

# 轨道交通信号常见故障诊断方法研究

李海涛

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

**摘要:** 轨道交通信号系统集成多要素于一体, 核心功能保障列车精准管控与安全隔离。故障诊断至关重要, 关乎运行安全、效率与成本。常见故障有信号传输、硬件设备、软件逻辑、联锁逻辑故障, 诱因多样。诊断方法有信号分析、硬件检测、软件诊断、智能监测。科学诊断效益显著, 但面临故障复杂、隐性难查等挑战, 需从技术、系统、人员等方面应对。

**关键词:** 轨道交通信号; 故障诊断; 信号分析; 智能监测

引言: 轨道交通作为城市交通的关键脉络, 其信号系统集成硬件、软件与通信网络于一体, 对列车运行管控和安全保障至关重要。然而, 信号系统结构复杂, 故障类型多样, 从信号传输到联锁逻辑, 各类故障诱因不一。准确诊断故障是运维管理核心, 关乎运行安全、效率与成本。当下, 虽有多种诊断方法, 但实际应用仍面临故障复杂、隐性故障难查等诸多挑战。深入探讨信号故障诊断意义重大。

## 1 轨道交通信号系统的核心功能与故障诊断的重要性

轨道交通信号系统是一个集硬件设备、软件程序、通信网络于一体的复杂技术系统, 其核心功能包括列车定位与测速、行车进路控制、信号显示与传输、安全防护联锁等, 通过各功能模块的协同工作, 实现对列车运行的全程精准管控, 确保列车之间、列车与设备之间的安全隔离。

故障诊断作为轨道交通信号系统运维管理的核心环节, 其重要性主要体现在三个方面: (1) 保障运行安全, 信号故障是引发轨道交通运营事故的主要诱因之一, 快速准确的故障诊断能够及时排查安全隐患, 避免故障扩大导致列车碰撞、脱轨等恶性事故; (2) 提升运营效率, 信号故障会直接导致列车运行中断或降速, 高效的故障诊断可缩短故障修复时间, 减少停运、晚点带来的运输损失, 保障客流运输顺畅; (3) 降低运维成本, 通过精准诊断定位故障根源, 可避免盲目检修造成的人力、物力、财力浪费, 延长设备使用寿命, 优化运维资源配置。因此, 构建高效、精准的故障诊断体系, 是轨道交通信号系统运维管理的核心任务, 对提升轨道交通运营的安全性、可靠性与经济性具有重要意义<sup>[1]</sup>。

## 2 轨道交通信号常见故障类型及诱因分析

轨道交通信号系统结构复杂, 故障类型多样, 根据故障发生的部位与性质, 可划分为以下四类常见故障, 其产

生诱因与表现形式各有差异。

### 2.1 信号传输故障

信号传输故障是指信号在传输过程中因各种因素导致的信号失真、中断或延迟, 主要发生在轨道电路、通信线路、无线传输设备等环节。其核心诱因包括: (1) 传输介质损坏, 轨道电路钢轨断裂、通信电缆老化破损、光纤链路中断等, 导致信号无法正常传输; (2) 电磁干扰, 轨道交通沿线的电力设备、无线通信设备等产生的电磁辐射, 会干扰信号传输质量, 导致信号误码、丢包; (3) 传输设备故障, 信号发射器、接收器、放大器等设备性能衰减或损坏, 影响信号传输效率与稳定性; (4) 网络配置异常, 通信网络拓扑结构不合理、路由配置错误等, 导致信号传输路径不畅。

### 2.2 硬件设备故障

硬件设备故障是指信号系统中的各类物理设备因磨损、老化、损坏等导致的功能失效, 涵盖信号机、转辙机、应答器、车载设备、地面控制设备等。其主要诱因包括: (1) 设备老化与磨损, 长期运行导致设备零部件疲劳、磨损, 性能逐渐下降直至失效, 如转辙机电机磨损、信号机灯泡烧毁等; (2) 环境因素影响, 轨道交通运营环境复杂, 高温、潮湿、粉尘、振动等恶劣条件会加速设备老化, 导致电路板短路、机械部件卡阻; (3) 安装与维护不当, 设备安装精度不足、接线错误、维护保养不及时, 会引发设备运行异常; (4) 质量缺陷, 设备生产过程中的原材料不合格、工艺缺陷等, 导致设备在使用过程中易出现故障。

### 2.3 软件逻辑故障

软件逻辑故障是指信号系统中的控制软件、操作系统、应用程序等因程序漏洞、逻辑错误、参数配置不当等导致的功能异常, 主要发生在车载控制器、地面区域控制器、中央控制中心等核心控制单元。其产生诱因包

括：（1）程序设计缺陷，软件开发过程中存在逻辑漏洞、代码错误，导致软件运行时出现死循环、指令冲突等问题；（2）参数配置错误，信号系统的安全参数、控制参数等配置不当，与实际运行需求不匹配，导致控制逻辑异常；（3）软件版本不兼容，系统升级过程中不同模块的软件版本不匹配，或新软件与硬件设备不兼容，引发功能冲突；（4）数据异常，软件运行所需的基础数据丢失、错误或更新不及时，导致逻辑判断失误<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 联锁逻辑故障

联锁逻辑故障是指信号系统中各设备之间的安全联锁关系失效，导致行车安全无法得到保障，是轨道交通信号系统中危害程度较高的一类故障。其主要诱因包括：（1）联锁程序错误，联锁软件的逻辑设计不符合安全规范，导致设备之间的联锁关系紊乱；（2）联锁参数配置错误，如进路联锁条件设置不当、安全距离参数错误等，导致联锁逻辑失效；（3）设备状态反馈异常，设备状态检测传感器故障，导致联锁系统接收的设备状态信息失真，进而做出错误的联锁判断；（4）外部干扰，电磁干扰、数据传输错误等导致联锁系统接收虚假信号，引发联锁逻辑误动作。

### 3 轨道交通信号故障诊断的核心方法

#### 3.1 基于信号分析的诊断方法

基于信号分析的诊断方法是通过采集信号系统的输出信号，对信号的时域、频域、时域-频域特征进行分析，判断信号是否异常，进而定位故障。其核心原理是正常运行状态下的信号具有稳定的特征规律，故障发生时信号特征会发生显著变化。

该方法主要包括：（1）时域分析，通过分析信号的幅值、峰值、均值、方差等时域参数，识别信号的异常波动，如通过检测轨道电路接收信号的幅值变化，判断轨道电路是否短路或断路；（2）频域分析，利用傅里叶变换等数学工具，将时域信号转换为频域信号，分析信号的频率成分，识别因设备故障导致的特征频率变化，如通过分析转辙机电机的振动频率，判断电机是否磨损；（3）时频分析，结合时域与频域分析的优势，通过小波变换、短时傅里叶变换等方法，捕捉信号的非平稳特征，适用于诊断非线性、非平稳的故障信号。该方法的优点是诊断速度快、实时性强，可实现故障的在线监测，但对复杂故障的定位精度有限，需结合其他方法使用。

#### 3.2 基于硬件检测的诊断方法

基于硬件检测的诊断方法是通过信号系统的硬件设备进行直接检测、测试，判断设备是否正常工作，主要包括外观检查、参数测量、性能测试等手段。

具体诊断方式包括：（1）外观检查，通过目视、手触等方式，检查设备的外观是否完好、接线是否松动、零部件是否齐全，快速排查明显的硬件故障；（2）参数测量，使用万用表、示波器、频谱分析仪等专业仪器，测量设备的电压、电流、电阻、信号波形等参数，与标准参数对比，判断设备性能是否正常；（3）性能测试，通过模拟设备的运行环境，测试设备的响应速度、动作精度、稳定性等性能指标，如对转辙机进行动作试验，检测其转换时间与到位精度；（4）替换测试，将疑似故障的设备或零部件替换为正常设备，观察系统运行状态是否恢复，进而确认故障部位。该方法的优点是诊断结果直观、准确，适用于排查明确的硬件故障，但对隐性故障的检测能力不足，且耗时较长<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 基于软件诊断的方法

基于软件诊断的方法是通过信号系统的软件程序、数据、日志等进行分析，识别软件逻辑错误、参数配置异常等问题，主要包括日志分析、程序调试、数据校验等手段。

其核心流程包括：（1）日志分析，采集软件运行过程中的操作日志、错误日志、告警日志等，分析日志中的异常信息，定位软件故障发生的时间、位置与原因；（2）程序调试，利用调试工具对软件程序进行跟踪运行，检查代码执行流程是否符合设计逻辑，识别程序中的漏洞与错误；（3）数据校验，对软件运行所需的配置参数、基础数据等进行校验，排查数据错误、缺失等问题；（4）仿真测试，构建软件仿真环境，模拟不同运行场景，测试软件的逻辑正确性与稳定性，识别潜在的软件故障。该方法适用于诊断软件逻辑故障与参数配置错误，但对诊断人员的专业技术要求较高，且难以诊断硬件与软件交互引发的故障。

#### 3.4 基于智能监测的诊断方法

基于智能监测的诊断方法是借助人工智能、大数据、物联网等技术，构建智能化的故障诊断系统，实现故障的自动识别、预警与定位，是近年来轨道交通信号故障诊断的发展方向。

其主要技术路径包括：（1）传感器网络监测，在信号系统的关键设备与部位部署温度、湿度、振动、电流等各类传感器，实时采集设备运行状态数据；（2）数据融合分析，通过大数据技术对多源传感器数据、设备日志数据、运维数据等进行融合处理，挖掘数据中的异常特征；（3）智能算法诊断，运用机器学习、深度学习等算法，构建故障诊断模型，通过训练样本数据使模型具备故障识别能力，能够自动识别不同类型的故障；（4）远

程监控与预警,通过物联网技术实现对信号系统的远程实时监控,当监测到异常数据时,及时发出告警信息,提醒运维人员采取措施。该方法的优势是诊断效率高、定位精准,可实现故障的提前预警,但系统建设成本较高,对数据质量与算法模型的可靠性要求严格。

#### 4 轨道交通信号故障诊断的实践效益与挑战

##### 4.1 实践效益分析

科学有效的信号故障诊断方法在轨道交通运营中能够产生显著的安全效益、经济效益与运营效益。在安全效益方面,通过快速精准的故障诊断,可及时排查安全隐患,避免故障引发的列车碰撞、脱轨等安全事故,保障乘客生命财产安全;在经济效益方面,精准定位故障根源可减少盲目检修带来的人力、物力浪费,缩短故障修复时间,降低因停运、晚点造成的经济损失,同时延长设备使用寿命,优化运维成本结构;在运营效益方面,故障诊断的高性能能够保障信号系统的稳定运行,减少列车运行中断次数,提升列车正点率与运输效率,改善乘客出行体验,增强轨道交通的竞争力。

##### 4.2 主要实践挑战

尽管轨道交通信号故障诊断技术不断发展,但在实际应用中仍面临诸多挑战。(1)故障复杂性提升,随着信号系统向智能化、网络化方向发展,系统结构日益复杂,各模块之间的关联性增强,单一故障可能引发连锁反应,导致故障定位难度加大;(2)隐性故障诊断困难,部分故障具有隐蔽性、间歇性特征,在正常运行状态下难以被发现,仅在特定条件下才会显现,传统诊断方法难以捕捉;(3)多源干扰影响诊断精度,轨道交通运营环境中的电磁干扰、环境噪声等因素,会导致监测数据失真,影响诊断结果的准确性;(4)诊断技术与设备适配性不足,部分先进的诊断技术与老旧信号设备不兼容,难以充分发挥其诊断效能;五是运维人员能力不足,智能诊断技术的应用对运维人员的专业知识、操作技能提出了更高要求,现有人员的技术水平难以满足实际需求。

##### 4.3 挑战应对思路

针对上述挑战,需从技术优化、系统建设、人员培养等方面采取应对措施。(1)提升诊断技术的适应性,结合信号系统的技术特点,研发针对性强的诊断方法与设备,加强不同诊断技术的融合应用,提高复杂故障与隐性故障的诊断能力;(2)构建一体化诊断平台,整合传感器网络、数据传输网络、智能诊断算法等资源,实现故障数据的集中采集、分析与诊断,提升诊断效率与精准度;(3)加强抗干扰技术研发,采用屏蔽、滤波、接地等抗干扰措施,减少外部干扰对监测数据与诊断结果的影响;(4)推进诊断技术与设备的协同升级,在信号系统升级改造过程中,同步更新诊断设备与技术,确保二者适配性;五是加强运维人员培训,建立常态化的培训机制,提升运维人员的专业知识、操作技能与故障分析能力,使其能够熟练运用各类诊断技术与设备<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

轨道交通信号系统故障诊断是保障轨道交通安全、高效运行的关键环节。科学有效的故障诊断方法能带来显著安全、经济与运营效益,但实际应用中面临故障复杂、隐性故障难诊断、多源干扰、技术与设备适配性不足及运维人员能力欠缺等挑战。未来,需从多方面发力应对挑战,提升诊断技术适应性,构建一体化诊断平台,加强抗干扰技术研发,推进诊断技术与设备协同升级,强化运维人员培训。通过这些举措,构建更高效、精准的故障诊断体系,为轨道交通稳定运行提供坚实保障,推动轨道交通行业高质量发展。

#### 参考文献

- [1]刘昌录.轨道交通信号设备的维护与故障排除实践[J].经济师,2024,(08):288-289.
- [2]赵磊.轨道交通信号设备的故障定位方法研究[J].交通与运输,2024,40(04):64-68.
- [3]刘泓麟,吴云飞.一种轨道交通信号设备的物理式故障监控装置[J].信息记录材料,2023,24(01):17-19.
- [4]朱卫斌,林鹏程.城市轨道交通信号系统中的电源设计与故障对策分析[J].电子技术,2024,53(01):340-341.