



水 质 规 划 的 建 立

朱 仲 平

(中国环境科学研究院)

一、前 言

河流,是与人类的生存、活动紧密相关的水环境。保护河流、控制其污染,维护良好的水环境,意义重大。

国外近廿年来在这方面的研究和实践,取得了一定的成效。一些在 50、60 年代曾经严重污染的河流水体,如芝加哥河、底特律河、泰晤士河、莱茵河、莫斯科河、特拉华河口等,近年来有明显好转,水质大幅度提高。

随着工业发展、人类活动向高级阶段发展,向河流索取的水量及排放的污染物数量均日趋增加,单纯依靠大量兴建污水处理厂,耗资甚巨且不能达到预期的水质效果,必须同时考虑水体的天然自净能力、调节排污形式(包括位置及数量)、调节河流使用功能等多种因素,争取以最小(或较小)的投资代价获得最佳(或较好)的水环境质量,统筹兼顾水体污染的控制。这就使它成为错综复杂、涉及面广的系统问题。

60 年代系统工程学的勃起推动了这方面的研究,逐渐发展成为跨学科的一个独立分支——水质规划,从而成为环境系统工程中的一个重要组成部份。

本文拟介绍三种常见的水质规划,以期在我国推广应用。

限于篇幅,笔者假定线性规划、非线性规划等数学规划的基础知识已为读者熟知。文中涉及到规划本身的数学解法均从略。

什么叫水质规划?先介绍点概念。

河流水体对于排入的污物废水,具有一定的自净能力。这是一种天然属性,并有一定的限量。自净能力的大小,总是一定的河流水体,针对一定形式的污染(其排放位置及数量)输入而言。

未受污染时,自净能力潜在地存在;接受污染后,自净能力外观地表现。因此,它可看成一种“资源”,自净过程相当于这种资源的开发利用。沿河排放污物,而又不致使河流水质超越一定界限(标准)的恶化,这可类比于分配到一定量的河流自净能力。排放量在可分配到的自净能力范围之内的,允许而合理。由此,允许排放量的确定,可看成为自净能力这种“资源”的分配。

一条河流沿岸有多个排放源,如何根据排放源和河流两方面的条件,在一定的水质要求下,合理组织排放——排放位置及排放数量,这是一个“资源”分配问题,是典型的规划论范畴问题。

因此,河流水质规划,最简单地讲,就是应用数学规划方法,科学组织排放,既不超越也不浪费河流的天然净水功能,以最小(或较小)的人为代价获取良好的水质效果。

水质规划从 60 年代中期至今天,经历了产生、发展乃至成熟的丰富过程,许多学者倾心研究、方法竞相更新,作为环境系统工程学的一支,在水质管理、河流治理中发挥了相当的作用。

二、确定允许排放量的水质规划

本节符号:

S_{li} ——BOD 水质标准 (mg/l);

η_i ——减排率

Q_i ——河流流量 (m³/秒);

q_{li} ——污水流量 (m³/秒);

l_{li} ——污水 BOD 浓度 (mg/l);

C_{li} ——污水 DO 浓度 (mg/l);

q_{2i} ——支流流量 (m³/秒);

l_{2i} ——支流 BOD 浓度 (mg/l);

C_{2i} ——支流 DO 浓度 (mg/l);

t_i ——流经时间(天);

S_{Di} ——DO 亏水质标准 (mg/l);

T_i ——水温(°C);

L_i ——河流 BOD 浓度 (mg/l);

C_i ——河流 DO 浓度 (mg/l);

D_i ——河流 DO 亏浓度 (mg/l);

C_{si} ——饱和 DO 浓度 (mg/l);

K_{li} ——BOD 一级反应常数 (1/天);

K_{2i} ——复氧常数 (1/天);

Δx_i ——河段长度 (km);

u_i ——河流平均流速 (km/天);

ϕ_i ——线性费用函数中的斜率

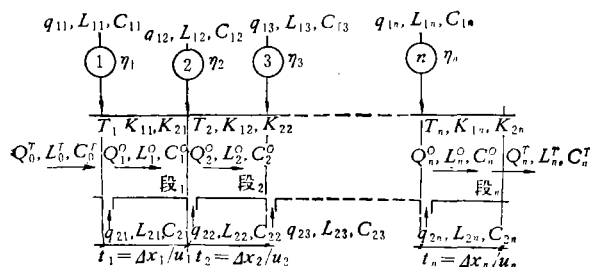


图 1

如图 1 示,沿河有 n 个排放源, n 个支流,河流分成相应的 n 段,每段具有一定的自净能力, n 段河流的净水能力为 n 个(或少于 n 个)排放源分配,存在着无穷多组 n 个排放量的组合,或干脆不存在任何组合,能够满足河流某一水质要求。但是,由于每个排放源所处位置,所具备的行政、经济、技术等条

件不同,处理污水、减少排污量所花费的经济代价不尽相同。我们应当在处理污水比较节省费用的排放源处实施减排处理,争取以较少的人为代价获得良好水质,这就是确定允许排放量的水质规划要研究的问题。

其提法是:选择恰当的允许排量,使在给定的水质约束下,人为去除污物实施减排的费用(目标函数)最低。

如果减排的费用函数是线性的,问题可以线性规划形式给出:

$$\begin{cases} Z = \min \sum_{i=1}^n \phi_i \eta_i & \text{——目标函数} \\ \text{满足} \begin{cases} L_i^0 \leq S_{li} \\ D_i^T \leq S_{Di} \end{cases} & \text{水质约束} \\ \eta_{i\text{下限}} \leq \eta_i \leq \eta_{i\text{上限}} & \text{——技术约束} \end{cases}$$

式中“0”“T”字标分别表示河段的起始、末尾端。上述规划解出后,任一排放源的允许排量为:

$q_{li} l_{li} (1 - \eta_i)$ ——以 BOD 总量计。

(一) 水质约束方程

今引用经典的 Streeter-Phelps 方程的稳态解来描述河流中 BOD、DO 的关系,实际情况需要引入诸如沉淀、再悬浮、藻类呼吸、逆流冲刷等修正项目时,可另加入,并不增加问题本质的复杂性:

$$L_i^T = L_i^0 e^{-K_{li} t_i} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_i^T = C_{si} - (C_{si} - C_i^0) e^{-K_{2i} t_i} \\ + \frac{K_{li} L_i^0}{K_{li} - K_{2i}} (e^{-K_{li} t_i} - e^{-K_{2i} t_i}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{令 } a_i = e^{-K_{li} t_i}, \quad d_i = e^{-K_{2i} t_i},$$

$$b_i = \frac{K_{li}}{K_{li} - K_{2i}} (e^{-K_{2i} t_i} - e^{-K_{li} t_i}), \text{ 则有:}$$

$$\begin{cases} L_i^T = a_i L_i^0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} D_i^T = d_i D_i^0 + b_i L_i^0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 D_i 表示溶解氧亏值,字标“O”、“T”分别表示河段起始、末端。

各河段之间,要符合流量及物质平衡:

$$\begin{cases} Q_i = Q_{i-1} + q_{li} + q_{2i} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} Q_i L_i^0 = Q_{i-1} L_{i-1}^T + q_{li} l_{li} (1 - \eta_i) + q_{2i} l_{2i} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} Q_i D_i^0 = Q_{i-1} D_{i-1}^T + q_{li} D_{li} + q_{2i} D_{2i} \end{cases} \quad (7)$$

由此可见,每写出一个河段的水质约束方程,都要涉及到(3)~(7)五个方程,第*i*个水质约束方程即包含*i*个变量 $\eta_1 \sim \eta_i$,要用人工计算写出水质约束方程将是很麻烦的。为了适应于编程上机计算,笔者在 W. Kinzebach 博士给出的有关公式的基础上,导出了包括污水、支流两种输入在内的河流水质约束通式:

BOD 约束——任一河段起始处 BOD 值应低于或等于水质标准,即

$$L_i^0 = \frac{Q_0}{Q_i} L_0 \prod_{j=1}^{i-1} a_j + \frac{1}{Q_i} \sum_{j=1}^i \left[q_{1j} l_{1j} (1 - \eta_j) \prod_{k=j}^{i-1} a_k + q_{2j} l_{2j} \prod_{k=j}^{i-1} a_k \right] \leq S_{Li}$$

$$\text{令 } A_{ij} = q_{1j} l_{1j} \prod_{k=j}^{i-1} a_k;$$

$$C_{ij} = q_{2j} l_{2j} \prod_{k=j}^{i-1} a_k;$$

$$B_i = \sum_{j=1}^i (A_{ij} + C_{ij}) + Q_0 L_0 \prod_{j=1}^{i-1} a_j - S_{Li} Q_i;$$

$$\text{则有 } \sum_{j=1}^i A_{ij} \eta_j \geq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{其中 } p > q \text{ 时 } \prod_{m=p}^q a_m = 1.$$

DO 亏约束——任一河段末端处的 DO 亏值应低于或等于水质标准,即

$$D_i^r = \frac{1}{Q_i} \sum_{j=1}^i b_j L_j^0 Q_j \prod_{m=j+1}^i d_m + \frac{Q_0 D_0}{Q_i} \prod_{m=1}^i d_m + \frac{1}{Q_i} \sum_{j=1}^i (q_{1j} D_{1j} + q_{2j} D_{2j}) \prod_{m=j}^i d_m \leq S_{Di}$$

$$\text{令 } E_{ij} = q_{1j} l_{1j} \sum_{k=j}^i \left(\prod_{m=j}^{k-1} a_m \right) b_k \left(\prod_{m=k+1}^i d_m \right)$$

$$G_{ij} = q_{2j} l_{2j} \sum_{k=j}^i \left(\prod_{m=j}^{k-1} a_m \right) b_k \left(\prod_{m=k+1}^i d_m \right)$$

$$H_{ij} = (q_{1j} D_{1j} + q_{2j} D_{2j}) \prod_{m=k+1}^i d_m$$

$$I_{ij} = b_j \prod_{k=1}^{j-1} a_k \prod_{m=j+1}^i d_m$$

$$F_i = \sum_{j=1}^i (E_{ij} + G_{ij}) + Q_0 D_0 \prod_{j=1}^i d_j + Q_0 L_0 \sum_{j=1}^i I_{ij} + \sum_{j=1}^i H_{ij} - S_{Di} Q_i$$

$$\text{则有 } \sum_{j=1}^i E_{ij} \eta_j \geq F_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{其中 } p > q \text{ 时 } \prod_{m=p}^q d_m = 1$$

上述通式及相应的程序已经在我国松花江水系水质规划中使用,并经一些国外例题试算,证明它方便准确。

(二) 费用函数简介

简单讲,把污水处理的经济分析用函数形式表达,称为污水处理的费用函数,在水质规划中,常用作为目标函数。

污水处理厂的费用函数,可以通过处理厂典型设计、工程费用概算分析,或已运行处理厂实际费用资料的统计分析等多种方法来获得。

费用函数可能是连续函数,也可能是离散点值;可能是线性的,也可能是非线性的;可以运用一定的数学手段,整理改形,使之符合使用之需。用得较多的是以处理程度为变量的线性费用函数:费用 = $\phi_i \eta_i$ 。

费用函数的可用、可靠程度,直接影响规划的效果,目前人们还一时没有开发出可以量化的其它目标函数时,它的重要性尤显突出。

(三) 以线性规划形式提出的确定允排

量问题的其它几种提法

1. 在给定的费用投资(G)约束条件下, 选择恰当的允排量, 使各段水质 (DO 亏) 取最佳值。

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = \min \sum_{i=1}^n S_i \\ \text{满足} \left\{ \begin{array}{l} d_i D_i^0 + b_i L_i^0 \leq S_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \phi_i \eta_i \leq G \\ \eta_{i \text{ 下限}} \leq \eta_i \leq \eta_{i \text{ 上限}} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \end{array} \right.$$

2. 在给定的费用投资(G)约束条件下, 选择恰当的允排量, 使某些河段的水质 (DO 亏) 固定, 而某些河段的水质尽可能好 (DO 亏量尽可能低)。

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = \min \sum_{k=1}^m S_k \\ \text{满足} \left\{ \begin{array}{l} d_i D_i^0 + b_i L_i^0 \leq S_i \\ (n-m) \text{ 段水质固定} \\ d_k D_k^0 + b_k L_k^0 \leq S_k \\ m \text{ 段水质待定} \\ \sum_{i=1}^n \phi_i \eta_i \leq G \\ \eta_{i \text{ 下限}} \leq \eta_i \leq \eta_{i \text{ 上限}} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \end{array} \right.$$

3. 在给定的费用投资(G)约束条件下, 选择恰当的允排量, 使各河段 DO 按段长加权平均为最高。

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = \min \sum_{i=1}^n \Delta x_i S_i / \sum_{i=1}^n \Delta x_i \\ \text{满足} \left\{ \begin{array}{l} C_{si}(1-d_i) + C_i^0 d_i + b_i L_i^0 \geq S_i \\ i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \phi_i \eta_i \leq G \\ \eta_{i \text{ 下限}} \leq \eta_i \leq \eta_{i \text{ 上限}} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \end{array} \right.$$

式中 Δx_i 表示河段长度, S_i 表示各段可达到的 DO 值。

4. 在给定的费用投资约束条件下, 选择恰当的允排量, 使全河 DO 垂曲线下的面积为最大。

由于氧垂方程及其积分不易得到, 此法少见其实用。

(四) 对偶原理应用

一般说来, 线性规划问题, 变量个数相近时, 约束方程数量较少者易解; 约束方程个数相近时, 变量个数对解的难易程度影响不如前者明显。水质规划问题中, 由于兼顾水质、技术约束, 往往约束方程个数比变量个数大几倍, 系数矩阵成狭长形。因此应用对偶原理, 解问题的对偶问题, 其系数矩阵成宽扁形, 比较有利。

对偶问题中每一个对偶变量与原问题中的一个约束方程相对应。如果对偶变量为松 (或为紧), 原问题中相应的约束方程则为紧 (或为松)。变量的松紧指其非 0 或为 0, 方程的松紧指是否达到等式约束, 不等式约束为松, 等式约束为紧。因此非 0 对偶变量的出现意味其相应的水质约束达到极限状态, 在这个河段上降低人为给出的水质标准, 必定能使费用降低。这就抓住了降低总用费的主要矛盾, 对于全河长上水质已近临界状态的危险段落, 可以迅速简洁地作出决策。某个对偶变量值的大小, 则表示目标函数对它所对应的约束条件的灵敏度。

确定允排量的水质规划, 是发展最早、最成熟的一种基本水质规划, 也是应用最广泛的一种水质规划。Thomann、Deininger、Liebman、Revelle、Lynn、Loucks 以及 Arbabi 等人在开发和完善这种规划方面曾作出过卓越贡献。

三、管道转输、择段排放的水质规划

有潮汐作用的河口, 污染由两部份组成。一是本段直接排入的污染, 称为直接污染; 二是由潮水带来的污染, 称为二次污染。某段上直接污染过重时, 有可能通过送走污水排入其它河段, 将直接污染转化为二次污染, 来达到控制该段污染、争取各段污染程度均衡的目的。这就是管道转输、择段排放的概念, 它可以提成为水质规划。

(一) 河口 BOD、 DO 亏方程

河口中污染物迁移规律异于河流中的情况。1963 年 Thomann 提出著名的 Delaware 河口模式,写成矩阵形式

$$\begin{cases} \text{BOD 方程} & Gb = W_1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \text{DO 亏方程} & HD = Fb + W_2 \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{即或: } \begin{cases} b = G^{-1}W_1 \\ D = (H^{-1}FG^{-1})W_1 + H^{-1}W_2 \end{cases} \quad (10)$$

式中 H^{-1} 、 F 、 G^{-1} 都是由迳流量、河段体积、自净参数、边界浓度取值加权系数等可知量组成的常数阵, W_1 、 W_2 分别为 BOD、DO 亏侧向输入。

由上式,对给定的 W_{1i} 、 W_{2i} 侧向输入,通过矩阵计算可立即给出各段上 BOD、DO 亏的数值,故称 G^{-1} 、 H^{-1} 、 $H^{-1}FG^{-1}$ 为稳态响应矩阵,其中

$[G^{-1}]_{ij}$ 表示第 j 段上输入单位 BOD, 在第 i 段上引起的 BOD 响应;

$[H^{-1}]_{ij}$ 表示第 j 段上输入单位 DO 亏, 在第 i 段上引起的 DO 亏响应;

$[A]_{ij} = [H^{-1}FG^{-1}]_{ij}$ 表示第 j 段上输入单位 BOD, 在第 i 段上引起的 DO 亏响应。

对 (11) 式取增量:

$$\Delta D = A\Delta W_1 + H^{-1}\Delta W_2 \quad (12)$$

由于 ΔW_2 甚微可忽略,简表为:

$$\Delta D = A\Delta W_1 \quad (13)$$

可见有潮汐作用的河口上,任一段上排放污染,不仅对其下游,而且对其上游各段均有影响。任一段上污染程度取决于下游及上游各段污染输入的线性叠加,响应矩阵正是这种线性组合中的系数矩阵。这一明确的关系在规划中将反复运用。

(二) 管道转输择段排放的水质规划模式

如图 2 示,今以三段河口、三个排放源的情况为例导出模式。原计划各污染源向其相应的河段排放,现各污染源可以通过管道输运向三段河口中的任一段排放。假定各污染源出水 BOD 浓度已知,河口响应矩阵 A 值

已确定,今拟提高各段的 DO 值 ΔC_i 已给定。规划的约束条件由两部份组成:

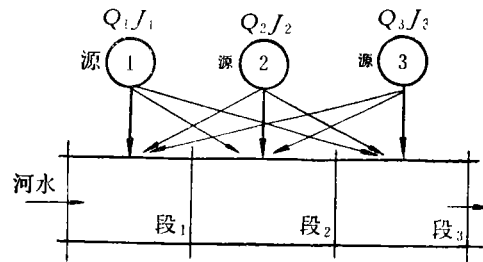


图 2

1. 各污染源流量平衡约束

$$\begin{cases} F_{11} + F_{12} + F_{13} = Q_1 \\ F_{21} + F_{22} + F_{23} = Q_2 \\ F_{31} + F_{32} + F_{33} = Q_3 \end{cases}$$

缩写为

$$\sum_{j=1}^3 F_{ij} = Q_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (14)$$

式中 F_{ij} 表示第 i 个污染源排入第 j 段河口的流量。

2. 水质约束 先就第 1 段而言:

$$\begin{aligned} & A_{11} \left(\begin{array}{l} \text{第 1 段上 BOD 排} \\ \text{入量改变值} \end{array} \right) \\ & + A_{12} \left(\begin{array}{l} \text{第 2 段上 BOD 排} \\ \text{入量改变值} \end{array} \right) \\ & + A_{13} \left(\begin{array}{l} \text{第 3 段上 BOD 排} \\ \text{入量改变值} \end{array} \right) \geq \Delta C_1 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} & A_{11} \left(Q_1 J_1 - \sum_{i=1}^3 F_{i1} J_i \right) \\ & + A_{12} \left(Q_2 J_2 - \sum_{i=1}^3 F_{i2} J_i \right) \\ & + A_{13} \left(Q_3 J_3 - \sum_{i=1}^3 F_{i3} J_i \right) \geq \Delta C_1 \end{aligned}$$

移项合并后成为

$$A_{11} \sum_{i=1}^3 F_{i1} J_i + A_{12} \sum_{i=1}^3 F_{i2} J_i$$

$$+ A_{13} \sum_{i=1}^3 F_{i3} J_i \leq A_{11} Q_1 J_1 + A_{12} Q_2 J_2$$

$$+ A_{13} Q_3 J_3 - \Delta C_1,$$

综合三段考虑

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^3 A_{ik} F_{ik} J_i \leq \sum_{k=1}^3 A_{ik} - \Delta C_j, \quad j = 1, 2, 3. \quad (15)$$

式(14)、(15)即组成约束方程,这可以很方便地编程计算。

说明一点: A 阵因管道转输、污水入河状态变化,理应变化而成为非常数阵,此处仍用作常数阵,是一种规划问题允许的近似简化。

管道输水,有一定的经济规律。一般讲,影响管道输水费用的主要因素有:输水方式(管材、有压无压流、埋深)、输送容量和输送距离。输送费用由基建费和运行维修费两部分构成。

常见的管道输送污水费用函数形如

$$g_{ij} = \alpha_{ij} Q_{ij}^{\beta_{ij}}$$

式中 g_{ij} 表示从 i 地向 j 地输送 Q_{ij} 流量所需要的年度费用, α_{ij} 及 β_{ij} 表示反映输送方式、输距以及折旧率等多方面因素的系数。

以费用函数作为目标函数,我们可将前例写成为:

$$\left\{ \begin{aligned} Z &= \min \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 g_{ij} F_{ij} \\ &= \min \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{ij} F_{ij}^{\beta_{ij}+1} \\ &= \min \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{ij} F_{ij}^{\beta'_{ij}} \\ \text{满足} \left\{ \begin{aligned} \sum_{j=1}^3 F_{ij} &= Q_i, \quad i = 1, 2, 3 \\ \sum_{i=1}^3 J_i \sum_{k=1}^3 A_{ik} F_{ik} &\leq \sum_{k=1}^3 A_{ik} \\ &\quad - \Delta C_j, \quad j = 1, 2, 3 \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

问题为 n 段河口、 m 个排放源时,推广为:

$$\left\{ \begin{aligned} Z &= \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} F_{ij}^{\beta'_{ij}} \\ \text{满足} \left\{ \begin{aligned} \sum_{j=1}^n F_{ij} &= Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m J_i \sum_{k=1}^n A_{ik} F_{ik} &\leq \sum_{k=1}^n A_{ik} \\ &\quad - \Delta C_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

共有 $(m+n)$ 个约束方程, $m \times n$ 个变量。

这是非线性的目标函数、线性的约束条件的非线性规划,理论上讲可解,但当 m 、 n 数较大时,例如美国 Delaware 河口分成 30 段,两岸共 44 个排放源,相应的问题包括 74 个约束方程和 1320 个变量,成为大规模规划问题,这给解的过程带来一定困难。在实际问题里,我们可以人为规定一些条件,例如规定第 i 个污染源只能向某 n 个河段排放,不能无限制地任意向 n 个河段排放,这就使问题大为缩小。因此,河口上运用管道转输择段排放,提成为水质规划仍被视为富有实际意义,它在我国诸如黄浦江治理等沿海城市河流(口)的污染控制中,应当而且可以发挥其应有的作用。

管道转输择段排放的水质规划,最初于 1969 年由 Graves 等提出。

四、分散处理与集中处理相结合的水质规划

前面已经分别讨论了允许排放量的确定、管道转输择段排放的水质规划,事实上它们的应用可以而且应当是相互联系的。几个污染源相距不太远、处理量较小时,为了便于集中管理、节约费用(小厂运行效率低,经济性差),工程界总倾向于将几个小厂合并,组成一个较大规模的集中(或称区域)处理厂,各污染源的污水用管道集流、输送。

如图 3 示,假定河口分成 n 段,存在 m 个污染源、 k 个拟设的集中处理厂。任一排放源可在不行处理直接向邻近河段排放、就地处理择段排放、处理一定程度后转输到集中

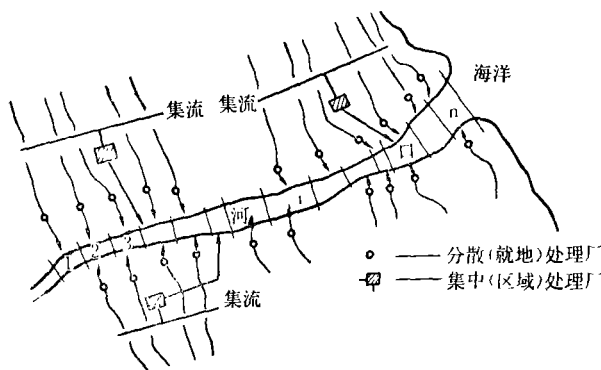


图 3

处理厂或直接送往集中处理厂处理等多种可能性里选择。如何将各污染源就地处理(处理程度及出水流向)、管道输运(输运量及输运去向)、集中处理(处理程度及流向)三者综合考虑,从中择优,就成为本规划所要表达的问题。

这种规划,最初由 Graves 于 1972 年提出,是在前述两种规划的基础上开发出来的,由于其包罗的因素众多,复杂程度高。它是水质规划方法产生发展乃至成熟的标志。

假定拟设的集中处理厂的个数及位置已经由规划人员的意愿、经验所决定。否则问题势将更加复杂,脱离实际,本文不予讨论。

现逐步提出本规划的模式。

定义矩阵 $F_{n \times m}$, $F'_{n \times m}$

f_{ij} ——第 j 个排放源应当向第 i 段河口排放的流量;

f'_{ij} ——第 j 个排放源原来向第 i 段河口排放的流量。

定义矩阵 $P_{k \times m}$, $P'_{k \times m}$

p_{ij} ——第 j 个排放源应当向第 i 个集中处理厂转输的流量;

p'_{ij} ——第 j 个排放源原来向第 i 个集中处理厂转输的流量。

定义矩阵 $T_{n \times k}$, $T'_{n \times k}$

t_{ij} ——第 j 个集中处理厂应当向第 i 段河口排放的流量;

t'_{ij} ——第 j 个集中处理厂原来向第 i 段

河口排放的流量。定义矩阵 $J_{m \times 1}$, $J'_{m \times 1}$

J_j ——第 j 个排放源就地处理应当达到的出流 BOD 浓度;

J'_j ——第 j 个排放源就地处理原来达到的出流 BOD 浓度。定义矩阵 $r_{k \times 1}$, $r'_{k \times 1}$

r_j ——第 j 个集中处理厂应当具有的处理程度;

r'_j ——第 j 个集中处理厂原来具有的处理程度。定义矩阵 $C_{n \times 1}$

C_i ——第 i 个河段上人为要求的溶解氧增量(可正可负)。

约束方程:

① m 个排放源流量平衡

$$\sum_{i=1}^n f_{ij} + \sum_{i=1}^k p_{ij} = \sum_{i=1}^n f'_{ij} + \sum_{i=1}^k p'_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

② k 个集中处理厂流量平衡

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} - \sum_{j=1}^m t_{ji} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (17)$$

③ n 段河口水质约束

$$\begin{aligned} & \sum_{q=1}^n a_{iq} \sum_{j=1}^m t_{qj} J_j \\ & + \sum_{q=1}^k \frac{(1 - r_q) \left(\sum_{j=1}^m p_{qj} J_j \right) \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} t_{jq} \right)}{\sum_{j=1}^n t_{jq}} \\ & \leq \sum_{q=1}^n a_{iq} \sum_{j=1}^m t'_{qj} J'_j \\ & + \sum_{q=1}^k \frac{(1 - r'_q) \left(\sum_{j=1}^m p'_{qj} J'_j \right) \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} t'_{jq} \right)}{\sum_{j=1}^n t'_{jq}} \\ & - C_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18) \end{aligned}$$

约束方程的个数等于 $(m + n + k)$ 个, 变量的个数等于 $k(m + n + 1) + m(n + 1)$ 个。

上述 (16)、(17)、(18) 三式组成了本规划的全部约束方程, 它们是烦琐的、非线性

很强的方程,这给问题带来一定困难。如果本规划是在河流上提出,其约束方程仅在(18)式上有所不同而已。

在前两节中,已经叙及处理厂、管道输水的费用函数,集中处理厂的费用函数与一般处理厂费用函数形式相同,只是由于规模较大,导致经济性较好。本规划中只要将污染源分散就地处理、管道输水、集中处理厂三者的费用函数进行一定的组合,即可作为目标函数。组合方式要因具体情况而决定。

组合的费用函数为目标,加上(16)——(18)约束方程,即构成完整的规划问题。由于变量及方程个数多,非线性程度强,应借助于“分级分步控制”原理求解。实际工程问题中,经常会出现分散——集中治理的不同工程方案,应用本规划去定量计算,能够给出对不同方案的公正评价,作出最优决策,因此其应用的前景广阔。

五、小 结

水质规划的出现及其发展,是环境工程

与系统工程相结合的产物。它表明科学的规划论思想、先进的系统分析方法在环境工程中的应用,它使得人类对河流(口)污染控制的认识产生了一次飞跃。

本文所述,仅仅是水质规划内容的一部分。水质规划涉及到河流治污中的几乎所有措施,丰富而广博。线性、二次、几何、动态、非线性规划和网络、图论等几乎所有近代发展的最优化方法都曾得到应用,出现过百家争鸣的繁荣学术景象。

我国是一个疆域辽阔、水系众多的国家,水污染控制问题势在必行。诸如北京东南郊、松花江、湘江、黄浦江等工业稠密、人口集中地区的水系污染控制工作,事实上业已逐步展开。尽快推广应用河流水质规划方法,使保护水体、维护良好的水环境工作建立在更加科学、合理和主动的基础上,十分必要,而且可行。对此,笔者充满期待和信心。

本文写作过程中,得到付国伟老师的指导,谨此感谢。(参考文献从略)

催化燃烧在消烟和节能方面的应用

谢秉仁 罗澄源 甘斯祚

(成都科技大学化学系)

一、引 言

1940年以前,催化燃烧在消除空气污染方面的应用尚未引起重视。但到1966年美国就已有2500个催化燃烧装置,在欧洲、澳洲和日本也共有约1500家,它们多数用于油漆涂料工业^[1]。

据1975年日本一家催化剂制造公司的统计^[2],采用这家公司的催化剂用于催化燃烧的厂家有113个,而且每月都有增加的趋

势。

催化燃烧消除废气污染以应用于油漆干燥炉最为成功^[4-8]。某些生产中的废气如苯乙烯加工^[9],丙烯腈生产^[10],合成油酸^[11,12],丁二烯橡胶生产^[13],聚丙烯纤维生产^[14],苯酚生产^[15,16],甲基丙烯酸甲酯生产^[17],用石油焦和沥青生产活性炭^[15,18],乙醇氧化制醋酸^[15],邻苯二酸酐和苹果酸酐的生产^[19],抗生素生产^[20]等都用催化燃烧进行过处理,并取得了一定的生产经验或研究成果。此外还有