

轨道结构的振动测试与分析初探*

圣小珍 吕绍棣 胡春宜 宗德明

(土木工程系) (南昌铁路分局工务段)

摘 要 通过对实测数据的分析,初步得到轨道结构振动的频率结构和振幅范围,并与理论分析进行比较,为选择合理的模型提供参考。

关键词 轨道结构;振动测试

分类号 U213.212

0 引 言

列车在轨道上行驶时,作用于钢轨一个交变的移动的轮载,再加上轨道的不平顺和轮对的不圆顺,列车和轨道都将发生振动,这种振动既对列车的运行舒适性有影响,也对轨道结构的安全、寿命及周围环境有影响。因此,如何优化轨道结构的参数,使列车和轨道结构的振动控制在合理的范围内就显得十分重要,对高速列车来说尤其如此。从理论上研究轨道结构的振动特性已经做了许多工作^[1~3]。为了给我们的理论分析^[2]提供依据和启示,我们在南昌铁路分局工务段的帮助下,在昌北火车站附近对轨道结构的垂向振动进行了测试。测试地点钢轨50kg/m,每公里钢筋混凝土轨枕数1760根,碎石道碴。列车行驶速度30~70km/h。我们的理论分析采用了两个模型,一个是将机车车辆与轨道结构视为一个整体的比较复杂的有限元模型,另一个是在四个平行移动的交变荷载作用下的双层梁模型。

1 仪器的布置及测点

限于仪器的局限,我们选择了两个测点,实行双通道并行数据采集。每个测点采三个样本,采样频率分别选为1280Hz、2560Hz和5120Hz;分析频率则分别为500Hz、1000Hz和2000Hz。采样频率越高,样本的时程就越短,频率的分辨率越低。为了记录整列列车通过时的数据,采样频率不宜太高。仪器布置如图1所示,测点1的加速度传感器用来检测轨枕头的垂向加速度;测点2的加速度传感器用来检测两轨枕之间钢轨底的垂向加速度。

收稿日期:1995-06-07. 圣小珍,男,1962年生,副教授。

* 校立课题“高速列车轨道结构的可行性研究”的振动测试部分

注:理论分析的结果另文发表

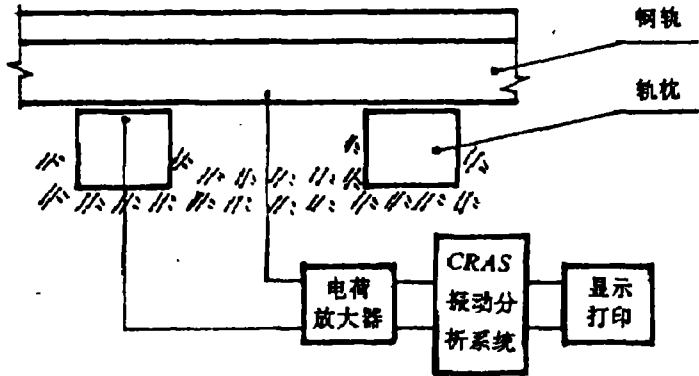


图 1 仪器的布置及测点

2 测试结果的分析

2.1 加速度曲线

图 2 为一列客车通过时,测点 2 的加速度时域曲线(经高度压缩).从图 2 可明显看到轮对周期性通过测点所产生的周期强迫振动.轮对通过测点时的响应最大,而当测点位于车体中间位置时响应最小,与轮对通过测点时响应相比可忽略不计.换句话说,轮对对钢轨的作用的影响只在轮对作用点的附近.文献[2]从理论上研究了 this 范围,得到相似的结果.因此,在研究轨道结构的振动响应时,为便于计算及分析,可以只考虑前后两个相邻转向架(相当于只有 4 个平行力在轨道上运动)的影响.

作为比较,图 3 给出了测点 2 的加速度曲线的有限元理论计算结果^[4](经高度压缩).

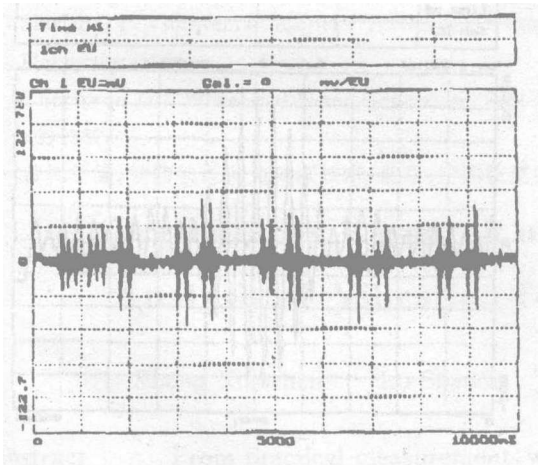


图 2 测点 2 的加速度时域曲线(实测)

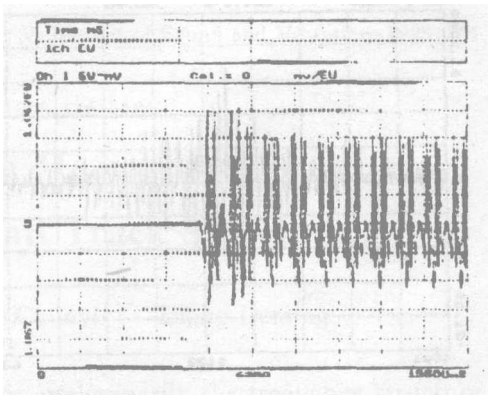


图 3 测点 2 的加速度时域曲线(理论)

2.2 加速度大小

轨道结构的振动加速度不但与轨道结构本身有关,而且与轴重、运行速度有密切关系,因

此,不同测试者给出的数据相差比较大^[4].一般来讲,列车运行速度越快,轨道使用的年限越长,加速度也越大.从我们的测试结果来看,普通客车通过时,测点 2 的加速度可达 $50\sim70\text{ m/s}^2$,特别快车通过时,测点 2 的加速度可达 100 m/s^2 以上(普客要在昌北站停车,故通过测点时的速度较低,而特快客车不在昌北站停车,故通过测点时的速度较高),而测点 1 的加速度约为测点 2 的加速度的 $1/5$.测点 2 的加速度的均方根值约为测点 1 的加速度的均方根值的 $3\sim5$ 倍.

2.3 频率结构

响应中的频率成份一般来讲是很丰富的,既有车辆各种振动(如沉浮、点头等)的成份,也有轨道不平顺对应的部分,还有轮轨接触共振成份.图 4 为一列普快列车通过时测点 1 和测点 2 的自功率谱图.综合各个功率谱图可知,钢轨含有丰富的高频成份(800 Hz 以上).对钢轨和轨枕,有两个频率的能量较大,一个是列车轮对周期性地通过测点所产生的强迫振动部分,容易算出该频率与列车运行速度之间的关系为 $f=v/(2L)$.其中 v 为列车速度, $2L$ 为车辆定距, $2L=17\text{ m}$.从我们所采集到的各个样本来看, $f=0.5\sim1.2\text{ Hz}$,故

$$\begin{aligned} v &= 2L \cdot f = 17 \times (0.5 \sim 1.2) \\ &= (8.5 \sim 20.4) \text{ m/s} = (30.6 \sim 73.44) \text{ km/h.} \end{aligned}$$

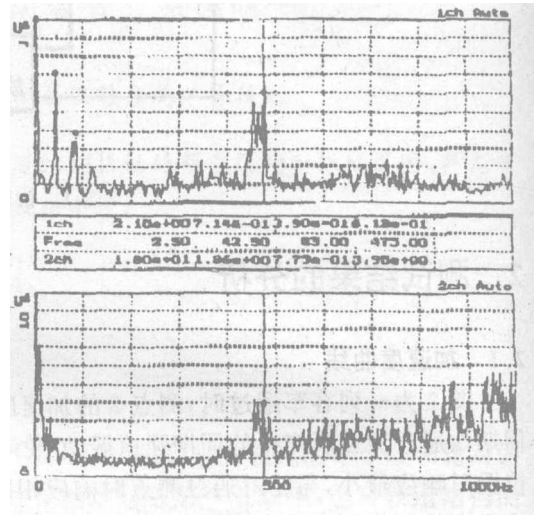


图 4 测点 1、2 的加速度频率结构

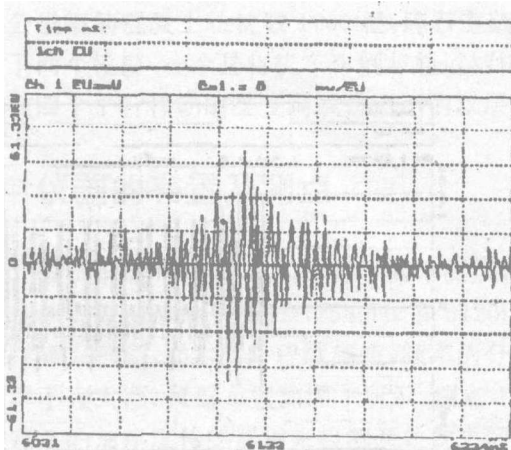


图 5 轮对驶向和驶离测点时测点的加速度时域曲线(实测)

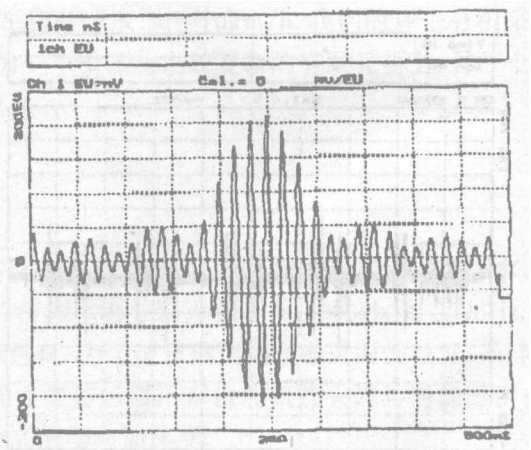


图 6 轮对驶向和驶离测点时测点的加速度时域曲线(理论)

即测试那天通过测试地点的各列客车的速度在 $30\sim73\text{ km/h}$ 之间.

另一个能量较大的频率对应于图5所示的振动。当列车轮对驶向测点时,测点的响应近似为一振幅按指数增长的周期振动;而当轮对驶离测点时,测点的响应近似为一振幅按指数衰减的周期振动。从我们这次测试来看,对于时速在30~70km/h的客车,这种振动的频率在130~500Hz之间,列车速度越高,频率也越高。由于这部分振动能量比较大,其频率与列车悬挂参数、列车速度及轨道结构参数之间的关系应从理论上搞清。为此,我们选用文献[1]所提供的双层梁模型,用振型迭加法分析了在四个平行移动的交流轮载作用下,钢轨及轨枕的垂向加速度,如图6所示。图6与图5相比是非常相似的,这表明我们的模型及计算方法是可行的。根据我们的理论分析,这部分振动的频率等于轮载变化的频率。振幅变化的快慢与列车运行的速度相关,而轮载变化的频率则与列车悬挂参数、轨道结构、不平顺、列车速度等众多因素有关。究竟哪一种因素是主要的,则有待进一步分析。要降低这部分振动的能量,必须将列车、轨道结构视为一个整体来加以考虑,并且要论及不平顺。

3 结束语

在研究机车车辆和轨道结构的振动时,应将两者视为一个整体来考虑。力学模型并不是越复杂越好,为了分析和计算的方便,应选用既能反映实际情况又比较简单的力学模型。从这次测试结果来看,前后车辆相邻两个转向架的四个轮对,从前一个轮对驶向测点到最后一个轮对离开测点,这段时间的响应是最重要的。这为我们建立较简单的力学模型提供了参考。

鸣谢:雷晓燕教授对本次测试及其分析给予很大帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 张宝珍,李成辉.列车速度对轨道竖向动力特性的影响.西南交通大学学报,1993,28(1):53
- 2 Shirish P P. Vibration of Railway Tracks Subject to Oscillating and Moving Loads. Ph. D Thesis. Delaware University, 1984
- 3 Thompson D J. Wheel-rail Noise Generation. Part I to Part V. Journal of Sound and Vibration, 1993, 161 (3): 387
- 4 曾树谷编.铁路轨道动力测试技术.北京:中国铁道出版社,1988. 145~180

Preliminary Research on the Measurement and Analysis of Vibration for Rail Track Structure

Sheng Xiaozhen Lü Shaodi Hu Chunyi Zhong Deming

Abstract From practical measurement, we obtain preliminarily the frequency structure and amplitude of vibration of rail tracks, and compare them with those obtained by theoretical analysis.

Key words Rail track structure; Vibration testing and measuring