

# 主要水污染物总量控制的多层次灰色综合评价法研究

孙娟

(环境保护部环境规划院,北京 100012)

**摘要:**总量控制是我国一项重要的环境保护制度,但由于其影响因素复杂,一直没有较好的方法来全面评价地区总量控制水平。本文基于灰色系统理论,利用灰色关联度建立了主要水污染物总量控制的多层次灰色综合评价法。将该方法应用于我国27个省级地区主要水污染物总量控制综合水平评价,结果表明,本方法是一种有效的综合评价方法,能够反映多因素影响下的地区总量控制制度实施情况,较好地克服了以往单因素评价的不足。

**关键词:**水污染物;总量控制;多层次;灰色综合评价

中图分类号:X52 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2013)02-0006-05

“十一五”期间,主要污染物总量控制成为我国环境保护的一项重要措施,并取得了突出的成绩,如2010年全国化学需氧量(COD)排放总量比2005年削减12.45%。然而,目前总量控制水平多以削减任务完成情况定论,评价结果无法反映总量控制制度执行的综合水平,不利于决策者分析问题和制定应对政策。除削减污染物排放量外,区域的治污投入增加、治污能力增强、环境监管水平提升、环境质量改善等均与总量控制制度的有效实施密切相关。因此,针对总量控制影响因素复杂、指标值获取困难、可量化性低等特点,笔者基于灰色关联度,筛选关键影响因素,设计构建了主要水污染物总量控制的多层次灰色综合评价法。

## 1 方法原理简述

### 1.1 灰色关联度分析

灰色关联度分析是一种多因素统计分析方法,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序。它是一种相对性的排序分析,根据各序列间的关联度判断联系是否紧密,关系越紧密则关联度越大,反之就越小<sup>[1]</sup>。

灰色系统关联分析的具体计算步骤:

①确定参考数列  $x_0(k)$  和  $x_i(k)$  比较数列。

②数列进行无量纲化处理。由于系统中各因素的物理意义不同一般都要进行无量纲化的数据处理。

③求参考数列与比较数列的灰色关联系数  $\xi_i(k)$ , 计算公式为:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k |x_0(k)| + \xi \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中: $\xi$ 为分辨系数, $\xi \in [0, 1]$ ,引入它是为了减少极值对计算的影响,一般取  $\xi \leq 0.5$ 。

④求曲线  $x_i(k)$  对参考曲线  $x_0(k)$  的绝对关联度  $r_i$ ,

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)。$$

⑤排关联序,即用关联度的大小次序描述对于参考序列而言各对比序列的“优劣”关系。

### 1.2 基于灰色关联度的灰色综合评价法

对于事物的综合评价,多数情况是研究多对象的排序问题,即在各个评价对象之间排出优先顺序<sup>[2]</sup>。灰色综合评价主要依据模型<sup>[2,3]</sup>:

$$R = E \times W \quad (2)$$

式中: $R = [r_1, r_2, \dots, r_m]^T$  为  $m$  个被评价对象的综合评判结果向量;

$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$  为  $n$  个评价指标的权重分配向

量,  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ;

$E$  为各指标的判断矩阵,

$$E = \begin{bmatrix} \xi_1(1) & \xi_1(2) & \dots & \xi_1(n) \\ \xi_2(1) & \xi_2(2) & \dots & \xi_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \xi_m(1) & \xi_m(2) & \dots & \xi_m(n) \end{bmatrix}; \xi_i(k) \text{ 为第 } i \text{ 种方案的第 } k$$

个指标与第  $k$  个最优指标的关联系数。

根据  $R$  值进行排序评价。

## 2 综合评价指标体系构建

### 2.1 多层次综合评价法技术思路

灰色关联分析提供了一种定量分析两因素之间关联度的方法<sup>[4]</sup>。为了更客观、全面、综合地评价某地区主要水污染物总量控制制度实施水平,本文在灰色综合评价法基础上建立多层次的综合评价法。技术步骤为:筛选建立多层次指标体系,进行指标关联度分析,综合考虑指标权重计算多层结构关联度,关联度排序评价,具体技术框架见图1。

### 2.2 评价指标体系

一个区域主要水污染物总量控制综合水平提升应

做到治污投资增加,治污能力提高,监管水平增强等,从而有效削减污染物排放总量并改善环境质量。指标项的选取既要全面、合理反映要素层特征,又要考虑到指标值的可获取性。因此,本评价指标体系选取了4大类要素9项指标(见表1)。

指标的权重大小与其对评价结果影响程度有关,影响程度越大则权重值越大,反之权重值越小。权重值的获取主要分为经验方法和数理统计方法,如专家咨询法、主成分分析、AHP分析等<sup>[5-6]</sup>。权重取值对评价结果影响较大,因此,一般可根据实际情况进行权重值调整使评价结果更趋于合理。本文采用专家咨询法确定因素指标权重,具体取值见表1。

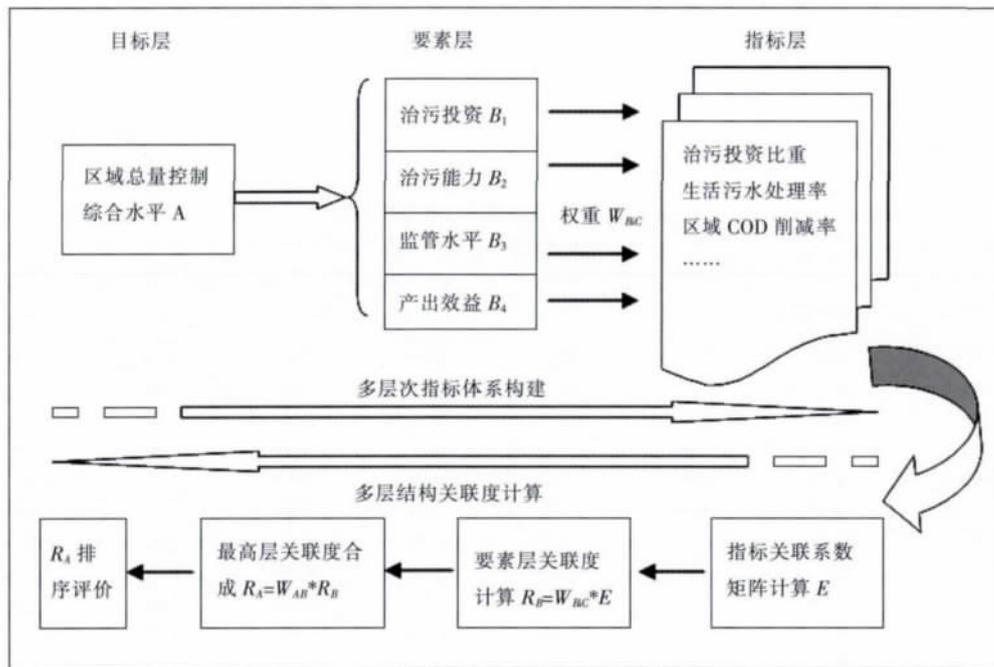


图1 主要水污染物总量控制的多层次灰色综合评价法技术框架

Fig.1 The technical framework of multi-level grey comprehensive evaluation method for total amount control of major water pollutants

表1 主要水污染物总量控制的多层次灰色综合评价指标体系

Table1 The evaluation indexes of multi-level grey comprehensive evaluation method for total amount control of major water pollutants

目标层	要素层	权重 $W_{AB}$	指标层	权重 $W_{BC}$
区域总量控制综合水平 A	治污投资 $B_1$	0.2	环境污染治理投资总额占 GDP 比重 $C_1$	0.4
			城市环境基础设施建设投资占治污总投资比重 $C_2$	0.3
			工业污染源治理投资占治污总投资比重 $C_3$	0.3
	治污能力 $B_2$	0.3	区域生活污水处理率 $C_4$	0.5
			区域工业废水 COD 平均排放浓度 $C_5$	0.5
	监管水平 $B_3$	0.2	工业废水达标排放率 $C_6$	0.7
			违法排污引发环境事件 $C_7$	0.3
	产出效益 $B_4$	0.3	区域 COD 削减目标完成率 $C_8$	0.7
			“十一五”期间区域国控断面 COD 平均浓度下降比例 $C_9$	0.3

### 3 主要水污染物总量控制综合评价案例

对全国 27 个省级行政区 2010 年的主要水污染物总量控制情况进行综合评价。

#### 3.1 指标层关联系数计算

(1) 选取参考数列。参考数列即为最优方案,其指标值是诸方案中最优值,若某指标取值最大为好,则取各方案中最大值,若取最小为好,则取各方案的最小值,也可以是评估者公认的最优值。根据指标性质,本次评价按最大或最小值确定参考数列  $C_{0k}$ , 具体取值如下<sup>[7]</sup>:

$$C_{0k}=(3.1,89.2,22.8,0.9,58.8,100.0,1.0,187.2,74.3)$$

(2) 指标值规范化处理。为了使各指标之间可以比较,需要对各指标值进行规范化处理,规范化的公式如下:

$$C_{ik} = \frac{C_{ik} - \min_i C_{ik}}{\max_i C_{ik} - \min_i C_{ik}} \quad (3)$$

(3) 指标层关联系数计算。根据公式(1)计算各指标灰色关联系数。经计算  $\min_i \min_k |C_0(k) - C_i(k)| = 0$ ,  $\max_i \max_k |C_0(k) - C_i(k)| = 1$ , 取  $\xi = 0.5$ , 则 27 个地区各指标的灰色关联系数矩阵  $E$  的计算结果如表 2。

#### 3.2 多层次结构关联度合成

(1) 要素层关联度。考虑各指标重要性程度的差别,要素层各要素的关联度计算采用加权平均合成法,根据公式(2)计算各要素关联度,其中  $W$  为权重矩阵,  $E$  为指标关联系数矩阵,结果如下:

$$R_{B_1} = W_{B_1,C} E_{B_1,C} = (0.50, 0.50, 0.52, 0.53, 0.54, 0.47, 0.44, 0.42, 0.44, 0.44, 0.38, 0.49, 0.46, 0.54, 0.46, 0.42, 0.53, 0.45, 0.80, 0.47, 0.54, 0.40, 0.53, 0.46, 0.58, 0.66, 0.51)$$

$$R_{B_2} = W_{B_2,C} E_{B_2,C} = (0.96, 0.78, 0.71, 0.56, 0.55, 0.57, 0.41, 0.43, 1.00, 0.77, 0.81, 0.67, 0.77, 0.61, 0.81, 0.63, 0.63, 0.54, 0.68, 0.38, 0.67, 0.48, 0.65, 0.56,$$

表2 27个地区各指标的灰色关联系数表\*  
Table2 Grey incidence coefficients for 27 provinces

地区	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
北京	0.47	0.70	0.33	0.93	1.00	0.90	1.00	0.48	0.53
天津	0.40	0.53	0.59	0.79	0.77	1.00	1.00	0.33	0.49
河北	0.50	0.71	0.36	0.85	0.58	0.89	1.00	0.38	0.64
山西	0.61	0.41	0.54	0.67	0.46	0.68	1.00	0.35	0.62
内蒙古	0.55	0.68	0.39	0.58	0.51	0.54	1.00	0.36	0.36
辽宁	0.39	0.62	0.41	0.69	0.45	0.61	0.60	0.41	0.95
吉林	0.44	0.51	0.38	0.43	0.39	0.51	1.00	0.44	1.00
黑龙江	0.41	0.50	0.37	0.41	0.44	0.40	1.00	0.37	0.46
上海	0.36	0.58	0.41	1.00	1.00	0.85	1.00	1.00	0.42
江苏	0.40	0.57	0.37	0.71	0.83	0.86	1.00	0.40	0.38
浙江	0.41	0.36	0.36	0.86	0.77	0.75	0.33	0.39	0.49
安徽	0.44	0.68	0.36	0.71	0.64	0.85	0.60	0.37	0.36
福建	0.37	0.54	0.50	0.58	0.96	0.90	1.00	0.37	0.33
江西	0.47	0.79	0.37	0.57	0.64	0.66	0.33	0.37	0.33
山东	0.41	0.52	0.45	0.94	0.69	0.88	1.00	0.43	0.53
河南	0.34	0.49	0.45	0.69	0.57	0.81	1.00	0.43	0.43
湖北	0.37	0.54	0.73	0.64	0.61	0.78	1.00	0.49	0.41
湖南	0.35	0.52	0.53	0.50	0.57	0.64	0.60	0.35	0.37
广东	1.00	1.00	0.35	0.62	0.73	0.62	0.60	0.42	0.42
广西	0.48	0.54	0.39	0.33	0.43	0.79	0.33	0.34	0.38
重庆	0.59	0.64	0.37	0.76	0.58	0.68	0.60	0.37	0.35
四川	0.33	0.46	0.43	0.50	0.46	0.76	1.00	0.36	0.33
贵州	0.34	0.33	0.98	0.54	0.77	0.33	0.60	0.36	0.36
云南	0.44	0.50	0.46	0.67	0.44	0.58	1.00	0.38	0.51
陕西	0.49	0.54	0.73	0.49	0.47	0.82	0.60	0.40	0.94
甘肃	0.45	0.59	1.00	0.46	0.44	0.40	1.00	0.35	0.33
宁夏	0.56	0.52	0.44	0.59	0.33	0.35	1.00	0.33	0.34

\*注: 27 个省级行政区的 9 项指标数据来源于《中国环境统计年报》(2010)。

0.48,0.45,0.46)

$$R_{B_3}=W_{B_3,C}E_{B_3,C}=(0.93,0.70,0.62,0.48,0.38,0.42,0.36,0.28,0.60,0.60,0.52,0.60,0.63,0.46,0.61,0.57,0.55,0.45,0.44,0.55,0.48,0.54,0.23,0.41,0.57,0.28,0.24)$$

$$R_{B_4}=W_{B_4,C}E_{B_4,C}=(0.50,0.38,0.46,0.43,0.36,0.57,0.61,0.40,0.82,0.39,0.42,0.37,0.36,0.36,0.46,0.43,0.46,0.36,0.42,0.35,0.37,0.35,0.36,0.42,0.56,0.34,0.34)$$

(2) 各省最终关联度。最高层关联度计算公式为

$R_A=W_{AB}R_B$ , 各地区最终关联度为:

$$R_A=(r_1,r_2,\dots,r_{27})=(0.72,0.59,0.58,0.50,0.46,0.52,0.47,0.39,0.75,0.56,0.55,0.53,0.56,0.49,0.60,0.52,0.54,0.45,0.58,0.42,0.52,0.44,0.46,0.47,0.54,0.42,0.39)$$

### 3.3 评价结果分析

(1) $R_A$  值是指地区总量控制水平与最佳参考序列的关联度, $R_A$  值越大则说明总量控制水平越高,反之总量控制水平越低。如图 2 所示,对全国 27 个省级地区的  $R_A$  值进行排序,结果表明上海、北京、山东、天津等地的  $R_A$  值较高区,而黑龙江、宁夏、甘肃、广西等地的值较低区,即说明排序靠前的上海、北京、山东、天津等地主要水污染物总量控制综合水平较高,而排序靠后地区总量控制综合水平较低。

(2) $R_A$  值是通过多层次灰色综合评价法计算所得的综合关联度,能够反映 4 大类 9 项指标共同影响下的地区总量控制综合水平。如由于上海、北京、山东、天津等地的治污能力、产出效益、监管水平、治污投资均存于中上水平,因此区域总量控制综合水平较高,同

理,黑龙江、宁夏、甘肃、广西等地由于各单项指标水平较低,导致区域总量控制综合水平较低。

(3) $R_A$  值与指标权重相关,指标权重大小差异对综合水平的影响程度也不同,权重越大影响越强。如图 2 显示,权重较大的  $R_{B_1}$ 、 $R_{B_3}$  曲线与  $R_A$  趋势更为接近,权重较小的  $R_{B_2}$ 、 $R_{B_4}$  曲线与  $R_A$  离散度相对高些。

### 4 结论

如前所述,主要水污染物总量控制制度实施过程涉及方方面面,且其影响因素存在信息不完备、不确切等特点,利用灰色系统理论评价地区总量控制综合水平可提高评价的全面性、可信度。

本文基于灰色关联度构建的多层次灰色综合评价法方法是主要水污染物总量控制评价的一种有效手段。一方面,该方法可通过多层次指标体系扩大影响因素范畴,使评价结果更合理、更准确,另一方面,又可通过多层关联度计算将各因素的影响效果整合为一个综合评价指标值,便于评价地区总量控制综合水平。

但是,由于指标体系和指标权重对评价结果有决定的影响,而指标选取和权重取值又由各地的实际情况而定,具有一定的随机性。所以,在应用本方法时需根据实际情况不断调整指标体系及指标权重进行试算直至结果满意为止。

参考文献:

[1] 刘思峰,党耀国.灰色系统理论及应用[M].北京:科学出版社,2010:1-11. (LIU Sifeng ,DANG Yaoguo. Grey System Theory and Application[M]. Beijing: Science Press ,2010:1-11. (in Chinese))  
 [2] 杜栋,庞庆华.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2008:112-119. (DU Dong, PANG Qinghua. Modern Compre-

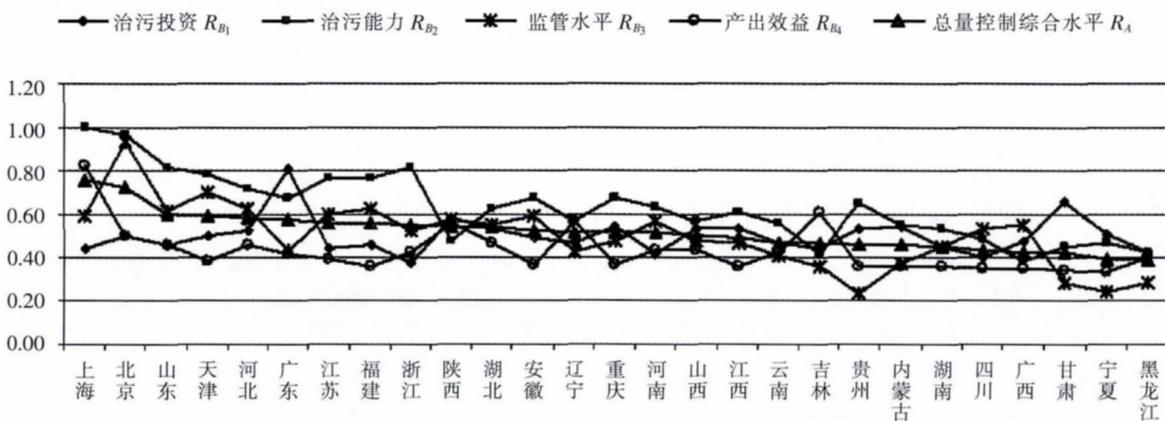


图 2 各地区主要水污染物总量控制的关联度排序情况  
 Fig.2 Relational degree for the total amount control of major water pollutants in 27 provinces

- hensive Evaluation Methods and Case Selection[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 112-119. (in Chinese))
- [3] 徐改丽, 吕跃进. 一种基于灰色关联度的多属性群决策方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48 (9): 235-237. (XU Gaili, LV Yuejin. Method for multiple attribute group decision making based on grey incidence[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48 (9): 235-237. (in Chinese))
- [4] 周玲, 郭胜利. 洪泽湖区域气候变化与水位的灰色关联度分析[J]. 环境科学与技术, 2012, 35 (2): 25-29. (ZHOU Ling, GUO Shengli. Grey relativity analysis of climate change and water level in Hongze Lake wetland [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(2): 25-29. (in Chinese))
- [5] 廖红强, 邱勇. 对应用层次分析法确定权重系数的探讨[J]. 机械工程师, 2012, (6): 22-24. (LIAO Hongqiang, QIU Yong. A study of weight coefficient computing method based on AHP [J]. Mechanical Engineer, 2012, (6): 22-24. (in Chinese))
- [6] 熊立, 王国华. 一种群决策中专家客观权重的确定方法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27 (4): 652-655. (XIONG Li, WANG Guohua. New method for determining the objective weight of decision makers in group decision [J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(4): 652-655. (in Chinese))
- [7] 中华人民共和国环境保护部. 中国环境统计年报(2010)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2011. (Ministry of Environmental Protection of The People's Republic of China. Annual Statistic Report on Environment in China for 2010 [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011. (in Chinese))

## Study on Multi-level Grey Comprehensive Evaluation Method for Total Amount Control of Water Pollutants

SUN Juan

(China Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Total amount control is an important environmental protection policy. It is difficult for us to get a comprehensive assessment of it, because of the complexity of the influencing factors. In this study, a multi-level grey comprehensive evaluation method was established for total amount control of water pollutants by using grey relational analysis. The total amount levels of 27 provinces were calculated with this method. Those levels can more comprehensively reflect the situation of water pollution control in provinces than single-factor evaluation.

**Key words:** water pollutant; total amount control; multi-level; grey comprehensive evaluation

## 《中国防汛抗旱》杂志征订、征稿启事

《中国防汛抗旱》杂志是中国科学技术协会主管、中国水利学会主办、国家防办业务指导的以防汛抗旱减灾为主题的综合类刊物,国内外公开发行,中国核心期刊遴选数据库(万方数据库)、中国期刊全文数据库(同方数据库)、中文科技期刊数据库(维普资讯网)收录本刊。

欢迎全国水利系统、大专院校、科研院所等从事防汛抗旱减灾、水文水资源、水利工程建设与管理等相关工作的社会各界人士订阅和来稿。

栏目设置:特稿、会议专栏、专题研讨、调查研究、灾后反思、减灾技术、经验交流、国外经验、政策研析、信息资讯、减灾动态等。

刊登内容:防汛抗旱理念、方略、机制,防汛抗旱经验、教训、建议,洪水和干旱机理,水旱灾害管理,防

汛抗旱信息动态及防汛抗旱技术开发推广等相关方面具有创新性的学术论文、应用报告、专题综述。

近期征文主题:防办能力建设、中小河流治理、山洪灾害防治非工程措施建设、抗旱规划实施、抗旱服务组织建设、防汛抢险队伍建设、洪水风险图编制、防汛抗旱调度、洪水影响评价条例实施等。

出版发行:每逢双月出版,每册定价10元,全年共60元;由中国防汛抗旱杂志社自办发行。

订阅电话:(010)68532207 (010)68532209

传真:(010)68522446

投稿电话:(010)68781008

投稿邮箱:cfdm2006@126.com

通讯地址:北京市海淀区玉渊潭南路1号D座706室  
邮编:100038