

(3) 水质监测数据的可用性

在目前的河流水质监测中, 取样次数少且在时间上不连续是很常见的现象. 这种监测方式不可避免地会在水质数据中引入一些偶然性. 因此以这些数据为基础的参数估计也必然会带有某种程度的不确定性.

目前, 河流水质模型参数估计方法的主要研究课题就是设法减少这些不确定性. 这固然可以通过改善监测方式, 使用更先进的监测仪器来部分解决, 但更主要的是设法发展一些适合水质监测数据特点的新参数估计方法.

参 考 文 献

[1] Koivo, A. J. and Phillips, G. R., *Water Re-*

sour. Res., 7(4), 853—962 (1972).

[2] Koivo, H. N. and Koivo, A. J., *Proc.*, 3rd IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, The Hague, pp. 12—15, June 1973.

[3] Rinaldi, S. et al., *Proc.*, 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR, 1976.

[4] Shastry, J. S., Fan, L. T. and Erickson, L. E., *Jour. Env. Eng. Div., A. S. C. E.*, 99(EE3), 315—331 (1973).

[5] Rinaldi, S. et al., *Parameter Estimation of Streeter-Phelips Models*, Centro Teoria dei Sistemi, C. N. R., Milano, Italy, 1979.

[6] Dobbins, W. E., *Jour. San. Eng. Div. A. S. C. E.*, 90(SA3), Proc. Paper 3949, 53—78 (1964).

[7] 侯然杰等, *环境科学学报*, 1 (2), 166—167 (1981).

热污染的影响及其预测预报

万 肇 忠

(广东省环境保护研究所)

一、前 言

把温度上升了的冷却循环水直接排放到环境水圈中时, 就称为温排水. 当有高于环境水体温度 4℃ 以上的热废水持续流入时, 就可以认为该水体受到了热污染.

当工矿企业把热废水(或温排水, 下同)直接排放到水体时, 其能量就以热的形式加到水体中去, 使得该水体的水温比周围水体的温度要高些. 如果仅考虑热废水的热, 而暂不考虑其中是否含有其它有害物质对环境的影响, 那么, 水温的升高也许是污染的, 也许是有益的. 例如, 水温的升高(在此假定是缓慢升高而不是突然升高), 会影响鱼类的迴游、迁徙、干扰其繁殖、发育、生长, 甚至也会使之死亡. 但是, 寒冷地带的热废水, 往往可

用来调节鱼类越冬和催产. 据说黑龙江省有此成功之例. 这说明对热废水存在一个如何合理利用的问题. 因此, 笔者认为: 所谓热污染, 应由受热废水影响区域的生物适温范围(见表 1, 2)和有益生物的减少程度或速率来决定.

随着工农业的发展和人民生活水平的提高, 对电力的需求量也势必增加. 从日本对电力需求量的预测来看(表略), 无论是火力、水力, 还是原子能, 对电力的绝对需求量都在增加, 尤以原子能增加得最快, 即无论是电力的绝对增量还是每年度所占的百分比, 均是递增的. 于是, 佐佐木忠义根据近藤的电力使用流程图, 对日本 2000 年所需 5 亿千瓦电力预测之分析后提出, 应把热污染作为全球性问题来考虑, 并呼吁“在引起气候变化之

表 1 某些生物的适温范围

生物种名		适 温 范 围(°C)				文 献
		一 般	最 适 宜	生 长 停 止 (或 生 命 受 到 威 胁)	致 死	
贻 贝	紫 贻 贝	-2--30	13--25		-2或>30	[5]
	翡 翠 贻 贝	11--33	20--30		<11或>33	
	厚 壳 贻 贝	介于上述两者之间,但较接近紫贻贝				
对 虾			17(孵化)	<10	<3(大批死亡)	[2, 6]
河 蟹			23(发育)			
亲 鱼			25(催产)			[4]
罗非鱼	莫桑比克罗非鱼	18--37	25--33(最佳30)	<18或37	12--13	[7]
	尼罗罗非鱼	12--39	24--35	14--16以下	14以下	
牡 蛎	采 苗 期	20--30	24--25		高、低温	*
	育 成 期	7--32	13--22		高、低温	
	育 肥 期	10--35			高、低温	

* 由深圳市水产局曾毓业同志提供

前,人类必须建立起一种更加准确的气候变化预测系统”。

二、热污染的产生及其影响

热污染的主要来源,首先是电力工业的冷却水和冲灰水,其次是冶炼、化工、造纸、铸锻等工业排放的热废水,其中以核电站为最。一个十万千瓦的电厂,约需 $3-5\text{米}^3/\text{秒}$ (火力发电厂)到 $6-8\text{米}^3/\text{秒}$ (原子能发电厂)的冷却水;若100万千瓦的火力发电厂的冷却水作为温排水排到环境水体中,就会使水温平均高于环境 7°C 左右。这对于具有温度敏感性的鱼类来说(如硬骨鱼类的个别种能感触到水温 0.03°C 的变化)就不能不说是致命的。而水温的突然变化将比缓慢变化危险得多。如果用日本1985年度所需的火力和原子能之电力来估算,那么,按近藤的电力使用流程图和热力学知识可知:该年度的火力和原子能两项电力,将有 3.54×10^{15} 卡/天的热量带给大气和 7.0×10^{15} 卡/天左右的热量带给水体。而最终带给大气的热量近 1×10^{16} 卡/天。这就是说,热废水完全可能对局部地区

的生态、气候和潮流产生影响。

据称,美国佛罗里达半岛的一个电厂,有两套燃料发电机、两套原子能发电机,其排水口又在比斯坎湾,投产后,对环境的影响是明显的。

一般说来,热污染的主要危害在于:第一,导致水中缺氧。这一方面由于热废水本身缺氧,另一方面也由于水体温度上升后,既促使某些水生植物的急剧繁殖,也加速有机物的分解,从而导致水中缺氧。第二,由于不同类型的水生生物对温度条件的适应能力不一样,因而表现出不同的适温范围(见表1、2)。当热废水使得环境水体温度超越适温范围时,就会妨碍水生生物的正常生活、发育、繁殖,甚至会使之致死。例如当水温超过 31°C 时,袋鼠小虾就会死亡。据报道,水温不但影响鱼类产卵区域的地理分布,而且直接影响鱼卵和仔鱼的发育速度。第三,热污染的结果,有可能改变局部地区的某些自然规律或现象。

表 2 各个不同水域鱼的最适温度(°C)^[18]

鱼 种	水 域	最适温度分布幅度(°C)	产卵期温度	附 注	
鳕	麦德维日群岛	2—4			
	纽 芬 兰	(3—)5—7	3—5		
		0.5—7			
		0—3(春季)			
		3.5—5.5(夏季)			
西 格 陵 兰	(2.5—)3—4		延绳钓在表层和近底层最好的渔获		
鱼 种	水 域	最适温度分布幅度	产卵期温度	附 注	
鳕	莫托夫斯基海湾		0.4—2		
	斯卡格拉克海峡		4—6		
	北挪威海域		2.5—5		
	冰岛水域		>6		
	丹麦水域		3—7		
	拉布拉多水域	>2		如果温度<1.5或>4.0°C,渔获量贫乏	
	罗弗敦群岛		3—6.5		
	新苏格兰海滩	春 季	-0.5—1.5		
		夏 季	2.5—5.5		
	北大西洋水域	东部(冬季)	2—3		
		东部(夏季)西部	3—5		
鲱	地 中 海	6—29	13—29		
	大 西 洋	13—17.5	10—23		
	日 本 水 域		11—29		
	阿根廷沿岸水域	10—17	10—17		
沙丁鱼	日 本 海	14—15.5	13—17		
	加利福尼亚沿岸水域	15—16	13—17		
	英吉利海峡		9—16.5		
	非洲西南沿岸水域		14.9—19.6		
鲭	北 大 西 洋	12—14		水温<4°C时,躲避	
			10—15	盐度26—33‰	
金枪鱼	库罗西奥水域	14—18		渔业条件良好	
		18—20		同上	
美洲河鲱	美国切萨皮克湾约克河	7—15			
大西洋鲱	里 加 湾	8—12			
海 鲈	北 海		4—7		
波罗的海柔鲱	里 加 湾	10—15			

本表是根据文献[18]重编,并略有改动.

三、热污染的监测

热污染的监测,仅就其“热”的监测来说,一般可用温度计、水质监测仪和热红外测温仪。但是,对于划定热污染的范围和圈定不同温变的区域、特别是对于大面积的情况来说,这些方法均有一定的局限性,甚至是“行不通的”。如果采用热红外扫描的遥感方法,也许收益要大些,因为热红外影像能表现出大量的热信息,这有利于定量地制作等温线图,而且因其测温灵敏度可达 0.1°C 或 0.2°C 的温差,从而有利于判定热污染对受影响区域鱼类的群聚迁徙情况。例如:长鳍金枪鱼具有在一定等温线 ($14-18^{\circ}\text{C}$ 或 $12.8-18.3^{\circ}\text{C}$) 水域群聚的倾向,而且较大的和成年个体向分布区较冷的边界迴游,而同期较小个体则停留在种的一般分布区内。正因为如此,这里重点综述一下热红外遥感监测热污染的原理。

任何物质,只要其温度高于绝对温度 0°K 时,它的辐射强度就可由它的表面温度和表面条件来确定。红外传感器就是根据物体的辐射强弱来感知物体的存在,而物体的辐射强度则是其温度和发射率的函数。因此,根据普朗克方程可得到:

$$W = \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon \cdot 2\pi h \cdot c^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \cdot d\lambda$$

$$= \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3.1)$$

这个式子称为斯蒂芬-玻尔兹曼方程。

式中 $\sigma = 5.67 \times 10^{-12}$ 瓦/厘米²·°K⁴ 称为斯蒂芬-玻尔兹曼常数; ε 为发射率,对于绝对黑体, $\varepsilon = 1.0$; W 称为辐射通量或辐射能力 (瓦/厘米²); λ 为波长; T 为绝对温度; $h = 6.63 \times 10^{-34}$ 瓦·秒², 为普朗克常数; $k = 1.38 \times 10^{-23}$ 瓦·秒/°K, 为玻尔兹曼常数; $C = 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒, 为电磁辐射的速度。

在一定的分子运动温度 (T_K) 下,对于黑体来说,由于其辐射能力决定于分子运动温

度 T_K , 因此,根据斯蒂芬-玻尔兹曼方程,黑体的辐射通量 W_b 为:

$$W_b = \sigma \cdot T_K^4 \quad (3.2)$$

由于真实黑体是不存在的,所以,对于真实的物体来说,其发射率被规定为:

$$\varepsilon = \frac{W_r}{W_b} \quad (3.3)$$

式中 W_r 为具体物体的辐射通量。于是,由(3.2)和(3.3)式得:

$$W_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_K^4 \quad (3.4)$$

由于热红外传感器记录的是物体的辐射温度 T_r , 而不是辐射通量 W_r , 因此,为了测定 T_r , 假定一个黑体和一个真实物体具有不同的分子运动温度、但有着相同的辐射通量,即:

$$\begin{cases} T_{K\text{黑体}} \neq T_{K\text{真实物体}} \\ W_b = W_r \end{cases} \quad (3.5)$$

对于黑体来说,其辐射温度等于运动温度。因此,(3.2)式可写为:

$$W_b = \sigma \cdot T_r^4 \quad (3.6)$$

根据(3.5)式,即可由(3.4)和(3.6)式得到:

$$T_K = \varepsilon^{-1/4} \cdot T_r \quad (3.7)$$

这就是热红外遥感测温的基础。

关于如何测得 ε 和 T_r , 许多遥感资料均有介绍,这里不再赘述。

四、热污染的预测预报

当热废水进入水体后,除了热废水的热本身在水体中按热力学揭示的热传递规律进行热传导外,还由于水流的作用而进行热传递,并且还通过水面而与大气进行热交换等等。一般说来,应用水力学和物理学的知识,可把热废水的扩散模式或规律揭示出来,从而达到预测预报的目的。当然,这也可以通过简捷但较为粗糙的实测方法所得之经验或半经验公式来达到。

在实际工作中,一般可用如下支配水温扩散的基本方程来导出热废水或温排水的影响范围。这些方程是:

考虑涡动粘性的运动方程:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(A_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) = u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial P}{\partial x_i} - \rho \cdot g \cdot \lambda_k = 0 \quad (4.1)$$

连续方程:

$$\frac{\partial(\rho \cdot u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (4.2)$$

考虑水面受热的热扩散方程:

$$U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_i \cdot \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \frac{Q_0}{\rho \cdot C_w \cdot H_w} \quad (4.3)$$

$$Q_0 = Q_s - Q_b + Q_h + Q_e = b_0 + b_1 T \quad (4.4)$$

上四式中, U_i 为流速分量, $i = 1, 2, 3$ 分别为相应于 x, y, z 方向的流速分量 U, V, W ; A_i 为涡动扩散系数, $i = 1, 2, 3$ 分别为相应于 x, y, z 方向的分量; K_i 为涡动扩散率, $i = 1, 2, 3$ 分别为相应于 x, y, z 方向的分量; x_i 为 $i = 1, 2, 3$ 对应的 x, y, z ; P 为压力; g 为重力加速度; T 为温度; $\rho = \rho_0(1 - \alpha T)$ 为水体密度; λ_k 为 z 轴方向的单位向量; C_w 为水体水的比热; H_w 为大气和水体间受授热能的水体水层厚度; Q_b 为水体水面的逆辐射热量; Q_h 为显热量; Q_e 为潜热量; b_0 和 b_1 为待定常数。

根据上述理论或实测, 都可得到用于预测预报热废水影响范围的模式。目前已被提出来的大致有下列几种:

1. 当水温分布 ($\frac{x}{D_0} < 100$ 时), 对于具有

密度差的射流扩散, Wiegler 提出的温水扩散模式为:

$$\frac{T_s - T_w}{T_0 - T_w} = 7.0 \frac{D_0}{x} \cdot e^{-3F_{10}^{\frac{1}{2}} \left(\frac{y}{x}\right)^2} \quad (4.5)$$

式中 T_s 为射流区内某点 (x, y) 之水面温度; T_w 为射流周围水体的温度; T_0 为喷出口 ($x = 0$) 射流的温度; D_0 为喷出口的直径; x

为以出口作为原点、沿射流方向的水平坐标; y 为与 x 轴垂直方向的水平坐标;

$$F_{10} = \frac{U_0}{\sqrt{g \cdot \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_0}\right) \cdot D_0}}$$

为喷出口的 Froude 密度常数; U_0 为喷出速度; g 为重力加速度; $\Delta\rho = \rho_0 - \rho_w$ 为在喷出口射流密度 ρ_0 和周围水体密度 ρ_w 的密度差。

2. 当射流轴上的水温和流速降低

$$\left(\frac{x}{D_0} < 100\right)$$

时, 日本的玉井提出:

$$\frac{T_{sm} - T_w}{T_0 - T_w} = 7.0 \frac{T_{r0}}{x} \quad (4.6)$$

$$\frac{U_{sm}}{U_0} = 6.2 \frac{D_0}{x} \quad (4.7)$$

式中 U_{sm} 和 T_{sm} 分别为射流轴上 x 点的速度和水面温度; 其它符号说明同 (4.5) 式。

上三式可用于半无限水体表层射出的温水扩散。显然, 用 (4.7) 式还可用来预测预报温排水扩散到 x 点所需的时间。

3. 平野的解析式

解析率为 n 的地点的扩散半径 R_n 为:

$$R_n < \frac{V_0}{\pi \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\alpha \cdot \Delta T_0}{\rho}}} \cdot H^{-\frac{1}{2}} \cdot n^{\frac{1}{2}} \quad (4.8)$$

扩散到边缘时的半径 R_{nr} 为:

$$R_{nr} < \frac{V_0}{\pi \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\alpha \cdot \Delta T_0}{\rho}}} \cdot H^{-\frac{1}{2}} \cdot (\Delta T_0 - 1) \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2} \quad (4.9)$$

上两式中, V_0 为温排水流量; H 为分布层厚度; ρ_w 为水体密度; g 为重力加速度; ΔT_0 为排水口的温度差。

平野提出的升温水域的扩散面积 A 和温排水水量 V_0 的关系为:

$$A = 54.84 \left(\frac{V_0 \cdot \Delta T_0}{\Delta T_1 - 1} \right)^2 \quad (4.10)$$

式中 ΔT_1 为影响水温与环境水温之差； ΔT_0 为排出口水温与环境水温之差； A 为温排水的扩散面积； V_0 为米³/秒。

4. 新田的经验式

根据新田提出的温排水水量 V_0 与受影响面积 A 的关系，经稍许整理后得：

$$\lg A = 1.2261 \lg V_0 - 1.3305 \quad (4.11)$$

5. 和田的“水理模式”

和田考虑排出水流的力学作用和水温的热扩散现象，用计算机求解方程(4.1)—(4.3)式，从而得出水温上升影响范围的数值计算结果(见图1)。这个计算图表也是用于半无

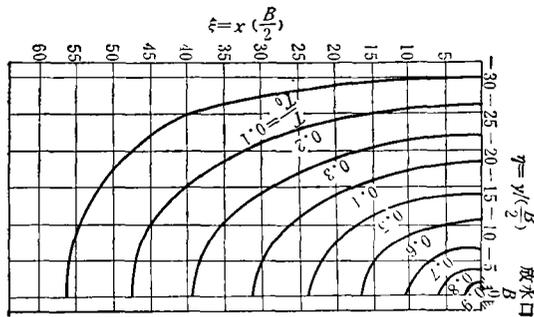


图1 向半无限水体流放温水而产生水温上升的影响范围计算图表(和田式)

限水体的情况的。

综上所述，为了预测预报，预先知道环境水体的有关参数是重要的。这样，只要知道温排水的一些参数，就可根据预测预报的精度要求而选择合适的预测预报模式，从而达到对温排水影响范围等项预测预报之目的。

参 考 文 献

- [1] 佐佐木忠义等，环境工学，講談社サイエンティスト，1977年。
- [2] 傅海靖，海洋污染与保护，科学出版社，1979年。
- [3] 国家海洋局，海洋污染概况，石油化学工业出版社，1975年。
- [4] 上海水产研究所，家鱼的人工繁殖(第二版)，上海人民出版社，1976年。
- [5] 厦门水产学院，贻贝养殖，科学出版社，1979年。
- [6] 沈嘉瑞、刘瑞玉，我国的虾蟹，科学出版社，1976年。
- [7] 王楚松，罗非鱼的养殖，农业出版社，1981年3月。
- [8] 合田 健等，水環境指標，思考社，1979年7月。
- [9] Stearus, B., Heat Water, *Sea Frontiers*, **16**(3), 154—163 (1970).
- [10] Frye, J., Thermol Pollution, *Sea Frontiers*, **16**(2), 85—95, (1970).
- [11] 奥尔登 P. 科尔沃科雷塞斯等，遥感手册(第四分册)(中译本)，国防工业出版社，1980年。
- [12] 董庆禧，海洋石油污染的遥感，1978年。
- [13] 日本遥感研究会，遥感原理概要(中译本)，科学出版社，1981年。
- [14] 铁道科学院水工水文室，水力公式集(上册)，人民铁道出版社，1977年。
- [15] 金文珠，海洋环境科学 1，1980年。
- [16] 弋洋，海洋环境保护(试刊)，1978年。
- [17] 谢承荫，水产科技，4，1981年。

滨海工业城市排污方式和提高海洋环境质量的设想

吴 瑜 端

(厦 门 大 学)

滨海工业城市排污对海洋环境的破坏是当前国际上所共同关心的重大社会问题之一。Galloway (1979)^[4]全面分析了人口密集的高度工业化的美国南加利福尼亚地区城市污水对海洋环境质量的影响。他收集了该地

区的水污染控制厂(JWCP)、Hyperion 污水处理厂和 Orange 县河口环境卫生管理区(CSDOC)污水处理厂所排放的污水(生活污水和工业废水混合处理)对附近海域环境质量的效应。他发现污水中所含的 Cd, Cr,