

浅谈 DFMEA 在汽车线束研发中的应用

孙骏

苏州波特尼电气系统有限公司

DOI:10.12238/ems.v5i12.6932

[摘要] 根据汽车质量管理体系 IATF 16949—2016 对产品开发过程中产品失效分析的要求, 文章对 DFMEA 工具的使用方法、评价指标进行介绍。结合汽车安全气囊线束的失效分析, 建立可维护的 DFMEA 数据库, 在设计阶段对该车型的汽车质量、性能与安全进行分析管控。

[关键词] 汽车线束; 线束 DFMEA; 风险顺序数 RPN

中图分类号: F407.471 **文献标识码:** A

Discussion on the Application of DFMEA in the Research and Development of Automotive Wire Harnesses

Jun Sun

Suzhou Potney Electrical System Co., Ltd

[Abstract] According to the requirements of the Automotive Quality Management System IATF 16949—2016 for product failure analysis in the product development process, this article introduces the usage methods and evaluation indicators of DFMEA tools. Based on the failure analysis of car airbag wiring harness, establish a maintainable DFMEA database, and analyze and control the quality, performance, and safety of the vehicle model during the design phase.

[Key words] Automotive wiring harness; Wire harness DFMEA; Risk sequence number RPN

随着中国乘用车市场高速的发展, 汽车线束作为乘用车的神经网络系统, 其质量好坏直接影响到终端用户的人身安全。因此, 汽车线束在应对国家法律法规、产品市场需求、产品质量、产品成本、主机厂要求以及企业内部管理提出的更高要求时, 需要使用与之相匹配的质量管理理论、方法来进行产品质量的管理。在 IATF 16949 中有五大核心的质量管理工具, DFMEA 其中的一个重要方案, 在企业质量管理方面起到了预防问题的发生, 减少问题出现的频次, 降低问题出现的严重程度, 在当前国内外企业里都被广泛地使用^[1]; 同时程书辉^[2]论述了当前在汽车行业中实施 DFMEA 存在的若干问题, 分析了问题产生的主要原因, 给出了解决问题的建议措施。其次, 在汽车线束的研发过程中, 有效地使用 DFMEA 可以在项目研发初期降低问题发生的可能性, 同时提升汽车线束的质量, 保证线束的可靠性和安全性, 大大降低了汽车线束重复开发的时间与成本。在研发过程中, 记录问题点并对问题点进行分析和跟踪, 制定和实施有效的措施帮助汽车线束的开发工作顺利地开展。帮助企业从初始设计开始进行产品质量的控制, 提高了线束设计的可靠性, 同时也可以提高客户满意度。

1 汽车线束研发中的 DFMEA 应用

1.1 DFMEA 概述

DFMEA 失效模式与影响分析 (Design Failure Mode and Effects Analysis) 是一种重要的可靠性设计方法^[3]。是一种系统性的、以风险管理为导向的方法, 用于在产品的设计过程中识别潜在故障模式及其可能的影响。DFMEA 通过逐步评估各项功能和部件的失效潜在性, 旨在提前预防和减少产品设计中的错误和缺陷, 并采取相应控制措施, 以确保产品的质量和可靠性。其原则包括全面性、系统性、前瞻性和持续性。全面性意味着对所有可能的故障模式进行全面考虑, 并对其进行详尽而周密的分析。系统性要求将产品按照功能、子功能或组件进行划分, 确保对各部分的分析进行全面考虑。前瞻性强调在产品设计的早期阶段就开始进行 DFMEA, 企业在产品初期设计阶段开始进行, 在线束前期样品制作前结束。在线束功能检测的同时进行二次评估和维护。以便尽早发现和解决潜在问题。持续性则意味着在整个产品的生命周期中, 不断更新和改进 DFMEA。

1.2 DFMEA 在线束中的实施步骤

DFMEA 的步骤和流程通常包括以下几个关键步骤: 可对汽车线束存在的潜在的问题进行风险评价、风险分析, 并结合当前的设计标准, 过往经验和国家法规进行风险管理和方案的制定, 并将问题的风险降低或者转移, 已使其能达到相关的要求。

首先, DFMEA 小组需要明确产品的功能和需求, 以确定 DFMEA

的范畴和边界。其次, DFMEA小组需要识别潜在的失效模式, 即可能导致产品无法正常工作或达到预期性能的原因。第三步是评估失效模式的严重程度和频率, 以确定其影响的程度和概率。接下来, DFMEA小组需要对失效模式进行根本原因分析, 以确定可能的故障原因, 并制定相应的控制措施和预防措施。最后, DFMEA小组需要评估失效对产品和用户的影响, 以确定风险等级和优先性, 并制定改进计划和实施措施。在汽车线束的研发过程中, DFMEA具体按照如下的步骤进行实施:

1.2.1 识别潜在故障模式

在DFMEA的第一步, DFMEA小组需要标识出线束的功能和子功能, 并进一步识别出可能的故障模式。这可以通过对系统的结构和设计进行分析来完成。通过认真检查和分析已知的故障模式和历史数据, DFMEA小组可以辨识出潜在的故障模式。在线束的失效模式的分类中, 可以大体总结为两类, 一类是功能完全失效, 完全失效中包含了断裂、破损、弯折、变形、短路。断路、磨损、无法装配、腐蚀、老化、脱落等。另外一类是部分失效, 其包含线束噪声、线束振动、EMC失效、线束干涉、线束进水、线束勿配等。

1.2.2 分析潜在故障原因

一旦潜在故障模式被确定, DFMEA小组需要制定假设和潜在故障原因列表。对于每个潜在原因, DFMEA小组需要评估其可能性和影响程度。通过使用经验、专家意见和可靠的数据, DFMEA小组可以查明可能导致故障的原因, 并为每个潜在原因制定相应的控制措施和预防措施。

1.2.3 评估潜在故障影响

一旦潜在的故障原因被确定, DFMEA小组必须分析故障对线束系统性能和用户的影响。通过评估故障的严重程度和频率, DFMEA小组可以量化故障的风险等级和优先级。这可以帮助DFMEA小组合理分配资源和制定针对重要故障的改进计划。

1.2.4 实施控制措施和改进计划

在DFMEA的最后一步, DFMEA小组需要确定控制措施和改进计划的可行性。对于每个故障模式, DFMEA小组应制定具体的实施计划和时间表, 并确保它们得到适时执行。对于已经实施的控制措施和改进计划, DFMEA小组还应监督和跟踪它们的执行情况, 以确保其有效性。

同时, 基于实施相关措施后的状态, 重新进行其它风险的识别, 避免出现相应的改进计划导致其它更加严重失效模式的出现。另外, 也必须以此作为新的起点, 进行相应的优化, 形成一个良性的PDCA循环, 以求不断进行改进, 达到相应的质量控制目标。

1.3 DFMEA评价指标

首先, DFMEA从严重度、发生度、探测度三个方面进行评估, 并使用风险顺序数(RPN)值进行评价风险的等级。首先, 严重度是指潜在失效模式发生时对整车、系统及子系统、零部件或客户影响后果的严重程度; 发生度(O)指潜在失效的起因/机理发生的机会可能性, O评级是对当前预防控制有效性的评估。探测

度(D)是指对失效原因/模式的探测难易度程度, D级是对有效的探测措施进行评估。按照1-10的打分原则对S、O、D和RPN值(FMEA DFMEA小组提供S、O和D的1000种组合的逻辑表)进行评价^[4]。

其次, 建立S-O(严重度和发生度矩阵评价表)进行评估, 将风险等级标记三中状态, 状态1为状态良好, 无需采取措施。状态2为状态一般, 建议采取适当措施, 降低风险。状态3是状态较差, 必须采取适当措施, 降低风险。通过三个等级的措施, 将每个问题的风险度降低, 预防严重的设计问题出现。

2 汽车安全气囊线束的实例研究

2.1 汽车安全气囊的失效状态

在汽车的设计与制造中, 人身安全一直是最重要的考虑因素之一。而在保证汽车和乘客的安全性方面, 汽车安全气囊起着关键作用。汽车安全气囊线束是安全系统中的重要组成部分, 其质量直接决定了气囊系统的可靠性和效果。它主要负责传输安全气囊充气信号以及驱动安全气囊的弹出, 以保护乘客在紧急情况下的安全。汽车安全气囊线束的失效可能存在多种状态, 其中包括线束短路、短路接触不良、线束信号传输中断等问题。这些问题可能导致安全气囊无法正常充气或误触发, 从而降低了整车的性能。在分析过程中, 我们发现, 车辆碰撞导致线束断裂的情况尤为严重, 因为这将直接影响到汽车的安全功能。根据相关数据和计算结果显示, 当线束断裂后, 其风险值(RPN值)可达160, 这无疑给车辆的安全可靠性带来了极高的风险。

然后, 保险丝盒线径相一致性也是线束失效的一个关键因素。保证线束内不同部分的电流传输的稳定性和一致性, 可以有效降低短路和接触不良等问题的发生概率, 提升安全气囊线束的工作效果。

同时, 为了确保安全气囊线束的可靠性, 还应加强对线束的碰撞后变形情况进行评估。碰撞后, 车辆的结构和组件都会发生不同程度的变形, 其中包括安全气囊线束。针对线束的变形状态, 需进行详尽的检测及维护, 以保障其正常工作状态和安全性。

总的来说, 汽车安全气囊线束的失效状态对于整车的安全性具有重要影响。针对线束短路、接触不良、信号传输中断等问题, 需要采取一系列的设计和改进措施, 提高线束的可靠性和安全性。在供电系统、线径一致性和碰撞后变形等方面加强管理和维护, 可以有效减少安全气囊线束失效所带来的安全隐患, 为乘客提供更可靠的保护。

2.2 汽车线束分析结果及改进建议

汽车安全气囊在三维布置过程中需要避免与周围的环境产生干涉, 并且在车辆中, 线束是处于不可见位置, 全部隐藏在车身钣金与海绵, 钣金与内饰之间。且车辆的焊接点可能存在很多毛刺, 因此车辆在碰撞后, 钣金产生形变, 切割破坏线束, 使其产生断裂, 那么安全功能会全部丧失。因此, 其主要的失效模式是线束在安装过程中碰到锐边、快口时影响人身安全。同时线束受到车身结构以及车辆安装部位的限制, 其产生问题后均有相当的探测难度。线束位于车辆钣金与车身地毯之间, 由于客观的因素所影响, 在线束被破坏功能丧失前非常难被探测到, 并且线

束破损后会直接影响车辆安全功能系统的整体功能完全丧失, 更换需要将整车全部拆除维修, 其安装可靠性需求较高。针对当前的设计状态, 可以通过在线束外层增加耐磨胶布的形式, 降低与钣金干涉的风险, 同时为避免在极端情况下发生线束断裂, 可以将安全气囊线束的布置路线从易损坏的车辆侧面更换到车辆的中间, 根据碰撞的可能性出发, 车辆中部相对侧面的碰撞损坏率相对较低。

同时线束短路可能导致误触发安全气囊, 影响驾驶员的正常安全驾驶, 则可以选用抗干扰程度更高的导线进行布置和使用, 同时需要选用独立保险丝供电和单独车身接地的方式确保安全功能不受到其他因素的影响, 保证安全功能的实现; 而连接插头损坏可能导致线束脱离, 从而导致安全气囊完全失去触发的功能, 此失效后果RPN值也高达180, 必须通过优化线束分支长度、优化接插件设计, 增加接插件二次锁固定的方式来提高更可靠的连接配合。

3 汽车线束DFMEA数据库的建立

在汽车线束新项目新产品的研发生命周期中, 从项目开发定点到线束进行批量生产, 均要求使用DFMEA来降低产品风险, 那么当同时存在多个项目的研发过程时, 对标准研发流程的建立要求我们企业创建DFMEA数据库。那么建立的数据库可以从以下四个点来进行展开: ①信息输入(研发定点阶段): 基于相关的法律法规、设计任务书、汽车线束产品研发分析报告以及公司以往线束项目经验总结, 建立过往经验总结数据库。②设计研发阶段(产品具体设计方案、原理设计、三维设计): 通过CATIA软件的数据仿真设计、客户BCO阶段性评审、与公司供应商、公司客户等沟通, 精确地描述潜在失效模式, 建立数据库模型。③装车验证: 通过汽车线束的AGT、PT、VFF等试验、线束台架试验、整车功能、盐雾耐久实验、阻燃性实验、跑车验证等, 在过程中发现问题, 并进行记录。④持续更新: 应用PDCA质量管理模型, 对小批量样件, 小批量量产等过程中的产品进行持续跟踪, 建立相关数据库, 保证数据库持续更新。

4 结束语

对汽车线束DFMEA的应用进行阐述, 并对建立DFMEA数据库

的步骤做出必要的说明, 帮助企业在项目初期就可以通过该工具识别线束的失效形式, 并辅助设计员通过CATIA等三维设计软件完成产品结构, 并经过高温、低温、跑车、盐碱地等耐久实验进行验证, 最后确定线束的设计方案和管控措施。应用DFMEA可以有效地降低了产品的设计缺陷比率, 产品设计稳定性得到了有效提高, 同时对后续的新项目的产品设计开发提供有效的经验。

同时DFMEA也存在一些不足之处, 需要持续改进和优化。首先, 当前的DFMEA方法主要侧重于对单一部件或单一系统的故障进行分析和评估, 而对于部件与系统间的相互影响和配合关系的研究较少。这较大的影响了DFMEA的应用效果。因此, 今后的研究可以致力于发展更综合和全面的DFMEA方法, 将整车各个组成部件和系统紧密结合, 从而更好地识别和管理整车层面的潜在故障。另外, DFMEA的有效实施依赖于DFMEA小组成员的丰富工作经验和专业知识。虽然这些专业背景可以提供宝贵的见解, 但也容易导致主观偏见和盲区。为了进一步提升DFMEA的准确性和可靠性, 需要在小组中引入跨学科的其他专业人员, 包括供应商DFMEA小组工程师、精益生产DFMEA小组等, 共同进行DFMEA分析和决策, 避免单一视角的局限性。

在未来, 随着汽车技术的不断发展和智能化程度的提高, DFMEA也将迎来新的挑战和发展机遇。例如, 随着自动驾驶技术的快速发展, 汽车线束的设计和故障管理将面临更复杂的情况。因此, 需要进一步研究如何将DFMEA与人工智能、大数据分析等技术相结合, 提高线束设计的精确度和效率。

[参考文献]

- [1] IATF 16949—2015 汽车质量管理体系标准[S].
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 黄英英. DFMEA在商用车正向开发过程中的应用[J]. 重型汽车, 2022(04): 38-39.