

城市轨道交通车辆轮轨系统噪声辐射分析

余 俊

(中国中车股份有限公司, 100039, 北京//高级工程师)

摘 要 采用轮轨噪声预测软件(TWINS 模型),研究了某城市轨道交通车辆轮轨系统的振动与声辐射特性,分析了引起系统振动和声辐射的主要原因。研究表明:R 模式为轴向模态,会导致车轮沿轴向的大幅振动;车轮和钢轨的辐射声功率随着速度的增加而增加,钢轨辐射声功率显著大于车轮的声辐射功率;隧道状态下的声学响应显著大于自由场状态下声学响应,底架区域自由场和隧道状态下的声学响应差异不大。

关键词 城市轨道交通车辆; 轮轨噪声; 声辐射; TWINS 模型

中图分类号 U270.1*6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.04.015

Noise Radiation Characteristics of Urban Rail Vehicle Wheel/Rail System

YU Jun

Abstract Based on TWINS theory, the vibration and sound radiation characteristics of the wheel/rail system of a certain urban rail transit vehicle are studied, the main factors causing the system vibration and sound radiation characteristics are analyzed. The research result shows that when the R mode is adopted as the axial mode, it will cause the wheel to vibrate substantially in the axial direction; the radiated sound power of wheel and rail will increase with the increase of speed, and the rail radiated sound power is significantly greater than wheel radiated sound power. While in tunnel state, the acoustic response is significantly greater than that in free field state, but there is little difference between the free field in the underframe area and the acoustic response.

Key words urban rail vehicle; wheel/rail noise; sound radiation; TWINS model

Author's address CRRC Corporation Limited, 100039, Beijing, China

明,城轨车辆车内外的噪声问题主要由轮轨噪声引起。轮轨噪声从产生机理上讲可分为曲线啸叫、冲击噪声和滚动噪声等,其中滚动噪声是由车轮和钢轨表面不平顺激发轮轨系统振动并由空气向周围环境传播的噪声,其主要来源于车轮和钢轨两个方面^[4-5]。

本文采用轮轨噪声预测软件(TWINS 模型),研究某城市轨道交通车辆轮轨系统振动与声辐射特性,分析引起系统振动和声辐射的主要原因,以期降低轮轨噪声的技术攻关提供参考。

1 TWINS 模型

TWINS 模型将车轮视为有限元模型,将轨道模型考虑为两层离散点支撑的 Timoshenko 梁模型。轮轨相互作用会引发车轮和钢轨振动,钢轨通过扣件系统将振动传递到轨枕,使得轨枕也产生辐射噪声。

国内外大量现场测试表明,TWINS 模型能够较为准确、可靠地预测轮轨滚动噪声,因此,TWINS 模型已经成为预测轮轨噪声水平、指导轨道交通新线设计和既有线路改造,以及开发减振降噪产品的主要技术工具。

采用 TWINS 模型对轮轨噪声进行分析计算的过程中,首先需要对车轮的结构模态进行求解。现有研究表明,车轮 2D 轴对称有限元模型计算得到的振动模态结果与 3D 实体单元模型计算结果相比,两者差异很小,但采用前者可以大大缩短计算时间,降低计算成本。因此,本文对某城轨车辆车轮系统建立 2D 轴对称有限元模型,如图 1 所示。

2 车轮轴对称模态分析

车轮结构的振动模态可用节径数和节圆数来表征。节径是指在振动过程中,在车轮整个近似于圆板的结构上,一根或一根以上直径的振动位移保

随着我国城市轨道交通的快速发展和人民生活水平的不断提高,城轨车辆噪声问题也日显突出,受到了社会上的广泛关注^[1-3]。现有研究成果表

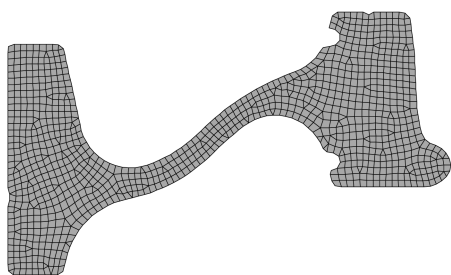


图1 轮轨系统2D轴对称有限元模型单元

持为零,节径数确定了车轮振幅沿车轮周向的分布。节圆是指在振动过程中,车轮整个近似于圆板的结构上,一个或一个以上与边界同心圆的振动位移保持为零,节径数确定车轮振动。

目前,轨道交通车辆噪声问题研究的频率通常在5 000 Hz以内。考虑到模态问题,本文车轮2D轴对称模态分析的高频截止频率为6 000 Hz。模态的固有频率如表1所示。

表1 车轮2D轴对称模态固有频率

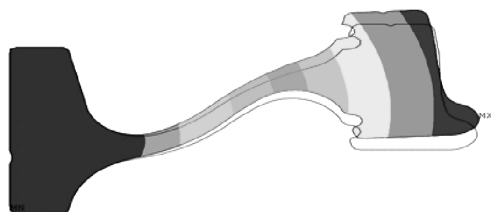
节径数	0L模态	1L模态	2L模态	R模态
0	540	1 847	5 275	2732
1	301	2 246	5 276	3257
2	500	2 943	5 421	1492
3	1 237	3 800	5 665	2101
4	2 174	4 700		2917
5	3 209	5 563		3878
6	4 297			4933
7	5 412			

图2以1节径为例,给出了图1所建的某城市轨道交通车辆车轮2D轴对称模态分析结果。由图2可以看出,0L模态、1L模态及2L模态为车轮的径向模态,其引起车轮腹板的径向振动,并进一步导致车轮向其所处空间辐射声能量。R模态为轴向模态,其导致车轮沿轴向的大幅振动。

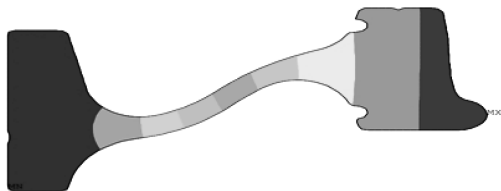
3 轮轨噪声仿真分析

图3给出了不同速度等级下,车轮和钢轨辐射声功率以及轮轨耦合系统总辐射声功率的仿真分析结果。由图3可以看出车轮和钢轨的辐射声功率随着速度的增加而增加,相同速度等级下,钢轨的声辐射总之显著大于车轮的声辐射总值。

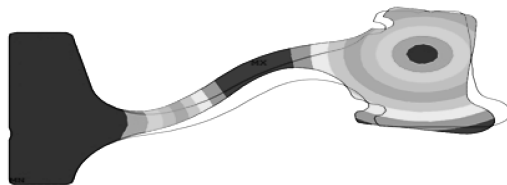
图4和图5分别给出了列车在60 km/h运行状态下车轮和钢轨的声学辐射特性。由图4和图5对比可知,在计算频率范围内,钢轨的辐射声功率显



a) 0L0 (539.6 Hz)



b) CIRCLE (641.5 Hz)



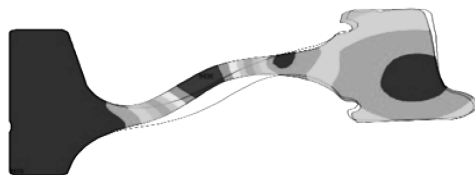
c) 1L0 (1 847.3 Hz)



d) R0 (2 732.7 Hz)



e) R0 (2 732.7 Hz)



f) 2L0 (5 274.8 Hz)

图2 车轮2D轴对称模态分析结果

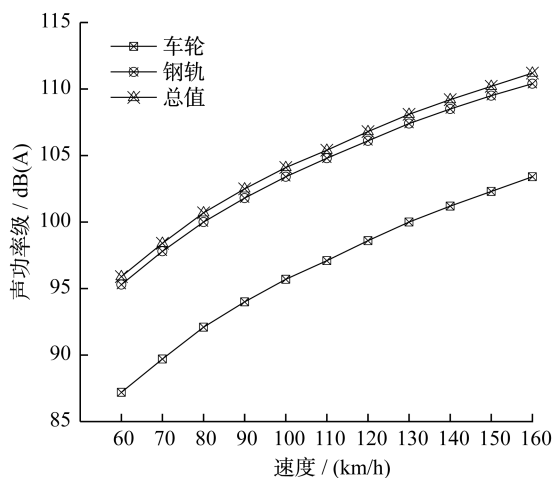


图3 轮轨系统辐射噪声仿真结果

著大于车轮的声辐射功率。钢轨辐射声功率的显著频率为400~2 000 Hz。

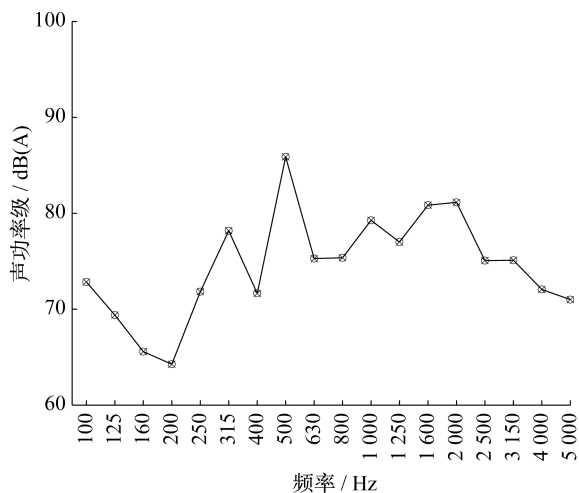


图4 车轮辐射噪声仿真结果



图5 钢轨辐射噪声仿真结果

4 轮轨噪声辐射特性仿真分析

轮轨噪声通过车体传入车内的空气传声路径是城轨车辆车内噪声的主要来源,获取由轮轨噪声形成的车体表面声场特性对于车内噪声的预测分析和车内的减振降噪起到至关重要的作用。由于下牵引辅助设备及其吊装设施以及连接电缆形状分布的复杂性,考虑到声波传递过程中的反射、衍射等特性,较难通过仿真分析的方法获取轮轨噪声至车体表面各位置的传递函数。

通过本文研究车辆的对标车辆轮轨噪声至车体表面关键位置传递函数的测试分析(非关键位置的传递函数由附近区域关键测点传递函数的插值获取),可得到轮轨噪声至车体表面完整的声学传递函数。图6给出了车辆在自由场状态下轮轨噪声至顶板中部、侧墙中部和底架中部的传递函数曲线。从图6可以看出,在相同频率下,传递函数值顶板最小,侧墙居中,底架最大。

以60 km/h 轮轨噪声仿真分析结果和轮轨噪声至车体表面声场传递函数为输入,得到的车辆在自由场状态下和隧道状态下车体表面声场的仿真分析结果如图7和图8所示。由图7和图8可以看出,在车体表面顶板和侧墙的不同位置,隧道状态下的声学相应显著大于自由场状态下的声学相应,底架区域自由场和隧道状态下的声学相应差异不大。

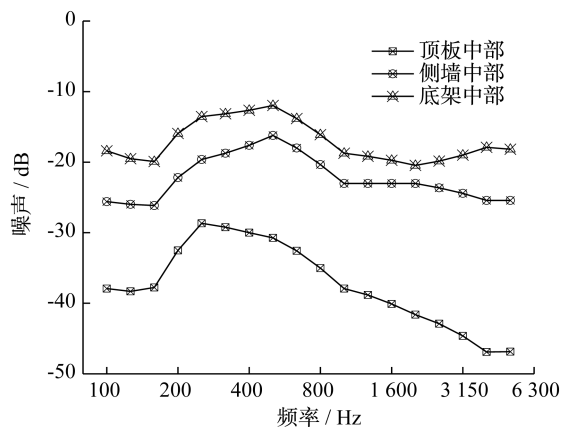


图6 轮轨噪声实测传递函数曲线

5 结论

1) 0L、1L和2L模态为车轮的径向模态,会引发车轮腹板径向的振动,进一步导致车轮向其所处空间辐射声能量;R模态为轴向模态,会导致车轮沿轴向的大幅振动。

(下转第88页)

观质量,减少了不锈钢板去膜、除黑、防护等工序,进一步提高了生产效率。该技术已在北京地铁6号线、美国波士顿地铁项目及洛杉矶地铁项目中批量应用,填补了国内轨道交通车辆制造中激光焊接技术应用的空白,实现了轨道客车领域核心技术突破,对于提升产品在国内市场的竞争力具有重要意义。

参考文献

- [1] 赵明花. 城市轨道交通车辆不锈钢车体的研发[J]. 城市轨道交通研究, 2007(1):76.
- [2] 戴惠新,郑云昊,朱亚军,等. 轨道车辆车体底架用防火涂料

介绍[J]. 现代涂料与涂装, 2015, 18(1):33.

- [3] ARATA Y, MATSUDA F. Solidification crack susceptibility of Aluminum alloy weld metals (Report 1) characteristics of ductility curves during solidification by means of transverse strain test[J]. Trans JWRI, 1976, 5(2):35.
- [4] DAVID S A, BADU S S, VITEK J M. Welding: Solidification and microstructure[J]. JOM, 2003, 55:14.
- [5] LIU L M, ZHANG Z D, SONG G. Mechanism and microstructure of oxide fluxes for gas tungsten arc welding of magnesium alloy[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2007, 38(3):649.

(收稿日期:2019-07-05)

(上接第64页)

2) 车轮和钢轨的辐射声功率随着速度的增加而增加,相同速度等级下,钢轨的声辐射总值显著大于车轮的声辐射总值。

3) 在计算频率范围内,钢轨的声辐射功率显著

大于车轮的声辐射功率。钢轨声辐射功率的显著频率为400~2 000 Hz。

4) 车体表面顶板和侧墙相同位置,隧道状态下的声学相应显著大于自由场状态下声学相应,底架区域自由场和隧道状态下的声学相应差异不大。

本文通过TWINS模型,研究了某城市轨道交通的车辆轮轨系统振动和声辐射特性,分析引起系统振动和声辐射特性的主要原因。所得结果对城市轨道交通环境噪声的控制具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 何宾. 高速列车车外噪声分布特征及车轮阻尼控制措施初步探讨[D]. 成都:西南交通大学, 2011.
- [2] 韩光旭. 高速列车车轮非圆化对振动噪声的影响及演变规律研究[D]. 成都:西南交通大学, 2015.
- [3] 刘玉霞,温泽峰,彭金方,等. 不同阻尼形式对车轮振动声辐射特性的影响[J]. 噪声与振动控制, 2014, 34(4):62.
- [4] 高文艳. 有砟轨道轮轨滚动噪声预测方法研究[D]. 兰州:兰州交通大学, 2013.
- [5] 黄婧. 列车车轮振动与声辐射仿真分析[D]. 南昌:华东交通大学, 2014.

(收稿日期:2019-10-11)

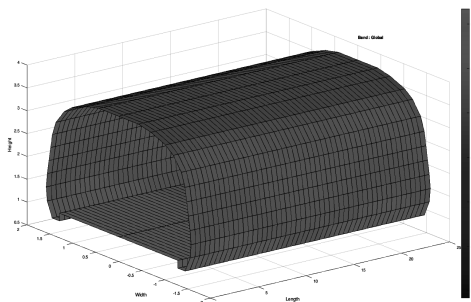


图7 自由场状态下车体表面声场仿真分析结果

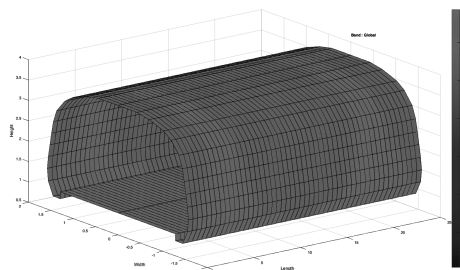


图8 隧道状态下车体表面声场仿真分析结果

《城市轨道交通研究》欢迎投稿

投稿网址:tougao.umat1998.com