文章编号:0253-9993(2012)06-1061-06

井工矿低碳生态矿山建设多阶段综合评价模型

信春华,丁日佳,刘　峰

(中国矿业大学(北京) 管理学院,北京　100083)

摘　要:为科学合理地评价井工矿低碳生态矿山建设效果,通过分析低碳生态矿山建设评价的特殊性,考虑历史、现状和未来 3 个维度,建立了低碳生态矿山建设评价的多阶段综合评价模型。设置必备条件进行第 1 阶段筛选评价;构建基于模糊综合评价的低碳生态矿山评价模型进行第 2 阶段评价,评价模型中,采用功效系数法确定硬指标隶属度,采用属性层次模型确定指标权重;建立具有激励(或惩罚)特征的低碳生态矿山建设效果动态综合评价模型进行第 3 阶段评价,从而激励企业持续进行低碳生态矿山建设;最后运用该方法对冀中能源集团的 3 个示范矿山进行评价,结果表明:所得评价结果与矿山低碳生态建设的实际情况相符,该方法可以运用到井工矿低碳生态矿山建设的定量评价中。

关键词:低碳生态矿山;多阶段综合评价;模糊综合评价;动态综合评价;属性层次模型

中图分类号:X752　　**文献标志码**:A

Multi-stage comprehensive evaluation model on low-carbon ecological mining construction in underground mine

XIN Chun-hua, DING Ri-jia, LIU Feng

(*School of Management, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing*　100083, *China*)

Abstract: In order to evaluate low-carbon ecological mining construction effect, based on the special nature analysis of low-carbon ecological mining construction, the multi-stage comprehensive evaluation model on low-carbon ecological mining construction was established, which considered the three dimensions of history, present and future. The first phase evaluation was proceeded through setting prerequisites to screen. The second phase evaluation was proceeded through building fuzzy comprehensive evaluation model, in which efficacy coefficient method was adopted to determine membership and Attribute Hierarchical Model (AHM) was adopted to determine weights. In order to encourage enterprises to ongoing proceed low-carbon ecological mining construction, the third phase evaluation was proceeded through establishing dynamic comprehensive evaluation model with the features of incentive or punishment. Finally, low-carbon ecological mining construction effects of three underground mines in Jizhong Energy Group were evaluated. The research results show that the evaluation results are consistent with the actual instances. So this new evaluation method can be used to evaluate the low-carbon ecological mining construction effect.

Key words: low-carbon ecological mining; multi-stage comprehensive evaluation; fuzzy comprehensive evaluation; dynamic comprehensive evaluation; attribute hierarchical model

国家“十二五”规划要求推动能源生产和利用方式变革,推进传统能源清洁高效利用,把大幅降低能源消耗强度和二氧化碳排放强度作为约束性指标。按照国家对碳排放的承诺及企业可持续发展的要求,煤炭企业应该成为低碳经济的主要实践者,成为实现低碳运行、低碳技术和生态技术等应用目标的主体。

收稿日期:2011-07-01　　**责任编辑**:常　琛
作者简介:信春华(1978—),女,山东德州人,副教授,博士后。E-mail:xinchunhua@sina.com

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

许多专家学者也从不同角度和侧面对矿山建设模式及技术进行探索。钱鸣高等[1]研究了资源与环境协调(绿色)开采。吕华浦等[2]深入分析了生态型绿色煤矿技术体系的结构组成及关键技术应用。卞正富等[3]提出了矿山生态建设的概念,认为矿山生态建设不仅是破坏后的重建,还包括采前的规划和开采过程中的生态保护,矿山生态建设需要以系统工程的方法贯穿于采矿全过程。钱鸣高[4]系统研究了煤矿的科学开采。胡振琪[5]认为应该转变煤炭开采方式建设低碳运行生态矿山。何满潮等[6]阐述了我国煤矿高碳行业低碳生产技术研究进展。刘建功[7-8]基于煤矿开采对生态环境的扰动影响,提出了低碳生态矿山的概念,探讨了低碳生态矿山建设模式及评价指标体系,并结合冀中能源集团近年来的大量科技创新及实践,为低碳生态矿山建设与实现提供了有效技术途径。

低碳生态矿山是我国专家和实践工作者近年来结合国内外煤矿技术新发展而提出的一个新概念,已经引起了学术界和实践界的重视。要保证低碳生态矿山建设的顺利开展,需要对其建设成效进行科学合理评价,才能更好地为煤炭企业合理控制和有效管理低碳生态矿山建设工作提供评价依据和指导。然而,现有的矿山评价研究[9-10]都不是从低碳生态角度展开的,不能满足低碳生态矿山建设的要求,给出的评价指标和评价方法并不适用,其评价结果也无法为矿山的成功转型和可持续发展提供有效的决策支持。因此,本文基于低碳生态矿山评价的特殊性,考虑历史、现状和未来 3 个维度,建立低碳生态矿山多阶段综合评价模型,以科学有效地对低碳生态矿山建设效果和程度进行分析和评价。

1 低碳生态矿山评价的特殊性

本文研究的矿山,主要是指矿井,以及为实现低碳生态而进行的废弃物循环利用的相关产业。其范围主要是煤炭开采、就地加工利用以及废弃物再利用的全过程。这些产业和产品在矿山范围内形成有机整体,并可循环利用,达到低碳节能减排之目的。建设低碳生态矿山要求在煤炭开采的过程中,不只把煤炭看作是资源,更要把与煤相关的构成环境生态的各种因素,都当作是一种重要的资源,科学开发,综合利用,通过技术创新采用先进的采煤方法,构建科学、生态、环保的煤矿生产系统,以较小的生态扰动获取煤炭资源,并在采矿活动结束后通过末端治理,使矿山工程与生态环境融为一体[7]。

建设低碳生态矿山,实现矿区环境保护、煤炭资源合理开发和综合利用、实现矿山可持续发展,既是煤炭企业主动承担社会责任的重要表现,实现煤炭企业与矿区社会和谐发展的重要保证,又是煤炭企业实现经济发展方式由传统粗放型向现代集约型转变、建设资源节约型和环境友好型社会的必由之路。因此,建设低碳生态矿山是合乎时代发展潮流,顺乎人们生存环境改善需求的必然选择。

低碳节能、生态环保是一个永恒的发展过程,而不是最终形态。企业要做的就是在这个过程中坚持不懈地努力。因此,低碳生态矿山建设是对传统矿山建设理论和模式的扬弃,要对这种新的建设模式的实施效果进行评价需要考虑历史、现状和未来 3 个维度,实现普遍筛选和重点评价相结合,静态评价和动态评价相结合,才能更科学合理地判断和评价低碳生态矿山的发展状况和程度,使政府和企业能够有效管理和合理控制低碳生态矿山建设工作。

2 低碳生态矿山多阶段综合评价模型构建

根据低碳生态矿山评价的特殊性,建立低碳生态矿山多阶段综合评价模型,分阶段评价低碳生态矿山的建设效果。

2.1 低碳生态矿山第 1 阶段评价——必备条件筛选评价

根据低碳生态矿山评价的思路,首先需要进行必备条件筛选评价,筛选性指标作为评价低碳生态矿山的必备条件是非常关键的,具体设置时既要考虑低碳生态矿山的特征和目标,又要考虑各地的资源赋存条件和环境特征等实际情况。例如冀中能源设立的评价低碳生态矿山的必备条件为以下 5 个[8]:① 污水零排放;② 固废不外排(包括煤矸石、粉煤灰等固体废弃物);③ 废气减量化(其中高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井必须进行瓦斯发电);④ 资源采出率高(厚煤层>80%;中煤层>85%;薄煤层>90%,分别比国家标准高 5%);⑤ 节能低碳(要进行矿井地热利用)。

第 1 阶段的筛选评价仅涉及必备条件的筛选,可直接根据实际情况判断。

2.2 低碳生态矿山第 2 阶段评价——模糊综合评价模型构建

低碳生态矿山建设活动是一个多目标、多层次、结构复杂、因素众多的系统工程,不能简单地用非此即彼来衡量。煤炭矿山作业环境、开采及利用的复杂性决定了低碳生态矿山建设是多方面因素综合作用的结果,而且低碳生态矿山建设在我国刚刚起步,数据不健全。这些特点决定了对符合必备条件的矿山,选择模糊综合评价方法对其建设绩效进行评价是比

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

较合适的。

2.2.1　低碳生态矿山评价性指标体系

低碳生态矿山评价指标体系包括目标层、准则层、指标层。目标层主要是考察低碳生态矿山整体建设水平,评价低碳生态矿山建设水平的总体目标是低碳生态发展模式下,能源消耗、资源利用、污染控制、生态保护等方面的有机协调和科学发展。准则层是目标层的具体反映,主要包括矿山资源与能源消耗、矿山资源综合利用、矿山污染排放控制、矿山生态保护和矿山低碳生态管理等方面。准则层分别从能源利用效率、广义资源利用、污染物排放控制、环境治理和管理保障 5 个方面反映了煤炭矿山碳排放控制和生态建设的效果和水平,也是实现低碳生态矿山建设的重要途径。指标层是由影响低碳生态矿山评价的最基本因素形成的指标,提供了低碳生态矿山建设某一方面的准确信息。基于低碳生态矿山建设的内涵和实质,遵循建立评价指标体系的一般原则(科学性原则、主成分性与独立性相结合原则、整体性与层次性原则、时空藕合原则、可操作性原则),通过借鉴国内外相关研究文献[11-12]及专家建议,结合我国煤炭矿山的运行特点[13],构建低碳生态矿山建设水平的评价指标体系如图 1 所示。

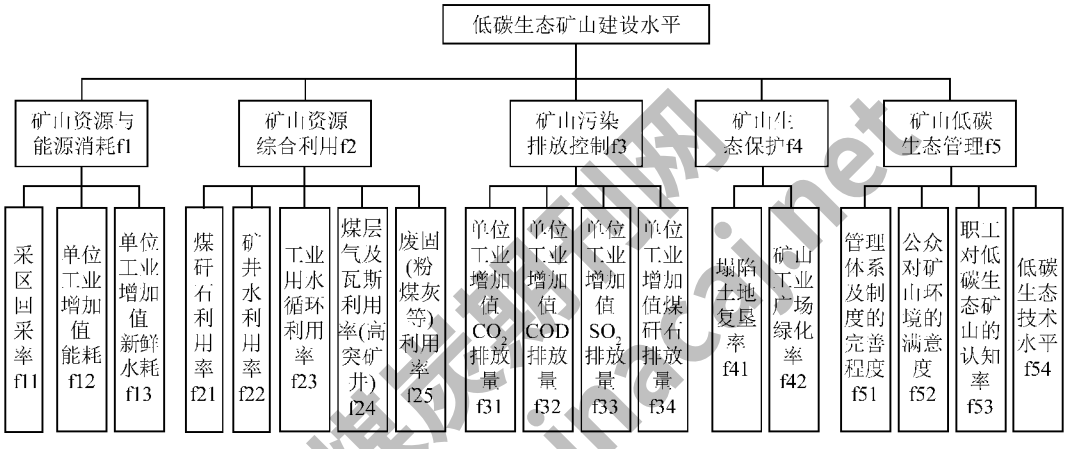

图 1　低碳生态矿山评价指标体系

Fig. 1　The evaluation indexes of low-carbon ecological mining construction

本文研究的重点是低碳生态矿山建设水平的多阶段综合评价模型,由于不同地区煤炭矿山资源赋存、地质条件等复杂多样,评价指标体系还应根据具体矿山情况做出适当调整。

2.2.2　低碳生态矿山模糊综合评价模型构建

模糊综合评价是应用模糊变换原理和最大隶属度原则,考虑被评价事物相关的各个因素,对其作出综合评价。由于低碳生态效益的产生是一个渐进的过程,某项低碳生态技术和制度措施所产生的效益可能是跨年度的,因此,只有通过多年的数据比较才能看出低碳生态矿山建设产生效益的过程。这样,模糊综合评价应用在低碳生态矿山建设的评价时,便产生了新的特点——评语集不再是狭义上的“优、良、中、差”的评价,而是可以变通为不同年份。

建立基于模糊综合评价的低碳生态矿山评价模型的具体步骤如下[14]:

(1)确定因素集(亦称指标体系)。

$$U = \{U_1, U_2, \cdots, U_N\}$$

(2)确定评语集。

若进行单个企业的静态评价,评语集的元素为“优、良、中、差”,如:

$$V = \{v_1, v_2, \cdots, v_m\} = \{优, 良, 中, 差\}$$

若进行纵向比较,评语集的元素为不同的年份,如:

$$V = \{v_1, v_2, \cdots, v_m\} = \{2005\ 年,\ 2006\ 年, 2007\ 年, \cdots, 2010\ 年\}$$

(3)确定单因素评价矩阵。

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中,r_{ij} 表示对应于评价因素 u_i 的第 j 个评语。

由于本模型对评语集 V 赋予了新的特点,即为不同年份(纵向比较时)或不同企业(横向比较时),因此,相应的关系矩阵的元素 r_{ij} 即为样本数据的标准化数值。

① 软指标隶属度的确定。采用模糊隶属度赋值法,通过发放调查问卷和对问卷进行统计处理得到软指标的评价值。

② 硬指标隶属度的确定。硬指标隶属度的确定采用采用功效系数法[15]。

由于被评价对象都是经过第 1 阶段筛选后,符合低碳生态矿山必备条件的矿山,因此在使用功效系数

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

法时,设置固定的 60 分反映被评价对象已经符合必备条件,对于各个矿山的低碳生态程度再根据各个评价指标数据与标准值的差异程度设置 40 分进行调整。功效系数法的计算公式为

$$r_{ij}=\begin{cases}100 & (x\geqslant x_{\mathrm{m}})\\ 60+40\dfrac{x-x_{\mathrm{b}}}{x_{\mathrm{m}}-x_{\mathrm{b}}} & (x_{\mathrm{b}}\leqslant x<x_{\mathrm{m}})\\ \max\left(0,60+40\dfrac{x-x_{\mathrm{b}}}{x_{\mathrm{m}}-x_{\mathrm{b}}}\right) & (x<x_{\mathrm{b}})\end{cases}$$

其中,下标 b 和 m 分别表示标准值和满意值。

对于正向指标,指标实际值比标准值越高得分就越高,比标准值差的越多得分就越低;对于逆向指标,指标实际值比标准值越高得分就越低,比标准值越低得分就越高。

(4)确定指标权重。

采用属性层次模型(AHM)确定权重。AHM 源于无结构的层次分析法 AHP,与基于重量模型的 AHP 相比,基于比赛模型的 AHM 最大的优势就是其两两比较测度矩阵不存在"一致性检验问题",AHM 的两两比较测度矩阵可通过 AHP 中判断矩阵转换得到[16]。这样利用 AHM 测度判断矩阵就可以计算出各指标的权重值,权重计算结果见表 1。

表 1 低碳生态矿山评价指标权重及 2008—2010 年矿山 1 ~ 3 功效得分

Table 1 The evaluation indexes weight and efficacy coefficient score

	指 标	权重	标准值	满意值	矿山 1 功效得分			矿山 2 功效得分			矿山 3 功效得分		
					2008 年	2009 年	2010 年	2008 年	2009 年	2010 年	2008 年	2009 年	2010 年
资源与能源消耗指标(0.260)	采区回采率	0.210	≥90	≥95	80.00	69.60	67.20	83.00	84.60	70.20	100	100	100
	单位工业增加值能耗	0.694	≤1	≤0.5	100	100	100	95.00	100	100	0	54.20	88.62
	单位工业增加值新鲜水耗	0.096	≤17	≤9	0	64.13	100	21.00	64.13	100	62.43	71.57	100
污染排放控制指标(0.343)	单位工业增加值 CO_2 排放量	0.448	≤17	≤10	88.57	100	100	89.57	100	100	0	56.68	100
	单位工业增加值 COD 排放量	0.189	≤1	≤0.5	95.20	80.80	96.60	95.80	96.80	96.90	0	34.40	83.50
	单位工业增加值 SO_2 排放量	0.244	≤33	≤1	86.66	94.49	100	86.96	95.49	98.00	0	63.75	76.74
	单位工业增加值煤矸石排放量	0.120	≤4	≤1	58.31	76.32	73.98	68.46	78.32	77.90	21.34	34.01	61.65
资源综合利用指标(0.134)	煤矸石利用率	0.437	≥90	100	39.46	42.38	54.25	56.46	84.38	73.25	100	94.00	100
	矿井水利用率	0.165	≥90	100	25.83	56.00	100	52.83	86.00	87.72	68.69	40.00	48.00
	工业用水循环利用率	0.094	≥50	100	28.74	33.16	36.10	38.74	58.16	57.10	85.02	85.04	93.26
	废固(粉煤灰等)利用率	0.304	≥95	100	100	100	100	100	100	100	100	95.00	100
生态保护指标(0.158)	塌陷土地复垦率	0.670	95	100	84.00	68.00	100	78.00	89.00	93.00	100	100	100
	矿山工业广场绿化率	0.330	≥30	50	84.00	80.00	100	79.00	89.20	95.40	58.97	60.23	64.96

(5)进行综合评价。

① 初等评价。

$$\underset{\sim}{B}_i=\underset{\sim}{A}_i\circ\underset{\sim}{R}_i=(b_{i1},b_{i2},\cdots,b_{in})\qquad(i=1,2,\cdots,N)$$

式中,$\underset{\sim}{B}_i$ 为 U_i 的单因素评价。

② 二级评价 $\underset{\sim}{B}=\underset{\sim}{A}\circ\underset{\sim}{R}$。

这也是因素集 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_m\}$ 的综合评价结果。

2.3 低碳生态矿山第 3 阶段评价——具有激励(或惩罚)特征的动态综合评价模型构建

在静态评价某年建设效果的基础上,为了激励企业持续进行低碳生态矿山建设,连续收集各个低碳生态矿山评价指标的多年数据,建立具有激励(或惩罚)特征的低碳生态矿山建设效果动态综合评价模型,对低碳生态矿山的建设水平进行动态排序是非常关键的。

激励是提高管理效率的一种常见策略,为了在动态综合评价中体现出激励(或惩罚)的作用,构建以下模型[17],即

$$h_{ik}=z_{ik}+\lambda_k(z_{ik}-z_{i,k-1})\qquad(1)$$

式(1)的含义是系统 s_i 在 t_k 时刻的排序不仅取决于该时刻的综合评价值 z_{ik},也取决于该时刻的综

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

合评价值的改变量。

激励因子 λ_k 的值可通过某种方式事先给出。容易看出,当取 $\lambda_k \equiv 0$ 时,就是普通情形下的综合排序问题。

当然,上述动态综合评价模型的使用前提是各个评价指标的满意值和标准值已经制定,并且要连续收集各个低碳生态矿山评价指标的多年数据。这不仅需要煤炭行业科学合理地制定各个指标的标准值,而且需求各个矿山做好基础数据统计工作。

3　评价实例

选取冀中能源集团的 3 个低碳生态矿山示范作为样本进行实例评价。

3.1　第 1 阶段筛选

评价实例选取的 3 个低碳生态示范矿山,都符合冀中能源集团设立的低碳生态矿山必备条件,可以进行第 2 阶段评价。

3.2　第 2 阶段评价

运用基于模糊综合评价的低碳生态矿山建设评价模型进行第 2 阶段评价,评价过程以 1 个样本矿山为例。

目前冀中能源集团根据自身的实际情况,对各个指标制定了相应的企业标准,见表 1。各个指标进行标准化处理时采用前面介绍的功效系数法。2008—2010 年矿山 1 ~3 各个指标的功效得分见表 1。

(1)对低碳生态矿山建设评价指标 u_i 作一级综合评价(i=1,2,3,4,5)。

当 i=1 时,对矿山资源与能源消耗要素进行一级评价,$\underset{\sim}{B}_1 = \underset{\sim}{A}_1 \circ \underset{\sim}{R}_1$ = (86.2,90.172 7,93.112)。

当 i=2,3,4,5 时,分别对矿山污染控制要素、矿山资源综合利用要素、矿山生态保护要素和矿山生态管理要素进行一级综合评价。并将评价结果作为对低碳生态矿山评价的二级评价矩阵。

(2)对低碳生态矿山指标 U 进行二级综合评价。

由上一级评价得到的结果作为二级评价矩阵,见表 2。

样本矿山 1 的低碳生态矿山建设综合评价为

$$\underset{\sim}{B}_1 = \underset{\sim}{A}_1 \circ \underset{\sim}{R}_1 = (85.738, 88.688\ 9, 92.408)$$

同理样本矿山 2 和 3 的低碳生态矿山建设综合评价为

$$\underset{\sim}{B}_2 = \underset{\sim}{A}_2 \circ \underset{\sim}{R}_2 = (82.23, 93.25, 92.68)$$

$$\underset{\sim}{B}_3 = \underset{\sim}{A}_3 \circ \underset{\sim}{R}_3 = (41.969\ 9, 66.369\ 5, 89.807\ 7)$$

从以上静态综合评价结果可以看出 2010 年 3 个矿山的建设效果排序为:矿山 2>矿山 1>矿山 3。

表 2　低碳生态矿山指标的二级评价矩阵

Table 2　Second-level evaluation matrix of low-carbon ecological mine index

指标	年份		
	2008	2009	2010
矿山资源与能源消耗	86.200 0	90.172 7	93.112 0
矿山污染排放控制	87.533 2	93.492 2	97.661 9
矿山资源综合利用	54.606 0	61.277 4	73.998 1
矿山生态保护	84.000 0	71.960 0	100
矿山低碳生态管理	78.198 0	84.342 0	86.395 0

3.3　第 3 阶段评价

运用所建立的具有激励(或惩罚)特征的低碳生态矿山建设效果动态综合评价模型,取 λ_k = 0.2,计算得到 3 个矿山 2010 年带有激励(或惩罚)作用的综合排序指数分别为 93.15,92.57 和 96.5,可以得出 2010 年的建设效果排序为:矿山 3>矿山 1>矿山 2。这与根据静态评价结果的排序是完全不同的,进一步分析可以看出,造成排序不同的原因就是 3 个矿山综合评价值的改变量差距较多(分别为 3.72,-0.57,23.44),动态排序结果体现出了激励(或惩罚)的作用,从而可以激励企业持续提高建设效果。

4　结　　语

建设低碳生态矿山,不仅是贯彻落实科学发展观、转变经济增长模式的重要保证、也是建设资源节约和环境友好型矿山的重要途径,是实现矿山可持续发展的根本出路。要保证低碳生态矿山建设的顺利开展,需要对其建设成效进行科学合理评价。基于低碳生态矿山评价的特殊性,考虑历史、现状和未来 3 个维度,建立低碳生态矿山多阶段综合评价模型,构建了基于模糊综合评价的低碳生态矿山评价模型和具有激励(或惩罚)特征的低碳生态矿山建设效果动态综合评价模型。实例评价结果表明,多阶段综合评价模型能够科学有效地对低碳生态矿山建设效果和程度进行分析和评价,可以很好地为煤炭企业合理控制和有效管理低碳生态矿山建设工作提供评价参考。

参考文献:

[1]　钱鸣高,缪协兴,许家林. 资源与环境协调(绿色)开采[J]. 煤炭学报,2007,32(1):1-7.
Qian Minggao, Miao Xiexing, Xu Jialin. Green mining of coal resources harmonizing with environment[J]. Journal of China Coal Society,2007,32(1):1-7.

[2]　吕华浦. 济宁三号煤矿创建生态型绿色煤矿的理论和实践[J]. 能源环境保护,2007,21(6):63-65.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

Lü Huapu. Theory and practice of Jining III Coal Mine creating ecological green mine[J]. Energy Environmental Protection, 2007, 21(6): 63-65.

[3] 卞正富,许家林,雷少刚. 论矿山生态建设[J]. 煤炭学报,2007,32(1):13-19.
Bian Zhengfu, Xu Jialin, Lei Shaogang. Discussion on mine ecological construction [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 13-19.

[4] 钱鸣高. 煤矿的科学开采[J]. 煤炭学报,2010,35(4):529-534.
Qian Minggao. On sustainable coal mining in China[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(4): 529-534.

[5] 胡振琪. 转变煤炭开采方式建设低碳运行生态矿山[J]. 能源技术与管理,2010(5).
Hu Zhenqi. Change means to build low-carbon operation ecological mining[J]. Energy Technology and Management, 2010(5).

[6] 何满潮,张 毅,严玉彪. 我国煤矿高碳行业低碳生产技术研究进展[J]. 太原理工大学学报,2010,41(5):623-626.
He Manchao, Zhang Yi, Yan Yubiao. Progress of low-carbon production technology in high-carbon coal industry of China[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2010, 41(5): 623-626.

[7] 刘建功. 冀中能源低碳生态矿山建设的研究与实践[J]. 煤炭学报,2011,36(2):317-322.
Liu Jiangong. Study and practice of low-carbon ecological mining construction of Jizhong Energy Group[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 317-322.

[8] 刘建功. 冀中能源低碳运行生态矿山建设的创新实践[J]. 中国煤炭,2010,36(5):5-10.
Liu Jiangong. Innovative practice of Jizhong Energy Group in constructing low-carbon running ecological mine[J]. Journal of China Coal, 2010, 36(5): 5-10.

[9] 陈 桥,胡 克,雒昆利. 基于 AHP 法的矿山生态环境综合评价模式研究[J]. 中国矿业大学学报,2006,35(3):377-383.
Chen Qiao, Hu Ke, Luo Kunli. Study on the synthetical assessment model of mine eco-environments based on AHP[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(3): 377-383.

[10] 郭亚军,张士昌. 基于小波神经网络矿山安全的评价模型[J]. 东北大学学报(自然科学版),2006,27(6):702-705.
Guo Yajun, Zhang Shichang. Wavelet neural network estimation model for mine safety[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2006, 27(6): 702-705.

[11] Xu Shuitai, Xiong Lingyan, Ai Guanghua. Study on evaluating index system of ecological environment in mining areas[J]. CESCE, 2010(1): 134-137.

[12] 陆小成. 区域低碳创新系统综合评价实证研究——以中部六省为例[J]. 科学学与科学技术管理,2011,32(7):52-57.
Lu Xiaocheng. Research on empirical evaluation of regional low carbon innovation system: a case of six provinces in central China[J]. Science of Science and Management of S. & T., 2011, 32(7): 52-57.

[13] 夏德建,任玉珑,史乐峰. 中国煤电能源链的生命周期碳排放系数计量[J]. 统计研究,2010,27(8):82-89.
Xia Dejian, Ren Yulong, Shi Lefeng. Measurement of life-cycle carbon equivalent emissions of coal-energy chain[J]. Statistical Research, 2010, 27(8): 82-89.

[14] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
Qin Shoukang. The theory and application of comprehensive evaluation[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2003.

[15] 周 莉,黄河清,蒲勇健. 基于功效系数法的经营者业绩评价研究[J]. 软科学,2006,20(1):40-44.
Zhou Li, Huang Heqing, Pu Yongjian. Relative performance evaluation of executives based on efficacy coefficient method[J]. Soft Scientists, 2006, 20(1): 40-44.

[16] 程乾生. 层次分析法 AHP 和属性层次模型 AHM[J]. 系统工程理论与实践,1997(11):25-28.
Cheng Qiansheng. Analytic Hierarchy Process(AHP) and Attribute Hierarchical Model (AHM) [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1997(11): 25-28.

[17] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2007.
Guo Yajun. Comprehensive evaluation theory, methods and applications[M]. Beijing: Science Press, 2007.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net