

文章编号: 1005-0523(2019)06-0013-06

# 基于个性化钢轨打磨对调边轨优化研究

杨逸航<sup>1</sup>, 肖乾<sup>2</sup>, 孙小军<sup>1</sup>

(1. 中铁物轨道科技服务集团有限公司, 北京 100037; 2. 华东交通大学载运工具与装备教育部重点实验室, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 选陇海线 1 条磨损较为严重的小半径曲线下股调边轨作为研究对象, 进行个性化打磨方案设计, 对轮轨几何接触状态进行分析, 并进行车辆-轨道多体系统动力学仿真。结果表明: 打磨后调边轨面掉块、轨面光带、钢轨磨耗速率及钢轨质量指数 TQI 得到显著改善; 通过轮轨接触几何分析可知, 打磨后等效锥度及轮轨接触点均得到优化, 列车运行稳定性及轮轨接触状态得到改善; 通过车辆-轨道多体系统动力学仿真研究可知, 打磨后 1~4 位车轮与调边轨接触时接触斑内磨耗功最大值、轮重减载率最大值、车体垂向/横向加速度均降低, 轮轨磨耗特性、列车运行安全性及稳定性均得到改善。

**关键词:** 客货共线铁路; 钢轨打磨; 动力学仿真; 调边轨廓形优化; 轮轨磨耗

中图分类号: U211.5

文献标志码: A

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2019.06.003

郑州局管内山区铁路小半径曲线较多, 导致曲线上股钢轨侧磨较为严重, 为了提高钢轨使用效率, 部分曲线上股侧磨严重钢轨被调到曲线下股进行使用。与普通钢轨相比, 调边轨工作边较高, 非工作边较低, 如若按照普通钢轨方式打磨, 将会使调边轨外侧工作边过低, 轮轨接触点向内偏移从而形成不良轮轨接触。同时钢轨外侧过度切削也将人为减少了调边轨使用期限。

钢轨打磨可以有效优化钢轨廓形, 改善轮轨接触关系, 延长钢轨使用寿命, 国内诸多学者对钢轨打磨进行研究。王庆方<sup>[1]</sup>对钢轨预打磨后轨面不平顺状态进行评价, 结果表明钢轨预打磨能够有效改善轨面的不平顺状态。张聪聪等<sup>[2]</sup>对高速铁路钢轨打磨关键技术进行细致研究。龚继军等<sup>[3]</sup>基于钢轨廓形, 使得广深线钢轨廓形得到优化, 车载仪超限数量、添乘仪报警个数、轨检指标较打磨前均得到明显改善。王军平<sup>[4]</sup>对钢轨打磨研究结果表明, 打磨后轮对运行稳定性、安全性和平稳性指标均得到了有效改善。郭战伟<sup>[5]</sup>基于对轮轨蠕滑形成机理的研究, 提出应通过钢轨打磨消除或减弱轮轨蠕滑, 达到延长钢轨使用寿命的目的。

现如今对普通钢轨廓形打磨研究较多, 未对调边轨廓形打磨优化进行深入研究, 本文依据郑州局管内陇海线路打磨现状, 选取 1 条磨损较为严重的小半径曲线调边轨作为研究对象, 里程为上行 K922+000~K923+000, 半径为 700 m。基于 miniprof 钢轨廓形仪分别测量得到打磨前后钢轨廓形, 进行个性化打磨方案设计, 并对轮轨接触几何特性进行分析, 随后采用多体动力学软件 UM 建立车辆-轨道多体系统动力学模型, 研究车辆通过打磨前后调边轨时动力学特性。

## 1 现场打磨情况

### 1.1 打磨方案设计

图 1 为打磨前实测廓形与设计廓形对比, 由图可知, 调边轨内侧工作边明显高于设计廓形, 外侧非工作边略高于设计廓形。

收稿日期: 2019-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51565013); 京沪高速铁路股份有限公司科研计划项目(京沪科研—2018—07)

作者简介: 杨逸航(1992—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为轮轨接触。

计算得到打磨前实测廓形与设计廓形不同角度偏差量,非工作边高于设计廓形约0.2 mm,工作边高于设计廓形约3 mm,根据 SPENO 96 打磨车打磨切削能力,此调边轨廓形打磨至设计廓形需要8遍。通过廓形打磨,调边轨廓形得到优化。

1.2 钢轨状态变化

图2为调边轨打磨前后轨面状态变化,由图可知,打磨前轨面剥离掉块较为明显,轨面光带较宽,连续观测11月,打磨后11月轨面光带宽度较宽,轨面仅有轻微的掉块现象。由此可知,通过廓形打磨,调边轨廓形得到优化,轨面光带及掉块均得到较处理好。

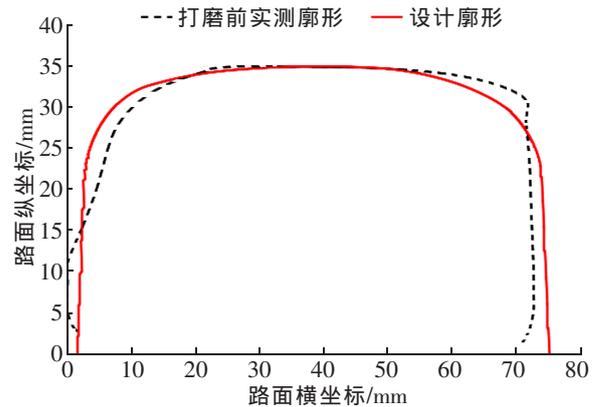


图1 打磨前实测廓形与设计廓形对比

Fig.1 Comparison of measured profile and designed profile before grinding



(a) 打磨前



(b) 打磨后11月

图2 打磨前后轨面状态

Fig.2 Rail surface status before and after grinding

表1为调边轨打磨前后磨耗速率变化表,由表可知,通过廓形打磨,连续观测11月,调边轨磨耗速率均有显著改善,里程K922+600处磨耗速率降低最为显著,降低57.66%。

1.3 钢轨质量系数 TQI 变化

钢轨质量指数 TQI 是铁路工务系统衡量钢轨质量的重要指标<sup>[6]</sup>,TQI 值越小表示钢轨质量越好。表2为打磨前后钢轨质量系数 TQI 变化表,由表可知,通过廓形打磨,钢轨质量指数 TQI 显著下降,在里程为 K922+800 处钢轨质量指数 TQI 下降最大,为 64.28%。

表1 打磨前后钢轨磨耗速率变化

Tab.1 The change of rail wear rate before and after grinding

里程	mm/月	
	打磨前	打磨后
K922+000	0.223	0.102
K922+200	0.251	0.122
K922+400	0.186	0.112
K922+600	0.241	0.102
K922+800	0.197	0.097
K923+000	0.233	0.132

表2 打磨前后钢轨 TQI 变化

Tab.2 The change of rail TQI before and after grinding

里程	打磨后	
	打磨前	打磨后
K922+000	8.1	6.7
K922+200	10.6	10.3
K922+400	10.1	9.6
K922+600	9.9	9.7
K922+800	14.1	5.7
K923+000	16.2	12.1

## 2 轮轨接触几何分析

### 2.1 等效锥度变化

轮轨接触几何关系对轮轨动力学特性影响很大,等效锥度是轮轨几何接触中的重要参数<sup>[7]</sup>。表 3 为打磨前后 K922+600 处钢轨等效锥度随横移量变化表,由表可知,打磨后 K922+600 处钢轨等效锥度显著降低,根据 kingel 原理<sup>[8]</sup>,在横向跨距和滚动圆半径保持一定的情况下,等效锥度减小,转向架蛇形运动频率减小,车辆运行的平稳性得到改善。

### 2.2 轮轨接触点变化

图 3 是轮轨接触点分布图,从轮轨接触点分布图可直观地看到打磨前后不同横移量情况下轮轨的接触点位置和布置情况。由图可知,打磨前轮轨接触主要集中在钢轨内侧工作边,通过廓形打磨,轮轨主要接触区间主要集中在钢轨轨面,轮轨接触状态得到改善。

表 3 打磨前后 K922+600 处钢轨等效锥度变化  
Tab.3 The change of equivalent conicity of K922+600 rail before and after grinding

横移量/mm	打磨前	打磨后
1	0.306	0.07
2	0.321	0.075
3	0.276	0.071
4	0.295	0.076
5	0.309	0.079
6	0.319	0.081
7	0.339	0.146
8	0.427	0.213
9	0.499	0.315
10	0.643	0.487

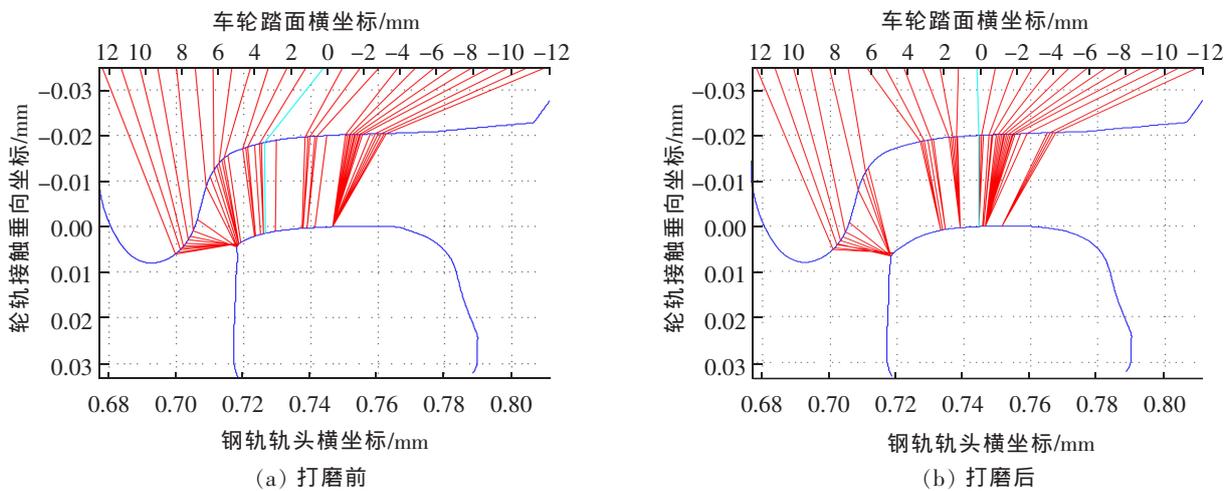


图 3 打磨前后轮轨接触点分布

Fig.3 Distribution of wheel-rail contact points before and after grinding

## 3 车辆-轨道多体系统动力学仿真研究

依据车辆悬挂参数,在动力学软件 UM 中建立车辆精细模型。模型充分考虑非线性轮轨接触几何关系、非线性轮轨蠕滑特性及非线性车辆悬挂系统。列车运行速度设为 75 km/h,曲线半径为 700 m,全长 600 m,曲线超高为 120 mm,钢轨廓形分别选用打磨前后现场实测廓形。建立车辆-轨道多体系统动力学模型,箭头方向为车辆行驶方向,如图 4 所示。

由于本文只对曲线下股调边轨进行研究,曲线上股非调边轨不进行研究分析,车辆行进方向右侧车轮与调边轨进行接触,将右侧车轮由运行方向前至后定义为 1 位车轮、2 位车轮、3 位车轮、4 位车轮。

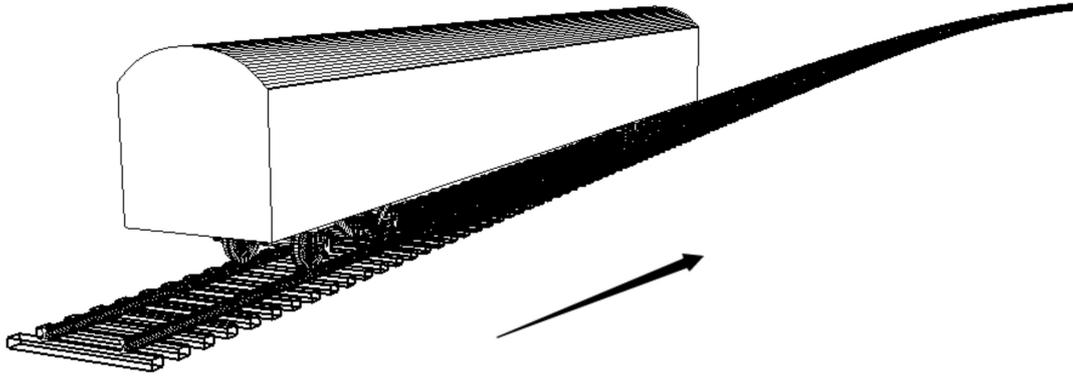


图4 车辆-轨道多体系统动力学模型

Fig.4 Dynamics model of vehicle-track multi-body system

### 3.1 轮轨接触磨耗特性分析

表4为车辆通过打磨前后调边轨时车轮接触斑内磨耗功最大值变化,由表可知,通过廓形打磨,1~4位车轮与曲线钢轨廓形接触时接触斑内磨耗功最大值均有降低,当4位车轮与钢轨廓形接触时磨耗功最大值降低最为明显,减小41.27%。故通过钢轨廓形打磨,轮轨间磨耗功减小,轮轨磨耗得到较好的改善<sup>[9]</sup>。

### 3.2 列车运行安全性分析

轮重减载率是判断车辆运行安全性主要指标之一<sup>[10]</sup>,轮重减载率越小表明车辆运行安全性越高。表5为1~4位车轮通过打磨前后调边轨时车轮轮重减载率最大值变化,由图可知,1~4位车轮与打磨后调边轨接触时轮重减载率最大值均有显著降低,当1位车轮与钢轨廓形接触时轮重减载率最大值降低最为明显,减小17.18%。故通过钢轨廓形打磨,车辆运行安全性得到提升。

表4 打磨前后轮轨磨耗功变化

Tab.4 The change of wheel/rail wear power before and after grinding

轮对类别	打磨前	打磨后
1位	1 143.13	1 137.38
2位	94.04	61.42
3位	1 092.56	1 071.89
4位	90.79	53.32

表5 打磨前后轮重减载率变化

Tab.5 The change of wheel weight reduction rate before and after grinding

轮对类别	打磨前	打磨后
1位	0.018	0.014
2位	0.067	0.059
3位	0.029	0.026
4位	0.058	0.049

### 3.3 车体平稳性分析

振动加速度是衡量车辆平稳性及振动特性的重要指标<sup>[11]</sup>,车辆振动会影响到乘客的舒适度和运输货物的完整性。由于未考虑轨道谱的影响,打磨后垂向加速度及横向加速度未有明显变化。

图5为车辆通过打磨前后圆曲线时车体垂向加速度时域变化图,由图可知,由于未考虑轨道谱的影响,打磨后垂向加速度未有明显改善。

图6为车辆通过打磨前后圆曲线时车体横向加速度时域变化图,由图可知,打磨后车辆通过曲线时横向加速度改善相对较为显著,横向加速度最大值减小4.84%。

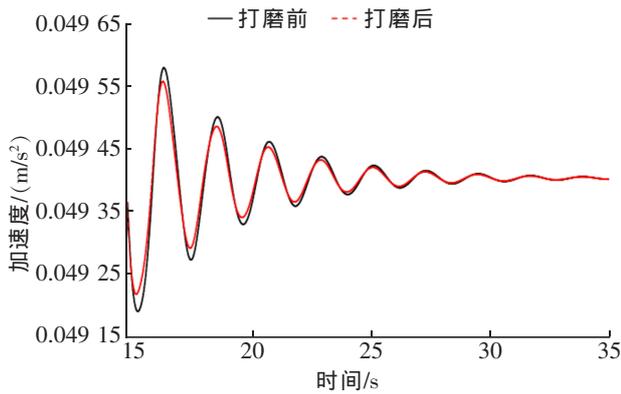


图5 打磨前后车体垂向加速度变化

Fig.5 The change of the train body vertical acceleration before and after grinding

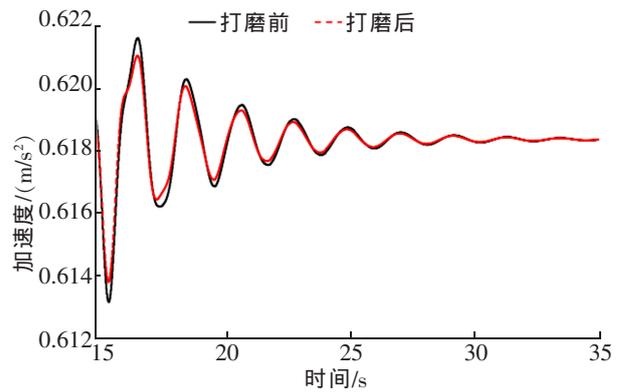


图6 打磨前后车体横向加速度变化

Fig.6 The change of the train body transverse acceleration before and after grinding

#### 4 结论

1) 通过将打磨前实测廓形与设计廓形对比可知,调边轨内侧工作边明显高于设计廓形,外侧非工作边略高于设计廓形,根据打磨前廓形与设计廓形偏差量,打磨遍数设计为8遍。打磨后调边轨廓形得到优化,轨面掉块得到较好处理,轨面光带、钢轨磨耗速率及钢轨质量指数 TQI 均得到显著改善。

2) 通过轮轨接触几何分析,打磨后等效锥度及轮轨接触点分布得到改善,列车运行稳定性和轮轨接触状态得到提升。

3) 通过车辆-轨道多体系统动力学仿真研究可知,打磨后1~4位车轮与调边轨接触时接触斑内磨耗功最大值、轮重减载率最大值、车体垂向/横向加速度均降低,轮轨磨耗、列车运行安全性及稳定性均得到改善。

#### 参考文献:

- [1] 王庆方,许玉德,周宇. 高铁钢轨预打磨效果及轨面不平顺分析[J]. 华东交通大学学报,2012,29(2):1-5.
- [2] 张聪聪,周宇,黄旭炜,等. 高速铁路钢轨预打磨策略及伤损发展特性[J]. 华东交通大学学报,2019,36(2):33-40.
- [3] 龚继军,侯博,王军平,等. 钢轨打磨对动车组运行性能的影响[J]. 铁道建筑,2019(5):1-6
- [4] 王军平. 个性化钢轨廓形打磨技术在高速铁路上的应用[J]. 铁道建筑,2018,58(5):120-123.
- [5] 郭战伟. 基于轮轨蠕滑最小化的钢轨打磨研究[J]. 中国铁道科学,2011,32(6):9-15.
- [6] 唐涛. 基于轨道在线检测的钢轨质量指数预测及研究[D]. 长沙:湖南大学,2018.
- [7] 干锋. 高速列车轮轨接触关系研究[D]. 成都:西南交通大学,2015.
- [8] 金学松. 轮轨蠕滑理论及试验研究[M]. 成都:西南交通大学出版社,2006.
- [9] 肖乾,杨逸航,郑继峰,等. 基于摩擦因数预测模型优选湿热地区高速列车车轮型面[J]. 润滑与密封,2017,42(12):16-22.
- [10] 韩梅,王艳玲,庞亮,等. 基于脱轨系数安全标准的重车重心限制高度[J]. 中国铁道科学,2007(4):106-110.
- [11] 任尊松,刘志明. 高速动车组振动传递及频率分布规律[J]. 机械工程学报,2013,49(16):1-7.

## Research on Adjustable Rail Profile Optimization Based on Personalized Rail Grinding

Yang Yihang<sup>1</sup>, Xiao Qian<sup>2</sup>, Sun Xiaojun<sup>1</sup>

(1. China Railway Materials Track Technology Service Group Co., Ltd., Beijing 100036, China; 2. Key Laboratory for Vehicle Tools and Equipment of the Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** In this paper, an adjustable rail of small radius curve with serious wear on the LonghaiLine is selected as the research object to conduct personalized grinding scheme design. The geometrical contact state of wheel-rail is analyzed, and the dynamic simulation of vehicle-track multi-body system is established. The results show that: the rail surface of the adjustable rail, the rail surface light belt, rail wear rate and the track quality index TQI are significantly improved after grinding. Through the geometric analysis of wheel-rail contact, the equivalent taper and wheel-rail contact point are optimized after grinding, and the train operation stability and wheel-rail contact state are improved. Through the dynamic simulation of vehicle-track multi-body system, the maximum wear power, the maximum wheel weight reduction rate and transverse acceleration of the vehicle body are reduced, and the wheel-rail wear characteristics, train operation safety and stability are improved.

**Key words:** mixed passenger and freight railway; rail grinding; dynamic simulation; adjustable rail profile optimization; wheel-rail wear