

列车运行控制系统车载设备PHM实施方案

黄 愿, 刘 学

Implementation scheme of prognostics and health management for on-board equipment of train control system

HUANG Yuan and LIU Xue

引用本文:

黄愿, 刘学. 列车运行控制系统车载设备PHM实施方案[J]. 铁路计算机应用, 2023, 32(12): 38–46.

HUANG Yuan, LIU Xue. Implementation scheme of prognostics and health management for on-board equipment of train control system[J]. *Railway Computer Application*, 2023, 32(12): 38-46.

在线阅读 View online: <http://tljsjyy.xml-journal.net/2023/112/38>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

动车组故障预测与健康管理系统方案研究

EMU fault prediction and health management system

铁路计算机应用. 2018, 27(9): 1–7

高速动车组大数据PHM系统研究与应用

Fault prognostics and health management system of high-speed EMU based on big data

铁路计算机应用. 2018, 27(10): 44–48

一种基于自主控制的列车运行控制系统资源管理策略研究

Resource management strategy of train operation control system based on autonomous control

铁路计算机应用. 2017, 26(2): 1–4

基于BIM的建设项目全生命周期工程管理系统设计与应用

BIM based whole life cycle engineering management system for construction project

铁路计算机应用. 2021, 30(10): 41–46

基于USB的列车车载类设备软件升级技术研究

Software upgrade technology of on-board equipment of train based on USB

铁路计算机应用. 2020, 29(1): 34–38

基于Stateflow的城际铁路列控系统车载控制子系统建模与分析

Modeling and analyzing for on-board control sub-system of intercity railway train control system based on Stateflow

铁路计算机应用. 2017, 26(3): 40–44



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

文章编号: 1005-8451 (2023) 12-0038-09



列车运行控制系统车载设备 PHM 实施方案

黄 愿, 刘 学

(中国铁路成都局集团有限公司 成都电务维修段, 成都 610000)

摘 要: 列车运行控制系统车载设备(简称:列控车载设备)是一种高度集成化的电子设备,针对其维护难点,提出将故障预测及健康管理(PHM, Prognostics and Health Management)技术引入列控车载设备维护。文章基于设备全生命周期管理理念,提出列控车载设备 PHM 实施方案,将设备功能需求与维修需求融合一体,使列控车载设备 PHM 系统的研发与列控车载设备的升级改造相协调,通过列控车载设备加装升级、数据处理与分析系统建设,在完善列控车载设备 BIT 和数据采集与分析功能的基础上,构建列控车载设备健康评估系统。并制定了列控车载设备 PHM 实施计划,稳步推进相关设备研制及系统研发与建设工作,使维修保障部门能够在列控车载设备健康评估系统支持下高效协同工作,实现故障处置闭环管理,推动列控车载设备维修转向视情维修模式。

关键词: 列车运行控制系统车载设备;故障预测及健康管理;生命周期管理;实施方案

中图分类号: U284.482:TP39 **文献标识码:** A

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8451.2023.12.07

Implementation scheme of prognostics and health management for on-board equipment of train control system

HUANG Yuan, LIU Xue

(Chengdu Communication and Signaling Maintenance Depot, China Railway Chengdu Group Co. Ltd.,
Chengdu 610000, China)

Abstract: The onboard equipment of the train operation control system is a highly integrated electronic device. To address the difficulties in its maintenance, it is proposed to introduce fault prediction and health management (PHM) technology into its maintenance. Based on the concept of equipment lifecycle management, this article proposes an PHM implementation scheme of train control on-board equipment. Through integrating equipment functional requirements with maintenance requirements, the research and development of PHM system for train control on-board equipment is coordinated with the upgrading and renovation of train control on-board equipment. After the upgrading and renovation of train control on-board equipment and the construction of data processing and analysis systems, the health assessment system for train control on-board equipment is built on the basis of improving the BIT and data acquisition functions of train control on-board equipment. Then, a implementation plan is formulated to steadily promote the development of related equipment and the construction of those systems. With the support of the health assessment system for train control on-board equipment, the maintenance support departments can work efficiently and collaboratively and enable closed-loop management of fault disposal, pushing forward the maintenance of onboard train control equipment to shift to On-Condition maintenance mode.

Keywords: on-board equipment of train control system; prognostics and health management; life cycle management; implementation scheme

列车运行控制系统(简称:列控系统)是保障行车安全、提高运输效率的安全苛求系统,其安全性和可靠性有极高要求。当列车运行控制系统车载设备(简称:列控车载设备)故障时,会造成列车紧急停车,严重影响列车运行安全和运行效率。目

前,列控车载设备采取计划修和故障修相结合的维修模式,故障排查困难,故障定位不准,且部分故障不能复现,维修难度大,维修效率低,故障反复出现、虚警率高造成异常停车等使用安全风险。

随着传感器技术、信号处理算法和人工智能等技术的不断进步,故障预测及健康管理(PHM, Prognostics and Health Management)技术为机电一体

收稿日期: 2023-05-20

作者简介: 黄 愿,高级工程师;刘 学,工程师。

化电子电气设备的维修管理提供了具有重要实用价值和良好应用前景解决方案。PHM 技术包括故障预测和健康管理 2 个方面技术活动。故障预测通过预先诊断部件或系统执行其功能的状态，确定部件正常工作的时间长度；健康管理根据诊断、预测信息以及可用资源和设备使用需求，做出适当维修决策。应用 PHM 技术，识别和管理设备健康状况，预测出现设备故障的大致时间点，推断设备预期可用寿命，据此做出适宜的维修决策，便于提前规划维修保障工作，支持更加精细化的视情维修（OC，On-Condition maintenance）^[1]，有助于降低设备全寿命周期的使用和维护成本，降低设备事故发生率，提高系统安全性、完好性和任务成功性，保证设备运行高效率和高可靠性。列控车载设备是一种高度集成化的电子设备，具有机内测试（BIT，Built-In-Test）功能，能够实时采集和记录存储各主要单元性能参数和运行状态，为开展列控系统车载设备 PHM 系统的研制提供了有利条件。

本文根据列控车载设备的特点和维修管理需求，运用 PHM 理念和方法，提出列控车载设备 PHM 实施方案，通过列控车载设备升级改造、数据处理与分析系统建设，在完善列控车载设备 BIT 和数据采集功能的基础上，构建列控车载设备健康评估系统，实现列控车载设备关键单元和子系统的状态监测、健康管理、故障预测。

1 PHM 概述

1.1 PHM 概念

PHM 技术利用传感器采集设备的主要性能参数及工作状态监测数据，借助各种智能推理算法来评估系统自身的健康状态，在系统故障发生前做出预测，包括确认零部件正常工作时长，推断设备预期可用寿命，对设备大修等维修活动做出最适宜的决策，在故障出现前适时安排维修，降低次生故障，充分延长设备的稳定状态阶段，延长设备生命周期，结合各种可用资源和采取一系列维修保障措施来实现视情维修。

著名的电子设备 PHM 理论与技术研究机构（马

里兰大学的生命周期工程研发中心）将设备 PHM 实现方式分为 4 种：BIT、设置保险和预警装置、监控状态参数、利用失效机理^[2]。

（1）BIT：是指设备（系统）自我测试、自动检测故障、故障导向安全的能力^[3]。BIT 通过监测电路、自查电路、修正电路、以及故障确认电路，提高装备的维护性、测试性、自我诊断力、自动故障检测及故障隔离性能。随着大数据、人工智能、专家系统和分级测试等理论和技术应用于 BIT，产生了智能 BIT 技术。智能 BIT 技术不仅采用设备电路检测，还利用设备状态和历史信息，结合温度、湿度、振动、气压等环境信息，丰富故障预测的数据来源，以提高预测结果的准确性和可信度。

（2）设置保险和预警装置：设置保险和预警装置是指在电路中加装故障报警电路^[4]。报警电路与宿主电路安装在同一个机柜内，环境条件相同，工作原理一致；在设计时特别提高了报警电路的工作应力（电流、电压、功耗等），以较大的工作负载加快其失效进程，使其先于宿主电路出现故障，可根据预警装置预测宿主电路出现故障的大致时间。

（3）监控状态参数：与机械类产品不同，电子产品耗损和性能退化过程难以监测，且故障往往在时毫秒级的瞬间内发生，故障预测难度较大。电子器件退化往往表现为性能参数衰减，因此可在监测其性能参数（例如监测模拟电路的功率，功耗、驻波、绝缘，阻抗，通断及数字电路的时钟、地址锁存信号、数模转换精度、总线操作及通信接口误码率等）的基础上，建立故障预测模型，通过设置损耗、退化的物理量参数门限值作为故障判断依据。通过采集电子产品功能性参数来预测故障，是可信度最高的故障预测方法，因而得到最广泛的应用^[5]。

（4）利用失效机理：故障诊断的基础是掌握设备故障机理。失效机理主要与设备寿命周期内受到的各种负荷及应力有关。设备在使用中受到振动、温度等外部环境温度的影响，异常振动和噪声信号可为故障诊断提供了重要信息，设备负荷及环境的变化对设备运行状态也有重要影响，往往是导致设备异常和运行失稳的重要因素。设备在使用中的上电次数（电压冲击）、上电时长（设备老化）等因

素,都会导致电子电气设备性能损耗或物理性损伤,造成设备性能退化、寿命缩短。

1.2 PHM 分析框架

PHM 将机械、电气和信息技术相结合,实现对设备状态的实时监测、故障诊断、健康评估和维护决策的智能化。PHM 涉及对设备运行状态的识别、研判和预报,需要充分利用特征量和各种经验知识(包括设备结构、失效机理、动力学原理,以及设计、制造、安装、运行、维修知识等),来研判设

备状态是否正常,并确定故障原因、部位及严重程度。设备故障往往不是由单一因素造成的,而是多种因素共同作用的结果,且设备故障原因不同,现象也不同,要根据设备的特有信息进行故障诊断。

设备故障诊断需要对设备相关数据进行全面、综合的分析,根据数据分析内容,可以将 PHM 分为 6 个主题:传感器数据处理、状态监测、健康管理、故障诊断、故障预测和运维优化,PHM 分析框架如图 1 所示。

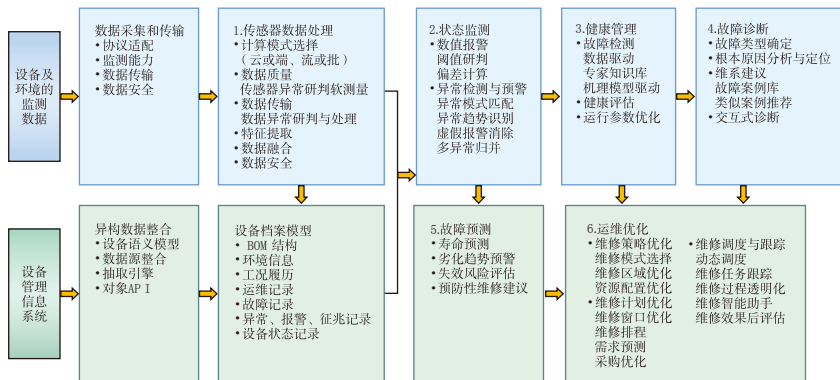


图1 PHM 分析框架

(1) 传感器数据处理:设计设备传感器和运行状态检测设备,实时采集性能参数,监测设备运行状态。设计设备传感器和运行状态检测设备,实时采集性能参数,监测设备运行状态。利用信号处理和特征提取方法,对采集到的设备性能参数和运行状态数据进行分析,提取有用的信息。

(2) 状态监测:根据近期的状态监测信息及时发现状态异常。与经典的 SCADA、DCS 的阈值报警相比,PHM 要处理基于多个时间序列的异常模式检测、异常趋势识别等较复杂的报警规则,根据多传感器融合及趋势分析消除虚假报警。

(3) 故障预测:基于故障的征兆(指在故障模式发生前或故障模式演变初期可以观测到的异常)指示和设备的退化过程建模,预测设备的剩余寿命、失效时间及失效风险。当系统、分系统或部件可能出现小缺陷、早期故障,或逐渐降级到不能以最佳性能完成其规定功能的状态时,选用适用的检测方式和设计预测系统来检测这些小缺陷、早期故障或性能降级,使装备维护人员能够预测故障发生时间,

从而采取一系列预防性维修措施。

(4) 健康管理:指在各系统处于运行状态或工作状态时,通过各种方式监测系统运行参数,判断系统在当前状况下是否正常工作,避免某些运行过程发生故障而引起整个设备系统瘫痪,防止此生故障发生,维持基本功能正常,提高设备利用效率和使用安全性,保证设备安全可靠运行。

(5) 故障诊断:在获取设备组件的稳态数据、瞬态数据、过程参数和运行工作状态等信息的基础上,用机器学习和人工智能算法,建立模型对设备状态进行诊断和预测,通过故障征兆计算、故障敏感参数提取和综合性分析判断,确定故障原因,得出符合实际的诊断结论,并制订纠正措施。

(6) 维护决策与优化策略:基于健康评估结果和故障预测信息,制定有效的维护决策和优化策略。

在上述分析的基础上,根据系统的特点及复杂程度,综合费用、时间、效能、设备使用寿命等多个目标,考虑资源约束、时间窗要求、合规性要求等约束条件,优化维修人员分配、维修计划和其它

后勤保障活动。

1.3 PHM 系统基本构成

通常，一个设备 PHM 系统包括数据采集与传输模块、数据处理与特征提取模块、智能诊断与预测模块、维护决策与优化模块。

（1）数据采集与传输模块：根据电子设备的特点和监测需求，选择适用的数据采集设备和传感器；采集到的数据通过传感器网络进行传输，并经过数据处理和通信机制传送至后续模块；对采集到的原始数据进行预处理，包括去除噪声、滤波和数据对齐，以消除干扰信号，确保不同传感器采集的数据具有一致的时间标记，便于后续数据处理和分析。

（2）数据处理与特征提取模块：对采集到的数据进行预处理和特征提取，以减少噪声干扰，提取代表设备健康状态的特征参数，以及剔除异常值。

（3）智能诊断与预测模块：基于历史数据和机器学习算法，建立故障诊断模型，对设备故障类型的准确诊断和预测；基于传感器数据和健康监测指标，建立健康评估模型，通过监测设备状态参数并提取相应特征，判断设备健康状况。

（4）维护决策与优化模块：将故障诊断和健康评估结果以图表、报警信息等形式输出，以使用户进行决策和处理，制定维护决策和优化策略。维护决策包括预防性维护、修复性维护和优化性维护等；优化策略通过维护计划的制定，包括维护时间、维护内容和备件管理等。基于系统提供的维护决策和优化策略，运维人员可以及时采取相应的措施，提高维修效率，降低设备故障率和减少停机时间，提高设备可靠性。

设备 PHM 系统建立后，应利用实际应用中积累的数据和用户反馈，对系统各功能模块进行优化和改进。例如，根据新的数据和故障案例，进一步优化故障诊断模型和健康评估模型，提高故障诊断和健康评估的准确性。

2 列控车载设备实施 PHM 需求分析

2.1 列控车载设备基本构成

列控车载设备多数由车载安全计算机、轨道电

路信息读取器、应答器信息接收单元、列车接口单元、记录器、显示器、无线通信单元、运行监测系统等组成^[6]。列控车载设备通过车-地信息传输通道接收地面系统传输的列车运行控制信息，包括行车许可（MA， Movement Authority）、线路数据等，经计算生成列车速度控制曲线，监督和控制列车安全、高速运行。当列控车载设备发生故障时，会故障导向安全输出制动，影响列车安全正点运行。

目前运用的列控车载设备有多种型号，主要有CTCS-0级车载设备（即列车运行监控装置LKJ）、CTCS-2级车载设备（即ATP， Automatic Train Protection，主要有200H、200C、200K）、CTCS-3级车载设备（主要有300T、300S、300H）。列控车载设备总合构成如图2所示，红色虚线框内的单元为CTCS-0级车载设备构成，绿色虚线框内的单元为CTCS-2级车载设备构成，黄色虚线框内的单元为CTCS-3级车载设备构成。

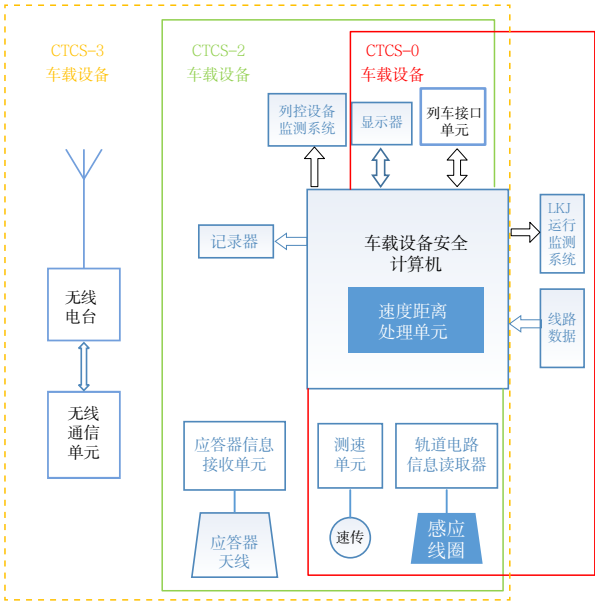


图2 列控车载设备总合构成示意

（1）CTCS-0级列控车载设备（即LKJ）的线路数据存储在列控车载设备内，根据列车司机在显示器上输入的线路号和车站代号，可读取车载存储器中对应的线路数据；地面系统传输的行车许可则由轨道电路信息读取器负责接收。安全计算机基于线路数据和行车许可，计算出列车速度控制曲线，并将测速单元输出的实测速度与控制速度进行比较，

当实测速度大于控制速度时,通过列车接口单元将制动指令输出至制动系统,降低列车速度,同时将相关控制信息显示在司机显示屏上。

(2) CTCS-2 级列控车载设备与 CTCS-0 级车载设备区别是线路数据由车载存储改由地面点式应答器存储,且车载设备增加了应答器信息接单元,用于接收地面点式应答器传输的线路数据;CTCS-2 级列控车载设备的行车许可与 CTCS-0 级一样,均来源于轨道电路信息读取器。

(3) CTCS-3 级列控车载设备将线路数据和行车许可均改为由无线通信单元通过铁路专用移动通信网络传输,应答器信息接收单元仅用于接收列车定位信息。

为了保证行车安全,对直接涉及列车运行安全的设备单元(包括线路数据存储与接收单元、行车许可接收单元、输出制动指令的列车接口单元、内部通信总线等)的安全等级要求特别严苛,这些单元将作为列控车载设备 PHM 实施的重点。

2.2 目前故障分析与处置中存在的问题

(1) 列控车载设备故障分析数据不足:列控车载设备一般具有运行日志和 BIT 数据 2 种数据。运行日志记录列车运行过程中的相关数据,主要包括车载设备与外部部件(如应答器信息接收单元、轨道电路信息读取器、无线通信单元等)的信息交互状态、接收到的数据内容、以及列车运行控制数据(包括时间、列车位置、最高限速、列车时速、列控指令等)。机内测试 BIT 数据是列控车载设备各单元在测试状态下记录的报警信息和设备自检情况,一般包括时间(机器时间)、故障代码及自检状态等。现有列控车载设备存储 BIT 数据的内存容量特别小,目前装车最多的 2 种型号 ATP 装置的 BIT 内存容量分别只有 183 Kb 和 250 条文本,且未提供转存设备。因此,这些 BIT 数据只能循环记录,只要时间稍长,历史数据都会被新数据覆盖而丢失,造成故障发生过程不可追溯,致使利用 BIT 数据进行故障原因分析特别困难。

(2) 数据分析软件种类多、使用不便:列控车载设备生产厂家众多,分析系统各异,分析人员需在多个数据分析系统间来回切换操作,故障分析工

具的使用繁琐费力,且对分析人员专业技能要求较高。

(3) 现有故障分析软件缺乏智能:现有的列控车载设备故障分析软件只有故障案例分析功能,没有同一个车前后故障关联分析,也没有故障现象统计分析,更没有实现大数据和智能建模分析,数据分析过多依赖维护人员经验水平,易造成故障处置不准确,故障重复出现。

(4) 故障定位不准确、维修效率低下:目前列控车载设备的故障处置一般做法是根据故障代码进行故障处理。当故障代码指向不明,或涉及 2 个及以上设备时,故障排查的准确性和及时性主要取决于维护人员技术水平。如果没有故障代码或者是故障代码没有包含在故障代码库内(现场称之为幽灵故障,即看不到、抓不到,试验室也无法定位的故障)时,维护人员就不得不更换多个相关的部件及配线来预防维修;有时为确保安全,甚至进行列车空载运行试验来确认故障已处理完毕;这些情形都会造成列控车载设备维修效率降低。

(5) PHM 相关产品研制工作分散重复:列控车载设备生产厂家、维护单位、铁路相关科研单位都在开发 PHM 产品,但都是针对单一设备型号,且研发工作各自为战,重复投入,相关产品无法集成起来形成体系。

3 列控车载设备 PHM 实施方案

3.1 目标

(1) 提高列控车载设备数据采集能力,加强主要单元数据分析能力建设,为实现列控车载设备状态监测、故障预测、健康管理、故障诊断提供高质量海量数据。

(2) 建立统一的列控车载设备 PHM 系统平台,采用开放式体系结构,能够将所有型号列控车载设备的各种数据分析软件集成到该平台中,对列控车载设备所有单元及子系统 PHM 应用实施统一规范管理,由该平台统一提供应用功能用户界面,并使各软件之间实现数据共享,方便故障诊断和健康评估功能的不断补充和完善,方便用户操作使用。

(3) 新开发的列控车载设备应采用分级、智能化 BIT 机内测试和状态参数监控方式,便于开展失

效机理分析；对影响行车且不能热切冗余模块，可采用保险和预警装置的方法，形成新一代列控车载设备 PHM 技术。

（4）开展大数据分析和智能分析，通过监测设备性能参数衰减过程、专家系统设置报警门限值和智能分析模型，实现自动预警，防范故障发生，解决故障定位不准、维修效率低下的问题。

3.2 技术路线

列控车载设备 PHM 实施技术路线如图 3 所示。

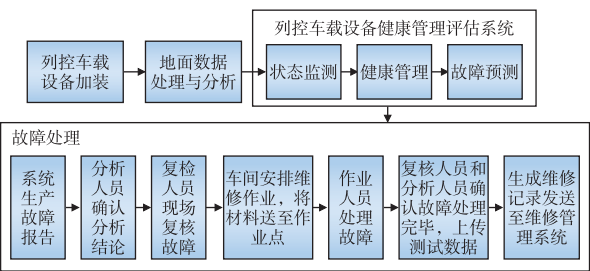


图3 列控车载设备 PHM 实施技术路线

（1）通过列控车设备加装升级，补充和增强列控车载设备 BIT 功能，利用 5G 高速传输通道将车载设备实时检测和过程监测数据传输至地面系统。

（2）完成列控车载设备关键单元数据处理与分析系统建设，对采集到的性能参数、运行状态及过程监测数据等进行预处理和特征提取，剔除异常值，提取代表设备健康状态的特征参数，为设备状态监测、健康管理和故障预测提供高质量海量数据。

（3）开发和建设列控车载设备健康评估系统，实现主要车载设备的状态监测、健康管理和故障预测，为准确发现和高效处理故障提供可靠信息^[7]。

3.3 列控车载设备加装升级

既有设备不能对重写软件代码和更换硬件组件，只能通过加装外部传感器、监测装置及通信接口板件，来采集其工作状态和性能参数数据，以便还原电路故障场景，追溯故障发生过程和确定故障点。

3.3.1 传感器加装

加装非接触式传感器，采集其关键组件的物理特性参数，前期主要采集各电源模块的电压、电流、能耗、电磁干扰、温度等参数，以及列车接口单元中信号指令继电器开关的响应速度测量值。传感器的选择要求轻便、无源、小型化。

3.3.2 通信协议监测记录器加装

加装通过安全评审通信协议监测记录器，用以记录 MVB、Profibus、CTODL、以太网以及 CAN 等各类总线的数据传输过程，监测率传输通道占用情况，分析通信误码和通信时序，以结合磁场传感器检测接地回流信号的干扰和大电流电器启停产生电磁环境的变化，来推断各单元工作性能。

3.3.3 铁路专用 5G 移动通信设备加装

铁路专用 5G 移动网络拟开始建设，可为列控车载设备大容量数据实时传输提供高速通道，能够将列控车载设备所有检测和过程监测数据实时传输至地面数据分析系统，列控车载设备无需再考虑设置专门用于大量存储及预处理 BIT 数据的装置。

3.4 列控车载设备数据分析系统

3.4.1 应答器信息接收单元智能检测站

应答器信息接收单元检测站采集发送功率、中心频、天线灵敏度等用于衡量天线性能的参数。应答器信息接收单元分析系统提取发送板功放回读电压值、单元电磁环境下 EMC 值、解码板解码误码率等参数，对测量值进行设置门限值，以判断应答器信息接收单元故障。

3.4.2 轨道电路信息读取器检测基站

对轨道电路信息读取器检测基站升级，将列控设备监测的系统（DMS）采集的感应线圈采集的频点变化、感应幅值变化数据与列控车载设备上码时间建立对比曲线，可监测机车信号灵敏度和解码能力，并可用于故障预测。

3.4.3 通信三接口自动分析系统

CTCS-3 级列控车载设备的 Igsm-r、Um 接口监测系统（ATP Interface MonitorinSyste，AMS）系统实时监测 ATP 设备车-地数据传输过程，生成车载电台信令交互过程记录数据^[8]。车载电台性能智能分析系统采集 Abis 接口（GSM-R 网络基站收发信机与基站控制器的接口）、A 接口（GSM-R 网络基站控制器与移动交换中心的接口）、Ua 接口（GSM-R 网络空中接口）的数据，并与 AMS 记录的数据进行对比分析，可发现车载电台设备的异常。

3.4.4 ATP、LKJ 数据分析系统

ATP、LKJ 数据分析系统接收分别由 DMS、

LMD 监测系统传输到地面的运行日志，从中提取故障代码，并根据定位误差、时钟准确性、按键次数等评价测速测距单元、时钟芯片、按键的健康度，可用于故障预测。

3.5 列控车载设备健康评估系统

3.5.1 系统构成

列控车载设备健康评估系统（以下简称系统）利用电务现有设备，通过 5G 高速移动通信传输通道接收升级加装的列控车载设备上传的所有实时检测和过程监测数据，通过数据接口自动接收各个地面数据分析系统生成的分析结果数据，基于大数据存储，实现 ATP、列控设备动态监测系统（DMS, DMS, Dynamic Monitoring System）、动车组司机操控信息系统（EOAS, EMU Engineer Operation Analysis System）、LKJ、CRI 等主要车载设备状态监测、健康状态和故障预测，支持列控车载设备维护决策，并与维修管理系统实现数据交互，形成故障处理过程管理闭环。列控车载设备健康评估系统（以下简称系统）构成如图 4 所示。

3.5.2 主要功能

系统用户包括系统管理员、分析人员、质检人员、车间管理人员、维修作业人员、库管人员等角色，主要功能包括用户管理、数据采集、状态监测、健康管理、故障预测、故障处理。

（1）用户管理：系统管理员完成系统用户角色设置、创建、删除和修改用户，设置用户权限。

（2）数据采集：通过数据接口，自动从 DMS、LMD、EOAS 监测系统采集 ATP、CIR、LKJ、DMS、EOAS 的报警信息及设备状态数据，从新建 BTM、MT、ATP、LKJ 智能分析系统获取设备状态特征数据。

（3）状态监测：接收数据采集到 ATP、CIR、LKJ、DMS、EOAS 设备状态及异常告警信息，当发现设备出现异常状态时，系统发出声光预警，提醒维修人员设备异常状态需进行人工分析和处理。

（4）健康管理：接收数据采集到 BTM、MT、ATP、LKJ 智能分析系统健康评估报告，统计物理特性参数，建立衰减趋势模型，计算其剩余寿命或正常工作时长，对其设备进行寿命管理，充分利用电

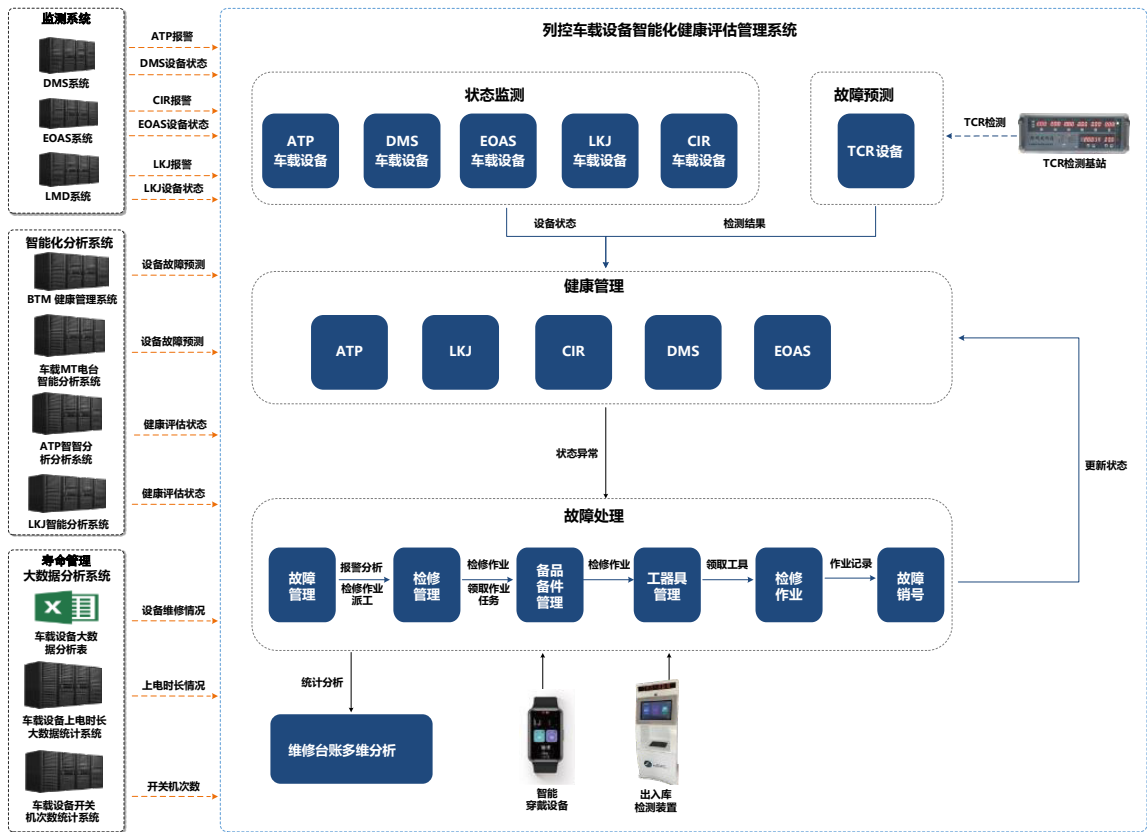


图4 列控车载设备健康评估系统构成示意

子盆浴曲线的稳定状态阶段，延长生命周期。

(5) 故障预测：监测设备衰减趋势曲线，一旦发现异常衰减情况，系统及时弹出声光报警，由人工甄别分析判断或由专家系统自动判断是否为故障预兆；根据轨道电路信息读取器、应答器信息接收单元检测基站对轨道电路接收和应答器信息接收单元进行测试，发现物理参数达到故障参数数据门限时，系统及时弹出声光报警。

(6) 故障处理：汇总由状态监测、健康管理、故障预测等模块生成的异常状态告警、寿命预警和故障预测信息，由分析人员确认后，系统自动生成维修工单，由维修车间安排作业班组进行处置；在故障处置过程中，通过智能穿戴设备向维修人员提供技术支持，并监督维修人员是否按标准作业；维修人员故障处理完毕后，经质检人员确认后，故障维修作业结束；系统自动生成维修记录发送给维修管理系统，用于修改列控车载设备履历及跟踪故障处理效果。

3.5.3 故障处置过程

列控车载设备健康评估系统也是实现统一资源调度和支持各保障部门高效协同的技术平台，相关人员依据该系统传递的信息，能够高效协同完成故障处置相关工作，形成故障处理过程闭环管理。

(1) 当系统自动生成故障分析报告后，由分析人员确认分析结论，并推送至复检人员。

(2) 质检人员对列控车载设备故障进行现场复核，在系统中确认故障需维修后，系统自动生成故障维修工单并推送给相应的维修车间。

(3) 维修车间车间管理人员按照系统发送的维修工单组织作业班组，并调动维修人员将维修所需的材料、配件送至作业点。

(4) 作业人员到达作业点领用维修材料，展开维修活动；作业完成后通过系统提交作业记录单。

(5) 作业人员处理好故障后，交由质检人员或分析人员复核故障是否已处理完毕，并将故障处理过程中列控车载设备记录的自检和测试过程数据上传送至系统。

(6) 系统对故障处理后上传的车载数据进行分

析和诊断，并制定后续的处理措施。

(7) 系统生成维修记录并发送给维修管理系统，维修管理系统据此自动修改车载设备履历，将其纳入重点关注事项清单，以跟踪故障处理效果。

4 列控车载设备 PHM 实施计划

2022 年，成都铁路局集团有限公司（简称：成都局）将列控车载设备健康评估管理系统第一阶段建设纳入科研项目，对列控车载设备 PHM 管理进行探索性研究，实施计划初步划分为 3 个阶段。

第 1 阶段（2023 年）：充分利用既有资源，结合少量硬件改造，搭建列控车载设备 PHM 系统平台框架，开发智能化大数据分析应用，完成第一阶段开放式系统建设；系统采集的数据能够通过智能诊断模型、专家分析系统或人工分析进行报警信息进行甄别，自动生成维修工单，形成故障处理信息管理闭环。

第 2 阶段（2024 年）：开发作业终端智能化穿戴设备、车载 MT 电台智能化分析系统、LKJ 智能化分析系统及接入既有 BTM 健康管理系统；完成 TCR 故障预测、监测系统数据接口和寿命管理大数据分析系统的开发；完成自主化 BTM 单元智能化分析系统的开发。

第 3 阶段（2025 年往后）：研制各类列控车载设备加装的传感器装置，在试验室完成测试验证后，开展上车试验，通过试验后投入运用，以完善车载设备的状态检测功能；研制通信协议记录器，完成各通信协议记录器的安全 SIL 四级认证，使之具备推广应用条件；完善列控车载设备健康评估管理系统工作，以全面实行列控车载设备故障预测与健康管理。

目前已开发的列控车载设备健康评估系统的主界面如图 5 所示，通过可视化界面展示设备的健康状况、故障诊断结果和预测信息，由形象直观的图标及不同颜色（红、蓝、灰、绿）标识列控车载设备健康状况，维修管理人员可以及时了解列控车载设备的运用和维修情况，进行维护决策。

5 结束语

结合列控车载设备的运用现状，针对列控车载



图5 列控车载设备智能化健康评估系统主界面

设备故障排查困难、故障定位不准、维修难度大、维修效率低的难题，采用 PHM 理念和方法，提出列控车载设备 PHM 实施方案，通过列控车载设备加装升级和地面数据处理与分析系统建设，在完善列控车载设备 BIT 和数据采集功能的基础上，开发列控车载设备健康评估系统，运用大数据分析和智能分析技术，实现车载设备关键单元和子系统的状态监测、健康状态和故障预测，提高故障预测、诊断的准确性；并通过与维修管理系统的信息交互，建立起故障快速处置和闭环管理的维修保障机制。

目前，初步开发的列控车载设备健康评估系统已上线运行。本文实施的列控车载设备 PHM 系统是一个开放、共享的一体化系统，为列控车载设备 PHM 相关应用整合提供了统一平台。下一步，成都局电务维护管理部门将组织各设备厂家、研发团队，共同拓展和完善系统，推动列控车载设备转向视情维修，进一步提高列控车载设备可靠性、可用性、可维护性和安全性（RAMS），为列控车载设备维修体制创新赋能。

参考文献

[1] Hess A, Fila L. The Joint Strike Fighter (JSF) PHM concept: potential impact on aging aircraft problems[C]//Proceedings, IEEE Aerospace Conference, 09-16 March 2002, Big Sky, MT, USA. New York, USA: IEEE, 2002: 6.

[2] Vichare N, Pecht M G. Prognostics and health management of electronics[J]. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 2006, 29(1): 222-229.

[3] 任占勇. 航空电子产品预测与健康管理工作 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 57-61.

[4] 钱颖雪, 徐良芝. 浅述新兴的电子系统故障预测与健康管理 [J]. *电脑与电信*, 2010 (7): 68-70.

[5] 韩国泰. 航空电子的故障预测与健康管理工作 [J]. *航空电子技术*, 2009, 40 (1): 30-38.

[6] 中华人民共和国铁道部: 中国列车运行控制系统 (CTCS) 技术规范总则 (暂行): TJ/DW074-2004[S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2003.

[7] 许光泞, 文欣秀, 曾亚. 基于 PHM 的机载设备健康管理系统的研究与设计 [J]. *计算机时代*, 2018 (8): 47-50.

[8] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列控车载设备 Igs-m-r、Um 接口监测系统技术条件 (V1.0): TJ/DW182-2016[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.

责任编辑 桑苑秋