

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201611059



采用模糊层次分析法的 PFMEA 方法改进及应用

夏蓓鑫¹, 陈鑫¹, 李龙¹, 陶宁蓉², 张佳栋¹

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072;
2. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306)

摘要: 为解决因各专家判断矩阵过于均一化而导致的风险排序与实际发生偏差的问题,在传统的基于模糊层次分析法的过程失效模式与分析(PFMEA)方法基础上做进一步的改进.从专家的个体区别和职业类别两方面考虑,分析专家判断矩阵变化程度对专家分组及评估各组别对专家权重的影响,进而合理设定专家权重.通过该改进方法在汽车空调冷凝器制造过程中的实际应用,验证方法的有效性.研究结果表明:改进的基于模糊层次分析法的 PFMEA 方法能更准确地对产品失效风险进行排序.

关键词: 汽车空调冷凝器; 产品失效; 过程失效模式与分析法; 模糊层次分析法; 专家权重

中图分类号: TH 162.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2017)06-0868-07

Improvement and Application of PFMEA Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process

XIA Beixin¹, CHEN Xin¹, LI Long¹,
TAO Ningrong², ZHANG Jiadong¹

(1. School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;
2. College of Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to solve the problem that the risk ranking and the actual deviation of the expert judgment matrix are too homogeneous, an improved process failure mode and effect analysis (PFMEA) method based on fuzzy analytic hierarchy process is proposed in which expert weights are set taking into account individual differences and professions of experts. The extent of variation of expert judgment matrix is analyzed, and then experts are grouped and adjustments are made according to group sizes. The proposed method is validated through application examples of automobile air conditioning condenser manufacture. Research results show that compared with the existing method, the improved method can provide more accurate results when sorting the risks of failure modes.

Keywords: automobile air conditioning condenser; product failure; process failure mode and effect analysis method; fuzzy analytic hierarchy process; expert weight

作为可靠性工程领域的基本工具,过程失效模式与分析(process failure mode and effect analysis, PFMEA)主要应用于产品的生产制造过程^[1-2].传统的 PFMEA 方法一般使用风险顺序数(RPN)来确定风险顺序^[3],但存在 RPN 分辨率不高和主观性与模糊性等两大主要缺陷^[4-6].针对传统 PFMEA 方

收稿日期: 2016-11-17

通信作者: 夏蓓鑫(1984-),男,讲师,博士,主要从事可靠性工程的研究. E-mail: 3bxxia@shu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71401098);上海市高校青年教师培养资助计划(ZZSD15047)

法存在的缺陷,国内外学者们通过引入模糊理论取得了大量的研究成果. 门峰等^[1]将模糊理论与灰色关联理论相结合改进了 FMEA 方法. 盛精等^[6]使用模糊理论与层次分析法构建了零部件制造工艺的风险评估模型,进而确定相关风险等级,从而提升了 RPN 的风险值分辨率. Bowles 等^[7]使用模糊逻辑规则来确定失效的优先级. 杜哈恒等^[8]提出模糊层次分析法(F-AHP)和模糊 TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution)集成的方法,通过模糊层次分析评价法分配参数的权重,再应用 TOPSIS 方法获得各失效因素的分值并进行排序. 王浩伦等^[9]将三角模糊软集引入到 FMEA 方法中,利用三角模糊软集方法中 AND 运算对各评价专家的评价信息进行融合,进一步改进方法的效率. 安相华等^[10]将混合多属性决策和关联传播分析有机集合,解决了产品 FMEA 在不确定环境下的应用问题. 耿秀丽等^[11]考虑了故障模式之间的相互影响关系,通过决策与实验评价实验室方法对风险模式的净影响度进行了研究分析,从而对初始评估的严重度做了修正. 然而,现有的基于模糊层析分析法的 PFMEA 方法在某些实际应用中仍存在一定的问 题,如在引入专家组时将所有专家的判断平整化,没有考虑不同专家之间的区别. 面对这类问题,现有的方法并不完善,其结果并不能完全反映样本的信息,统计结果往往会偏离实际. 因此,本文在现有研究工作基础上,通过设定专家权重进一步改进 PFMEA 方法,并将所提方法应用在汽车冷凝器制造过程中.

1 基于模糊层次分析法的 PFMEA 方法

1.1 判断矩阵构造

邀请 K' 位专家,成立专家小组,对风险顺序数 RNP 的 3 个评价指标发生频度(O)、严重度(S)、探测度(D)进行比较分析并建立判断矩阵. 矩阵中的行、列分别按照 O,S,D 顺序排列. 对于第 k 个专家的判断矩阵,有

$$\mathbf{Z}_k = \begin{bmatrix} v_{k1,1} & v_{k1,2} & v_{k1,3} \\ v_{k2,1} & v_{k2,2} & v_{k2,3} \\ v_{k3,1} & v_{k3,2} & v_{k3,3} \end{bmatrix}.$$

(1)

判断矩阵中的数值为对应 O,S,D 之间的比较数值,其取值可以通过表 1 确定. 表 1 中:整数表示前者和后者比的重要程度;倒数表示后者和前者比的重要程度;比较数值选取 2,4,6,8 则表示介于相应比较程度之间.

表 1 评价指标数值的比较

Tab. 1 Comparison of evaluation index values

两者比较程度	比较数值
前者和后者重要度一样	1
前者和后者比稍重要	3
前者和后者比明显重要	5
前者和后者比很重要	7
前者和后者比极端重要	9

1.2 一致性检验

对判断矩阵 \mathbf{Z}_k 进行一致性检验,以确定专家的判断矩阵是否可以接受. 相对一致性比例 $CR=CI/RI$. 其中,RI 是平均随机的一致性指标,当矩阵阶数为 3 时,取 $RI=0.52$;CI 为一致性指标, $CI=\lambda_{\max}-n/(n-1)$, λ_{\max} 为判断矩阵 \mathbf{Z}_i 的最大特征值, n 为矩阵阶数,此处取 3. 通常情况下,CR 越小,判断矩阵的一致性越好,文中将 0.1 作为判断矩阵一致性的阈值. 当 CR 小于这个阈值时,说明判断矩阵的一致性 是满意的;否则,将该专家剔除. 经过一致性检验后,最终保留的专家数量设为 K .

1.3 评价指标的权重计算

1.3.1 判断矩阵的评价指标权重 对于第 k 个专家,可以根据其给出的判断矩阵 \mathbf{Z}_k 计算相应的 3 个评价指标的权重. 设 w_{ki} 为由判断矩阵 \mathbf{Z}_k 计算得到的第 i 个指标的权重,将判断矩阵中的各元素按列进行归一化处理,再按行求均值. 即有

$$w_{ki} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (v_{ki,j} / \sum_{l=1}^n v_{kl,j}).$$

(2)

1.3.2 专家权重的计算 区别于以往将专家无差别对待的研究方法,在计算得到每位专家的 3 个评价指标权重后,根据专家的个体区别和职业类别进行专家权重设定. 设定专家权重主要基于以下两方面的考虑. 一方面,为了能够反映个体的区别和意愿,采用通过个体样本的特征值 λ_{\max} 变化来反映其在整个样本中的影响程度. 当 n 取 3 时, λ_{\max} 取值范围为 $[3,3.104)$. 为了和另一个指标相符,将该指标转变为极大型指标,得到调整公式为

$$F_k = (n + 2) - (\lambda_{\max})_k. \tag{3}$$

式(3)中: F_k 是第 k 个专家的判断矩阵的变化程度.

另一方面,将专家按照职业类别分组,同组专家具有相近的判断准则和利益要求. 为了体现少数服从多数的原则,相近属性的样本组成一组后,该组在整个样本中所占的比例要考虑到权重的分配中,即组容量较大的组,其个体在该样本中的意愿能较大影响整体样本的权重分配,即 $\lambda_k = \alpha \psi_p$. 其中, α 为固定比例系数, λ_k 是第 k 个专家判断矩阵对整体样本的影响程度, ψ_p 为第 p 组的容量. 又可知 $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$, 则有 $\lambda_k = \psi_p / \sum_{k=1}^K \psi_p$. 对于属于第 p 组的专家,其组容量均为 ψ_p , 所以 $\sum_{k=1}^K \psi_p = \sum_{p=1}^t \psi_p^2$, 其中, t 为样本中的组数. 最终得到调整公式为

$$\lambda_k = \psi_p / \sum_{p=1}^t \psi_p^2. \tag{4}$$

综合以上信息,可确定专家判断矩阵的综合权重 $M'_k = F_k \times \lambda_k$. 进一步将各专家的综合权重归一化,得到专家判断矩阵的最终权重为 $M_k = M'_k / \sum_{k=1}^K M'_k$.

1.3.3 最终权重确定 根据以上的计算结果,可以计算得到最终的 OSD 权重. 设 w'_i 为第 i 个指标的最终权重为 $w'_i = \sum_{k=1}^K M_k w_{ki}$, 则最终得到权重向量为 $W = (w'_1 \quad w'_2 \quad w'_3)^T$.

1.4 模糊评价矩阵建立

先对各工序中的失效因素的评价指标界定不同的评价等级,通常设为 5 级评价等级,具体评价等级集为{极低,较低,一般,较高,极高}. 建立等级矩阵为 $C = (C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad C_4 \quad C_5) = (1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5)$. 其中, C_i 为第 i 级评价等级的评分值. 然后,由专家组对项目中的失效因素按 O,S,D 这 3 个指标进行评价等级确定. 设 $u_{i,j}$ 为对第 i 项指标评定为第 j 级等级的专家数量,可计算得到不同评价等级在各项指标评价等级中的比例为 $r_{i,j} = u_{i,j} / \sum_{j=1}^n u_{i,j}$. 最后,将上述专家组的主观评价信息汇总,建立指标的模糊评价矩阵为

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & r_{1,4} & r_{1,5} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} & r_{2,4} & r_{2,5} \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & r_{3,4} & r_{3,5} \end{bmatrix}. \tag{5}$$

1.5 模糊综合评价

结合客观评价和主观评价因素,即综合考虑评价指标权重集对指标的模糊评价矩阵影响,为专家组的模糊评价矩阵赋予不同的权重. 设模糊综合评价矩阵为

$$\tilde{B} = W^T \otimes \tilde{R}. \tag{6}$$

$$\tilde{B} = (w'_1 \quad w'_2 \quad w'_3) \otimes \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & r_{1,4} & r_{1,5} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} & r_{2,4} & r_{2,5} \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & r_{3,4} & r_{3,5} \end{bmatrix} = (b_1 \quad b_2 \quad b_3). \tag{7}$$

由以上公式,可推知 \tilde{B} 已符合归一化要求. 最后,为了方便风险顺序的排序,设 A 为模糊评价结论等级值,将模糊综合评价矩阵 \tilde{B} 点乘等级矩阵 C 的转置矩阵,赋值后即得到结论等级值. 即 $A = \tilde{B} \cdot C^T$.

2 应用实例分析

以某汽车空调制造商按照客户和 TS16949 型制造冷凝器产品为例. 制造工序包含为 6 道工序,依次为喷涂主片和封盖→插入隔片→压接管→芯子装配→钎焊→最终装配,则分别将工序按先手顺序标记为 A1,A2,A3,A4,A5,A6. 潜在失效模式包括钎焊不良、隔片倾斜、主片封盖偏移、主片插坏、散热带掉落、螺栓松脱. 潜在失效后果包括冷凝器泄露、内漏、影响性能、装配困难、冷凝器泄露、散热性能降低和震动试验不能通过.

使用未改进前的基于 F-AHP 的 PFMEA 方法可以得到各工序风险顺序,如表 2 所示.

表 2 基于 F-AHP 的 PFMEA 方法的冷凝器各工序风险顺序
Tab.2 PFMEA for automobile air conditioning condenser manufacture

工序	潜在失效模式	潜在失效后果	潜在失效起因	现行控制方式	结论等级值	风险顺序
A1	钎焊不良	冷凝器泄露	喷涂的位置不正确	100%目测 100%检漏	3.840	1
A2	隔片倾斜	内漏,影响性能	操作不良	工装设计防错	3.182	2
A3	主片封盖偏移	装配困难	零件定位不良	首末件检测调整工装定位精度	2.938	6
A4	主片插坏	冷凝器泄露	芯子装配调整不良	工装定期检查调整不良工装	2.989	4
A5	散热带掉落	散热性能降低	钎焊框架未夹紧零件	使用后的框架必须整形	2.965	5
A6	螺栓松脱	震动试验不能通过	扭矩低于设计要求	每月检测螺栓栓的扭矩	3.136	3

将改进后的 PFMEA 方法应用到冷凝器制造中. 首先,分别从质量、工艺、设计、生产、技术管理层各选出 3 名专家成立专家组,并建立评价指标判断矩阵,如表 3 所示.

表 3 专家评价指标的判断矩阵
Tab.3 Judgment index of expert evaluation index

质量组	专家 1			专家 2			专家 3		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D
O	1	1/5	1/7	1	1/4	1/8	1	1/2	6
S	5	1	5	4	1	1/5	2	1	5
D	7	1/5	1	8	5	1	1/6	1/5	1
工艺组	专家 4			专家 5			专家 6		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D
O	1	1/3	7	1	1/5	3	1	1/5	3
S	3	1	3	5	1	3	5	1	6
D	1/7	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/6	1
生产组	专家 7			专家 8			专家 9		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D
O	1	1/3	3	1	1/4	3	1	1/3	3
S	3	1	5	4	1	5	3	1	5
D	1/3	1/5	1	1/3	1/5	1	1/3	1/5	1
设计组	专家 10			专家 11			专家 12		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D
O	1	3	3	1	3	3	1	5	1/3
S	1/3	1	1	1/3	1	1	1/5	1	3
D	1/3	1	1	3	1	1	3	1/3	1
管理组	专家 13			专家 14			专家 15		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D
O	1	1/5	1/6	1	1/5	3	1	1	5
S	5	1	1/3	5	1	7	1	1	7
D	6	3	1	1/3	1/7	1	1/5	1/7	1

对专家评价指标进行一致性检验结果,如表 4 所示.

表 4 专家评价指标的一致性检验
Tab.4 Consistency test of expert evaluation index

专家编号	最大特征值	CI	CR	专家编号	最大特征值	CI	CR
1	3.437 5	0.218 8	0.420 7	9	3.038 5	0.019 3	0.037 0
2	3.094 0	0.047 0	0.090 4	10	3.135 6	0.067 8	0.130 4
3	3.085 8	0.042 9	0.082 5	11	3.000 0	0	0
4	3.435 7	0.217 9	0.418 9	12	4.838 0	0.919 0	1.767 3
5	3.294 8	0.147 4	0.283 5	13	3.094 0	0.047 0	0.090 4
6	3.094 0	0.047 0	0.090 4	14	3.064 9	0.032 5	0.062 4

续表
Continue table

专家编号	最大特征值	CI	CR	专家编号	最大特征值	CI	CR
7	3.038 5	0.019 3	0.037 0	15	3.012 6	0.006 3	0.012 1
8	3.085 8	0.042 9	0.082 5				

选择相对一致性比例 CR 小于 0.1 的 10 位专家进入最终的专家组,并根据判断矩阵确定指标权重,如表 5 所示.

表 5 专家评价指标的权重
Tab. 5 Weights of expert evaluation index

判断矩阵	专家编号	权重			最大特征值	CI 值	CR 值
		O	S	D			
Z1	2	0.070 4	0.206 2	0.723 4	3.094 0	0.047 0	0.090 4
Z2	3	0.370 0	0.545 5	0.084 5	3.085 8	0.042 9	0.082 5
Z3	6	0.201 4	0.707 1	0.091 5	3.094 0	0.047 0	0.090 4
Z4	7	0.260 5	0.633 3	0.106 2	3.038 5	0.019 3	0.037 0
Z5	8	0.231 1	0.665 1	0.103 8	3.085 8	0.042 9	0.082 5
Z6	9	0.260 5	0.633 3	0.106 2	3.038 5	0.019 3	0.037 0
Z7	11	0.600 0	0.200 0	0.200 0	3.000 0	0	0
Z8	13	0.080 7	0.292 3	0.627 0	3.094 0	0.047 0	0.090 4
Z9	14	0.193 2	0.723 5	0.083 3	3.064 9	0.032 5	0.062 4
Z10	15	0.435 3	0.486 5	0.078 2	3.012 6	0.006 3	0.012 1

对专家进行分组:第 1 组是质量组,专家编号为 2,3,共 2 人;第 2 组是工艺组,专家编号为 6,共 1 人;第 3 组是生产组,专家编号为 7,8,9,共 3 人;第 4 组是设计组,专家编号为 11,共 1 人;第 5 组是技术管理组,专家编号为 13,14,15,共 3 人.根据公式可以计算专家权重及相关参数,如表 6 所示.

表 6 专家权重及相关参数
Tab. 6 Expert weights and related parameters

k	专家编号	λ_{\max}	F_k	λ_k	M'_k	M_k	$M_k w_{k1}$	$M_k w_{k2}$	$M_k w_{k3}$
1	2	3.094 0	1.906 0	0.083 333	0.158 833	0.081 902	0.005 768	0.016 889	0.059 245
2	3	3.085 8	1.914 2	0.083 333	0.159 517	0.082 254	0.030 432	0.044 869	0.006 954
3	6	3.094 0	1.906 0	0.041 667	0.079 417	0.040 951	0.008 248	0.028 955	0.003 748
4	7	3.038 5	1.961 5	0.125 000	0.245 188	0.126 430	0.032 935	0.080 074	0.013 421
5	8	3.085 8	1.914 2	0.125 000	0.239 275	0.123 381	0.028 511	0.082 057	0.012 813
6	9	3.038 5	1.961 5	0.125 000	0.245 188	0.126 430	0.032 935	0.080 074	0.013 421
7	11	3.000 0	2.000 0	0.041 667	0.083 333	0.042 971	0.025 782	0.008 594	0.008 594
8	13	3.094 0	1.906 0	0.125 000	0.238 250	0.122 853	0.009 913	0.035 913	0.077 027
9	14	3.064 9	1.935 1	0.125 000	0.241 888	0.124 728	0.024 096	0.090 242	0.010 391
10	15	3.012 6	1.987 4	0.125 000	0.248 425	0.128 100	0.055 759	0.062 328	0.010 013
总计							0.254 400	0.530 000	0.215 600

由表 6 最终可计算得到评价指标 OSD 的权重向量 $\mathbf{W}=(0.2544 \quad 0.53 \quad 0.2156)^{\mathrm{T}}$.

专家对各工序的失效模式进行模糊评价,可得到的等级评价矩阵,如表 7 所示.

表 7 等级评价矩阵
Tab. 7 Rating matrix

失效模式	指标	评价等级				
		极低	较低	一般	较高	很高
焊接不良评定	O	0	0	6	4	0
	S	0	0	0	0	10
	D	3	7	0	0	0
隔片倾斜评定	O	0	2	6	2	0
	S	0	0	6	4	0
	D	0	3	5	2	0

续表

Continue table

失效模式	指标	评价等级				
		极低	较低	一般	较高	很高
主片封盖偏移评定	O	0	6	4	0	0
	S	0	0	5	5	0
	D	0	7	3	0	0
主片插坏	O	6	4	0	0	0
	S	0	0	0	10	0
	D	0	4	6	0	0
散热带掉落评定	O	0	5	5	0	0
	S	0	0	5	5	0
	D	0	7	3	0	0
螺栓松脱评定	O	7	3	0	0	0
	S	0	0	0	7	3
	D	0	3	7	0	0

统计各等级评分数量在评分总量上所占的比例，建立如下模糊评价矩阵为

$$\tilde{R}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \tilde{R}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{R}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \tilde{R}_4 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{R}_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \tilde{R}_6 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.3 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

根据公式可计算得到如下归一化后的模糊综合评价矩阵为

$$\tilde{R}_1 = [0.064\ 68\ 0.150\ 92\ 0.152\ 64\ 0.101\ 76\ 0.530],$$

$$\tilde{R}_2 = [0\ 0.115\ 56\ 0.578\ 44\ 0.306\ 00\ 0],$$

$$\tilde{R}_3 = [0\ 0.303\ 56\ 0.431\ 44\ 0.265\ 00\ 0],$$

$$\tilde{R}_4 = [0.152\ 64\ 0.188\ 00\ 0.129\ 36\ 0.530\ 00\ 0],$$

$$\tilde{R}_5 = [0\ 0.278\ 12\ 0.456\ 88\ 0.265\ 00\ 0],$$

$$\tilde{R}_6 = [0.178\ 08\ 0.141\ 00\ 0.150\ 92\ 0.371\ 00\ 0.159].$$

利用等级矩阵对以上模糊综合评价赋值，可计算得到最终的结论等级值，如表 8 所示. 基于 F-AHP 的 PFMEA 方法和改进后的 PFMEA 方法分别得到的各工序风险顺序，如图 1 所示.

表 8 改进后的 PFMEA 结果

Tab. 8 Result of improved PFMEA

工序	A1	A2	A3	A4	A5	A6
结论等级值	3.881	3.190	2.961	3.037	2.987	3.192
风险顺序	1	3	6	4	5	2

比较改进前后的 PFMEA 方法结果可知：风险顺序最靠前的都为 A1(喷涂主片和封盖工序)，从钎焊式冷凝器的工艺来说，喷涂主片和封盖的工艺失效模式风险是极其重要的，符合实际情况；A2(插入隔片工序)和 A6(最终装配工序)的风险等级发生了变化，经专家组的再次讨论分析确定 A6 工序装配的螺栓作为连接部件如果松脱后果更为严重的，所以相对于 A2 工序而言风

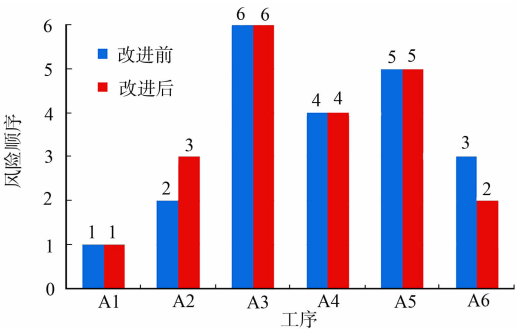


图 1 改进前后 PFMEA 方法的结果比较

Fig. 1 Comparison of results before and after improvement of PFMEA method

险顺序应该更为靠前. 因此,改进后的基于 F-AHP 的 PFMEA 方法更符合实际的产品要求. 将改进 PFMEA 方法得到的结果按结论等级值从大到小进行排序,如表 9 所示.

表 9 改进后的 PFMEA 结果分析
Tab. 9 Result analysis of improved PFMEA

工序	潜在失效模式	结论等级值	累积结论等级值	累积频率/%	风险顺序
A1	钎焊不良	3.881	3.885 0	20	1
A6	螺栓松脱	3.192	7.077 0	37	2
A2	隔片倾斜	3.190	10.267 0	53	3
A4	主片插坏	3.037	13.304 0	69	4
A5	散热带掉落	2.987	16.291 0	85	5
A3	主片封盖偏移	2.961	19.252 0	100	6

进一步将表 9 结果绘制成帕累托图,如图 2 所示. 由图 2 可知:A1,A6,A2 和 A4 工序的失效占总失效频率的 69%,是产品失效的主要原因,应当优先采取措施预防风险.

3 结束语

在传统基于模糊层次分析法的 PFMEA 方法基础上,通过实际应用分析,进一步考虑专家的个人区别和所属职业或岗位对失效风险排序的影响,构建专家判断矩阵变化程度和专家分组后组别容量对权重的影响程度两大参数;科学合理地设定专家权重,避免将专家均一化处理所造成的问题. 所提方法在汽车空调冷凝器制造中开展实例应用研究,取得很好的效果. PFMEA 法作为一个动态的改进工具,需要根据过程的评审、预计和改进不断地循环使用,持续改进.

参考文献:

[1] 门峰,姬升启. 基于模糊集与灰色关联的改进 FMEA 方法[J]. 工业工程与管理,2008,13(2):55-59.
[2] 张得平. SHB 公司 PFMEA 的应用及改进研究[D]. 上海:华东理工大学,2013.
[3] 孙璐璐,周晓军,奚立峰. 基于 FMEA 的污水排放设备维护策略[J]. 工业工程与管理,2007,12(6):50-54.
[4] DINMOHAMMADI F,SHAFIEE M. A fuzzy-FMEA assessment approach for offshore wind turbines[J]. International Journal of Prognostics and Health Management,2013,4(S2):59-68.
[5] SELLAPPAN N,PALANIKUMAR K. Modified prioritization methodology for risk priority number in failure mode and effect analysis[J]. International Journal of Applied Science and Technology,2013,3(4):27-36.
[6] 盛精,王君,罗善明. 采用模糊理论的零部件工艺 PFMEA 评估[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2015,36(6):609-614.
[7] BOWLES J B,PELAEZ C E. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure modes, effects and criticality analysis[J]. Reliability Engineering and System Safety,1995,50(2):203-213.
[8] 杜晗恒,彭翀. 基于模糊 TOPSIS 的 FMEA 方法[J]. 北京航空航天大学学报,2016,42(2):368-374.
[9] 王浩伦,徐翔斌,甘卫华. 基于三角模糊软集的 FMEA 风险评估方法[J]. 计算机集成制造系统,2015,21(11):3054-3062.
[10] 安相华,于靖博,蔡卫国. 基于混合多属性决策和关联分析的模糊粗糙 FMEA 评估方法[J]. 计算机集成制造系统,2016,22(11):2613-2621.
[11] 耿秀丽,张永政. 基于犹豫模糊集的改进 FMEA 风险评估方法[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(2):340-348.

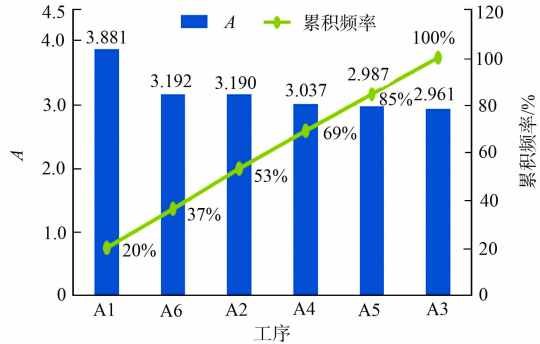


图 2 产品失效的主要原因分析
Fig. 2 Analysis on main causes of product failure

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 吴逢铁)