

中型曲面打磨车廓形打磨施工组织及工艺研究

刘大龙¹ 李晓松¹ 龚继军² 任良彬³ 刘宽恩³ 赵静³

1 中国铁路成都局集团有限公司工务部, 四川成都, 610057;

2 中铁物总铁路运维科技有限公司, 北京, 100071;

3 四川维尔德轨道工程技术有限公司, 四川成都, 610031;

摘要: 研究着重于中型曲面打磨车在既有铁路线维护中, 通过对比分析不同的设备打磨预设参数和形成的钢轨廓形数据, 提出一套针对中型曲面打磨车的科学合理的施工流程和技术规范, 提出适用于既有铁路线钢轨的恢复廓形打磨工艺框架, 为后续该类设备在既有铁路钢轨廓形打磨施工提供有力的技术指导。引入完善的质量评估体系, 确保打磨质量的稳定性和可靠性。

关键词: 中型曲面打磨车; 既有铁路钢轨; 恢复廓形打磨工艺; 打磨精准控制; 质量评估体系

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 11. 049

引言

随着国内铁路运营里程的不断增长, 线路运营负荷不断加重, 铁路运维费用急速增加。钢轨作为铁路线路的核心组成部分, 其廓形状态直接影响列车的运行平稳性、安全性以及轨道的使用寿命, 恢复钢轨廓形的维修性打磨成为延长铁路大修周期及提升线路运行质量的重要维护技术手段^[1-4]。因此, 钢轨打磨的需求日益迫切, 针对既有线钢轨的廓形打磨技术成为了铁路运维领域的研究热点。

目前中型曲面打磨车在廓形打磨工艺中的具体应用及科学、合理的施工流程和技术规范, 尚缺乏深入的研究。因此, 本研究旨在填补这一空白^[5]。通过深入研究中型曲面打磨车的作业原理、施工工艺及效果评估等方面, 形成一套系统化、标准化的廓形打磨工艺流程和技术规范, 为既有铁路线钢轨及道岔打磨施工提供有力的技术支持和理论指导, 以推动我国铁路维护与升级技术的进步。本研究具有重要的理论价值和实际应用价值, 对于提升铁路交通的运营品质、保障行车安全以及降低维护成本等方面均具有重要意义。

在探究中型曲面打磨机在既有线施工中廓形打磨工艺的形成过程中, 综合运用理论分析与实证研究的方法。通过查阅国内外相关文献资料, 深入理解廓形打磨工艺的发展历程、技术特点、中型曲面打磨车的工作原理和性能优势。结合现场调研, 观察并记录实际施工中廓形打磨的操作流程, 以及中型曲面打磨车在实际应用中的表现。此外, 实验操作也是本研究不可或缺的一环, 通过实验来验证理论分析的准确性, 探索中型曲面打磨车在完成廓形打磨作业中的最佳操作参数。

效果评估与对比分析部分则通过具体的廓形数据和案例分析, 验证了中型曲面打磨车在廓形打磨工艺中

的优越性和实用性。

1 曲面打磨原理及打磨车介绍

1.1 曲面打磨原理简介

主动式曲面打磨技术(也叫切线打磨)是一种利用砂轮的圆周面作为工作面的钢轨打磨工艺, 其基本原理如图 1-1 所示。砂轮在切削加工中的“自锐”特征, 使得其与钢轨之间的接触面形状随着压力 F 、砂轮转速 n 、作业速度 v 和砂轮旋转面方向(切角和偏角)的变化而变化, 最终实现对钢轨表面的三维整形。

传统打磨采用不同角度的磨石进行叠加, 打磨后会形成多个小平面, 而曲面打磨采用磨石和钢轨表面弧形切线啮合的打磨方式, 打磨后表面光滑平顺, 不会形成小平面, 如图 1-2 所示。

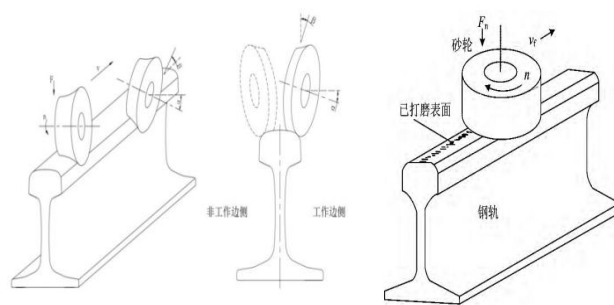


图 1-1 曲面打磨与传统打磨原理对比

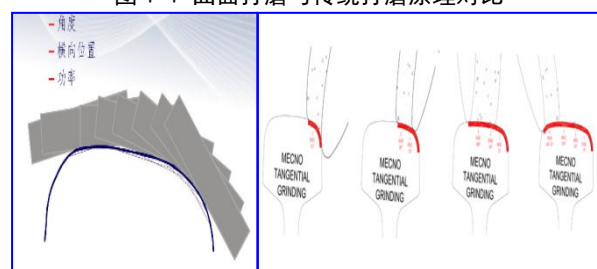


图 1-2 曲面打磨与传统打磨对比图

1.2 打磨车主要参数

目前，在国内应用的主动式砂轮曲面打磨装备为 M S-10C 型曲面打磨车。全车基本参数如表 1-1 所示。

表 1 MS-10C 型曲面打磨车参数表

尺寸（长×宽×高）	总重	自走行速度	作业速度
17X2.4X2.7m	23t	≤30km/h （双向）	0.8~3km/h
打磨角度范围	最小作业半径	最大作业坡度	砂轮控制精度
-45° ~+70°	20m	60‰	0.1m

全车共四节，其中 1、4 车位动力单元，提供车辆运行和打磨的动力，2、3 车位打磨单元。全车共 10 个打磨砂轮，分为两种打磨模块，G 模块（grindingmodule）和 B 模块（bevellingmodule），见图 3，其中 G 模块为双磨头单元，采用“平衡式”设计，即两个砂轮安装同一个刚性支架上，B 模块为单磨头单元。

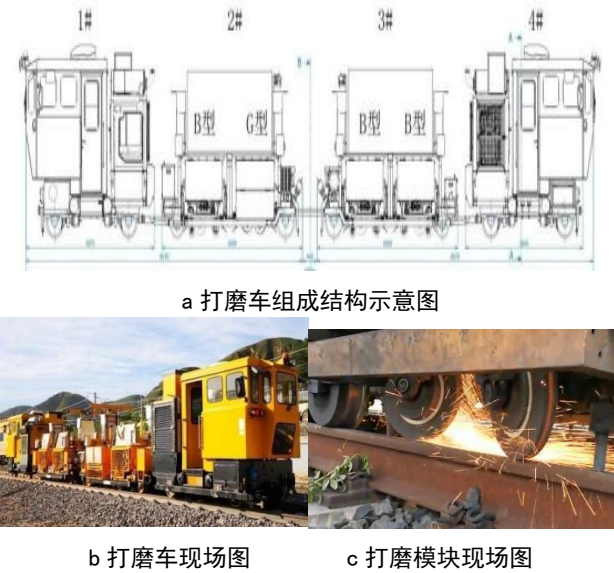


图 1-3 打磨车结构图及现场图

该型打磨设备打磨区间线路时可使用磨石砂轮进

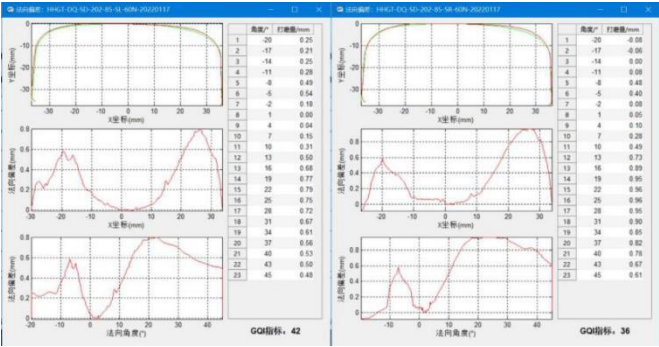
行无障碍打磨，在打磨道岔时先采用磨石砂轮对道岔全区段进行廓形打磨(尖轨及心轨宽 20mm 以下区域除外)，再采用纸砂轮对道岔尖轨及心轨宽 20mm 以下区域进行抛光打磨，以保证道岔纵向的平稳过渡，完成整组道岔的贯通打磨，具有以下特点：

- (1) 打磨角度范围较大
- (2) 打磨表面质量较好
- (3) 打磨受限区较小
- (4) 打磨切削能力比较强
- (5) 打磨火花方向可控

2 打磨方案设计及组织

2.1 道岔打磨方案

作业前对所有打磨地段进行测量计算，根据测量结果结合曲面打磨车的特性，设计打磨模式，即根据数据进行磨头编排及打磨深度设定。如图 2-1 钢轨廓形测量结果所示，外侧打磨量在 0.2mm-0.4mm 之间；内侧在 0.6mm-1mm 之间。



道岔廓形打磨以保证轨头廓形为主，轨顶中心打磨深度可适当减少；道岔病害打磨应根据病害类型，结合探伤结果，确定打磨切削量及顺接长度，具体打磨模式见表 2-1。

表 2-1 打磨模式表

模式号	打磨模块	打磨单元	砂轮类型	砂轮厚度	打磨角度	功率	作业速度
1	G	G1	磨石砂轮	35	+10° ~+50°	65%	1km/h
		G2		25	+10° ~+35°	65%	
	B	B1		60	-20° ~+10°	70%	
		B2		35	+10° ~+50°	70%	
		B3		25	+30° ~+60°	70%	
2	G	G1	磨石砂轮	35	+10° ~+50°	60%	1km/h
		G2		25	+10° ~+35°	60%	
	B	B1		60	-20° ~+10°	70%	
		B2		35	+10° ~+50°	70%	
		B3		25	+30° ~+60°	70%	
3	G	G1	纸砂轮		-20° ~+60°	55%	1km/h
		G2			-20° ~+60°	55%	

2.2 道岔打磨工艺

鉴于曲面打磨是利用砂轮外侧圆周面来进行切削作业的，相当于将砂轮“立”在钢轨上，因而可以大大缩短道岔打磨受限区域。曲面打磨会使砂轮圆周面形成与钢轨廓形相似的圆弧曲面，砂轮形成的圆弧曲面宽度及弧度和打磨部位的钢轨断面宽度呈正比，在尖轨及心轨变截面区域打磨时，应避免由于砂轮打磨时“自锐”形成的窄圆弧破坏尖轨较宽区域廓形的问题，所以应当沿尖轨及心轨由宽变窄的方向打磨，所以当打磨方向不同时，即顺向打磨（心轨至尖轨方向）和逆向打磨（尖轨至心轨方向）时，曲面打磨的砂轮起落位置会有不同，由顺向打磨完成尖轨及心轨宽度 20~50mm 以内的廓形打磨。

道岔直向整体打磨工艺如下：道岔标准 60 轨区域采用磨石砂轮打磨，打磨遍数为 2 遍，打磨顺序为 1#-2#；道岔特殊区域-尖轨及心轨部分采用磨石砂轮和纸砂轮结合打磨，其中尖轨及心轨宽度 20mm~50mm 区域磨石砂轮打磨 2 遍，打磨顺序为 1#-2#（均需顺向打磨），纸砂轮打磨 2 遍，打磨顺序为 3#-3#，尖轨及心轨宽度小于 20mm 区域采用纸砂轮打磨 2 遍，打磨顺序为 3#-3#。

在道岔前端（岔前铝热焊接头前）将 1#或 2#模式中 G 模块和 B 模块砂轮全部放下，正常打磨至距离尖轨尖端前部约 100mm 处时，收起 G 模块和 B 模块砂轮，待打磨车行驶至直尖轨宽度 50mm 处时，放下 G 模块和 B2、B3 模块砂轮，为了防止 B1 模块中外侧砂轮角度冲撞曲基本轨，此时 B1 模块砂轮不下放，当直尖轨和曲基本轨间距为 20mm 时，再放下 B1 模块砂轮，直至打磨车打磨至心轨尖端前约 100mm 处，收起 G 模块和全部 B 模块砂轮，打磨车行驶至长心轨宽度 50mm 处时，放下 G 模块和 B2、B3 模块砂轮，为了防止 B1 模块中外侧角度砂轮冲击短心轨，此时 B1 模块砂轮不下放，当长短心轨间距为 20mm 时，放下 B1 模块砂轮，直至打磨至岔尾，完成道岔直向的逆向打磨，砂轮具体起落位置见图 2-2。完成上述砂轮打磨后，采用纸砂轮对尖轨尖前 100m 处和尖轨宽 50mm 之间区域，心轨尖前 100m 处和心轨宽 50mm 之间区域进行补充打磨，顺向逆向同时打磨。

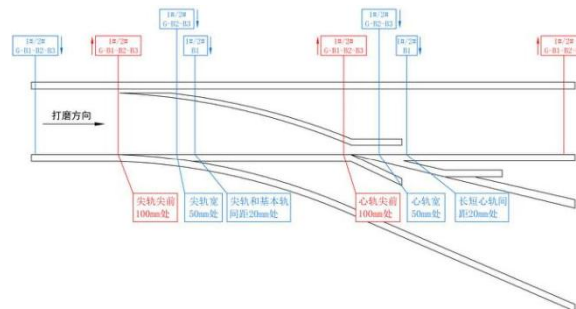


图 2-2 道岔（直股）逆向打磨工艺图

在道岔尾端（岔后铝热焊接头后）将 1#或 2#模式中 G 模块和 B 模块砂轮全部放下，正常打磨至长短心轨间距 20mm 处，收起 B1 模块砂轮，此时 B2、B3 和 G 模块砂轮不收起，直至打磨至长心轨宽 20mm 处，收起 B2、B3 和 G 模块砂轮，当打磨车行驶至心轨尖前 100mm 处时，放下 G 模块和 B 模块砂轮，打磨至直尖轨和基本轨间距 20mm 处时，收起 B1 模块砂轮，B2、B3 和 G 模块砂轮打磨至直尖轨宽 20mm 处时再收起，打磨车行驶至尖轨尖前 100mm 处时，下放 G 模块和 B 模块砂轮，直至打磨至岔前，完成道岔直向的顺向打磨，砂轮具体起落位置见图 2-3。完成上述砂轮打磨后，采用纸砂轮对尖轨尖前 100m 处和尖轨宽 50mm 之间区域，心轨尖前 100m 处和心轨宽 50mm 之间区域进行补充打磨，顺向逆向同时打磨^[5-7]。

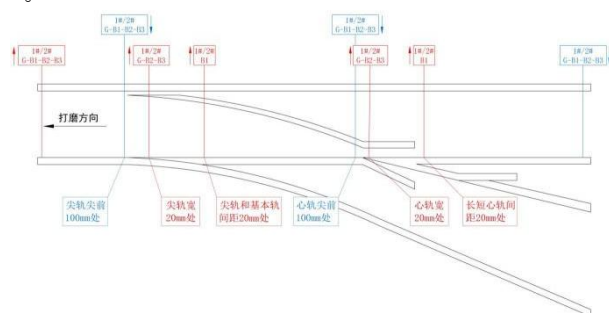


图 2-3 道岔（直股）顺向打磨工艺图

2.3 打磨施工组织流程

2.3.1 打磨配置

可通过调整每个模块砂轮横移量和砂轮厚度可以实现对指定轨面位置的打磨，通常采用的砂轮厚度有 25mm、35mm、40mm、60mm。可通过调整每个打磨模块功率来控制磨削量，G 模块采用的功率通常为 70%~90%，B 模块采用的功率通常为 60%~80%。

2.3.2 打磨车调运

短距离调运：采用打磨车自运行的方式（35km/h）。长距离调运：采用轨道车加平板车的方式，对平板车进行改造加装轨道，采用卷扬机将打磨设备拉上平板车，运输到作业地点后，由打磨车自运行通过轨道桥下到钢轨进行打磨作业，见图 2-4 所示。

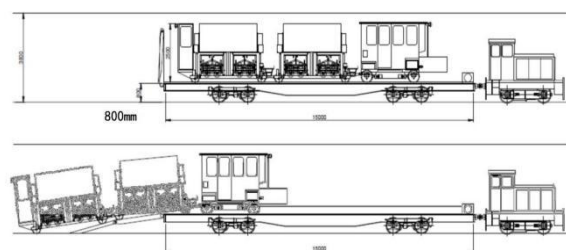


图 2-4 长距离调运示意图

2.3.3 现场打磨作业

MS-10C 型曲面打磨车各打磨模块工作状态是通过操作人员手动控制砂轮的抬升。



图 2-5 操作过程示意图

3 打磨效果分析

3.1 打磨后廓形质量分析

根据《高速铁路钢轨打磨管理办法》（铁总运[2014]-357 号文）的测点要求，对道岔直股、曲股不同测点进行钢轨测量和分析，与设计廓形对比其偏差，以 XX 站 3#测量结果为例，具体如表 3-1 及表 3-2 所示。偏差均满足要求，同时曲股 GQI 均值达到 90.6，钢轨廓形质量良好。

表 3-1 道岔直股验收结果统计表

站名	道岔号	测点位置	钢轨-25mm~+25mm 偏差	钢轨 25mm~32mm 偏差
XX 站	3#	岔前	-0.05	-0.15
		MP1	-0.05	-0.01
		MP2	0.06	-0.08
		MP3	-0.07	-0.17
		MP4	0.07	-0.02
		MP5	0.03	-0.30
		MP6	0.08	0.00
		岔后	-0.05	-0.15
标准要求			-0.2~+0.2mm	-0.6~+0.2mm

表 3-2 道岔曲股验收结果统计表

站别	行别	道岔号	轨枕号	股别	打磨后 GQI
XX 站	下行	3#	38	曲上股	91.0
				曲下股	75.0
			45	曲上股	97.7
				曲下股	94.8
			85	曲上股	88.8
				曲下股	96.3
			114	曲上股	98.0
				曲下股	83.2
平均值					90.6

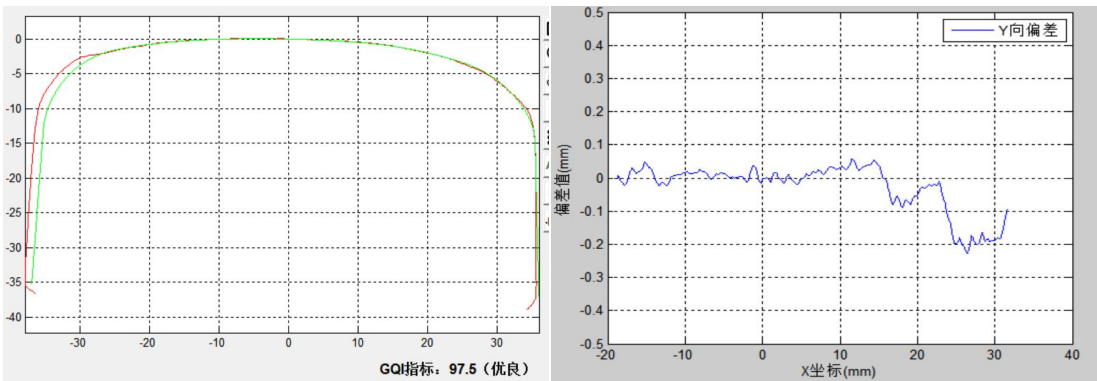


图 3-1 钢轨偏差计算示意图

3.2 打磨后光带质量分析

根据《高速铁路钢轨打磨管理办法》（铁总运[201

4]-357 号文）第二十二条评价规定，钢轨打磨后无连续发蓝带。对打磨后钢轨光带进行分析，经检测打磨后在各检测点处无钢轨发蓝等现象，满足要求。



a 道岔心轨 b 道岔尖轨 c 道岔直股

图 3-2 打磨后光带示意图

根据《高速铁路钢轨打磨管理办法》（铁总运[2014]-357 号文）第三十四条要求，打磨完成后对打磨光带进行测量。根据第二十一条要求，打磨后轮轨接触光带应基本居中，宽度为 20~30mm。对 XX 站 3 号道岔进行测量，测量结果如图 3-3 所示，打磨后道岔光带宽度均在 20~30mm 之间，满足要求。

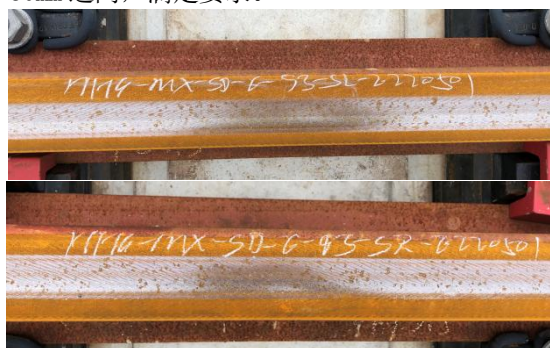


图 3-3 道岔光带测量图

3.3 钢轨波磨打磨效果分析

曲面打磨能够完美解决钢轨波磨病害。曲面打磨的平衡模块不会被动跟随钢轨波磨，在打磨过程中，不会同时对波峰和波谷打磨，相反，因其“平衡式”的设计，在其中一个砂轮打磨波峰的时候，另一个砂轮只能与其在同一水平面。平衡打磨原理如见图 3-4，现场实际打磨效果见图 3-5^[8-9]。

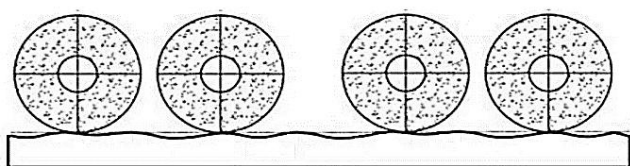


图 3-4 波磨平衡打磨原理



图 3-5 波磨打磨效果

3.4 道岔受限区打磨效果分析

传统打磨技术在打磨道岔时有很多受限区域无法打磨，多采用人工手持小型打磨机进行打磨，打磨质量参差不齐，效率不甚理想。而曲面打磨技术可以在更多的受限区域打磨，同时解决曲股的打磨问题。打磨情况见图 3-6 至图 3-7。



图 3-6 道岔辙岔打磨



图 3-7 护轨地段打磨

当采用磨石砂轮时，与传统的道岔打磨车相比，曲面打磨车可将尖轨受限区缩短 53%，心轨受限缩短 41%；采用纸砂轮后，曲面打磨车可对尖轨及心轨受限区进行无障碍通打。同时，曲面打磨车一般只需要打磨 2~3 遍就可以完成道岔的预防性打磨，在完成单组 18 号道岔的廓形打磨时（以 60 轨廓形打磨成设计廓形为例）需要的作业时间为传统道岔打磨车的 67%，大幅度提高了道岔打磨效率，打磨后钢轨表面质量也优于传统道岔打磨车^[10]。

表 3-3 曲面打磨与传统打磨对比表

项目			曲面打磨车	传统道岔打磨车
限打区	磨石砂轮	尖轨	12 号枕~24 号枕，约 7m	12 号枕到 37 号枕，约 15m
		心轨	93 号枕~100 号枕附近，约 4.2m	93 号枕~105 号枕附近，约 7.2m
	纸砂轮	尖轨	均可打磨，无受限区	/
		心轨	均可打磨，无受限区	/
道岔曲股			可打磨（与道岔直股工艺相近）	不可打磨（存在安全风险）
打磨遍数			2~3 遍	12~16 遍
打磨速度			1~1.5km/h	5~7km/h
单组道岔预打磨时间			30min	45min

3.5 钢轨病害打磨效果分析

曲面打磨具有打磨角度范围较大、打磨表面质量较好、打磨受限区较小、打磨切削能力比较强、打磨火花方向可控等优点。曲面打磨对于常见的钢轨鱼鳞伤、擦伤、掉块等病害具有良好的打磨效果，具体见图 3-8~3-12 所示。



图 3-8 钢轨鱼鳞伤打磨效果



图 3-9 钢轨擦伤打磨效果



图 3-10 钢轨掉块打磨效果



图 3-11 道岔绝缘接头打磨效果

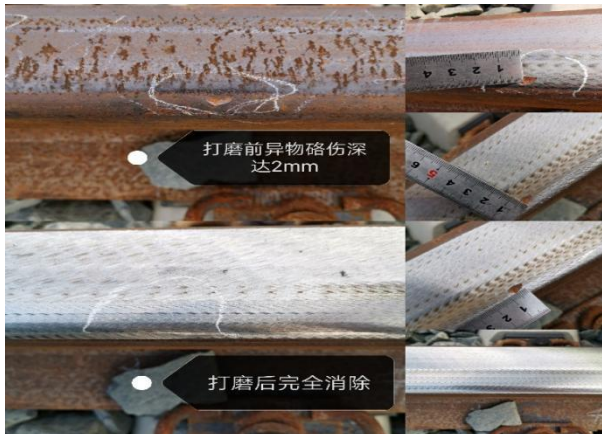


图 3-12 钢轨硌伤打磨效果

4 结论

(1) 曲面打磨车采用曲面打磨原理，采用磨石和

钢轨表面弧形切线啮合的打磨方式进行打磨，相较于传统打磨车，打磨后钢轨表面更加光滑平顺。

(2) 曲面打磨具有打磨角度范围较大、打磨表面质量较好、打磨受限区较小、打磨切削能力比较强、打磨火花方向可控、打磨后钢轨廓形质量较好，钢轨打磨后无连续发蓝带等优点。

(3) 曲面打磨适用于钢轨波磨、鱼鳞伤、擦伤、硌伤，接头不平顺等病害打磨，打磨后病害可以完全消除，打磨效果优良。

参考文献

- [1] 陈立. 既有线钢轨廓形打磨质量管理谏议[J]. 铁道工务, 2021, 1, 26-28
- [2] 金学松, 杜星, 郭俊等, 钢轨打磨技术研究进展[J], 西南交通大学学报, 2010, 45 (1): 1-11.
- [3] 雷晓燕. 钢轨打磨原理及其应用[J]. 铁道工程学报, 2000, (01): 28-33.
- [4] 刘月明, 李建勇, 蔡永林等, 钢轨打磨技术现状和发展趋势[J]. 铁道科学, 2014, 35 (4): 29-37.
- [5] 田常海, 我国高速铁路钢轨和道岔打磨技术应用与实践[J]. 中国铁路, 2017 (11): 20-28
- [6] 张祝强普速道岔打磨工艺研究与应用[J]. 铁道工务, 2020, 2, 38-41
- [7] 李晔山区铁路小半径曲线无缝线路钢轨打磨技术研究[J]. 铁道工务, 2021, 3, 25-32
- [8] 司道林, 李伟, 杜香刚, 等. 减缓高速铁路钢轨波磨的仿真分析[J]. 中国铁道科学, 2014, 35 (06): 79-83.
- [9] 肖宏, 王阳, 刘秀波, 等. 钢轨波磨检测原理、方法及装置研究进展[J]. 机械工程学报, 2025, 61 (10): 191-214.
- [10] 俞喆, 马国祥, 宋松, 等. 砂轮曲面打磨技术在高速铁路道岔打磨中的应用[J]. 铁道建筑, 2022, 62 (05): 51-54.