

受电弓碳滑板异常磨耗的原因分析与对策

邢景明

中建(天津)轨道交通投资发展有限公司 天津市 300404

摘要: 在城市轨道交通持续扩展的背景下,受电弓碳滑板承受的磨耗压力呈现出阶段性变化趋势,出现结构性失衡。本文以典型线路数据为基础,分析了受电弓碳滑板异常磨耗的原因,提出了精准建账闭环监测、材质对比择优换型、算法预警气候联动、路径筛选错峰运行的改进路径,旨在建立磨耗趋势函数与路径权重评估模型,搭建动态调控机制,明确运维策略转向预测主导,为碳滑板寿命管理提供系统化的新路径。

关键词: 受电弓碳滑板;异常磨耗;原因分析;改进对策

1. 引言

受电弓是城市轨道交通列车从接触网中获取电能的关键部件,其运行状态直接关系到列车运行的连续性。而碳滑板是受电弓接触受流系统中的关键部件,承担电流传导功能,在列车长时间运行过程中极易出现磨耗现象。随着列车运行速度的提高,弓网系统承受的动态负荷持续增大,磨耗行为呈现出更强的复杂性。因此,准确探明异常磨耗的成因有助于保障列车运行安全、延长设备寿命。

2. 受电弓碳滑板异常磨耗的原因分析

2.1 接触网因素

受电弓碳滑板的异常磨耗关系到接触网结构的稳定性。接触网是列车供电系统的关键组成部分,其结构设计直接影响弓网间的接触状态。而导高波动是接触网结构中常见的问题。当接触线的高度发生变化时,会使得受电弓无法很好的与接触线接触,进而引发碳滑板的局部磨耗加剧。另外,锚段关节是接触网中的连接部位,其结构复杂且易出现刚度不匹配的问题。当列车经过这些区域时,受电弓可能会经历突变的机械冲击,使得碳滑板在短时间内承受较大的载荷,从而加速磨耗过程。与此同时,接触网的安装精度也影响碳滑板的磨耗。如果接触线的张力不均,会使受电弓在运行过程中发生跳动,使得碳滑板对接触线的贴合状态持续波动,难以维持均匀受流,进而引起不均匀磨耗。

2.2 受电弓因素

受电弓在列车运行中承担电流采集的任务,接触压力的稳定性直接决定碳滑板对接触线的受流效果是否可靠。若接触压力偏离合理区间,碳滑板磨耗行为会发生明显变化。

当接触压力偏低时,碳滑板无法维持稳定贴合,容易在运行过程中出现短时断流,致使受电区域产生电弧拉弧现象,进而在碳滑板表面留下灼烧痕迹,产生不均匀热损伤。若接触压力过高,碳滑板会长期处于强摩擦状态,其表层结构会快速磨损,进而大大提高磨耗速率,使受电弓本体承受更大的机械负荷,缩短整体使用寿命。在运行过程中,升弓气压的稳定性也会直接影响接触压力的平衡状态。若供气压力波动频繁,受电弓的压力输出会出现响应延迟,碳滑板在受力状态上随之产生剧烈变化,形成压力骤升骤降交替的状态。而频繁的应力波动使得接触点的摩擦状态持续不稳,难以维持正常受流,容易在边缘部位形成偏磨、掉块的高频磨耗现象,进一步加剧受流系统的不均衡运行。

2.3 环境运行条件因素

气候变化影响着受电弓碳滑板的磨耗状态。湿度水平的变化会改变接触区域的物理属性,从而影响弓网系统的受流稳定性。在干燥的环境下,空气中的湿度会大大下降,使得接触线表面更容易积累细小灰尘,碳滑板在运行中频繁遭遇颗粒干扰,进而增加其摩擦阻力,也会加快磨耗速率。随着气温逐渐升高,空气湿度同步增加,碳滑板与接触线间的摩擦状态逐步转向润滑膜摩擦,有助于减缓磨损速度。另外,温度的频繁波动还会引发碳滑板材料内部的热应力反复变化。碳材本身的热膨胀性使其在冷热交替中容易出现表层结构松动,微裂纹逐渐向深层扩展,最终造成接触面出现塌陷。这种由气候因子驱动的结构演变过程常常伴随着磨耗趋势的突变,对运行稳定性构成挑战。

3. 受电弓碳滑板异常磨耗的改进对策

3.1 精准建账，闭环监测

碳滑板磨耗的持续监测要依托系统化的专项台账建设来实现闭环控制。建立台账要从基础信息入手，明确碳滑板装车时间、运行里程等关键参数，并在每次检修后更新对应记录，保证数据链条不中断，并将受电弓的几何参数、结构姿态同步录入该台账中，与碳滑板状态信息绑定形成完整的运行档案。另外，所建立的台账要明确检测周期，固定位置采集数据，围绕弓头受力位置、碳滑板贴合形态设定比对标准，保证同一区段不同批次的运行状态具备可横向比较的基础，并引入编号标识，便于系统调取，使任何异常趋势都能及时闭环响应。因此，整体机制要围绕台账搭建展开，结合持续监测过程，依托实时数据驱动快速响应，逐步实现全过程覆盖整合碳滑板运行状态。

例如，在某条典型运营线路上，计划设立十个固定检测区段，每五千公里采集一次碳滑板磨耗数据，并要求每组受电弓在装车时分配唯一编号，对应记录其碳滑板初始厚度、生产批次的信息。运行过程中，借助安装于车辆顶部的压力监测模块实时记录弓头贴合压力变化，每小时采样一次并自动上传到后台。每次检修作业完成后，要及时同步更新台账内的运行里程、磨耗值，形成具备纵向追溯能力的生命周期档案。若其平均磨耗速率高于历史均值使，系统会基于图表对比自动生成趋势预警，并关联调取前一周期相同区段的历史数据进行误差分析。在该机制下，碳滑板运行状态的图表数据可由检测平台统一汇总，后台系统基于压力曲线可生成预测模型，并采用线性拟合函数 $M(x) = k \cdot x + b$ 模拟磨耗速率变化，并依据当前预测值预估未来可能发生的结构偏差区段，输出优化建议。整个闭环机制可依托台账逻辑展开，绑定碳滑板结构参数、受电弓升弓状态、轨面稳定性三类数据，以实现周期对比、单点复核的融合应用，最终精准锁定碳滑板异常磨耗状态。

3.2 材质对比，择优换型

碳滑板材质性能的匹配程度影响受电弓的运行稳定性。相关部门可系统对比实验筛选适配性更强的碳滑板型号，降低异常磨耗发生频率。在受电弓结构保持不变的前提下，可同平台试装所选取多组不同配方的浸金属碳滑板，统一设定运行环境，形成可比实验场景，要求每组碳滑板在规定行驶里程后需完成精度检测，记录磨耗速率、结构稳定性的信息，并依托数字化标定方式统一测量口径。另外，在选型过程中

需同步评估受电弓压力曲线对材质响应的灵敏度，筛除临界波动大、贴合稳定性差的组合，最终所形成的材质更替方案需固化为维护标准，并在采购、试验、装配、评估四个环节设立独立评估节点，推动材质更换形成闭环管理路径。

例如，在某条典型运营线路上，后续碳滑板材质的升级工作可围绕受电弓运行稳定性展开。试验平台要统一安装条件，引入三种不同厂家提供的浸金属碳滑板，并为每种材质设定独立编号，分别装配在结构参数一致的受电弓上，使得运行路径保持恒定。当每组碳滑板累计运行达到 20000 公里后，会进入集中检测阶段，并对比分析相关性能。另外，磨耗检测可采用激光测厚系统测定每组碳滑板的残余厚度，并结合高频视频监控手段回溯贴合状态，获取其实际受力轨迹。在此基础上，系统可搭建磨耗评估模型，运用函数 $W(x)=kx+b$ 线性拟合各组碳滑板的厚度变化，提取单位里程磨耗速率 k 当做性能对比的核心指标。之后，系统要同步调取弓头升降动作的全过程压力响应曲线，对比不同材质碳滑板在受电弓贴合启动阶段的压力波动数据，捕捉弓头与接触线间的动态响应时间差和，并将其当做材质响应性能评价的重要参考。平台还要依据磨耗趋势、边角结构、受压稳定性三个维度搭建多因子评分模型，筛选出综合得分最高的碳滑板样本，并将该型号纳入模拟运行复测流程，在不同气候条件下再次验证其适配表现。完成验证后，试验平台要把材质编号、生产批次录入专项台账系统，建立编号绑定机制，并依据任务完成情况生成放行指令。在新材质进入正式装配环节后，系统会持续追踪运行过程中的磨耗变化，依托台账反馈机制动态修正初期评价参数，使整套更换路径从比选、测试、运行到调整具备可闭合的操作回路。因此，材质对比过程可依托技术参数，借助运行实证，推动后续碳滑板配置向精准适配逐步演进。

3.3 算法预警，气候联动

受电弓碳滑板的磨耗状态受气候条件波动影响，使得磨耗节律常随湿度、温度变化呈现出阶段性起伏。因此，要搭建基于环境因子的磨耗预测系统，设定碳滑板状态、受电弓运行参数为输入变量，形成多维度动态关联模型，以增强管理系统对这种波动的响应能力。平台还要接入轨道沿线实时气象信息，并匹配分析受电弓碳滑板的磨耗速率、电弧频率参数，输出气候驱动下的磨耗响应因子矩阵。之后，系统要采用时间序列算法进行多周期拟合，对春夏秋冬四季分别建立磨耗曲线图谱，并在历史运行数据中提取代表性样本形成特征库。当识别出

异常偏离时,系统会自动生成预警信号,并将其推送到运维终端,提示需调整检修节奏,避免异常天气下过度磨损引发结构失稳,以提高碳滑板寿命管理的气候适应能力。

例如,某城市轨道交通线路计划建立基于环境因子的碳滑板磨损预测系统。该系统可采集受电弓动作数据、碳滑板厚度变化值的核心变量,实时接入沿线温度、湿度的气象因子,设定每十分钟刷新一次数据矩阵,并依据磨损函数模型 $M(t)=\alpha T+\beta H+\gamma V+\delta$ 建立受气候影响下的动态预测曲线。之后,系统要在每次碳滑板厚度变化采样后更新磨损趋势图,并对比历史同期样本。当识别出磨损速率在单位里程内超过 2.5mm/万公里且与同期标准偏差超过设定阈值时,会触发黄色预警。一旦系统判断磨损增速持续超过两周期且气候参数同步波动,会自动升级为红色信号,并锁定受电弓编号及对应车辆路径,在运维终端形成处置提醒,帮助调度人员快速识别磨损异常的成因。同时,系统会结合实时路径数据推导出高湿度环境下的安全运行里程上限,重新修正预估碳滑板使用寿命。该模型训练过程中会动态更新季节性模板,形成四季区分的磨损图谱,使碳滑板磨损管理具备数据支撑、响应主动和调度智能的三重属性。

3.4 路径筛选,错峰运行

碳滑板磨损负荷常常集中在部分运行密度较高的区段,而这些区域多存在道岔、坡道的结构突变点,受电弓受力状态易发生波动,使得碳滑板磨损速率异常上升。因此,可在运营系统中融入路径筛选模块。该模块可基于碳滑板磨损数据,识别出磨损高频区段,并依据列车历史运行轨迹,统计不同车型在不同时间段对各区段的重复通行频率,结合磨损累计值形成权重模型,输出当前路径对碳滑板的磨损强度等级,作为列车运行路径规划调整的依据。另外,调度系统还要建立运行错峰机制,在高磨损区段调减高频车次集中时段的通行量,并按照碳滑板使用周期划分运行等级,使高压状态的列车优先行驶磨损平稳区段,低负荷车辆暂避结构复杂地段。当系统识别某列车受电弓磨损趋近阈值时,会自动将其运行路径调整到结构负荷较轻的线路,并同步更新其运行周期参数,延缓碳滑板损耗进程,形成基于实时磨损、运行强度的动态运行图谱。

例如,在某条高运量地铁线路的运行数据平台中,未来计划上线路径筛选与错峰调度系统,来缓解碳滑板在高密度区段的异常磨损问题。该系统可在后台调取过去六个月内所有列车运行路径,提取每列受电弓在特定区段的碳滑板厚

度变化数据,结合结构突变点分布情况搭建路径磨损权重模型。之后,系统会依据权重函数的大小把全线路区段划分为高磨损、中磨损、低磨损三级区域,并以热力图形式展示给调度系统。运营平台还要基于碳滑板使用周期、受电弓检测状态同步生成车辆运行等级标签。若某列车碳滑板磨损已达 14mm,距阈值 16mm 仅差 2mm,系统会标记该列车为临界运行状态,让调度模块优先剔除其在高磨损区段的路径安排,同时自动更新其下阶段运行周期为 600 公里以内,并安排其在磨损低风险线路完成剩余里程,以缓解该点段连续受压。系统还要在每一周期结束后输出路径调整前后碳滑板厚度变化图,对比优化策略是否大大降低单位里程磨损速率,并自动写入路径分配优先级模板,将运行路径与匹配受电弓状态,使碳滑板使用负荷更加分散均衡,形成稳定可调的运行调度闭环。

结束语:随着轨道交通网络不断扩展,运行强度持续加大,碳滑板的磨损机制将更加复杂,任何磨损偏差都可能让受电弓碳滑板的运行状态的下降。未来,运维体系要依托结构响应、环境因子搭建全景模型,借助受电弓结构适配、碳滑板材料选型的数据联动实现协同调节,使磨损控制转为前端预判,进而缩短异常状态持续时间,提高轨道系统运行的效率。

参考文献:

- [1] 陈会哲.城市轨道交通弓网异常磨损原因分析及处置措施[J].郑州铁路职业技术学院学报,2024,36(04):33-35+39.
- [2] 鞠克康.城市轨道交通弓网异常磨损及调整预防措施研究[J].现代城市轨道交通,2024,(12):129-135.
- [3] 王继德,于云,武学文.地铁弓网异常磨损治理方式研究[A].智慧城市与轨道交通 2024[C].中国国际科技促进会智慧城市轨道交通专业委员会:2024:288-292.
- [4] 何良圆,王亚杰.地铁接触网异常磨损原因分析[J].电工技术,2024,(17):148-151+154.
- [5] 王亮,牛秀蓉,罗敏.洛阳地铁1号线列车受电弓碳滑板异常磨损分析与改进研究[J].城市轨道交通研究,2024,27(06):286-290+295.
- [6] 陈敏坚,潘高.受电弓碳滑板异常磨损分析及应对措施[J].电力机车与城轨车辆,2023,46(04):112-116.

作者简介:邢景明,男,汉族,1988年10月,本科,研究方向:轨道交通,单位:中建(天津)轨道交通投资发展有限公司