

# 飞航装备测试性设计分析及故障诊断实施策略工程应用研究

孙 萍, 魏清新, 王坤明

(北京机电工程研究所, 北京 100074)

**摘要:** 飞航装备的测试性设计分析及故障诊断研究对提高武器装备的测试性水平, 提升装备的战备完好性和战时利用率, 拓展可持续发展的作战能力具有重要作用; 通过从国内外测试性发展现状入手展开分析, 经对一般测试性设计分析流程的深入研究, 从工程实用的角度提出了适用于飞航装备的测试性设计与分析的方法, 其中包括探讨了测试性建模的工具和一般建模流程, 梳理了测试性建模数据准备素材类型和具体内容, 分析了测试性建模的具体步骤以及基于测试性模型的分析方法, 最后基于所建立测试性模型探讨了基于 D 矩阵的故障隔离和诊断模式, 对后续飞航武器装备型号中的测试性设计分析及故障诊断工作具有重要意义。

**关键词:** 飞航装备; 测试; 故障诊断

## Research on Cruise Weapon System's Testability Design and Analysis and Fault Diagnosis Engineering Application

Sun Ping, Wei Qingxin, Wang Kunming

(Beijing Electro-mechanical Engineering Institute, Beijing 100074, China)

**Abstract:** It is important of researching on cruise weapon system's testability design and analysis and fault diagnosis to improve the testability level, increase the combat readiness, wartime utilization, and continuous fighting capacity. This paper starts analyzing from development of testability at home and abroad, and researches deeply a general testability design and analysis process, proposes a method which is suitable for cruise weapon system's testability design and analysis in engineering practical aspect through researching deeply on general testability design and analysis flow, including discussing the tools and the process of building testability model, combining with the type and the content of prepared data for building testability model, analyzing the procedure of building testability model and analyzing method based testability model. Finally this paper researches fault diagnosis mode based on D matrix. Hence, this paper is very important effect on cruise weapon system's testability design and analysis and fault diagnosis in the future.

**Keywords:** cruise weapon system; testability; fault diagnosis

## 0 引言

随着高新技术的快速发展, 飞航武器装备的复杂程度也与日俱增, 保障能力面临愈加严峻的考验。因此, 如何以最少的保障资源完成最大规模的武器装备系统的保障工作成为当前面临的重要课题。近年来, 以空军为首的各军兵种, 正在大力开展简化保障内容的相关工作。

科学合理的测试性设计能够通过增加产品测试及生产检验等过程中的保障手段以便对装备系统内部的故障进行自动检测、诊断和隔离, 有效地提高武器装备的战备完好性和战时利用率, 同时降低维修人力和其它资源的要求, 达到精简保障内容的最终目的。<sup>[1]</sup>

然而, 测试性设计因其起步较晚, 仍然与可靠性、维修性、保障等其他设计脱节, 目前飞航装备的测试性严重制约装备维修性、保障性的工作进展, 存在装备测试时间长、测试内容和项目是否满足故障覆盖的要求没有准确的定义、故障定位时间长、设备的维修复杂难以掌握、对武器的操作人员提出了较高要求等等问题, 制约了装备的快速反应能力与战时生存能

力, 严重影响飞航装备作战效能的发挥。

开展关于飞航装备测试性设计与分析方法的研究, 可将测试性分析的结果一方面用于评估武器装备测试性设计的水平; 另一方面可反馈给设计部门, 用于及时修正装备的设计工作; 同时, 也用于历史信息的积累, 形成同类武器装备的测试性设计标准、规范等, 从而切实有效的控制和掌握装备的测试性水平, 确保武器装备的其他性能。

同时, 基于测试性分析的故障诊断实施策略研究, 有利于辅助现场操作人员快速定位并隔离故障, 提升飞航武器的测试、维修保障效率, 以最少的寿命周期费用使系统具备要求的状态监控、故障检测与故障隔离能力, 满足规定的测试性要求, 进而提高系统任务可靠性和可用性, 降低寿命周期费用, 大大提高我院产品的竞争力, 为我院型号今后更好的发展奠定基础。

因此开展飞航装备测试性设计分析及故障诊断实施策略工程应用研究, 具有重要的实际意义。

## 1 测试性和故障诊断简述

测试性是指“产品能及时、准确地确定其状态(可工作、不可工作或性能下降)并有效地隔离其内部故障的一种设计特性”。

故障诊断是通过分析和综合全部有关的诊断要素, 使系统诊断能力达到最佳的设计和管理过程。其目标是以最少的费

收稿日期:2016-09-24; 修回日期:2016-11-11。

作者简介:孙 萍(1987-), 女, 陕西铜川人, 工程师, 主要从事装备综合保障技术方向的研究。



发现并解决问题, 便于系统研制过程中对测试性设计的掌控, 以提高系统的测试性水平。

现代装备的功能越来越先进, 相应的结构和技术也越来越复杂。通过装备测试性建模与分析的方法来改善测试性设计, 已经成为提高装备测试能力和测试总体优化的有效手段。测试性模型的建模流程包括: 根据收集的信息逐级分解构建产品的层次化模型, 通过分析层次化模型中的系统级功能, 并关联到多信号模型中的最底层模块, 建立完整的信号走向图, 确定各模块间的依赖关系及故障传递关系, 根据实际情况设置测试点, 如图 2 所示。

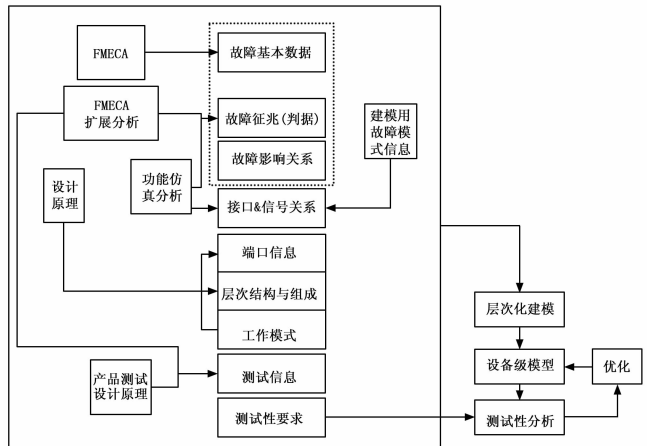


图 2 测试性建模流程

在 FMECA 数据、电气接线原理图、技术说明书、测试性设计数据的基础上分析分系统间 (Subsystem)、分系统内各模块 (LRU) 间的信息流向, 故障模式、故障传递关系以及测试方法, 建立故障与测试的相关性图形模型, 可对某型武器系统的测试性水平进行预计、评估, 以改进测试性设计。

根据某型武器系统数据准备报告, 利用建模工具软件 TesTLab-Designer 建立图形化模型。以图形化的方式描述通用处理单元各层级 (LRU、SRU、功能模块) 的信号流、故障模式、BIT、ATE 等信息。

正式建模之前需要完成如下的仿真数据准备工作:

4.1 测试性建模数据准备

梳理系统级 (System)、各分系统级 (Subsystem) 之间及与系统级之间、各模块 (LRU) 之间及与分系统级、系统级的对外接口关系, 并分别填写表 1, 形成系统级对外接口关系表、各分系统级对外接口关系表和各模块对外接口关系表。针对各个模块 (LRU) 开展故障模式及相应测试信息的分析和梳理, 填写表 2、表 3。

表 1 外接口关系表			
本单元的端口名称	信号传递方向 (相对本单元)	连接的单元	连接的端口
本单元功能端口 1	←	系统外设备 1	连接单元的功能端口 1
本单元功能端口 2	→	系统外设备 2	连接单元的功能端口 2
本单元功能端口 3	→	系统外设备 3	连接单元的功能端口 3

注:←表示连接单元向本单元的端口输入,→表示连接单元向本单元的端口输出

4.2 建立测试性模型

1)搭建武器系统的层次结构。  
按照《XX 武器系统的技术说明书》和《XX 武器系统 FMEA

表 2 故障模式信息表				
故障模式编号	故障模式名称	故障率	流入的输入端口名称	流出的输出端口名称
(源于 FMECA 表)	故障模式 1		(所有可能会导致该故障模式发生的 LRU 端口)	(该故障模式的发生可能会影响的 LRU 端口)
(源于 FMECA 表)	故障模式 2		(所有可能会导致该故障模式发生的 LRU 端口)	(该故障模式的发生可能会影响的 LRU 端口)
(源于 FMECA 表)	故障模式 3		(所有可能会导致该故障模式发生的 LRU 端口)	(该故障模式的发生可能会影响的 LRU 端口)

表 3 测试信息表			
测试类别	测试名称	测试位置	测试模块故障模式
IBIT		功能端口 1	(与故障模式信息表中的故障模式名称对应)
PBIT		功能端口 2	(与故障模式信息表中的故障模式名称对应)
MBIT		功能端口 3	(与故障模式信息表中的故障模式名称对应)
ATE		功能端口 4	(与故障模式信息表中的故障模式名称对应)
人工测试		功能端口 5	(与故障模式信息表中的故障模式名称对应)

报告》将 XX 武器系统划分为各个子系统、LRU、SRU 以及模块。

2) FMECA 表导入。  
从《XX 武器系统 FMEA 报告》中筛选出发生频率较高、故障严酷度等级较高的故障模式, 并按照如下表格的规范格式, 在 EXCEL 中分别建立系统的故障模式表:

表 4 FMECA 导入表(测试性建模用)														
序号	模块名称	厂家编码	功能	故障模式编码	故障模式名称	故障征兆	失效原因	工作模式	高一层次影响	局部影响	严酷度	故障率	故障率单位	描述

通过 TesLab-Designer 软件将 xlsx 格式的 FMECA 导入表 (见附件) 导入至当前模型中, 实现模型中故障模式因素的注入。

3) 建立单元模块间的联系。  
建立顶层模块包含的功能单元模块之间的连接关系:  
a) 建立内部单元模块与上一层模块之间的连接;  
b) 建立同层次单元模块与单元模块之间的连接;  
c) 建立单元模块和与门, 开关模块之间的连接关系。  
4) 建立底层故障与 LRU 端口的联系  
在结构模型图的最底层, 根据故障模式信息表 (表 2), 进行故障模式模型图的建模, 具体步骤为:  
a) 根据故障模式的“局部影响”关系, 建立故障模式与端口的连接;

b) 根据故障模式的“局部影响”关系,建立同一模块故障模式之间的连接;

c) 在需要时,根据故障模式所处的不同工作模式,在故障模式之间设置开关。

d) 分析是否多个故障模式发生才会影响某功能失效,在故障模式之间设置与门。

5) 信号库的建立与关联。

a) 添加项目信号库。

参考模型中的故障模式和功能端口,将模型相关的所有信号名称依次添加到项目信号库中。信号库中信号的总数量不小于模型中所有故障模式的总数量。

b) 将故障模式与信号关联。

分配信号是表示该故障模式发生时会导致产生的故障现象,或会导致可察觉的信号参数变化的情况。根据这一定义,将故障模式与其相应分配信号,即将“故障现象”或“参数变化情况”进行关联。

c) 测试点、测试的建立以及与信号的关联。

在模型图的各层,建立测试和测试点。具体步骤为:

i) 建立测试点。

根据仿真数据准备章节中的测试信息表,新建测试点,并根据测试位置建立测试点与各单元模块或故障模式的连接(通过模型中的连接线实现)。

ii) 建立测试。

在测试点中添加测试项目,并根据测试信息表所填信息,为该测试项目设置测试方法、测试级别、测试成本和时间等信息。

iii) 设置测试所关联信号。

根据测试信息表中信息,分配该测试可以测到的功能信号(如果不分配信号,则按照模型图的可达性决定该测试可以测到的故障模式)。

至此,XX 武器系统测试性模型已基本建立完成

#### 4.3 测试性分析

测试性分析报告中可分为定量分析和定性分析两部分工作内容。定量分析是根据测试性设计资料,通过工程分析和计算来估计测试性和诊断参数可能达到的量值,并与规定的指标要求进行比较的过程。定量分析的主要目的是通过估计测试性指标是否满足规定要求,以评价和确认已进行的测试性设计工作,找出不足,改进设计。定性分析是根据测试性设计资料,通过分析设计中的故障覆盖情况,指导改进测试性设计的方法和设计权衡。

针对测试性模型进行测试性分析,可以得到 D—矩阵、模糊组动态分析结果、故障诊断树、故障检测率和故障隔离率等分析结果。

### 5 故障隔离和诊断模式

通过对目前测试性建模工具的调研发现,主要包括以下 4 种故障隔离和诊断实施方式:

- 基于 D 矩阵的故障诊断模式;
- 基于先验知识的故障诊断模式;
- 基于故障树的故障诊断模式;
- 基于数据挖掘的故障诊断模式。

根据不同型号飞航装备的历史数据特点,通过策略中心可

选择不同的故障诊断实施方式,最终给出诊断结果,从而快速定位和隔离故障。<sup>[4-6]</sup>

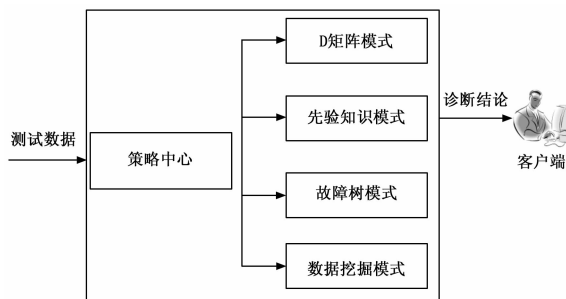


图 3 故障诊断实施方法

基于 D 矩阵的故障诊断模式是最常见的故障诊断和隔离方法。D—矩阵将测试与故障之间的依赖关系用矩阵的方式进行表示,已在许多测试性分析工具中得到了成功应用。D—矩阵模式的工作原理是通过应用测试设备获取各个测试监测点代表各模拟量指标的数字量序列(如 01010001……),通过工具软件或人工进行有效的分析、识别、解读后,将其划分为可对应各个物理量的数字量,经过离散归一化手段调整后与 D—矩阵的各列进行比对,从而确定装备是否故障。如图 4 所示。

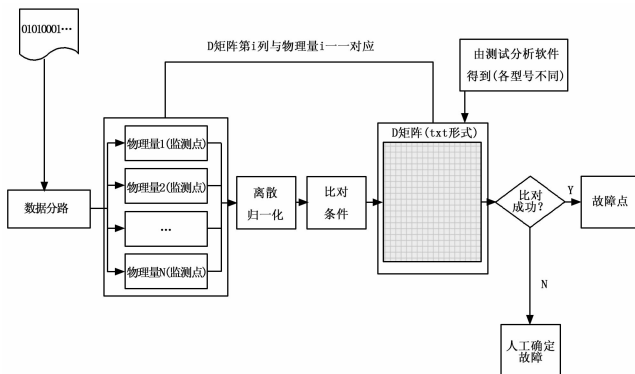


图 4 D—矩阵模式故障诊断

## 6 结论

本文通过对一般测试性设计分析流程的深入研究,从工程实用的角度提出了适用与飞航装备的测试性设计与分析的方法,最后就基于 D 矩阵的故障诊断模式进行了分析研究,对后续飞航武器装备型号中的测试性设计分析及故障诊断工作具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 田 仲,石君友.系统测试性设计分析与验证 [M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] 田 仲.测试性与诊断的设计内容和基本理念 [A].中国航空学会可靠性工程专业委员会学术年会 [C].2006.
- [3] 秦文娟,王 魁.基于 TEAMS 软件的空空导弹测试性建模方法 [J].弹箭与制导学报,2011,(10):44-46.
- [4] 李东兵,马 艳,潘鸿飞.战术导弹综合故障诊断技术研究 [J].战术导弹技术,2011(6):44-46.
- [5] 姜会霞,孟 晨,杨锁昌.基于模糊故障树和故障字典的导弹综合诊断方法 [J].仪表技术,2010(6):4-6.
- [6] 王国锋,张锡恩.基于案例推理的导弹故障诊断专家系统研究 [J].系统工程与电子技,1999(8):32-34.