

贵阳地铁双动力打磨车钢轨廓形预打磨研究

光晓霞

(贵阳市城市轨道交通运营有限公司 贵州 贵阳 550001)

摘要: 通过对双动力打磨车进行研究,了解贵阳地铁对打磨车的性能要求,得出下列结论:可以通过廓形打磨技术对轮轨关系进行改善,从而降低对钢轨的磨耗,减缓钢轨的垂直和侧向磨耗速度,由此可以延长钢轨的实际使用期限。本文在上述结论的基础上,完成了双动力打磨车在贵阳地铁1号线上钢轨最佳打磨廓形的设计,其能够与电客车轮对形成良好的轮轨关系,通过数据对比验证,廓形打磨能有效延长钢轨的实际使用期限。

关键词: 双动力打磨车;打磨;动力学性能;钢轨廓形

0 引言

城市轨道交通的兴起,使轨道和轨道车辆的制造业得以快速发展,轮轨关系是轨道车辆行业的研究重点之一,尤其是轮轨关系中的钢轨型面研发更是成了热点。一个适配的钢轨型面,能减少钢轨与轮对之间的接触应力,降低维修成本,提高车辆运行的安全性能和舒适性,钢轨的使用寿命也得以延长^[1]。

贵阳作为新建地铁城市,首通段已于2017年12月28日开通。结合贵阳地铁1号线首通段小半径曲线较多的现状,同时参考国内地铁现有打磨模式,研究发现:采用廓形打磨技术能有效地改善轮轨接触关系,延缓钢轨波磨、侧磨等病害的发展,延长钢轨打磨周期,降低钢轨养护成本^[2,3]。

1 钢轨廓形打磨技术国内外研究现状

从19世纪初期开始,很多国家就已经注意到了钢轨的养护问题,一些国家的铁路检测部门开始使用打磨方式对钢轨的病害进行处理。国外的钢轨打磨技术应用较早,从开始使用算起,至今已有60多年的历史,打磨技术也在不断完善^[4]。在最初的发展阶段,矫正性打磨是钢轨维护的最常用办法,而如今的钢轨维护已经进入“预防性”打磨阶段。

我国目前钢轨打磨的目标是消除塑性变形和波形磨耗,无论是直轨还是弯轨都采用同样的打磨方式。

2 钢轨打磨车国内外研究现状

国外主要的地铁打磨车生产厂家有HTT、

LORAM、SPENO、VOSSLOH,目前掌握主流技术的是前三家。国内地铁打磨车主要由宝鸡中车、北京二七、襄樊金鹰三大养路机械制造厂提供。

3 贵阳地铁1号线打磨情况

3.1 双动力打磨车概况

1号线首通段起于下麦西站,终至贵阳北站,打磨起点里程K1+444.57(下麦西小里程端岔后),终点里程K15+378(首通段终点贵阳北站出站300m),打磨长度左线约14km,右线约14km,共计约28km。使用的打磨车是DGMC-16S型号的双动力钢轨打磨车,采用接触网和内燃动力两种供电模式。打磨车根据钢轨廓形执行打磨任务,计划平均打磨16遍,部分区段最多需要打磨18遍,共计需要打磨482.4km。目前打磨车能力按每小时打磨10~12km计算,每天作业6h,全天完成打磨作业60~72km。

3.2 线路技术条件调查与统计

对贵阳地铁1号线的线路条件进行调查和统计,发现钢轨线路技术条件主要有曲线半径、超高缓和段长度及超高缓和段车辆通过速度。

3.3 钢轨面数据采集

由于钢轨的表面粗糙度有较高的要求,所以完成钢轨打磨之后,需要对钢轨的横断面进行建模仿真分析。

3.3.1 数据采集设备

根据物理探头与实物表面的接触情况,将数据采集设备分为接触式和非接触式两种。

3.3.2 采集的数据

利用车轮廓形采集仪器 Miniprof 进行了数据采集,采集有效车轮数量 200 个,由于是未开通状况,因此所测车轮廓形基本一致,无明显磨损现象。

车轮轮缘厚度在 32.8 ~ 35.4mm 之间,最大偏差值为 0.6mm,由于全部为新车轮,因此轮缘基本未出现磨损,轮缘厚度未受到明显影响。

车轮轮缘高度在 26.9 ~ 27.4mm 之间,最大偏差值为 0.5mm,由于全部为新车轮,因此轮缘高度基本也未出现磨损,轮缘高度未受到明显影响。

3.4 钢轨廓形情况分析

针对贵阳地铁 1 号线的钢轨打磨廓形进行设计,建立数据库留存数据,并根据实际线路条件建立轮轨系统动力学模型,通过对比钢轨打磨廓形数据库中的每一种钢轨廓形并加以分析,得到每段线路对应的最佳钢轨打磨廓形。

3.5 半径为 350m 曲线的计算结果

3.5.1 轮轨的静态分析结果

用曲线半径为 350m 的钢轨廓形去匹配之前测量出的 200 个车轮廓形,经静态分析计算,得到相关评价指标。

对轮缘接触角比例、钢轨型面贴合接触情况及轮轨接触应力指数等的静态分析结果进行综合评价,选出 20 个钢轨廓形作为最佳钢轨打磨廓形的备选,其中部分钢轨廓形的静态接触指标如表 1 所示。

3.5.2 轮轨的动态分析结果

在 NUCARS 软件中建立轨道系统动力学模型,结合曲线半径为 350m 的钢轨廓形数据,其中钢轨廓形采用 20 个备选钢轨廓形。

利用所建立的动力学模型,与不同的钢轨廓形进行动力学分析,得到相关轮轨的动态评价指标(部分计算结果如表 2 所示),最后通过钢轨材料的安定极限图进行分析。

综合考虑轮轨静态和动力学分析,从而得到贵阳地铁 1 号线 350m 半径曲线钢轨最佳打磨廓形,用相同方式也得到了 800m 及以上半径曲线钢轨最佳打磨廓形。

4 贵阳地铁 1 号线双动力打磨车钢轨打磨方案设计

贵阳地铁 1 号线首通段上 / 下行 K1 + 845 ~ K14 + 869 于 2017 年 7 月 21 日开始打磨,2017

年 9 月 22 日完成打磨,共计打磨 28 个天窗,延展 28.949km。本次打磨主要目的为去除脱碳层、轨面原始不平顺及轨面原始缺陷,计划轨顶打磨量为 0.2mm。

4.1 打磨方案设计要求和标准

贵阳地铁 1 号线打磨方案设计的要求和标准如下:

(1) 根据需求选取优化值;

(2) 相连两段线路重叠打磨的区域不小于 5m。

4.2 打磨车钢轨打磨方案设计

4.2.1 代表廓形选取

选取代表廓形生成打磨策略,可以减少策略的数量,利于打磨任务的执行。

4.2.2 直线代表廓形

直线段廓形测量点有上行 ZK8 + 500、ZK6 + 200、K13 + 300 和 ZK1 + 700,所有测量点均测量左、右股廓形。测量点直线廓形在轮轨接触面范围内均比较相似,选取上行 ZK8 + 500 左股为上行直线代表廓形。

上行直线 ZK8 + 500 左股处钢轨表面光滑,无特殊病害。与设计相比,钢轨实际廓形内外侧偏高,为主要切削区域。

4.2.3 曲线代表廓形

选取上行 ZK8 + 500 上股作为曲线上股的代表廓形,见图 1。由图可见,上股轨顶内侧有轻微斜裂纹,与设计廓形对齐后,发现内侧吻合较好,外侧偏高。于是打磨过程中主要切削钢轨外侧,兼顾轨顶内侧

表 1 部分钢轨廓形静态接触指标

轮廓序号	轮缘接触角不合格比例 /%	轮轨型面贴合接触不合格比例 /%	导向轮对轮径差不合格比例 /%	从动轮对轮径差不合格比例 /%	轮轨接触应力指数
1	0.6	0	0	0	3.663
2	0.8	0	0	0	3.769
3	0.4	0	0	0	3.787

表 2 轮轨的动态分析结果

序号	超过安定极限的比例 /%	超过安定极限系数的 RMS 值	蠕滑率的 RMS 值 /%	轮轨滚动阻力的 RMS 值 / N	导向轮对转向力矩的 RMS 值 /Nm
1	28.65	0.904	1.537	27.33	37118.1
2	100.0	1.251	1.505	28.90	34834.2
3	6.45	0.021	1.527	24.49	36025.9

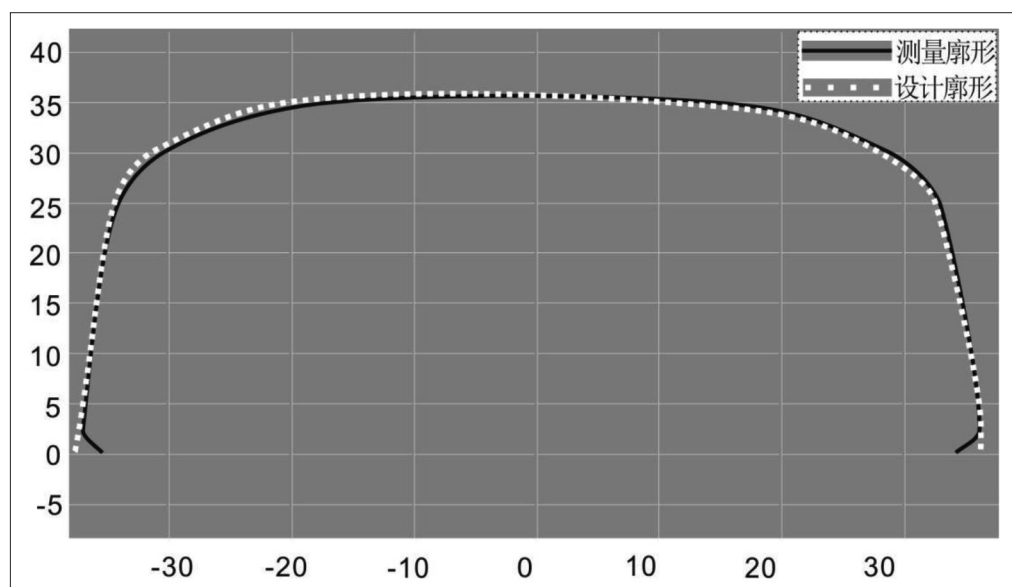


图1 上行 ZK8 + 500 上股与设计廓形

的斜裂纹。

4.3 打磨策略

打磨策略结合设计廓形与钢轨实际廓形而生成，若钢轨存在病害需要处理，则可进行适当调整，打磨廓形的同时兼顾病害处理。

4.4 检测结果分析

4.4.1 钢轨廓形

2017年9月9日至9月10日，对贵阳地铁1号线首通段已打磨区段进行了验收。本次验收上行采集数据124处，下行采集数据122处，有效数据合计246处。通过采用专业的软件对本次数据进行了GQI计算及分析，分析结果如表3所示。从表中可以看出，当对钢轨进行廓形打磨且比较接近目标廓形后，GQI指标能达到70以上。对比此区段验收标准，本次区段验收结果均已达优良标准。

表3 GQI 数据分析

GQI 指标	不小于 80	不小于 70	不小于 60
数量	231	246	246
所占百分比	93.9%	100%	100%

由于测量数据比较多，表1中仅列举了部分数据的GQI指标计算结果。

4.4.2 表面粗糙度及光带

2017年9月29日对打磨后轨面表面粗糙度、光带等项目进行了抽样验收，验收数据显示：光带宽度范围为13~30mm，表面粗糙度范围为 $Ra2.18 \sim 9.49\mu m$ 。根据标准中关于打磨面表面粗糙

度的要求，打磨面表面粗糙度不大于 $Ra10\mu m$ ，本次抽样点表面粗糙度均小于 $Ra10\mu m$ ，满足标准要求。现场可以看出打磨后轨面光带情况：打磨后直线和曲线下股光带居中偏内，直线左右股光带基本对称，曲线上股光带偏内，光带整体纵向连续性较好，没有出现突变的情况。

4.4.3 切削量

本次轨顶切削量不小于0.2mm，打磨后对上下行切削量进行了抽样调查，调查数据显示：本

次轨顶切削量约为0.21~0.32mm，平均切削量为0.244mm，满足设计要求。

4.4.4 打磨质量评估

钢轨表面状态较好，基本无掉块、裂纹等病害，可以进行廓形打磨。打磨后随即测量了观测点断面廓形。检测结果总结如下：

(1) 总体来看，曲线上股外侧打磨量不足，相比设计廓形较高；

(2) 曲线下股与设计廓形吻合良好，GQI指标较高，如果增加打磨量，优先打磨外侧。

结合以上检测结果，对打磨质量进行评估，如下：

(1) 打磨后测量了246处钢轨廓形，经计算，钢轨GQI指标较高，区段验收结果达到优良标准；

(2) 打磨后轨面粗糙度小于 $Ra10\mu m$ ，满足标准要求；

(3) 轨面光带分布位置合理，宽度约为13~30mm，基本满足标准要求；

(4) 对轨顶切削量进行了抽样计算，轨顶平均切削量约为0.244mm，满足标准要求；

(5) 打磨过程中对打磨面宽度、发蓝带、周期性磨痕进行了观测，未发现异常情况。

4.5 打磨后对贵阳地铁案例跟踪调查分析

贵阳地铁首通段上/下行K1+845~K14+869延展28.949km，上、下行共628.4km，其中所有曲线全长152.8km，占比达24.3%。

贵阳地铁打磨后一段时间内，对测量点进行定期

观测，其中，2017 年 11 月中旬进行第一次线路调查并设立观测点，打磨后分别在 2017 年 11 月 16 日、2018 年 2 月 5 日、2018 年 5 月 15 日、2018 年 8 月 25 日及 2018 年 11 月 7 日进行 5 次观测测量，各观测点测量数据经整理后如表 4 所示。

从表 4 所列数据可以看出：

- (1) 实施廓形打磨后，观测点的垂直磨耗速率均出现不同程度的下降；
- (2) 直线垂直磨耗速率显著下降，观测点磨耗速率降幅都在 21% 以上；
- (3) 相比钢轨直线磨耗情况，曲线磨耗速率也出现不同程度的下降，其中一些观测点曲线磨耗速率平均降幅在 30% 以上。

表 4 部分观测点打磨前后垂直磨耗统计

里程	股别	打磨前			打磨后		
		时间 / 月	垂直磨耗增量 /mm	速率 / (mm/月)	时间 / 月	垂直磨耗增量 /mm	速率 / (mm/月)
上行 495+500	左股	48	1.594	0.033	4	0.032	0.008
	右股	48	1.751	0.036	4	0.031	0.008
上行 537+100	上股	84	4.748	0.057	4	0.039	0.01
	下股	84	3.963	0.047	4	0.1	0.025
上行 555+600	上股	84	2.894	0.034	4	0.01	0.003
	下股	84	2.99	0.036	4	0.161	0.014

5 结语

综上，此次双动力打磨车在贵阳地铁进行廓形预打磨试验，由以往修理性打磨阶段过渡到预防性打磨阶段，由凭经验打磨阶段过渡到廓形打磨阶段。钢轨廓形打磨改变了轮轨接触关系，减小了小半径曲线钢轨侧磨和轮缘磨耗，从而减缓了钢轨垂直和侧向磨耗速率，延长了钢轨整体的使用寿命和轮对的镟修周期。

参考文献：

[1] 杜星，郭俊，陈婧，等．地铁线路控制钢轨波磨的钢轨打磨技术应用研究 [J]．机械，2011，38(10)：9-13.

[2] 马跃伟．高速铁路钢轨损伤分析与预打磨型面优化分析 [D]．大连：大连理工大学，2012.

[3] 马跃伟，任明法，胡广辉，等．高速铁路钢轨预打磨型面优化分析 [J]．机械工程学报，2012，48(8)：90-97.

[4] 周清跃，刘丰收，田常海，等．高速铁路轮轨形面匹配研究 [J]．中国铁路，2012(9)：33-36.

作者简介：光晓霞（1992.03-），女，汉族，贵州贵阳人，硕士研究生，工程师，研究方向：城市交通运输。

