

城市低碳经济综合评价及发展路径分析

谢传胜, 徐 欣, 侯文甜, 许凤茹

(华北电力大学 经济与管理学院, 北京 102206)

摘 要:为了应对气候变化和全球变暖,在我国快速城市化和工业化的背景下,发展低碳城市是开拓新型城市发展理论和规划理论的有利契机,需要建立评价机制来辅佐相关政策的制定。模糊粗糙集方法作为一种新兴的处理不确定性、不精确性的数学理论,可以仅利用数据本身的信息对评价指标体系进行有效约简,在处理决策信息系统的离散属性上占有绝对的优势。为此,本文构建了城市低碳经济综合评价指标体系,运用模糊粗糙集理论,建立了城市低碳经济综合评价模型,并用实例佐证了模型的有效性,进而对城市低碳经济发展路径进行分析。

关键词:低碳经济;综合评价;模糊粗糙集;发展路径

中图分类号:F205 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2010)08-0029-05

低碳经济是低污染、低排放、低能耗的绿色经济,意味着在发展中排放最少的温室气体,同时获得整个社会最大的产出。城市作为地区经济发展和社会发展的核心单元,不可避免地成为中国低碳发展的关注重点。城市低碳发展成为应对资源环境压力、提高能源供应保障安全和减少碳排放的基本前提和必要条件^[1]。如何综合反映城市发展低碳经济的效率和成效,系统体现城市的低碳经济发展差距,以便及时修正战略途径,是亟需突破的重点。

目前用于低碳城市或省区的评价方法有主成分分析法、模糊层次分析法等^[2],其不足在于主观性太强;对数据的精确性要求太高且在处理过程中会损失部分既有的评价信息。而粗糙集方法作为一种新兴的处理不确定性、不精确性的数学理论,可以仅利用数据本身的信息,无需任何附加信息和先验知识,在信息不丢失以及知识库分类能力不变的前提下对评价指标体系进行有效约简,提取有用的特征信息,在处理决策信息系统的离散属性上占有绝对的优势,可以弥补上述方法的不足^[3-4]。本文基于模糊粗糙集理论,构建了城市低碳经济发展评价指标体系及模型,并进行了实证分析。在此基础上对城市低碳经济发展路径进行分析。

1 城市低碳经济综合评价指标体系构建

遵循指标选取的系统性、科学性、可操作性、目标性等原则,本文选取经济、技术、社会、能耗排放、环境等 5 个方面的 23 个指标作为衡量城市低碳经济综合

实力的指标体系^[5-6]。指标体系如图 1 所示。

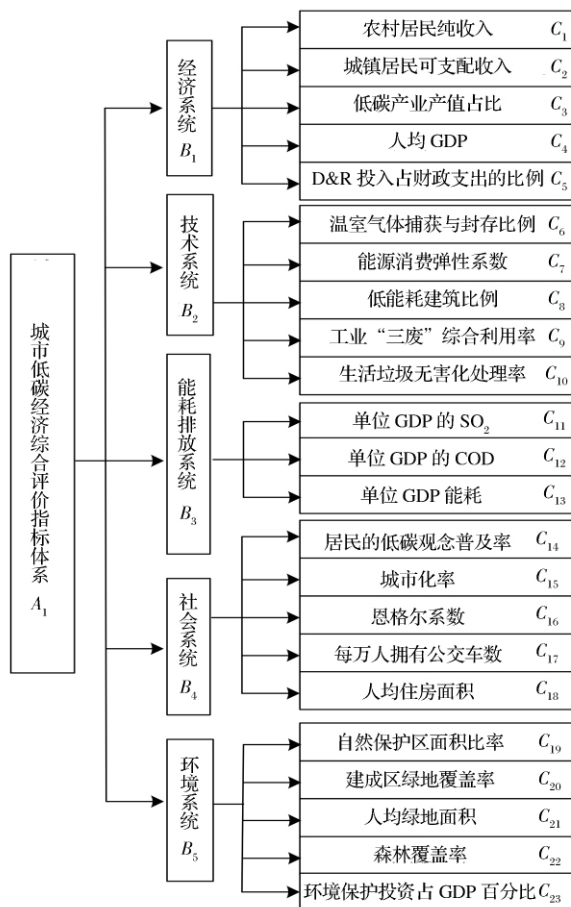


图 1 城市低碳经济综合评价指标体系图

收稿日期:2010-04-12

作者简介:谢传胜(1965—),男,江西大余人,华北电力大学经济与管理学院教授,研究方向:电力技术经济、电力市场;徐欣(1987—),女,满族,北京人,华北电力大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:电力技术经济、电力市场;侯文甜(198—),女,安徽人,华北电力大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:电力技术经济、电力市场;许凤茹(198—),内蒙古通辽人,华北电力大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:电力技术经济、电力市场。

需要说明的是,单位 GDP 的 CO₂、人均碳排放量(碳足迹)等指标也是重要的低碳城市评价指标,但由于目前无明确的城市测量数据,暂且没有将其列入指标体系中。

2 城市低碳经济综合评价方法及实证研究

粗糙集(rough set)理论是波兰数学家 Pawlak 等于 1982 年提出的,它在处理不完整数据和不确定数据方面具有独特优势,已在许多领域得到了成功的应用。粗糙集方法就是利用条件属性和决策属性分别形成的等价关系将研究对象分类,通过分析这两个分类之间的关系,得出条件属性与决策目标之间的联系,同时利用辨识矩阵将条件属性约简达到简化决策规则的目的^[7]。

2.1 基于模糊粗糙集理论的评价模型

辨识矩阵可定义为信息系统中当决策属性不同且条件属性也不完全相同时,元素值为互不相同的属性组合;当决策属性相同时,元素值为 0,当决策属性不同,而条件属性完全相同时,元素值为 -1,则表明系统中数据有误或提供条件属性不足,则可辨识矩阵记为:

$$M = (m_{ij})_{N \times N} = \begin{cases} \{a | a \in f(x_i, D) \neq f(x_j, D), x_i, x_j \in U \\ 0; \text{当 } f(x_i, D) = f(x_j, D) \\ -1; \text{当 } \forall a, \exists a(x_i) = a(x_j), f(x_i, D) \neq f(x_j, D) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $N = |U|$ 。

对于一个可辨识矩阵 $M = (m_{ij})_{N \times N}$,相应的属性 a 的重要度计算公式为:

$$f(a) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\lambda_{ij}}{|m_{ij}|} \quad (2)$$

其中, $\lambda_{ij} = \begin{cases} 0; a \notin m_{ij} \\ 1; a \in m_{ij} \end{cases}$; $|m_{ij}|$ 表示 m_{ij} 包含属性的个数。

所谓属性约简就是在保持知识库分类能力不变的条件下,删除其中不相关的知识或者不重要的知识。如果约简属性 a 后满足下式,则认为属性 a 是决策信息系统中不必要的。

$$\beta_1 / \beta_0 < \epsilon \quad (3)$$

其中, β_1 为删除属性 a 后引入的不相容样本数; β_0 为删除属性 a 之前知识表中样本的数量; ϵ 为阈值,可根据实际需要确定。

模糊聚类所处理的问题是已知论域 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为待分类对象,每个对象又由 m 个指标表示其性状特征,按照问题的目的要求将对象划分

若干类。模糊等价关系法是其中比较直观的一种聚类方法,主要利用了模糊理论中的相似关系。所谓相似关系是指满足自反性和对称性的二元模糊关系,采用编网法可以在模糊相似矩阵 R 的截矩阵 R_λ 上直接进行聚类,从而给出论域 U 的一个分类。

$$R = (r_{ij})_{n \times n} \in u_{n \times n} \quad (4)$$

其中, $r_{ij} = r_{ji}, r_{ii} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 且 $r_{ij} \in [0, 1]$ 。

本文采用绝对值减数法来确定 r_{ij} 的值:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1 - c \cdot \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}| & i \neq j \end{cases} \quad \begin{cases} c, \lambda \in [0, 1] \\ R_\lambda = \{A_i | A_i = x_j | r_{ij} \geq \lambda, j = 1, \dots, n, i = 1, 2, \dots, n\} \end{cases} \quad (5)$$

显然, λ 的取值直接影响到聚类的类别,其值越大,分类越细,反之亦然。

2.2 评价步骤

确定城市低碳经济综合评价指标体系之后,结合上述粗糙集和模糊聚类的基本理论,本文归纳出基于模糊粗糙集的城市低碳经济综合评价步骤如下:

1) 根据建立的评价指标,对样本(对象)的指标赋值,将样本及样本的指标值(属性值)组成一个信息矩阵,并对指标值(属性值)做无量纲化及同向化的规格化处理。

2) 对规格化后的信息矩阵建立模糊相似关系 R ,用编网法在 R 的 λ 截矩阵 R_λ 上进行聚类及离散化处理,然后选取适合聚类目标的分类作为决策属性值与离散化后的信息矩阵组合成决策信息系统。计算决策信息系统的可辨识矩阵,然后得出各属性的重要度并排序。

3) 删除重要性最小的属性并判断约简操作是否满足式(3),若满足则继续选择约简后知识表中重要性最小的属性进行约简,否则停止操作。

4) 将约简后属性的重要性进行归一化处理,得到各属性的权重,然后采用约简后的各属性值的规格化数据作为指标评价矩阵;依次对样本计算指标评价与权重的加权和,确定各评价对象的综合评价价值。

2.3 实证分析

本文运用所建立的城市低碳经济综合评价指标体系,选取北京(x_1)、上海(x_2)、重庆(x_3)作为评价对象,通过基于模糊粗糙集理论的综合评价方法,对其低碳经济发展状况做出一定的评价及分析,验

证模型的可行性。评价对象的指标属性值数据来源于中国统计局网站及 2009 年各市统计年鉴。

先用极差规格化公式消除原指标数据量纲的影响： $u'_{ij} = \frac{u_{ij} - m_j}{M_j - m_j}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)。其中， $m_j = \min(u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj})$ ， $M_j = \max(u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj})$ 。由于 C_7 、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 为逆向指标，对其采用公式 $u''_{ij} = 1 - u_{ij}$ 将之与其他指标同向化，所得规格化后的信息矩阵如表 1 所示。

表 1 规格化后的数据

指标	x_1	x_2	x_3
C_1	0.91	1.00	0.00
C_2	0.84	1.00	0.00
C_3	1.00	0.39	0.00
C_4	0.82	1.00	0.00
C_5	0.00	0.40	1.00
C_6	0.00	1.00	0.41
C_7	1.00	0.00	0.13
C_8	0.85	1.00	0.00
C_9	0.00	1.00	0.10
C_{10}	1.00	0.00	0.19
C_{11}	1.00	0.85	0.00
C_{12}	1.00	0.74	0.00
C_{13}	1.00	0.77	0.00
C_{14}	0.88	1.00	0.00
C_{15}	0.75	1.00	0.00
C_{16}	0.00	0.32	1.00
C_{17}	1.00	0.81	0.00
C_{18}	1.00	0.81	0.00
C_{19}	0.00	1.00	0.73
C_{20}	1.00	0.41	0.00
C_{21}	1.00	0.77	0.00
C_{22}	1.00	0.00	0.55
C_{23}	1.00	0.18	0.00

取论域 $U = \{x_1, x_2, x_3\}$ ，按照式(4)求相似系数(取 $c = 0.03$)得模糊相似矩阵：

$$R = (r_{ij})_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0.68 & 0.43 \\ 0.68 & 1 & 0.44 \\ 0.43 & 0.44 & 1 \end{bmatrix}。$$

将 R 中的元素进行排序为： $1 > 0.68 > 0.44 > 0.43$ 。根据这 3 个城市低碳经济综合实力聚类分析的结果及总分情况，并做出适当调整，发现当 $\lambda = 0.5$ 时，将 U 分为两类较为合理，因此， U 被分为 $\{x_1, x_2\}$ ， $\{x_3\}$ 。同样采取模糊等价聚类的编网法对原信息系统中的条件属性值依属性逐个进行样本聚类得到离散化的信息矩阵，最后得到模糊离散化的决策信息系统。结合式(1)可计算出可辨识矩阵如表 2 所示。

表 2 可辨识矩阵

	x_1	x_2	x_3
x_1	0		
x_2	0	0	
x_3	$C_2 C_3 C_6 C_7 C_9 C_{11}$ $C_{12} C_{13} C_{15} C_{17} C_{20}$ $C_{21} C_{22} C_{23}$	$C_2 C_3 C_4 C_5 C_6 C_7 C_8$ $C_9 C_{11} C_{12} C_{13} C_{14}$ $C_{16} C_{19} C_{20} C_{21} C_{22} C_{23}$	0

根据基于可辨识矩阵的启发式算法，按照式(2)计算 23 个属性的重要性，得出属性重要性的降序排列，然后按照 2.2 节中的步骤对指标进行约简。根据本文对城市低碳经济综合评价的精度要求，取 $\epsilon = 5\%$ ，先后删去 c_1 、 c_{16} 、 c_{17} 、 c_{18} ，当删除 c_{19} 时由于 $\beta_1/\beta_0 = 5.36\% > 5\%$ ，因此结束约简。

采用公式 $w_{c_i} = \frac{f(c_i)}{\sum f(c_i)}$ ，先对约简后的指标

的重要性进行归一化，得到各个指标的权重，然后采用约简后各属性的规格化数据作为指标评价矩阵，并对指标评价矩阵逐行与指标权重加权求和，得到北京、上海、重庆的城市低碳经济综合评价值分别为 $V_{x_1} = 0.5932$ 、 $V_{x_2} = 0.5371$ 、 $V_{x_3} = 0.3895$ 。

由本文的分析可以得出，在所选择的三个城市中，北京的城市低碳经济发展最好，其次是上海，两者水平比较接近，而重庆各方面情况相对落后。

3 城市低碳经济发展路径分析

建设低碳城市，需以能源约束和气候变化为起点，通过行政手段、市场手段、技术手段等方式，最终改变国民经济的能源结构，降低碳基能源的使用比例，提高核能、风能、太阳能等可再生能源的占比。同时提高能源生产、传输和利用的效率，比如发展智能电网，方便各种可再生能源的接入等，从而达到节能降耗的效果^[8-10]。示意图如图 2 所示。

地方政府在实践低碳城市探索时，首先要对城市经济发展阶段和发展模式做出充分的战略评估，结合城市自身特征，确立低碳发展的思路，不能盲目模仿现有模式，或盲目提出减排目标；其次要科学、系统地分析城市区域温室气体排放的清单和份额，计算城市代谢中温室气体的主要行业来源，依据科学的现状分析制订低碳发展规划，而不是简单地把低碳发展与循环经济、节能减排等现存工作结合甚至等同起来。最后，要重点在新能源应用、建筑节能、公共交通、绿色消费等领域挖掘温室气体减排潜力。

4 结论

通过以上分析可以得出以下结论：

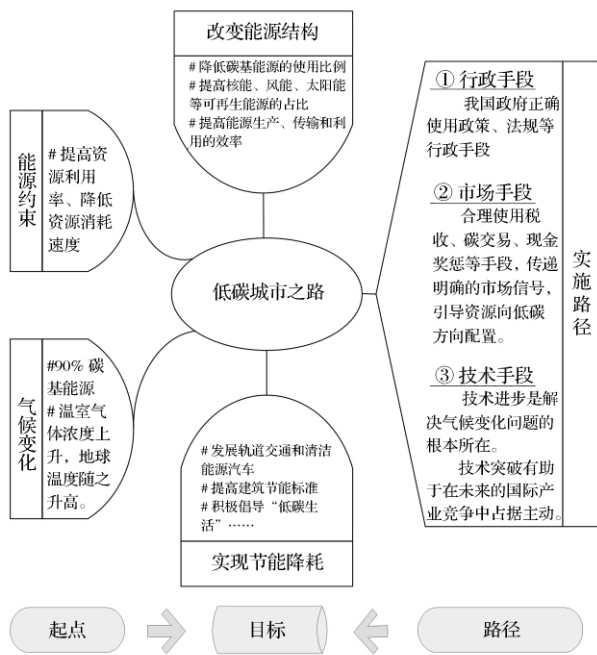


图 2 低碳城市之路

1)模糊粗糙集法在处理决策信息系统的离散属性上占有绝对的优势,可以仅利用数据本身的信息对评价指标体系进行有效约简,提取有用的特征信息。此类方法用于评价城市低碳经济发展水平是可行的。

2)从实例中可得知各市发展低碳经济出现了不同程度的问题,主要原因是在经济、技术、社会、环境等方面没有协调好,有的城市在加速经济发展的同时没有兼顾环境,如上海;有的城市经济基础相对薄

弱,科学技术相对落后,各个方面需要同步推进,如重庆。

3)低碳城市的发展需通过行政手段、市场手段、技术手段等方式,改变国民经济的能源结构,降低碳基能源的使用比例,提高可再生能源的占比。本文所建立的城市低碳经济综合评价指标体系具有广泛适用性,可用于辅佐相关政策的制定。

参考文献

- [1] 李晓燕,邓玲.城市低碳经济综合评价探索[J].现代经济探讨,2010(2):82-85.
- [2] 陈飞,诸大建.低碳城市研究的理论与上海实证分析[J].城市可持续发展,2009(10):71-79.
- [3] 姜连馥,石永威,满杰,等.基于模糊粗糙集理论的建筑业综合评价[J].大连理工大学学报,2007,47(5):729-734.
- [4] LASHIN E F, MEDHAT T. Topological reduction of information systems [J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2005,25: 277-286.
- [5] 任福兵,吴青芳,郭强.低碳社会的评价指标体系构建[J].江淮论坛,2010(1):122,127.
- [6] 李晓燕,邓玲.城市低碳经济综合评价探索——以直辖市为例[J].现代经济探讨,2010(2):82-85.
- [7] PAWLAK Z, GRZYMALA B, SLOWINSKI R. Rough Sets [J]. Communication of ACM, 1995,38 (11):89-95.
- [8] GRUBB M, JAMASB T. Delivering a low-carbon electricity system[M]. UK: Cambridge University Press, 2008.
- [9] Department of Trade and Industry (DTI). UK Energy White Paper: Our Energy Future-creating a Low Carbon Economy[M]. London: TSO, 2003.
- [10] 毕军,刘凌轩,张炳,等.中国低碳城市发展的路径与困境[J].现代城市研究,2009(11):13-16.

Comprehensive Evaluation and Development Path of Urban Low-carbon Economy

Xie Chuansheng, Xu Xin, Hou Wentian, Xu Fengru

(School of Economic and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206,China)

Abstract: In order to cope with climate change and global warming and in the background of country's rapid urbanization and industrialization, the development of low-carbon city is a favorable opportunity for developing a new theory of urban development and planning, which need to establish evaluation mechanism to adjuvant related policies. As a new mathematical theory which deals with uncertainty and inaccuracy problems, the rough set method can only use the data to reduce the evaluation index system effectively and extract useful feature information. This method has an absolute advantage on decision-making information systems in dealing with discrete attribute. For this reason, the low-carbon city economy comprehensive evaluation index system and evaluation model is established by using fuzzy rough set theory with examples, and then analyzes the development path of urban low-carbon economy.

Key words: low-carbon economy; comprehensive evaluation; fuzzy rough sets; development path