

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.04.003

导弹发射车综合诊断与健康管理系统

李田科¹, 于仕财², 余春卫³

(1. 中国人民解放军91980部队, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院电子信息工程系, 山东 烟台 264001;
3. 烟台海军预备役侦查船大队, 山东 烟台 264001)

摘要: 为提高导弹发射车的安全性和可靠性, 提出一种维修策略和方法。分析发射车故障诊断与健康管理系统的目标, 制定总体结构及技术框架, 优化系统监测参数及监测手段, 设计并建立发射车健康管理模型。该系统可借助各种数据处理技术来诊断系统自身的健康状态, 并预测故障发生的准确时间、准确位置, 触发准确的管理活动, 有利于提高管理和使用效率, 提高部队战斗力。

关键词: 发射车; 综合诊断; 健康管理

中图分类号: TJ812⁺.6 **文献标志码:** A

Comprehensive Diagnosis and Health Management System of Missile Launch Vehicle

Li Tianke¹, Yu Shicai², Yu Chunwei³

(1. No. 91980 Unit of PLA, Yantai 264001, China;
2. Dept. of Electronic & Informational Engineering, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
3. Naval Reserve Investigation Ship Brigade of Yantai, Yantai 264001, China)

Abstract: A kind of maintenance strategy method is put forward for improving security and reliability of missile launch vehicle. Health management model of launch vehicle is designed and established by analyzing the target of health management system for missile launch vehicle, making general structure and technology framework and optimizing monitoring parameters and means. The system can diagnose system health state by adopting sorts of data processing technologies, predict exact time and accurate position of fault, and trigger accurate management activities. The system is used to improve management level, efficiency and military combat effectiveness.

Key words: launch vehicle; comprehensive diagnosis; health management

0 引言

随着导弹发射车系统性能的不断提高以及复杂性的不断增加, 发射车的安全性和可靠性显得尤为重要, 系统的可靠性、故障诊断和预测以及维修保障等问题越来越受到人们的重视。目前的维修仍以定期维护和事后维修为主, 这种方式不仅耗费资源, 且效率低下。因此, 笔者研制一套导弹发射车的综合诊断和健康管理系统, 以实现发射车全寿命周期的使用数据和维修数据的有效管理, 以及对发射车健康状态的全面监测、健康评估, 并可诊断发射车自身故障, 给出维修策略和方法^[1-2]。

1 发射车综合诊断与健康管理系统需求

1) 发射车综合诊断与健康管理系统总体结构及技术框架具有工程可操作性, 能够具体实施。

2) 系统支持装备信息化建设相关协议和标准, 能够提供客户化的功能接口。系统在处理用户查询检索等请求时能提供快速的响应, 同时具备高级别的安全特性, 能够分配不同级别的访问权限控制。

3) 发射车故障诊断软件模块能够定位到功能模块级, 能实现 95% 的故障诊断定位。

4) 状态评估与健康管理软件模块能够对装备的技术状态实施评估, 维修辅助决策系统提出的维修策略切实可行。

2 发射车综合诊断与健康管理系统研究

2.1 发射车故障诊断与健康管理系统的目标分析

1) 发射车故障分布特点

根据训练和日常维护中的实际故障情况, 以 2010 年 6 月到 2011 年 6 月这一时间段为例, 车辆及其装备共出现各种故障 500 余次。其中, 车底盘系统比例较大, 约占 40%; 其次是电源系统约 22%, 火控系统约 18%, 车控系统约 17%, 其它设备故障约 3%。选取典型分系统进行分析, 底盘系统故障分布见图 1。

为此, 可根据故障分布情况及其对整个武器系统在功能上的影响情况进一步分析, 确定二级重点研究目标, 将研究对象进行细化^[3-4]。

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2011-11-09

作者简介: 李田科(1960—), 男, 山东人, 硕士, 工程师, 从事兵器发射理论与技术研究。

针对研究的 4 个系统(车底盘系统、电源系统、火控系统、车控系统),根据使用维护的要求,提出需要监测的各项参数。以典型部件作为重点研究对象,以底盘为例进行说明,如表 1。

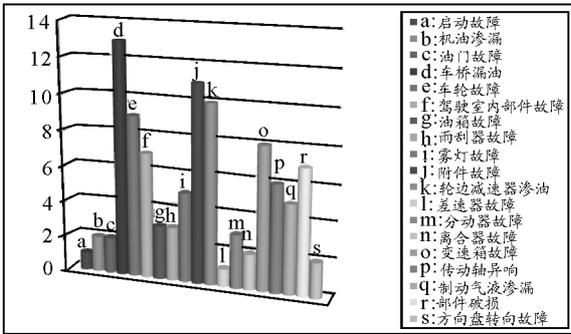


图 1 底盘系统故障分布图

表 1 底盘系统监测需求分析表

监测对象	监测项目	状态
发动机	怠速转速	已有
	缸头温度	已有
	机油压力表	已有
	机油油温度	已有
制动系	制动系气压	已有
行驶系	轮胎气压	手动监测
	燃油位	已有
	车速里程	已有
	轮胎温度	无
传动系	变矩器液力油温度	无
	分动器温度	无
	主减速器温度	无
	轮边减速器温度	无
油位	液力变速器	无
	轮边减速器	无
	离合器贮油杯	无
	左、右制动油缸	无

以上参数均为底盘行驶过程中必须关注的项目,目前发动机系统需监测的各参数能够以仪表形式显示,不能实时监测行驶系、传动系、油位等系统,大多参数只能通过人工观察、触摸等手段进行检查,准确度不高,效率较低。针对此问题,建立实时监测系统,将各类必要信号统一进行实时监测,并建立数据库进行记录、分析,提高装备使用维护的效率,实现装备的全寿命可视化管理。

2) 信号采集方式

为了实现发射车各系统的状态监测和故障诊断,针对提出的监测项目与信号类型,信号采集采取连续实时采集、定期采集和人工手动采集输入相结合的形式,对于关键部位的关键信号进行实时监测,根据工作情况设定采样存储周期和时间节点,对于难以布置传感器和不能实现在线监测的信号,采用定期人工提取,并输入到数据库中,为状态监测和故障诊断提供支撑。

对于不能实现在线监测的项目,如机油、润滑油和液压油的指标数据,需要利用化验分析的方式获取(周期可根据附件指标和实际使用情况确定),则通过人工提取、定期化验和分析,将结果输入至系统数据库中。

对不方便信号采集的各项目进行人工目视的方式处理,将其以人工的方式输入到综合数据库中,例如各种螺母的松动、各种附件的故障、零散件和辅助维修装置的故障和维修保障方案等。

2.2 研究发射车故障诊断与健康管理的总体结构及技术框架

研究和总结故障诊断与健康管理 (prognostics and health management, PHM) 软硬件系统的体系结构及其关键技术要素,从一般化的 PHM 系统的框架体系结构、相关的设计思想出发,借鉴国内外健康监测技术的理论、方法和应用,根据发射车的特点和需求,构建发射车健康监测技术框架。深入分析发射车维修保障状况,包括保障人员、软硬件、保障费用等信息,找出在维修保障方面存在的不足,确定发射车综合诊断和健康管理的目标、总体结构及技术框架,规范发射车综合诊断和健康管理的目标要求及总体实施框架,设计总体技术框架见图 2。

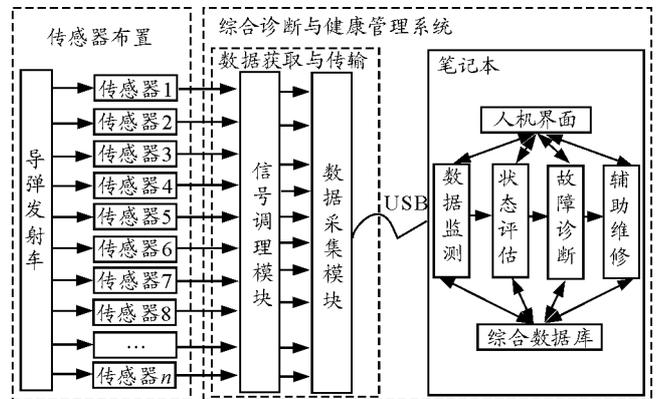


图 2 发射车综合诊断和健康管理的总体结构及技术框架图

其中,硬件部分包括传感器、传输介质、信号调理模块、数据采集模块和笔记本,数据采集模块通过 USB 接口,将数据转换、传输到笔记本中,笔记本负责显示实时数据、显示设备状态、执行报警控制、给出故障诊断结果和提供维修方法建议等工作;软件部分包括构建综合数据库,开发人机交互界面,建立数据监测、状态评估、故障诊断和辅助维修模型。

2.3 优化系统监测参数及监测手段,设计状态监测系统方案

对发射车系统建模和故障模式、机理及影响分

析 (failure mode, effects and criticality analysis, FMECA), 采用逐级解剖的形式, 确定主要的失效机理及其对应的监测数据需求, 对得出的需求进行测试性分析评估, 确定相应的监测参数, 优化系统环境应力监测要素, 分贮存、转运、使用等不同的任务剖面, 分别确定相应的应力监测类别, 利用尽可能少的传感器采集发射车健康状态评估所需的各种数据信息^[5]。

状态监测系统包括制定传感器确定准则、分析监测手段, 主要是传感器的选择、数据传输方式的选择、数据存储设备及供电设备的选择、网络的构建等。发射车状态监测系统, 首先采用车辆自带的传感器获取相应的信息, 将其变换为系统所需的数据格式; 其次, 针对状态监测的需求分析需要监测的参数方案, 其它的监测参数 (如温度、湿度、振动、冲击等) 选用体积、质量比较小的微型传感器。在测点布局优化方面, 采用逐级递减的方式, 在确定完备监测参数需求方案的基础上进行优化分析, 尽可能选用能够监测的参数, 便于数据采集和分析的参数, 按照信号的敏感性、易测性与成本控制准则, 对参数监测方案进行优化。各种传感器获取的信息以有线传输的方式, 根据现有传输总线特点合理构建网络, 传感器选取流程如图 3 所示。

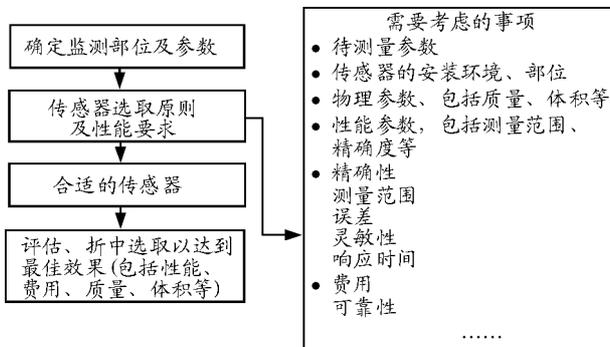


图 3 传感器选取流程图

2.4 构建发射车综合数据库, 规范数据库标准

针对各分系统包括 (底盘、火控系统、车控系统和电源系统等设备) 的现有使用信息和维修保障信息, 对其进行知识表述和模型构建, 使其适合计算机语言编程, 运用 PowerBuilder、Oracle Developer 或其他语言设计建立数据库, 针对发射车特点, 以各分系统为单位分别建立信息子库, 其中各子库的信息应包括使用信息和维修保障信息。使用信息应该包括测试和监测数据, 测试数据主要是随车要求的一定程度上反映发射车状态的数据, 监测数据主要是各传感器采集的相关数据。维修保障信息主要

有故障信息、维修信息、备件信息, 费用信息等, 在此基础上规范各种信息记录表、接口规范和信息传输标准等。

首先按照系统开发的总体设计, 对信息子库建设提出标准, 为系统的维护与使用奠定基础。数据库的标准指的是其底层结构, 包括存储表的构建和主键的存在形式, 各相关表之间的逻辑结构关系和相互之间的调用关系等, 同时表中底层数据的存储格式、类型、大小、在数据库调入调出方式等都需要进行规范。此外, 综合数据库需要预留开放式优化接口, 采取通用化的接口模块, 便于后续的扩展和优化开发。

2.5 建立发射车健康状态评估模型, 开发评估软件模块

对发射车健康状态进行分级, 综合故障诊断和状态监测的信息评定其健康指数 HI。针对发射车不同任务剖面的自身任务产生的应力和环境应力引起的失效机理, 可基于数据参数、专家知识和油液污染度等方法, 建立各分系统相应的健康状态评估模型。假定同一批次各设备的初始状态相同, 根据每辆车所经历的不同任务历程, 借助各种智能推理算法 (如模糊逻辑、数据融合等) 评定发射车当前的健康指数 HI。健康指数是基于发射车功能性能指标和安全要求得出的, 能够定量地反映发射车当前所处的健康状态, 可通过适当的试验验证来确定, 并根据使用中反馈的数据对评估模型加以修正^[6]。

根据发射车健康状态评估模型, 能够确定发射车当前已处于健康、亚健康或是故障状态, 可为及时安排维修、排除隐患提供依据。通过判断, 建立一定的准则进行匹配, 确定对监测数据的处理方法, 选择将其存入历史数据库, 或将其丢弃以释放空间。根据“发射车综合诊断和健康研究”的研究成果, 对其流程图进行分析, 对软件化实现的可行性进行分析, 规范数据存在的方式, 开发状态评估软件模块, 根据其监测状态, 利用内置的评估模型和算法实现, 实现健康状态评估的功能。

2.6 建立发射车故障诊断模型, 开发软件模块

目前故障诊断的方法主要有 3 类: 逻辑推断法、典型概率法以及智能诊断法。为了减少保障消耗, 实现保障“自主化”、“智能化”, 并针对系统存在大量发射车测试、监测数据的特点, 选用智能诊断法。综合利用基于模糊理论的信息融合方法、人工神经网络的智能故障诊断方法和基于知识的专家系统故

障诊断方法，研究建立发射车各分系统故障诊断模型，设计的故障诊断框图如图 4 所示。

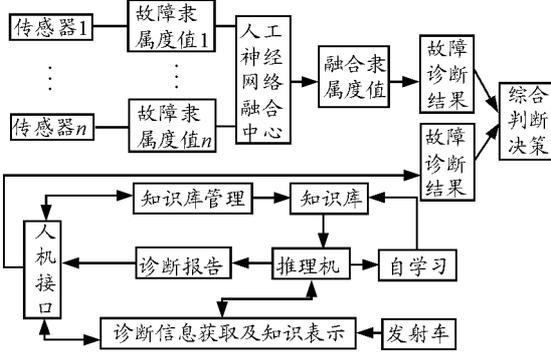


图 4 发射车故障诊断框图

2.7 建立发射车健康管理模型，开发辅助维修系统模块

进行发射车辅助维修策略分析主要是依靠对发射车健康状态的分析和推理，推理机的模型设计有基于规则的推理、基于模糊模型的推理、基于案例的推理和综合推理等多种方式。发射车维修策略推理，首先要依据发射车的健康状态，针对现有保障资源，建立发射车各设备维修类别、维修模式、维修时间专家库和知识库，给出相应的维修策略。综合 3 种推理方法，将其有机地结合，相互取长补短，给出先导式的 3R 维修策略(即在准确的时间，对准确的部位，采取准确的维修活动)，实现系统的视情维修，从而达到提高诊断精度和维修策略工作效能的目的。在充分考虑维修保障费效比的基础上，建

(上接第 4 页)

参考文献：

[1] 程培源. 燃气涡轮发电机组在地面设备中的应用[J]. 移动电源与车辆, 2003(4): 28-32.

[2] 程培源, 王莉, 樊波. 燃气涡轮发电机组应用研究[J].

(上接第 10 页)

[4] Dana S. Nau, Stephen J. J. Smith, Kutluhan Erol. Control Strategies in HTN Planning: Theory Versus Practice[C]. Proceedings of the Fifteenth National Conference on Artificial intelligence/Innovative applications of artificial intelligence, 1998: 1127-1133.

[5] Kutluhan Erol, James Hendler, Dana S. Nau, UMCP: A Sound and Complete Procedure for Hierarchical Task-Network Planning[R]. Technical Report, University of Maryland, College Park, 1996. <http://www.cs.umd.edu/~kutluhan/Papers/htn-sem.ps>

[6] Norman D. Geddes, Robert J. Lee. Intelligent Control for Automated Vehicle.. Proceedings of the Associate for Unmanned Vehicle Syetems International. Huntsville, 1998: 755-764.

立发射车辅助维修系统模型，以“发射车综合诊断和健康研究”设计的故障诊断流程图作为参考，对流程图进行优化，分析健康管理系统的功能组成，建立健康管理模型，规范健康管理软件开发语言、开发流程等。在对维修方案进行分析和知识表述，运用 VC++或 Delphi 开发辅助维修系统。

3 结束语

该系统可在改变评估模型与算法的基础上，广泛应用于其它类型特种车辆的贮存、使用等各环节的综合诊断和健康状态监测，对开展视情维修和后续的定寿延寿，实现精确化保障，具有重要的意义。

参考文献：

[1] 胡冬, 谢劲松, 吕卫民. 故障预测与健康管理系统在导弹武器系统中的应用[J]. 导弹与航天运载技术, 2010(4): 24-29.

[2] 王亮, 吕卫民, 冯佳晨. 导弹 PHM 系统中的传感器应用研究[J]. 战术导弹技术, 2010, 18(1): 1-4.

[3] 马飒飒, 陈国顺, 方兴桥. 复杂装备故障预测与健康管理系统初探[J]. 计算机测量与控制, 2008, 28(3): 41-44.

[4] 陶来发, 樊焕贞, 吕深, 等. 机电系统故障预测技术的现状与分析[J]. 控制工程, 2011, 18(4): 636-639.

[5] 李全福, 万彦辉. 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): 1762-1766.

[6] 何厚伯, 赵建民, 许长安. 基于马尔可夫过程的健康状态评估模型[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(7): 63-66.

移动电源与车辆, 2004(2): 20-23.

[3] 任双艳, 边春元, 刘杰. 基于 DSP 的磁悬浮轴承数字控制系统[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(7): 1025-1028.

[4] 尹明, 李和平, 解锋. 基于虚拟仪器技术的制导装置测试系统设计[J]. 电子测量技术, 2009, 32(12): 123-126.

[7] Robert P. Goldman, Karen Zita Haigh, David J. Musliner, et al. MACBeth: A Multi-Agent Constraint-Based Planner[C]. Proceedings of the 21st Digital Avionics Systems Conference, 2002(2): 215-222.

[8] Kutluhan Erol. Hierarchical Task Network Planning: Formalization, Analysis, and Implementation[D]. University of Maryland, 1995: 5-20.

[9] Dana Nau, Yue Cao, Amnon Lotem, et al. SHOP: Simple Hierarchical Ordered Planner[R]. Technical Report CS-TR-3981, 1999: 1-10.

[10] 余舟毅. UCAV任务规划技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2006: 80-99.

[11] 夏洁. 战术飞行管理系统关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2003: 25-57.