

◇ 研究报告 ◇

燃料电池有轨电车声学优化*

刘楠[†] 金静飞

(中车唐山机车车辆有限公司 唐山 063035)

摘要 基于线路噪声实验,系统测试分析了燃料电池有轨电车的噪声特性,研究了噪声分布以及空气传声、结构传声路径对噪声的贡献。结果表明改善车辆地板、空调、顶板和风挡的隔声性能,尤其是在 500~1250 Hz 的 1/3 倍频带范围内的隔声性能将有助于改善车辆内部声学环境。优化燃料电池系统控制,降低冷却单元转速将有助于改善车辆外部声学环境。在此基础上提出减震降噪建议措施,再次进行线路噪声实验,结果表明该措施有效。

关键词 噪声,燃料电池有轨电车,空气传声,结构传声,减振降噪

中图法分类号: U271.92 文献标识码: A 文章编号: 1000-310X(2018)03-0407-06

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2018.03.014

Acoustics optimization of fuel cell tram

LIU Nan JIN Jingfei

(CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan 063035, China)

Abstract Based on field measurement, the characteristics of the noise source of fuel cell tram are analyzed in this work. The interior noise sources and the contributions of the air-borne and the structural-borne sound are identified. The results show that improving the sound insulation performance of the floor, roof and vestibule diaphragm, especially in the frequency of 500~1250 Hz 1/3 octave band can help to improve the acoustic environment of the tram interior. Optimal control of fuel cell system and reducing the cooling unit speed can help to improve vehicle exterior acoustic environment. Base on the analysis, this paper puts forward the suggestion of the shock absorption and noise reduction in the car, and carries out type tests of vehicle interior noise, and the results are effective.

Key words Noise, Fuel cell tram, Air-borne sound, Structural-borne sound, Noise and vibration control

2017-06-28 收稿; 2017-09-01 定稿

*国家科技支持项目 (2014BG08B02)

作者简介: 刘楠 (1981-), 男, 天津人, 硕士, 工程师, 研究方向: 新供电制式轨道车辆设计。

[†] 通讯作者 E-mail: liunan@tangche.com

1 引言

国家“十二五”科技支撑计划的重要成果、世界首列商用型燃料电池/超级电容混合动力100%低地板现代有轨电车,做到了真正意义上的“无污染、零排放”环保标准,体现了科技与创新的高度统一。燃料电池基于电化学反应原理,其电效率在40%~60%,其余能量以热能形式散出^[1]。由于车顶布置散热系统、列车的低地板结构以及轻量化的设计使得其隔声量相对薄弱,这些都对燃料电池有轨电车的噪声控制提出了更高的要求。

本文基于线路实验,测试燃料电池有轨电车的噪声特性,对比车辆噪声测试数据、散热器噪声特性和车辆振动噪声特性,分析空气传声和结构振动对车内噪声的贡献,在此基础上提出车辆减振降噪

的措施,再次进行线路实验,验证效果。

2 噪声线路实验数据分析

燃料电池/超级电容混合动力100%低地板有轨电车采用M-T-M的编组形式。车内静置噪声和运行噪声测试按照ISO3381-2005^[2]标准的相关要求,在MC01车和T02车客室内车体纵向中心线上距离地板面1.2 m和1.6 m高度处分别布置测点,具体位置如图1所示。车外静置噪声测试按照ISO3095-2013^[3]标准的相关要求,布置静置状态下车外噪声测点。测点设在距轨道中央7.5 m远处,垂向位于距钢轨轨面1.2 m和3.5 m高度处,如图2所示。车外运行噪声测试按照ISO3095-2013^[3]等相关标准要求,距轨道中心线7.5 m远,距钢轨顶面1.2 m和3.5 m高处的标准点1和标准点2。

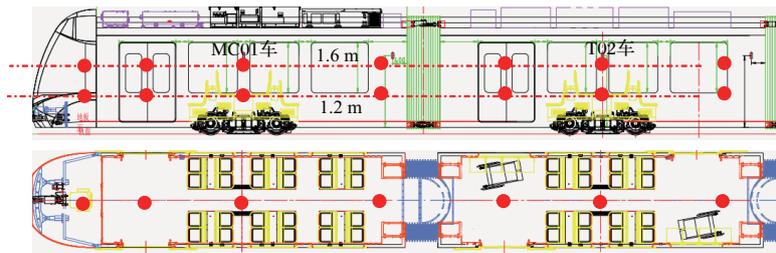


图1 车内噪声测点布置示意图

Fig. 1 Layout of vehicle interior noise measuring points

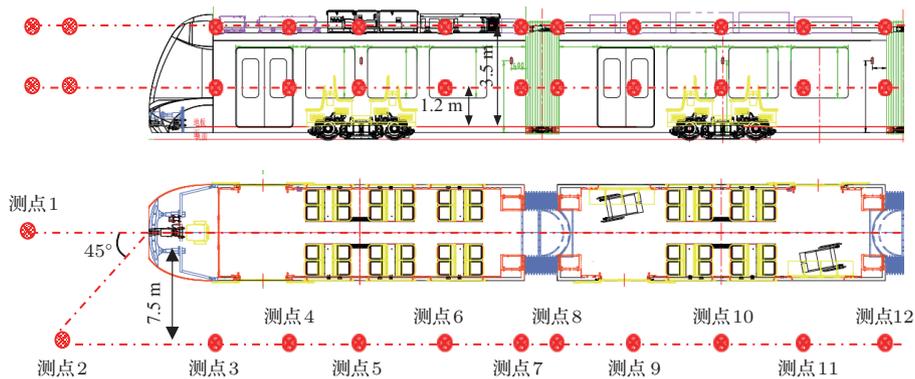


图2 静置状态车外噪声测点布置示意图

Fig. 2 Layout of vehicle outside noise measuring points in static state

2.1 车内静置噪声

列车静置,分别测试不同辅助设备开闭状态下的车内噪声,如图3所示。列车静置,辅助设备全开,车内噪声最大值为63.1 dB(A),位于MC01车客室后端;仅关闭空调设备,车内噪声最大值为

51.8 dB(A),位于T02客室中部;仅关闭冷却风机,车内噪声最大值为62.7 dB(A),位于MC01车客室后端。冷却风机对车内噪声影响有限;空调设备对车内噪声,尤其是对MC01车车内噪声影响显著,最大能达到15 dB(A)。

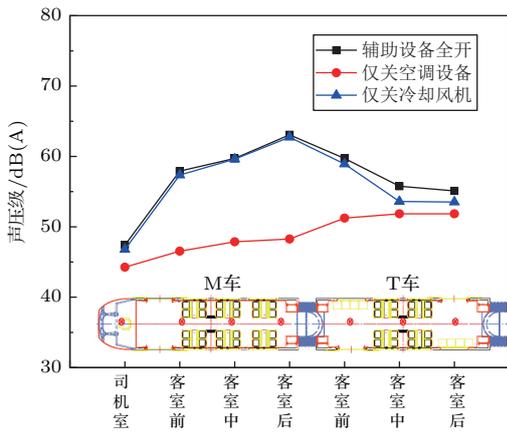


图3 静置状态下车外噪声测试结果 (1.6 m高)

Fig. 3 Test results of vehicle outside noise in static state (1.6 m height)

2.2 车内运行噪声

列车在平直轨道上以50 km/h的速度匀速运行,辅助系统正常开启,测试车内运行噪声,如图4所示。司机室噪声最大值为71.0 dB(A);客室噪声最大值为80.0 dB(A)(超出设计规范),位于T02车客室前端。

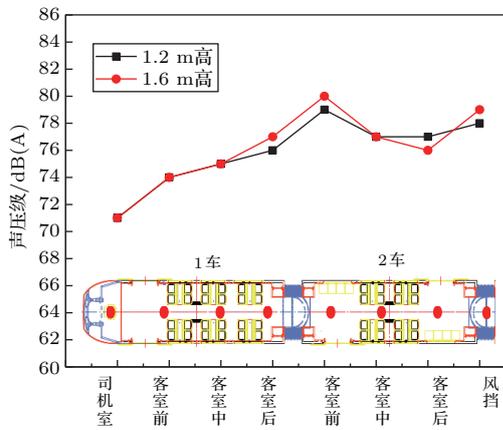


图4 车内运行噪声测试结果

Fig. 4 Test results of vehicle interior noise in running state

2.3 车外静置噪声

列车静置,分别测试不同辅助设备开闭状态下的车外噪声,如图5所示。列车静置,辅助设备全开,车外噪声最大值为73.5 dB(A)(超出设计规范),位于测点8(T02车前端);仅关闭空调设备,车外噪声最大值为67.9 dB(A),位于测点8(T02车前端);仅关闭辅助逆变器,车外噪声最大值为68.4 dB(A),位于测点8(T02车前端);仅关闭冷却风机,车外噪声

最大值为58.9 dB(A),位于测点9(T02车前门)。关闭空调设备,车外噪声下降约6 dB(A);关闭辅助逆变器,车外噪声下降约6 dB(A);关闭冷却风机,车外噪声下降约15 dB(A)。空调设备和辅助逆变器对车外噪声总声压级的影响效果基本相当,而冷却风机对车外噪声总声压级的影响较显著。

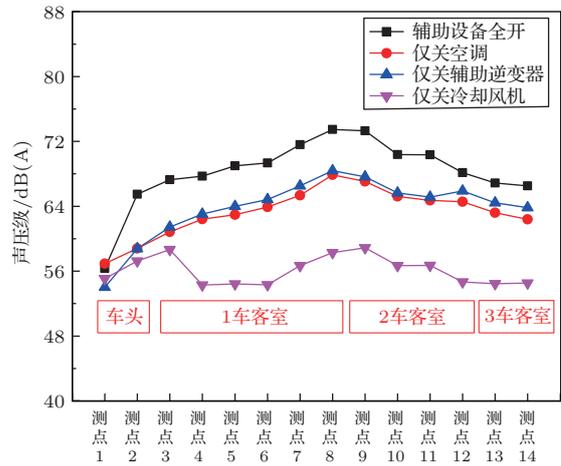


图5 静置状态下车外噪声测试结果 (3.5 m高)

Fig. 5 Test results of vehicle outside noise in static state (3.5 m height)

2.4 车外运行噪声

列车以50 km/h的速度匀速运行时,在距轨道中心线7.5 m,距轨面高1.2 m、3.5 m处测得的等效连续A声级($L_{Aeq,Tp}$)测试结果如表1所示,满足设计要求。

表1 通过时段内等效连续A计权声压级 ($L_{Aeq,Tp}$, dB(A))

Table 1 Through the period of equivalent continuous A weighted sound pressure levels ($L_{Aeq,Tp}$, dB(A))

速度	测点编号	均值
50 km/h	标准点1($D = 7.5\text{ m}, H = 1.2\text{ m}$)	75
	标准点2($D = 7.5\text{ m}, H = 3.5\text{ m}$)	75

3 车辆振动噪声特性分析

列车以50 km/h的速度匀速运行时,MC01车客室后和T02车客室前噪声偏大,结合线路条件、频谱特性、声源分布特性和噪声传递特性综合分析,以探明噪声偏大的原因。

3.1 车内噪声频谱特性分析

图6给出了列车以50 km/h的速度匀速运行时,MC01车客室后和T02车客室前噪声1/3倍频程频谱。

由图6可见,MC01车客室后噪声主要能量集中在315~1250 Hz的1/3倍频带,尤其是在500~1000 Hz的1/3倍频带存在显著峰值;T02车客室前噪声主要能量集中在315~1250 Hz的1/3倍频带,尤其是在500~1250 Hz的1/3倍频带存在显著峰值。

图7给出了列车以50 km/h的速度匀速运行

时,MC01车客室后和T02车客室前噪声显著频段内的窄带频谱特性。图7中黑色数字表示距离地板面1.6 m高处测点噪声显著峰值对应频率,红色数字表示距离地板面1.2 m高处测点噪声显著峰值对应频率。

由图7可见,MC01车客室后在350 Hz、406 Hz、594 Hz、644 Hz、707 Hz等频率处存在显著峰值;T02车客室前在350 Hz、406 Hz、476 Hz、540 Hz、573~594 Hz、615~644 Hz、707 Hz、911 Hz、1023 Hz等频率处存在显著峰值。

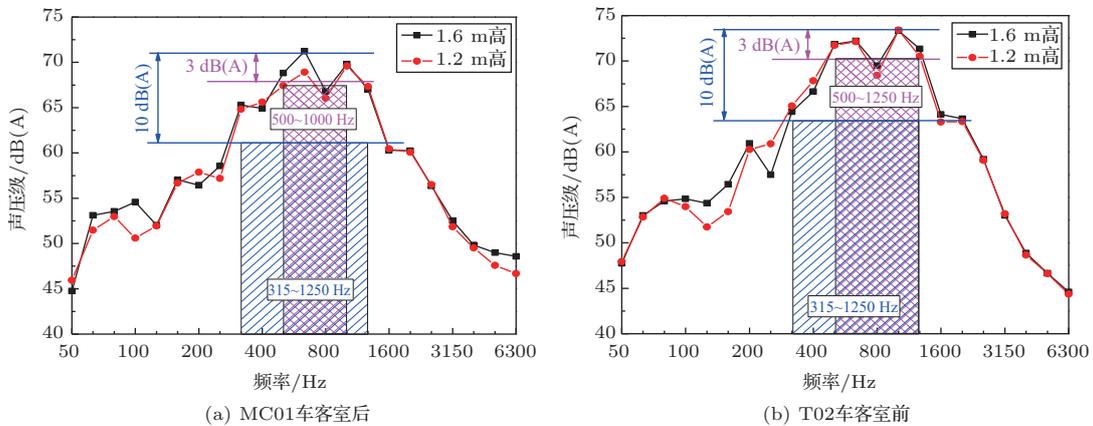


图6 车内噪声1/3倍频程频谱

Fig. 6 1/3 octave spectrum of vehicle interior noise

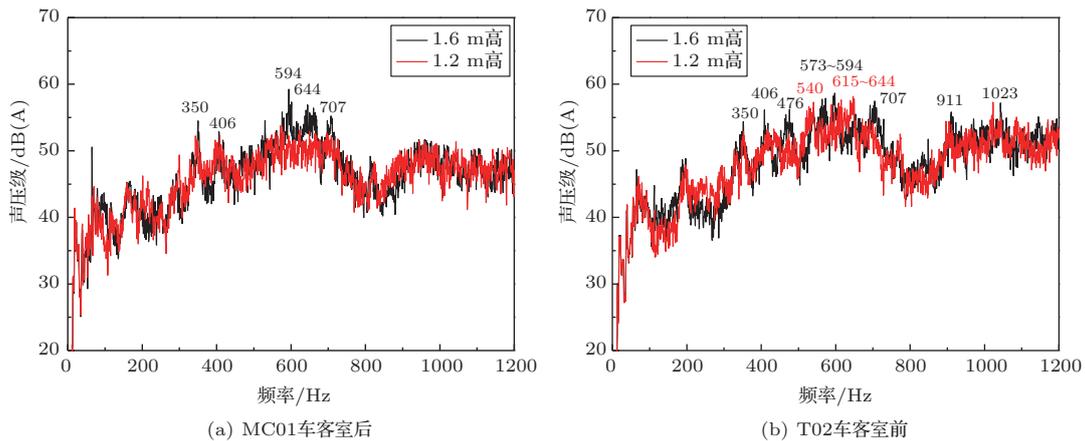


图7 窄带频谱特性

Fig. 7 Narrow-band spectrum characteristics

3.2 地板振动与车内噪声的比较分析

结合车下振动、车下噪声和车内噪声测试结果,进行振动噪声传递特性分析。图8和图9给出了MC01车客室后和T02车客室前的振动噪声传递特

性曲线。

由MC01车客室后和T02车客室前的振动噪声传递特性分析可知,在400 Hz以下频段,车下振动显著的频率,车内噪声在这些频率存在峰值,说明

在 400 Hz 以下的频段, 车内噪声部分来源于结构传声。对于 400~1250 Hz 这一噪声显著频段, 车下振动不显著, 因此在 400~1250 Hz 频段内, 空气传声

占主导。因此改善车地板、顶板和风挡的隔声性能, 尤其是在 500~1250 Hz 的 1/3 倍频带范围内的隔声性能将有助于改善车辆车内声学环境。

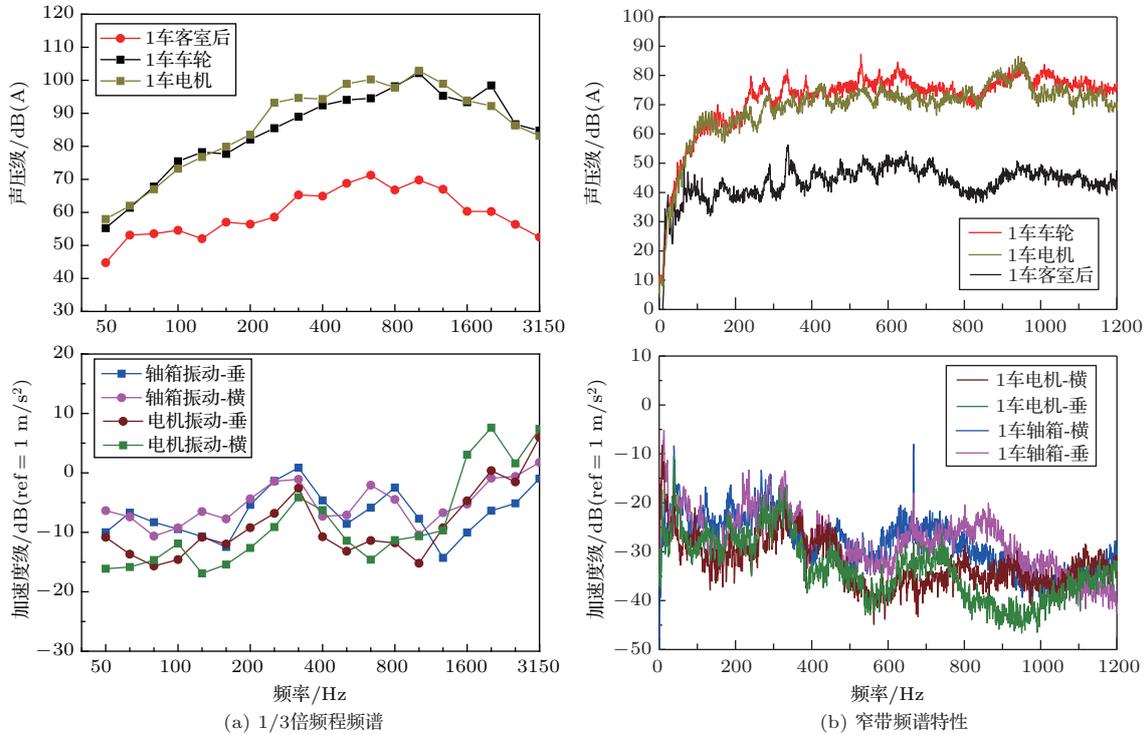


图8 MC01 车客室后振动噪声传递特性

Fig. 8 Vibration and noise transfer characteristics of MC01 rear

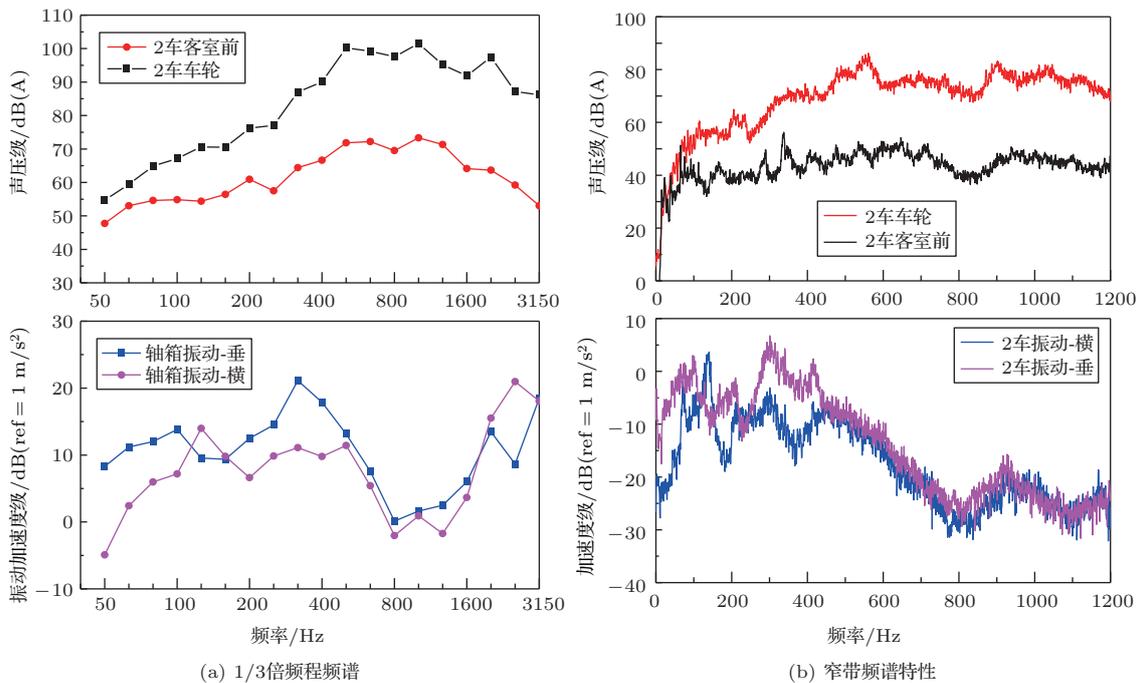


图9 T02 车客室前振动噪声传递特性

Fig. 9 Vibration and noise transfer characteristics of T02 front

4 降噪方案

4.1 车外静置噪声降噪方案

冷却单元在不同转速下A计权噪声总声压级如图10所示,冷却单元的A计权总声压级随风机转速的增加而增大。采用“优化燃料电池控制”的整改方案降低冷却单元转速,整改后测试结果显示车外静置噪声不超过69 dB(A)。

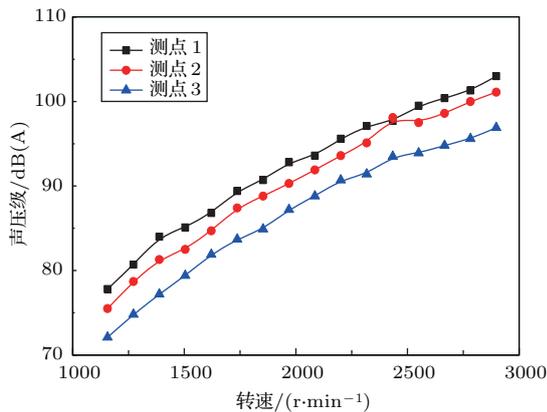


图10 A计权噪声总声压级

Fig. 10 A weighted overall noise level

4.2 车内静置和运行噪声降噪方案

根据第一次噪声测试结果可以看出MC01尺车和T02车车内噪声超标1~5 dB(A),结合声源识别结果及振动传递表明车内部件隔声不足导致噪声偏高。车辆大部件的隔声量如图11所示,采用

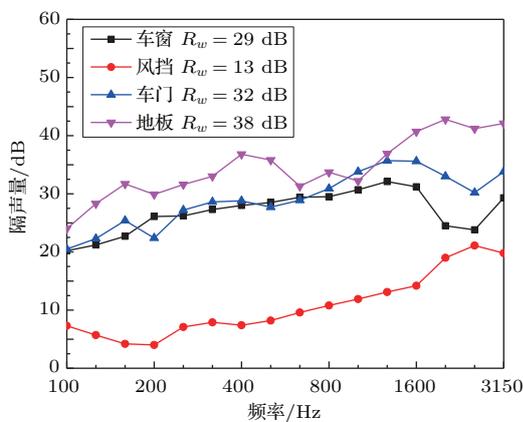


图11 车辆大部件隔声量

Fig. 11 Noise reduction of large vehicle components

“全包风挡处增加内饰折板”的整改方案优化改善风挡隔声量。采用“地板型材上贴2 mm阻尼贴片+2 mm隔音毡”的整改方案优化地板在400~1250 Hz频段内隔声量采用“贴2 mm阻尼贴片”整改方案优化隔声量采用“内饰板全部贴2 mm阻尼贴片+6 mm Armasound”的整改方案优化板在400~1250 Hz频段内隔声量整改后测试结果显示:车内静置噪声不超过69 dB(A),列车以50 km/h的速度匀速运行时,车内噪声不超过75 dB(A)。

5 结论

基于线路噪声实验,系统测试分析了燃料电池有轨电车噪声特性,研究了噪声分布以及空气传声、结构传声路径对噪声的贡献,在此基础上提出减震降噪建议措施,再次进行线路噪声实验,结果表明该措施有效,得到主要结论如下:

(1) 列车静置,辅助设备全开,车内噪声最大值为63.1 dB(A),位于MC01车客室后端;冷却风机对车内噪声影响有限;空调设备对车内噪声,尤其是对MC01车车内噪声影响显著,最大能达到15 dB(A)。

(2) 列车以50 km/h的速度在平直轨道上匀速运行时,司机室噪声最大值为71 dB(A);客室噪声最大值为80 dB(A),位于T02车客室前端。

(3) 列车静置,辅助设备全开,车外噪声最大值为73.5 dB(A),位于测点8(T02车前端);空调设备和辅助逆变器对车外噪声总声压级的影响效果基本相当,而冷却风机对车外噪声总声压级的影响较显著。

(4) 改善车地板、空调、顶板和风挡的隔声性能,尤其是在500~1250 Hz的1/3倍频带范围内的隔声性能将有助于改善车辆车内声学环境。降低冷却单元转速将有助于改善车辆外部声学环境。

参 考 文 献

- [1] GM USA. Fuel cell engine with simple thermal management of hydride storage: U. S, 619599[P]. 2001-08-15.
- [2] ISO3381-2005, Railway applications-acoustics-measurement of noise inside railbound vehicles[S].
- [3] ISO3095-2013, Acoustics-railway applications-measurement of noise emitted by railbound vehicles[S].