

文章编号:1000-582X(2009)11-1352-05

灰色关联度分析法用于清洁生产的方案研制

熊文强,尹 刚,刘启承

(重庆大学 资源及环境科学学院,重庆 400030)

摘 要:针对中国清洁生产审核方案研选存在的不足,运用灰色关联度分析法,构建清洁生产指标体系,并将经济指标、环境指标及技术指标量化细化,再与评价标准对比进行分析评判,最后选出与评价标准关联度最大的方案作为最优方案。通过重庆某水泥厂案例研习,证明灰色关联度分析法用于清洁生产方案研选可有效避免人为主观偏好影响,使研选出的清洁生产方案更科学、公正,各项指标更好。

关键词:清洁生产;方案;灰色关联度分析法;主观偏好

中图分类号: X383

文献标志码: A

Research on grey correlation analysis for cleaner production

XIONG Wen-qiang , YIN Gang , LIU Qi-cheng

(College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: The current methods used to select the schemes for Cleaner Production in China have some disadvantages. This paper presents the Grey Correlation Analysis and constructs a new index system for Cleaner Production schemes. The environmental index, the economic index, etc., and technical index, are quantified and minimized. Each scheme is compared with the evaluation standard. The optimal scheme which has the largest correlation with the evaluation standard. The result shows that the Grey Correlation Analysis can effectively avoid the subjective bias on the scheme selection for Cleaner Production. Schemes for Cleaner Production selected by the Grey Correlation Analysis have better performance than those selected by the traditional method in terms of economic, environmental and technical indexes.

Key words: cleaner production; schemes; grey correlation analysis; subjective bias

清洁生产是一种新的环保战略,也是一种全新的思维方式,更是 21 世纪工业可持续发展的必由之路和发展模式。清洁生产的大潮正逐渐在全球掀起,现在全世界已找不到一个没有推行过清洁生产的国家和地区。清洁生产审核是企业推行清洁生产的首要工作,而清洁生产方案研选是清洁生产审核的关键环节^[1-2]。

目前国内外清洁生产审核方案研选,通常采用

的是权重总和计分排序法和专家打分法,运用最广泛的是单指标评价方法,主要包括综合评价指数法和百分制法。综合评价指数法是把评价指标转化成同一尺度上可以相互比较的量,采用指数方法分为单项评价指数、类别评价指数和综合评价指数,该法易于应用,但很难准确获得其类比参照值。百分制法是专家根据企业的实际情况按评分表中的等级分值打分,通过乘以各自的权重值累加得到总分来判

收稿日期:2009-06-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(79570092);重庆市经委资助项目(200593)

作者简介:熊文强(1952-),男,重庆大学高级工程师,主要从事环境保护与清洁生产方向的研究,

(E-mail)xwq5253@163.com。

断企业的清洁生产程度,但操作时专家主观性较强,且没有考虑各个具体指标间的相互影响制约关系以及不同指标对体系整体水平的贡献大小^[3]。另外,也有采用模糊数学评价法、德尔菲法等。这些方法均不同程度地存在一些问题,也不是很科学合理。为此,尝试先构建各清洁生产方案的指标体系,比如:经济指标、环境指标、技术指标等,并把这些指标量化细化。再运用灰色关联度分析法将每个方案与评价标准比对后进行分析评判,最后选出与评价标准关联度最大的方案作为最优方案。

1 清洁生产方案研选方法简介

1.1 方案收集

清洁生产方案的主要征集路径有^[3-5]:1)广泛采集,在全厂范围内利用各种渠道和形式,鼓励员工提清洁生产方案和合理化建议,制定奖励措施以鼓励创造性思想和方案的产生。2)根据物料衡算产生方案,通常情况下的物料衡算有原材料的物料衡算、水平衡、污染物浓度及总量衡算等。这些衡算结果数据充分、针对性强,通过整理分析可找出企业不清洁的问题所在,即提出清洁生产方案;同时为解决问题提供了必要的科学依据。通过物料衡算产生的清洁生产方案是其他方案采集路径所无法替代的。3)广泛收集国内外同行业先进技术类比是产生方案的一种快捷、有效的方法。企业在组织工程技术人员广泛收集国内外同行业的先进技术、生产工艺的前提下,结合本组织的实际情况,提出清洁生产方案。此种方式提出的方案可操作性较强,具有一定的前瞻性。4)组织行业专家进行技术咨询,企业聘请本行业的知名专家,对本厂的工艺、设备和管理现状进行整体评估。专家利用自身对全行业的了解以及工作经验,对企业的清洁生产方案提出意见和建议。此种方式提出的清洁生产方案,可有效突破企业内部的习惯势力,有利于企业克服自我封闭意识,为企业今后良性发展提供契机^[5-7,9]。

1.2 方案筛选

对大量的清洁生产方案,首先是初步筛选,分出可行的无/低费方案、初步可行的中/高费方案和不可行方案三大类。其中,可行的无/低费方案可立即实施;初步可行的中/高费方案供下一步进行研制筛选;不可行的方案则搁置或否定。

1)确定初步筛选因素:初步筛选因素可考虑技术可行性、环境效果、经济效益、实施难易程度以及对生产和产品的影响等几个方面。

2)进行初步筛选:对清洁生产方案初步筛选时,

一般采用简易筛选方法。

3)权重总和计分排序:权重总和计分排序首先是选择权重因素和权重值,然后计算排序。

4)研制方案:主要包括:技术评估、环境评估、经济评估、方案实施计划、资金筹措等比较研析。

2 灰色关联度分析法

2.1 基本原理

客观世界,既是物质的世界又是信息的世界。它既包含大量的已知信息,也包含大量的未知信息与非确定信息。未知的或非确定的信息称为黑色信息;已知的信息称为白色信息。既含有已知信息和非确定信息的系统,称为灰色系统。

灰色系统理论,是由中国学者邓聚龙教授于 20 世纪 80 年代首创的一种系统科学理论。它主要包括灰色系统建模理论、灰色系统控制理论、灰色系统关联分析法、灰色预测方法、灰色规划方法、灰色决策方法等。

利用灰色关联度分析评价各个清洁生产方案所处的水平,对各个清洁生产方案进行排序,确定最优清洁生产方案,并根据灰色关联系数找出其他清洁生产方案存在的问题。其中最关键的是确定评价的最优序列,其参考数据列是多个清洁生产方案各个指标中的最优值,实际上是企业在特定水平清洁生产方案的理想模式,该模式就是关联度评价的标准。用其他各清洁生产方案与该模式对比做出定量评价,关联度越大,说明该方案最具清洁生产水平,应最先实施^[8,13-14]。

2.2 评价模型

对于企业获得的 m 个清洁生产方案,它们的评价指标体系由 n 个指标组成。每个清洁生产方案的所有指标值就构成了 1 个数据列,称为比较数据列,计作 X_i 。参考数据列由筛选的 m 个清洁生产方案中各单项指标值的最优值组成,计作 X_0 。于是得到如下数据列:

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), (i = 1, 2, \dots, m),$$

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)).$$

对于目前清洁生产方案的筛选现状,拟选取 5 个指标作为评价指标体系,分别是:投资回收期、净现值与总投资的商、内部收益率、环境综合指标与技术可行性指标^[10-12]。

最优指标的选取按以下原则执行:如果某项指标值属性是越大越好,则

$$X_0^{(0)}(j) = \max_j \{X_i^{(0)}(j)\}, j \in J^+,$$

其中: J^+ 表示指标值越大越好的指标集合;如果某

项指标值属性是越小越好,则

$$X_0^{(0)}(j) = \min_i x\{X_i^{(0)}(j)\}, j \in J^-,$$

其中: J^- 表示指标值越小越好的指标集合。

对于拟选取的指标中,投资回收期是越小越好,净现值与总投资的商、内部收益率与环境指标是越大越好。对于环境综合指标,在计算的过程中,是用该清洁生产方案实施以后所能达到的环境效果为 $f(x)$,其中 $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, (x_1, x_2, \dots, x_n) 为该清洁生产方案实施后 n 个环境指标因子的量化值, (y_1, y_2, \dots, y_n) 为该环境指标因子对应的清洁生产标准的一级指标数值,若对于该行业没有清洁生产标准,则取排放标准中的一级标准,则环境指标系数为 $\frac{1}{n} \left(\frac{x_1}{y_1} + \frac{x_2}{y_2} + \dots + \frac{x_n}{y_n} \right)$;若该清洁生产方案实施后只能用定性指标来描述环境的变化,则该环境指标系数取 1。

由于影响方案的各因素指标的量纲和数量级各不相同,不能进行直接比较。为使方案间相同因素指标具有可比性,需要对原始数据进行无量纲化处理^[14-16]。指标的无量纲化处理,可以根据指标的属性按(1)式或(2)式进行处理,处理后的指标值记为 $X_i(j)$,即

$$X_i(j) = \frac{X_i^{(0)}(j) - \min_i\{X_i^{(0)}(j)\}}{\max_i\{X_i^{(0)}(j)\} - \min_i\{X_i^{(0)}(j)\}},$$
$$i = 1, 2, \dots, n; j \in J^+, \quad (1)$$

$$X_i(j) = \frac{\max_i\{X_i^{(0)}(j)\} - X_i^{(0)}(j)}{\max_i\{X_i^{(0)}(j)\} - \min_i\{X_i^{(0)}(j)\}},$$
$$i = 1, 2, \dots, n; j \in J^-. \quad (2)$$

经过式(1)或(2)式处理后,把第 i 个备选方案的 n 个因素指标的无量纲化数值构成的数列 $\{X_i(j)\}$ ($j=1, 2, \dots, m$),称为比较数列;把理想指标值(各比较方案选出来的最优值)无量纲化后的数值构成的数列 $\{X_0(j)\}$ ($j=1, 2, \dots, m$),称为参考数列。则根据(3)式可以计算出 m 个清洁生产方案的数据列与评价标准的比较数据列的关联系数,

$$\xi_i(j) = \frac{\Delta \min + R \cdot \Delta \max}{\Delta_{i(j)} + R \cdot \Delta \max},$$
$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

式中: $\Delta_{i(j)} = |x_{i(j)} - x_{0(j)}|$; $\Delta \min = \min_i(\min_j \Delta_{i(j)})$;
 $\Delta \max = \max_j(\max_i \Delta_{i(j)})$;

R 为分辨系数(R 取 0.5)。

按式(3)计算的关联系数 $\xi_i(j)$,它只反映了第 i 个比较数列与参考数列在第 j 项指标处的关联程度,它是一个孤立、分散的信息。为了将这些孤立、

分散的信息集中起来,以便反映第 i 个比较数列与参考数列在所有 n 个指标中的整体关联程度,用各备选方案的 n 个关联系数的平均值作为各备选方案的数据列与参考数列的整体关联程度的度量,定义关联度为

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_{i(j)}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

将 r_i ($i=1, 2, \dots, n$)按大小排列,即 $r_{i_1} > r_{i_2} > \dots > r_{i_n}$ 便得到关联序 $\{r_{i_1}, r_{i_2}, \dots, r_{i_n}\}$,根据关联序就可以对备选方案的优劣进行区分,从而为决策提供科学依据。

3 重庆某水泥厂案例研析

3.1 案例简介

重庆某水泥厂经过清洁生产审核提出了 30 个清洁生产方案(无/低费方案 20 个,占 66.7%,中/高费方案 10 个,占 33.3%),经初步筛选后剩下 4 个待比较的清洁生产高费方案,分别是方案 1:1# 生产线循环水管网的改造;方案 2:煤磨器收尘改造;方案 3:窑尾除尘器技术改造;方案 4:水泥磨脱硫石膏的利用。

3.2 计算过程

4 个方案的数据列见表 1。

表 1 各备选方案的初始数据表

| 方案 | 经济综合指标 | | | 环境综合指标 | | | 技术综合指标 | | |
|----|--------|------|-------|--------|------|------|--------|------|------|
| | N | F | P | U | V | W | X | Y | Z |
| 1 | 3.25 | 7.64 | 11.50 | 0.35 | 0.65 | 1.00 | 0.40 | 0.60 | 1.00 |
| 2 | 9.50 | 2.81 | 3.10 | 0.82 | 0.84 | 1.66 | 0.60 | 0.40 | 1.00 |
| 3 | 9.30 | 6.11 | 4.10 | 0.88 | 0.78 | 1.66 | 0.60 | 0.40 | 1.00 |
| 4 | 2.20 | 8.39 | 18.90 | 0.10 | 0.90 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 1.00 |

说明:1) N 为投资回收期(年)、 F 为年增加现金流量与总投资的商(%)、 P 为内部收益率(%);

2) 环境指标涉及很多,研究仅定量选取 3 个主要指标, U 为减污权重系数(0~1)、 V 为资源利用权重系数(0~1)、 W 作为环境综合指标表征结果(无量纲,权重系数求和);

3) X 为技术先进性权重系数(0~1)、 Y 为技术实用性权重系数(0~1)、 Z 为技术综合指标表征结果(无量纲,权重系数求和)。

对于经济综合指标中的投资回收期是越短越好,则 4 个方案中方案 4 的投资回收期最短,为 2.2 a;年增加现金流量与总投资的商是越大越好,4 个方案中,方案 4 的年增加现金流量与总投资的商最大为 8.39%;内部收益率也是越大越好,4 个方案中,方案 4 的内部收益率最大为 18.9%。

环境综合指标中减污权重系数是项目实施后减污量与原排污量之比,资源利用权重数是项目实施后资源利用提高率,环境综合指标是越大越好,4 个方案中,方案 2 和 3 的环境指标最大,均为 1.66。

技术综合指标中技术先进性权重系数和实用性权重系数均是一定性和半定量概念,4 个方案都为 1。

通过对各个指标的比较,得出参考数据列为(2.2,8.39%,18.9%,1.66,1)。用式(1)和(2)对上述 4 个清洁生产方案的各项指标进行无量纲化处理,对于方案 1

$$X_1(1) = \frac{\max_i \{ X_i^{(0)}(1) \} - X_1^{(0)}(1)}{\max_i \{ X_i^{(0)}(1) \} - \min_i \{ X_i^{(0)}(1) \}}$$

$$= \frac{9.5 - 3.25}{9.5 - 2.2} = 0.856;$$

$$X_1(2) = \frac{X_1^{(0)}(2) - \min_i \{ X_i^{(0)}(2) \}}{\max_i \{ X_i^{(0)}(2) \} - \min_i \{ X_i^{(0)}(2) \}}$$

$$= \frac{7.64\% - 2.81\%}{8.39\% - 2.81\%} = 0.866;$$

$$X_1(3) = \frac{X_1^{(0)}(3) - \min_i \{ X_i^{(0)}(3) \}}{\max_i \{ X_i^{(0)}(3) \} - \min_i \{ X_i^{(0)}(3) \}}$$

$$= \frac{11.5\% - 3.1\%}{18.9\% - 3.1\%} = 0.532;$$

$$X_1(4) = \frac{X_1^{(0)}(4) - \min_i \{ X_i^{(0)}(4) \}}{\max_i \{ X_i^{(0)}(4) \} - \min_i \{ X_i^{(0)}(4) \}}$$

$$= \frac{1 - 1}{1.66 - 1} = 0;$$

$$X_1(5) = \frac{X_1^{(0)}(5) - \min_i \{ X_i^{(0)}(5) \}}{\max_i \{ X_i^{(0)}(5) \} - \min_i \{ X_i^{(0)}(5) \}}$$

$$= \frac{1 - 1}{1 - 1} = 1;$$

其中 $i=1,2,\dots,m$ 。

同理对方案 2、3、4 计算处理汇总结果见表 2。

对于评价标准——参考数据列,由于所选数据均是各个指标的最优值,故参考数据列的无量纲化数值都为 1。

表 2 比较数列 $X_i(j)$ 与参考数列 $X_0(j)$ 计算结果

| 方案 | 经济综合指标 | | | 环境综合指标 | 技术综合指标 |
|------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | N | F | P | | |
| 1 | 0.856 | 0.866 | 0.532 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 0.026 | 0.591 | 0.063 | 1 | 1 |
| 4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0 | 1 |
| 参考数列 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1 | 1 |

绝对差的计算过程如下

对于方案 1

$$\Delta_{01}(1) = | X_1(1) - X_{01}(1) | = | 0.856 - 1 | = 0.144;$$

$$\Delta_{01}(2) = | X_1(2) - X_{01}(2) | = | 0.866 - 1 | = 0.134;$$

$$\Delta_{01}(3) = | X_1(3) - X_{01}(3) | = | 0.532 - 1 | = 0.468;$$

$$\Delta_{01}(4) = | X_1(4) - X_{01}(4) | = | 0 - 1 | = 1;$$

$$\Delta_{01}(5) = | X_1(5) - X_{01}(5) | = | 1 - 1 | = 0;$$

方案 2、3、4 绝对差计算同理,计算结果汇总见表 3。

表 3 绝对差 $\Delta_{0i}(j)$ 的计算结果

| 方案 | 经济综合指标 | | | 环境综合指标 | 技术综合指标 |
|------------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | N | F | P | | |
| $\Delta_{01}(j)$ | 0.144 | 0.134 | 0.468 | 1 | 0 |
| $\Delta_{02}(j)$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0 | 0 |
| $\Delta_{03}(j)$ | 0.974 | 0.409 | 0.937 | 0 | 0 |
| $\Delta_{04}(j)$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

关联系数 $\xi_1(j)$ 的计算过程如下

对于方案 1

$$\xi_{1(1)} = \frac{\Delta_{\min} + R \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{1(1)} + R \cdot \Delta_{\max}} = \frac{0 + 0.5 \times 1}{0.144 + 0.5 \times 1} = 0.776;$$

$$\xi_{1(2)} = \frac{\Delta_{\min} + R \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{1(2)} + R \cdot \Delta_{\max}} = \frac{0 + 0.5 \times 1}{0.134 + 0.5 \times 1} = 0.789;$$

$$\xi_{1(3)} = \frac{\Delta_{\min} + R \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{1(3)} + R \cdot \Delta_{\max}} = \frac{0 + 0.5 \times 1}{0.468 + 0.5 \times 1} = 0.516;$$

$$\xi_{1(4)} = \frac{\Delta_{\min} + R \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{1(4)} + R \cdot \Delta_{\max}} = \frac{0 + 0.5 \times 1}{1 + 0.5 \times 1} = 0.333;$$

$$\xi_{1(5)} = \frac{\Delta_{\min} + R \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{1(5)} + R \cdot \Delta_{\max}} = \frac{0 + 0.5 \times 1}{0 + 0.5 \times 1} = 1.$$

方案 1 关联度的计算结果为

$$r_1 = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^n \xi_{1(j)} = \frac{1}{5} (0.776 + 0.789 + 0.516 + 0.333 + 1) = 0.683.$$

方案 2、3、4 关联系数及关联度计算过程同理。各清洁生产方案关联系数和关联度计算结果汇总于表 4。

表 4 关联系数 ξ_i 与关联度 r_i 的计算结果

| 方案 | 经济综合指标 | | | 环境综合指标 | 技术综合指标 | r_i |
|------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | N | F | P | | | |
| $\xi_1(j)$ | 0.776 | 0.789 | 0.516 | 0.333 | 1 | 0.683 |
| $\xi_2(j)$ | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 1.000 | 1 | 0.600 |
| $\xi_3(j)$ | 0.339 | 0.550 | 0.348 | 1.000 | 1 | 0.647 |
| $\xi_4(j)$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.333 | 1 | 0.867 |

由表 4 计算的关联度可知, $r_4 > r_1 > r_3 > r_2$, 便得到关联序 $\{r_4, r_1, r_3, r_2\}$, 因此该企业清洁生产审核中

清洁生产方案优劣的排序为方案 4(水泥磨脱石膏利用)优于方案 1(1# 生产线循环水管网的改造),方案 1 优于方案 3(窑尾除尘器技术改造),方案 3 优于方案 2(煤磨电除尘器技术改造);该水泥厂 4 个备选清洁生产方案中,应优先实施方案 4,在经济和其他条件允许的情况下,依次实施方案 1、3 和 2。

4 结 语

清洁生产方案综合评价有多属性多层次性的特征,涉及到技术、经济和环境等诸多方面的因素,而且带有许多随机性和模糊性。将灰色关联度分析法用于清洁生产方案的研制,应用案例所得评价结论与实际吻合。特别是有效地克服了其他评价方法的人为主观偏好影响,把以往定性描述的环境可行性进行了定量描述,把技术可行性进行了半定量描述,最终给出定量的结论,且使最后的结论是清洁生产方案各指标综合作用的结果,使评价结果更具科学性和客观性。

参考文献:

- [1] 吴映梅,李亚,张雷. 中国区域发展资源环境基础支撑能力动态评价[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(3): 20-23.
WU YING-MEI, LI YA, ZHANG LEI. Evaluation of regional resource-environment base supportability: the case of southwest China [J]. Areal Research and Development, 2006, 25(3): 20-23.
- [2] 张传友. 灰色关联决策理论在工程投标选择中的应用[J]. 基建优化, 2006, 27(1): 11-13.
ZHANG CHUAN-YOU. Application of grey incidence decision-making theory on decision-making of engineering bidding [J]. Optimization of Capital Construction, 2006, 27(1): 11-13.
- [3] 张旭,熊文强,许丹宇,等. BP 模型在水泥行业清洁生产评价案例中的应用[J]. 环境科学与管理, 2009, 31(5): 179-182.
ZHANG XU, XIONG WEN-QIANG, XU DAN-YU, et al. The application of BP model in the case of clean production evaluation for the cement industry [J]. Environmental Science and Management, 2009, 31(5): 179-182.
- [4] HUR T, KIM I, YAMAMOTO R. Measurement of green productivity and its improvement[J]. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(7): 673-683.
- [5] MOBERG A, FINNVEDEN G, JOHANSSON J, et al. Life cycle assessment of energy from solid waste-part 1: general methodology and results [J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(3): 213-229.
- [6] 熊文强,王新杰. 农业清洁生产: 21 世纪农业可持续发展的必然选择[J]. 软科学, 2009, 23(7): 114-117.
XIONG WEN-QIANG, WANG XIN-JIE. The agricultural cleaner production-an essential choice for 21th century sustainable agricultural development [J]. Soft Science, 2009, 23(7): 114-117.
- [7] 陈涛. 灰色多层次综合评价模型建立及应用[J]. 大庆师范学院学报, 2008, 28(5): 79-81.
CHEN TAO. Establishing and application of gray multi-level comprehensive evaluation model [J]. Journal of Daqing Normal University, 2008, 28(5): 79-81.
- [8] 王守兰,武少华,焦倩. 清洁生产评价方法: 模糊数学方法[J]. 北京工业大学学报, 2005, 31(1): 108-112.
WANG SHOU-LAN, WU SHAO-HUA, JIAO-QIAN. Cleaner production assessments method-based on fuzzy math [J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 2005, 31(1): 108-112.
- [9] 蔡华帅,彭绪亚,李明,等. 模糊数学方法在垃圾堆肥质量评价中的应用[J]. 重庆建筑大学学报, 2006, 28(4): 87-93.
CAI HUA-SHUAI, PENG XU-YA, LI MING, et al. Application of fuzzy mathematics in the evaluation of MSW compost quality [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2006, 28(4): 87-93.
- [10] FINNVEDEN G, JOHANSSON J, LIND P, et al. Life cycle assessment of energy from solid waste-part 1: general methodology and results [J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(3): 213-229.
- [11] GABEL K, FORSBERG P, TILLMAN A M. The design and building of a life cycle-based process model for simulating environmental performance, product performance and cost in cement manufacturing [J]. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(1): 77-93.
- [12] BRENTA A C, VISSERB J K. An environmental performance resource impact indicator for life cycle management in the manufacturing industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(6): 557-565.
- [13] 鲍学英,唐勇军. 基于灰色关联分析的施工方案优选研究[J]. 建筑管理现代化, 2006(2): 37-39.
BAO XUE-YING, TANG YONG-JUN. A gray correlation analysis method to select construction plans [J]. Construction Management Modernization, 2006(2): 37-39.
- [14] 谢正华,胡汉华. 灰色关联分析在安全投资方案选择中的探讨[J]. 工业安全与环保, 2005, 31(1): 51-53.
XIE ZHENG-HUA, HU HAN-HUA. Discussions on gray relation analysis in the selection of safety investment method [J]. Industrial Safety and Dust control, 2005, 31(1): 51-53.
- [15] STEVENSON R, EVANS J W. Cutting across interests: cleaner production, the unified force of sustainable development [J]. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(3): 185-187.
- [16] LEUEBBERGER H. Cleaner production and industrial pollution control [J]. Potential and Limitation, 2002(10): 373-380.

(编辑 赵 静)