

# 基于状态监测的装备保障特性评估系统研究

孟祥辉, 熊 尚

(中国人民解放军 92228 部队, 北京 102442)

**摘要:** 装备保障特性评估, 是评定保障性目标的重要监督方法, 状态监测是及时获取并掌握装备状态, 支撑保障特性评估的重要在线手段; 状态监测与保障特性评估可以实时或周期性的对装备运行状态进行监控和评估, 预测装备的衰退趋势以及最佳维修时机; 基于状态监测的岸防装备保障特性评估系统, 通过研究岸防装备状态监测与评估体系, 设计状态监测、健康管理与评估系统, 支撑岸防装备保障特性评估技术与验证, 并以某部队岸防装备为对象验证了系统的有效性, 可对岸防装备的状态掌控, 以及保障特性的及时、准确的评价和判定提供有效支撑。

**关键词:** 状态监测; 健康管理; 保障特性评估

## Research on Equipment Support Characteristics Evaluation System Based on Condition Monitoring

Meng Xianghui, Xiong Shang

(PLA 92228 Unit, Beijing 102442, China)

**Abstract:** Assessment of equipment support characteristics is an important supervisory method for evaluating supportability targets. Condition monitoring is an important means for acquiring and mastering equipment status in time and supporting the evaluation of support characteristics. Condition monitoring and support characteristic evaluation can monitor and evaluate equipment running status in real time or periodically, predict equipment decline trend and optimal maintenance time. Based on the condition monitoring, this paper studies the condition monitoring and evaluation system of coastal defense equipment, designs the condition monitoring, health management and evaluation system, and supports the research and verification of coastal defense equipment support characteristic evaluation technology. The validity of the system is verified by a certain army coastal defense equipment. The state of the coastal defense equipment of the visiting team is mastered, and the timely and accurate evaluation and judgment of the support characteristics provide effective support.

**Keywords:** condition monitoring; health management; support characteristics evaluation

## 0 引言

装备保障特性是与装备保障相关的设计特性及其综合体现, 是装备功能发挥或性能劣化的度量, 包括可靠性、维修性、测试性、保障性以及综合特性等。装备保障特性直接关系到装备是否可靠耐用、操作简便, 是否易于维护、检测、修理, 保障资源配备是否配发及时, 品种是否配套完备、数量是否经济合理等基础<sup>[1-2]</sup>。

岸防装备系统状态信息获取途径主要是装备定期检查、系统联调联试、全系统加电测试和分系统加电测试、BITE测试等方式, 测试项和数据主要关注装备功能测试, 有关装备性能状态相关的信息获取不足, 难以直观评价装备的当前状态以及状态的变化趋势, 缺乏对装备的预见性和及时性维修的支持。状态监测技术可通过各种测试测量手段, 获取目标对象的技术状态, 并采用各种传输途径和警示手段, 实现对装备当前状态的总体掌握, 通过状态监测应用, 实现岸防装备保障特性的评估, 可及时、准确地掌握装备

的技术状态, 快速、精准地响应各类保障需求, 适时、主动优化装备性能, 从而充分发挥装备作战效能<sup>[3-4]</sup>。

## 1 面向状态监测的岸防装备特性分析

### 1.1 岸防装备结构特性分析

以雷达等典型岸防装备为例, 其通常由天馈、收发、信号处理、录取终端、监控、伺服和电源等分系统组成。为适应不同作战任务需要, 增强对不同类型目标的探测能力, 雷达系统可设置多种工作状态、多种工作模式, 以适应不同的使用要求<sup>[5]</sup>。作为大型复杂电子装备, 雷达装备具有如下特点:

1) 系统的复杂性: 雷达装备高新技术密集, 更新换代快, 特别是新型雷达装备体系庞大、技术复杂度、器件集成度高, 集光、机、电、液、声于一体, 涉及多个维修专业, 对装备状态保持提出很高的要求。

2) 结构的复杂性: 雷达装备的系统呈阶梯分布式结构, 各子系统的功能实现具有并行性; 装备各子系统的控制信息和故障信息之间存在或强或弱的相关性, 因此, 系统通常为近似可分解系统。

3) 寿命分布的复杂性: 20 世纪 50~60 年代, 普遍认为所有装备的故障率都符合“浴盆曲线”, 即都有早期故障期、

收稿日期: 2018-09-12; 修回日期: 2018-09-27。

作者简介: 孟祥辉(1979-), 男, 河南新乡人, 博士, 高级工程师, 主要从事陆战岸防装备论证、综合保障方向的研究。

偶然故障期和损耗故障期。随着装备的日益复杂和维修理论的发展,发现除“浴盆曲线”以外,还有五种故障曲线,均与寿命周期分布有关。雷达装备的特点决定了其寿命分布的复杂性,这是开展维修性工程必须面对的问题<sup>[6]</sup>。

4) 状态的复杂性:岸防装备型号多、数量大,不同的环境下都有若干个可能的运行状态,装备的工作过程直接影响着装备的运行状态。因此,岸防装备状态的复杂性是影响装备修理时机决策合理与否的一个重要因素。

## 1.2 岸防装备测试性分析

目前,新型岸防装备在进行测试性设计的过程中,采取机内自检(BITE)实现各分系统技术状态参数的测试、分析处理和故障隔离。通过选取某三种典型雷达装备,对装备的BIT结构和数据传输模式进行分析可知,当前岸防装备BITE技术可以在动态、静态BITE检测过程中完成预定的状态监测和故障隔离定位功能,但存在各型号岸防装备BITE内部总线设计、编码规范不统一,故障隔离软件设计定位精度不准、标准化程度低等问题,特别是大多BITE仅显示装备最终状态,不具备各功能模块参数输出功能。

## 2 岸防装备状态监测与评估系统设计

### 2.1 总体架构

状态监测主要进行岸防装备关键系统部件状态的实时获取,是保障特性评估研究和系统实现的基础和重点部分,整个系统包括:车载系统(如雷达指挥车等)和地面系统两个部分。状态监测系统前期完成工作包括车上单元部署以及传感器的安装,以及算法、模型的加载。在运行过程中,车载系统进行数据采集,完成初级故障判读与报警,并将必要信息进行传送以及原始数据存储;地面系统接收车上传送的数据,进行在线监测、故障诊断、故障预测以及健康综合管理等工作,完成对岸防装备的健康状态管理。岸防装备状态监测与健康管理系统整体部署架构如图1所示。

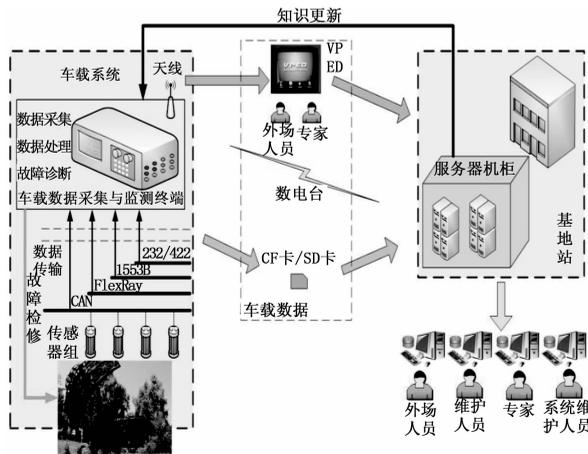


图1 系统总体架构

1) 车载系统:负责提供车载的采集、处理、诊断以及报警等功能,包括车载数据采集单元、故障诊断单元、数据存储转发单元以及相应的车载软硬件。

2) 地面系统:旨在建立一套开放式的、综合的状态监

测、健康管理以及保障特性评估系统,为维修保障、运营维护以及深层次保障特性分析提供一套完整的解决方案。

岸防装备通过专用传输网络或者数传电台等将数据实时传送至地面系统,供维护人员、技术专家进行监控和分析。

在完成一次行驶之后,外场人员将行驶过程中存储的数据通过存储卡或有线传输的方式将记录的数据传送到基站服务平台数据服务器中,供岸防装备维护人员、岸防装备专家进行分析和处理。同时,生成行驶报告交由驾驶员确认之后,将行驶报告内容录入基站服务平台中。

当装备系统专家诊断知识或配置需要更新时,外场人员通过基地系统编辑并生成车载配置文件,通过车载存储卡片(SD/PC卡)或有线/无线网络传送到车载系统中,以实现车载信息采集与诊断系统的更新与扩展,提高系统的灵活性。

### 2.2 工作原理

车载系统通过数据采集模块采集数据提供给中央处理单元进行处理,然后通过特征提取、信号分析等方法实现数据的实时监测和故障诊断,并利用便携式维护终端(VPED)完成车载实时显示。同时,按照一定的格式将采集数据及相关处理结果进行存储,供基站服务平台进行进一步的分析。

### 2.3 功能组成

岸防装备状态监测与评估系统软件由车载系统软件和基站服务平台两大部分组成。车载系统软件由车载数据采集软件、车载故障诊断软件和数据存储转发软件组成,完成车载数据采集、故障诊断或数据存储功能。地面系统由知识管理软件、在线监测软件、数据处理分析软件、故障诊断软件、预测软件、健康管理软件、保障特性评估与权衡软件和车载系统配置软件等组成。

### 2.4 互连接口设计

车载系统主要包含三类接口,一类是系统内部接口,二类系统外部接口。

1) 车载总线接口:外部接口,实现与车上CAN总线、1553B或232/422总线设备的数据收集;

2) 无线工作接口:外部接口,实现与外部装备系统维护人员所使用的手持式维护终端的数据交互等;

3) 显示报警接口:预留外部接口,实现车载采集处理与报警系统与车载显示系统之间的数据传输;

4) 存储卡:通过存储卡实现装备系统运行数据到远程平台的离线传输;

5) 无线通信接口:预留接口,通过数传电台、3G、4G等无线通信方式实现装备系统运行数据到远程平台的实时传输。

## 3 基于状态监测的保障特性评估系统实现与验证

### 3.1 车载系统设计实现

#### 3.1.1 车载数据采集与监测终端

系统总体原理如图2所示。它由振动传感器、转速传

传感器、压力传感器等感知并测量对应的参量信号, 然后将其传送到车载测试终端采集系统中。车载测试终端系统主机由外来车载直流 18~36V 电源供电, 其中设置软硬件相关资源, 在系统嵌入式计算机的管理下, 完成对信号的调理、采集、计算、存储以及卸载等功能。同时系统可将内部状态输出, 并接收外界其它相关状态信号, 完成对应工作模式的转换、资源的调配; 同时为了便于开发调试, 设置必要的测试调试端口。

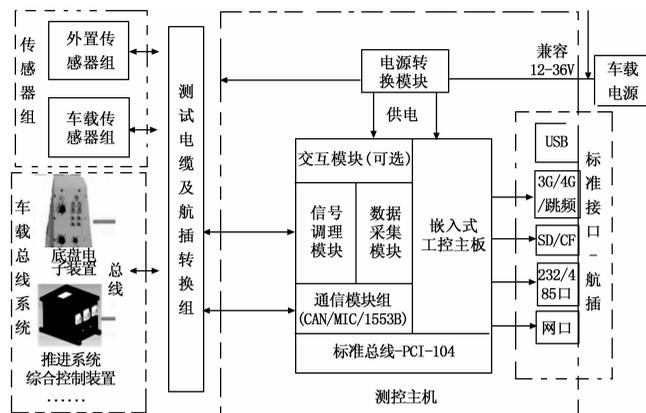


图 2 系统原理框图

1) 总线架构设计: 主体采用 PCI-104 总线结构形式, PCI-104 总线是一种成熟的总线; 模块化结构方便系统功能的扩展, 通道增减, 方便维护和更换。

2) 硬件设计: 硬件功能模块采用导冷结构、后走线方式。设备以 PCI-104 嵌入式计算机系统为平台进行构建, 主要模块包括: 嵌入式控制主机模块、多功能测量模块、动态信号分析模块、转速测量模块、CAN 总线模块, 调理模块、电源模块。其中, 嵌入式控制主机模块用于整个系统的各种资源的管理与配置, 并具有多种接口, 如 SD/CF 卡、USB 和无线通信等; 多功能测量模块用于采集所涉及的模拟量、数字量以及实现数字量输出; 动态信号分析模块用来实现外接振动传感器的信号采集; 转速采集模块用于采集系统中涉及的转速信号; 调理模块实现车载测试终端内部信号和外部信号匹配调理; 电源模块用于将外界的 24 V (18~36 V) 等电源转换为系统内所需的电源。

3) 软件设计: 软件选择采用实时该系统的软件以 Windows XP / Windows 7 或 Linux 操作系统为软件平台, 在此平台上进行底层驱动程序的开发、文件系统的开发, 上层应用程序根据状态监测与健康管理系统功能应用进行开发。主要包括:

a) 数据采集与处理: 主要包括车上已有总线数据的监听和获取, 以及通过加装传感器进行数据采集, 并且将所采集的信号提供基本的信号调理以及预处理等功能, 转化为有意义的工程值。数据采集与处理模块同时实现对采集信号进行信号基本特征的提取, 包括时域特征、频域特征等。

b) 超限监控: 通过加载 XML 阈值配置文件, 获取关键参数判读规则、门限值, 监控特征参量, 判断是否超限, 实现对装备各系统的故障监控, 主要对装备典型系统特征值进行监控。

c) 存储转发模块: 主要完成采集数据、超限结果的存储以及转发, 通过车载数据通信接口, 实现采集、处理后数据的存储与交互。

d) 车载数据通信接口: 主要提供有线 (如通过以太网) 或无线 (如通过 WIFI/3G/4G 等) 等方式的通信功能, 实现对其采集数据的外部传输, 以及与车载便携式维护终端 VPED、地面系统等的数据交互。

e) 知识更新及数据同步: 接收知识更新 XML 数据文件, 实现对监控知识、采集频率等的控制与更新; 同时, 支持利用便携式维护终端, 将历史数据同步至终端存储设备中。

4) 结构设计: 车载电子设备所处的力学环境、热环境、机械环境以及电磁环境等都比较复杂、恶劣, 采用恰当的整机结构形和合理布局, 对于解决振动冲击、电磁屏蔽、散热以及可靠性和维护性等诸多矛盾, 提高设备的防振动、抗冲击能力, 使其适应车载的各种振动、冲击环境起着关键的作用<sup>[7]</sup>。因此, 车载数据采集与监测终端在结构上采用符合 GJB 441-88 标准的 ATR 加固机箱外形尺寸, 采用热设计技术、抗振动冲击设计技术以及电磁兼容技术等, 确保系统在良好的工作环境正常可靠运行, 同时兼顾小型化、轻量化、快速安装及维护设计。

### 3.1.2 便携式维护终端

车载数据采集与监测终端通过便携式维护终端 (VPED) 进行显示与维护。VPED 终端既可长期安装于车上, 通过以太网或无线等方式, 与车载数据采集与监测终端连接, 用于车载数据采集与监视终端的监视、报警及数据分析应用, 也可实现对岸防车辆装备的便携式移动维护。此外, 还可利用 WIFI、3G、4G 等网络, 实现对车辆采集数据的回传和远程分析。

便携式维护终端 VPED 的软件功能主要包括:

1) 状态监控: 提供对装备采集数据的显示、监控功能, 将监控过程中出现的异常状态进行报警提醒。

2) 故障诊断: 采用故障案例与故障树方法, 对用户输入的故障现象、测试数据异常值等进行推理、分析, 提供故障诊断结果, 并按照相似度进行多个诊断结果排序。用户通过连接查看具体诊断、排故信息。

3) 电子手册: 提供用于车辆维护、车辆拆装、维修排故等技术资料的查看, 手册资源包括了文字、图片等信息, 辅助驾驶员对车辆维修保障。

4) 维修记录: 为驾驶员等用户提供现场维修信息的填写、保存以及远端发送功能, 达到有效监控维修过程, 提高后续维修排故信息支撑的目的。填写的维修记录信息包

括：车辆、地点、时间、故障现象、故障分析、故障诊断结论、排查过程、排查体会等。在具备网络环境的条件下，维修记录可通过上传远端可形成后续的案例知识，支撑其它车辆装备排故。

5) 系统管理：提供系统诊断知识升级、车载监控配置下传、数据同步下载、远程通信 IP 端口设置等基础维护功能。

### 3.2 地面系统设计实现

地面系统主要为状态监测与健康管理系统服务平台，拟采用 C/S 架构模式，服务器部署在基地站信息中心，客户端可同时安装在便携式维护设备 VPED 或其他地面分析终端（如 PC 等）中。地面服务平台主要实现岸防装备状态监测与诊断、状态预测与健康分析等功能。

1) 状态监测：状态监测诊断软件模块主要实现对岸防装备的测试数据、工作状态等的在线监测、显示，以及对参数超限等信息的显示报警等功能。

2) 故障诊断：故障诊断模块主要提供岸防装备基于规则、案例等的诊断功能，实现对故障的准确定位。

3) 健康分析：健康分析软件模块包括参数预测和健康评估两部分内容，参数预测针对各个关键参数进行趋势的分析、预测，健康评估利用健康评估模型对目前车辆的健康状态进行评估，并结合当前车辆的健康状态和未来车辆的关键参数的预测值对车辆未来的健康走势情况进行预测，针对车辆从现在到未来一定时期内的健康状态进行分析评估，指导维护维修工作的开展。

4) 保障特性评估：综合装备测试性、维修性、战备完好性等各类保障性指标，实现保障特性的综合评定。进一步，综合权衡分配装备测试性、维修性、战备完好性等各类保障性指标，以实现在特定目标下的保障性能最优。

5) 配置管理：提供用户对数据导入、配置的生成以及诊断等知识的升级等功能。

## 4 系统验证与分析

以某部队岸防武器系统的电子电器 2 为验证对象，验证并分析该系统下的状态监测、故障诊断、健康评估等情况。

### 4.1 状态监测模块的验证

电子电器 2 部位监测参数有：发动机电流、环境温度、发动机电压、发动机温度等，该系统状态监测主要监测并显示以上状态参数的变化，根据状态监测模型和算法，初级预测出当前状态评分和健康状态等级。

### 4.2 故障诊断模块验证

故障诊断模块主要是利用匹配故障树根据故障现象，诊断出某系统故障，或者利用匹配案例法，根据案例种类，诊断出系统故障，给出维修建议。

### 4.3 健康分析模块验证

健康分析模块是对装备当前及未来的健康状况和健康



图 3 状态监测与故障诊断

走势情况进行分析。根据状态监测初级预测以及故障诊断，评估电子电器 2 的当前健康状态，根据健康评估结果明确指导维护维修工作。

健康预测是加载 ARMA、AR、多项式拟合等数据预测模型，选择数据点的范围和预测点的数量，对电子电器 2 进行健康趋势预测，预测得到设定数量的数据点时间序列，预测点离原始数据点的时间越近，预测就越准确。



图 4 状态预测与保证特性评估

## 5 结束语

基于状态监测的装备保障特性评估系统，实现了岸防武器系统健康状态的全面监测、健康评估，可诊断岸防武器系统自身故障，给出维修策略和方法。另外，在改变评估模型与算法的基础上，本研究的研究成果可广泛应用于其它装备的综合诊断和健康状态监测，对开展视屏维修，实现精确化保障，具有十分重要的意义；对未来其他型号装备系统保障综合诊断和健康管理的研提供一定的参考与借鉴，可有效提供岸防武器系统保障能力和未来信息化作战能力。

### 参考文献：

- [1] 黄文江, 胡起伟, 朱 宁. 保障性分析数据管理及其应用研究文献综述 [J]. 计算机与数字工程, 2013, 41 (10): 1658-1663.
- [2] 肖波平, 王 婷, 王乃超, 等. 装备使用保障性评价参数体系 [J]. 兵工自动化, 2014, 33 (1): 39-42.
- [3] 吴 波, 贾希胜. 基于模糊聚类和综合评判的装备一装备群健康状态评估 [J]. 军械工程学院学报, 2009, 21 (5): 1-5.
- [4] 王俨凯, 廖明夫. 航空发动机健康等级综合评价方法研究 [J]. 航空动力学报, 2008, 23 (5): 939-942.
- [5] 陈圣斌, 丁 杰, 郝宗敏, 等. 装备保障特性综合研究 [J]. 直升机技术, 2016 (1): 28-36.
- [6] 李 伟. 基于模糊综合评判的高压断路器状态评估方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [7] 洪 光, 摆卫兵, 于 鑫. 嵌入式电子装备在线状态监测系统实现方法研究 [J]. 飞航导弹, 2008 (7): 27-29.