

城市轨道交通轨道减振降噪设计研究

李建斌

(铁道第三勘察设计院集团有限公司,天津 300000)

摘要:城市轨道交通的快速发展在创造良好的经济、社会和环境效益的同时,也不可避免地给城市带来了振动和噪声问题。通过对噪声源进行分析,得出轮轨噪声是城市轨道交通的主要噪声源。因此,合理选择轨道结构的型式是最为有效的减振降噪措施。通过对各种轨道结构减振型式的分析比选,得出轨道减振设计中合理、有效的减振降噪措施。

关键词:轨道交通;振动;噪声;轨道结构;减振降噪

中图分类号:U213.2+1 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2011)01-0073-05

0 引言

目前,城市轨道交通的发展日新月异,轨道交通不仅缓解了城市公交的压力,也提高了市民出行舒适度,创造了良好的经济、社会和环境效益。然而在投入运营后,轨道交通系统不可避免地给城市环境带来振动和噪声等问题,不但影响乘客和轨道沿线人们正常生活,也会引起有关设备和结构以及周边建筑物的疲劳损坏,缩短使用寿命。因此,如何做好轨道的减振降噪设计是城市轨道交通建设的一个重要课题,也是改善乘客舒适性和环境保护的一个重要课题。

从轨道交通振动与噪声的来源入手进行分析,确定主要噪声源。对各种减振降噪型轨道结构进行合理比选,得出合理、有效的减振降噪措施,从而减小轨下基础的振动,大大缓解地面振动以及高架结构的二次噪声,最终达到减振降噪的目的。

1 城市轨道交通振动与噪声的来源分析

大量结果表明:列车引起的噪声可分为4个部分:轮轨噪声、集电噪声、车厢的空气动力噪声和桥梁结构的二次振动噪声。轨道交通的主要噪声源随着列车的运行速度的变化而变化。当列车速度小于60 km/h时,主要噪声源为动力系统噪声;当列车速度在60~200 km/h时,主要表现为轮轨噪声;当列车速度大于200 km/h时,主要是为空气动力噪声^[1]。

我国的轨道交通运行速度一般为80 km/h,噪声的主要来源是轮轨噪声。解决好轮轨噪声是解决城市轨道交通减振降噪的关键。

地铁运行时的轮轨相互作用,激起钢轨和轨下基础的振动,钢轨就向外辐射噪声,振动随轨下基础向周围传递,激发建筑物产生低频噪声。轮轨噪声分为3种类型:尖叫噪声、冲击噪声和滚动噪声。

(1)尖叫噪声。当列车通过小曲线半径时,由于车轮受转向架的约束,不能正切于钢轨运行,引起车轮沿着钢轨滚动时横向滑动轨头,由此产生轮轨接触表面的粘着和空转,引起车轮共振而产生强的窄频带尖叫噪声。

(2)冲击噪声。车轮通过轨缝、道岔或擦伤的车轮在钢轨上滚动时引起的是冲击噪声。

(3)滚动噪声。通常是没有擦伤的车轮在状态良好的直线钢轨上滚动时所发出的噪声,只是由于车轮和钢轨表面上的小面积粗糙造成的。

轨道结构在列车、轨道、以及桥梁这个振动系统中,不仅是主要振源,同时也是传递振动的实体。合

收稿日期:2010-10-28

作者简介:李建斌 男 1982年出生 助理工程师

理选择减振降噪型轨道结构的型式,才能有效地控制城市轨道交通的振动与噪声。

2 减振降噪型轨道结构的设计原则

减振降噪应以工程环境评价报告为依据,经现场详细调研,明确振动与噪声的保护对象和范围,确定期望值,根据线路铺设形式、地质条件等合理选型。

减振降噪型轨道结构的设计应遵循以下主要设计原则^[2]:①良好的稳定性和耐久性,良好的减振降噪性;②结构简单,施工和安装的简便性;③轨道几何形位的可调性;④低成本、少养护维修。

上海地铁 1 号线有测试表明:在饱和软土地层中,对于一般埋深(10 m 左右)的地下线,其中心线处地表振动超标 5 ~ 10 dB;当线路埋深超过 30 m 时,混凝土基础的建筑物的振动大大降低^[3]。在做轨道减振设计时,如果线路埋深很深(即超过 30 m)时,可以适当采取低一级别的减振降噪措施,以达到节约工程造价,避免浪费的目的。

3 各种减振降噪措施的比选

传统的轨道减振措施一般分三级:一般减振、较高减振、特殊减振。本文减振措施分为四级,在较高减振和特殊减振之间增加了高等减振措施;主要是考虑较高减振和特殊减振措施的减振效果存在明显的差距,当较高减振措施刚刚不能满足环评要求时,采用特殊减振又比较浪费,因此引入高等减振措施是一个既经济、又合理的减振方案。

3.1 一般减振措施

(1)采用 60 kg/m 重型钢轨,弹性分开式扣件,铺设无缝线路,以减小钢轨所受的列车冲击振动,降低地铁运营对沿线建筑物的振动影响。

(2)在小半径曲线地段钢轨侧面经常涂油,定期对钢轨表面进行打磨,对车轮进行镟削,从而有效抑制滚动噪声的产生。

(3)在半径小于 400 m 的曲线及高架线跨越铁路、城市主干道等地段,采用弹性减磨、防脱护轮轨。

(4)在环境敏感地段,线路选线设计时应尽量避免采用小半径曲线,以减小轮缘对钢轨内侧的冲击,降低轮轨接触中的尖叫噪声。

3.2 中等减振措施

中等减振措施的减振效果为 8 dB 左右。

(1)采用弹性短轨枕。弹性短轨枕是在短轨枕外面,套上橡胶减振套靴,这样能大幅度降低道床应力,减少振动。如图 1 所示。

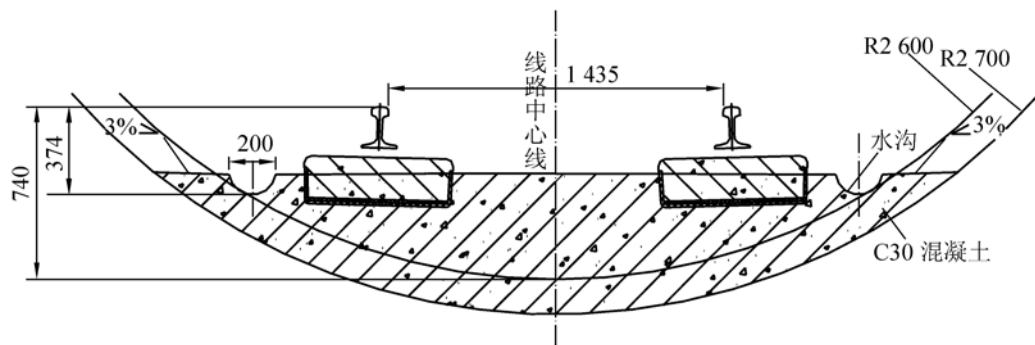


图 1 弹性短轨枕式整体道床 (单位:mm)

铁科院为高速铁路研究铺设了弹性短轨枕,经室内试验表明:采用弹性短轨枕,轮轨间相互作用力减少 39 ~ 52 kN,短轨枕振动加速度下降 17g ~ 46g,减少振动噪声约 10 dB,减振效果良好。根据瑞士 SBB 资料介绍弹性短轨枕运营 17 a 后,轨道几何形状保持标准范围。

该型式道床铺设在上海轨道交通明珠线、广州地铁二号线、深圳地铁一期工程、天津地铁 1 号线等。

(2)采用 GJ-Ⅲ型减振降噪扣件。该扣件由轨下橡胶垫、上铁垫板、中间橡胶垫、下铁垫板和自锁机构

等组成。

上铁垫板用来固定弹条和支撑钢轨;下铁垫板的作用,对下是通过锚固螺栓将整个扣件固定在轨枕上;对上通过锁定机构将上铁垫板位置锁定,限制铁垫板前后左右上五方向的运动,只允许其向下在中间橡胶垫上做弹性运动。如图 2 所示。

轨下橡胶垫和中间橡胶垫是主要的弹性元件,采用弹性好、综合力学性能优良的天然橡胶制作。扣件底部可加设一层或几层橡塑垫板,其静刚度高,主要起调高和加强绝缘的作用,最大调高量可达 30 mm。该扣件与一般弹性扣件一样可随时更换其中每一个部件,便于维修和替换。从对扣件的落锤冲击实验得出,该扣件较一般弹性扣件,振动降低明显。

目前该扣件已经在北京、上海、深圳地铁中广泛采用。

3.3 高等减振措施

高等减振措施的减振效果为 8 ~ 15 dB。可采用 VANGUARD 扣件或 Calenberg 道砟垫等措施来实现减振降噪。

(1)VANGUARD 扣件具有很低的动态刚度(7.5 kN/mm)或更低,通车条件下的竖向位移达到 3 mm 或更多;减振效果类同浮置板系统,但成本比浮置板系统低得多,更易于平时的维护保养和调整。该扣件能有效降低振动及二次噪音;可用于现存的钢轨高度严格受限的区域;对新线建设,VANGUARD 扣件可降低隧道断面尺寸,大大节约建设投资;所有组件的更换都简便易行,从而极大地方便了平常的维护保养。如图 3 所示。

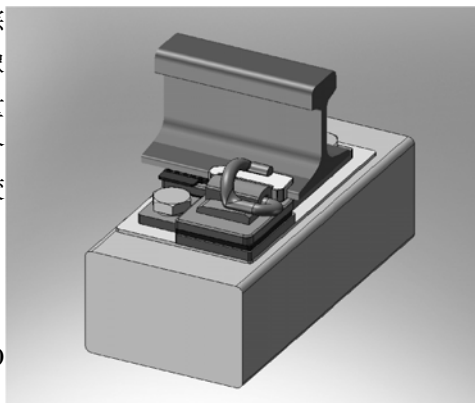


图 2 GJ-III型减振降噪扣件

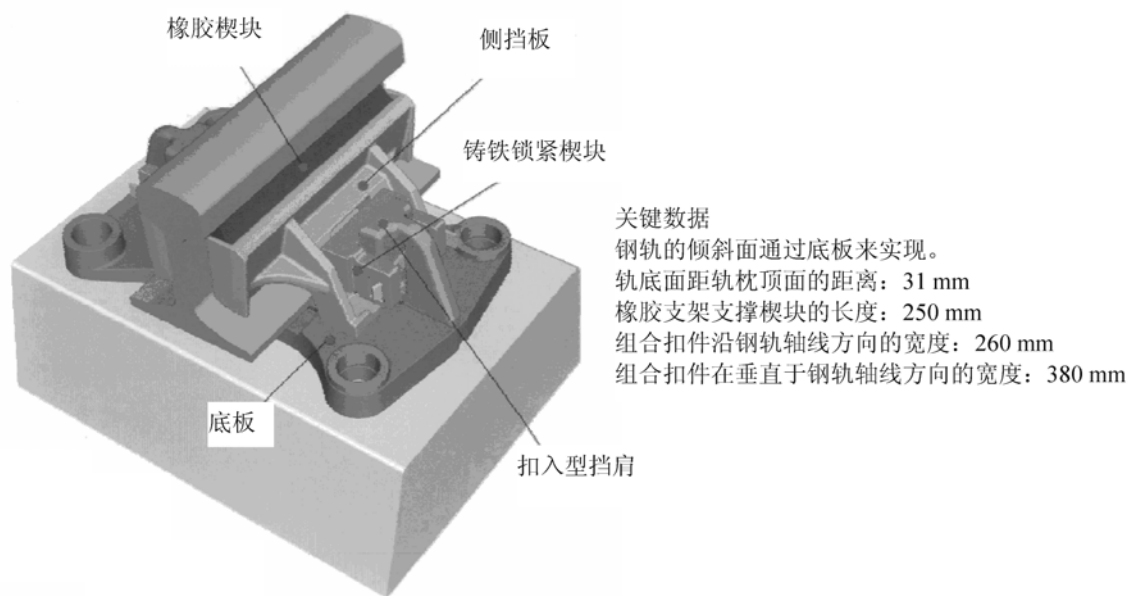


图 3 VANGUARD 扣件示意

(2)Calenberg 道砟垫铺设在道床下,对结构振动和噪声具有高效隔离性;可减少轨道部件的应力和磨损;使用寿命长,施工方便、快速;不影响过轨管线,在道岔区使用方便。但该道砟垫不足之处是更换较为困难。图 4 为 Calenberg 道砟垫示意图。

3.4 特殊减振措施

特殊减振措施的减振效果一般为 15 dB 以上。在线路中心距离医院、学校、音乐厅、精密仪器厂、文物保护单位、高级宾馆等建筑物小于 20 m、及穿越地段,宜采用特殊减振轨道结构。可采用橡胶浮置板道床或弹簧浮置板整体道床。

橡胶浮置板道床是利用浮置板下面的大橡胶垫提供弹性,广州地铁一号线铺设了这种减振轨道结

构。更换大橡胶垫较为麻烦。目前在地铁中,普遍采用钢弹簧浮置板整体道床。钢弹簧浮置板减振轨道结构又称质量-弹簧系统^[4]。其基本原理是在轨道上部建筑与基础间插入一固有振动频率远低于激振频率的线性谐振器,即将具有一定质量和刚度的混凝土道床板浮置在橡胶或者弹簧隔振器上,利用浮置板质量惯性来平衡列车运行引起的动荷载,仅有没有被平衡的动荷载和静荷载才通过钢弹簧元件传到路基或者隧道结构上,达到减振的目的。采用钢弹簧支撑时,隔振器内放有螺旋钢弹簧和粘滞阻尼。

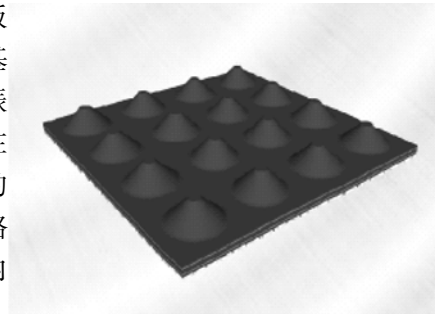


图 4 Calenberg 道砟垫示意

隔振设计的一个原则是降低振动系统的固有频率,固有频率 $f_0 = \omega_0/2\pi = \sqrt{K/M}/2\pi$ 。由上式看出,降低浮置板系统固有频率一般有两种方法即一种是增加浮置板的质量 M ;另外一种减小隔振器的刚度 K 。如图 5 所示。

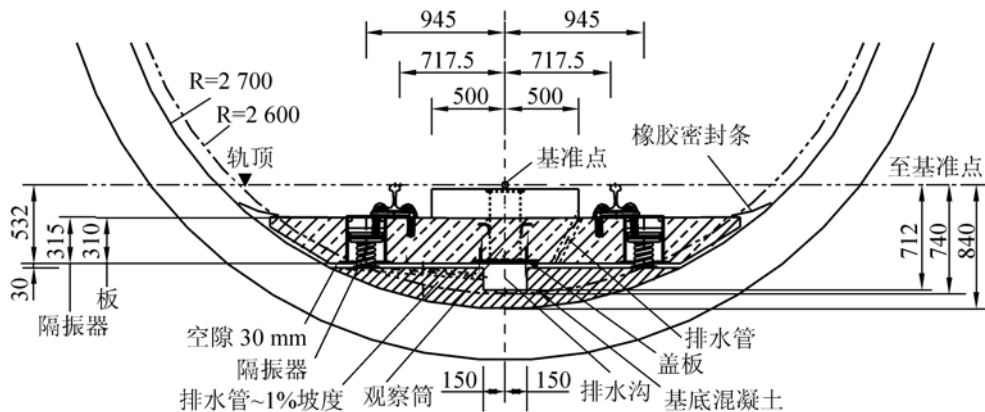


图 5 钢弹簧浮置板整体道床圆形断面示意(单位:mm)

对于橡胶支座浮置板道床,通常采用增加浮置板厚度和重级配混凝土的办法降低自振频率,而对于钢弹簧浮置板,由于弹簧刚度的可设计性强,所以钢弹簧浮置板还可以通过采用减小弹簧刚度来降低自振频率,因此,钢弹簧浮置板的固有频率可以设计得比橡胶支撑浮置板低,减振效果会更好。

钢弹簧减振系统的浮置板轨道在德国最先采用,减振效果良好,比橡胶浮置板的减振效果提高了约 5 dB。在深圳地铁 1 号线续建工程、2 号线、5 号线、北京城铁、上海明珠二期工程、南京地铁采用了此种道床。

综合考虑到钢弹簧浮置板便于维修养护,技术先进,减振效果良好。目前,在新建线路上推荐采用钢弹簧浮置板整体道床的特殊减振轨道结构。

4 结束语

对轨道减振措施的选择应慎之又慎。一方面要节约投资,另一方面要考虑环境等因素又不得不增加投资;不能只考虑节约投资而忽视环境、以后运营等问题。一旦建成,要对其整改,所花的费用可能是一次性投资的几倍。通过对以上减振降噪措施的分析比选,初步得出城市轨道交通设计中较为经济、合理的减振方案。

(1)城市轨道交通所采取的轨道减振降噪措施。①一般减振地段,采取使用铺设无缝线路、重型钢轨、弹性分开式扣件、小半径曲线定期涂油、打磨等措施。②中等减振地段。考虑到弹性短轨枕的弹性套靴失效性、以及损坏后不易更换,目前推荐采用轨道减振器扣件,如 GJ-III 型减振降噪扣件。③高等减振地段。由于 VANGUARD 扣件具有良好的减振性能和可更换性,推荐采用 VANGUARD 扣件。④特殊减振地段。由于橡胶浮置板道床损坏后不易更换,推荐采用钢弹簧浮置板整体道床。

(2)建议。城市轨道交通轨道减振降噪工程是一项复杂的系统工程,需要相关专业共同配合、综合治理才能取得满意的效果。减振降噪型轨道结构的比选,需要根据具体的环评要求,进行具体的设计。只

有合理的选择减振降噪型轨道结构型式,才能既经济、又合理地实现轨道的减振降噪,从而真正解决城市轨道交通给城市带来的振动与噪声问题。

参 考 文 献

- [1] 练松良,刘加华.城市轨道交通减振降噪型轨道结构的选择[J].城市轨道交通研究,2003,6(3):35-41.
- [2] 北京城建设计研究总院. GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
- [3] 葛世平.城市轨道交通的振动和噪声对环境的影响及其对策[J].城市轨道交通研究,2003,6(3):30-34.
- [4] 王汉民.城市轨道交通浮置板轨道振动特性研究及对邻近建筑物的影响[D]. 北京:北京交通大学土木工程学院,2009.

Study on Reductions of Track Noise and Vibrations in Urban Rail Transit

Li Jianbin

(The Third Railway Survey & Design Institute, Tianjin 300000, China)

Abstract: While the rapid development of urban rail transit creates well economic, social and environmental benefits, it brings along quite a few problems of noise and vibrations inevitably. According to the analysis of noise origin, we get the conclusion that wheel-rail noise plays the most important role in the field of noise origin of urban rail transit. Consequently, the selection of reasonable types of track structure is becoming the best measure to reduce noise and vibrations. By comparisons among various kinds of track structure, the suggestions are made on reasonable and effective measures for track vibration reduction designs.

Key words: rail transit; vibration; noise; track structure; reduction of noise and vibrations

~~~~~  
(上接第 72 页)

## 参 考 文 献

- [1] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 王伟华. 土路基双块式无砟轨道垂向动力特性分析[D]. 成都:西南交通大学土木工程学院,2009.
- [3] 任尊松. 车辆动力学基础[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.

## Study on Dynamic Response of High Speed Train Excited by Irregularity of Rail Gauge

Zhang Xin, Li Xiangguo, Wang Haiyun, Yan Gongfu

(Institute of Civil Engineering of Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** In order to analyze dynamic responses of high speed train under the irregularity of rail gauge, simulations models are set up for irregularity of rail gauge on the straight and curve rails. Dynamic responses of train under different train speeds in the irregularity of rail gauge are calculated numerically, and each index is compared and analyzed.

**Key words:** irregularity of rail gauge; dynamic response; dynamic simulation