

# 绿色供应链综合绩效评价:集对分析模型及应用

方 红<sup>1,2</sup>, 祁春节<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学 理学院, 湖北 武汉 430070;  
2. 华中农业大学 经济管理学院, 湖北 武汉 430070)

**摘 要** 考虑到绿色供应链综合绩效评价过程中的不确定性和复杂性因素, 基于集对分析理论, 引入了能体现系统确定性与不确定性的同异反联系度计算公式, 并建立了绿色供应链综合绩效评价的集对分析模型。通过实例计算, 得到了所选供应链各子系统和综合绩效的评价等级, 为绿色供应链综合绩效评价提供了一种新方法。

**关键词** 绿色供应链; 绩效评价; 集对分析; 联系度; 层次分析法

**中图分类号:** F 270.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-3456(2013)02-0008-05

随着各国经济的高速发展, 带来了一个共性问题就是生态安全, 一旦出现问题, 将会造成很大的危害<sup>[1]</sup>, 不论是政府还是消费者都对此相当重视。政府对环保法规的制定正在执行越来越严格的标准, 而消费者在选择商品时也会考虑该商品是否具有“绿色”效应<sup>[2]</sup>。尽管这些标准的制定和消费者的选择行为给制造企业带来了巨大的压力, 但无形中为他们提供了一个向绿色消费市场进军的机会<sup>[3]</sup>。为此, 许多企业正在重新组织和协调内部供应链, 响应政府的规定和消费者的选择, 将环保意识和环境管理引入到供应链中来, 实行供应链管理的“绿色化”<sup>[4]</sup>。由此, 产生了绿色供应链管理思想。绿色供应链管理就是要在企业的整个供应链管理过程中综合考虑资源效率 and 环境影响的一种现代管理模式<sup>[5]</sup>。为了更好地考察企业供应链管理中“绿色”标准的执行情况, 发现企业生产中的问题并及时作出改进, 以保障企业供应链朝着“绿色化”方向发展, 对绿色供应链进行综合绩效的评价显得尤为重要<sup>[6]</sup>。

对于绩效的理解通常有 2 种观点。Bernadin 等人指出绩效是工作的结果, 因为不管是企业组织制定的战略目标、投入资金的多少, 还是给顾客所带来的满意度, 都与这种工作的结果密不可分<sup>[7]</sup>, 而另一个观点则是由 Campbell 所提出, 他认为绩效应该是行为, 不能把它和结果混同, 因为系统中很多因素的变化都会导致结果的变化<sup>[8]</sup>。但不管怎样, 绩效评

价总是遵循一定的指标体系及相应的评价标准, 根据实际情况, 综合运用定性和定量分析, 对特定主体在一定时期内所做出的效益和成绩进行公正、客观和准确的综合评判<sup>[9]</sup>。目前用得较多的供应链综合绩效评价方法主要有模糊综合评判、层次分析法、数据包络分析法、粗糙集和神经网络等。由于供应链系统的复杂性, 在对供应链综合绩效进行评价的时候, 需要对评价指标体系进行多层次划分, 评价结果要能反映不同层次的运作现状, 这样才有利于企业有针对性地进行改进, 而上述方法通常难以达到这种要求。

集对分析是由我国学者赵克勤先生在 1989 年正式提出的一种科学评价方法。目前, 集对分析已被广泛应用于环境、工程、科技等诸多领域。该方法辩证地对待系统中出现的不确定性, 并可以通过具体的数学模型来刻画这种不确定性。正是基于这种思想, 考虑到绿色供应链综合绩效评价系统中可能存在的不确定性, 将集对分析理论中的同反异关系与供应链绩效评价指标和评价等级二者有机联系起来, 构造一个集对, 通过  $n$  元联系系数的计算来反应绿色供应链的综合绩效, 并根据等级划分标准给出绿色供应链不同层次的绩效评价等级。该方法评价过程客观合理, 结果丰富, 因而具有较强的适用性<sup>[10]</sup>, 能有效弥补现有绿色供应链综合绩效评价方法的不足。本文运用集对分析理论及模型对绿色供应链综

收稿日期: 2012-06-20  
基金项目: 国家专项“现代农业(柑橘)产业技术体系(MATS)”(CARS-07-07B); 湖北省项目“高等学校优秀中青年科技创新团队计划”(T200813); 中央高校基本科研业务费项目(2011PY060)。  
作者简介: 方 红(1976-), 男, 讲师, 博士研究生; 研究方向: 技术经济。E-mail: fanghong@mail.hzau.edu.cn

合绩效评价进行了探讨,以对现有评价方法进行完善和补充。

## 一、绿色供应链综合绩效评价指标体系及权重

### 1. 绿色供应链综合绩效评价指标体系

绿色供应链综合绩效评价指标体系的建立应该从绿色供应链的整体战略出发,遵循系统、全面、简洁、通用、动态、可扩展性和可操作性的原则。评价结果一般分为“优秀”“良好”“中等”“差”和“病态”5

个级别。王海滨和阮略成从不同角度出发,分别建立了绿色供应链综合绩效评价指标体系,但存在部分指标相关性太强及数据难以获得的问题<sup>[11-12]</sup>。因此,考虑到绿色供应链综合绩效评价指标体系建立的系列原则,本文将绿色供应链综合绩效按评价角度的不同分为绿色环保、财务价值、业务流程、客户服务和创新发展等 5 个大子系统和 20 个属性指标。根据韩小花<sup>[13]</sup>所收集的行业内各种绿色供应链数据的最低值和基准值,并按级别进行划分,得到绿色供应链综合绩效评价指标体系及各等级分界点如表 1。

表 1 绿色供应链综合绩效评价指标体系及其等级标准

评价角度 (权重)	评价指标(权重)	绿色供应链绩效评价分界点					指标 现状值
		优秀	良好	中等	差	病态	
绿色环保 (0.070)	环境标准认证率(0.276)	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.90
	污染成本率(0.306)	0.10	0.16	0.22	0.28	0.33	0.14
	能源再利用率(0.306)	0.92	0.88	0.84	0.80	0.76	0.88
	材料回收率(0.113)	0.46	0.36	0.26	0.16	0.50	0.30
	产品合格率(0.320)	1.00	0.97	0.95	0.92	0.90	0.96
业务流程 (0.305)	配送及时率(0.453)	1.00	0.93	0.85	0.78	0.70	0.87
	产品退货率(0.086)	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.06
	产品破损率(0.141)	0.02	0.04	0.07	0.09	0.12	0.06
	利润增长率(0.518)	0.20	0.16	0.11	0.08	0.05	0.14
	投资收益率(0.099)	0.18	0.14	0.10	0.07	0.04	0.14
财务价值 (0.338)	资产负债率(0.099)	0.35	0.48	0.61	0.74	0.88	0.55
	销售额增长率(0.284)	0.23	0.18	0.13	0.08	0.02	0.17
	客户投诉率(0.225)	0.01	0.04	0.07	0.09	0.12	0.06
	市场占有率(0.249)	0.13	0.10	0.08	0.05	0.02	0.08
	准时交货率(0.109)	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.94
客户服务 (0.163)	客户流失率(0.418)	0.02	0.05	0.08	0.11	0.15	0.04
	智力资本率(0.277)	0.20	0.17	0.14	0.11	0.08	0.12
	培训总人数增长率(0.125)	0.10	0.08	0.06	0.04	0.03	0.05
	新产品收入比率(0.365)	0.36	0.30	0.23	0.17	0.10	0.26
	开发循环期优势(0.233)	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04

为了方便讨论,将以上 20 个指标分为 2 类,分别命名为逆向指标和正向指标。所谓逆向指标,是指评价结果的实际值越小评价等级越高,而正向指标则是指评价结果的实际值越大评价等级越高。例如,污染成本率和客户投诉率是逆向指标,而材料回收率和利润增长率是正向指标。

### 2. 基于层次分析法的指标权重的确定

层次分析法是将定性和定量相结合来确定指标权重的一种有效方法。该方法通过对评价系统的划分得到目标层、准则层和指标层 3 个层次,并依次构建各级指标间的判断矩阵,通过求解判断矩阵的特征值和特征向量即可得到相应指标的权重。在绿色供应链综合绩效评价体系中,目标层是绿色供应链绩效,准则层则是绿色环保、业务流程、财务价值、客户服务和创新发展 5 个一级指标,而指标层则是

表 1中所列出的 20 个二级指标。

以一级指标权重的确定为例,综合专家意见和已有文献,按层次分析法构建 5 个一级指标的成对比较矩阵如表 2。

表 2 一级指标成对比较矩阵

	绿色环保	业务流程	财务价值	客户服务	创新发展
绿色环保	1	1/3	1/5	1/3	1/2
业务流程	3	1	1	2	3
财务价值	5	1	1	2	3
客户服务	3	1/2	1/2	1	1
创新发展	2	1/3	1/3	1	1

根据公式  $AX=\lambda X$  计算可以得出成对比较矩阵  $A$  的最大特征值  $\lambda_{\max}=5.072$ ,一致性比例  $CR=0.016$ ,由于  $CR<0.1$ ,一致性检验通过。最大特征值所对应的特征向量  $X$  即可作为 5 个指标的权向量,从而最终确定 5 个一级指标绿色环保、业务流

程、财务价值、客户服务和创新发展的权重依次为 0.070、0.305、0.338、0.163 和 0.127。同样的方法,可以得出 20 个二级指标的权重,具体计算结果见表 1。

## 二、绿色供应链综合绩效评价集对分析模型的建立

### 1. 集对分析方法简介

集对分析是指将 2 个具有一定联系的集合  $A$ ,  $B$  组成对子,在一定的背景背景下对这 2 个集合的特性进行同一、差异和对立的系统分析,并用联系度  $\mu$  来进行定量刻画。如果在分析中共得到  $N$  个特性,其中  $S$  个特性为两集合所共有的,  $P$  个特性为两集合所对立的,其余的  $F$  个特性既不共有也不对立,且  $F=N-S-P$ ,则联系度可表达为:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

其中,  $i$  称为差异度系数,且  $i \in [-1, 1]$ ,可以用来反映研究体系中存在的不确定性,  $i$  与 0 的接近程度可以说明系统中不确定性的程度,其值越大这种不确定性也越大。  $j$  的取值规定恒为  $-1$ ,称其为对立度系数,以示  $\frac{P}{N}$  和  $\frac{S}{N}$  是相反的。若记  $a = \frac{S}{N}$ ,  $b = \frac{F}{N}$ ,  $c = \frac{P}{N}$ ,则式(1)可简记为:

$$\mu = a + bi + cj \quad (2)$$

联系度  $\mu$  一般也称为三元联系数,如果将式(2)展开,还可得到多元联系数:

$$\mu = a + b_1i_1 + b_2i_2 + \cdots + b_{n-2}i_{n-2} + cj \quad (3)$$

集对分析这种不确定性方法的研究思路概括起来依次为从客观承认,到系统描述,到定量刻画,最后到具体分析<sup>[14]</sup>。

### 2. 绿色供应链综合绩效评价的集对分析模型

设评价对象集合  $A = \{\text{绿色供应链综合绩效评价指标}\}$ ,属性集合  $B = \{\text{绿色供应链综合绩效评价等级}\}$ 。用  $m(1 \leq m \leq 5)$  表示绿色供应链体系中一级指标的个数,而用  $I_m$  表示一级评价指标。第  $m$  个一级指标下的第  $q$  个二级评价指标则用  $I_{mq}$  来表示,且  $1 \leq q \leq 4$ 。若已知绿色供应链综合绩效评价等级分为  $n$  级,根据  $I_{mq}$  的观测值  $t_{mq}$ ,可以通过计算  $n$  元联系数  $\mu$  来得到各级指标及总指标的绿色供应链综合绩效评价。进一步,若想得绿色供应链综合绩效评价等级,则可以按照区间均分的原则来进行。

(1) 计算二级子系统的  $n$  元联系数。绿色供应链综合绩效二级子系统  $I_{mq}$  的综合评价  $n$  元联系数可表达为:

$$\mu_{mq} = r_{mq1} + r_{mq2}i_1 + r_{mq3}i_2 + \cdots + r_{mq(n-1)}i_{n-2} + r_{mqn}j \quad (4)$$

式中,  $n$  元联系数  $\mu_{mq}$  表示的是二级指标在绿色供应链综合绩效评价中的等级,  $r_{mqi}$  是绿色供应链综合绩效评价指标  $I_{mq}$  相对  $C_i$  等级的联系度分量,  $i_1, i_2, \dots, i_{n-2}$  称之为差异度系数,依次表达二级指标与二级到  $(n-1)$  级标准的不确定性程度,  $j = -1$  表示  $n$  级指标的系数,称之为对立系数。

对于逆向指标,当  $t_{mq} \leq a_{mq1}$  或正向指标,当  $t_{mq} \geq a_{mq1}$  时,

$$\mu_{mq} = 1 + 0i_1 + \cdots + 0i_{n-2} + 0j \quad (5)$$

对于逆向指标,当  $a_{mqn} \leq t_{mq} \leq a_{mq(s+1)}$  或正向指标当  $a_{mqn} \geq t_{mq} \geq a_{mq(s+1)}$  时,

$$\mu_{mq} = 0 + \cdots + \left| \frac{t_{mq} - a_{mq(s+1)}}{a_{mqn} - a_{mq(s+1)}} \right| i_{s-1} + \left| \frac{t_{mq} - a_{mqn}}{a_{mqn} - a_{mq(s+1)}} \right| i_s + \cdots + 0j \quad (6)$$

对于逆向指标,当  $t_{mq} \geq a_{mqn}$  或正向指标当  $t_{mq} \leq a_{mqn}$  时,

$$\mu_{mq} = 0 + 0i_1 + \cdots + 0i_{n-2} + 1j \quad (7)$$

(2) 计算一级子系统的  $n$  元联系数。绿色供应链综合绩效一级子系统的综合评价  $n$  元联系数可表达为:

$$\mu_m = r_{m1} + r_{m2}i_1 + r_{m3}i_2 + \cdots + r_{m(n-1)}i_{n-2} + r_{mn}j \quad (8)$$

式中,  $n$  元联系数  $\mu_m$  表示的是一级指标在绿色供应链综合绩效评价中的等级,  $r_{ml} = \sum_{q=1}^4 \omega_{mq} r_{mqi}$  是一级指标  $I_m$  相对等级  $C_l$  的联系度分量,而  $\omega_{mq}$  则为指标  $I_{mq}$  的权重。  $i_1, i_2, \dots, i_{n-2}$  及  $j = -1$  的意义与前面二级子系统中所介绍的一致。

(3) 计算总指标的  $n$  元联系数。绿色供应链综合绩效总指标的综合评价  $n$  元联系数可表达为:

$$\mu = r_1 + r_2i_1 + r_3i_2 + \cdots + r_{(n-1)}i_{n-2} + r_nj \quad (9)$$

式中,  $n$  元联系数  $\mu$  表示的是总指标在绿色供应链综合绩效评价中的等级,  $r_l = \sum_{m=1}^5 \omega_m r_{ml}$  是绿色供应链综合绩效评价的总指标相对  $C_l$  等级的联系度分量,  $\omega_m$  为指标  $I_m$  的权重,这里  $i_1, i_2, \dots, i_{n-2}$  及  $j = -1$  的意义仍然同前面。

(4) 计算  $n$  元联系数的主值。对于  $n$  元联系数  $\mu = r_1 + r_2i_1 + r_3i_2 + \cdots + r_{(n-1)}i_{n-2} + r_nj$ , 由于  $\mu \in [-1, 1]$ , 根据“均分原则”,将区间  $[-1, 1]$  进行  $n-1$

等分,当  $i_{n-2}, i_{n-1}, \dots, i_2, i_1$  从左至右依次取  $n-1$  个分点值及  $j=-1$  时所得到的  $n$  元联系数的值称为  $\mu$  的主值。

(5)划分绿色供应链综合绩效评价等级。按照“均分原则”对区间  $[-1, 1]$  进行划分,按  $n$  等分进行,从右到左所得的每个区间依次分别对应  $C_1, C_2, \dots, C_n$ ,从而得到  $n$  个等级。比较计算得到的  $\mu$  的主值和各个等级对应的区间范围,若  $\mu$  值落在  $C_i$  所对应的区间,则判定评价结果为第  $i$  个等级,由此即可得到绿色供应链综合绩效的评价等级。根据前面求  $n$  元联系数过程中对逆向指标和正向指标的不同处理方式可知: $\mu$  值越大,评价等级越高,绿色供应链综合绩效越好。

### 三、实例分析

表 1 中最后一列给出了某绿色供应链在各级指标上的实测值,根据式(4)一式(8),计算出来该绿色供应链在各一级指标上的综合评价五元联系数依次为:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= 0.102 + 0.554i_1 + 0.206i_2 + 0.138i_3 \\ \mu_2 &= 0.320i_1 + 0.637i_2 + 0.043i_3 \\ \mu_3 &= 0.683i_1 + 0.317i_2 \\ \mu_4 &= 0.139 + 0.428i_1 + 0.432i_2 \\ \mu_5 &= 0.156i_1 + 0.596i_2 + 0.247i_3\end{aligned}$$

以绿色环保为例,  $\mu_1 = 0.102 + 0.554i_1 + 0.206i_2 + 0.138i_3$ , 由于  $j$  前面的系数为 0, 一般将其省略。0.102, 0.554, 0.206, 0.138, 0 在集对分析中的意义是指绿色环保这一指标与 5 个评价等级间的相关系数。其他一级指标的分析与此类似。

再由式(9)计算出来总指标的五元联系数为:

$$\mu = 0.030 + 0.456i_1 + 0.461i_2 + 0.054i_3$$

同样,这里  $j$  前面的系数为 0, 也省略。0.030, 0.456, 0.461, 0.054, 0 在集对分析中的意义是指总指标与五个评价等级间的相关系数。

根据“均分原则”,令  $i_1=0.5, i_2=0, i_3=-0.5, j=-1$ , 计算各一级指标的联系数主值,得到结果如表 3 所示。同样,计算得到总指标的综合评价联系数主值为  $\mu=0.230$ 。

将  $[-1, 1]$  这个区间均分为 5 等分,即  $(0.6, 1], (0.2, 0.6], (-0.2, 0.2], (-0.6, -0.2], (-1, -0.6]$ 。这 5 个区间分别对应绿色供应链综合绩效评价等级中的“优秀”“良好”“中等”“差”和“病态”。比较各一级指标的联系主值和区间的关

系,若联系主值正好落在某区间内部,则可判定该指标综合评价的结果为区间所对应的评价等级。经计算,绿色环保、财务价值和客户服务所对应的联系数主值落在区间  $(0.2, 0.6]$  中,因而评价结果为良好,而业务流程和创新发

展所对应的联系数主值落在区间  $(-0.2, 0.2]$  中,因而评价结果为中等。具体结果如表 3 所示。同时,还可得到总指标的联系数主值为 0.230, 正好落在区间  $(0.2, 0.6]$  中,从而得到该供应链综合绩效的评价等级为良好。

表 3 一级指标评价等级

一级指标	联系数主值	评价等级
绿色环保	0.310	良好
业务流程	0.139	中等
财务价值	0.341	良好
客户服务	0.354	良好
创新发展	-0.046	中等

通过上述例子可以看到,用集对分析理论来进行绿色供应链综合绩效的评价不仅可以给出整个系统的综合评价等级,而且还可以得到各一级指标所属的评价等级。计算结果较为丰富,计算方法切实可行。

### 四、结 语

目前,绿色供应链综合绩效评价的研究还比较薄弱,通常停留在定性分析的层面,对于定量的研究较少,而涉及不确定性方面的研究则更少。本文主要结论如下:

(1)集对分析方法通过引入差异度系数  $i$ , 客观承认并刻画了供应链系统中的差异性、同一性和对立性,在计算子系统评价等级的同时还计算了整个系统的评价等级。

(2)用集对分析理论对绿色供应链综合绩效进行评价计算方法简单,结果丰富,为绿色供应链综合绩效评价提供了一种新方法。

(3)从评价结果可以看出,所选供应链整体运营效果良好,但若想提高行业竞争力,首先需要在业务流程和创新发展 2 个方面做出更多努力。

(4)尽管绿色供应链综合绩效评价所选各级指标以及各评价等级划分的分界点在不同情形下可能会有所改变,但这些并不影响本文所建立的集对分析模型的应用。

### 参 考 文 献

[1] 叶勇,张友华,乐毅,等. 食品安全追溯研究[J]. 华中农业大学



学报:社会科学版,2011(2):130-133.

[2] ZHU Q H,JOSEPH S,GENG Y. Green supply chain management in China:pressues,practices and performance[J]. International Journal of Operations & Production Management, 2005,25(5):449-468.

[3] LEUNG S W. Environmental agency and public opinion in Guangzhou:the limits of a popular approach to environmental governance[J]. The China Quarterly,2000,16(3):677-704.

[4] SARKIS J. How green is the supply Chain? [R]. Worcester: Practice and Research,1999.

[5] 黄国青,华凤燕. 绿色供应链绩效评价模型的研究[J]. 工业工程,2007,10(1):116-121.

[6] 唐凡,汪传雷,邱灿华. 供应链管理的绿色度评价实证研究——基于安徽省企业的统计分析[J]. 科技进步与对策,2009,26(18):121-128.

[7] BERNARDIN H J,BEATTY R W. Performance appraisal:assessing human behavior at work[M]. Boston:Kent Publishing Corporation,1984.

[8] CAMPBELL J P. Handbook of industrial and organizational psychology[M]. California: Consulting Psychologists Press, 1990.

[9] 郑培. 动态供应链绩效评价方法研究[D]. 长沙:湖南大学工商管理学院,2008.

[10] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京:科学出版社,2006.

[11] 王海滨. 绿色供应链绩效指标体系的构建与评价研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:社会科学版,2009,107(4):16-18.

[12] 阮略成. 绿色供应链综合绩效评价体系研究[D]. 武汉:武汉理工大学管理学院,2007.

[13] 韩小花. 一种绿色供应链整体绩效评价方法[D]. 广州:暨南大学管理学院,2005.

[14] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科技出版社, 2000.

Green Supply Chain Integrative Performance Assessment:  
Model and Application of Set Pair Analysis

FANG Hong<sup>1,2</sup>, QI Chun-jie<sup>2</sup>

(1. College of Science ,Huazhong Agricultural University ,Wuhan ,Hubei,430070;  
2. College of Economics and Management ,Huazhong Agricultural University ,  
Wuhan ,Hubei,430070)

**Abstract** In view of uncertainty and complexity in the process of green supply chain integrative performance evaluation,this paper used identity-discrepancy-contrary connection degree formula embodying certainties and uncertainties of the assessment system and set pair analysis model to give an integrative performance assessment to the green supply chain,based on set pair analysis theory. Through calculation,each subsystem and integrative performance assessment grades of the selected supply chain are obtained. So,a new method is provided for green supply chain integrative performance assessment here.

**Key words** green supply chain; performance evaluation; set pair analysis; connection degree; analytic hierarchy process

(责任编辑:刘少雷)