

四川名山县五里公社发育于老冲积母质上的白鲢泥,其利用方式为水旱轮作。耕作层土壤中含镉的测定结果见表 3。

由表 3 可见:施用过磷酸钙在土壤耕作层中其含镉量经过 10 年以后只增加 0.0012 ppm; 经过 15 年以后只增加 0.0017 ppm。由此可见因施用磷肥而使镉在土壤中积累的数量是极微的。

1983 年我室对四川省农业科学院土壤肥料研究所在成都、双流、广汉进行磷肥定点试验所采集的土样*,作了镉的测定。(表 4)

以上结果表明,不同磷肥施用量,对耕作层土壤中镉的积累,并无明显的差异,且所得数据亦缺乏规律性。

从表 3、表 4 的结果,可以认为上述四县施用磷肥的农田、目前耕作层土壤中的含镉水平为 0.025—0.089 ppm,属于正常土壤的含镉水平^[4],均未污染。

结 论

本试验对四川省的部分磷矿石、过磷酸钙以及磷肥试验地的土壤进行了含镉量的调查研究。根据一系列的测定结果,初步推断在农业生产中长期、重施上述磷肥,不会引起土壤的镉污染。但为了安全起见,仍应在较大范围内对磷肥及土壤进行监测。

参 考 文 献

- [1] Sauerbeck, D., *Landbauforschung Volkenrode*, 32(4), 192—197(1982).
- [2] Williams, C. H. et al., *Soil Sci.*, 121(2), 86—93(1976).
- [3] Mulla, D. J. et al., *J. Environ. Qual.*, 9 (3) 408—412 (1980).
- [4] 中国科学院南京土壤研究所微量元素组,《土壤和植物中微量元素分析方法》, p. 200, 科学出版社, 1979.

* 四川农科院土肥所朱钟麟同志为我室提供了土样,特此致谢。

东 河 的 示 踪 试 验

屠 显 章

(冶金部勘察总公司)

在甘肃省有色金属总公司厂坝铅锌矿的环境影响评价工作中,为了预测厂坝铅锌矿投产后所排放的工业废水对东河的环境影响,我们于1983年5月在东河分别用食盐和罗丹明 B 进行了示踪试验。通过试验基本查明了排放废水在东河中的稀释扩散过程及其影响范围,并计算了扩散系数,为后来进行的水团追踪试验和水质预测提供了必要的的数据。

一、东河的情况

东河(又名长丰河、青源河)是嘉陵江的一条支流,它发源于甘肃省天水县娘娘坝,由

北向南贯穿成县,在陕西省略阳县何家堰汇入嘉陵江,全长 100 多公里。其水文特征和理化性质见表 1。

二、试验方法

1. 断面的布置

为了模拟厂坝铅锌矿投产后工业废水对东河水体的污染影响,本次试验以未来的排污口——漆家沟作为试验的投放断面(零断面),沿河布置了 50、100、200、400、1150、3000 和 5000 米七个监测断面(编号为 I—VII),其位置详见图 1。

表 1 东河的主要水文特征和理化性质

水文特征	年平均流量(m ³ /s)	9.34
	月平均流量(m ³ /s)	枯水期(2月) 1.84
		丰水期(9月) 17.43
	最小日平均流量(m ³ /s)	1.35
	实测最小流量(m ³ /s)	0.24 (74.7.20)
	实测最大流量(m ³ /s)	1300 (64.7.21)
	年平均含沙量(kg/m ³)	5.34
理化性质	pH 值	7.5—8.82
	DO (mg/l)	8.60—11.40
	BOD (mg/l)	0.40—0.75
	硬度(德国度)	7.3—11.38
	水质化学类型	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺ 型水
	离子总量 (mg/l)	213—277

2. 示踪剂的选择和投放方式

目前,常用的示踪剂有盐类(如 NaCl、CaCl₂)、染料(如萤光素、罗丹明)以及放射性同位素(如氚、碘-131)等。本次试验采用的示踪剂为:食盐(NaCl)和罗丹明B(C₂₈H₃₁ClN₂O₃)。

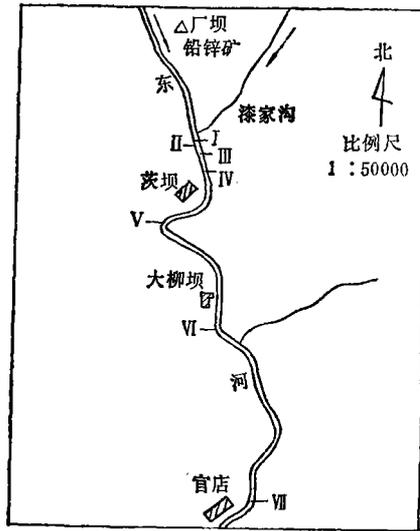


图 1 监测断面位置图

试验时把预先配制好的示踪剂溶液在零断面岸边瞬时投放,为了取得污染物的浓度、河水与污水的体积之比对扩散混合影响的数据,每种示踪剂都按不同的剂量分别作对比试验。各次试验的示踪剂投放情况见表 2。

3. 采样和分析方法

由于是瞬时投放,各断面的示踪剂浓度是随着时间和空间而变化。为了获得这方面的资料,我们在 I—V 断面各设左、中、右三个采样点,VI、VII 断面设一个采样点。同一断面的几个采样点在规定时间内同步采样。

各断面的采样时间间隔是根据示踪剂通过每个断面的时间确定的,具体采样时间

表 2 示踪剂投放情况

试验时间	采用的示踪剂	投放次序	示踪剂的投放			实测的东河流量 Q(m ³ /s)	V/Q
			数量	体积 V(l)	浓度 (g/l)		
5月5日	食盐	1	30kg	240	125	3.5	1/15
		2	15kg	240	62.5	3.5	1/15
5月6日	罗丹明 B	1	240g	240	1	3.5	1/15
		2	120g	120	1	3.5	1/30

表 3 各断面样品采样时间(min)

	样品号	1	2	3	4	5	6	7	8
	断面号								
氯 离 子 示 踪 试 验	I	试验开始前	开始后 $1\frac{1}{3}$	3	5	8	13		
	II	试验开始前	2.5	4	6	9	14		
	III	试验开始前	4.5	6	8	11	16		
	IV	试验开始前	8.5	10	12	16	22		
	V	试验开始前	30	32	34	38	44		
	VI	试验开始前	75	78	83	89	95		
	VII	试验开始前	120	125	130	135	145		
罗 丹 明 B 示 踪 试 验	I	开始后 $1\frac{1}{6}$	2	3	4	5	7	11	15
	II	$2\frac{1}{6}$	3	4	5	6	8	12	16
	III	$4\frac{1}{3}$	5	6	7	8	10	14	19
	IV	$8\frac{1}{3}$	9	10	12	16	20	27	
	V	30	32	35	40	50	60	70	
	VI	75	80	85	95	110	120		
	VII	120	125	130	140	150	185		

列于表 3。

为了保证试验数据的精度,每次试验前各断面均采本底样品 1 个。

氯离子用硝酸银滴定法在现场直接测定;

罗丹明 B 用 72 型分光光度计和比色法测定。

各次试验的分析结果列入表 4、5 中。

三、试验结果的分析研究

1. 示踪剂的分布形态

从断面的浓度过程曲线(如图 2、3 所示)

和沿程的浓度变化曲线(图 4、5)可以看出:示踪剂在东河中是偏态分布;氯离子和罗丹明 B 的浓度沿河都呈指数规律递减。根据它们的分布曲线,我们采用分指数函数 $y = ae^{\frac{b}{x}}$ 和负指数函数 $y = ae^{-bx}$ 分别予以描述。

$$y = ae^{\frac{b}{x}}$$

$$\text{氯 1 } y = 11.623e^{\frac{134.9}{x}}, r = -0.93;$$

$$2 y = 9.479e^{\frac{108.2}{x}}, r = -0.95;$$

$$\text{罗 1 } y = 0.0549e^{\frac{226.1}{x}}, r = -0.86;$$

$$2 y = 0.036e^{\frac{229}{x}}, r = -0.85;$$

表 4 氯离子示踪试验时各断面的测定值 (单位: mg/l)

断面号	样品号	第一次投放							第二次投放						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
I	左	5.32	7.09	332.34	57.61	8.69	5.32		5.32	5.32	181.34	37.22	7.62	5.85	
	中	5.32	11.52	5.32	5.32	5.32	5.32		8.86	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32	
	右	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32		5.32	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32	
	平均	5.32	7.98	114.33	23.04	6.74	5.32		6.50	64.99	15.95	6.09	5.50		
II	左	5.32	6.20	203.84	83.31	15.95	5.32		6.20	104.58	46.97	12.41	5.32		
	中	5.32	9.75	7.09	5.32	5.32	5.32		6.20	5.32	5.32	5.32	5.32		
	右	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32		5.32	5.32	5.32	5.32	5.32		
	平均	5.32	7.09	72.09	31.32	8.86	5.32		5.91	38.41	19.20	7.68	5.32		
III	左	5.32	5.32	14.18	123.37	63.81	10.64		5.32	8.86	63.81	34.56	7.98		
	中	5.32	22.16	15.95	6.20	5.32	5.32		12.41	14.18	5.32	5.32	5.32		
	右	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32		5.32	5.32	5.32	5.32	5.32		
	平均	5.32	10.93	11.82	44.96	24.82	7.09		7.68	9.45	24.82	15.07	6.21		
IV	左	6.20	7.09	23.04	26.59	28.36	10.64		7.09	8.86	17.73	18.61	8.86		
	中	7.09	10.64	10.64	12.41	7.09	7.09		8.86	14.18	10.64	7.09	7.09		
	右	6.20	7.98	8.86	5.32	5.32	5.32		7.09	7.09	5.32	7.09	7.09		
	平均	6.50	8.57	14.18	14.77	13.59	7.68		7.68	10.04	11.23	10.93	7.68		
V	左	6.20	7.09	7.98	8.87	10.64	10.64		7.09	7.98	7.98	8.87	7.98		
	中	7.09	7.98	10.64	10.64	11.52	10.64		7.98	8.87	8.97	7.98	6.20		
	右	5.32	7.98	8.97	8.97	10.64	10.64		6.20	7.98	7.98	8.97	7.09		
	平均	6.20	7.68	9.20	9.47	10.93	10.64		7.68	8.28	8.31	8.61	7.09		
VI		6.20	8.86	8.86	10.64	9.75	8.86		6.20	7.09	7.98	7.09			
VII		7.09	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86		7.09	7.09	7.09	7.09			

表 5 罗丹明示踪试验时各断面的测定值 (单位: mg/l)

断面号	样品号	第一次投 放								第二次投 放								
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	左	0.00	5.2	7.2	2.4	1.6	0.2	0.03	0.00	0.00	0.00	5.2	2.4	0.6	0.2	0.00	0.00	0.00
	中	0.4	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	右	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	平均	0.133	1.767	2.4	0.8	0.533	0.067	0.01	0.00	0.00	1.8	0.8	0.2	0.067	0.00	0.00	0.00	0.00
II	左	0.00	0.55	3.2	2.8	2.0	0.50	0.6	0.00	0.00	0.15	1.8	1.3	1.0	0.3	0.05	0.02	
	中	0.03	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	右	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	平均	0.01	0.223	1.073	0.933	0.667	0.167	0.2	0.00	0.06	0.6	0.433	0.1	0.333	0.1	0.017	0.07	
III	左	0.00	0.05	0.5	1.6	0.22	1.2	0.2	0.00	0.00	0.05	0.4	0.1	1.2	0.5	0.12	0.00	
	中	0.2	0.5	0.5	0.3	0.15	0.00	0.00	0.00	0.4	0.3	0.2	0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	
	右	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	平均	0.067	0.183	0.333	0.633	0.783	0.4	0.067	0.00	0.15	0.233	0.1	0.567	0.167	0.04	0.00	0.00	
IV	左	0.00	0.00	0.05	0.3	0.4	0.25	0.00		0.00	0.00	0.03	0.2	0.2	0.18	0.06		
	中	0.03	0.05	0.2	0.15		0.00	0.00		0.03	0.1	0.08	0.02	0.02	0.00	0.00		
	右	0.01	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	平均	0.013	0.023	0.1	0.153	0.133	0.083	0.00		0.01	0.043	0.093	0.073	0.06	0.02			
V	左	0.00	0.01	0.06	0.1	0.025	0.02	0.00		0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01			
	中	0.00	0.05	0.06	0.035	0.01	0.06	0.00		0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00			
	右	0.00	0.01	0.02	0.035	0.05	0.01	0.00		0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00			
	平均	0.00	0.023	0.047	0.057	0.028	0.03	0.00		0.03	0.017	0.027	0.01	0.01	0.00			
	VI	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
	VII	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				

注: 仪器的检出极限为 0.01mg/l, 故表内的 0.00 即表示为 <0.01.

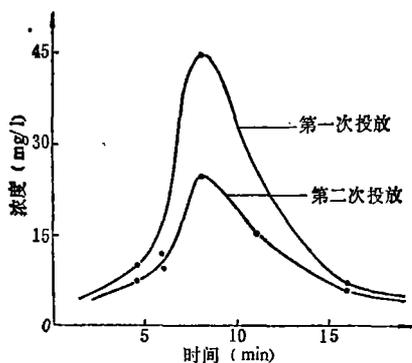


图 2 III 断面氯离子浓度变化曲线

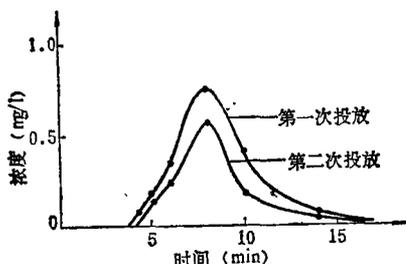


图 3 III 断面罗丹明 B 浓度变化曲线

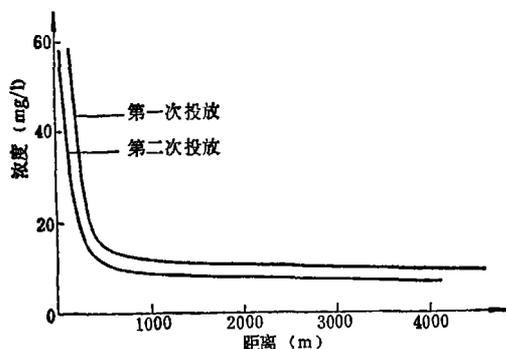


图 4 氯离子浓度沿程变化曲线

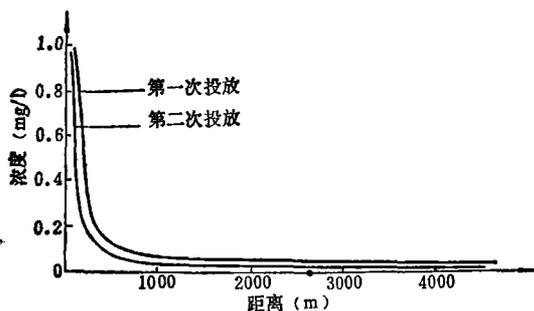


图 5 罗丹明 B 浓度沿程变化曲线

$$y = ae^{-bx}$$

氯 1 $y = 42.93e^{-0.00039x}$, $r = -0.72$;

2 $y = 29.8e^{-0.00054x}$, $r = -0.72$;

罗 1 $y = 0.629e^{-0.00083x}$, $r = -0.83$;

2 $y = 0.551e^{-0.00153x}$, $r = -0.87$

式中: y ——示踪剂的浓度(mg/l);

x ——距零断面的距离(m);

r ——相关系数

根据相关系数 r 绝对值的大小, 我们认为用上述两种函数来描述示踪剂在东河中的分布, 其精度都能达到要求, 但相比之下, 用函数 $y = ae^{\frac{b}{x}}$ 来描述示踪剂的浓度变化, 精度更高些。

2. 东河水体稀释过程的研究

东河厂坝段属于山区湍流河道, 厂坝铅锌矿投产后, 工业废水采用岸边排放的方式, 最大排放量可达 10^4 t/day, 而东河枯水期的最小日平均流量约为 10^5 t/day。为了取得完全可靠的试验结果, 在试验方案中我们设计了 1:10、1:15、1:20 三种流量比的混合稀释试验。但由于试验期间东河的流量较大, 达 $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (约 3×10^5 t/day), 1:10 的混合稀释试验未能进行, 只作了 1:15、1:30 两组试验。

根据取得的试验数据和罗丹明 B 示踪剂试验时的现场实际观察, 我们认为影响东河混合稀释的主要因素是河道的水文特征, 而废水流量与河水流量之比对混合稀释的影响并不明显。

3. 扩散系数的计算

河流的扩散能力主要取决于扩散系数。由于东河是一条山区中小河流, 厂坝段河宽一般不超过 20 米, 水深仅在 0.5 米左右, 因此我们对东河主要考虑一维(纵向)的扩散问题。

河流的一维扩散方程为:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = K_x \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} \quad (1)$$

对于瞬时点源污染, 该方程的解为:

表 6 V 断面 $K_x = 20\text{m}^2/\text{s}$ 时的试算结果

样品号	1	2	3	4	5	6	7
计算值 (mg/l)	0.045	0.053	0.059	0.055	0.028	0.009	0
实测值 (mg/l)	0.00	0.023	0.047	0.057	0.028	0.03	0
误 差		+0.030	+0.012	-0.002	0	-0.021	0
相对误差		130%	26%	4%	0	70%	0

表 7 IV 断面 $K_x = 20\text{m}^2/\text{s}$ 时的算法验证

样品号	1	2	3	4	5	6	7
计算值 (mg/l)	0.074	0.085	0.097	0.104	0.092	0.052	0.018
实测值 (mg/l)	0.013	0.023	0.1	0.153	0.13	0.083	0.00
误 差	+0.061	+0.062	-0.003	-0.049	-0.038	-0.031	
相对误差	469%	270%	3%	32%	29%	37%	

表 8 VI 断面 $K_x = 20\text{m}^2/\text{s}$ 时的算法验证

样品号	1	2	3	4	5	6	7
计算值 (mg/l)	0.014	0.024	0.036	0.050	0.037	0.021	0.014
实测值 (mg/l)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
误 差	+0.004	+0.004	+0.006	+0.02			
相对误差	40%	20%	20%	67%			

表 9 VII 断面 $K_x = 20\text{m}^2/\text{s}$ 时的算法验证

样品号	1	2	3	4	5	6	7
计算值 (mg/l)	0.001	0.003	0.006	0.014	0.025	0.030	0.022
实测值 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	
误 差	0*	0	0	+0.004	+0.005		
相对误差	0	0	0	40%	25%		

* 注: 如前所述, 仪器的检出下限为 0.01, 0.00 即为 <0.01 。计算值 $0.001 < 0.01$, 故作没有误差处理。

$$\bar{C}(x, t) = \frac{m}{A \sqrt{4\pi K_x t}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{u}t)^2}{4K_x t} \right] \quad (2)$$

式中： \bar{C} ——离投放点 x 米处的示踪剂浓度，
它随时间 t 变化(mg/l)；

m ——示踪剂的投放量(g)；

A ——河流横断面的面积(m^2)；

K_x ——纵向扩散系数(m^2/s)；

\bar{u} ——平均流速(m/s)

我们把 V 断面作为试算断面，来计算罗丹明 B 第 1 次试验时的浓度变化。则公式(2)中的有关参数分别为： $x = 1150m$, $A = 5.41m^2$, $m = 240g$, $\bar{u} = 0.509m/s$ ，试验时共采样 7 次，其时间 t 分别为 1800、1920、2100、2400、3000、3600 和 4200s。通过试算求得 $K_x = 20m^2/s$ 。下面将 $K_x = 20m^2/s$ 时的计算值与示踪试验时的实测值分别列入表 6。

从表 6 可以看出，大部分样品的计算值与实测值是接近的，误差在允许范围内。把各计算值点绘成浓度过程曲线，并与试验时的实测过程线相对比。从图 6 可以看到两条曲线是很接近的。

然后，把求得的 K_x 值代入到其他断面验证。下面将 IV、VI、VII 断面的验证情况分别列入表 7、8、9。

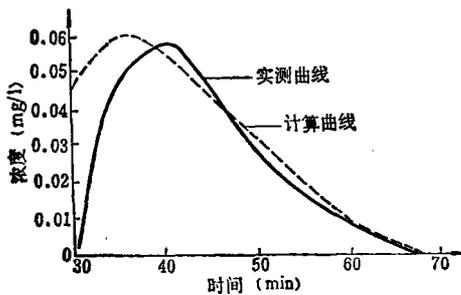


图 6 V 断面实测和计算的浓度过程曲线

各断面的验证结果表明，计算值与试验时的实测值是很相近的，说明取 $K_x = 20m^2/s$ 是比较符合东河的实际情况。

考虑到东河中氯离子本底为 5—7 mg/l，且示踪试验采用的是普通食盐，含有一定数量的杂质，因此扩散系数的计算没有用氯离子来验证。

四、结 语

通过这次试验可以得出以下结论：

1. 示踪剂在东河中呈偏态分布，沿程的浓度变化可用指数函数来描述。

2. 试验表明，东河在接纳厂坝铅锌矿的工业废水后，经混合稀释在官店村附近就能恢复到地面水标准（按东河的最小日平均流量 $1.35m^3/s$ ，厂坝铅锌矿的废水最大排放量 $10^4t/day$ 计算）。受污染的河道主要有 5km，其中漆家沟—茨坝段左岸污染较为严重，希望厂坝铅锌矿及当地政府应给予重视并采取相应的对策。

3. 通过试验求得东河的纵向扩散系数 $K_x = 20m^2/s$ 。经多个断面实测数据的验证，该计算是适用的。

本项试验工作是在北京大学关伯仁副教授的指导下进行的，参加试验工作的还有刘学敏、冯元章、周建新、王泽斌等同志，谨在此致谢。

参 考 文 献

[1] 张晓健,环境科学,2(6),52—59(1981).
[2] 高维真,水质污染与预报,66—67页,华东水利学院环境水利科研所,1981年.