

系统级 FMEA 工作方法探讨

北京宇航系统工程研究所 李艳霞 赵长见 管 飞

摘 要 首先对探讨系统级 FMEA 工作进行了必要性分析;其次立足于型号研制特点及故障发生的特点提出了做系统级 FMEA 的思路;最后抛砖引玉,给出了做系统级 FMEA 供大家参考的三个实例。

关键词 系统级 FMEA

前言

FMEA 是英文 Failure Mode and Effect Analysis 的缩写,中文意思是故障(失效)模式影响分析。

FMEA 就是按预定的标准程序,对分析对象的各种故障模式、影响、原因及相应的防止措施进行分析的一种技术。

FMEA 属于单因素定性分析方法,对产品可能发生的所有故障模式逐一地、单个地进行分析,主要是表格化工作,简单、易行。它适用于系统的任何一级,也适用于系统内外接口,既可针对设计也可针对其它,如工艺、维修、使用等。

FMEA 技术和其它工程技术一样,来源于实践反过来又指导实践。国军标、航天行业标准以及型号可靠性大纲都规定了 FMEA 是型号研制中必做的工作项目。

工程应用中,各型号单机级的 FMEA 工作程序和方法已经比较成熟,广大设计人员已经基本具备单机级的 FMEA 工作所需的技能和素质。而系统级 FMEA 目前只限于对各单机级 FMEA 工作的汇总、归纳,分析不到系统级的故障模式。目前型号研制过程中,总会出现各种各样的问题和故障,而且一部分故障属于单机级的 FMEA 所覆盖不了的,这当中虽然有我们的认知水平达不到的原因,但其中也有我们没有分析到的原因。而且,目前国军标及相关标准都没有介绍有关系统级 FMEA 的内容。这就迫切需要我们开展系统级 FMEA 工作方法探讨和研究,尽我们最大努力把型号研制过程中一切可能潜在的故障模式都尽可能的找出来,对其进行深入分析并采取相应的有效措施,来降低

故障发生的可能性,从而达到防止故障发生的最终目的。本文立足于型号研制特点及故障发生的特点提出了做系统级 FMEA 的思路。

1 关于系统级 FMEA 的理解

所谓系统级应相对地理解,例如控制系统对其所属单机可以视为系统,而对全弹(箭)又可视作单元,因此系统级 FMEA 可以指全弹(箭) FMEA,也可以指某分系统 FMEA。

1.1 系统级 FMEA 与单机级 FMEA 的主要区别

单机级 FMEA 多用硬件法;而系统级 FMEA 多用功能法。

对于系统级内部协调性问题(即各单机之间的接口与相互影响问题),单机级 FMEA 不可能覆盖,须由系统级 FMEA 补充完成。

对系统级的总体设计方面可能存在的缺陷、疏漏等问题,只能由系统级 FMEA 来解决,而单机级 FMEA 做不到。

1.2 系统级故障模式识别

可以采用功能法,首先列举系统级功能,然后以各项功能为基础,站在系统级高度上识别可能存在的对于系统级功能实现有碍的隐患、缺陷、疏漏等问题(即故障模式)。如果通过系统级 FMEA 将这些故障加以识别和确认,也是必须的,尽管对这些故障模式采取针对性措施仍要追溯到单机,但是这样做并不是简单的重复单机级 FMEA,而是经系统化的提炼,有利于系统化的故障管理,从而保证或提高系统级的固有可靠性。

在识别系统级故障模式过程中,如果遇到与单机 FMEA 中有重复,则在工作表备注中加以说明,

不再重复。

系统级故障模式识别可从以下几方面入手。

- 1) 总体要求正确性、全面性;
- 2) 对产品任务剖面认知的符合性 (主要是飞行时序的正确性与协调性、环境条件量级与持续时间对实际的符合程度);
- 3) 系统级内部各单元的协调性以及响应耦合性;
- 4) 对特殊环境 (例如气动加热、发动机高速燃气流等) 防护的完备性;
- 5) 具有动作部件 (例如火工元件爆炸、分离等) 工作时对其它部件的影响;
- 6) 电、气、液路系统潜在通路;
- 7) 电气系统电磁兼容性方面的问题。

1.3 系统级 FMEA 实施方法

系统级 FMEA 的工作程序、参照标准、工作表、报告内容格式等和单机级 FMEA 相同。

引起系统级故障模式的原因一般比较复杂, 包括硬件、软件、人为因素等。因此故障模式原因分析必须准确、具体, 切忌笼统, 要追溯到单机的设计、工艺等方面的原因, 以利于采取针对性措施。

系统级内部各单机间的接口问题不可遗漏, 可以作为影响系统级功能的故障模式单独列出, 也可以体现在某个影响功能的故障模式的原因之中。

2 几个实例

1) 某型号增压系统由高压气瓶、电爆阀、管路系统、减压器等主要组件构成。在单机 FMEA 中, 气瓶、阀门、管路均做了故障模式影响分析工作, 以上单机的相关试验也做得较成功。当组成系统后, 电爆阀门打开, 气体突然通过管路作用在减压器的膜片上, 同时激励起膜片的振动和管路中气体的脉动, 而且膜片振动和气体脉动的频率一致形成自激回路系统, 使膜片破裂——双向弯曲疲劳断裂。这表明只进行单机的 FMEA 是不够的、不完整的, 必须总体进行系统的 FMEA 才会发现系统潜在的故障, 机理才会清楚, 改进的措施才有效。该型号经改进后, 不再出现上述故障。

2) 某型号连续两发飞行试验均在一级飞行数十秒后结构折断, 飞行失败。寻找原因时, 只知道姿态失稳造成的气动载荷过大, 这个现象令人百思不得其解。一级飞行数十秒没有扰动, 产品的特性都已考虑完整, 姿控系统的仿真试验表明, 姿态是

稳定的。最后在有关专家的指导下, 发现速率陀螺安装的支架刚度弱, 在一级飞行数十秒左右时, 气流脉动作用在速率陀螺的支架上, 激励支架使其产生角振动, 速率陀螺感受这个信号, 控制导弹姿态变化, 姿态变化又加剧了支架的角振动, 形成一个自激回路的运动。最终造成姿态发散, 气动载荷增大, 使导弹结构折断。但只从速率陀螺、支架的 FMEA 根本分析不到这类问题。但把它作为姿态控制系统来分析, 增加了一个二阶振荡环节, 这个环节却是在系统设计中没有考虑的, 只有进行了总体系统 FMEA 时, 才可能发现这个隐患。最后采取的措施很简单, 增加支架刚度, 使其角振动频率提高, 问题得到了解决。在以后的飞行中, 不再出现姿态发散的现象, 飞行获得了成功。

3) 某型号在首飞时发现伺服系统保压部分喷漏, 导致飞行失败, 在故障分析中发现尾罩分离时, 有自由运动物质产生。这些自由物体在发动机高速喷流与回流作用下, 迅速向伺服系统的液压部分撞击, 打坏了其结构, 致使液压喷漏。在采取相应措施后, 飞行获得成功。伺服系统的单机 FMEA 分析不到破裂问题, 对分离单独的 FMEA 分析也无问题, 能正常分离, 但作为系统来考虑, 自由物体撞击后果显然是一种隐患, 应通过系统级 FMEA 来解决。实践证明, 总系统级的 FMEA 是很重要的, 应该看重从系统的高度出发, 对单机、分系统涉及不到的故障隐患进行 FMEA, 只有这样做系统级的 FMEA 才有针对性, 才有自身的工作内容, 才有可能排除系统中存在的故障隐患。

3 结论

通过上述分析与具体实例, 做系统级 FMEA 工作比较难、比较复杂, 但只要认真细致, 不要做单机、分系统已经做过的工作, 区分开质量复查、复核复算与 FMEA 的不同工作内容, 做好系统级的 FMEA 也是有可能的。

参考文献

- [1] 周正伐. 可靠性工程基础 [M]. 北京: 宇航出版社, 1999.
- [2] Q/Dy 608-2005 FMEA 实施细则
- [3] 胡昌寿. 航天可靠性设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.