

基于失效模式与后果分析的企业客户索赔分析模型

尤建新^{1,2}, 蔡文璐¹, 尤筱玥^{2,3}

(1 上海大学 管理学院, 上海 200444; 2. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 3. 剑桥大学 制造研究院, 英国剑桥 CB3 0FS)

摘要: 基于失效模式与后果分析模型 (failure mode and effects analysis, FMEA), 并结合层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 和模糊逼近理想排序法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 建立企业客户索赔分析改进模型. 通过模型中的评价指标对客户发起索赔的产品故障进行排序, 并优先分析处理排序靠前的产品故障, 以减少其客户索赔问题, 促进企业的发展. 文中以 C 公司客户索赔问题为例, 对该企业的汽车组合仪表故障进行分析. 结果显示, 由于线路板损伤或安装混乱导致的仪表完全不工作是最严重的故障模式, 通过对其改善可以极大减少客户索赔. 该结果与案例公司的期望相符, 验证了提出模型的有效性, 能够为面临相同问题的企业提供参考.

关键词: 客户索赔模型; 失效模式与后果分析; 层次分析法; 模糊逼近理想排序法

中图分类号: F27

文献标志码: A

A Customer Claims Model Based on an Improved Failure Mode and Effects Analysis Method

YOU Jianxin^{1,2}, CAI Wenjun¹, YOU Xiaoyue^{2,3}

(1. School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Institute for Manufacturing, University of Cambridge, Cambridge CB3 0FS, UK)

Abstract: This paper proposed a customer claims model by improving the traditional FMEA model using the AHP method and fuzzy TOPSIS. Failure modes of claimed products were evaluated and ranked based on four criteria, while critical failures should be solved with priority to reduce business loss. A case study on auto instruments of company C was used to illustrate the effectiveness of the proposed model. The results show that the most serious failure mode is inoperative instruments caused by circuit board damage or install error, which should be improved first to avoid customer claims. The

case results are consistent with the company's expectation and show the feasibility and practicability of the proposed method.

Key words: customer claims model; failure mode and effect analysis; analytic hierarchy process; fuzzy technique for order preference by similarity to an ideal solution

近年来, 经济不稳定、工业投资持续下滑等情况已经表明中国的制造业正面临着巨大的危机. 为了改善这种情况, 国务院提出了一系列的计划策略, 包括“中国制造 2025”^[1] 和“互联网+”^[2] 等. 相关学者们也提供了一些建议助力我国制造业发展, 包括如何创新驱动^[3], 提高效率^[4] 及降低成本^[5] 等. 除了依靠相应的政策及转型策略外, 提高制造业的产品质量才是保障企业发展的根本^[6]. 而由于产品质量问题导致的客户索赔会严重影响制造企业的利益与发展.

对于大多数生产制造与销售企业来说, 客户因产品故障损坏而提出索赔是一个很常见的问题. 目前国内外关于索赔的研究主要集中于工程索赔, 如 Mohammadi 和 Birgonal^[7] 基于可持续化的建筑项目, 确定并分析其中可能存在的风险因素, 帮助企业防止未来可能发生的索赔. 然而, 对于制造企业客户索赔与产品质量及企业绩效相关方面的研究还比较少. 李松林^[8] 认为产品的索赔信息可以反馈产品的故障情况, 并以威布尔函数分析产品的可靠性. 闫波^[9] 以某款车型为例, 提出了基于售后索赔信息的可靠性定量评价方法, 从而反映整车的质量. 然而上述研究主要从实例出发进行分析, 研究结果的适用范围较窄, 缺乏普适性.

FMEA (failure mode and effects analysis) 是企

收稿日期: 2017-02-21

基金项目: 国家自然科学基金(71671125)

第一作者: 尤建新(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要研究方向为管理理论与工业工程, 质量与创新.

E-mail: yjx2256@vip.sina.com

通讯作者: 尤筱玥(1991—), 女, 博士生, 主要研究方向为战略管理与财务管理. E-mail: yxyrachel@sina.com

业质量管理与分析故障的重要工具之一,被广泛应用于航天、医疗等各个领域.传统的 FMEA 通过对产品故障的发生度(occurrence) O 、严重度(severity) S 和检测度(detection) D 进行评分,并以三者乘积计算风险优先数(risk priority number, RPN),从而对产品故障进行评估.然而,传统的计算方式存在很多缺陷^[10]:首先该方法认为 3 个因素的重要程度相等;其次对产品故障的评估不应只局限于这 3 个方面;另外只根据 RPN 值作为评估产品故障的标准也不够全面.许多学者通过将 FMEA 与其他方法结合以弥补 FMEA 方法的不足.如 Juran 和 Gryna^[11]将 FMEA 与故障树分析(fault tree analysis, FTA)结合运用,有效实现了故障识别改正、提高了服务的质量.Chang 等^[12]指出传统的 FMEA 较为主观,忽略了各个因素间的相对重要性,因此提出基于灰色系统理论的 FMEA 方法.Liu 等^[13]基于区间二元语言环境,运用 ELECTRE 方法对风险因素进行评估,并采用混合平均运算法构建各组评估矩阵,消除各组间的差距.该模型可同时处理风险因素的主观和客观权重,改善 FMEA 原有的问题.Liu 等^[14]通过结合区间直觉模糊集和多属性边界近似区域比较法改善了 FMEA 的绩效,开发了线性模型对风险因素进行评价,改善了 FMEA 的部分缺陷.

本研究在分析产品失效模式与原因的基础上,引入新的风险指标——修复难易度(repair) R ,通过 AHP(analytic hierarchy process)法确定各个指标的相对权重,并基于模糊评价语言集和 TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution)法对产品故障进行评价和排序,从而克服了传统 FMEA 的局限性.

1 客户索赔分析模型

1.1 基于 ABC(activity based classification)分类法筛选故障

客户索赔之所以成为众多企业重视的问题,主要是由于其带来的经济损失非常严重.本文运用 ABC 分类法,根据产品故障的发生次数与造成损失筛选出给企业带来累计损失较大的产品故障.通过统计产品故障的累计数量以及给企业带来的累计损失,可以计算企业累计损失百分比;然后,按照故障给企业带来的累计损失量排序,从而制成 ABC 分类表对故障进行分类.本文将筛选出的 A 类故障作为引发企业客户索赔的主要故障.但由于金额与数量

不能完全作为评价故障重要度的标准,因此本文将结合其他指标对 A 类产品故障作进一步分析.

1.2 基于 AHP 法确定指标权重

评估引发客户索赔的产品故障需从多种方面进行考虑,因此建立一个有效的指标体系十分重要.本文将 FMEA 模型中的发生度、严重度和检测度,结合提出的故障修复难易度,组成一个指标体系用于评价产品故障.由于不同专家在评价指标时会存在不同的偏向性,比如工厂负责人会比较重视造成损失较大的产品故障,而产品开发测试修复相关的工作人员则会更重视故障修复的难易程度,因此需要结合相关领域的专家意见,通过专家调研的方式确定指标的相对重要性.

AHP 是通过层次结构分析解决决策问题复杂性的一个重要方法,可以有效确定指标间的相对权重^[15],是将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量的分析的决策方法.其特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上,利用较少的定量信息使决策的思维过程量化、公式化,从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法,尤其适合于对决策结果难以准确计量的场合.由于可能发生前后不一致的情况,因此专家判断矩阵需根据公式^[16]进行一致性检验.随机一致性指标 I_R 的标度如表 1 所示,其中 n 为比较判断矩阵的阶数.

表 1 随机一致性 I_R 标度

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

本文以九点量表为依据,基于相关专家给出的调查问卷结果,应用 AHP 方法对指标赋权.假设专家的总人数为 m ,每位专家在评价团队中占的比重为 p_k ,则有

$$\sum_{k=1}^m p_k = 1, p_k \in (0, 1)$$

1.3 建立评价模糊语言集与三角模糊数

由于专家评价通常包含主观判断,同时给出的信息较多是模糊和不准确的,而采用模糊语言评价方式可以更有效地表达偏好信息,对处理专家评估过程犹豫有很好的效果^[17].因此,本文将建立七级模糊评价语言集,采取问卷调查的方式让专家对故障的风险指标进行评价,并在此基础上对故障进行排序.采用的七级模糊评价语言分别为:很低(VL)、低(L)、较低(ML)、一般(M)、较高(MH)、高(H)、很高(VH),各个评价语言的标准如表 2 所示.

表 2 评价语言的标准

Tab. 2 Standards of evaluation linguistic

评价语言	发生度(O)	严重度(S)	检测度(D)	修复难易度(R)
很低(VL)	$\leq 1:20\ 000$	1	$\leq 1:20\ 000$	$> 1:50$
低(L)	$(1:20\ 000, 1:10\ 000]$	2	$(1:20\ 000, 1:15\ 000]$	$(1:500, 1:50]$
较低(ML)	$(1:10\ 000, 1:5\ 000]$	3,4	$(1:15\ 000, 1:8\ 000]$	$(1:1\ 000, 1:500]$
一般(M)	$(1:5\ 000, 1:500]$	5,6	$(1:8\ 000, 1:800]$	$(1:6\ 000, 1:1\ 000]$
较高(MH)	$(1:500, 1:100]$	7,8	$(1:800, 1:400]$	$(1:12\ 000, 1:6\ 000]$
高(H)	$(1:100, 1:20]$	9	$(1:400, 1:40]$	$(1:20\ 000, 1:12\ 000]$
很高(VH)	$> 1:20$	10	$> 1:40$	$\leq 1:20\ 000$

评价的结果由专家对故障风险指标按照给出的评价语言集汇总得到,评价语言对应的三角模糊数如表 3 所示.假设评价语言为 X_k ,其用三角模糊数可表示为 $X_k=(a_k, b_k, c_k)$,其标准如上节所述.根据三角模糊数的运算规则,汇总的公式如下:

$$a = \sum_{k=1}^m p_k a_k, b = \sum_{k=1}^m p_k b_k, c = \sum_{k=1}^m p_k c_k$$

表 3 评价语言的模糊数

Tab. 3 Crisp number of fuzzy linguistic terms

评价语言	三角模糊数(a_k, b_k, c_k)
很低(VL)	(0, 0, 1)
低(L)	(0, 1, 3)
较低(ML)	(1, 3, 5)
一般(M)	(3, 5, 7)
较高(MH)	(5, 7, 9)
高(H)	(7, 9, 10)
很高(VH)	(9, 10, 10)

国内外有许多学者基于模糊 TOPSIS 法对方案进行排序,并提出了许多相关的去模糊化的公式.将专家评价结果汇总后,本文采用如下公式确定产品故障中各项指标的得分^[18]:

$$x_k = 1/3[(c_k - a_k) + (b_k - a_k)] + a_k \quad (1)$$

1.4 基于 TOPSIS 法确定故障模式排序

TOPSIS 是一种常用的多属性决策方法,它通过计算评价方案与正负理想点的贴近度进行排序^[19].本文将基于模糊评价语言以及专家的评价,使用模糊 TOPSIS 法对产品故障进行排序,从而帮助企业选择对其发展及效益较为重要的故障,通过

改善减少企业客户索赔问题.

基于指标权重以及专家评分,首先建立加权评价矩阵;其次,假设评价矩阵中第 k 位专家对第 i 个指标的评价元素为 V_{ki} ,并确定每个指标在评价矩阵中正负理想点 V_i^+ 和 V_i^- ;然后,计算元素与正负理想点的距离 D_k^+ 和 D_k^- ,应用下式计算 C_k 值对企业引起客户索赔产品故障进行排序.

$$C_k = \frac{D_k^-}{D_k^+ + D_k^-}$$

根据各个失效模式的总分大小可以确定故障的重要性,从而有针对性地改进产品故障,处理客户索赔问题.

2 实例分析

C 公司作为制造与销售汽车零部件的企业长期面临着客户对故障件的索赔问题,严重影响到企业的效益与发展.因此,该公司急切需要分析产品故障以减少客户索赔事件.本文选择其销售给 V 企业的零件——汽车组合仪表,作为此次故障分析的对象.

2.1 确定产品失效模式

本文搜集了 2013—2015 年期间,C 公司系统中记录并接受的 V 客户针对组合仪表发起的索赔数据,通过专家检测评估故障现象,发掘出引起产品故障的失效模式、失效后果及失效原因.根据 FMEA 的分析步骤^[20],确定了 C 公司组合仪表的重点失效模式及失效后果,具体的产品故障情况如表 4 所示.

表 4 C 公司组合仪表 FMEA 分析表

Tab. 4 FMEA analysis of combination instrument of Company C

故障号	潜在失效模式	潜在失效后果	潜在失效原因
1	零件脱落、损坏	汽车无法发动	操作失误
2	线路板损伤、安装混乱	仪表不工作	静电损伤器件,元件失效
3	卡子漏装或装配错误	影响用户装配	装配操作错误,无有效检查
4	导电橡胶装配错误	仪表调节功能失效	装配操作错误
5	组合仪表校准不正确	仪表指针故障	操作失误
6	金属支架安装错误	仪表显示不清晰	安装失误
7	滤光片安装故障	显示屏亮度故障	清洁及操作问题
8	液晶显示器及其导电橡胶混装	显示屏功能失效	操作失误
9	前框、面板、2D 表牌等有划痕、指印等	仪表外观有瑕疵	操作失误

2.2 基于 ABC 分类法筛选故障

首先根据收集到的数据,就以上 9 种产品故障模式进行故障数量及损失金额的统计.由于不同产品故障对客户及公司本身造成的影响及利益损失,以及安装的车型等不尽相同,因此客户提出的索赔金额也会有所不同,具体如表 5 所示.根据产品故障特点,本文将累计损失量为 60%的故障定义为 A 类故障.综合结果可得,故障 1、故障 2、故障 4 以及故障 8 对企业造成的累计损失量较大,属于 A 类故障.接下来将通过专家指标评价的方式对这些故障进一步排序.

表 5 C 公司组合仪表故障的 ABC 分类表
Tab. 5 ABC classification of combination instrument of Company C

产品故障	累计损失量/%
1	17.26
2	16.62
3	6.16
4	14.15
5	6.28
6	9.48
7	7.78
8	15.92
9	6.35

2.3 确定指标权重与故障排序

本文邀请了 4 位相关专家对指标及故障进行评分,由此确定企业最急需解决的关键故障.4 位专家分别负责客户服务质量管理,工厂生产管理以及产品开发检测管理,因此可以全面地对产品故障进行评价.每位专家在评价中所占权重为

$$P_1 = 0.3, P_2 = 0.3, P_3 = 0.2, P_4 = 0.2$$

2.3.1 确定评价 C 公司产品故障的指标权重

4 位专家采用 Saaty^[21]的 1~9 标度给出 4 项风险指标的相对权重,以专家 1 的风险指标判断矩阵为例,形式如表 6 所示.

根据表 6 的数据,应用方根归一化法对专家的判断矩阵(P_k)进行权向量计算,可得出每位专家给出的指标权向量 ω_k ,如下所示:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= (0.42 \quad 0.12 \quad 0.23 \quad 0.23)^T \\ \omega_2 &= (0.47 \quad 0.28 \quad 0.09 \quad 0.16)^T \\ \omega_3 &= (0.54 \quad 0.26 \quad 0.08 \quad 0.12)^T \\ \omega_4 &= (0.15 \quad 0.08 \quad 0.48 \quad 0.29)^T \end{aligned}$$

为确定专家给出评价的一致性,需要计算各个判断矩阵的一致性指标 I_C 和一致性比率 R_C .由于判断矩阵是 4 阶矩阵,因此随机一致性指标 $I_R=0.89$,计算的数值如表 7 所示.当一致性比率 $R_C < 0.1$ 时,判断矩阵可以被接受.可见,专家指标判断矩阵均通过了一致性检验,因此得出的指标权重可以被接受.

表 6 专家 1 风险指标判断矩阵

Tab. 6 Risk index judgment matrix of the first expert

	S	O	D	R
S	1	3	2	2
O	1/3	1	1/2	1/2
D	1/2	2	1	1
R	1/2	2	1	1

表 7 一致性检验结果

Tab. 7 Results of consistency test

专家判断矩阵	最大特征根 λ	I_C	R_C
P_1	4.01	0.003	0.003
P_2	4.11	0.036	0.040
P_3	4.11	0.036	0.040
P_4	4.02	0.005	0.006

此外,根据专家在团队中所占的权重进行归一化处理,各项指标的最终权重值如下所示:

$$\omega = (0.40 \quad 0.19 \quad 0.21 \quad 0.20)^T$$

由指标权重可知,对于 C 公司而言,最看重的指标是产品故障造成后果的严重度,这对企业的声誉及赔偿金额都有很大的影响.

2.3.2 产品故障的最终排序

虽然产品故障对制造企业造成了许多不利的影 响,但企业的资源有限,很难同时处理多个产品故障,因此需要对产品故障进行排序.

通过调查问卷的方式,收集专家根据指标对产品故障的评价.根据专家权重值与公式(1),对该专家组的评分结果进行去模糊化运算,得到的每个产品故障评价结果如表 8 所示.

表 8 产品故障评价表

Tab. 8 Evaluation of product failure

专家	P_k	产品故障 1				产品故障 2				产品故障 4				产品故障 8			
		S	O	D	R	S	O	D	R	S	O	D	R	S	O	D	R
1	0.3	H	M	VH	VH	H	MH	VH	MH	MH	H	L	H	ML	MH	M	L
2	0.3	VH	M	H	H	H	MH	H	M	M	MH	ML	H	M	M	ML	ML
3	0.2	VH	ML	H	VH	VH	H	VH	H	MH	MH	ML	MH	MH	M	ML	ML
4	0.2	VH	L	VH	VH	VH	H	VH	H	M	M	L	H	M	M	ML	L
总计	1.0	9.4	3.8	9.2	9.4	9.1	7.7	9.4	7.1	6.0	7.1	2.2	8.3	4.8	5.6	3.6	2.2

在专家模糊评价基础上,运用 TOPSIS 方法首先计算 D_k^+ 和 D_k^- ;然后确定每个产品故障的评价值 C_k ;最后可以对产品故障进行排序. 最终结果如表 9 所示.

表 9 产品故障排序最终结果

Tab. 9 Final order result of product failures

产品故障	D_k^+	D_k^-	C_k	排序
2	0.475	2.599	0.845	1
1	0.742	2.760	0.788	2
4	2.119	1.453	0.406	3
8	2.665	0.451	0.145	4

2.4 对故障进行分析并改善

根据专家评价的结果,综合故障造成的金额损失、后果的严重性及其发生的频率和修复的困难程度,发现产品故障 2,即由于线路板损伤、安装混乱导致的仪表盘不工作是该公司组合仪表产品最急需解决的故障.从现实角度而言,在汽车行进的过程中,如果出现仪表不工作的情况,对于车上人员安全有极大的影响.另外其发生频率高以及对公司造成损失的金额大也是其成为重要故障的原因.

通过 FMEA 分析,造成仪表不工作的主要原因在于在产品安装产生的静电导致元件失效,以及员工操作失误.通过检查工厂的生产过程,发现主要可以从两个方面对该故障进行改善.一是针对元件失效问题,可以通过增强工厂的静电防护措施,在工厂内尤其是重要的区域多设立静电检查装置,防止该类问题发生.另外对焊接的电路板进行多重检查,防止出现接触不良等情况,尽量减少电路板短路或元件失效的情况发生.二是规范人员操作,在安装过程中多增加检查工序,或是将现有工序细分,从而降低安装错误的概率.通过对产品过程质量的针对性改善,可以有效地减少产品故障和客户索赔事件.

3 结论

本文基于 FMEA 建立客户索赔分析模型,运用 AHP 和模糊 TOPSIS 方法对企业的产品故障进行评价,有助于帮助企业明确在客户索赔问题中影响最大的产品故障,并根据 FMEA 法分析出故障原因,进而采取措施减少企业客户索赔的问题.本文所提出的方法可以有效避免传统 FMEA 的缺陷,准确地确定评价指标权重,从而更有效地对故障进行评价与改善.

运用提出的模型对 C 公司组合仪表引发客户索赔的产品故障进行分析,通过专家打分的方式对各

个指标做出评价,从而确定最重要的产品故障为线路板损伤、安装混乱导致的仪表不工作.通过模型判断出的最严重的产品故障也得到了公司相关专家人员的认可.经过对产品生产过程质量的分析,提出了一些有效的解决方法,以减少产品故障,从根源上减少客户索赔事件的发生.

本文用于分析产品故障的指标包括了索赔金额大小、故障发生度、严重度、检测难度和修复难易程度等多个方面,由于产品故障造成客户索赔会影响企业的信誉与合作,因此之后的研究可继续增加指标,对产品故障进行更全面的评价.此外,在改善产品过程质量方面提出更明确统一的方法,不仅可以帮助企业区分故障的重要程度,并且在提出预防和改善措施方面也具有一定的参考.

参考文献:

- [1] 国务院. 国务院印发《中国制造 2025》[N]. 人民日报, 2015-05-20(1).
China's State Council. The notice of "Made in China 2025" [N]. People's Daily, 2015-05-20(1).
- [2] 国务院. 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见 [N]. 人民日报, 2015-07-05(5).
China's State Council. The notice of "Guiding Opinions of the State Council on Promoting 'Internet plus' Action" [N]. People's Daily, 2015-07-05(5).
- [3] 李俊江, 孟勳. 基于创新驱动的美国“再工业化”与中国制造业转型[J]. 科技进步与对策, 2016, 33(5): 51.
LI Junjiang, MENG Meng. Based on the innovation drive: America's "reindustrialization" and China's manufacturing industry transformation [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2016, 33(5): 51.
- [4] 杨玲, 杜运苏. 生产性服务业提升“中国制造”效率的实证研究[J]. 当代经济研究, 2012(10): 39.
YANG Ling, DU Yunsu. An empirical study on the efficiency of "Made in China" in production service industry [J]. Contemporary Economic Research, 2012(10): 39.
- [5] 向红, 夏绪辉, 王蕾, 等. 基于支持向量机的机电产品再制造成本预测方法[J]. 机械设计与制造, 2016(4): 268.
XIANG Hong, XIA Xuhui, WANG Lei, et al. A prediction method for remanufacturing cost of mechanical and electrical products based on support vector machine [J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(4): 268.
- [6] 汪建, 卢晨, 郭政, 等. 多国制造业质量发展指数及其变化规律实证研究[J]. 科技进步与对策, 2015, 32(18): 43.
WANG Jian, LU Chen, GUO Zheng, et al. An empirical study on the development index of multinational manufacturing quality and its variation [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2015, 32(18): 43.
- [7] MOHAMMADI S, BIRGONUL M T. Preventing claims in green construction projects through investigating the components of contractual and legal risks [J]. Journal of Clean Production,

- 2016, 139: 1078.
- [8] 李松林. 汽车产品索赔结算信息与质量、可靠性分析[J]. 科技风, 2010(23): 108.
LI Songlin. Settlement information and quality reliability analysis of automobile products[J]. Journal of Science and Technology, 2010(23): 108.
- [9] 闫波. 基于汽车售后索赔信息的可靠性评价[J]. 技术经济, 2012(8): 35.
YAN Bo. Reliability evaluation based on automobile sale claim information[J]. Technical Economic Journal, 2012(8): 35.
- [10] 尤建新, 丁颖岷. 基于失效模式与后果分析改进的投标策略风险分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016, 44(8): 1292.
YOU Jianxin, DING Yingdi. Improved failure mode and effects analysis approach to risk analysis of bidding strategy [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2016, 44(8): 1292.
- [11] JURAN J M, GRYNA F M Jr. Quality planning and analysis [M]. 10th ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1992.
- [12] CHANG C L, LIU P H, WEI C C. Failure mode and effects analysis using grey theory [J]. Integrated Manufacturing Systems, 2001, 12(3): 211.
- [13] LIU Huchen, YOU Jianxin, CHEN Shouming, *et al.* An integrated failure mode and effect analysis approach for accurate risk assessment under uncertainty[J]. IIE Trans, 2016, 48(11): 1027.
- [14] LIU Huchen, YOU Jianxin, DUAN Chunyan. An integrated approach for failure mode and effect analysis under interval-valued intuitionistic fuzzy environment[J/OL]. International Journal of Production Economics. [2017-03-08]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe>.
- [15] 寿晖, 张永安. 基于AHP-熵值法商业银行体系风险指标预警研究[J]. 华东经济管理, 2013, 27(10): 44.
SHOU Hui, ZHANG Yongan. The warning research on financial risk indicator system for commercial banks based on AHP-entropy method[J]. East China Economic Management, 2013, 27(10): 44.
- [16] 雷星晖, 尤筱玥. 基于层次分析法支持决策的外包服务供应商绩效评价[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(11): 1770.
LEI Xinghui, YOU Xiaoyue. Evaluation of outsourcing service providers performance on analytic hierarchy process to support decision-making [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(11): 1770.
- [17] 余伟, 李严锋, 李梦, 等. 基于组合权重的模糊 TOPSIS 法在工程项目评估中的应用[J]. 工程管理学报, 2015, 29(4): 113.
YU Wei, LI Yanfeng, LI Meng, *et al.* Group decision making based on novel intuitionistic fuzzy TOPSIS method and combination weights[J]. Journal of Engineering Management, 2015, 29(4): 113.
- [18] LIU Huchen, YOU Jianxin, YOU Xiaoyue, *et al.* A novel approach for failure mode and effect analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method [J]. Applied Soft Computing Journal, 2015, 28: 579.
- [19] DEEPA J, SANJAY K. Interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy Choquet integral based TOPSIS method for multi-criteria group decision making [J]. European Journal of Operational Research, 2015, 248(1): 183.
- [20] 尤筱玥, 黄志明. 基于 FMEA 的业务外包风险评估研究[J]. 上海管理科学, 2014, 36(5): 45.
YOU Xiaoyue, HUANG Zhiming. Study on outsourcing risk evaluation based on FMEA[J]. Shanghai Management Science, 2014, 36(5): 45.
- [21] SAATY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1999.