

基于 TEAMS 和 IETM 的武器控制系统故障诊断与维修设备的设计

黄 成, 褚 辉, 车梦虎

(解放军 91550 部队, 辽宁 大连 116023)

摘要: 针对当前武器控制系统在舰员级和中继级故障诊断与维修时依据经验和依赖研制厂家的问题, 在对武控系统测试性分析的基础上, 利用 TEAMS 软件, 构建了多信号模型并进行了修正; 通过对现场级维修保障的需求分析, 利用 Raytheon 公司的 AIMSS 开发平台, 设计了故障诊断与维修设备的 IETM 主题框架, 实现了 TEAMS 的故障诊断策略的嵌入和解析, 最后根据使用需求, 开发了故障诊断与维修设备的硬件集成; 应用表明, 该设备能定位武控系统故障和提供维修策略, 大幅提高基层装备自主保障能力。

关键词: TEAMS; IETM; 多信号模型; 武器控制系统; 故障诊断与维修

Design of Weapon Control System's Fault Diagnosis and Maintenance Equipment Based on TEAMS and IETM

Huang Cheng, Zhuo Hui, Che Menghu

(Unit 91550 of PLA, Dalian 116023, China)

Abstract: The weapon control system's multi-signal model is structured and revised using TEAMS based on the testability analysis to solve the fault diagnosis and maintenance problem, which depends on the development manufacture at crews level and intermediate-level. The IETM theme framework of fault diagnosis and maintenance equipment is designed on AIM of Raytheon by the demand analysis of field maintenance. And the TEAMS diagnostic strategy is embedded and analyzed. Finally, the system hardware integration is developed according to user demands. It is shown by application that the equipment can locate failures, provide maintenance strategy and improve the support capability significantly at the crews level.

Keywords: TEAMS; IETM; multi-signal model; weapon control system; fault diagnosis and maintenance

0 引言

武器控制系统结构复杂、技术密集、组成设备多、智能化程度高, 交付使用后, 研制厂家提供的资料里一般只有简单的模拟故障及其排除方法。这些故障覆盖率低, 代表性差, 在实际使用过程中, 故障发生的概率会逐渐增加, 发生故障的部位也无法预料, 给基层装备操管人员排故带来了困难, 制约了部队装备自主保障能力的提高。

解决这类问题时, 传统的故障诊断设备都是根据武控系统的设备组成、信号流程和工作原理来构建模型, 并通过详细的信号关联关系分析, 确定板卡或原件的故障传播方向和影响范围, 由点及面地逐步完成大系统的测试性分析, 最终完成故障诊断过程。但是, 相同的原因造成的故障现象可能是不同的, 不同的原因造成的故障现象也可能是相同的。如何快速、有效地确定故障原因, 及时提供维修策略是评价各种故障诊断与维修设备优劣的标准之一。

因此, 为保证武控系统出现故障时, 舰员(艇员)能够及时有效地定位和隔离故障, 并根据不同需求(如测试时间最短、步骤最少等), 接收到故障诊断策略, 将故障定位到最小可更换单元, 实现舰员级维修, 本文基于测试性领域广泛使用的 TEAMS 软件和 IETM 技术, 实现了武器控制系统故障诊断

和维修设备的设计和开发。

1 TEAMS 开发

1.1 TEAMS 建模流程

TEAMS (Testability Engineering and Maintenance System) 是 QSI 公司开发的用于支持复杂系统全寿命周期的测试时序生成和测试性设计、分析的软件工具集, 它是基于模型的分析工具, 这些模型涵盖了系统的结构、互联、测试布局、测试步骤、故障等信息, 将各种故障与系统的 BIT、维护步骤和修理过程关联起来^[1]。

经过 TEAMS 分析后, 产品的测试性缺陷和测试性建议就可以直接标注在功能模块上。TEAMS 也可作为交互式工具, 完成故障模式影响及危害性分析, 形成文本的和图形的测试性报告。利用 TEAMS 软件实现多信号模型的建模流程如下: (1) 输入结构模型、原理图模型或概念方框图从而构建层次性模型; (2) 向模块和测试点加载信号; (3) 对模型进行测试性分析; (4) 根据测试报告修改模型并重新进行测试性分析, 直至满足测试性指标, 生成测试报告和测试流程。

由于部队使用的装备已完成设计定型, 利用 TEAMS 软件对其进行建模的目的主要是指出其可测试性设计存在的缺陷, 量化其可测试性能, 生成近最优测试诊断策略。针对 TEMAS 指出的可测试性设计缺陷以及完整可测试性设计建议并不会反馈到武控系统的再设计阶段。

1.2 武控系统测试性需求分析

在 TEAMS 软件中, 系统的结构模型能够从 VHDL、

收稿日期:2014-02-24; 修回日期:2014-03-27。

作者简介:黄 成(1978-),男,主要从事导弹武器系统总体方向的研究。

EDIF 模型自动导入生成,也可由图形用户界面直接构建。TEAMS 支持 System、Subsystem、LRU、SRU、Module、Submodule、Componet、Failure8 个层,使用者可以根据需求,对同一个模型不同层次进行灵活分析和评估^[2]。如图 1 所示。

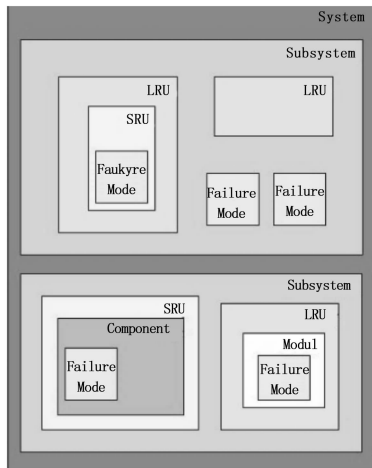


图 1 TEAMS 模型层次结构

对武控系统结构和功能的深入分析是测试性建模的基础,要对武控系统建立测试性模型,必须先详细了解该系统的结构功能特点,并结合测试性指标要求逐层分析,获得各组成单元故障模式及可用测试点信息。本文系统建模采用装备结构框图直接输入的方式,需要收集的资料包括武控系统组成、功能和测试相关的资料。这些资料按照《测试诊断需求描述指南》整理,主要包括《系统组成描述表》、《诊断功能分解描述表》和《功能测试属性描述表》。

《系统组成描述表》用于描述武控系统的组成结构和各分机、组件和模块(电路板)的简单功能。通过表格,建模者可以直观地了解系统的层次化组成结构和简单功能。《诊断功能分解描述表》用于描述武控系统诊断功能名称及各功能相关的诊断信息,主要包括与诊断有关的功能名称、功能分解情况及功能信息流等信息。通过表格,建模者可以对系统功能进行分析和自顶向下逐步分解。《功能测试属性描述表》用于补充描述如何实现《诊断功能分解描述表》列出的诊断功能的测试需求属性,并作为现有测试诊断能力分析、评估和改进外部测试诊断能力建设的基础和依据。

1.3 多信号模型的构建和修正

模型构建的主要内容包括依据《系统组成描述表》构建系统的结构模型;设置模型节点属性,添加信号到相关的系统组成单元;依据《诊断功能分解描述表》中信号功能流的表示确定系统组成单元的输入/输出以及相互的链接关系;依据《功能测试属性描述表》添加测试点及测试。图 2 是根据武器控制系统构建的多信号模型图。

模型修正就是对模型进行修改使其更加接近真实的物理模型。修正过程中的主要任务包括:(1)考虑到故障定位,建模对象的组成划分尽可能与实际结构组成相一致,可以根据实际经验和实际情况,对最低层的组成单元典型故障模式进行定义,以便更精确地隔离故障;(2)对于冗余设计,通过添加表决节点来捕获冗余信息;(3)添加开关节点捕获具有选择结构的信息。

1.4 可测试性分析和测试诊断策略的生成

在完成多信号模型建模之后,需要对武控系统可进行测试

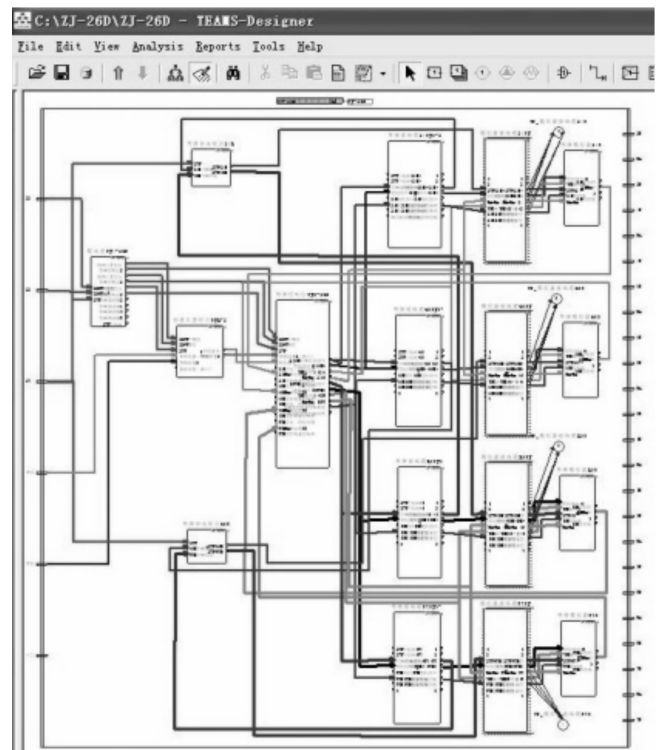


图 2 武控系统 TEAMS 多信号模型图

性分析。TEAMS 能够实现模型的静态可测试性分析和动态可测试性分析。静态分析针对设计本身的可测试性,不考虑设计的功能实现问题。静态分析包括两类:故障分析和反馈环分析。故障分析包含了未覆盖故障(缺少测试点)、模糊组和冗余测试点,反馈环分析能够指出反馈环中包含的模块并给出建议打开反馈环的位置。静态分析的结果以文本报告的方式给出。动态分析考虑了设计的功能实现问题,能够依据不同的诊断目标(最短时间、最小花费、故障定位级别等)计算出最优/近诊断策略。动态分析的结果能够以文本报告方式和图形方式给出,也可以直接在模型图中标注。建模者可以依据动态分析给出的可测试性设计量化指标、可测试性设计缺陷和完整可测试性设计建议对武控系统进行再设计。由于武器装备已完成设计定型,故建模只是给出了其可测试性指标量化结果,同时给出可测试性设计缺陷和测试时间与测试开销比为 1:1 的测试诊断策略,如图 3 所示。根据需要导出生成 XML 格式的 TEAMS 诊断树,方便后续 IETM 调用。如图 4 所示。

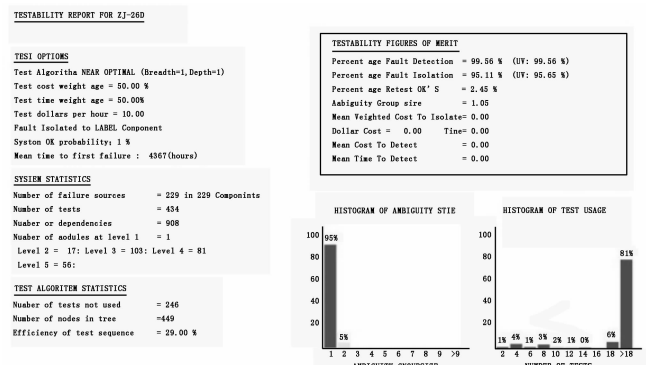


图 3 武控系统可测试性分析结果

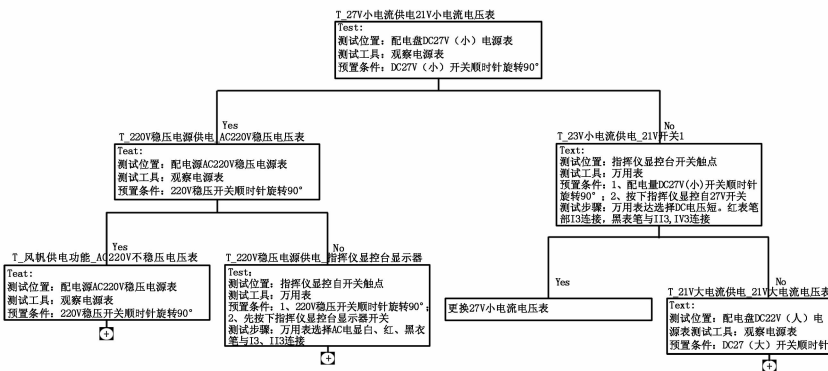


图 4 TEAMS 诊断树

2 IETM 开发

IETM (Interactive Electronic Technical Manual) 出现于 20 世纪 90 年代, 目前已成为西方发达国家所推行的 CALS (持续采办与寿命周期保障或光速商务) 战略的重要组成部分, 也是装备保障信息化技术研究和应用的热点之一。长期以来, IETM 一直受到美国防部和国防工业界的重视, 主要是因为 IETM 不仅作为一种电子手册, 实现了技术手册的数字化, 而且它具有交互功能, 实现了技术手册的智能化; 更为重要的是, IETM 的数据格式采用了当前美军和国际通用的成熟标准: MIL-PRF-87268A 和 MIL-PRF-87269A^[3]。对 IETM 的显示界面以及支持 IETM 的数据库规定的通用标准从根本上为实现数据的互操作和共享性、实现数据的网络集成化提供了可能。而这些正是实现装备保障信息化的最基本最核心的技术。

2.1 开发平台

目前国内进行 IETM 开发的平台主要有: 美国 Raytheon 公司的 AIMSS 软件、美国 PTC 公司的 Arbortext 软件、丹麦 Corena 公司的 LIFE S1000D 软件以及我国航天测控技术开发公司的 QuickIETM 软件。这些软件各有特点, AIMSS 支持美军和国际通用标准 MIL-PRF-87268A 和 MIL-PRF-87269A; Arbortext 支持 S1000D 标准; QuickIETM 符合我海军标准兼容 MIL-PRF-87269A 标准。本文选用美国 Raytheon 公司的 AIMSS 开发平台^[4]。

2.2 主要功能

IETM 能够实现检索、导航、查询等基本功能, 能够提供图片、动画等多媒体技术资料。考虑到所开发的武控系统故障诊断与维修设备的使用对象为部队担负作战训练的装备操作人员, 系统 IETM 具备总体说明、设备组成、工作原理、故障诊断和保养维护 5 个功能。其中总体说明针对武控系统的功能进行了概述说明; 系统组成介绍了系统的用途、配置上的特点、功能特性以及设备的运行能力; 工作原理部分用视频、动画、图形、照片和文字说明系统的组成、运行原理及功能, 系统的主要组件及各部件的功能和其相互关系; 故障诊断是对发现的故障进行检查、测试和诊断, 将故障隔离定位到现场可更换单元, 手册提供有关的检查测试方法、故障诊断和隔离的逻辑步骤以及保障资源要求; 维修保养提供了故障可追溯维修的方法和步骤, 以及所需备件等保障资源信息。

2.3 IETM 故障诊断

IETM 的开发主要分为: 技术资料的收集、梳理、转化、创作过程控制、信息模块集成 5 部分。

2.3.1 TEAMS 故障诊断策略嵌入 TETM

TEAMS 生成的 XML 格式的故障诊断策略能够嵌入到 IETM 数据库的前提是诊断策略数据格式与 IETM 的数据标准是统一的。本文采用支持 XML 标准数据格式嵌入功能的 AIMSS 开发平台, 实现将 TEAMS 生成的 XML 诊断策略嵌入到 IETM 数据库中。

因为 XML 语法简单, 数据和显示样式分离, 超级链接能力强, 具有标记可扩展功能, 所以发展成了跨平台、跨网络、跨编程语言的数据描述方式, 已成为网络环境中数据描述和交换的标准。本文采用的 XML 格式的数据标准, 代表了测试领域的发展趋势。

2.3.2 TETM 对 TEAMS 故障诊断策略的解析

要使故障诊断与维修设备在使用过程中能够很好地实现交互, TEAMS 生成的 XML 格式的数据嵌入 IETM 只是实现数据交换的第一步, 还必须解决故障策略嵌入后的解析技术。

要想利用 XML 文件中所编码的数据, 必须先将数据从纯文本中解析出来。文献 [5] 介绍了一种解释 XML 文档并提取其中内容的方法, 即 XML 解析器。通过对 XML 格式的故障诊断策略解析, 从而得到其中的测试模型、诊断策略和依赖矩阵并生成相应的策略树。

2.4 IETM 主题信息结构

为实现舰员级和中继级维修, 在对本设备的使用对象即舰员(艇员)或基层修理所的装备操管人员的需求进行分析的基础上, 对现有资料进行合理分解和科学整合, 提出了 4 类主题信息, 以此为技术基础构建 IETM 的主题框架。即 (1) TEAMS 诊断树, 是 TEAMS 生成的 XML 格式的测试诊断策略, 提供设备全程自检; (2) 典型故障列表, 提供了设备的常见故障现象与原因的对列列表, 便于舰员快速查找; (3) 功能检查, 检查设备中不同功能的完好性, 出现故障前, 可以依据功能检查的测试流程, 快速自检, 出现故障后, 可以快速定位; (4) 设备全寿命日志管理, 包括基于 Access 数据库建立的武控系统生命周期日志、故障汇总和故障查询, 数据库可以及时更新, 实现设备的全寿命周期跟踪和故障可追溯。如图 5 所示。



图 5 IETM 主题信息结构

3 硬件开发

3.1 功能需求

武控系统定型交付使用后, 部队在作战、训练和日常维护、维修过程中, 根据舰员(艇员)和中继级维修要求, 所开发的故障诊断与维修设备必须具备以下功能: (1) 模块级故障定位、排除及验证; (2) 模块互换性验证测试; (3) 备品备件的日常维护测试; (4) 信号源模拟输出, 可模拟产生雷达、光电等传感器信号; (5) 视频采集, 可采集电视、VGA、DVI 等视频信号; (6) 通信数据录取, 可录取包括 RS232/422/429 以及 1553B、以太网等通信数据。

3.2 硬件组成

武控系统故障诊断与维修设备硬件由三部分组成，即便便携式测试设备、多功能显控台和测试接口。便携式测试设备为多功能显控台提供通用测试环境，实现维修时的故障定位、排故指导、修复验证及备品备件的日常测试维护，通过加装 IETM 的平台信息数据库，实现多功能显控台电子资料的交互式查询和软、硬件产品的信息查询。如图 6 所示。

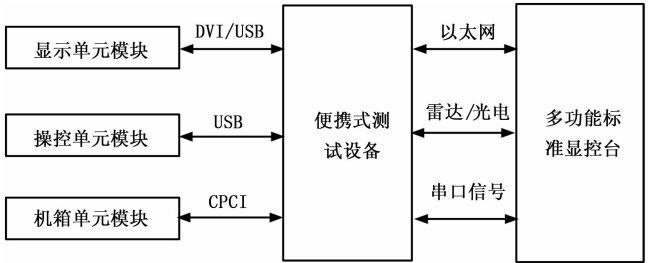


图 6 设备硬件模块组成图

3.3 硬件集成

表 1 便携式测试设备硬件配置

系统组成	模块名称	说明
显示单元	液晶显示器	14 英寸 LCD 显示器
操控单元	标准键盘	字符输入、文字编辑
	触摸板	触摸式光标输入
电子机箱单元	电源模块	提供直流电源
	CPU 主处理模块	CPCI 总线主板
	视频转接板	提供视频输出
	双冗余以太网模块	100M/1000M 自适应
	双冗余 CAN 模块	支持 CAN2.0A/B 规范
	串口通讯模块	RS232/RS422/485 接口
	综合显示处理模块	综合显示
	视频接口处理模块	综合显示扩展
	硬件 I/O 类模块	标准化 I/O 类处理
	视频采集模块	采集 TV、VGA 信号
	串口采集模块	RS232/422/485 模式
	Aric429 模块	Aric429 模块
	1553B 采集模块	采集 1553B 接口数据
	其他模块	完成用户的专用功能
结构体		CPCI 总线形式

本文便携式测试设备电子机箱单元选用 CPCI 总线形式，

和标准显控台一起,构成故障诊断与维修设备。作为测试机设备时,考虑到以后的扩展需求,内部配置电源模块、主处理模块、双冗余网络模块、显示处理模块、视频接口处理模块、CAN 总线模块、串口通讯模块、I/O 类模块等。硬件配置如表 1 所示,通讯板卡槽位布局(不含视频接口扩展模块)如表 2 所示。

表 2 作为测试机设备 CPCI 计算机内部槽位布局

模块名称	槽位布局
主处理模块	1 槽
双网络冗余模块	2 槽
综合显示处理模块	3 槽
串口通信模块	4 槽
视频接口处理模块	5 槽
CAN 总线模块	6 槽
标准化硬件 I/O 模块	7 槽
预留模块(用于安装模拟测试模块)	8 槽
电源模块	电源槽
调试接口区域	

4 测试结果

本文采用 TEAMS 软件，在对武控系统测试性需求分析的基础上，构建了故障模型，生成了诊断策略；其次利用 IETM 技术，设计了面向舰员（艇员）或基层修理所装备操管人员的 IETM 主题框架；最后通过开发硬件设备，开发的武器控制系统故障诊断与维修设备，能够定位武控系统故障和提供维修策略，实现了部队舰员级和中继级自主维修，解决了装备故障时依据经验或依赖厂家维修的现状，提高了装备自主保障能力。

参考文献：

[1] 樊大地,王宏力,等. TEAMS 在故障诊断中的应用研究 [J]. 装备制造技术, 2008, (9): 126.
[2] 田华明,孙 华,等. 复杂电子系统的 TEAMS 的测试性研究 [J]. 测控技术, 2009, 28 (9): 73.
[3] Eric L Jorgensen. DoD classes of electronic technical manuals [R]. West Bethesda: CDNSWC, 1994.
[4] 王 崇. 国内外 IETM 研究与应用现状分析 [J]. 航空标准化与质量, 2009, (233): 20-23.
[5] 刘双双,叶晓慧,等. 嵌入故障诊断策略的 IETM 的研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (9): 1965.

(上接第 2130 页)

[2] 石君友. 测试性设计分析与验证 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
[3] 薛 嘉,蔡金燕,马飒飒. 基于虚拟仪器的雷达装备 ATS 使用测试性验证系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (12): 2795-2798.
[4] GJB2547—95, 装备测试性大纲 [S]. 1996.
[5] 李天梅. 装备测试性验证试验优化与综合评估方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
[6] 马彦恒,韩九强,李 刚. 测试性评估与验证的超几何分布法

[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43 (3): 42-44, 64.
[7] 周玉芬,徐松涛,高锡俊,等. 测试性验证的理论和研究方法研究 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 1996, 37 (2): 10-15.
[8] 王立兵. 雷达固有测试性验证方法研究 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2008.
[9] 徐 萍,康 锐. 测试性试验验证中的故障注入系统框架研究 [J]. 测控技术, 2004, 23 (8): 12-14.
[10] GJB2072—94, 维修性试验与评定 [S]. 1995.
[11] 王立兵,马彦恒,李泽天. PSpice 仿真的测试性验证方法研究 [J]. 火力指挥与控制, 2009, 34 (12): 131-134.