

文章编号: 0253-3782(2004)06-0651-09

列车振动的地震记录信号特征^{*}

陈棋福¹⁾ 李 丽¹⁾ 李 纲¹⁾ 陈 凌²⁾
彭文涛²⁾ 汤 毅³⁾ 陈 颢¹⁾ 王夫运⁴⁾

1) 中国北京 100036 中国地震局地震预测研究所

2) 中国北京 100029 中国科学院地质与地球物理研究所

3) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

4) 中国郑州 450002 中国地震局地球物理勘探中心

摘要 在给出列车的多点运动源基本描述的基础上, 对 2003 年 3 月 8 日在大秦铁路怀柔段的观测试验记录进行了初步分析. 分析表明: 列车振动所具有的绿色环保、频谱较宽、重复性好和稳定性强的优点, 除传统认识的噪声和振动干扰外, 也可以用于地下结构的探测研究. 如能在理论模型和信号分析处理方法, 甚至观测积累方面进行深入的探索研究, 将可为地球物理勘探开辟新的途径.

关键词 列车振动 多点运动源 记录特征

中图分类号: P315. 61 **文献标识码:** A

引言

由于铁路的焊接和长期使用造成的磨损, 列车驶过铁轨的时候, 列车车轮与铁轨之间由于非平稳接触, 不断产生冲撞. 当列车满载后, 尤其是货车满载后, 几千吨的列车以几十千米的时速在不平顺的铁轨上奔跑, 其产生的振动不仅能量大, 而且可以传播到几千米外, 对构筑物造成损害. 例如, 焦枝铁路的修建对洛阳龙门石窟的影响(<http://www.earthquake.net.cn/science/eerc/earthquake.html>); 意大利为减少列车振动对威尼斯水城和比萨斜塔的影响, 铁道不得不改线. 近年来, 日本、欧洲及美国对列车振动造成的构筑物破坏进行了大量的研究. 20 世纪 70 年代以来对这种振动的观测和仿真模拟有了长足的进展(Gutowski, Dym, 1976; Melke, Kraemer, 1983; Okumura, Kuno, 1991; Heckl *et al.*, 1996; 翟婉明, 2001; 王其昌, 1999; 夏禾等, 1999; Hung, Yang, 2001a). 例如, Okumura 和 Kuno(1991)给出了日本 8 条铁路线经过 79 个城市区时, 建筑结构对振动的响应, 分别分析了距离、铁路结构、列车类型、列车速度(通常低于 100 km/h)、列车长度和背景扰动 6 个参数对振动的影响. 结果显示, 列车通过时所产生的振动与距离明显相关, 但列车的速度变化对振动的影响并不非常显著. 因为建筑界和铁路工程界关注的重点为建筑的响应谱, 并主要是通过布设在铁路沿线的加速度仪记录进行的.

列车产生的振动可能会干扰其附近观测天然地震的地震台站记录, 早已被地学界所认

^{*} 基础研究重大项目前期研究专项(2001CCA02100)和国家自然科学基金(40234038, 40174014)联合资助.
2003-07-17 收到初稿, 2004-08-16 收到最后修改稿, 2004-09-17 决定采用.

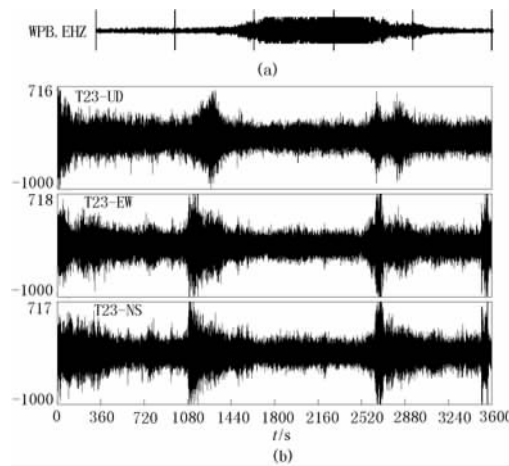


图 1 火车经过产生的垂向地振动信号

(a) 加拿大 WPB 台(<http://www.pgc.nrcan.gc.ca/seismo/seismos/interpret.htm>); (b) 中国天津 T23 台

(S13), 经常能记录到经过该地震台的火车产生的地表震动信号(图 1a). 另外, 在我国的某些地震台, 也能观测到列车通过时产生的信号. 例如位于天津塘沽的 T23 地震台 (39.05°N, 117.52°E) 放在地下 275 m 深处的 FSS-3DBH 型井下地震计, 经常能记录到列车通过时产生的地振动信号(图 1b).

以往的研究主要集中在地面振动产生的“干扰”和“破坏”方面, 即把列车振动看成是一种有害的噪声源和振动源, 而很少涉及到利用这种重复性甚好的激发源, 进行有效的地下结构探测研究. 研究表明(Ditzel *et al*, 2001), 图 1 所记录的铁路振动信号包含有一定的地下结构信息, 但现有研究还无法给出如此的多点(列车车轮与轨道多点接触)运动源所可能揭示的地下结构深度, 甚至找不到正式发表的在几千米远处得到的列车多点运动源的振动记录. 本文重点在试验观测方面进行一些初步的资料分析, 对于有关的理论和模拟分析结果进行简要的概述, 以便下一步的理论模拟与实际观测相结合进行分析研究.

1 列车振动的基本理论与模拟分析概述

假设铁路沿线地层是横向均匀的, 则在铁轨上以速度 c 运动运行的列车, 经铁路轨道、枕木、道床和路基等引起的地层振动可以简化表示为图 2. 在地表以速度 c 移动的列车所产生的频率 f_0 运动加载可表示为(Yang *et al*, 2003)

$$f(x, y, z, t) = \delta(x)\delta(y)\phi(z - ct)e^{i2\pi f_0 t} \tag{1}$$

式中, 指数项表示轮轨间的非均匀动力影响; $\phi(z)$ 代表列车所有车厢(车头)的车轴负载引起的加载函数, 它是如图 3 所示的每一车轴负荷的加载 $q_0(z)$ 的叠加, 车轴加载函数 $q_0(z)$ 可转化为由一无限长的弹性支梁表面点载荷 T 的挠度曲线给出. 假设梁的挠曲刚度为 E_I , 其固有硬度为 s (单位: N/m^2), 则车轴加载函数 $q_0(z)$ 为(Yang *et al*, 2003; Hung, Yang, 2001b; Esveld, 1989)

$$q_0(z) = \frac{T}{2\alpha} e^{\frac{-|z|}{\alpha}} \left[\cos\left(\frac{|z|}{\alpha}\right) + \sin\left(\frac{|z|}{\alpha}\right) \right] \tag{2}$$

识并用于地震台站的选址上(Willmore, 1979). 如我国明文规定, 地震观测台站应避免开主要铁路. 如果铁路与地震仪位于差别很大的地质结构上, 或中间隔有山脉或冲击的谷地, 地震台站对铁路的避让距离是 3 km; 如果铁路与地震仪位于相同的地质结构上, 并且中间无山脉或冲击谷地相隔, 地震台站对铁路的避让距离是 5 km(国家地震局, 1990; 中国地震局, 2001). 尽管如此, 在一些地震监测台站上, 依然能清晰地观测到列车通过造成的振动. 例如, 位于加拿大 British Columbia 省 Squamish 地区西北的 Watts Point 的 WPB 地震台 (49.657 0°N, 123.209 5°W, 台站高程 273 m) 的一个单分量短周期数字化地震仪

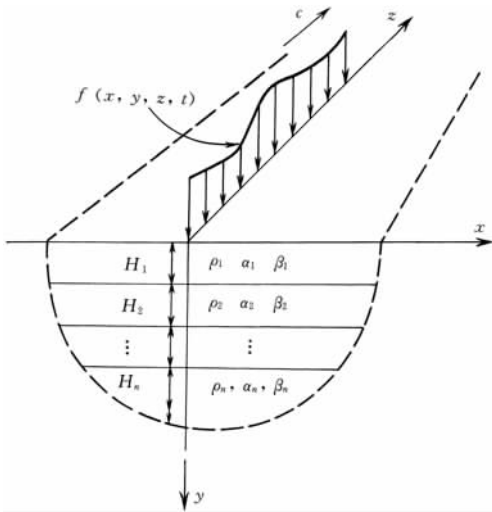


图 2 列车振动示意图(据 Yang 等(2003)修改)

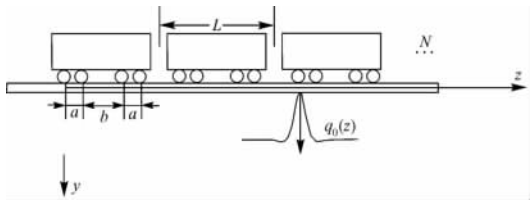


图 3 列车荷载分析示意图(Yang 等, 2003)

式中, α 为梁的特征长度:

$$\alpha = \left(\frac{4E_I}{s} \right)^{1/4} \quad (\text{单位: m}) \quad (3)$$

如果进一步考虑轨道接头(包括低接头、错牙接头、大轨缝、焊缝等)及车轮扁疤、钢轨轨面可能存在的波浪形损耗等机车车轮与轨道动态相互作用的问题,则涉及更复杂的

耦合动力学问题(王其昌, 1999),在“机车车辆动力学”、“轨道动力学”及“轮轨相互作用”等相对独立的领域虽有一定的研究成果,但还有待深入发展.

在横向均匀的弹性半无限空间(图 2)中,设各层($n=1, 2, \dots, N$)的介质密度为 ρ_n , P 波波速为 α_n , S 波波速为 β_n ,则各层的运动本构关系式满足(Esveld, 1989)

$$\frac{\partial \tau_{ij}(\mathbf{w})}{\partial w_j} + \omega^2 \rho_n u_{ij}(\mathbf{w}) = -f_j(\mathbf{w}) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (4)$$

$$\tau_{ij}(\mathbf{w}) = \lambda_n \delta_{ij} \frac{\partial u_k(\mathbf{w})}{\partial w_k} + 2\mu_n \frac{\partial u_j(\mathbf{w})}{\partial w_i} \quad (y_{n-1} < w_2 < y_n; n = 1, \dots, N) \quad (5)$$

式中, u 表示位移, τ 代表应力张量, y_n 代表地下第 n 层的界面深度(y_0 代表地表面), \mathbf{w} 为矢量坐标($\mathbf{w} = w_1 i_1 + w_2 i_2 + w_3 i_3$), ω 为 Fourier 变换的角频率. 式(4)中的 f_j 为式(1)给出的列车运动产生的加载力.

Jones 等(2000)在假设铁路架设在 2 m 厚的土壤风化层上,在给定的土壤覆盖层及其下方的弹性半空间的杨氏模量、泊松比、密度、P 波速度、S 波速度和瑞利波速度等参数的情况下,在距轨道 50 m×50 m 范围的模拟表明:在列车速度相同(144 km/h)时,不同的列车振动频率对地表的波动传播影响不同,振动频率越高,在同一地点激发的波动也越明显.在保持同样的振动频率而地下结构参数不同的情况下,不同的列车速度在地表中会激发不同的传播效应.当列车的速度与表层的 S 波速度接近或超过时,在地表激发的波动也越明显,波长越短(振动频率越高)衰减越慢.

Yang 等(2003)在对距铁道 20 m 范围内和地下 10 m 厚的地层中,构建了不同分辨率的有限元单元进行模拟分析.在考虑列车速度低于和高于土层的瑞利波速的情况下,探讨了 S 波速、介质阻尼比、地层分层深度、列车运行速度和振动频率等参数对列车多点运动源激发的振动影响.数值模拟表明(Yang et al, 2003):土壤阻尼对振动的衰减程度有着重要影响,地层分层是影响振动传播的关键因素.根据临界频率 f_{cr} (Yang et al, 2003)

$$f_{cr} = \frac{f_0}{1 \pm \frac{c}{C_R}} \quad (6)$$

与列车速度 c 、振动频率 f_0 和瑞利波速 C_R (与地层深度关联) 的相关性, 通过列车激发波动传播, 可以进行初步的地层结构分析. 因低于临界频率 f_{cr} 时, 没有波动可以向外传播 (Yang *et al*, 2003), 故在理论上当 $f_0 = 0$ 时, 可以通过近源观测获得的列车临界速度, 确定成层结构中的顶层瑞利波速 C_R .

Ditzel 等(2001)基于慢度域的波场表述, 考虑地层反射和传播特性的三维模拟, 分析了列车激发的地振动. 实测的列车振动资料与理论模拟结果存在良好的一致性, 也与传统爆破源的记录具有一定的相似性; 且模拟分析指出: 因车轮或轨道的非规则性而存在一定振动的列车, 即使列车速度小于临界速度(瑞利波速) 其所激发的地振动也可在远离轨道处观测到.

2 列车振动的观测记录及其分析

2.1 列车振动的试验观测

为了探索利用列车作为振动源探测地下结构的可能性, 2003 年 3 月 8 日在大秦铁路怀柔段联合使用宽频带和短周期地震仪, 对列车振动进行了观测试验.

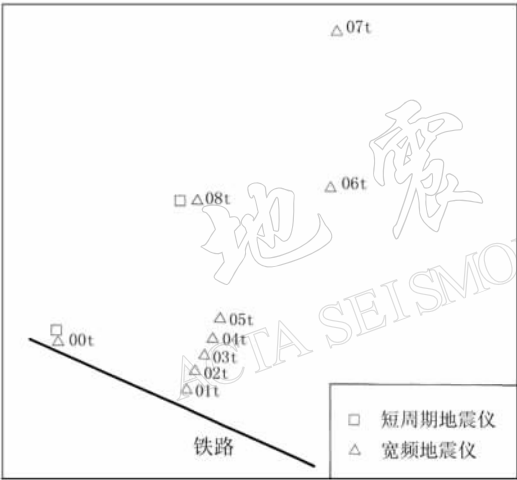


图 4 观测点分布示意图

大秦铁路是万吨级的电气化货运铁路, 通行的火车以货车(重载为大同→秦皇岛方向、空载为秦皇岛→大同方向)为主, 偶有单火车头或通勤客车通过. 货车一般为 50~70 节, 空车自重 1 000 t 以上, 载重在 6 000 t 以上. 在观测试验的怀柔县太平庄(116°41'E, 40°16'N)附近(图 4), 大秦铁路大约以 NE124°穿过, 观测区内无主要公路, 只有两条村级公路且通行车辆较少. 在观测段西约 12 km 处的茶坞站是大秦铁路特设的检修站, 因所有列车均需在茶坞站停靠检修, 故通过试验观测段的重载货车区间时速约为 70 km, 空载货车时速约 60 km, 通勤客车时速约 80 km.

表 1 观测点情况

测点编号	位置		与铁路的距离/m	观测仪器	观测时段 /时:分
	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$			
00t	40.270	116.684	3	短周期仪器 宽频带仪器 1	11:24~16:50 11:24~14:10
01t	40.268	116.692	100	宽频带仪器 2	11:50~14:42
02t	40.269	116.693	200	宽频带仪器 1	14:40~15:35
03t	40.269	116.694	300	宽频带仪器 2	15:35~16:03
04t	40.270	116.694	400	宽频带仪器 1	15:54~16:45
05t	40.271	116.695	500	宽频带仪器 2	16:41~17:00
08t	40.277	116.693	1 100	短周期仪器	17:15~18:50
06t	40.277	116.702	1 650	宽频带仪器 1	17:30~18:30
07t	40.285	116.702	2 150	宽频带仪器 2	17:30~18:30

图 4 中除观测点 00t 和 08t 是水泥地面外，其余观测点都是在田地内下挖的实土地上，具体点位情况见表 1。因试验观测因素，仅借用了两套宽频带速度型地震仪(频响 0.05~20 s，配 24 位采集器)和 1 套 JC-V100 速度型短周期地震仪(频响 1~80 Hz，配 16 位采集器)，主要依靠两套宽频带仪在测点间交替布设，在确认记录到 2~3 次火车振动信号后再行移动。另在 00t 测点同时布设了短周期仪和宽频带仪，以便对不同频带的观测信号进行对比分析。

2.2 振动记录的时域特征

图 5 给出了 00t 测点 13h28min~13h49min 短周期仪(S)和宽频带仪(B)的三分量记录，分别记录的 13h30min 和 13h47min 左右通过的火车头和重载货车情况。图 5 明显地显示出火车头记录(不到 20 s)与重载货车记录(大于 48 s)的异同，且清晰地展示出宽频带仪器记录与短周期仪器记录的基本一致性。因垂直振动明显大于水平振动，而三道波形记录基本相似，故本文后面的分析仅对垂直道记录展开。虽然图 6 给出的记录并非全部来自同一列重载货车，但明显展示出列车产生的地振动记录的信噪比随着距离的增加而逐渐衰减，从 3 m 处的数十倍，到 500 m 处的 5 倍，以及 2.15km 的 2 倍左右。虽然在远达 1.1~2.15 km 的测点 06t~08t 存在一些明显的汽车干扰，但图 6b 给出的在 18h00min~18h23min 记录，仍可看到地振动的衰减在明显趋缓。测点 00t 和 01t 记录的同一重载货车波列，显示出随距离的增加而拉长的明显特征，但因波列的长度与列车的长度和载重量，甚至列车速度可能都存在一定的关联性，故此次观测试验的记录尚不足以确定具体的相关关系。然而在测点 00t 所记录到的时速约 70 km/h 的重载货车的峰值质点速度(1 200 $\mu\text{m/s}$ 左右)，与 Degrande 和 Schillemans(2001)在 1997 年对布鲁塞尔至巴黎运行的高速列车(速度为 223~314 km/h)测试中，对时速 314 km/h 火车的加速度记录中导出的距轨道中心 6 m 处(距铁路 3.5 m)峰值质点速度(PPV)2.5 mm/s 大约相差 1 倍，在某种程度上显示

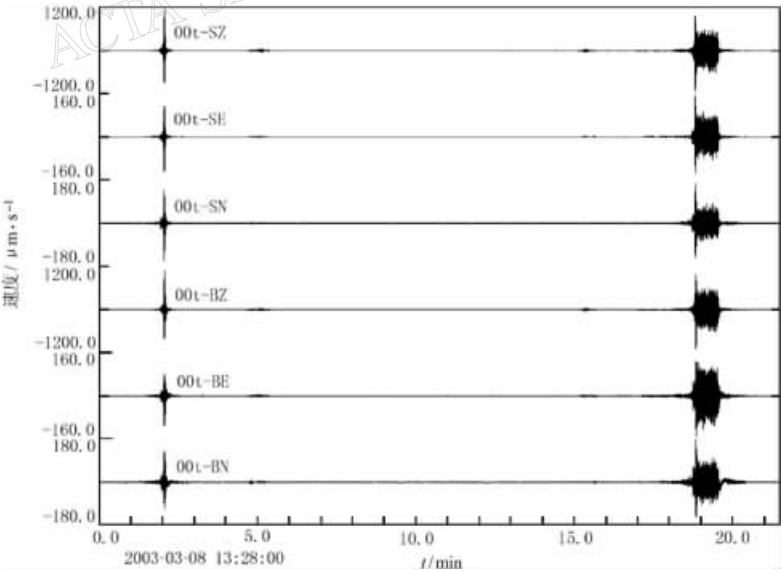


图 5 短周期仪(S)和宽频带仪(B)在测点 00t 记录的火车头和重载货车所产生的地振动 (Z: 垂直道, E: EW 道, N: NS 道, SZ 和 BZ 分别为短周期仪和宽频带仪的垂直道记录, 图 6~9 同)

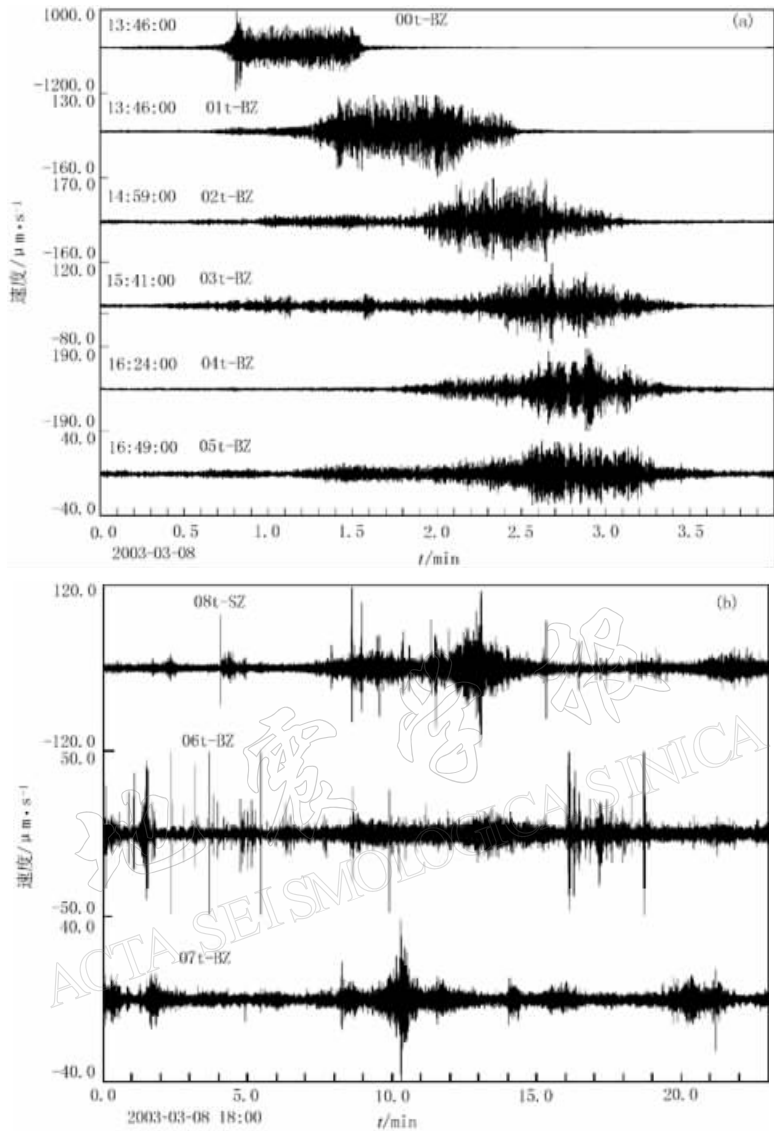


图 6 重载货车在不同测点的地振动 Z 分量记录
(a) 测点 00t~05t 的垂直振动记录的起始时间标在每道记录的左上方; (b) 测点 06t~08t 同一重载货车的记录, 记录起始时间为 18:00:00

出列车长度、重量和列车速度与振动幅度的相关性.

若取 Esveld(1989)给出的振动速度参考值 $v_0=10^{-2} \mu\text{m/s}$, 则图 6 中测点 00t~05t 的垂直振动峰值分别相应于 101.6, 84.1, 84.6, 81.6, 85.6 和 70.9 dB, 而测点 06t~08t 对同一重载货车的记录, 尽管存在一定的干扰因素, 但其显著振动仍达 60~80 dB.

2.3 振动记录的频谱特征

物理学中关于移动源的多普勒效应在列车的多点运动源记录中有着明显的体现. 图 7 给出的火车头抵达前的频谱(图 7b)与火车头通过后的频谱(图 7c)差异明显, 即当火车逐渐靠近观测点时, 记录到的振动高频峰值高于逐渐驶离观测点时的振动频率峰值.

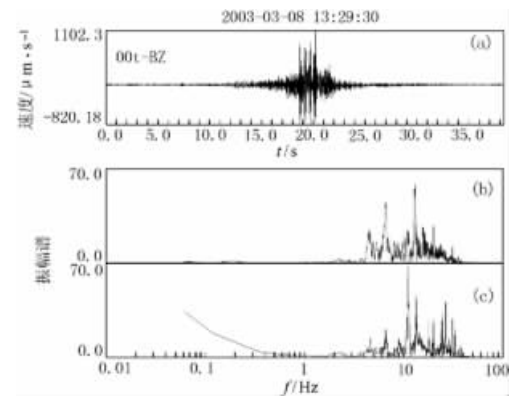


图 7 宽频仪在测点 00t 的火车头记录(a)与车头抵达前(b)后的振幅频谱(c)

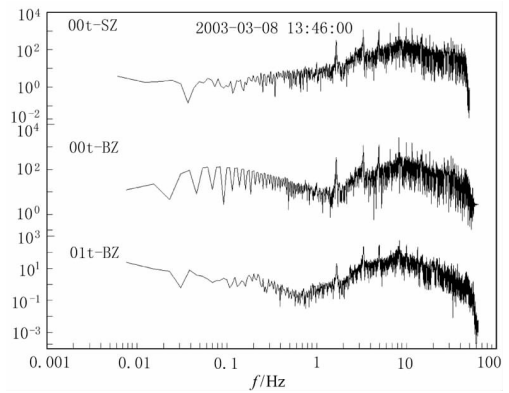


图 8 测点 00t 和 01t 记录的重载货车之振幅频谱

从图 8 和 9 给出的图 5 中重载货车和火车头的振幅频谱可见，短周期仪和宽频仪所记录的列车振动的频带宽度大体一致，主频变化主要集中在 1~20 Hz 范围. 在测点 00t 和 01t 的 3 台地震仪记录的重载火车频谱(图 8)，都表明列车的振动频率为 8.2 Hz 左右. 另在 1.64, 3.27, 4.90, 6.54, 9.8, 11.44, 13.08, 14.71, 16.27 Hz 和 17.98 Hz 附近存在的峰值频率(甚至在 30 Hz 附近也存在峰值频率)，可能正预示着由多节车厢的共振效应或与地下结构相关的卓越频率. 这些峰值频率同样出现在功率谱密度图(图 10)中，无论以 1 024 点(图 10a)或 4 096 点(图 10b)滑动计算的结果，都确认无疑. 尽管此次观测试验在近源处仅布设了一个观测点，从现有的观测记录不能类似 Degrande 和 Schillemans(2001)那样，从密集的观测记录清晰地区分出每节车厢的振动情况，但对比图 5 中的火车头记录，从图 6a 测点 00t 和 01t 记录中仍隐约展示了火车车头和每节车厢的振动情况.

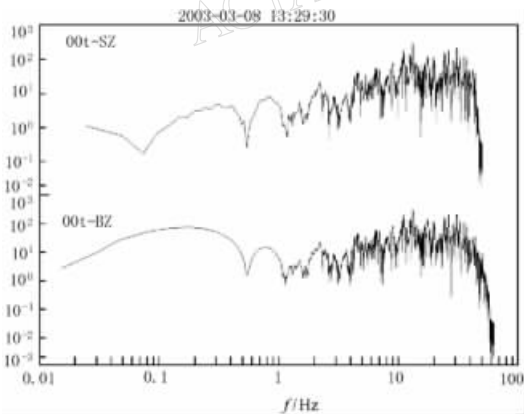


图 9 测点 00t 的短周期和宽频仪所记录的火车头之振幅频谱

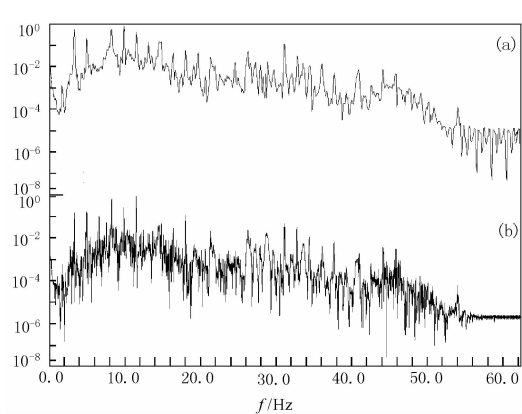


图 10 宽频仪在测点 00t 的重载货车记录的功率谱密度

(a) 1024 点滑动计算结果；(b) 4096 点滑动计算的结果

由于观测系统布局的局限，缺乏在所有点位记录到的同一列车的振动信号，且不同观测点的背景噪声存在差异，难以分析观测记录中可能含有的体波信息，无法像 Ditzel 等

(2001)与传统的爆破源结果进行对比分析,也无法直接应用 Yang 等(2003)和 Jones 等(2000)的模拟结果展开进一步的分析.但上述试验分析结果,为进一步的理论模拟与实际观测相结合,为利用列车的多点运动源探测地下浅层结构提供了良好的基础.

3 结语

试验观测的初步分析结果,以及已有的相关研究成果,充分证实了利用列车振动作为一种新的激发震源,探测分析地下结构所具有的绿色环保、频谱较宽、重复性好和稳定性强的优点,如能在理论模型和信号分析处理方法,甚至观测积累方面进行深入的探索研究,将可为地球物理勘探开辟新的途径.

就理论分析而言,列车的多点运动源是通过轮、铁轨、枕木、碎石组合的铁路路基向上传播,涉及到复杂的车辆-轨道-地层耦合作用问题,其所激发的振动能够反映地下结构信息的波究竟能够达到多深,能够在多大的范围内被记录,必须定量而准确地阐明这种震源应用的理论基础及适用条件,这些均是有待于进一步研究的重点问题.工程振动和铁路工程界,以及有关地震震源的有限移动破裂源模式(郑治真,1979; Ben-Menahem, 1961; Ide, 2002)等理论研究结果,虽可为列车的多点运动源的理论模型建立提供良好的基础,但已有的研究(Ditzel *et al*, 2001; Yang *et al*, 2003; Hung, Yang, 2001b; Esveld, 1989; Degrande, Schillemans, 2001; Jones *et al*, 2000)基本没有涉及列车载重量变化对振动激发影响的理论分析,是进一步应用研究中不能忽略的问题.

在信号分析处理方面,采用什么方法才能有效地提取铁路附近区域地壳的结构信息,并反演中浅层地下结构,乃至地下结构(包括介质物性)随时间变化的信息?频率域和时间域的相关分析很可能是发展新方法的出发点.对列车多点运动源激发的信号进行频率分解,获取不同行驶速度、不同载重条件下所导致的典型振动频率特性,为振动信号的识别和分离提供基础,是进一步研究中需要重点解决的问题.从本研究在距离铁路 2.15 km 获取的记录而言,微弱振动信号的识别和提取分析,将可能拓展列车振动信号的探测深度和范围.

由于以往的研究主要关注列车振动的“干扰”和“破坏”方面,观测记录基本上局限在百米左右的范围,极少在远处进行观测,而在地下深处的观测更为少见.从远离铁路 1.1~2.15 km 的试验观测记录的缓慢衰减,以及在地下 275 m 处 T23 井的列车振动记录,还不能确定记录信号是否混杂了来自中浅层地壳的信息.此外,新的理论建立和分析方法的探索都需要通过布设更精细的观测系统,积累更多的列车振动资料,以进行详细的研究.

此次野外观测工作得到张练、楼海、王椿镛、李娟、王宝善、齐诚、刘吉夫等同志的大力帮助,特此表示感谢.

参 考 文 献

- 国家地震局编. 1990. 地震台站观测规范[M]. 北京:地震出版社, 3~24
王其昌主编. 1999. 高速铁路土木工程[M]. 成都:西南交通大学出版社, 280~292
夏禾, 吴莹, 于大明. 1999. 城市轨道交通系统引起的环境振动问题[J]. 北方交通大学学报, 23(4): 1~7
翟婉明. 2001. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 第二版. 北京:中国铁道出版社, 1~398
郑治真编. 1979. 波谱分析基础[M]. 北京:地震出版社, 1~303

- 中国地震局编. 2001. 地震及前兆数字观测技术规范之地震观测(试行)[M]. 北京: 地震出版社, 5~32
- Ben-Menahem A. 1961. Radiation of seismic surface waves from finite moving sources[J]. *Bull Seism Soc Amer*, **51**: 401~435
- Degrande G, Schillemans L. 2001. Free field vibrations during the passage of a Thalys high-speed train at variable speed [J]. *J Sound Vibr*, **247**(1): 131~144
- Ditzel A, Herman G C, Drijkoningen G G. 2001. Seismograms of moving trains comparison of theory and measurements [J]. *J Sound Vibr*, **248**(4): 635~652
- Esvelde C. 1989. *Modern Railway Track*[M]. Netherlands: MRT-Productions, 459~474
- Gutowski T G, Dym C L. 1976. Propagation of ground vibration: a review[J]. *J Sound Vibr*, **49**(2): 179~193
- Heckl M, Hauck G, Wettschureck R. 1996. Structure-borne sound and vibration from rail traffic[J]. *J Sound Vibr*, **193**(1): 175~184
- Hung H H, Yang Y B. 2001a. A review of researches on ground-borne vibrations with emphasis on those induced by trains[J]. *Proc Natl Sci Counc ROC (A)*, **25**(1): 1~16
- Hung H H, Yang Y B. 2001b. Elastic waves in visco-elastic half-space generated by various vehicle loads[J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**(1): 1~17
- Ide S. 2002. Estimation of radiated energy of finite-source earthquake models[J]. *Bull Seism Soc Amer*, **92**(8): 2 994~3 005
- Jones C J C, Sheng X, Petyt M. 2000. Simulations of ground vibration from a moving harmonic load on a railway track [J]. *J Sound Vibr*, **231**(3): 739~751
- Melke J, Kraemer S. 1983. Diagnostic methods in the control of railway noise and vibration[J]. *J Sound Vibr*, **87**(2): 337~386
- Okumura Y, Kuno K. 1991. Statistical analysis of field data of railway noise and vibration collected in an urban area[J]. *Appl Acoustics*, **33**: 263~280
- Willmore P L ed. 1979. *Manual of Seismological Observatory Practice*[M]. World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Report SE-20, September 1979, Boulder, Colorado, 165
- Yang Y B, Hung H H, Chang D W. 2003. Train-induced wave propagation in layered soils using finite/infinite element simulation[J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **23**(4): 263~278

SEISMIC FEATURES OF VIBRATION INDUCED BY TRAIN

Chen Qifu¹⁾ Li Li¹⁾ Li Gang¹⁾ Chen Ling²⁾ Peng Wentao
Tang Yi³⁾ Chen Yong¹⁾ Wang Fuyun⁴⁾

1) Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

2) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

4) Research Center of Exploration Geophysics, China Earthquake Administration, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Based on schematically formulation of the vibrations induced by moving trains, this paper analyses the waveforms along the Datong-Qinhuangdao railroad in Northern China recorded in the suburban Huairou district of Beijing on March 8, 2003. It is illustrated that vibrations induced by train, except traditional recognized noises and interference effects, could be used as a seismic source to detect crustal structures with its advantage of abundant frequency spectrum, repeatability and no additional harm to the environment. It will bring lights to the traditional exploration seismology with the further studies of signal processing and interpretation methods, and related models and new observing systems.

Key words: vibration induced by trains; moving sources; seismic features