

种形态划分为: 易可给态、中等可给态和惰性态。利用这六种形态和三类可给态, 对于研究湘江的重金属污染状况与规律, 以及研究其生物效应和自净能力会有一定价值。

根据前面的数据可见: 镉的可给态很高, 这对水生物的影响是不容忽视的。铅、锌、铜的残余态虽高, 但它们的中等可给态仍达 40—60%, 由于 2、3 号站位是矿山、有色冶炼和化学工业的重点地区, 排废浓度高, 所以应特别加强这些地区工业废物的治理, 控

制废物排放, 切断污染源, 充分利用水体中粘土矿、碳酸盐、铁锰水合氧化物等对重金属的作用。如能这样, 则可预期, 依靠湘江本身的自净能力, 控制住已进入水及底泥中的重金属是可能的。

致谢: 本工作承刘静宜、彭安同志指导, 崔春国同志完成铜的分析, 湖南省环保所协助取样, 特此致谢。

(参考文献略)

霞湾港江段稀释自净能力的研究

——湘江(株洲市)霞湾港江段废水污染带的调查

曾北危 章亮庄

(湖南省环境保护研究所)

李耀中 詹维源

(华东水利学院)

一、前 言

河流的稀释自净能力, 就是利用河流的自身能力(使受到污染河段的污染物质浓度降低)达到减少污染的目的。从稀释自净的机制来看, 主要是物理过程: 这种能力与河流自身的水文特征, 平面形态和河床的粗糙程度有关。也和不同的污染物质, 污水的排放方式和排污口的型式有关。一般常用的明渠、岸边、表面出流(如霞湾港)的排放方式, 除了在较小的河流里污水与河水能够在排污口附近完全混和以外, 通常都要形成污染带。对于形成污染带河段的稀释自净能力的研究, 经过初步踏勘以后, 我们选择从株洲市霞湾港下游湘江干流的废水污染带的调查开始。

霞湾港, 是株洲市清水塘工业区的排污渠道, 全年排放的工业废水和生活废水约一亿三千九百多万吨, 日平均排放量为 38.6 万

吨; 全年排放的各种污染物约 10.2 万余吨, 渠水终年呈黑褐色, 多泡沫, 有刺激性臭味。水中的溶解氧值为零。使霞湾港下游湘江干流的水体污染和底泥(汞、镉、铜、锌、砷、六六六等九种有害物质)的污染是全湘江较为严重的江段。

二、调查河段概况和断面布设

霞湾港排污口位于株洲市西部, 调查江段自排污口上至株洲市枫溪港 4 公里, 下至湘潭市下摄司 14 公里, 全长 18 公里, 河宽 275—684 公尺, 平均水深 0.97—4.35 公尺, 调查期间河道及水文特征见表 1:

株洲水文站水位为 30.66 米, 河段水面比降 0.75‰, 平均流速 0.45 米/秒, 平均流量 310.0 米³/秒。

根据对污染带监测的要求, 在 18 公里共设置 10 个断面, 其中两个是对照断面, 8 个是监测断面。第一对照断面位于枫溪港以上

表 1 河道及水文特征值

断 面	(一)	(二)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
排污口距离 (m)	4000	200	200	500	1000	1800	3300	4800	8300	14000
水面宽 B (m)	580.8	386.5	684.10	343.0	278.1	470.4	393.4	427.7	275.0	397.9
断面积 A (m ²)	1647.0	588.3	662.4	496.7	525.0	882.9	1226.7	1861.7	453.9	861.4
断面平均水深 H (m)	2.84	1.52	0.97	1.45	1.89	1.88	3.12	4.35	1.65	2.16
断面平均流速 V (m/sec)	0.17	0.48	0.64	0.68	0.60	0.38	0.25	0.18	0.72	0.37
流 量 Q (m ³ /sec)	285.7	281.2	311.3	339.4	312.4	332.0	310.6	339.9	325.6	320.8

200米,以监测进入株洲市以前上游水体的水质。第二对照断面位于霞湾港排污口以上200米,以监测进入污染带以前上游水体的水质。第一监测断面位于排污口下游200米,第八监测断面位于下摄司,距排污口为14公里,调查范围及断面布设见图1。

每个断面七条垂线,共布设210个测速取样点,采集样品(包括底泥)621个,分析项

目为:

有机污染: 溶解氧 (DO); 化学耗氧量 (COD); 生化耗氧量 (BOD); 氨氮 (NH⁴-N); 氰化物 (CN⁻); 酚。

重金属: 汞 (Hg); 砷 (As); 铅 (Pb); 锌 (Zn); 铜 (Cu); 镉 (Cd)。

进行2375项次化学分析。

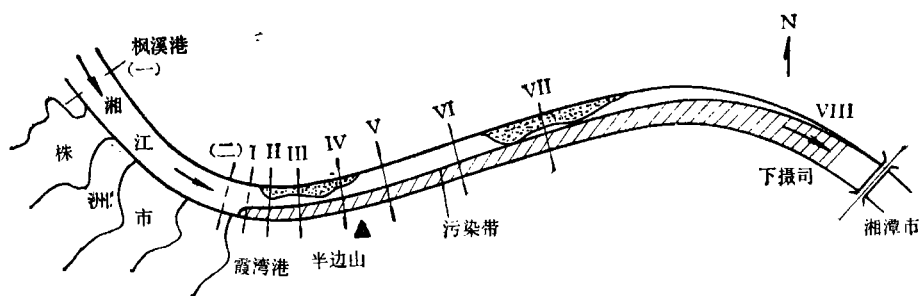


图 1 断面布设图

三、资 料 整 理

(一) 污染带宽度 B_c 的确定

根据不同污染物质的垂线平均浓度在断面上的分布,确定污染带宽度 B_c ; 以第 II 监测断面为例: 见表 2。

从各种污染物质的垂线平均浓度分布可看出垂线(2)以内的浓度高于以外的浓度,垂线(3)以外的浓度接近一常数值,因此取污染带宽度 B_c 在垂线(2)—(3)之间:

$$B_c = 57.3m + \frac{126.1m - 57.3m}{2} = 91.7m$$

根据这个原则确定各断面污染带宽度 B_c , 如表 3。

根据 $B_c = f(x)$ 曲线确定均匀混合断面为第 VIII (下摄司)断面,均匀混和距离(L)为14公里。

(二) 污染带流量 Q_c 的估算

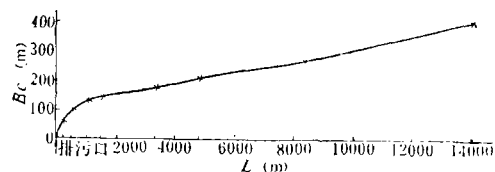
污染带流量 Q_c 的多少,直接反映河水的稀释能力,正确计算 Q_c , 对于估计污染带平

表 2 不同污染物质的分布

垂线号 浓度 (ppm) 污 染 物	右	1	2	3	4	5	左
岸边距(米)	0	25.7	57.3	126.1	219.9	310.9	343.4
COD	20.790	17.920	8.600	4.300	4.660	4.300	15.770
Pb	0.206	0.138	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Zn	0.285	0.016	0.014	0.005	0.006	0.322	0.020
Cu	0.0640	0.0500	0.0015	0.0025	0.0035	0.0100	0.0040
Cd	0.0040	0.0040	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
Hg	1.600	1.620	0.105	0.025	0.245	0.110	0.100

表 3 污染带宽度

断 面	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
排污口距离(m)	200	500	1000	1500	3300	4800	8300	14,000
污染带宽度 B_c (m)	50.33	91.5	120.6	146.9	168.6	201.5	255.8	397.4

图 2 绘制 B_c 的沿程变化曲线

均浓度 $\bar{c}$ 具有重要的作用。我们采用污染带宽度 B_c 、单宽流量累积曲线 $q_c = f(z)$ 来确定 Q_c ，并分别用两种方法绘制 $q_c = f(z)$ 曲线。

1. 用实测流量资料绘制单宽流量累积曲线，见图 3。

2. 应用水力学关系绘制单宽流量累积曲线。

一定水位下的单宽流量符合水力学关系式：

$$q = h \cdot u = \frac{1}{n} h^{1.48} I^{0.5}$$

并假设在同一断面内 $\frac{1}{n} I^{0.5}$ 的值为常数，

则有 $q \sim h^{1.67}$

设 $\bar{h}$ 为断面的平均水深， $\bar{q}$ 为平均单宽流量，则：

$$\frac{q}{\bar{q}} = (h/\bar{h})^{1.67}$$

由此可以得到：

$$q_{CB} = \frac{\bar{q}}{\bar{h}^{1.67}} \int_0^z h^{1.67} dz$$

式中， q_{CB} 为累积单宽流量。

以第 II 断面为例，根据实测流量资料和

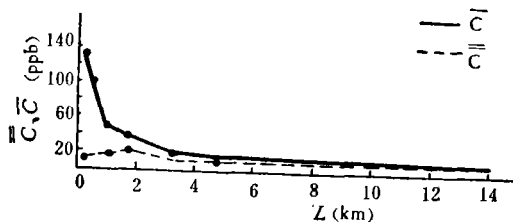
$q_{CB} = \frac{\bar{q}}{\bar{h}^{1.67}} \int_0^z h^{1.67} dz$ 绘制的 $q_c = f(z)$ 曲线

和计算表格如表 4

从图3可见，用实测资料绘制的 $Q_c = f(z)$ 曲线和根据水力学关系计算求得的单宽累积流量 $q_{CB} = f(z)$ 曲线是基本符合的；已知第 II 断面污染带宽度 $B_{c2} = 91.5$ 米在 $q_c = f(z)$ 曲线上可求得第 II 断面污染带流量 $Q_{c2} = 105.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (参看图 3)。

表 5 断面平均浓度和污染带平均浓度比较表

浓度 (ppm)	断面		(一)	(二)	I	II	III	IV	V	VI	VIII
NH ₄ ⁺	$\bar{C}$		0.0797	0.0585	0.7238	0.3020	0.3013	0.4136	0.5402	0.30173	0.4286
	$\bar{C}$				2.820	1.7911	0.9037	1.2073	0.4410	0.400	0.449
Hg	$\bar{C}$		0.0317	0.0980	0.1908	0.2402	0.3414	0.1387	0.2051	0.1949	0.1831
	$\bar{C}$				0.7772	0.9745	0.6761	0.5346	0.3864	0.3040	0.1795
Pb	$\bar{C}$		0.0050	0.0071	0.0152	0.0167	0.0174	0.0216	0.0114	0.0080	0.0071
	$\bar{C}$				0.1327	0.1023	0.0511	0.0406	0.0164	0.0105	0.00725
Cu	$\bar{C}$		0.0035	0.0052	0.0217	0.0072	0.0126	0.0063	0.0061	0.0125	0.0124
	$\bar{C}$				0.0676	0.0304	0.0208	0.0134	0.0064	0.0179	0.0121

图 4 $\bar{C}$ 和 $\bar{C}$ 值沿程变化曲线

流稀释能力的重要组成部分。例如根据这次监测,霞湾港内的 DO 值接近于零, COD 值高达 502.2 毫克/升,而第一监测断面污染带内的 DO 值恢复到 8 毫升/升, COD 值仅 30 毫克/升,由此可见,掺混作用的稀释自净能力是相当可观的。污染带的远区,又叫扩散区,当污染物质(下摄司断面)均匀混合以前,仍属于污染带的二元扩散。如在不考虑污染

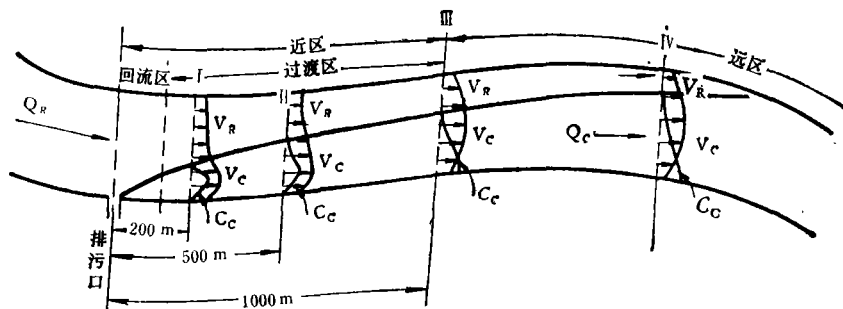


图 5 霞湾港江段污染带示意图

物质的沉降、吸附和自身衰减的情况下(同时考虑到 $\frac{\partial C}{\partial y} = 0$), 二元恒定扩散方程可以写成:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

式中, C 为平均浓度; u 、 w 、 E_x 和 E_z 分别为纵向、横向流速和纵向横向扩散系数。

若不存在横向流, 或不考虑次生环流的影响, 则 $w = 0$; 而且一般认为

$$u \frac{\partial C}{\partial x} \gg \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

时,则方程(1)可以简化为:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (2)$$

如果考虑污染物质的沉降、释放和自身的衰减,则上式可改写为:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - (K_1 + K_2)C + K_2 C \quad (3)$$

K_1 、 K_2 、 K_3 分别为沉降、释放和衰减系数。

根据本江段的情况确定上述这些系数,求解这些模式将是我们的下一步的课题。

(五) 底泥

在这次调查中,以右岸岸边的底泥资料最为完整,根据资料分析说明,底泥中 Pb、Cd、Cu、Zn、Hg、As 的含量都以第 III 监测断面为最高,其浓度变化情况为表 6。

由表 6 可见:

(1) 重金属的污染主要是底泥污染,以

表 6 右岸岸边底泥和水体中 Pb、Cd、Zn、Cu 含量的沿程变化表

	断 面	对照 I	对照 II	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Pb	底泥 (ppm)	122.5	215.0	1450.0	—	2900.0	800.0	475.0	450.0	205.0	150.0
	水体 (ppb)	5.0	5.0	175.0	206.0	5.0	5.0	25.0	20.0	15.0	9.0
Cd	底泥 (ppm)	4.0	3.0	26.0	—	51.25	20.25	16.5	14.25	7.75	4.50
	水体 (ppb)	0.30	0.30	1.0	4.0	1.0	0.60	0.60	0.50	0.50	0.90
Zn	底泥 (ppm)	280.0	210.0	2940.0	—	4500.0	1820.0	870.0	1240.0	900.0	40.0
	水体 (ppb)	4.0	20.0	54.0	28.5	45.0	64.0	46.0	56.0	38.0	46.0
Cu	底泥 (ppm)	38.5	43.0	540.0	—	550.0	460.0	190.0	222.0	105.0	62.0
	水体 (ppb)	3.0	1.0	21.0	64.0	18.0	4.0	10.0	625.0	5.6	9.5

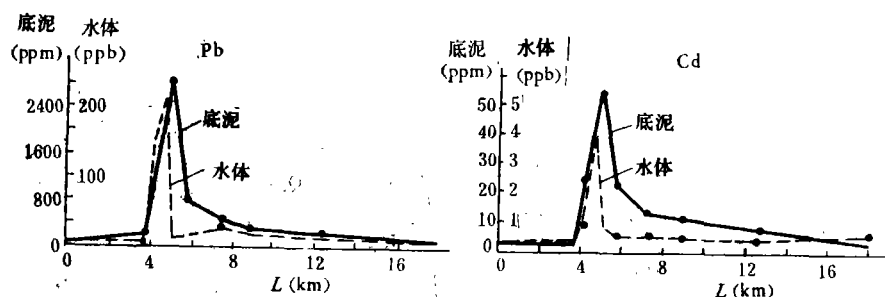


图 6 右岸岸边底泥和水体中 Pb、Cd 含量沿程变化曲线

Pb 为例,底泥中的最大值 2900.0(ppm),水体中最大值为 206(ppb),底泥是水体中含量的 14,000 倍。

(2) 在湘江平水期的水文条件下,霞湾港以下 1000 米以内为重金属主要吸附沉降区,沉降范围大致在 14 公里以内,因为监测断面 VIII 底泥和水体中的含量均已接近于上游对照断面 I 和 II 的含量。

河流稀释自净能力的研究,是目前水源保护工作迫切需要解决的问题,因为河流纳污量的计算,排放标准的制定,水质评价和区域性水质规划都和河流的稀释自净能力密切相关。本课题试图通过废水污染带的调查研究河流稀释自净能力的物理过程,以上仅是我们第一阶段的工作。