

地铁核心信号设备常见故障分析与应对策略

孙小寒

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

摘要: 随着我国城市化进程的不断加速与深化,地铁作为城市公共交通体系的骨干与命脉,其运营的安全、准点与高效至关重要。信号系统作为地铁的“神经中枢”,指挥着列车的安全运行,其设备的可靠性直接关系到整个线路的运营秩序。本文重点探讨正线信号系统中信号机、道岔与计轴设备三类核心设备的常见故障现象,从电气、机械、环境及人为等多维度分析故障成因,并提出集快速诊断、应急处置与预防性维护于一体的综合策略,以提升设备可靠性,为地铁安全运营提供理论参考与实践指导。

关键词: 地铁信号; 故障分析; 应对策略; 信号机; 道岔; 计轴

引言

地铁信号系统是一个技术密集、结构复杂的实时控制系统^[1],它通过联锁、列车自动运行(Automatic Train Operation, ATO)、列车自动监控(Automatic Train Supervision, ATS)、列车自动防护(Automatic Train Protection, ATP)等子系统,共同确保列车的安全间隔、进路的正确排列与列车的高效调度。在众多信号设备中,信号机、道岔和计轴设备因其功能关键、分布广泛且工况复杂,成为故障的高发点^[2]。

信号机负责向司机传递行车指令,其显示状态直接指挥列车运行;道岔是线路连接与转换的关键机构,其状态决定了列车的行进路径^[3];计轴设备则用于检测轨道区段的占用与出清状态,是构成闭塞原理的基础。然而,由于这些设备长期暴露于振动、粉尘、温湿度变化、电磁干扰等复杂的现场环境中,且处于不间断的运行或待命状态,其可靠性面临着严峻考验^[4]。任何单一设备的偶发故障,都可能引发一系列的连锁反应:从轻微的列车晚点、清客待命,到严重的区间迫停、运营中断,甚至可能构成潜在的安全风险,对社会公共安全与城市运行秩序造成重大影响。

因此,对这三类设备的故障模式进行系统性的归纳总结,并建立科学、高效的应对策略体系,是地铁信号维护工作的核心任务。本文将从实际应用出发,结合设备原理与现场维护经验,对上述问题进行深入阐述。

1 信号机故障分析与处理

1.1 故障现象与诊断

现代地铁普遍采用高亮度、低功耗、长寿命的LED信号机,其故障在本地操作员工作站(Local Operator Workstation, LOW)上通常表现为信号机机头红色闪烁,并伴随特定的报警文本,如“S0:灯故障;K0:X灯”通

常指示单个灯位的光源或驱动电路异常;“S22:芯线接点或电路板出现故障;K0:X灯”则可能指向更深层次的控制单元或线路连接问题。从故障发生的物理位置与层级来看,可将其清晰地划分为室内故障与室外故障两大类。

室内故障: 主要指控制机柜内的信号机控制板(如SOM板)死机、程序异常或通信中断。其典型特征是控制板状态指示灯异常(如ERR红灯点亮),在终端架测量无点灯电压送出。

室外故障: 包括信号机变压器、LED发光盘、电缆线路及防雷模块等部件的故障。其特征是室内送出电压正常,但室外设备无法正常点亮。

1.2 故障成因深度分析

信号机故障成因可从四个层面深入分析:控制板件异常,长期运行可能导致软件出错、硬件老化或通信堵塞;点灯单元与发光盘故障,LED发光盘或其驱动电路损坏是灯位故障的直接原因,电流检测模块遇异常会触发报警;线路与连接问题,电缆损伤、端子松动或防雷模块损坏均可导致电路中断;电源问题,外部供电不稳或丢失会使设备整体失效。

1.3 系统化应对策略

1.3.1 快速诊断流程

维护人员接到报警后,应首先在LOW上确认故障现象与报警信息。随后,遵循“由内及外”的原则:

室内检查: 查看对应控制板状态,若异常,优先尝试重启板件。若重启无效,则更换板件。若板件正常,立即在室内终端架测量通往故障信号机的点灯电压。

电压测量判断: 若终端架无电压送出,故障点在于终端架至控制板之间。若电压已正常送出,则故障在室外。

室外排查: 在室外信号机箱内,测量变压器一次侧电压。若正常,再测二次侧电压。若一次侧异常,检查

箱内防雷、配线；若一次侧正常而二次侧异常，更换变压器；若二次侧电压正常，则更换LED发光盘。

1.3.2 维护优化策略

预防性维护：定期对控制板件进行除尘、紧固接线；利用夜间停运检修时段，使用便携式测试设备对LED信号机的各项电气参数进行抽检，提前发现衰变器件；**备件管理：**针对SOM控制板、LED发光盘、变压器、防雷模块等易损件，建立合理的备件库存，确保故障能及时更换；**人员培训：**强化维护人员的故障树分析能力，使其能根据报警信息快速定位故障范围，提升应急处置效率。

2 道岔故障分析与处理

2.1 故障现象与分类

道岔故障在本地LOW上主要表现为“短闪”与“长闪”两种状态。短闪：通常表示道岔转换未到位。报警信息常为“ECC通道冗余故障，电路板失效”或“A/B机左/右位未转到位”，此故障直接影响进路排列。长闪：表示道岔处于“挤岔”状态，即尖轨与基本轨之间夹有异物或因机械问题导致表示杆无法到达预定位置，联锁系统判定为不安全状态，报警内容一般为：“xx道岔挤岔”，其故障直接影响列车运营，故障影响比较大。

2.2 故障成因深度分析

2.2.1 电气故障：

控制板故障：道岔控制板（如POM板）故障，无法发出或接收正确的控制与表示信号。

线路故障：在ZDJ9六线制道岔中，控制电路（X4,X5线）或表示电路（X1,X2,X3,X6线）的电缆断线、短路或绝缘不良。

电源故障：驱动转辙机的三相交流电源缺失或不平衡。

2.2.2 机械故障：

卡阻现象：尖轨与基本轨间存在异物或滑床板油泥过多。

卡缺口：表示杆的缺口因震动等原因发生变化，导致检查柱无法落入缺口，表示接点无法接通。

密贴不良：尖轨与基本轨的密贴程度过紧或过松，不符合“2mm锁闭，4mm不锁闭”的技术标准。

2.2.3 环境影响：

雨雪天气导致结冰，温度变化引起部件形变。

2.3 系统化应对策略

2.3.1 分步处理流程

信号正线班组人员接到道岔报修电话，应立刻到站务车控室询问车站值班人员故障发生时及故障发生时列车运行状态，故障现象确认。

第一对于短闪故障：

初步操作：向行调要权来回调动道岔，观察其转换过程。若能转换到另一位置，则故障多为室外机械原因；若完全不能转换，则重点检查室内。

室内排查：检查终端架至室外的电缆接口及防雷单元，检查POM板状态指示灯，异常则重启或更换。

室外排查：清理滑床板及尖轨区域的所有异物；检查所有杆件是否平直、连接销是否完好；测量调整道岔的开程和密贴情况；检查转辙机内部的动作杆、表示杆、摩擦连接器及自动开闭器接点的工作状态。

第二对于长闪故障：

优先操作：在确认现场无列车占用且安全的前提下，于控制界面尝试执行“挤岔恢复”命令。

电气检查：若恢复无效，检查POM板，并测量表示回路电压，以区分室内外故障。

室外检查：重点检查道岔安装装置、外部杆件有无明显弯曲或断裂。打开转辙机机盖，检查内部的保持连接器是否因异常外力而脱开（这是挤岔的典型特征）。若确认发生挤岔并导致机械部件损坏，通常需要直接更换整套转辙机，并对其安装基础进行复测校正。

2.3.2 维护优化策略

加强日常巡检，建立定期巡检制度，检查设备外观、监听转辙机声音、测试密贴缺口；推行状态修，利用微机监测系统，智能分析道岔动作电流曲线的形态与峰值，预警机械卡阻或摩擦力变化趋势；完善应急工具包，为工班配备标准化工具包，内含转辙机钥匙、扳手、检查锤及万用表等，确保应急时齐全可用。

3 计轴设备故障分析与处理

3.1 故障现象与影响

计轴设备通过磁头传感器检测车轮以判断轨道区段占用状态。其故障主要表现为：区段编号呈红色闪烁；区段出现异常的“占用”状态（俗称“红光带”，或异常的“空闲”状态，在某些系统中显示为“紫光带”）。此类故障将导致后续列车无法正常接收移动授权，可能触发紧急制动或迫使降级为限制人工模式运行，严重降低线路通过能力。

3.2 故障成因深度分析

磁头受到干扰：这是计轴设备故障中最常见、最频繁的原因。轨道旁的金属杂物（如器具、铝制罐子）、施工遗留物、或大风刮来的金属箔片，经过磁头时会扰动其电磁场，产生错误的轮轴计数。

磁头本身故障：磁头安装松动、下沉或电气特性劣化。

板件故障：计轴控制板件（如INOM板）死机、程序错误或硬件芯片损坏，将无法正确处理磁头传送来的轮轴信号，导致逻辑运算错误。

电缆与连接故障：电缆断线、短路或接头松动。

电源故障：为计轴机柜供电的电源模块发生故障，输出不稳或中断，导致整个计轴子系统无法正常工作。

3.3 系统化应对策略

3.3.1 标准处理流程

初步判断与复位：接到故障报告后，首先询问行车调度员及相关部门，确认故障区段近期或当前是否有外单位施工、作业或异常情况，初步判断为外部干扰的可能性。随后，在LOW上对故障区段执行“预复位”操作。这是一种逻辑清零操作，旨在清除计轴器的错误计数。

观察与验证：预复位后，等待下一趟列车正常驶过该区段。若列车轮轴能正常“擦除”区段占用状态，则证明是瞬时干扰，故障已恢复。

深入排查：若预复位后区段依然异常占用，或复位后很快再次异常，则需进行硬件排查：（1）室内检查，检查计轴机柜内电源模块的输入输出电压是否正常；观察INOM板等核心板卡的状态指示灯，若异常则尝试重启或更换；（2）室外检查，若室内板件正常，故障点很可能在室外磁头。需在维修期间检查磁头安装是否牢固、外观有无损坏、接线是否完好，并使用万用表、计轴调整板等工具测量其电气参数和安装高度（通常要求轨面上37-45mm）。对不合格的磁头进行更换。

3.3.2 维护优化策略

为提升计轴设备可靠性，建议实施以下三项核心措施：

第一：建立跨专业施工协同机制

与工建、供电等部门建立强制性信息通报流程。任何在设备附近的施工（如打磨钢轨、敷设电缆）必须提前通知信号部门，以便采取防护措施或现场盯控。

第二：强制执行安装工艺标准

将磁头安装与更换作业标准化、流程化。必须使用专用调整工具与精密量具，确保磁头水平度、中心距及安装高度等关键尺寸控制在毫米级精度，以保障系统抗干扰能力。

第三：推行基于数据的预测性维护

建立故障数据库，重点标记并分析重复发生“软故障”的区段。对短期内多次需预复位的区段，应视为磁头劣化或存在隐性安装问题的征兆，果断安排计划性更换或整治，从而预防故障升级，保障运营安全。

4 综合应对策略与未来展望

前述章节已针对三类设备提出了具体策略，但从系统层面，还需建立综合性的保障体系。

4.1 构建系统化的故障处理体系

该体系包括三大支柱：一是流程标准化，制定图文

并茂的故障处理作业指导书，确保维护人员按统一标准操作；二是管理信息化，利用维护支持系统集成故障报警、历史记录及备件库存等信息，为快速决策提供数据支撑；三是应急协同化，明确信号专业与车辆、站台门等相邻专业的接口职责，建立高效的联动应急机制。

4.2 强化预防性维护与状态修

需彻底转变被动“故障修”模式，坚定转向“预防修”与“状态修”。依托微机监测系统对全线设备状态进行不间断监控，通过对电源电压、电流曲线、温度及通信状态等海量数据的智能分析，预测设备寿命与故障风险，从而实现精准维修，将故障消除在发生之前。

4.3 展望：迈向智能运维

随着物联网、大数据、人工智能及数字孪生技术的成熟，地铁信号系统运维正迈向智能化。未来可构建统一的“信号设备智能运维平台”，实现三大愿景：

一是故障预测与健康监测，利用机器学习分析数据，实现隐性故障的早期预警与精准诊断，变“事后维修”为“事前预测”。

二是自动化与无人化巡检，借助机器人、无人机及固定传感器自动识别设备状态，提升巡检效率与质量。

三是维修决策与资源调度智能化，平台依据预测自动生成工单并智能调度资源，实现维修流程全局优化，提升运维效率与效益。

5 结论

地铁信号机、道岔及计轴设备的稳定运行是保障地铁安全高效运营的关键。本文系统分析了上述核心设备的常见故障及成因，提出了融合快速诊断与长效预防的全流程策略。仅依赖故障后的应急抢修效率低且被动，必须将精准高效的应急处置与科学前瞻的预防性维护体系深度结合，并积极利用大数据、人工智能等技术，推动运维向智能化、智慧化转型升级，通过构建具备预警与自愈能力的现代化安全屏障，可从根本上提升设备可靠性，从而确保为市民提供更安全、准点、舒适的地铁出行服务，支撑城市可持续发展。

参考文献

- [1]覃燕.铁路信号基础[M].中国铁道出版社:201709:452.
- [2]张娟,邓瑛.地铁信号系统维护管理策略[J].网络安全技术与应用,2022,(01):111-112.
- [3]张德帅.基于动作电流数据的地铁道岔设备智能故障诊断方法研究[D].北京交通大学,2022.DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2022.002722.
- [4]田文礼,马学霞,谢志明.计轴室外干扰故障的分析与解决方案[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(03):72-76.