

钢轨预防性打磨施工组织优化及质量评价研究

李学平

昆明地铁运营有限公司, 中国·云南 昆明 650000

摘要: 随着地铁运营年限增长, 列车通过总质量持续累加, 钢轨轨面状态逐渐下降, 病害逐渐增多, 主要表现为钢轨表面疲劳伤损、剥离掉块、鱼鳞裂纹、波磨、擦伤、肥边、光带不良等。这些病害不仅会加剧轮轨磨损, 降低列车运行平顺性和舒适性, 还可能引发钢轨折断安全风险, 严重影响线路运营安全与可靠性, 钢轨预防性打磨已成为钢轨主动维修的关键技术手段。为优化运营线路钢轨预防性打磨施工组织、构建科学可落地的质量评价体系, 本文结合运营线路开展钢轨预防性打磨实践, 从计划、人、机、料等多维度开展施工组织优化研究, 围绕打磨核心目标, 系统建立包含钢轨廓形(打磨质量指数 GQI)、深度、接触光带、波浪磨耗、打磨面粗糙度以及轨面硬度等多维度质量评价指标与评价方法。通过实例验证, 研究成果可为地铁钢轨预防性打磨施工组织优化、质量精细化管理提供理论依据与技术支持, 推动打磨技术向规范化、精准化方向发展。

关键词: 运营线路; 钢轨预防性打磨; 施工组织优化; 质量评价体系; 打磨质量指数(GQI)

Research on Optimization of Construction Organization and Quality Evaluation of Rail Preventive Grinding

Li Xueping

Kunming Metro Operation Co., Ltd., China Yunnan Kunming 650000

Abstract: With the increase of metro operation years, the total passing mass of trains continues to accumulate, the state of rail surface gradually deteriorates, and diseases increase gradually, mainly manifested as fatigue damage on the rail surface, spalling, fish-scale cracks, corrugation, scuffing, rail gauge corner hypertrophy, and poor contact light band. These diseases not only aggravate wheel-rail wear, reduce the smoothness and comfort of train operation, but also may cause the safety risk of rail breakage, seriously affecting the safety and reliability of line operation. Rail preventive grinding has become a key technical means for active rail maintenance. To optimize the construction organization of rail preventive grinding on operating lines and build a scientific and implementable quality evaluation system, this paper carries out the practice of rail preventive grinding combined with operating lines, conducts research on the optimization of construction organization from multiple dimensions such as plan, personnel, machinery and materials, and systematically establishes multi-dimensional quality evaluation indicators and evaluation methods including rail profile (Grinding Quality Index, GQI), grinding depth, contact light band, corrugated wear, grinding surface roughness and rail surface hardness around the core goal of grinding. Through case verification, the research results can provide theoretical basis and technical support for the optimization of construction organization and refined quality control of metro rail preventive grinding, and promote the development of grinding technology towards standardization and precision.

Keywords: Operating lines; Rail preventive grinding; Optimization of construction organization; Quality evaluation system; Grinding quality index (GQI)

0 引言

钢轨预防性打磨作为一种主动维修手段, 通过对未出现明显伤损或仅有轻微病害的钢轨进行精准打磨, 可有效修复轨头廓形、改善轮轨关系、消除钢轨表面病害、预防钢轨疲劳裂纹和波磨产生、延长钢轨使用寿命。本文综合既有运营线路开展钢轨预防性打磨工作实践, 从人员材料配备、打磨车调试、功能试验、现场条件分析、专业间协

调配合等方面进行施工组织优化研究, 定位钢轨预防性打磨核心目标, 系统研究科学、可操作的评价指标与方法。

1 钢轨预防性打磨意义

通过实施钢轨预防性打磨有效整治钢轨表面存在的各种不同程度的磨耗和伤损, 消除钢轨表面产生的微裂纹等浅层病害, 去除钢轨表面疲劳层, 延缓鱼鳞伤损及剥离掉块的发展, 消除波浪磨耗, 改善轮轨关系, 降低轮轨间振

动, 延长钢轨使用寿命, 切实保障行车安全。

2 施工组织优化

2.1 计划规划

钢轨预防性打磨需要确保连续、均匀、精准, 这是提升钢轨表面质量和廓形精准度、提高列车运行安全性和舒适性的关键, 而详细的施工计划是实现钢轨连续性打磨的前提, 尤其运营线路上施工计划安排应充分考虑运营特点和有效施工时间, 确保有限时间内高效完成计划区段内全部 12 遍连续性打磨。

2.2 人机料优化

人员准备包括打磨负责人、司机、技术操作人员、测量人员及安全员等, 机具材料准备包括钢轨打磨车、起复设备、随车应急工具、钢轨廓形仪、波磨检测仪、噪声测试仪、粗糙度测量仪、砂轮、手扳葫芦和对讲机等, 所有机具应检查有效, 打磨砂轮具有合格证明。

2.3 打磨车试验

正式打磨前需开展打磨车辆试验与功能验证, 确保打磨车安全上线, 打磨效果满足要求。

(1) 限界测试: 车辆慢速行驶通过限界门, 分别检测打磨小车在运送位和工作位两种模式的限界通过性, 测试过程各通过三次, 确保打磨车通过性满足要求;

(2) 信号计轴磁头干扰验证: 对打磨小车砂轮和信号计轴磁头可能存在干扰情况进行通过性试验, 若某一区段线路经试验存在干扰的需信号专业配合对打磨车施工区段所影响计轴范围进行刷轴及信号设备影响处置;

(3) 打磨功能试验: 调整打磨车打磨参数进行功能试验, 包括走行功能、制动性能、作业功能、应急走行功能等, 确保整车各工作装置性能正常;

(4) 过渡车钩连接试验: 打磨车连挂成功后进行试拉、试推动作无异常, 确保故障情况下应急救援正常开展。

2.4 现场条件确认

钢轨打磨车上线前需对线路现场条件进行调查确认, 主要为以下几个方面:

(1) 线路线型、基础数据及钢轨状态调查, 包括高架线、隧道、路基段等, 曲线、坡道、竖曲线基础资料收集, 钢轨波磨、廓形、掉块等病害数据测量, 根据调查情况综合制定打磨计划;

(2) 一般道岔区段不进行大机打磨, 打磨小车在进入道岔区域前 50m 提升打磨梁, 提升过程不停车, 查看打磨车操作界面确认打磨梁提升情况, 确保打磨车正常通过道岔;

(3) 检查接触轨、特殊扣件、臌包夹板、钢轨伸缩调节器、钢轨涂油器、降噪装置、轨距拉杆、人防门槛以及防脱护轨安装区域打磨车能否正常打磨作业通过, 对可能存在影响的设施设备进行拆除;

(4) 检查信号设备安装区域打磨车能否正常打磨作业通过, 对可能存在影响的设施设备进行拆除。

2.5 运行及打磨速度

开展钢轨预防性打磨作业过程严格按照相关规定进行控速, 正线运行时 $\leq 30\text{km/h}$, 侧向过岔速度 $\leq 25\text{km/h}$, 通过小半径曲线 ($R \leq 300\text{m}$) 时 $\leq 25\text{km/h}$, 应急走行速度控制 $\leq 10\text{km/h}$ 。

2.6 协调配合

运营线路上开展钢轨预防性打磨是一项涉及多部门、多专业联动的重要工作, 需要工务、乘务、车辆、信号、调度和客运各专业精细化协调配合, 工务专业提报施工计划, 对线路展开调查、测量, 对整个施工过程安全和质量进行监督, 对打磨质量进行测量评价; 乘务专业安排带道司机指引进路, 控制打磨车运行速度, 确保行车和作业安全; 信号专业对打磨车施工区段所影响的计轴范围进行刷轴及信号设备影响处置; 车辆专业根据施工计划安排救援用工程车进行应急救援准备, 打磨车出现机械故障不能运行出区间时进行救援; 调度负责接触轨停电、开关风机、安排打磨车转线和施工动车进路等; 客运部门负责施工请销、客诉解释等工作。精细化的配合是运营线路完成钢轨预防性打磨、提升打磨质量的关键。

3 钢轨预防性打磨实施

3.1 打磨步骤

(1) 施工当天对打磨车进行车辆状态维护及安全检查, 确保车辆状态良好;

(2) 组织开展施工安全交底, 明确施工计划和各配合专业职责, 对打磨方案设计思路、打磨参数、作业细节等详细阐述、充分沟通;

(3) 打磨车自运行到作业区间, 将打磨小车下放至钢轨对轨并执行至少 2 次以上走行试验, 检查作业条件和线路适应情况, 作业按限速规定执行;

(4) 打磨车运行到作业点后停车观察线路周边情况, 在直线段上将打磨小车从运送位下放到钢轨上, 并进行打磨小车建压;

(5) 整车切换到作业模式, 打磨操作员观察起始点里程标控制下放打磨梁进行钢轨打磨作业, 作业速度加速超过 15km/h , 当到达打磨终点位置里程标, 提升打磨梁, 与

行车司机沟通减速停车，准备换方向作业；

(6) 调整作业方向，重复步骤 5，打磨过程中根据实际情况调整打磨梁角度，若作业过程中需更换打磨砂轮时，须确保打磨车辆停放稳定，安全员确认安全后经施工负责人批准方可进行砂轮更换；

(7) 当次打磨结束后，将打磨车停在直线段，打磨小车从钢轨上提升到运送位，并挂好安全链，按照规定限速驶离。

3.2 打磨技术要求

(1) 钢轨波磨打磨：调查波磨病害情况，根据波磨发生位置及波磨超限比例制定打磨计划。波磨打磨主要以恢复钢轨廓形、消除轨面不规则光带、恢复轨面平顺性为主，波磨病害打磨采用打磨梁 0° 打磨 7 遍、打磨梁 30° 打磨 2 遍、打磨梁 60° 打磨 3 遍，共计 12 遍的打磨组合开展；轨面光带修复同理。

(2) 轨面掉块病害：轨面掉块病害多发生在钢轨 R13 角处，由于钢轨 R13 角处应力集中，钢轨基材硬化、脆化、基材脱落导致掉块病害发生，该类病害钢轨预防性打磨主要以去除硬化层、疲劳层为主。该类病害打磨采用打磨梁 0° 打磨 3 遍、打磨梁 30° 打磨 4 遍、打磨梁 60° 打磨 5 遍，共计 12 遍打磨组合开展。

(3) 轨面鱼鳞纹病害：轨面鱼鳞纹病害主要发生在钢轨 R13 角与轨顶面过渡曲线处，该类病害以消除钢轨表面鱼鳞纹病害为主。采用打磨梁 0° 打磨 3 遍、打磨梁 30° 打磨 6 遍、打磨梁 60° 打磨 3 遍，共计 12 遍的打磨组合开展。

4 质量评价指标及方法

钢轨预防性打磨的核心目标是通过精准打磨，实现“优化廓形、提升表面质量、消除潜在病害”，本文系统研究涵盖多维度、切合现场操作的打磨质量评价指标及方法，评价项目包括钢轨廓形、深度、光带、波磨、打磨面粗糙度和硬度，为钢轨预防性打磨质量管控提供理论依据和技术支撑。

4.1 廓形评价指标及方法

评价指标：钢轨廓形采用 GQI 指标评价方法（打磨质量指数，其值介于 0-100 之间），GQI 代表测量廓形与设计廓形贴合度，贴合度越高则 GQI 越高。通过测量计算钢轨廓形偏差值与钢轨打磨质量指数 GQI 指标，满足要求。

评价方法：采用钢轨廓形检测仪对打磨区段钢轨廓形进行检测，直线区段不少于 2 个测点，曲线区段根据半径

分类按每类不少于 1 条（ $R \leq 400m$ 、 $400m < R \leq 600m$ 、 $600m < R \leq 800m$ 、 $800m < R \leq 1200m$ 、 $1200m < R \leq 2000m$ 、 $2000m < R < 3000m$ 、3000m 及以上共七类），圆曲线至少检测 1 点，测点应避开打磨砂轮下降或提升区域。

(1) 单点钢轨廓形评价指标：单点钢轨廓形检测评价分为优良、合格、不合格三种，各等级判断依据见表 1。

表1 单点钢轨廓形GQI评价指标

等级	优良	合格	不合格
GQI指标	≥ 85	≥ 70	< 70

(2) 成段线路评价指标：成段线路评价以区间或整条线路为单位，评价分为优良、合格、不合格三种，各等级判断依据见表 2。

表2 成段线路评价指标

GQI指标	优良		合格		不合格
所占百分比	≥ 85	≥ 70	≥ 70	≥ 60	不满足合格等级
	60%	80%	60%	80%	

4.2 深度评价指标及方法

评价指标：轨顶中心区域在消除病害的基础上打磨量 $\geq 0.1mm$ 。

评价方法：采用钢轨廓形仪检测打磨前后廓形，计算钢轨打磨深度。

4.3 光带评价指标及方法

评价指标：钢轨接触光带的宽度为 25~35mm；直线区间接触光带位置居中或居中偏内；曲线下股钢轨接触光带位置居中或居中稍偏外；曲线上股钢轨光带应偏向内侧，接触光带自钢轨轨距侧面延伸至轨顶区域，随着曲线半径的增大逐渐向直线光带过渡。

评价方法：采用目测配合钢板尺检测钢轨光带满足评价指标。

4.4 波磨评价指标及方法

评价指标：波磨钢轨打磨评价指标见表 3。

表3 波磨钢轨打磨评价指标

项目	评价标准			
波长（mm）	10-30	30-100	100-300	300-1000
采样窗长度（mm）	600	600	1000	1500
谷深平均值（mm）	0.02	0.02	0.03	0.15
允许超限百分率	5%	5%	5%	5%

评价方法：采用钢轨波磨检测仪检测打磨数据，波磨钢轨打磨谷深平均值在打磨作业完成 3 天后 8 天内进行测量，测量长度不小于采样窗长度；连续测量打磨范围 30m，查看允许超限百分率是否满足评价指标。

4.5 粗糙度评价指标及方法

评价指标：打磨面粗糙度 $\leq 10\mu m$ 。

评价方法：采用便携式粗糙度检测仪检测打磨面粗糙度，曲线段、直线段均选取测量点，同一批次生产的砂轮所打磨区段至少测量 6 个点，各测点测量值均不应超限，检测位置避开焊接接头及打磨车砂轮起落位置。

4.6 硬度评价指标及方法

评价指标：钢轨预防性打磨后轨面硬度下降，恢复钢轨基材硬度。

评价方法：采用便携式数显里氏硬度计检测打磨面硬度，曲线段、直线段均选取测量点，测量位置避开焊接接头及打磨车砂轮起落位置。

5 实例验证

5.1 实例概况

选取 1 号线正线某区间作为钢轨预防性打磨质量评价对象，该线路运营速度 100km/h，钢轨型号为 60kg/m，采用大型钢轨打磨车开展预防性打磨作业，打磨遍数为轨顶区域 12 遍。本次评价选取打磨范围 1km 线路，按照本文评价指标与评价方法，对打磨质量进行综合评价。

5.2 指标检测结果

(1) 钢轨廓形：按照上述评价方法对钢轨打磨廓形进行现场检测，计算钢轨廓形偏差值与钢轨打磨质量指数 GQI 指标，计算结果见表 4。打磨后单点钢轨廓形 GQI 达优良等级 6 点，合格等级 4 点，成段线路评价 ≥ 85% 达 60%，成段线路打磨质量评价优良。

表4 钢轨打磨质量指数计算值

百米点	打磨前	打磨后	单点GQI指标	成段评价指标
测点1	74	85	优良	≥85
测点2	77	82	合格	≥70
测点3	75	83	合格	≥70
测点4	73	86	优良	≥85
测点5	72	85	优良	≥85
测点6	74	85	优良	≥85
测点7	74	83	合格	≥70
测点8	78	86	优良	≥85
测点9	75	85	优良	≥85
测点10	73	81	合格	≥70

(2) 打磨深度：打磨区段轨顶区域各测点打磨深度测量数据见表 5，轨顶区域各测点打磨深度 ≥ 0.1mm，满足评价指标。

表5 打磨深度测量表

测点	测点1	测点2	测点3	测点4
打磨深度	0.105	0.11	0.115	0.1

(3) 钢轨光带：选择测点进行钢轨光带测量，测点避开砂轮起落及焊缝区域，测量结果见表 6。钢轨接触光带

宽度为 27 ~ 33mm，直线钢轨接触光带居中偏内，曲线上股钢轨光带偏向内侧，光带测量满足评价指标。

表6 轨面光带宽度测量表

行别	采样点	里程位置	标准值25~35/mm	
			左轨L	右轨R
上行	测点1	左轨DK0+450	31	28
	测点2	左轨DK0+600	30	29
	测点3	左轨DK0+800	27	33
	测点4	右轨DK0+400	32	28
	测点5	右轨DK0+550	33	31
	测点6	右轨DK0+750	27	32

(4) 钢轨波磨：钢轨预防性打磨前、后波磨测量数据见表 7，按照波磨钢轨打磨评价指标，所测区段波磨允许超限百分率均在 5% 以内，满足评价指标。

表7 各波长段波磨数据测量情况

项目	测量数据-DK0+450-DK0+650							
波长(mm)	10 ~ 30		30 ~ 100		100 ~ 300		300 ~ 1000	
	左轨	右轨	左轨	右轨	左轨	右轨	左轨	右轨
谷深平均值(mm)	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001
允许超限百分率	2%	2%	2%	1%	3%	3%	1%	1%
项目	测量数据-DK0+750-DK0+950							
波长(mm)	10 ~ 30		30 ~ 100		100 ~ 300		300 ~ 1000	
	左轨	右轨	左轨	右轨	左轨	右轨	左轨	右轨
谷深平均值(mm)	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001
允许超限百分率	3%	2%	3%	2%	3%	2%	3%	2%

(5) 轨面粗糙度：采用粗糙度仪测量本次打磨范围轨面粗糙度，左股钢轨粗糙度平均值为 5.11 μm，右股钢轨粗糙度平均值为 5.09 μm，各测点钢轨表面粗糙度均满足评价指标。

(6) 打磨面硬度：采用便携式数显里氏硬度计对打磨区段左、右轨进行硬度测量，每测点测量 5 次取平均值为测量值，测量结果为左股打磨前硬度平均值为 HB308，打磨后硬度平均值为 HB301，右股打磨前硬度平均值为 HB310，打磨后硬度平均值为 HB293，打磨后钢轨表面硬度下降，满足轨面硬度评价指标。

5.3 综合评价

按照本文提出的评价指标及方法对 1 号线正线钢轨预防性打磨质量进行检测评价，钢轨廓形、深度、光带、波磨、打磨面粗糙度和硬度各项指标均满足评价指标相关要求，评价结果合格。

实例验证表明本文构建的评价指标全面、合理，评价

方法科学、可行，能够准确反映钢轨预防性打磨质量水平，为打磨作业优化与质量管控提供有效支撑。

参考文献：

[1] 中国国家铁路集团有限公司工电部. 钢轨打磨手册[M]. 北京：中国铁道出版社有限公司，2020.

[2] 王军平. 廓形打磨对小半径曲线钢轨受力状态的影响[J]. 铁道技术监督，2022, 50(10):34-40.

[3] 田常海，俞喆，刘丰收等. 城市轨道交通钢轨预防性打磨质量评价方法研究[J]. 中国铁路，2024(5):89-94.