

直线电机运载系统轮轨病害整治

黄学翀

(佛山市轨道交通发展有限公司 广东佛山 528000)

摘要 广州地铁5号线采用由直线电机驱动的车辆,在运营中出现了较为严重的轨道波磨及车轮圆跳动,造成了车辆走行部的圆跳动发展迅速、电机高度调整装置失效、电机绝缘失效等一系列问题,经过诸如转向架轮轴改造、小曲线段加装轮轨摩擦控制装置、有针对性的轨道打磨等系统性的整治,轮轨病害初步缓解。

关键词 城市轨道交通;直线电机;轮轨关系;圆跳动;波磨

中图分类号 TM 359.4 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2016)04-0064-03

广州地铁5号线运营里程31.9 km,日均客流约100万人次,采用6节编组直线电机车辆,最高运行速度90 km/h。开通时配属列车30列,采用庞巴迪技术的转向架,简称“既有车”;开通后增购了32列,采用青岛四方自主知识产权转向架,简称“增购车”。两种车在5年多的运营中,走行部出现了较多问题,既有车尤为严重,经过多年不懈的整治,轮轨关系有了较明显的改善。本文将对既有车及轨道整治情况作具体介绍。

1 轮轨病害情况

由于轮轨关系的不匹配,最突出的现象便是轮对圆跳动发展迅速及减振扣件区段波磨超标,造成车辆走行部振动加剧而引发的安装于二系簧下各种设备的故障或失效。

1.1 轮对多边形磨耗发展迅速

国产ER8车轮圆跳动发展速度明显高于进口ER8车轮,分别为0.07、0.03 mm/万km,每列车年均运行15万km。若靠镟轮完全压制圆跳动发展,每年需镟修

160列次,但本线正常生产能力为70列次/年^[1],每列车平均每年才能镟修一次。镟轮能力不足造成圆跳动得不到遏制,加剧了安装在转向架上设备的损坏。

1.2 直线电机绝缘失效

5号线既有车累计因绝缘失效已烧毁电机约300台次(总共360台),轮轨振动造成绝缘失效是电机烧毁的主要原因之一。

1.3 轮对轴端设备故障

既有车轴端接地装置脱落、裂纹发生数十起;轴端牵引速度传感器故障率、接地电缆断裂率远超100%。轴端设备无减振,受轮轨振动影响最大。

1.4 电机高度调整装置失效

直线电机悬挂梁直接安装于轮对轴箱上,振动水平高,疲劳载荷大;支撑橡胶在疲劳载荷下出现疲劳失效、蠕变导致压紧力丧失,出现松动;无机械锁紧,橡胶压紧力降低时,直线电机高度调整装置容易出现转动,加剧部件的磨损,最终失效后导致电机下沉,刮碰感应板。

1.5 直线电机悬挂吊杆断裂、橡胶关节失效

直线电机由5根吊杆挂在悬挂梁上,悬挂梁安装在轴箱上。在运营中发生大量的橡胶关节橡胶开裂、挤出、球头关节轴承磨损等故障,其中数起造成吊杆断裂,电机下沉。经中国科学院金属研究所等科研院所分析,失效主要与受交变载荷疲劳有关,而交变载荷在很大程度上是来自波磨和圆跳动^[2]。

1.6 正线部分区段波磨超标^[3]

5号线正线轨道存在明显波磨,小曲线上波磨严重;波磨大多超过了ISO 3095和EN 13231-3钢轨标准^[4],同时部分也超过了铁道部“铁运[2006]146号《铁路线路维修规则》”的要求。

2 轮轨关系恶化的原因

2.1 轨道减振扣件的使用

减振扣件不利于振动向大地传导,导致能量积聚

收稿日期:2015-10-29 修回日期:2016-03-24

作者简介:黄学翀,男,工学学士,工程师,从事地铁车辆检修工作,
superhobby@126.com

在轮轨系统间,容易形成波磨,5号线正线波磨分布情况能得到印证。5号线途经市区,大量使用减振扣件。其中先锋扣件7.4 km,GJ-3扣件0.81 km^[5],均为上下行累计。

钢轨的波磨状态,尤其是短波磨,引起了强烈的轮轨冲击,激发了轮轨系统(P2)共振。

2.2 曲线、扣件与波磨的共同作用

全线曲线段总长14.19 km,占比达44.5%,其中 $R \leq 300$ m,8处累计2.42 km; $300 \text{ m} < R \leq 600$ m,18处累计4.74 km; $R > 600$ m,38处累计7.03 km。最小曲线 $R = 200$ m。

现场检查发现任何扣件的线路曲线段波磨均比直线段严重。

传统扣件垂向静刚度约40 kN/mm,其钢轨波磨主要发生在曲线段,如动物园—杨箕上行R200曲线段,列车通过速度约40 km/h,波磨幅值达0.98 mm,波长包含100~125 mm、160 mm、200~250 mm。

先锋扣件(Vanguard)垂向刚度约为10 kN/mm,钢轨波磨在曲线段和直线段都有发生,但直线段不严重,而在曲线段的波磨明显,且为短波磨,如潭村—员村上行R550曲线,列车通过速度约70 km/h,波磨幅值约为0.2 mm,主要波长为40~50 mm和25 mm。

GJ-3扣件垂向静刚度约12 kN/mm,钢轨在曲线段和直线段都有明显的波磨。如大沙地—大沙东上行,直线段波磨较轻,波长为40 mm,幅值约为0.05 mm; $R 950$ 曲线段,列车通过速度约80 km/h,波磨明显,主要波长为40~50 mm,波磨幅值为0.12 mm。

2.3 钢轨焊接接头平顺度较差

5号线大部分接头不平顺幅值在0.2~0.4 mm,较为严重的钢轨焊接头不平顺幅值超过1.0 mm。轨面短波不平顺是引起轮轨力变化的主要原因,对P2力产生明显影响,P2力为轮轨间竖向低频力(30~100 Hz),能量不容易被衰减,对车轮、轨道及其下部结构都会产生明显影响,加速轨道结构失效和损坏,不利于车轮和轨道几何形位的保持。

2.4 车辆轮对一阶弯曲共振

改造前轮对一阶弯曲共振引起的九边形(见图1、2)以磨损为主(频率约为73 Hz),其波长为

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{50 \text{ km/h} \sim 80 \text{ km/h}}{73} \approx 190 \text{ mm} \sim 300 \text{ mm}$$

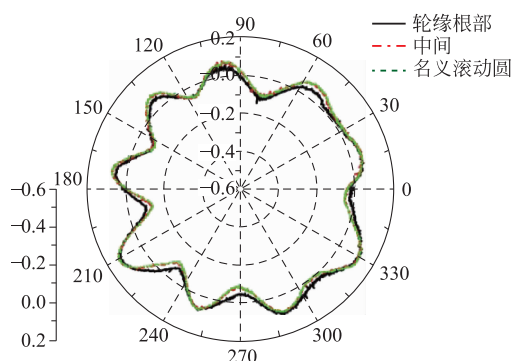


图1 不均匀磨损极坐标示意

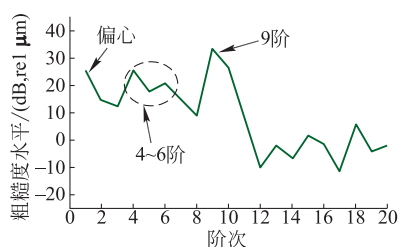


图2 不均匀磨损长阶次分布

3 针对性的改造措施

轮轨关系的恶化往往是车辆和轨道共同作用的结果,需要两方面共同整治。

3.1 车辆系统整治措施

3.1.1 车辆转向架轮轴等系列改造

更换车轴,由原136 mm加粗到155 mm,增加车轴弯曲刚度以提高抗变形能力,其一阶弯曲共振频率从73 Hz提高到84 Hz,改善甚至消除了九边形磨耗;另外,将ER8车轮更换为ER9车轮,提高轮轨硬度比,将其轴端接地装置更换为轴箱内置等。

3.1.2 加装直线电机高度正线监测系统^[6]

5号线在正线加装了直线电机高度在线监测系统,通过激光传感器,可测量列车高速通过时直线电机的高度,并得到每一台电机底部外轮廓图,对高度异常的电机及时报警,避免电机继续下沉刮碰感应板。

3.1.3 加装车载走行部故障诊断系统^[7]

为跟踪车轮圆跳动发展规律及评估轨道波磨情况,在一列车上加装了JK 10450 地铁车辆走行部车载故障诊断系统。通过对轴箱振动等参数实时在线监测,能准确诊断踏面剥离、擦伤、失圆等故障,并分级报警。

3.1.4 大幅提高轮对镟修能力

通过倒班及优化镟轮流程,使镟轮能力从70列次/年提高到约180列次/年,每列车约4个月镟1次。

3.2 轨道系统整治措施

3.2.1 针对性的轨道打磨

依托 JK 10450 地铁车辆走行部车载故障诊断系统,根据列车镢轮后上线测得的振动数据,分析出波磨超标区段,进行有针对性的轨道打磨,将有限的打磨能力用到刀刃上。

3.2.2 小曲线段加装轨旁轮轨摩擦控制装置

小半径曲线加装轨顶摩擦控制装置,该套装置在列车通过时,往轨面喷涂水基摩擦调节剂,由轮对带到整段曲线,水分挥发后,会在钢轨顶面形成一层干性薄膜,控制曲线轮轨接触表面摩擦系数在 0.3 ~ 0.4 左右,可大幅减小轮轨间切向力,缓解波磨发展。以中山八一西场上行 K4 + 525 ~ K4 + 725 为例,上行左轨加装前,轴箱振动峰值为 9.63 g,加装并打磨后,峰值为 6.55 g,有效值维持在 3 ~ 5 g;上行右轨加装前轴箱振动峰值为 9.13 g,加装并打磨后,峰值为 3.82 g,有效值维持在 2 ~ 3 g^[8]。

4 整治前后的效果对比

改造后的 ER 9 轮对圆跳动发展速度降低,最低达 0.02 mm/万 km;车辆全线运营时轴箱垂向振动最大值从 195 g 降到 40 g 左右;二系簧下各种设备因振动造成的故障基本消除。

5 结语

轮轨关系是微妙的跨系统学科,地铁小曲线密集,减振措施多,行车密度大,极易出现问题,运营后再整改的可用措施有限甚至只能采取姑息的办法,所以在线路设计时就应充分考虑车辆与轨道系统的轮轨关系匹配^[9-10]。

参考文献

- [1] 广州市地下铁道总公司. 五号线镢轮任务量的分析报告[R]. 广州, 2015.
- [2] 中国科学院金属研究所. 广州地铁 5 号线直线电机垂直吊杆断裂的材料分析[R]. 北京, 2013.
- [3] 青岛四方. 广州地铁五号线转向架改造车轮磨耗汇报[R]. 青岛, 2012.
- [4] 铁路应用轨道工程验收钢轨重新修复轮廓验收: BS EN 13231-3—2012 [S]. Brussels: European Committee for Standardization, 2012.
- [5] 广州市地下铁道总公司. 广州地铁 5 号线轨道设计文件[A]. 广州, 2008.
- [6] 广州市地下铁道总公司. 电动列车电机气隙监测系统[A]. 广州, 2013.
- [7] 广州市地下铁道总公司. 广州 5 号线 JK10450 型地铁车辆走行部车载故障诊断系统[A]. 广州, 2015.
- [8] 唐智科技. 广州地铁五号线车辆走行部及轮轨状态分析诊断报告[R]. 北京, 2015.
- [9] 郭建平, 刘维宁, 雷黔湘, 等. 北京地铁 4 号线钢轨异常波磨调查及整治措施[J]. 都市轨道交通, 2011, 24(3): 10-13.
- [10] 金学松, 刘启跃. 轮轨摩擦学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.

(编辑: 曹雪明)

Wheel and Rail Disease Control of Linear Motor Propulsion System

Huang Xuexuan

(Foshan Metro Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000)

Abstract: The trains operated in Guangzhou Metro Line 5 are driven by linear motor. During the operation, serious rail corrugation and wheel out of round occurred and equipment installed on bogie and axis are affected. Problems such as the rapid development of circular run-out, linear motor height adjusting device and insulation failure can be relieved with systematic regulation such as bogie axle reformation, friction control device installed at curve trackside and grinding the targeted serious rail. In this way, diseases of wheel and rail initial can be solved to some extent.

Key words: urban rail transit; linear motor; wheel and rail relationship; circular run-out; rail corrugation

中国承建哈萨克斯坦轻轨项目启动

哈萨克斯坦阿斯塔纳市轻轨项目一期工程启动动员会暨中国参建方合作签约仪式在北京鸟巢文创中心举办。该项目由北京市国有资产经营有限责任公司、北京城建集团等北京市属企业共同参与。目前,中国勘探团队已开始作业,预计在 8 月前完成场地平整工作,随后进入打桩施工阶段。

哈萨克斯坦为我国“一带一路”国家战略的重要伙伴,阿斯塔纳轻轨项目是哈萨克斯坦首条城市轻轨线路,全部采用中国标准设计建造。线路全长 22.4 km,共设 18 座车站和 1 座车辆段,设计时速 80 km。项目总工期为 3 年,总投资 18.87 亿美元。项目建成后将成为哈萨克斯坦乃至中亚地区最具技术代表性的城市交通项目。阿斯塔纳轻轨项目的设计标准将达到全自动无人驾驶级别,由中国企业在海外设计、承建一条无人驾驶轻轨线路尚属首次。

摘编自 <http://www.chinametro.net/2016-06-22>