

# 基于比例下降 - 灰色预测型线性规划的大气污染控制规划模型

周宾, 陈兴鹏, 吴士锋  
(兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**探讨了比例下降模型和灰色预测型线性规划模型机理及比例下降—灰色预测型线性规划模型建模和求解的过程。根据大气污染控制规划实例,在该区域内污染源按等比例下降方式排放污染物构建模型,运用单纯形法对模型求解并对规划结果进行灵敏度分析。结果表明,比例下降—灰色预测型线性规划模型适宜含有不确定性信息的区域大气污染控制规划,尤其在空间尺度较大的污染控制区内,针对不同污染源规划相应的污染控制方案时具有适应性。

**关键词:**比例下降模型;灰色预测型线性规划;大气污染控制规划模型;单纯形法

**中图分类号:** X823      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1006-2009(2009)06-0029-05

## Air Pollution Control Plan Model Based on Grey Predictive Linear Programming and Ratio Decrease

ZHOU Bin, CHEN Xing-peng, WU Shi-feng  
(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** It was discussed that mechanism of ratio decrease and the grey predictive linear programming model as well as modeling and solving process of the models. Based on an instance of air pollution control programs, the model was established by means of ratio decrease for discharge pollutants from pollution sources in the region, and it was solved by simplex method. The sensitivity of planning results was analyzed. It was showed that ratio decrease and the grey predictive linear programming model appropriated regional air pollution control programs with uncertainties information. The model had adaptability to correspondingly plan control programs for different air pollution sources especially in the larger spatial scale pollution control districts.

**Key words:** Ratio decrease model; Grey predictive linear programming; Air pollution control plan model; Simplex method

基于区域污染物排放量限制和环境空气质量目标的约束,大气污染控制规划根据规划区内各污染源对大气环境质量影响的分析结果,设计适宜的污染源控制措施和大气环境治理方案<sup>[1]</sup>。大气污染控制规划模型是进行大气环境影响分析和环境规划的重要工具,其目的是建立污染源和防治规划措施之间的响应关系,并求出对于污染源应采取何种防治措施能满足环境空气质量目标要求<sup>[2]</sup>。

目前,在国内外文献中尚无比例下降 - 灰色预测型线性规划(以下简称 RD-GLP)模型在大气污染控制规划相关应用研究<sup>[2]</sup>的报道。现基于比例

下降模型和灰色预测型线性规划模型理论,探讨构建 RD-GLP模型,并通过大气污染控制规划实例,验证其应用效果和实际价值。

### 1 模型机理

#### 1.1 比例下降模型

比例下降(Ratio Decrease)模型的假设:污染

收稿日期:2009-08-10;修订日期:2009-10-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40871061)

作者简介:周宾(1978—),男,河南南阳人,博士研究生,从事城市环境系统工程研究。

物排放量的下降,将导致空气中的污染物浓度等比例下降,以年均值为基础,进行空气污染控制规划时,由于时间尺度比较长,各种气象条件造成的差别得到平滑,利用比例下降模型可以得到较好的效果。根据该假设,在优化模型中不必直接纳入空气质量约束,只需将现实的环境质量与环境质量目标相比较,确定必须削减的污染物总量,其任务是将污染物的削减总量分配给各污染源<sup>[2]</sup>。

以大气污染控制规划为例,假定规划区域包含  $m$  个污染源,每个污染源可选择污染控制方法,用于控制  $q$  种污染物。设以  $x_{ij}$  表示能耗量,其中  $i$  表示污染源编号,  $j$  是该污染治理方法;以  $c_{ij}$  表示相应于单位能耗所需支付的污染控制费用;以  $b_{ip}$  表示第  $i$  个污染源采用第  $j$  种控制方法、生产单位能耗的第  $p$  种污染物的排放量,又称排放因子。 $b_{ip} = (1 - \eta_{ip}) q_{ip}$ ,  $\eta_{ip}$  表示去除第  $p$  种污染物的效率,  $q_{ip}$  为第  $i$  个污染源排放第  $p$  种污染物的源强。根据比例下降模型,可以写出优化模型的线性规划形式:

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} &= S_i, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m b_{ip} x_{ij} &\leq A_p, \quad p = 1, 2, \dots, q \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned}$$

式中,  $Z$  为污染控制的费用函数;  $c_{ij}$  为相应于生产单位产品所需支付的污染物控制费用;  $x_{ij}$  为第  $i$  个污染源采用第  $j$  种控制方法时的产品产量;  $b_{ip}$  为排放因子;  $S_i$  为对第  $i$  污染源实施各种控制方法时产品产量的约束;  $a_{ij}$  为逻辑变量,若对第  $i$  个污染源实行第  $j$  种控制可行,则  $A = 1$ , 否则为  $0$ ;  $A$  为区域内对第  $p$  种污染物的排放量的总约束;  $m$  为污染源个数;  $n$  为对每个污染源可供选择的控制方案数<sup>[2]</sup>。

### 1.2 灰色预测型线性规划模型

灰色线性规划以灰色预测模型构造约束方程,作为约束值获得的依据。灰色线性规划引入灰色系统理论中灰数的概念与灰数的处理方法,从而使规划具有更好的适应性和可靠性,使规划解具有可塑性。根据不同功能,灰色规划有两种类型:预测型线性规划和漂移型线性规划。根据所研究的课题主要是针对污染控制(削减)进行的规划,采用灰色预测型线性规划模型(Grey Predictive Linear Programming)<sup>[3-5]</sup>。

灰色预测型线性规划数学模型为:

$$\text{目标函数 } f(x) = \sum_{j=1}^n CX$$

约束条件  $\sum_{j=1}^n a_{ij} X \quad \odot (\odot$ 表示变量中含有灰数,  $i = 1, 2, \dots, m$ );  $X_j \geq 0, (j = 1, 2, \dots, n)$ 。解此模型,可计算出约束值由“灰变白”的各组值的最优结构,并对其进行分析<sup>[4-5]</sup>。

### 2 建模与求解

根据比例下降模型确定规划目标,建立灰色预测模型 GM(1, 1),将约束条件中的灰数白化,进行线性规划模型的求解<sup>[6]</sup>。对线性规划模型一般采用单纯形法求解,具体步骤如下:

若有线性规划问题( )

$$\begin{aligned} \text{目标函数 } \min S &= c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \\ \text{约束条件 } \begin{cases} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n = b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n = b_m \\ x_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

首先使  $b_i \geq 0 (i = 1, \dots, m)$ 。若  $b_i < 0$ , 则可使方程两边同乘以  $-1$ 。然后引进原问题的辅助问题( )。

$$\text{目标函数 } \min Z = y_1 + \dots + y_m$$

约束条件

$$\begin{cases} S - c_1 x_1 - c_2 x_2 - \dots - c_n x_n = 0 \\ y_1 + a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n = b_1 \\ \vdots \\ y_m + a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n = b_m \\ x_i, y_j \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \end{cases}$$

并构建如下单纯形表:

$$T(B) = \begin{bmatrix} b_{00} & b_{01} & \dots & b_{0n} \\ b_{10} & b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m0} & b_{m1} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_B B^{-1} b & C_B B^{-1} A - C \\ B^{-1} b & B^{-1} A \end{bmatrix}$$

其中:  $b_{00} = C_B B^{-1} b$  为目标函数值;  $(b_{01}, \dots, b_{0n}) = C_B B^{-1} A - C$ , 称为检验数;  $(b_{10}, \dots, b_{m0})^T = B^{-1} b$ , 为对应  $B$  的可行性解。

根据上述单纯形表进行判断:如得到的检验数全部为非正数,则这时得到的  $B^{-1} b = (b_{10}, \dots, b_{m0})^T$  即为最优解,  $b_{00}$  即为最优目标值;若检验数中存在正数,且在单纯形表中该检验数对应的列向

量中所有分量都为非正数, 则所求的问题无最优解; 如果该检验数对应的列向量中有正分量, 则需要换基迭代, 直到所有检验数为非正数, 即得到规划问题的最优解。

### 3 模型实证

#### 3.1 数据选取

甘肃省甘南藏族自治州一个县城城区 TSP 年排放量较大的 3 个点源, 分别是: 排放源 1—排放源 3。根据当地环保要求和比例下降模型的假设, 在 2009 年必须削减 TSP 的总排放量 60% [2], 可供选择控制 TSP 的方法有: 隔板式除尘器、多级旋风式除尘器、袋式除尘器、喷雾除尘器和电除尘器, 其除尘效率见表 1, 每个污染源采用不同的控制方法去除单位 TSP 的费用见表 2。根据 2005 年—2008 年县城 3 个排放源各自的耗煤量数据汇总统计和对污染源 TSP 排放监测情况的调查结果和燃料堆

密度折算后得到 TSP 源强, 见表 3 (燃料堆密度按 750 kg/m<sup>3</sup> 计算)。

表 1 各污染源选用削减 TSP 的除尘效率及方式

序号	TSP 削减方式	除尘效率 / %	排放源 1	排放源 2	排放源 3
1	隔板式除尘器	64	A	A	x <sub>31</sub>
2	多级旋风式除尘器	75	x <sub>12</sub>	x <sub>22</sub>	A
3	袋式除尘器	89	x <sub>13</sub>	A	x <sub>33</sub>
4	喷雾除尘器	94	A	x <sub>24</sub>	x <sub>34</sub>
5	电除尘器	95	x <sub>15</sub>	x <sub>25</sub>	A

表示可选用的方式, x<sub>ij</sub> 表示第 i 个污染源通过 j 种污染削减方式的耗煤量; A 表示不宜选用的方式。

表 2 各污染源选用不同控制方式削减单位 TSP 的费用

费用名称	c <sub>12</sub>	c <sub>13</sub>	c <sub>15</sub>	c <sub>22</sub>	c <sub>24</sub>	c <sub>25</sub>	c <sub>31</sub>	c <sub>33</sub>	c <sub>34</sub>
单位费用 / (元 · kg <sup>-1</sup> )	0.8	1.0	2.0	1.1	1.5	1.9	0.7	1.2	1.4

表 3 各污染源 2005 年—2008 年的年耗煤量和 TSP 源强

污染源	2005 年耗煤量 / (kg · a <sup>-1</sup> )	2006 年耗煤量 / (kg · a <sup>-1</sup> )	2007 年耗煤量 / (kg · a <sup>-1</sup> )	2008 年耗煤量 / (kg · a <sup>-1</sup> )	排放源出口 TSP / (g · m <sup>-3</sup> )	TSP 源强 / (mg · kg <sup>-1</sup> )
排放源 1	300 000	346 000	380 000	400 000	63.8	85
排放源 2	150 000	180 000	205 000	230 000	66.0	88
排放源 3	257 000	280 000	320 000	364 000	62.3	83

2008 年以来, 由于全州城市规划和环境改善的需求, 规划在 2009 年, 3 个污染较重的排放源必须采取相应的措施以改善该区的大气环境质量。通过建模预测 3 个排放源排放情况, 规划各自需要采取污染防治措施, 以使该区大气环境质量在 2009 年有所改善。

#### 3.2 数据处理

已知 2005 年—2008 年 3 个排放源 4 年的耗煤量, 在 2009 年必须采取大气污染控制措施。经分析, 需要对 2009 年耗煤量预测后以使 TSP 的削减效果能够满足城市总体规划和空气环境质量的要求 [2]。

首先, 建立灰色数列预测模型。第一步需对表 3 中的原始数据进行预处理, 以削弱数据列的波动变化, 减少随机性, 这里采用数据平滑的方法对原始数据进行预处理:

设计为三点平滑, 但为了避免小数循环, 对于除两端点以外的其他数据采用如下公式:

$$X^{(0)}(t) = \{X(t-1) + 2X(t) + X(t+1)\} / 4$$

两端点分别采用如下公式:

$$X^{(0)}(1) = \{3X^{(0)}(1) + X^{(0)}(2)\} / 4$$

$$X^{(0)}(m) = \{X^{(0)}(m-1) + 3X^{(0)}(m)\} / 4$$

#### 3.3 污染物排放量灰色预测

运用灰色预测模型的建模方法, 可建立耗煤量预测模型如下:

排放源 1 耗煤量预测模型

$$x_1^{(1)}(K+1) = (311\ 500 + 312\ 335.259\ 6 \div 0.069\ 5) \times e^{0.069\ 5K} - 312\ 335.259\ 6 \div 0.069\ 5$$

排放源 2 耗煤量预测模型

$$x_2^{(1)}(K+1) = (157\ 500 + 153\ 271.660\ 7 \div 0.110\ 3) \times e^{0.110\ 3K} - 153\ 271.660\ 7 \div 0.110\ 3$$

排放源 3 耗煤量预测模型

$$x_3^{(1)}(K+1) = (262\ 750 + 242\ 309.416\ 1 \div 0.107\ 2) \times e^{0.107\ 2K} - 242\ 309.416\ 1 \div 0.107\ 2$$

由此可分别求解出 2009 年 3 个排放源的耗煤量, 进而可得对应的 TSP 排放量见表 4 [7-8]。

表 4 2009 年 3 个排放源灰色预测 TSP 排放量

污染源	TSP源强 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	耗煤量 /(kg · a <sup>-1</sup> )	TSP排放量 /(mg · a <sup>-1</sup> )
排放源 1	85	456 683	38 818 055
排放源 2	88	280 485	24 682 680
排放源 3	83	438 487	36 394 421

3.4 RD-GPLP 建模与求解

根据给定条件, 要将 TSP 的允许排放量合理地分配给 3 个污染源, 采用灰色预测线性规划优化配置策略, 建立 2009 年大气污染控制 RD-GPLP 建模如下:

(1) 模型的建立

确立线性规划问题 ( ) 的目标函数

$$\min S = c_{12} x_{12} + c_{13} x_{13} + c_{15} x_{15} + c_{22} x_{22} + c_{24} x_{24} + c_{25} x_{25} + c_{31} x_{31} + c_{33} x_{33} + c_{34} x_{34} = 0.8x_{12} + 1.0x_{13} + 2.0x_{15} + 1.1x_{22} + 1.5x_{24} + 1.9x_{25} + 0.7x_{31} + 1.2x_{33} + 1.4x_{34}$$

约束条件

$$\begin{cases} x_{12} + x_{13} + x_{15} = \textcircled{1} \\ x_{22} + x_{24} + x_{25} = \textcircled{2} \\ x_{31} + x_{33} + x_{34} = \textcircled{3} \\ (1 - 0.75) \times 85x_{12} + (1 - 0.89) \times 85x_{13} + (1 - 0.95) \times 85x_{15} + (1 - 0.75) \times 88x_{22} + (1 - 0.94) \times 88x_{24} + (1 - 0.95) \times 88x_{25} + (1 - 0.64) \times 83x_{31} + (1 - 0.89) \times 83x_{33} + (1 - 0.94) \times 83x_{34} = \textcircled{4} \end{cases}$$

在 2009 年, 3 个污染源的 TSP 预测总排放量为 99 895 154 mg/a, 为了控制该区的 TSP 污染, 需要削减 TSP 总量的 60%, 即理想的 TSP 总排放量应为:  $A_p = 99\ 895\ 156 \times (1 - 60\%) = 39\ 958\ 062\ \text{kg/a}$

因此, 目标函数  $\min S = c_{12} x_{12} + c_{13} x_{13} + c_{15} x_{15} +$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.8 & -1.0 & -2.0 & -1.1 & -1.5 & -1.9 & -0.7 & -1.2 & -1.4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 21.25 & 9.35 & 4.25 & 22 & 14.08 & 4.4 & 13.28 & 9.13 & 4.98 \end{bmatrix}$$

$$T(B) = \begin{bmatrix} C_B B^{-1} b & C_B B^{-1} A - C \\ B^{-1} b & B^{-1} A \end{bmatrix}$$

由单纯形法求出 2009 年 3 个污染源的 TSP 预测总排放量为 99 895 156 mg/a, 削减 TSP 总量的 60%, 其规划方案见表 5<sup>[2, 6, 9-11]</sup>。

$$\begin{aligned} & c_{22} x_{22} + c_{24} x_{24} + c_{25} x_{25} + c_{31} x_{31} + c_{33} x_{33} + c_{34} x_{34} = 0.8 \\ & x_{12} + 1.0x_{13} + 2.0x_{15} + 1.1x_{22} + 1.5x_{24} + 1.9x_{25} + 0.7 \\ & x_{31} + 1.2x_{33} + 1.4x_{34} \end{aligned}$$

约束条件

$$\begin{cases} x_{12} + x_{13} + x_{15} = 456\ 683 \\ x_{22} + x_{24} + x_{25} = 280\ 485 \\ x_{31} + x_{33} + x_{34} = 438\ 487 \\ (1 - 0.75) \times 85x_{12} + (1 - 0.89) \times 85x_{13} + (1 - 0.95) \times 85x_{15} + (1 - 0.75) \times 88x_{22} + (1 - 0.94) \times 88x_{24} + (1 - 0.95) \times 88x_{25} + (1 - 0.64) \times 83x_{31} + (1 - 0.89) \times 83x_{33} + (1 - 0.94) \times 83x_{34} = 39\ 958\ 062 \\ x_{ij} \geq 0, \forall i, j \end{cases}$$

该模型总费用以元/a 表示。上式中, 前 3 个约束条件为耗煤量约束 (等式约束); 第 4 个约束条件为 TSP 排放总量约束; 最后一个为变量非负约束<sup>[6-7, 10]</sup>。

(2) 模型求解

引进原问题的辅助问题 ( ):  $\min Z = 0.8t_1 + 1.0t_2 + 2.0t_3 + 1.1t_4 + 1.5t_5 + 1.9t_6 + 0.7t_7 + 1.2t_8 + 1.4t_9$

目标函数  $\min Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$

约束条件

$$\begin{cases} S - 0.8t_1 - 1.0t_2 - 2.0t_3 - 1.1t_4 - 1.5t_5 - 1.9t_6 - 0.7t_7 - 1.2t_8 - 1.4t_9 = 0 \\ y_1 + t_1 + t_2 + t_3 = 456\ 683 \\ y_2 + t_4 + t_5 + t_6 = 280\ 485 \\ y_3 + t_7 + t_8 + t_9 = 438\ 487 \\ y_4 + 21.25t_1 + 9.35t_2 + 4.25t_3 + 22t_4 + 14.08t_5 + 4.4t_6 + 13.28t_7 + 9.13t_8 + 4.98t_9 = 39\ 958\ 062 \\ t_i, y_j \geq 0, \forall i, j \end{cases}$$

表 5 2009 年规划解

$x_{12}$	$x_{13}$ (舍去)	$x_{22}$	$x_{31}$	S
1 950 148.03	-1 493 465.03	280 485	438 487	68 245.99

该规划方案的意义: 2009 年排放源 1、排放源 2 宜选用多级旋风除尘器; 排放源 3 宜选用隔板式除尘器。 $x_{ij}$  对应的数字可理解为污染源采用适宜的削减 TSP 方式的耗煤量, 因为耗煤量非负, 所以  $x_{13}$  解舍去;  $S$  表示该模型所求得的 3 个排放源采取的环保措施总费用最优解<sup>[2]</sup>。

### 3.5 灵敏度分析

所建立 2009 年大气污染控制 RD-GPLP 模型为:

$$\text{目标函数 } \min f(x) = \min S = 0.8x_{12} + 1.0x_{13} + 2.0x_{15} + 1.1x_{22} + 1.5x_{24} + 1.9x_{25} + 0.7x_{31} + 1.2x_{33} + 1.4x_{34}$$

约束条件

$$\begin{cases} g_1(x) = x_{12} + x_{13} + x_{15} = 456.683 \\ g_2(x) = x_{22} + x_{24} + x_{25} = 280.485 \\ g_3(x) = x_{31} + x_{33} + x_{34} = 438.487 \\ g_4(x) = 21.25x_{12} + 9.35x_{13} + 4.25x_{15} + 22x_{22} + 5.28x_{24} + 4.4x_{25} + 29.88x_{31} + 9.13x_{33} + 4.98x_{34} = 39.958.062 \\ x_{ij} \geq 0, \forall i, j \end{cases}$$

上面已求出最优化模型的解

$$\begin{aligned} x_{12}^* &= 1.950.148.03; & x_{13}^* &= -1.493.465.03; \\ x_{22}^* &= 280.485; & x_{31}^* &= 438.487; & f^*(x) &= S^* = 68.245.99 \end{aligned}$$

计算出目标对决策变量的约束向量

$$\begin{aligned} C &= \left[ \frac{\partial f(x)}{\partial x_{12}}, \frac{\partial f(x)}{\partial x_{13}}, \frac{\partial f(x)}{\partial x_{22}}, \frac{\partial f(x)}{\partial x_{31}} \right] \\ &= (0.8 \quad 1.0 \quad 1.1 \quad 0.7) \end{aligned}$$

计算约束变量对决策变量的灵敏度系数<sup>[6,9]</sup>

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1(x)}{\partial x_{12}} & \frac{\partial g_1(x)}{\partial x_{13}} & \frac{\partial g_1(x)}{\partial x_{22}} & \frac{\partial g_1(x)}{\partial x_{31}} \\ \frac{\partial g_2(x)}{\partial x_{12}} & \frac{\partial g_2(x)}{\partial x_{13}} & \frac{\partial g_2(x)}{\partial x_{22}} & \frac{\partial g_2(x)}{\partial x_{31}} \\ \frac{\partial g_3(x)}{\partial x_{12}} & \frac{\partial g_3(x)}{\partial x_{13}} & \frac{\partial g_3(x)}{\partial x_{22}} & \frac{\partial g_3(x)}{\partial x_{31}} \\ \frac{\partial g_4(x)}{\partial x_{12}} & \frac{\partial g_4(x)}{\partial x_{13}} & \frac{\partial g_4(x)}{\partial x_{22}} & \frac{\partial g_4(x)}{\partial x_{31}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 21.25 & 9.35 & 22.00 & 29.88 \end{bmatrix} \\ \text{则: } A^{-1} &= \begin{bmatrix} -0.79 & -1.85 & -2.51 & 0.08 \\ 1.79 & 1.85 & 2.51 & -0.08 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

计算目标对约束变量的一阶灵敏度系数

$$\begin{aligned} \frac{df(x)}{dG(x)} \Big|_{x=x^*} &= CA^{-1} = (0.8 \quad 1.0 \quad 1.1 \quad 0.7) \\ &\begin{bmatrix} -0.79 & -1.85 & -2.51 & 0.08 \\ 1.79 & 1.85 & 2.51 & -0.08 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = (1.16 \\ & 1.47 \quad 1.20 \quad -0.02) \end{aligned}$$

确定约束变量  $g_1(x), g_2(x), g_3(x), g_4(x)$  的变化分别为: -15%, 15%, 15%, 10%。即:

$$G(x) = (-68.502.45 \quad 42.072.75 \quad 65.773.05 \quad 3.995.806.2)^T$$

从而, 可得目标的增值

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{df(x)}{dG(x)} \Big|_{x=x^*} \cdot G(x) = (1.16 \quad 1.47 \\ & 1.20 \quad -0.02) \begin{bmatrix} -68.502.5 \\ 42.072.75 \\ 65.773.05 \\ 3.995.806.2 \end{bmatrix} = -5.515.83 \end{aligned}$$

则目标的变化幅度为:  $|f(x)/f^*(x)| = |(-5.515.83/68.245.99) \times 100\%| = 8.1\%$

由于目标函数的变化幅度 (8.1%) 小于约束变量的变化幅度 (10%)<sup>[6]</sup>。可见, 2009 年大气污染控制 RD-GPLP 建模结果的灵敏度较低, 这样即使约束变量预测有一定的误差, 对模型的目标值也不会造成太大的影响, 因此研究认为该模型还是比较适宜的<sup>[6,11-12]</sup>。

## 4 结论

基于对 RD-GPLP 建模研究和实证可得到:

(1) RD-GPLP 模型是以大气质量与排放量呈负相关关系的理论为基础 (大气质量随着污染物排放量的增加而降低, 随着排放量的减少而改善)。假设条件是: 年际间主要气象条件具有相似性; 区域内排放的污染物的任何变化都是按比例下降<sup>[2]</sup>。被引进的“灰数”表示大气污染控制规划中一些不确定的信息, 且这些灰信息被带进优化过程中, 产生灰解, 通过分析“灰解”的白化值, 实现目标要求<sup>[10]</sup>。

(2) RD-GPLP 建模能够克服传统线性规划模型中, 变量和系数都是确定的数, 而在实际中, 许多变量和系数是不确定的, 它们无法用确定的数表

(下转第 61 页)

化为有用的知识信息,为各级管理者提供一个决策支持环境,以迅速、准确的手段为决策者提供决策的客观依据。

查询优化技术是提高联机分析操作和数据挖掘操作效率的有效手段。数据仓库下的查询优化技术主要包括用缓存内容重写查询、用实体化视图重写查询、多查询优化、近似查询处理等。该项目研发了更加有效地用缓存内容重写查询和用实体化视图重写查询的技术,它可以对查询进行适当粒度的分解;研究能够更加充分利用共享的多查询优化技术。

根据环境管理业务数据特点,研究从数据源抽取主题相关业务数据策略和程序脚本,实现高效而程序化的环境业务数据集成与整合,消除数据冗余和不一致,保持数据完整性和质量,并按为环境业务定制的模式导入到数据仓库中。项目通过创建环境业务数据模型,引导用户进一步探查异常性业务数据的细节和其他相关数据的内容,并通过直观的决策树及关联规则挖掘技术,帮助用户揭示环境数据中隐含的趋势信息,提供决策支持与研判。

### 3 结语

太湖流域信息共享平台的建设是一个长期的过程,平台采用三维地理信息系统技术实现水环境监测数据在三维电子地图上的真实展现,采用消息

中间件技术实现水环境监测数据在各业务系统数据库与中心数据库之间的数据自动抽取、比对和清洗,采用联机分析处理技术和数据挖掘技术实现多种水环境监测数据的多角度综合分析。

建立统一信息发布平台,自动将信息分析结果向不同层次的领导和管理人员分类发送,并利用最新的 3G 通讯技术实现了信息的移动式发布,使相关人员能随时随地了解太湖水环境信息,实现共享平台的应用目标,使环境信息得到充分利用。

#### [参考文献]

- [1] 张宁红. 太湖流域生态安全监测体系的构建 [J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(3): 1 - 5.
- [2] 张涛,熊光陵. 创新监测科研管理推进环境监测发展 [J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 1 - 3.
- [3] 张云涛,温浩宇. 应用 Web Services 降低供应链信息系统总拥有成本 [J]. 现代情报, 2008, 28(1): 53 - 55.
- [4] 冯玖,白尚旺,党伟超. 基于 SOA 的物流信息系统架构研究 [J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(1): 192 - 195.
- [5] 刘晓明,刘军,贺毅辉. B/S 结构下的信息共享研究 [J]. 计算机与现代化, 2009, 25(3): 43 - 45, 48.
- [6] 胡艳丽,肖卫东,徐磊,等. GIS: 一个异构地理空间信息共享系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 45(1): 182 - 185.
- [7] 张蕾,须文波. 基于 SOA 的电子设备信息管理系统的设计 [J]. 硅谷, 2009, 8(1): 41 - 43.

(上接第 33 页)

示;其次,传统线性规划模型的解对系数的变化较为灵敏,在很大程度上影响到规划结果的有效性。通过 RD-GLP 建模实证, RD-GLP 的建模结果对约束变量预测误差的灵敏度较低,规划解具有一定的弹性。

(3) RD-GLP 模型可应用于空间尺度较大的大气污染控制区内,针对不同污染源规划相应的污染控制措施,模型具有较好的适应性和可靠性,规划解能够满足实际大气污染控制规划的需要<sup>[12]</sup>。

#### [参考文献]

- [1] 郭怀成. 环境规划方法与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 程声通. 环境系统分析教程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [3] 邓聚龙. 灰理论基础 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.

- [4] 邓聚龙. 灰预测与灰决策 [M]. 修订版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [5] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用 [M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 刘思峰,邓聚龙. GM(1, 1) 模型的适用范围 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(5): 121 - 124.
- [7] 王学萌,张继忠,王荣. 灰色系统分析及实用计算程序 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [8] 宋新山,邓伟. 环境数学模型 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 钱颂迪. 运筹学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1990.
- [10] 罗党,刘思峰,党耀国. 灰色模型 GM(1, 1) 优化 [J]. 中国工程科学, 2003, 5(8): 50 - 53.
- [11] LU S, LN Y. An introduction to grey system: foundations, methodology and applications [M]. Grove City: IIGSS Academic Publisher, 1998.
- [12] 朱宗强,成官文,梁斌,等. 柳州市大气环境质量及其环境容量测算初探 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(1): 50 - 52, 64.

本栏目责任编辑 薛光璞