

地铁车辆车轮镟修踏面的优化方案*

马进火¹ 江亚男² 陈俊栋² 吴华丽²

(1. 南宁轨道交通集团有限责任公司, 530029, 南宁;

2. 中铁科学研究院有限公司, 610032, 成都//第一作者, 高级工程师)

摘要 根据对某地铁车辆车轮镟修现状的分析, 车辆车轮以踏面磨耗为主, 轮轨磨合稳定后踏面磨耗速率约为 $0.5 \text{ mm}/(10 \text{ 万 km})$; 车轮易出现明显的不圆缺陷, 径向跳动量幅值的增加速率约为 $0.05 \text{ mm}/(10 \text{ 万 km})$ 。阐述了薄轮缘新踏面模板的生成过程。通过车轮磨耗全廓形曲线和薄轮缘踏面模板库的匹配计算, 筛选出轮径镟修量最小的镟修最优方案。结合运营实际对镟修最优方案进行验证。验证结果表明: 镟修最优方案的踏面算法提升了地铁车辆车轮镟修的精细化程度和经济性。

关键词 地铁车辆; 车轮; 踏面; 镟修

中图分类号 U270.331+.1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.08.039

Optimization Strategy of Wheel Tread Profile Lathing for Metro Vehicles

MA Jinhua, JIANG Yanan, CHEN Jundong, WU Huali

Abstract According to the on-site survey on wheel tread profile lathing status of a metro vehicle, the wheel wear area of metro vehicle mainly occurs on the tread, and the wear rate is $0.5 \text{ mm}/100,000 \text{ km}$ after the stable wearing period of wheel and rail. Wheels are prone to obvious non-circular defects during service, the increase rate of radial runout amplitude is about $0.05 \text{ mm}/100,000 \text{ km}$. In this paper, the generation process of new tread template for thin wheel flange is elaborated. Through a matching calculation of the full profile curve of wheel wear and the template library of thin wheel flange tread, the best metro vehicle wheel profile lathing decision with minimal lathing is selected, which is verified through actual operation. The result shows that this tread lathing algorithm has improved the refinement degree and economy of metro vehicle wheel profile lathing.

Key words metro vehicles; wheel; tread; profile lathing

First-author's address Nanning Rail Transit Co., Ltd., 530029, Nanning, China

地铁车辆车轮型面是影响列车运行安全性和乘坐舒适性的关键因素, 合理的维修策略对实现地铁车辆轮对科学运维管理具有重要意义。为了实现地铁车辆轮对的科学维修, 研究者们开展了大量的工作: 文献[1]通过现场调研和仿真分析探索某 A 型地铁车辆车轮不圆缺陷形成的机理和特性, 并根据不同阶数多边形特性提出相应的镟修限值; 文献[2]分析了增加地铁车辆 LM 型(磨耗型)踏面等级模板对车轮镟修经济性及效率等的影响, 多级模板等级镟修能为地铁维修带来较大的经济效益; 文献[3]通过仿真分析技术研究了车轮磨耗对列车服役稳定性的影响, 基于研究结果提出基于轮缘厚度和轮径的镟修策略; 文献[4]根据地铁车轮服役实际, 给出采用比例镟修模式时, 不同磨耗量情况下轮径与轮缘厚度镟修比例值; 文献[5]给出了轮缘厚度和踏面直径累加磨耗量预测的数学模型, 并基于遗传算法相关理论和蒙特卡罗仿真法实现单轮对和单节车厢的镟修策略优化。本文以实现地铁车辆车轮经济性镟修为目标, 深入研究薄轮缘踏面模板生成原则, 给出地铁车辆的 LM 型薄轮缘踏面经济镟修用模板, 并结合车轮磨耗特性提出地铁车辆车轮镟修方案的智能算法。

1 地铁车辆车轮镟修现状分析

本文以某地铁车辆车轮为研究对象进行跟踪调研。车轮参数包括踏面磨耗量、轮缘厚度、局部擦伤剥离缺陷、轮径差及车轮径向跳动量等 5 个参数; 镟修作业执行 LM26、LM28、LM30、LM32 等 4 个型号的外形轮廓模板, 并给出镟修决策指导性原则; 工人再根据经验确定具体的作业方案。

某地铁 1 号线配属列车 30 组, 本文随机选择了 5 组列车进行跟踪分析。选择 4 种工况进行研究:

* 中铁科学研究院有限公司科技开发计划项目(KJ019-Z019-JS)

新造轮为工况 1;工况 2 为约 10 万 km 运行里程,第一次镟修镟前检测(全列镟);工况 3 为约 10 万 km 运行里程,第一次镟修镟后检测(全列镟);工况 4 为约 30 万 km 运行里程,第二次镟修镟前检测(零镟)。图 1 为各车组的测量参数均值变化曲线。根据第一次镟修数据统计,各车组车轮故障失效模式与镟修损失占比情况统计如表 1 所示。

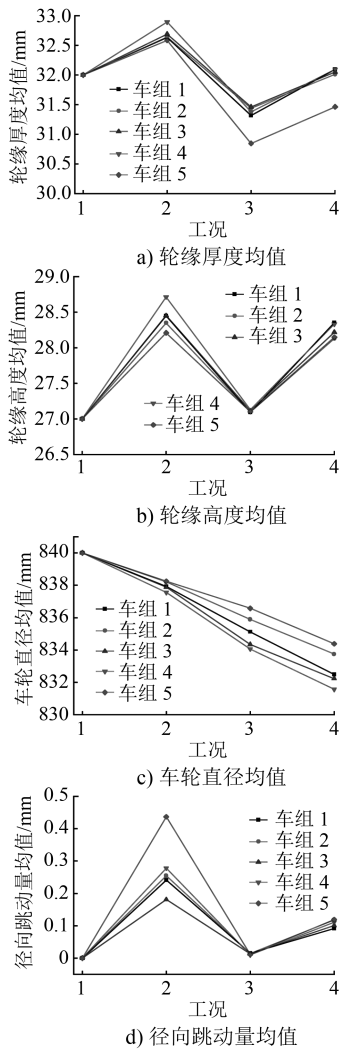


图 1 车轮特征参数均值变化曲线

表 1 各车组失效模式与轮径损失量占比统计表				
车组	主要失效模式分析	轮径磨耗量/mm	镟修量/mm	镟修损失占比/%
1	径向跳动量超限 14.5%, 轮缘厚超限 9.0%	2.08	2.80	57.41
2	径向跳动量超限 16.0%, 轮缘厚超限 12.2%	1.79	2.32	56.54
3	径向跳动量超限 1.0%, 轮缘厚超限 19.8%	2.11	3.54	62.65
4	径向跳动量超限 30.0%, 轮缘厚超限 39.0%	2.44	3.49	58.86
5	径向跳动量超限 55.5%, 轮缘厚超限 13.0%	1.75	1.68	49.07

分析表 1 可知:

- 1) 车轮以踏面磨耗为主。轮缘厚度在列车运行过程中逐步递增,导致出现大量的轮缘厚度上限超限;车轮失效的另一个主要原因为车轮径向跳动量超限。
- 2) 车轮各参数的变化速率如表 2 所示。列车运行的第一个镟修周期为新轮与新轨的磨合期,磨耗速率较快,第二个镟修周期轮轨磨耗趋于稳定。

表 2 车轮参数变化速率

参数	变化速率 mm/(10 万 km)	
	第一个镟修周期	第二个镟修周期
踏面磨耗量	1.4	0.5
轮缘厚度	0.6	0.3
径向跳动量	0.25	0.05

- 3) 当前车轮直径镟修量平均约为 2.8 mm,镟修损失占比高达 50% 以上,车轮利用率较低,镟修经济性有较大的提升空间。
- 4) 根据车轮的磨耗情况分析,为消除径向跳动缺陷,也为防止车轮镟修后存在黑皮,建议该线路的车辆车轮直径最小切削量为 1 mm。

2 地铁车辆车轮镟修优化方案算法研究

为了保障地铁车辆车轮维修质量,并提升车轮镟修的经济性,本文基于某地铁 1 号线车辆的车轮服役状态,研究了该线路地铁车辆车轮镟修最优方案智能算法。

2.1 连续轮缘厚度的踏面生成

薄轮缘镟修模板是实现车轮镟修方案经济性的关键因素。本文参考 EN 13745—2004《Surfaces for sports areas-Determination of specular reflectance》和 TB/T 449—2016《机车车辆车轮轮缘踏面外形》中关于薄轮缘踏面的作图原则,采用平移法实现任意轮缘厚度的 LM 型踏面。LM 型踏面分段如图 2 a) 所示,图 2 b) 为轮缘曲线平移原理示意图。薄轮缘原踏面的基础上,保持踏面曲线 $H \sim N$ 、轮缘曲线 $D \sim F$ 不变,通过平移 F 点横坐标、 GH 段弧圆心坐标和弧长、 BC 段弧圆心坐标和弧长来生成新的薄轮缘踏面。

基于多系统动力学软件 SIMPACK,建立地铁车辆车-线耦合动力学模型,对所生成的薄轮缘新踏面进行动力学分析。经计算,新踏面的各项动力学性能指标均满足标准要求,且各项动力学性能指标计算结果差别不大,即 LM 型系列薄轮缘踏面的动力学性能基本保持同一等级。

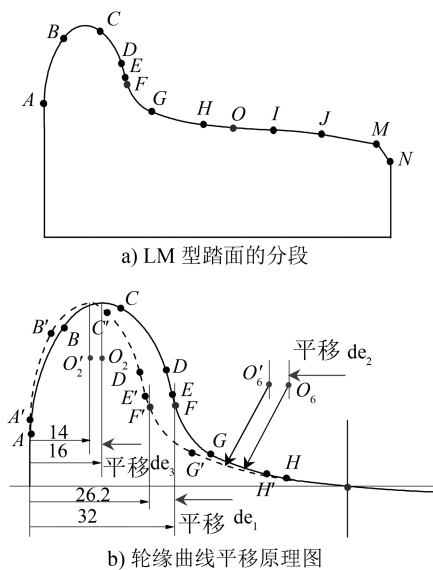


图2 LM型薄轮缘新踏面的生成

2.2 镟修方案最优算法

对车轮磨耗全廓形曲线和薄轮缘踏面模板库进行匹配计算,在保证镟后无黑皮的情况下,筛选出轮径镟修量最小的镟修最优方案,从而实现单轮对的精细化镟修。车轮镟修方案优化计算原理如图3所示。

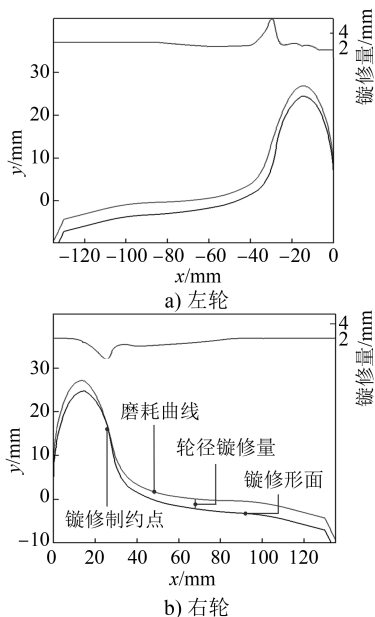


图3 基于廓形曲线的单轮对镟修方案优化计算原理

2.3 算例

采用WDES(便携式机车车辆轮对尺寸检测系统)对车组3、和车组4的车轮进行踏面廓形检测。图4为车轮踏面廓形测量曲线。采用图3所示方法可确定车轮镟修的最优方案。当控制最小直径切

削量为1 mm时,为镟修周期内车轮直径服役减少量与最优方案镟修量的对比情况见图5。

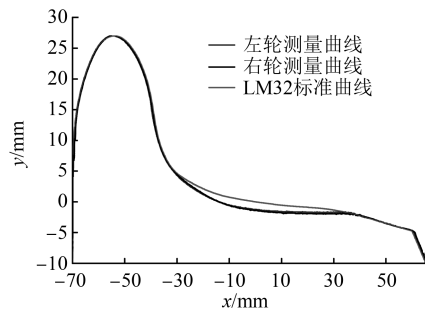
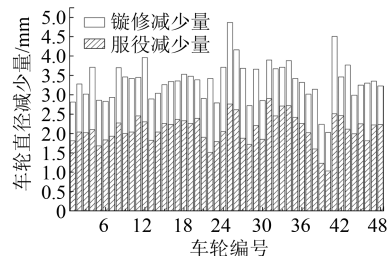
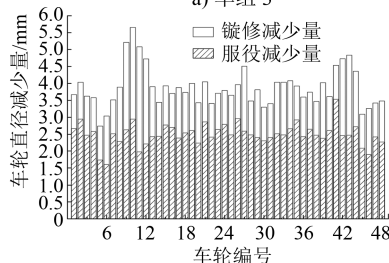


图4 车轮踏面廓形测量曲线



a) 车组3



b) 车组4

图5 轮径减小量对比

由图5计算可得,车组3的镟修减少量平均占车轮直径总减小量的34.8%,车组4的镟修减少量平均占车轮直径总减小量的36.7%,相比第一次镟修时的镟修量占比(见表1)分别减少27%和21%。可见本文提出的镟修方案相比现有镟修方案有明显的经济性。

3 结论

1) 该线路车组以踏面磨耗为主,轮缘厚度逐步递增,易出现车轮不圆的缺陷;轮轨磨合稳定后,踏面磨耗约为0.5 mm/(10万 km),轮缘厚度增速约为0.5 mm/(10万 km),车轮径向跳动量幅值增速约为0.05 mm/(10万 km);考虑车轮径向跳动和磨耗情况,建议该线路运行车组的车轮直径镟修最小切削量为1 mm。

(下转第168页)

用开侧窗浇筑的方式。混凝土初凝或拆模后,洒水保持湿润养护。

6) 前 10 管片选型。隧道始发端正 1 环—正 10 环选用增加过注浆孔的多孔管片,每环管片注浆孔由 6 个增加至 16 个,以保证洞门封堵快速、高质。所选管片如图 6 所示。

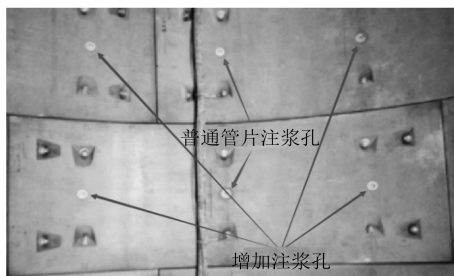


图 6 多孔管片实物图

7) 密封舱室填聚氨酯。填仓前,应进行现场试验,以确定适宜的施工工艺及参数。实际工程中,采用在密封舱室内底板上浇筑 70 cm 厚 M5 水泥砂浆的措施,来保证底板与新筑侧墙之间的密封性;另外,需要对密封结构强度、密封性进行检验,合格后向密封结构内进行填聚氨酯。在填充的过程中适当加水,以保证聚氨酯充满空间。

8) 盾构始发掘进。始发掘进时,推进速度控制在 5~8 mm/min,推力控制在小于 8 000 kN,转动刀盘时注意刀盘扭矩、土仓压力的变化。

9) 盾构机尾部未进入洞门之前的注意事项。盾构掘进参数不应有明显变化;密封舱室内压力不能减小。盾尾过正 10 环后即可封堵洞门。注浆时压力不应过大,可根据计算的注浆量分几次注浆(一般分 3 次),待下部浆液初凝后,进行中部注浆,

中部浆液初凝后,进行上部注浆。注浆过程中要准备好钢板型钢等物料,对漏浆的地方进行封堵。

3.3 实践效果

盾构始发过程中,密封舱室工作正常,盾尾无漏浆现象,洞门未见喷砂涌水,地表沉降变形监测数据未见异常,隧道上方地表的周边环境完好,盾构机掘进姿态正常。

4 结语

钢筋混凝土密封舱室盾构始发技术在苏州轨道交通建设中首次成功应用,有效解决了暗埋车站始发井内钢套筒无法安装的问题,有效避免了洞门渗漏的风险。施工安全经济、方便适用,且拆除后不影响主体结构质量。这一新技术充分利用了钢筋混凝土结构的优势,具有广泛的应用基础与广阔的延伸价值。本技术的实践研究,不仅对今后类似工程的施工具有指导作用,在其它工程中也将创造巨大的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 胡爽子. 浅析盾构始发与接收钢套筒施工工艺[J]. 四川建材, 2016(6): 128.
- [2] 夏晨欢. 盾构进洞钢套筒施工技术的研究[J]. 建筑施工, 2013(1): 69.
- [3] 陈树茂, 方一航, 袁梦, 等. 地铁盾构隧道无端墙密封钢套筒接收技术研究[J]. 广州土木与建筑, 2018(7): 39.
- [4] 郑石, 鞠世健. 泥水平衡盾构到达套筒辅助接收施工技术[J]. 现代隧道技术, 2010(6): 51.
- [5] 邱品茗, 李艾. 关于盾构始发即近距离下穿既有隧道的施工技术探讨[J]. 四川建筑科学研究, 2012(1): 141.

(收稿日期:2020-04-03)

(上接第 164 页)

2) 该线路车轮的镟修占比高达 50% 以上,说明镟修经济性有较大的提升空间。

3) 考虑薄轮缘镟修模板对镟修经济性的影响明显,本文提出地铁车辆用任意轮缘厚度 LM 型踏面的生成算法,构建连续轮缘厚度薄轮缘模板库。

4) 本文以车轮磨耗廓形曲线和单节车车轮参数匹配性要求为基础,智能选取车轮精细化镟修最优方案。验证结果表明,新的车轮镟修踏面方案具有较明显的经济性。

参考文献

- [1] 杨晓璇. A 型地铁车辆车轮多边形形成机理初步研究[D]. 成都:西南交通大学, 2018.
- [2] 李鑫. LM 磨耗形踏面轮对全廓形等级镟修的实现方法[J]. 城市轨道交通研究, 2017(5): 163.
- [3] 黄增俊. 地铁车辆轮对磨耗预测及其镟修策略优化[D]. 广州:广东工业大学, 2018.
- [4] 李佳妮. 地铁转向架轮对的磨耗及其镟修[J]. 科技与企业, 2015(15): 197.
- [5] 赵文杰. 地铁车辆轮对磨耗故障预报和镟修策略优化[D]. 杭州:中国计量学院, 2014.

(收稿日期:2019-08-07)