

基于集对分析的煤炭建设项目可持续发展评价方法

张文霞, 石晓波, 龚文乾

中国矿业大学建筑工程学院, 江苏徐州 (221116)

E-mail: zhangwenxia_tu@126.com

摘要: 建设项目可持续发展评价是建设项目评价体系中崭新的内容。本文在建立煤炭建设项目可持续发展评价指标体系的基础上, 运用集对分析的多属性决策方法, 构建了煤炭建设项目可持续发展多方案综合评价模型。通过案例验证了基于集对分析的煤炭建设项目可持续发展评价方法的有效性和可操作性, 为煤炭建设项目在可行性研究阶段进行可持续发展评价提供一定的参考。

关键字: 煤炭建设项目; 可持续发展; 项目评价; 集对分析

0 引言

煤炭建设项目是在一个总体设计或总预算范围内, 由一个或若干个互有内在联系的以煤炭资源开发为主体的工程组成, 建成后在经济上可以独立运营、实行统一核算, 行政上又独立的企业组织形式, 实行统一管理的建设工程总体^[1]。它的工程量大、工期长、不可预见因素多且长期以来存在着一系列的严重问题, 如生态破坏、环境污染、资源的不可再生以及各种安全问题。在可持续发展战略煤炭建设项目在注重经济增长的同时, 更重要的是考虑对社会、资源、生态、环境的影响。传统意义上的以经济增长为中心的项目评价体系虽对上述问题有所涉及, 但并不能综合反映建设项目的发展态势。可持续发展评价作为一种综合性评价手段, 将会在项目评价体系中越来越展现出它非常重要的作用。笔者认为煤炭建设项目可持续发展评价应包括项目自身的可持续发展评价和对区域可持续发展的影响评价。本文主要通过综合评价模型进行项目自身的可持续发展评价。

国内外已有众多专家学者对可持续发展评价的理论、方法和实践做了大量研究。但目前大多数的研究都主要集中在宏观和中观领域, 都是对行业或国家、区域、城市甚至企业的可持续发展研究, 而相对忽略了微观层面的建设项目的可持续发展的评价与论证、应用。实际上, 企业甚至城市可持续发展的不竭动力正是来源于一个个的项目, 只有将宏观、中观层面的可持续发展理论与方法落实到微观领域, 才能保障和推动整个社会可持续发展战略目标的实现。目前学者们大多运用层次分析法或神经网络等方法进行综合评价, 它们主观色彩较浓。而煤炭建设项目受多种因素制约, 每个项目均具有独特的技术经济环境, 对多个项目的综合评价和排序问题构成一个复杂的确定不确定问题。集对分析就是一种有效的处理这种确定不确定问题的系统分析方法。本文试图运用基于集对分析联系系数的大小关系, 对煤炭建设项目进行多方案可持续发展综合评价。

1 集对分析简介

集对分析 (Set Pair Analysis) 是我国学者赵克勤先生于 1989 年提出的一种全新的系统分析方法。集对分析的实质是一种新的不确定理论, 其核心思想是将确定不确定问题视为一个确定不确定系统。集对分析的基本思想^[2]: 对于给定的 2 个集合组成的集对 $H=(A,B)$, 在某个具体问题背景 (设为 W) 下, 对集对 H 的特性展开分析, 共得到 N 个特性, 其中有 S 个为集对中 2 个集合 A 和 B 共同具有; 集合 A 和 B 中有 P 个特性对立, 其余的 $F=N-S-P$ 个特性既不相互对立, 又不为这 2 个集合共同具有, 从而建立起两个集合在指定问题背

景下的同异反联系度表达式, 即 $\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j$ 。若不计各特征的权重, $\frac{S}{N}$, $\frac{F}{N}$, $\frac{P}{N}$ 分别称为所论集合在指定问题背景下的同一度、差异度、对立度, i 为差异度系数, 规定在 $[-1,1]$ 区间内视不同情况取值, j 为对立度系数, 规定为-1。令 $\frac{S}{N} = a, \frac{F}{N} = b, \frac{P}{N} = c$, 表达式可以简写为: $\mu = a + bi + cj(a + b + c = 1)$ 。集对势又称联系势, 反映两个集合的同异反联系程度。一般地, 当联系度 $\mu = a + bi + cj$ 中的 $c \neq 0$ 时, 称同一度 a 与对立度 c 的比值 a/c 为所论集对在指定问题背景下的集对势, 记为 $\text{SHI}(H) = a/c$ [3]。

运用集对分析方法研究这样一个多属性决策分析问题的基本思想是: 将评价项目两两做成集对, 分别对其不同评价指标作同异反刻画, 从而构成评价项目联系系数矩阵; 在运用联系系数矩阵分析各评价项目的“优度”和“劣度”, 进而对煤炭建设项目进行可持续发展综合评价 [4]。

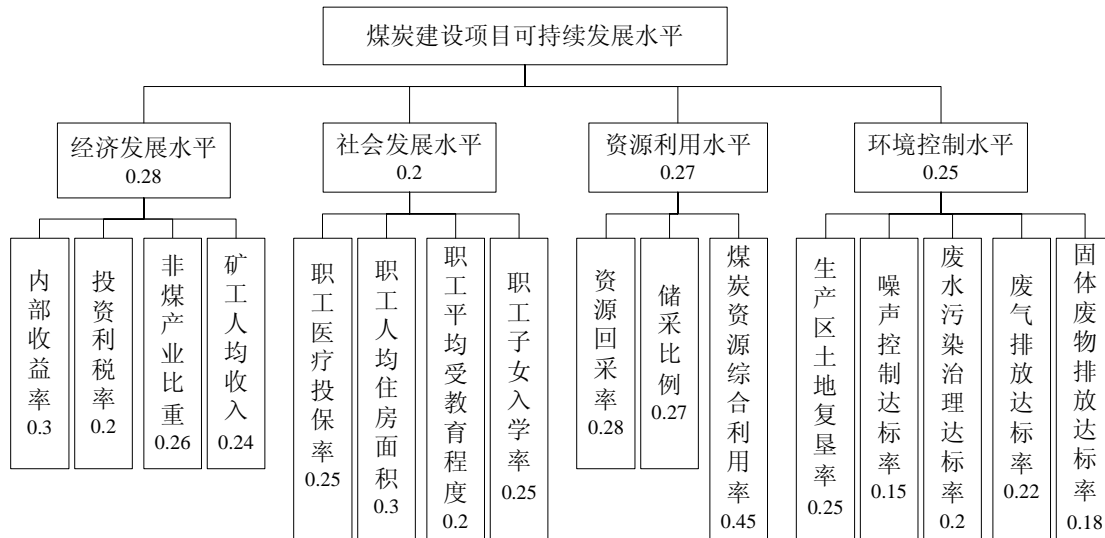
2 集对分析综合评价方法

2.1 指标体系的建立

国内外已有许多学者对指标体系进行了大量的研究, 建立了各有侧重又有很多共性的评价指标体系。本文在参考国内外有关文献的基础上, 结合煤炭建设项目的特点, 根据评价指标的系统性、全面性、科学性、可评价性等基本原则, 从经济、社会、资源、环境四个方面建立指标体系。因各建设项目由于矿体赋存条件的差异, 而导致煤炭开采技术方法各不相同, 这样某一指标的绝对值难以反映项目在可持续发展方面差异性 [5]。为此, 特选如下指标作为项目可持续发展评价的指标体系, x_1 ——投资内部收益率/%; x_2 ——投资利税率/%; x_3 ——非煤产业比重/%; x_4 ——矿工人均收入/(元/月); x_5 ——职工医疗投保率/%; x_6 ——职工人均住房面积/(m^2 /人); x_7 ——职工平均受教育程度; x_8 ——职工子女入学率/%; x_9 ——资源回采率/%; x_{10} ——储采比/%; x_{11} ——资源综合利用程度; x_{12} ——生产区土地复垦率/%; x_{13} ——噪声控制达标率/%; x_{14} ——矿区废水处理达标率/%; x_{15} ——废气排放达标率/%; x_{16} ——固体废弃物排放达标率/%。

2.2 评价指标权重

权重 ω_k 是指每个指标对系统的贡献大小, 反映了各指标在评价系统中价值地位的系数, 可以表示为: $W = [\omega_1 \quad \omega_2 \quad \cdots \quad \omega_n]$ 。指标权重一般可以通过专家打分法或层次分析法得到。本文应用专家打分法得到如图 1 所示的带有权重的煤炭建设项目评价指标体系。



2.3 评价矩阵标准化

(1) 先从 m 个方案中设定出理想方案（相对最优方案 A^* ）[6]

记 A^* 第 r 个指标为 $x_r^* (r=1, 2, \dots, n)$ ，有：

$$x_r^* = \begin{cases} \max_k x_{kr} & \text{指标为效益性} \\ \min_k x_{kr} & \text{指标为成本型} \\ z = (\max_k x_{kr} + \min_k x_{kr})/2 & \text{指标为适中性} \end{cases}$$

再从 m 个方案中虚拟出相对最劣方案 A^0 ，记 A^0 的第 r 个指标为 $x_r^0 (r=1, 2, \dots, n)$ ，

有：

$$x_r^0 = \begin{cases} \min_k x_{kr} & \text{指标为效益性} \\ \max_k x_{kr} & \text{指标为成本型} \\ z = \max_k (|x_{kr} - z|) & \text{指标为适中性} \end{cases}$$

最后从相对最优方案 A^* 和最劣方案 A^0 得到中间方案 A_z ，记 A_z 的第 r 个指标为

$x_r^z (r=1, 2, \dots, n)$ ，有： $x_r^z = (x_r^* + x_r^0)/2$

(2) 将各方案的指标值 x_{kr} 与理想方案 A^* 中各对应指标 x_r^* 相比较，可得标准化的理想评价矩阵 H^* ：

$$H^* = \begin{bmatrix} f_{11}^* & f_{12}^* & \cdots & f_{1r}^* & \cdots & f_{1n}^* \\ f_{21}^* & f_{22}^* & \cdots & f_{2r}^* & \cdots & f_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1}^* & f_{m2}^* & \cdots & f_{mr}^* & \cdots & f_{mn}^* \end{bmatrix}$$

其中，效益型指标变换： $f_{kr}^* = \frac{x_{kr}}{x_r^*}$

$$\text{成本型指标变换: } f_{kr}^* = \frac{x_r^*}{x_{kr}}$$

$$\text{适中型指标变换: } f_{kr}^* = \begin{cases} \frac{x_{kr}^*}{x_r} & x_{kr} \leq x_r^* \\ 2 - \frac{x_{kr}}{x_r^*} & x_{kr} > x_r^* \end{cases}$$

同理, 可得标准化的下限评价矩阵 A^0 和中间评价矩阵 A_z 。

2.4 构造加权数据矩阵

根据已经确定的各指标权重 $(\omega_1 \ \omega_2 \ \cdots \ \omega_n)$, 以它们为主对角线元素构造对角矩阵

$$W, \text{ 即: } W = \begin{bmatrix} \omega_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \omega_n \end{bmatrix}_{n \times n}$$

$$R^* = H^* \times W$$

则可以得到相应的加权数据矩阵 R^* , R^0 和 R_z , 有: $R^0 = H^0 \times W$

$$R_z = H_z \times W$$

从而可得, 带权的理想方案: $R_\omega^* = A^* \times A^{*T} \times W$;

带权的下限方案: $R_\omega^0 = A^0 \times A^{0T} \times W$;

带权的中间方案: $R_{z\omega} = A_z \times A_z^T \times W$ 。

这里有: $A^* = (1, 1, \cdots, 1)_{1 \times n}^T, A^0 = (1, 1, \cdots, 1)_{1 \times n}^T, A_z = (1, 1, \cdots, 1)_{1 \times n}^T$ 。

2.5 计算评价方案与极限方案的欧式距离矩阵

评价方案与理想方案的欧式距离矩阵 S 可有下列过程求得^[7]:

令 $M = R - R_\omega^*$, 记 $B = M \times M^T \times E$ (E 为单位矩阵)。再提取 B 矩阵的对角元素 b_{ii} ,

并组成一个行向量 B_d 。则: $S = \sqrt{B_d} = \sqrt{b_{ii}} (i=1, 2, \cdots, m) = (s_1^*, s_2^*, \cdots, s_m^*)$ 。

同理可得, 对下限方案有:

$$M^0 = R^0 - R_\omega^0$$

$$B^0 = M^0 \times M^{0T} \times E$$

$$S^0 = \sqrt{B_d^0} = \sqrt{b_{ii}^0} (i=1, 2, \cdots, m) = (s_1^0, s_2^0, \cdots, s_m^0)$$

对中间方案也有:

$$M_z = R_z - R_{z\omega}$$

$$B_z = M_z \times M_z^T \times E$$

$$S_z = \sqrt{B_{zd}} = \sqrt{b_{zii}} (i=1, 2, \cdots, m) = (s_{z1}, s_{z2}, \cdots, s_{zm})$$

2.6 构造集对联系数并对评价方案排序

评价方案的集对联系数为：

$$\mu(A_k) = \frac{s_k^0}{s_k^* + s_k^0 + s_{zk}} + \frac{s_{zk}}{s_k^* + s_k^0 + s_{zk}} i + \frac{s_k^*}{s_k^* + s_k^0 + s_{zk}} j$$

$$= a_k + b_k i + c_k j$$

其中， a_k 为方案 A_k 距离下限方案的距离，用其表示方案 A_k 对理想方案的同一度， c_k 为方案 A_k 离开理想方案的距离，用其表示方案 A_k 对理想方案的对立度， b_k 为方案 A_k 距离中间方案的距离，它是距既非理想又非下限方案的程度，具有不确定性。最后利用 $\mu(A_k)$ 的集对势值大小对评价方案进行排序。

3 案例分析

某项目在可行性研究的过程中，通过对有关方面的基础数据的搜集，得知有 5 个基本方案可供选择^[8]，每个方案中各指标体系的原始数据如表 1 所示：

表 1 煤炭建设项目各方案评价指标实际值

评价指标	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
x_1	20.07	18.58	22.5	19.69	21.85
x_2	18.71	16.89	20.16	17.25	19.06
x_3	58.2	56.38	60	54.25	50.87
x_4	3278	3000	3125	2875	2800
x_5	85	85	83	83	80
x_6	22.5	20.5	20	18.92	21.25
x_7	良好	良好	良好	较好	较好
x_8	95.8	95	96	92	90
x_9	78.64	76.32	75.4	73.25	70
x_{10}	157.68	160.8	145.62	140.86	138.5
x_{11}	较好	较好	较好	中等	中等
x_{12}	54.8	58.6	50.8	47.5	45.2
x_{13}	92	95	90	85	87
x_{14}	90	95	88	85	82
x_{15}	85	90	87	85	80
x_{16}	83	90	85	82	80

其中等级的划分为良好、较好、中等、差四等，分别记为 95、85、75、65。

按上述模型可以计算出各评价方案的同异反联系数系数为：

$$a = (0.4893, 0.4261, 0.4669, 0.1604, 0.2382)$$

$$b = (0.3085, 0.2794, 0.3010, 0.3202, 0.2832)$$

$$c = (0.2022, 0.2945, 0.2321, 0.5194, 0.4786)$$

则各评价方案的集对势为: $SHI(H) = (2.420, 1.447, 2.012, 0.309, 0.498)$

从而可得评价项目的顺序为: $A_1 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4$

评价方案也可按差异度的发展趋势偏好动态取值, 再结合联系数加以分析。

4 结论

本文以集对分析理论为基础, 通过建立指标体系和各方案的优劣中评价矩阵, 并赋以权重最终求得评价方案的集对联系数的方法来建立煤炭建设项目可持续发展综合评价模型。该模型简单易懂, 计算容易, 较好的处理了系统内的确定不确定关系, 而且评价结果具有较好的客观性和合理性, 为煤炭建设项目的可持续发展评价提供了一条新的途径。它也将为煤炭建设项目在可持续发展意义上进行多方案比选提供了科学的理论指导, 具有一定的研究价值。

然而当前尚没有建立起一套权威的、具有规范性和通用性的煤炭建设项目可持续发展指标体系和评价标准。也没能建立煤炭建设项目可持续发展的 DSS 系统, 比如通过大量基础数据得到煤炭建设项目可持续发展的统计最优方案和统计最劣方案, 便可以使本文阐述的可持续发展评价方法更为有效、可靠。以上两点应是在以后的研究中亟待解决的问题。

参考文献

- [1] 董春游, 马云东. 可持续发展煤炭建设项目 REES^P 系统研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002: 1-5.
- [2] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 2002
- [3] 李德顺, 许开立, 张喜嘉, 戴雪松. 集对分析集对势的研究及其应用[J]. 工业安全与环保, 2009(9): 8-9, 17.
- [4] 马涛, 迟道才, 王殿武, 石丽忠, 吴琼. 基于集对分析的灌区可持续发展评价研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007-12, 38(6): 841-844.
- [5] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 132-160.
- [6] 魏效玲, 李继勇, 张昌健. 集对分析理论在多属性方案决策中的应用[J]. 机械强度, 2007, 29(6): 1009-1012.
- [7] 任艳玲, 朱明放. 基于集对分析的综合评价方法及其应用[J]. 微计算机信息, 2007, 23(12): 220-222.
- [8] 王玉梅. 可持续发展评价[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 176-177.

Evaluation method of Sustainable Development for Coal Construction Project Based on Set Pair Analysis

Zhang Wenxia, Shi Xiaobo, Gong Wenqian

(School of Architecture and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116)

Abstract

The sustainable development evaluation for construction project is the new content in the construction project evaluation system. Based on the establishment of evaluation index system of sustainable development for coal construction project, the multi-solution comprehensive evaluation model of coal construction project for sustainable development is built by using multi-attribute decision-making method in the Set Pair Analysis. The effectiveness and operability of evaluation method for coal construction project sustainable development based on Set Pair Analysis is verified by using case, which would provide some consultation for the coal construction project evaluation of sustainable development in the feasibility study stage.

Keywords: coal construction project; sustainable development; project evaluation; Set Pair Analysis

作者简介:

张文霞 (1987-), 女, 汉, 河北邯郸, 硕士研究生, 研究方向: 项目评价;

石晓波 (1968-), 男, 汉, 浙江宁波, 副教授, 硕士生导师, 项目评价, 工程项目管理;

龚文乾 (1985-), 男, 汉, 山西运城, 硕士研究生, 研究方向: 项目评价;

联系方式: 中国矿业大学文昌校区学四楼, 邮编 221008