

FMEA在航空供应链中的应用探索

Application of FMEA in Aviation Supply Chain

中国一航成都飞机工业(集团)公司检验检测部 王青



王青

1990年毕业于北京航空航天大学,在一航成飞先后从事设计、工艺、质量管理等工作。2005年起负责机载成品供应商质量管理,参与研究“重点型号配套产品供应商管理”,获得2006年度中国国防科技工业企业管理创新成果二等奖。

FMEA(潜在失效模式及后果分析)是在产品设计过程中,通过对产品各组成单元各种潜在的故障模式及对产品功能的影响进行分析,提出可能采取的纠正/预防措施,以提高产品可靠性的一种分析技术。上世纪50年代美国格鲁门飞机公司将此方法初次应用于研制飞机操纵系统并取得了良好的效果后,

随着与国外企业的广泛合作,中国企业在20世纪80年代引入了FMEA技术,在电子、汽车、武器装备等领域取得了显著成效。航天工业领域通过开展FMEA活动逐步提升了产品的可靠性,但国内航空工业领域应用FMEA技术还是比较薄弱的。

FMEA逐渐推广到各行各业。早期的FMEA没有考虑到危害性分析(CA),随着FMEA技术的发展,现代的FMEA技术已经扩展,包含了FMECA(故障模式、影响及危害性分析)的内容。汽车行业已将FMEA作为设计和过程分析的方法和TS16949体系认证的要求,并有专门的操作手册对具体开展FMEA提供指导。麦肯锡公司的调查结果显示,日本汽车及零部件制造企业应用FMEA的比例达到100%,借助FMEA工作的开展,日本企业产品(机械、电子、汽车等)的可靠性大幅度提高,从而击败了西方的竞争对手,日本企业的成功经验值得我们借鉴。

随着与国外企业的广泛合作,中国企业在20世纪80年代引入了FMEA技术,并且在电子、汽车、武器装备等领域取得了显著成效。航天工业领域通过开展FMEA活动

逐步提升了产品的可靠性。在航空工业领域,大多提倡开展FMECA,但笔者对部分国内航空成品供应商的调查发现,尽管GJB450《装备研制与生产的可靠性通用大纲》规定了FMECA是航空产品可靠性设计的一项基础性工作项目,但国内航空工业领域应用FMEA技术还是比较薄弱的。

在航空工业领域推广应用FMEA技术的重要意义

FMEA是航空企业规避质量风险、减少等级事故、降低产品成本、加快产品研发、提升竞争力的重要手段之一。相关数据显示,产品从概念设计到最后出现故障,每多延后一个环节,其质量损失成本和风险就会成倍增加。因此,若能在产品的早期发现其薄弱环节并及早采取措施,就能够缩短产品研发周期,提高产品质量,降低企业风险。实践证明,FMECA

已成为可靠性系统工程(RMSTS, R为可靠性、M为维修性、S为安全性、T为测试性、S为保障性)必不可少的重要技术基础之一。此外, FMEA技术在航空工业领域推广应用还具有如下意义:

(1) FMEA技术的应用不单纯是一种技术手段的推广,更是心智模式的改变。FMEA是一项科学严密的系统工程,体现了产品工程师在产品策划及实现过程中经历的思维过程。通过开展FMEA活动,个人的经验将不再只存储于个人的大脑中,而是凭借FMEA系统平台提供给团队分享,通过跨部门多功能团队无边际的合作,单个供应商的力量将整合到整个供应链中。

(2) FMEA实际上意味着在事件发生之前采取行动,从而达到规避风险、减少损失的目的,是预防措施的具体体现,侧重于未雨绸缪、谋定后动,真正体现了质量管理应以预防为主的思想。

(3) FMEA管理过程是一项知识管理过程, FMEA报告是一种动态文件,应在产品投入生产或使用前完成,但这并不意味着使用以后出现的问题就不需进行FMEA分析。实际上, FMEA是经验的不断积累和再利用,在后期出现的问题也可以按FMEA要求分析,并将这些解决问题的经验用规范的记录保存在数据库中,形成知识宝库,为设计和开发新产品、改进和完善老产品提供技术支持和服务。

目前存在的主要问题

尽管FMEA技术在其他行业取得的成效有目共睹,在航空工业领域的部分供应商也在逐步开展FMEA项目,但由于对FMEA技术的认识不足,在实际应用FMEA技术中还存在一些问题:

(1) 为了留下记录而编写报告,没有进行动态管理。航空产品必须经过产品的设计鉴定,产品研制单位需要按鉴定的要求进行产品的风险分析。部分研制单位只是追求通过鉴定,仅仅注重FMEA的形式,而忽略了FMEA的实际应用,所作的FMEA报告内容简单,分析肤浅,所形成的报告在通过鉴定之后就束之高阁,没有体现FMEA技术的真正作用。

(2) 部门之间缺乏有效沟通,分析结果与过程控制脱节。例如,某研制单位在某产品的设计开发过程中开展了FMEA,并已分析到具体原因,提出了预防措施,但该文件没有传递给相关人员,建议的措施没有落实到作业指导书和使用维护说明书中,本可以避免的问题仍然没有避免。

(3) 基础数据不够充分,分析时缺乏数据支持。部分供应商不注重对产品售后信息的搜集,对收集到的有限数据也缺乏汇总归类,只针对个别问题临时处理,没有通过应用统计技术对信息进行深加工,信息的价值没有得到充分利用。

在航空供应链上开展FMEA的可行性

航空工业发展迅猛,产品更新周期不断缩短,对新机研制可靠性的期望越来越高,国际间的竞争日趋激烈,顾客的期望、上级机关的要求等都迫使航空企业不得不创新管理,探求新出路。

标准GJB1391《故障模式、影响及危害性分析程序》(现已更改为GJB/Z1391-2006《故障模式、影响及危害性分析指南》,相对GJB1391-92而言,增加了大量内容,例如,补充了软件和过程FMECA的内容,并提供了FMECA在可靠性、维修性、安全性、测试性和保障性工程中大量的应用案例)、GJB841《故障报告、分析和改进措施系统》等为开展FMEA提供了指导。上级机关颁布的指令性文件中已多次明确提出FMECA工作的作用和要求,如“各单位应建立本单位产品故障模式库,积累经验和数据,并不断完善”等,为开展FMEA提供了工作依据。

航空工业的供应商同时也为航天、汽车、电子等行业配套, FMEA在其他行业中成功应用的经验奠定了在航空供应链上推广的基础。

FMEA、FMECA、FRACAS三者的关系

FMEA是在产品投入使用以前,通过分析,提出可能采取的预防改进

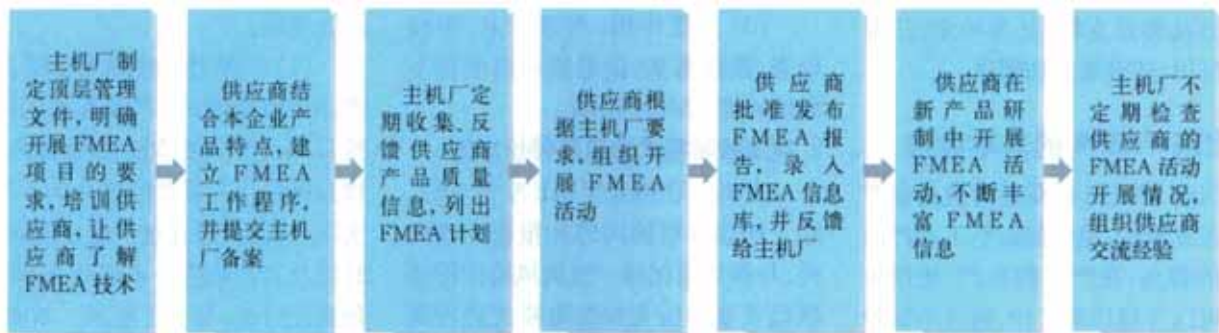


图1 实施FMEA的基本途径

措施,以提高产品可靠性的一种系统分析方法。FMEA代表了一个对风险深入、客观和定量的分析。它按照风险系数的大小,确定纠正/预防措施的排序方案。根据分析的阶段不同,FMEA可以分为DFMEA(设计FMEA)、PFMEA(过程FMEA)以及SFMEA(服务FMEA)等,根据分析的对象不同,又可以分为硬件FMEA和软件FMEA等。

FMECA的要点是把FMEA中确定的故障模式按其有效的严重程度类别及其发生概率的综合影响加以分析,以便全面地评价各种可能。CA是FMEA的延续,可以是定性分析也可以是定量分析。如果不要进行FMEA,就不能要求制定FMECA计划。FMECA是一种归纳分析方法,其重要结果是危害性矩阵,它按照故障模式的危害性对潜在故障进行分级,并据此确定预防措施的排序方案。

FRACAS(故障报告、分析和纠正措施系统)的要点是确保合同规定产品层次的故障都能得到报告,进行分析,以便采取有效的纠正措施,防止或减少同类故障再次发生。FRACAS是在故障发生后采取的补救措施,侧重于通过实施有效的纠正措施,防止故障再现,改善产品的可靠性和维修性。

FMEA、FMECA作为综合的信息来源,为FRACAS评审实际发生的故障提供了依据,而FRACAS又可以为持续改进FMEA、FMECA的完整性和准确性提供资料。3种分析方法相互支持,互为补充,三者配合应用,其效果更加明显。

实施FMEA的基本途径

启动FMEA的最佳时机是在产品的开发阶段,但根据航空工业产品研制的特点,在产品的生产、使用阶段也可以开展该项工作,通过不同阶段的FMEA应用,可以帮助各供应

表1 严酷度判别准则

严酷度影响		判别准则	评价指数
I类: 灾难的	无预兆灾难的	发生前没有任何预兆,引起飞机等级事故,造成机毁人亡	10
	有预兆灾难的	发生前有预兆,引起飞机等级事故,影响顾客安全	9
II类: 致命的	致命的	丧失基本功能,引起人员严重伤害、重大经济损失或导致任务失效的系统严重损坏	8
III类: 临界的	临界的	丧失基本功能,引起人员轻度伤害、一定的经济损失或导致任务延误或降级的系统轻度损坏	7
	轻度的	丧失基本功能,虽不足以引起人员伤亡、一定的经济损失或系统损坏,但会导致飞机用户非计划性维护或修理	6
IV类: 轻微的	中等	功能部分失效,在主机厂试飞现场才能发现	5
	一般	功能部分失效,在主机厂装前试验出现	4
	低	某些特性不符合,在主机厂入厂验收时会发现	3
	微小	某些特性不符合,不影响产品功能	2
	无	某些特性不符合,不会被用户注意	1

商加深对FMEA技术的认识,积累经验,以便在研制新机时能够熟练运用该技术来提高研制水平。目前在航空工业供应链中实施FMEA的基本途径如图1所示。

1 航空工业主机厂在推广FMEA技术中发挥的作用

航空工业的主机厂应起到龙头带动作用,对配套供应商开展FMEA项目提供信息支持和技术指导。其作用主要体现在以下3方面:

(1) 引导作用: 收集标准,制定准则,建立程序,使供应商开展FMEA工作有章可循。

(2) 培训作用: 加强沟通,交流经验,达成共识,使供应商充分理解主机厂对FMEA项目的要求。

(3) 监督作用: 传递信息,审核检查,跟踪落实,促进供应商坚持不懈地开展FMEA活动。

2 确定故障模式的风险评价准则

主机厂在确定FMEA要求时,除了明确分析的内容和报告的格式外,与供应商保持一致的风险评价准则很重要。因为对故障模式进行风险分析,是确定是否采取改进(补偿)

措施的主要环节。在制定FMEA的风险评价标准时,采用不同的FMEA方法就有不同的风险评价标准。我们建议借鉴过程FMECA的风险评价方法,从严酷度S(Severity)、发生频度O(Occurrence)、可检测度D(Detection)3个方面进行评价。

这里需要说明的是,可检测度D是过程FMECA中的一个特殊因素,有别于其他的FMECA风险评价。按现代质量管理基于过程控制的原则,主机厂希望供应商在判断故障风险时全面综合考虑。不同层次的供应商可以结合本单位的产品特点制定不同的评价标准,但其对风险的评价准则应得到主机厂的认可。以下推荐一个供航空主机厂参考的风险评价准则。

(1) 严酷度: 故障发生时其(对产品最终影响的)严重程度的指数。按GJB1391《故障模式、影响及危害性分析程序》,将严酷度分为4类,在实际分析时,建议按产品出现故障的时机及其影响进一步细分为10级以便量化分析,如表1所示。不同的企业可以根据其具体情况来定义。

(2) 发生频度：一个故障发生可能性的指数。判断发生频度一般需要基础统计数据支持,但也可以通过类似产品的经验数据进行推测。同样,可根据发生失效的可能性(很高,高,中度,低,很低)和可能的失效率($\geq 50\% \sim \leq 0.01\%$)确定评价指数(10~1)。

(3) 可检测度：故障发生时被检测到的可能性的指数,有些也可定义为可控度,是产品在交付用户或投入下一个过程前发现问题可能性的量化描述。同样,可根据检测效果(不可能,可能性小,中等,可能性高等)和评估标准确定评价指数(10~1)。

(4) 风险系数：对故障模式风险的定量描述。风险系数 $RPN=S \times O \times D$,一般按 RPN 的大小列出优先解决的故障模式,但也不排除当严酷度很高时,按顾客要求优先采取措施。通常,当 $RPN \geq 120$ 时,应考虑采取措施。

降低风险系数的策略包括：消除发生频度；降低严酷度；减小发生频度；提高可检测度。

3 航空工业供应商开展 FMEA 的基本步骤

供应商是开展 FMEA 活动的主体,承担 FMEA 项目的供应商应明确职责,按项目的轻重缓急、风险大小和顾客的要求等,合理确定 FMEA 项目计划,成立由设计开发、工艺策划、质量管理、售后服务等部门的成员组成的专题项目组,并选择合适的 FMEA 分析方法来完成 FMEA 项目。凡是主机厂要求的 FMEA 项目,供应商应按主机厂要求反馈 FMEA 报告,与主机厂分享 FMEA 成果。FMEA 项目组的工作流程如图 2 所示。

主机厂与供应商掌握的信息往往不对等,因此供应商在开展 FMEA



图2 FMEA项目组工作流程

项目时应主动加强与主机厂的沟通,才能编制出完整的 FMEA 报告。

FMEA 成果的应用

不断完善的 FMEA 信息可帮助开发人员在研发新产品时少走弯路,为服务人员分析产品故障、拟定排查方案提供依据。现代计算机信息技术使动态管理 FMEA 变得容易,通过网络的连接和通信,还可以为生产、服务现场迅速解决问题提供强有力的技术支持。表 2 是某飞机主机厂与供应商共同应用 FMEA 技术的一个实例。

结束语

在航空工业领域开展 FMEA 这种系统工作,还在起步阶段,部分供应商可能会感觉复杂、工作量大、效果差。但只要企业坚持开展 FMEA 项目,逐步建立通用化、模块化、标准化的故障模式及改进措施分析数据库, FMEA 的效果就会逐步呈现。按照“主机牵头,配套参与,互通信息,共享成果”的原则,坚持不懈地开展 FMEA 项目,必将提升整个航空工业供应链的可靠性水平。(责编 钟元)

表2 产品故障模式及改进措施分析系统实例

机型	JXX	产品重要度	B	供应商代码	XXX
编号	231	产品型号	XX-XX	产品名称	XX 指示器
主要功能	故障(失效)模式		故障模式关键词		
自动检测指示	产品死机不工作		死机		
潜在影响	故障的潜在原因和机理		当前控制手段		
影响测量系统的功能	电源转换时,在转换瞬间电源波动大而导致产品死机		无		
严酷度评价	功能部分失效,导致非计划性维修	严酷度	6	风险系数 RPN	240
发生频度评价	中度;偶尔发生。故障率 1%~5%	发生频度	5		
可检测度评价	当前控制发现故障的可能性很低	可检测度	8		
改进计划		改进措施的跟踪与验证			
改进产品电路。在电源端加容量大的滤波电容和瞬态抑制二极管		改进的产品经过近 100h 的试飞验证,未发生死机现象			
重要里程碑	2006.6.30	应急措施	退厂返修	委托排故作业指导书	
改进后的风险预计					
严酷度	6	发生频度	2	可检测度	8
				风险系数 RPN	96
核心团队及联系方式					
XXX 厂:主管技术:XXX		电话:.....	主管工艺:XXX		电话:.....
主管服务:X-XX		电话:.....			
主机厂:项目联系人:XXX		电话:.....			