 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i8.11558

Analysis on Causes of Invalid Alarms and Optimization Strategies of CSM-KA Centralized Signal Monitoring System

Shengrui Jiang

Institute of Signal and Telecommunication Detection, China Railway Qinghai-Tibet Group Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract

The railway centralized signal monitoring system is the core infrastructure for ensuring traffic safety and improving operation and maintenance (O&M) efficiency. However, the proportion of invalid alarms in field application is relatively high, which seriously interferes with fault diagnosis and greatly increases the O&M load. Taking the CSM-KA monitoring system of the Qinghai-Tibet Railway as the research object and combining with field O&M data, this paper systematically sorts out four core causes: insufficient adaptability of alarm thresholds, unsynchronized acquisition timing of switching values and analog values, non-standard skylight maintenance management, and limitations of the alarm mechanism. An integrated optimization strategy is proposed from four dimensions: dynamic threshold optimization, acquisition mechanism transformation, whole-process control of skylight maintenance, and intelligent alarm cascade. Field application results show that the scheme can effectively reduce the proportion of invalid alarms and on-site O&M workload, and improve the efficiency of fault alarm analysis and handling.

Keywords

centralized signal monitoring system; invalid alarm; threshold optimization; alarm timing; skylight maintenance

CSM–KA 型信号集中监测系统无效报警成因分析与优化策略

姜生瑞

中国铁路青藏集团有限公司工电检测所，中国 · 青海 西宁 810000

摘　要

铁路信号集中监测系统是保障行车安全、提升运维效率的核心基础设施，但现场应用中无效报警占比偏高，严重干扰故障研判并大幅增加运维负荷。本文以青藏铁路 CSM-KA 型监测系统为研究对象，结合现场运维数据，系统梳理出报警阈值适配性不足、开关量与模拟量采集时序不同步、天窗修管理不规范及报警机制存在局限性四大核心成因。从阈值动态优化、采集机制改造、天窗修全流程管控、智能报警级联四个维度提出一体化优化策略。现场应用结果表明，该方案可有效降低无效报警占比，减少现场运维工作量，提升故障报警分析处置效率。

关键词

铁路信号集中监测系统；无效报警；阈值优化；报警时序；天窗修

1 引言

铁路信号系统是保障行车安全、提高运输效率的关键基础设施。信号集中监测系统作为信号系统的核心监测单元，承担设备状态数据采集、故障智能研判、状态修决策辅助等重要职能。该系统采用 “三级三层” 架构，实现对车站及区间信号设备的全天候监测，为电务运维提供数字化、智能化支撑，是铁路信号安全保障体系的重要组成部分 [2]。

然而，在现场应用中，该系统无效报警问题突出。现场运维统计数据显示，监测系统无效报警占比超过 70%。大量无效报警不仅显著增加运维人员的现场校核工作量，还容易掩盖有效故障信息，造成运维资源浪费与故障处置延误，制约系统核心效能的发挥，降低监测系统的实际应用价值。因此，开展无效报警成因分析与优化策略研究，对提升高原铁路信号系统运维管控水平、保障运输安全具有重要的工程应用价值。

2 系统架构与核心功能

2.1 系统架构组成

CSM-KA 型信号集中监测系统采用模块化设计，严格遵循铁路行业标准构建 “三级三层” 架构体系。系统自上

【作者简介】姜生瑞（1987–），男，硕士，工程师，从事铁路信号研究。

而下分为国铁集团层、局集团公司 / 电务段层、车站层三个管理层级，分别实现中心决策、区域管控、现场采集功能，系统架构如图 1 所示。

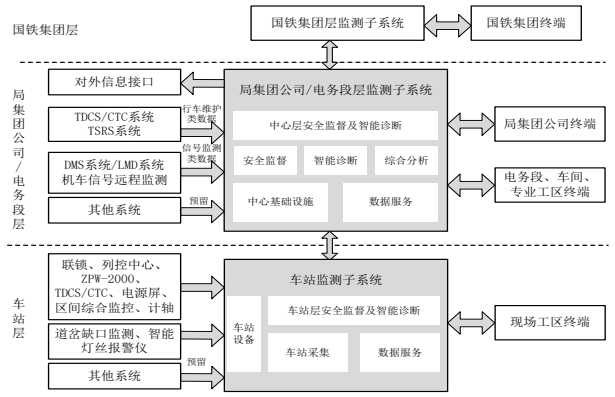


图 1 CSM–KA 型信号集中监测系统架构图

国铁集团层负责全路监测数据的汇聚整合与深度分析，为宏观管理与运维决策提供数据支撑；局集团公司 / 电务段层承担信息交互中转职能，配置四级运维终端，实现管辖范围内设备的全生命周期综合管控；车站层作为基础数据采集单元，直接接入现场信号设备，实时采集、上传信号设备电气参数、运行状态。

2.2 核心功能特点

CSM-KA 型监测系统集成多源数据融合与智能诊断技术，实时采集轨道电路、道岔、信号机、电源屏等设备的运行参数。系统结合历史运行趋势与预设故障判定规格，可提前识别设备性能劣化趋势并发出预警；在故障发生时能够精准定位故障点并触发分级报警，为运维人员快速处置故障提供精准数据支撑，有效提升信号设备运维质量与应急响应能力。

3 无效报警的危害与成因分析

3.1 无效报警的定义与危害

本文所指无效报警是指监测系统触发的报警信号与设备实际运行状态不符，或在天窗检修作业过程产生的报警信息。此类报警数量多、频次高，对电务运维工作造成以下三方面不利影响。

（1）加剧现场运维负担：监测分析人员需频繁确认报警原因，现场运维人员需反复检查确认报警有效性，无效工作量显著增加，作业人员劳动强度明显增加。

（2）干扰有效信息分析研判：大量无效报警会掩盖真实报警信息，容易引发故障误判、漏判，延误真实报警处置时机。

（3）占用系统软硬件资源：无效报警持续占用网络带宽、服务器存储与运算资源，导致系统数据处理、实时响应能力下降。

3.2 无效报警的核心成因

结合青藏铁路管内 CSM-KA 型信号集中监测系统运行数据与现场运维经验，将无效报警的核心成因归纳为四类：报警阈值适配性不足、开关量与模拟量采集时序不同步、报警机制存在局限性、天窗修状态管控不规范。

3.2.1 报警阈值适配性不足

报警阈值与现场设备实际适配性不足，是无效报警高发的首要原因。系统预设报警阈值多依据设备出厂标准设定，未结合设备服役年限、现场工况与环境特征进行差异化调整。例如，部分老旧道岔因机械磨耗导致转换阻力增大，动作电流峰值接近或超出原设定阈值 [4]，但运维人员未结合设备实际状态修正参考曲线，从而引发持续性无效报警。此外，青藏高原昼夜温差大，ZPW-2000A 移频轨道电路电气参数随温度变化发生规律性漂移 [3]，固定阈值易将参数正常波动判定为设备故障，引发批量误报警。

3.2.2 开关量与模拟量采集时序不同步

开关量与模拟量采集时序不同步，是瞬时性无效报警产生的根本原因。两类信号的物理特性、采集机制存在本质区别：模拟量为连续电气参数，采集响应速度快；开关量依托继电器接点输出，受继电器励磁、机械翻转影响存在固有时延，导致同一设备的状态信号与电气参数时序错位，从而触发误报警。例如，轨测盘模拟量与开关量采集模块存在采样时差，模拟量采集速率普遍快于开关量状态转换速率，造成两类数据时序错位。

此外，全电子执行单元对开关量与模拟量采用独立采集通道。在轨道区段占用、出清瞬间，模拟量采集滞后开关量变化 2 s，频繁诱发轨道电压超限类无效报警。

3.2.3 天窗修状态管控不到位

天窗修状态设置与现场作业不一致，是维修时段无效报警集中出现的主要原因。铁路信号设备施工、检修均在天窗时间内开展，受天窗时点调整、阶梯天窗（分区域作业天窗）、临时作业等因素影响，运维人员易出现天窗状态漏设置、作业时间 / 作业范围设置错误等问题。系统会将天窗内设备正常的状态切换、参数波动判定为天窗外异常报警，产生批量误报警，额外增加现场校核工作量。

3.2.4 报警机制存在局限性

原有监测系统采用单点触发、全量推送的报警输出方式，未结合信号设备联锁运行的特点设计过滤规则。当单一设备发生故障时，会连锁触发道岔、轨道电路、电源屏等多处关联设备同步报警，形成大量衍生报警、重复报警 [5]。同时，现有系统缺少完善的报警筛选与智能降噪功能，无法区分根源故障报警、衍生报警与环境扰动导致的小幅超限报警，导致真实、有效的报警信息被大量无效报警覆盖。

4 无效报警的优化措施

针对以上四类无效报警成因，结合高原铁路设备工况与运维特点，从阈值配置、采集时序同步、天窗修管理、报警机制升级四个维度制定针对性优化方案。

4.1 优化系统阈值配置

4.1.1 静态阈值周期性校准

严格遵循《铁路信号集中监测系统技术条件》（Q/CR 442-2020）[1] 相关要求开展阈值优化工作。通过采集管内各车站设备不少于 1 个完整自然年的历史数据，统计不同季节、温度条件下设备参数的正常波动范围，以此为基准对静态报警阈值开展周期性校准。针对轨道电路电压季节性漂移特征，分时段调整报警限值，消除环境波动带来的误报警。

4.1.2 动态阈值自适应匹配

构建多因子动态阈值模型，综合设备服役年限、动作频次、环境温度、参数变化趋势等因素，实时修正道岔动作曲线、轨道电路电压阈值等关键参数，实现阈值与设备工况、高原环境的自适应匹配。针对磨耗严重的老旧道岔，结合实际转换阻力调整电流判定阈值，使报警规则贴合设备当前运行状态，从源头降低误报概率。

4.2 采集机制与参数优化改进

4.2.1 采集参数精细化配置

结合 25Hz 相敏轨道电路等关键设备的运行规律，开关量受继电器机械动作影响，状态跳变天然滞后于模拟量数值响应。针对该固有时延，系统配置固定时延补偿参数完成时序修正：以模拟量数值突变拐点为基准，按照预设时长延后开关量事件的显示时刻，并划定检索时间窗口完成两类信号特征点匹配，实现状态与曲线时序对齐。

同时在系统后台搭建参数集中配置模块，结合现场实测时差设置信号过滤、超限延时参数。针对轨道电路采集时序不同步问题，统一设置 3 s 超限延时，有效屏蔽轨道区段占用、出清瞬间的瞬时报警。

4.2.2 采集机制技术改造

针对全电子执行单元设备多通道采集导致的时序不同步问题，开展专项技术改造，保障全链路数据时序一致。在时序控制层面，重新规划采集时序架构，完成局部采集单元与轨道采集单元的时序同步优化，增强系统对数据动态变化的响应能力；在算法层面，对原有采样算法进行重构与精简，算法运行耗时减少超过 50%，大幅提升采样环节的运算效率；在数据传输层面，优化数据异动上传机制，缩短数据上报时延，从机理上削弱采样过程带来的多类型数据不同步问题。

4.3 天窗修状态全流程管控

优化系统天窗修管理模块，新增天窗结束后检修状态补录功能，以适应天窗时间调整、外单位临时作业等场景。运维人员可依据实际作业时间、作业范围精准补录天窗修状态，将非作业时段误报警转为天窗内正常运行记录。同时，建立天窗修状态双人复核机制：作业前严格核对作业计划与系统天窗修状态设置的一致性，作业后及时核销天窗状态，确保天窗设置与实际作业完全同步，从管理层面规避作业时段的无效报警。

4.4 优化报警处理机制

针对同一时间同一设备故障引发的大量衍生报警，结合信号设备的运行机理与故障传播特征，引入一种可动态配置的智能报警整合优化方法，建立多层级报警整合模型 [6]，并根据不同故障场景制定差异化处理策略。通过对故障连锁引发的衍生报警、同一工况下产生的同质化报警以及小幅参数波动造成的频繁超限报警进行统一压缩与归档处理，仅向运维界面推送具有诊断价值的核心报警信息。

在此基础上，搭建适配现场运维场景的可配置规则库，结合外电网、电源屏等核心设施的故障特征预设标准化整合规则。系统通过增设报警缓存队列与实时规则匹配机制，对实时上报的报警数据进行智能甄别与自动级联，并分层展示整合结果与故障关联关系，实现故障根源定位与影响范围追溯的可视化呈现。

5 结论与展望

CSM-KA 型信号集中监测系统是铁路电务运维体系的核心技术支撑，无效报警频发会大幅降低系统应用价值。本文结合现场运行数据，梳理出四类无效报警核心诱因，并从阈值配置、采集时序同步、运维管理、机制优化四个维度提出全面的优化策略。现场实践验证表明，该方案能够有效降低系统无效报警占比，削减冗余运维工作量，提升真实报警处置效率，为高原铁路信号设备的安全稳定运行及电务运维提质增效提供了可行的技术路径。

后续研究将深化人工智能技术与铁路信号监测领域的融合，持续优化智能诊断模型，构建集故障预警、隐患溯源于一体的一体化智能监测体系，全面提升铁路信号系统的智能化、精细化运维管控能力，为铁路运输安全高效运行提供更强有力的技术保障。

参考文献

[1] 国家铁路局.铁路信号集中监测系统技术条件: Q/CR 442-2020 [S]. 北京:中国铁道出版社有限公司,2020.

[2] 刘贺军,胡亚峰.铁路信号集中监测系统研究与应用现状[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(6):78-81.

[3] 王雪鹏.利用信号集中监测数据分析ZPW-2000A轨道电路故障方法[J].现代交通技术研究,2024,7(2):12-15.

[4] 吴卉.道岔动作电流曲线在转辙机故障诊断中的应用[J].铁路计算机应用，2024,33 (3):67-71.

[5] 杨世武.信号集中监测系统冗余报警过滤优化方案 [J].铁道通信信号,2022,58 (5):36-39.

[6] 傅荟瑾.基于智能算法的铁路信号监测异常报警优化研究 [J].铁道标准设计,2023,67 (9):142-146.