

河流水质大系统灰色非线性规划的分解协调方法

张祥伟

夏 军

(水利部水质试验研究中心, 北京 100044)

(武汉水利电力学院, 武汉 430072)

摘要 对多排污口和复杂河系排污的水质规划问题进行了研究, 探讨了河流水质系统的广义不确定性; 建立了河流水质灰色非线性规划模型。针对河流复杂排污体系的灰色非线性规划面临的高阶、高维和非线性问题, 提出运用大系统理论分解协调方法解决上述问题, 在此基础上, 定义了灰凸集、灰凸函数、灰凸规划, 证明了灰色非线性规划模型的推广 Kuhn-Tucker 条件。实例研究表明, 本模型与方法合理、可信, 适合于一般含灰参数的灰色非线性规划问题。

关键词 河流水质, 灰色, 非线性规划, 分解协调。

河流水质系统规划的目的是在一定范围内合理地进行污染源的治理和排放, 以满足用水区域水体的某种功能要求。由于河流水质现象以及影响河流水质因素的复杂性, 导致了河流水质规划的广义不确定性问题, 即: (1) 规划过程中认识论意义的不确定性, 如资料信息的不完全、缺乏充足的社会经济信息以及选用不恰当的水质模型结构等; (2) 系统观测信息的不确定性, 如资料误差、资料质量和数量影响等。由于这些不确定性因素的出现, 使得规划与客观实际产生种种差异。过去, 常常对规划中的种种不确定性采取回避态度, 简化为一确定性的系统规划, 这样分析的结果有时不能很好地适应实际情况, 甚至造成虚假的最优解。如果把各种不确定性都一一加以考虑又可能导致不可解和不可行问题。

因此, 本文在河流水质系统规划模型中引入灰参数来反映上述“不确定性”, 这样的河流水质非线性规划称为灰色非线性规划问题。而此类问题用常规方法求解困难, 本文提出灰色分解协调求解方法。同时定义和证明了灰凸集、灰凸规划。

1 河流水质灰色非线性规划模型及解法的理论基础

1.1 河流水质灰色非线性规划模型

河流水质灰色非线性规划是指含有灰参数或者决策变量为灰变量的非线性规划模型。一般的水质灰色非线性规划可描述为:

$$\min(\max) f(\otimes, X(\otimes)) \quad (1)$$

$$S. T. \begin{cases} g_i(\otimes, X(\otimes)) \leq 0, & 1 \leq i \leq n \\ X(\otimes) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\otimes$ 为灰色量特指符。

要解此模型, 需要说明灰集与灰数、灰凸集、灰凸函数和引入灰凸规划。

1.2 灰集合与灰数

所谓灰集 (Grey Set) 是指信息不完全的集合。邓聚龙从信息论观点出发研究了灰集的概念与性质^[6]。经典集合即康托集 (Cantor Set) 只能描述“非此即彼”的概念划分, 对于概念划分具有排中律问题的集合则是模糊集合。康托集定义了论域 U 上集合 A 的 $\{0, 1\}$ 映射, 模糊集则将其推广到 $[0, 1]$ 区间映射。但是, 这两种集合的量化关系都是“白”的、唯一的。如果描述集合隶属关系本身的信息不完全, 其为论域 U 上集合 A 的区间带映射, 如图 1, 我们称这种集合为灰集。实际的河流水质现象中, 这种区间带的类别、形态可以是变动的, 它与研究对象的信息量、人的认识程度等综合参量 (M) 有关, 为简述起见, 视 M 为平稳的。当定义 $[0, 1]$ 的区间集为 $I_{[0, 1]}$, 即:

$$I_{[0, 1]} = \{[a, b]; a \leq b, a, b \in [0, 1]\}, [a, a] = a \quad (3)$$

则所谓 G 是论域 X 上的一个灰子集, 是指给定了一个从 X 到 $I_{[0, 1]}$ 的映射, 即

$$G: X \rightarrow I_{[0, 1]}, x \rightarrow G(\otimes, x) \in I_{[0, 1]} \quad (4)$$

式中, $G(\otimes, x) = [\underline{G}_1(x), \bar{G}(x)]$, $\underline{G}_1(x)$ 与 $\bar{G}(x)$ 分别为隶属度边界函数。

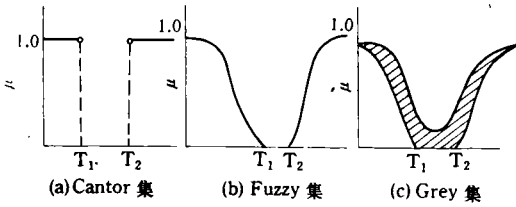


图 1 概念划分的不同集合特征函数

进一步,当论域取实直线(R)集合,则上述灰集便表征为一类典型的灰数。它是现行模糊数的拓广。实际上,当灰数内部的分布信息贫乏时,可采用结构简单的区间灰数 $X(\otimes) = [\underline{x}, \bar{x}]$ 描述,即:

$$X(\otimes) = \{x \in R | \underline{x} \leq x \leq \bar{x}\} \quad (5)$$

用圆盘术的表达为: $X(\otimes) = \underline{X} + r \cdot t$, 式中 $r = \bar{x} - \underline{x}$, $t \in [0, 1]$ 。

基于灰扩张原理,可以确定灰数运算的一套法则^[6],在本文研究的水质灰色非线性规划问题中,规定灰数运算满足具有自差为零、自除为 1 的“取数一致性”条件,使其与处理灰色规划的系统概念达到一致与协调。

1.3 灰凸集及灰凸规划

灰凸集是由灰数向量构成的区间单连通集合,它是 n 维欧氏空间凸集引入区间灰数的一种拓广。即定义 E_n 中非空集 S , S 内元素由灰数所组成,若任取灰数 $X_1(\otimes), X_2(\otimes) \in S$, 其任一白化值 $\lambda \in [0, 1]$, 都有 $X_1(\otimes) + (1-\lambda) \cdot X_2(\otimes) \in S$, 则称 S 为灰凸集。

灰凸函数是指在凸集 $S \in E_n$ 上的灰函数 $f(\otimes, x)$, 灰凸函数存在灰色极值点, 这个灰色极值点为一灰区间, 是自变量 $X(\otimes)$ 和灰函数 $f(\otimes, X(\otimes))$ 为不同白化值时得到极值所构成的灰区间。

1.4 灰色非线性规划问题的 Kuhn-Tucker 条件

对于含灰参数的灰色函数 $f(\otimes, X)$ 来说, 其导数 $f'(\otimes, X)$ 可求且为一灰数, 即在 X^0 点处的一簇切线, 其极值仍然可由 $F_x(\otimes, X) = 0$ 求得。由此, 从一阶条件来讨论(1)式灰色规划, 运用 Lagrangian 法得到:

$$\varphi(\otimes, X, U) = f(\otimes, X) + \sum_{i=1}^q u_i g_i(\otimes, X) \quad (6)$$

当 $g_i(\otimes, X)$ 为不等式约束情况时, 引入一灰数 $y_i(\otimes)$ 使 $g_i(\otimes, X) + y_i^2(\otimes) = 0$, 有:

$$\varphi(\otimes, X, y, U) = f(\otimes, X) + \sum_{i=1}^q u_i [g_i(\otimes, X) + y_i^2(\otimes)] \quad (7)$$

灰色非线性规划问题的 Kuhn-Tucker 条件(称之为拓广的 Kuhn-Tucker 条件)为:

$$1^\circ \quad \varphi_x(\otimes, X) = 0 \quad (8)$$

$$2^\circ \quad u_i g_i(\otimes, X) = 0$$

$$g_i(\otimes, X) \leq 0,$$

$$u_i(\otimes) \begin{cases} u_i(\otimes) = 0 & \text{当 } g_i(\otimes, X) < 0 \\ u_i(\otimes) > 0 & \text{当 } g_i(\otimes, X) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

上述拓广的 Kuhn-Tucker 条件构成了解决河流水质非线性规划的理论基础。它与 Kuhn-Tucker 条件的区别在于前者针对含有灰数的非线性规划模型, 后者针对不含灰数即白数的非线性规划模型。

2 河流水质灰色非线性规划的分解协调解法

河流水质系统规划问题越来越多地从区域、水系、甚至从流域水污染控制的角度来考虑, 这导致了维数增加, 还会出现多个目标的协调问题。解决这样一个协调问题的方法目前常用大系统分解协调方法, 即将河流排污控制复杂大型系统问题分成一系列较简单的子系统逐一加以解决, 然后按一定的原则综合起来。

一个河段在有多个排污口的情况下, 要使河段某控制断面水质达到规定要求, 可表示为如图 2 所示系统关系。

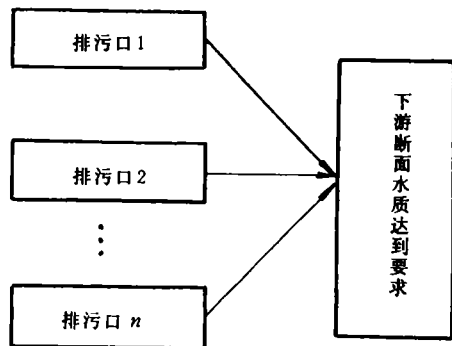


图 2 系统关系

由图 2 应用大系统理论的分解与协调方法

来获得系统的满意解,即把一个总体最优化系统 P , 分解成一定数量的子问题 P_i , 这个总体问题 P 的目标是使系统总体准则取极值, 而 P_i 是局部求解的, 即:

使 $[P_1, P_2, P_3, \dots, P_n]$ 的解 $\rightarrow$ 总体问题 P 的解。

当系统 P 、子系统 P_i 含灰元时, 该大系统问题成为灰色系统, 使:

$[P_1(\otimes), P_2(\otimes), \dots, P_n(\otimes)]$ 的解 $\rightarrow$ 总体 $P(\otimes)$ 的解。

河流水质系统分解方法:

考虑一条河流, 将它分成 N 个河段, 即形成 N 个子系统, 由于每个子系统内系统信息不完善, 把整个河段看作由信息不完全的子系统所组成的一系列灰色大系统。

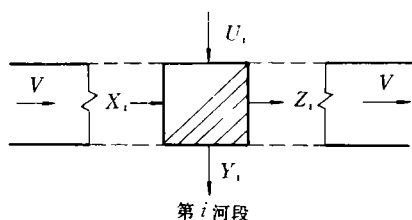


图 3 河流水质单元河段系统

X_i ——其它子系统(上一河段)进入第 i 子系统的输入向量, 该向量各分量包括水文、水质等项指标;

Z_i ——第 i 子系统进入其它子系统(下一河段)的输出量, 该向量包含水文、水质等指标;

u_i ——第 i 个污染者向第 i 子系统输入向量, 它包含废水量、污染物浓度等;

y_i ——第 i 个子系统离开整个系统的输出向量, 它包含引水等。

对于该子系统, 由于信息部分已知, 变量之间的关系可用灰关系表示, 即给定输入向量 u_i , 第 i 个子系统可用下述方程描述:

$$Z_i = T_i(\otimes, u_i, X_i) \quad (10)$$

$$y_i = S_i(\otimes, u_i, X_i) \quad (11)$$

河流上、下系统之间关系为:

$$X_{i+1} = Z_i \quad (12)$$

第 i 个子系统约束条件假定为:

$$G_i(\otimes, u_i, y_i, X_i) < 0 \quad (13)$$

由于对该子系统进行污染控制, 其处理费用与该子系统变量有关, 而对于整个大系统(整条河流或水系)的处理费用则为各子系统处理费用总和, 即该灰色河流水质系统目标函数满足“可加性分离”条件, 若把处理费用灰函数表示为:

$$F(\otimes) = \sum_{i=1}^N f_i(\otimes, u_i, X_i) \quad (14)$$

该河流最优化问题可综合成:

$$\min F(\otimes) = \sum_{i=1}^N f_i(\otimes, u_i, X_i)$$

$$\text{S. T.} \begin{cases} Z_i = T_i(\otimes, u_i, X_i) \\ Y_i = S_i(\otimes, u_i, X_i) \\ G_i(\otimes, u_i, Y_i, X_i) \leq 0 \\ X_{i+1} = Z_i \\ i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (15)$$

根据上述模型, 可写出该河流水质控制系统 Lagrangian 函数:

$$\varphi(\otimes, u, y, X, \lambda, P) = \sum_{i=1}^N f_i(\otimes, u_i, X_i) + \sum_{i=1}^N \lambda_i^T (Z_i - X_{i+1}) + \sum_{i=1}^N P_i^T G_i(\otimes, u_i, Y_i, X_i) \quad (16)$$

其中, λ_i^T, P_i^T 分别为 Lagrangian 乘子(为灰数):

$$\lambda_i = [\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \dots, \lambda_{im}]^T$$

$$P_i = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}]^T$$

将(15)代入(16)式中:

$$\varphi(\otimes) = \sum_{i=1}^N f_i(\otimes, u_i, X_i) + \sum_{i=1}^N \lambda_i^T (T_i(\otimes, u_i, X_i) - X_{i+1}) + \sum_{i=1}^N P_i^T G_i(\otimes, u_i, X_i, S_i) \quad (17)$$

这里有:

$$\sum_{i=1}^{N+1} \lambda_i^T (T_i(\otimes, u_i, X_i) - X_{i+1}) = \sum_{i=1}^{N+1} \lambda_i^T T_i(\otimes, u_i, X_i) - \sum_{i=1}^{N+1} \lambda_i X_i \quad (18)$$

$$\lambda_N^T T_N(\otimes, u, X_i) \triangleq [0, 0] \quad (19)$$

$$\lambda_0^T X_i \triangleq [0, 0] \quad (20)$$

将(18),(19),(20)式代入(17)得:

$$\varphi(\otimes) = \sum_{i=1}^N f_i(\otimes, u_i, X_i) + \sum_{i=1}^N \lambda_i^T T_i(\otimes, u_i, X_i) - \sum_{i=1}^N \lambda_i^T X_i + \sum_{i=1}^N P_i^T G_i(\otimes, u_i, X_i, S_i) \quad (21)$$

$$\text{令 } \varphi_i(\otimes) = f_i(\otimes, u_i, X_i) + \lambda_i^T T_i(\otimes, u_i, X_i) - \lambda_i^T X_i + P_i^T G_i(\otimes, u_i, X_i, S_i)$$

$$\text{则 } \varphi(\otimes) = \sum_{i=1}^N \varphi_i(\otimes) \quad (22)$$

由此,河流水质灰色系统分解成 N 个独立灰色子系统,根据灰色非线性规划的对偶原理,最优化分两级进行,即:

$$\min \varphi(\otimes, u_i, X_i) = \max H(\otimes, \lambda_i, P_i) \quad (23)$$

3 实例研究

沙颍河为淮河上游一级支流,其颍上闸枯水期蓄积污水,当上游来水增加时下泄,造成整个淮河干流的颍河口至江苏段的水质污染,治理沙颍河污染是保护淮河水质的关键性措施。系统概化图见图 4。

沙颍河上游为贾鲁河,要求控制下泄的水达到地面水三类水标准入周口,泉河与沙颍河上游周口-阜阳间污水汇合后进入阜阳-颍上闸段。同时,控制入淮口水质达到地面水三类标准,颍河上游各排污城镇需要削减。各城镇排污量及相应 COD 浓度见表 1。

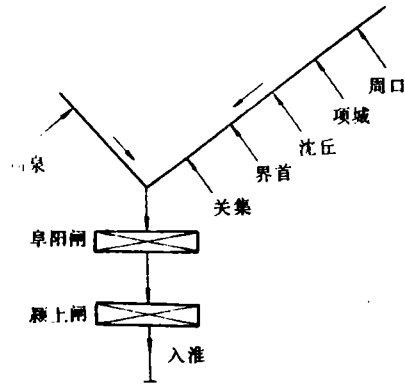


图 4 沙颍河水系排污系统概化图

表 1 各城镇各行业排污量及 COD 浓度

行 业	周口	项城	沈丘	界首	关集	临泉
食品 $q(\text{mg/L})$	0.178	0.0627			0.0457	
COD (mg/L)	298.2	168.6			74.2	
造纸 $q(\text{m}^3/\text{s})$	0.0518					
COD (mg/L)	111.7					
化工 $q(\text{m}^3/\text{s})$	0.209	0.143	0.098	0.155	0.098	0.206
COD (mg/L)	157.8	131.4	470.1	279.1	159.3	300
纺织 $q(\text{m}^3/\text{s})$	0.0883					
COD (mg/L)	50.4					

第 1 排污城镇(周口)污水排入河流后 COD 浓度为:

$$c_1 = (Q_1 c_0 + q_{11} c_{11} + q_{12} c_{12} + q_{13} c_{13} + q_{14} c_{14}) / (Q_1 + \sum_{i=1}^4 q_{1i}) \quad (24)$$

式中, q_{1i} 指周口第 i 行业排污量, c_{1i} 指周口第 i 行业污水中 COD 浓度, c_0 为上游初始浓度。

第 i 排污口 COD 浓度为:

$$c_i = \frac{c_{i-1}(Q_1 + \sum_{k=1}^{i-1} q_k) \otimes b_{i-1} + \sum_{j=1}^i q_{ij} c_{ij}}{Q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_{i-1} + \sum_{j=1}^i q_{ij}} \quad (25)$$

式中, $\otimes b_i = \exp[-(\otimes K_i L)]$

阜阳闸上浓度由上式推算出后,经阜阳-颍上闸到入淮口,由于阜阳闸-颍上闸属闸坝调控河道,既有畅流期,又有蓄水期,因此,一般的天然河道水质模型不适宜本段枯水期描述,采用单元水体水质模型。

假定河段蓄水体水质是稳定均匀的,则根据质量守恒定律:

$$V \frac{dc}{dt} = Q_1' c_A + Q_{12} c_{12} - Q_2' c - \otimes K V c \quad (26)$$

(25) 式中, Q_{12} 、 c_{12} 分别为排入该河段水量及 COD 浓

度, $\otimes K$ 为单元水体综合衰减系数, V 为蓄水量。(26)式的解为:

$$c = c_A \cdot \exp\left[-\frac{(Q_2' + \otimes KV)}{V}t\right] + \frac{Q_1' C_A + Q_{12} C_{12}}{Q_2' + \otimes K \cdot V} (1 - \exp\left[-\frac{(Q_2' + \otimes K \cdot V)}{V}t\right]) \quad (27)$$

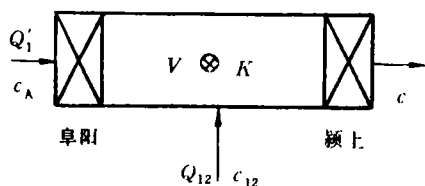


图 5 阜阳-颍上闸河段示意图

由入淮口控制浓度反推出阜阳闸入口的控制浓度。为满足淮南断面不超过地面水三级水质标准,反推得阜阳闸入水水质为 4.69, 6.16mg/L。

4 最优控制优化模型

由于污水来源于不同行业,其处理费用分别为:

$$\text{食品: } f_1 = 0.994Q^{0.6543} + 9.9947Q^{0.6543}\eta^5 \quad (28)$$

$$\text{造纸: } f_2 = 1.202Q^{0.1175} + 14.9599Q^{0.1175}\eta^{4.8344} \quad (29)$$

$$\text{化工: } f_3 = 1.149Q^{0.7919} + 10.065Q^{0.7919}\eta^{1.8815} \quad (30)$$

$$\text{纺织: } f_4 = 1.4244Q^{0.6575} + 10.1519Q^{0.6575}\eta^{2.7236} \quad (31)$$

式中, Q 、 η 分别为处理流量为处理效率。

则 6 个排污城镇 11 项处理费用为:

$$F(\otimes) = \min\left[\left(\sum_{i=1}^4 f_{1i} + f_{21} + \sum_{i=2}^6 f_{i3} + f_{51}\right) \cdot \otimes \alpha\right] \quad (32)$$

$$\text{令 } f_1(\eta) = f_{11} + f_{12} + f_{13} + f_{14}$$

$$f_2(\eta) = f_{21} + f_{23}$$

$$f_3(\eta) = f_{33}$$

$$f_4(\eta) = f_{43}$$

$$f_5(\eta) = f_{51} + f_{53}$$

$$f_6(\eta) = f_{63}$$

式中, $\otimes \alpha$ 为物价上涨因素¹⁾: $\otimes \alpha = [(1+3\%)^5]$,

$(1+5\%)^5] = [1.159, 1.276]$ 则 (32) 式为:

$$f(\otimes) = \min[(f_1(\eta) + \dots + f_6(\eta) \cdot \otimes \alpha)]$$

约束条件: (25) $\leq \otimes c_A$ ($\otimes c_A$ 为约束浓度)

令 $1 - \eta_j = \frac{c_{j0}}{c_{j0}^0}$ 代入 (25) 式得约束方程如下:

$$\begin{aligned} g_1(\otimes) = & [\otimes \alpha - \sum_{i=1}^4 \otimes \alpha_{1i} \eta_{1i}] + \\ & [\otimes \alpha_2 - \otimes \alpha_{21} \eta_{21} - \otimes \alpha_{23} \eta_{23}] + \\ & [\otimes \alpha_3 - \otimes \alpha_{33} \eta_{33}] + [\otimes \alpha_4 - \otimes \alpha_{43} \eta_{43}] \\ & + [\otimes \alpha_5 - \otimes \alpha_{51} \eta_{51} - \otimes \alpha_{53} \eta_{53}] + \\ & [\otimes \alpha_6 - \otimes \alpha_{63} \eta_{63}] \leq c_A \end{aligned} \quad (33)$$

$$\text{非负约束: } \eta_{ij} \leq \eta_{ij} \leq \bar{\eta}_{ij} \quad (34)$$

对该规则引入乘子 $\otimes \lambda$ 得:

$$\varphi(\otimes, \eta, \lambda) = \sum_{i=1}^6 f_i(\eta) + \otimes \lambda [g_1(\otimes) - \otimes c_A] \quad (35)$$

根据拓广的 Kuhn-Tucker 条件:

$$\begin{cases} \nabla \varphi(\otimes, \eta^*, \lambda^*) = \nabla f_1(\eta) + \dots + \nabla f_6(\eta) \\ + \otimes \lambda^* [g_1(\otimes, \eta^*) - \otimes c_A] \\ \otimes \lambda^* [g_1(\otimes, \eta^*) - \otimes c_A] = 0 \end{cases} \quad (36)$$

这样,上述模型可分解为 6 个灰色子规则和 1 个对偶主规则 D:

$$P_1(\otimes): H_1(\otimes, \lambda_1) = \min\{f_1(\eta) + \otimes \lambda_1$$

$$(\otimes \alpha - \sum_{i=1}^4 \otimes \alpha_{1i} \eta_{1i})\}$$

$$\text{S. T. } \otimes \lambda_1 \geq 0$$

$$P_2(\otimes): H_2(\otimes, \lambda_2) = \min\{f_2(\eta) + \otimes \lambda_2$$

$$(\otimes \alpha_2 - \otimes \alpha_{21} \eta_{21} - \otimes \alpha_{23} \eta_{23})\}$$

$$\text{S. T. } \otimes \lambda_2 \geq 0$$

$$P_3(\otimes): H_3(\otimes, \lambda_3) = \min\{f_3(\eta) + \otimes \lambda_3$$

$$(\otimes \alpha_3 - \otimes \alpha_{33} \eta_{33})\}$$

$$\text{S. T. } \otimes \lambda_3 \geq 0$$

$$P_4(\otimes): H_4(\otimes, \lambda_4) = \min\{f_4(\eta) + \otimes \lambda_4$$

$$(\otimes \alpha_4 - \otimes \alpha_{43} \eta_{43})\}$$

$$\text{S. T. } \otimes \lambda_4 \geq 0$$

$$P_5(\otimes): H_5(\otimes, \lambda_5) = \min\{f_5(\eta) + \otimes \lambda_5$$

$$(\otimes \alpha_5 - \otimes \alpha_{51} \eta_{51} - \otimes \alpha_{53} \eta_{53})\}$$

$$\text{S. T. } \otimes \lambda_5 \geq 0$$

1) 《三峡工程设计报告》长江水利委员会, 1989 年

$$P_6(\otimes): H_6(\otimes, \lambda_6) = \min\{f_6(\eta) + \otimes \lambda_6$$
$$(\otimes \alpha_6 - \alpha_{63}\eta_{63})\}$$
$$\text{S. T. } \otimes \lambda_6 \geq 0$$

$$D: \text{MAX}\{\sum_{i=1}^6 H_i(\otimes \lambda_i)\}$$
$$\text{S. T. } \otimes \lambda_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, 6$$

由于沙颍河与泉河同属沙颍河水系,其温度、流量变化较一致,故 $\otimes \lambda_i$ 取数可认为一致,即

同一灰数 $\otimes \lambda'$ 。对 $H_i(\otimes \lambda')$ 求导, $\frac{\partial H_i(\otimes \lambda')}{\partial \eta_i} = 0$ 该式简化后系数为矩阵 $A_i(\otimes)$, $\otimes \eta_i^* = A_i(\otimes) \cdot \otimes \lambda$, 先对 $A_i(\otimes)$ 取下限,对 $\otimes \lambda'$ 搜索,取 $\hat{\lambda}'$ (白化值)=0.01 作为初始值, $\delta \lambda' = 0.005$ 搜索,使 $\hat{g}(\otimes) - \otimes \hat{c}_A = 0$, 然后取 $A_i(\otimes)$ 上限值,进行搜索,则:

$\otimes \lambda = [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ 将此式代入 $\otimes \eta_i^* = A_i(\otimes) \cdot \otimes \lambda_i$ 得各行业排污削减率 $\otimes \eta_i^*$ 。

表 2 沙颍河各排污口各行业排污削减率及治理费用

$\otimes \lambda^*$	行业排污	周口(1)	项城(2)	沈丘(3)	界首(4)	关集(5)	临泉(6)
[2.363, 2.618]	食品 $\eta(\%)$	0.67, 0.69	0.54, 0.56			0.44, 0.46	
误差	$f(10^6)$	0.87, 1.08	0.27, 0.32			0.17, 0.2	
$[-1.1 \times 10^{-5}, 8.18 \times 10^{-5}]$	造纸 $\eta(\%)$	0.27, 0.28					
	$f(10^6)$	1.0, 1.11					
	化工 $\eta(\%)$	0.33, 0.38	0.26, 0.3	0.92, 1.0	0.74, 0.84	0.35, 0.4	0.74, 0.85
	$f(10^6)$	0.8, 1.05	0.49, 0.61	1.81, 2.47	1.81, 2.47	0.46, 0.6	2.28, 3.14
	纺织 $\eta(\%)$	0.17, 0.18					
	$f(10^6)$	0.35, 0.39					
	排污口处理费用(10^6)	3.03, 3.65	0.76, 0.94	1.84, 2.68	1.81, 2.47	0.64, 0.8	2.28, 3.14
河系总处理费(10^6)			7.45, 9.75				

5 结语

(1)本文建立了灰色大系统分解协调方法来解 决河流、水系高维、高阶的水污染控制规划问题,其特点是将复杂水质规划模型求解多个灰变量寻优转化为一个或较少的灰色协调函数 $\otimes \lambda$ 的寻优,节省了机时。同时,由于引入灰数,充分考虑了河流水质运动和水质规划中的不确定性。

(2)应用灰色大系统分解协调方法还可根据问题的需要分解成若干子系统,而对每个子系统可以针对不同实际问题应用不同方法求解,使该方法比较灵活。

(3)灰色大系统分解协调方法中 Lagrangain 乘子 $\otimes \lambda$ 具有影子价格的含义,可以通过 $\otimes \lambda$ 的取值发现系统内部存在的信息。

最优排污税率 $\otimes \lambda = \frac{\partial \varphi(\otimes)}{\partial g_i(\otimes)}$, 它的意义为: 增加单位排污量所需增加的系统费用。本实例研究得最优排污税率为每吨 COD 需 2363, 2618

元,该值体现了每个污染源在承担了现有污染治理费用和削减量后,增加的排污量所应付的费用,该值为河流水质污染控制管理提供了经济依据。

(4)由于河流水质污染控制问题逐渐地由点控制(单一排放源控制)向水系或流域控制发展,面临的排污口更多,考虑的因素、模型阶数、维数进一步复杂,不确定性因素也越多,本文提供的方法无疑是有效的途径。

参考文献

1 Spear R C et al. . Water Resour. Res. . 1983,19(5):1266
2 达庆利. 大系统理论与应用. 南京:东南大学出版社,1989: 142
3 邓聚龙. 多维灰色规划. 武汉:华中理工大学出版社,1989: 269
4 华士乾. 水资源系统分析指南. 北京:水利电力出版社,1988: 197
5 朱华康. 水系污染与保护. 1992,1:59
6 邓聚龙. 灰色控制系统. 武汉:华中工学院出版社,1987:8

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

absorption spectrometry, plasma mass spectrometry, X-ray fluorescence, neutron activation, etc. For each of most elements, two or more different, reliable analytic methods were adopted. A computer was used to process the data obtained by statistical method. Any group-outliers were rejected by using Grubbs, T, Dixon, Multi-level comparative S method, average geometric variation-Grubbs test. The best estimated values were obtained by taking the averages of preferred averages of all the data and analytic data as the four central values. The best estimated values thus calculated and complied with the certified values rule are taken as standard values. An evaluation of stability of the samples was made by X-ray fluorescence spectrometry during one year period. The results indicated that the storage stability of this standard reference material was satisfactory.

Key words: environmental soils standard reference material, stability, minimal amount of sampling, comparison of precision, certified values analysis, four central values.

The Optimisation of Grey non-linear River water Pollution Control System Using A Two Level Method. Zhang Xiangwei (Water Quality Research Center of China Beijing 100044); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(1), 1994, pp. 25—30

This paper focuses on the water quality planning problem of grey non-linear river water pollution control system using ideas of the grey system theory. Grey non-linear model and a two level method have been developed, which not only can describe the imperfection of water quality planning information but also can provide a new approach of dealing with the higher order, higher dimension and non-linear water quality planning model. The major studies involved are of three aspects: (1) Grey convex set, grey convex function and grey convex programme are defined; (2) Kuhn-Tucker condition for grey non-linear planning model has been given and (3) the optimisation of grey non-linear river water pollution control planning model using a two level method.

Key words: grey system theory, water pollution control system, two level method.

Sediment Oxygen Demand in the Yuancun Reach of the Pearl River in Guangzhou. Liu Fuqiang, Qi Sang (Institute of Aquatic Ecoscience, Jinan University, Guangzhou 510632); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(1), 1994, pp. 31—35

The physical properties, characteristics of oxygen demand, proportions of chemical oxidation and biological respiration in the total oxygen demand of

sediments from the Yuancun Reach of the Pearl River in Guangzhou, were studied in laboratory during mean water and high water seasons. Results indicate that the sediment only consumed oxygen initially over the first six hours in mean water season, while in high water season, the sediment continuously consumed oxygen at a comparatively low rate. It is doubt less that chemical oxygen demand plays a main role in total oxygen demand in both hydrological seasons. At the same temperature and water flow rate, the rate of sediment oxygen uptake in high water season is significantly higher than that in mean water season. In addition, the rates of sediment oxygen demand are related to the temperature and flow rate and their equations are: $SOD_M = 0.4945 \times 1.0058^{T-20}$, $SOD_H = 0.6155 \times 1.0234^{T-20}$, $SOD_M = 0.1623 \times 1.0912$, $SOD_H = 0.2393 \times 1.0857$.

Key words: Pearl River, sediment, biological oxygen demand, non-biological oxygen demand.

Study on the Treatment of Chrome-Leather Scraps as a Resource; VIII Toxicological Test of Feed Collagen Protein. Jiang Tingda, Zhang Chunping (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(1), 1994, pp. 36—38

The feed collage protein powder has a $LD_{50} > 10g/kg$, and can be assessed to be in an actually nontoxic grade. It has an accumulative coefficient $K > 5.28$, which is considered to be weakly accumulative. The Ames test result of mutagenesis is negative, either with or without adding S-9 mixed liquid. The micronucleus test and spermatozoon malformation test also showed a negative reaction when dosage exceeded 5g/kg.

Key words: feed collage protein, toxicology.

Kitchen Wastewater Treatment by Iron-Carbon Flocculating Bed. He Weiguang, Guan Yaochu et al. (Chemistry Department of Zhongshan University); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(1), 1994, pp. 39—41

Kitchen wastewater can be treated by iron-carbon flocculating bed equipment. It was found that this method can be used to remove the animal and vegetable oils, COD, and BOD from kitchen wastewater with high removal rates, for example, of 96%, 72.5% and 90%, respectively.

Key words: iron-carbon flocculating bed, kitchen wastewater.

The Adsorption-Flocculation Method Using Bentonite for Treatment of Organic Dye-Containing Wastewater. Hang Hu, Hu Bolu et al. (Dept. of