

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.04.018

基于 FTA 和 FMEA 的洗碗机关键硬件设计模糊评估

张莉莉, 陈进, 甄文冬

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

摘要:某商用洗碗机存在产品设计评估范围精准性差及应用有局限性等缺点,课题组提出了基于 FTA 和 FMEA 的模糊评估模型,同时以喷淋结构设计评估为示例验证。课题组所提出的评估方式采用梯形模糊数为严重度、发生率和探测度来定义评级标准,并引入矩阵法来衡量 FMEA 风险排序;通过数据累加将相关联的潜在失效模式定位至产品设计关键部件。示例评估结果与实际情况符合。课题组所提出的评估模型对商用洗碗机关键硬件设计评估是准确而有效的,可推广至其它产品硬件设计质量评估,帮助企业高效完成产品设计评估。

关键词:洗碗机;质量控制;故障树分析(FTA);潜在失效模式和影响分析(FMEA);模糊数;矩阵法,设计评估
中图分类号:TM925;TP183 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2895(2019)04-0094-06

Fuzzy Evaluation of Key Hardware Design of Dishwasher Based on FTA and FMEA

ZHANG Lili, CHEN Jin, ZHEN Wendong

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: Research projects' group took the evaluation of key hardware design of a commercial dishwasher as the research object. Considering the shortcomings of poor accuracy and limited-application of product design evaluation scope at present, a fuzzy evaluation model was put forward based on FTA and FMEA, and spray structure design evaluation was taken as an example to verify. Due to the poor accuracy, lack of logical rules, low sensitivity and repeatability of risk priority RPN ranking in FMEA, the evaluation method proposed in this paper used trapezoidal fuzzy numbers S , O , D to define the rating standards, and matrix method was introduced to measure FMEA risk ranking, and the associated potential failure modes were located to the key components of product design through data accumulation. The evaluation result of the example is in accordance with the actual situation. Therefore, the evaluation model proposed in this paper is accurate and effective for evaluating the key hardware design of commercial dishwashers, and can be extended to other products to evaluate the quality of hardware design and help enterprises effectively complete product design evaluation.

Keywords: commercial dishwasher; quality control; FTA (Fault Tree Analysis); FMEA (Failure Mode and Effects Analysis); fuzzy numbers; matrix approach; design evaluation

洗碗机在国外市场已活跃近百年,但在中国正处于蓬勃发展阶段。随着人力成本增加,商用洗碗机市场更为活跃^[1]。现阶段对于洗碗机的研究集中于控制系统和市场行情方面,而对洗碗机设计质量评估研

究较少。

据统计,产品设计对产品品质的提升度可达 70%~80%^[2]。Chin 等^[3]和王美清等^[4]着重研究了产品概念设计的潜在失效模式和影响分析(failure mode

收稿日期:2018-12-26;修回日期:2019-02-15

第一作者简介:张莉莉(1991),女,山东莱阳人,硕士研究生,主要研究方向为管理信息系统与企业信息化。通信作者:陈进(1958),男,教授,主要研究方向为制造自动化。E-mail:497533734@qq.com

and effects analysis, FMEA) 评价方法。此类研究是计算每个部件的失效风险,因此失效范围扩大了,同时还增加了分析难度,不利于实际工程应用。常用的公理设计和物理规划等更侧重对设计人员的辅助^[5],对跨部门协作起到了限制作用。而故障树分析(fault tree analysis, FTA)和 FMEA 同为管控质量的工具,多个部门都可以使用。FTA 和 FMEA 常被一起使用^[6-8]。

在产品评估当中,FTA 可更精准定位失效,FMEA 则可以突出跨部门作业的优势。但 FMEA 的风险优先数 N_{RP} 存在排序准确性差、缺乏逻辑规律、灵敏度低和重复性等不足之处,因此被着重研究。

笔者根据实际课题需求——洗碗机关键硬件设计评估,结合现有研究提出了基于 FTA 和 FMEA 的产品设计模糊评估,主要应用于某中小型洗碗机制造厂商的设计产前评估。

1 产品硬件设计综合建模的基本原理

1.1 FTA 相关理论

FTA 是分析和管控质量问题的主要工具,以逻辑图形式展示可能导致系统失效的各种失效组合。通过求解故障树的最小割集、顶事件发生概率以及底事件重要度为 FTA 提供定性和定量分析依据。

底事件重要度分析一般含概率重要度、结构重要度和关键重要度。在产品评估时,为降低顶事件的潜在失效概率,依据底事件(部件)的关键重要度排序做优先改进。

假设事件仅考虑故障和正常状态,此时 FTA 构建的结构函数可以用布尔代数运算法则求解。由经验可知,底事件发生概率小于 0.1 时,可使用独立近似求解顶事件概率:

$$P(T) = 1 - [1 - P(F_1)] \cdot [1 - P(F_i)] L[1 - P(F_n)] \quad (1)$$

式中: $P(T)$ 是顶事件 T 的发生概率, $P(F_i)$ 是最小割集 $F_i (i=1, 2, L, n)$ 的发生概率。

底事件关键重要度为:

$$I_j = (P(f_j)/P(T)) \cdot (\partial P(T)/\partial f_j) \quad (2)$$

式中 $I_j (j=1, 2, L, k; k \geq n)$ 是底事件 f_j 的关键重要度。

1.2 FMEA 相关理论

FMEA 是系统化预防质量事故的重要工具,分析目标的潜在失效模式并提出相应的改善建议。FMEA 可从系统、设计及制造等方面进行研究和应用,其中制造 FMEA 应用最为广泛,设计 FMEA 对产品质量控制效果最佳。

FMEA 风险优先数 N_{RP} 为: $N_{RP} = S \cdot O \cdot D$, 其中 S

为严重度, O 为发生率, D 为探测度。通用标准 $S, O, D \in [1, 10]$, 可根据实际需求新定义数字量级。 S 和 D 主观性强, 优先处理 S 和 N_{RP} 数值大的值(目前制造 $N_{RP} > 100$ 应采取措施), 以及优先处理被指定失效模式。目前主要研究手段集中于评价标准模糊化和风险因子多元化。

1.3 梯形模糊数

现有工程研究对不够明确的信息常引用模糊思维和理论, 其中三角模糊数^[9-10]应用较多。因三角模糊数结构相对简易, 可导致模糊决策偏差明显, 笔者采用了稳定性更高的梯形模糊数^[11]¹⁹³ 构建模糊评价模型。

笔者采用梯形模糊数对 FMEA 的相关指标进行模糊化设计。设 X 是某指定论域的实数集, $x = (a, b, c, d)$ 是某梯形模糊数, 其中 a, b, c 和 d 均属于实数集 X 。梯形模糊数的隶属函数表达式可参照下式:

$$\mu(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & x \in [a, b]; \\ 1, & x \in [b, c]; \\ (x-d)/(c-d), & x \in [c, d]; \\ 0, & x \notin [a, d]. \end{cases} \quad (3)$$

假设 $x_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ 和 $x_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$, 则梯形模糊数间常见运算规则^[11]¹⁹⁴ 可做以下示例:

$$x_1 \oplus x_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2); \quad (4)$$

$$x_1 \otimes x_2 = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2, d_1 \times d_2); \quad (5)$$

$$x_1 \div x_2 = (a_1/a_2, b_1/b_2, c_1/c_2, d_1/d_2). \quad (6)$$

对于模糊数的排序需将其去模糊化处理, 笔者采用了最有代表性的重心算法, 其对应的去模糊化值 x_c 计算如下:

$$x_c = \frac{\int_a^d x dS}{S} = \frac{(d^2 + cd + c^2) - (b^2 + ab + a^2)}{3(d + c - b - a)}. \quad (7)$$

1.4 基于矩阵法的风险评估

课题组构建的模型属于多属性决策模型。多属性决策可溯源于组合数学, 以图论和矩阵法为基础。Liu 等^[12] 和 Baykasoglu 等^[13] 在研究中对基于图论和矩阵法的多决策过程进行了介绍, 证明了矩阵永久式值在保证信息完全利用情况下衡量决策的可行性。这确保了其在决策过程的使用。

课题组引入了矩阵法的永久式值来衡量 FMEA 风险评估, 以避免传统 FMEA 的 N_{RP} 风险等级评价的固有问题。文中所构建的风险因子矩阵考虑了 S, O 和 D 3 者的关联性, 结合模糊数以 Glynn^[14] 的 3×3 矩阵为示例, 对矩阵 $\xi_{3 \times 3}$ 及其永久式 $\text{Per}(\xi_{3 \times 3})$ 求解:

$$\xi_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} \end{pmatrix}; \quad (8)$$

$$\text{Per}(\xi_{3 \times 3}) = x_{11}x_{22}x_{33} + x_{21}x_{32}x_{13} + x_{31}x_{12}x_{23} + x_{11}x_{32}x_{23} + x_{21}x_{12}x_{33} + x_{31}x_{22}x_{13} \circ \quad (9)$$

式中 $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ 为某梯形模糊数, $i, j \in (1, 2, 3)$ 。

根据 Koulouriotis 等^[15]的研究, 当 $x_{ij} = (1, 1, 1, 1)$ 时, 设 $w_{ij} = (w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4})$ 为权重换算值, 其是个中间值; x_{mn} 和 x_{nm} [$m \neq n$, 均 $\in (1, 2, 3)$] 代表了不相同的风险因子两两之间关联性, 求解如下式:

$$x_{mn} = \frac{\frac{w_{mn}}{w_{mn4} + w_{nm4}}}{\text{Per}(\frac{w_{mn}}{w_{mn4} + w_{nm4}}) + \text{Per}(\frac{w_{nm}}{w_{mn4} + w_{nm4}})}; \quad (10)$$

$$x_{nm} = \frac{\frac{w_{nm}}{w_{mn4} + w_{nm4}}}{\text{Per}(\frac{w_{mn}}{w_{mn4} + w_{nm4}}) + \text{Per}(\frac{w_{nm}}{w_{mn4} + w_{nm4}})} \circ \quad (11)$$

其中

$$w_{ij} = \frac{x_{ij} / (\sum_{i,j=1,2,3} d_{ij})}{\text{Per}(x_{ij} / (\sum_{i,j=1,2,3} d_{ij}))} \circ \quad (12)$$

2 基于 FTA 和 FMEA 的产品设计模糊评估建模

课题组结合已有研究和实际应用需求, 针对机械产品硬件设计评估提出了基于 FTA 和 FMEA 的模糊评估模型, 基本流程如图 1 所示。

对图 1 所对应的步骤展开详情如下:

1) 确定需评估的产品设计对象。

2) 根据历史记录和其他相关资料, 借助 FTA 将分析对象进一步故障定位, 得到潜在故障模式底事件 (设 f_j 表示第 j 个底事件, 即为潜在失效模式) 和最小割集。将潜在失效模式定位至产品设计部件, 计算底事件关键重要度以备后续验证模型结果。

3) 成立 FMEA 专家小组, 根据国际通用标准结合实际需求制定 FMEA 评估标准。设定专家胜任能力量化标准, 如表 1 所示。结合梯形模糊设定风险因子评级标准语言描述和模糊化, 如表 2 所示。另外建模过程注意各公式的使用。

4) 对潜在失效模式进行风险排序, 该过程可根据项目有无历史数据选择使用底事件关键重要度分析辅助验证。

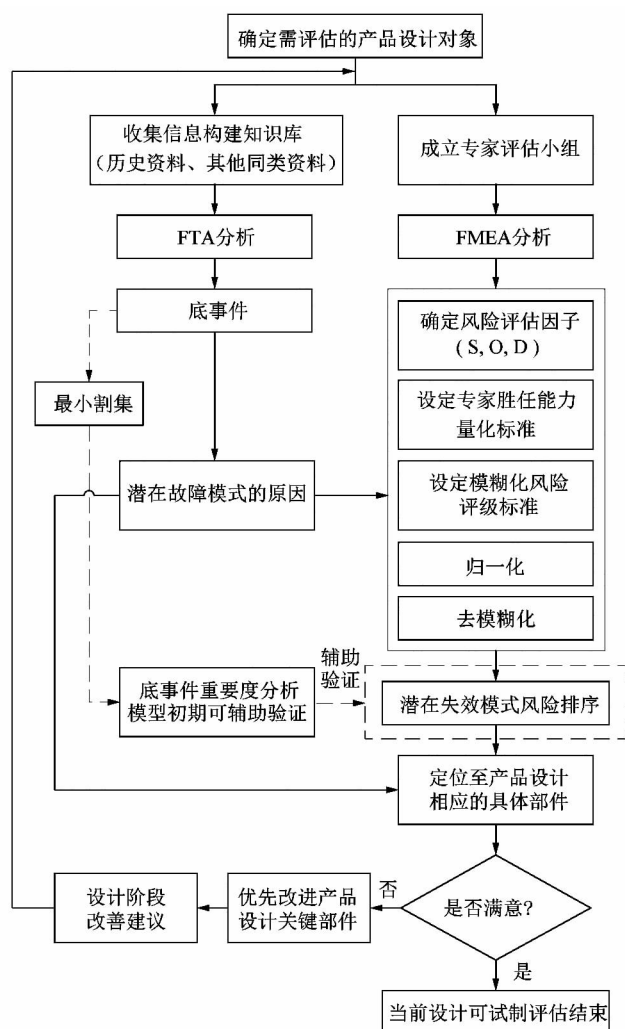


图 1 基于 FTA 和 FMEA 的模糊评估建模流程

Figure 1 Fuzzy Evaluation Modeling Process Based on FTA and FMEA

表 1 专家胜任能力量化标准

Table 1 Quantitative criteria of expert competence

相应权数	量化因素	
	工作年限	专业级别
1	5 年以内	初级操作人员
1	5 ~ 10 年	初级技术人员
2	10 ~ 19 年	中级操作人员
2	20 年及以上	中级技术人员
3	30 年以上	高级专家

5) 与传统风险排序的单一化相区别, 设计评估更注重关键部件。某一部件可存在多种潜在故障模式, 设计评估优先考虑该类部件。

6) 若以上分析经过专家小组评估满意当前设计则可试制, 该阶段评估结束; 否则, 专家小组将给出优先改进关键部件建议, 设计人员改动后产品设计再进行步骤 2) 循环至满意当前设计为止。

表2 风险因子评级标准语言描述和模糊化

Table 2 Language description and fuzziness of risk factor rating standards

模糊级别	模糊数	风险因子评级标准语言描述		
		严重度 S	发生率 $O \times 10^{-3}/\text{个}$	探测度 D
很低	(0.0, 0.0, 0.0, 0.2)	失效对系统无功能影响,验收和消费者不能察觉。	[0.000, 0.001]	设计过程可预防,例如选用最好的材料。
低	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)	失效轻微对系统无功能影响,验收和消费者可能察觉。	(0.001, 0.005]	可人眼目测且无需借助其他手段,如划痕、断裂等。
一般	(0.3, 0.4, 0.5, 0.6)	失效明显,系统仍能坚持工作;维修为首选处理方式。	(0.005, 0.010]	借助一般工具测量或需无损拆卸,例如游标卡尺等。
高	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	消费者反馈强烈,例如某部件未安装。	(0.010, 5.000]	借助精密仪器测量,例如测试材料摩擦系数。
很高	(0.8, 1.0, 1.0, 1.0)	失效引起系统无法后续工作/违反法规。	(5.000, +∞)	损坏性测量。

3 喷淋结构设计评估

某型号商用洗碗机的喷淋结构设计整体符合其基本功能规范,其喷淋结构包括上喷淋头管组件、上喷淋头组件、下喷淋头组件,共计 43 个部件。但由历史数据分析,并不是所有的部件都会发生失效。笔者结合上文构建的基于 FTA 和 FMEA 的产品设计模糊评估流程进行分析。

1) 确定对喷淋结构设计评估。

2) 通过与相关专家和设计人员的反复研究,收集一定历史资料的前提下,课题组借助 FTA 对某型号商用洗碗机喷淋结构设计的重要潜在失效模式进行分析,其中以“喷淋结构工作异常”为顶事件 T 做示例。

图 2 中 $A_i (i=1,2,L)$ 为中间事件,由图 2 分析得 T 的最小割集即为对应的底事件 $\{f_1\}$ 、 $\{f_2\}$ 、 $\{f_3\}$ 、 $\{f_4\}$ 、 $\{f_5\}$ 、 $\{f_6\}$ 、 $\{f_7\}$ 和 $\{f_8\}$,将收集到的历史故障概率代入公式(1)~(2),得到底事件关键重要度 I_j 及其排序,具体如表 3 所示。

表3 洗碗机喷淋结构 FTA 相关信息和数据

Table 3 FTA-related information and data of spray structure of dishwasher

底事件	潜在故障模式	对应部件	底事件关键重要度 I_j	排序
f_1	上喷头管架接口磨损	上喷头管架	5.569×10^{-4}	1
f_2	漂洗中心管柱受损	上喷头管架	5.200×10^{-4}	2
f_3	洗涤喷头焊接腐蚀	洗涤喷头	1.501×10^{-4}	5
f_4	螺母松动	螺母	2.653×10^{-4}	3
f_5	洗涤喷头堵塞	洗涤喷头	0.869×10^{-4}	8
f_6	漂洗喷嘴堵塞	漂洗喷头	2.178×10^{-4}	4
f_7	洗涤喷头翻边裂口	洗涤喷头	1.144×10^{-4}	7
f_8	法兰磨损	法兰	1.413×10^{-4}	6

3) FMEA 专家小组由 6 人组成,根据表 1 所示的量化标准经过归一化处理分别得到他们参与该次评估的权重为 0.083,0.083,0.167,0.208,0.292,0.167。

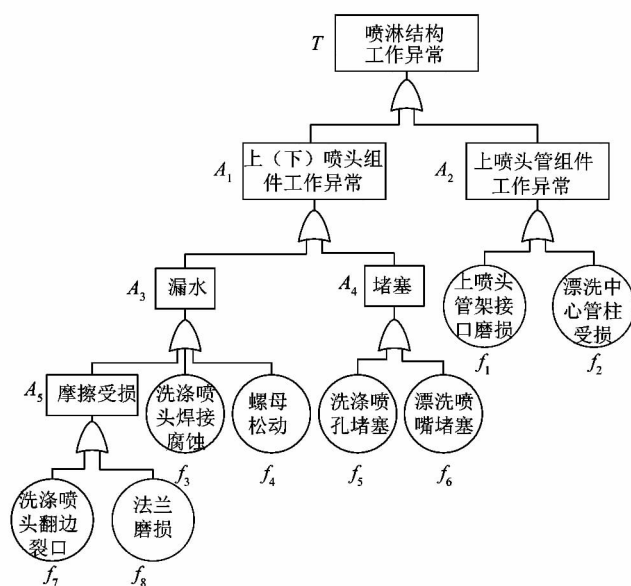


图2 洗碗机喷淋结构 FTA 分析

Figure 2 FTA of spray structure of dishwasher

根据表 2 得到的专家评分结合运算法则(4)~(6),权重赋值后得到风险因子 S 、 O 和 D 的模糊数分别为(0.425, 0.525, 0.625, 0.725); (0.317, 0.417, 0.517, 0.617)和(0.267, 0.367, 0.467, 0.567)。其中各因子间相互关系由公式(10)~(12)计算得到,如表 4 所示。

根据专家评分结合运算法则(4)~(6),专家权重赋值和归一化后得到各潜在故障模式相应的风险因子(S 、 O 和 D)模糊数,见表 5。

表 4 风险因子(S 、 O 和 D)相互关系可写成对应的矩阵。将表 5 的潜在故障模式 $f_i (i=1,2,L,8)$ 风险因子(S 、 O 和 D)分别代入矩阵中代替 $x_{ii} = (1,1,1,1)$,利用公式(9)求得潜在故障风险模糊数。经过公式(7)去模糊并排序,详情见表 6。

表 4 基于模糊数的风险因子相互关系

Table 4 Interrelation of risk factors based on fuzzy number

风险因子	严重度 S	发生率 O	探测度 D
严重度 S	(1.000,1.000,1.000,1.000)	(0.408,0.504,0.600,0.696)	(0.429,0.529,0.630,0.731)
发生率 O	(0.304,0.400,0.496,0.592)	(1.000,1.000,1.000,1.000)	(0.358,0.472,0.585,0.698)
探测度 D	(0.269,0.370,0.471,0.571)	(0.302,0.415,0.528,0.642)	(1.000,1.000,1.000,1.000)

表 5 喷淋结构的潜在故障模式风险因子模糊数

Table 5 Fuzzy number of risk factor for failure mode of spray structures

底事件	严重度 S	发生率 O	探测度 D
f_1	(0.610,0.746,0.814,0.881)	(0.230,0.350,0.470,0.590)	(0.389,0.522,0.656,0.789)
f_2	(0.534,0.644,0.737,0.831)	(0.120,0.220,0.320,0.460)	(0.600,0.733,0.867,1.000)
f_3	(0.424,0.525,0.627,0.729)	(0.380,0.500,0.620,0.740)	(0.122,0.244,0.367,0.511)
f_4	(0.381,0.483,0.585,0.686)	(0.660,0.800,0.900,1.000)	(0.144,0.244,0.344,0.511)
f_5	(0.788,0.983,0.992,1.000)	(0.100,0.200,0.300,0.440)	(0.106,0.211,0.317,0.478)
f_6	(0.750,0.932,0.953,0.975)	(0.280,0.400,0.520,0.640)	(0.078,0.156,0.233,0.422)
f_7	(0.597,0.729,0.801,0.873)	(0.150,0.250,0.350,0.490)	(0.189,0.322,0.456,0.589)
f_8	(0.432,0.534,0.636,0.737)	(0.180,0.300,0.420,0.540)	(0.300,0.433,0.567,0.700)

表 6 FMEA 模糊评估排序及建议

Table 6 FMEA fuzzy assessment ranking and suggestions

底事件	潜在故障风险模糊数	去模糊化	排序	建议
f_1	(0.274,0.632,1.167,1.932)	1.019	1	选择使用低摩擦系数材料
f_2	(0.263,0.597,1.115,1.913)	0.992	2	增加加强筋设计
f_3	(0.203,0.490,0.960,1.677)	0.851	6	优化焊接工艺或更换塑料设计
f_4	(0.250,0.571,1.062,1.842)	0.951	3	选择更优质螺母
f_5	(0.197,0.492,0.914,1.594)	0.816	8	增加过滤设计
f_6	(0.218,0.526,0.964,1.696)	0.870	4	提高预设除垢频率
f_7	(0.201,0.491,0.945,1.645)	0.838	7	取消翻边设计
f_8	(0.207,0.496,0.971,1.678)	0.856	5	选择使用低摩擦系数材料

4) 按照传统排序,并结合二八定律,根据常规的处理方式可以看出 FTA 和 FMEA 排序结果一致性较高;FTA 底事件关键重要度排序($f_1 > f_2 > f_4 > f_6 > f_3 > f_8 > f_5 > f_7$)与 FMEA 排序($f_1 > f_2 > f_4 > f_6 > f_8 > f_3 > f_5 > f_7$)进行对比,在排序的前 80% 当中 FTA 比 FMEA 的少了一个 f_8 ,而 2 者区别仅在于和的排序差异。

5) 课题组为了满足产品设计的评价,更侧重于产品设计部件的关键性定位。因此以数据累加方式得到部件关键性排序结果。

FTA:上喷头管架($f_1 + f_2$) > 洗涤喷头($f_3 + f_5 + f_7$) > 螺母(f_4) > 法兰(f_8) > 漂洗喷头(f_6)。

FMEA:洗涤喷头($f_3 + f_5 + f_7$) > 上喷头管架($f_1 + f_2$) > 螺母(f_4) > 漂洗喷头(f_6) > 法兰(f_8)。

6) 根据二八定律,FTA 和 FMEA 排序的前 80% 都包含上喷头管架、洗涤喷头、螺母。经过专家小组评审,该 3 者均属于此次设计评估优先改善的关键部件,且符合实际情况。

由于实际的产品设计评估更注重关键部件优化,因此本文最终的评估方式相比传统方式更具实用价值。后续优化主要参考设计人员对产品部件的进一步更改。此处由于篇幅限制不再演示。

4 结论

课题组根据某商用洗碗机的关键硬件设计评估需求,构建了 FTA 和 FMEA 产品设计模糊评估模型和流程。由喷淋结构设计评估示例,结合模型推导的关键部件定位与实际情况相一致,进一步验证了该评估建模流程的有效性,其对产品设计质量控制具有一定的应用价值。

课题组所提出的产品设计评估流程可推广应用,具体需结合不同产品的历史数据对模型的模糊标准重新设置,通过潜在故障模式风险排序找出该产品设计关键部件是否需要改进。若需要改进,改进后再评估至满意为止;若满意则评估结束,所评估设计可进行试制投产。

参考文献:

- [1] 于兆涛. 洗碗机:“中国化”改造见成效,市场迎来机遇期[J]. 电器,2017(1):46-48.
- [2] 张义民. 机械可靠性设计的内涵与递进[J]. 机械工程学报,2010,46(14):167-188.
- [3] CHIN K S, CHAN A, YANG J B. Development of fuzzy FMEA based product design system [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 36(7/8):633-649.
- [4] 王美清,唐晓青. 基于组件失效知识的结构组件优选方法[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(2):267-272.
- [5] 程贤福. 基于物理规划与信息公理的机械产品性能评价研究[J]. 机械科学与技术,2009,28(3):396-399.
- [6] BLUVBAND Z, POLAK R, GRABOV P. Bouncing failure analysis (BFA): the unified FTA-FMEA methodology [C]//Annual Reliability and Maintainability Symposium. Alexandria, VA, USA: IEEE, 2005:463-467.
- [7] 姚灿江,魏领会,王海龙. 基于 FTA 和 FMEA 的 RV 减速器可靠性分析[J]. 现代制造工程,2018(1):136-140.
- [8] 张氢,周兆伟,孙远韬,等. 基于 FMEA 和 FTA 的智能型制动器的失效分析[J]. 中国工程机械学报,2016,14(2):109-113.
- [9] LIU Huchen, LIU Long, LIU Nan. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: a literature review [J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(2):828-838.
- [10] 古莹奎. 基于 Cross_熵与 TOPSIS 的复杂系统失效模式与影响分析[J]. 中国安全科学学报,2016,26(1):31-37.
- [11] 唐晓青,王美清,段桂江. 产品设计质量保证理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2011:193-196.
- [12] LIU Huchen, CHEN Yizeng, YOU Jianxin, et al. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy digraph and matrix approach [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2016, 27(4):805-816.
- [13] BAYKASOGLU A. A review and analysis of “graph theoretical-matrix permanent” approach to decision making with example applications [J]. Artificial Intelligence Review, 2014, 42(4):575.
- [14] GLYNN D G. The permanent of a square matrix [J]. European Journal of Combinatorics, 2010, 31(7):1888.
- [15] KOULOURIOTIS D E, KETIPI M K. A fuzzy digraph method for robot evaluation and selection [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(9):11901-11910.

(上接第 93 页)

- [2] Focke & Co. Technische Dokumentation. Werkstatthandbuch shoulder box modell SSB [G]. Bremen: Focke & Co. Verpackungsmaschinen, 2015:217-219.
- [3] 胡波,周长江,任子文. 新型超高速包装机铝箔纸烟包推手装置建模与运动特性研究[J]. 烟草科技,2015,48(4):76-81.
- [4] 王雷华. 带式柔和推送机构及其在烟草机械应用的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2012:10-13.
- [5] 汤达伟,吴旭,方鑫. 基于 ANSYS 的烟组推手有限元分析和优化设计[J]. 烟草科技,2018,51(4):87-93.
- [6] 王永康. 材料力学[M]. 北京:机械工业出版社,2008:17-22.
- [7] KLEIN B. 轻量化设计:计算基础与构建结构[M]. 2 版. 陈力禾,译. 北京:机械工业出版社,2016:26.
- [8] 谢黎明,杨忠泮,靳岚,等. 铣车复合加工中心立柱高比刚度效能仿生设计研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2017(1):138-140.
- [9] 朱金波,王秋林,方辉,等. 构件比刚度结构效能提升设计方法及其应用[J]. 成都航空职业技术学院学报,2017,33(3):66.

[信息·简讯]

· 行业简讯 ·

西门子助力中国制药行业实现数字化转型

“2019 西门子制药行业峰会”于 6 月底在成都举行。作为西门子面向制药行业举办的年度行业盛事,本届峰会以“思考制药工业的未来”为主题,聚焦中国制药行业在当今宏观环境下面对的诸多变化和挑战,就制药企业数字化转型的探索与实践进行了深入讨论。

在本次峰会上,西门子的技术专家与现场 300 余位来自制药行业的最终用户、设计院、系统集成商和设备制造商分享了其面向未来的数字化研发成果和在模块化生产解决方案方面的最新进展,以及在国内外制药行业数字化实践的一系列成功案例。此外,在峰会的“专家论道”环节,与会者聆听了西门子客户和最终用户、合作伙伴、业界专家对制药行业数字化转型的现状以及未来走向的独特见解。

同时,西门子也在峰会上首次在中国市场全面展示了其基于网络的创新过程控制系统——Simatic PCS neo。作为过程行业首个基于网页方式接入的控制系统,Simatic PCS neo 为过程行业的数字化树立了新的标杆。Simatic PCS neo 是西门子一款全新的系统软件,支持用户在工程和运营领域开展基于网络的全球合作。通过使用安全的网络连接,用户可以通过访问网页随时随地访问所有信息。基于清晰的职责和授权管理,该系统可以支持任意数量的用户基于网络并行开展工作,而无需在本地安装软件。此外,用户只需点击几下鼠标即可访问各个应用程序,并可以方便、实时地在工程组态、监视与控制视图之间切换。

(张 彪)