

# 个性化钢轨廓形打磨在北京地铁的应用分析<sup>\*</sup>

时光明<sup>1</sup> 丁明<sup>2</sup> 袁健<sup>2</sup> 白磊<sup>2</sup>

(1. 北京市地铁运营有限公司线路分公司, 100082, 北京;

2. 北京九州一轨环境科技股份有限公司智慧运维中心, 100070, 北京//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 在北京地铁 6 号线草房站—物资学院路站区间选择一段曲线段作为试验段, 基于钢轨廓形和车轮踏面数据调查, 借助动力学仿真软件计算钢轨打磨最佳设计廓形。在钢轨铣磨和个性化打磨后设置观测点进行定期观测, 计算分析钢轨廓形变化、疲劳伤损发展、波磨发展等情况, 对比钢轨铣磨和钢轨廓形打磨的质量效果。试验结果表明: 钢轨廓形打磨减缓了钢轨疲劳伤损及波磨的发展速率, 将打磨周期从 3 个月延长至 6 个月; 地铁采用个性化钢轨廓形打磨是合理且必要的。

**关键词** 地铁; 钢轨廓形打磨; 钢轨波磨

**中图分类号** U216.42<sup>+</sup>4

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2021.12.022

## Application Analysis of Personalized Rail Profile Grinding in Beijing Metro

SHI Guangming, DING Ming, YUAN Jian, BAI Lei

**Abstract** A curve section in the interval between Caofang Station and Wuzi Xueyuan Lu Station of Beijing Metro Line 6 is selected as test curve section. Based on the survey of rail profile and wheel tread data, the optimal design profile of rail grinding is calculated with the aid of dynamics simulation software. After rail milling and personalized grinding, points are set up for periodical observation. The development of rail profile, the development of fatigue damage, and the development of corrugation are calculated and analyzed. The quality of rail milling and of personalized rail profile grinding are compared. The test results show that rail profile grinding slows down the development rate of rail fatigue damage and corrugation, and extends the grinding cycle from 3 months to 6 months. It is reasonable and necessary for the metro to use personalized rail profile grinding.

**Key words** metro; rail profile grinding; rail corrugation

**First-author's address** Beijing Mass Transit Railway Operation Co., Ltd., 100082, Beijing, China

钢轨廓形打磨可以有效保护钢轨, 是处理钢轨异常波磨的有效手段。但目前国内外专家学者多侧重研究曲线钢轨的使用寿命评估<sup>[1-2]</sup>、曲线钢轨廓形优化设计与曲线钢轨病害治理<sup>[3-7]</sup>等, 对钢轨打磨后跟踪分析和效果评价的相关研究较少。

本文在北京地铁 6 号线草房站—物资学院路站区间选择了一段半径为 650 m 的曲线段作为试验段, 进行钢轨个性化廓形打磨试验。试验曲线段上行方向里程为 K31+501.057—K31+291.470, 下行方向里程为 K31+292.831—K31+502.190。

## 1 个性化廓形设计

2018 年 6 月, 通过线路调查, 采集了试验曲线段的钢轨廓形、疲劳伤损和波磨等情况。使用动力学仿真软件分析钢轨廓形和车轮踏面数据, 计算出钢轨打磨廓形。

### 1.1 前期线路调查

经调查, 试验曲线段的上下股钢轨均存在明显磨耗。在上行方向 K31+416 处, 上股垂磨量为 4.586 mm、侧磨量为 2.948 mm, 下股垂磨量为 3.951 mm; 上股钢轨有鱼鳞纹和轻微波磨, 下股钢轨存在掉块及明显波磨现象。在上行方向 K31+390 处, 下股波磨波深约 0.200~0.247 mm。

### 1.2 钢轨最佳设计廓形

依据轮轨蠕滑最小化和轮轨耦合接触理论, 建立车辆-轨道耦合系统动力学模型。利用个性化钢轨打磨廓形设计系统, 得到试验曲线段上下股钢轨的最佳设计廓形。以上行方向为例, 上股钢轨最佳设计廓形与标准 60 轨廓形基本一致, 下股钢轨最佳设计廓形与标准 60 轨廓形有一定差异(如图 1 所示)。

<sup>\*</sup> 北京九州一轨环境科技股份有限公司企业内部项目(0331)

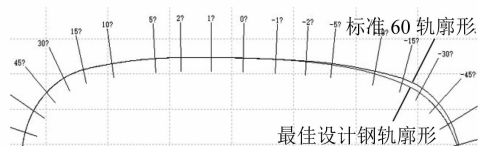


图 1 上行方向下股钢轨最佳设计廓形与标准 60 轨廓形对比  
Fig. 1 Comparison of the optimal design rail profile with the standard 60 rail profile of the down rail of the test curve in up direction

## 2 个性化廓形打磨施工

对于实测廓形与最佳设计廓形偏差较大的钢轨(以上行曲线为例,如图 2 所示),需要先铣磨后打磨。2018 年 7 月,北京市地铁运营有限公司线路分公司按计划使用铣磨车对试验曲线线路进行钢轨铣磨作业,铣刀廓形为标准 60 轨。2018 年 8 月—9 月,以铣磨后钢轨廓形为基础,使用 HSG-city-02 型快速打磨车,对钢轨个性化打磨至最佳设计廓形。试验曲线段的打磨速度为 30 km/h。上下行方向有效打磨范围均为 K31+300~K31+500,打磨区段两边各延伸 100 m 作为缓冲区间,共计使用 7 个打磨作业天窗。

经评定:打磨前,上行方向上下股的 GQI(打磨质量指标)分别为 46.7、47.8,下行方向上下股的 GQI 分别为 79.7、42.5;廓形打磨后,上行方向上下股的 GQI 分别为 93.0、97.8,下行方向上下股的 GQI 分别为 94.3、94.8,均为优良,说明钢轨廓形打磨质量合格。

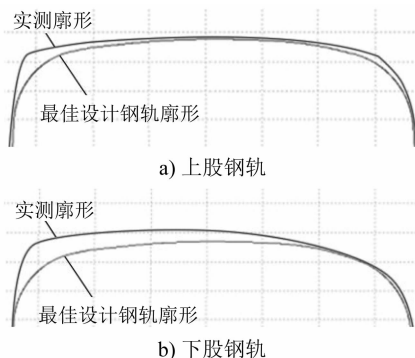


图 2 试验曲线段上行方向钢轨最佳设计廓形与实测廓形  
Fig. 2 Comparison of the optimal design rail profile with the measured rail profile of the test curve in up direction

## 3 跟踪测试分析

GQI 只能体现钢轨个性化打磨作业的即时效果,并不能反映线路轮轨关系改善情况。为了更全面评定钢轨打磨效果,本文在打磨后于试验曲线段设置观测点,定期观测并分析观测数据,计算钢轨波磨发展速率,分析钢轨打磨对钢轨波磨发展的影响,掌握钢轨打磨作业的持续效果。此外,通过记录病害发展情况,把握打磨后钢轨磨耗及波磨发展趋势,可对钢轨养护及下一阶段打磨等提供意见。

### 3.1 廓形变化情况

廓形打磨后 3~4 个月,试验曲线段钢轨廓形监测结果如图 3 所示。由监测结果可知,钢轨均未发生明显磨耗。

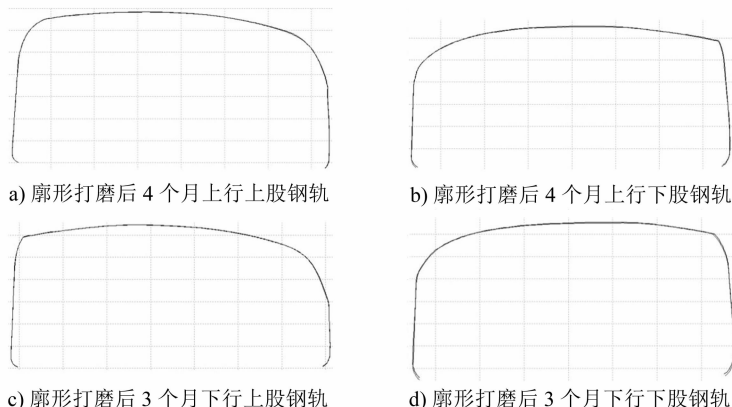


图 3 钢轨廓形变化  
Fig. 3 Development of the rail profile

### 3.2 疲劳伤损发展情况

廓形打磨 3~4 个月后,试验曲线段的钢轨均无明显疲劳伤损和鱼鳞纹等病害,如图 4 所示。

### 3.3 波磨发展情况

打磨前,波磨波深为 0.2~0.3 mm;打磨后,波磨完全消除;打磨完成 4 个月后,波磨波深最大值发展

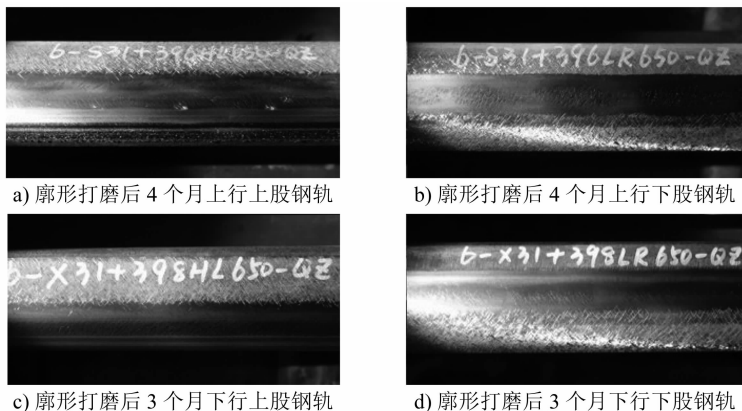


图4 疲劳损伤发展

Fig. 4 Development of the fatigue damage

到 0.1 mm 左右,已形成肉眼可见波磨。

其中上行方向下股钢轨波磨发展如图 5 所示。由图 5 可知:钢轨于 2018 年 2 月铣磨后,2018 年 3—6 月的波磨波深平均发展速率为 0.052 mm/月;钢轨于 2018 年 7 月廓形打磨后,2018 年 8 月—2019 年 2 月的波磨波深平均发展速率为 0.034 mm/月。经对比可知,钢轨廓形打磨有效减缓了波磨发展速率。

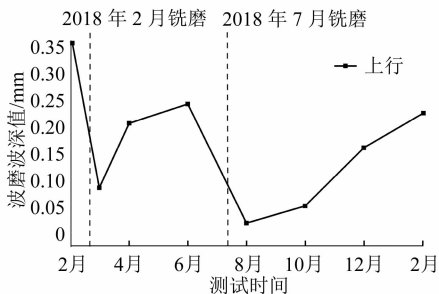


图5 上行试验曲线下股钢轨波磨波深发展趋势

Fig. 5 Development trend of corrugation depth of the down rail of the test curve in the up direction

## 4 结语

本文基于钢轨廓形和车轮踏面数据调查结果,借助动力学仿真软件计算钢轨打磨廓形,进行钢轨铣磨和打磨后,定期观测并分析钢轨廓形变化、疲劳损伤发展、波磨发展等情况,对比钢轨铣磨和钢轨廓形打磨的质量效果。经对比,相比于钢轨铣磨,钢轨廓形打磨减缓了钢轨波磨的发展速率,可将打磨周期从 3 个月延长至 6 个月。

试验结果表明:钢轨廓形打磨可有效改善轮轨接触关系,从而实现对疲劳损伤的良好控制。这说

明地铁采用个性化钢轨廓形打磨有较好效果,可有效延长曲线钢轨使用寿命。

## 参考文献

- [1] GHOFrani F, CHAVAN K, HE Q. Forecasting risk of service failures between successive rail inspections: A data-driven approach[J]. Journal of Big Data Analytics in Transportation, 2020(1):17.
- [2] BAI L, LIU R, WANG F, et al. Estimating railway rail service life: A rail-grid-based approach[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 105:54.
- [3] 李克飞, 黑勇进, 王进, 等. 列车及轨道参数对曲线钢轨波磨影响及防治措施研究[J]. 铁道标准设计, 2019(8):36.
- LI Kefei, HEI Yongjin, WANG Jin, et al. Study on the influence of train and track parameters on curved rail corrugation and preventive measures[J]. Railway Standard Design, 2019(8):36.
- [4] 李金良. 周期性钢轨廓形打磨对小半径曲线寿命的影响[J]. 铁道建筑, 2019(8):154.
- LI Jinliang. Influence of periodic rail profile grinding on life of small radius curve[J]. Railway Engineering, 2019(8):154.
- [5] JAMSHIDI A, HAJIZADEH S, SU Z, et al. A decision support approach for condition-based maintenance of rails based on big data analysis[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 95:185.
- [6] 周清跃, 刘丰收, 张银花, 等. 高速铁路轮轨匹配存在问题及对策[J]. 中国铁道科学, 2017(5):78.
- ZHOU Qingyue, LIU Fengshou, ZHANG Yinhua, et al. Solutions for problems at wheel-rail interface in high speed railway[J]. China Railway Science, 2017(5):78.
- [7] 周骏, 刘林芽, 毛顺茂. 基于轨道质量指数的钢轨打磨型面研究[J]. 铁道建筑, 2014(8):86.
- ZHOU Jun, LIU Linya, MAO Shunmao. Study on rail profile grinding based on track quality index[J]. Railway Engineering, 2014(8):86.

(收稿日期:2021-04-13)