

# 城市轨道交通列车通过隧道时车门啸叫 成因分析及应对策略

毛开楠 柳润田 王 喆

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266109, 青岛)

**摘 要** [目的] 设计速度为 120 km/h 的城市轨道交通列车在隧道内高速运行时, 尾车尾门普遍存在啸叫问题, 严重影响乘客的乘坐舒适性, 需要对列车通过隧道时的车门啸叫成因进行深入研究, 并提出应对策略。[方法] 以郑许市域铁路啸叫严重的列车为研究对象, 从车门啸叫机理、车辆内外压差及车门自身问题等方面分析了列车车门产生啸叫的成因。针对车门啸叫成因, 从列车与隧道的阻塞比、车门密封胶条结构、密封胶条压缩量等方面制定了针对性的优化措施。将优化前后的车门安装在相同的气密试验台上进行冲压试验。[结果及结论] 冲压试验表明: 在进气量相同的情况下, 车门优化后车内最大压力由 1 400 Pa 提升至 2 200 Pa, 车门密封性能明显提升, 彻底解决了车门啸叫问题。

**关键词** 城市轨道交通; 隧道; 列车; 车门啸叫

**中图分类号** U270.38+4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.08.056

## Door Howling Cause Analysis and Countermeasures of Urban Rail Transit Train Passing through Tunnels

MAO Kainan, LIU Runtian, WANG Zhe

(CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266109, Qingdao, China)

**Abstract** [Objective] When the urban rail transit train with designed speed of 120 km/h passes through a tunnel at high speed, rear door howling problem of the tail car often occurs, seriously affecting passenger ride comfort. Thus the cause of this problem is studied in depth, and countermeasures are proposed. [Method] Taking the trains with serious howling in Zhengzhou-Xuchang City Railway as the research project, the causes of train door howling problem are analyzed from the aspects of door howling mechanism, vehicle internal and external pressure difference, and problems with the door itself. Aiming at the cause of door howling, targeted optimization measures are formulated from aspects of the blocking ratio between train and tunnel, the structure of door sealing rubber strip, and the compression amount of sealing rubber strip and so on. Stamping test is carried out by mounting doors with/without optimization on the same air-tight test bench. [Result & Conclu-

sion] Door stamping test shows that under the same air intake volume, the maximum vehicle interior pressure increases from 1 400 Pa to 2 200 Pa after door optimization, and the door sealing performance is improved significantly, completely solving the problem of door howling.

**Key words** urban rail transit; tunnel; train; door howling

设计速度为 120 km/h 的城市轨道交通列车在隧道内高速运行时, 尾车尾门普遍出现不同程度的啸叫现象, 严重影响乘客的乘坐舒适性, 这成为目前一个亟须解决的难题。文献[1-2]通过空气动力学试验, 获得了列车通过隧道时的压力波变化规律。文献[3]介绍了广州地铁列车车门啸叫的成因, 以及通过车门调整解决车门啸叫的措施。本文主要从车门啸叫原理、车辆内外压差及车门自身问题等方面对该问题进行深入分析, 并从密封胶条结构及材质优化等方面制定了针对性措施。

## 1 车门啸叫成因分析

### 1.1 车门啸叫机理分析

列车高速运行时, 由于内外压差较大, 车门受到向外的推力, 密封胶条与门框之间出现闪缝, 气流从缝隙处高速流过, 气流紊乱发出类似口哨的啸叫<sup>[3]</sup>。

### 1.2 车辆内外压差分析

#### 1.2.1 车辆内外压差测试

以郑许市域铁路车门啸叫严重的列车为研究对象, 将压差仪的出气管夹在啸叫车门的中部, 进气管置于车内。车辆内外压差测试方法如图 1 所示。郑许市域铁路典型区间测试结果如表 1 所示。

#### 1.2.2 车辆内外压差影响因素

1) 列车速度。列车通过隧道时, 车门内外压差随列车运行速度的提高而增加, 且该压差与速度的平方成正比<sup>[2]</sup>。



图1 车辆内外压差测试方法

Fig. 1 Vehicle internal and external pressure difference test method

表1 郑许市域铁路典型区间测试结果

Tab. 1 Typical interval test results of Zhengzhou-Xuchang City Railway

区间	线路形式	列车运行速度/(km/h)	车辆内外压差/Pa	啸叫情况	声压级/dB(A)
许昌东站—鹿鸣湖站	隧道	120	1 164	严重	81
龙王南站—龙王站	隧道	110	847	中度	77
长安路南站—新郑机场站	隧道	100	713	轻度	74

5) 空调开启情况。经测试,空调新风阀关闭后,车辆内外压差减小 50 Pa。

6) 车辆位置。在车门内外设置压力传感器进行测试,尾车尾门压差明显大于头车头门。车辆内外压差-时间关系曲线如图 2 所示。

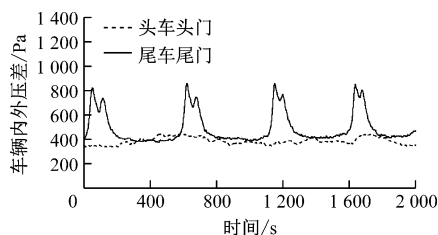


图2 车辆内外压差-时间关系曲线

Fig. 2 Relationship curve of time to vehicle internal and external pressure difference

### 1.3 车门自身问题分析

#### 1.3.1 车门密封尺寸不合理

部分车门密封尺寸偏小,限位结构间隙较大,车门向外受压时密封胶条失效而产生啸叫。

#### 1.3.2 密封胶条结构不合理

门板下部密封胶条结构见图 3。当气流按箭头方向从车内流向车外时,胶条因与门板之间无有效支撑而变形,导致密封胶条失效,进而产生车门啸叫。

#### 1.3.3 密封胶条理论压缩量不足

##### 1.3.3.1 门板位移量测试

在气密试验台对车门进行冲压测试,测试不同

2) 列车与隧道的阻塞比。根据 GB 55033—2022《城市轨道交通工程项目规范》,郑许市域铁路阻塞比 $\leq 0.40$ ,但实际阻塞比为 0.49。阻塞比大是导致车辆内外压差增大的主要因素。

3) 隧道内风机开启情况。郑许市域铁路隧道内风机未开启,隧道内难以通风导致负压较大,也会导致车辆内外压差增大。

4) 列车编组数量。列车由 4 辆编组变为 6 辆编组时,车辆外部压力增加 17%,车辆内外压差也会增加。

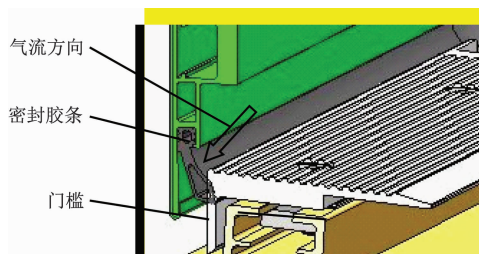
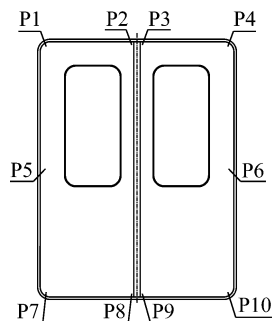


图3 门板下部密封胶条结构

Fig. 3 Structure of sealing rubber strip at lower part of door panel

压力下门板的外摆位移量。车门测点布置见图 4。门板位移量见表 2。



注:P1—P10 为测点位置。

图4 车门测点布置图

Fig. 4 Layout diagram of vehicle door measurement points

1.3.3.2 胶条因车门内外压差产生的变形量计算  
车门下部密封胶条因压差受到的压力  $F$  为:

$$F = pS \quad (1)$$

表2 不同车门内外压差下门板位移量

Tab.2 Door panel displacement with different vehicle internal and external pressure difference values

测点	不同车门内外压差下门板位移量/mm			
	400 Pa	600 Pa	1 000 Pa	1 200 Pa
P1	0.49	0.91	2.01	2.42
P2	0.26	0.55	0.82	1.03
P3	0.27	0.52	0.86	1.02
P4	0.32	0.71	1.05	1.34
P5	1.96	2.83	4.15	4.64
P6	0.97	1.98	3.10	0.49
P7	1.51	1.64	1.52	1.47
P8	1.26	1.52	1.85	1.98
P9	2.63	4.31	4.76	4.88
P10	0.25	0.66	0.41	0.35

式中:

$p$ ——车门内外压差;

$S$ ——下部密封胶条的迎风面积。

根据式(1),当 $p$ 为1 200 Pa时, $F$ 为22 N。密封胶条的压力-位移量曲线见图5。由图5可知:当胶条受到22 N的压力时,其位移量为2.44 mm。

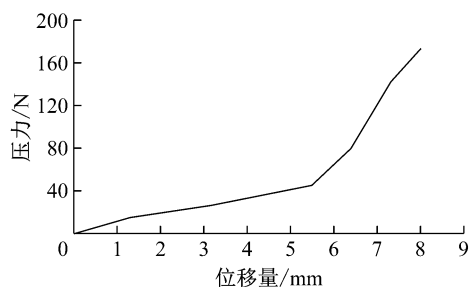


图5 密封胶条压力-位移量曲线

Fig.5 Curve of sealing rubber strip pressure to displacement

### 1.3.3.3 门板下部密封胶条位移量分析

车辆内外压差为1 200 Pa时,门板下部密封胶条位移量为门板外摆位移量与胶条受压差产生的变形量之和,经计算,其值为7.32 mm。而密封胶条的理论压缩量为4.4 mm,理论压缩量不足,车辆内外压差较大时产生缝隙导致啸叫。

## 2 应对策略

### 2.1 合理的阻塞比

在项目策划阶段,城市轨道交通建设方应合理设置列车和隧道的阻塞比。

### 2.2 车门下部密封胶条结构优化

优化后的车门下部密封胶条结构见图6。图6中:常规胶条仅有唇边3,新增唇边1和唇边2。当气流沿箭头方向流动时,唇边2与门槛越压越紧,唇边1支撑密封胶条防止向车外偏移,提高了车门密封性能。

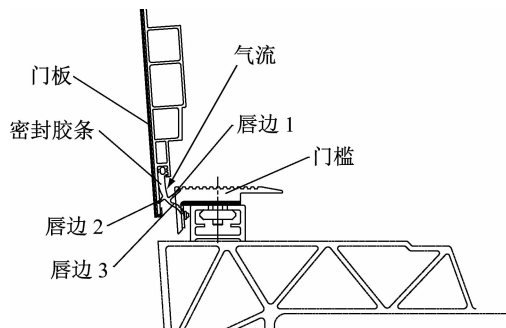


图6 优化后的车门下部密封胶条结构

Fig.6 Optimized structure of vehicle door lower sealing rubber strip

### 2.3 车门左、右及上部密封胶条结构优化

优化后的车门左、右及上部密封胶条结构见图7。在常规密封胶条1的基础上,新增密封胶条2。车门关闭后,车辆内外压差越大,密封胶条2与门板之间压接越紧,从而提高了车门左、右及上部的密封性能。

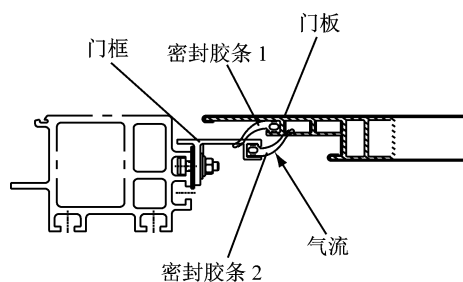


图7 优化后的车门左、右及上部密封胶条结构

Fig.7 Optimized structure of left, right and upper sealing rubber strips of door panel

### 2.4 增大密封胶条压缩量

考虑制造误差,密封胶条压缩量需加大至8 mm。经计算,密封胶条压缩量为8 mm时的反弹力达到1 342 N,远超无法关门的340 N限值。

在密封胶条结构、安装部位硬度及压缩量不变的前提下,通过优化胶条密封部位的材质,改变密封胶条硬度,进而减小其反弹力。密封胶条优化前后对比如表3所示。

表 3 密封胶条优化前后对比

Tab.3 Comparison of sealing rubber strips before and after optimization

项目	门板安装卡槽处 胶条材质	门板安装卡槽处胶条 硬度/HA	门框接触处胶条材质	门框接触处胶条 硬度/HA	反弹力/N
优化前	三元乙丙硬质胶	62	EPEM 硬质胶	62	1 342
优化后	三元乙丙硬质胶	62	EPEM 海绵胶	38	324

3 优化方案验证

将优化前后的车门安装在相同的气密试验台上进行冲压试验,其结果对比见表 4。由表 4 可见:在进气量相同的情况下,车门优化后车内最大压力由 1 400 Pa 提升至 2 200 Pa,车门密封性能明显提升,彻底解决了车门啸叫问题。

表 4 车门冲压试验结果对比

Tab.4 Comparison of vehicle door stamping test results

项目	最大冲压压力/Pa	最大冲压压力时的啸叫情况
优化前	1 400	严重啸叫
优化后	2 200	无啸叫

4 结语

本文从城市轨道交通列车车门啸叫原理、车辆内外压差、车门自身问题等多方面对车门啸叫问题进行了深入分析,并从阻塞比、车门密封胶条结构优化及压缩量提升等方面提出了针对性的应对策略,优化后车门的密封性能明显提升,彻底解决了车门啸叫问题。

参考文献

[1] 毕海权,雷波,巩云. 高速地铁隧道压力波研究[J]. 暖通空调, 2017, 47(5): 36.  
BI Haiquan, LEI Bo, GONG Yun. Study on pressure wave in high-speed underground railway tunnels[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2017, 47(5): 36.

[2] 何德华,陈厚娣,张超. 高速列车通过隧道压力波特性试验研究[J]. 铁道机车车辆, 2014, 34(5): 17.  
HE Dehua, CHEN Houchang, ZHANG Chao. Test study on tunnel pressure wave for EMU[J]. Railway Locomotive & Car, 2014, 34(5): 17.

[3] 陈健. 地铁车辆客室车门啸叫原因分析与对策[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(12): 125.  
CHEN Jian. Analysis of the metro carriage door squeaking and countermeasures[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(12): 125.

· 收稿日期:2023-10-21 修回日期:2024-01-06 出版日期:2024-08-10  
Received:2023-10-21 Revised:2024-01-06 Published:2024-08-10

· 通信作者:毛开楠,高级工程师,maokainan@cqsf.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

(上接第 317 页)

China Association of Metros. Brake systems of urban rail vehicles Part 4: Technical specification of brake control units; T/CAMET 04004. 4—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018:6.

[2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车辆制动系统 第 1 部分:电空制动系统通用技术规范; T/CAMET 04004. 1—2018 [S]. 北京:中国铁道出版社,2018:6.

China Association of Metros. Brake systems of urban rail vehicles Part 1:Technical specification of electro-pneumatic brake system;

T/CAMET 04004. 1—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018:6.

· 收稿日期:2022-03-30 修回日期:2022-04-24 出版日期:2024-08-10  
Received:2022-03-30 Revised:2022-04-24 Published:2024-08-10

· 通信作者:赵庆刚,工程师,zhaoqinggang.ss@crrecg.cc

· ©《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

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn