

# 跨座式单轨列车与地铁列车通过高架线路时 辐射噪声特性对比试验<sup>\*</sup>

杜子学 王 建

(重庆交通大学机电与车辆工程学院, 400074, 重庆)

**摘 要** [目的]城市轨道交通的辐射噪声对环境的影响较大,当前针对地铁列车辐射噪声的研究不能直接指导跨座式单轨列车的外部噪声控制,因此有必要进一步研究跨座式单轨列车的辐射噪声特性。[方法]将重庆轨道交通1号线作为地铁列车辐射噪声试验对象,将重庆轨道交通3号线作为跨座式单轨列车辐射噪声试验研究对象,采用试验的方法研究了跨座式单轨列车和地铁列车运行过程中的辐射噪声声压级;选取与轨道梁中心距离分别为7.5 m、10.0 m、20.0 m处的测点进行研究,对比分析了不同工况下,跨座式单轨列车和地铁列车各测点的声压级。[结果及结论]跨座式单轨列车在直线路段的平均最大辐射噪声声压级整体大于曲线路段,且其随着测点与轨道梁中心距离的增加而逐渐减小。直线路段和曲线路段工况下,跨座式单轨列车的平均最大辐射噪声声压级比地铁列车的平均最大辐射噪声声压级小4~10 dB(A)。

**关键词** 跨座式单轨; 地铁; 辐射噪声

**中图分类号** U231.4; U270.16

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2024.02.035

## Comparative Experimental Research on Radiated Noise Characteristics of Straddle Monorail Trains and Metro Trains Passing through Elevated Tracks

DU Zixue, WANG Jian

(School of Mechanotronics and Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University, 400074, Chongqing, China)

**Abstract** [Objective] Radiated noise from urban rail transit has a significant environmental impact. Current research on the radiated noise of metro trains cannot directly guide the external noise control for straddle monorail trains. Therefore, it is necessary to further study the radiated noise characteristics of straddle monorail trains. [Method] Chongqing Rail Transit Line 1 is taken as the experimental subject for metro train radiated noise, while Chongqing Rail Transit Line 3 is selected for straddle monorail train radiated noise. The study adopts experi-

mental methods to investigate the SPL (sound pressure level) of radiated noise during the operation of straddle monorail trains and metro trains. Measurement points are selected at distances of 7.5 m, 10 m, and 20 m from the center of the track beam, and a comparative analysis is conducted on the SPL at these points under different operating conditions. [Result & Conclusion] The average maximum radiated noise SPL of straddle monorail trains on straight track sections is overall higher than that on curved track sections. It gradually decreases as the distance between measurement points and the center of the track beam increases. Under both straight and curved track conditions, the average maximum radiated noise SPL of straddle monorail trains is 4 to 10 dB(A), lower than that of metro trains.

**Key words** straddle monorail; metro; radiated noise

城市轨道交通(以下简称“城轨”)在快速发展的同时,也给城市带来了噪声污染问题,持续的高强度噪声会影响人的正常工作、休息,严重者甚至会造成听力损伤等一系列有害后果,因此有必要对由城轨运行带来的噪声进行分析,以减小其有害影响。城轨线路多为地下线路,但也存在部分高架线路和地面线路。地下线路的辐射噪声对地面居民影响较小,而地面线路和高架线路产生的辐射噪声对线路周边环境的影响较大。根据文献[1]可知,城轨地面线路仅占城轨线路总数的2%,其噪声影响范围有限,故本文的研究重点集中于城轨高架线。

跨座式单轨列车和地铁列车的构造类似,均由外部供电系统提供列车行进的动力,均采用多节(4节、6节、8节)车辆编组运行,均在编组列车两端各设置一列带驾驶室的车辆,均通过道岔改变运行线路和行进方向。跨座式单轨列车和地铁列车区别在于:①跨座式单轨列车的走行方式为橡胶轮胎与PC(预制)混凝土梁相接触,靠转向架侧边的导向轮

<sup>\*</sup> 重庆市重点科技计划项目(CSPC2007IB6021)

和稳定轮同 PC 混凝土梁接触实现列车的稳定和导向功能;地铁列车采用钢轮钢轨耦合的走行方式,走行部为钢制车轮与钢轨相耦合,通过钢制车轮突出的轮缘和铁轨侧边相配合实现列车的导向功能。由于地铁线路采用标准轨距(1 435 mm),能够稳定列车车体,故无需像跨座式单轨列车一样设置额外的稳定轮。②跨座式单轨列车的受电弓位于列车底部的转向架上,通过固定于轨道梁上的刚性接触网为列车供电;地铁列车的受电弓位于列车顶部,通过架设于空中的柔性接触网对列车进行供电。③跨座式单轨列车转向架外侧由裙板包围,裙板由特制多孔状的吸声材料制成,能够减少部分轮轨接触和受电弓产生的辐射噪声;大部分地铁列车的转向架外侧并没有裙板,转向架部分直接裸露在外。

目前,已有学者对跨座式单轨列车和地铁列车的辐射噪声分别展开研究。文献[2]基于时频波束形成噪声源的识别方法发现,运行列车车外辐射噪声主要位于车厢最底部裙板与轨道梁接触区附近,其中 500 Hz 以上的噪声源主要来源于胎轨噪声和弓网噪声。文献[3]通过试验得出地铁列车以中低速在直线路段行驶时,其辐射噪声主要集中在 250 ~ 2 500 Hz 的中低频段,且轮轨噪声是辐射噪声的主要成分。

上述研究无法直观地对比跨座式单轨列车和地铁列车这两种交通系统的区别,二者的结构不同是导致这二种交通系统具有区别较大的噪声辐射特性的原因。为了对这两种噪声辐射特性进行直观、定量的对比分析,本文采用试验的方法分别对跨座式单轨列车和地铁列车运行过程中的辐射噪声声压级进行分析,以期城市轨道交通的辐射噪声控制提供借鉴。

## 1 试验概况

### 1.1 测量参数

城轨辐射噪声主要可分为弓网噪声、轮轨(胎轨)噪声和电机噪声。被测列车均为正常运行状态下匀速行驶的列车,列车头尾全部通过某一点的时间约为 8 ~ 15 s。将列车视为线性声源,测量参数为列车等效连续 A 计权声压级。采用 FFT(快速傅里叶变换)将时域声压信号转换为频域声信号,确定各频率上的声能量分布。由于辐射噪声覆盖的频段较广,选择频率范围为 31.5 ~ 8 000.0 Hz 进行 1/3 倍频程分析,且应保证最窄宽带与信号持续时

间的乘积数值超过 1<sup>[3]</sup>。

### 1.2 测量仪器

整个测量系统由传感器、数据采集仪及安装有采集软件的计算机组成,辅助设备包括 BNC(卡扣配合型连接器)信号电缆、传感器支架、麦克风风罩、蓄电池、逆变器及测距仪等。每次测量前后,使用满足 GB/T 15173—2010《电声学 声校准器》标准的 1 级声校准器进行校准,若两次校准之差大于 0.5 dB(A),则判断测量结果无效。

数据采集仪为 VibRunner 数据采集仪。传感器为 NTS-2533A 型 ICP(内置压电传感器)加速度传感器,为了去除风噪声的影响,在传感器前加装防风罩。

### 1.3 测点设置

将重庆轨道交通 1 号线作为地铁列车辐射噪声试验对象,将重庆轨道交通 3 号线作为跨座式单轨列车辐射噪声试验研究对象。重庆轨道交通 1 号线列车采用架空式柔性接触网供电的 B 型地铁列车,走行方式为钢轮钢轨,采用标准轨距 1 435 mm,其车体为不锈钢焊接而成。重庆轨道交通 3 号线列车采用刚性接触网供电的跨座式单轨列车,车体由铝合金焊接而成,采用橡胶充气轮胎与混凝土轨道梁耦合接触实现列车走行和导向功能。

选取地铁高架线路和跨座式单轨高架线路的典型运行工况设置测试点,包括直线路段工况和曲线路段工况。跨座式单轨高架线路的直线路段工况测点(S1—S3,与靠近传感器一侧轨道梁中心的距离分别为 7.5 m、10.0 m、20.0 m)位于一座跨座式单轨高架线路下方的人行天桥上,曲线路段工况测点(S4—S6,与靠近传感器一侧轨道梁中心的距离分别为 7.5 m、10.0 m、20.0 m)位于一段半径为 270 m 的曲线路段上,所有测点距离轨顶面竖直高度均为 1.2 m。由于日间跨座式单轨高架线路下方公路上其他车辆的噪声水平较高,所以选择在夜间噪声水平较低时进行试验。地铁高架线路的直线路段工况测点(M1—M3,与靠近传感器一侧轨道梁中心的距离分别为 7.5 m、10.0 m、20.0 m)位于线路经过的一个停车场内,曲线路段工况测点(M4—M6,与靠近传感器一侧轨道梁中心的距离分别为 7.5 m、10.0 m、20.0 m)位于一段半径为 460 m 的曲线路段。地铁高架线路在竖直方向的测点设置情况同跨座式单轨高架线路。地铁列车辐射噪声测试点所处位置为受环境影响较小的地点,所以在

日间或者夜间进行试验均可。两个曲线路段工况均选择在曲线路段内弯处进行试验,所有传感器均水平指向被测列车。

跨座式单轨高架线路和地铁高架线路测试示

意图如图 1 所示。试验工况及相关参数如表 1 所示,各工况被测列车通过测试点时的车速以列车司机室仪表显示的速度值为准,每次测量时均有一人在列车内部记录速度值。

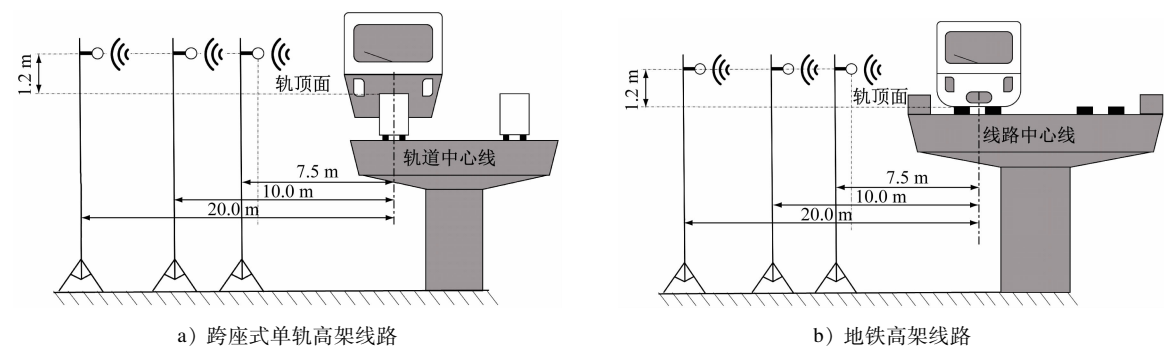


图 1 跨座式单轨高架线路和地铁高架线路测试示意图

Fig. 1 Schematic diagram of straddle monorail and metro elevated tracks testing

表 1 试验工况及相关参数

Tab. 1 Test conditions and relevant parameters

试验工况	跨座式单轨列车			地铁列车		
	试验地点	测点	列车运行速度/(km/h)	试验地点	测点	列车运行速度/(km/h)
直线路段	重庆市某天桥	S1	75	重庆市某农贸 市场停车场	M1	80
		S2	75		M2	80
		S3	75		M3	80
曲线路段	重庆轨道交通 3 号线 四公里站(内弯区段)	S4	55	重庆远祖桥 (内弯区段)	M4	70
		S5	55		M5	70
		S6	55		M6	70

2 试验数据分析

不同工况下跨座式单轨和地铁列车各测点声压级对比如图 2 所示。跨座式单轨和地铁列车在直线路段工况和曲线路段工况的声压级均随着距离的增加而减小,且各自呈现出不同的特点。地铁列车曲线路段工况的声压级大于直线路段工况,而跨座式单轨列车曲线路段工况的声压级小于直线路段工况。两种工况下,跨座式单轨列车的声压级均小于地铁列车。

两种工况下,不同测点处跨座式单轨和地铁列车声压级对比如图 3 所示。在 7.5 m 测点处,直线路段跨座式单轨列车和地铁列车的声压级相差较大,最大差值约为 10 dB(A)。在 10.0 m 测点处,跨座式单轨列车和地铁列车声压级差均比 7.5 m 测点处小约 2.0 dB(A)。在 20.0 m 测点处,跨座式单轨列车和地铁列车的声压级相差较小,两者的差

值在 4.0 dB(A) 以下,且大部分测点声压级均在 80.0 dB(A) 以下。

3 结语

跨座式单轨列车在直线路段工况的声压级整体大于曲线路段工况,且随着与靠近传感器一侧轨道梁中心距离的增加而逐渐减小,直线路段工况的声压级比曲线路段工况的声压级大约 4 dB(A)。地铁列车在直线路段工况的声压级整体大于曲线路段工况,且随着与靠近传感器一侧轨道梁中心距离的增加而逐渐减小,直线路段工况的声压级比曲线路段工况的声压级小约 1~4 dB(A)。无论在直线路段还是曲线路段,跨座式单轨列车的声压级均比地铁列车小约 4~10 dB(A)。一般而言,城市轨道交通列车的辐射噪声在 20 m 以外不应大于 80 dB(A),当地铁列车通过直线路段时,其个别声压值大于 80 dB(A),且地铁列车在曲线路段存在明

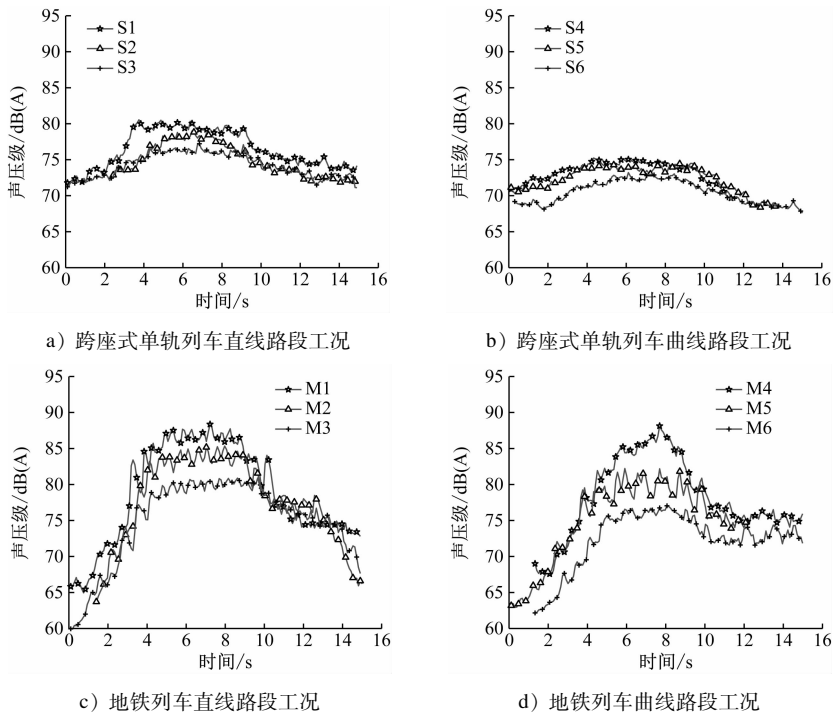


图2 不同工况下跨座式单轨和地铁列车各测点声压级对比

Fig.2 Comparison of SPL at each measuring point of straddle monorail and metro train under different working conditions

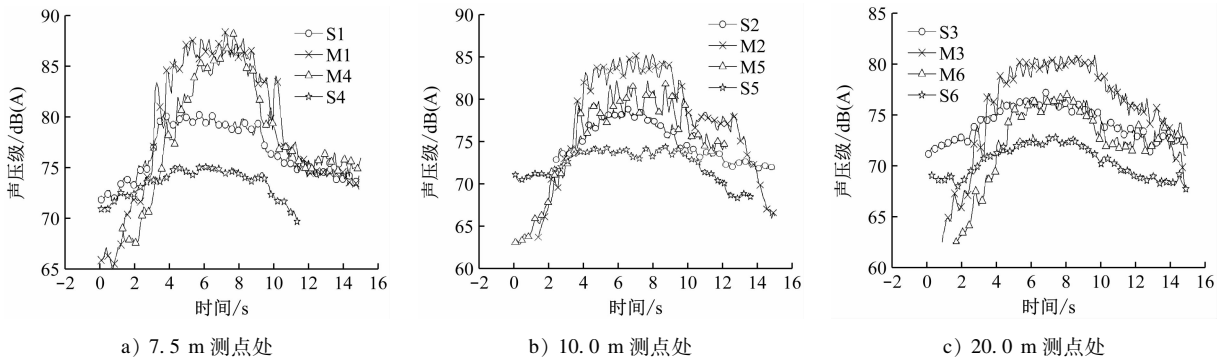


图3 两种工况下不同测点处跨座式单轨和地铁列车声压级对比

Fig.3 Comparison of SPL between straddle monorail and metro train at different measuring points under two working conditions

显高分贝啸叫,因此地铁列车的辐射噪声应当予以重点控制。

需要注意的是,本文的研究重点为对比两种列车的噪声对环境的整体影响,故没有对声源位置做识别分析,后续研究可以采用声全息法测得列车三维空间的声场分布,分别对跨座式单轨列车和地铁列车辐射噪声的辐射声源位置做进一步研究。

## 参考文献

- [1] 薛军平,杜子学,谭昌鹏. 跨座式单轨交通车外噪声源识别试验研究[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(8): 159.  
XUE Junping, DU Zixue, TAN Changpeng. Experimental study on external noise sources identification of straddle-type monorail tran-

sit[J]. Railway Standard Design, 2021, 65(8): 159.

- [2] ZHANG Y F, LI L, LEI Z Y, et al. Environmental noise beside an elevated box girder bridge for urban rail transit[J]. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 2021, 22(1): 53.
- [3] 彭飞. 跨座式单轨车辆室内噪声分析与预测[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.  
PENG Fei. Interior noise analysis and prediction research for straddle-type monorail vehicle[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.
- [4] 刘兰华, 李晏良, 伍向阳, 等. 跨座式单轨列车运行噪声的预测与分析[J]. 噪声与振动控制, 2015, 35(1): 93.  
LIU Lanhua, LI Yanliang, WU Xiangyang, et al. Operation-noise prediction and analysis for straddle-type monorail trains[J]. Noise and Vibration Control, 2015, 35(1): 93.

(下转第 199 页)



安全包络与实际编组列车安全包络的偏差是不固定的,完全取决于主控车与 ZC 的通信质量。

采用改进方案对上述编组列车包络计算方法进行优化后,ZC 通过比较主控车和被控车的延时状态动态计算编组列车安全包络。由于 ZC 不单独依靠主控车扩展包络,当收不到主控车位置时,可以使用当前被控车位置处理,避免采用历史信息导致位置报告无法及时更新的情况,解决了主控车通信质量较差时安全包络精度低的问题,进一步提升了 ZC 控制列车的精细程度,尤其在列车安全包络跨计轴边界时,降低了 ZC 对相邻区段列车追踪的影响。

### 5 结语

针对当前灵活编组线路中两列短编组列车分别与 ZC 通信的特点,本文对目前采用静态扩展编组列车安全包络的方式进行了改进,通过设计延时计算参数,提出了基于时延防护的编组列车动态安全包络管理方法。通过试验数据对比,所提改进方案可以提高编组列车安全包络的精度,优化列车位置管理,对于提高灵活编组线路中的列车追踪效率有一定的参考价值。

### 参考文献

[1] 赵家炜,刘婧婧. 地铁列车在线联挂、解编功能分析[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(8): 152.  
ZHAO Jiawei, LIU Jingjing. Analysis of metro train coupling and uncoupling functions[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(8): 152.

[2] 李晓刚. 车地通信延时对 CBTC 系统列车运行控制的影响分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(6): 44.

LI Xiaogang. Analysis of influence of train-wayside communication delay on CBTC system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(6): 44.

[3] 郑京生. 列车占用检测延时对 CBTC 信号系统安全影响研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(10): 9.  
ZHENG Jingsheng. Study on impacts of train occupancy detection delay on safety of CBTC signaling system[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(10): 9.

[4] 李伟,唐涛,王呈,等. 无线通信延迟对城市轨道交通 CBTC 列车追踪间隔影响研究[J]. 铁道学报, 2017, 39(7): 73.  
LI Wei, TANG Tao, WANG Cheng, et al. Research on influence of wireless communication delay on CBTC train headway of urban rail transit system[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(7): 73.

[5] 陈欣. 三点检查技术对区间占用情况的分析研究[J]. 铁路计算机应用, 2015, 24(10): 6.  
CHEN Xin. Three section inspection technique to section occupancy[J]. Railway Computer Application, 2015, 24(10): 6.

[6] 范海宁,何勇浩. 城市轨道交通列车灵活编组方案及功能实现[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(9): 200.  
FAN Haining, HE Yonghao. Flexible marshalling scheme and function realization of urban rail transit train[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(9): 200.

[7] 聂宇威,赵鹏,宋惠,等. 基于编组列车的安全包络计算方法及装置: 202110722158. X[P]. 2023-03-28.  
NIE Yuwei,ZHAO Peng,SONG Hui, et al. A method and device for calculating the safety envelope of marshalled trains: 202110722158. X[P]. 2023-03-28.

• 收稿日期:2022-11-27 修回日期:2023-01-11 出版日期:2024-02-10  
Received:2022-11-27 Revised:2023-01-11 Published:2024-02-10

• 通信作者:耿鹏,高级工程师,gengpeng@crsccu.com.cn

• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 194 页)

[5] 官文平. 跨座式单轨车辆特点及国内外应用情况[J]. 国外铁道车辆, 2013, 50(1): 5.  
GONG Wenping. Features of the straddle type monorail vehicle and the application in China and abroad[J]. Foreign Rolling Stock, 2013, 50(1): 5.

[6] 喻杨. 跨座式单轨列车气动噪声特性研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2018.  
YU Yang. Study on aerodynamic noise characteristics of straddle-type monorail[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University,

2018.

• 收稿日期:2021-07-19 修回日期:2021-09-14 出版日期:2024-02-10  
Received:2021-07-19 Revised:2021-09-14 Published:2024-02-10

• 第一作者:杜子学,教授,aaadz@163.com  
通信作者:王建,硕士研究生,wjoller@foxmail.com

• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license