

智能化背景下铁路 CTC 系统运维研究

李斯宁

中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司乌鲁木齐电务段, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要]随着我国高速铁路网络的快速扩张和运营里程的持续增长,调度集中系统作为铁路运输调度指挥的核心技术装备,其运维管理水平直接关系到铁路运行的安全与效率。文中系统分析了 CTC 系统在日常运维管理中面临的故障发现与定位效率偏低、设备状态监测能力不足、资源配置不合理、运维决策缺乏数据支撑等突出问题,结合智能化技术发展趋势,提出了涵盖智能故障预警与快速定位机制、设备状态实时监测与健康评估体系、运维资源动态优化配置方案以及数据驱动的运维智能决策平台等优化策略,旨在推动 CTC 系统运维从传统的故障后处理模式向预防性、智能化的新模式转变,为铁路调度指挥系统的智能化升级提供理论与实践参考。

[关键词]CTC 系统; 智能化运维; 故障预警; 设备状态监测; 数据驱动决策

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20033

中图分类号: U284

文献标识码: A

Research on the Operation and Maintenance of Railway CTC System under the Background of Intelligence

LI Sining

Urumqi Electric Power Depot of China Railway Urumqi Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract: With the rapid expansion of Chinese high-speed railway network and the continuous growth of operating mileage, the centralized dispatch system, as the core technical equipment for railway transportation dispatch and command, directly affects the safety and efficiency of railway operation in terms of its operation and maintenance management level. The article systematically analyzes the prominent problems faced by CTC systems in daily operation and maintenance management, such as low fault detection and location efficiency, insufficient equipment status monitoring capability, unreasonable resource allocation, and lack of data support for operation and maintenance decisions. Combining with the development trend of intelligent technology, optimization strategies are proposed, including intelligent fault warning and rapid positioning mechanism, real-time monitoring and health assessment system of equipment status, dynamic optimization configuration scheme of operation and maintenance resources, and data-driven operation and maintenance intelligent decision-making platform, so as to promote the transformation of CTC system operation and maintenance from traditional fault post-processing mode to a new mode of prevention and intelligence, and provide theoretical and practical reference for the intelligent upgrade of railway dispatch command system.

Keywords: CTC system; intelligent operation and maintenance; fault warning; equipment status monitoring; data driven decision-making

引言

调度集中系统是铁路运输指挥的“大脑”,行车调度员在调度中心对辖区内的各个车站信号设备进行集中控制和动态监视,统一调度列车运行。分散自律调度集中系统以 TDCS 为基础,很好地考虑了我国铁路客货混跑、调车作业复杂的情况,实现了列车和调车作业的统一控制。近些年来,CTC 系统在路网覆盖程度、自动化水准以及

数据整合能力等各方面有了明显进步。但是系统规模不断增大,设备种类越来越复杂,运维数据量也越来越大,传统的依靠人工经验的运维模式已经不能满足智能化发展的需要了。怎样依靠大数据、人工智能、物联网这些新兴技术创建智能化运维体系,成了当下急需解决的重要问题。目前的运维模式依靠人工排查和现场经验,不能满足高铁智能 CTC 建设的要求,必须创建信息融合、实时监测、

辅助决策的 CTC 系统智能运维体系。

1 CTC 系统业务流程分析

CTC 系统业务流程包含从计划制定到现场操作的全部调度指挥过程。计划阶段调度员根据列车运行图、实际运输需要编制列车运行调整计划,利用自律模块把计划转化成对联锁设备的控制命令,达到调度指挥的自动化、高效化的目的。系统在执行阶段按照列车运行调整计划对列车运行情况实施即时监测,按照列车的实际运行情况不断地对运行图和进路排列方案进行调整。分散自律原则下,FZh-CTC 系统总体功能可以分为以列车运行调整计划为基础的列车监督控制功能、以列车运行调整计划和调车作业单为基础的调车监督控制功能、综合维修管理功能、系统维护功能等几大部分。另外 CTC 系统用无线通信把调度命令、调车作业计划送到机车,实时跟踪列车运行位置,画出列车实迹运行图,完成从调度中心到车站、再到机车的全流程信息闭环管理。系统设计把原来各个车站的人员大大减少,由调度中心集中控制,形成了运行图、阶段计划、调监、调度命令、行车日志等铁路运输信息闭环管理。随着智能化技术的发展,新一代 CTC 系统也由原来的单系统数据融合、作业自动化控制、调度决策智能化等方向发展成现在的跨系统数据融合、作业自动化控制、调度决策智能化等方向。

2 铁路 CTC 系统运维现状及存在问题

2.1 CTC 系统运维管理现状

目前我国铁路 CTC 系统运维管理实行分级负责制,以国铁集团、铁路局集团公司、电务段、工区四级为单位进行日常运维工作。就管理机制而言,各个层次依照技术规章以及作业标准,定时展开设备巡检,故障处理以及系统更新等工作,依靠信号集中监测系统来搜集设备运转的数据,依靠人工巡检和经验判定来执行故障排查。但是随着 CTC 系统覆盖的车站数量不断增加、设备种类和数量也越来越多,管理链条变长、信息传递滞后、标准执行出现偏差等现象越来越突出。以某电务段为例,电子设备车间负责全段微机联锁、TDCS/CTC、电源屏、区间监控等电子设备的维修养护工作,点多线长,设备检修养护难度

大。运维队伍由于技术更新滞后、复合型人才缺乏等原因,在人员配置上存在诸多问题,传统运维模式和系统快速更新之间存在的矛盾越来越明显^[1]。目前 CTC 系统运维仍然采用人工值守、日常巡检、周期维护、故障抢修等传统方式,人力、物力、财力消耗大,自动化、智能化程度低,不能满足智慧铁路建设的需求。

2.2 设备维护模式分析

CTC 系统设备维护方式主要是计划修、故障修相结合。计划修按照固定的周期开展年度集中修、日常巡检、定期测试,对设备实施标准化的维护工作;故障修则是当设备出现报警或者故障的时候,由维修人员前往现场查找原因并予以处理。按照《维规》相关规定,TDCS、CTC 系统实行预防修和故障修相结合的维修方式,系统核心设备可以实行委托修。但是,以时间周期而不是设备状态为依据的维护方式,容易出现“过度修”和“欠修”并存的现象,即有些状态良好的设备因为按照周期进行检修而造成资源浪费,有些存在潜在隐患的设备因为没有达到检修周期而不能及时处理。尽管现有的调度集中综合维护系统具有网络管理、主机监控、接口监测、设备维护等功能,但是其故障检测主要是对网络、计算机、服务器等设备级的单一失效模式进行检测,并没有从整体上评价 CTC 系统的健康状况。

2.3 运维数据管理现状

CTC 系统运维过程中产生的数据量巨大,种类繁多,格式不一,包含设备日志、报警记录、维护工单、运行图数据、轨道电路状态、信号机状态等。由于 CTC 系统设备分布广、数量多,目前常用的维护系统广泛使用了计算机软件、硬件、网络、数据存储等技术,主要对设备运行状态进行集中监控。全国各个铁路局每天产生调度指令数以千万计,还要将信号、供电、工务、电务等各种各样的异构数据进行融合,才能做到毫秒级的协同计算。目前大部分数据都分散存放在不同的子系统或者维护终端里,缺少统一的数据采集、清洗和汇聚机制,数据孤岛现象比较普遍。这些数据量大且来自 CTC、道岔状态、轨道电路状态等众多的异构数据源。各个运维单位虽然已经开始尝

表 1 CTC 系统核心业务流程环节

流程环节	主要功能	参与主体	输入信息	输出结果
计划编制	运行图管理、阶段计划下达	调度员、自律模块	列车运行图、运输需求	列车运行调整计划
进路控制	列车与调车进路自动办理	自律模块、联锁系统	运行调整计划、调车作业单	进路控制指令
实时监控	站场设备监视、列车位置追踪	调度员、车站值班员	轨道电路信息、车次号数据	实迹运行图、运行状态
调度指挥	调度命令发布、运行调整	调度员、调度命令系统	实时运行数据、异常事件	调度命令、调整方案
信息协同	多岗位数据共享、跨系统联动	调度中心、车站、机车	现车信息、设备状态	协同指令、作业预告

试数据驱动的管理模式,但是还停留在事后统计、简单报表的阶段,没有形成面向预测预警、智能诊断的深层次分析能力。目前还存在着一些问题,即使用固定阈值法检测故障,准确率低,只对单一设备、单一参数进行检测,没有考虑到故障影响的传播以及信息之间的关联关系,容易导致故障节点误判。

2.4 当前运维工作面临的主要问题

根据以上分析可知,目前 CTC 系统运维工作存在的问题有如下四个方面。一是故障的发现与定位速度慢。由于没有智能化的异常检测手段,大量的故障依靠人工盯控、被动报警来发现,故障发现存在明显的滞后性。CTC 系统故障会直接导致车站运营效率降低、安全隐患增加,目前铁路运行现场对于 CTC 车站系统的故障诊断主要依靠人工排查的方式,效率低,由于系统故障引发的列车晚点事件时有发生。故障发生之后的定位工作要经过许多岗位的共同查找,信息传递的时间较长,致使运输秩序的恢复速度变慢。二是没有设备状态监测的能力。现有的监测手段主要是离散点式的采集方式,不能对关键设备进行连续的状态评估和趋势预测,设备性能劣化早期的征兆很容易被忽略,只有当故障真正发生的时候才会被发现。当 CTC 系统发生故障的时候,仅靠传统的手工巡视排查的方法已经不能满足系统维护的要求了,一旦出现故障,调度员就无法了解现场的情况,无法下达指挥指令,直接影响行车安全和行车效率,影响运输效益。三是运维资源调配不合理^[2]。维修资源的分配按照设备数量和固定周期来定,而不是根据设备实际的健康状况和风险等级来定,造成一些地方资源过剩、另一些地方资源不足的情况同时存在。四是运维决策没有数据支撑。目前运维管理决策大多依靠经验判断,缺少系统的数据分析和量化评价方式,不能形成从数据采集到决策支持的完整闭环,限制了运维管理精细化水平的提高。

3 铁路 CTC 系统智能化运维优化策略

3.1 智能故障预警与快速定位机制

就故障发现和定位的效率低下问题而言,应该创建起以数据为驱动的智能故障预警和快速定位体系。一方面采集融合 CTC 系统各种各样的异构数据,从中提取出反映系统故障的重要特征和隐藏的信息,采用控制图算法和隐马尔可夫算法对系统的状态进行实时监测和评价,实现对系统微小异常的检测和潜在故障的预警,把安全风险消除在萌芽状态之前。另一方面综合专家经验、作业指导、历史故障维修记录来产生维修策略库,从而对故障进行自动匹配处理。在此基础上,根据系统故障日志文本来建立一

个基于知识图谱的故障诊断模型,在预警发生的时候可以自动找到对应的处置建议,方便运维人员迅速地找到故障的原因并做出相应的处理。经过该机制的推行,可以由被动应对变为主动防范,大大缩减故障被察觉并定位的时间,从总体上提升列车调度指挥效能和运营效率。

3.2 设备状态实时监测与健康评估体系

就设备状态监测能力欠缺的问题而言,要创建包含 CTC 系统主要设备在内的全方位实时监测和健康评价体系。采用物联网以及边缘计算技术,在 CTC 服务器、车站分机、网络设备等重要节点处设置智能感知终端,从而达到对设备运行参数、性能指标、环境状况等状态数据的连续采集和及时传递的目的。以 CTC 云平台为依托,按照铁路总公司、铁路局、车站三级结构进行设计和部署,将云中心的部分功能下沉到离数据源较近的边缘侧,实现本地数据预处理和故障诊断,在保证运维响应速度的同时大大减少云中心的通信流量压力。针对目前调度集中系统车务终端远近端通道没有有效的监测手段的问题,在电务维护终端增加监控单元,可以对交换机数据配置、信息交互和处理、异常报警等功能进行实时显示,可以得到设备状态拓扑图^[3]。在此基础上构建一个基于设备健康状态的评价模型,对历史数据、实时数据进行分析,得出设备健康发展趋势并加以预测,从而给后面的维护决定以及资源调配赋予支撑作用。

3.3 运维资源动态优化配置方案

就运维资源配置不合理的问题而言,要依靠智能化手段创建运维资源动态优化配置方案。按照设备健康评价体系以及风险等级划分的情况,改变传统上以固定周期为标准的计划维修模式,以设备状态为核心来实行差异化的维护方式,也就是对状态良好、风险低的设备适当延长间隔,对状态不佳、风险高的设备缩短时间间隔并且加强巡检频率。经由加强智能运维体系创建,塑造起更为完备的设备全生命周期管理机制,深入探究设备运行数据并加以分析,预估设备的寿命以及出现故障的趋势,提早制订维护计划,保证设备一直处在良好的运转状况之中。维修资源调度上可以采用智能调度算法,把各个线路的天窗时间、维修人员技能分布、备件库存状况这些限制条件纳入考量范围之内,进而生成最佳的维修工单以及资源调配方案。采用备件智能库存管理系统,按照设备故障预估结果以及维修安排来变动备件存货量及存放地点,防止备件囤积或者缺乏的情况出现。

3.4 数据驱动的运维智能决策平台

为了解决运维决策没有数据支持的问题,应该建立一

个统一的数据驱动运维智能决策平台。该平台把数据中台当作底座，打通 CTC 系统、信号集中监测系统、维修管理系统、备件管理系统等各个数据源之间存在的壁垒，从而达到运维数据高效汇聚、清洗、存储和共享的目的。该架构把终端数据感知和边缘计算技术结合起来，提高故障诊断的准确性；采用实时加定期的数据传输方式来减小云边链路数据传输的压力；创建云端运维知识库，从而达到 CTC 运维辅助决策的目的。平台把统计分析、趋势预测、关联挖掘这些分析引擎全部整合起来，给不同的运维管理需求赋予各种各样的数据看板以及决策支持手段。运维管理人员可以借助平台对全线路设备的运行情况、故障分布规律、资源利用效率等主要指标进行掌握，在数据的指引下制定出设备检修计划、人员调配方案、备件采购计划^[4]。另外，平台还可以对运维绩效进行量化评价并持续改进，促使运维管理由经验型向数据型的根本转变。CTC 系统智能运维体系的运用，可以促使故障修向预防修转变，进而提升系统的运维效率，给高速铁路的安全高效运行赋予强有力的支撑。

4 结语

CTC 系统是铁路调度指挥的主要技术平台，运维管理的好坏直接影响到铁路运输安全和效率。本文对 CTC 系统业务流程进行梳理，对运维现状进行分析，发现目前运维工作在故障发现、状态监测、资源配置、决策支持等

方面存在诸多问题，从智能故障预警与快速定位、设备状态实时监测与健康评价、运维资源动态优化配置、数据驱动决策平台四个方面提出系统的智能化运维优化策略。智能运维体系的建立使得 CTC 系统的运维由原来的故障维修变为预防维修，提高了系统运维效率，给高速铁路的安全高效运行提供强有力的保障。随着人工智能、大数据、边缘计算等前沿技术不断进步并被深度应用到 CTC 系统的运维当中，未来 CTC 系统的运维将会越来越精准、越来越智能、越来越自主，从而给我国铁路运输事业的高质量发展赋予有力的技术支撑。

[参考文献]

- [1]费振豪,贺永祥.高速铁路调度集中系统智能化研究及设计[J].铁道通信信号,2020,56(8):12-15.
- [2]李智,张涛,许伟,等.高速铁路智能 CTC 系统列车运行自动调整研究[J].交通信息与安全,2020,38(6):122-128.
- [3]刘实秋,陈忱.成渝铁路主城段智能 CTC 系统方案研究[J].运输经理世界,2020,1(9):13-14.
- [4]靳俊,桑宇.重载铁路 CTC 技术优化与应用[J].铁道通信信号,2023,59(7):16-22.

作者简介：李斯宁（1993—），毕业于衡水学院电子信息工程专业，主要研究方向为铁路 CTC 调度集中指挥系统维护与应用。