

某铝盘地铁项目制动噪声原因分析*

王 芬 吴旦鸣

(中车南京浦镇车辆有限公司, 211800, 南京)

摘 要 [目的]某项目制动盘在制动最后停车阶段产生较大噪声,造成的环境噪声污染影响到车辆段周围住户休息及乘客乘车舒适度,故需对其噪声形成的原因进行相关分析。

[方法]选取 1 列典型噪声车,在其转向架夹钳吊耳和闸片托上安装振动加速度传感器;在夹钳上安装声音传感器,对其进行试验。根据不同工况下,对不同转向架发生噪声及夹钳振动频率的关系进行分析。[结果及结论]经过检测发现:噪声制动盘在制动时产生约 300 Hz 的振动,振动伴随着整个噪声过程;噪声原因为制动盘与夹钳在制动时产生共振导致。解决其噪声的方法:在制动过程中充分采用电制动,以减少气制动使用,使制动噪声降低;通过闸片倒角或更换制动夹钳固定螺栓等改变制动夹钳振动频率,降低制动盘与夹钳制动的共振。

关键词 地铁; 噪声; 共振; 制动盘

中图分类号 TB533+.2:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.05.022

Cause analysis of Braking Noise of A Metro Project with Aluminum Disc

WANG Fen, WU Danming

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 211800, Nanjing, China)

Abstract [Objective] In a certain project, significant noise is generated during the last braking parking phase, affecting the surrounding residents rest and passenger comfort due to noise pollution caused by braking. Therefore, it is necessary to analyze the causes of the noise. [Method] A typical noisy train is selected, and vibration acceleration sensors are installed on the caliper hanger and brake pad support. Sound sensors are installed on the caliper for experimentation. The relationship between noise occurrence and caliper vibration frequency under different operating conditions for different bogies are analyzed. [Result & Conclusion] Through testing, it is found that during braking, the brake disc generates vibrations around 300 Hz, with vibration accompanying the entire noise process. The noise is caused by resonance between the brake disc and the caliper during braking. To mitigate the noise, it is recommended to use electric braking as much as possible during braking

to reduce the use of pneumatic braking, thereby reducing braking noise. Additionally, modifying the brake pad chamfer or replacing the caliper fixing bolts to change the caliper vibration frequency can help to reduce resonance between the brake disc and the caliper during braking.

Key words metro; noise; resonance; brake disc

盘式制动器是各类车辆和机械设备的主流制动装置,是高速动车利用摩擦制动停车的主要部件。随着盘式制动器的应用越来越广泛,其频繁产生的摩擦噪声成为困扰问题。其制动过程中,主要是依靠旋转的制动盘和摩擦面之间产生的摩擦力达到制动的目的,然而摩擦界面磨粒的自激振动产生的噪声降低了工作的舒适性,且制动噪声分贝过高对人体造成较大危害^[1-2]。

随着经济发展和生活水平的提高,人们对出行交通工具的要求也越来越高。城市轨道交通作为城市交通工具的重要组成部分,其运行过程中产生的噪声对乘客的舒适度有较大的影响。本文以某地铁项目采用铝盘(铝合金制动盘),在运营过程中一些车出现制动噪声为例,通过对整个项目车辆进行普查,并对典型噪声车辆进行测试,以期发现噪声规律。

1 试验检测

1.1 测点布置

选取 1 列典型噪声车,对其进行试验:在转向架夹钳吊耳和闸片托上安装振动加速度传感器,在夹钳上安装声音传感器,在车上安装加速度传感器。其具体传感器安装方案见图 1。

1.2 测试工况

对所有制动噪声车辆的每个转向架噪声情况进行调查,得到噪声在各转向架发生率。

工况 1 测试前,将制动噪声车辆转向架更换闸

* 深圳地铁 6 号线项目(PM129)

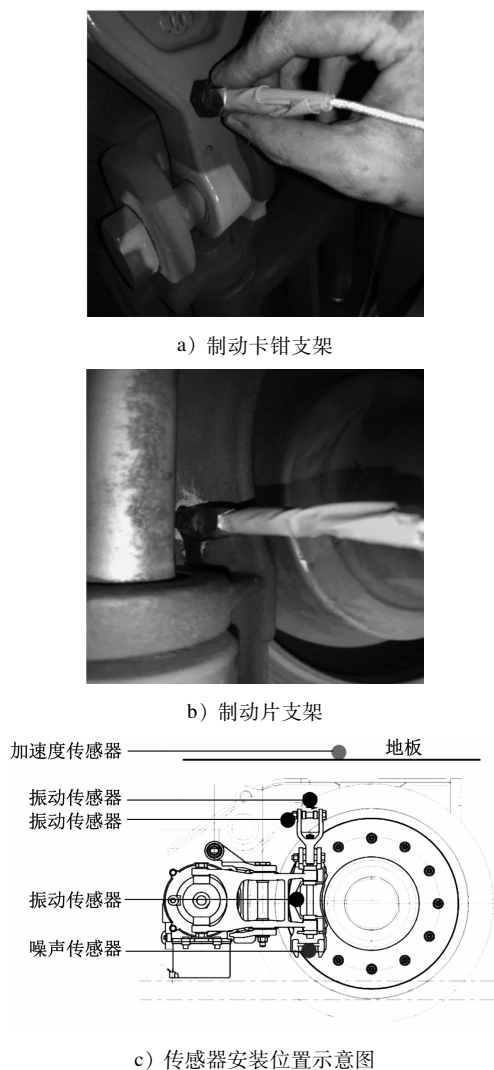


图1 传感器安装位置

Fig. 1 Sensor installation position

片,完成后测试制动噪声是否消失。

工况2在噪声制动盘上涂抹油脂,测试噪声是否消失。

工况3 AW0(空载)载荷下,初速度分别为30 km/h的紧急制动。

工况4 AW0载荷下,初速度为10 km/h,制动级位分别为10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%的电空制动。

工况5 AW0载荷下,初速度为10 km/h,制动级位分别为10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%的纯空气制动。

根据以上工况下不同转向架发生噪声及夹钳振动频率的关系进行分析。

1.3 试验结果及分析

列车均为6辆编组,对12个转向架噪声的调查

情况见图2。

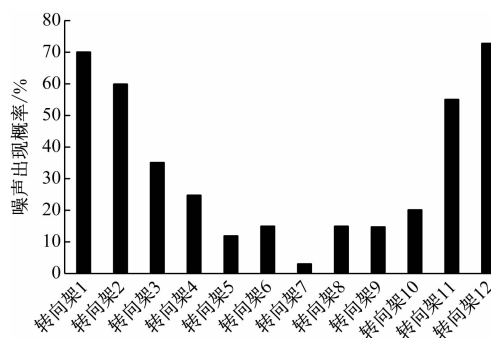


图2 各转向架制动噪声率

Fig. 2 Brake noise rate of each bogie

由图2可知:制动噪声主要集中在两端的转向架1和转向架2上。

工况1的结果:在刚更换闸片,其表面未磨合光滑时,进行各模式制动均未出现异响;待闸片表面磨合完毕(接触面积大于80%),噪声再次出现。该现象与旧闸片的基本一致。这说明噪声与闸片无直接关系。

工况2的结果:制动盘涂油后噪声得到改善,但随着几次制动后,噪声恢复。这说明噪声与轮缘润滑等油渍无关。

工况3的结果:紧急制动噪声依然存在。

工况4及工况5的结果:各制动级位制动下噪声如图3所示。

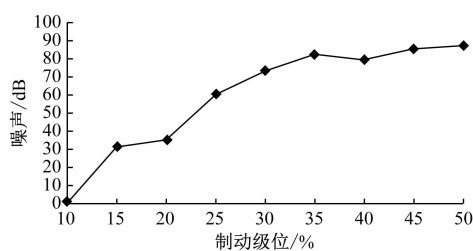


图3 噪声与制动级位关系

Fig. 3 Relation between noise and braking level

根据工况4与工况5数据显示,当制动级位大于25%时,制动噪声将大于70 dB;当制动级位小于25%时,制动噪声较小。

根据其他研究结果,摩擦噪声随制动压力的增大呈现先增大后减小的趋势。制动压力较小时,摩擦界面的接触面积小,对磨过程中的微凸体挤压程度小,摩擦系统的稳定性高,等效A声级较小;随着压力的增加,磨粒会嵌入制动盘中,需要大量能量克服剪切力,且产生犁沟现象,导致声压增大^[3]。

工况 4 和工况 5 数据完全符合上述噪声与制动压力变化趋势。

噪声产生时,夹钳安装座、吊杆、闸片托处存在明显的振动现象。振动、噪声、制动缸压力关系见图 4、图 5。

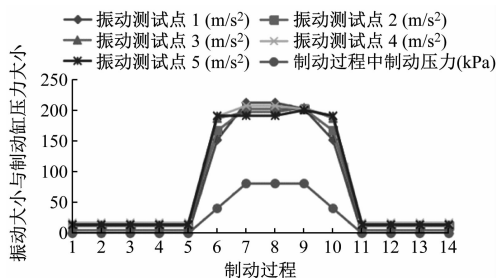


图 4 制动过程中振动与制动缸压力关系

Fig. 4 Relation between vibration and brake cylinder pressure during braking process

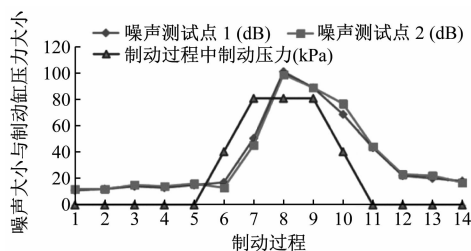


图 5 制动过程中噪声与制动缸压力关系

Fig. 5 Relation between noise and brake cylinder pressure during braking process

由图 4 和图 5 可知:随着制动力的增加,噪声与振动跟随产生,噪声与制动过程有紧密关系。

对夹钳安装座、吊杆、闸片托处振动频谱分析见图 6。

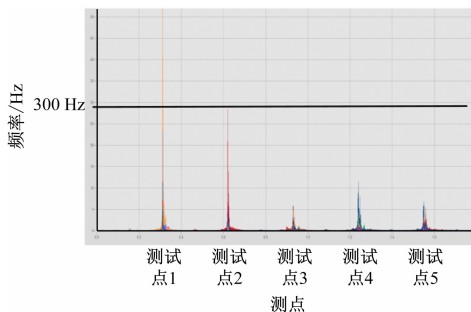


图 6 振动频谱分析截图

Fig. 6 Screenshot of vibration spectrum analysis

根据图 6 对各测试点的振动频率进行分析,振动时产生的振动频率集中在 300 Hz 左右。并且此制动盘、夹钳、构架组成系统的固有频率(250 ~ 300 Hz)比较接近,由此推断噪声产生的原因可能与共振有关,为进一步证明此结论,需要进行试验

验证。

1.4 进一步验证

研究振动频谱发现,振动频率集中在 250 ~ 300 Hz 时,其他频率并未产生噪声。为进一步验证噪声是否共振所致,对制动闸片进行切片(见图 7),以破坏闸片与制动盘之间的共振频率,来检测噪声是否消失或减小。

由图 7 可知,两端切除斜角,切除部分长度为 40 mm,厚度为 5 mm。切片后的新闸片的面积是 34 274 mm²,切割后剩余 30 673 mm²,其减少了 10.5%。由于切割的面积为楔型块,随着闸片不断磨耗,其实际使用面积也越来越大,能确保满足与制动盘的 80% 接触面积的要求。闸片切割仅在摩擦面进行,因此,不会影响到闸片的安装和固定,也不会带来掉落风险。列车制动后噪声与切片前噪声对比见图 8。

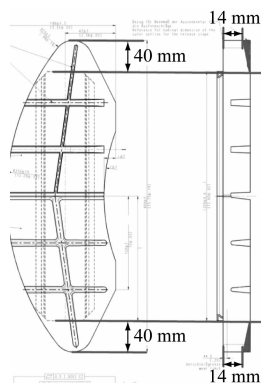


图 7 制动闸片切片示意图

Fig. 7 Diagram of brake pad sliced profile

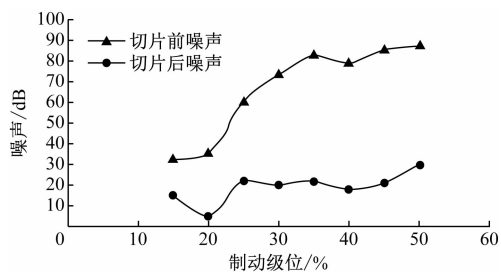


图 8 切片前后噪声对比图

Fig. 8 Comparison diagram of noise levels before and after slice

由图 8 可知,切片后噪声有明显减小或消失,这说明噪声与共振有直接关系。

2 噪声改善措施

根据上述分析,减少噪声产生的方向有 2 个:

(下转第 117 页)

侧墙板的碳足迹研究,得到如下结论:

1) 相同功能的侧墙板内装产品,不同材质、不同工艺计算得到的碳排放结果相差较大,FRP 侧墙板碳排放大于 PC 侧墙板碳排放。可考虑在满足车辆性能的前提下,优先采用碳排放较低的 PC 侧墙板,从而降低整车的碳排放。

2) PC 侧墙板和 FRP 侧墙板产品生产过程碳排放占生命周期的 18% 以上,需要通过优化生产技术等来实现侧墙板生产过程中的碳减排。建议进一步优化能源结构,从传统电力向清洁能源过渡,提高清洁能源使用比例,从而降低侧墙板生产过程中的碳排放。

3) PC 侧墙板板材可以回收再利用,为了减少碳排放,设计选型时可优先考虑选用对环境友好型的可回收利用的 PC 侧墙板。

4) 针对产品碳足迹研究在轨交行业才刚刚起步,在数据方面本文只研究了侧墙板原材料获取、生产过程和回收过程中主要的碳排放来源。未来需持续进行产品碳足迹全过程中数据的积累和记录,同时进一步研究复杂情况下产品的碳排放,并对数据进行进一步优化。

(上接第 112 页)

1) 最大程度地利用电制动停车,以减少空气制动在制动过程的运用,从而减低制动摩擦产生噪声。方法有:① 修改牵引软件,常用制动时将电制动发挥到最大,可采用电制动到零方案;② 电空配合可采用电空浮空点配合,即不再采用固定点退出电制动,可根据电制动能力设置电制动完全退出点;每次可根据实际所需制动力与最后完全退出点,反推出空气制动开始补偿点,充分利用电制动停车。

2) 通过改变夹钳振动频率:① 对所有闸片进行切片处理;② 对制动夹钳安装螺栓等进行更换等。

3 结语

通过对出现异常制动噪声现象的某地铁列车进行整车制动试验,结合振动噪声测试、制动压力与列车速度同步测试等现场测试,明确了此城际列车的异常噪声频率分析得出以下结论:

1) 噪声产生原因主要为制动夹钳与制动盘共振产生。共振频率在 25 ~ 30 Hz 之间。

2) 制动级位越大,产生的噪声越大。常用级位在 25% 时噪声会明显减小。

参考文献

- [1] British Standards Institution. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services (British Standard): PAS 2050: 2011[S]. British Standards Institution, 2011.
- [2] International Organization for Standardization. Greenhouse gases-carbon footprint of products-requirements and guidelines for quantification and communication: ISO/TS 14067: 2013[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2013.
- [3] International Organization for Standardization. Environmental management-life cycle assessment-principles and framework: ISO 14040: 2006[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [4] International Organization for Standardization. Environmental management-life cycle assessment-requirements and guidelines: ISO 14044: 2006[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.

· 收稿日期:2023-12-02 修回日期:2023-12-30 出版日期:2024-05-10
Received:2023-12-02 Revised:2023-12-30 Published:2024-05-10
· 通信作者:陈国恒,高级工程师,chengguo43@163.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

参考文献

- [1] 李建熹,莫继良,王东伟,等. 制动力对制动尖叫噪声及磨损特性的影响[J]. 润滑与密封,2017(42):49.
LI Jianxi, MO Jiliang, WANG Dongwei, et al. The influence of braking force on brake squeal noise and wear characteristics [J]. Lubrication and Sealing, 2017(42): 49.
- [2] 王文竹,李杰,刘刚,等. 汽车盘式制动器制动噪声优化抑制仿真[J]. 计算机仿真,2019,36(1):171.
WANG Wenzhu, LI Jie, LIU Gang, et al. Optimal suppression simulation on automotive disc brake noise[J]. Computer Simulation, 2019, 36(1): 171.
- [3] 贺义,陈光雄,张捷,等. 制动压力对某城际列车异常制动噪声的影响[J]. 噪声与振动控制,2020,40(1):116.
HE Yi, CHEN Guangxiong, ZHANG Jie, et al. Influence of braking pressure on abnormal braking noise of an intercity train[J]. Noise and Vibration Control, 2020, 40(1): 116.

· 收稿日期:2023-11-12 修回日期:2023-12-30 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-12 Revised:2023-12-30 Published:2024-05-10
· 通信作者:王芬,高级工程师,wangfen_pzcsr@163.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