

# The Fuzzy Regional Clusters of China's Natural Gas Consumption Structure

Zhongbing Zhou<sup>1</sup>, Haitong Yin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Management, Yangtze University, Jingzhou Hubei

<sup>2</sup>China IPPR International Engineering Company Limited, Beijing

Email: zhouzhongbing@yangtzeu.edu.cn, bennychow09@163.com

Received: Sep. 16<sup>th</sup>, 2016; accepted: Oct. 11<sup>th</sup>, 2016; published: Oct. 14<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In order to enhance the efficiency of natural gas policy, optimize the forecast of natural gas consumption and improve the plan of natural gas pipeline construction, a fuzzy clustering based on the fuzzy equivalence relation's transitive closure is applied to the natural gas consumption structures of 30 provinces (excluding Tibet) of Mainland China in 2013. The results show that, among those provinces: 1) at the accuracy level of 0.9, there are 22 clusters, with Hebei and Heilongjiang being one cluster, Shanxi and Hubei being another, Jiangxi, Guangdong, Guizhou and Shannxi being a third and each of the rest along being a single cluster; 2) at the accuracy level of 0.8, there are 12 clusters, with Beijing, Tianjin, Inner Mongolia, Shanghai, Fujian, Henan, Hainan, Chongqing, Qinghai and Xinjiang each being a single cluster, Jiangsu and Shandong being one, and all others being another; 3) at the accuracy level of 0.7, there are 4 clusters, with Chongqing along being a single, Beijing and Shanghai being one, Fujian and Henan being another, and all others being the fourth; 4) at the accuracy level of 0.6, there are 2 clusters, with Chongqing along being a single, and all others being the other; and 5) at the accuracy level of 0.5, there is only 1 cluster. Three points can be concluded from the results. First, no evidence of regional characteristic has been found associated with the structures of natural gas consumption in those provinces. Second, it turns out to be rather difficult for Chongqing, Beijing, Shanghai, Fujian as well as Henan to be classified in one cluster, while Hubei & Shanxi and Jiangxi & Guangdong & Guizhou & Yunnan & Shannxi belong to one cluster rather significantly. And third, Chongqing appears the most unique. The in depth logics of those phenomena are worth further investigation.

## Keywords

Natural Gas, Consumption Structure, Fuzzy Clustering, Transitive Closure, Decision, Forecast

---

# 中国天然气消费结构的模糊地域聚类

周仲兵<sup>1</sup>, 尹海彤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>长江大学管理学院, 湖北 荆州

<sup>2</sup>中国中元国际工程有限公司, 北京

Email: zhouzhongbing@yangtzeu.edu.cn, bennychow09@163.com

收稿日期: 2016年9月16日; 录用日期: 2016年10月11日; 发布日期: 2016年10月14日

## 摘要

出于提高天然气政策效率、优化天然气消费预测以及改善天然气管网规划等目的, 运用基于模糊等价关系闭包的聚类方法对大陆30个省份(不含西藏) 2013年天然气消费结构进行了聚类研究。结果为, 这些省份: 1) 在0.9的精度水平上, 共有22类, 其中河北与黑龙江组成1类, 山西与湖北组成1类, 江西、广东、贵州、云南与陕西组成1类, 其余省份各独为1类; 2) 在0.8的精度水平上, 共有12类, 其中北京、天津、内蒙古、上海、福建、河南、海南、重庆、青海及新疆各独为1类, 江苏与山东组成一类, 其余省份组成1类; 3) 在0.7的精度水平上, 共有4类, 其中重庆独为1类, 北京与上海组成1类, 福建、河南组成1类; 4) 在0.6的精度水平上, 共有2类, 其中重庆独为1类, 其余所有省份组成1类; 5) 在0.5的精度水平上, 仅有1类。据研究结果, 得三个主要结论: 1) 地域特征并非中国天然气消费结构差异的唯一因素; 2) 重庆、北京、上海、福建以及河南在天然气消费结构方面难以与其它省份聚为1类; 湖北与山西以及江西、广东、贵州、云南与陕西在这方面很大程度上又各同属一类; 3) 重庆表现出了最明显的独特性。这些现象的深层原因值得进一步研究。

## 关键词

天然气, 消费结构, 模糊聚类, 传递闭包, 决策, 预测

## 1. 引言

天然气消费结构是指同一时间段内不同行业天然气终端消费量的比例。国内外多数国家对不同行业的天然气消费都进行了统计。《中国能源统计年鉴》将天然气终端消费分为7类: 第1类, 农、林、牧、渔、水利业; 第2类, 工业; 第3类, 建筑业; 第4类, 交通运输、仓储和邮政业; 第5类, 批发、零售业和住宿、餐饮业; 第6类, 其它; 第7类, 生活消费。《天然气利用政策》将天然气用户分为城市燃气、工业燃料、天然气发电、天然气化工和其他用户。

由于各种原因, 中国天然气消费结构可能存在明显的地域差异。如根据《中国能源统计年鉴 2013》计算, 2012年上海市天然气三种消费类型(即工业用气、商业用气和生活用气)的结构比为 62.64:13.64:23.72, 而四川省该年度天然气三种消费类型结构比为 44.98:11.49:43.53。针对各类属省份制定相同或相似的天然气开发与利用政策, 有利于降低政策和企业的决策成本。

天然气消费结构至少在三方面是一个重要指标。其一, 它是天然气开发与利用政策制定的重要依据。如, 中国长期以来将天然气消费分为工业用气、商业用气和居民用气三大类, 并对不同类天然气消费制定了不同的管制价格以及用途限制; Wang 与 Lin (2014) [1]在研究补贴政策对天然气消费的影响的时候,

就发现不同行业天然气消费的价格弹性不同, 暗示天然气价格补贴应根据天然气消费结构而异。其二, 它影响天然气消费预测。如, Xu 与 Wang (2011) [2]以及 Li、Dong、Shang Guand 与 Hook (2011) [3]在预测中国天然气消费时也考虑了天然气消费结构的影响。其三, 它是天然气主干、城市管网建设规划的重要参考。比如, 苏欣、段康、袁宗明、张琳, 唐恂与张鹏(2007) [4]指出不同类属天然气消费对相应的天然气管输负荷有不同的要求: 《城镇燃气设计规范》(GB50028-2006)对居民用气、商业用气和工业企业用气高峰系数、管道流量计算方法都有不同的规定。

中国幅员辽阔, 各地区经济、地理环境差异大, 加上天然气消费结构中要素种类较多, 因此任意两个地区的天然气结构相似性无法精确计算, 只能依靠模糊方法大致得到不同精度水平下的模糊聚类。本文试图运用经典模糊聚类方法在省域层面对中国天然气消费结构进行区域聚类。

## 2. 方法与一般步骤

### 2.1. 基于模糊等价关系的传递闭包方法

何清(1998) [5]指出: 经典分类学属于硬分类, 它把每个待辨识的对象严格地划分到某类中, 具有非此即彼的性质, 具有严格的界限; 实际上, 大多数对象并没有严格的属性, 它们在性态和类属方面存在着中介性, 具有亦此亦彼的性质, 因此适合进行软划分; 模糊数学的产生为软分类提供了数学基础, 由此产生了模糊聚类分析; 基于模糊等价关系的传递闭包方法是最基本的而且是常用的模糊聚类方法。实际问题中建立的模糊关系常常不是等价关系而是相似关系, 这就需要将模糊相似关系改造为模糊等价关系, 传递闭包正是这样一种工具。该方法在图像相分割(如文献[6] [7])、分区管理(如[8]-[10])、负荷预测以及各种评价(如[11]-[13])等方面得到了广泛运用。

### 2.2. 一般步骤

基于模糊传递闭包的聚类分析一般包括 5 个步骤: (1) 构造特性指标矩阵; (2) 数据规格化; (3) 构造模糊相似矩阵; (4) 求模糊传递闭包; (5) 模糊分类。下面对这些步骤依次梳理。

#### 2.2.1. 构造特性指标矩阵

设被分类对象的集合为  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ , 每一个对象  $x_i$  有  $m$  个特性指标(反映对象特征的主要指标), 即  $x_i$  可由如下  $m$  维特性指标向量来表示:

$$x_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m}), i = 1, 2, \dots, n$$

其中  $x_{i,j}$  表示第  $i$  个对象的第  $j$  个特性指标。则  $n$  个对象的所有特性指标构成一个矩阵, 记作  $X^* = (x_{i,j})_{n \times m}$ , 称  $X^*$  为  $X$  的特性指标矩阵。

$$X^* = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix}$$

#### 2.2.2. 数据规格化

由于  $m$  个特性指标的量纲和数量级不一定相同, 故在运算过程中可能突出某数量级特别大的特性指标对分类的作用, 而降低甚至排除了某些数量级很小的特性指标的作用。数据规格化使每一个指标值统一于某种共同的数值特性范围。这里采取标准化方法对特性指标矩阵进行规格化处理。

对特性指标  $X^*$  的第  $j$  列, 计算均值和方差, 然后作变换得:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m) \quad (1)$$

其中,  $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ ,  $\sigma_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$ ,  $j=1,2,\dots,m$ 。

### 2.2.3. 构造模糊相似矩阵

聚类是按某种标准来鉴别  $X$  中元素间的接近程度, 把彼此接近的对象归为一类。为此, 用  $[0,1]$  中的数  $r_{i,j}$  表示  $X$  中的元素  $x_i$  与  $x_j$  的接近或相似程度。经典聚类分析中的相似系数以及模糊集之间的贴适度, 都可作为相似程度(相似系数)。

设数据  $x'_{i,j}$  ( $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ ) 均已规格化,  $x_i$  与  $x_j$  之间的相似程度记为  $r_{i,j} \in [0,1]$ , 于是得到对象之间的模糊相似矩阵  $R = (r_{i,j})_{n \times n}$ 。

有多种确定相似程度(相似系数  $r_{i,j}$ )的方法, 这里使用联合国工业发展组织国际工业研究中心提出的结构相似系数[14], 即:

$$r_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{i,k} x_{j,k}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n x_{i,k}^2 \sum_{k=1}^n x_{j,k}^2}} \quad (2)$$

### 2.2.4. 求模糊传递闭包

由于由上述各种方法构造出的对象与对象之间的模糊关系矩阵  $R = (r_{i,j})_{n \times n}$ , 一般说来只是一个模糊相似矩阵, 而不一定具有传递性。因此, 要从  $R$  出发构造一个新的模糊等价矩阵, 然后以此模糊等价矩阵作为基础, 进行动态聚类。模糊相似矩阵  $R$  的传递闭包  $T(R)$  就是一个模糊等价矩阵, 可利用平方自合成方法求传递闭包  $T(R)$ 。

$T(R)$  具有以下性质:

(1)  $T(R)$  是  $X$  上的模糊关系, 即  $T(R) \in F(X \times X)$ ;

(2)  $T(R)$  是  $X$  上的模糊传递关系, 对任意  $\lambda \in [0,1]$  及任意  $x, y, z \in X$ , 有

$T(R)(x, y) \geq \lambda, T(R)(y, z) \geq \lambda \Rightarrow T(R)(x, z) \geq \lambda$ ;

(3) 设  $R'$ , 若  $R' \subseteq T(R)$ , 如果  $S$  也是  $X$  上的模糊传递关系且  $R' \subseteq S$ , 那么必有  $t(R) \subseteq S$ 。

可运用“平方自合成方法”<sup>1</sup> 计算有限论域上自反模糊关系  $R$  的传递闭包, 即从  $R$  出发, 反复自合成, 依次计算出  $R^2, R^4, \dots$ , 当第一次出现  $R^{2k} = R^k \circ R^k = R^k$  时, 得  $T(R) = R^k$ 。

### 2.2.5. 模糊分类

求出  $T(R)$  的  $\lambda$  截矩阵  $T(R)_\lambda$ , 它是  $X$  上的一个等价 Boole 矩阵:

$$t(R)_\lambda = (r'_{i,j}(\lambda))_{n \times n} \quad (3)$$

其中  $r'_{i,j}(\lambda) = \begin{cases} 1, & r_{i,j} \geq \lambda \\ 0, & r_{i,j} < \lambda \end{cases}$ 。

然后按  $T(R)_\lambda$  进行分类, 所得到的分类就是在  $\lambda$  水平上的等价分类, 即对于  $x_i, x_j \in X$ , 若  $r'_{ij}(\lambda) = 1$ , 则在  $\lambda$  水平上将对象  $x_i$  和对象  $x_j$  归为同一类。 $\lambda$  反映了分类的模糊程度(精度),  $\lambda$  越大则分类精度越高。实践中分类精度过高则意味着高昂的决策成本, 因此  $\lambda$  的取值需要根据现实需要来做权衡。如果不考虑

<sup>1</sup>这里的平方自合成是指矩阵的一种复合运算, 即任意矩阵  $A = (a_{i,j})_{m \times n}$  的平方  $A^2 = A \circ A = (a'_{i,j})_{m \times n}$ , 其中  $a'_{i,j} = \max\{(a_{i,k} \wedge a_{k,j}) | 1 \leq k \leq n\}$ 。

决策成本, 通常可以将  $T(R)$  的截矩阵按  $\lambda$  值从大到小的顺序编排, 并将各  $\lambda$  水平上的一系列分类画在同一个图上, 即得动态聚类图。

### 3. 数据与结果

#### 3.1. 数据

数据来源于《中国能源统计年鉴 2013》, 其中有全国 30 个省级行政区(不含西藏、香港、澳门、台湾)<sup>2</sup> 的天然气平衡表(表 1)。

分类对象  $X$  为 30 个省级行政区(简称省份) 2013 年天然气终端消费量(所能得到的最近的数据),  $X = (x_1, x_2, \dots, x_{30})^T$ , 其中  $x_i$  表示第  $i$  ( $1 \leq i \leq 30$ ) 个省份天然气终端消费集合。

任意省份的天然气消费量  $x_i$  有 7 个特性指标,  $x_i = \{x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,7}\}$ , 其中  $x_{i,j}$  表示某省份天然气消费第  $j$  ( $1 \leq j \leq 7$ ) 个特性指标(表 2)。

因此,  $X$  的特性指标矩阵  $X^*$  为一个  $30 \times 7$  的矩阵。

#### 3.2. 结果

##### 3.2.1. 模糊相似矩阵与传递闭包

依次运用(1)式和(2)式可以得到分类对象的模糊相似矩阵  $R = (r_{i,j})_{30 \times 30}$ 。

运用“平方自合成方法”可以得到  $R$  的传递闭包  $T(R) = R^{16}$ 。

##### 3.2.2. 分类结果

依次取  $\lambda$  值等于 1、0.9、0.8、0.7、0.6 和 0.5, 并运用(3)式得到传递闭包的截矩阵, 从而获得不同精度水平下的同构集合(图 1)。

### 4. 结果说明

#### 4.1. 关于分类精度的说明

$\lambda$  的取值代表了分类界限得到模糊程度,  $\lambda$  越小意味着分类界限的模糊程度越高。从图 1 可以看出, 当  $\lambda$  取 0.5 时, 所有省份都可以归为 1 类。显然, 这就等于没有分类, 所以也就没有任何价值。当  $\lambda$  取 0.6 时, 所有省份仍可以分为 2 类, 因此 0.6 可以近似地作为该项分类的最低精度要求。另一方面,  $\lambda$  取 1 意味着同类元素必须绝对相同, 这在现实当中同样没有任何价值。当  $\lambda$  取 0.9 时, 所有省份仍可以分为 22 类, 虽然此时类别仍然较多, 但 0.9 可以近似地作为该项分类的最高精度要求。

$\lambda$  的取值同时也代表了决策成本与决策效果的平衡关系,  $\lambda$  越小意味着决策成本越小但同时也意味着决策效果越差。因此,  $\lambda$  的最佳取值还需要根据其与其与决策成本和决策效果的函数关系而定。

#### 4.2. 关于分类总体特征的说明

总体上来看, 重庆、北京、上海、福建与河南等省份表现出了明显的独特性, 尤以重庆为甚。北京与上海以及福建与河南在 0.7 的精度水平上各组成 1 类; 在 0.6 的精度水平上, 重庆仍然自成 1 类。

虽然在地理上并不相连, 湖北与山西却在 0.9 的精度水平上组成 1 类。江西、广东、贵州以及云南与地理上相距更远的陕西在 0.9 的精度水平上组成 1 类更令人注意。显然, 地理位置不应该是这些省份表现独特的主要原因, 中国天然气消费结构在地域上不存在明显的连续性。这种非连续性或许暗示中国在天然气产业政策制定上缺乏统一规划, 各省各自为政; 或者暗示中国经济结构在地域上也不连续。由

<sup>2</sup> 《中国能源统计年鉴 2013》未对西藏的天然气消费数据进行统计(猜测是出于西藏天然气消费几乎一直为零的考虑); 由于属于非大陆省份, 香港、澳门、台湾也没有纳入研究范围。

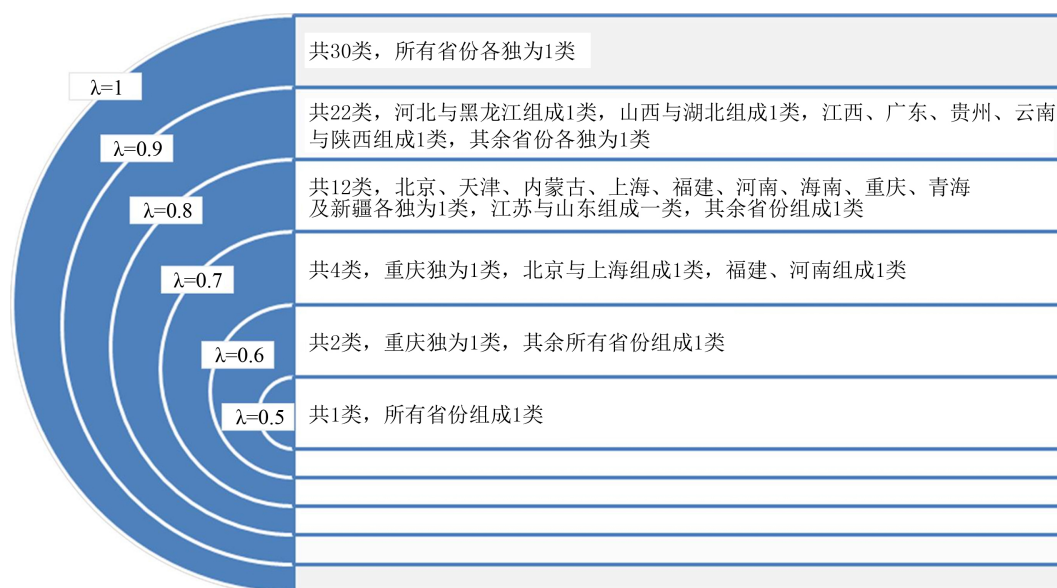


**Table 1.** The region order,  $i$ **表 1.** 地域序号,  $i$ 

$i$ 的取值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$i$ 所指省份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽
$i$ 的取值	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$i$ 所指省份	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	四川	贵州
$i$ 的取值	25	26	27	28	29	30						
$i$ 所指省份	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆						

**Table 2.** The constituent order,  $j$ **表 2.** 构成要素序号,  $j$ 

$j$ 的取值	1	2	3	4	5	6	7
$j$ 所指特性	农、林、牧、渔、水利业	工业	建筑业	交通运输、仓储及邮电通讯业	批发和零售贸易、餐饮业	生活消费	其它

**Figure 1.** The regional clusters at different confidence levels ( $\lambda$ )**图 1.** 不同精度水平( $\lambda$ )下中国天然气消费结构的区域聚类

于天然气资源在中国存在明显的地域连续性, 资源优化配置的结果本应该是天然气消费结构的地域连续。因此, 研究结果表明天然气资源在中国明显没有实现优化配置。

### 4.3. 关于研究局限的说明

研究仅采用 2013 年的数据, 主要存在以下两方面的局限:

1) 数据时效性较弱。决策者往往需要依据前不久的历史数据。但是, 这方面的不足只有在官方统计工作及时跟进并且相关数据实现及时更新后才能得到克服。

2) 没有考虑更多历史信息。决策者可能依据过去一段历史时期的数据而非仅依据前一期的数据进行决策。弥补这方面的不足只需要改变结构相似系数的算法即可——对于同一段时期内不同对象结构相似程度的计算可借鉴 Wang、Bovik、Sheikh 与 Simoncelli (2004) [15]的方法。鉴于决策者并非全然如此, 且

作者们相信更多的决策者仅根据上一期数据来进行决策, 本文不再就此论述。

## 5. 总结

天然气行业在中国经济与社会发展中的基础性作用将日益突出, 优化、改善天然气行业管理的重要性也将随之凸显。对天然气天然消费结构在省域层面上进行分类符合大数据时代政府行业管理精细化的趋势与要求。本文展示了一项基于模糊等价关系传递闭包的聚类研究的过程与结果。

从研究结果来看, 可以得到以下三点主要结论与启示:

1) 地域特征并非中国天然气消费结构差异的唯一因素。分析结果显示, 相邻两省不成 1 类或不相邻甚至相距甚远两省却聚为 1 类的情况并不少见。这表明, 政府部门、企业家或学者仅依据地域特征就天然气行业管理、天然气商业经营或天然气行业研究等方面做出决策或给定结论都是比较草率的。中国未来应该注重统一规范, 促进区域协同发展, 从而实现包括天然气在内的各种资源的优化配置。

2) 重庆、北京、上海、福建以及河南在天然气消费结构方面难以与其它省份聚为 1 类; 湖北与山西以及江西、广东、贵州、云南与陕西在这方面很大程度上又各同属一类。由于确定分类精度同决策成本与决策效果的函数关系比较复杂, 需要耗费大量成本, 因此这一结论或许暗示政府、企业以及学者在这方面可以将重庆、北京、上海、福建以及河南视作个案处理, 而将湖北与山西以及将江西、广东、贵州、云南与陕西各视作 1 类处理。不过, 这一现象背后的深层原因亦需要进一步研究。

3) 重庆表现出了最为明显的独特性。即便在 0.6 的精度水平上, 重庆仍自成 1 类。这是否与重庆是最晚成立的一个直辖市有关, 或者还是与有其他特殊因素有关, 应该是一个比较有趣研究课题。

总之, 该研究不仅具有指导具体实践的价值, 也有一般意义的方法示范, 同时还指出了一些值得关注乃至专注的研究方向, 可望抛砖引玉。

## 基金项目

该项研究受湖北省社会科学基金项目(编号: 2014055)、长江大学社科基金项目(编号: 2015csy001)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] Wang, T. and Lin, B.Q. (2014) China's Natural Gas Consumption and Subsidies—From a Sector Perspective. *Energy Policy*, **65**, 541-551. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.065>
- [2] Xu, G. and Wang, W.G. (2010) Forecasting China's Natural Gas Consumption Based on a Combination Model. *Journal of Natural Gas Chemistry*, **19**, 493-496. [http://dx.doi.org/10.1016/S1003-9953\(09\)60100-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1003-9953(09)60100-6)
- [3] Li, J.C., Dong, X.C., Shangguan, J.X. and Hook, M. (2011) Forecasting the Growth of China's Natural Gas Consumption. *Energy*, **36**, 1380-1385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.003>
- [4] 苏欣, 段康, 袁宗明, 张琳, 唐恂, 张鹏. 城市天然气负荷特点及其预测研究[J]. 油气储运, 2007, 26(1): 5-9.
- [5] 何清. 模糊聚类分析理论与应用研究进展[J]. 模糊系统与数学, 1998, 12(2): 89-94.
- [6] 余锦华, 汪源源, 施心陵. 基于空间邻域信息的二维模糊聚类图像分割[J]. 光电工程, 2007, 34(4): 114-119.
- [7] 林开颜, 徐立鸿, 吴军辉. 快速模糊 C 均值聚类彩色图像分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2): 159-163.
- [8] 吴景社, 康绍忠, 王景雷, 黄修桥, 宋毅夫. 基于主成分分析和模糊聚类方法的全国节水灌溉分区研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 64-68.
- [9] 王志良, 邱林, 梁川, 付强. 基于模糊聚类分析的水资源分区研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2001, 22(2): 7-10.
- [10] Yu, S., Wei, Y.-M., Fan, J., Zhang, X. and Wang, K. (2012) Exploring the Regional Characteristics of Inter-Provincial CO<sub>2</sub> Emissions in China: An Improved Fuzzy Clustering Analysis Based on Particle Swarm Optimization. *Applied Energy*, **92**, 552-562. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.068>
- [11] 冯国庆, 张烈辉, 沈勇伟, 陈忠强. 应用模糊聚类分析方法评价油藏质量[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(3):

33-36.

- [12] 张美华, 陈宏. 几种模糊聚类法在环境质量综合评价中的应用[J]. 重庆环境科学, 1999, 21(3): 13-16.
- [13] 李大全, 张鹏, 艾慕阳, 王玉彬, 陈利琼. 模糊聚类法在油气管道风险评价管段划分中的应用[J]. 天然气工业, 2012, 32(7): 63-67.
- [14] 王文森. 产业结构相似系数在统计分析中的应用[J]. 中国统计, 2007(10): 47-48.
- [15] Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R. and Simoncelli, E.P. (2004) Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, **13**, 600-612.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aepe@hanspub.org](mailto:aepe@hanspub.org)