

Strategy analysis on the reliability of railway signal equipment

Yafeng Yu

Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034101, China

Abstract

Railway signal equipment is the key technical facilities to ensure the safe operation of trains and improve the transportation efficiency. However, in the research and development, operation and maintenance of railway signal equipment, reliability problems are still prominent, these problems will increase the operation cost, but also easy to bring potential safety risks. In the background of the expansion of railway transportation scale, accelerating the improvement of the reliability of signal equipment is bound to become the focus of the industry. This paper mainly starts from the reliability situation of railway signal equipment, analyzes the existing problems and discusses the optimization strategies, hoping to provide certain support for the reliability improvement of railway signal equipment, and lay a more solid foundation for the realization of the safety and efficiency of railway transportation.

Keywords

railway signaling equipment; reliability; strategy

关于铁路信号设备可靠性的策略分析

余亚峰

朔黄铁路发展有限责任公司, 中国 · 山西 忻州 034101

摘 要

铁路信号设备是保障列车安全运行、提升运输效率的关键技术设施,但是目前在铁路信号设备的研发、运行和维护过程中,可靠性问题仍然较为突出,这些问题会增加运营成本,还容易带来潜在的安全隐患。在铁路运输规模扩大的背景下,加快提升信号设备的可靠性必然成为行业关注的焦点。本文主要从铁路信号设备的可靠性现状出发,分析存在的问题并探讨优化策略,希望可以为铁路信号设备的可靠性提升提供一定的支持,为实现铁路运输的安全高效打下更加坚实的基础。

关键词

铁路信号设备; 可靠性; 策略

1 引言

铁路网络的扩展和列车运行密度的提升,信号设备的可靠性成为保障铁路系统稳定运行的关键因素,但是在实际运行中,信号设备会因技术老化、环境影响或维护不足而出现故障,威胁到列车运行的安全性。为了应对这些挑战,必须重视提高信号设备的可靠性。

2 铁路信号设备的定义与作用

铁路信号设备是铁路运输系统中用于控制列车运行、保障列车安全的技术装置。它的主要功能是传递信息和指令,协调列车与线路之间的关系,让列车按照规定的路径和速度运行。信号设备覆盖了列车运行的全过程,包括车站、区间、道岔及其他关键节点,它的应用贯穿铁路调度指挥、列车运行控制、故障应急处理多个方面,是铁路系统运行的中枢之一。从技术角度来看,铁路信号设备有车载设备

和地面设备两大类,车载设备主要指列车自动控制系统(如 ATP、ATO)及相关传感器,主要用于监测和调整列车运行状态,地面设备涵盖了信号机、轨道电路、联锁系统、列控中心等,主要负责向列车传递运行信息并对线路状态进行实时监控,注意二者的有机结合,让铁路信号系统可以做到列车间的动态隔离、运行调度和紧急制动的功能^[1]。

铁路信号设备的作用体现在以下几个方面。首先它是列车运行安全的基础,它会实时监控列车位置、速度和行驶方向,信号设备在发现异常时迅速发出警报或指令,避免列车追尾、侧撞等事故的发生。其次它可以提升铁路运输的运行效率,注意合理规划列车的运行路径和间隔,信号系统就能减少线路资源的浪费,增加铁路运输的通过能力。而且信号设备还为铁路系统的现代化提供了技术支持。在高铁及城市轨道交通领域,先进的信号设备如通信列车控制系统(CBTC)可以做到全自动化运行,这样就能大幅提高列车调度的精确性。

【作者简介】余亚峰(1994-),男,中国山西忻州人,本科,助理工程师,从事铁路信号设备维护工作。

3 我国铁路信号设备可靠性研究中出现的问题

3.1 可靠性规范很少且要求简单的问题

铁路信号设备的种类繁多,从基础的轨道电路到复杂的列车控制系统,每种设备的功能、工作环境和技术特点各不相同,但现行的可靠性规范采用通用性较强的描述,而没有针对不同设备类型制定精细化的可靠性要求,这就让设计单位和生产企业在研发阶段没有明确的目标和约束,会因规范的模糊性忽视某些关键环节,进而对设备的实际可靠性造成影响。要求简单的问题进一步加剧了规范的实际执行效果不足,一些现有标准仅对设备的平均无故障时间(MTBF)等基本指标作出笼统的规定,而未细化对故障模式、故障影响和维修策略的要求,这种“单一指标化”的规范形式容易让企业在实际设计和测试中为了满足表面指标而忽视其他关键因素。特别是在复杂系统中,单一指标无法全面反映设备的可靠性特性,掩盖潜在的系统性问题,从而增加设备在实际运行中的故障风险。

3.2 用于状态评估的可靠性模型和具体实际不符的问题分析

可靠性模型的构建依赖于理想化的假设条件,尤其是常用的指数分布模型假定故障发生是完全随机的,且设备的故障率在整个生命周期内保持恒定,但是在实际运行中,铁路信号设备的故障分布受到多种因素的影响如环境条件、运行负荷以及维护策略,特别是在长期使用的设备中,故障率呈现先上升后下降的趋势而非恒定不变,要是模型没有考虑这些实际情况,那么评估结果低估设备的潜在风险,无法为决策提供可靠依据。在我国铁路信号设备的状态评估中,数据采集和处理存在不足,比如一些关键设备的运行数据因采集手段落后或记录不完整而存在偏差,同时数据分析过程中也没有及时对异常数据的筛选和校正,这会让评估模型的输入参数失真^[2]。

3.3 可靠性指标不完善的问题分析

铁路信号设备的运行状态复杂多变,其可靠性与设备的本体性能相关,还受到外部环境和长期运行状态的影响,但因为目前的可靠性指标体系更多关注设备初始性能如平均无故障时间(MTBF)和平均修复时间(MTTR),但是对设备运行中的动态特性如性能退化速率或是短期故障趋势关注较少,这种静态指标为主的评价方式无法反映设备的实际可靠性,尤其在高密度运行的线路中,动态特性的缺失会让潜在风险受到忽视。此外,铁路信号设备的可靠性评价涉及多个层面,从单一设备的性能评估到整个系统的综合可靠性分析,每个层面都要明确的指标支撑,然而在现有体系中时常出现单一指标难以兼顾不同层次需求的情况,尤其是设备级指标与系统级指标之间的衔接不够紧密,就会让设备可靠性较高时,系统可靠性仍因交互问题而降低。

4 提高铁路信号设备可靠性的策略

4.1 制定科学的铁路可靠性标准

在标准制定过程中注意对设备全生命周期的每个环节进行系统性分析,明确各阶段出现的可靠性问题,并据此提出针对性的技术要求,因此要求在设计阶段会失效模式分析和风险评估方法确定设备的潜在薄弱环节,在设计初期对关键技术参数进行优化,在生产阶段又要注意对生产工艺和质量控制环节提出具体的可靠性要求,让设备性能的一致性得到保障,在测试阶段应建立科学的试验规范,对设备的性能指标进行严格验证,从而暴露潜在故障模式,等到了运行和维护阶段,注意结合设备的实际使用环境和运行条件设定合理的可靠性评价指标和检修策略,通过覆盖全生命周期的规范设计,做好可靠性标准对设备性能的全面指导。因为铁路信号设备由多个子系统和部件组成,所以要求可靠性标准的制定要从系统角度出发,综合分析设备的整体性能表现,尤其是需要结合系统建模的方法建立信号设备的可靠性框图或故障树,分析系统各部分之间的相互关系及其对整体可靠性的影响。在此基础上再针对系统中的关键部件和薄弱环节提出具体的可靠性要求,从而提高设备整体的性能水平。在制定标准时还需注重不同设备之间的兼容性,避免因设备间的接口问题或性能差异导致系统可靠性降低,同时应针对设备面临的环境变化和负荷波动提出动态可靠性要求,例如设定设备在极端气候条件下的工作性能指标或规定设备在高频使用情况下的性能衰减限值,这种系统性和动态性的标准设计可以更真实地反映铁路信号设备的实际运行状况,从而提升标准的实用性。在制定可靠性标准时,要认识到铁路信号设备的可靠性评估高度依赖于实际运行数据,这就要求在标准制定过程中建立完善的数据采集和分析机制,让所用数据能够全面反映设备的性能状态。^[3]

4.2 选择科学的可靠性模型

信号设备的运行具有高度复杂性,其故障分布受到多种因素的综合影响,这要求在选择可靠性模型时分析设备在不同阶段的性能变化,对于生命周期较短、故障概率较为恒定的设备,可以选择简单的指数分布模型来描述其可靠性特性而对于生命周期较长、故障率随时间变化的设备,就要及时采用更复杂的非恒定模型如泊松过程模型,以便更加真实地反映故障发生的动态规律,在选择模型的过程中明确设备的故障特性是第一步,注意对设备的运行数据和历史故障记录进行分析,这样才能可以为模型选择提供支持。

4.3 构建系统的可靠性指标体系

在设计指标体系时要注意考虑设备的运行模式和潜在故障类型,注意分析设备的故障模式、故障原因和故障影响,找准不同指标对设备可靠性评估的意义,例如将故障发生频率、故障持续时间和故障影响范围作为基础指标,注意统计分析设备运行中的关键数据,量化其可靠性表现,同时应针

对设备运行过程中出现的特定问题设计针对性的评估指标,例如设备在高频操作、恶劣环境或极端负荷条件下的性能表现指标,从而为可靠性提升奠定基础。在构建可靠性指标体系时注重指标之间的层次性和逻辑关联性,要求指标体系按照层次结构划分为设备级、系统级和网络级三个层面,在设备级层面重点分析单个设备的基本性能指标如平均无故障时间(MTBF)、平均修复时间(MTTR)等,在系统级层面又要关注设备之间的交互关系和系统整体性能,在这一过程中,指标之间的逻辑关联性要注意通过明确指标间的相互关系,来做好从单一设备性能到系统整体表现的全面评估,例如建立单个设备故障对系统可靠性影响的量化模型,以此来分析设备级指标与系统级指标之间的转换关系,从而在指标体系中实现上下层次的有机衔接。值得注意的是,可靠性指标体系的设计不能一成不变,而是需要根据实际运行条件和设备性能的动态变化进行调整,因此要注意通过实时监测设备的运行状态和故障数据来分析指标的适用性,并根据数据分析结果对指标体系进行优化更新,同时注重指标的可操作性和量化表达,不要出现过于复杂或抽象的指标无法在实际应用中实施^[4]。

4.4 研制适合的铁路行业的可靠性分析软件

铁路信号设备作为保障列车运行安全的关键设施,它的可靠性分析要覆盖设备设计、生产、测试、运行和维护等全生命周期的关键环节,因此软件开发应以全面的可靠性需求分析为起点,考虑设备在不同阶段的性能表现和故障特征,在设计阶段要利用软件实现设备的可靠性预测和失效模式分析,在运行阶段,软件也要具备实时监测和故障诊断功能,到了维护阶段,应该注意支持设备寿命评估和优化检修策略,利用这种全生命周期的覆盖性设计,来让软件在铁路行业的实际应用中具备较高的适应性。在明确可靠性需求的基础上,研制可靠性分析软件要重点关注数据处理能力和算法设计的科学性。

4.5 加强地面信号设备可靠性建设

信号设备的设计阶段应严格遵循铁路行业标准,对关键部件进行强化设计,增加系统的抗干扰能力,选材上应优先选择耐腐蚀、抗氧化和高强度的材料,减少设备因自然环境影响而出现性能下降的可能性,生产环节中应实施严格

的质量检验程序,利用精密加工技术提升设备的整体精度,设备在使用过程中要注意增加智能化监测功能,结合数据采集与分析及时发现设备运行中的异常状况,降低故障发生的几率,例如应用物联网技术构建地面信号设备的实时监控网络,将运行数据上传至后台系统,结合智能算法分析判断设备状态为维护人员提供精准的预警信息,从而及时排查和处理潜在问题。在日常管理中应建立全面的设备档案系统,记录设备的安装位置、运行参数、维修记录的信息,这种信息化的管理方式可以做到设备状态的全生命周期追踪,还可为设备故障的根因分析提供数据支持,此外还应制定科学的维护计划,对地面信号设备实施分级管理,将设备分为关键设备和普通设备,按照其重要性制定不同的巡检频率和维护措施,尤其是对于涉及列车运行安全的关键设备应增加巡检频率,并通过专业工具进行定量检测,普通设备要注意采用常规检测手段,在设备管理过程中强化责任追溯机制,对设备的每一次维护操作做好记录,明确责任人和完成情况,从而避免因管理不善导致的问题。

5 结语

综上所述,铁路信号设备的可靠性是保障铁路系统安全、高效运行的基础,注意分析现存问题,抓住可靠性管理的重点领域,并从标准制定、模型选择、指标构建和技术工具开发方面提出系统化策略,以此来应对设备运行中的挑战。在研究发展中还需进一步加强理论与实际的结合,继续加快完善技术手段和管理模式,从而适应铁路运输日益复杂的需求。同时应强化数据驱动和智能化方向的探索,为设备可靠性提升提供更精准的解决方案。

参考文献

- [1] 张长福.铁路综合维修中信号设备故障诊断技术的研究与应用[J].高科技与产业化,2024,30(09):79-80.
- [2] 曹文帅.极端天气条件下铁路信号系统的稳定性研究[J].当代矿工,2024,(06):27-29.
- [3] 韩昶.铁路信号设备的可靠性设计与维护策略研究[J].运输经理世界,2023,(35):166-168.
- [4] 赵嘉兴.铁路信号设备可靠性研究[J].中国设备工程,2021(21):81-82.