

文章编号:1672-058X(2012)08-0061-04

# 城市轨道交通中环境振动污染的研究进展\*

姜 鹏, 罗晓娟, 侯明明, 彭 娟, 高陈玺, 苏 迪

(重庆工商大学 环境与生物工程学院, 重庆, 400067)

**摘 要:**城市轨道交通荷载所产生的环境振动和噪声污染是城市公害之一,介绍了城市轨道交通引起的环境振动以及振动产生的危害,并探讨了环境振动污染的后果;综述了隔振措施与减振技术在轨道交通中的应用,并对应用前景进行了展望。

**关键词:**环境振动;城市轨道交通;减振与隔振

**中图分类号:**U121

**文献标志码:**A

## 1 环境振动污染

随着现代交通运输、城市建设的发展,环境噪声与振动污染已成为环境影响最大的公害(凡是由于人类活动引起环境污染和环境破坏,对公众的健康、安全、生命、公私财产及生活舒适性等造成的危害<sup>[1]</sup>)之一。城市轨道交通系统的蓬勃兴建,在带给人们方便出行和促进经济发展的同时,也给线路附近的环境造成了越来越严重的振动影响。振动对大都市生活环境和工作环境的影响日益严重,国际上已经把振动列为七大环境公害(空气污染、水污染、土壤污染、噪声、振动、恶臭、地层下陷)之一<sup>[2]</sup>。

环境振动污染指的是当机器设备的使用、运输工具的运行等引起附近地面的振动,并以波动形式传播到周围的建筑物,会造成不同程度的环境污染,从而使由振动引起的环境公害日益受到世人的关注<sup>[3]</sup>。振动是一种很普遍的运动形式,在大自然界、日常生活及生产过程中极为常见。振动以各种形式存在着客观世界里,人类日常生活每时每刻都处在振动之中,它分为有用的振动和有害的振动两类。

## 2 城市轨道交通引起的环境振动危害

所谓城市轨道交通,是指城市公共交通系统中使用大运量、高效率、低能耗的地铁、轻轨等运载工具的公共客运方面的交通。轨道交通已经成为世界上许多国家的众多城市的公共交通的重要组成部分,成为缓解城市交通拥挤和减少碳排放量的一种有效手段。

在轨道交通诞生后的近一百年的时间里,由于其引起振动的幅值和能量都比较小,没有对建筑物的结构安全造成严重影响,环境振动问题并没有引起人们的重视,后来随着现代铁路事业的不断发展和人们对生活质量要求的不断提高,人们才开始对轨道交通引起的环境问题进行系统的研究。

收稿日期:2012-01-15;修回日期:2012-02-20.

\* 基金项目:国家自然科学基金(50905193),重庆市自然科学基金(2010BB4249,2010BB 4261).

作者简介:姜鹏(1982-),男,江苏南通人,硕士研究生,从事环境振动与噪声污染处理研究.

城市轨道交通荷载所引起的环境振动,经常会影响到邻近的建筑物,或对邻近振动敏感的精密仪表、设备等有不可忽视的影响,也时常干扰邻近居民的生产与生活环境。运载工具的振动会使乘客感到不舒服。另外,振动的有害影响是多方面的,它损害振动作业工人的身心健康,环境噪声使人感到烦躁不安,影响人们的工作效率,干扰居民的正常生活,还影响或损害建筑物、精密仪器和工程设备使用寿命等<sup>[4]</sup>。

### 3 城市轨道交通中环境振动污染的研究

#### 3.1 振源的研究现状

高架轨道交通引起环境振动的振源模型就是车辆和桥梁动力相互作用的模型。最早研究车-桥动力相互作用的文献见于 1849 年 Willis 写的一份关于桥梁振动的报告,分析了 Chester 桥梁垮塌的原因<sup>[5]</sup>,在以后 100 多年的历史中,各国学者对车-桥动力耦合作用进行了广泛而深入的研究。研究的主要内容关于激励源的问题。引起车-桥系统振动的原因可以分为系统外部激励和系统内部自激励两大类。

(1) 关于系统外部激励。英国铁路管理局研究发展部技术中心测试了车辆引起的地面振动,对行车速度、激振频率和轨道参数的相关关系以及共振现象进行了实验研究<sup>[6]</sup>。

瑞士联邦铁路和国际铁路联盟(UIC)实验研究所(ORE)共同执行了一项计划,以 A. Zach 和 G. Rutishauser 为首的研究小组研究了地铁列车和隧道结构的振动频率和加速度特征,从改善线路结构的角度提出了降低地铁列车振动对附近地下及地面结构振动影响的途径<sup>[6]</sup>。

(2) 关于系统内部激励。美国 G. P. Wilson 等针对铁路车辆引起的噪声和振动,通过改善道床的结构形式(采用浮板式道床)和改革车辆转向架的构造以减少轮轨接触力的方法,提出控制车辆引起的噪声和振动的建议<sup>[7]</sup>。

日本是振动环境污染最为严重的国家之一,T. Fujikake、青木一郎和 K. Hayakawa 等<sup>[8,9,10]</sup>分别就交通车辆引起的结构振动发生机理、振动波在地下和地面的传播规律及其对四周居民的影响进行了研究,提出了四周环境振动水平的猜测方法。

#### 3.2 隔振措施的研究

隔振就是为降低振动或控制振动的不利影响,可从降低振源的激振强度、切断振动的传播途径或在传播途径上削弱振动。主要隔离模式有:声屏障,减振沟(明沟、充填式沟渠)、排桩或孔列、减振墙。

应用屏障是防止和减轻地面振动的有效措施。声屏障是轨道交通运行中降低噪声和抑制振动的一种有效措施。在地面和高架的城市轨道交通系统中都可以采用声屏障可有效控制噪声的传播。高广运<sup>[11]</sup>等首次提出了地面连续和非连续屏障隔振的概念,指出非连续排桩屏障的散射效应决定隔振效果,而屏障的衍射效应决定其影响范围。于秀娟,李广影<sup>[11]</sup>针对噪声与振动影响的敏感区域如学校、幼儿园、医院、住宅、站台等沿线建筑的防噪减振的要求较高,同时受到安装空间、线路设备限界以及市容、路容美观性要求等一系列限制,提出“双面吸声屏障”,降噪减振效果较佳,但也受到一定条件的制约。

德国 R. D. Woods(1965)首先在试验的基础上研究了明沟的隔振效果<sup>[12]</sup>;Lysmer(1972)研究了明沟对水平剪切波的隔振效果<sup>[13]</sup>。

德国 F. E. Richart 和 R. D. Woods 等又针对隔振沟和板桩墙等隔振措施进行了实验研究<sup>[14]</sup>。基于交通车辆引起的结构和地面振动,进一步引发的周边建筑物振动以及相应的振动控制和减振措施,在规划和设计的最初阶段就应加以考虑,从而提出了一种基于脉冲激励和测试分析的诊断测试方法,来猜测市区铁路线路四周建筑物地面振动水平,并通过不同测点数据的传递函数分析研究了振动波的传播规律。

排桩和孔列的研究,是 Woods(1974)对孔列的隔振效果进行研究之后才相继开始的<sup>[15]</sup>;Liao 等人

(1978)将水波比拟为弹性波分别对桩列数和孔列数的隔振效果进行了分析,研究表明:排桩数目越多,屏障体系的厚度越大,隔振效果越好。但是多排桩的排距对隔振效果的影响不明显<sup>[16]</sup>。

另外,减振墙也常用来作为隔振使用,其效能与减振沟类似。有试验表明,减振墙的板质、厚度和深度对减振效果均有影响,可以获得明显的减振效果,国外已成功地采用这种措施防止地铁和其他振动对建筑物的干扰,但减振墙的应用容易影响市容美观。

### 3.3 减振技术的研究

减振就是用弹性连接取代刚性连接,减少振动的能量从振源传递出去或者在基础与设备之间装设有效装置(例如弹性扣件、隔振垫层等),减弱通过基础传递到仪器设备的振动,从而达到降低振动、抑制传播的目的。目前,国内外城市轨道交通减振降噪技术主要体现在:选用合适的轨下基础、采用适当的弹性扣件、增加一定的弹性垫层、采用新型的钢轨线路、加强轨道的不平顺管理和采用优良的混凝土梁。

在高架线路采用弹性钢轨扣件,可以减小振动向桥梁和沿线建筑物传递,降低轮轨噪声以及抑制高架梁体对周边建筑物的二次噪声。日本高架线路测试结果表明,采用弹性钢轨扣件,噪声可降低3 dB<sup>[17]</sup>。采用适当的弹性扣件,可以增加整体道床的弹性。例如,在北京地铁使用的DTI型和DTV型扣件中,DTV型扣件经过室内试验比DTI型扣件可减少振动5~10 dB<sup>[7]</sup>。

弹性垫层是增加扣件弹性的重要组成部分,采用适当的弹性扣件可以增加整体道床的弹性,缓冲列车的动力作用<sup>[18]</sup>。北京新建的地铁和上海地铁采用钢轨下一层、铁垫板下两层的圆柱型橡胶垫板,均能满足一般地段需要<sup>[7]</sup>。必须指出的是,道床型式、扣件型式及弹性垫层之间都要有一定的匹配关系,应用操作时有些难度。

采用重型钢轨可有效抑制钢轨的垂向振动。将50 kg/m钢轨改成60 kg/m钢轨后,钢轨的垂向刚度增加,可以把列车冲击而产生的振动降低10%<sup>[19]</sup>。采用无缝线路,即将标准钢轨焊接成长型钢轨,减少钢轨接头数量,从而减少接头处轮轨冲击引起的振动与噪声。

在车辆运行过程中,轮轨噪声是城市轨道交通噪声的主要来源。由于噪声和振动在500~2500 Hz频率范围内线性相关,且钢轨在此范围内是主要的辐射体,因此,有效抑制钢轨振动、减小钢轨的振动加速度和频率是降噪的关键<sup>[18]</sup>。测试结果表明:钢轨打磨后,在振动频率为8~100 Hz范围内,振动水平下降4~8 dB,站台上的振动水平下降5~15 dB<sup>[20]</sup>。但必须要制定严格的养护维修计划,才能确保轨道处于平顺状态,从而减少振动与噪声对周围环境的影响。

高架轨道交通系统的桥梁优先采用混凝土梁柱以及整体性能好、振动相对小的结构形式;合理设计跨度和自振特性,以避免高速运行的列车与结构产生共振。另外,桥墩墩台采用桩型基础,可获得相比浅平的基础更佳减振效果。

## 4 结论

城市轨道交通的发展将是一个长期的过程,由振动引起的环境污染和带来对人们的健康伤害,这些已经成为高架轨道交通系统亟待解决的课题。城市高架轨道交通的振动控制是一项综合性工作,正是在这种背景下着手研究其引起的振动危害,并提出了相应的减振与隔振方法,达到理想的减振降噪的效果,因而对环境振动防止对策的研究已经成为一个非常新颖且重要的环境工程学的方向。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国环境保护法[S]. 1989
- [2] 日本《环境基本法》第2条第3项[S]. 1993
- [3] 蒋展鹏. 环境工程学[M]. 北京:高等教育出版社,2005
- [4] 陈建国. 高架轨道交通引起的环境振动预测与参数研究[D]. 北京:北京交通大学,2009
- [5] TIMON S. 工程中的振动问题[M]. 胡人礼译. 北京:人民铁道出版社,1978
- [6] 夏禾,吴莹,于大明. 城市轨道交通系统引起的环境振动问题[J]. 1999,23(4):1-7
- [7] 曹艳梅. 列车引起的自由场地及建筑物振动的理论分析和试验研究[D]. 北京:北京交通大学,2006
- [8] FUJIKAKA T A. Prediction Method for the Propagation of Ground Vibration from Railway Trains[J]. J of Sound and Vibration, 1986,111(2):289-297
- [9] 青木一郎. 铁道交通による振动とその周辺居民に対する影响[J]. 东京:东京都环境科学研究所年报,1994,18:24-30
- [10] HAYAKAWA K. Reduction Effects of Ballast Mats and EPS Blocks on Ground Vibration Caused by Train and its Evaluation[J]. Proc Inter-Noise,1992(10):233-240
- [11] 于秀娟,李广影. 城市轨道交通振动与噪声控制技术的研究[J]. 山西建筑,2010,36(18):257-258
- [12] WOODS R D. Screening of surface waves in soil[J]. Soil Mech Found Div,1968(4):951-979
- [13] LYSMER J, WAAS G. Shear waves in plane infinite structures[J]. J Eng Mech Div,1972,98:85-105
- [14] RICHART F E, WOODS R D. Vibration of Soils and foundations[M]. New Jersey:Prentice-Hall INC Englewood Cliffs,1987
- [15] WOODS R D, BARNET N E. A new tool for soil dynamics[J]. Journal of Geotechnical Engineering Division,1974,100(11):1234-1247
- [16] LIAO S, SANGREY D A. Use of Piles as Isolation Barriers[J]. Geot Eng,1978,104:1139-1152
- [17] VOLBERG G. Propagation of Ground Vibrations near Railway Tracks[J]. J of Sound and Vibration,1983,87(2):371-376
- [18] MOEHREN H H. The dynamics of low vibration track[J]. RT&S,1991,87(9):101-105
- [19] HONG H, THIEN C A. Analytical Modeling of Traffic-induced Ground Vibrations[J]. Journal of Engineering Mechanics,1998(8):921-925
- [20] 焦金红,张苏,耿传智,等. 轨道结构的减振降噪措施[J]. 城市轨道交通研究,2002(1):61-65

## Research Progress in Environment Vibration Pollution in Urban Rail Transportation

**JIANG Peng, LUO Xiao-juan, HOU Ming-ming,  
PENG Juan, GAO Chen-xi, SU Di**

(School of Environment and Bioengineering, Chongqing Technology  
and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Environment vibration and noise pollution produced from urban rail transportation loan become one of public urban pollutions. This paper mainly introduces the environment vibration coming from urban rail transportation and the perniciousness emanating from the vibration, discusses the consequence on environment vibration, reviews the application of vibration attenuation technology and vibration isolation measures to rail transportation and prospects its future application.

**Key words:** environment vibration; urban rail; vibration attenuation and vibration isolation