# 基于质量链的汽车零部件 PFMEA 创新应用

姚海棠　张汝峰

上汽通用东岳动力总成有限公司

**摘要：**当今中国汽车行业竞争加剧，汽车零部件供应商的项目开发周期大幅缩短，产品质量要求更严苛，降低成本成为供应商定点的必要前提。基于对当前国内汽车零部件供应商的现状调研，创新性地提出了汽车零部件质量链（Quality Chain）传递模型，适用于在当今国内汽车零部件供应商项目开发中做推广。

**关键词：**汽车零部件；质量链；PFMEA

## 0　前言

当今国内汽车行业处于空前的激烈竞争态势，为了快速抢占市场份额，各整车厂都在努力缩短开发周期、降低开发成本，在这个过程中，质量、安全和可靠性不可忽视。FMEA 分析方法确保了在 APQP（Advanced Production Quality Planning）先期产品质量策划产品与过程开发的过程中，考虑并且处理了潜在的问题。IATF6949 也提出了多条 FMEA 的相关要求，均旨在降低产品和过程的风险，降低生产成本的同时满足顾客要求。

国内汽车零部件供应商在 PFMEA 应用上存在一些误区，导致实际效果受限，如：设计完成后，再编制 DFMEA（Design FMEA），工艺与设计开发相互独立而设计方案的可制造性评审不足；样件制造出来后，再编制 PFMEA，未充分在工艺规划阶段充分利用 PFMEA 进行风险识别和预防，带来的后果是交付样件在设计和工艺验证阶段，暴露出设计和工艺的缺陷，再做设计、工装和模具等变更，一方面成本提升，另一方面可能已错过验证窗口期造成项目延误甚至丧失机会。

本文基于对当前国内汽车零部件供应商的现状调研，创新性地提出了一种从产品设计和工艺开发源头提高质量和降低成本的汽车供应链零部件高质量开发模型。

## 1　汽车零部件供应商质量链模型分析

### 1.1　国内汽车零部件供应商 PFMEA 现状调研

我们于 2023 年 7 月针对某主机厂零部件供应商的质量管理人员进行了一次汽车产业链质量管理状况问卷调查，327 人参与本次调查，参与调查人员所属公司性质、规模和产值均有不同。针对 BIQS（Build In Quality Supply Based）的 29+1 个模块，进行各模块重要度和供应商实际实施情况打分（0 ～ 5 分制），调查结果如图 1 所示，PFMEA 和风险降低工作，被认为是重要度最高但实施状况最需改进的模块。

### 1.2　供应商质量链的传递过程和价值流

零部件供应商质量链传递的过程，主要分为从整车 DFMEA 到系统 DFMEA 的开发，子系统的 DFMEA 开发，然后分解到零部件级别的开发，进一步把质量策划的要求通过过程控制计划等开发落实到过程控制中去，开发和验证以及过程控制环节出现的问题和经验，进一步前馈到各个环节，进行 DFMEA 和 PFMEA 各层级数据库的不断完善。在这个完整的质量链的传递过程中，零部件的供应商起到关键的作用。

零部件供应商质量链实现的价值流实现过程如图 2 所示。从系统 DFMEA 到子系统 DFMEA 模板库，针对每一个不同项目开发子系统项目 DFMEA，进一步创建零部件 DFMEA 和 PFMEA 过程中，通过零部件 DFMEA 和 PFMEA 建立关联，对后续过程控制计划的开发建立基础，通过质量链的逐步关联传递，实现质量风险最小化，质量成本在早期进行优化控制，将风险传递到主机厂甚至最终客户的机会降到最低。

### 1.3　供应商质量链的信息传递模型

为了对汽车零部件供应商质量链进行有效传递和

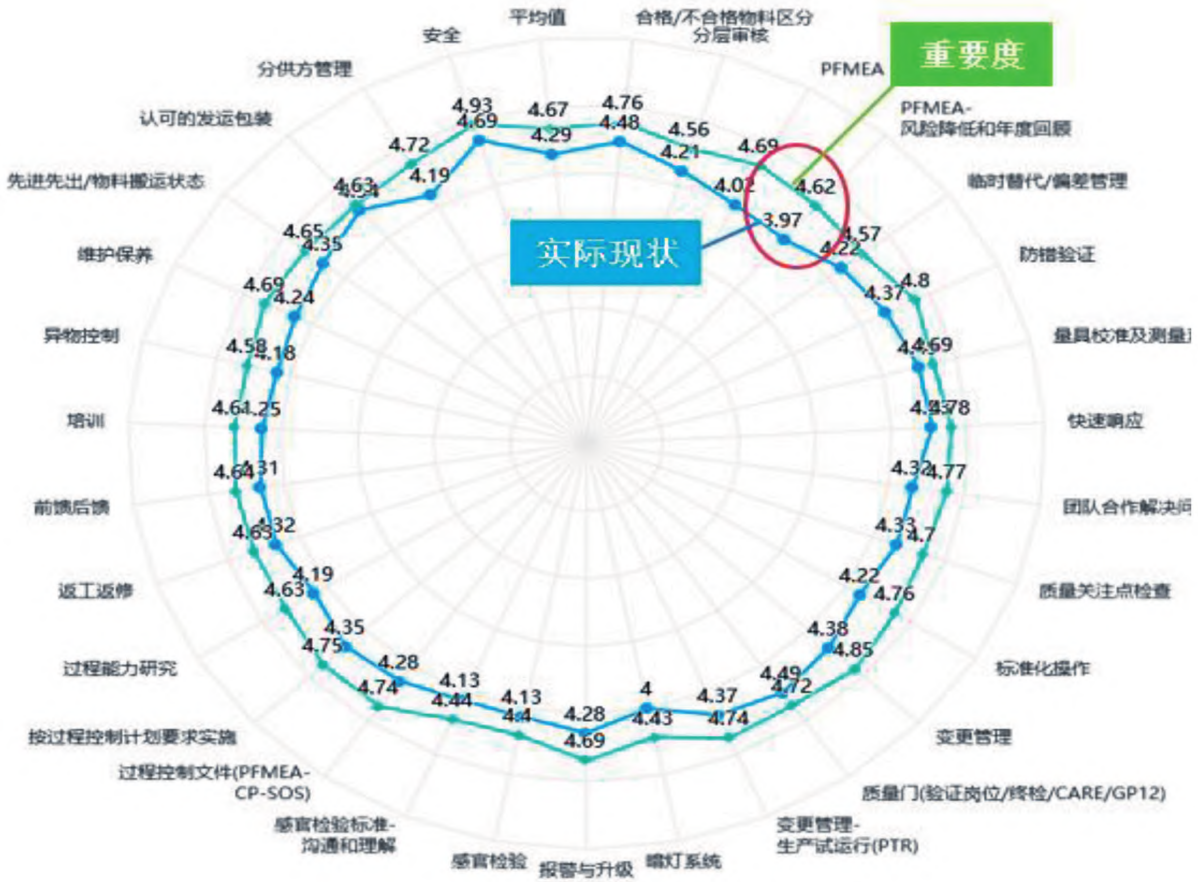


图 1　BIQS 29+1 模块重要度和实际现状打分

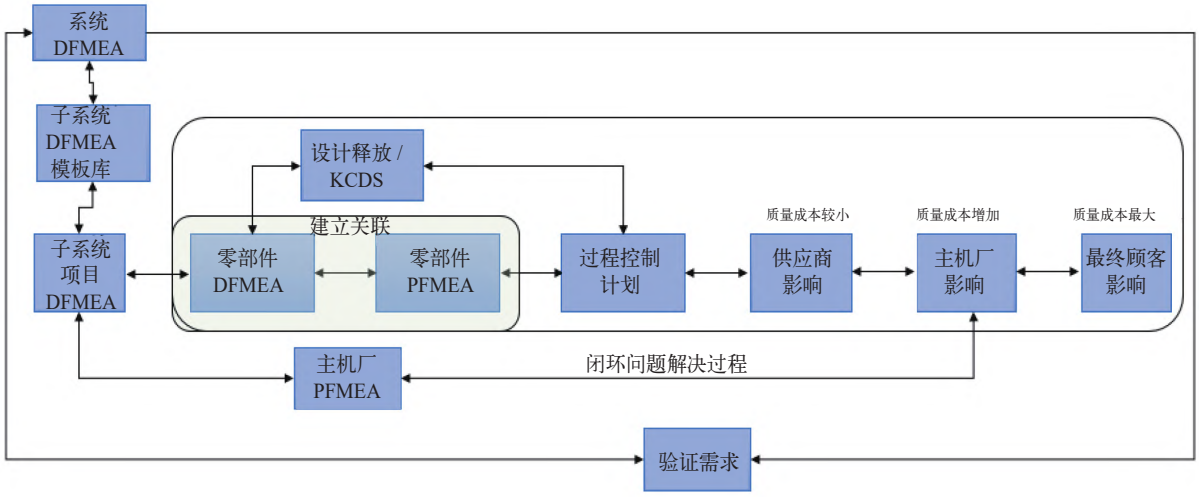


图 2　零部件供应商质量链价值流

逐级风险管控，建立了全过程的项目开发模型，如图 3 所示。首先，建立 DFMEA 到 PFMEA 之间的连接，然后，从 PFMEA 到控制计划进行各参数要素的关联，进一步从控制计划关联到标准化操作指导书和检查指导书中，最终实现了从设计端到制造端的逐级关联。

## 2　基于质量链的汽车零部件 PFMEA 开发实例

### 2.1　PFMEA 编制小组

以某汽车发动机的油温传感器国产化开发项目为例，油温传感器项目开发 PFMEA 小组是一个多功能、

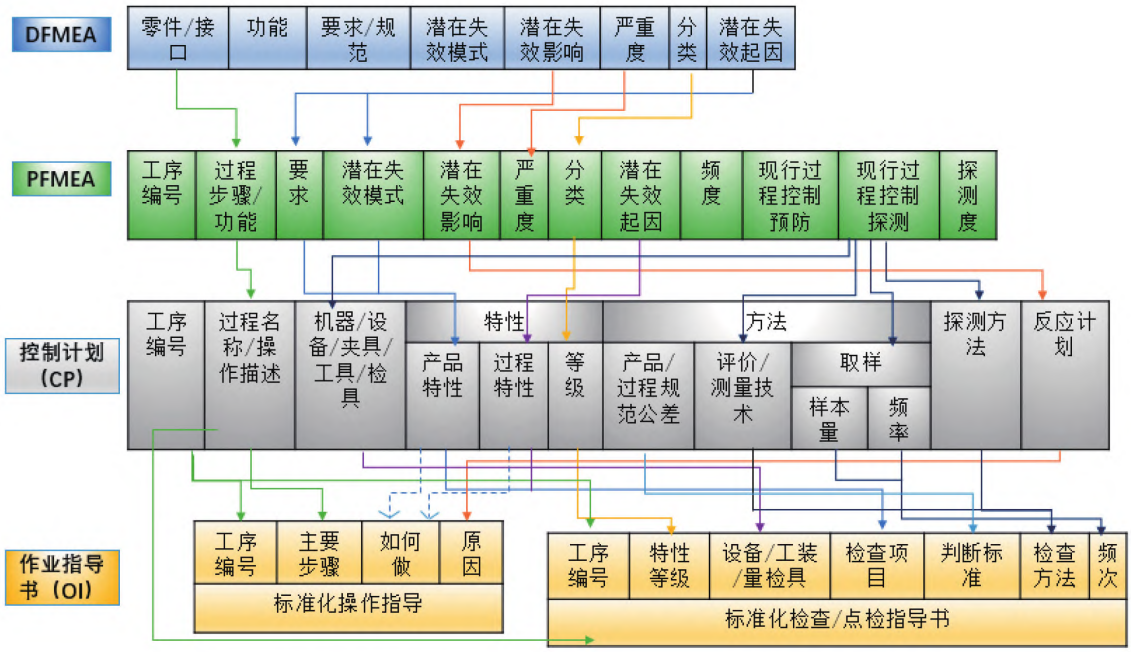


图 3　零部件供应商质量链信息传递模型

跨部门的群组。组长是产品制造工艺专家，同时组长已经通过了主机厂供应商质量管理团队的 PFMEA 培训、带教和答辩认证，获得 PFMEA 绿带资质，且在工厂内部承担 PFMEA 培训师职责；小组成员包括工艺开发、产品设计、质量、设备管理、物流、供应商、对接的主机厂客户的研发设计和供应商质量管理专家等。

PFMEA 小组核心成员在项目的产品设计阶段，已被纳入设计方案评审的小组中，在 DFMEA 开发阶段，输入可制造性和设计防错建议，从制造工艺实现、质量和成本角度进行充分交流和评估，开发最优设计方案。

### 2.2　PFMEA 与 DFMEA 的关联过程

基于零部件供应商质量链的价值流传递理念，PFMEA 编制小组不是独立开发的，在设计释放之前，PFMEA 编制小组密切与设计团队评审设计方案，研讨 DFMEA，并建立 PFMEA 与 DFMEA 的要素关联。在产品设计阶段，把制造的经验传递 DFMEA，输入设计优化建议。对进口原供零件引线套绝缘管，团队成员经过多轮次沟通，在满足设计功能的前提下，引入设计优化，做对比研究。其中，PFMEA 小组从工艺开发角度评估设计方案，包括制造成本、开发周期和质量可靠性角度，分别进行评估对比，见表 1，最终决定采用方案 2。

从 DFMEA（见表 2）关联信息到 PFMEA（见表 3），以热敏电阻与插头的焊接过程，针对 DFMEA 中潜在失效起因，热敏电阻的焊点之间桥连短路，关联到 PFMEA 的潜在失效模式，进行了 PFMEA 与 DFMEA 的六要素关联。

### 2.3　PFMEA 的编制过程

PFMEA 编制过程如图 4 所示，针对国内汽车零部件的 PFMEA 应用现状，需要零部件供应商不断培养 PFMEA 专家，在项目开发实践中，不断加深理解和有效应用。

针对风险等级，在 AIAG FMEA 手册第 4 版已不推荐使用 RPN（Risk Priority Number）阈值来决定是否需要采取措施。可替代的一种识别风险降低机会的方法如图 5 所示，用 RPL（Risk Priority Level）来代替 RPN，进行风险优先级排序。其中，优先等级 1 级为风险最高，必须

表 1　从制造角度对设计方案对比

| 方案 | 介绍 | 成本角度 | 开发周期角度 | 质量可靠性角度 |
|---|---|---|---|---|
| 方案 1 | 引线上穿绝缘套管进行隔离防止引线搭接短路 | 物料：1 个绝缘套管；设备：1 台剪裁；人员：1 人套绝缘管等。成本较高 | 物料定点开发；设备开发；人员培训等。需 3 个月开发周期 | 漏套绝缘管；绝缘管长度超差；引线搭接、变形等。设计的可靠性一般 |
| 方案 2 | 引线之间设计挡块实现物理阻隔 | 省 1 个物料，设备省 1 台，人员省 1 人 | 节省 3 个月的开发周期 | 针对制造质量的潜在风险点，进行设计防错，质量可靠性高 |

表 2　油温传感器 DFMEA 案例

| 项目 / 步骤功能 | 功能 | 要求 / 规格 | 潜在失效模式 | 潜在失效影响 | 严重度 | 分类 | 潜在失效原因 / 机理 | 现行设计控制 | 发生度 | 现行设计控制探测 | 探测度 | 风险优先数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-D 插头总成 - 热敏电阻 | 输出电阻值 | 输出电阻值满足 R-T 表 | 输出电阻值超出 R-T 表 | 不能正确反映机油温度，车辆报故障码 | 7 | Δ | 同一热敏电阻的焊点之间桥连短路 | T 型挡板加厚；挡板高出焊点增加隔离路径 | 4 | 高温老化试验 | 3 | 84 |

表 3　油温传感器 PFMEA 案例

| 项目 / 步骤功能 | 要求 | 潜在失效模式 | 潜在失效后果 | 严重度 | 分类 | 潜在失效原因 / 机理 | 频度 | 现行控制预防 | 现行控制探测 | 探测度 | 风险顺序数 | 风险等级 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1494-16-010 电阻焊接 | 正确的外观：两焊点间无焊锡丝桥连短路 | 两焊点间焊锡丝桥连短路 | 内部：….（7）主机厂：….（5）总装车间：….（5）最终用户：基本功能降低：不能正确反映机油温度，车辆报故障码（7） | 7 | Δ | 机：焊锡丝偏斜未融化，因为自动清洁时，碰歪焊锡丝，因为自动清洁装置固定螺栓松动 | 4 | PM 定期维护：自动清洁装置固定螺栓定期复扳 | 开班检查：检查自动清洁装置固定螺栓骑缝线—设备点检指导书（7）本工位 100% 目测：操作者目测焊点外观—作业员指导书（7）下工位 100% 自动检测自动隔离：装配工序 100% 拍照检查焊点外观并自动隔离不合格品—防错验证（4） | 4 | 112 | 2 |

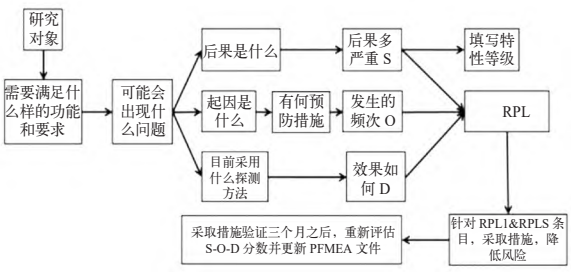


图 4　PFMEA 编制步骤

评估潜在风险降低措施。在开发 PFMEA 时，依据此评级逻辑进行编程开发，可实现自动风险评级。

## 2.4　PFMEA 的输出过程

从 PFMEA 输出到控制计划，以热敏电阻的焊接过程针对焊锡丝桥连短路失效模式为例，PFMEA 的要求关联到控制计划的产品特性—焊点外观，PFMEA 的失效起因，关联到控制计划的过程特性，探测措施关联到控制方法等。

从控制计划输出到标准化操作点检、检查指导书，按照 DPCO 信息关联模型进行逐级传递到标准化作业文件，实现质量控制的终端实施。

## 2.5　PFMEA 实施效果分析

通过质量链 D—P—C—O 传递的创新方法，进行设计源头风险识别和 PFMEA 开发，并对识别的质量要求逐级传递。本油温传感器项目，通过团队共同研究，共完成了 3 项设计优化，精简 3 个工序，减少 2 台设备投入，节省 2 个人工。相比以往新项目的开发，缩短了开发周期 5 个月，单件成本降低 20%；消除了一

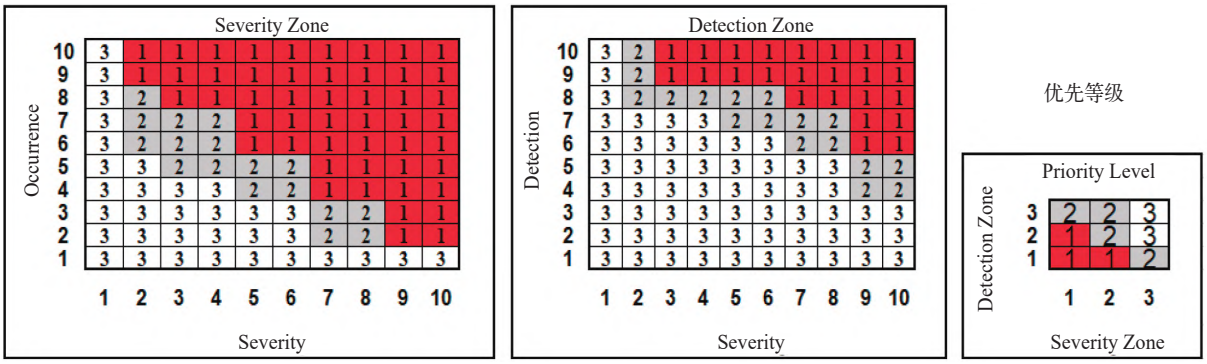


图 5　RPL 风险区域等级

级供应商的质量控制潜在高风险因素，同时向 3 家二级供应商做了同步的质量控制要求传递。最终，客户处质量问题数大幅下降，获得客户处一致好评。

## 3 结语

本文提出了一种基于质量链的汽车零部件供应商 PFMEA 开发方法，不同于以往国内零部件供应商 PFMEA 独立开发的方式，质量链利用 D—P—C—O 模型，将 PFMEA 与 DFMEA 在设计释放之前，项目早期建立关联和信息传递；通过多功能专家小组共同研讨形式，研究最佳设计方案，确保设计的可制造性和可装配性等。通过项目开发实例，达到了提高质量、缩短开发周期和降低成本的效果。本项目在上汽集团 FMEA 竞赛中获得第一名的优异成绩，获得内外部汽车行业专家的一致好评！

随着汽车及零部件制造的数字化、电子化和智能化的逐渐推广，以及供应链低成本化的趋势，主机厂及零部件供应商在 PFMEA 应用上也在进一步探索，如开发 FMEAs 软件并进行 DFMEA 和 PFMEA 的智能自动关联。当今汽车行业激烈竞争的形势下，尤其是智能化、电动化转型项目上，深度理解 PFMEA 的同时，创新性地应用 PFMEA 势在必行，我们将继续不断在汽车零部件供应商中开发和完善共性的工艺 PFMEA 模板，在开发阶段导入 PFMEA，助力高效高质量的项目开发。

### 参考文献


[1] 国家市场监督总局 . 市场监管总局关于 2024 年全国产品召回情况的通告 [R]. 质量发展局 [2025]5 号 .

[2] 戴姆勒克莱斯勒 . 福特公司，通用公司 . FMEA 手册第 4 版 [EB/OL].2008-07-01.

[3] 王丽春 . 失效模式和影响分析（FMEA）实用指南编著 [M]. 北京 : 机械工业出版社 , 2020. 12

[4] International Automotive Task Force. Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations: IATF16949:2016 first edition [S]. 2016.

[5] 吴承业 . T 公司电动门撑杆产品开发质量管理改进研究 [D]. 长春 : 吉林大学 , 2023.

[6] 周金波 . 基于 PFMEA 分析法解决 V80 车型 B 柱涂装灰粒问题 [J]. 现代涂料与涂装 ,2024, 27(1): 26-31, 36.

[7] 孟凡刚，孙渠成，徐贵峰，等 . 基于 PFMEA 分析方法解决某车型尾门与侧围面差匹配问题 [J]. 汽车实用技术 , 2022, 47(4): 109-113.

[8] 夏蓓鑫，陈鑫，李龙，等 . 采用模糊层次分析法的 PFMEA 方法改进及应用 [J]. 华侨大学学报（自然科学版）, 2017, 38(6): 868-874.

[9] 刘传亨 . NH 汽车零部件公司 PFMEA 运用改善研究 [D]. 镇江 : 江苏大学 , 2022.

[10] 储祥伟，陈丹丹 . 基于高风险 FMEA 管控机制的风险评估方法 [J]. 汽车文摘 , 2019(11): 20-23.

[11] 陈丹丹，张振，姜贤茂 . 基于质量链的车身工艺 BOP PFMEA 开发 [J]. 传动技术 , 2020, 34(3): 11-17.

[12] 储祥伟，陈丹丹 . Process FMEA 在白车身制造工艺中的创新应用 [J]. 汽车文摘 , 2020(9): 40-43.

[13] 张鹏辉 . UE 公司新产线精益生产研究 -PFMEA 及价值流分析 [D]. 西安 : 西安科技大学 , 2020.

[14] 杨建康 . 浅析 PFMEA 在总装车间生产制造中的应用 [J]. 汽车实用技术 , 2022, 47(4): 114-118.

[15] 梁进贤 . PFMEA 在发动机新产品制造质量提升中的应用 [J]. 时代汽车 , 2022(24): 16-18.

[16] 朱龙，张新艳 . 基于 PFMEA 的电池装配防错技术应用 [J]. 科学技术创新 , 2021(29): 162-164.