in different size sediments (Cu, Zn, Pb, Cr, Cd) and ^{210}Pb activity in cores. Atomic absorption spectrometer was used for heavy metal testing. The results showed that the spatial distribution of heavy metals in tidal flat sediments was not directly influenced by the discharges of municipal sewerage or industry wastes, but was closely related to the local sedimentary dynamic conditions. At the accumulating bank and high tidal flat, where the sedimentary dynamic processes were relatively inactive, heavy metals tended to be enriched along with the rapid deposition of fine particles (mainly finer than $16\mu\text{m}$). Site A sediment heavy metal content rates of the high tidal flat to the middle and low tidal flats ranged respectively from 1.5—9.8. Calculation results indicated that both the natural sediment flux and artificial sediment flux of heavy metals of the accumulating

bank, greatly surpassed those of the stable bank, and that of the eroded bank, with Zn and Cd among the most distinctive. It was clear that municipal sewerage and industry wastes have produced a serious impact on the environmental quality of sediments of the tidal flat. Compared with lakes and seas, tidal flats show frequent seasonal variation in the dynamic processes. If any abnormal weather or waves happen, the deposited pollutants will likely be “discharged”, leading to unpredictable environment hazards.

Key words Tidal mudflat Heavy metal Accumulation Dynamics