

地下双层停车场轨道结构振动特性测试与分析

罗信伟¹ 汪朝晖² 刘文武¹ 刘庆杰³ 冯青松³

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 广州地铁集团有限公司, 510010, 广州;

3. 华东交通大学土木建筑学院, 330013, 南昌//第一作者, 正高级工程师)

摘要 为了研究下沉式车辆基地在地铁列车荷载作用下轨道结构的振动特性, 对某下沉式车辆基地出入线、出入线岔区、咽喉区非岔区等不同区域轨道结构进行动力测试, 分析钢轨和轨道板振动的时域和频域特性。结果表明: 各个区域内轨道结构在 0~200 Hz 频段内对振动的衰减均有一定的效果, 有效地衰减钢轨至轨道板的振动, 地下二层结构上钢轨的衰减明显高于地下一层; 出入线岔区轨道结构测点的振动响应最大, 钢轨和轨道板振动加速度幅值均远大于出入线和咽喉区非岔区, 应重点关注出入线岔区的减振防护; 各个区域中地下一层的轨道板垂向振动要大于地下二层的轨道板垂向振动, 其中在 16~63 Hz 频段两者的差距明显。

关键词 地铁; 下沉式车辆基地; 轨道结构; 动力测试

中图分类号 U279.6; U213.2+12

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.002

Test and Analysis of the Track Structure Vibration Characteristics of Sunken Double-floor Depot

LUO Xinwei, WANG Chaohui, LIU Wenwu, LIU Qingjie, FENG Qingsong

Abstract In order to study the track structure vibration characteristics of a sunken depot induced by train load, the dynamic test of track structure is conducted in different areas, including access lines, turnout area of access lines and non-turnout area at the track throat. The time-domain and frequency-domain characteristics of rail and track slab vibration are analyzed. The research result shows that the track structure in each region has a certain effect on rail and track slab vibration attenuation within the frequency range of 0~200 Hz, and the vibration attenuation of the second floor underground is significantly higher than that of the sunken first floor. The vibration response of the measuring points of track structure in the turnout area of access lines is the largest, the amplitude of vibration acceleration of rail and track slab is much larger than that of the access lines and the non-turnout area at the track throat. Therefore, more attention should be paid to the vibration reduction protection of the access lines. The vertical vibration of the track slab on the

first floor is larger than that on the second floor, and the difference between them is obvious in the frequency range of 16~63 Hz.

Key words metro; sunken depot; track structure; dynamic test

First-author's address Guangzhou Metro Design and Research Institute, 510010, Guangzhou, China

城市轨道交通是现代化城市的一种重要的公共交通工具, 它具有运量大、时间准确、速度快的优势。但是, 地铁列车运行时对环境振动产生的影响不容忽视, 城市轨道交通引发的振动污染也日益严重^[1-3]。

国内外学者对地铁列车引起的环境振动研究大多采用数值模拟的方法^[4]和现场试验法^[5]。文献[6]根据地铁现场测试数据研究发现地铁诱发振动对建筑物影响以竖向为主, 诱发的竖向振动表现为整体振动, 以及对地面诱发振动信号沿地面建筑物衰减效果较为明显。文献[7]通过现场测试分析了不同扣件类型及不同车速等因素对列车荷载特性的影响。通过现场测试地铁振动特性展开研究具有重要的意义, 对线路的维修养护能提供一定的依据^[8]。

下沉式车辆基地上盖建筑物承受地下一层和地下二层列车振动耦合叠加作用, 与地面式车辆基地相比更加复杂。因此, 本文对下沉式车辆轨道基地停车场不同区域轨道结构振动特性展开研究, 测试了列车通过出入线、出入线岔区、咽喉区非岔区轨道结构的振动响应, 分析了钢轨、轨道板振动的时域和频域特性, 研究结果对下沉式车辆基地结构振动问题具有重要的工程应用价值。

1 下沉式车辆基地概况

某停车场是国内目前规模较大的全地下双层

型地铁车辆综合检修基地。该停车场位于 18 m 深的地下,总建筑面积 18.29 万 m²。列车进入停车场后,经出入线道岔分流进入到咽喉区,后进入停车区域。每一层停车场区域可以分为 4 个区域,本次测试研究的是东区停车场区域地下一层和二层出入线、出入线岔区、咽喉区非岔区、库内线区域轨道结构振动响应,出入线岔区以 7 号道岔为主,结构形式有单开道岔、交叉渡线和单渡线等,无减振措施。出入线岔区在上盖物业范围之外,咽喉区(非岔区)全部采用阻尼钢轨,阻尼钢轨对高频振动有抑制作用。

2 测试仪器及测点布置

轨道结构振动测试采用德国 Head 公司 DA-TaRec 4 DIC24 数据采集仪,采用 ArtemiS 软件进行数据采集与分析,传感器采用 ICP(压电集成电路)加速度传感器。

下沉式车辆基地振动问题相比地面式车辆基地更加复杂,下沉式车辆基地上盖建筑物承受地下一层和地下二层列车振动耦合叠加作用,停车场区域地下一层和二层线路走向、布置是相同的。为得

到下沉式车辆基地不同区域轨道结构的振动特性,本次测试共设置了 3 个测试断面,编号为 A、B、C。断面 A 位于出入线,布置依据为断面 A 位于某停车场出入线的普通轨道上,列车通过该断面时速度较快;断面 B 位于出入线的道岔区交叉渡线的中心,交叉渡线道岔采用 7 号道岔,辙叉采用固定结构,存在有害空间,列车通过时会对轨道结构产生一定的冲击作用;断面 C 位于咽喉区的非岔区,其上部为盖板结构北侧端部,该区域采用的是静音钢轨,该断面是上盖结构区域车速最快的位置。分别在断面 A、B、C 处布置钢轨测点和轨道板测点,其中钢轨测点包含在轨底顶部布置垂向加速度测点和在轨腰处横向加速度测点,测试列车通过轨道时钢轨产生的垂向和横向加速度;轨道板测点处布置垂向加速度测点,测试列车通过轨道时轨道板产生的垂向加速度。各个区域的钢轨测点和轨道板测点布置如图 1 所示。研究下沉式车辆基地不同区域轨道结构的振动特性,对指导轨道结构的减振措施以及车辆基地的设计,提高车辆基地平台上建筑物的适用性,提高城市建设土地利用效率具有重要意义。

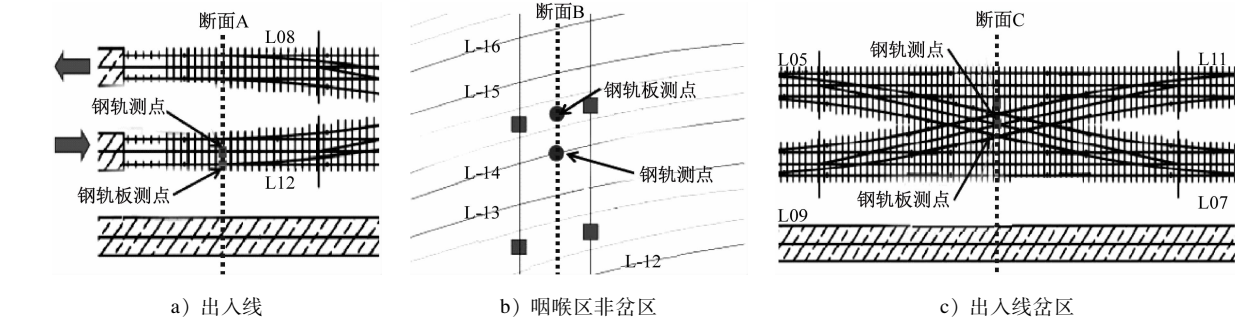


图 1 各个区域钢轨和轨道板测点布置

3 测试结果与分析

3.1 时域分析

对某地铁停车场出入线、出入线岔区、咽喉区(非岔区)区域轨道结构振动响应进行测试,得到各

个区域钢轨垂向和横向加速度以及轨道板垂向加速度,各区域中轨道典型垂向振动加速度时程曲线如图 2~3 所示,数据处理前均采取滤波处理,并且对钢轨和轨道板的振动加速度峰值进行了统计,如表 1 所示。

表 1 不同区域钢轨垂向和横向及轨道板垂向振动加速度峰值对比

振动评价指标	地下一层			地下二层		
	出入线	出入线岔区	咽喉区非岔区	出入线	出入线岔区	咽喉区非岔区
钢轨垂向加速度峰值/(m/s ²)	84.36	339.84	12.78	56.12	279.39	17.67
钢轨横向加速度峰值/(m/s ²)	56.68	127.67	18.53	14.52	69.67	21.53
轨道板垂向加速度峰值/(m/s ²)	1.80	25.80	0.51	1.05	3.66	0.26

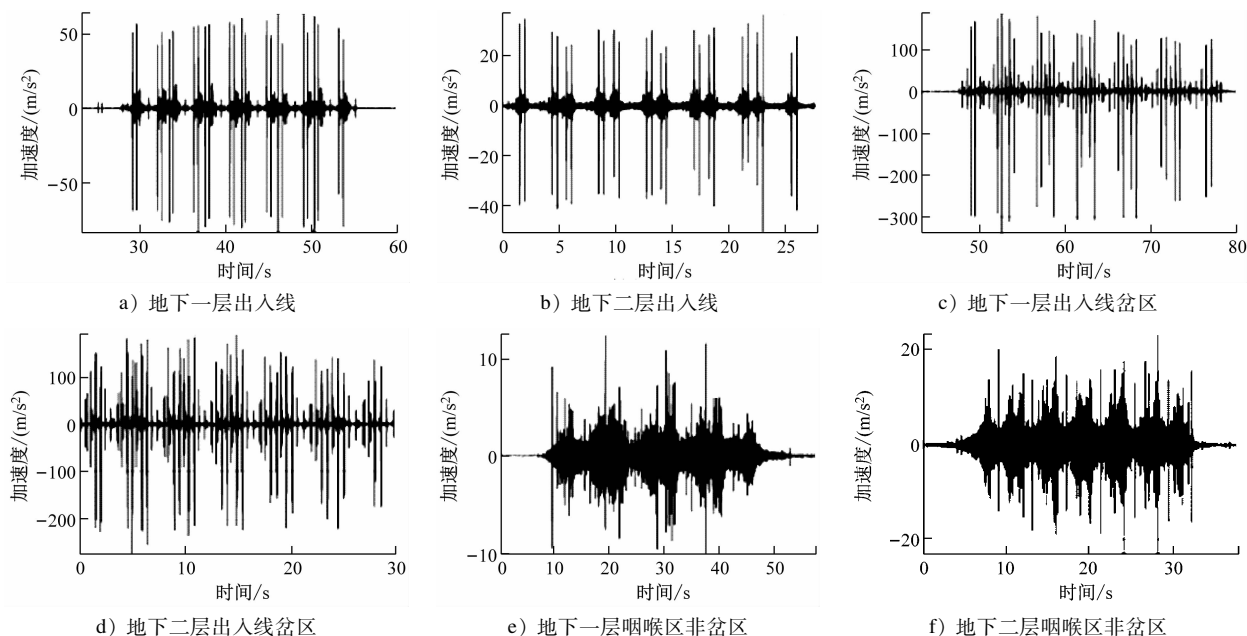


图2 钢轨垂向振动加速度典型时域波形

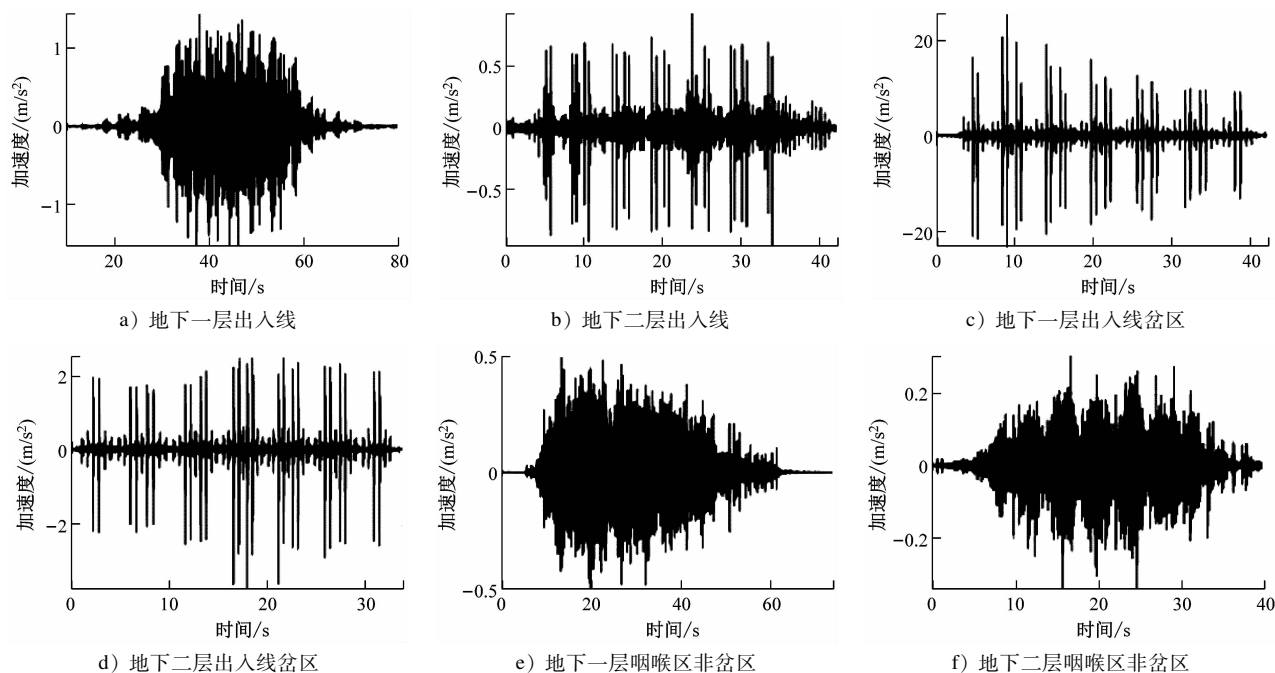


图3 轨道板垂向振动加速度典型时域波形

对比各个测试区域典型垂向振动加速度时程图和加速度峰值表可知:

1) 当列车通过地下一层和地下二层各个区域时,从钢轨加速度的时程图中可以清晰地识别到每一个车轮通过时引起的振动峰值;对比出入线和出入线岔区各测点加速度峰值可知,地下一层钢轨垂向和横向以及轨道板垂向振动加速度均大于地下二层,而咽喉区非岔区地下一层钢轨垂向和横向加

速度均小于地下二层。

2) 列车荷载作用下钢轨振动最剧烈的是出入线岔区轨道结构,其钢轨的垂向振动加速度幅值高达 339.84 m/s^2 ,远高于出入线和咽喉区非岔区钢轨的垂向加速度幅值;咽喉区非岔区轨道板垂向加速度远小于其他两个区域,最大幅值约为 0.51 m/s^2 。3个区域的振动加速度均符合钢轨至轨道板的逐层衰减规律,各区域对列车引起的振动具有很好的衰

减,出入线岔区中被测的交叉渡线为 7 号道岔固定辙叉,由于列车通过对轨道结构有冲击作用,钢轨、轨道板振动加速度幅值均远大于出入线和咽喉区非岔区。

3) 咽喉区非岔区采用采用整体道床,地下两层均使用了静音钢轨,钢轨垂向加速度峰值明显小于出入线和出入线岔区,表明此种轨道结构减振效果较好。

4) 下沉式车辆基地地下一层行车时引起的振动响应远大于地下二层行车的振动响应,因此下沉式车辆基地的振动控制主要对地下一层行车进行控制,需要重点对地下一层轨道进行减振设计。

3.2 频域分析

当列车通过下沉式车辆基地停车场时,轮轨相互作用产生振动通过钢轨传递到整体道床,再由整体道床传递到主体结构上。轨道结构是直接车辆接触的下部结构,不同区域有不同的振动频率特性。选取不同区域钢轨垂向加速度和轨道板垂向加速度测试数据,并选取效果较好的实验数据通过傅里叶积分变换进行随机信号分析得到振动加速度频谱,然后通过 1/3 倍频程谱进行频域分析。不同区域钢轨、轨道板垂向振动加速度 1/3 倍频程谱如图 4 和图 5 所示。

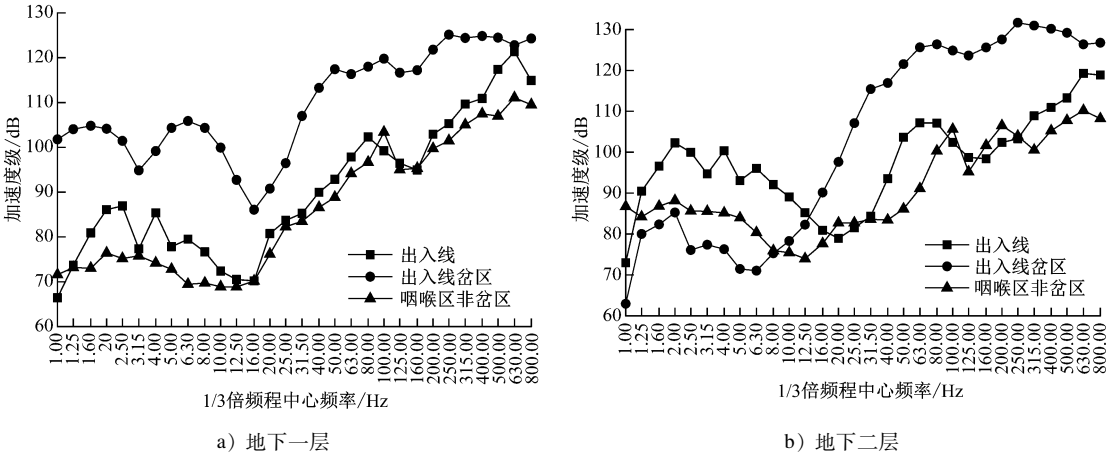


图 4 钢轨垂向振动加速度 1/3 倍频程频谱

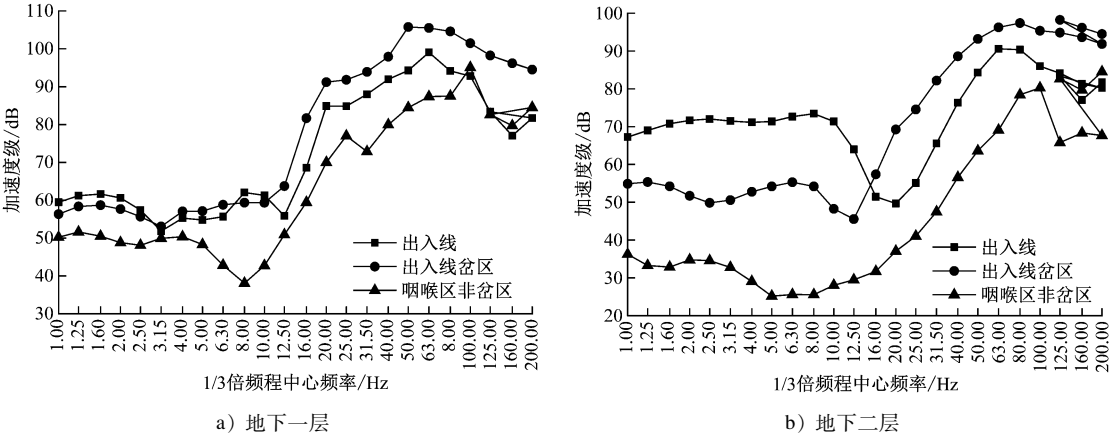


图 5 轨道板垂向振动加速度 1/3 倍频程频谱

分析图 4 和图 5 可知:
1) 地铁振动源频谱特性呈宽频带特性,钢轨以 40 ~ 710 Hz 频率为主,轨道结构系统的自振特性不同,钢轨和轨道板加速度在不同频率处峰值明显,在不同区域其振动加速度呈现不同大小,出入线、

出入线岔区地下一层钢轨振动大于地下二层,咽喉区非岔区地下二层钢轨振动要大于地下一层。
2) 出入线、出入线岔区和咽喉区非岔区轨道结构钢轨至轨道板在频域内垂向振动加速度是均匀衰减,但衰减程度不同,在低频范围内衰减较大,在

高频范围内衰减相对较小。从钢轨到轨道板,垂向振动加速度主频在逐渐减小。

3) 出入线轨道结构钢轨振动以 560 ~ 710 Hz 为主,轨道板的振动以 50 ~ 710 Hz 为主。地下一层轨道板垂向振动在 16 ~ 63 Hz 区段振动没有衰减反而有所增加,而其他频段振动具有明显的衰减;地下二层轨道板垂向振动在 1 ~ 200 Hz 范围内都有明显的衰减,平均衰减量在 10 dB 左右。地下一层轨道位于楼板上,列车通过时某些频段的振动会引起楼板的共振,轨道板垂向振动在 16 ~ 63 Hz 区段振动没有衰减反而增加,地下二层轨道与地基相连,高频部分被地基基础衰减。

4) 出入线岔区轨道结构钢轨振动以 220 ~ 280 Hz 为主,轨道板的振动加速度频谱以 70 ~ 110 Hz 为主。地下一层轨道板垂向振动在 16 ~ 63 Hz 频段振动衰减较小,地下二层轨道板垂向振动各频段衰减量都较大。在 1 ~ 200 Hz 范围内,出入线岔区钢轨振动远大于其他出入线和咽喉区岔区,其余测点并无显著区别,由于列车通过对轨道结构有冲击作用导致出入线岔区大于其他区域。

5) 出入线、出入线岔区、咽喉区非岔区地下一层和地下二层轨道板振动在 16 ~ 63 Hz 范围内,地下一层远大于地下二层,在其他频率区段内差别较小。地下二层的轨道板基础与地基相接触,而地下一层轨道板的支撑为楼板,楼板的刚度明显小于下部地基,且地下二层的高频成分又被下部地基衰减,这也是地下一层轨道板振动大于地下二层的主要原因。

4 结语

对下沉式车辆轨道基地停车场不同区域轨道结构振动特性展开研究,测试了列车通过出入线、出入线岔区、咽喉区不同位置时轨道结构的振动响

应,计算了列车通过时不同区域各测点的振动加速度峰值和主频,采用 1/3 倍频程研究了各频段振动能量的分布特性,主要得到以下结论:

1) 各个区域内轨道结构在 0 ~ 200 Hz 频段内钢轨至道床振动衰减明显,地下二层钢轨至道床的衰减明显高于地下一层。

2) 出入线岔区轨道结构的振动响应最大,由于测点布置在有害空间范围内,列车通过测点时对轨道结构有冲击作用,钢轨、轨道板振动加速度幅值均远大于出入线和咽喉区非岔区,因此,出入线岔区的减振防护显得尤为重要。

3) 各个区域中地下一层的轨道板垂向振动要大于地下二层的轨道板垂向振动,其中在 16 ~ 63 Hz 的频段两者差距明显。

参考文献

- [1] 夏禾,曹艳梅. 轨道交通引起的环境振动问题[J]. 铁道科学与工程学报,2004(1):44.
- [2] 涂勤明,雷晓燕,毛顺茂. 交叠线路地铁列车引起的环境振动分析[J]. 城市轨道交通研究,2016(2):15.
- [3] 崔高航,陶夏新,陈宪麦. 城轨交通引起的环境振动问题综述研究[J]. 地震工程与工程振动,2008,28(1):38.
- [4] TAKEMIYA H. Simulation of track-ground vibrations due to a high-speed train: the case of X-2000 at Ledsgard [J]. Journal of Sound & Vibration, 2003, 261(3):503.
- [5] 冯牧,雷晓燕. 列车引发建筑物振动现场测试及数值分析[J]. 铁道建筑,2011(7):160.
- [6] 聂晗,闫维明,高小旺,等. 地铁交通诱发邻近建筑物振动的实测与分析[J]. 铁道科学与工程学报,2008(1):51.
- [7] 何卫,谢伟平,刘立胜. 地铁隧道列车振动特性试验研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2016,44(4):85.
- [8] 张杨,陈国兴,毛昆明,等. 轨道交通运行引起的场地振动实测研究现状[J]. 防灾减灾工程学报,2011,31(2):225.

(收稿日期:2018-12-01)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704