文章编号:1005－0523(2006)05－0024－03

南京长江大桥的轨道几何状态变化规律的分析

姚湘静,许玉德

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室,上海,200092)

摘要:位于京沪线上的南京长江大桥系该线贯通大江南北的主要咽喉.由于其轨道结构的差异,相应的轨道几何状态变化是不一样的.本文采用不平顺幅值和功率谱相对比的方法,综合分析大桥在重载快速行车条件下的轨道几何状态变化规律,为合理制定相应的养修标准提供了技术支持.

关 键 词:轨道几何不平顺;功率谱;变化规律

中图分类号:TU3　　**文献标识码**:A

国内外的研究均表明,轨道不平顺的波长、幅值变化率对轨道不平顺的发展和轮轨相互作用有十分重要影响[1],所以仅仅从不平顺幅值上还不能完全反映不平顺的全部特征.因此除了用均方值、方差或标准差来反映轨道质量状态外,还必须考虑轨道不平顺波长结构及不平顺幅值在不平顺波长的分布特征.通过引入功率谱密度函数来对南京长江大桥的轨道几何状态进行分析,可以很好地反映出轨道不平顺幅值相对于不平顺波长的分布特征,了解南京长江大桥的轨道几何状态的变化规律.

不同轨道结构的承载能力、振动特性不同,不平顺功率谱的也应当有差异,功率谱密度的好与差,与轨道维修水平及运量等因素也有很大关系[1].

1 南京长江大桥的轨道结构特点

南京长江大桥既有典型客货混跑、大运量、高密度、重载快速的运输特征,又有不同轨道结构特大桥的具体特点.主要表现在:

(1)大桥轨道结构组成分为有碴(K1006－K1010)＋明桥面(K1010＋K1012)＋有碴(K1012－K1014),因受到全桥轨面标高的限制,桥上有碴轨道的道碴厚度不足 30 cm,与经受相同运输强度的非大桥有碴轨道相比,桥上有碴轨道承受更大的列车动力冲击,其道床稳定性较前者弱;

(2)大桥不同梁体结构客观上存在的较大刚度差异,和桥上不同轨下基础的成段刚度差异,造成全桥轨道弹性成段不均匀,直接会影响列车的运行品质;

(3)受大桥线桥结构的制约,某些大型养路机械不能在桥上作业,其轨道养修质量往往达不到非大桥有碴轨道一次综合作业的质量水平.

2 Welch 谱分析方法

周期图法是经典的谱估计方法,可直接应用成熟的 FFT 快速算法,物理概念明确,而且功率谱估计值正比于正弦波信号源的功率,能在很多应用场合提供良好的模型,因而仍是目前较常用的谱估计方法[2].平均周期图法的基本思想是将随机系列 $x(n)$ 分成 K 段,每段长度为 L,各段之间并不重叠,因而 $N=KL$.则第 i 段系列可以表示为:

$$x_i(n)=x(n+(i-1)L)\quad 0\leq n\leq L-1\quad =1,2,\cdots K \tag{1}$$

其周期图为:

$$I_i(\omega)=\frac{1}{L}\left|\sum_{n=0}^{L-1}x_i(n)e^{-jn\omega T}\right|^2\qquad 1\leq i\leq K \tag{2}$$

收稿日期:2006－03－17

作者简介:姚湘静(1977－),女,湖南益阳人,同济大学交通运输学院硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程.

中国知网 https://www.cnki.net

因此，功率谱的估计量定义为：

$$\hat{S}_x(\omega)=S_{Nx}(\omega)=\frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}I_i(\omega) \tag{3}$$

2.1　南京大桥的轨道不平顺检测数据的功率谱分析图

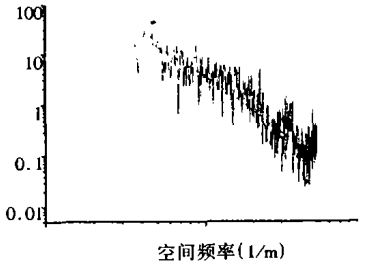

图 1　高低(有碴 K1006－K1010)

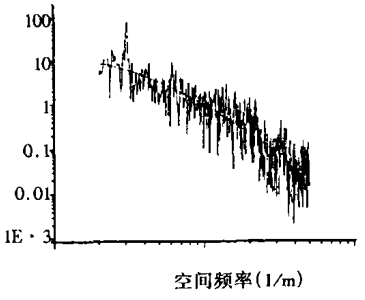

图 2　高低(明桥 K1010－K1012)

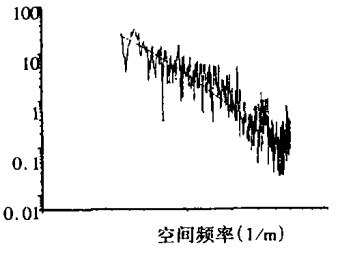

图 3　高低(有碴 K1012－K1014)

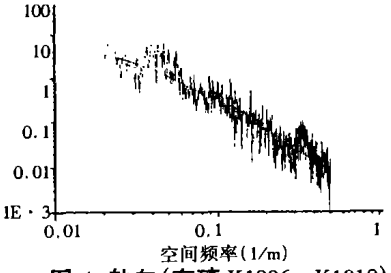

图 4　轨向(有碴 K1006－K1010)

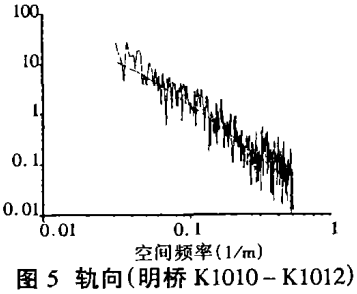

图 5　轨向(明桥 K1010－K1012)

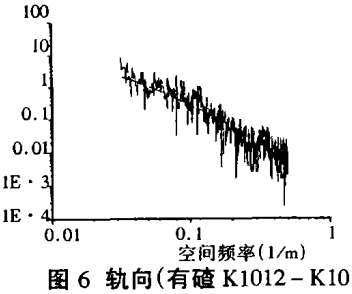

图 6　轨向(有碴 K1012－K1014)

从图 1—图 6(纵坐标单位为 PSD/mm^2·(m－1)－1)可以看出有碴桥段的功率谱图比明桥段的功率谱图靠上，高低不平顺的功率谱图比轨向的功率谱图要靠上，说明明桥段的线路状况要比有碴桥段的线路状况好，轨向不平顺比高低不平顺要好[3]. 图 1～3 表示轨道高低不平顺，图 4～6 表示轨向不平顺.

2.2　南京长江大桥轨道不平顺的拟合谱比较

利用 Welch 算法对南京长江大桥 2005 年 2 月～10 月轨道不平顺检测数据进行分析，得出检测数据的轨道谱的最大值、最小值、建议值. 其中，建议值为平均值和最小值的加权和，加权系数为 1.7 和－0.3. 从计算结果可以看出，南京长江大桥线路轨道谱的幅值分布范围比较宽，但是谱线在中下部非常密集，因此从安全和经济两个方面考虑，取建议谱线位于该密集区的上限处[2]. 图 7—图 15 为最大值、建议值和最小值功率谱的拟合图，拟合公式为：

高低不平顺(图 7～9，纵坐标单位：PSD/mm^2·(m－1)－1

$$S_v(f)=\frac{A\cdot B^2}{f^2(f^2-B^2)} \tag{4}$$

轨向不平顺(图 10～12，纵坐标单位同图 7)

$$S_a(f)=\frac{A\cdot B^2}{(f^2+B^2)(f^2+C^2)} \tag{5}$$

轨距不平顺(图 13～15，纵坐标单位同图 7)

$$S(f)=\frac{A\cdot B^2 f^2}{(f^2+B^2)(f^2-C^2)(f^2+D^2)} \tag{6}$$

式中，$S(f)$ 为轨道不平顺功率谱，f 为空间频率；A、B、C、D 为谱特征参数.

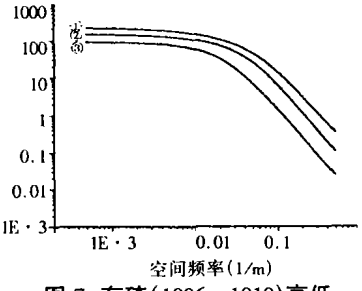

图 7　有碴(1006－1010)高低

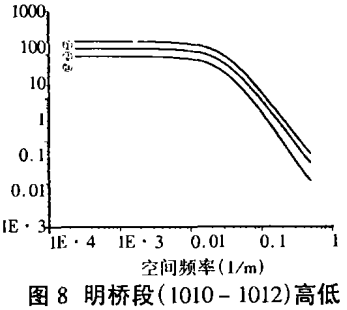

图 8　明桥段(1010－1012)高低

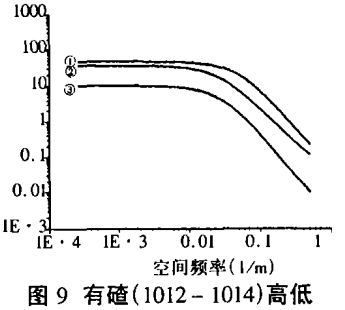

图 9　有碴(1012－1014)高低

中国知网　https://www.cnki.net

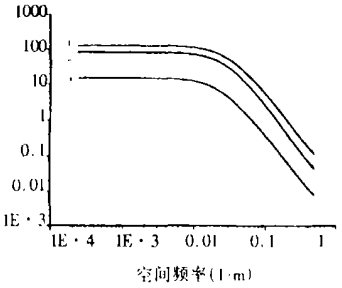

图 10 有碴(上行 1006－1010)轨向

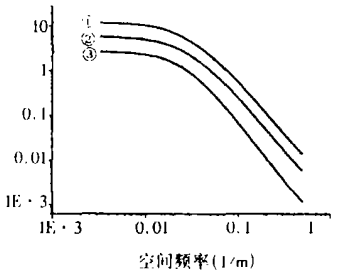

图 11 明桥(1010－1012)轨向

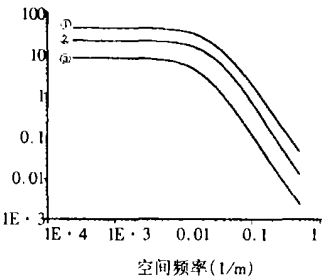

图 12 有碴(1012－1014)轨向

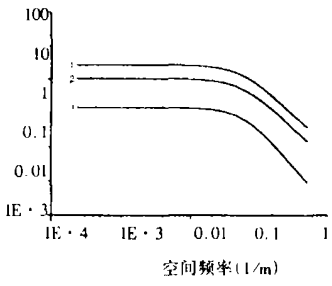

图 13 有碴(1006－1010)轨距

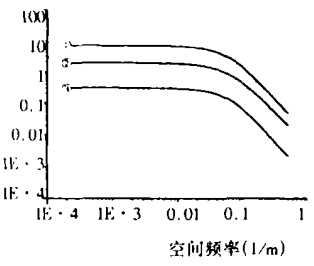

图 14 明桥(1010－1012)轨距

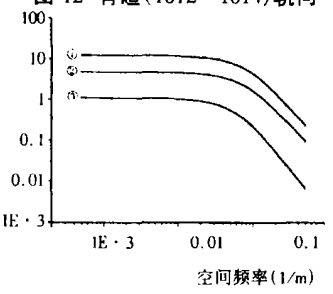

图 15 有碴(1012－1014)轨距

图中①②③分别为最大值、建议值、最小值

3 幅值方法分析南京长江大桥几何状态变化规律

3.1 上行不同轨道结构轨道几何参数幅值变化率分布情况

表 1 不同区段轨道几何参数幅值变化率(mm/月)

区段分类	高低变化	轨向变化	轨距变化
1006－1010	3.704	2.539	3.399
1010－1012	3.888	2.014	2.712
1012－1014	4.404	2.401	3.577

由表 1 可以看出，有碴段 K1006－K1010 和 K1012－K1014 的高低、轨向和轨距的变化率要比明桥段 K1010－K1012 的幅值变化率要大．这说明在有碴段高低、轨距和轨向不平顺状况要比明桥段的差．

3.2 上下行轨道几何参数标准差变化率

表 2 上行轨道几何参数标准变化率分布情况(mm/月)

区段分类	左高低	右高低	左轨向	右轨向	轨距
1006－1010	0.14	0.15	0.08	0.08	0.087
1010－1012	0.04	0.09	0.08	0.05	0.037
1012－1014	0.12	0.17	0.09	0.20	0.096

表 3 下行轨道几何参数标准差变化率分布情况(mm/月)

区段分类	左高低	右高低	左轨向	右轨向	轨距
1006－1010	0.440	0.393	0.09	0.12	0.15
1010－1012	0.116	0.078	0.09	0.12	0.06
1012－1014	0.469	0.623	0.09	0.15	0.18

由表 2 和表 3 可以看出，由于南京长江大桥下行的运载量比上行的大，下行的轨道几何参数标准差变化率要比上行的大．

4 结论

从以上功率谱分析方法和幅值分析方法我们可以得到以下比较结论：

1)根据功率谱拟合图中得到的轨道不平顺 3 条功率谱线，即最大值谱线、建议值谱线和最小值谱线，通过对有碴桥段和明桥段的高低、轨向、轨距的三条谱线的比较，我们可以发现，有碴桥段的最小值谱线要比明桥段的最小值谱线高．两段有碴桥段的最大值谱线落在的位置差不多，但是明显要比明桥段最大值谱线的位置要高．说明有碴桥段的轨道谱质量要比明桥段的轨道谱质量差．其中同一轨道结构高低不平顺的最小值谱线要比轨向和轨距的最小值谱线要偏上，说明高低的轨道谱质量比轨向和轨距的轨道谱质量要差．

2)不平顺的幅值分析和功率谱分析中我们都可以看出不同的轨道结构所表现出来的不平顺性也不一样，桥上有碴段因为道碴厚度不足，承受更大的列车动力冲击，不平顺性要比明桥段差，轨道几何状态变化速度也要快些．同一轨道结构的高低不平顺功率谱要比轨向、轨距不平顺差，高低幅值变化率也要比轨向、轨距的变化率大．

(下转第 69 页)

中国知网 https://www.cnki.net

[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
[2] 蒋先刚.基于 Delphi 的数字图像处理工程软件设计[M]. 北京:中国水利水电出版社.2006
[3] 郑　玲,等.数学形态学及其在生物医学中的应用[J]. 国外医学—生物医学工程分册,1994,17(3):125～136.
[4] 马　华,王　清,张　永.基于改进FCM 的医学图像分割[J].微计算机信息.2006,(7):249～250.

The Gaining & Analysis of Micro-Cell Image Properties

JIANG Xian-gang, AI Jian-feng

(School of Basic Science, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The paper studies the micro—cell image connected region 's geometrical characteristics calculation and statistical analysis technologies. It mainly deals with the calculation of integrated description and analysis. It also validates the methodology by coding of a medical image analysis system.

Key words: rectangular degree; moment; fringe complexity; k-means

---

(上接第 26 页)

3)高低和轨向谱中含有较为明显的与 25m 轨长相关的复杂周期波的尖峰谱线,应线加强钢轨焊接接头的质量控制,否则列车运行中在这些结构处不可避免地将出现周期振动.

参考文献:

[1] 铁科院.我国干线轨道不平顺功率谱的研究系列报告[R].北京.1999.
[2] 陈宪麦,杨凤春,吴旺青,柴雪松.秦沈客运专线轨道谱的研究[J].铁道学报.2006,(8):97～100.
[3] 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,2006,(3):83～87.

The Comprehensive Study of Nanjing Changjiang River Bridge 's Change Rule in Track Geometry Status

YAO Xiang-jing, XU Yu-de

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The Nanjing Changjiang River bridge which is located in Beijing-Shanghai line is the key route way that crosses the river from south to north. Owing to the differences in its rail structure, the change of track geometry is different. This paper contrasts the means of amplitude value with the means of power spectrum, and studies the bridge 's change rule in track geometry status synthetically, it can provide tech support for establishing repair and maintain standard reasonably.

Key words: track geometry irregularities; power spectrum; change rule

中国知网　https://www.cnki.net