DOI：10.13890/j.issn.1000-128X.2026.02.100

# 乌鲁木齐地铁冬季弓网异常磨耗研究

赫　楠[1]，吴佳欣[2]，吴生提[2]，田忠浩[2]，武　涛[3]，杨　颖[2,3]
（1.乌鲁木齐城市轨道集团有限公司（援疆）/北京地铁运营有限公司运营二分公司，新疆 乌鲁木齐 830037；
2.株洲国创轨道科技有限公司，湖南 株洲 412001；
3.中车株洲电力机车有限公司，湖南 株洲 412001）

**摘　要：**弓网系统作为城市轨道交通列车供电的核心，其运行状态直接关乎地铁的安全与效率。乌鲁木齐地铁1号线弓网系统在每年冬季都会出现异常磨耗现象，严重威胁地铁的安全可靠运行。为深入探究其成因并提出有效治理策略，文章通过实地调研和弓网监测数据分析，深入轨道交通现场，研究了电流峰值、环境空气湿度和碳滑板材料特性等三大关键因素与弓网系统异常磨耗的关系。研究发现，在高电流峰值条件下，燃弧现象频发，对碳滑板与接触线造成显著的电气磨耗；低环境空气湿度会降低碳滑板表面的润滑性能，进而加剧磨耗程度。此外，碳滑板的材料属性也对磨耗状况有着显著影响。基于上述研究成果，文章针对性提出分阶段的治理策略：一方面，通过调节中压能馈装置降低电流峰值，减少燃弧现象；另一方面，运用增湿设备提升环境空气湿度，改善碳滑板润滑条件，并采用碳纤维复合材料滑板，优化碳滑板的材料性能。这些措施不仅能显著优化改善碳滑板的磨耗情况，还可预防拉弧跳闸等安全事故的发生，从而提升地铁运营的安全性与可靠性，为解决弓网系统异常磨耗问题提供了可借鉴的思路与方法。

**关键词：**异常磨耗；含水量；燃弧率；峰值电流；碳滑板；城市轨道交通

**中图分类号：**U231；U225.3　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000-128X(2026)04-0207-06

## 0　引言

乌鲁木齐是我国西北地区第二个开通地铁的城市，其地铁1号线采用了全制动功率地面能量回馈技术，通过地面装置将列车制动时的动能转化为电能，并实现100%全功率回馈电网或储能系统。然而，该线路自开通运营以来，弓网系统在每年冬季（当年11月至次年3月）都会出现异常磨耗现象，直接影响列车运行安全与运营成本。统计数据显示，冬季弓网平均磨耗约15 mm/($10^4$km)，最大磨耗可达28 mm/($10^4$km)，并且自2021年起累计出现50次短路拉弧放电现象，频繁引发供电系统跳闸故障，对地铁的正常运营造成了极大的负面影响。因此，研究弓网异常磨耗与弓网运行状态指标的关系有着现实意义，通过实时监测弓网运行状态指标，有效预防弓网的异常磨耗。本文以乌鲁木齐地铁1号线为例，通过跟踪测试获取磨耗、电流、燃弧等关键运行状态指标数据，结合冬季环境参数，分析乌鲁木齐地铁弓网系统出现异常磨耗的原因，并针对性地提出可行的解决措施，保障地铁的安全稳定运营。

## 1　乌鲁木齐1号线异常磨耗情况

乌鲁木齐地铁自投入运营以来，冬季接触网弓网系统的异常磨耗问题长期存在。在异常磨耗工况下，接触导线表面呈现典型的拉弧形貌特征，容易诱发接触网断电故障，还伴随显著的电弧放电现象，如图1所示。依据2019—2024年的运营数据，磨耗特征呈现出

**基金项目：**中国城市轨道交通协会城轨装备核心技术攻关项目(2023ZBGG016)
**通信作者：**杨　颖，男，正高级工程师，主要从事轨道交通装备的设计方面的研究；E-mail: yangy@chinazrcc.com
**引用格式：**赫楠，吴佳欣，吴生提，等．乌鲁木齐地铁冬季弓网异常磨耗研究[J]. 机车电传动，2026(4): 207-212. DOI: 10.13890/j. issn. 1000-128X.2026.02.100.
**Citation：**HE Nan, WU Jiaxin, WU Shengti, et al. Study on abnormal wear of pantograph-OCS systems of Urumqi metros in winter[J]. Electric drive for locomotives,2026(4): 207-212.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2026.02.100.

显著的季节性规律：夏季，碳滑板的磨耗量相对稳定，维持在3~5 mm/(10⁴km)；冬季，弓网磨耗量成倍增长，碳滑板磨耗量大幅增加至10~15 mm/(10⁴km)，最严重时甚至超过20 mm/(10⁴km)。表1为2021—2025年异常磨耗导致的碳滑板损耗量统计。由表1数据可知，自2021年以来，新滑板与接触线之间存在一定的磨合期[1]。在磨合初期，尚未形成光亮的氧化层，导致初始阶段碳滑板的损耗数量较大；经过磨合期之后，碳滑板的损耗量呈现逐年上升的趋势，其平均磨耗率亦逐年递增。

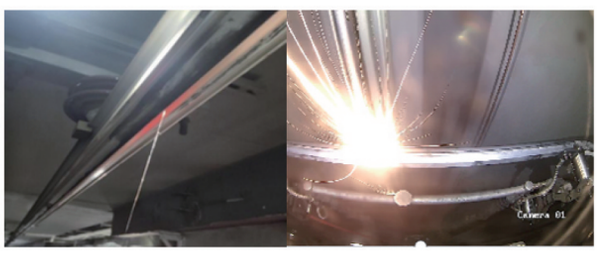


图1 异常磨耗下接触网出现拉弧与燃弧现象

Fig. 1 Arc initiation and arc burning in OCS under abnormal wear

表1 2021—2025年异常磨耗导致的碳滑板损耗量统计

Table 1 Statistics on carbon contact strip wear caused by abnormal wear for 2021—2025

| 年度 | 碳滑板数量/件 | 最大磨耗/(mm·(10⁴km)⁻¹) | 平均磨耗/(mm·(10⁴km)⁻¹) |
|---|---|---|---|
| 2021—2022 | 1 060 | 29.6 | 13.5 |
| 2022—2023 | 620 | 27.0 | 13.3 |
| 2023—2024 | 628 | 59.0 | 19.0 |
| 2024—2025 | 800 | 57.5 | 28.6 |

图2为乌鲁木齐地铁1号线2020—2024年冬季弓网系统碳滑板异常磨耗变化趋势统计图。由图2可知，2020—2022年，碳滑板冬季异常磨耗峰值通常在20~30 mm/(10⁴km)，但自2023年起，这一数值显著上升至59 mm/(10⁴km)，最为严重的时候，碳滑板单周磨耗量即突破运维标准限值，并伴随偏磨与拉痕等典型损伤形貌（如图3所示），单周磨损量即超出更换阈值。监测数据分析表明，碳滑板异常磨损速率呈现明显非线性增长特征，给地铁的运维工作和成本效益带来了全新的挑战。

## 2 乌鲁木齐地铁1号线异常磨耗原因分析

### 2.1 弓网电流峰值

乌鲁木齐地区的地形特征为南高北低，导致地铁1号线在南北方向度高度相差280 m，最大坡度达到28‰。线路的这种地形条件对列车的电流特性产生了显著影响。具体而言，在上行过程中，列车在下坡时制动电流的峰值较大，而在下行过程中，列车爬坡时

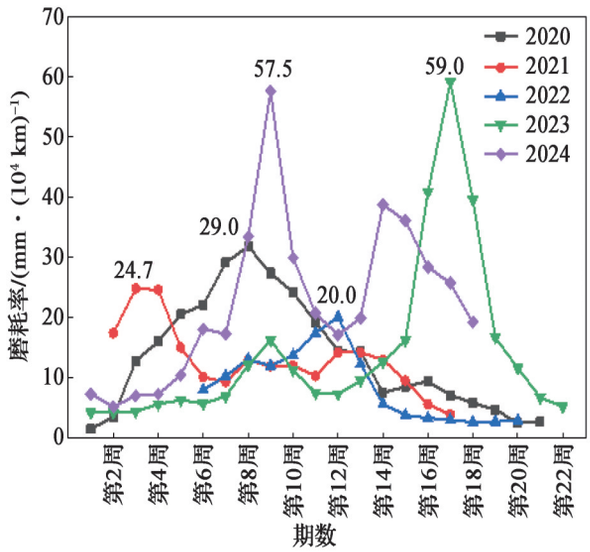



图2 乌鲁木齐地铁1号线2020—2024年冬季碳滑板异常磨耗趋势统计

Fig. 2 Statistics on abnormal wear trend of urumqi metro line 1 in winter of 2020—2024



图3 碳滑板偏磨与拉痕现象

Fig. 3 Eccentric wear and scratch of carbon contact strips

牵引电流的峰值和功率需求高于上行过程。对于弓网系统，中压能馈电流、燃弧现象与牵引电流呈现相反的变化趋势，即上行过程中的中压能馈电流高于下行过程，而且燃弧率大约是下行过程的2.7倍。中压能馈电流的尖峰持续时间为1~2 s，而由牵引引起的电弧持续时间仅不足100 ms，显著小于减速阶段电弧的持续时间。

列车出站牵引和进站制动阶段的电流峰值与异常磨耗具有较高的关联性[2]。图4为弓网电流与碳滑板温升的关系图。由图4可知，由于乌鲁木齐地铁系统采用了全制动功率地面能量回馈技术，其电流峰值接近3 000 A。通过与深圳、重庆等城市地铁系统的运营数据[3-4]进行对比，明显可发现乌鲁木齐地铁的电流峰值显著高于其他城市，滑板的磨耗率随着电流的增加而迅速增加[5]。在该大电流工况下，焦耳热和电弧热显著增加，导致滑板表面温升增加（如图5所示），出现了显著的燃弧现象[6]。异常放电现象导致接触线和碳滑板表面电气磨耗严重[7]，加剧了碳滑板的氧化磨损和电弧烧蚀，破坏接触线表面结构，使得滑板服役寿命显著降低。图6描述了燃弧率与碳滑板磨耗率关系。由图6可知，燃弧率与碳滑板磨耗率呈正相关的关系。

在抑制燃弧现象方面，优先降低制动电流被证明是一种有效的策略。鉴于上行阶段制动电流较大导致

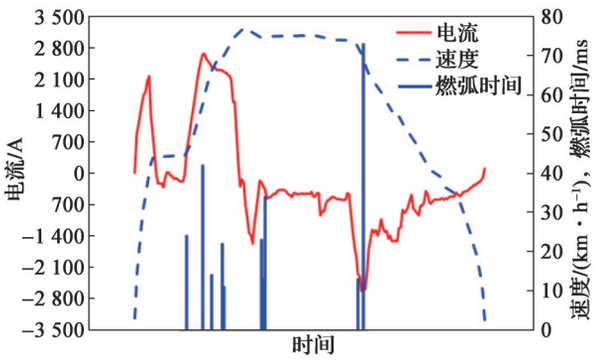



图4　电流与燃弧时间关系

Fig. 4　Relationship between current and arc burning time

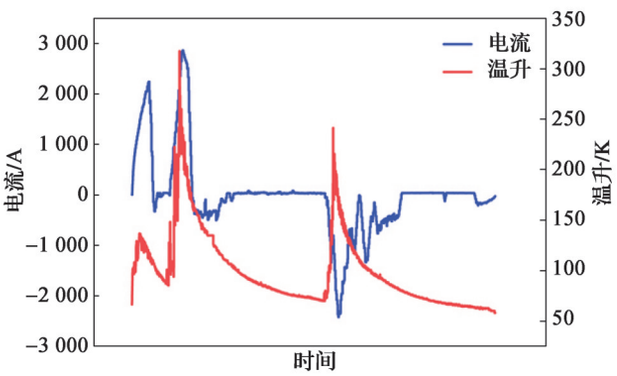



图5　电流与温升关系

Fig. 5　Relationship between current and temperature

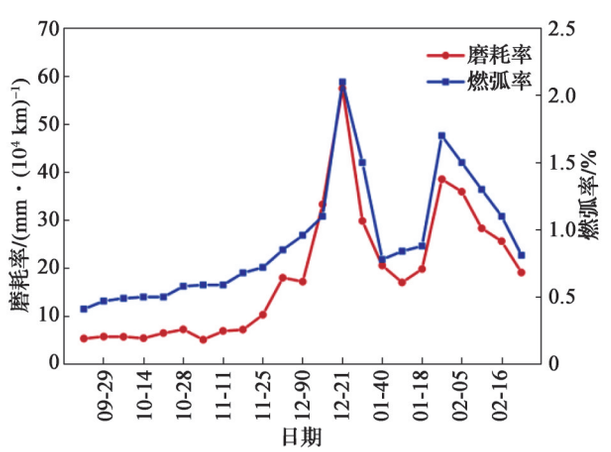



图6　燃弧率与碳滑板磨耗率关系

Fig. 6　Relationship between arc burning rate and carbon contact strip wear rate

燃弧现象加剧，同时能馈电流尖峰和牵引电弧持续时间短暂，因此降低制动电流的操作能更迅速地响应，有效减少燃弧现象。

## 2.2　冬季隧道低温低湿工况

乌鲁木齐位于我国西北内陆地区，其气候属于大陆干旱气候，年平均降水量不足 300 mm，冬季寒冷干燥，因此该城市隧道内的空气相对湿度在冬季较低，此状况从当年 11 月持续至次年 3 月。基于 2024—2025 年的监测数据（如图 7 所示），本研究发现隧道内的空气水分含量与磨耗率之间存在显著的负相关性。通过对比其他地铁项目[8]的数据，可以得到以下结论：当空气中水分含量低于 6 g/m³时[9]，碳滑板磨耗率呈现上升趋势，而当空气中水分含量超过此阈值时，碳滑板磨耗率则呈现下降趋势。空气中水分含量的波动对接触线与碳滑板表面的微观摩擦机制具有决定性影响[10]。在正常湿度条件下，碳滑板与接触线之间会自然形成固体润滑层，使得碳滑板与接触线之间的摩擦主要发生在固体自润滑层的内部，从而降低磨耗率。石墨的润滑特性与在空气环境中的水分子、气体分子和其边缘棱面不饱和悬空共价键的能力密切相关[11]。因此，在大气条件下，石墨通常表现出较低的摩擦因数和磨损率，具有出色的摩擦性能。然而，在真空或干燥条件下，石墨的润滑性能显著下降，在高速滑动接触过程中摩擦界面直接暴露，导致接触表面产生更多的微观裂纹和剥落，显著提高了碳滑板的磨损速率，进而增加了设备的维护成本和运行风险。

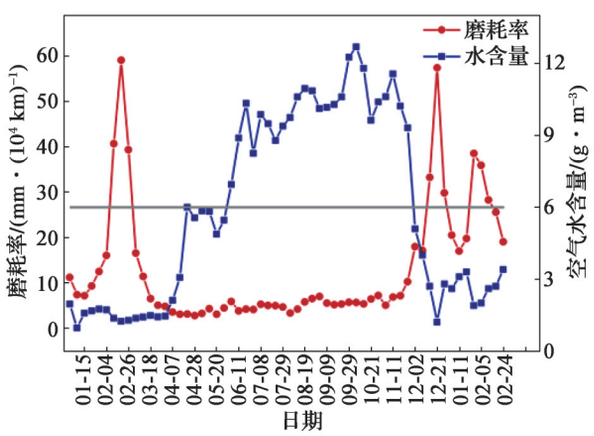



图7　2024—2025年冬季隧道中空气含水量与碳滑板磨耗率关系

Fig. 7　Relationship between tunnel moisture content and carbon contact strip wear rate in winter of 2024–2025

在隧道低湿度工况下，弓网接触副的摩擦因数显著高于高湿度工况，同时伴随电气磨损现象的显著加剧。当环境空气含水量较低时，接触线与碳滑板之间的电气接触电阻增加，导致局部温度升高[12]和燃弧现象发生。该情况进一步破坏接触线表面的微观结构，并在碳滑板表面形成高温烧蚀区域，加速材料损耗。试验数据表明，低湿度工况的浸金属滑板的磨耗量为高湿度工况下磨耗量的 5 倍以上[13]。通过开展不同材质碳滑板湿度敏感性对比试验（试验结果如表 2 所示）可知，纯碳纤维复合材料滑板的磨损率受环境空气湿度影响较小，而浸金属碳滑板的磨耗量在低湿度工况下

表2　不同材料碳滑板的湿度敏感性

Table 2　Humidity sensitivity of carbon contact strips of different materials　　g/km

| 空气相对湿度/% | 浸金属滑板磨损率 | 纯碳纤维滑板磨损率 |
|---|---|---|
| 25 | 0.081 2 | 0.061 6 |
| 40 | 0.025 8 | 0.054 8 |

明显大于高湿度工况下滑板的磨耗量，并且电气磨损与机械磨损在低湿度环境下的相互作用，使得弓网系统的整体磨耗率急剧上升，甚至达到了指数级增长的程度。

### 2.3 摩擦副材料

为了研究不同碳滑板材料对燃弧性能的影响，对3种不同的碳滑板（27%含铜浸金属滑板、33%含铜浸金属滑板和纯碳纤维复合材料滑板）进行了燃弧性能试验，试验结果如图8所示。由图8可知，相较于浸金属碳滑板，纯碳纤维复合材料滑板在电弧烧蚀性能方面具有显著优势，具体表现为纯碳纤维复合材料滑板的燃弧率较低，而浸金属碳滑板表面铜粉分布的不均匀性导致了电流热效应，促使滑板中的铜元素发生迁移析出，与铜质接触线形成了同质材料的摩擦界面[14]，材料的相似性加剧了滑动接触面的黏着磨损现象[15-16]。此外，干摩擦工况下浸金属碳滑板与接触线间的有效接触界面由离散分布的铜质斑点构成（如图9所示）。接触斑点的数量与空间分布呈现随机动态变化特征，致使接触界面电流密度呈现显著非均匀分布特性。铜质斑点形成的接触区域需要承受全部接触压力与传导电流。由于铜的电导率较碳材料高出2个数量级，弓网电流只从铜质斑点处流过，从而引发局部电流密度显著增大。在此过程中，容易发生瞬态分离与再接触现象，从而诱发间歇性电弧放电。值得注意的是，浸金属碳滑板的洛氏硬度（100~110）高于铜质接触导线的硬度（92~93），这种硬度差异导致滑动过程中界面犁削效应显著增强，最终在接触表面形成具有方向特征的宏观机械损伤形貌，而且同质金属间的摩擦因数显著高于异质材料组合，这容易导致接触线损伤，从而缩短其使用寿命。相比之下，纯碳纤维碳滑板表现出较低的洛氏硬度（70~80），这种硬度特征相较于浸金属滑板材料，能够产生更低的接触线磨损效应，而且纯碳纤维碳滑板表面不存在铜质斑点，其作用机制在于通过降低滑动摩擦因数，结合界面润滑效应，从而

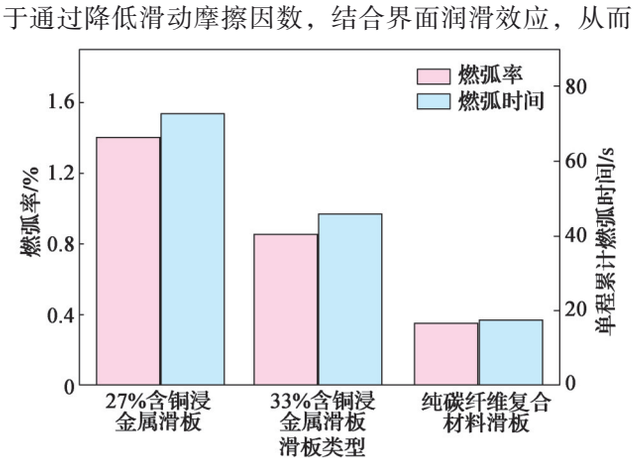



图8 不同材料碳滑板燃弧性能对比

Fig. 8 Comparison of arc burning performance of carbon contact strips of different materials

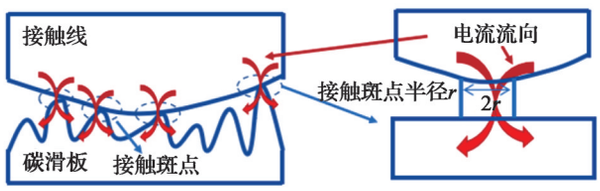



图9 浸金属碳滑板与接触线间的接触界面示意图

Fig. 9 Schematic diagram of contact interface between metal-impregnated carbon contact strip and contact line

达到抑制接触线表面氧化层破坏，提升碳滑板与接触线的服役周期的目的。综合考虑全生命周期成本，纯碳纤维滑板具有较高的性价比。

## 3 弓网系统异常磨耗整改和预防举措

针对乌鲁木齐地铁冬季弓网异常磨耗的问题，本文提出了分阶段治理策略——短期着重电流优化与燃弧控制，中期进行环境调控，长期推动材料升级。

### 3.1 电流优化与燃弧控制

在乌鲁木齐地铁1号线冬季运营期间，北段进站减速区段和站台区段的接触线出现了显著的异常磨损现象，表现为毛刺的产生。这一现象伴随着供电系统频繁跳闸、电弧燃烧强度的增加（电弧燃烧时长、频次和能量密度分别达到正常工作状态的2.3倍、1.8倍、3.1倍），进而导致碳滑板与接触线的磨损速率提高了42%~58%。为解决此问题，采取了以下3项优化措施：①将车载制动启动电压阈值下调至1 800 V，同时将中压能馈回馈启动阈值上调至1 780 V，以此减少能量冲突的发生。②实时监控电流参数，并调整制动电流峰值和节能效率，以确定最佳阈值组合。③降低车辆牵引特性曲线的最大输出值，调整为原值的80%[17]，减少列车加速度需求，目标是降低牵引电流峰值20%。通过动态调节技术参数和监测反馈，实现了电流峰值控制与能耗效率的协同优化。

### 3.2 对低环境空气湿度适应性改进

针对乌鲁木齐地铁1号线隧道内空气水分含量偏低的问题，研究团队提出从环境调节和摩擦性能优化两个维度进行综合治理的建议。在环境调节层面，建议在隧道内部署自动化湿度控制系统，并设置每12 h工作1次的喷淋装置，确保隧道内空气水分含量维持在6 g/m³以上，以保障滑板碳晶膜形成条件的恢复。在摩擦性能优化方面，建议采用进口品牌的防冻液进行表面处理，以提升材料在干燥环境下的抗磨损能力和润滑性能。

### 3.3 摩擦副材料升级替换

在低温条件下，传统碳质滑板材料的磨损问题尤

为突出。采用碳纤维增强复合材料类型滑板，能够显著缓解上述问题。尽管碳纤维复合材料的硬度相对较低，但在抗弯曲、抗压缩和冲击韧性等力学性能方面，均优于其他类型的滑板材料。采用碳纤维复合材料制成的滑板，能够有效降低弓头的质量负担，并大幅度减少电弧的发生频率，同时对接触线使用寿命的影响相对较小。基于此，推广碳纤维复合材料滑板的应用，并构建全生命周期成本评估体系，对于实际应用具有重要的意义。

## 4　结论

本文聚焦乌鲁木齐地铁 1 号线冬季弓网异常磨耗问题，通过研究发现，高电流峰值、低环境空气湿度和材料性能是影响异常磨耗的主要因素。针对这 3 个主要因素，建立了分阶段治理方案，该策略能够有效降低碳滑板磨耗率。具体实施路径包括：第一阶段，基于牵引供电系统参数优化，通过调控电压阈值进行电流优化，有效抑制牵引电流过大引发的燃弧现象；第二阶段采取双轨并行改进方案，同步推进环境参数优化与材料性能升级，一方面将运行环境空气湿度调控至适宜范围，另一方面采用具有优异导电性和耐磨特性的碳纤维复合材料滑板，从而降低异常磨耗的发生概率。本研究的技术路径与实践经验可为寒旱地区城市轨道交通弓网系统运维提供理论参考与工程借鉴。

**参考文献：**


[1] 张士宇, 杨岗, 吕琨, 等. 地铁车辆受电弓异常磨耗研究[J]. 机车电传动, 2023(4): 124-130.
Zhang Shiyu, Yang Gang, Lyu Kun, et al. Study on abnormal abrasion of metro pantograph[J]. Electric Drive for Locomotives, 2023(4): 124-130.

[2] 毕湘利. 城市轨道交通系统安全韧性思考与实践[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(9): 1-5.
Bi Xiangli. Thinking and practice of urban rail transit safety resilience[J]. Urhan Mass Tansit, 2024, 27(9): 1-5.

[3] 杨虎, 耿星洁. 地铁列车牵引电流对接触网磨耗影响分析[J]. 现代城市轨道交通, 2023(增刊 1): 59-67.
Yang Hu, Geng Xingjie. Wear analysis of catenary by the traction current[J]. Modern Urban Transit, 2023(S1): 59-67.

[4] 刘恩鹏, 刘小梦. 重庆地铁 6 号线列车受电弓碳滑板 V 形磨耗分析及其对策[J]. 铁道技术监督, 2022, 50(7): 42-45.
Liu Enpeng, Liu Xiaomeng. Analysis of V-shaped wear of carbon strip on pantographs of Chongqing metro line 6 trains and countermeasures[J]. Railway Quality Control, 2022, 50(7): 42-45.

[5] 支兴帅. 城轨受电弓浸金属碳滑板磨耗演变规律及参数优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2023.
Zhi Xingshuai. Study on wear evolution law of metal impregnated carbon strip of pantograph in urban rail and parameter optimization[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2023.

[6] 张昱航, 魏志恒, 周于翔, 等. 城市轨道交通弓网燃弧研究进展与展望[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(3): 25-28.
Zhang Yuhan, Wei Zhiheng, Zhou Yuxiang, et al. Research progress and prospects on pantograph-catenary arcing in urban rail transit[J]. Urhan Mass Tansit, 2025, 28(3): 25-28.

[7] 何良圆, 王亚杰. 地铁接触网异常磨耗原因分析[J]. 电工技术, 2024(17): 148-151.
He Liangyuan, Wang Yajie. Causal analysis of abnormal wear of metro catenary[J]. Electric Engineering, 2024(17): 148-151.

[8] 吴铁辉, 徐文治, 秦得才, 等. 天津地铁 6 号线弓网异常磨耗问题研究[J]. 现代城市轨道交通, 2024(3): 50-56.
Wu Tiehui, Xu Wenzi, Qin Decai, et al. Research on the issue of the abnormal pantograph and OCS wear on Tianjin metro line 6[J]. Modern Urban Transit, 2024(3): 50-56.

[9] 程军营, 陈交, 吴积钦, 等. 空气湿度对浸金属碳滑板磨耗的影响研究[J]. 电气化铁道, 2023, 34(5): 41-44.
Cheng Junying, Chen Jiao, Wu Jiqing, et al. Research on the influence of air humidity on the wear of metal-impregnated carbon strip[J]. Electric Railway, 2023, 34(5): 41-44.

[10] 邱伟明, 贺佳琦, 李懋, 等. 弓网异常磨耗分析及解决方案[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(3): 276-279.
Qiu Weiming, He Jiaqi, Li Mao, et al. Analysis and solutions for pantograph-catenary abnormal wears[J]. Urhan Mass Tansit, 2025, 28(3):276-279.

[11] Chen Zhe, He Xin, Xiao Chen, et al. Effect of humidity on friction and wear: a critical review[J]. Lubricants, 2018, 6 (3): 74. DOI:10.3390/lubricants6030074.

[12] 曾子毅, 何泉鑫, 陈光雄, 等. 环境湿度对浸金属碳滑板磨损及温升的影响[J]. 润滑与密封, 2024, 49(2): 98-105.
Zeng Ziyi, He Quanxin, Chen Guangxiong, et al. Influence of environment humidity on wear and temperature rise of metal-impregnated carbon strip[J]. Lubrication Engineering, 2024, 49(2): 98-105.

[13] 李烨. 太原地铁 2 号线一期电客车受电弓碳滑板异常磨耗浅析[J]. 机械与电子控制工程, 2023, 5(8): 157-159.
Li Ye. A brief analysis of abnormal wear of the carbon strip of the pantograph in the first phase of Taiyuan metro line 2 electric trains[J]. Mechanical & Electronic Control Engineering, 2023, 5(8): 157-159.

[14] 许岩, 陈光雄, 钟传枝, 等. 不同铜含量浸金属碳滑板的载流摩擦磨损性能[J]. 润滑与密封, 2022, 47(1): 60-66.
Xu Yan, Chen Guangxiong, Zhong Chuanzhi, et al. Study of current-carrying friction and wear behaviors of different copper content impregnated-metals carbon strip[J]. Lubrication Engineering, 2022, 47(1): 60-66.

[15] 丁涛, 陈光雄, 李玉梅, 等. 几种受电弓滑板/接触线材料载流摩擦磨损行为的比较[J]. 润滑与密封, 2014, 39(10):

65-68.
Ding Tao, Chen Guangxiong, Li Yumei, et al. Comparison of friction and wear behaviors of several kinds of pantograph strip/contact wire materials with electric current[J]. Lubrication Engineering, 2014, 39(10): 65-68.
[16] 陈占坤. 地铁受电弓滑板/刚性接触网载流磨损性能研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2023.
Chen Zhankun. Research on current-carrying wear behavior of pantograph slide plate/rigid contact network of metro[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2023.
[17] 曹宁. 南京地铁机场线电客车碳滑板异常磨耗研究[J]. 机电信息, 2025(5): 62-65.
Cao Ning. Research on abnormal wear of carbon strip of electric passenger trains on Nanjing metro airport line[J]. Mechanical and Electrical Information, 2025(5): 62-65.

# Study on abnormal wear of pantograph-OCS systems of Urumqi metros in winter

**HE Nan[1], WU Jiaxin[2], WU Shengti[2], TIAN Zhonghao[2], WU Tao[3], YANG Yin[2,3]**

(1. Urumqi Urban Rail Group Co., Ltd. (Aid to Xinjiang)/Operation Branch 2 of Beijing Subway Operation Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830037, China; 2. Zhuzhou Guochuang Railway Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China; 3. CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** As the core of the power supply for urban rail transit trains, the pantograph-OCS systems have a direct impact on the safety and efficiency of the metros. The pantograph-OCS system of Urumqi metro line 1 exhibits a propensity for abnormal wear patterns in winter, posing significant risks to the safety and reliability of metro operation. To investigate the causative factors and formulate effective management strategies for abnormal wear in pantograph-OCS systems, the research team investigated the relationship between three key factors, namely current peak, environmental humidity and carbon contact strip material properties, and the abnormal wear of the pantograph-OCS system by analyzing the monitoring data of the pantograph-OCS through field research and in-depth analysis of the rail traffic sites. According to the study results, under the condition of high peak current, the arc burning phenomenon occurs frequently, inducing pronounced electrical wear on both contact lines and carbon contact strips. Concurrently, low ambient humidity levels compromise the surface lubricity of carbon contact strips, thereby accelerating the degree of wear. Furthermore, the carbon contact strip material properties have a significant impact on the wear condition. Based on the aforementioned study findings, this study proposes phased management strategies. On the one hand, current peaks are reduced through optimized adjustment of medium-voltage energy feedback devices, thereby reducing arc burning phenomena. On the other hand, environmental humidity is increased via humidification systems to improve carbon contact strip lubrication conditions, and the material properties of carbon contact strips are optimized by using carbon fiber composite contact strips. These measures can not only effectively improve the wear rate of carbon contact strips, but also prevent the occurrence of safety accidents such as arc initiation-induced tripping, thus greatly improving the safety and reliability of metro operation, and providing a reference idea and method for solving the abnormal wear of pantograph-OCS systems.

**Keywords:** abnormal wear; moisture content; arc burning rate; peak current; carbon contact strip; urban rail transit

收稿日期：2025-05-21
责任编辑：许　浩