

后, 4 小时内累计释放量为 4.56%。

根据上述试验结果,  $^{18}\text{F}$  在鱼体内的行为可用下图表示:

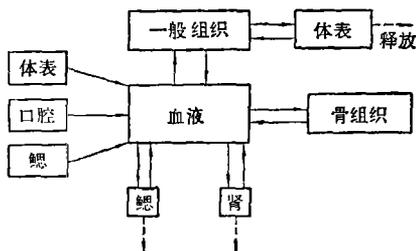


图 1  $^{18}\text{F}$  在鱼体内的行为示意图

### 三、结 论

1. 罗非鱼通过鳃、体表和消化道等途径可摄入水中的  $^{18}\text{F}$ 。试验表明  $^{18}\text{F}$  进入鱼体除通过体表外, 鳃和消化道也是重要的摄入途径。

2.  $^{18}\text{F}$  被摄入鱼体后, 经血液迅速转运, 分布到全身。由于组织结构、功能、生理状态

等差异, 不同部位的骨骼和软组织间的含氟量也有差异。鳞中的  $^{18}\text{F}$  含量最高, 骨质组织如鳃盖骨、脊椎骨、头顶骨等呈明显累积。肝、肾、胃、心等脏器次之, 可食用部分肉、脂肪最低。

3. 鱼具有释放体内  $^{18}\text{F}$  的能力, 鳃、肾的释放能力最强, 体表次之。摄入量高的, 释放量大、释放速度快。释放速度起初较快, 随着时间的延长逐渐降低。

### 参 考 文 献

- [1] 丁俊清, 中国环境科学, 1, 77(1981).
- [2] Marier, J. R., *Sci. Total Environ.* 8, 253 (1977).
- [3] Spencer, H. et al., *Sci. Total Environ.* 17, 1 (1981).
- [4] Cooper, P. et al., *Toxicol.* 17, 87. (1979).
- [5] Carlson, C. H. et al., *Am. J. Physiol.*, 198, 829 (1960).
- [6] Carlson, C. H. et al., *Proc. Soc. Exp. Biol. Mod.* 102, 235 (1960).
- [7] Hosking, D. J. et al., *Clin. Sci.* 42, 153 (1972).

## 蓟运河下游含汞底泥水力迁移作用的研究

林玉环 康德梦

(中国科学院环境化学研究所)

本文从研究蓟运河下游汞污染底泥的水力迁移作用, 探讨汞污染底泥在水力作用下的消散规律, 寻求一条通过水力作用达到减轻和消除污染的途径。

对于象汞这样的重金属污染河流, 如何利用自然的有利因素, 使污染物在迁移、转化过程中由集中变分散, 由高毒、大危害的化学形态转变为低毒、低危害的化学形态, 在环境容量允许的范围内, 达到防治的目的, 这是一个正在研究的课题。

蓟运河是一水库式的河道, 它在入海口附近建有防潮大闸。在洪水期, 闸门开启, 让洪水进入渤海湾。大闸水文站在开闸期间, 要进行流量、输沙量测量。本文以大闸作为控制断面, 收集悬移泥沙样品, 进行含汞量的测量, 并利用洪水期监测数据, 进行水力迁移量的计算, 确定蓟运河下游底质中历年迁移入海的汞量。其次, 根据河流流速的实际测量, 和历年流量和含沙量的资料, 研究了含汞底泥的悬沙规律, 考察了蓟运河下游汉沽河

段的水力迁移作用。

### 一、悬移泥沙携带汞入海总量的计算

排入蓟运河的含汞废渣废水，很快沉积在河床底泥中，若要进行空间迁移，必须借助河水的冲刷，由泥沙挟带运动。一般河流泥沙的运动分为悬移和推移两部分，但作为平原河流，淤泥质沉积物在输沙运动中，推移质泥沙含量仅占总输沙量的 10% 以下，悬移质占 90% 以上。因此，本文仅考虑悬移作用。

悬移泥沙的收集按照水文操作进行（由大闸水文站提供），与输沙量的测定同时进行，沙样中汞含量的测定采用 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和王水同时消解，在 80℃ 水浴上消化 4 小时，后用 2N HNO<sub>3</sub> 提取滤液，用 F732 测汞仪测量总汞。

所收集的沙样由 1977—1982 年共 300 多个，1978, 1979 两年沙样多，采用抽样分析方法，并考虑潮汐的影响，进行全潮样品的分析，以便将两者结果进行对比，所得结果列于表 1。

由表 1 可以看出，由于潮水的顶托，在一个整潮的时间内，含沙量在变化，沙中含汞量也在变化，其随机平均值与抽样检查的平均值接近。由于含沙量的计算，是采取平均值，故本文也采用全月平均值进行计算，以使两者吻合。逐月计算所得结果见表 2。

表 1 全潮样品分析结果 (1978.8.20)

采样时间	7:10	9:00	11:00	12:20	14:00	平均
流量 (米 <sup>3</sup> /秒)	528	426	605	594	463	523
含沙量 (公斤/米 <sup>3</sup> )	0.010	0.068	0.085	0.100	0.126	0.078
沙样含汞浓度 (ppm)	28.01	27.81	16.91	31.70	24.36	25.76

注：1978 年 8 月份所采 17 个样品平均值为 35.80 (ppm)，全年 42 个样品平均值为 28.36ppm。

由表 2 可以看出，蓟运河七年中通过防潮闸进入渤海湾的泥沙总量为 60.26 万吨，带入渤海湾的汞约 17 吨。平均每年 2.43 吨。蓟运河悬沙量并不高，它的平均含沙量，几年实测结果都小于 350 毫克/升。1978 年河水流量较大 (20.6 亿米<sup>3</sup>)，挟带的泥沙量也大，因此，由泥沙挟带的汞入海量也大。但是，一般情况下，蓟运河年平均流量 (汛期) 为 11.4 亿米<sup>3</sup> 左右，其悬沙量约为 10 万吨。按目前数据推算由泥沙挟带的汞量每年约为 2 吨左右。

### 二、通过河水进入渤海湾的汞量计算

进入渤海湾的汞，除了考虑以悬移泥沙方式进入的量外，尚需考虑河水带入的量。洪水期中汞的浓度由监测数据计算。为了校正监测结果，与 1982 年同步采样的值进行了

表 2 悬移质沙带人海的汞量

年 分	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	合 计
悬沙量(万吨)	(10.0)	(12.5)*	25.9	11.4	无径流	0.099	0.661	60.26
检测次数	0	1	42	40	0	7	12	
沙样含汞量范围 (ppm)	0	31.60	18.50 —35.80	8.62 —26.76	0	2.57 —5.87	3.79 —19.20	
平均浓度(ppm)	28.36**	28.36**	28.36	19.77	0	4.47	7.58	
入海汞量(吨)	2.83	3.54	7.65	2.92	0	0.0045	0.05	17.00

\* 1977 年悬沙量，按 1978, 1979 二年实测值估计河床淤积量为来量 32% 计算的值。

\*\* 1976 年无监测值，取 1978 年值，1977 年为一次监测值，供参考。借用 1978 年监测值。

对比, 所得结果列于表 3。表 3 的数据说明, 监测值与采样值之间偏差甚少, 所以应用监测数据计算的结果, 其误差是允许的。

表 3 水中汞浓度实测值与监测值对比 (1982.9.)

实 测 浓 度		监测浓度(ppb)
次 数	浓度 (ppb)	
1	0.144	
2	0.090	
3	0.087	
4	0.096	
5	0.111	
6	0.123	
7	0.117	
8	0.054	
9	0.090	
10	0.102	
11	0.474	
12	0.180	
13	0.249	
14	0.192	
15	0.318	
16	0.129	
平均值	0.16	0.14

注: 1. 1982年9月开闸16次, 每次开闸采水样2升, 加保护剂带回实验室测量结果。  
2. 监测值9月份为汉沽监测站的结果。

根据流量和监测(每月四次)值进行逐月计算, 所得结果列于表 4。表 4 所列浓度是一个范围。洪水期浓度一般低于枯水期 2—5 倍, 这是正常的。蓟运河流量分布是不均匀的, 1977, 1978 两年流量都在 20 亿米<sup>3</sup>左右, 1980 年断流无水。1981 年、1982 年流量很小。根据水文资料分析, 蓟运河水量周期约为 10 年左右。流量的 10 年平均值为 11.4 亿米<sup>3</sup>。

由表 2 和 4 可知, 蓟运河自 1976 年至 1982 年, 由于悬移泥沙和河水携带入海的汞近 20 吨。平均每年入海汞量为 2.89 吨。

从上述数据可以得出, 入海汞量主要是以悬移输沙方式进入渤海的, 悬移入海量占总入海量的 87%, 河水携带占入海量的 13%。

### 三、农田灌溉用水带走的汞量

蓟运河下游自防潮闸修建以后, 即变成一个水库, 在枯水季节, 两岸农田主要靠河水灌溉, 这几年由于污染程度缓和, 河水盐度下降, 下游泵站迅速发展, 农田用水量大增, 但因未采取预防措施, 使大量含泥的水直接由

表 4 河水带人海的汞量

年 份	1976	1977	1978	1979	1981	1982	合计
入海流量(亿米 <sup>3</sup> )	8.10	20.10	20.60	15.93	0.19	1.58	66.50
河水汞浓度 (ppb)	0.50*	0.28 -0.88	0.37 -0.61	0.66 -0.32	0.10 -0.53	0.05 -0.47	
入海汞量(公斤)	404.8	738.64	815.71	886.78	26.98	25.30	2898.21

注: 1980 年无逢流, 故不列出。

\* 1976 年无监测浓度, 借用 1977 年结果。

表 5 农田灌溉带走的汞量

年 份	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	合计
引水量(亿米 <sup>3</sup> )	0.772	0.587	0.474	6.70*	4.45	0.54	0.639	14.16
水汞浓度 (ppb)	1.75	3.10	2.40	1.20	0.70	1.08	0.80	
引出汞量(公斤)	135.0	182.0	114.0	804.0	288.0	58.32	51.19	1523

\* 1979 年引出水量为入流量与入海量之差。

河床引出，造成一部分汞转入农田。根据历年引水量和汉沽河段枯水期的监测数据，估算这部分汞的损失量(表 5)。

由表 5 可看出，这部分汞的损失量是较少的。但由于这部分汞直接进入农田生态系统，参加陆生生态系统的循环，其危害性是比较大的。

综上所述，在 1976—1982 年期间，蓟运河下游底泥中的汞，因各种水力迁移作用，已减少约 21.42 吨。这一结果与由空间分布计算的结果一致。在上述分析中，忽略了水面大气的交换量和鱼等生物的迁移量，据报道<sup>[1]</sup>，这部分迁移量占总迁移量的极少部分，不足以引起上述宏观估计的明显偏差。因此，蓟运河下游底泥中的汞污染在时间和空间上的明显变化，可以认为，其主要原因是水力迁移作用，其中又以悬移质迁移为主。所以，可以得出结论，象汞这类重金属污染的河流，底泥中污染浓度的降低，起决定作用的是底泥的悬移作用。就蓟运河而言，主要是河流迳流挟带汞污染底泥往渤海的迁移。

产生这种现象的原因，就是汞污染物(不论废水或废渣)排入河流以后，很容易被底泥和水体悬浮物所吸附，尤其是含有机质的土壤和底泥吸附作用更强，而且这种吸附相当牢固，很难为别的物质所解脱。因此，一旦汞污染物沉积河底，它的迁移就与底泥相联系，在河流中，主要表现为河流底泥的悬移作用。

#### 四、蓟运河下游泥沙悬移运动规律

根据前面的分析，证明底泥中汞污染浓度的变化主要是河流底泥的悬移作用。因此，研究泥沙的悬移对底泥汞的迁移就有特殊重要的意义。

下面根据大闸水文资料和汉沽段河流流速的实际测量，反算几年的输沙资料，来探讨蓟运河下游汉沽河段的泥沙迁移规律。

由参考文献[2]可知，水中的饱和含沙量为：

$$S = K(U^3/gRW)^m \quad (1)$$

式中， $S$ ——饱和含沙量(公斤/米<sup>3</sup>)；

$U$ ——河流断面平均流速(米/秒)；

$g$ ——重力加速度(9.8 公斤/米·秒<sup>2</sup>)；

$R$ ——河流断面的水力半径(米)；

$W$ ——河流泥沙静态沉速(米/秒)。

本工作选择的断面是大闸缆道以上 100 米断面(图 1)。流速可根据大闸瞬时流量及大闸水文资料计算，含沙量是大闸水文测量的瞬时含沙量，河流泥沙的静态沉速由实验测定，平均为  $0.059 \times 10^{-2}$  米/秒。由 1978, 1979, 1982 三年的数据，计算的结果如图 2 所示。

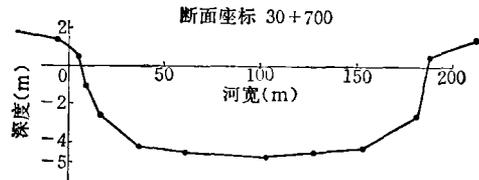


图 1 蓟运河大闸缆道上 100 米处河床断面

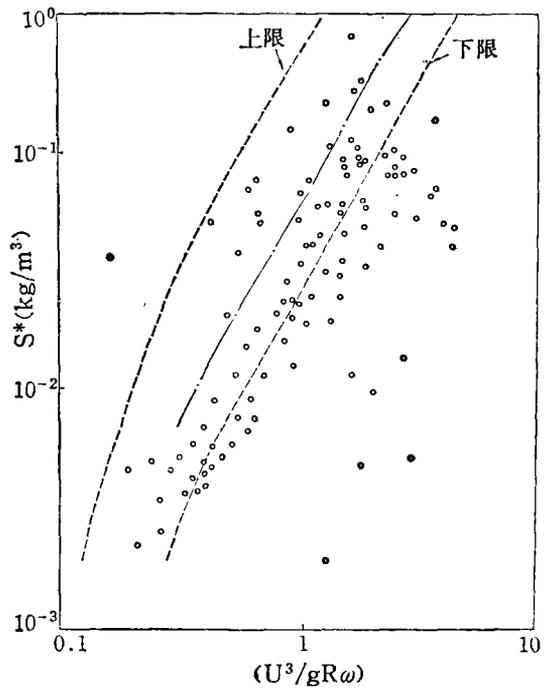


图 2 蓟运河下游悬移泥沙含量  $S - (U^3/gR\omega)$  关系图

——长江、黄河、青铜峡、三门峡及室内试验给出的分布带  
 - - - - - 平均值 ○ 蓟运河数据点

图 2 表明, 蓟运河水流挟沙能力是比较低的, 它的大部分点都落在平均值以下, 有些点偏离甚远。原因是蓟运河下游为平原老年河道, 弯曲程度比较大, 水流平缓, 有大闸阻拦, 水流阻力大, 致使水流挟沙能力明显下降。再加上流量完全人工控制, 水量小, 流速低, 当流速接近临界起动流速时, 含沙量极小, 故有些点偏离甚远。

由图 2 可求得蓟运河下游水流挟沙能力的公式为

$$S = 0.00134(U^3/gRW)^{1.47} \quad (2)$$

应用此式即可求出各种流速的含沙量。同时也可阐明流速对底泥迁移的影响。

长江荆江河段和黄河干流河段的饱和输沙公式为<sup>[2]</sup>:

$$S_1 = 0.07 \left( \frac{U^3}{gRW} \right)^{1.14} \quad \text{长江荆江段} \quad (3)$$

$$S_2 = 0.22 \left( \frac{U^3}{gRW} \right)^{0.76} \quad \text{黄河干流段} \quad (4)$$

由式(2), (3)和(4)可以看出, 式(2)的K值远小于式(3)和(4), 说明蓟运河的水流挟沙能力远小于长江荆江段和黄河干流段。通常情况下, 黄河的饱和含沙量为几公斤/米<sup>3</sup>量级, 长江为零点几公斤/米<sup>3</sup>, 而蓟运河为零点零几公斤/米<sup>3</sup>。但是式(2)的m值远大于式(3)和(4), 说明蓟运河的挟沙能力在很大程度上依赖于河流流速。若开闸水位和河道水力半径不变, 这段河床底泥粒度变化不大, 从而静态沉速也无明显变化, 则(2)可简化为:

$$S = 0.0424U^{4.41} \quad (5)$$

因此, 在迳流量不变的情况下, 提高流速, 将大大提高水流挟沙能力, 加速含汞底泥向下游迁移, 提高河流的自净效果。

通过上述分析, 表明蓟运河含汞底泥的迁移作用, 主要是由河流泥沙悬移规律决定的。因此, 只要加快底泥的迁移速度, 充分利用现有水力资源, 充分调动河流的有利因素, 就可以提高河水的冲刷力, 提高河流的自净效果。目前, 渤海湾北塘口广大水域底泥汞的含量在环境本底值以下, 生物效应并不明显。因此, 只要在渤海湾环境容量(渤海湾对汞的容量每年为 2.25 吨)允许的情况下, 在其他相应措施(如切断污染源, 和局部挖出高汞底泥)的配合下, 充分发挥河流的迁移能力, 将为合理防治蓟运河底泥汞污染提供一条途径。

## 五、小 结

通过二年多蓟运河水体水力迁移作用的研究, 可得出如下结论:

(1) 蓟运河下游含汞底泥是有一定迁移能力的, 七年来, 平均每年通过底泥悬移进入渤海湾的汞为 2.84 吨, 七年共 20 吨左右。

(2) 蓟运河入海汞主要是悬移泥沙挟带人海。其悬移作用由泥沙悬移方程(2)控制。底泥运动主要决定于河流冲刷速度。蓟运河年平均洪水期迳流量为 11.4 亿米<sup>3</sup>, 若能充分利用, 提高河流流速, 则可提高河流的输送能力, 提高底泥净化效果, 为治理提供途径。

本文在研究中, 得到蓟运河大闸水文站和天津汉沽区环境监测站大力协助, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 唐以剑、章申, 环境科学丛刊, 5(2), 1(1984).
- [2] 武汉水利学院, 泥沙工程学, 水利出版社, 1981年.