

# 城市轨道交通焊接接头不平顺研究与分析

李秋玲, 练松良

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:**通过对轨道交通线路的钢轨焊接接头的不平顺进行现场测试,分析了焊接接头的型式与分布规律,并利用 matlab 编程对各条线路接头不平顺的三分之一倍频进行分析,研究各条线路的短波不平顺分布规律,对进一步研究轮轨力和轮轨滚动噪声有重要意义。分析结果表明,在测试的钢轨接头中,不平顺幅值主要分布在 0.1~0.6 mm 范围内,且凸型的不平顺比凹型的不平顺严重,但轨面短波不平顺波长则集中在 0.08~0.2 m 波长范围内。

**关键词:**轨道交通;焊接接头;不平顺;三分之一倍频

**中图分类号:** U211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-0300(2009)03-0020-05

## 1 引言

无缝线路是轨道结构的一大变革,无缝线路具有平顺性好、行车平稳以及旅客乘坐舒适等优点,并且延长了线路设备和机车车辆的使用寿命以及减少线路养护维修工作量。但由于焊接工艺和轮轨作用力等因素,在无缝线路焊接接头附近区域出现焊缝凸台或接头低陷等短波不平顺,接头区的不平顺度往往可能超过非接头区 10 dB 以上<sup>[1]</sup>。接头不平顺引起机车车辆剧烈振动,产生较大的滚动噪声,影响列车速度的提高。通过对轨道交通钢轨焊接接头不平顺进行现场测试,分析了接头不平顺的型式和分布规律,并对各条线路接头不平顺的三分之一倍频进行分析,研究各条线路的短波不平顺分布规律,对进一步研究轮轨力和轮轨滚动噪声有重要意义。

## 2 接头不平顺现场测试

对轨道交通线路的钢轨焊接接头不平顺进行测试后,选取不同线路不同区段的焊接接头不平顺数据进行分析。在测试中所采用的仪器为德国施密特钢轨技术有限公司生产的 SEC-RC 钢轨电子平直仪。它基于电磁原理,配合专用的惠普掌上电脑及计算机软件,可精确测量各种钢轨运行表面平直度,导向面平直度。测量位置为钢轨接头区域,以接头为中心,左右各 50 cm,采样间隔为每米 200 个测量点,测量精度为  $\pm 0.02$  mm<sup>[2]</sup>。

## 3 数据处理

根据测试数据,首先对焊接接头轨面不平顺类型进行了分类,确定其不平顺波型类型,其次进行峰值统计,通过概率分布方法作出频数直方图来研究不平顺的分布规律,最后利用 matlab 编程,进行三分之一倍频<sup>[3]</sup>的分析与研究。

### 3.1 测试数据统计分析

对测试数据按线路及不平顺波型进行分类统计,轨面的平直度按数值的正负分为凸型和凹型接头不平顺两种类型如图 1 和图 2 所示。对轨道交通三条线路利用概率统计方法作频数分布直方图如图 3 所示。将三条线路中两种类型不平顺的最大值及平均值进行比较如表 1。

收稿日期:2009-05-13

作者简介:李秋玲 女 1984 年出生 硕士研究生

基金项目:国家自然科学基金项目(50878158)

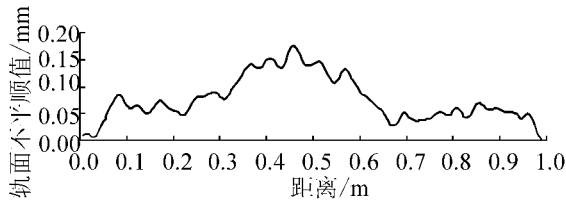


图1 典型的凸型接头不平顺

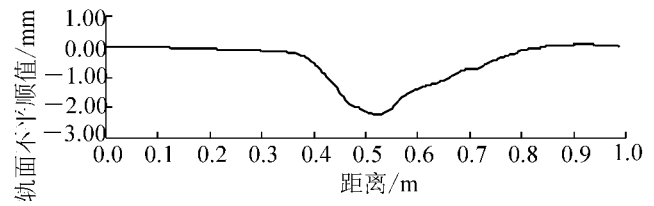
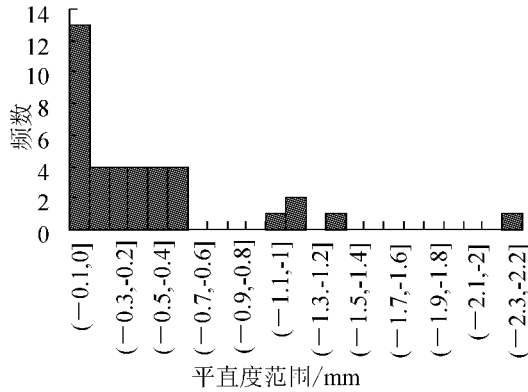
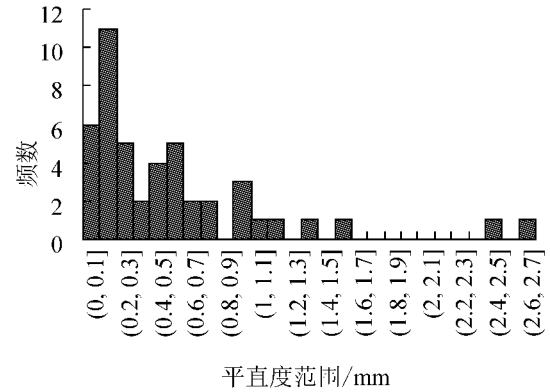


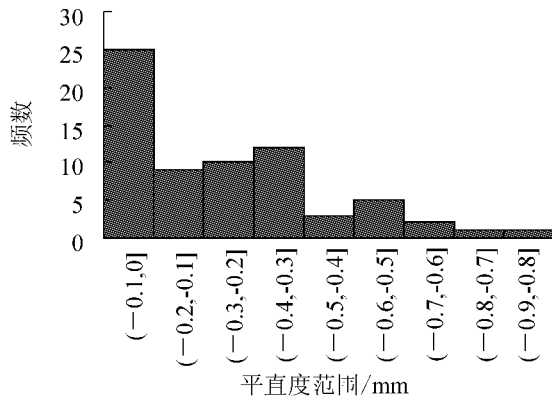
图2 典型的凹型接头不平顺



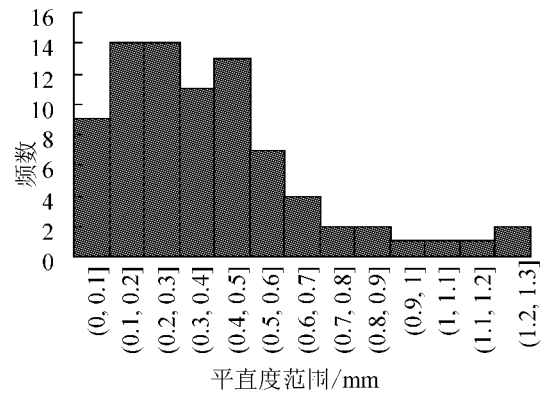
(a)线1凹型不平顺频数分布



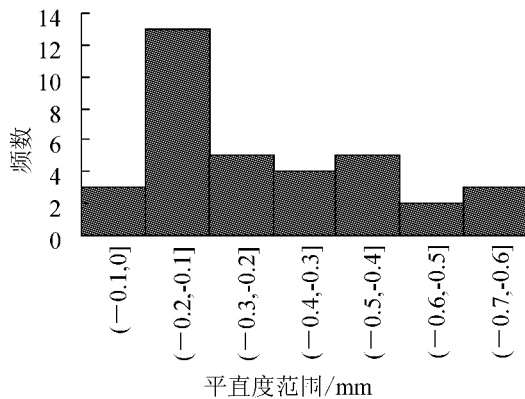
(b)线1凸型不平顺频数分布



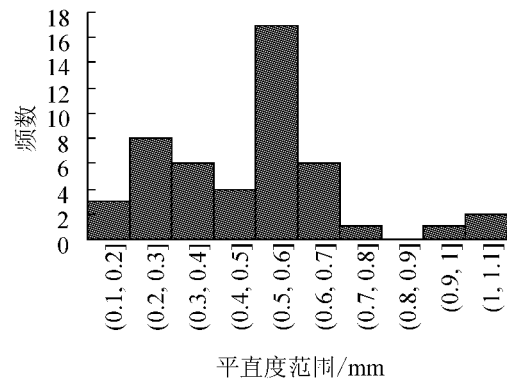
(c)线2凹型不平顺频数分布



(d)线2凸型不平顺频数分布



(e)线3凹型不平顺频数分布



(f)线3凸型不平顺频数分布

图3 焊接接头不平顺分类统计直方图

由图3和表1可知,线1凸型不平顺最大值分布在0.1~0.2 mm之间的频数较大,凹型不平顺则在0~0.1 mm范围内分布较多,个别接头不平顺值较大超过2 mm。从平均值来看,凸型不平顺值略大于凹

型不平顺值。线 2 不平顺值分布较均匀,且凸型不平顺的分布多在 0.1~0.3 mm 范围内,而凹型不平顺则在 0~0.1 mm 范围内分布较多,但是其个别接头的不平顺值超过 1 mm。从平均值来看,凹型和凸型不平顺较小。线 3 凸型不平顺在 0.5~0.6 mm 范围内居多,凹型不平顺在 0.1~0.2 mm 范围内居多,从平均值来看,凸型不平顺值大于凹型不平顺值。

3.2 1/3 倍频分析

目前评价车轮踏面和轨面不平顺度的标准较少,目前国际上仅有欧洲铁路制订了车轮踏面和轨面的不平顺度水平标准<sup>[4]</sup>,其评价方法为

$$L_r = 20\log(r/r_0) \tag{1}$$

式中,  $L$  为不平顺度水平(dB);  $r$  为车轮踏面和轨面不平顺的均方根值(RMS)( $\mu\text{m}$ );  $r_0$  为参考不平顺度,  $r_0 = 1\mu\text{m}$ 。

欧洲铁路研究所采用德国 Müller-BBM 公司开发的 mbbmRM1200 轨面不平顺度测量仪对欧洲铁路的车轮踏面和轨面进行了不平顺度和粗糙度测量,根据欧洲铁路的车轮踏面和轨面粗糙度测量数据的统计,得出如图 4 所示的 ISO3095 车轮踏面和轨面粗糙度标准限值。

表 1 两种类型不平顺的最值与平均值

| 线路  | 凸型不平顺/mm |      | 凹型不平顺/mm |      |
|-----|----------|------|----------|------|
|     | 最大值      | 平均值  | 最大值      | 平均值  |
| 线 1 | 2.645    | 0.53 | 2.242    | 0.38 |
| 线 2 | 1.227    | 0.39 | 0.89     | 0.25 |
| 线 3 | 1.043    | 0.48 | 0.629    | 0.28 |

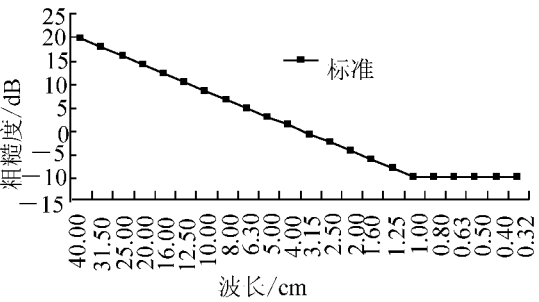
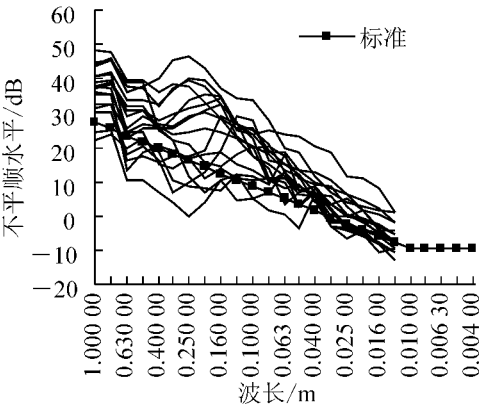
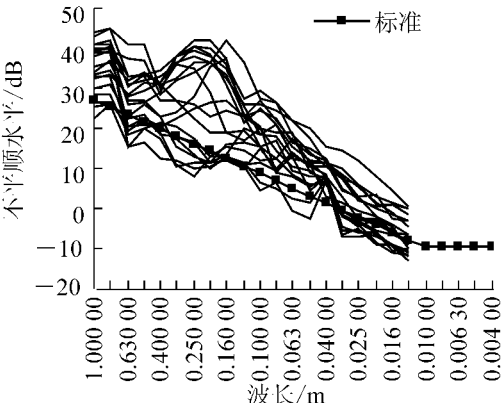


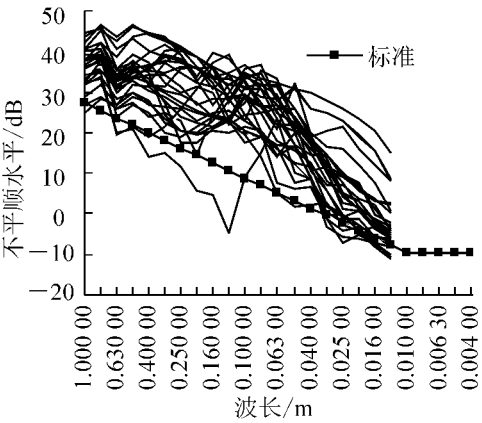
图 4 车轮踏面和轨面粗糙度标准限值



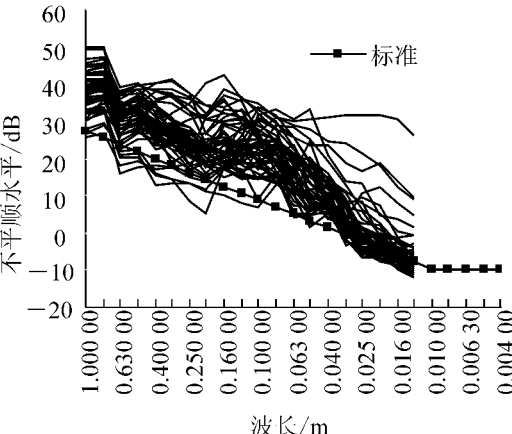
(a)线 1 凹型接头不平顺 1/3 倍频分析



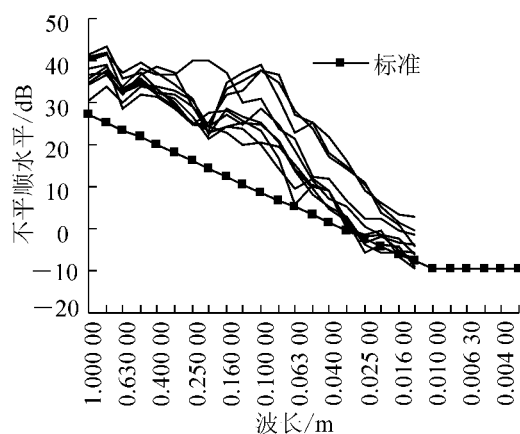
(b)线 1 凸型接头不平顺 1/3 倍频分析



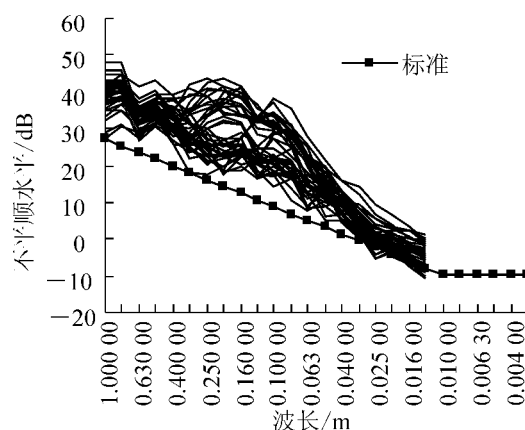
(c)线 2 凹型接头不平顺 1/3 倍频分析



(d)线 2 凸型接头不平顺 1/3 倍频分析



(e)线3凹型接头不平顺 1/3 倍频分析



(f)线3凸型接头不平顺 1/3 倍频分析

图5 轨道交通线路接头不平顺 1/3 倍频分析

对轨道交通三条线路不平顺作三分之一倍频分析,并与欧洲关于轨面粗糙度标准限值比较如图5所示,图中带标记的曲线为标准限值,其他曲线为线路各个接头不平顺的1/3倍频分析曲线。

为了对所测得到的钢轨接头轨面不平顺1/3倍频谱与ISO3095标准谱进行对比分析,先求出各样本1/3倍频谱的平均值,然后计算与标准谱的差值,结果如图6和图7所示。

通过图6和图7可知,三条线路的不平顺水平都比标准值大,最大相差值在25 dB。在1/3倍频中心波长0.04~0.0125 m范围内,在凸型不平顺时,线1不平顺水平最大,线3次之,线2不平顺水平最小;凹型不平顺时,线2不平顺水平最大,线1次之,线3不平顺水平最小;说明在此中心波长范围内,线2主要表现为凹型不平顺,且比ISO不平顺标准限值约大8 dB。在中心波长0.063~0.16 m范围内,线2也主要表现为凹型不平顺。在其他波长范围内,线1和线3凸凹不平顺水平都较大,线2不平顺水平比较小。在0.08~0.2 m波长范围内,3条线路的轨面不平顺谱值都较大,说明轨面短波不平顺主要集中在该范围。

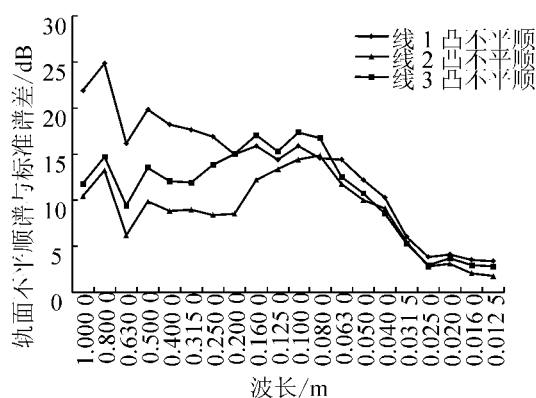


图6 焊接接头轨面凸不平顺 1/3 倍频谱与标准谱差值

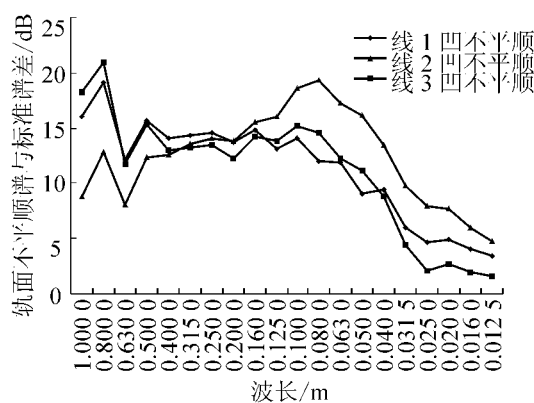


图7 焊接接头轨面凹不平顺 1/3 倍频谱与标准谱差值

## 4 结论

通过对轨道交通三条线的钢轨焊接接头不平顺进行测试分析,得出以下结论:

(1)由三条线路分布图可知,不平顺幅值在0.1~0.6 mm钢轨接头占绝大多数,且凸型不平顺值大于凹型不平顺值,凸型不平顺是目前线路的主要型式。

(2)从轨面不平顺分析可知,目前的焊接接头轨面平顺性较ISO3095的标准大得多,不同波长范围内,三条线路不平顺水平不一致。

(3)依据现有数据分析,三条线路轨面短波不平顺范围集中在0.08~0.2 m波长范围内。

## 参 考 文 献

- [1] 雷晓燕, 圣小珍. 铁路交通噪声与振动[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 祁宝金. 钢轨平直度测量仪的研制[J]. 机械工程师, 2006(8): 115-117.
- [3] 王济, 胡晓. MATLAB 在振动信号处理中的应用[M]. 北京: 知识产权出版社, 2006.
- [4] 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室. 轨道交通焊接接头状态调查研究[R]. 上海: 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 2009.

## Research and Analysis on Welded Joint Irregularity in Urban Mass Transit System

Li Qiuling, Lian Songliang

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

**Abstract:** Based on the field-measured data of rail transit lines, the irregularity shape and distribution of the welded joints are analyzed. Programming with Matlab is applied to analyze one-third octave in order to study the law of short-wave irregularity distribution, which is significant for further research on wheel-rail contact force and rolling noise. The analysis results show that the measured welded joints with irregularity amplitude of 0.1 ~ 0.6 mm are in the majority, the convex shaped welded-joint irregularity is more serious than the concave shaped one, and the wavelength of short-wave irregularity mainly ranges from 0.08 m to 0.2 m.

**Key words:** rail transit; welded joints; irregularity; one-third octave band

~~~~~  
(上接第 19 页)

- [13] Long Yuqiu, Xu Yin. Generalized conforming triangular membrane element with vertex rigid rotational freedom[J]. Finite element in Analysis and Design, 1994, 17: 259-271.
- [14] Batoz J L, Bathe K J, Ho L W. A study of three-node triangular plate bending elements [J]. Int. J. Numer. Meth. Engng., 1980, 15: 1771-1812.

## Corotational Finite Element Method—Nonlinear Shell Element

An Xin, Qian Ruojun, Wang Renpeng

(Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The co-rotational finite element formulation for triangular flat shell element is derived in this paper, and the procedure applying linear element to nonlinear analysis through this formulation is also discussed in detail. The triangular flat shell element, which combines a membrane element with drilling freedom and DKT thin plate element, is constructed. By using this linear shell element and the co-rotational finite element formulation derived in this paper, a new shell element with six freedoms each node which can be used for geometry nonlinear analysis is given. Numerical results are presented to demonstrate the efficiency and accuracy of this new shell element, and the correctness of the co-rotational formulation is also proved.

**Key words:** co-rotational finite element method; geometry nonlinear; shell element; drilling freedom; membrane element