

高速铁路信号系统运维分层架构模型的设计

卻书旺

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100013)

摘 要 随着列车运行速度的提升与密度的增大, 对高速铁路信号系统的可靠性和稳定性提出了严峻的挑战。本文设计了高速铁路信号系统运维分层架构模型, 介绍了系统组成、分类、特点, 阐述了运维架构设计原则与关键组件, 详细规划了决策分散层、数据接入层等五层架构, 各层分工明确、协同工作。研究结果表明, 该模型提升了运维效率, 故障检测率有所提高, 误报率降低, 系统可用性增强, 可为高铁信号系统运维提供有效方案。

关键词 高速铁路; 信号系统; 分层架构; 故障预警

中图分类号: TP311.52; U284.92

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.024

0 引言

信号系统是列车安全有序运行的核心保障, 在高速铁路运行体系中发挥着重要作用。一旦信号系统出现异常, 列车运行秩序将被打乱^[1]。传统的运维方式主要依赖人工经验判断, 缺乏精准的量化评估手段, 难以实现对信号系统运行状态的全面、实时监测、预警。在数字化、智能化时代背景下, 开展高速铁路信号系统运维分层架构模型设计势在必行, 其对于提升我国高铁运维的智能化水平, 推动铁路行业技术进步具有重要意义。

1 高速铁路信号系统概述

构建高速铁路信号系统模型, 需了解其组成与分类, 这是保障模型精准、可靠与实用的前提。从应用场景看, 系统构成丰富。车站信号控制系统, 严密管控车站内信号, 确保列车进出与站内作业安全顺畅; 编组站调车控制系统, 针对编组站复杂调车作业, 精准操控车辆移动与调配; 区间信号控制系统, 负责监控区间线路上列车运行, 保障区间行车安全; 行车指挥控制系统, 从全局统筹列车运行, 科学规划运行方案; 列车运行控制系统则直接把控列车速度、制动等关键参数, 是列车安全运行的核心保障^[2]。从技术视角, 系统涵盖昼间、夜间、固定、移动等多种信号类型。不同信号类型协同运作, 全面监控高铁运行状况, 并依监测结果迅速调整, 有效防范安全风险, 保障高铁安全运行。

2 高速铁路信号系统运维架构的关键组件

2.1 运维系统架构的设计原则

高速铁路信号系统运维架构的设计需遵循一系列关键原则, 以确保其高效、可靠运行。

1. 安全性原则。信号系统直接关系到列车运行安全, 要具备完善的故障—安全机制, 当系统部分组件出现故障时, 能够自动导向安全状态, 避免引发列车运行事故。强化安全防护措施, 防止外部恶意攻击和非法侵入, 保障信号系统数据的安全^[3]。

2. 可靠性原则。通过采用先进的监测技术和智能诊断算法, 实时准确地监测系统运行状态, 及时发现潜在故障隐患, 并能够快速定位和修复故障, 减少系统故障停机时间。建立数据备份和恢复机制, 确保在意外情况下数据不丢失, 系统能够快速恢复正常运行。

3. 可扩展性原则。运维架构应具有良好的可扩展性, 能够集成新的设备和功能模块, 适应系统的升级需求。可通过预留接口和扩展空间, 便于未来接入新的监测设备或智能运维技术。

2.2 运维系统架构的关键组件

在高速铁路信号系统运维架构中, 关键组件起着至关重要的作用, 它们相互协作, 保障系统的稳定运行。关键组件如表 1 所示。

3 高速铁路信号系统运维分层架构模型的规划设计

高速铁路信号系统运维分层架构模型规划设计至关重要。将系统分为列车关联、地面监控、调度控制等层面, 各层面包含不同关键设备与子系统, 通过无线及数据通信网络交互。此架构利于实现对信号系统的全面监测、精准控制与高效运维, 保障高铁运行安全与稳定。整体架构如下。

3.1 决策分散层

在高速铁路信号系统运维分层架构模型里, 决策分散层打破了传统集中式决策的局限。其赋予列车关

表 1 运维系统架构的关键组件

组件名称	功能描述	适用工具	优势特点
配置管理组件	承担运维系统内服务器、网络设备 及数据库等配置信息的管理维护	Puppet、Ansible 等	借助自动化手段，实现配置管理的高 效与精准，减少人为错误
自动化部署组件	负责自动化地完成应用程序和 服务的部署与更新任务	Docker、Kubernetes 等	能够快速部署应用程序，并且 可根据需求轻松扩展，适应 系统动态变化
监控和告警组件	实时监测运维系统各组件的 运行状态及性能指标，一旦 出现异常及时发出告警	Zabbix、Prometheus 等	全方位监控系统，让运维人员第一 时间察觉潜在问题，降低故障影响
日志管理组件	对运维系统和应用程序产生的日志 进行收集、存储和深入分析	ELK 等	帮助运维人员迅速定位问题源头， 提升故障排查和解决的效率

联信号系统、地面监控关联信号系统等各子系统一定自主决策权，使其能依据局部实时信息快速响应，提升系统应对复杂情况的能力与可靠性。如车载列控关联信号系统中的车载控制器，可结合定位测速模块、车地无线通信单元传来的数据，在安全范围内自行调整列车速度与运行策略，减少对调度中心指令的过度依赖，有效降低决策时延，更好地应对线路突发状况^[4]。

动态评估函数是衡量决策分散层各子系统决策效果的关键工具。设 S 为决策合理性评分， S_a 为安全指标得分， S_e 为效率指标得分， S_o 为设备运行状态指标得分， ω_1 、 ω_2 、 ω_3 分别为对应权重，且 $\omega_1+\omega_2+\omega_3=1$ ，那么动态评估函数可表示为：

$$S=\omega_1S_a+\omega_2S_e+\omega_3S_o$$

安全指标得分 S_a 由列车与前车的实际距离和安全制动距离的比值等因素决定；效率指标得分 S_e 参考列车实际运行速度与计划速度的偏差、准点率等计算；设备运行状态指标得分 S_o 依据设备故障率、温度等参数得出。通过实时采集相关数据代入函数计算评分，当 S 低于设定阈值时，系统发出预警，提示子系统调整决策，优化运行，从而保障高速铁路信号系统安全高效运行。

3.2 数据接入层

数据接入层是整个系统获取信息的基础环节，承担着采集、汇聚和初步处理多源异构数据的重要任务。从数据来源看，该层需要接入列车关联信号系统产生的数据，如车载控制器、定位测速模块、列控设备监控系统等反馈的列车实时位置、运行速度、设备状态等信息。这些数据对于掌握列车运行状态，确保行车安全至关重要^[5]。地面监控关联信号系统的数据有微机监测系统分机采集的轨旁设备运行参数、信号强度

等，以及调度控制关联信号系统中调度中心、车站计算机联锁等产生的调度指令、设备控制状态数据，可通过数据接入层进行整合。在技术实现上，数据接入层采用多种通信接口和协议。对于列车与地面之间的数据传输，运用车地无线通信技术，保障列车运行过程中数据的实时、稳定传输。

3.3 融合层

在高速铁路信号系统运维分层架构中，融合层起着承上启下的关键作用，它对数据接入层汇聚的数据进行深度融合与处理，为决策分散层提供高质量的决策依据。融合层运用特征级融合技术，将来自不同数据源的特征信息进行综合分析^[6]。通过对列车运行状态特征（如速度、加速度、位置变化趋势）与地面设备运行特征（设备电流、电压波动情况）的融合，能够更全面地反映系统运行状况。在数据融合过程中，机器学习算法也发挥着重要作用。通过训练分类模型，如支持向量机（SVM），对多源数据进行分类和识别，挖掘数据之间潜在的关联关系^[7]。融合层利用分布式计算技术，将海量数据的处理任务分配到多个计算节点上，提高数据处理效率，确保在复杂的高速铁路运行环境下，能够快速、准确地完成数据融合与分析，为整个信号系统的稳定运行和高效运维提供有力支持。

3.4 故障预测层

在高速铁路信号系统中，故障预测层利用多种技术手段提前预判设备故障。基于机器学习的故障预测模型被广泛应用。以支持向量机（SVM）为例，构建模型时，设输入向量为 x_i ，表示设备运行的各项特征参数，如电流、电压、温度等，输出向量为 y_i ，代表设备正常或故障状态。通过训练样本 (x_i, y_i) ，寻找最优分类超平面 $w^Tx+b=0$ ，使得两类样本能够被最大间隔分开。在

