

客运专线有砟轨道轨面凹坑整治措施研究

詹 刚, 许玉德, 周 宇, 王少锋

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 道砟击伤形成的轨面凹坑已成为客运专线有砟轨道轨面伤损形式之一。通过对合武客运专线有砟轨道道砟击伤形成的轨面凹坑特征进行统计分析, 认为检测区段轨面凹坑的深度符合正态分布, 轨面凹坑深度平均值为 0.33 mm。借鉴欧洲铁路在研究轮轨噪声时制定的轨面粗糙度水平标准和钢轨打磨、铣磨作业标准, 利用 1/3 倍频和各波长范围的幅值统计, 对铣磨后轨面不平顺状态进行评价。结果表明铣磨是消除轨面凹坑的有效措施, 并且极大的改善了轨面的不平顺状态。

关键词: 客运专线; 有砟轨道; 轨面不平顺; 钢轨铣磨; 轨面凹坑; 道砟击伤
中图分类号: U216 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2010)04-0001-04

0 引言

道砟击伤形成的轨面凹坑随着有砟轨道列车速度的提高, 已成为有砟高速铁路钢轨轨面伤损的形式之一, 早已引起国外高速铁路运营国家的重视。而在国内, 自合武、杭深客运专线开通以来, 在钢轨轨面均不同程度的出现了这种轨面凹坑, 如图 1 所示。

这种由于道砟砸伤轨面或落在轨面的道砟被通过的列车碾压, 在轨面形成的凹坑加剧了机车车辆轮对和轨面的不平顺, 增加了工务部门的养护维修费用; 同时这种凹坑产生的列车振动降低了客运专线乘车的舒适度; 另外, 当这些道砟击伤呈现尖锐轮廓时, 可产生缺口效应, 会在轨面下几毫米处形成水平裂纹, 这种裂纹可能向下扩展并造成断轨, 从而危害行车安全。

在日本^[1], 钢轨表面由于道砟击伤形成轨面凹坑的现象特别容易出现在冬季, 车底的结冰融化、砸落在钢轨轨面形成钢轨轨面的凹坑。Andrew Quinn 等^[2]通过现场试验发现列车高速通过时列车四周的空气压力差, 侧风速度和道砟达到一定的初速度和加速度的是道砟飞溅击伤钢轨轨面的三个必要条件。熊嘉阳等^[3]通过仿真分析认为曲线钢轨轨面横向凹坑促使波磨的形成, 并加快波磨的发展速度。Wolfgang Schoech^[4]通过统计法国国铁 (SNCF) 钢轨轨面道砟凹坑深度, 得到这种凹坑的平均深度为 0.3 mm。通过实施打磨量为 0.3 mm 的打磨作业, 来消除大部分的凹坑, 并降低较深凹坑的深度, 以降低这些凹坑的影响。在 2003 年英国高速铁路 High Speed One (全长 108 km) 开通后, 钢轨轨面出现了道砟击伤的轨面凹坑, 工务部门对轨面孤立凹坑点进行人工打磨, 而轨面连续凹坑点采用打磨车打磨, 凹坑较深点用电弧焊焊补, 每年花费的成本为 17.075 万欧元^[5]。欧洲铁路在研究轮轨噪声时制订了车轮踏面和轨面的粗糙度水平标准 (EN: ISO 3095:2005(E))^[6]; 在对现场钢轨打磨、铣磨作业时, 欧洲铁路也制定了相应的验收标准: EN 13231-3:2006^[7]。而钢轨铣磨是铣磨车通过采用超硬合金材料制成的切削机对钢轨表明进行切削, 作业效率比打磨车更高^[8]。国内对这种由于道砟击伤形成的轨面凹坑研究较少, 且缺少钢轨铣磨作业的验收标准。根据实测数据, 运用统计方法确定轨面凹坑在轨面的分布及其深度分布情况; 接着借鉴欧洲铁路在研究轮轨噪声时制定的轨面粗糙度水平标准和钢轨打磨、铣磨作业标准, 利用 1/3 倍频和

滤波后各波长范围的幅值统计对铣磨后轨面不平顺状态进行评价。这将有助于进一步研究有砟客运专线轨面道砟击伤形成的轨面凹坑的整治措施,也为分析轨面不平顺状态提供参考。

1 轨面道砟凹坑特征统计与分析

通过现场调研和查阅合武、杭深客运专线开通运营后线路检测资料,道砟击伤形成的轨面凹坑大部分是由于线路建设阶段铺轨后没有及时清扫轨面上残留道砟颗粒,通过的工程车将道砟碾压在轨面上形成的,运营阶段道砟击伤形成的轨面凹坑数量有所增加。

本次测量所选线路为合武客运专线有砟轨道上行 K612+ 0- K612+ 600 曲线半径 7 017. 6 m, 超高 75 mm。动车组通过此处速度为 200 km /h。此段曲线轨面凹坑较密集,采用钢轨型面测量装置(仪器精度 0. 02 mm, 型面测量示意图见图 2)结合德国 RM F-2 3E 型波磨测量仪(仪器精度 0. 01 mm、采样频率 500)测量凹坑深度和轨面不平顺水平。图 3 为随机选取的一个凹坑轨面不平顺示意图,此处凹坑最大深度为 0. 319 mm,直径为 28 mm。

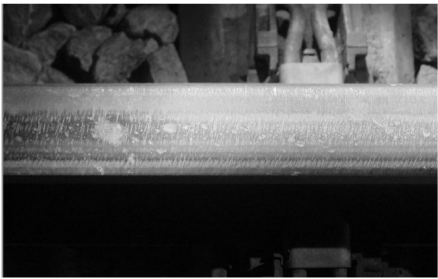


图 1 道砟击伤形成的轨面凹坑

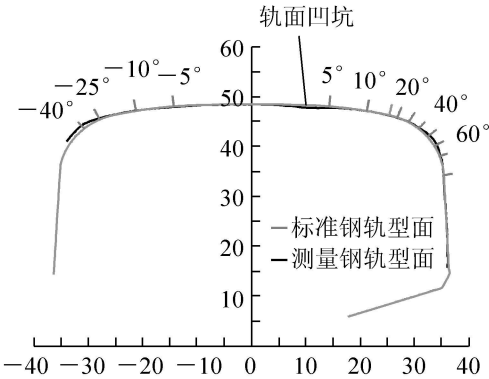


图 2 钢轨型面测量

道砟击伤钢轨受多方面因素影响。而这些因素具有随机性,这就决定了道砟击伤钢轨形成的轨面凹坑的深度具有随机性。经统计,上行内轨轨面内侧的凹坑占凹坑总数的 58%, 比外侧多 16%, 由于不确定凹坑深度分布形式,但凹坑深度频数直方图上类似正态分布(如图 4), 因此采用非参数检验方法对轮轨力是否符合正态分布进行拟合优度检验。样本数为 36 个,在检验水平 $\alpha = 0. 05$ 时,该曲线内轨凹坑深度符合正态分布,样本最大值 0. 64 mm, 最小值 0. 07 mm, 样本均值为 0. 33 mm, 标准差为 0. 12 mm。

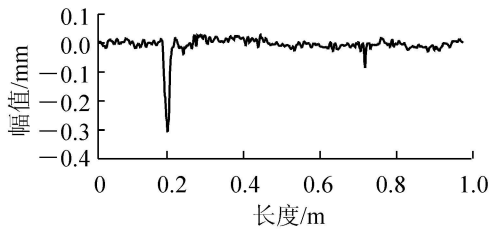


图 3 轨面不平顺测量(最大凹坑的深度为 0. 319 mm)

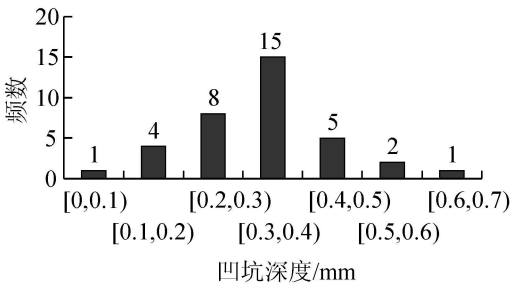


图 4 轨面凹坑深度分布图

2 轨面不平顺状态分析

通过国内外对轨面凹坑的整治措施研究,采用了钢轨铣磨来消除合武客运专线轨面凹坑。通过现场观测和对轨面不平顺数据的分析,钢轨轨面凹坑基本消除,轨面不平顺状态得到了极大的改善。

2. 1 轨面不平顺状态分析方法和理论

2. 1. 1 粗糙度(不平顺)水平计算

轨面粗糙度水平利用式(1)计算

$$L_r = 20 \lg(r/r_0)$$

(1)

式中, L_r 为粗糙度水平 (dB); r 为轨面不平顺的均方根 (μm); r_0 为参考值, 取 $1\mu\text{m}$ 。参照 EN: ISO 3095: 2005(E) 相关规定, 利用 1/3 倍频对轨面不平顺状态进行评价。

2 1 2 铁路设施 轨道 作业验收标准

在 EN 13231-3: 2006(第三部分: 现场钢轨打磨、铣磨和轨道计划作业验收标准) 中, 规定从四个波长范围对打磨作业后钢轨打磨进行评价验收, 如表 1。

表 1 EN 13231-3 2006现场钢轨打磨、铣磨和轨道计划作业验收标准的波长范围及限值

波长范围 /mm	峰峰值滑动平均值的限值 /mm	第一级超限比例允许值 %	第二级超限比例允许值 %
(10 30]	0.01	5	—
(30 100]	0.01	5	10
(100 300]	0.03	5	10
(300 1 000]	0.1	10	—

鉴于目前国内缺少轨面不平顺水平评价标准, 因此, 借鉴上述标准对所测数据进行分析。

2 2 数据分析实例

中选择了轨面凹坑分布较多地段 (K612+ 262到 K 612+ 282), 对铣磨前后的钢轨轨面不平顺状态进行评价。

图 5 和图 6 分别为钢轨铣磨前后轨面不平顺 1/3 倍频图。分析该图可知, 钢轨轨面不平顺状态在铣磨后变化明显。波长越长轨面平顺状态越好, 反之较差。

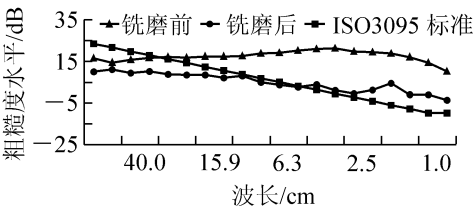


图 5 外轨轨面不平顺 1/3 倍频图

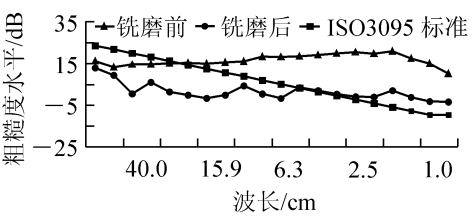


图 6 内轨轨面不平顺 1/3 倍频图

对于曲线外轨, 铣磨前, 在 25 cm 以下波长范围内 (尤其是在 1.6~ 3.2 cm 范围内) 时轨面平顺状态较差; 25 cm 以上波长范围内, 轨面平顺状态较好, 而铣磨后, 各波段的平顺状态都得到极大的改善, 平顺状态较差波长降低到 5 cm 以下波长, 粗糙度水平最大降低值达到 20.14 dB(波长为 4 cm 左右)。各波长对应的粗糙度水平降低值的平均值为 11.7 dB。

内轨在铣磨前, 20 cm 以下波长范围内 (尤其是在 1.6 cm 附近波长) 轨面平顺状态较差; 20 cm 以上波长范围内, 轨面平顺状态较好, 与外轨相似, 铣磨后, 各波段的平顺状态都得到极大的改善, 平顺状态较差波长降低到 5 cm 以下波长, 粗糙度水平最大降低值达到 21.15 dB(波长为 4 cm 左右)。各波长对应的粗糙度水平降低值的平均值为 14.1 dB。说明内轨轨面的平顺状态改善量比外轨大, 通过对比各波段的粗糙度水平, 铣磨前后的内轨轨面平顺状态都比外轨好。

图 7 和图 8 为铣磨前后钢轨轨面不平顺各波段峰峰值滑动平均值超限比例变化情况: 铣磨前内、外轨 300 mm 以下波长超限比例变化极大, 铣磨前, 内、外股钢轨轨面 100 mm 以下波长的滑动峰峰值的平均值超限比例高达 30% 以上, 严重超过超限比例标准值 5%, 而铣磨后, 两股钢轨所有波段的超限比例均在允

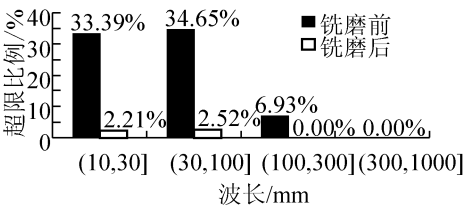


图 7 外轨轨面滑动峰峰值超限比例

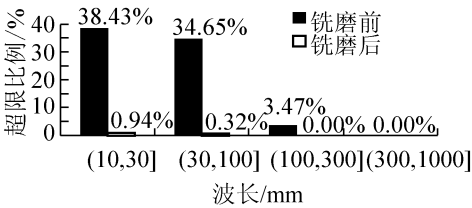


图 8 内轨轨面滑动峰峰值超限比例

许范围之内,说明此段内、外股钢轨铣磨后轨面平顺状态得到很大改善(内轨 10~30 mm 波长范围超限比例降低幅度最大,降低幅度为 37.3%)。

3 结论

通过对铣磨前后区段轨面凹坑和不平顺数据进行分析,得到以下结论:

(1) 合武、杭深客运专线轨面凹坑大部分是由于线路建设阶段铺轨后没有及时清扫轨面上残留道砟颗粒,通过的工程车将道砟碾压在轨面上形成的,线路运营阶段轨面凹坑数量有所增加,所以应注重线路建设阶段轨面保护,在工务维修时应及时清扫轨面上残留道砟颗粒;而由于道砟击伤形成轨面凹坑发展规律有待进一步研究。

(2) 内、外轨轨面均存在大量凹坑,其中内轨轨面中心线内侧的凹坑比外侧多 16%,内轨轨面凹坑深度的平均值为 0.33 mm,最大值为 0.65 mm。

(3) 铣磨是消除轨面凹坑的有效措施,并且极大改善了轨面的不平顺状态。铣磨前,在短波范围内,波长越长,内、外轨轨面平顺度越好,反之越差;铣磨后,凹坑基本消除,内、外轨轨面粗糙度水平改善较大(最大降低值达到 21.15 dB),临界波长均降低至 5 m;各波段的滑动峰峰值平均值超限比例均在允许范围内,其中 30 m 以下波长滑动峰峰值平均值的超限比例降低幅度较大。

参 考 文 献

- [1] KAWASHIMA K. Experimental studies on ballast flying phenomenon caused by dropping of accreted snow/Ice from high-speed trains[J]. Railway Technical Research Institute, 2003, 17(8): 31-36
- [2] Andrew Quinn, M Hayward. A full scale experimental and modeling study of ballast flight under high-speed trains[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 2009 224(10): 61-74
- [3] 熊嘉阳, 金学松. 铁路曲线钢轨横向凹坑对初始波磨形成的影响[J]. 工程力学, 2006, 23(6): 135-141.
- [4] Wolfgang Schoech. Development of Rail Grinding Strategies in Europe[C]. [S. L.]: Rail Engineering International Edition, 2008
- [5] M Hayward. Investigating the phenomenon of ballast pitting on Hs1[J]. Railway Gazette International 2009(6): 43-46
- [6] Technical Committee CEN/TC256 ISO3095: 2005, Railway application-acoustics-measurement of noise emitted by rail bound vehicles[S]. Switzerland [s. n], 2005
- [7] Technical Committee CEN/TC256 EN 13231-3, Railway applications-Track-Acceptance of works Part 3: Acceptance of rail grinding, milling and planing work in track[S]. British [s. n], 2006
- [8] 毛文力. 钢轨铣磨车性能及应用探讨[J]. 上海铁道科技, 2009(3): 20-22

Study of Remedial Measures of Rail Surface Pits in Ballasted Track of Passenger Dedicated Line

Zhan Gang Xu Yude Zhou Yu Wang Shaofeng

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract Ballast pitting has been one of the damages to rail surface in ballasted track of passenger dedicated line. Through statistic analysis about the characteristics of rail surface pits in the ballasted track of passenger dedicated line, it is shown that the depth of rail surface pits in measured field follows normal distribution, with the average depth 0.33 mm. Referring to European Standard of roughness levels of measuring noise emitted by rail bound vehicles and the standard for rail grinding and milling work in track, the author evaluates the state of longitudinal irregularity by using one-third octave and statistic analysis of amplitude of different wavelength range. Results show that rail milling is an effective measure of elimination of rail surface pits and corrects the surface irregularities greatly.

Key words passenger dedicated line; ballasted track; rail irregularity; rail milling; rail surface pits; ballast pitting