

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.04.019

基于 FAHP-TOPSIS 的医疗设备制造企业 供应商选择研究

刘中艳, 陈娟

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 供应商作为制造企业的战略合作伙伴, 越来越受到企业的重视, 故供应商的选择与评价也成为供应链管理重点之一。从供应链管理的视角出发, 对医疗设备制造企业进行分析, 采用 FAHP-TOPSIS 模型构建供应商评估指标体系和评价优选供应商, 并通过实证分析证实了该模型的可行性。

关键词: 医疗设备行业; 供应商选择; FAHP-TOPSIS 模型

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)04-0090-06

Study on Supplier Selection of Medical Equipment Enterprises Based on FAHP-TOPSIS

Liu Zhongyan, Chen Juan

(Business School, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: As strategic partners of manufacturing enterprises, suppliers have been increasingly importance attached to enterprises, the supplier selection and evaluation has become one of the key factors in supply chain management. From the perspective of supply chain management, analyzes medical equipment manufacturing enterprises, and applies FAHP-TOPSIS model to construct the supplier evaluation index system for evaluation and selection of suppliers. And the feasibility of the model is confirmed by empirical analysis.

Keywords: supplier selection; medical equipment industry; FAHP-TOPSIS model

0 引言

随着全球医疗设备市场需求的持续快速增长, 医疗设备行业成为当今世界发展最快的行业之一。据欧盟医疗设备委员会统计, 全球医疗设备市场销售总额已从2001年的1 870亿美元迅速上升至2014年的近5 000亿美元, 年复合增速达8.82%, 全球医疗设备市场增长率超过同期GDP增幅。近年来, 我国医疗设备行业迅速发展, 现已成为仅次于美国、日本的

世界第三大医疗设备市场。丰富的资源和巨大的市场潜力, 吸引了全球多家医疗设备巨头在我国设立子公司, 或将生产制造甚至研发部门迁至我国。随着通用医疗、强生医疗和西门子等医疗设备巨头在华本土化战略的持续推进, 本地采购也呈现高速增长, 又由于这些国际制造企业对中国本土供应商在生产工艺及质量管理等方面的指导和培训, 国内医疗设备制造企业也有了更近一步的发展。然而与许多国际一流供应商相比, 本土供应商还有其明显的

收稿日期: 2015-05-23

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(14JJ7066, 14JJ7065), 湖南省社会科学基金资助项目(13YBA108)

作者简介: 刘中艳(1972-), 女, 湖南株洲人, 湖南工业大学教授, 中南大学博士生, 硕士生导师, 主要从事工商管理方面的教学与研究, E-mail: 490870578@qq.com

不足之处。而大型的、专用医疗设备不同于医疗器材或耗材,医疗设备行业是一个多学科交叉、知识密集、资金密集型的高技术行业,准入门槛较高,需要时间积累。但我国的医疗设备制造企业普遍存在创新能力弱、产业配套体系不完善、生产工艺和质量无法达到国际标准等问题,这些问题大大削弱了企业的核心竞争力。目前市场竞争正逐步从个体层面向供应链层面过渡,企业的竖向集成度也呈降低趋势,很多非核心业务都选择外包给供应商,供应商作为制造企业在供应链中的合作伙伴,越来越受到企业的重视。众所周知,制造企业40%~70%的增值活动发生在供应商处,供应商的生产供应能力、产品质量与服务水平等已成为影响企业竞争力的关键因素之一,其选择直接影响到整个供应链的核心竞争力,因此供应商的评估与选择成为当前供应链管理重点。

1 研究综述

供应商的选择是一个包含定性指标和定量分析的多目标多准则问题。国内外很多学者已对此进行了广泛的研究,归结起来主要集中在评价指标体系的确定和评价方法的选择2个方面。

许多学者基于不同的侧重点研究了供应商评价指标。评价指标方面的研究始于美国,学者G. W. Dickson于1966年总结出质量、交货期、历史表现等23条供应商选择标准及其排序和权重。Chen Yuh-Jen^[1]认为,产品设计与开发能力也应纳入供应商评价指标中,并从企业竞争战略的角度,利用SWOT分析法构建了供应商评估指标体系;R. J. Kuo等^[2]基于绿色供应链的角度,提出了增加污染废弃物排放、产品绿色度以及废弃产品回收率等环境因素为评价指标。国内学者们也进行了大量的研究,商丽媛等^[3]以质量、成本、服务、柔性和环境为一级指标,建立了应急物流供应商评价指标体系;赵爱武等^[4]从供应商风险角度出发,提出将供应商风险评估指标分为核心能力指标和执行能力指标2大类,并分别采用德尔菲法和网络层次分析法构建评价体系;针对医疗设备行业,侯茂^[5]提出将食品药品GMP管理中常用的过程验证引入医疗设备行业的供应商评价指标体系中,同时运用供应商评估与选择常用的权重理论,以过程验证理论为主要要素,加上其他质量方面的要素来综合评估与选择供应商。

在供应商选择的评价方法方面,目前多用定量分析与定性分析结合的方法。其中,Pi W. N. 等提供太古奇损失函数描述质量损失的方法,然后将这些质量损失转移到变量决策的层次分析法中^[6];A.

Sanayei等提出了基于模糊集理论和VIKOR层次多目标决策模型方法来处理供应链系统的供应商选择问题^[7];T. S. C. Felix和N. Kumar提出了一个综合的模糊TOPSIS技术,通过相似理想的解决方案优先顺序,并应用多选择目标规划(multi choice goal programming, MCGP)方法来解决供应商选择问题^[8]。国内研究中,有何满辉等针对传统熵值和熵权计算公式的不足,提出改进的熵权计算公式。同时,把专家的主观权重和样本自身产生的熵权相结合,通过一定的方式混合加权作为不确定属性的权重,并在此基础上,结合多属性决策模型建立了多属性决策评价方法^[9];刘永胜等以供应商选择风险的因素识别为切入点,构建了基于风险识别的供应商选择指标体系,运用不确定语言信息的群决策方法对供应商进行评价^[10]。

综合已有研究成果来看,现有的研究存在如下不足之处:主观随意性较强,受专家偏好的影响较大,评价结果不客观;有的过于强调算法模型,使用大量数据,但忽视了企业实际需要,缺乏实用价值。供应商的选择要反映顾客的实际需求,因此在选择方法上,除了采用定量的准则,更多的是模糊判断,而现有的很多方法不能很好地处理这两方面的问题,故迫切需要一种更科学的选择方法。因此,本文从医疗设备行业企业的实际需求出发,结合决策者的偏好和专家的意见,选取FAHP和模糊理论的综合评价方法确定供应商评价指标,并通过TOPSIS模型进行供应商的排序优选。

2 相关方法介绍

2.1 FAHP评价法

FAHP评价法是一种将模糊综合评价法(fuzzy comprehensive evaluation, FCE)和层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)相结合的评价方法,是定量与定性相互结合的评价模型和多准则决策模型。FAHP评价法在体系评价、系统优化和效能评估等方面有着广泛的应用。在具体应用时,通常通过层次分析法确定因素集,再用模糊综合分析法评判效果。模糊法在层次法之上,两者结合使用会使评价结果更为客观可靠。

运用FAHP法解决问题需要5个步骤,分别是:

1) 明确问题。在分析任何问题之前,首先要对问题有明确的认识,弄清研究对象、问题的范围,还需了解问题所包含的因素,确定出因素之间的关系。

2) 构建评价指标体系。将待解决的问题分解为目标层,准则层和方案层,并构建评价指标体系。

3) 构建模糊互补矩阵。在第一步的基础上, 建立各层次间的判断矩阵, 并通过三角模糊数进行模糊化, 构造模糊互补矩阵, 并得到模糊标准化分值与模糊权重。

4) 构造模糊一致矩阵。将上一步所得到的模糊互补矩阵与模糊权重相乘得到模糊一致矩阵。

5) 确定指标权重。

2.2 TOPSIS法

TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution) 方法是 C. L. Hwang 和 K. Yoon 于 1981 年首次提出的, 这种方法通过构造评价问题的正理想解和负理想解, 即各指标的最优解和最劣解, 计算每个方案到理想方案的相对贴近度, 即靠近正理想解和远离负理想解的程度, 来对方案进行排序, 从而选出最优方案。其实施步骤包括 6 个方面: 1) 构建初始数据矩阵; 2) 计算各指标的权重; 3) 构建指标加权评价价值矩阵; 4) 确定评价对象的正理想解和负理想解; 5) 计算评价对象到正负理想解的距离; 6) 计算相对贴近度并确定优选方案。

3 基于 FAHP-TOPSIS 的医疗设备制造企业供应商评估与选择模型的构建

3.1 医疗设备行业供应商评价指标体系的构建

3.1.1 筛选评价指标及构建指标体系

通过对近 5 年国内外文献进行梳理, 并统计供应商评价指标的频度, 初步从产品、生产供应、企业

组织 3 个一级指标下筛选出 11 个频度最高的二级指标, 它们分别是质量、价格、服务、产品绿色度、生产柔性、及时交付、库存管理、响应速度、财务状况、企业信誉和相容性。在此基础上与 2 位医疗设备行业的专家及 2 位知名制造企业中层管理人员进行面对面访谈以修正指标, 专家访谈的修改意见如下: 首先, 剔除相容性和相应速度这 2 个不常使用的指标; 其次, 医疗设备行业所生产的产品多为小批量多品种, 产品定制化程度较高, 所以对供应商的生产稳定性、技术水平及研发能力要求较高, 故增加“生产及研发能力”这一指标; 再次, 由于医疗设备行业对产品质量有较高要求, 故应将增加质量为二级指标, 并设可靠性、安全性和 ISO13485 认证为三级指标。其中, ISO13485 即医疗设备质量管理体系, 它是由国际标准化组织制订的医疗行业质量管理标准。由于医疗设备是救死扶伤、防病治病的特殊产品, 其产品质量直接关系到人身的健康和安安全全, 仅按 ISO9000 标准的通用要求来规范是远远不够的, 为此 ISO 组织颁布了 ISO13485: 1996 版标准 (YY/T0287 和 YY/T0288), 对医疗设备生产企业的质量管理体系提出了专用要求。最后, 由于国际上和各国对医疗设备行业的审核较多, 如美国的 FDA 审核、欧盟的 CE 安全认证以及我国的 CFDA 和 3C 认证, 审核通过情况是衡量一个供应商的重要指标, 故增加指标“审核通过率”。修正好的评价指标体系如图 1 所示。

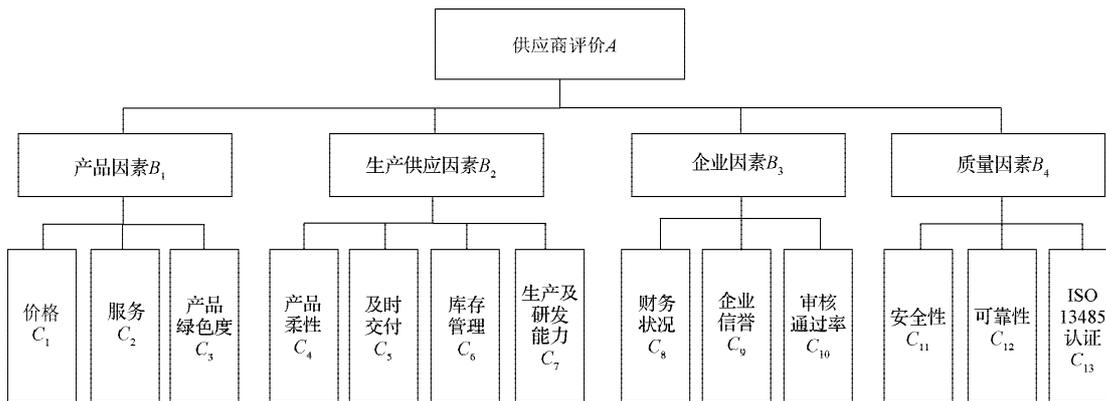


图1 医疗设备行业供应商评价指标体系

Fig. 1 Supplier evaluation index system for medical equipment industry

3.1.2 采用 FAHP 法确定评价指标权重

供应商的评估与选择不仅要客观公正, 还要体现决策者的要求, 因此除了定量的准则, 更多的是模糊的判断。AHP 法在处理定性评价指标方面较为成熟, 模糊理论能够在一定程度上反映出决策者偏好的模糊性。因此, 本文在建立了如上的评价指标

体系后, 选用 FAHP 法对这 13 项指标赋予权重。具体步骤如下:

1) 明确问题。本文针对医疗设备行业, 分析探讨供应商的评价与选择, 并将问题分解为供应商的评价指标体系的建立, 赋予权重, 以及对待选供应商进行排序。

2) 构建评价指标体系。根据3.1.1所确定的13项供应商评价指标,依据目标层、准则层、子准则层的因素分组法建立如图1所示的供应商评价指标体系。

3) 构建模糊互补矩阵。依据图1所示的3个层次,分别构造A-B, B-C的判断矩阵,这里只给出如表1所示A-B的判断矩阵, B-C的判断矩阵同理可得。设B层准则数为n,用1~9标度法来表明各因素间的关系。

表1 判断矩阵A-B

A	B ₁	B ₂	...	B _n
B ₁	b ₁₁	b ₁₂	...	b _{1n}
B ₂	b ₂₁	b ₂₂	...	b _{2n}
⋮	⋮	⋮	...	⋮
B _n	b _{n1}	b _{n2}	...	b _{nn}

对构建好的判断矩阵用三角模糊数 $f=(l, u, m)$ 进行模糊化,构造如下模糊互补矩阵。其中由决策者确定的评语集是各种可能的评语结果组合, l, u, m 分别为“很好,一般,较差”的语言量化。

$$\tilde{B} = \begin{pmatrix} b_{11l}b_{11m}b_{11u} & \dots & b_{1nl}b_{1nm}b_{1nu} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{n1l}b_{n1m}b_{n1u} & \dots & b_{nnl}b_{nnm}b_{nnu} \end{pmatrix}。$$

4) 构造模糊一致矩阵R。对互补矩阵 \tilde{B} 按行求和有 $r_i = \sum_{k=1}^n f_{ik}$,按列求和有 $r_j = \sum_{k=1}^n f_{jk}$,此时得到 $r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2n} + 0.5$,则得到模糊一致矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times n}$ 。

5) 确定指标权重。计算指标*i*相对于一层的重要程度 $l_i = \sum_{i=1}^n b_{ij} - 0.5$,则 $\sum_{i=1}^n l_i = \frac{n(n-1)}{2}$,此时得到指

标*i*的权重 $w_i = \frac{l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$ 。

3.2 基于TOPSIS模型的供应商选择

任何问题的评价以及决策的作出都需要客观数据的支持,应用TOPSIS法的评价结果不受人为因素影响,且计算较为简单,容易理解,因此采用TOPSIS模型对供应商进行排序选择,具体步骤如下:

1) 用向量归一的方法求得规范决策矩阵。对*m*个供应商*n*项评价指标所确定的判断矩阵 $A=(a_{ij})_{m \times n}$ 进行归一化,得到规范化决策矩阵 $B=(b_{ij})_{m \times n}$ 。其中:

$$b_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n。$$

2) 构成加权规范阵 $C=(c_{ij})_{m \times n}$ 。根据3.1确定的权重向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 则 $c_{ij} = w_j * b_{ij}, i=1, 2, \dots, m;$

$j=1, 2, \dots, n$ 。

3) 确定正理想解和负理想解。设正理想解的第*j*个属性值为 c_j^* ,负理想解的第*j*个属性值为 c_j^0 ,则:

正理想解

$$c_j^* = \begin{cases} \max_i c_{ij}, & j \text{ 为效益型属性,} \\ \min_i c_{ij}, & j \text{ 为成本型属性,} \end{cases} j=1, 2, \dots, n;$$

负理想解

$$c_j^0 = \begin{cases} \min_i c_{ij}, & j \text{ 为效益型属性,} \\ \max_i c_{ij}, & j \text{ 为成本型属性,} \end{cases} j=1, 2, \dots, n。$$

4) 计算各方案到正理想解与负理想解的距离。

备选方案*d_i*到正理想解的距离为:

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^*)^2}, i=1, 2, \dots, m;$$

备选方案*d_i*到负理想解的距离为:

$$s_i^0 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^0)^2}, i=1, 2, \dots, m。$$

5) 计算各方案的排队指标值(即综合评价指数)。

$$f_i^* = s_i^0 / (s_i^0 + s_i^*), i=1, 2, \dots, m。$$

6) 按 f_i^* 由大到小排列方案的优劣次序,即供应商的优选顺序。

3.3 基于FAHP-TOPSIS的供应商选择模型

由于医疗设备行业是资本及技术高度密集的产业,大型医疗设备产品结构复杂,零部件种类繁多,且多为小批量多品种,定制化程度较高,所以医疗设备行业中的制造企业对供应商评价较为复杂,而且各因素相互交织,具有很强的模糊性。TOPSIS法虽具备应用灵活和计算简单的特点,但各指标的相对权重是事先确定的主观值,因而具有一定的随意性;而FAHP将模糊综合评价法与层次分析法相结合,克服了传统层次分析法的一些局限性,比较适合解决具有模糊特点的实际问题,可用来确定指标权重,但FAHP法还具有一定的主观随意性。因此,结合2种方法各自的优点可得到更加合理的评价结果。基本步骤如下:

1) 利用FAHP法确定各层指标的相对权重;

2) 利用求得的权重,结合TOPSIS法求出相对接近度,并依此进行供应商的综合能力排序。

4 实证分析

G公司是医疗设备行业中的世界领先的制造企

业,主要生产 X-Ray, CT, MR 等大型医疗设备。最近, G 公司引进了德国的新技术,大大改善了 CT 的成像水平,与此同时,现有负责生产医学打印机镜头的供应商不再适应竞争需要。因此, G 公司决定开发新的供应商。经过一轮筛选后,初步确定 3 家候选一级供应商,公司希望通过比较,筛选出最具有竞争优势的供应商作为战略伙伴,故使用本文提出的 AHP-TOPSIS 的评价模型对这 3 家供应商进行评估与选择。在开始评估之前, G 公司从内部挑选出 6 位经验丰富的中层管理人员和 12 位质量工程师组成专家组,对 3 家供应商进行实际考察,并测量得到 13 项评价指标值,在最大程度上确保初步评价指标的准确性。表 2 为 G 公司已测得的 3 家供应商的评价指标值。

表 2 3 家供应商的评价指标值

Table 2 Evaluation index values of three suppliers

指标	S1	S2	S3
价格 C_1	0.50	0.54	0.37
服务 C_2	0.98	0.46	0.90
产品绿色度 C_3	0.84	0.12	0.77
生产及相应速度 C_4	0.32	0.78	0.13
及时交付 C_5	0.25	0.89	0.86
库存管理 C_6	0.24	0.20	0.25
响应速度 C_7	0.43	0.53	0.15
财务状况 C_8	0.30	0.11	0.84
企业信誉 C_9	0.89	0.64	0.52
审核通过率 C_{10}	0.53	0.52	0.24
安全性 C_{11}	0.64	0.47	0.76
可靠性 C_{12}	0.97	0.33	0.89
ISO13485 认证 C_{13}	0.11	0.11	0.50

4.1 采用 FAHP 法构建供应商评价指标体系

通过本文第 3 部分所构建的模型,对 G 公司评估与选择供应商这一问题,首先采用 FAHP 法构建供应商评价指标体系,并赋予权重,具体解决步骤如下:

1) 明确问题。对医疗设备行业中的 G 公司进行供应商的评估与选择,包括评价指标体系的建立以及指标权重的确定。

2) 建立医疗设备行业供应商指标评价体系,如图 1 所示。

3) 确定指标权重。首先构造目标层到准则层、准则层到子准则层,即 $A-B$, B_i-C 的两两判断矩阵,再对构建好的判断矩阵用评语集 $f=(l, u, m)$ 进行模糊化,通过一系列的数学变换,并借助 MATLAB 计算最后得到 13 个指标的权重为:

$$W=(0.2087, 0.0366, 0.1589, 0.2478, 0.0974, 0.0097, 0.1259, 0.4796, 0.2148, 0.6431, 0.0173, 0.0501, 0.1178)^T。$$

4.2 采用 TOPSIS 模型选择供应商

将表 2 中的指标判断矩阵设为 P , 归一化后的矩

阵再与 AHP 法得到的综合权重 W 相乘,得到加权规范决策矩阵。此时计算正负理想解有:

$$\begin{aligned} c_j^* &= (0.9758, 0.3122, 0.3678, 0.9156, \\ &0.7049, 0.6248, 0.9122, 0.9347, 0.7335, \\ &0.6792, 0.9512, 0.7147, 0.9549), \\ c_j^0 &= (0.7964, 0.7451, 0.1156, 0.1526, \\ &0.4863, 0.5231, 0.7691, 0.1224, 0.4233, \\ &0.3076, 0.4276, 0.6902, 0.2101)。 \end{aligned}$$

最后计算 3 家供应商到正负理想解的距离和相对贴进度:

$$\begin{aligned} s_j^* &= (1.3954, 0.7899, 0.9814), \\ s_j^0 &= (0.5796, 1.0683, 1.6766), \\ f^* &= (0.5532, 0.4951, 0.5698)。 \end{aligned}$$

由综合评价指数 f^* 的大小对供应商进行排序,得出第 3 家供应商为最佳的战略合作伙伴,以上结果与专家结论一致。因此 G 公司应优先选择第 3 家为医学打印机的一级供应商。

5 结论

综上所述,本文所构建的评价指标体系既可以反映医疗设备行业的特殊要求,同时也给供应商提供了一个改进自身的识别方式,为制造企业和供应商在供应链中的战略伙伴关系奠定了基础。所选模型中,为了弥补传统 AHP 法在评价时存在主观性较强以及计算繁琐等不足,又引入模糊理论,构建了 FAHP 的评价模型,并结合决策者的模糊偏好对评价指标赋予权重;而后采用 TOPSIS 法对备选方案进行客观评估;最后通过计算验证和多位专家实验分析,实证表明该方法是切实可行的,不仅能反映出决策者的偏好,还能提高决策的客观性和准确度。本文提出的基于 FAHP-TOPSIS 的供应商选择模型,在一定程度上弥补了 AHP 法在实际应用时受复杂决策问题影响的不足。该方法简单,可操作性强,因此易于推广至其它类似的应用领域。

参考文献:

- [1] Chen Yuh-Jen. Structured Methodology for Supplier Selection and Evaluation in a Supply Chain[J]. Information Science, 2011, 181(9): 1651-1670.
- [2] Kuo R J, Lin Y J. Supplier Selection Using Analytic Network Process and Data Envelopment Analysis[J]. International Journal of Production Research, 2013, 50(11): 2852-2863.
- [3] 商丽媛,谭清美.基于灰熵模型的应急物流供应商评价[J].统计与决策,2013(3): 45-47.

- Shang Liyuan, Tan Qingmei. Emergency Logistics Supplier Evaluation Based on Grey Entropy Model[J]. Statistics and Decision, 2013(3): 45-47.
- [4] 赵爱武, 关洪军, 石贵泉. 基于网络层次法的供应商风险评估指标[J]. 统计与决策, 2013(4): 177-179.
Zhao Aiwu, Guan Hongjun, Shi Guiquan. Supplier Risk Assessment Index Based on Network Hierarchy Process[J]. Statistics and Decision, 2013(4): 177-179.
- [5] 侯 茂. 医疗器械行业供应商评估与选择的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
Hou Mao. The Study of the Supplier Evaluation and Selection in Medical Instrument Device Industries[D]. Shanghai, Shanghai Jiaotong University, 2009.
- [6] Pi Weining, Low C. Supplier Evaluation and Selection Via Taguchi Loss Functions and an AHP[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 27(5): 625-630.
- [7] Sanayei A, Farid M S, Yazdankhah A. Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR Under Fuzzy Environment[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 37(1): 24-30.
- [8] Felix T S C, Kumar N, Tiwari M K, et al. Global Supplier Selection: A Fuzzy-AHP Approach[J]. International Journal of Production Research, 2008, 46(14): 3825-3857.
- [9] 何满辉, 逯 林. 基于信息熵多属性决策的物流供应商选择评价[J]. 工程设计学报, 2013(1): 6-9.
He Manhui, Lu Lin. Logistics Supplier Evaluation and Selection Based on Information Entropy Multiple Attribute Decision Making[J]. Journal of Engineering Design, 2013(1): 6-9.
- [10] 刘永胜, 王传阳. 基于风险识别的供应商选择[J]. 统计与决策, 2013(13): 51-53.
Liu Yongsheng, Wang Chuanyang. Supplier Selection Based on Risk Identification[J]. Statistics and Decision, 2013(13): 51-53.

(责任编辑: 申 剑)



(上接第35页)

- [7] 刘其辉, 贺益康, 赵仁德. 基于直流电动机的风力机特性模拟[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(7): 134-139.
Liu Qihui, He Yikang, Zhao Rende. Imitation of the Characteristic of Wind Turbine Based on DC Motor[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(7): 134-139.
- [8] Maren Kuschke, Susanne Pertzsch, Kai Strunz. Modeling of Tidal Energy Conversion Systems for Primary Response Testing[C]//IEEE Power and Energy Society General Meeting. USA: Sandiego CA, 2012: 25-34.
- [9] 张琦玮, 蔡 旭. 基于直流电动机的风力机特性模拟[J]. 计算机仿真, 2007, 24(10): 276-280, 334.
Zhang Qiwei, Cai Xu. Imitation of the Characteristic of Wind Turbine Based on DC Machine[J]. Computer Simulator, 2007, 24(10): 276-280, 334.
- [10] Carlos Villegas, Simon Cawthorne. Hardware-in-the-Loop Testing for Tidal Energy Power Conversion Systems[J]. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), 2013(4): 1-4.

(责任编辑: 廖友媛)