

doi: 10.7690/bgzdh.2018.09.008

基于 FMECA 的电子设备故障诊断需求分析方法

王红征¹, 李国胜²

(1. 西安导航技术研究所, 西安 710068; 2. 中国船舶重工集团第 722 研究所, 武汉 430205)

摘要: 为了减少维修保障资源与费用, 对电子设备故障诊断需求分析的方法和流程进行研究。在故障模式、影响及危害性分析的基础上, 结合故障的相关信息, 研究故障诊断需求分析方法, 综合考虑故障模式、故障检测需求以及故障隔离需求, 确定故障检测、故障隔离设计策略, 编制故障诊断需求分析表, 通过实例进行应用分析。结果表明, 该研究能够为测试性建模、设计分析和测试性指标预计提供参考。

关键词: FMECA; 故障模式; 故障诊断方法; 故障检测; 故障隔离

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Demand Analysis Method of Electronic Equipment Fault Diagnosis Based on FMECA

Wang Hongzheng¹, Li Guosheng²

(1. Xi'an Research Institute of Navigation Technology, Xi'an 710068, China;

2. No. 722 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Wuhan 430205, China)

Abstract: In order to reduce maintenance support resources and costs, the fault diagnosis demand analysis method and process for electronic equipment are studied. Based on failure mode effects and criticality analysis (FMECA) and the fault relevant information, the fault diagnosis demand analysis method is researched to determine the fault detection and fault isolation design strategy and compiling the fault diagnosis demand analysis list, considering failure mode, fault detection and fault isolation requirements. The application analysis is carried out by the example. The results show that this study can provide reference for testability modeling, design analysis and testability index forecasting.

Keywords: FMECA; fault mode; fault diagnosis method; fault detection; fault isolation

0 引言

测试性是指装备能及时准确地确定其状态, 并隔离其内部故障的一种重要的设计特性, 与维修性和可靠性一样, 是装备本身所固有的一种设计特性, 也是装备的可靠性设计和装备维修保障设计之间的重要纽带^[1]。良好的测试性设计可提高电子设备的故障检测率和故障隔离率, 减少平均故障修复时间, 减少对保障资源的要求, 可降低寿命周期费用^[2]。随着军用电子设备日趋复杂, 其维修工作量迅速增加, 维修重点从以往的拆卸和更换逐渐转向故障检测和隔离, 故障诊断需求分析就是在设备研制初期针对其故障模式的故障检测和故障隔离需求进行分析, 从而为测试性设计提供依据。故障模式、影响及危害性分析 (failure mode effects and criticality analysis, FMECA) 是开展故障诊断需求分析的重要基础^[3]。笔者对常用故障诊断方法进行了分析, 结合 FMECA 分析结果, 研究了电子设备故障诊断需求分析的方法和流程, 对提高电子设备的测试性水平具有参考价值。

1 FMECA 方法

FMECA 是电子设备故障诊断、故障控制研究的基础^[4]。FMECA 是分析产品所有可能的故障模式及其产生的影响, 并按每个故障模式产生影响的严重程度及其发生概率予以分类的一种归纳分析方法^[5]。在故障诊断方面, 应优先采用硬件 FMECA 方法, 即根据产品的每个硬件故障模式, 对各种可能导致该硬件故障模式的原因及影响进行分析^[6]。

FMECA 分析一般按图 1 的步骤进行:

1) 产品定义: 描述产品的组成及其在完成各种任务时所处的环境条件, 明确产品的功能及工作方式等;

2) 选择 FMECA 方法: 根据分析的目的和产品的研制阶段, 选择相应的 FMECA 方法, 制定 FMECA 分析表;

3) 实施 FMEA 分析: 识别故障模式, 描述这些故障模式的影响, 探求每个故障模式的原因, 故障检测方法分析及补偿措施分析等;

4) 进行危害性分析;

收稿日期: 2018-05-03; 修回日期: 2018-05-15

作者简介: 王红征(1987—), 女, 河南人, 硕士, 工程师, 从事装备质量和可靠性工程研究。

5) 形成 FMECA 报告。

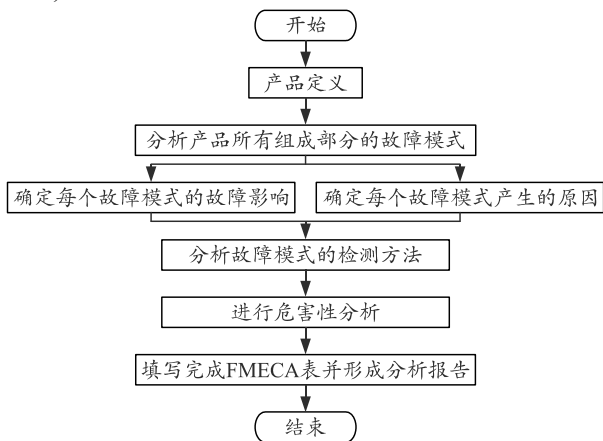


图 1 FMECA 分析步骤

利用 FMECA 的分析结果，尤其是故障模式、故障原因、严酷度类别、故障检测方法分析等内容，能够为产品的故障诊断需求分析提供支持，确定这些故障模式是否需要被检测和隔离，以及采用哪种

故障诊断方法等。因此在 FMECA 分析过程中，如果对产品的故障模式分析得不够全面，会直接导致故障诊断需求分析的不全面，从而影响产品的测试性设计。

2 电子设备故障诊断方法分析

故障诊断主要包括故障检测和故障隔离定位 2 个方面^[7]。电子设备常用的故障诊断方法如表 1 所示，在诊断配置中，机内诊断通常采用 BIT 实现，机外诊断可以采用外部自动测试 (automatic test equipment, ATE)、人工测试方法实现^[8-9]。BIT 工作模式包括加电 BIT、周期 BIT 和启动 BIT。加电 BIT 在设备电源接通后自动运行，完成对设备硬件的测试；周期 BIT 在设备执行任务的过程中周期性地检测各组成部分的工作状况，不需要人为操作，也不需要外界提供信号；启动 BIT 由操作人员启动，必须满足连锁条件才能成功运行。

表 1 电子设备常用故障诊断方法分析

诊断方法	含义	特点	方法示例
机内测试 (BIT)	设备内部提供的检测和隔离故障的自动测试能力	利用设计到设备内的测试硬件和软件，对设备全部或局部进行自动诊断测试，使得设备本身就能检测和隔离故障。是实现在线状态监测与现场故障检测的重要技术手段	电压求和 BIT 环路 BIT 边界扫描 BIT
外部自动测试	自动进行功能和(或)参数测试、评价性能下降程度或隔离故障的能力	利用 ATE、ATS 或者自动诊断系统，对系统或设备进行本地或者远程的自动诊断测试	ATE 测试 中继自动测试 远程测试
人工测试	以维修人员操作为主，对设备进行本地的故障诊断测试。	人工测试通常使用通用仪器设备工具或专用外部测试设备	目测无损探测 测试点测试

由于 BIT 受软硬件增量的限制，不可能完成故障检测并达到较高的故障隔离率要求，同时 ATE 又存在着设备复杂庞大，不易携带等不利条件，所以 BIT 与 ATE 相融合可以提高设备自检测能力。两者之间是相互配合、相互补充的，可使设备具备快速诊断与维修能力。

3 故障诊断需求分析方法

故障诊断需求分析是电子设备整体测试性及综合诊断设计工作的核心环节^[10]，分析内容主要包括故障模式、故障检测需求以及故障隔离需求等。笔者将在 FMECA 的基础上，结合故障的相关信息，研究故障诊断需求分析方法，可以确定故障检测、故障隔离设计策略，能够为测试性建模、设计分析和测试性指标预计提供参考依据。

3.1 故障诊断需求分析的基本要求

电子设备的故障诊断需求分析在研制初期进行，以获取产品的测试性设计需求信息，支持测试性建模、详细设计和测试性预计等，应与 FMECA

及维修性信息分析相结合，引用相关分析结果。分析的深度及范围取决于测试性定性和定量要求、维修级别、设备的复杂程度等，对于基层级和中继级均有测试要求的设备，分析深度一般要求达到 SRU 内的功能子电路。故障诊断需求分析是个逐步深入和细化的迭代过程。

3.2 故障诊断需求分析的实施流程

依据故障诊断需求分析的基本要求，故障诊断需求分析的实施流程如下：

- 1) 根据电子设备的设计信息、可靠性预计结果和 FMECA 初步分析结果，确定被分析设备的各组成单元(至少到隔离级别)的故障模式、故障率、故障原因和故障模式频数比等。
- 2) 在确定故障模式之后，分析确定测量参数和测试点。测试点能进行定量测试、性能监控、故障隔离或调整等。
- 3) 在 FMECA 故障检测方法初步分析的基础上，进一步分析确定每个故障模式适用的故障诊断

方法，主要包括 BIT、外部自动测试设备和人工测试等。

4) 根据故障诊断需求分析内容，设计故障诊断需求分析表(表 2)，将分析结果填入分析表中，包括故障模式信息和故障检测、隔离能力需求信息等，表中各栏填写要求如下：

① 组成单元：列出被分析产品的组成单元；

② 故障率 λ_p ：相应组成单元的故障率，该数据来源于可靠性预计的结果；

③ 故障模式 FM：与 FMECA 分析中的故障模式定义相同；

④ 故障原因：某种故障模式发生的故障原因；

⑤ 严酷度类别：与 FMECA 分析中的严酷度含义相同。故障模式的严酷度分为 4 个级别，分别为 I 类(灾难的)、II 类(致命的)、III 类(中等的)、IV 类(轻度的)；

⑥ 故障模式频数比 α ：某种故障模式的故障率与总故障率之比；

⑦ 某个故障模式的故障率 λ_{FMi} ：为总故障率与

某种故障模式的频数比 α 之积，即 $\lambda_{FMi} = \alpha\lambda_p$ ；

⑧ 加电 BIT：加电 BIT 所能检测的故障率；

⑨ 连续或周期 BIT：连续或周期 BIT 所能检测的故障率；

⑩ 启动 BIT：启动 BIT 所能检测的故障率。

⑪ ATE：ATE 可检测的故障率。

⑫ 人工：通过人工检测观察点、指示器和内部测试点可检测的故障率。

⑬ 故障隔离能力需求：用数字表示需要隔离到几个可更换单元。

⑭ 备注：需要说明的事项。

4 实例分析

某电子设备由控制单元(LRU1)、通信单元(LRU2)、电源(LRU3)等 3 个 LRU 组成。在该设备 FMECA 初步分析的基础上，依据故障诊断需求分析的方法，进行故障诊断需求分析，结果见表 2。利用此方法，还可以进一步开展该设备 LRU 级别和 SRU 级别的故障诊断需求分析，进而利用分析结果进行测试性的详细设计。

表 2 某电子设备故障诊断需求分析

序号	组成单元	故障率 $\lambda_p \times 10^{-6}/h$	故障模式 FM	严酷度类别	故障模式频数比 α	故障模式的故障率 $\lambda_{FMi} \times 10^{-6}/h$	故障检测能力需求 λ_D				故障隔离能力需求 λ_{Li}	
							加电 BIT	连续或周期 BIT	启动 BIT	ATE 人工	隔离组内的可更换单元数 L	
1	LRU1	10	信息加载错误	III	0.6	6	6		6			1
			显示驱动故障	II	0.2	2	2		2			1
			无目标信息输出	II	0.2	2	2	2	2			2
2	LRU2	10	报文出错	III	0.8	8	8		8			1
			并口异常	II	0.1	1				1		2
			串口异常	II	0.1	1				1		2
3	LRU3	1	损耗大	III	0.6	0.6				0.6		1
			开路	II	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3			1
			短路	II	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			1

5 结论

笔者在 FMECA 分析和故障诊断方法分析的基础上，研究了电子设备故障诊断需求分析的方法，给出了分析内容、详细过程以及需求分析表的组成等。下一步，还需要开展故障诊断的详细设计，才能真正实现故障的检测和隔离定位，提高电子设备的故障检测率和故障隔离率。

参考文献：

[1] 连光耀. 基于信息模型的复杂电子装备测试性设计与分析方法研究[D]. 石家庄: 石家庄军械工程院, 2008.
 [2] 刘松风, 朱明初, 王红霞, 等. 面向测试诊断需求信息模型的应用[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(10): 1877-1879.
 [3] 吴传贵, 陈明新, 周勇军, 等. 基于 FMECA 的飞参采

集器维修性信息分析[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(3): 170-173.
 [4] GREGORY J K, MICHAEL J R. Health Management System Design: Development Simulation and Cost/Benefit Optimization [J]. IEEE, 2002(6): 3065-3072.
 [5] GJB/Z 1391—2006. 故障模式、影响及危害性分析指南[S].
 [6] 赵廷弟. 故障模式及影响分析专家系统[J]. 北京航空航天大学学报, 1999, 25(5): 611-614.
 [7] 王秋彦, 鞠建波, 宋振宇. 故障诊断技术研究现状及发展趋势[J]. 电子测量技术, 2009, 32(4): 5-8.
 [8] 田仲, 石君友. 系统测试性设计与验证[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003: 214-267.
 [9] 张俊峰, 赵锦成, 刘金宁. 武器装备测试诊断集成方法综述[J]. 测控技术, 2010, 29(8): 1-3.
 [10] 连光耀, 黄考利, 陈建辉, 等. 装备测试性设计与维修诊断一体化关键技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(1): 1-4.