

浅谈 FMEA 在水性客车面漆开发中的应用

许文彬

(双塔涂料科技有限公司,河南 开封 475003)

摘要: 介绍了潜在失效模式及后果分析(FMEA)方法应用于水性客车面漆开发的一个实例,并对 FMEA 实施的步骤和方法进行阐述,说明其在汽车涂料产品开发中的重要作用。

关键词: FMEA; IATF 16949; 客车涂料; 水性涂料

中图分类号: TQ637 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2024)06-0011-03

Application of FMEA in the Development of Waterborne Bus Topcoat

XU Wen-bin

(Shuangta Paint Technology Co., Ltd., Kaifeng 475003, Henan, China)

Abstract: This article introduced an example of the application of Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method in the development process of waterborne bus topcoats, elaborates on the steps and methods of FMEA implementation, and explains the important role of FMEA in the development of automotive paint products.

Key words: FMEA; IATF 16949; bus coatings; waterborne coatings

0 引言

汽车工业作为全球规模化最大的产业之一,已经进入了高度的成熟期,在全球范围内形成了统一的质量管理体系 IATF 16949 进行质量的控制和管理。但因设计上的缺陷、制造过程中的不足、错误的使用等因素使得汽车在制造和使用过程中还会有失效发生的风险,风险的发生就会导致损失,减少损失的最佳途径就是尽早发现并消除失效,

在 IATF 16949 质量管理体系中要求使用潜在失效模式及后果分析(FMEA)的方法进行风险的分析与评估。早在 1949 年 11 月,美国 Grumman 公司就将 FMEA 方法应用在战斗机系统的开发过程中,70 年代 FMEA 开始在汽车和医疗设备制造中被应用,在 1999 年 FMEA 方法被 IATF 16949 质量体系所采纳。最新的 FMEA 手册在 2019 年 6 月 3 日由汽车工业行动小组(AIAG)和德国汽车工业联合会(VDA)联合开发和

发布,从汽车主机厂到零部件供应商,在产品的开发、设计和制造过程中 FMEA 得到了广泛的应用。

1 FMEA 在汽车涂料产品设计开发中的应用

汽车涂料为车身提供防护、装饰和特殊功能的作用,在整车制造环节中必不可少且至关重要,是汽车整体的重要构成部分。按照 IATF 16949 质量管理体系的要求,汽车涂料产品的设计与开发需要采用 FMEA 的方法进行失效的分析和预防。在汽车涂料设计和开发过程中使用到的 FMEA 可分为设计 FMEA(DFMEA)和过程 FMEA(PFMEA)两种,其中 DFMEA 主要被汽车涂料研发人员所使用,用于确保涂料配方在转化生产之前,全面分析并解决潜在的失效以及失效的原因,从而采取预防措施;PFMEA 主要被汽车涂料生产工艺人员使用,在过程设计和开发阶段,用其对汽车涂料在生产、储存和运输等过程中的潜在失效进行全面分析,以确保生产的产品满足客户的要求。汽车涂料产品 DFMEA 和 PFMEA 分析的具体流程一般遵循 FMEA 分析的七大步骤:规划和准备、结构分析、功能分析、失效分析、风险分析、优化以及结果文件化。但汽车涂料作为一种流程性材料,与汽车零部件相比,其 FMEA

收稿日期:2023-09-14

作者简介:许文彬(1985—),男,硕士,工程师,主要从事汽车涂料的研发与应用工作。E-mail:527414597@qq.com。

分析有独特之处,本文以水性客车面漆产品设计和开发过程中 DFMEA 的应用为例,为汽车涂料开发过程中 FMEA 的应用提供一种参考。

2 FMEA 的执行

2.1 规划和准备

规划和准备阶段主要进行面漆开发的项目识别,并制定项目计划。导入水性客车面漆项目的客户需求,进行技术要求、法律要求、顾客期望和类似项目经验的分析,在充分了解产品概念后启动 DFMEA,同时完成 DFMEA 文件表头的填写,文件表头所涉及到的具体内容见表 1。需要注意两点:1)在水性客车面漆的产品设计过程中存在着潜在的失效模式,所以 DFMEA 开始的时间为进行配方设计前,DFMEA 分析是一种“事发前”的行为,需要在产品配方设计启动之前的概念阶段开始 DFMEA 计划;2)应该建立跨职能部门的 DFMEA 团队,成员必须具备必要的专业知识,不仅包括涂料配方工程师,还应该包含公司内部涉及生产、工艺、质量、采购等部门的相关人员和客户的相关人员。

表 1 DFMEA 文件表头示例

项目	内容
公司名称	XX 涂料有限公司
工程地点	河南省郑州市
客户名称	XX 客车有限公司
型号年度/平台	2023
项目	水性客车面漆
DFMEA 开始日期	2023-1-4
DFMEA 修订日期	2023-9-1
跨职能团队	见团队清单
DFMEA 编号	123456
设计职责	张 XX
保密等级	保密

2.2 结构分析

在汽车零部件产品的 DFMEA 分析中,结构分析是确定零部件是由哪些系统、子系统、组件和零件构成。例如,车窗的升降系统由升降电机、升降机构、导向机构等几个子系统构成,而车窗升降电机子系统又由不同的组件构成,每一个组件又由许多不同的零件构成,在进行零部件的结构分析时可以借助方块图/边界图、结构树等方法进行可视化的分析。但是涂料属于流程性材料,各组成物料已经充分混合成为均一体,无法按照零部件的方法进行结构分析,我们在进行客车面漆的结构分析时将产品的具体技术指标视为关注要素,上一较高级别为主漆或固化剂,下一较低级别或特性类别为影响该项关注因素的物料成分。例如,水性客车面

漆中关注要素“重金属含量”的结构分析见表 2。

表 2 DFMEA 结构分析示例

项目	内容
上一较高级别	主漆
关注要素	重金属含量
下一较低级别或特性类别	颜料

2.3 功能分析

DFMEA 中的功能分析主要进行关注要素、关注要素上一级和关注要素下一较低级三者的功能及要求的分析,例如:当关注要素为“重金属含量”含量时,其功能分析见表 3。

表 3 DFMEA 功能分析示例

项目	内容
上一较高级别功能及要求	对公司:产品出厂检验 100%合格,符合国家法律法规要求;对客户:产品在使用过程中符合国家法律法规要求;对最终用户:车身涂层人身健康安全高
关注要素功能及要求	六价铬 $\leq 1\ 000\ \text{mg/kg}$,铅 $\leq 1\ 000\ \text{mg/kg}$,汞 $\leq 1\ 000\ \text{mg/kg}$,镉 $\leq 100\ \text{mg/kg}$
下一较低级别或特性类别功能及要求	重金属含量满足技术要求

2.4 失效分析

在失效阶段需要确定主漆产品关注要素潜在失效的失效影响(FE)、失效模式(FM)和失效起因(FC)这三个方面的具体内容。失效影响是指某个功能失效后产生的不良影响,失效模式是指一个关注要素无法满足技术要求的方式,失效模式包括且不限于:全部或部分功能的丧失、退化、间歇,非预期功能、功能超出范围、功能延迟等。失效起因指失效模式发生的原因,失效起因包括且不限于:功能设计不充分、应对外部环境设计不足、最终用户的错误操作等。重金属含量这个关注要素的失效影响、失效模式和失效起因分析见表 4。

表 4 DFMEA 失效分析示例

项目	内容
失效影响(FE)	对公司:产品检验不合格,造成返工甚至报废;对客户:产品不符合国家法律法规要求,不能使用;对最终用户:车身涂层人身健康安全低
失效影响严重度(S)	9
关注要素失效模式(FM)	重金属含量超标
下一较低级别要素或特性的失效起因(FC)	颜料中重金属含量超标

2.5 风险分析

在风险分析阶段，首先分析当前失效起因的预防控制(PC)和当前失效起因的探测控制(DC),预防控制是指如何采用现有的行动来减少失效，探测控制是指使用何种方法对失效进行验证,例如针对“重金属含量超标”这个失效模式,所开展的失效起因的预防控制就是选择不含重金属的颜料，失效起因的探测控制是每年对颜料进行重金属含量检测,见表5。

表5 DFMEA 风险分析示例

项目	内容
当前的失效起因的预防控制(PC)	选择重金属含量合格的颜料
失效起因/失效模式的频度(O)	3
当前的失效起因的探测控制(DC)	供应商提供批次产品 第三方检测报告
失效起因/失效模式的探测度(D)	5
DFMEA 措施优先级(AP)	M

其次,从失效影响的严重度(S)、失效起因的频度(O)和失效起因的探测度(D)这3个维度对失效进行风险评估。严重度、频度和探测度的评价采用打分制,分值为1~10,1分代表风险最低,10代表风险最高,具体每一项的打分标准可以参照FMEA手册的要求。从预防失效的目的出发,新版FMEA手册要求采用措施优先级的方法进行排序,第一位需要考虑失效的严重度,再次为频度,最后才考虑探测度,FMEA的措施优先级见表6。

依据表6对需要采取的措施进行评级,将措施优先级分为高(H)、中(M)和低(L)3个级别,当优先级为高时,需要采取适当的措施来改进预防控制(PC)和或探测控制(DC),或证明并记录为何当前的控制足够有效;当优先级为中时,应当采取适当的措施来改进预防控制(PC)和或探测控制(DC),或由公司自行决定证明并记录当前的控制足够有效;当优先级为低时,可以根据实际情况自行决定是否采取进一步的措施。例如,金属含量失效的严重度为9分,失效起因的频度为3分,失效起因的探测度为5分,根据措施优先级表(AP)进行评价,措施优先级为中(M),那么就应当采取进一步的措施进行控制。

2.6 优化

在优化阶段,DFMEA团队对上一步风险分析的结果进行评审,明确降低风险的必须措施,并为这些措施的实施确定职责和完成时间。这些措施可以从修改设计配方以消除或降低失效的影响,降低失效起因发生的频度和增加探测的容易度3个方面出发。如果通过评估确认某些可能的失效不需要采取进一步的措施,

则需要备注栏中进行标注,表明风险分析已经完成。当优化措施被实施后,需要重新评估失效起因的频度和探测度,按照AP表重新确定优先级别。

表6 DFMEA 的措施优先级(AP)

严重度(S)	频度(O)	探测度(D)	措施优先级(AP)	严重度(S)	频度(O)	探测度(D)	措施优先级(AP)
		7~10	H			7~10	H
	8~10	5~6	H		8~10	5~6	H
		2~4	H			2~4	M
		1	H			1	M
		7~10	H			7~10	M
	6~7	5~6	H		6~7	5~6	M
		2~4	H			2~4	M
		1	H			1	L
9~10		7~10	H	4~6		7~10	M
	4~5	5~6	H		4~5	5~6	L
		2~4	H			2~4	L
		1	M			1	L
		7~10	H			7~10	L
	2~3	5~6	M		2~3	5~6	L
		2~4	L			2~4	L
		1	L			1	L
	1	1~10	L		1	1~10	L
		7~10	H			7~10	M
	8~10	5~6	H		8~10	5~6	M
		2~4	H			2~4	L
		1	H			1	L
		7~10	H			7~10	L
	6~7	5~6	H		6~7	5~6	L
		2~4	H			2~4	L
		1	M			1	L
7~8		7~10	H	2~3		7~10	L
	4~5	5~6	M		4~5	5~6	L
		2~4	M			2~4	L
		1	M			1	L
		7~10	M			7~10	L
	2~3	5~6	M		2~3	5~6	L
		2~4	L			2~4	L
		1	L			1	L
	1	1~10	L		1	1~10	L
				1	1~10	1~10	L

例如:在风险评估阶段,重金属含量的措施优先级被确定为中(M),在优化阶段就应当对其采取进一步的措施,见表7。采取的改进措施为:(下转第54页)