

# 基于 IEC 61373:2010 的轨道交通列车车轮 踏面清扫器振动冲击试验

马 玄<sup>1</sup> 马玉强<sup>2\*</sup> 王 悦<sup>3</sup> 许 杰<sup>4</sup> 贾 泽<sup>4</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司科技管理部, 130062, 长春;

2. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 213011, 常州;

3. 中车长春轨道客车股份有限公司安技环保部, 130062, 长春;

4. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 介绍了轨道交通列车车轮踏面清扫器的结构与功能。参照 IEC 61373:2010 的要求,对实车采集的振动载荷进行了等效计算。设计了试验方案,对踏面清扫器进行了横向、纵向和垂向等 3 个方向的模拟长寿命振动试验、冲击试验和功能性随机振动试验。结果表明,在目前的试验条件下,踏面清扫器各零部件未出现明显裂痕,性能未受到影响。  
**关键词** 轨道交通; 列车; 车轮; 踏面清扫器; 振动冲击试验

**中图分类号** U270.331+.1

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.02.012

## Vibration Impact Test of Rail Transit Train Wheel Tread Cleaner Based on IEC 61373: 2010 Standard

MA Xuan, MA Yuqiang, WANG Yue, XU Jie, JIA Ze

**Abstract** The structure and functions of rail transit train tread cleaner are introduced. According to the requirements of IEC 61373:2010 standard, an equivalent calculation of vibration load collected from real vehicle is carried out. Then, a test scheme is designed, in which simulation long-life vibration test, impact test and functional random vibration test of the tread cleaner in transverse, longitudinal and vertical directions are implemented. The test results show that under present test conditions, no obvious cracks in each part of tread cleaner are detected, and the performance of tread cleaner is not affected.

**Key words** rail transit; train; wheel; tread cleaner; vibration impact test

**First-author's address** Science and Technology Management Department, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

列车高速运行时,其运行的平稳性和舒适性与车轮踏面的状态有着十分紧密的关系,同时,车轮踏面的黏着力及清洁度直接影响着列车的制动效果。踏面清扫器是保证车轮和轨道接触面黏着力及清洁度的重要装置。踏面清扫器工作时,研磨块与车轮踏面接触,研磨块中的金属粒子粘附在车轮踏面,可增加轮轨之间的黏着力,同时又能清除车轮上附着的杂物。但是,近 2 年已装车运用的踏面清扫器的研磨块背板偶有断裂现象出现(见图 1)。为了确认踏面清扫器结构设计的可靠性,本文参照 IEC 61373:2010《铁路应用 铁道车辆设备冲击和振动试验》中规定的 2 类转向架安装产品的试验要求,结合踏面清扫器的运用工况特点,开展了振动冲击试验研究。

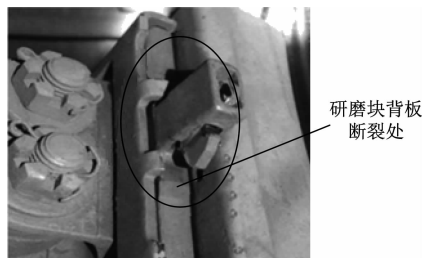


图 1 列车车轮踏面清扫器背板断裂图

Fig.1 Diagram of tread cleaner backplane fracture

## 1 列车车轮踏面清扫器振动冲击试验要求

### 1.1 试验对象

踏面清扫器安装在车辆转向架上,主要由缸体、研磨块背板、活塞杆及研磨块等组成,其结构安装见图 2。本文选取地铁用某型号踏面清扫器为试

\* 通信作者

验对象,其最大外形空间尺寸为 400 mm×100 mm×150 mm(长度×宽度×高度),质量约 10 kg。

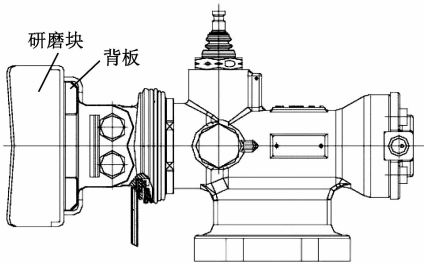


图 2 踏面清扫器安装图

Fig. 2 Diagram of tread cleaner installation

按照 IEC 61373:2010 中的 2 类试验要求,对该踏面清扫器进行振动冲击试验及振动磨损检查,分析引起异常磨损的原因,为解决研磨块背板断裂提供技术支持。

### 1.2 试验布置

试验时,将踏面清扫器放置在电磁振动台上,试验台最大推力为 15.68 kN,最大速度为 2 m/s,最大峰-峰位移为 51 mm,频率为 2~2 200 Hz,一阶谐振频率为 1 800 Hz。试验布置如图 3 所示,试验用夹具与踏面清扫器通过螺栓按一定角度固定连接,以模拟被试产品在列车转向架上的实际安装姿态。设计试验夹具的第 1 阶固有频率为 510 Hz,大于试验最大限值 250 Hz;该固有频率满足动强度要求,并对其进行了疲劳强度极限校核。

### 1.3 试验方法

IEC 61373:2010 中规定了根据获得的实测线路运行数据制定随机振动量级所采用的方法。本文试验方案主要参照该标准中 2 类转向架安装产品的试验要求,同时按现车实测振动冲击量级而设计。若现车实测振动冲击量级超过标准中规定的参考点加速度均方根值  $a_{rms}$  的要求,则按照实测振动冲击量级等效计算后再进行试验;若现车实测振动冲击量级低于标准要求,则按照该标准规定的振动冲击试验量级进行试验。试验时,按照模拟长寿命试验→冲击试验→功能性试验的顺序进行踏面清扫器振动冲击性能考核。

#### 1.3.1 模拟长寿命试验

模拟长寿命试验时长需根据试验台能够承受的最大振动冲击量级进行折算。折算时,采用 IEC 61373:2010 中规定的幅值增强方法<sup>[1]</sup>。具体折算方法参考 IEC 61373:2010 附录 A.5 的规定,根据幅

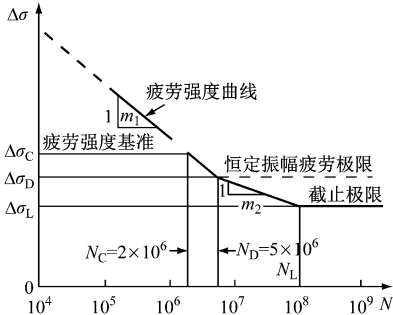
值增强方向,由实际工况折算实验室试验时长。增强前踏面清扫器的振动条件要求见表 1。

表 1 踏面清扫器的振动条件要求

Tab.1 Vibration condition requirements of tread cleaner

振动方向	$a_{rms}/(m/s^2)$	时间/年
垂向	24.4	25
横向	14.6	25
纵向	5.0	25

采用标准中通过增加振幅而缩短试验时间的方法(即“幅值增强方法”),进行模拟长寿命振动试验,其加速度比例系数计算方法采用如图 3 所示的典型疲劳强度曲线。



注:  $\Delta\sigma$  为应力幅值;  $N$  为循环次数;  $m_1$ 、 $m_2$  分别为典型金属材料的对应指数,  $m_1$  取 4,  $m_2$  取 6。

图 3 踏面清扫器典型疲劳强度曲线图

Fig.3 Typical fatigue strength curve of tread cleaner

踏面清扫器振动试验的加速度比例系数  $\beta$  为:

$$\beta = \frac{(5 \times 10^6)^{(1/m_1)} N_s^{(1/m_2)}}{(5 \times 10^6)^{(1/m_2)} N_t^{(1/m_1)}}$$

式中:

$N_s$ ——实车疲劳寿命内的循环次数,取  $10^8$  次;

$N_t$ ——实验室模拟疲劳寿命内的循环次数,

$N_t = n \times 3\,600 \times 2$  ( $n$  为模拟长寿命试验时长,单位为 h)。

采用幅值增强方法<sup>[2]</sup>缩短试验时长,踏面清扫器模拟长寿命试验量级见表 2。按 2 类转向架安装计算 ASD(加速度频谱密度),试验频率范围为 5~250 Hz。根据振动台能力,本文选取表 2 试验时长为 5 h 的工况进行试验。

#### 1.3.2 冲击试验

参照 IEC 61373:2010 对踏面清扫器做半正弦脉冲冲击试验。试验要求如表 3 所示。

表2 踏面清扫器模拟长寿命试验量级  
Tab.2 Simulation long-life test magnitude  
of tread cleaner

试验 时长/h	$a_{rms}/(m/s^2)$			试验 时长/h	$a_{rms}/(m/s^2)$		
	垂向	横向	纵向		垂向	横向	纵向
5	138.01	82.58	28.28	80	69.00	41.29	
10	116.05	69.44	23.79	85	67.96	40.67	
15	104.86	62.74	21.49	90	67.00	40.09	
20	97.58	58.39	20.00	95	66.10		
25	92.29	55.22		100	65.26		
30	88.18	52.76		105	64.47		
35	84.84	50.71		110	63.72		
40	82.06	49.10		115	63.02		
45	79.68	47.68		120	62.35		
50	77.61	46.44		125	61.72		
55	75.78	45.34		130	61.12		
60	74.15	44.37		135	60.54		
65	72.68	43.49		140	59.99		
70	71.34	42.69		145	59.47		
75	70.12	41.96		150	58.97		

表3 踏面清扫器冲击试验要求

Tab.3 Impact test requirements of tread cleaner			
方向	峰值加速度/( $m/s^2$ )	次数/次	脉宽/ms
垂向	1 000	6	10
横向	600	6	10
纵向	500	6	10

1.3.3 功能性试验

参照 IEC 61373:2010 对踏面清扫器做功能性试验。试验要求如表 4 所示。

表4 踏面清扫器功能性试验要求

Tab.4 Functional trial requirements of tread cleaner			
方向	$a_{rms}/(m/s^2)$	时间/min	频率/Hz
垂向	24.4	10	5 ~ 250
横向	14.6	10	5 ~ 250
纵向	5.0	10	5 ~ 250

需要说明的是,在进行功能性试验时,踏面清扫器需执行动作。其动作逻辑为:设置踏面清扫器充气时间 20 s,充气气压为 0.3 MPa,排气时间 10 s,再充气 20 s,以此反复循环。

1.4 评价基准

试验结束后,从以下 3 个方面对踏面清扫器进

行评价:①相关零部件无破损、脱落及松动,或永久变形;②踏面清扫器活塞杆动作正常,且例行试验应满足要求;③研磨块无缺陷、裂纹等。

2 踏面清扫器各项试验结果分析

2.1 踏面清扫器横向试验

2.1.1 踏面清扫器模拟长寿命振动试验

通过观察图 4 可知,踏面清扫器横向模拟长寿命振动频谱曲线在标称值附近变化,且大都在振动频谱上、下界限内;在某些频段踏面清扫器的振动量级超出了界限值,可能是受试验夹具连接的影响造成一定的偏差,但总体而言该影响可忽略不计。

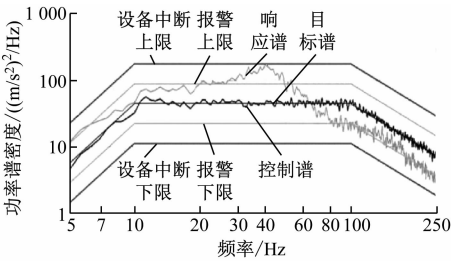


图4 踏面清扫器横向模拟长寿命振动频谱曲线  
Fig.4 Lateral simulated long-life vibration test curve of tread cleaner

2.1.2 踏面清扫器冲击试验

通过观察图 5 和图 6 踏面清扫器横向正向及横向反向的冲击试验曲线可知,控制峰值和响应峰值

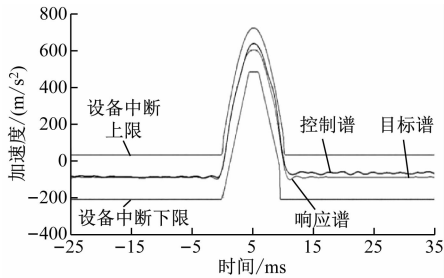


图5 踏面清扫器横向正向冲击试验曲线  
Fig.5 Lateral positive impact test curve of tread cleaner

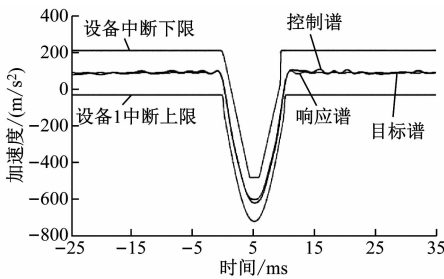


图6 踏面清扫器横向反向冲击试验曲线  
Fig.6 Lateral reverse impact test curve of tread cleaner

均在 IEC 61373:2010 要求的上、下界限内,且无试验偏差数据出现。

### 2.1.3 踏面清扫器功能性随机振动试验

在模拟长寿命振动及冲击试验后,要对踏面清扫器进行功能性随机振动试验,以观察踏面清扫器横向试验后能否正常工作,以及其功能是否受到影响。通过观察图 7 踏面清扫器横向功能性随机振动频谱曲线可知,控制谱线与响应谱线均在正常范围内,且量级上未出现明显的数值偏差。试验证明,横向长寿命和横向正、反向冲击试验对踏面清扫器的正常功能未造成影响。

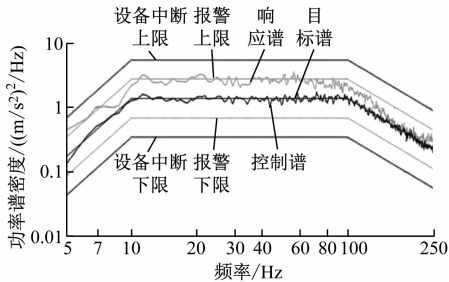


图7 踏面清扫器横向功能性随机振动频谱曲线

Fig.7 Lateral functional random vibration test curve of tread cleaner

## 2.2 踏面清扫器纵向试验

### 2.2.1 踏面清扫器模拟长寿命振动试验

通过观察图 8 所示的踏面清扫器纵向模拟长寿命振动频谱曲线可知,振动频谱可控曲线在标称值附近变化,且大都在上、下界限内;曲线起始段部分数值超出了界限值,可能是受试验夹具连接的影响存在一定的偏差,但总体而言是在可接受范围之内。

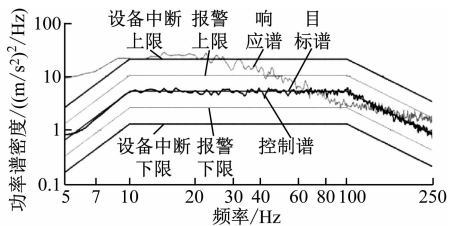


图8 踏面清扫器纵向模拟长寿命振动曲线

Fig.8 Longitudinal simulated long life vibration test of tread cleaner

### 2.2.2 踏面清扫器冲击试验

通过观察图 9 和图 10 踏面清扫器纵向正向及纵向反向冲击试验可知,控制谱线与响应谱线均在上、下界限内,整个试验过程满足 IEC 61373:2010 的要求,且无试验偏差数据出现。

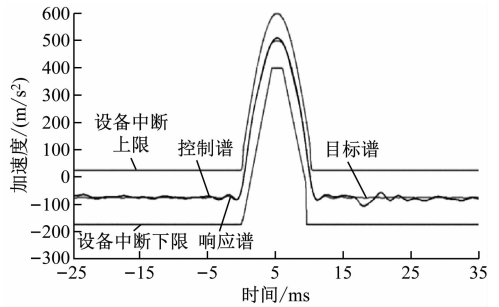


图9 踏面清扫器纵向正向冲击试验曲线

Fig.9 Longitudinal positive impact test of tread cleaner

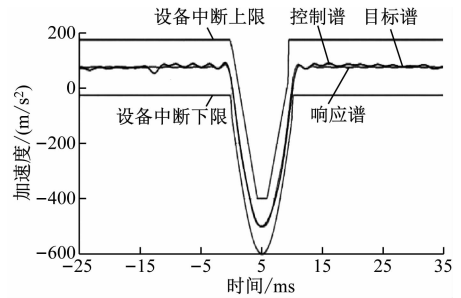


图10 踏面清扫器纵向反向冲击试验曲线

Fig.10 Longitudinal reverse impact test of tread cleaner

### 2.2.3 踏面清扫器功能性随机振动试验

踏面清扫器纵向模拟长寿命振动及纵向正、反向冲击试验完成后,仍需对其进行功能性随机振动试验,以观察踏面清扫器纵向试验后能否正常工作,且其功能是否受到影响。通过观察图 11 所示的踏面清扫器纵向功能性振动试验曲线可知,该曲线上升和下降阶段出现了部分偏差,其余频段均在正常范围内,未出现明显的数值偏差。试验证明,踏面清扫器纵向长寿命和纵向正、反向冲击试验对其正常功能未造成影响。

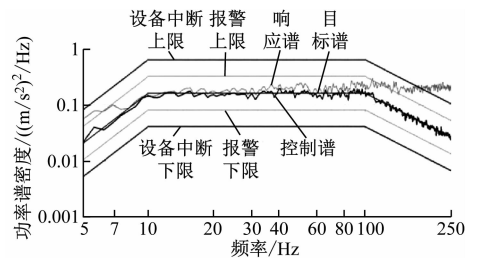


图11 踏面清扫器纵向功能性随机振动曲线

Fig.11 Longitudinal functional random vibration test of tread cleaner

## 2.3 踏面清扫器垂向试验

### 2.3.1 踏面清扫器模拟长寿命振动试验

通过观察图 12 所示的垂向模拟长寿命振动频谱曲线可知,控制曲线在标称值附近变化,响应曲

线整体在上、下界限内;响应曲线起始频段部分数值超出了界限值,可能是受试验夹具连接的影响造成一定的偏差,但总体而言是在可接受范围之内。

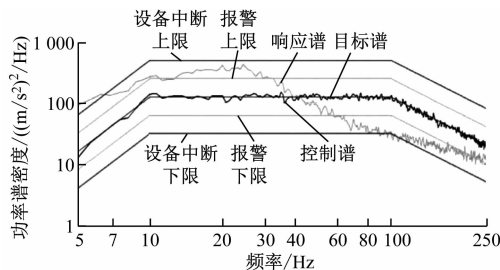


图 12 踏面清扫器垂向模拟长寿命振动曲线

Fig. 12 Vertical simulated long-life vibration test of tread cleaner

### 2.3.2 踏面清扫器冲击试验

通过观察图 13 和图 14 踏面清扫器的垂向正向及垂向反向冲击试验可知,控制谱线与响应谱线均在上、下界限内,试验过程满足 IEC 61373:2010 的要求,无明显试验偏差数据出现。

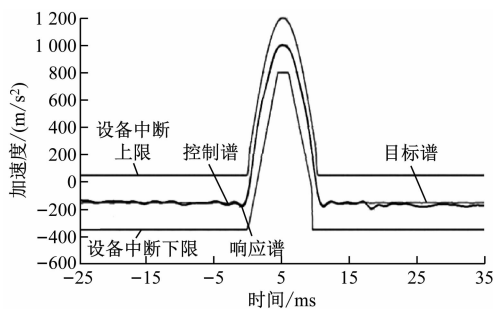


图 13 踏面清扫器垂向正向冲击试验曲线

Fig. 13 Vertical positive impact test of tread cleaner

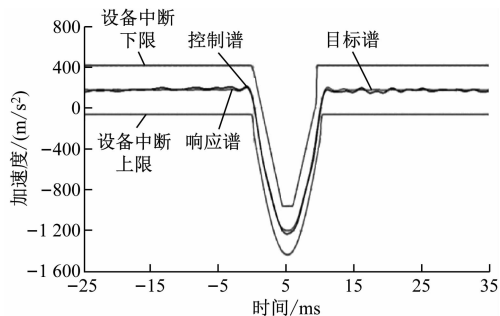


图 14 踏面清扫器垂向反向冲击试验曲线

Fig. 14 Vertical reverse impact test of tread cleaner

### 2.3.3 踏面清扫器功能性随机振动试验

在垂向模拟长寿命振动试验后,对踏面清扫器进行垂向功能性随机振动试验。通过观察图 15 垂向功能性随机振动试验曲线可知,刚开始频段出现

了部分偏差,其余阶段均在正常范围内,没有出现明显的数值偏差,试验证明垂向长寿命试验对踏面清扫装器的正常功能未造成影响。

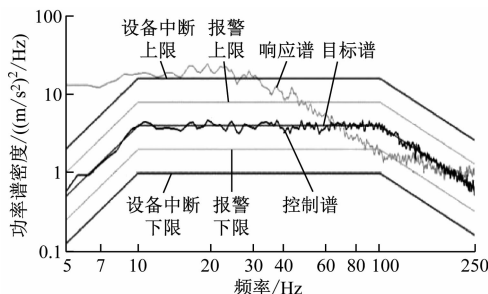


图 15 踏面清扫器垂向功能性随机振动曲线

Fig. 15 Vertical functional random vibration test curve of tread cleaner

## 3 结语

根据 IEC 61373:2010 要求,对踏面清扫器进行了横向、纵向和垂向等 3 个方向的模拟长寿命振动试验、冲击试验和功能性随机振动试验。结果表明,试验后的踏面清扫器各零部件无破损、脱落及松动或永久变形,未出现明显的裂痕,研磨块无缺陷、裂纹,活塞杆动作正常。这说明踏面清扫器结构强度满足试验要求,工作性能未受到影响。在目前的试验条件下,由于受试验台能力的限制,未能完全模拟出踏面清扫器承受的振动与冲击复合加载的实车工况,还需要对试验条件加以改进与优化,合理设计试验方案,避免欠试验和过试验,同时进一步开展正弦扫频试验和路谱迭代模拟振动试验,多维度分析踏面清扫器出现故障的原因,优化设计结构,提升产品质量。

## 参考文献

- [1] 孙立明,陈立伟,陈永祥. 对 IEC 61373 中模拟长寿命试验量级的分析[J]. 铁道技术监督,2014(8):7.  
SUN Liming, CHEN Liwei, CHEN Yongxiang. Analysis on the level of simulated long life test in IEC 61373[J]. Railway Quality Control, 2014(8):7.
- [2] 秦建忠,宋桂环,李杰. IEC 61373 两个版本标准的振动试验量级对比分析[J]. 环境技术,2015(6):54.  
QIN Jianzhong, SONG Guihuan, LI Jie. Comparison of vibration level between two versions of IEC 61373[J]. Environmental Technology, 2015(6):54.

(收稿日期:2021-08-25)