

Analysis and Application of Abnormal Wheel Tread Wear in Urban Rail Transit Vehicles

Zhongyu Wang

Chongqing Rail Transit (Group) Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract

Urban rail transit vehicles through the rotation of the wheel complete related instructions, the wheel as a direct contact between the vehicle and the rail, carrying the train overall running quality, transfer vehicle traction, braking force, keep the vehicle running along the rail and prevent the key safety function of vehicle derailment. In the daily operation process of urban rail transit vehicles, the abnormal wear of wheel tread not only shortens the service life of wheels, increases the cost of vehicle maintenance, but also affects the operation service quality and operation safety of subway vehicles.

Keywords

urban rail vehicle; wheel tread; abnormal wear; service performance

城市轨道交通车辆车轮踏面磨耗异常分析与运用

王忠渝

重庆市轨道交通（集团）有限公司，中国·重庆 400000

摘要

城市轨道交通车辆通过车轮的转动完成相关行驶指令，车轮作为车辆与钢轨的直接接触部分，承载列车整体运行质量，传递车辆牵引力、制动力等走行工作，承担着保持车辆沿钢轨运行的重要导向作用和防止车辆脱轨的关键安全功能。在城市轨道交通车辆的日常运行过程中，车轮踏面的异常磨耗不仅缩短车轮的使用年限，增加车辆维保成本，而且影响地铁车辆的运行服务质量和运营安全。

关键词

城轨车辆；车轮踏面；磨耗异常；运用服役性能

1 引言

城市轨道交通车辆是现代城市公共交通网络体系的重要组成部分，其安全、舒适、快捷的运行一直是人们所关注的话题。车辆车轮在列车运行中直接接触轨道，其磨耗和损伤情况是影响列车运行安全和运用寿命的关键因素之一。论文以城市轨道交通车辆为研究对象，对车轮踏面磨耗异常情况进行了分析与研究。

2 城市轨道交通车辆车轮踏面磨耗异常现象及危害分析

2.1 城市轨道交通车辆车轮踏面异常磨损的主要现象

论文通过对国内多个城市轨道交通车辆车轮踏面异常磨损情况的统计分析，发现车轮踏面异常磨损现象主要表现为以下几种类型。

2.1.1 车轮踏面的沟槽状磨耗

地铁车辆运行中启动制动频繁，车轮热负荷较大，如果车辆设计中电控制动力的分配比率、空气制动的施加时机设置不合理，将会造成车轮过高的热量吸收积聚，加之合成闸瓦具有热点较高、散热性较差的特点，在持续高温作用下，导致闸瓦材质物理性能发生变化，引起闸瓦材料局部热膨胀，闸瓦摩擦反作用于车轮踏面，使得踏面出现热裂纹、剥离等问题。

2.1.2 车轮踏面的凹形磨耗

车辆制动过程中车轮产生的金属碎屑进入闸瓦制动摩擦面，经高热挤压嵌入材质相对较软的闸瓦摩擦材质中，通过车轮摩擦加热及遇水冷却作用致使淬火反应，再次制动时变硬的材质摩擦车轮，形成踏面凹型磨耗。

2.1.3 车轮踏面热龟裂损耗

地铁车辆运行中由于闸瓦与车轮接触不良，踏面局部过热，形成热斑点，继而产生热裂痕，加之车辆运行时频繁的高负荷制动及冷却温差作用，也会在车轮踏面局部出现热疲劳性龟裂现象。

【作者简介】王忠渝（1972-），男，中国四川渠县人，本科，工程师，从事轨道交通（车辆）技术研究。

2.1.4 车轮踏面其他损耗

车轮踏面在制动过程中,踏面和闸瓦滑动摩擦产生高热,加之合成闸瓦散热性能较差,造成踏面瞬时急剧升温,随后又会在空气中迅速冷却,致使车轮踏面产生材质物理疲劳,在轮轨接触应力作用下容易产生毛细裂纹、踏面剥离等异常损耗。

2.2 城市轨道交通车辆车轮踏面异常磨损造成的危害

城市轨道交通车轮踏面异常磨损导致车辆运行过程中的噪音和振动增大、降低了乘客乘坐舒适性,甚至影响车辆的安全运营,主要存在以下几方面的危害:

首先,车轮的异常磨损会增加车辆的运营成本。由于车轮擦伤、剥离以及其他损耗,车轮踏面上会出现锈渍、裂纹和受损的“凹坑”。这将导致车轮的维修频率增加,车轮的使用寿命周期缩短,车轮的检测维护成本增加,车辆的运营成本也会相应增加。

其次,车轮的异常磨损会降低乘客的乘车舒适度。车轮的热斑、毛细裂纹、形状磨损以及踏面失圆等问题会导致车辆与轨道之间接触配合不良,轮轨噪声和振动幅度增大,这将大大降低乘客舒适度,这不仅会影响城市轨道交通系统的行业品质形象,还会影响市民对城市轨道交通的乘车满意度。

最后,车轮的异常磨损会对车辆的运行安全造成威胁。城市轨道交通车辆长时间高速运行,需要频繁的牵引和制动,车轮踏面异常磨损可能会导致车辆在直线线路运行时偏离轨道中心线,使车辆走行轮对有向较大横向力侧方向偏移的风险,当通过线路曲线路段时,车辆车轮爬轨和脱离轨线的风险增加,存在运营安全风险。因此,车轮踏面的异常磨损会严重影响车辆的运行安全,这是我们不能忽视的问题。

3 城市轨道交通车辆车轮踏面磨耗异常的原因分析

3.1 车辆原因导致的车轮踏面磨耗异常

在地铁的运行制动模式中,由制动控制单元软件负责整列车电制动力的统筹分配及施加控制。在轮轨黏着力允许的条件下,列车优先采用电制动,若电制动可以满足整列车减速度及制动距离要求,此时车辆不再施加空气制动。当电制动能力不能满足整列车所需的减速度或者车辆的黏着系数利用到极限时,制动系统开始施加空气制动,随着列车速度的降低,电制动能力逐渐减弱,列车的制动力逐渐由空气制动力承担,此工况下如何分配空气制动至关重要。传统地铁车辆设计中采用了等黏着利用原则进行电空制动力分配,这种制动力分配模式在实际应用中由于轮轨黏着状态不理想、车辆防滑器反应滞后、空气制动介入点设置不合理、动车及拖车的空气制动力不能合理匹配等因素,存在容易造成车轮踏面异常磨损的问题。特别是拖车位于整列车的首尾两端,车轮承担导向功能的同时,由于头车轮轨黏着系数较

低,极易受钢轨表面质量及车辆执行环境或工作状态的影响,处于整列车首尾两端的拖车车轮踏面工作状态远比编组中间的动车恶劣,在车辆运行速度较高的情况下施加制动,势必造成拖车车轮踏面及闸瓦积聚较高的热负荷,导致异常磨耗的形成。

3.2 线路原因导致的车轮踏面磨耗异常

在实践调研中,结合对国内某地铁项目的实践考察,发现由于季节天气原因,线路发生积水,且空气湿度大,致使运行线路轨道湿滑,引起列车轮轨间黏着力下降,车轮频繁启动防护保护(WSP)功能,造成轮对踏面大面积擦伤的情况。另外,以国内某项目为例,在维修检修过程中,维修人员发现车轮踏面存在裂纹。故障处理过程中根据列车走行部在线监测系统监测的车轮冲击数据,结合网络控制系统记录的车辆以大站快车运营模式运行通过对应站台的时间记录,判定车辆在大站快车运行模式下,以较高速度快速通过站台道岔造成车轮较大冲击是导致车轮裂纹的主要原因。还有,地铁线路的转弯半径也会对车轮磨耗产生影响,车辆在曲线轨道上行驶时,车轮必须承受向心力,这会导致车轮外侧的磨耗速率加快。

3.3 轮轨配合导致的车轮踏面磨耗异常

如果车轮与钢轨的硬度值匹配不良,车轮踏面的硬度值远低于钢轨轨面的硬度,则会出现车轮踏面加速磨耗,造成车轮踏面磨耗异常,降低车轮使用寿命周期。另外,城市轨道交通项目在实际建设过程中,由于整体道床的可调性差,加上钢轨制造公差和施工误差等原因,导致每一块短轨处钢轨的轨底坡度值存在差异,且新铺轨面存在毛刺、锈迹等表面瑕疵,轨道表面光洁度不够,车轮与轨道的配合较差,新建线路开通运营前期轮轨配合存在磨合调试过程。

3.4 车辆乘务驾驶人员操作不当导致的车轮踏面磨耗异常

在地铁车辆运行过程中,乘务驾驶人员的错误操作也是造成异常磨耗的重要原因,这主要是因为车辆运行中,乘务驾驶人员频繁使用快速制动方式进行列车制动操作,使车轮在制动中产生超过正常控制值的热量,这种车轮踏面产生的过高热负荷现象,也是产生车轮踏面异常磨耗的重要原因。

4 提高城市轨道交通车辆车轮运用服役性能研究

4.1 车辆制动控制和功能设计及维护方案优化

一是车辆电空制动时,空气制动力的最优化配置应在车轮、闸瓦等磨耗分配原则的基础上,根据整列车不同车辆之间不同的轮轨黏着系数,进一步细化分配方案,达到轮轨黏着系数利用效率的最优化。同时合理匹配空气制动介入点、控制信号传输时间、空走滑行时间三要素之间的相关参数,避免列车高速运行阶段空气制动过早介入,同时将电空

制动切换点的速度尽可能的降到最低,最大效用发挥电制动能力,尽量减少空气制动的使用,避免踏面和闸瓦的磨损。二是改善闸瓦摩擦材料的热负荷数据,提高闸瓦的散热性能,保证车轮温度稳定,同时改善车轮与闸瓦之间的匹配性,防止因接触不良造成的车轮踏面异常磨损。三是加强防滑控制系统的优化,设置合理的防滑控制切入点,提高防滑控制系统的灵敏可靠度。四是优化车轮系统踏面清扫功能,通过踏面清扫可以有效地降低拖车车轮踏面异常磨损情况,保持车辆的平稳运行。五是优化转向架一系悬挂参数,通过动力学计算优化设计转向架悬挂参数,使一系纵向刚度值合理(尽量偏软),避免因悬挂参数不合理而发生踏面异常磨损的现象。六是加强车辆制动系统的检修和日常维护,特别是对制动控制单元的速度传感器的检修,确保其处于完好的工作状态。做好电制动系统和空气制动系统等基础制动装置的日常维护和预防性检修,及时处理制动系统相关故障和泄漏问题,提早消除不良隐患,降低车轮踏面异常磨损的概率。

4.2 运营线路维护检修方案优化

城市轨道交通恶劣的线路环境及轨道表面状况是列车车轮踏面异常磨损的重要原因,建议采取以下优化措施:一是通过在线路隧道中增加抽排风机设置数量,增大换气排风量来控制潮湿天气导致的轨道湿滑现象对行车的影响。二是优化维护保养检修规程定期对钢轨进行打磨作业,减少轨道表面的油污,提高钢轨与车轮的黏着系数。三是使用轨道防滑技术或设置轨道防滑器材,降低车轮与轨道产生的高热负荷,预防车轮踏面热皸裂导致的车轮踏面异常磨损。

4.3 改善轮轨配合关系方案优化

一是轨道交通地铁系统钢轨与车轮的硬度匹配值通常为 $H_{\text{轨}}/H_{\text{轮}}=1.1\sim 1.2$ 。硬度值与材料有关,选择合适的车轮材料是合理匹配轮轨硬度值的关键。二是车轮的抗热损性能依赖于车轮的含碳量,可以在保证材料强度和硬度的前提下尽量降低材料的含碳量,提高车轮钢质韧性,增强车轮抗热损性能。三是对新建线路轨道进行打磨,修正钢轨制造公差和建设施工误差,提高车轮与钢轨接触面的光洁度,精准调校钢轨的轨底坡度值,延缓钢轨病害的发生从而改善轮轨

关系。

4.4 车辆乘务驾驶人员操作习惯优化调整

一是人工驾驶模式,在充分保证制动距离和行驶安全的前提下,尽可能不采用快速制动、紧急制动等高级制动模式,在AW3载荷下施加7级制动时,拖车才应施加少量空气制动,在其他常用制动方式下,电空混合制动可以在不使用空气制动的情况下满足整个车辆的制动力要求,在低速电一空转换点之后进行空气制动,减少空气制动使用频率。二是在自动驾驶模式下,高速行驶列车的制动主要通过空气制动来完成,从而加速了车轮的磨损。科学选择正确的运行模式,根据车辆牵引和制动系统的最大特点,合理控制车辆的牵引与制动,能够有效减缓车轮的磨损速率。

5 结语

论文从中国不同地区多个项目城轨车辆时常发生的车轮踏面擦伤、剥离、裂缝等问题,从车辆、线路和轮轨关系三个方面对造成车轮踏面异常磨损的原因进行了分析,并从优化车辆安全制动施加控制、制动系统防滑、车轮系统踏面清扫功能、转向架一系悬挂参数和制动系统日常检修维护方案,优化运营线路维护检修方案和选择合理的轮轨硬度值匹配改善轮轨关系,优化调整车辆乘务驾驶人员操作习惯等多个方面,给出了提高城市轨道交通车辆车轮运用服役性能的建议。

参考文献

- [1] 薛文根,陆胤宁,王文华,等.基于轮轨润滑的轨道交通车辆轮轨磨损及噪声控制[J].机电传动,2020,273(2):88-91.
- [2] 王京波.合成闸瓦对车轮热影响的研究[J].铁道机车车辆,2003,23(2):77282.
- [3] 汪洋.地铁列车车轮踏面环状剥离的分析[J].电力机车与城轨车辆,2003(26):67268.
- [4] 肖国放.地铁列车车轮磨损数值仿真及偏磨原因分析[D].重庆:西南交通大学,2020.
- [5] 朱黄石,邹小春,马贺,等.车轮形面演变对重载固定辙叉磨损的影响[J].机械工程学报,2020,56(10):208-215.