

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2018.04.011

高速列车车身结构声振特性分析

耿 卓,张学飞

(常州大学 城市轨道交通学院,江苏 常州 213164)

摘要:通过现场测试,并按相关标准规定对测试结果进行了分析,明确了列车以 300 km/h 匀速运行时车体内外振动噪声的动态特性。试验中发现观光区噪声在 127 Hz 和 572 Hz 均存在显著波峰,针对这一问题,对观光区内及下方转向架区域进行振动噪声频谱特性分析,结果表明,结构传声是观光区在 127 Hz 和 572 Hz 处出现局部峰值的主要传递路径之一。列车以 300 km/h 匀速运行时,观光区噪声在 127 Hz 频率处的显著波峰由列车过枕轨激励产生,车体系统的结构振动与车内声学空腔存在相互耦合关系,最终导致车室内在 127 Hz 附近存在显著峰值。观光区噪声在 572 Hz 频率处的显著波峰与车轮 20 阶多边形有关,如需进一步确定还需对车辆进行车轮不圆度测试。

关键词:高速列车;振动噪声;结构传声;车轮多边形;声学模态

中图分类号:U 270.1,U 238

文献标志码:A

文章编号:2095-0411(2018)04-0064-05

Analysis on Acoustic and Vibration Characteristics of CRH380B Series High-Speed Trains Sightseeing Area

GENG Zhuo, ZHANG Xuefei

(School of Urban Rail Transit, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Through a field test and an analysis of the test results based on relevant standards, the dynamic characteristics of the inside and outside vibration and noise of the train at a uniform speed of 300 km/h are clarified. It is found that there are significant peak at 127 Hz and 572 Hz, respectively. Aiming at these findings, the vibration and noise spectrum characteristics of bogies inside and outside the sightseeing area are analyzed. The results show that the structural transmission is one of the main transmission paths of local peaks at 127 Hz and 572 Hz in the sightseeing area. When the train is running at the uniform speed of 300 km/h, a significant peak of noise at the frequency of 127 Hz is generated by the train's trajectory and the structural vibration of the vehicle body is coupled with the acoustic cavity in the train, which eventually leads to a significant peak at the frequency of 127Hz in the

收稿日期:2018-01-25。

作者简介:耿卓(1993—),男,黑龙江齐齐哈尔人,硕士生。通讯联系人:张学飞(1965—),E-mail:1759247628@qq.com

引用本文:耿卓,张学飞.高速列车车身结构声振特性分析[J].常州大学学报(自然科学版),2018,30(4):64-68.

sightseeing area. The significant peak at the frequency of 572 Hz is related to the 20-step polygon of the wheel. For further determination, it is necessary to hold a test on wheel roundness.

Key words: high-speed train; vibration and noise; structure transmission; acoustic modal; wheel polygon

随着中国高速铁路事业的蓬勃发展,车内噪声问题已逐渐成为其运行可靠性、安全性、舒适性等的重要影响因素之一^[1-2],轮轨噪声是车内主要噪声源之一,随着车速的提高与运营里程的增加,其对车内噪声的影响也更为复杂^[3-4]。

在某些特定的条件下,车内噪声会出现显著波峰,这主要和列车受到不同载荷激励所产生特定车内声学响应有关,其对列车整体安全性与乘客的乘坐舒适性会产生较大影响^[5]。对于此类问题,如何明确其产生机理并对此类问题提出相应的改善措施具有重大意义。张倍基于有限元法和边界元法对高速列车结构振动与噪声预测进行了研究。林传勇根据能量统计法对高速列车整车前期振动噪声优化对比分析,在声音的传递路径上对振动噪声进行处理^[6]。毛杰等通过对比验证,提出了基于改进的 Zwicker 算法评价动车组内异响问题。这些研究为高速列车振动噪声问题的探索奠定了坚实的基础^[7]。但是,如何分析判断振动噪声的传播规律及其和车体部件的声振关系,了解车内噪声出现显著波峰的形成机理,提出有效的解决方法仍有待深入研究^[8-9]。

1 高速列车振动噪声线路实验

测试某型号高速列车观光区内的噪声水平,分析判断振动噪声的传播规律及其和车体部件的声振关系。实验中发现列车分别以8车为头车和以8车为尾车运行时,某型号高速列车在127 Hz和572 Hz处均存在显著波峰。为深入分析某型号高速列车以8车为头车运行时观光区内噪声在127 Hz和572 Hz出现显著波峰的原因,对运行状态下车体及转向架区域进行噪声频谱分析。列车运行试验都是在既有线路上进行。该型号高速列车为8节编组。试验时被试车辆处于正常工作状态。测量过程中车辆门窗关闭。

图1给出了观光区噪声测点布置的示意图,其中“●”表示测点位置,传声器与车体呈弹性连接,传声器面朝上,其轴线与地面垂直,观光区共布设6个噪声测点。图2给出了该型号高速列车观光区内振动测点布置的示意图,其中“■”表示测点位置,车体内装板共布设7个振动测点。车体外壳共布设6个振动测点。图3给出了车体下转向架区域部分振动测点照片,其中“□”表示测点位置。车体下方转向架区域布置10个振动测点。

所有测试用传感器满足 IEC651(1979)以及 IEC60804(1985)的要求。

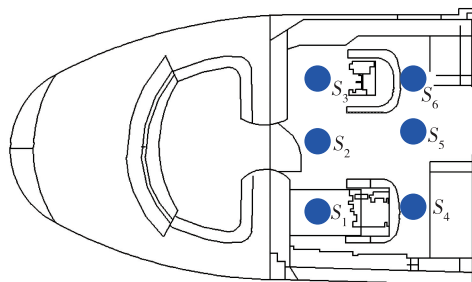


图1 观光区(8车)噪声测点布置图

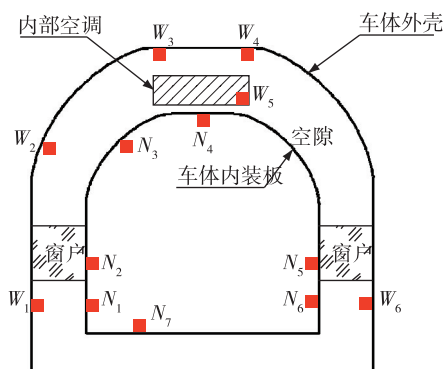


图2 观光区(8车)内振动测点布置图

2 测试结果及分析

2.1 观光区内噪声频谱特性对比分析

为获得某型号高速列车观光区内噪声频谱特性,现对 3 组试验列车观光区内噪声频谱特性进行对比分析。

由图 4 可知,某型号高速列车观光区内噪声频谱特性具有较好的一致性,列车分别以 8 车为头车和以 8 车为尾车运行时,某型号高速列车在 127 Hz 和 572 Hz 处均存在显著波峰。为深入分析该型号高速列车以 8 车为头车运行时观光区内噪声在 127 Hz 和 572 Hz 出现显著波峰的原因,现选取该高速列车测试数据作为典型数据进行分析。为更好地展现该高速列车观光区内噪声频谱规律,现给出该高速列车分别以 8 车为头车和以 8 车为尾车运行时观光区噪声在 0~2 000 Hz 频率范围内的窄带频谱对比图。

由图 5 可知,该高速列车分别以 8 车为头车和以 8 车为尾车运行时,观光区噪声在 127 Hz 和 572 Hz 均存在显著波峰。为分析观光区噪声在 127 Hz 和 572 Hz 均存在显著波峰的原因,下面对观光区内及下方转向架区域振动频谱特性进行分析。

2.2 观光区内及下方转向架区域振动频谱特性分析

为进一步分析该高速列车观光区噪声在 127 Hz 和 572 Hz 出现显著波峰的原因,现给出观光区中部断面振动测点在 110~140 Hz(对应 125 Hz 的 1/3 倍频程)和 560~700 Hz(对应 630 Hz 的 1/3 倍频程)频率范围内的窄带频谱分析。

由图 6 可知,观光区中部断面振动在 127 Hz 和 572 Hz 存在显著的局部峰值,为进一步分析车内振动在这 2 个频率出现显著波峰的原因,现对车下振动进行窄带频谱特性分析。

根据车下振动动力源不同,车下振动可通过两条路径传到车上。为全面分析车内振动来源,现分别对由空簧下-枕梁-车体外地板组成的以轴箱为动力源的振动传递路径和由心盘下-心盘上-车体外地板组成的以齿轮箱、牵引电机为动力源的振动传递路径进行分析。

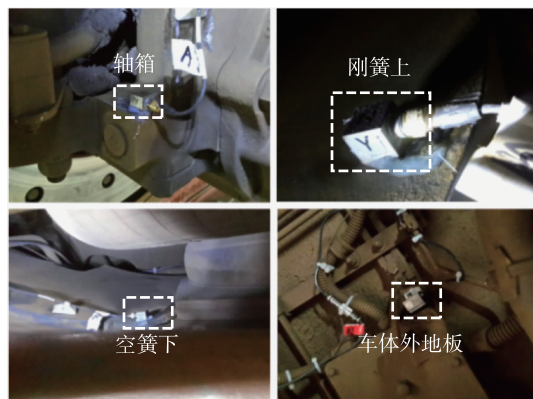


图 3 转向架区域部分振动测点照片

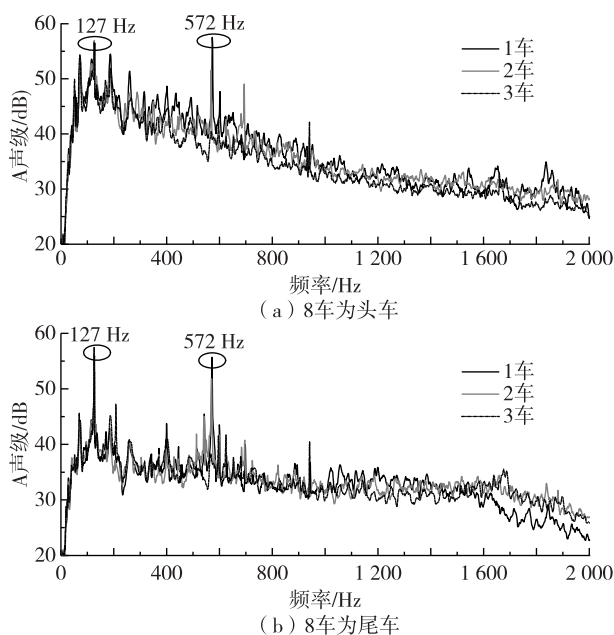


图 4 某型号高速列车观光区内噪声频谱特性图

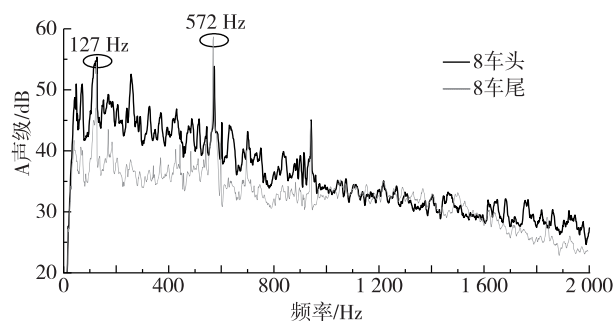
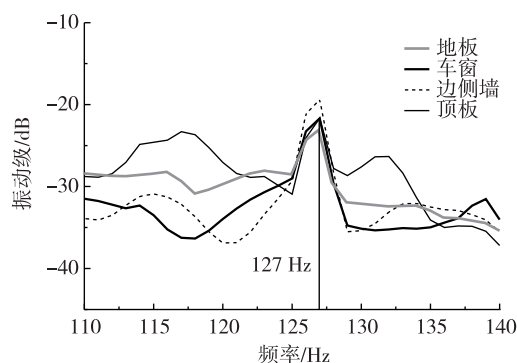


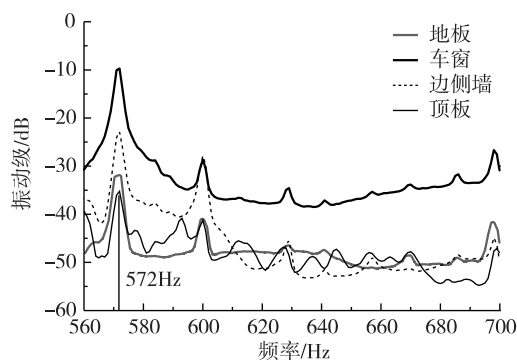
图 5 不同运行工况下观光区噪声窄带频谱对比

由图7和图8可知,观光区下方转向架区域振动在以空簧下-枕梁-车体外地板组成的以轴箱为动力源的振动传递路径和由心盘下-心盘上-车体外地板组成的以齿轮箱、牵引电机为动力源的振动传递路径上的各测点位置处的振动频谱均在127 Hz和572 Hz处出现显著的局部峰值。为进一步分析运行状态下观光区内及下方转向架区域振动噪声在127 Hz和572 Hz这2个频率出现显著波峰的原因,现给出加速工况下观光内及下方转向架区域典型测点处的振动噪声时频图。

由图9可知,127 Hz和572 Hz这2个振动噪声局部峰值频率在对应的时频图整个时间历程上出现了一条较为明显的弧形亮带,当车速达到300 km/h时,竖直亮带对应127 Hz和572 Hz,即这2个频率是和车辆运行速度相关的振动噪声显著频率。

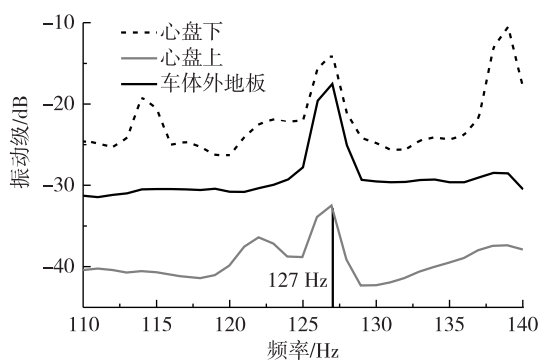


(a) 110~140 Hz

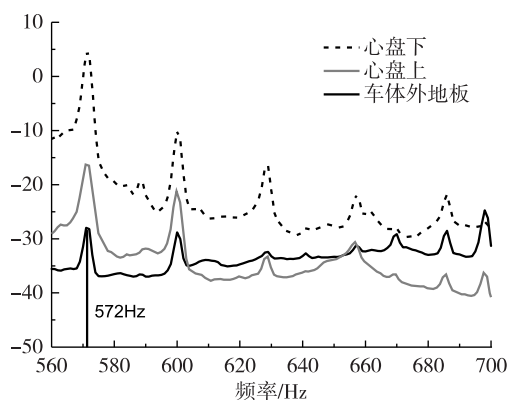


(b) 560~700 Hz

图6 观光区中部断面振动显著频带频谱特性

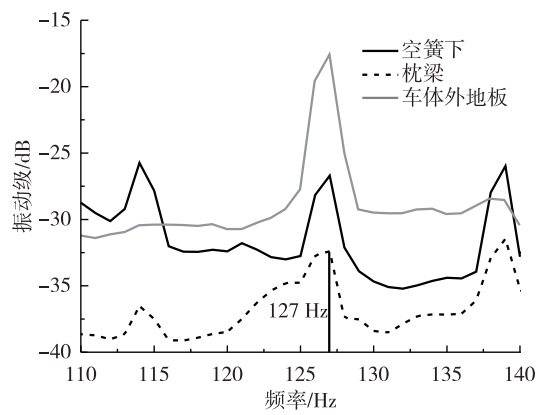


(a) 110~140 Hz

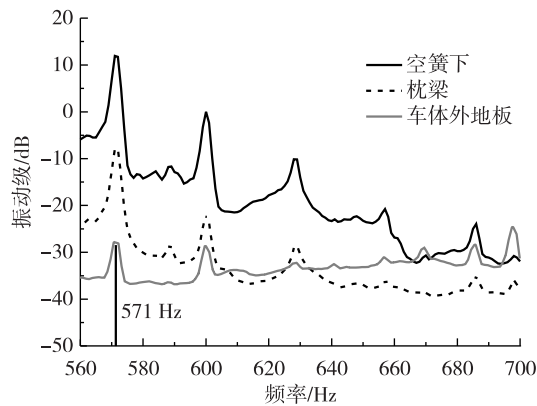


(b) 560~700 Hz

图7 心盘下-心盘上-车体外地板振动显著频带频谱特性



(a) 110~140 Hz



(b) 560~700 Hz

图8 空簧下-枕梁-车体外地板振动显著频带频谱特性

考虑到列车过枕跨的频率,基于公式 $f=v/s$ 式中: v 为车速; s 为跨枕距离。 $f=300/(0.65 \cdot 3.6)$ Hz=128 Hz。列车 300 km/h 匀速运行时,观光区振动噪声、车下振动在 127 Hz 频率处的显著波峰由列车过枕轨激励产生,由于列车运行速度可能会 300 km/h 左右浮动,由此造成显著频率和理论计算值稍有偏差。考虑到观光区位于 8 车二位转向架上方,故该波峰在观光区内噪声频率成分中较显著。考虑到车轮旋转基频,基于公式 $f=v/(l/n)$,式中: f 为车轮旋转基频; v 为列车速度(单位:m/s); l 为车轮周长(单位:m)。 $l=D$,式中: D 为车轮直径(约为 0.92m); n 为车轮不圆度阶数。 $f=(300/3.6)/(3.14 \cdot 0.92/n)=572$ Hz,求得 $n=19.8$ 。根据现有的测试数据只能初步判断该频率可能与车轮 20 阶多边形有关,如需进一步确定还需对车辆进行车轮不圆度测试。

3 结 论

通过现场测试,并按相关标准规定对测试结果进行了分析,明确了列车以 300 km/h 匀速运行时车体内外振动噪声的动态特性,具体如下:

1)列车以 300 km/h 在平直轨道上匀速运行,某型号高速列车 8 车为头车时的噪声比 8 车为尾车时大 5dB(A)左右,这和头车受到的气动载荷激励特性有关。

2)结构传声是观光区在 127 Hz 和 572 Hz 处出现局部峰值的主要传递路径之一。

3)列车以 300 km/h 匀速运行时,观光区噪声在 127 Hz 频率处的显著波峰由列车过枕轨激励产生;观光区噪声在 572 Hz 频率处的显著波峰与车轮 20 阶多边形有关,如需进一步确定还需对车辆进行车轮不圆度测试。

参考文献:

- [1]张捷,肖新标,韩健,等.高速列车车内客室端部噪声分布特性与声学模态分析[J].机械工程学报,2014,50(12): 97-103.
- [2]房建英,肖新标,金学松,等.行车速度对高速列车车轮振动声辐射特性的影响[J].机械工程学报,2010,46(22): 96-104.
- [3]张伟,蒋伟康.基于心理声学分析的车内异常噪声辨识[J].汽车工程,2003,25(6): 603-605, 648.
- [4]ZWICKE E, FEISTL H. Psychoacoustics: facts and models[M]. 2nd ed. New York: Springer, 2007:204-208.
- [5]韩光旭,温泽峰,张捷,等.车轮非圆化对高速列车振动噪声的影响[M].噪声与振动控制,2014,34(4):10-23.
- [6]张瑞亭,赵云生.高速列车的减振降噪技术[J].国外铁道车辆,2005(2):10-16.
- [7]韩铁礼,赵蔷薇,郭涛,等.基于 SEA 高速列车车内噪声计算[J].大连交通大学学报,2015,36(6):10-14.
- [8]谢素明,李涛,李晓峰,等.高速列车结构振动噪声预测与降噪技术研究[J].中国铁道科学,2009,30(6):77-83.
- [9]韩光旭,宋春元,李国栋,等.高速列车车轮非圆化与振动噪声关系跟踪试验研究[J].城市轨道交通研究,2017,20(2): 1-9.

(责任编辑:李艳)