

复杂武器系统 PHM 模型研究

王爱亮¹, 郑玉航¹, 王爱丽²

(1. 第二炮兵工程大学, 西安 710025; 2. 西安工程大学, 西安 710048)

摘要:故障预测与健康管理的(PHM)系统对提高复杂武器系统战备完好率和可用率以及降低维修成本、提高管理效率具有重要意义;首先介绍了 PHM 的概念、功能及典型 PHM 结构模型,分析了 PHM 存在的不足;通过复杂武器系统寿命剖面,分析了健康状态的实质,提出了广义健康与狭义健康,结合复杂武器系统“长期贮存,一次使用”及数据量有限的特点,设计了广义复杂武器系统健康管理模型。

关键词:武器系统;故障预测与健康管理的;PHM 模型

中图分类号:TJ76

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)06-0052-04

Research on Prognostic and Health Management Model of Complex Weapon System

WANG Ai-liang¹, ZHENG Yu-hang¹, WANG Ai-li²

(1. The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China;

2. Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: Prognostic and Health Management (PHM) system is of great importance for improving mission-perform capability and useable capability and reducing maintenance costs of complex weapon system, and also could improve management efficiency. Firstly the PHM system concepts and function are introduced, and the typical model of PHM are also explained. According to life section of complex weapon system, the essential of health management is analyzed, and the broad sense health and narrow sense health are given. Combining the characteristic of long time storage one-off usage and the limited date, the broad sense prognostic and health management architecture model of complex weapon system are designed.

Key words: weapon system; Prognostics and Health Management (PHM); PHM Model

本文所研究的复杂武器系统是指具有“长期贮存、一次使用”特点的武器系统,由于其结构复杂、造价昂贵,不能像普通武器系统那样进行反复的实验验证,所获取的信息量极为有限,所以,对其进行健康管理研究能够有效节约国防经费,提高管理效率和武器系统完好率。目前,综合的故障诊断、预测与健康管理的(prognostics and health management, PHM)技术获得美、英等军事强国越来越多的重视和应用^[1],并取得了比较好的效果。

1 PHM 概述

故障预测与健康管理的(prognostic and health management,

PHM),是指利用尽可能少的传感器采集系统的各种数据信息,借助各种智能推理算法(如物理模型、神经网络、数据融合、模糊逻辑、专家系统等)来评估系统自身的健康状态,在系统故障发生前对其故障进行预测,并结合各种可利用的资源信息,提供一系列的维修保障措施,以实现系统的视情维修^[2]。它主要包含2层含义:一是故障预测(Prognostics),二是健康管理(Health Management)^[3]。故障预测是指根据系统或部组件当前或历史性能状态,预测性地诊断部件或系统完成其功能的状态(未来的状态),提供早期的检测和隔离能力,并且进行管理和预报的技术和手段,包括确定部件或系统的剩余寿命或正常工作的时间长度。健康管理是指根据诊断或预测信息、可用资源和使用需求对维修活动做出适当

收稿日期:2013-02-16

作者简介:王爱亮(1981—),男,硕士研究生,主要从事武器系统健康管理研究。

决策的能力^[4]。其目标是利用各种先进的传感器采集系统的状态数据,采用基于智能模型的合理算法进行系统特征提取,获取系统当前健康状态特征,从而实现了对系统健康状态的监控、预测和管理。其主要功能包括故障检测、故障隔离、故障预测、剩余寿命预测以、实时装备调节、多传感器融合及故障决策等,它是对复杂系统传统使用的机内测试(Build-In Test, BIT)和状态(健康程度)监控能力的进一步扩展。

PHM 代表了一种方法的转变,即从传统的基于传感器的诊断转向基于智能系统的预测,反应性的通信转向主动性的 3Rs(即在准确的时间对准确的部位采取正确的维修活动)。PHM 重点是利用先进的传感器的集成,并借助各种算法和智能模型来诊断、预测、监控和管理设备的状态。这一技术的实现将使传统的事后维修或定期维修被基于状态的维修(Condition-Based Maintenance, CBM, 亦称视情维修)所取代^[1]。

2 PHM 模型结构及存在不足

2.1 PHM 模型结构

目前,健康管理研究领域的开放式系统结构还没有形成统一的标准,最值得参考的是由美国宾夕法尼亚州的机械信息管理开放系统联盟 MIMOSA 制定和发布的 CBM(Open System Architecture for Condition-Based Maintenance, OSA-CBM)开放式系统结构^[5]。该结构将 CBM 系统分成 7 个功能模块:数据获取层(Data Acquisition),数据处理层(Data Manipulation),状态监测层(Condition Monitor),健康评估层(Health Assessment),预测层(Prognostics),决策支持层(Decision Support)和表达层 Presentation Layer)。

其中,健康评估层与故障预测层是最主要的两层,是 PHM 系统的主要构成部分;数据采集和传输层、数据处理层是 PHM 系统的重要环节,数据获取越全面、越准确则对系统的健康评估和故障预测就越精确;状态监测层是进行健康管理的初步环节;决策支持层为维修资源管理和其他监视综合健康管理系统的性能和有效性的处理过程提供支撑;表达层用于实现人机交互,同时也完成与其他所有层的信息传输。

2.2 PHM 存在的不足

PHM 技术经过将近 30 年的发展,取得了一定的成就,但仍然存在许多不足:

1) 应用领域不够广泛。现有的 PHM 技术主要应用于机械系统、网络软件监控、电力系统、卫星系统、航空系统等领域^[6],在导弹武器系统等领域的应用尚未见报道,而且国内航空领域 PHM 技术仅限于航空电子部分,60% 以上的故障不能实现自动检测和隔离^[7]。

2) 结构体系尚不完善。目前 PHM 还没有统一的标准体系,虽然提出了许多 PHM 模型,但只是针对某个特定的系统而言,并不具有普适性^[8]。

3) 对系统的健康管理研究极少。纵观国内外设计的各类 PHM 系统,其核心技术主要指故障检测、故障诊断与故障

预测。PHM 着重在于视情维修,在于故障的预防,也就是说,在该系统的设计中应当突出的功能是系统故障的尽早发现,即状态监测和健康管理。而视情维修的前提就是依据当前系统的健康状况来决定是否维修,目前多数文献着重状态监测,但如何准确估计系统的健康状况却极少提及^[6]。

4) 故障诊断效率不高。随着各类系统复杂性的提高,系统内部的故障机理往往难以了解,导致无法准确建立故障模型,而且由于早期故障特征表现不明显,健康管理没有建立指标体系,测试点有限,各类特征参数提取不够完备,使得早期的故障诊断更加困难,效率不高。

5) 对特征量的提取没有建立一套完整的指标体系。健康管理主要依托系统特征参数进行,所以,建立一套科学有效、可信度高的指标体系,对于实现健康管理至关重要,而目前国内研究重点都在故障诊断、故障预测方法方面,而对特征量的指标体系研究较少,尤其在导弹健康管理指标体系方面,目前尚处于探索阶段。

3 复杂武器系统健康管理模型

3.1 复杂武器系统 PHM 模型

在构建复杂武器系统健康管理模型时,有必要对复杂武器系统特点及整个寿命周期进行详细分析,以便设计较为合理的 PHM 模型。本文以某型复杂武器系统为例,其寿命剖面如图 1 所示。

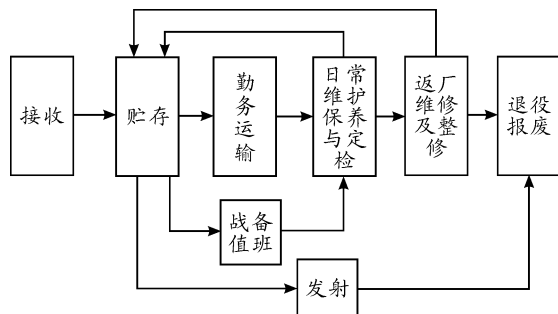


图 1 某型复杂武器寿命剖面

在其整个寿命周期内,通常受到外界环境应力(主要包括温度、湿度、盐度、振动、频率、磁场、电场、冲击等)的作用,其健康状态实际上就是武器系统与环境应力相互博弈而表现出来的特征。

复杂武器系统通常需要相应的保障设备来支持,所以,复杂武器系统概念的内涵就非常广泛,就有狭义与广义之分,狭义的复杂武器系统仅指武器本身,广义的复杂武器系统包括武器系统及其保障设备。基于此,复杂武器系统的健康可以划分为狭义健康和广义健康。狭义健康是指复杂武器系统自身的健康,广义的复杂武器系统健康主要包括三方面:武器系统自身的健康;保障设备的健康;适应环境的能力。

复杂武器系统不同于普通武器系统,由于其系统复杂、

造价昂贵,不能像普通武器系统一样进行无限次的实验,有些实验代价高、周期长,有些实验甚至是毁灭性的,所以,其实验数据非常有限,对其进行健康管理,需要特别注意对数据的利用和处理。

对复杂武器系统构建 PHM 模型,需要充分分析三类健康因素的特点。在三类健康因素中,复杂武器系统自身性能状态可以通过准确测试而获知;环境适应能力是定性参量,

不能通过传统的测试得到,比较普遍的做法是通过专家系统进行评判,然后确定各专家的权重,最终得到结果;保障性指标参数既有定性的量(例如武器系统的可达性、维修的安全性、可用度等指标),又有可定量的量(例如武器系统维修器材的标称电压)。

由上述分析,建立广义复杂武器系统 PHM 结构模型、环境适应性性能 PHM 结构模型,如图 2 所示。

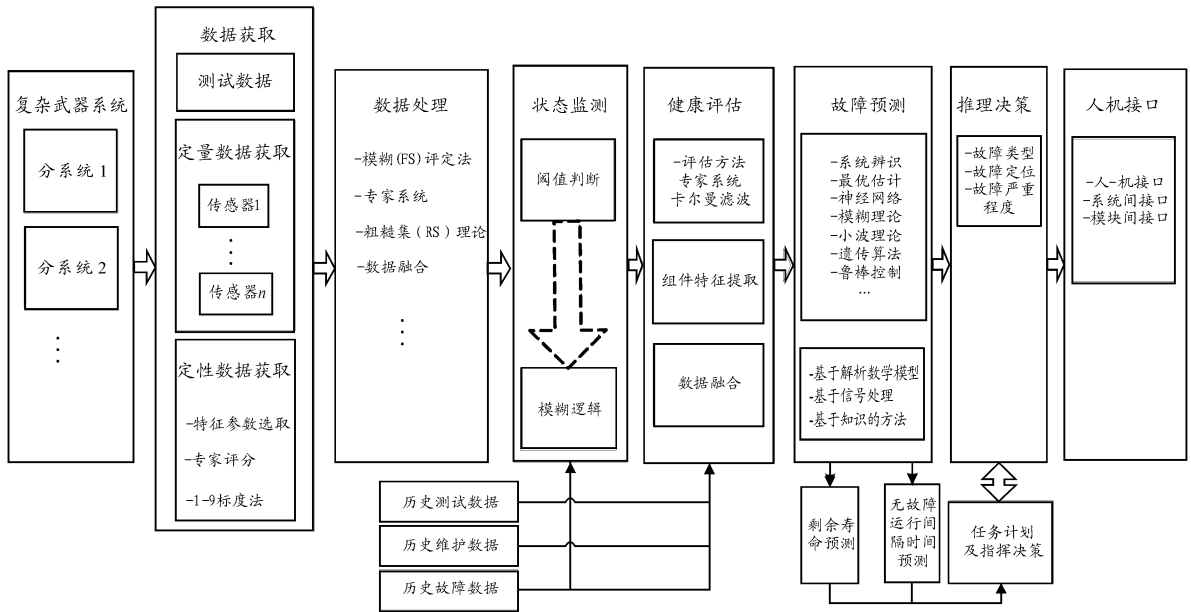


图 2 复杂武器系统广义 PHM 模型

复杂武器系统通常采用内厂试验类方法、现场信息类方法、工程分析类方法、加速寿命试验方法等进行剩余寿命预估和故障预测^[9-10],在日常管理过程中,一般需要进行定期检测,这些过程中产生的各类数据(测试数据、维修数据、故障数据等)非常重要,可以作为 PHM 中故障预测与健康管理的推理诊断数据。实际应用中,复杂武器系统由于其造价昂贵,通常不允许反复试验或利用故障注入的方式得到典型的征兆数据,所以,所有历史数据和现场测试数据都应作为健康管理的数据源。

3.2 复杂武器系统 PHM 关键环节

基于对复杂武器系统 PHM 模型分析,要实现复杂武器系统的健康管理,需要注重以下环节:

1) 特征参数的提取及健康指标的确定。要对武器系统进行故障预测与健康管理的健康管理,首先要确定可以直接表征其健康状态的参数指标,或可间接推理判断系统健康状态所需要的参数信息,这些指标或信息就是系统健康管理所需要的特征参数。其次,还需要确定能够表征武器系统健康状况的健康指标,这些指标必须是能真正反映武器系统健康状态的关键量。健康指标的选择就是要能够反映武器系统在外界环境应力作用下,最明显、最具特征的参量。根据上述分析,确定需要分析或提取的数据信息包括设计信息、测试信息、故障

信息、维护信息、外观信息。在进行数据信息提取过程中,还需要对中间数据、测试数据等进行处理,主要包括数据归一化处理、权重赋值等。

2) 数据/信息融合。PHM 系统进行信息融合的目的是为了提高检测精度和鲁棒性,提高异常检测、故障诊断和预测技术的整体效能,其最终目标是将测量系统和融合算法与相应的健康管理体系结构进行组合优化,提高检测/预测的置信水平,为故障诊断和预测决策提供依据。常用的数据融合算法有贝叶斯理论,IBS 证据理论,模糊逻辑推论,神经网络融合算法等。通常可在 3 个层次中进行:传感器层融合:没有信息丢失,但信息传输量及计算量大;特征层融合:在设备特征提取过程中会造成一定信息丢失;推理层融合:基于传感器和特征层融合结果,为系统级健康管理提供可靠的数据依据。

3) 系统健康状态的检测与鉴定。在对武器系统进行测试及健康管理过程中,经常会出现两类不确定性问题:传感器或者测试设备发生故障(最常见的就是“零漂”),从而提供错误或不准确的数据;在武器系统进行使用过程中,一些真实故障是间歇性的,即这类故障只出现在特定的环境条件下,而在其他条件下自动恢复正常。这 2 类问题会导致故障不能复现(CND)和重测合格(RTOK)等情况的出现。所以,

对系统健康状态的检测与鉴定就显得尤为重要,只有提出很好的方法解决上述 2 类问题,才能够降低系统误报和漏报,真正做到健康管理,提高武器系统的可用性、可信性,提高作战效率。目前解决这类问题的思路是对系统采用人工智能技术,主要包括专家系统、神经网络、模糊逻辑、遗传算法等。

4 结束语

PHM 技术应用于复杂武器系统,能够提高复杂武器系统的管理效率,显著减少武器系统重大事故的发生,降低武器系统故障率,提高可用率与完好率,准确预报武器系统的维修时间、故障部位以及失效期,对提高复杂武器系统的安全性、可用性和作战效率,具有十分重要的现实意义和应用价值。

参考文献:

- [1] 张宝珍. 国外综合诊断、预测与健康管理系统的发展及应用[J]. 计算机测量与控制,2008,16(5):591-594.
- [2] 杨立峰,王亮,冯佳晨. 基于 PHM 技术的导弹维修保障[J]. 海军航空工程学院学报,2010,25(4):447-450.

- [3] 刘志花. 无人机故障预测与健康管理系统研究[D]. 北京:北京化工大学,2010.
- [4] 彭宇,刘大同,彭喜元. 故障预测与健康管理系统综述[J]. 电子测量与仪器学报,2010,24(1):1-9.
- [5] 孙博,康锐,谢劲松. 故障预测与健康管理系统研究和应用现状综述[J]. 系统工程与电子技术,2007,29(10):1762-1767.
- [6] 张管飞,陈进宝. 基于 AHP 的导弹武器系统效能模糊综合评价[J]. 四川兵工学报,2011,32(1):58-61.
- [7] 王学浩,岳瑞华,徐中英,等. 导弹自动测试系统性能评价指标及体系[J]. 四川兵工学报,2010,31(9):37-39.
- [8] 张继军,张金春,马登武,等. 基于改进 HMM 和 LS-SVM 的机载设备故障预测研究[J]. 海军航空工程学院学报,2012(6):645-650.
- [9] 巢蕾,殷璇,李阳. 野外环境下通信装备故障预测方法[J]. 兵工自动化,2012(3):58-60.
- [10] 张作刚,赵明. 基于可公度法的航材故障预测[J]. 装备环境工程,2012(5):118-121.

(责任编辑 周江川)

(上接第 51 页)

参考文献:

- [1] 张相炎,郑建国,杨军荣. 火炮设计理论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
- [2] 葛建立,过斌,杨国来,等. 基于参数优化的炮塔轻量化设计[J]. 火炮发射与控制学报,2011(4):82-85.
- [3] 葛建立. 车载炮动态非线性有限元仿真研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.
- [4] 张景华,余英,康瑞霞. 大口径轻型牵引火炮关键技术[J]. 火炮发射与控制学报,2010(1):89-92.
- [5] SIGMUND O. Design of multiphysics actuators using topology optimization—Part I: one-material structures[J]. Com-

put Methods Appl Mech Engrg,2001(190):6577-6604.

- [6] 周传月,滕万秀,张俊堂. 工程有限元与优化分析应用实例教程[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [7] 李楚琳,张胜兰,冯樱,等. HyperWorks 分析应用实例[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [8] 傅建林,荣见华,杨振兴. 带有预应力的连续体组合结构拓扑优化[M]. 应用力学学报,2005,21(2):232-237.
- [9] 蔺月敬,何永,黄欢. 基于 ABAQUS 的某火炮击发机构碰撞仿真分析[J]. 兵工自动化,2012(10):8-11.
- [10] 张金忠,赵林波,李挺. 基于动态后坐的火炮综合性能检测系统设计[J]. 四川兵工学报,2012(8):37-39.

(责任编辑 周江川)