

基于模糊物元的制造业供应链质量风险评价

刘彩虹¹, 徐福缘²

(1. 嘉兴学院 商学院, 嘉兴 310000; 2. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 鉴于供应链质量风险事件的危害性, 为了帮助制造企业更有效地开展供应链质量风险管理工作, 在供应链质量风险诱因分析及风险评价指标设计基础上, 采用模糊物元评价方法对设定的研究对象进行供应链质量风险评价. 主要是在构建复合模糊物元模型基础上, 运用熵值法确定指标权重, 并利用欧氏贴近度衡量风险等级. 最后通过神经网络仿真, 验证了基于模糊物元的供应链质量风险评价的合理性和可靠性.

关键词: 制造业供应链; 质量风险; 评价; 模糊物元

中图分类号: C 939; F 270.7; F253.3 **文献标志码:** A

Fuzzy Matter Element Based Evaluation of Quality Risk in Manufacturing Supply Chain

LIU Caihong¹, XU Fuyuan²

(1. College of Business, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China;

2. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Under the increasing competitive environment of complex supply chain and diversified customer demand for product quality and customer service, quality risks in supply chain become one key issue of supply chain risks. To help companies effectively identify and manage these risks, the quality risk assessment of quality risks in supply chain was presented on the basis of the fuzzy matter-element (FME) model. The quality risks assessment system was studied and the entropy method for index weight and the Euclid approach degree for risk level were used to construct a composite fuzzy matter element model. At the end, the reasonability of the FME model for supply chain quality risks assessment was verified by the fitting of a neural network simulation.

Keywords: manufacturing supply chain; quality risks; assessment; fuzzy matter element

自 20 世纪 80 年代在价值链的基础上延伸出供应链以来^[1], 企业之间的竞争逐渐演化为供应链之

间的竞争. 由此, 企业内部的产品质量管理也上升到了供应链质量管理. 而实施供应链质量管理的重中

收稿日期: 2016-07-20

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LY13G010005); 中国博士后科学基金资助项目(2013M541792)

第一作者: 刘彩虹(1974-), 女, 副教授. 研究方向: 供应链风险管理、质量工程、决策支持研究. E-mail: liuch0001@163.com

之重就是供应链质量风险的管理.随着一些供应链质量风险事件的发生,该领域成为人们研究的热点.如2008年三聚氰胺奶粉事件、2011年双汇火腿肠的瘦肉精事件、2012年的毒胶囊事件等,这些看似产品的质量风险,其实都是供应链的一些业务环节中存在质量管理漏洞所造成的最终结果,进而影响甚至破坏供应链绩效.特别是在我国日益融入全球经济体系的大背景下,我国正在逐步成为世界的制造工厂,国际化的产品、市场和技术竞争,对供应链质量风险管理的要求也将不断提高,所以,如何建立并运作高效的供应链,规避供应链质量风险,已成为供应链上的各个企业,特别是供应链中核心企业亟待解决的战略性问题.

针对制造企业,供应链中的大多数不确定性因素最终都表现为产品质量的大幅波动.虽然,目前对供应链质量风险还没有一个统一的定义,但是,根据Robinson和Mahotra给出的供应链质量管理的定义:对供应链的合作组织商业流程的协调和整合,以此来度量、分析和持续改进产品、服务和流程,目的是创造客户价值,提升客户满意度^[2].为此,作者认为,制造企业的供应链质量风险主要体现在围绕客户需求而发生的原材料质量、产品质量、服务质量及供应链结构质量这几个质量问题域上,即供应链的质量风险应该从2个维度上来评判:其一是原材料或产品质量是否满足客户需求;其二是供应链结构状态对产品质量形成以及产品服务的影响度.这2个维度是本文开展问卷调研和构建风险评价层次结构的基础,由此,提出供应链质量风险指标体系.进而,基于一些案例数据,运用模糊物元(FME)方法在某种程度上对制造业供应链质量风险评价进行研究.

1 制造业供应链质量风险评价指标体系

1.1 供应链质量风险内涵

在我国日益融入全球经济体系的大环境下,对于管理目标的追求越来越强烈,同时对于建立一个高效的供应链系统,有效地规避质量风险,是一个亟待解决的问题^[3].供应链质量是以“顾客导向”为原则,满足顾客需求成为衡量供应链质量水平最根本的指标之一^[4],它远远超越了狭义的质量观念,还包括为顾客提供无形产品的服务质量.供应链环境下产品质量保证与维护比单个企业产品质量保证与维护更困难,供应链各主体之间存在着质量管理的差

异,使之也存在着供应链质量风险^[5].所以,供应链质量风险应该是供应链环境下可能导致产品质量损失、服务质量损失或供应链结构失效的风险.

由于供应链的要素是由链上节点、节点之间供需合作关系、多种供应链流质等组成,所以,除了不可控的外部环境因素外,供应链质量风险的诱因主要来自于供应链上的各组成节点.鉴于此,从质量管理角度对一些制造企业进行供应链质量风险因素调研.

1.2 基于问卷调研的供应链质量风险诱因分析

对于供应链质量风险的分类,Tang^[6]认为产品、供应、需求和信息4个维度是影响供应链质量风险的要素;昭靖^[7]通过对北美零售业供应链进行研究,认为供应链质量风险可以分为需求风险、供应风险和混合型风险三大类;肖依永等^[8]认为供应链质量风险主要分为两种:技术特性扰动风险以及客户需求变化风险;蒋家东等^[9]通过对消极质量事件的分类,将供应链质量风险分为3类:信用性质量风险、技术性质量风险和需求性质量风险.可见,大家对供应链质量风险因素的认识不统一.

为了比较全面客观地获取供应链质量风险指标,作者通过设置一系列问题,根据调研数据,运用统计分析方法实现诱因聚焦,进而设计出相应的风险评价指标.

对浙江省的50家制造企业进行了问卷调查,并对供应链质量维度以及影响要素进行分析.

a. 质量维度.

这些质量维度就是供应链质量风险的来源领域,可作为供应链质量风险的一级指标,选择原因可从表1反映出来.

这种基于问卷的频数统计法计算简单,又避免了专家或被调研对象评价的离散性^[10],可以为影响因素分析提供比较客观的基础.

b. 质量影响因素分析.

为了基于质量维度进行质量影响因素分析,这里基于决策树的分析方法,对质量的形成原因进行逻辑推理,构建出的决策树如图1所示.

在图1中,企业对客户需求把握不准,主要是企业对市场需求波动把握不准以及信息失真造成;资源供应伙伴的竞争力,主要取决于该方的信誉、服务能力、所供给资源的质量3个要素;资源配置问题中,这类问题主要通过资源共享和资源的动态优化配置来实现,而信息资源的共享又尤为重要;SC(供应链)管理的理念与文化定位,一般体现在SC中各方所采用的合作战略、管理模式及服务方式方法上.

对于制造企业而言,原材料的质量风险的把控主要在原材料提供过程及试用过程,所以,质量监控起关键作用. SC 外部问题主要来源于自然作用力、政府政策及市场的良性生存法则.

1.3 面向制造企业的供应链质量风险评价指标模型

根据图 1 和图 2(见下页),在不考虑供应链的外部质量风险诱因的情况下,构造出的供应链质量

风险评价指标模型如图 2 所示.

从图 2 可以看出,SC 质量风险的评价指标体系是一个具有多层次、多指标,并且各自相对重要性不同的复合体系.而且,在复杂的动态供应链环境下,这些评价指标的量值具有一定的模糊性,指标权重也是随着环境的变化而变化的.所以,为了更好地帮助企业比较客观地评价自身的供应链质量风险,本研究将借助于 FME 的评价方法对供应链质量风险的评价进行研究.

表 1 质量维度频数分析

Tab.1 Quality dimension frequency analysis

需求-设计质量	选择理由:出现频率占 19%,比例相对小,但危害大.
原材料质量	选择理由:49.6%的被调查对象认为货源有保障,但质量参差不齐;39.8%企业有长期稳定的供货商.所以,原材料的质量不完全取决于稳定的供货商,还取决于一些质量管理策略.
生产环节质量	工作人员素质:认为 54.2%的原因是工作不认真或业务不熟练造成; 生产技术:认为 32%的原因是生产技术落后或不达标造成; 质量管理:有 3.6%的被调查对象认为企业管理中的产品抽检方式和质量监管方式是造成质量问题的关键.
供应链运作绩效	资源共享、售后服务(认为对客户的信息认真快速处理的占 3.6%,认真慢速处理的占 62.5%)、信息共享(51.5%)、物流保障对 SC(供应链)绩效很重要,但调查发现,现代化物流业的发展对企业的发展已不再是瓶颈,而且,有 87%的企业有良好的第三方物流支持,有 12%的大企业自有物流服务也比较完善,企业管理合作基本是零,企业之间的支持度为 23%.
企业市场信息质量	敏感度方面:与市场有偏差生产占 17%,能适应市场的占 82%,产品的市场新鲜度比较高的占 1%.虽然,前两者相比,产品落后市场需要的比例低于后者,但是,作为一个企业,一旦出现这种低频率的事情就意味着灾难的降临.而这种情况的出现一般是因为企业对市场需求的敏感度较差造成的; 信息失真方面:主要体现在信息传递中的失真(54%)以及机密信息的保密性(30%),

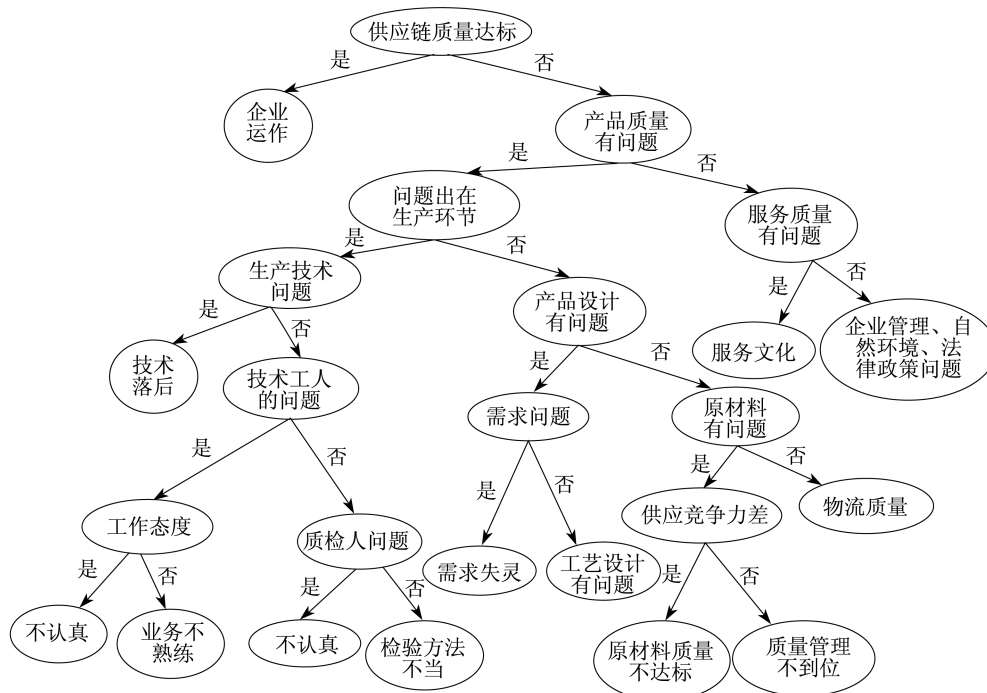


图 1 SC 的质量风险诱因分析

Fig.1 Analysis on the quality risk factors of SC

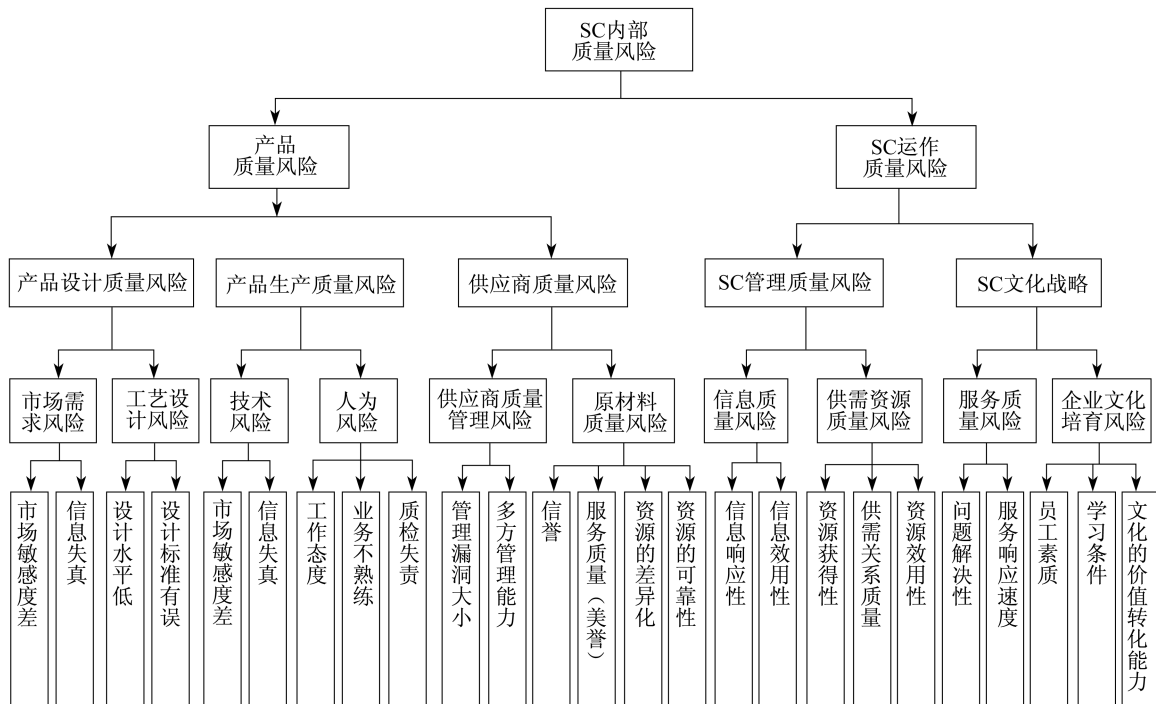


图2 供应链质量风险评价指标体系

Fig.2 Quality risk assessment index system for SC

2 复合模糊物元评价模型

风险评价方法有很多,主要分为定性和定量两大类风险评价方法.定量评价方法相比定性评价方法更客观、更有说服力.常用的定量风险评价方法有模糊评价法、贝叶斯网络法、神经网络法、动力学风险分析法及模糊物元法等.其中,贝叶斯网络法与BP神经网络法虽然能够避免繁琐的计算,但需要大量的历史数据作为样本,在资料不足的情况下难以进行.模糊综合评价法虽然能较好地解决风险的模糊性问题,但缺乏对指标权重量化的考虑.层次分析法虽然考虑了指标的权重问题,但在确定指标权重时主观随意性太大.动力学基础上的风险评价是建立在系统演化基础上的,对风险系统的整体风险发展趋势的分析有帮助,但不利于各种风险等级的分析.而模糊数学基础上的风险评价法不仅适用于各种多因素多等级的风险评价,而且可以客观量化一些定性指标.针对制造业供应链的质量风险的边界模糊性、诱因复杂性、质量风险数据源难以获取及难以量化的特点,需要选择一种能将模糊数据信息和定性信息进行定量处理的风险评价方法.模糊物元法作为一种比较典型的模糊数学评价方法,恰好能满足本研究问题的需要.

模糊物元是物元分析原理与模糊集理论有机结合的研究方法.物元分析的要点是将事物用事物 M 、特征 C 、量值 x 这3个要素来描述.自Zadach于1965年创立模糊集合数学模型以来,FME模型在生产决策、方案评价及自然灾害等级评估等方面得到了广泛应用^[11].考虑到供应链质量风险评价系统的复杂性和不确定性(随机性、模糊性和未确知性等),本文采用FME模型对供应链质量风险等级进行评价.

2.1 复合模糊物元

若 m 个事物都有 n 个共同的特征,每个事物的特征都对应1个模糊量值,则由多个事物和多个特征值构成的物元就是复合模糊物元.复合模糊物元

$$R_{mm} = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ C_1 & x_{11} & \cdots & x_{m1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & x_{1n} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 代表其中任何特征值,描述为第 i 个事物的第 j 个特征的模糊量值.

2.2 从优隶属度

模糊物元各单项指标相应的模糊量值从属于标准方案各对应评价指标相应的模糊量值隶属程度,称为从优隶属度^[12].对于不同评价样本来说,各评

价指标可划分为两种^[13-14]:

a. 越大越优型指标.

若 x_{ij} 按照该隶属原则计算后记作 x'_{ij} ($i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$), 则

$$x'_{ij} = x_{ij} / \max(x_{ij}) \quad (2)$$

遵循该最优隶属度原则的指标属于正向指标.

b. 越小越优型指标.

$$x'_{ij} = \min(x_{ij}) / x_{ij} \quad (3)$$

这类指标一般属于负向指标.

根据研究所选取的从优隶属标准, 可得到从优隶属度复合模糊物元 R'_{mm} .

2.3 差平方复合模糊物元

为了描述经过隶属度调整后的特征值与其最大值或最小值的距离, 假定由最大特征值或最小特征值 x''_{ij} 组成的复合物元为标准模糊物元 R''_{mm} . 若用 1 表示标准特征最大值, 则 $(1 - x'_{ij})^2$ 就组成差平方复合模糊物元 R_{Δ} .

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ C_1 & \Delta_{11} & \cdots & \Delta_{m1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & \Delta_{1n} & \cdots & \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, Δ_{ij} 为第 i 个事物的第 j 个特征的复合模糊量值. $\Delta_{ij} = (1 - x'_{ij})^2, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$.

2.4 确立指标权重

指标权重对风险评价结果有重要的影响. 常用的权重确定方法主要有专家打分法、熵权法, 以及目前国内比较认可的熵权与专家打分相结合的复合赋权法. 熵权法的使用是根据熵越大, 评价指标变异程度越大, 提供的信息量越大, 从而所占权重也应越大^[15], 但熵权法有时会出现假低概率事件. 而常用的复合赋权法的权重结果相互独立, 但一定程度上存在着冲突^[16]. 虽然供应链质量风险指标大多属于定性指标, 但是, 在一定实例数据基础上的信息熵会避免假低概率事件, 同时又简化了指标权重的计算.

为此, 本文提出了建立在复合模糊物元特征值上的信息熵的指标权重确定方法.

$$W_i = \sum_{j=1}^m E(x_{ij}) \quad (5)$$

式中: W_i 为指标权重; $E(x_{ij})$ 表示第 i 个事物的第 j 个指标的信息熵.

权重结果保留两位小数位. W_i 值越大, 说明该指标对决策的贡献度越大, 这也从侧面反映出该指标对风险评价的重要性.

2.5 构建欧式贴近度复合模糊物元

欧式贴近度是用来描述待评样本与标准样本之间的相互接近程度, 这是一种分类方法, 可用于风险等级的认定和风险大小的排序, 其值越小, 表示两者越疏远, 反之, 则越接近. 一个事物有多个评价指标, 所以, 其欧式贴近度可表示为

$$\rho H_i = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n \omega_j \Delta_{ij}} \quad (6)$$

式中: ρH_i 为第 i 个指标的欧式贴近度; ω_j 为 Δ_{ij} 的权重.

由此, 可得到欧式贴近度复合模糊物元

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ \rho H_j & \rho H_1 & \cdots & \rho H_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

3 制造业供应链质量风险评价实例分析

3.1 数据来源

以 4 个奶制品生产企业 (S_1, S_2, S_3, S_4) 为研究对象, 根据它们的一些运营数据, 整理后形成的 10 个指标 ($c_1 \sim c_{10}$) 的数据如表 2 所示. 风险指标数据都是经过处理后形成的.

表 2 实例企业的风险指标数据

Tab.2 Risk index data of the sample enterprises

企业	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}
S_1	0.48	0.23	0.88	0.69	0.11	0.01	0.31	0.90	0.14	0.15
S_2	0.87	0.66	0.74	0.45	0.75	0.80	0.04	0.57	0.09	0.98
S_3	0.11	0.49	0.06	0.28	0.52	0.79	0.69	0.47	0.02	0.91
S_4	0.64	0.01	0.74	0.70	0.21	0.94	0.88	0.16	0.37	0.28

3.2 构造复合模糊物元

根据表 2 和式(1), 构造模糊物元

$$R_{mm} = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ c_1 & 0.48 & 0.87 & 0.11 & 0.64 \\ c_2 & 0.23 & 0.66 & 0.49 & 0.01 \\ c_3 & 0.88 & 0.74 & 0.06 & 0.74 \\ c_4 & 0.69 & 0.45 & 0.28 & 0.70 \\ c_5 & 0.11 & 0.75 & 0.52 & 0.21 \\ c_6 & 0.01 & 0.80 & 0.79 & 0.94 \\ c_7 & 0.31 & 0.04 & 0.69 & 0.88 \\ c_8 & 0.90 & 0.57 & 0.47 & 0.16 \\ c_9 & 0.14 & 0.09 & 0.02 & 0.37 \\ c_{10} & 0.15 & 0.98 & 0.91 & 0.28 \end{bmatrix}$$

3.3 建立从优隶属度复合模糊物元

根据下页图 3, 按照越大越优原则, 得到的从优

隶属度复合模糊物元

$$R'_{mi} = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ c_1 & 0.551\ 724 & 1 & 0.126\ 437 & 0.735\ 632 \\ c_2 & 0.348\ 485 & 1 & 0.742\ 424 & 0.015\ 152 \\ c_3 & 1 & 0.840\ 909 & 0.068\ 182 & 0.840\ 909 \\ c_4 & 0.985\ 714 & 0.642\ 857 & 0.400\ 000 & 1 \\ c_5 & 0.146\ 667 & 1 & 0.693\ 333 & 0.280\ 000 \\ c_6 & 0.010\ 638 & 0.851\ 064 & 0.840\ 426 & 1 \\ c_7 & 0.352\ 273 & 0.045\ 455 & 0.784\ 091 & 1 \\ c_8 & 1 & 0.633\ 333 & 0.522\ 222 & 0.177\ 778 \\ c_9 & 0.378\ 378 & 0.243\ 243 & 0.054\ 054 & 1 \\ c_{10} & 0.153\ 061 & 1 & 0.928\ 571 & 0.285\ 714 \end{bmatrix}$$

3.4 建立差平方复合模糊物元

根据差平方公式,构建差平方复合模糊物元

$$R''_{mi} = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ c_1 & 0.200\ 951 & 0 & 0.763\ 113 & 0.069\ 890 \\ c_2 & 0.424\ 472 & 0 & 0.066\ 345 & 0.969\ 927 \\ c_3 & 0 & 0.025\ 310 & 0.868\ 285 & 0.025\ 310 \\ c_4 & 0.000\ 204 & 0.127\ 551 & 0.360\ 000 & 0 \\ c_5 & 0.728\ 178 & 0 & 0.094\ 044 & 0.5184 \\ c_6 & 0.978\ 837 & 0.022\ 182 & 0.025\ 464 & 0 \\ c_7 & 0.419\ 551 & 0.911\ 157 & 0.046\ 617 & 0 \\ c_8 & 0 & 0.134\ 444 & 0.228\ 272 & 0.676\ 049 \\ c_9 & 0.386\ 413 & 0.572\ 681 & 0.894\ 814 & 0 \\ c_{10} & 0.717\ 305 & 0 & 0.005\ 102 & 0.510\ 204 \end{bmatrix}$$

3.5 确定指标权重

根据复合模糊物元的特征值,按照式(5),得到风险指标权重

$$W_i = (0.435\ 114, 0.437\ 708, 0.315\ 703, 0.530\ 476, 0.489\ 163, 0.203\ 662, 0.373\ 645, 0.461\ 788, 0.407\ 405, 0.324\ 253)$$

3.6 欧式贴近度复合模糊物元

进而计算出4个企业的欧式贴近度复合模糊物元

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \rho H_i & -0.172\ 890 & 0.153\ 822 & -0.168\ 930 & -0.092\ 770 \end{bmatrix}$$

由4个企业的贴近度值可知,这4个企业的供应链质量风险等级为: $S_2 < S_4 < S_3 < S_1$.

这4个企业的每个供应链质量风险因素构成的欧式贴近度复合模糊物元

$$R_{\rho H(1 \rightarrow 10)} = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \rho H_1 & 0.704\ 303 & 1 & 0.423\ 770 & 0.825\ 615 \\ \rho H_2 & 0.568\ 961 & 1 & 0.829\ 589 & 0.348\ 429 \\ \rho H_3 & 1 & 0.910\ 611 & 0.476\ 435 & 0.910\ 611 \\ \rho H_4 & 0.989\ 595 & 0.739\ 879 & 0.562\ 997 & 1 \\ \rho H_5 & 0.403\ 177 & 1 & 0.785\ 517 & 0.496431 \\ \rho H_6 & 0.553\ 511 & 0.932\ 787 & 0.927\ 986 & 1 \\ \rho H_7 & 0.604\ 067 & 0.416\ 520 & 0.868\ 022 & 1 \\ \rho H_8 & 1 & 0.750\ 832 & 0.675\ 326 & 0.441259 \\ \rho H_9 & 0.603\ 230 & 0.516\ 975 & 0.396\ 219 & 1 \\ \rho H_{10} & 0.517\ 726 & 1 & 0.959\ 326 & 0.593\ 263 \end{bmatrix}$$

根据所有 ρH 的取值范围,将风险划分为5个等级:风险高 ($0.9 \leq \rho H \leq 1$); 风险较高 ($0.75 \leq \rho H < 0.9$); 风险一般 ($0.59 \leq \rho H < 0.75$); 风险较低 ($0.45 \leq \rho H < 0.59$); 风险低 ($0.30 \leq \rho H < 0.45$). 可根据风险等级设定标准对企业的供应链质量风险水平进行判定.

4 仿真验证

根据这4个企业的风险指标的初始值,假定 $S_2 < S_4 < S_3 < S_1$ 的风险等级分别用数字2,3,4,5来表示.按照原始风险指标值用神经网络仿真,得到如图3所示的结果.

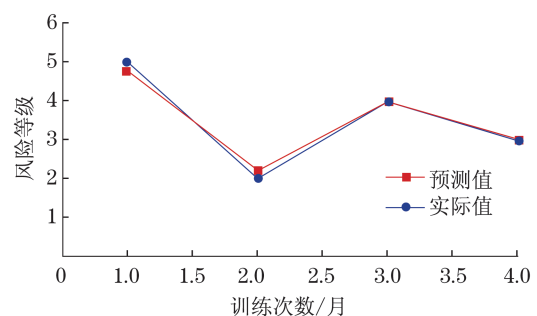


图3 供应链质量风险评价仿真

Fig.3 Assessment simulation of quality risk in SC

可以看出,风险评价的精度是比较高的,切合现实情况.

5 结束语

通过对质量维度进行问卷频数分析,找出关键性质量问题域;以此为依据,运用决策树的推理规则对风险诱因进行推理分析;由此,按照评价指标的可测量性、可比性和科学性的设计原则构建出相应的

风险评价指标体系.并进一步针对供应链质量风险评价数据的模糊性和定性数据量化的要求,在模糊物元分析的基础上,引入熵权法确定指标权重,利用风险指标欧氏贴近度的计算来划分事物以及风险要素的风险等级.以4种不同性质的企业为研究实例,对他们面临的风险因子和风险现状进行对比分析,仿真结果表明,熵权法模糊物元模型能够有效地解决非量化的评价问题,评价精度也能在一定程度上满足要求.

参考文献:

- [1] 张刚,霍良安,马良.基于谣言攻击的产品需求波动CISRd模型研究[J].上海理工大学学报,2016,38(1):55-61.
- [2] ROBINSON C J, MALHOTRA M K. Defining the concept of supply chain quality management and its relevance to academic and industrial practice [J]. International Journal of Production Economics, 2005, 96(3):315-337.
- [3] 吴伟.供应链质量风险传递机理研究[D].武汉:武汉科技大学,2011.
- [4] 李龔.满意度导向的全球供应链质量合作研究[D].上海:同济大学,2008.
- [5] 张翠华,黄小原.供应链中的道德风险问题[J].东北大学学报(自然科学版),2003,24(7):703-706.
- [6] TANG C S. Perspectives in supply chain risk management[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 103(2):451-488.
- [7] 昭靖.供应链风险分类和风险缓解策略解析——北美零售业供应链案例研究[J].上海质量,2012(2):34-37.
- [8] 肖依永,常文兵,张人千.基于质量供需链的质量风险传递模型研究[J].项目管理技术,2009,7(8):13-18.
- [9] 蒋家东,赵晗萍,冯允成.供应链质量风险的形态与特征研究[J].管理学报,2007,4(S):17-23.
- [10] 李秀君,李春龙,李梦晨,等.基于多层次模糊灰色耦合理论的高等级公路养护机械配置方案评价[J].上海理工大学学报,2014,36(1):86-90.
- [11] 张瑞.基于FME的川东北地区2011年自然灾害风险等级评价[J].重庆文理学院学报(社会科学版),2013,32(5):145-148.
- [12] 张先起,梁川.基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报,2005,36(9):1057-1061.
- [13] 田静宜,王新军.基于熵权模糊物元模型的干旱区水资源承载力研究——以甘肃民勤县为例[J].复旦学报(自然科学版),2013,52(1):86-93.
- [14] 杨秋林,郭亚兵.基于熵权的模糊物元模型在城市生态安全评价中的应用[J].数学的实践与认识,2010,40(19):62-67.
- [15] 施开放,刁承泰,左太安,等.基于熵权物元模型的耕地占补平衡生态安全评价[J].中国生态农业学报,2013,21(2):243-250.
- [16] 阳大兵,王正中,马希明.基于模糊物元模型的工程项目生态影响后评价[J].水利与建筑工程学报,2012,10(2):93-96.

(编辑:石 瑛)