



FMECA

技术及其应用

康锐 石荣德 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

FMECA 技术及其应用

康 锐 石荣德 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

FMECA 技术及其应用/康锐,石荣德编著. —北京:
国防工业出版社, 2006.10
ISBN 7-118-04782-1

I. F... II. ①康...②石... III. 故障诊断—应用软件, FMECA IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 112157 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16¼ 字数 373 千字

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 33.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

FMECA 是英文 Failure Modes, Effect and Criticality Analysis 的缩写, 名为故障模式、影响与危害性分析。FMECA 是分析产品中每一个可能的故障模式并确定其对该产品及上层产品所产生的影响, 以及把每一个故障模式按其影响的严重程度、同时考虑故障模式发生概率与故障危害程度予以分类的一种分析技术。^[1]

FMECA 作为分析产品故障因果关系的一种常用技术起源于美国。从 20 世纪 50 年代初至今, 已在国外许多国家、多个领域中被广泛应用。20 世纪 80 年代初, 我国在引进、消化 FMECA 的基础上, 大力推行 FMECA 技术, 在武器装备发展和科技工业建设中广为应用, 取得显著的效果。2006 年, 我国将原国家军用标准 GJB1391-92《故障模式、影响及危害性分析程序》更改为 GJB/Z1391-2006《故障模式、影响及危害性分析指南》, 这必将进一步推动 FMECA 技术的应用与发展。

实践证明, FMECA 已成为可靠性系统工程(含可靠性 R、维修性 M、安全性 S、测试性 T、保障性 S, 缩写为 RMSTS)必不可少的重要技术基础之一。

本书编写的指导思想是: 全面跟踪 FMECA 技术的发展, 系统的总结近 20 多年来国内型号中应用 FMECA 的经验, 以型号工程需求为主线, 选用大量的工程案例, 以满足广大工程技术人员和管理人员开展 FMECA 工作的需要, 本书也可作为大专院校本科生和研究生学习使用。

本书共分 8 章 4 个附录。在阐述 FMECA 发展沿革和通用 FMECA 程序与方法的基础上, 分别描述了功能及硬件 FMECA 及其应用、软件 FMECA 及其应用、损坏模式影响与危害性分析(DMECA)及其应用、过程 FMECA 及其应用、FMECA 在可靠性系统工程中的应用、FMECA&FTA&ETA 综合分析方法及其应用、计算机辅助 FMECA 工具和 4 个附录(缩写语、故障模式集、FMECA 表格集和 FMECA 编码集)。

本书由康锐、石荣德主编。参加本书编写的有: 石荣德和康锐(第 1、2、7 章及全书统编)、徐萍(第 3 章及附录 A、附录 B)、郭霖瀚(第 4 章及附录 C、附录 D)、张建国(第 5 章)、马麟(第 7 章)、任羿(第 8 章)。全书由石荣德统审、康锐主审。

本书在编写的过程中, 吸收了国内外有关文献和技术资料(尤其是北京航空航天大学可靠性工程研究所信息中心编写整理的运 7 飞机故障模式及其相关资料), 曾得到赵宇、常文兵、扈延光、石君友、张虹(后三位参与了校审)以及付革利、张力勇和房占军等同志的大力支持, 在此一并深表谢意。

由于作者水平有限, 书中难免有错, 敬请读者赐教。

作者
2006 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 FMECA 技术的发展概况	1
1.1.1 问题的提出	1
1.1.2 FMECA 发展沿革	3
1.1.3 FMECA 的应用综述	6
1.2 如何抓好 FMECA 工作项目	6
1.2.1 认真执行 FMECA 的工作原则	7
1.2.2 切实抓好 FMECA 工作项目的责任落实	7
1.2.3 认真贯彻 FMECA 的正确做法	8
1.3 FMECA 的基本原理、目的和作用	8
1.3.1 FMECA 的基本原理	8
1.3.2 FMECA 的目的和作用	9
1.4 FMECA 的基本步骤	9
1.4.1 FMECA 通用的基本步骤	9
1.4.2 FMECA 的要点	11
1.5 FMECA 方法的类型及应用	12
1.5.1 FMECA 方法的类型	12
1.5.2 不同类型的 FMECA 方法的应用和目的	12
1.6 FMECA 的计划及相关工作	13
1.6.1 FMECA 的计划	13
1.6.2 FMECA 的相关工作	13
第 2 章 功能及硬件 FMECA 及其应用	22
2.1 概述	22
2.2 FMECA 功能法与硬件法的比较	22
2.3 功能及硬件 FMECA 的步骤及实施	23
2.3.1 功能及硬件 FMEA 的步骤及实施	23
2.3.2 功能及硬件危害性分析(CA)的方法及实施	32
2.4 功能及硬件 FMECA 的要点	37
2.5 功能及硬件 FMECA 的应用案例	38
2.5.1 案例一:某型通信接收机分系统的功能 FMECA	38
2.5.2 案例二:某型军用飞机升降舵操纵分系统的硬件 FMECA	42
2.5.3 案例三:某型加热系统的硬件 FMECA	44

第3章 软件 FMECA 及其应用	50
3.1 软件 FMECA	50
3.1.1 概述	50
3.1.2 软件故障模式及影响分析(SFMEA)	51
3.1.3 软件危害性分析	54
3.1.4 SFMECA 的注意事项	57
3.2 软硬件综合 FMECA	58
3.2.1 概述	58
3.2.2 嵌入式软件 FMECA	58
3.2.3 软硬件综合 FMECA	61
3.3 应用案例	62
3.3.1 案例一:某型发动机测速软件的 SFMEA	62
3.3.2 案例二:某型号嵌入式软件通信模块的 SFMECA	65
第4章 DMECA 及其应用	70
4.1 概述	70
4.2 损坏模式与影响分析(DMEA)的基本概念与应用范围	70
4.2.1 DMEA 的基本概念	70
4.2.2 DMEA 的应用范围	72
4.2.3 DMEA 研究的主要内容	72
4.2.4 DMEA 的分析重点	73
4.2.5 DMEA 的步骤与实施	77
4.3 损坏模式危害性分析(DCA)	79
4.3.1 定性的 DCA 方法	80
4.3.2 定量的 DCA 方法	81
4.3.3 损坏模式危害性矩阵绘制方法	82
4.4 DMECA 的要点	83
4.4.1 明确 DMECA 与生存力的关系	83
4.4.2 DMECA 与 FMECA 的关系	83
4.4.3 提高 DMECA 的分析效率	83
4.5 DMECA 的应用案例	84
4.5.1 案例一:某型飞机燃油系统的 DMEA	84
4.5.2 案例二:某型飞机发动机系统 DMECA	85
第5章 过程 FMECA 及其应用	88
5.1 概述	88
5.2 PFMECA 的目的与步骤	89
5.2.1 PFMECA 的目的	89
5.2.2 PFMECA 的步骤	89
5.3 PFMECA 的实施	95
5.3.1 填写 PFMECA 表	95

5.3.2	实施 PFMECA 工作的要点	96
5.4	PFMECA 的案例	96
5.4.1	案例一:某型导弹固体火箭发动机零件“壳体圆筒”的 PFMECA	96
5.4.2	案例二:某型导弹固体发动机组件“壳体组合”的 PFMECA	101
第 6 章	FMECA 在可靠性系统工程中的应用	105
6.1	概述	105
6.2	FMECA 在可靠性分析中的应用	105
6.2.1	FMECA 与“确定可靠性关键产品”	105
6.2.2	FMECA 与 FRACAS 的关系	111
6.3	FMECA 在维修性分析中的应用	113
6.3.1	简述	113
6.3.2	FMECA 在维修性设计分析中的应用步骤与实施	113
6.3.3	应用案例:某型导弹地面检测设备 FMECA 在维修性分析中的 应用	117
6.4	FMECA 在安全性分析中的应用	118
6.4.1	简述	118
6.4.2	FMECA 在安全性分析中的应用步骤与实施	119
6.4.3	安全性分析中的 FMECA 工作需要注意的事项	120
6.4.4	应用案例:某型航天器返回舱推进系统 FMECA 在安全性分析 中的应用	120
6.5	FMECA 在测试性分析中的应用	121
6.5.1	简述	121
6.5.2	FMECA 在测试性分析中的步骤与实施	122
6.5.3	应用案例:某型导弹飞控组件中二次电源分组件 FMECA 在测试性分析中的应用	123
6.6	FMECA 在保障性分析中的应用	123
6.6.1	简述	123
6.6.2	FMECA 在保障性分析中的应用步骤与实施	125
6.6.3	应用案例:某型火炮反后坐装置的复进机内筒 FMECA 在保障性 分析中的应用	127
第 7 章	FMECA、FTA、ETA 综合分析方法及其应用	129
7.1	概述	129
7.2	FMECA 与 FTA 综合分析方法及其应用	130
7.2.1	FTA 的基本概念及有关问题	130
7.2.2	FTF 方法的基本原理	135
7.2.3	FTF 方法的步骤与实施	136
7.2.4	正向 FTF 方法的应用案例:某型飞机直流供电系统的 FTF 分析	137
7.2.5	逆向 FTF 方法的应用案例	144
7.3	ETA 与 FTA 综合分析方法及其应用	150

7.3.1	ETA 的基本概念及有关问题	150
7.3.2	ETF 方法的基本原理、步骤及实施	159
7.3.3	ETF 方法的两个应用案例	159
第 8 章	计算机辅助 FMECA 工具	169
8.1	概述	169
8.2	计算机辅助 FMECA 工具的目的和作用	169
8.2.1	分析方法统一规范	170
8.2.2	方便进行工作分解	173
8.2.3	方便数据管理	173
8.2.4	方便结果积累	175
8.2.5	提供丰富的数据接口	176
8.2.6	方便查询和直观的显示	178
8.2.7	标准化报表的输出	179
8.3	MetaFMECA 软件工具分析流程	179
8.3.1	确定 FMECA 配置文件	179
8.3.2	建立可靠性设计分析工程与 FMECA 配置文件的关联	185
8.3.3	实施 FMECA	185
8.3.4	分析结论	188
8.4	第二类计算机辅助 FMECA 方法和工具	188
附录 A	缩写语	190
附录 B	故障模式集	192
附录 C	FMECA 表格集	227
附录 D	FMECA 编码集	237
参考文献		248

第1章 绪论

1.1 FMECA 技术的发展概况

1.1.1 问题的提出

随着现代高新技术和工业建设的迅速发展,许多大型复杂系统不断产生,对人类社会生活水平的提高发挥了重要作用,但由于产品设计、制造、使用等诸因素导致其故障可能造成的危害程度又大为增加。

现从大量事故的发生,看故障分析技术的重要性。

1.1.1.1 世界民航两个 10 年间飞行死亡事故统计^[2]

从参考文献[2]中得知,1981 年—1990 年、1991 年—2001 年世界民航飞行事故的统计见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 1981 年—1990 年世界民用航空飞行事故统计^①

年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	总计	年均
坠机数 /架	29	33	34	29	39	31	29	54	31	35	344	34.4
死亡 人数/人	710	1012	1202	451	1800	607	944	1007	1450	611	9794	980

① 统计数字包括正点航班、非正点航班、货运机和私人飞机等

表 1-2 1991 年—2001 年世界民用航空飞行事故统计^①

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	总计	年均
坠机 架数/架	44	45	48	47	47	56	57	51	48	48	32	523	47.5
死亡 人数/人	1090	1422	1109	1385	1213	1840	1306	1244	730	1101	778	13218	1202

① 统计数字包括正点航班、非正点航班、货运机和私人飞机等

从表 1-1、表 1-2 得知:1981 年—1990 年的 10 年间世界民航飞行事故:总坠机数为 344 架,年平均坠机数约 34.4 架,总死亡人数 9794 人,年平均死亡人数约 980 人;1991 年—2001 年的 11 年间世界民航飞行事故:总坠机数为 523 架,年平均坠机数约 47.5 架,总死亡人数 13218 人,年平均死亡人数约 1202 人。由此看出:

20 世纪 90 年代与 80 年代相比,年平均事故数增加到 1.43 倍,年平均死亡人数增加到 1.27 倍。

从统计分析看,除两机相撞、飞机疲劳与爆炸、人为破坏与恐怖行为、气流突变等原因导致民航飞行事故外,其主要原因有:

(1) 起飞降落(共 13min 左右,称为“黑色 13 分钟”)是飞行事故发生率最高阶段,据统计:

- ① 在离地/上升阶段约占 35%;
- ② 在巡航阶段约占 10%;
- ③ 在进场/着陆阶段约占 55%。

由此可见,飞机失事率的 90%发生在飞机起飞与降落阶段。

(2) 飞机失事有单因素、双因素、三因素和多因素,据统计:

- ① 单因素占 28%;
- ② 双因素占 54%;
- ③ 三因素占 14%;
- ④ 四因素占 4%。

其中以双因素为最高(例如,天气不好和驾驶员操作失误双因素导致飞行事故的发生等)。

(3) 鸟击成灾。在民航飞机飞行中,鸟击飞机导致飞行事故的概率虽不高,仅有万分之五。但每年发生鸟击飞机事件近几千起。国际民用航空联合会已将鸟害定为 A 级航空灾难。飞鸟撞击飞机多发生在飞机起飞(约占 40%)、爬升(约占 10%)和降落(下滑约占 13%、着落约占 35%)阶段。

1.1.1.2 美空军 1993 年—2003 年的 11 年间飞行灾难性事故的统计

从 1993 年—2003 年的 11 年间,美国空军飞行安全水平停滞不前,呈下降趋势。先后发生的灾难性事故(A 等事故,它是一种机毁人亡,或者造成人员终身一级残废,或者财产损失超过 100 万美元的事故)为:每年平均约 30 次,损失飞机 274 架,死亡飞行人员 320 人,经济损失大于 62 亿美元。

在 2000 年—2003 年的 4 年中:2000 年是美空军飞行安全最好的一年,2002 年是最差的一年。2002 年共发生 35 起 A 等事故,几乎每 10 天发生一次,毁坏了 19 架飞机,死亡 22 人,估计损失 7.89 亿美元,其中 A 等事故率达 $1.48 \text{ 次}/10^5 \text{ 飞行小时}$ (比 2000 年高出近 30%);2003 年稍有好转,发生 A 等事故 31 起,死亡 10 人,其中 A 等事故率为 $1.39 \text{ 次}/10^5 \text{ 飞行小时}$ 。在这两年中,美国空军直升机的 A 等事故率竟分别高达 $15.74 \text{ 次}/10^5 \text{ 飞行小时}$ (2002 年)和 $5.96 \text{ 次}/10^5 \text{ 飞行小时}$ (2003 年)。

造成上述情况的主要原因是人为因素。据美国空军分析,2002 年发生飞行事故的 $2/3$ 是人为因素造成的,这意味着驾驶员在飞行中对飞行情况了解程度很差。例如,1993 年—2002 年间,美国空军由于飞机故障(含发动机和其他系统故障)造成 85 架飞机损失和 18 人死亡;在同一时期,由于人为因素造成 A 等事故损失了 127 架飞机,死亡 244 人。除人为因素外,发动机故障也是 A 等事故的重要原因,例如,1993 年—1997 年间,F16 战斗机每年发生的发动机故障是全美空军最多的飞机;另外还有外来物(如鸟撞)、单个螺栓故障、飞机轮胎爆裂、空中相撞等因素导致 A 等事故。

1.1.1.3 举世震惊的切尔诺贝利核反应堆事故^[3]

1986年4月26日,原苏联乌克兰切尔诺贝利核电站4号机组发生爆炸,造成8t具有放射性的核物质大量泄漏。在爆炸核电站30km范围内的10多万居民被紧急疏散。2005年9月联合国“切尔诺贝利论坛”发表了一份报告说,“直接”与核泄漏放射有关的死亡人数近50人,大约4000人曾在事故现场执行清理任务的工人死于与放射有关的癌症、白血病等。许多曾生活在污染区的居民后代还继续忍受着癌症、白血病的折磨。直到2006年,离原核电站30km(面积相当于近3000km²)以内的地区被划为隔离区,很多人称这一区域为“死亡区”。专家们预测,这次事故的后果要经过100多年才能完全被消除。20年过去了,切尔诺贝利的历史再次刺激人们关注核能安全的神经。

1.1.1.4 其他领域的重大事故案例

(1) 美国“挑战者”号、“哥伦比亚”号航天飞机分别在1986年1月28日、2003年1月16日坠毁,造成机上全部14名宇航员罹难,成为世界民用航天史上最为悲壮的事故^{[4]、[5]}。

(2) 软件运用中的失效(故障),往往可能造成灾难性事故^[6],比如20世纪90年代发生的几起世界著名事故:1990年1月15日,美国长途电话中断9h;1992年11月英国伦敦救护服务通信系统崩溃;1993年6月26日~27日,法国信用卡操作的授权被否定;1996年4月,欧空局阿丽亚娜5首次发射失败,等等。我国计算机软件尚不像硬件那样有完善的检验体系,因此交付的质量不高。典型统计表明,在开发阶段,平均每千行代码有50个~60个故障;交付后平均每千行代码有15个~18个故障。交付后的软件有时留下很严重的隐患^[7]。

上述事故,都给社会进步、国民经济、武器装备发展和科技工业建设带来重大损失和严重影响。人们面对一系列的事故中,深感不能被动的等待事故发生后,再采取故障分析、设计改进与使用补偿措施,必须防患于未然,在事前就应运用故障预防分析方法、采取有效的预防措施,以避免或减少事故的发生。因此,人们从经验、教训和长时间的实践中,总结出一套科学而又行之有效的故障预防分析技术,其中公认的FMECA技术就是产品可靠性系统工程设计与分析中普遍采用的故障预防分析的方法之一,本书将围绕这一问题进行全面的论述。

1.1.2 FMECA 发展沿革

1.1.2.1 国外情况

20世纪50年代:早在20世纪50年代初,美国格鲁门飞机公司在研制飞机主操纵系统时采用了FMECA,当时只进行了故障模式及影响分析(FMEA),而未进行危害性分析(CA),仅属于定性分析,但取得了很好的效果。

20世纪60年代:正式对故障模式及影响分析的描述是J.S.Coutinbo于1964年在纽约科学院提出的。到60年代中期,FMEA技术正式用于美国航天领域(阿波罗计划)。

20世纪70年代:美国国防部于1974年发布了美军标MIL-STD-1629《舰船故障模式、影响及危害性分析》;1976年又颁发MIL-STD-2070(AS)《航空设备的故障模式、影响及危害性分析程序》,供海军航空系统司令部使用,也可供国防部所属部门使用,它是美军标MIL-STD-785《设备及系统研制与生产阶段的可靠性大纲》关于系统/设备设计

与研制中的 FMECA 和关键产品确定等要求的补充。1980 年 MIL-STD-1629 被 MIL-STD-1629A《故障模式、影响及危害性分析》所代替,该标准内容比较详尽,是目前美国还在使用的标准,也是我国当前参考较多的国外标准之一。在此期间,某些专业组织也发布了实施 FMECA 的标准,例如自动化协会推荐实施标准 ARP926《故障/失效分析过程》、电子工业协会发表了可靠性报告《故障模式及影响分析》等。

20 世纪 80 年代:80 年代初,FMECA 进入微电子工业,1988 年美国联邦航空局发布咨询通报要求所有航空系统的设计及分析都必须使用 FMEA。在 20 世纪 80 年代中期,美国开始应用过程 FMECA 方法,早在 1988 年福特汽车公司出版了《潜在设计故障模式及影响分析 (DFMEA)》和针对生产和组装过程的《过程 FMEA 实施指南》,即把产品设计中的 FMECA 方法用到生产过程,该标准主要是在汽车工业中应用,后被囊括到 SAE 标准中。

20 世纪 90 年代:1994 年 FMEA 成为 QS9000 的认证要求;1994 年将福特汽车公司出版的《过程 FMEA 实施指南》命名为 SAE-J-1739 标准;1998 年 2 月国际电子工业协会 (EIA) 颁布了标准 EIA/JEP131《故障模式及影响分析 (FMEA)》,该标准应用于电子元器件设计和装配过程 FMEA 的实施办法。

进入 21 世纪,发布 QS9000《故障模式及影响分析》(FMEA) 参考手册第三版(等同于 SAE-J-1739),它是戴姆勒—克莱斯勒、福特和通用汽车公司供应方所使用的参考手册,适用于汽车产品的供应方配件产品的设计和过程 FMEA 的实施;2001 年 9 月 7 日,欧洲空间标准化合作组织发布了 ECSS-Q-30-02A《故障模式、影响及危害性分析》,该标准包含了设计 FMECA 和过程 FMECA。

1.1.2.2 国内情况

20 世纪 80 年代初期,在引进、消化、应用和总结基础上,相继发布了一系列国家标准、军用标准、行业标准和指令性文件。

(1) 1985 年 6 月,由国家标准局颁发了国家标准 GJB7826—87《系统可靠性分析技术失效模式和效应分析 (FMEA)》,该标准能应用于不同产品(电的、机械的、液压传动装置等)、以及多种技术基础组合成的各种系统,还可用于软件和人类行为的研究。

(2) 1989 年 12 月,原航空工业部发布了航空标准 HB6359—89《失效模式、影响及危害性分析程序》,该标准适用于航空产品的研制、生产和使用阶段,不适用于软件。

(3) 1992 年 7 月,原国防科工委颁发了国家军用标准 GJB1391—92《故障模式、影响及危害性分析程序》,该标准适用于产品的研制、生产和使用阶段,但不适用于软件,它是国内目前引用最多、使用最广泛的 FMECA 标准之一。根据 GJB1391—92 使用 10 多年的情况,现已更改为 GJB/Z1391—2006《故障模式、影响及危害性分析指南》,该指南适用产品寿命周期整个阶段,相对 GJB1391—92 而言,增补了大量的内容,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。

(4) 1995 年 12 月,原航空工业总公司发布了航空标准 HB/Z281—95《航空发动机故障模式、影响及危害性分析指南》,该标准适用于航空发动机本体结构及其系统的研制生产和使用阶段,但不适用软件。针对航空发动机的特点,对国军标 GJB1391—92 进行了剪裁和补充,该标准提供了航空发动机所属产品大量的故障模式信息,这很有助于对航

空发动机进行 FMECA。

(5) 在此期间,某些行业也颁发了本行业(如航天行业等)的 FMECA 标准。

(6) 国内指令性文件:从 1985 年—2003 年间,在原国防科工委和现国防科工委颁发的指令性文件中,多次提到 FMECA 工作的作用和要求,其主要内容概括如下:

①“承制方对产品进行失效模式、影响及危害性分析(FMECA)和逻辑分析决断等分析后,提出航空技术装备的维修方式”;

②“FMECA 是可靠性维修性设计中的一项非常重要的基础工作,设计人员须充分予以运用”;

③“方案阶段开展原理样机(或样机研制)时,FMECA 工作就应开始进行,并在设计全过程做到边设计、边分析”;

④“设计人员应在产品研制的不同阶段,选择适当的 FMECA 方法,找出所有可能的故障模式、提出设计、工艺等方面的补偿措施,落实到设计图纸和技术文件中,并随着研制工作的进展不断深化。对影响人员、装备安全和任务的严酷度为 I、II 类故障模式,应列出清单由总师或主管副总师审批后,方能下发图纸和技术文件。在此基础上,应对系统或分系统进行故障树分析(FTA),以确定和消除多个故障综合作用所造成的后果”;

⑤“在研制阶段各设计评审时,应提交 FMECA 报告”;

⑥“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。”

1.1.2.3 国内外 FMECA 标准情况的对比分析

1) 国外标准

国外各种 FMECA 标准涉及的范围比较广泛,例如,既有军用标准 MIL-STD-1629A,也有民用领域的 QS9000 标准(汽车制造行业);涉及的 FMECA 方法也很多,既有设计阶段的功能 FMECA 和硬件 FMECA,也有生产阶段的过程 FMECA 等。其特点如下:

(1) 占有丰富的基础数据。针对 FMECA 工作,不仅是提供相应的 FMECA 分析流程、方法和表格,并有丰富的基础数据(或数据来源)作为 FMECA 的基础;

(2) 注重 FMECA 工作与其他工作的协调。在美军标 MIL-STD-1629A 中,在 FMECA 计划的制定与实施过程中,很注重可靠性、维修性、保障性等设计与分析工作相协调、应用,这既可相互应用分析的结果,又可避免重复劳动;

(3) 强调 FMECA 工作的动态管理。在 QS9000 等标准中,强调 FMEA 分析结果是“动态文件”。即在产品开发各阶段中,当设计和工艺有变更或信息大量增加时,应及时、不断地修改、补充和完善 FMECA,以实现 FMECA 工作的动态管理;

(4) 分析范围广。国外 FMECA 标准不只是对设计的 FMECA 方法进行描述,对过程 FMECA 也有相应的标准(例如, QS9000 的过程 FMEA 标准等)。

2) 国内标准

与国外的各种 FMECA 标准相比较,国内标准在 2006 年前,主要是硬件 FMECA 方法的规定。其不足之处:

(1) 基础数据不够充分。对于被分析对象一般均缺乏相应的故障模式库及故障率数据等方面的支持;

(2) FMECA 工作缺乏与其他可靠性工作的协调。例如, 对约定层次的划分和最低约定层次的定义比较随意, 没有充分考虑与其他标准进行协调处理。因此, FMECA 的结果就很难作为其他可靠性设计与分析方法所使用;

(3) 没有强调 FMECA 工作的动态管理。国内很多承制方往往只进行一次 FMECA, 而未在不同研制阶段即时修改、补充和完善 FMECA, 从而造成 FMECA 分析结果未与产品的最新质量状态保持一致;

(4) 分析范围不够广泛。国内的 FMECA 标准主要是对硬件 FMECA 方面的描述, 缺乏软件和过程 FMECA 的标准。

通过以上情况的比较, 发现国内开展 FMECA 工作尚有不少差距, 在理论依据和实施办法等方面尚滞后于西方发达国家。

1.1.3 FMECA 的应用综述

FMECA 技术可用于产品整个寿命周期的所有阶段, 其用途十分广泛, 据不完全统计, FMECA 的应用范围可归纳为:

1.1.3.1 按可靠性系统工程专业领域划分

- (1) 可靠性工程专业;
- (2) 维修性工程专业;
- (3) 安全性工程专业;
- (4) 测试性工程专业;
- (5) 保障性工程专业。

1.1.3.2 按行业领域划分

- | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| (1) 航空 | (10) 化工 | (19) 运输 |
| (2) 航天 | (11) 设备改造 | (20) 过程(管理、工艺等) |
| (3) 兵器 | (12) 机械设备 | (21) 服务 |
| (4) 船舶 | (13) 计算机软件 | (22) 故障诊断 |
| (5) 能源(核) | (14) 计算机主机(机箱等) | (23) 测试与维修 |
| (6) 电子设备 | (15) 建筑 | (24) 试验 |
| (7) 汽车 | (16) 桥梁 | (25) 管理 |
| (8) 医学(颌面及颅外科等) | (17) 水利 | (26) 质量保证 |
| (9) 机械(结构及机构) | (18) 公路 | (27) 其他 |

综上所述, FMECA 技术是可靠性系统工程必不可少的重要基础之一, 普及、推广和应用 FMECA 技术的理由, 一是标准、法规和指令性文件的规定; 二是型号或产品研制的需要; 三是工程实践证明是行之有效的分析方法。因此, 抓好、用好 FMECA 方法是提升产品质量和可靠性水平的需要。

1.2 如何抓好 FMECA 工作项目

根据国内、国外的经验, 针对武器装备或产品研制的发展形势和特点, 主要从以下 3 个方面抓好 FMECA 工作项目。

1.2.1 认真执行 FMECA 的工作原则

FMECA 的工作原则可概括为：

(1) 有效性原则——FMECA（含设计 FMECA、过程 FMECA，见图 1-3，下同）必须与产品设计或工艺设计紧密结合，尽力避免“两张皮”现象，否则就失去了 FMECA 的实用价值；

(2) 协同原则——FMECA 的目的是为产品设计或工艺设计的改进提供有效的支持，因此 FMECA 工作应与工艺设计同步进行，并将 FMECA 结果及时反映到产品设计、工艺设计中；

(3) 穷举原则——FMECA 对被分析对象采用穷举法，尽力找出所有可能的功能或工艺故障模式、原因和影响等，以保证 FMECA 的有效性、可信性；

(4) “团队”原则——建立由产品设计或工艺设计人员为主、并有可靠性专业人员、管理人员和相关人员组成的产品设计或过程 FMECA 的“团队”或小组，群策群力，以保证 PFMECA 工作的全面性、准确性；

(5) 跟踪原则——对 FMECA 的设计、改进、使用补偿措施的落实、效果及时跟踪分析，以保证 FMECA 工作真正落实到实处。

1.2.2 切实抓好 FMECA 工作项目的责任落实

产品研制各阶段应明确订购方、承制方（总体单位、配套单位）对 FMECA 工作项目的职责，见表 1-3。

表 1-3 产品研制阶段重点工作项目 FMECA 的职责

职 责 研 制 阶 段	责 任 方	订 购 方	承 制 方	
			总 体 单 位	配 套 单 位
			FMECA	FMECA
方 案 阶 段		1) 在《研制合同》的工作说明(SOW)中，对工作项目 FMECA 提出要求； 2) 转阶段时，参加对功能 FMECA 报告进行评审	1) 制定型号 FMECA 顶层规范，要求配套单位按此规范执行。顶层规范至少应规定： (1) FMECA 表格形式及表中各栏的内涵及填写方法； (2) 规定 FMECA 的初始约定层次和最低约定层次； (3) FMECA 的报告内容及格式； (4) FMECA 报告签署规定； 2) 完成总体单位所研制产品的功能 FMECA 工作； 3) 监督、协助配套单位完成功能 FMECA 工作	1) 工作项目按军方及总体单位的要求和规定的产品层次，完成功能 FMECA 工作； 2) 向总体单位提交功能 FMECA 报告
工 程 研 制 阶 段		1) 监控承制方及时、正确地完成硬件 FMECA 工作； 2) 转阶段时，参加对硬件 FMECA 报告的评审	1) 完成总体单位所研制产品的硬件 FMECA 工作； 2) 监督、协助配套单位完成硬件 FMECA 工作	1) 完成所研制产品的硬件 FMECA 工作； 2) 向总体单位提交硬件 FMECA 报告

(续)

职 责 研 制 阶 段	责 任 方	订 购 方	承 制 方	
			总体单位	配套单位
			FMECA	FMECA
定 型 阶 段		评审承制方提交的设计定型 FMECA 报告	1) 修改、完善总体单位所研制产品的 FMECA 报告; 2) 监督、协助配套单位修改、完善 FMECA 报告; 3) 提交设计定型 FMECA 报告	1) 修改、完善所研制产品的 FMECA 报告; 2) 提 交 设 计 定 型 FMECA 报告
注: 表内主要针对功能及硬件 FMECA 的规定, 对软件 FMECA、过程 FMECA 可参照上述内容另行规定				

1.2.3 认真贯彻 FMECA 的正确做法

实施 FMECA, 应明确什么是 FMECA 工作的正确做法、什么是不正确的做法, 以及检查的主要内容, 见表 1-4。

表 1-4 FMECA 的正确做法与主要检查内容

正 确 做 法	不 正 确 做 法	检查的主要内容
从方案设计开始, 应将“边设计、边分析”贯穿整个设计过程	设计图纸完成后再补做	何时做 FMECA
组成 FMECA 团队进行 FMECA 工作, 其中可靠性专职人员应协助产品设计人员做好 FMECA	仅由可靠性专职人员进行	由谁做 FMECA
设计改进、使用补偿措施应真正落实到设计和使用中	无设计改进、使用补偿措施, 或仅采取事后的、消极的措施(如更换、修理等)或不落实 FMECA 表中的措施	设计改进、使用补偿措施是否正确、是否落实
没有遗漏任何一个重要的故障模式和严酷度 I、II 类的单点故障模式, 并经各级设计师认真审查把关	故障模式分析不仔细, 又未经各级技术领导认真审查把关	关键、重要件清单和严酷度为 I、II 类单点的故障模式清单是否完整、合理, 是否经过严格审查把关

1.3 FMECA 的基本原理、目的和作用

1.3.1 FMECA 的基本原理

FMECA 应在规定的产品层次上进行。通过分析发现产品潜在的薄弱环节(即可能出现的故障模式)、每个故障模式可能的原因、影响, 以及每个影响对安全性、战备完好性、任务成功性、维修及保障性资源要求等方面带来的危害。对每个故障模式的危害, 通常用故障影响的严重程度以及发生的概率来估计其危害程度, 并根据危害程度确定采取设计改进、使用补偿措施的优先顺序。

1.3.2 FMECA 的目的和作用

FMECA 的目的是“通过系统分析，确定元器件、零部件、设备、软件在设计和制造过程中所有可能的故障模式，以及每一故障模式的原因及影响，以便找出潜在的薄弱环节，并提出改进措施”。^[10]

FMECA 是由 FMEA 和 CA 两部分所构成。CA 是对 FMEA 的补充和扩展，只有进行 FMEA，才能进行 CA。FMEA 和 CA 的目的、作用的比较如表 1-5 所示。

表 1-5 FMEA 和 CA 的目的、作用

项目	目 的	作 用
FMEA	分析产品中每个潜在的故障模式并对产品所造成的可能影响，以及将每个潜在故障模式按它的严酷度予以分类的一种分析技术	(1) 定性地找出产品所有可能的故障模式及其影响，进而采取相应的改进、补偿措施； (2) 为制定关键项目和严酷度为 I、II 类的单点故障等清单或可靠性控制提供定性依据； (3) 为 RMTSS 提供定性依据； (4) 为制定试验大纲提供定性信息； (5) 为确定更换有寿件、元器件清单提供可靠性设计与分析的定性信息； (6) 为确定需要重点控制质量及工艺过程中的薄弱环节清单提供定性信息； (7) 可及早发现设计、工艺过程中的各种缺陷
CA	按每个潜在的故障模式的严酷度及其发生的概率所产生的综合影响进行分类	(1) 主要从风险分析的角度对 FMEA 进行补充、扩展； (2) 既可定性 CA，又可定量 CA

1.4 FMECA 的基本步骤

1.4.1 FMECA 通用的基本步骤

FMECA 是一个反复迭代、逐步完善的过程。FMECA 通用的基本步骤（见图 1-1）主要包括以下内容：

(1) 准备工作——收集被分析对象（产品）的有关信息；策划 FMECA 工作的总要求；

(2) 系统定义——对被分析对象进行功能分析、绘制框图；

(3) 确定产品所有可能的故障模式——按故障判据、相似产品、试验信息、使用信息和工程经验等方面确定产品所有可能的故障模式；

(4) 确定每个故障模式可能的原因及其故障发生概率等级——按产品内部、外部和工程经验等相关情况确定产品故障模式的原因及其发生概率等级；

(5) 确定每个故障模式可能的影响——按每个故障模式分别对自身、高一层次和最终影响进行分析，并确定其严酷度类别；

(6) 确定每个故障模式可能的检查方法——按每个故障模式的原因、影响确定其检查