

FMEA

Potential Failure Mode
and Effects Analysis

潜在失效模式及后果分析

FMEA概述

FMEA (failure mode effect analysis) 是一门事前预防的定性分析技术，自设计阶段开始，就经过分析，预测设计、过程中潜在的失效，研究失效的原因及其后果，并采用必要的预防措施，以防止或降低这些潜在的失效，从而提升产品、过程的可靠性。

FMEA分为设计FMEA(DFMEA)和过程FMEA(PFMEA)

FMEA概述

FMEA的历史及现状

20世纪50年代，美国格鲁曼企业开发了FMEA，用于飞机制造业的发动机故障防范，取得很好成果。美国航空及太空总署（NASA）实施阿波罗登月计划时，在协议中明确要求实施FMEA。FMEA现已被广泛利用于飞机制造、汽车制造等多种领域。

FMEA概述

FMEA的作用

FMEA措施是经过原则表格来进行分析的。当构成系统的基本零件或构件发生故障时，上层子系统或系统会受到影响。经过FMEA能够分析出系统的可靠性、维修性、安全性等所受的影响，并拟定可能造成重大故障或损失的零件或构件。FMEA故障对主要度加以量化，从而指明了改善的优先顺序。根据FMEA分析成果，进行与品质、可靠性、维护性、安全性等有关的设计、制造或系统上的改善，使目的系统的有关品质、技术参数和可靠性得到提升。FMEA还可用于故障诊疗。

FMEA的分析对象一般为硬件，有时也可用于软件及人为问题的分析。

FMEA概述 FMEA实施要点

准备FMEA的工作应由负责设计或制造的工程师负责，但准备时所需的多种输入则必须为一整体的努力而非负责工程师个人的责任。对复杂的项目，可能要构成一种特定的队伍，队伍组员由具不同专业知识的人员所构成，可能涉及设计、制造、装配、服务或品管等人员，或者利用会签的方式，要求以上所提各人员提出意见及反应，以找出负责工程师所不熟悉的可能失效模式。

另一实施要点是FMEA须适时的实施，FMEA应该是一种“事件发生前”的行动而非“事件产生后”的练习，要达成FMEA的最佳效果，FMEA一定要在任何未知的设计或制造的故障产生之前实施，花时间将FMEA做好，则将来的设计或制造程序变更能够较轻易及花费较少地执行并减轻设计后期设计变更的危害。

FMEA假如能被合适的應用，则将是一种反复，周期性永不间断的改善程序。

术语

- 1 **失效(failure)**：指产品丧失要求的功能的状态，又译为故障；
- 2 **失效模式(failure mode)**：产品失效的体现形式。如线路短路等；
- 3 **潜在失效模式(potential failure mode)**：指可能发生，但不一定非得发生的失效模式，也即日常所说的“可能存在的隐患”；
- 4 **潜在失效后果(potential effect of failure)**：指潜在失效模式会给顾客(含外部顾客、内部顾客)带来的后果；
- 5 **后果分析(effect analysis)**：研究潜在失效模式发生后给顾客带来的危害性有多大。危害性可用三个方面来衡量：失效模式所产生后果的严重度、失效模式起因发生的频度、失效模式起因不可探测的程度。

术语

顾客、系统

“顾客”。设计FMEA中“顾客”的定义，不但仅是指“最终使用者”，还涉及负责车辆设计或更高一级装配过程设计的工程师/小组，以及在生产过程中负责制造、装配和售后服务的工程师。

1、“系统”。系统是指具有全部功能并可达成要求的任务的产品，如汽车、轮船、飞机等能够称为机械系统；电脑、卫星、移动电话等可称为电子系统。

2、子系统。子系统是系统的构成部分，能达成系统的部分功能，如汽车的动力系统、电脑的显示子系统等。

3、构成件。构成件是构成子系统和系统的单元，可分为功能件、组件和零件。

(1) 功能件。功能件由零件构成，有独立的功能，如汽车电瓶、手机电池等。

(2) 组件。组件是两个以上零件的组合品，如汽车轮胎上的轴承。

(3) 零件。零件是非破坏条件下无法再分的单品，如汽车上的一种螺丝、垫片等。

FMEA的分析层次

FMEA是一种拟定系统或装置等故障原因的措施，当构成系统的子系统或构成件发生故障时，FMEA可用来分析该故障对系统造成的影响，并拟定造成重大影响的构成件。拟定分析层次对FMEA分析至关重要，图1-1表达了FMEA的分析层次：

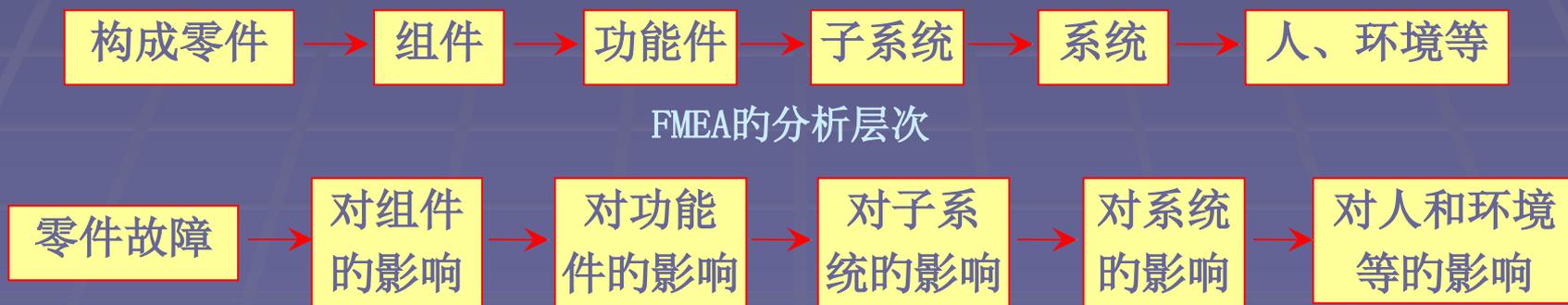


图1-1 FMEA的影响分析层次

FMEA的分析层次

分析方式 (Analysis Approach)

FMEA有两种不同的分析方式：硬件分析法及功能分析法，分析方式的选择，依既有资料及设计复杂性的不同而定。

硬件分析法是将设计的每一硬件项目列出，然后就每一项目进行分析，将其全部的可能的失效模式项目找出。

功能分析法是将设计的项目所能执行的多种功能分类为不同的输出列出，然后就每一输出进行分析将其全部的失效模式找出。

当设计为一复杂的系统时，FMEA可使用两者综合的分析方式。

FMEA为分析架构一般为由下至上。

假如由蓝图，工程或设计资料中能很明确的定义出硬件，则FMEA一般使用硬件分析法且多使用由下至上的架构。

反之若硬件不易定义或系统复杂，则FMEA一般使用功能分析法。

分析方式以及使用何种分析架构并非绝对，分析可由任一层开始。

DFMEA(设计FMEA)

设计FMEA是在设计过程中采用的一种FMEA技术，用以确保已充分地考虑和指明设计中多种潜在的失效模式及其有关的起因/机理，并就此在设计上采用必要的预防措施。

DFMEA(设计FMEA)

DFMEA的特征

- (1) 以产品的元件或系统为分析对象，用表格的形式，从低层次开始逐渐向高层次分析。
- (2) 原则上是全方面分析。然而，全而详细分析所需工作量很大，所以对已经有使用经验表白效果好的部分，可免于分析或者提升分析级别；反之，对新产品或研制内容较多的部分，则应详细分析。
- (3) DFMEA由产品设计人员主持，生产、品管、使用等技术人员参加。
- (4) 在设计过程中，应根据取得的新资料不断改善

DFMEA(设计FMEA)

DFMEA的用途

- (1) 辨认需采用预防措施的设计缺陷；
- (2) 为制定或修改关键件清单提供根据；
- (3) 为评价产品设计的可靠性及优化设计方案提供根据；
- (4) 为制定产品试验计划，拟定产品、过程的质量控制方案提供信息；
- (5) 为故障诊疗，制定维修方案提供信息；
- (6) 为维修性分析、安全性及危险源分析、保障源分析等提供根据。

DFMEA(设计FMEA)

DFMEA分析的对象

- (1) 新设计的产品、部件。
- (2) 环境有变化的沿用零件。
- (3) 发生了变化的材料和零件。
- (4) 有重大设计更改的部件。

DFMEA(设计FMEA)

DFMEA分析的时机

设计FMEA应在设计意图（设计意图中包括对产品功能、性能等方面的要求）最终形成之时或之前开始，并贯穿在设计工作的全过程之中。在正式的产品图样完毕之时或之前，设计FMEA应全部结束。

DFMEA(设计FMEA)

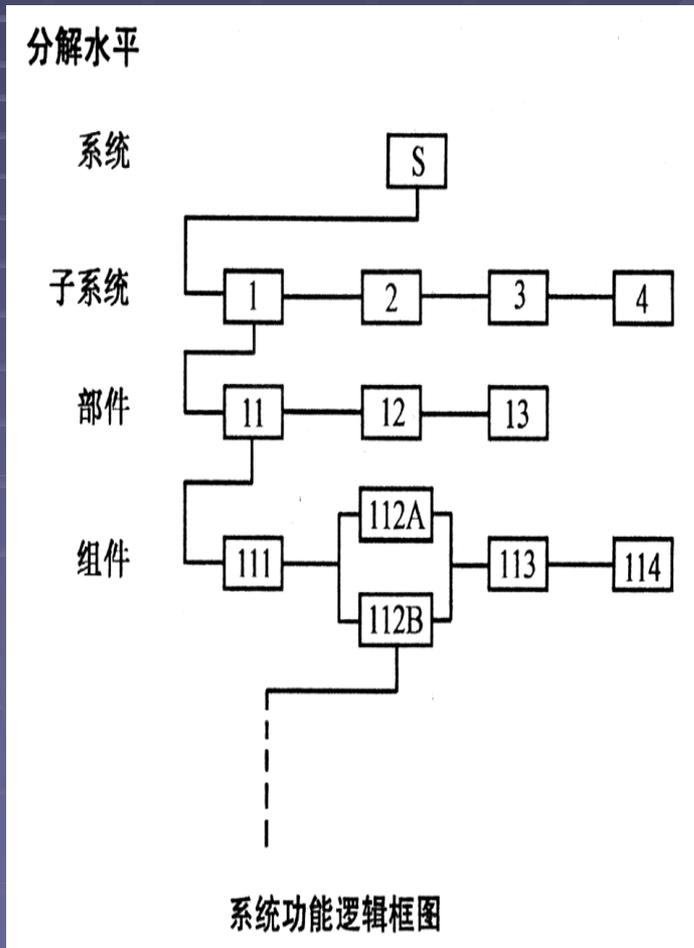
DFMEA分析的过程和措施

(1) 定义产品。

拟定产品的要求，涉及产品的功能、用途、性能、使用条件等。

(2) 划分功能块。

系统可逐层分解直到最基本的零件、构件。一般根据分析目的，可将系统分解到某一水平。将系统按功能分解为功能块并绘出系统功能逻辑框图，如图。



DFMEA(设计FMEA)

(3) 列举各功能块全部失效模式、起因和潜在失效后果。

失效模式应与该功能块所在级别相适应。

(4) 进行风险分析。

按失效影响的严重程度（严重度 S ）、发生的频繁程度（频度 O ）、发觉的难易程度（发觉难度 D ）估计风险顺序数。

严重度 S 、频度 O 、发觉难度 D 均利用数字1到10来判断其程度高下。

各项数字的连乘积称为风险顺序数 RPN （ $RPN=S \times O \times D$ ）。风险顺序数 RPN 越高，表达风险越大。根据各失效模式的风险顺序数，即可突出那些必须改善的关键方面。

(5) 提出改善措施。

对那些风险顺序数较高的项目，应提出改善措施并实施。对于无法消除的故障，应分配给高的可靠性指标，必要时增长报警、监测、防护等措施。

(6) 填写DFMEA分析表格（见案例4-1之DFMEA规范表格）。

(7) DFMEA跟踪管理。

DFMEA(设计FMEA)

特 别 提 醒

应注意分析的范围和分析的级别。对故障出现频率低、影响小的零部件不必进行FMEA分析。

潜在失效模式及后果分析

DFMEA (设计FMEA) (设计FMEA)

系统

× 子系统

零组件: 01.03 车身密封 (2)

设计责任: 车身工程师

(3)

车型年度/车辆类型: 199 × / 狮牌4门旅行车 (5)

关键日期: 9 ×, 03, 01

(6)

关键小组: T. Fender (汽车产品部), C. Childers (制造部), J. Ford (总装部), Dalton, Fraser, Henley (总装工厂)

项目 (8) (9)	潜在失效模式 (10)	潜在失效后果 (11)	严重度 (S) (12)	分类 (13)	潜在失效起因/机理 (14)	频度 (O) (15)	现行预防设计控制 (16)
---------------	-------------	-------------	--------------	---------	----------------	-------------	---------------

■ 左前车门 H8 HX-000 0 A	车门内板下部腐蚀	■ 车门寿命降低, 造成: 因	7		■ 车门内板之上 方边 沿保 护蜡 喷涂 劣	6	
----------------------	----------	-----------------	---	--	------------------------	---	--

DFMEA(设计FMEA)

FMEA编号: 1234 (1)

页码: 第1页 共1页

编制者: A. Tate - X 6412 - 车身工程师 (4)

FMEA日期: (编制) 8X, 03, 22 (修订) 8X, 07, 14 (7)

现行探测设计控制 (16)	探测度 (D) (17)	风险顺序数 RPN (18)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 提议措施 (19) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 责任和目的 完毕日 (20) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 措施执行成果 (22) 				
						严重度	频度	探测度	R. P. N
			<ul style="list-style-type: none"> ■ 增长试验室测试 	A. Tate- 一车身工程师8x, 09, 03	<ul style="list-style-type: none"> ■ 根据试验成果 (21) 				

DFMEA(设计FMEA)

① FMEA编号（①为表格中的序号，下列类推）。

填入FMEA文件编号，以便查询。

② 系统、子系统或零部件的名称及编号。

注明合适的分析级别并填入所分析系统、子系统或零部件的名称、编号。

③设计责任。

填入负责设计的厂家、部门和小组。

④编制者。

填入负责FMEA准备工作的工程师的姓名、电话。

⑤产品类别/产品型号

填入将使用和/或正被分析的设计所影响的预期产品类别及型号（假如已知的话）。

DFMEA(设计FMEA)

⑥ 关键日期。

填写FMEA首次预定完毕的日期，该日期不应超出计划的正式设计完毕的日期。

⑦ FMEA日期。

⑧ 关键小组。

列出被授权拟定和/或执行任务的责任部门和个人姓名（提议将全部参加人员的姓名、部门、电话、地址等都统计在一张分刊登上）。

⑨ 项目。

填入被分析项目（零件/部件/子系统/系统）的名称和

编号。

DFMEA(设计FMEA)

⑩ 功能。

阐明被分析项目的功能，涉及该系统运营的环境信息（如温度、压力、湿度范围）。假如该项目有多种功能，且有不同的失效模式，应把全部功能都单独列出。

⑪ 潜在失效模式。

列出分析对象可能发生的失效模式，即没到达设计的意图和要求功能所呈现的方式（注：某一级系统的失效模式可能是更高一级子系统、系统的潜在失效模式的起因，也可能是比它低一级的零部件潜在失效模式的后果。）

DFMEA(设计FMEA)

经典的失效模式

裂纹、变形、松动、泄漏、粘结、短路、氧化、断裂、疲劳、腐蚀、变质、断路、硬化、泄露、剥落、褪色、抱轴、振动、过早磨损、发烧等。

DFMEA(设计FMEA)

⑫ 潜在失效后果。

主要描述失效模式一旦发生后对系统所造成的影响。假如故障影响涉及到顾客申诉、索赔、违反有关原则或法规要求，应明确指出。失效后果涉及局部效应（对所分析的子系统造成的影响）、最终效应（对最终产品（系统）造成的影响）。

经典的失效后果（失效效应）

噪声、工作不正常、不良外观、不稳定、运营中断、粗糙、不起作用、异味、工作减弱、污染、运营间断、装置失控、不安全、操作力过大，运营障碍等。

DFMEA(设计FMEA)

⑬ 严重度S (Severity)。严重度表征失效后果的严重性。只有经过设计更改，才干改善严重度，DFMEA分析用严重度数可按表4-1选用。

表4-1 设计FMEA分析用严重度数 S

后 果	评估准则：后果的严重度	严重度数
■ 无警告的严重危险	■ 这是一种非常严重的失效形式，它是在没有任何失效预兆的情况下影响到操作安全和/或不符合政府的法规。	10
■ 有	■ 这是一种非常严重的失效形式，目	

DFMEA(设计FMEA)

⑭ 级别（分类Class）

本栏目可用于以零件、子系统或系统产品的特征进行分级（如关键、主要、次要、要点等）。分级可参照表4-2进行。

表4-2 质量特征主要性分级定义

特性分级	分级定义
■ 1级特征 （关键特征）	■ 假如超出要求的特征值要求，将直接影响产品的安全性或造成产品整机功能丧失
■ 2级特征 （主要特征）	■ 假如超出要求的特征值要求，将造成产品部分功能丧失
■ 3级特征	■ 假如超出要求的特征值要求

DFMEA(设计FMEA)

⑮ 潜在失效的起因/机理。

对每一失效模式，都应分析并列出生成故障的原因。有些故障原因是多层次的或者几种原因有关联的，此时应结合应用故障树分析法（FTA）找到引起故障的主要原因或直接原因。列出的原因应尽量完整和简要，以便能采用针对性的纠正和预防措施。

经典的失效原因

要求的材料不正确，设计寿命估计不足，应力过大，润滑不足，维修保养阐明不当，环境保护不够，计算错误，滥用或误操作等。

失效机理

2024/12/31 屈服、疲劳、材料不稳定性、蠕变、磨损和腐蚀。

DFMEA(设计FMEA)

⑩ 频度 O —— 发生概率。

频度用来表征失效原因发生的可能性。

经过设计更改来消除或控制一种或更多的失效起因/机理是降低频度数的唯一途径。设计FMEA用频度数见表4-3。

表4-3 设计FMEA分析用严重度数 S

失效发生可能性	可能的失效率	频度数
■ 很高：失效几乎是不可防止的	■ $\geq 1/2$	10
	■ $1/3$	9
■ 高：反复发生的失效	■ $1/8$	8
	■ $1/20$	7
■ 中档：偶尔发生的失效	■ $1/80$	6
	■ $1/400$	5
	■ $1/2023$	4

DFMEA(设计FMEA)

表3. 推荐的DFMEA频度评价准则

失效发生可能性	可能的失效率	级别
■ 很高：连续性发生的失效	≥100件 / 每千辆车	10
	50件 / 每千辆车	9
■ 高：反复发生的失效	20件 / 每千辆车	8
	10件 / 每千辆车	7
■ 中档：偶尔发生的失效	5件 / 每千辆车	6
	2件 / 每千辆车	5
■ 低：相对极少发生的失效	1件 / 每千辆车	4
	0.5件 / 每千辆车	3
■ 极低：失效不太可能发生	0.1件 / 每千辆车	2
	≤0.010件/每千辆车	1

DFMEA(设计FMEA)

⑰ 现行设计控制。

列出现行控制措施或注明“未控制”。控制措施有预防措施、设计确认 / 验证或其他活动。

选择措施可考虑：

- 预防失效起因 / 机理或失效模式 / 后果的出现，或降低它们的出现率。
- 查出失效起因 / 机理并就此找出纠正措施。
- 查明失效模式

DFMEA(设计FMEA)

⑱ 发觉难度D。

Detection，又译为探测度，发觉难度表征对失效模式以及失效的潜在原因的可知程度。设计FMEA分析用发觉难度数见表。

设计FMEA分析用发觉难度数 D

探测性	评价准则：由设计控制可探测的可能性	发觉难度数
■ 绝对不愿定	■ 设计控制将不能和 / 或不可能找出潜在的起因 / 机理及后续的失效模式，或根本没有设计控制	10
■ 非常	■ 设计控制只有极少的机	

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/067102150160006156>