

文章编号:1671-6833(2013)05-0052-04

武广高速铁路轨道不平顺谱特征分析

李再伟¹, 练松良²

(1. 上海工程技术大学 城市轨道交通学院, 上海 201620; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要:以武广高速铁路轨道不平顺检测数据作为样本,对轨道不平顺谱的特征进行分析.首先,对检测数据进行功率谱分析,并与欧洲高速铁路谱进行比较,结果表明:轨道不平顺谱低于欧洲高速铁路轨道不平顺下限谱,但方向不平顺谱值相对较大;其次,利用相干函数对轨道不平顺和车体垂向和水平振动加速度进行相干分析,得出轨道不平顺不利波长范围;最后计算轨道不平顺的 Hilbert 时频谱,得出长波不平顺为高低不平顺和水平不平顺能量的主要波长成分,而中长波不平顺为方向不平顺和轨距不平顺的主要波长成分.

关键词:铁路轨道;不平顺;功率谱密度;相干分析;时频分析

中图分类号: U213.313 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.05.011

0 引言

安全和高速是高速铁路运营管理的核心问题,提供运行速度快、安全可靠、乘坐舒适度好的轨道,是高速铁路建设的最基本目标.轨道不平顺是轮轨系统的主要激励源,对列车的运行安全性、平稳性、舒适性、车辆和轨道部件寿命以及环境噪声等都有重要影响.轨道不平顺谱是描述全线轨道不平顺状态的最有效形式,欧美及日本等发达国家都建立了本国铁路的轨道不平顺标准谱来指导轨道不平顺的维修和管理^[1].我国对轨道不平顺谱的研究较晚,且研究对象多为提速干线铁路^[2-5],对高速铁路轨道不平顺特征尚缺乏系统研究.笔者通过对武广高速铁路轨道不平顺的功率谱和时频谱进行研究,分析其不平顺分布特征;并对我国高速铁路的轨道不平顺管理提出一些建议,以提高我国高速铁路的轨道不平顺管理水平.

1 轨道不平顺功率谱分析

1.1 数据样本

2010 年 10 月 19 日至 20 日,铁道部基础设施

检测中心 0 号轨检车对武广高速铁路上、下行线进行检测.笔者的数据取自这两次测试.在测试过程中,列车的运行速度是 245 km/h,轨检车的采样点间隔为 0.25 m.样本长度越长,分析结果越具有代表性,但相应对数据的要求就较高.为了使得样本的测点数能满足频谱分析的要求,取样本长度为 1 024 m,即样本点数为 4 096 点^[1].

1.2 功率谱的计算与分析

由于所取样本足够长,故可把轨道不平顺近似认为是平稳随机过程^[6].笔者采用经典的周期图法^[5]对轨道不平顺功率谱进行计算.

为评价轨道的总体平顺性,将武广高速铁路轨道不平顺谱与欧洲高速铁路不平顺的上、下限谱进行对比如图 1 所示.如图 1(a)所示,高低不平顺谱值明显小于欧洲高速铁路下限谱,高低不平顺谱在频率为 0.31 m^{-1} 处取得最大值.如图 1(b)所示,方向不平顺谱值小于欧洲高速铁路上限谱,接近欧洲高速铁路下限谱.如图 1(c)和 1(d)所示,水平、轨距不平顺谱值都小于欧洲高速铁路下限谱.

以上分析可知,武广高速铁路轨道不平顺总体水平优于欧洲高速铁路,但方向不平顺谱值相

收稿日期:2013-02-20;修订日期:2013-05-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50878158);上海工程技术大学博士启动基金资助项目(校启 2013-10);上海市教育委员会 085 内涵建设资助项目(0852011XKZY12)

作者简介:李再伟(1983-),男,吉林大安人,上海工程技术大学讲师,博士,主要从事轨道结构振动的研究,E-mail: lzw_5220964@163.com.

对较大. 高低不平顺谱值、方向不平顺谱值和轨距不平顺谱值在频率为 0.031 m^{-1} (波长为 32 m) 和 0.15 m^{-1} (波长为 6.4 m) 处均存在明显谱峰. 说明存在着以梁长和板缝为周期的周期不平顺; 前

者成分是由桥梁徐变上拱引起的, 后者则是由于道床板的上拱、翘曲或支撑刚度不均匀等原因造成的.

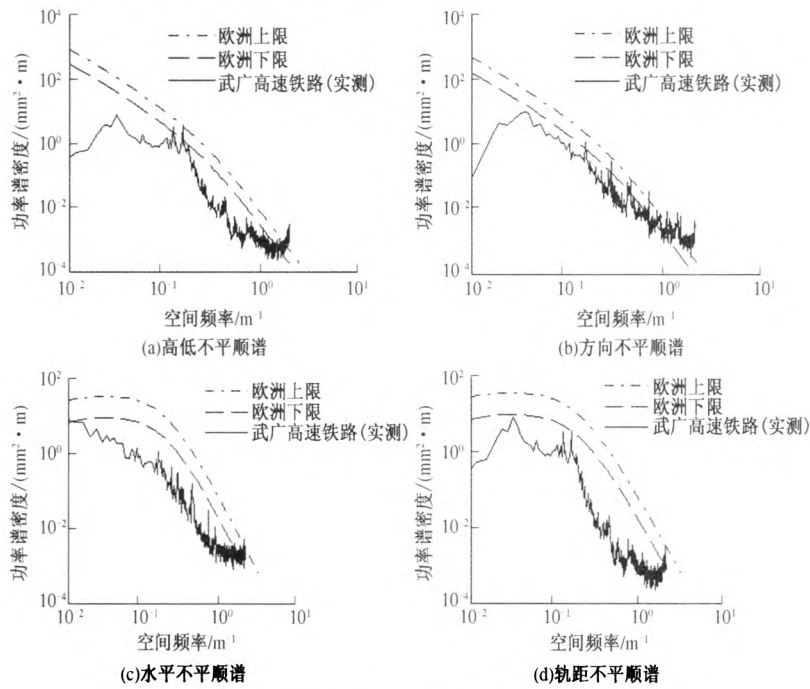


图 1 轨道不平顺谱与标准谱的比较

Fig. 1 Comparison of track geometry irregularity spectrum and standard spectrum

2 轨道不平顺与车体加速度的相干分析

轨道不平顺波长对车辆的振动最为不利, 波长一般可通过相干函数来确定^[3]. 图 2 为轨道不平顺—车体加速度相干函数. 高低不平顺与车体垂向振动加速度的相干函数如图 2(a) 所示, 在波长为 $5.8\sim9.1\text{ m}$, $48.3\sim81.5\text{ m}$ 范围内, 相干函数值为 0.8 以上. 说明在此波长范围内, 两者的相干程度较高. 方向不平顺与车体水平振动加速度的相干函数如图 2(b) 所示, 在波长为 $10.7\sim11.6\text{ m}$, $15.2\sim16.9\text{ m}$, $38.3\sim59.2\text{ m}$ 范围内, 相干函数值为 0.7 以上. 说明此波长范围的方向不平顺对行车影响较大. 水平不平顺与车体垂向振动加速度的相干函数如图 2(c) 所示, 只有在波长为 1.5 m 处, 相干函数有一个峰值为 0.82 , 其他频率处的相干函数值大都小于 0.6 . 水平不平顺与车体水平振动加速度的相干函数如图 2(d) 所示, 在波长为 $2.2\sim2.4\text{ m}$, $3.3\sim3.9\text{ m}$ 范围内, 相干函数值为 0.7 以上, 其他频率处的相干函数值都小于 0.5 . 通过以上分析可知, 武广高速铁路轨道不平顺不利波长范围较提速干线铁路^[3-4]有了一定的增长; 所以, 对高速铁路轨道维修而言, 应加强对中长波长轨道不平顺的控制.

3 轨道不平顺 Hilbert 时频谱分析

Hilbert 时频谱提供了每个频段的能量测量, 表示在整个时间长度内每个频率所累积的能量, 通过出现的能量峰值就可以准确对轨道不平顺的有害波长进行空间定位. 该方法的原理^[7]是: 利用 EMD 分解方法, 将信号分解成若干个近似正交的固有模态函数分量, 然后分别对每个固有模态函数分量用 Hilbert 变换并将振幅的平方对时间 T 进行积分, 这样就可以得到 Hilbert 时频谱, 如图 3 所示. 高低不平顺的 Hilbert 时频谱如图 3(a) 所示, 能量分布不是随里程平稳变化的, 而是呈现出多个能量峰值, 里程 38 m , 87 m , 678 m 等附近出现较大的能量峰值, 对应的波长为 47.89 m , 37.55 m , 62.95 m , 说明存在着不同程度的长波不平顺; 且中长波不平顺能量占据了整个高低不平顺能量绝大部分. 方向不平顺的 Hilbert 时频谱如图 3(b) 所示, 里程 $435.3\sim466.3\text{ m}$, $706.5\sim746.5\text{ m}$, $951.5\sim982.2\text{ m}$ 等附近, 出现显著的能量峰值, 对应的平均波长为 80.9 m , 63.6 m , 57.6 m , 即存在着较为严重的长波不平顺. 水平不平顺的 Hilbert 时频谱如图 3(c) 所示, 能量随波长变化在里程呈现出多个能量峰值, 特别在里程 $227.1\sim229.3\text{ m}$, $428.8\sim433\text{ m}$, $523.3\sim54.8\text{ m}$ 等处

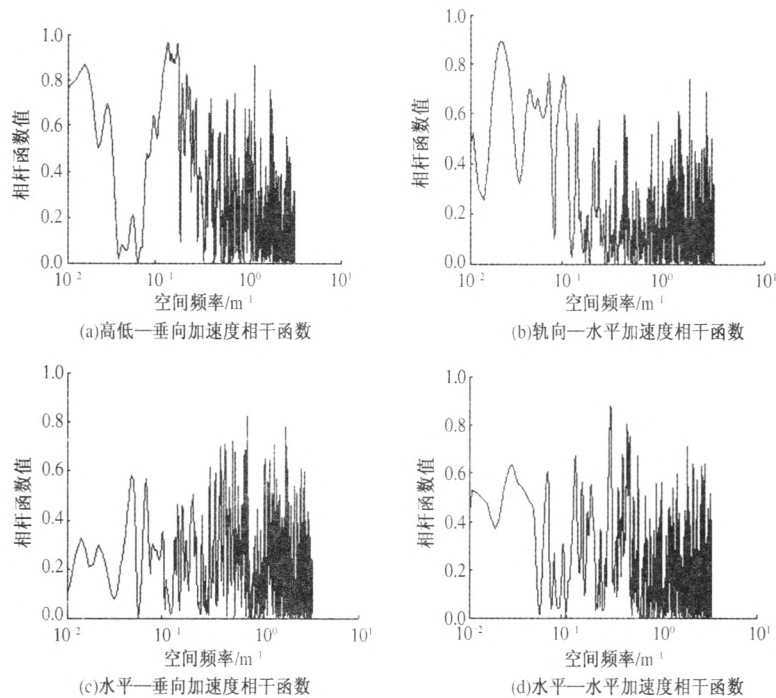


图 2 轨道不平顺—车体加速度相干函数

Fig. 2 Coherence function between track geometry irregularity and car body acceleration

峰值较为突出,对应的平均波长为 5.1 m,3.1 m,26.3 m,即存在着较为严重的中长波不平顺. 轨道轨距不平顺的 Hilbert 时频谱如图 3(d)所示,在里程为 15.4 ~ 27.8 m,79.2 ~ 101.8 m,873.5 ~ 1 016.2 m 等处,出现显著的能量峰值,对应的波长为 3.52 m,83.27 m,52.74 m,即存在着不同程

度的中长波不平顺.

通过以上分析可知,长波不平顺为轨道高低不平顺和水平不平顺能量的主要波长成分,而中长波不平顺为轨道方向不平顺和轨距不平顺的主要波长成分. 在日常的养护作业中,通过利用轨道不平顺的幅值—波长—里程的分布情况,可以有

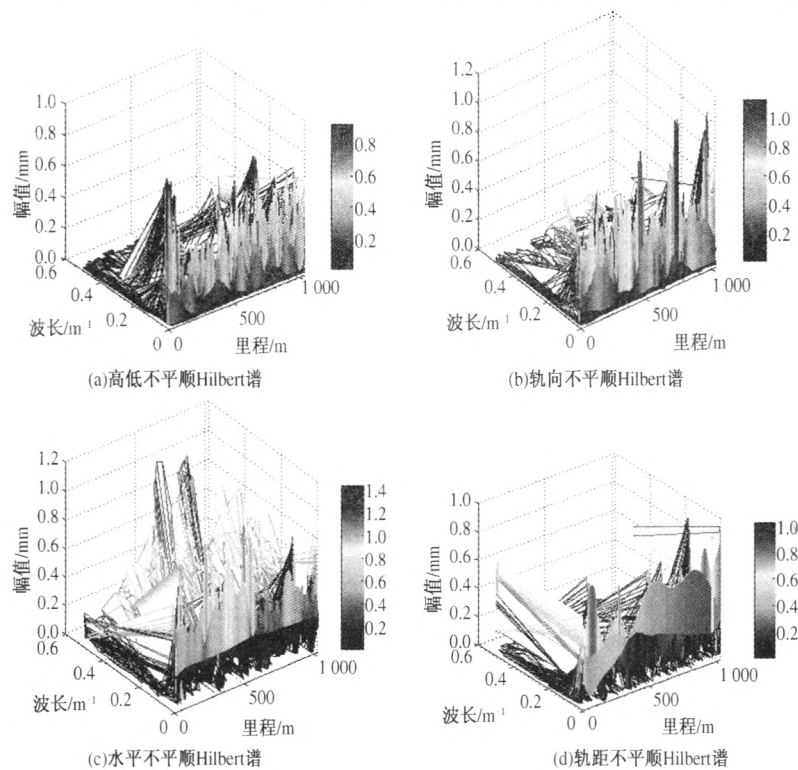


图 3 轨道不平顺 Hilbert 时频谱

Fig. 3 Hilbert time-frequency spectrum of track irregularity

针对性地对轨道不平顺不良地段进行养护维修,提高作业效率,减少线路养护维修成本。

4 结论

(1)除部分波段外,武广高速铁路不平顺谱均低于欧洲高速铁路不平顺下限谱,说明武广高速铁路的轨道平顺状态较好。轨道不平顺仍存在周期为6.4 m和32 m的高低、方向和轨距不平顺,这是由桥梁徐变上拱和道床板上拱等原因引起的,建议对此类轨道不平顺的成因和控制方法展开深入研究。

(2)高速铁路轨道不平顺最不利波长较提速线路有了一定程度的增长,应加强对中长波不平顺的控制,以提高行车的平稳性。其中,长波不平顺为高速铁路轨道高低不平顺和水平不平顺能量的主要波长成分,而中长波不平顺为轨道方向不平顺和轨距不平顺的主要波长成分。

(3)通过对轨道不平顺信号进行时频分析,有利于工务部门掌握线路轨道不平顺的幅值、波长分布情况,可为提高铁路运行的安全性提供一种新的技术分析途径。

参考文献:

- [1] 娄平,赵永超. 高速铁路随机振动轨道动力响应的概率分析[J]. 郑州大学学报:工学版,2010,31(2):56-59.
- [2] 杨文忠,练松良,刘扬. 轨道不平顺功率谱拟合分析方法[J]. 同济大学学报:自然科学版,2006,34(3):363-367.
- [3] 练松良,刘扬,杨文忠. 沪宁线轨道不平顺谱的分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(10):1342-1346.
- [4] 练松良,李建斌,杨文忠. 沪昆线与金温线轨道不平顺谱的分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2010,38(2):257-262.
- [5] 陈宪麦,王澜,陶夏新,等. 我国干线铁路轨道平顺性评判方法的研究[J]. 中国铁道科学,2008,29(4):21-27.
- [6] 练松良. 轨道动力学[M]. 上海:同济大学出版社,2003.
- [7] 李再玮,练松良. 基于本征模函数的轨道质量评价方法[J]. 同济大学学报:自然科学版,2013,41(2):213-217.

Characteristic Analysis of Track Irregularity Spectrum of Wuhan-Guangzhou High-Speed Railway

LI Zai-wei¹, LIAN Song-liang²

(1. College of Urban Rail Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: According to the track geometry data collected by track recording vehicles from Wuhan-Guangzhou high-speed railway, the characteristic of track irregularity is analyzed. Firstly, power spectral density is calculated with Matlab program, and compared with European high-speed spectra of high irregularity and low irregularity. The statistic and analysis result indicates that the track irregularity spectrum values of Wuhan-Guangzhou high-speed railway are close to European high-speed spectra of low irregularity except for some wavelength bands of track alignment irregularity spectrum values; this indicates that the track status of Wuhan-Guangzhou high-speed railway is better. Furthermore, the coherence functions are utilized to analyze the relationship between track irregularities and vertical/lateral car body vibration accelerations. The range of detrimental track irregularity wavelengths is larger than the common railroad. Finally, Hilbert marginal spectrum of track irregularity is calculated. The result shows that there are medium wave and long wave track irregularity in Wuhan-Guangzhou high-speed railway.

Key words: railway track; irregularity; power spectral density; coherence analysis; time-frequency analysis