

# 基于 DFMEA 的汽车风噪性能开发应用

付年<sup>1</sup>, 刘任权<sup>2</sup>

(1.上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州 545007; 2.柳州锐玥科技有限公司, 广西 柳州 545007)

**摘要:** 现代汽车的风噪与造型、密封结构等零件关系较大, 而利用设计失效模式及后果分析 (DFMEA) 工具的风险预防和质量控制, 能系统地体现以往车型开发中出现的故障失效模式, 统计故障发生的零部件, 进而总结开发经验, 对开发过程中的问题起到借鉴作用, 同时对开发过程实施闭环控制, 有效提升质量。文中采用 DFMEA 结构框架指导某款车型的开发过程, 控制整车风噪性能的开发。

**关键词:** 汽车; 风噪性能; 设计失效模式及后果分析 (DFMEA); 闭环控制

**中图分类号:** U461.99

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2021)01-0005-04

现代汽车的风噪是车辆在高速行驶时车内噪声的主要表现, 是客户购车时体验的一项主要感知性能。针对整车风噪, 开发过程中不仅需要前期对造型进行约束, 还需要对风噪相关零部件进行结构设计。风噪性能开发中, 如果将设计失效模式及后果分析 (Design Failure Mode and Effects Analysis, DFMEA) 作为质量预防管控工具, 可在早期发现并预防潜在问题的发生, 通过分析风噪性能相关产品设计要素的失效模式、后果及原因, 找到降低风噪的改进措施, 从而降低质量风险, 避免付出更多成本。该文以某款外观全新设计、底盘为平台化的车型为研究对象, 通过 DFMEA 工具的应用, 对风噪性能开发过程进行闭环控制, 实现整车风噪性能目标。

## 1 DFMEA 工具在整车风噪开发中的结构

风噪性能开发中的任何疏漏都可能在不同程度上影响顾客的使用舒适性, 风噪性能开发同样强调在前期预防质量风险。

### 1.1 DFMEA 简介

DFMEA 是一个设计概念形成之前应用的一种风险分析方法。作为风险评估工具, DFMEA 是一种识别潜在影响严重性的方法, 并为采取减轻风险的措施提供输入, 在尽可能避免失效发生的情况下实现其设计功能。

DFMEA 的框架结构主要分为 5 个部分, 分别为组织机构建立和团队会议记录、调研以往的失效模式、系统框图、功能关系矩阵图和 DFMEA 表格, 其中 DFMEA 表格为核心内容 (见图 1)。

### 1.2 DFMEA 在整车风噪性能开发中的应用框架

整车风噪开发和整车项目开展同步。从项目启动直到产品批量上市, 一般需经历项目立项、项目启动、设计冻结、试生产、批量上市等重大节点。其中: 项目启动之前到造型冻结是风噪外形约束条件与造型沟通的时期, 也是控制与车身外观相关的风激噪声的阶段; 之后外造型冻结, 进入审核数据阶段, 这也是控制密封与隔音性能的阶段; 后续则对风噪性

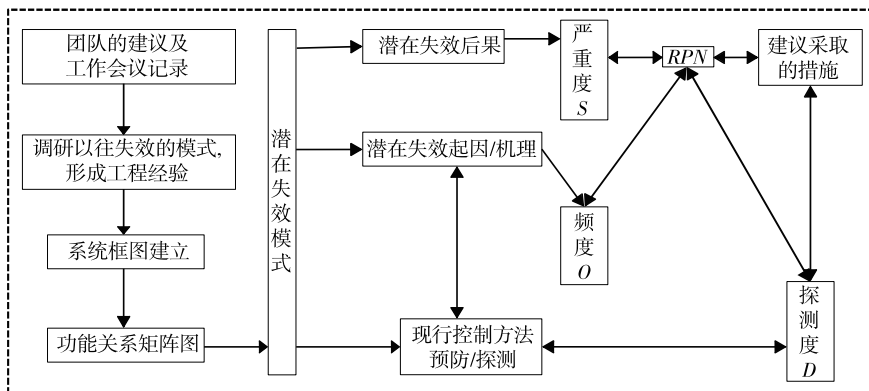


图 1 DFMEA 工具过程简图

能进行验证与改进。

DFMEA 工具与项目开发过程的结合可归纳为规划、实施、维护 3 个阶段,在项目中的开展时机见图 2。

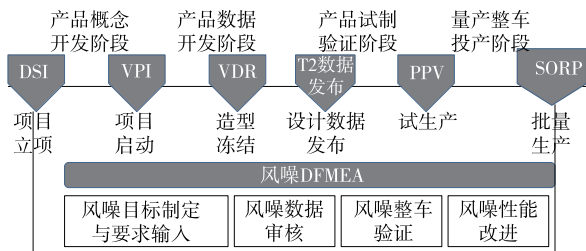


图2 DFMEA在风噪开发中的应用简图

(1) 规划阶段。首先是创建团队,完成对以往项目中失效模式的收集、原因分析和记录,并将与造型和零部件相关的要求输入给责任人。同时定义DFMEA分析范围和边界条件,完成风噪系统框图创建和功能关系矩阵。

(2) 实施阶段。该阶段主要是对 T2 数据进行 CAE 分析和数据审核,体现在 DFMEA 表中的现有设计控制内容及探测度、失效模式分析。这部分是 DFMEA 的主要内容。

(3) 维护阶段。该阶段保持对 DFMEA 的持续关注及更新,并将后续解决的实车风噪问题更新到 DFMEA 进行归档。

## 2 基于 DFMEA 的风噪闭环控制方法

目前,DFMEA 已在汽车行业得到较广泛的应用,但在整车性能开发中应用较少,主要原因是未将 DFMEA 和研发阶段的开发流程紧密结合,没有发挥 DFMEA 预防控制的作用。由于整车风噪控制牵涉到造型和较多零部件,而对风噪的要求只是其中一部分,将相关零部件按照系统框图划分的重要度顺序依次进行分析、预防。

### 2.1 第一个闭环:前期规划及要求输入阶段

DFMEA 的第一个闭环活动发生在项目立项后不久,也就是 T1 阶段 A 面数据的发布。因为与整车风噪相关的造型在前期都会有不同程度的体现。

这一阶段的目的是保证主要失效模式能及时被识别出来,并能有效地将对造型的约束传递给造型设计人员,预防后续造型出现对风噪不利的重大失效模式。这个不是 DFMEA 表格的直接内容,却体现在 DFMEA 工具第五部分的表格中的要求/规范栏里。在编写 DFMEA 之前,这部分工作就是项目

开发中风噪要求的输入。在这份要求输入的文件里,除对造型的要求外,还有对工程区域的要求,如对声学包材料使用、密封配置及尺寸的要求。这是风噪性能开发中除性能目标文件外最重要的部分。

项目启动后,通知与风噪相关的人员,依据对风噪影响的严重程度建立组织结构。这是 DFMEA 的第一部分内容。工作团队里一般除主导 DFMEA 的 NVH(噪声、振动与声振粗糙度)工程师外,还需合适的接口工程师,如造型管理工程师、质量工程师、产品工程师,如负责外后视镜、车门密封条相关组件、雨刮、天线、天窗等零部件的工程师。团队的建立便于后续工作交流和问题推进。

在 DFMEA 工具中,在该阶段要确定分析对象,收集并学习以往项目问题的经验及教训,建立失效模式库,确定潜在失效模式。这是 DFMEA 的第二部分内容。由于整车风噪的失效模式及原因较多,需从多个渠道收集以往的问题,如售后质量问题反馈、样车开发阶段的试验故障记录表和评审问题等,只要有明确的问题描述、问题分析及故障记录,都可以列进表格(见图 3)。这其实是建立风噪问题数据库,对以后开发车型具有借鉴意义。

风噪系统框图的建立,首先要确定分析范围及对象。这是 DFMEA 的第三部分内容。影响风噪的零部件用白色文本框布置,对风噪影响不明显的零部件用灰色文本框布置。在白色文本框里的零部件,依据对风噪性能影响的严重程度编号,按照汽车结构的空位置进行布置,同时利用 DFMEA 表中的约束关系进行不同文本框之间关系确定。图 4 为风噪系统框图。

风噪 DFMEA 表中的功能关系矩阵图是对系统框图的功能细分,其零部件界面就是系统框图中所有零部件。功能关系矩阵图是该表中第四部分内容,其实就是整车技术规范中的风噪性能目标,包括客观测试数据和主观评价。NVH 工作人员需对竞标车进行整车风噪分析,制定风噪性能目标。风噪性能目标一般包含在整车技术规范要求的 NVH 性能中,包括客观数据要求和主观评价要求。客观数据要求是对不同匀速工况的车速下车内声压级和语音清晰度的数据要求;主观评价要求是在统一标准下的分数值,分数越高,风噪性能越好。这个表格也是对前期开发的风噪性能目标文件的体现。

### 2.2 第二个闭环:数据检查及实施阶段

项目通过 VDR 阶段后,进入工程数据设计阶


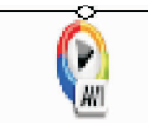


系统/零部件名称: DFMEA 编号:		#REF! #REF!				
序号	失效模式 (功能失效)	失效模式起因	失效模式来源		相关记录 (图片、视频、音频等)	备注
			来源分类	可追溯信息记录		
1	CN202S项目OTS样车在动态主观评价时发现:车速在60 km/h以上时,车身左侧侧窗区域有“丝丝”的明显风噪声,影响车内声品质,而车身相应右侧没有类似的风噪声	“丝丝”声是由外水切与玻璃导槽密封条配合不良产生的孔洞泄漏进入车内形成的噪声	CPIP	CN202S OTS样车动态主观评价		
2	样车检查时,发现140 km/h行车时右A柱旁有连续“呜呜”风噪声(南风天气,南直线段)。CN202S 1.8 AMT NS-10完成乘用车常规耐久试验,在柳东试验场进行100%评审	该NS样车行驶里程数46 010 km,车门密封条与门框上的钣金卡槽局部没有配合到位,使密封条最上面的唇边局部不贴合门框,导致车辆高速行驶时产生风噪声	售后	TIR-CN202S-0728		
3	样车路试中,在执行高速规范时,车速超过100 km/h,右前门处有明显风噪声	右前门变形导致车门密封条无法密封是产生风噪声的主要原因	TIR	TIR-CN120S-0592		
4	问题出现在高速,售后3例问题均出现在110~120 km/h时,1例发生在90 km/h,其余车辆均发生在140 km/h;在左右A柱区域,类似空腔共振,存在“呜呜”声音明显,不可接受	A柱与车门外板横向段差超差是产生“呜呜”声音的主要原因	售后	CN180S		

图 3 风噪开发中失效模式收集示意图

相对运动	----	选定分析的系统或部件	-----	1	黏结	6	卡扣
没有运动	=====	部件	=====	2	电子信号	7	焊接
间隙	----- -----	不包括在分析里	=====	3	紧固	8	褶皱
				4	过盈配合	9	模塑的
				5	可转动的	10	浸泡

工作环境极限条件

- 1、关闭车窗状态下,整车行驶车速60~120 km/h  
2、一般在平整的路面上,车外的风速小于 3 m/s

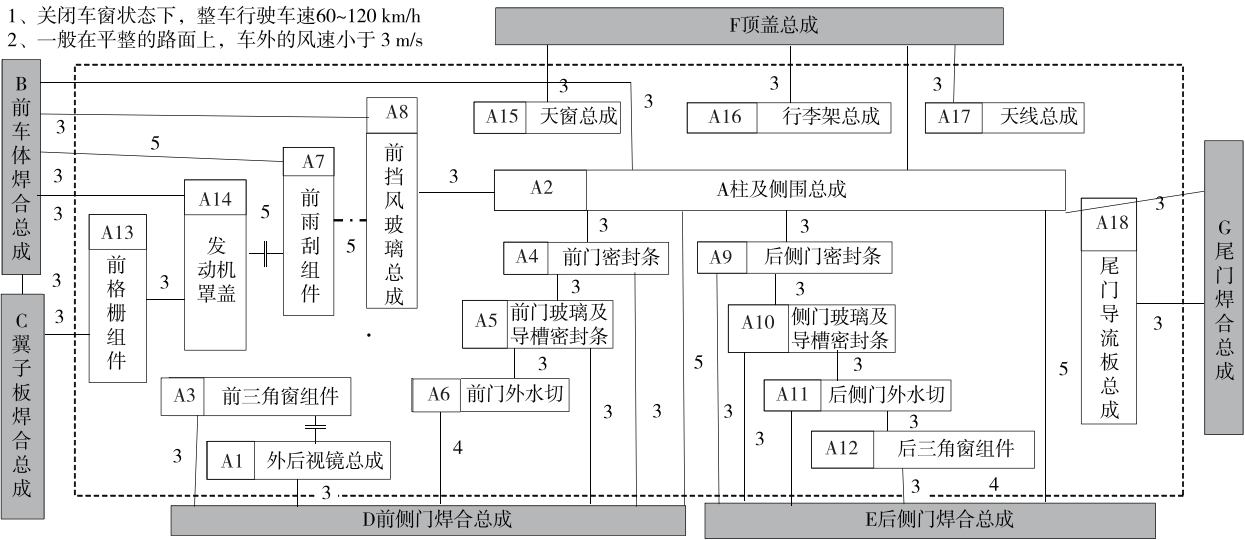


图 4 风噪系统框图

段。这个阶段的风噪性能开发就是 DFMEA 工具中的第五部分即 DFMEA 表,该表格是 DFMEA 系统的核心,也是最重要的内容。

风噪 DFMEA 表中零件/界面栏是第三部分系统框图的具体展开,将白色部件逐步列出。该表的潜在失效模式栏里填写风噪产生的原因。现在汽车

的风噪声一般分为泄漏噪声、风激噪声、风鸣噪声、风振噪声,其中风鸣噪声和风振噪声是单一频率的风噪声,在风噪性能开发中要极力避免,因为该噪声非常让人厌烦,客户的抱怨率较高。解决单一频率风振噪声的措施一般为封堵小孔或小腔体。但实际上 DFMEA 表的潜在失效模式中除泄漏是密封原

因引起的外,其余大多数归咎于汽车外形引起的风激噪声。所以对于潜在失效模式,填写内容为导流效果差、密封失效,其次是隔音效果差,其中导流引起的风噪声牵涉的零件最多。潜在失效的后果栏中一般填写客户的主观评价描述。

该闭环阶段是项目开发中最重要的数据分析和审核阶段,体现在 DFMEA 表中的现有设计控制预防栏中。在该栏里,需对风噪相关的全部零部件进行数据检查,检查内容和依据是 DFMEA 表中要求/规范栏中填写的内容。在要求/规范栏里,对于外形噪声的控制就是前期开发中对造型的要求输入,对于泄漏噪声的控制就是前期开发中对于工程区域的零部件密封隔音性能的要求,这些要求不仅是失效模式中的整改措施,也是整车厂开发风噪的技术经验积累。

风噪 DFMEA 表中现有设计控制探测栏中的内容是针对不同零部件进行现有探测手段的实施。对于风激噪声,一般依据 CAE 分析,借助声学设备进行道路或风洞测试。不同整车厂风噪分析采用的 CAE 分析软件不同,该车型采用 PowerFLOW 进行整车风噪仿真,对造型及 T2 数据进行分析,起到前期数据辅助审核的作用。道路和风洞测试需有符合要求的整车,主要在项目开发的样车阶段进行。泄漏噪声测试也是在整车有样车时进行,主要利用气密性设备和超声波设备进行整车静态密封性检测。

DFMEA 表中有 4 列需填写的数据,分别为每个潜在失效后果的严重度、频度、探测度的数据评分及依据这三项分数的乘积得出的风险优先级顺序数 RPN,这是 DFMEA 工具表中风险控制的数字体现。对 RPN 值偏大的风险项需重点关注和控制,若 RPN 值大于 100,说明该问题风噪性能差,客户抱怨多,必须采取整改措施进行性能状态纠正。

### 2.3 第三个闭环:实车评估及维护阶段

该阶段的 DFMEA 表是对整车风噪性能的验证和维护。该阶段是项目开发中实车试验验证及量产阶段,主要解决产品在制造过程中出现的问题及相关售后质量问题,主要针对 RPN 值高于 100 的相关零部件。也就是在实车阶段根据实车风噪测试及动态评审情况,对客户满意度低的风噪声进行改进。该车在行驶速度为 60~80 km/h 时,驾驶员耳旁出现“簌簌”的风噪杂音,用声学设备道路测试,数据上体现并不明显,但驾驶员的外耳感觉明显。采用 DFMEA 工具分析,其 RPN 值为 125,必须采取

措施进行更改。根据正向开发原则,首先进行 CAE 仿真分析,分析结果见图 5。根据仿真分析结果,经过临时措施的实施及多组评审人员评估,决定更改外后视镜基座,以消除 60~80 km/h 车速区间的杂音。改进后,DFMEA 表中的 RPN 值更新到 50。图 6(b)为量产车更改后的外后视镜基座。

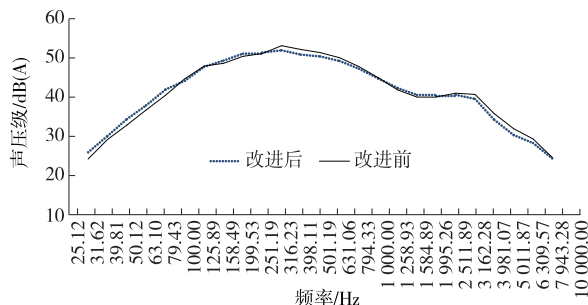


图5 外后视镜的 CAE 仿真分析结果

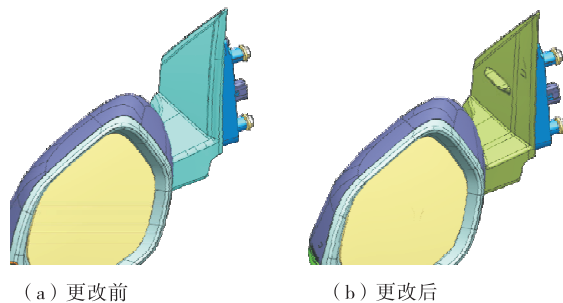


图6 外后视镜基座更改前后对比

维护阶段是针对造车及售后出现的问题,如果确认是由设计所导致,则快速响应,寻找解决方法,设计更改方案,对产品进行持续改进。需特别说明的是,为保证更改的可靠性,对设计更改需重新进行前面两个闭环的检查和验证,才能最终实施在产品上。同时对所有发现的新问题及问题的解决方案进行经验教训总结与分享,并把学习到的内容维护到 DFMEA 表的要求/规范及 DFMEA 失效模式库中,以积累风噪性能开发工程经验。

## 3 结语

目前,DFMEA 工具已在国内汽车行业得到较广泛的应用,尤其是在产品开发中使用较多,但在整车性能开发中应用较少。在风噪开发过程中对造型和零部件的要求及使用、项目要求的各类交付物均可结合 DFMEA 工具进行,这样不仅能在设计前期阶段有效识别和防御质量风险,也能系统地融合风噪性能正向开发进行风噪性能质量控制。其优势主

(下转第 12 页)



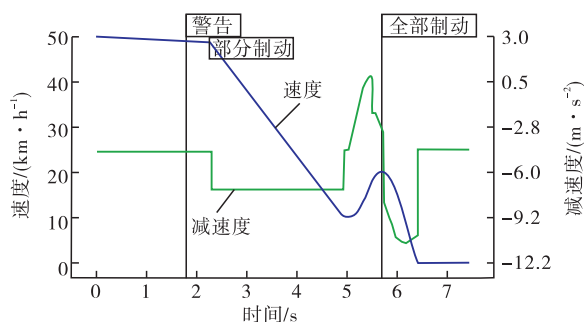


图7 车辆运行参数

测试场景的共性与个性特征,考虑场景搭建的场景元素可移动性、可组合性、可扩展性及场景搭建便捷性,构建智能网联汽车自动驾驶功能测试场景分类架构,结合商用车自动紧急制动功能需求,进行测试场景构建,并在仿真软件中进行仿真分析与测试验证。仿真结果表明所搭建的智能网联汽车场景分类架构合理,商用车自动紧急制动功能测试场景与测试评价方法合理,可为智能网联汽车场景构建与仿真测试提供新的思路与借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 郑杰.车辆自动紧急制动系统建模与仿真研究[D].武汉:武汉理工大学,2015.
- [2] 李明.汽车主动防撞系统控制模式的研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [3] 胥峰.面向弱势道路使用者的自动紧急制动系统测试方法研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [4] 全国汽车标准化技术委员会客车分技术委员会.营运

客车安全技术条件:JT/T 1094—2016[S].北京:中华人民共和国交通运输部,2016.

- [5] 全国汽车标准化技术委员会.商用车自动紧急制动系统(AEBS)性能要求及试验方法:GB/T 38186—2019[S].北京:国家市场监督管理总局,2019.
- [6] 全国智能运输系统标准化技术委员会.营运车辆自动紧急制动系统性能要求和测试规程:JT/T 1242—2019[S].北京:中华人民共和国交通运输部,2019.
- [7] 全国道路运输标准化技术委员会.营运车辆行驶危险预警系统技术要求和试验方法:JT/T 883—2014[S].北京:中华人民共和国交通运输部,2014.
- [8] 马文博,张辉,张帅,等.商用车 AEBS 性能试验研究[J].中国汽车,2019(6):59—62.
- [9] 刘生.智能网联汽车驾驶场景数据采集的研究及应用[J].汽车纵横,2018(8):74—75.
- [10] 宋志强,曹立波,吴俊,等.自动紧急制动系统测试设备开发和应用研究[J].机械设计,2020,37(2):32—38.
- [11] 王戡,刘昌仁,曹飞,等.客车自动紧急制动系统性能测试[J].客车技术与研究,2017,39(2):46—49.
- [12] 吴俊,向国梁,杨俊辉,等.汽车自动紧急制动(AEB)行人检测系统的开发与测试[J].汽车安全与节能学报,2018,9(4):401—409.
- [13] 朱红岩,游国平.商用车电子稳定控制系统测试技术[J].客车技术与研究 2012,34(6):48—52.

收稿日期:2020—06—22

(上接第8页)

要体现在:1)可将以往的失效模式和解决措施应用到造型及设计前期,真正起到 DFMEA 预防风险的作用,有效控制风噪性能;2)可系统地收集和整理以往发生的风噪失效问题,进行工程数据及经验积累;3)可结合项目开发过程,有效管理风噪性能的开发,对各阶段的交付物和质量把控做到全局风险最小,起到系统的闭环管理作用。

#### 参考文献:

- [1] 韦治,孙奇.DFMDA 在产品的设计开发过程的应用[J].机械工业标准化与质量,2019(5):47—51.
- [2] 南江华,孙丽丽.汽车设计阶段 DFMEA 闭环控制可靠

性方法研究[J].中国质量,2014(8):86—88.

- [3] 侯兆平,付年,黄元毅,等.汽车后视镜与雨刮的风噪优化[J].汽车工程,2018,40(12):1475—1479+1487.
- [4] 刘钢,王圣波.汽车风噪整改及优化[J].公路与汽运,2020(5):5—8+40.
- [5] 李彩芬,旷明秋,邓建军.混合动力城市客车噪声与振动的性能优化[J].客车技术与研究,2012,34(4):20—22.
- [6] 樊海龙,王延克.某出口客车噪声试验与治理[J].客车技术与研究,2013,35(2):47—49.
- [7] 程书辉.DFMEA 在汽车产品开发中的应用现状及改进建议[J].汽车实用技术,2012(4):1—4.

收稿日期:2020—02—24