

文章编号:1005-0523(2019)02-0033-08

高速铁路钢轨预打磨策略及伤损发展特征

张聪聪^{1,2},周宇^{1,2},黄旭炜^{1,2},木东升^{1,2},韩廷彬^{1,2}

(同济大学 1.道路与交通工程教育部重点实验室;2.上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室,上海 201804)

摘要:针对高速铁路预打磨钢轨进行磨耗和疲劳裂纹萌生仿真预测和现场跟踪试验,对预打磨钢轨的实施效果、伤损类型和发展特征进行了分析。分析结果表明,实施特殊型面的新轨预打磨能有效地控制轮轨接触点的位置和接触宽度,获得较好的轮轨关系。预打磨后的钢轨在运营中主要受磨耗影响,磨耗呈线性增加的趋势,外轨磨耗分布在轨头-10°~60°范围,内轨磨耗分布在轨头中心±10°范围。运营大约1年,部分地段的外轨预打磨型面被磨耗所改变,轮轨接触状态恶化,高速铁路预防性打磨周期可以在1~1.5年内实施。

关键词:钢轨;磨耗;滚动接触疲劳裂纹;预打磨;预防性打磨

中图分类号:U213.4+2

文献标志码:A

为控制钢轨伤损延长其使用寿命,对新上道的钢轨进行预打磨已经成为各国高速铁路重要的钢轨养护管理策略^[1-5]。新轨预打磨一方面可以消除钢轨加工制造时形成的表面脱碳层、运输铺设时形成的原始硬弯和表面划擦等薄弱环节和初始伤损带来的不利影响,另一方面可以更进一步将标准轮廓型面打磨成特定轮廓型面,以改善轮轨接触关系,减缓钢轨滚动接触疲劳裂纹的萌生。但是,预打磨后的钢轨在正常的运营条件下,仍会不可避免地发生磨耗,导致特殊轮廓型面的恶化,也可能进一步引发轮轨接触不良和发生滚动接触疲劳裂纹。这样就必须依靠再次预防性打磨来将钢轨型面恢复成特定轮廓型面、改善轮轨关系,同时消除钢轨表面伤损。不合理的预防性打磨周期,反而会降低钢轨使用寿命、增加养护维修成本^[6-7]。规划合理的预防性钢轨打磨周期,首先要掌握预打磨后钢轨型面和伤损的发展特征,再结合作业机械、运营计划、养护成本等条件安排作业计划。因此,在对高速铁路钢轨预打磨试验段的钢轨型面进行长期观测的基础上,根据磨耗和疲劳裂纹预测理论,采用 Simpack 多体动力学软件建立高速铁路车辆-轨道动态模型,分析预打磨后的钢轨在不同运营时期的磨耗和疲劳裂纹发展特征,为进一步研究高速铁路钢轨预防性打磨周期提供参考。

1 钢轨的磨耗和裂纹预测方法

1.1 钢轨磨耗预测模型

采用能量耗散理论对钢轨磨耗进行预测^[8-9],该理论认为磨耗与轮轨接触斑上的能量耗散有关,且得到进一步验证^[10]。能量耗散模型表示车轮或钢轨的磨耗量与单位长度上的蠕滑力和蠕滑率所做的摩擦功成比例,其中反映磨耗程度的磨耗指数定义如下^[11-12]

$$W = F_x v_x + F_y v_y + M\theta \quad (1)$$

式中: F_x, F_y 分别为纵向蠕滑力和横向蠕滑力,N; v_x, v_y 分别为纵向蠕滑率和横向蠕滑率; M, θ 分别为自旋力矩和自旋蠕滑率。

收稿日期:2018-10-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51678445,51878661)

作者简介:张聪聪(1995—),男,硕士研究生,研究方向为轨道养护维修。

通讯作者:周宇(1977—),男,教授,博士,博士生导师,研究方向为轨道管理和轨道养修技术。

在大半径曲线条件下($R > 1\ 500\text{ m}$),自旋力矩和自旋蠕滑率对磨耗的贡献较小,可以忽略^[13,15],公式(1)也可以简化为

$$W = F_x v_x + F_y v_y \quad (2)$$

1.2 钢轨疲劳裂纹萌生预测模型

采用基于安定极限理论的疲劳指数模型^[13]对钢轨滚动接触疲劳裂纹的萌生进行预测。该模型根据轮轨接触几何状态、轮轨动荷载、钢轨材料剪切屈服强度来预测裂纹萌生。模型中引入了无量纲的疲劳裂纹指数 FI ,其含义为弹性-塑性安定极限图上的任意点与安定极限曲线的水平距离,由此判断剪切应力是否超过材料的剪切屈服强度以及裂纹是否萌生。疲劳裂纹指数 FI 经过了试验验证^[14],适用于车轮踏面与轨顶面接触的黏着-滑动条件下的疲劳裂纹预测^[15]。由于现场轮轨表面摩擦系数经常位于 0.3 及以上,因此本文引入预测裂纹在钢轨表面萌生的疲劳指数 FI_{surf} ,如式(3)^[16-18]

$$FI_{\text{surf}} = \mu - \frac{2\pi abk}{3F_z} \quad (3)$$

式中: μ 为摩擦系数, $\mu = \sqrt{(F_x^2 + F_y^2)/F_z^2}$; F_x, F_y 含义同上; F_z 为法向力,在轨顶面与车轮踏面接触的条件下,可忽视钢轨型面中曲线的作用,用轮轨垂直力代替; a, b 为轮轨赫兹接触椭圆的长、短半轴; k 为钢轨剪切屈服极限, $k \approx \frac{\sigma_{\text{yield}}}{\sqrt{3}}$,对于 U71Mn 新轨, $\sigma_{\text{yield}} = 457\text{ MPa}$, k 取 260 MPa。

当 $FI_{\text{surf}} > 0$ 时,疲劳裂纹在钢轨表面萌生。

2 现场试验和仿真方法

对现场实施预打磨后的新轨型面进行跟踪观测,实测型面作为仿真分析中的钢轨型面,计算不同观测时间的磨耗指数和疲劳裂纹萌生指数,同时,根据实测型面计算实际磨耗量。通过仿真结果与观测结果相结合,分析高速铁路预打磨钢轨的型面和磨耗、疲劳裂纹的发展特征。

2.1 现场试验段概况

在我国已经开通的一条高速铁路上,根据曲线半径的分布比例和列车最高运行速度,选取一条曲线段作为钢轨预打磨试验段。试验段的曲线参数见表 1,线路采用标准 60 kg/m, U71Mn 钢轨, 1:40 轨底坡, 单元板式无砟轨道结构,列车运行速度为 300 km/h。

表 1 试验段曲线参数
Tab.1 Parameters of test section

曲线半径	缓和曲线长	圆曲线长	超高
9 000	250	216	85

对试验段钢轨型面进行了约 2 年的跟踪观测,共进行了 6 次钢轨横向轮廓型面测量,测点沿曲线间隔 10 m 分布。测量时间间隔如表 2 所示。

表 2 测量时间间隔
Tab.2 Time interval of long-term measurement

第 n 次测量	1	2	3	4	5	6
累积时间/month	0	2	6	11	18	25

2.2 仿真预测方法

仿真分析的车辆-轨道动力学模型及车辆和轨道的相关参数,均以试验段条件来确定。其中,车辆-轨道动力学模型采用多体动力学软件 Simpack 建立,车轮型面为标准 LMA 车轮型面,钢轨型面为试验段现场实测钢轨型面。曲线所有测点的实测钢轨型面根据插值法组成整条仿真线路的钢轨。仿真计算的轨道几何不平顺数据来自轨检车对该段高速铁路的实测数据。通过模型计算上述式(1)~式(3)的相关参数,预测不同观测期间的钢轨磨耗和表面疲劳裂纹萌生情况,仿真流程如图 1 所示。

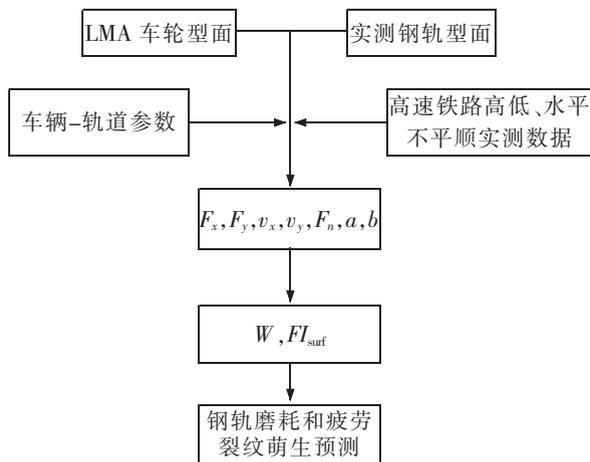


图 1 钢轨磨耗指数和疲劳裂纹指数仿真流程

Fig.1 Simulation procedure of wear index and fatigue index

3 高速铁路钢轨预打磨策略的实施

根据高速铁路对钢轨的要求,钢轨预打磨主要实现以下目标:

- 1) 打磨掉新轨在钢轨制造过程中形成的脱碳层等薄弱表面;
- 2) 打磨掉新轨在运输、铺设过程中产生的原始硬弯、轨头表面划擦和磕碰;
- 3) 改善轮轨接触状态,保持一定的轮轨接触带和接触位置;
- 4) 减少轨距角与车轮轮缘根部的接触,降低轨距角滚动接触疲劳裂纹的发生。

由此,相关部门提出和确定了新轨预打磨廓形,其参数为:

- 1) 钢轨顶面打磨量 0.4 mm;
- 2) 轨头轨距角和外侧角均进行一定量的打磨,其中在与轨头中心线呈 20°的轨距角位置,打磨量为 1.2 mm,在与轨头中心线呈-10°的外侧角位置,打磨量为 0.4 mm,从而控制轮轨接触带处于轨头顶部中心,接触带宽度约 20 mm,预打磨型面与标准 60 kg/m 钢轨型面对比,如图 2 所示。

试验段内,外轨在上道后 1 个月内实施了预打磨,内、外轨均以上述预打磨特殊廓形为目标廓形。为了解打磨是否实现了预定的轮轨接触宽度和接触位置,在预打磨后的轨面上喷涂白色油漆,观察列车通过后被车轮带走的白漆的宽度和位置,并与未打磨前光带宽度和位置比对。观察发现,未实施预打磨前,虽然钢轨上道未使用很长时间,但轮轨接触光带宽度和位置均不稳定,光带宽度在 20~35 mm,位置处于轨头中心至轨距角的较宽范围之内,部分位置的轨距角附近有明显光带,说明轨距角与车轮发生接触;经过预打磨后,轮轨接触光带宽度保持在约 20 mm,位置处于轨头中心略靠近工作边,且车轮轮缘未与曲线外轨轨距角接触。

对预打磨后的钢轨型面进行了测量,作为长期观测的基准型面。同时,预打磨型面与标准 60 kg/m 钢轨型面对比,计算出轨头各个角度的平均径向打磨量,如图 3 所示。

从图 3 可以看出,预打磨基本实现了新轨预打磨的参数要求,钢轨预打磨后的初始状态良好。

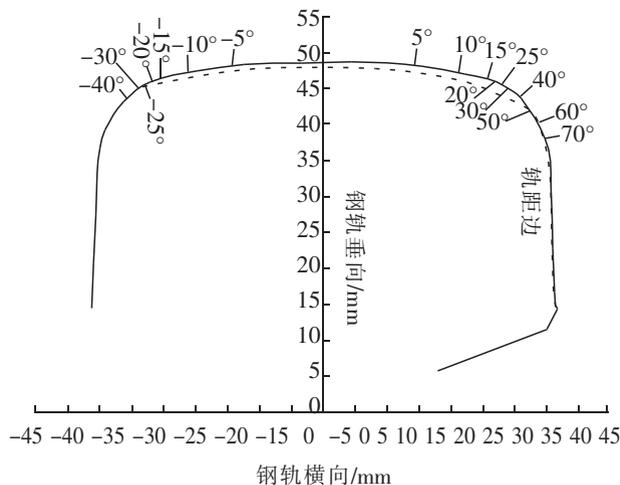


图 2 高速铁路钢轨预打磨的特殊廓形与标准钢轨廓形对比

Fig.2 Comparison between special profile of pre-grinding and standard profile

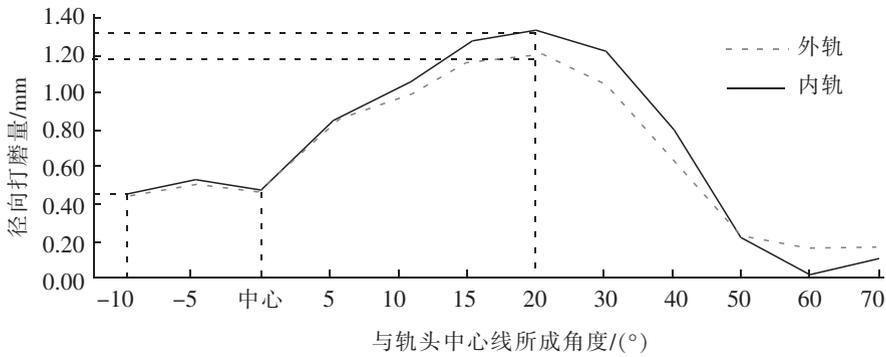


图3 钢轨预打磨后各个角度的平均径向打磨量
Fig.3 Average radial grinding amount

4 仿真计算与观测结果

根据上述仿真预测方法和仿真条件,对钢轨磨耗和疲劳裂纹进行预测,并与观测结果进行对比。

4.1 钢轨磨耗指数和钢轨磨耗情况

磨耗指数 W 为仿真车辆在模拟线路上运行 100 次, 轨顶面和车轮踏面接触或轨距角和车轮轮缘接触时, 根据公式(1)计算得到的导轮引起的磨耗指数平均值。不同观测时间的磨耗指数如图 4 所示。其中, 垂直磨耗指数(简称垂磨指数)是根据轨顶面和车轮踏面的接触计算得到, 侧面磨耗指数(简称侧磨指数)是根据轨距角和车轮轮缘接触计算得到。

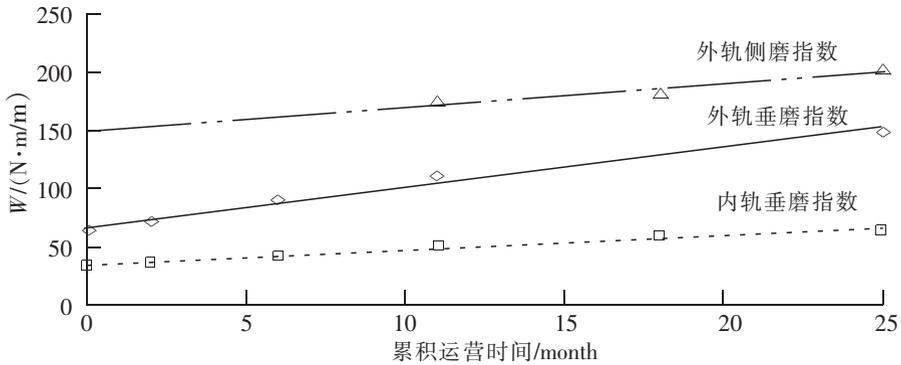


图4 不同观测时间的钢轨磨耗指数
Fig.4 Wear index at different test time

从图 4 可以看出,随着运营时间的增加,内、外轨的垂磨指数和外轨的侧磨指数都呈线性增加趋势。其中,外轨垂磨指数比内轨的垂磨指数大,且发展较快。在运营大约 1 年(11 个月)以后,部分地段的外轨出现除轨顶面和车轮踏面接触外的第二点接触,即轮缘与轨距角的接触,因此出现较大的外轨侧磨指数,这与轨距角和轮缘接触时产生较大的滑动有关。

各次观测的实测型面与对应测点的基准型面进行对比,计算了不同运营时间内、外轨的垂磨量、外轨侧磨量和内、外轨轨头各个角度的径向磨耗量。其中,垂磨和径向磨耗量取平均值。现场观测发现,运营时间 1 年左右,部分地段的外轨轨距角附近产生了表面光带,说明有侧磨发生,这与上述仿真计算中,这个时期以后出现较大的外轨侧磨指数吻合。由于发生外轨侧磨的测点数量较全部测点数量相对少,为了更清楚的描述侧磨的情况,外轨侧磨取最大值。不同观测时间的磨耗量如图 5 所示。轨头各个角度径向磨耗量平均值如图 6 所示。

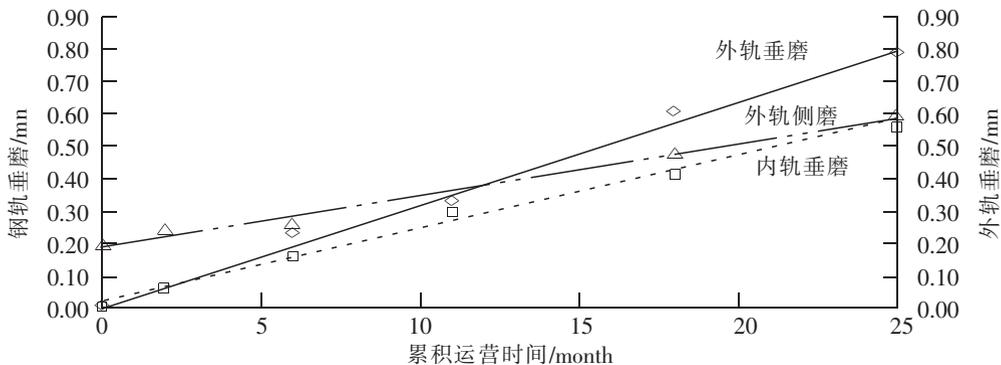


图5 不同观测时间的钢轨磨耗量

Fig.5 Wear at different test time

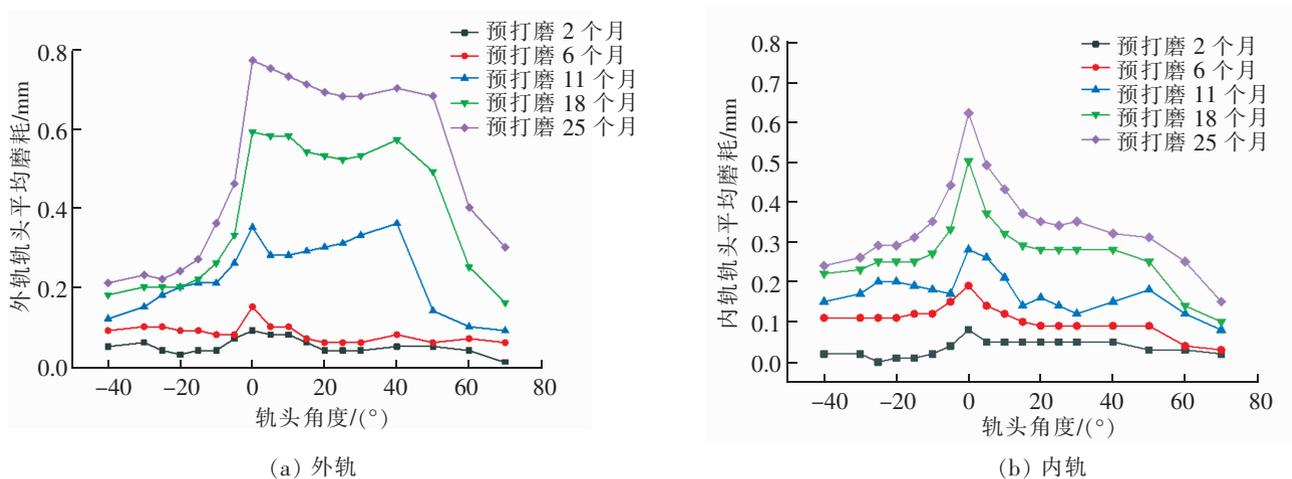


图6 钢轨轨头各角度的磨耗量

Fig.6 Radial wear of rail

从图5可以看出,与仿真计算中磨耗指数的发展类似,随着运营时间的累积,内、外轨磨耗量呈线性增加趋势。垂磨方面,外轨垂磨的发展快于内轨垂磨。侧磨方面,虽然在运营1年以内,现场测量到的外轨侧磨最大值约0.21~0.31 mm,但从观测来看,这个侧磨并没有对外轨的轮廓产生很大影响,且轨距角出现光带的现象极少。但是当运营时间超过1年以后,外轨侧磨的最大值超过0.3 mm,对轮廓产生影响,轮轨接触光带偏离预打磨时的位置而偏向轨距角的现象增多,这与仿真计算得到的该段时间以后部分地段的外轨出现两点接触的情况相吻合。

进一步从图6(a)可以看出,观测阶段内,外轨的磨耗主要发生在轨头 $-10^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的范围内。在钢轨预打磨后6个月内,磨耗发展不明显;6~11个月时,外轨磨耗主要发生在轨头 $-5^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 的范围之内,磨耗量最大值逐渐达到0.3 mm;11~25个月时,外轨磨耗逐渐扩展到轨头 $-10^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的范围之内,这个范围内的大部分磨耗量均超过0.3 mm,且发展比较均匀,在观测结束时,最大磨耗值达到0.77 mm。

从图6(b)可以看出,观测阶段内,内轨的磨耗主要发生在轨头 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的范围之内,其余角度的磨耗发展比较缓慢。与外轨的磨耗发展类似,在钢轨预打磨后6个月内,内轨磨耗发展不明显,11个月以上后, $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的范围内的磨耗加快。总体来看,内轨的磨耗量比外轨磨耗略小,在观测结束时,最大磨耗值达到0.62 mm。

4.2 疲劳裂纹萌生仿真和现场观测结果分析

疲劳裂纹萌生指数 FI_{surf} 为仿真计算中车辆在线路上运行100次,轨顶面和车轮踏面接触或轨距角和车轮轮缘接触时,根据公式(3)计算得到的导轮引起的外轨疲劳裂纹指数平均值。不同运营时间的钢轨表面疲劳裂纹萌生指数,如图7所示。

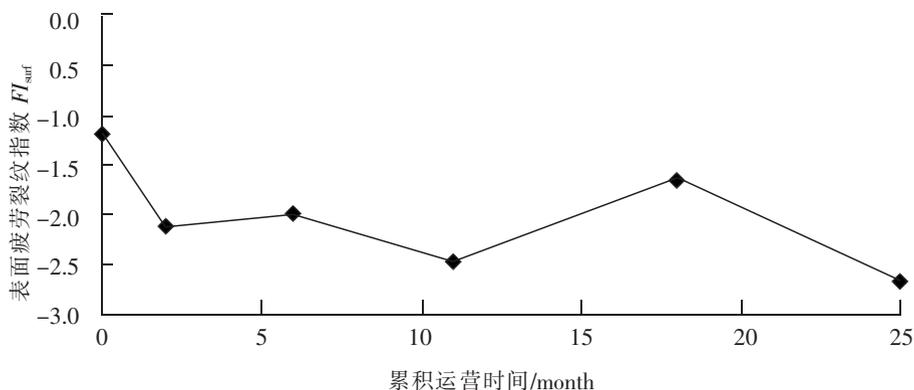


图7 不同运营时间的外轨表面疲劳裂纹指数

Fig.7 Fatigue index of high rail at different test time

从图7可以看出,各次仿真得到的疲劳裂纹指数都为负值,即预打磨后25个月内,外轨不会有表面疲劳裂纹萌生。从各次现场观测来看,也未在外轨表面发现疲劳裂纹的痕迹或肉眼可见的疲劳裂纹。

在另一条运营了5年半的高铁线路上,采用涡流仪测量了某7000 m半径曲线钢轨表面的疲劳裂纹,内、外轨裂纹深度均在0.1~0.3 mm范围内。考虑到钢轨疲劳伤损需要累积到一定程度才能出现裂纹,且裂纹出现后由于应力集中,扩展速度较快,可以推测裂纹出现时间在运营2年之后。

4.3 仿真和现场观测结果分析

高速铁路钢轨实施新轨预打磨策略,目的是消除钢轨表面薄弱环节、控制轮轨接触点在钢轨上的位置,并进一步采用了轨距角过量打磨的特殊型面,从现场实施后的效果来看,有效地控制了轮轨接触点的位置(轨顶面中心略靠轨距角)和接触宽度(20 mm左右),消除了轨距角与车轮轮缘的接触,同时,预打磨后的轮轨关系配合较好,预打磨后6个月内的钢轨磨耗很小(<0.2 mm)。

随着列车的反复作用,预打磨钢轨的主要伤损是钢轨磨耗,无论是仿真分析还是现场观测都证实,钢轨磨耗明显而表面没有出现滚动接触疲劳裂纹。由于高速铁路列车在一定的区段运行速度基本一致、运量大致平稳、无砟轨道结构和几何形位状态保持良好,所以钢轨磨耗呈线性增加的趋势,且外轨的磨耗速度比内轨磨耗速度略快。曲线钢轨型面的变化趋势是:外轨主要发生轨头 $-10^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 范围的磨耗,其型面由于磨耗逐渐向轨道内侧即轨距角倾斜;内轨主要发生轨头 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的范围内的磨耗,其型面逐渐被磨平。

值得注意的是,在运营大约1年以后,仿真分析显示在曲线部分区段的外轨发生轨距角与轮缘的第二点接触,现场观测也发现外轨的轨距角出现光带。说明这个时间之后,磨耗使预打磨的外轨型面发生明显变化,新轨预打磨建立的轮轨接触关系已经恶化,轮轨接触位置和接触宽度被逐渐改变。

从仿真分析和现场观测来看,高速铁路预打磨后的钢轨在使用中受磨耗影响主要有3个发展阶段:①预打磨后0.5年以内,为钢轨状态良好时期,这个时期轮轨接触状态最佳,钢轨磨耗很小;②预打磨后0.5~1年,为磨耗发展初期,这个时期钢轨磨耗在缓慢增加,但还未对钢轨的使用造成明显影响;③预打磨后1年以上,为磨耗控制期,这个时期钢轨磨耗快速增加,破坏了预打磨的钢轨型面,恶化了轮轨接触状态。

从恢复轮轨接触位置和接触宽度、恢复钢轨预打磨型面的角度考虑,钢轨进行预防性打磨的时间要在磨耗改变轮轨接触关系以后实施,即在钢轨上道后1~2年之内。同时,从钢轨金属损耗的角度考虑,对高速铁路钢轨进行预防性打磨,一般要在钢轨磨耗不大的时候进行,一方面为防止过大的磨耗导致钢轨型面变化,恶化轮轨运行状态和列车运行舒适性,另一方面也减少恢复成目标型面时引起的过大打磨量,尽量减少打磨对轨头金属的损耗。这样,钢轨预防性打磨可以在上道后1~1.5年内实施。

5 结论

通过对高速铁路钢轨的仿真分析和现场观测,研究了预打磨后的钢轨在不同运营时期的磨耗和疲劳裂纹情况和发展特征,得到以下结论:

- 1) 从新轨预打磨策略的现场实施效果来看,通过采用轨距角过量打磨的特殊型面,可以有效控制轮轨接触点的位置和接触宽度,消除轨距角与车轮轮缘的接触,获得较好的轮轨关系;
- 2) 高速铁路预打磨钢轨在运营中的主要伤损是钢轨磨耗,磨耗呈线性增加的趋势,外轨的磨耗主要是在轨头中心 -10° 至轨距角一侧 60° 的范围内,内轨磨耗主要是在轨头中心 $\pm 10^{\circ}$ 的范围内;
- 3) 高速铁路预打磨后的钢轨在上道服役2年内没有出现表面滚动接触疲劳裂纹;
- 4) 在运营大约1年以后,曲线部分区段的外轨发生轨距角与轮缘的第二点接触,这样,新轨预打磨实现的轮轨接触位置和接触宽度被逐渐改变;
- 5) 从恢复钢轨特殊型面以及减少打磨量的角度考虑,高速铁路预防性打磨周期可以在1~1.5年内实施;
- 6) 基于能量耗散理论的钢轨磨耗预测模型和基于安定极限理论的裂纹萌生模型,能较好地反映钢轨磨耗和疲劳裂纹的情况,可以用于钢轨伤损的分析和指导钢轨养护管理。

参考文献:

- [1] WOLFGANG S. Specification and documentation of rail grinding work in Europe [J]. The Journal of Wheel/Rail Interaction, 2007(7):23-28.
- [2] ANDERS F, WOLFGANG S. Target profiles for rail grinding: A Never Ending Story[J/OL]. The Journal of Wheel/Rail Interaction, 2008(7). [2008-01-04]. <http://www.interfacejournal.com/archives1415>.
- [3] 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.
- [4] DOLLEVOET R. Design of an anti head check profile based on stress relief[J]. University of Twente, 2010.
- [5] 周清跃,田常海,张银花,等. 高速铁路钢轨打磨关键技术研究[J]. 中国铁道科学, 2012, 33(2): 66-70.
- [6] CANNON D F, EDEL K O, GRASSIE S L, et al. Rail defects: an overview[J]. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 2003, 26(10): 865-887.
- [7] SMITH R A. The Wheel-rail Interface—some recent accidents[J]. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 2003, 26(10): 901-907.
- [8] ENBOLM R, BERG M. Emerging engineering models for wheel/rail wear simulation[C]//The 8th International Conference Railway Engineering, London, June 29-30, 2005.
- [9] SHEVTSOV I Y. Wheel/Rail Interface Optimisation[D]. Delft, the Netherlands: Technology University of Delft, 2008.
- [10] ARIZON J DE, VERLINDEN O, DEHOMBREUX P. Prediction of wheel wear in urban railway transport: comparison of existing models[J]. Vehicle System Dynamics, 2007, 45(9): 849-866.
- [11] NOVALES M, ORRO A, BUGARIN M R. Use of a genetic algorithm to optimize wheel profile geometry[J]. Proc. IMechE Part F: J. Rail and Rapid Transit, 2007, 221(7): 467-476.
- [12] PERSSON I, NILSSON R, BIK U, et al. Use of a genetic algorithm to improve the rail profile on Stockholm underground [J]. Vehicle System Dynamics, 2010, 48(S1): 9-104.
- [13] INNTRACK. D4.3.5 Simulation of material deformation and RCF[R]. TIP5-CT-2006-031415, 2009: 11.
- [14] KABO E, EKBERG A, TORSTENSSON P T, et al. Rolling contact fatigue prediction for rails and comparisons with test rig results[J]. Proc. IMechE Part F: J. Rail and Rapid Transit, 2010, 224(7): 303-317.

- [15] BIRKS B, ENBLOM R. Prediction model for wheel profile wear and rolling contact fatigue[J]. *Wear*, 2011, 271(5): 210–217.
- [16] EKBERG A, KABO E, Andersson H. An engineering model for prediction of rolling contact fatigue of railway wheels[J]. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 2002, 25(10): 899–909.
- [17] EKBERG A, KABO E. Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading—an overview[J]. *Wear*, 2005, 258(3): 1288–1300.
- [18] LEWIS R, DWYER–JOYCE R S, BRUNI S, et al. A new CAE procedure for railway wheel tribological design[C]//14th International Wheelset Congress, USA, Oct17–21, 2004.

Research on the Rail Pre-grinding Strategy and Growth Characteristics of Rail Defects in High-Speed Railway

Zhang Congcong^{1,2}, Zhou Yu^{1,2}, Huang Xuwei^{1,2}, Mu Dongsheng^{1,2}, Han Yanbin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education; 2. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The development of pre-grinding new rail in high-speed railway was researched by simulation of wear and rolling contact fatigue (RCF) crack and field test. The effect of pre-grinding, defects of rail and their growth characteristics were analyzed. The results show the pre-grinding rail with special designed profile can control wheel/rail contact location and width of contact band to get excellent wheel/rail interaction. The pre-grinding rail was mainly affected by wear which had linear growth trend with the accumulation of operation time. The distribution of wear around the railhead in high and low rails was $-10^{\circ}\sim 60^{\circ}$ and $\pm 10^{\circ}$ respectively. After about 1 year operation, the special profile of high rail was changed by wear which deteriorated the wheel/rail contact condition and caused two-point contact in the high rail. It is recommended the preventive grinding interval is 1~1.5 years.

Key words: rail; wear; rolling contact fatigue crack; pre-grinding; preventive grinding