

某型号吸油烟机可靠性设计分析

蔡茫 饶玉莎 杨敬豪

(美的集团股份有限公司 广东 佛山 528311)

摘要: 运用可靠性分析方法,对某型号吸油烟机进行了可靠性评审。针对高风险项目制定可靠性试验方案。对关键零部件、试制试产整机进行测试验证,有效识别了核心关键零部件的可靠性风险点,并通过失效分析与改进以降低关键零部件的维修率。通过后续的持续市场跟踪,确保问题关闭的有效性。从而减少了设计更改次数,缩短了开发周期,并有效提升了产品质量。

关键词: 吸油烟机; 可靠性规划; FBD&DFMEA; 可靠性试验

1 项目背景

吸油烟机作为日常家用电器,用户对吸油烟机的质量都有更高的要求。为提升产品的市场竞争力,立项开发一款新形态吸油烟机。产品企划书要求可靠性目标:产品设计寿命10年,上市后首年故障率7444ppm。

2 可靠性设计分析工作概述

项目可靠性设计分析的主要工作内容包括:针对可靠性目标进行可靠性评审,包括产品设计规格书转化、可靠性规划、FBD及DFMEA分析;针对高风险项目制定可靠性试验方案及对关键零部件、试制试产整机进行测试验证。

3 可靠性设计要求

应用可靠性管理和技术方法,识别继承物料可靠性风险点及新设计方案的失效模式和影响,设计应对方案和验证方法。以达成产品设计寿命10年,整机和零部件商业包修时长6年,上市后首年故障率7444ppm的立项目标。确定关键零部件及验证试验,进行寿命测试评价及故障率测试评价。

通过可靠性规划进行可靠性风险点识别,确定关键零部件,明确可靠性设计和控制的重点,提高关键零部件的可靠性。通过FBD进行功能结构图构建,利用界面影响矩阵分析识别出的风险项。通过DFMEA分析,分析可能的失效模式及造成的影响,评估失效影响的严重度,分析引起该失效模式的根因/机理;并根据设计预防措施及历史故障表现,评估发生度,根据当前检测控制手段,评估难测度,针对重点风险提出设计对策或针对性/差异化验证方案。

4 可靠性设计分析具体步骤

根据总体要求,依据产品企划书撰写产品设计规格

书,实施可靠性规划,同时进行FBD&DFMEA分析,确定薄弱环节,并制定可靠性试验方案。

4.1 产品设计规格书转化

组织相关项目成员在产品企划书的基础上,转化编制产品设计规格书。产品设计规格书包括对产品设计及操控规格、合规与安规、仓储物流规格、使用环境规格、用户使用习惯规格、售后规格好可制造性规格等方面的全面描述。

4.2 可靠性规划

可靠性规划包括可靠性风险点、可靠性目标/方案、高风险环境因素、关键跟踪工作项目、关键活动计划和可靠性综合评价。

4.2.1 可靠性风险点

进行继承机型2~3年整机累计市场维修率分析。梳理整机占比 $\geq 80\%$ 维修率零部件,并描述主要失效问题如表1所示。

4.2.2 可靠性目标/方案

根据产品企划书需求,梳理整机可靠性目标,其中整机设计寿命为10年,整机的核心功能运行寿命为5475h。整机预计目标年平均故障率FCR为7444ppm。

4.2.3 关键跟踪工作项目

针对继承机型占比 $\geq 80\%$ 零部件/组件风险内容进行根因分析,设计应对方案和验证方法,并跟踪整改闭环情况。具体设计应对方案及验证方法如表1所示。

4.2.4 可靠性综合评价

对加速后的试验时间 $\geq 2000\text{h}$ 的寿命试验,投产鉴定时要求寿命试验时间达到: $1/3 \times$ 寿命试验时间;上市决策时要求寿命试验时间达到: $2/3 \times$ 寿命试验时间。

对加速后的试验时间 ≥ 2000 小时的故障率试验,投产鉴定要求故障率验证试验累计试验台时时间 $\geq 1/3 \times$ 试验计划总台时,且所有A/B类问题必须闭环;上市决策时要求故障率验证试验累计试验台时时间

表 1 继承机型占比 ≥80% 零部件 / 组件及主要失效问题

风险内容 / 项目	风险点对应的根因分析	设计应对方案	验证方法 (差异化 / 针对性)
射灯不亮	灯线与 PCB 板之间焊接时间不足, 导致假焊	① PCB 焊点时间由 2.0s 调整为 2.5 ~ 3.0s; 产品进行老化测试, 在下灯时增加连接线检查动作, 确保连接线可靠; 组装车间在锁螺丝、点亮测试时增加电源线焊接可靠性检查; ② 生产引线口位置用热熔胶密封, 避免焊点焊接不良	模拟运输及跌落
烟管脱落 (烟管故障)、烟管不良	① 铝箔材料太薄; ② 粘胶长度不够; ③ 钢丝强度不足	① 增加铝箔原材料宽度, 从 50mm 更改至 56mm; ② 铝箔粘胶重合尺寸从 14.5mm 增加至 26mm; ③ 钢丝直径从 1.0mm 更改至 1.1mm; ④ 溶剂: 胶水比例由 1:1 更改至 1:1.1	① 高温环境下粘力对比测试; ② 耐破、脱离力测试
蒸汽发生器故障	① 水泵线圈支架无倒角; ② 蒸汽发生器纳垢能力不足; ③ 发热体结构导致导热不良; ④ 低温水泵内部水变冰, 体积变大, 导致水泵内部破裂	① 水泵线圈支架增加倒角; ② 流道更改为迷宫式流道; ③ 发热体与温控器传热结构更改, 直接换热; ④ 提高水嘴模具温度, 提高材料韧性	① 寿命测试; ② 低温破裂测试

≥ 2/3 × 试验计划总台时, 且所有 A/B 类问题必须闭环 (其中, A 类问题指关键质量特性不符合规定, 可能导致安规安全、合规问题或整机功能丧失。B 类问题指重要质量特性不符合规定, 可能严重影响最终产品使用性能和降低最终产品寿命)。

4.3 FBD&DFMEA 分析

DFMEA (设计失效模式及影响分析) 是在产品设计阶段, 对构成产品的子系统、零件逐一进行分析, 识别所有潜在的失效模式, 并分析其可能的影响后果, 从而预先采取必要的措施, 以提高产品的质量和可靠性。

4.3.1 准备 FBD & 功能结构树

每一个产品都是由若干系统组成, 而系统是元素与关系的集合^[1]。

本产品分为抽烟系统、控制系统、照明系统、结构和外观系统以及清洗系统。每个系统又包含若干子系统。各系统之间由物质流 (水、空气等)、信息流 (电控制信号、光控制信号、无线电信号等)、能量流 (电能、热能等) 连接。功能框图 FBD 及整机爆炸图见图。

4.3.2 FBD 界面影响矩阵

通过 FBD 界面影响矩阵分析组件之间的内部应力与外部应力的关系。识别产品全生命周期中各种内外部应力是否对产品各组件产生影响。本项目的 FBD 界面影响矩阵如表 2 所示。

4.3.3 DFMEA (设计失效模式及影响分析)

参考“FBD 功能结构树”与“FBD 界面影响矩阵”, 将在功能结构树中识别出的风险项 (重点针对四新、变更、继承高风险) 体现在 DFMEA 表中; 对 FBD 界面影响矩阵

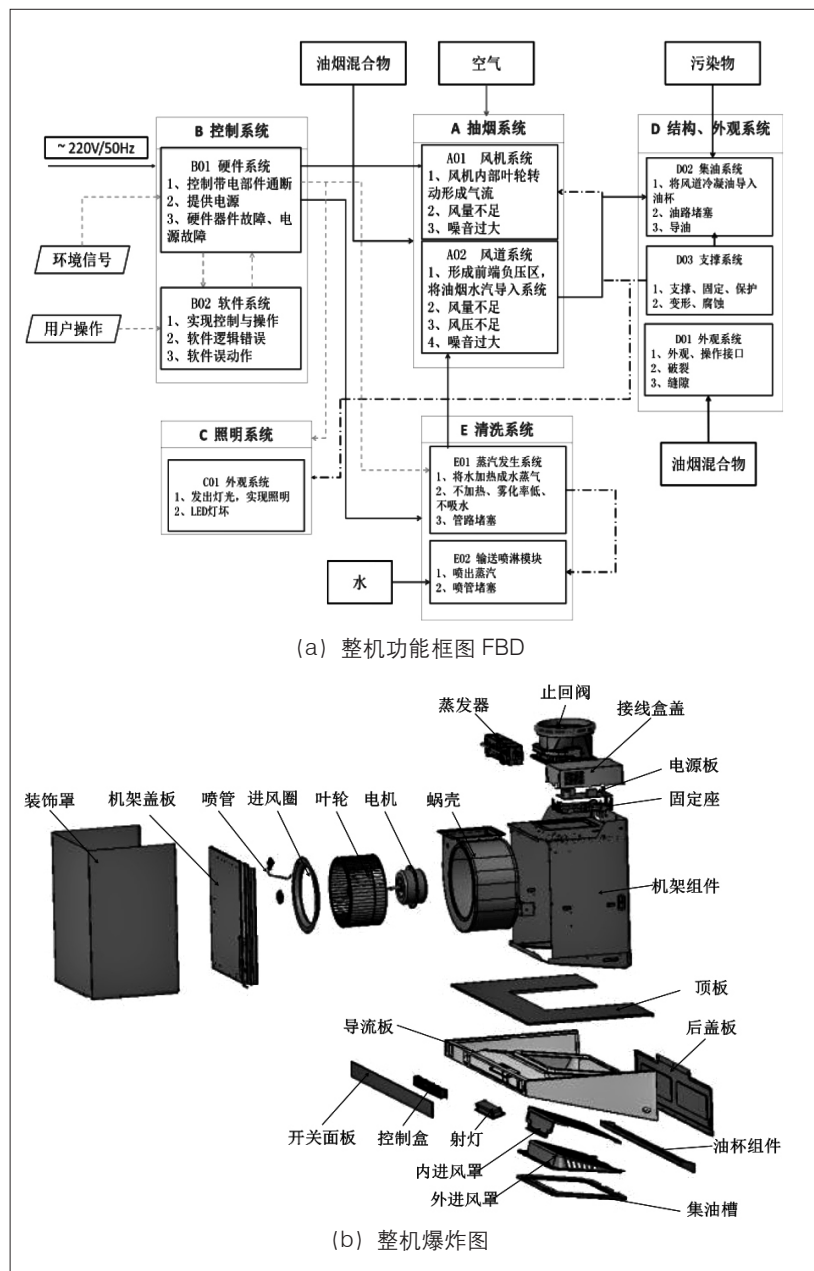


图 功能框图 FBD 及整机爆炸图

中识别出的内外部因素及影响，在其失效根因 / 机理中进行说明。

通过 RPN 评分来筛选改善的对象。当严重度 $S \geq 9$ 时，必须安排有效的整改措施，且经过充分的验证与评审；RPN 值排前 5% 位或 $RPN \geq 100$ 时，或当严重度 $S \geq 7$ 时需提出整改建议和改善对策。

4.4 可靠性试验方案

可靠性试验是为了解、分析、提高、评价产品的可靠性而进行的工作的总称。主要目的和作用在于：发现产品在设计、元器件、零部件等方面的各种缺陷和故障；验证研发和生产的产品是否符合可靠性要求；为评估和改进产品可靠性提供信息^[2]。

本项目针对吸油烟机制定如下可靠性试验方案：故障率验证试验、寿命（耐久性）试验、环境试验 & 异常

试验（不超过 168h）。

4.4.1 故障率加速模型及计算

根据 GB 5080.4^[3] 设备可靠性试验，本项目重点验证整机系统运行故障率。可靠性验证试验方案采用定时截尾的方案，试验计算单侧置信区间。为简化计算，试验方案中样品可替代，即试验失效后需修复或替换新样品。

平均故障间隔时间：

$$MTBF = 2T/x^2(\alpha, D_F) = 2 \times (A_F \times T_1) / x^2(\alpha, 2r+2) = 2 \times (A_F \times nt) / x^2(\alpha, 2r + 2)$$

预期试验时间：

$$t_1 = MTBF \times x^2(\alpha, D_F) / (A_F \times 2n) = MTBF \times x^2(\alpha, 2r + 2) / (A_F \times 2n)$$

式中： n - 试验样品数；

表 2 FBD 界面影响矩阵

应力源	应力类型	影响因素 / 应力	功能模块 / 组件												
			风机系统	风道系统	电源板模块	触控显示模块	油烟传感器模块	照明灯模块	外观系统	集油系统	支撑模块	蒸汽发生模块	输送喷淋模块		
			其他	其他	其他	变更	其他	其他	变更	其他	其他	其他	其他		
外部应力	气候环境	温度								有					
		湿度								有					
	机械环境	振动	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	
		冲击	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	
	电应力环境	电压	有		有	有	有	有					有		
		电磁干扰	有		有	有	有	有					有		
	生化环境	霉菌													
		盐雾	有	有	有	有	有	有	有	有			有	有	
油污		有	有			有	有	有	有			有	有		
介质环境	水质														
其他环境	油烟环境	有	有				有	有	有	有			有		
应力源	名称	功能描述													
内部应力	风机系统	产生负压													
	风道系统	排烟	有												
	电源板模块	电源管理及控制	有			有			有				有		
	触控显示模块	接收交互输入，显示运行状态	有				有								
	油烟传感器模块	检测油烟浓度	有		有										
	照明灯模块	照明													
	外观模块	外观装饰													
	导油模块	引导油							有						
	支撑模块	固定部件		有							有	有		有	有
	蒸汽发生模块	产生蒸汽													有
输送喷淋模块	输送蒸汽														

t - 试验时间;

T_1 - 加速试验累计的总时间, $T_1 = n \cdot t$;

T - 等效累计试验时间, $T = A_F \cdot T_1$;

A_F - 试验加速系数;

r - 试验中的失效数量;

χ^2 - 卡方分布, EXCEL 中采用 CHIINV 函数计算;

D_F - 自由度, $D_F = 2r + 2$ (定时截尾);

α - 可接受的错误风险, $\alpha = 1 - \text{置信度}$ 。

根据产品企划书最低验证年平均故障率 FCR=7444ppm, 计算出故障率试验时间为 $t_1=1232\text{h}$ 。

4.4.2 寿命(耐久性)试验

烟机每天使用 1.5h, 每年使用 547.5h。设计寿命为 10 年。故整机运行寿命为 $T=5475\text{h}$ 。根据加速试验模型, 整机寿命试验时间为:

$$t_2 = T \times K / A_F$$

式中: T - 整机运行寿命时间;

K - 经验修正系数^[4], 取 $K=1.2$;

A_F - 加速系数 (综合 A_F 计算: $A_F = A_{F\text{温度}} \times A_{F\text{湿度}} \times A_{F\text{温度循环}} \times A_{F\text{开关机}} \times A_{F\text{负载}} \times A_{F\text{其他}}$), 根据计算得 $A_F=4.8$ 。寿命试验样品数量 10 台, 加速寿命试验时间 $t_2=1368\text{h}$ 。

本项目还针对控制板进行寿命(耐久性)试验。针对控制板进行的重点验证项目包括: 高温高湿偏置 (THB) 寿命(耐久性)试验 (轻载, 温度 85°C , 湿度 $85\%\text{RH}$, 寿命试验时间 1000h) 和温度循环寿命(耐久性)试验 (额定负载, -20°C (30min), 60°C (30min), $1^\circ\text{C}/\text{min}$, 100Cycles)^[5-10]。

4.4.3 环境试验 & 异常试验

将不超过 168h 的试验列入环境试验 & 异常试验项目。根据吸油烟机工作环境和运输存储状态, 分别进行油路测试 (模拟用户连续使用五年完成 6000ml 油路试验, 样机无漏油现象; PCB 板、机体背板、导流板内表面及蜗壳外表面 (除安装密封圈周边外)、机架与止回阀座周边应无漏油痕迹); 加强跌落 (加强跌落验证叶轮是否变形、是否能够正常运转); 高低温贮存 (整机放置于 $70^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 的环境中贮存 24h; 整机放置于 $(-40 \pm 3)^\circ\text{C}$ 的环境中贮存 24h); 油网拆卸寿命测试 (可拆部件集油槽拆卸耐久测试)^[5-10]。

5 结语

该项目根据产品企划书要求, 将产品企划书转化产品设计规格书、可靠性规划, 同时进行 FBD&DFMEA 分析, 确定薄弱环节, 并制定可靠性试验方案。加强质量管控, 以达成可靠性指标。该新品历史机型市场维修率 11452ppm, 整改后维修率 7226ppm, 达成维修率目标 7444ppm; 可靠性设计及方案的有效实施, 减少了开发的后期变更、有效持续跟踪和改进, 降低了产品售后成本。

参考文献:

- [1] 谭跃进, 陈英武, 罗鹏程, 等. 系统工程原理: 第二版 [M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1-3.
- [2] 李良巧. 可靠性工程师手册: 第二版 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2017: 152.
- [3] 国家标准局. 设备可靠性试验 可靠性测定试验的点估计和区间估计方法 (指数分布): GB 5080.4-1985 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.
- [4] 姜同敏. 可靠性与寿命试验 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 269-274.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. 产品加速试验方法: GB/T 34986-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 6-37.
- [6] 中国国家标准化管理委员会. 吸油烟机: GB/T 17713-2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1-25.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 A: 低温: GB/T 2423.1-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-5.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局. 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 B: 高温: GB/T 2423.2-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-6.
- [9] 国家技术监督局. 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Ea 和导则: 冲击: GB/T 2423.5-1995 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995: 1-8.
- [10] 国家技术监督局. 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Ed: 自由跌落: GB/T 2423.8-1995 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995: 1-3.