

钢弹簧浮置板道床在西安地铁中减振效果分析^①

康佐¹, 董霄², 郑建国², 钱春宇², 连晨龙²

(1.西安市地下铁道有限责任公司, 陕西 西安 710018; 2.机械工业勘察设计研究院, 陕西 西安 710043)

摘要:西安地铁二号线绕行通过西安钟楼,为降低地铁长期运营对钟楼的振动影响,在钟楼段采用钢弹簧浮置板道床进行减振。主要以地铁二号线运行影响下对钟楼的振动监测数据为基础,通过对钢弹簧浮置板道床段和普通道床段的振动实测值比较与分析,得出隧道内减振段和普通段的振动差异,以此评价钢弹簧浮置板道床在地铁应用中的减振效果。

关键词:钢弹簧浮置板道床;减振效果;振动监测

中图分类号: U213.2⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)02-0372-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.02.0372

Vibration Reduction Effect of Steel-spring Floating Slab Track Bed Applied to Xi'an Metro

KANG Zuo¹, DONG Xiao², ZHENG Jian-guo¹, QIAN Chun-yu², LIAN Chen-long²

(1. Xi'an Metro Ltd., Xi'an, Shaanxi 710018, China;

2. China Jikan Institute of Engineering Investigation and Design, Xi'an, Shaanxi 710043, China)

Abstract: Xi'an metro line 2 runs under the Bell Tower in Xi'an. In order to reduce the effect of the vibration on the Bell Tower caused by the long-term operation of the metro, a steel-spring floating slab track bed is adopted. Mainly based on the measured data, which monitors the influence of the Bell Tower's vibration under the operation of subway line 2, this paper compares and analyzes the measured values of vibration on the steel-spring floating slab track bed and usual track bed. The differences in the damping effect between the spring floating slab track bed and the usual track bed is worked out to evaluate the vibration-damping effect of the steel-spring floating slab track bed in the subway.

Key words: steel-spring floating slab track bed; vibration reduction effect; vibration monitoring

0 引言

城市轨道交通在缓解城市公共客运压力的同时,其正常运营过程中所产生的振动也会带来一定的负面影响。沿线通过的文物建筑、学校、医院、剧院及居民区建筑均会因自身不同的结构形式产生不同程度的振动响应。因此在工程实践中应减小城市轨道交通的振动影响,把对环境的影响控制在允许范围之内^[1-2]。其中文物建筑的振动容许标准更为

严格。古建筑结构的容许振动以振动速度来评价,应根据结构类型、保护级别和弹性波在古建筑结构中的传播速度选用^[3]。西安地铁建设中文物保护是最重要,也最难处理的课题。

作为国家重点文物保护单位,为降低地铁二号线运行后对钟楼本体结构的影响,使其满足国家规范的要求,在二号线地铁轨道钟楼段采用了钢弹簧浮置板道床减振措施。本文通过对钟楼、浮置板道

① 收稿日期:2014-08-20

基金项目:国机集团科技发展基金(集团13科192号)

作者简介:康佐(1978—),男,博士,高级工程师,主要从事地下工程方面的研究工作。E-mail: akhebi@163.com

点布置在隧道壁处。A 测点和 B 测点均为竖向加速度拾振器,C 测点布置了竖向和水平向(线路方向)的加速度拾振器。

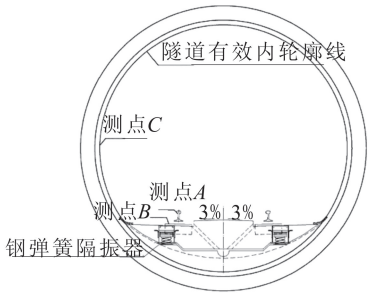


图 4 隧道内测点布置示意图

Fig.4 The schematic diagram of observation points in tunnel

2.2 监测数据分析

列车在右线分别以 40 km/h 和 20 km/h 的时速在两个测点断面之间往返运行。测试系统选取自动触发采样模式,采样频率 5 120 Hz,采样时间 50 s。对采集的时域振动信号进行筛选,选取波形完整、无明显畸变、信噪比高、无工频干扰或不严重、相同车速下幅值差别不大的实测曲线。去掉奇异项、修正零线飘移、趋势项等误差,得到不同断面与不同测点的典型时程曲线和频谱图(图 5~图 10)。

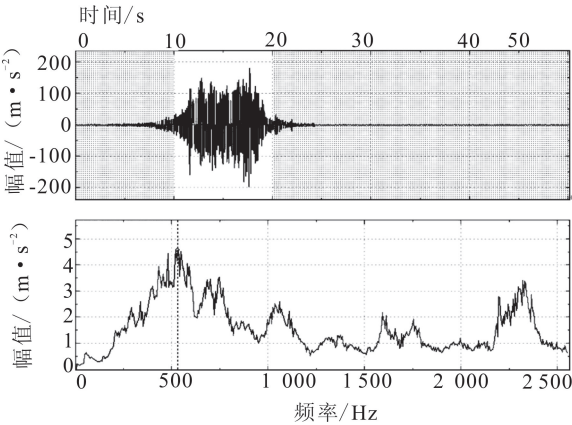


图 5 钢弹簧浮置板道床钢轨上典型时程曲线和频谱图
Fig.5 Typical time-history curve and spectrum on the rail of steel-spring floating slab track bed

图 5、图 6 为铁轨上的典型时程曲线图和频谱图。从图中可以看出列车整车通过测点断面的时间约为 10 s,列车长为 117.12 m,故车速约为 40 km/h。

选择列车通过测点 10 次的时域信号进行统计分析。隧道内各测点的振动监测结果见表 2 和表 3。

从表 3 中统计数据可以看出:

(1)地铁运行下,普通道床段钢轨、道床、隧道壁

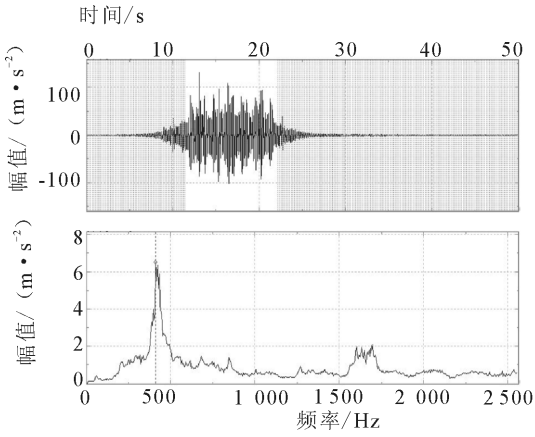


图 6 普通段钢轨上典型时程曲线和频谱图

Fig.6 Typical time-history curve and spectrum on the usual rail

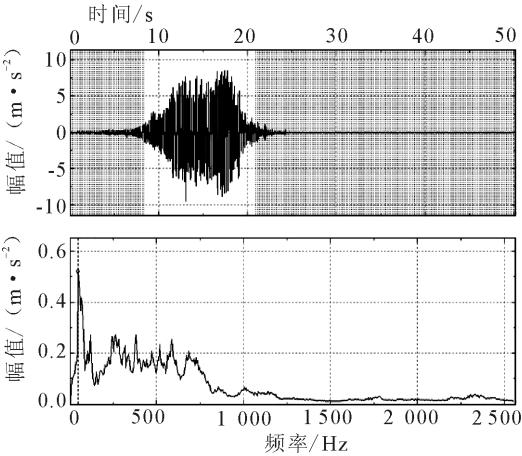


图 7 钢弹簧浮置板段道床上典型时程曲线和频谱图
Fig.7 Typical time-history curve and spectrum on the steel-spring floating slab track bed

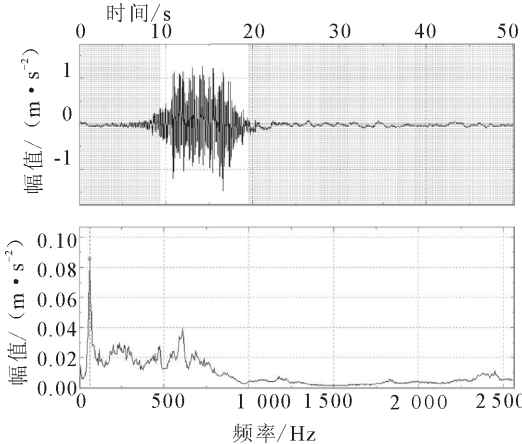


图 8 普通段道床上典型时程曲线和频谱图

Fig.8 Typical time-history curve and spectrum on the usual track bed

水平向和垂直向的振动加速度幅值分别介于 107.69 ~ 201.67 m/s²、1.24 ~ 1.82 m/s²、0.53 ~ 0.68 m/s²

和 $1.13\sim 1.68\text{ m/s}^2$ 之间;钢弹簧浮置板道床段钢轨、道床、隧道壁水平向和垂直向的振动加速度幅值分别介于 $157.42\sim 274.33\text{ m/s}^2$ 、 $8.65\sim 12.21\text{ m/s}^2$ 、 $0.11\sim 0.23\text{ m/s}^2$ 和 $0.21\sim 0.42\text{ m/s}^2$ 之间。因此在

钢弹簧浮置板道床段,由列车轮轨运动产生的振动传至道床、隧道壁有很大程度的衰减,其中隧道壁水平向振动较垂直向小,竖直向数值约为水平的 2 倍左右。

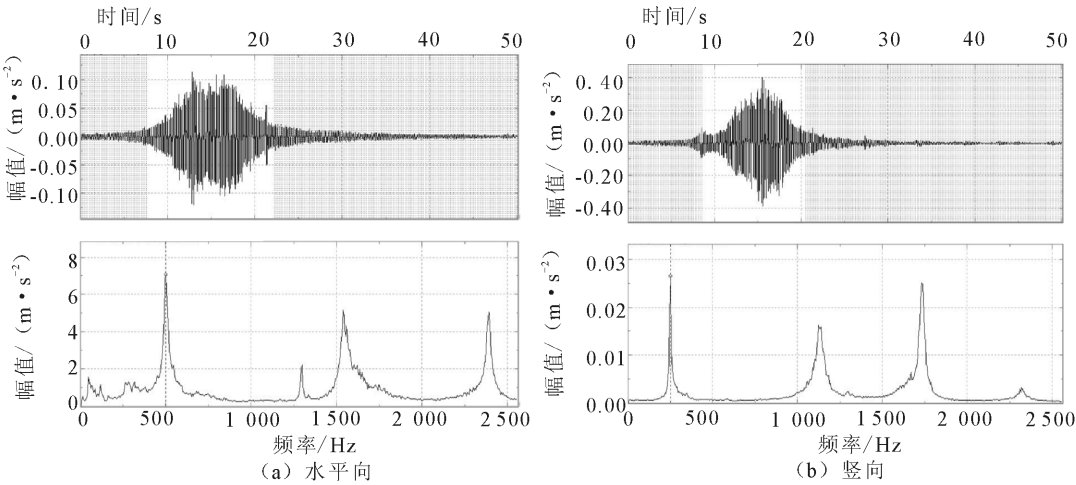


图 9 钢弹簧浮置板道床段隧道壁典型时程曲线和频谱图

Fig.9 Typical time-history curve and spectrum on the tunnel wall(horizontal direction) of steel-spring floating slab track bed

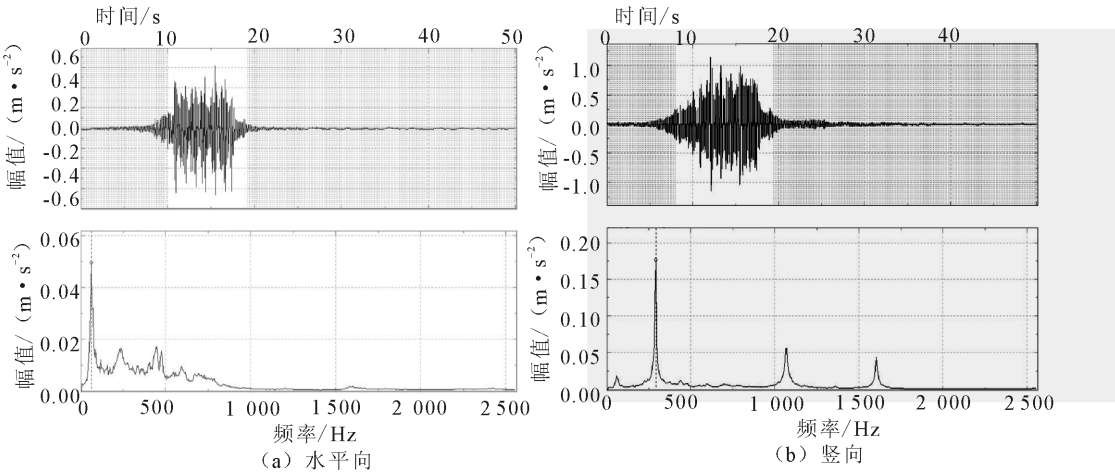


图 10 普通段隧道壁(水平向)典型时程曲线和频谱图

Fig.10 A typical Time history curve and spectrum on the tunnel wall(horizontal direction) of usual track bed

表 2 隧道内振动加速度幅值统计表(单位:m/s²)

测点位置		实测次序										平均值	标准差
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
普通轨道	铁轨	122.45	192.84	107.69	119.04	165.47	119.05	201.67	198.25	124.99	126.07	147.75	37.54
	道床	1.37	1.34	1.34	1.24	1.41	1.30	1.82	1.33	1.25	1.30	1.37	0.17
	隧道壁水平向	0.64	0.66	0.53	0.63	0.63	0.62	0.68	0.65	0.54	0.64	0.62	0.05
	隧道壁垂直向	1.15	1.48	1.18	1.25	1.68	1.13	1.66	1.23	1.27	1.26	1.33	0.20
钢弹簧浮置板	铁轨	188.42	234.32	182.64	157.42	274.33	192.31	231.16	237.95	196.64	207.69	210.29	34.05
	道床	8.98	12.01	9.42	9.32	12.09	8.65	12.21	11.80	10.71	12.02	10.72	1.47
	隧道壁水平向	0.12	0.16	0.12	0.13	0.15	0.15	0.21	0.23	0.11	0.11	0.15	0.04
	隧道壁垂直向	0.40	0.33	0.38	0.41	0.42	0.36	0.35	0.38	0.21	0.30	0.35	0.06

表 3 钢弹簧浮置板道床段振动加速度较普通道床段的减振效果(单位:%)

Table 3 The difference between vibration accelerations on steel-spring floating slab track bed and usual track bed (unit:%)

测点位置	实测次序										平均值	标准差
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
铁轨	-53.88	-21.51	-69.60	-32.24	-65.79	-61.54	-14.62	-20.03	-57.32	-64.74	-46.13	21.55
道床	-555.47	-796.27	-602.99	-651.61	-757.45	-565.38	-570.88	-787.22	-756.80	-824.62	-686.87	107.83
隧道壁水平向	81.25	75.76	77.36	79.37	76.19	75.81	69.12	64.62	79.63	82.81	76.19	5.55
隧道壁垂直向	65.22	77.70	67.80	67.20	75.00	68.14	78.92	69.11	83.46	76.19	72.87	6.15

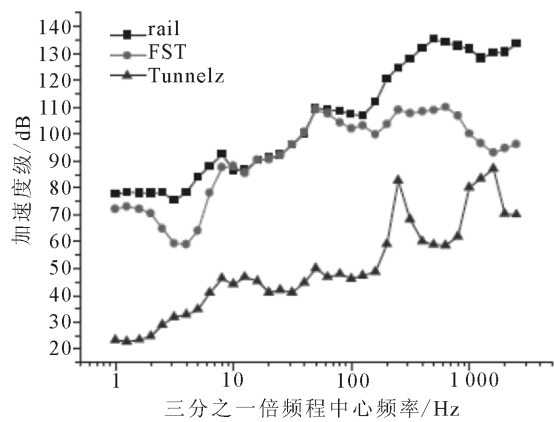


图 11 钢弹簧浮置板振源测点的三分之一倍频程加速度级比较

Fig.11 The analysis of test point's a third times frequency range in the source of vibration on steel-spring-floating-slab track bed

(2) 通过比较同车速和载客量情况下普通道床和钢弹簧浮置板道床的振动情况,可以看出,在钢弹簧浮置板道床段的钢轨与道床处的振动量较普通道床段有所增加,且道床处的振动量值增加幅度较为明显。这是由钢弹簧浮置板道床特殊的减振构造造成的。能量传递中由钢弹簧隔振器进行调谐、滤波、吸收能量,达到隔振目的^[4],因此浮置板自身的振动较为剧烈。在浮置板吸收能量的同时,一部分能量又传回至钢轨,且一部分能量传至车辆内。这个规律在北京地铁 4 号线、5 号线的测试结果中也有体现。地铁产生振动通过浮置板的隔振后传到隧道壁上的振动量大大减少,相比普通道床段,隧道壁水平向振动加速度幅值能减小 76%,隧道壁垂直向振动加速度幅值能减小 73%。表明钢弹簧浮置板道床对减小隧道壁、土体及隧道上方敏感建筑物的振动响应有显著效果。

(3) 图 11 为钢弹簧浮置板振源各测点的三分之一倍频程加速度级比较。可以发现,在 200 Hz 以内从钢轨到浮置板轨道振动衰减量不大;但从浮置板轨道到隧道壁振动影响有非常明显的衰减。在 100 Hz 以内,平均衰减量可达 40 dB 加速度级,因

此盾构隧道内的浮置板轨道对隔振作用有着非常明显的效果。

3 结语

(1) 钢弹簧浮置板在钢轨处和道床处的振动量值均大于普通道床钢轨处和道床处的振动量值,但隧道壁水平向和竖向的振动量值均小于普通道床值。说明列车轮轨所产生的振动很大程度上被钢弹簧浮置板道床内的减振器吸收,并传回至钢轨与列车本身,对道床基础与隧道壁等的向外传递能量衰减明显。相比普通轨道,隧道壁水平向振动加速度幅值能减小 76%,垂直向振动加速度幅值能减小 73%。表明钢弹簧浮置板道床对减小隧道壁、土体及隧道上方敏感建筑物的振动响应有显著效果。

(2) 在高频范围内,从钢轨到浮置板轨道振动衰减量值不大;但从浮置板轨道到隧道壁振动影响有非常明显的衰减。低频范围内,平均衰减量可达 40 dB 加速度级。

参考文献(References)

[1] 张艳平,杨宜谦,柯在田.城市轨道交通振动和噪声的控制[J].中国铁路,2000(3):43-45.
ZHANG Yan-ping, YANG Yi-qian, KE Zai-tian. Vibration and Noise Control for Urban Rail Transit[J]. Journal of Chinese Railway, 2000(3): 43-45. (in Chinese)

[2] 夏禾,曹艳梅.轨道交通引起的环境振动问题[J].铁道学报与工程学报,2004(1):1-8.
XIA He, CAO Yan-mei. Problem of Railway Traffic Induced Vibrations of Environments[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2004(1): 1-8. (in Chinese)

[3] 五洲工程设计研究院(中国兵器工业第五设计研究院).GB/T 50452-2008,古建筑防工业振动技术规范[S].北京:中国建筑出版社,2008.
Wuzhou Engineering Design and Research Institute. GB/T 50452-2008, Technical Specifications for Protection of Historic Buildings Against Man-made Vibration[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008. (in Chinese)

[4] 朱志强.地铁钢弹簧浮置板道床施工质量控制[M].广州:华南理工大学,2012:7.
ZHU Zhi-qiang. The Quality Control in the Construction of Steel-spring-floating-slab Track Bed [M]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012: 7. (in Chinese)