

100%低地板现代有轨电车车轮踏面优化

周业明¹ 周小江¹ 任利惠² 季元进²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司技术中心, 266111, 青岛;

2. 同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 201804, 上海//第一作者, 教授级高级工程师)

摘 要 基于接触角曲线反推法, 对佛山南海 100% 低地板有轨电车的车轮踏面进行了优化。与原型踏面相比, 优化后的踏面提高了独立轮对复位能力, 改善了轮轨接触状态, 减小了轮轨接触应力。仿真计算表明, 优化后的踏面改善了车辆的动力学性能, 踏面磨损状态优于原型踏面。

关键词 有轨电车; 车轮踏面; 踏面优化

中图分类号 U270.2; U482.1*02

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.04.006

Tread Optimization for 100% Low-floor Modern Tram

ZHOU Yeming, ZHOU Xiaojang, REN Lihui, JI Yuanjin

Abstract Based on the contact angle curve reverse repulsion method, the tread of 100% low floor tram running in Nanhai District of Foshan City is optimized. Compared with the original tread, the optimized one increases the restore ability of the independent rotating wheel set, improves the wheel/rail contact state and reduces the wheel/rail contact stress. A calculation shows that the optimized tread improves the dynamic performance of the vehicle, and the wear depth of the optimized tread is less than that of the prototype tread.

Key words tram; wheel tread; tread optimization

First-author's address CRRC Qingdao Sifang Locomotive and Rolling Stock Co., Ltd., 266111, Qingdao, China

佛山南海 100% 低地板有轨电车采用 3 个模块编组, 模块间采用 Jacobs 转向架连接, 各模块采用同步永磁电机驱动。Jacobs 转向架采用回转支承轴承与车体连接, 车体与转向架的回转自由, 车辆可通过 20 m 甚至更小的曲线半径。由于采用了独立车轮, 与常规轮对相比, 通过小曲线时尖啸噪声大幅度减小^[1]。

佛山南海 100% 低地板现代有轨电车原型车已在欧洲运用, 其运行线路主要采用 Ri60R2 槽型轨。为了降低线路造价, 我国的有轨电车线路正线非平交道口直线段一般采用 CN50 钢轨, 轨底坡 1/40, 仅

在小曲线区段和平交道口区段采用 Ri60R2 槽型轨, 车辆段站场一般也采用 CN50 钢轨。

为了更好地适应我国现有的有轨电车线路条件, 使车辆动力学性能和运行品质满足相应要求, 降低车轮磨耗, 延长车轮使用寿命, 本文针对佛山南海 100% 低地板有轨电车的车轮踏面进行匹配优化。

1 原型踏面及轮轨关系

1.1 原型踏面外形

原型踏面(见图 1)主要由 1:40 的直线段和 $R 300$ mm、 $R 80$ mm 和 $R 15$ mm 的 3 段圆弧组成。轮缘高度为 25.50 mm, 轮缘厚为 22.21 mm, 轮缘角为 76° ; 轮背斜度为 1:6, 与 Ri60R2 槽型轨适应; 车轮宽度为 115 mm, 名义滚动圆中心到轮背的距离为 59 mm。

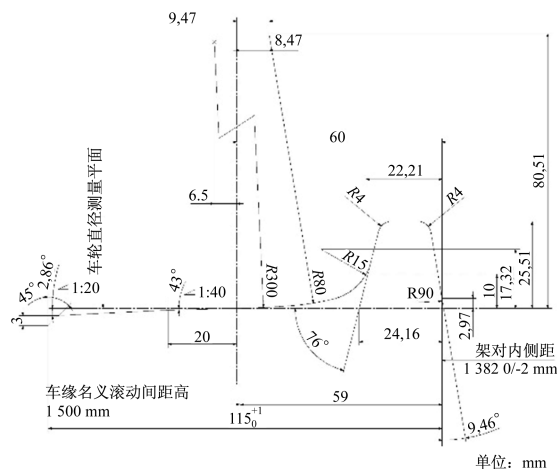


图 1 原型踏面外形尺寸

1.2 轮轨关系

图 2 给出了原型踏面和 CN50 钢轨及 Ri60R2 槽型轨的轮轨接触关系。从图 2 a) 可看出: 原型踏面和 CN50 钢轨的轮轨接触点分布过于集中, 不利于磨

耗;在 ± 5 mm内左右接触角差不大,不利于独立车轮的导向;从图2 b)可看出,原型踏面和Ri60R2槽型轨

的轮轨接触点分布过于集中,不利于磨耗;在 ± 5 mm内的接触角差较小,不利于独立车轮导向。

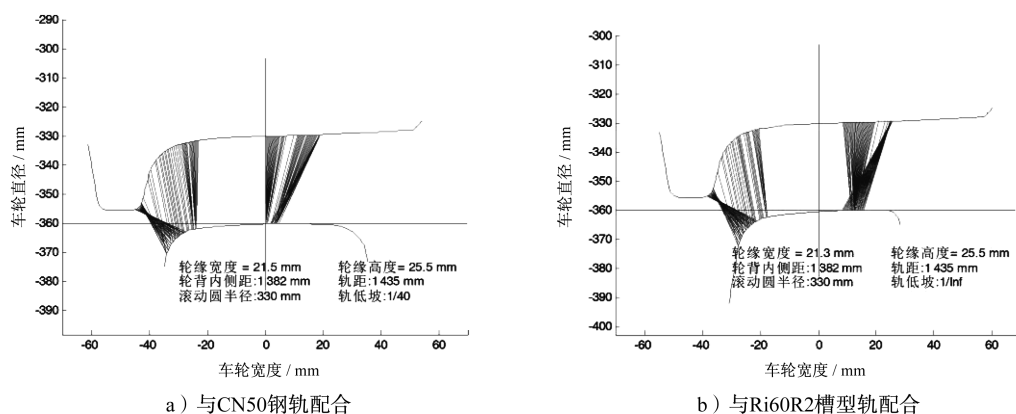


图2 原型踏面的接触点分布

采用Kalker三维精确滚动接触理论,计算不同轮对横移量下的接触应力(见表1)。从表1中可看出:原型踏面和CN50钢轨的最大接触应力发生在轮对横移量2 mm处,踏面最大应力达到了3 930 MPa;原型踏面和Ri60R2槽型轨的最大接触应力发生在轮对横移量6 mm处,踏面最大应力达到了2 158 MPa;在踏面接触部位,原型踏面和CN50钢轨的接触应力明显大于和Ri60R2槽型轨的接触应力。

表1 原型踏面与钢轨的最大接触应力

轮对横移量/mm	最大接触应力/MPa	
	CN50 钢轨	Ri60R2 槽型轨
0	3 839	900
2	3 930	1 049
4	3 564	1 519
6	958	2 158
8	1 027	1 901

2 优化踏面及轮轨关系

2.1 优化踏面外形

独立车轮的导向是依靠重力复原力,而重力复原力的大小取决于车轮外载荷和左、右车轮接触角差,因此,独立车轮的踏面外形要尽量增加车轮的接触角差。对于独立车轮而言,就是需要尽量增大左、右车轮接触角差以增大重力复原力。对于左轮的接触角曲线而言,曲线零位右侧应该平坦,零位左侧应该陡峭,踏面接触部位的接触角曲线应该连续、单调,轮缘角应与原型外形一致,并最好保持一段直线以提高抗脱轨能力。同时,设置零位接触点

的接触角在零度附近,以尽量加大轮轨接触点的分布。

根据上述原则,本文采用接触角踏面反推设计方法^[2-3],在原型踏面的基础上进行局部优化:首先获取踏面离散数据;然后通过圆弧曲线拟合处理进行踏面外形优化。如图3所示,对比原型踏面,优化踏面的主要改变在踏面内侧和轮缘部位。

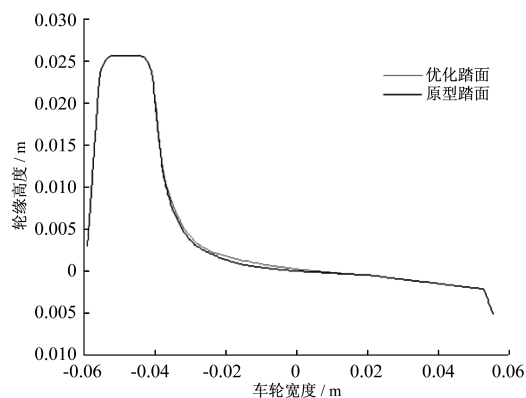


图3 优化踏面与原型踏面的外形对比

2.2 轮轨关系

优化踏面与CN50钢轨和Ri60R2槽型轨的几何接触关系如图4所示。由图4 a)、4 b)可看出:优化踏面与CN50钢轨配合时,接触点分布比较均匀,没有出现集中的现象,比原型踏面的分布区域明显增大;零位接触点位于钢轨廓形的R 80 mm半径处;接触角差曲线有一定斜度,接触角差曲线增长光滑,当轮对位移达到3 mm左右时能产生较大的接触角差。从图4 c)、4 d)可看出:与Ri60R2槽型轨配合时,接触点分布比较均匀,没有出现集中的现象,

零位接触点位于钢轨轨顶附近;接触角差曲线有一定斜度,接触角差曲线增长光滑,当轮对位移达到3 mm左右时能产生较大的接触角差。轮轨分析结果表明,优化踏面与CN50钢轨及Ri60R2槽型轨匹配

时,接触角差较大,有利于改善独立轮对的复位性能,且轮轨接触点分布均匀,有利于改善轮轨磨损。

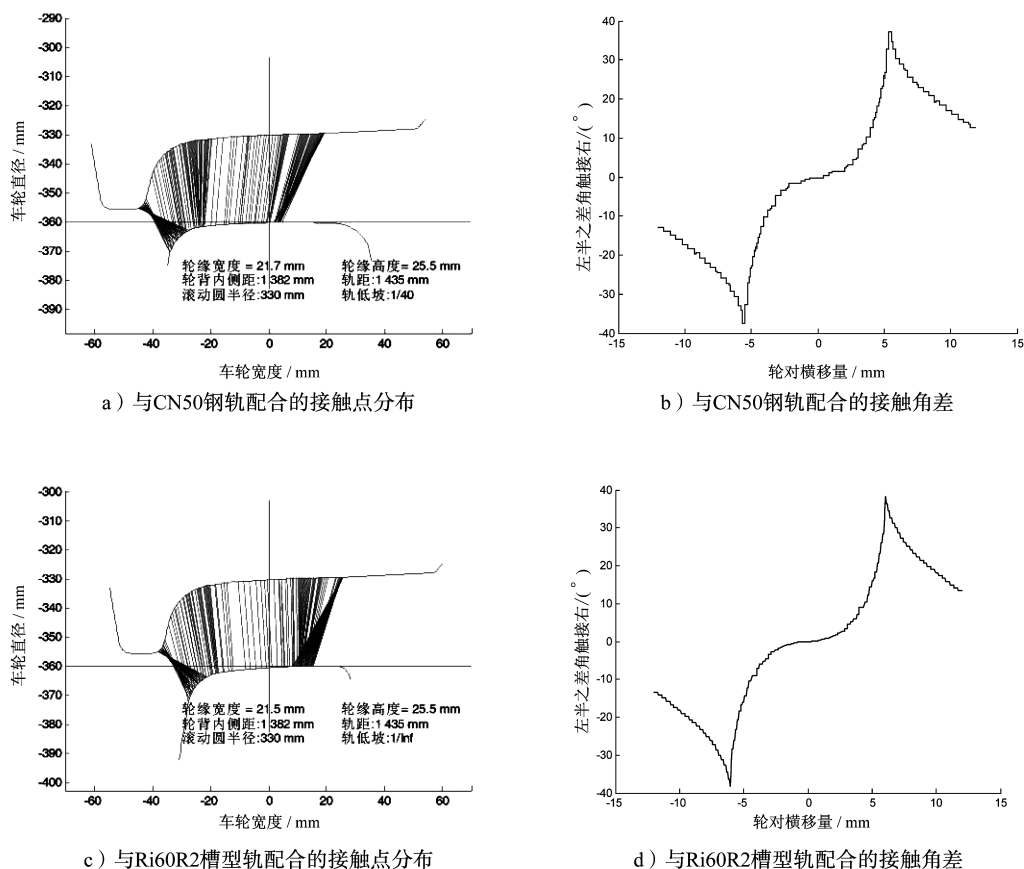


图4 优化踏面的轮轨接触关系

2.3 接触应力

表2给出了优化踏面与CN50钢轨及Ri60R2槽型轨的最大接触应力。由表2可见:与CN50钢轨配合时,最大接触应力产生在轮对0~2 mm处,与原型踏面相比,在整个轮对横移范围内接触应力的数值趋向平均,在0~4 mm范围内接触应力有所降低,在6~8 mm范围内接触应力有所上升;与Ri60R2槽型轨配合时,最大接触应力产生在轮对6 mm处,与原型踏面相比,最大接触应力基本一致。

3 动力学性能

3.1 曲线通过性能

表3给出了采用优化踏面和原型踏面的有轨电车在通过曲线区间时满足动力学安全性限度的最高运行速度。由表3可看出:采用优化踏面的有轨

表2 优化踏面与钢轨的最大接触应力

轮对横移量/mm	最大接触应力/MPa	
	CN50 钢轨	Ri60R2 槽型轨
0	2 098	913
2	1 304	1 039
4	1 362	1 519
6	1 373	2 159
8	1 600	1 902

电车在各曲线区间的最高安全限速均大于等于采用原型踏面的有轨电车^[4]。

3.2 运行平稳性

表4给出了优化踏面和原型踏面在美国5级谱激励下,地铁空载(AW0)工况下的Sperling运行平稳性。由表4可看出:在AW0工况下,采用优化踏面的有轨电车在美国5级谱激励下的横向和垂向Sperling指标均优于装用原型踏面的车辆。

表3 优化踏面和原型踏面的最高运行速度

区间编号	圆曲线 半径/m	最高运行速度/(km/h)	
		原型踏面	优化踏面
RJD1	75	50	70
CJD1	70	45	45
JD5	65	50	50
JD7	45	35	40
JD10	40	40	40
JD13	35	30	35
JD24	30	35	35
JD26	50	65	70

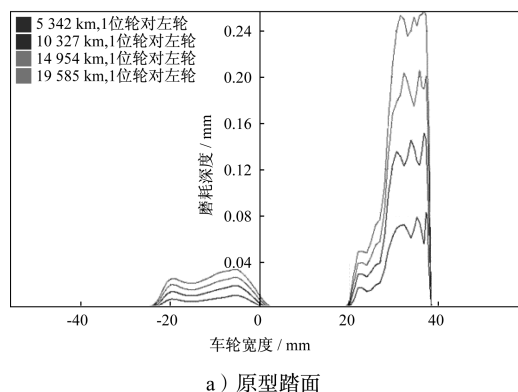
表4 优化踏面和原型踏面的Sperling指标

速度/(km/h)	原型踏面指标		优化踏面指标	
	横向	垂向	横向	垂向
40	1.60	2.02	1.34	1.70
50	1.82	2.18	1.47	1.87
60	1.90	2.22	1.60	2.08
70	1.98	2.38	1.79	2.12

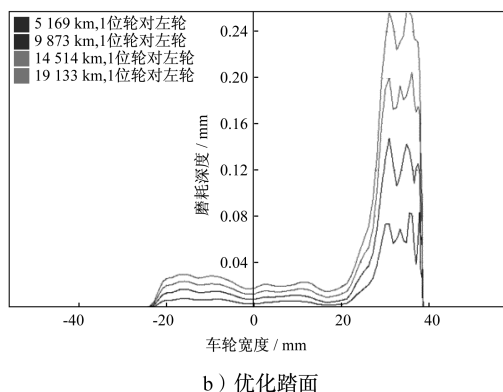
3.3 磨耗预测

图5给出了有轨电车在运行不同里程时车轮累积磨耗量的仿真预测结果。由图5可见:原型踏面

的磨耗明显表现为两处磨耗,一处集中在踏面名义接触点外侧20 mm范围内,另一处在轮缘位置,其中踏面的磨耗不均匀;优化踏面磨耗区域明显大于原型踏面,在踏面部位的磨耗比较均匀,磨耗深度也小于原型踏面,轮缘部位的磨耗量与原型踏面相当。



a) 原型踏面



b) 优化踏面

图5 车轮踏面的磨耗量预测

4 结语

采用接触角踏面反推法,对佛山南海100%现代有轨电车的车轮踏面进行了优化。与原型踏面相比,优化踏面与CN50钢轨匹配时,接触点分布均匀,改善了轮轨磨耗条件,当轮对位移达到3 mm左右时,能产生较大的接触角差,改善了独立轮对的复位性能;在轮对横移范围内接触应力的数值趋向平均,在0~4 mm范围内接触应力明显降低。

动力学性能计算表明:装用优化踏面的车辆在各曲线区间上的最高安全限速大于或等于原型踏面的;装用优化踏面的车辆的横向和垂向Sperling指标均优于装用原型踏面的。磨耗预测计算

表明:优化踏面的磨耗区域比原型踏面的要宽阔,磨耗深度小于原型踏面。

参考文献

- [1] 胡寻新. 南车青岛四方现代有轨电车技术特点[C]//2014中国(青岛)城市轨道交通管理和技术创新研讨会. 青岛:青岛地铁产业协会,2014.
- [2] 沈钢,叶志森. 用接触角曲线反推法设计铁路车轮踏面外形[J]. 同济大学学报(自然科学版),2002,30(9):1095.
- [3] 叶志森,沈钢. 独立车轮踏面外形的设计[J]. 铁道车辆,2003,49(1):19.
- [4] 中车青岛四方机车车辆股份有限公司. 佛山南海有轨电车车轮踏面优化及动力学分析报告[R]. 青岛:中车青岛四方机车车辆股份有限公司,2016.

(收稿日期:2019-08-20)