

# 汽车刮水器摩擦引起的噪声特性试验分析

张立军, 徐 飞, 王小博

(同济大学 汽车学院, 上海 201804)

**摘要:** 针对不同速度档位和玻璃干湿状态组合工况下刮水器工作时由于摩擦作用引起的刮臂振动、挡风玻璃振动和车内噪声,进行了试验测试.采用时间域、频率域与时频域分析方法,分析噪声的时频特性、影响因素与噪声来源.研究表明,刮水器摩擦噪声可分为换向噪声与刮刷噪声两大类;换向噪声为瞬态冲击噪声,刮刷噪声为宽带并夹杂谐波成分的复杂噪声;换向噪声与刮刷噪声特性受到挡风玻璃干、湿与雨水状态的影响很大,而受速度档位的影响较小;刮刷噪声主要与刮臂侧向振动和法向振动有关,但雨水与半干条件下的刮刷噪声分别来源于驾驶员与副驾驶侧的刮臂振动.

**关键词:** 汽车刮水器; 摩擦噪声; 试验分析; 时频分析

**中图分类号:** U 270.1; U 461

**文献标识码:** A

## Experimental Investigation into Friction Induced Noise of Automotive Wiper System

ZHANJG Liju, XU Fei, WANG Xiaobo

(College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** A test was conducted to examine the vehicle interior noise, windscreen vibration and wiper blade vibration induced by wiper friction, under combination conditions with various wiping speed and windscreen wetness. The time-frequency noise characteristics, influence factors and noise source were approached by means of time domain, frequency domain and time-frequency domain analysis. The results indicate that wiper noise can be classified into reversal noise and wiping noise. The reversal noise is characterized by impulsive noise, and wiping noise is featured by wide-band noise with harmonic signals. The nature of both types of noises is strongly affected by the degree of windshield glass wetness, while it is far less affected by the wiping speed. The wiping noise is mainly resulted from lateral and vertical vibration of wiper blades. However, the wiping noise under rain and half-dry conditions is respectively caused by the vibration of driver

side and co-driver side wiper blade.

**Key words:** automotive wiper system; friction induced noise; test analysis; time frequency analysis

现代汽车普遍使用电动刮水器,作用是清除附着在挡风玻璃上的雨、雾、霜、雪、泥、尘埃以及其他污物,保证驾驶员视野清晰,保障行车安全.以往被忽视的汽车零部件振动和噪声问题,包括刮水器的振动和噪声,目前日益受到重视.市场调查表明,用户对刮水器的质量抱怨主要与其工作时的振动和噪声有关.刮水器振动和噪声的负面效应主要包括:①振动和噪声对驾驶员产生干扰,影响驾驶员舒适性和行车主动安全性;②振动影响挡风玻璃刮擦效果,恶化驾驶员视野清晰度,影响行车安全.一般而言,刮水器的振动噪声主要来自电机<sup>[1]</sup>、传动齿轮<sup>[2]</sup>、空气动力<sup>[3]</sup>,以及刮片与挡风玻璃之间摩擦<sup>[4-5]</sup>等四大类.其中以摩擦引起的振动和噪声为主,分为在上、下止点之间刮刷时的10~20 Hz的低频振动<sup>[5]</sup>和100~200 Hz的低频振动和咔嗒声,以及发生在上下止点换向时的500 Hz以下的换向噪声与1 000 Hz左右的高频尖叫声<sup>[4]</sup>.

试验是研究刮水器振动和噪声的重要手段,对于了解和评价刮水器振动和噪声特性,合理确定理论建模假设条件,以及验证理论模型的有效性和准确性,具有重要作用.刮水器系统振动和噪声的试验分为车载试验和台架试验两大类,文献[6]在车载状态下测量驾驶员位置车内噪声信号,挡风玻璃、刮臂与刮片以及电机悬置点的振动信号,并通过频谱分析方法考察了刮水器引起的车内噪声特性,初步确定了噪声来源.分析方法具有一定的指导意义.但是,研究中没有对刮刷过程进行详细的时频特性分

收稿日期: 2009-04-27

作者简介: 张立军(1972—),男,副研究员,工学博士,主要研究方向为汽车振动与噪声控制,汽车系统动力学分析与控制.

E-mail: lijun.zhang@fcv-sh.com

析,也缺乏对刮水器的运行条件等因素对工作振动与噪声的影响分析.笔者针对某轿车的刮水器系统在车载条件下进行的振动和噪声的测量与分析,通过短时傅里叶分析方法与频谱分析相结合的方法,比较全面地考察了刮水器刮刷过程中的摩擦效应引起的车内噪声的特性,同时分析了挡风玻璃干湿状态以及刮水器速度档位等因素对噪声特性的影响,从而为后续的刮水器振动噪声现象的理论分析积累数据,奠定基础.

## 1 试验方法

### 1.1 试验测试系统

试验对象为某国产轿车的电动刮水器系统.

试验时的测点布置主要分为三部分:①车内驾驶员座椅位置与副驾驶员座椅位置的噪声信号;②驾驶员侧和副驾驶员侧刮臂的三向振动加速度信

号;③前挡风玻璃内表面的振动加速度信号,包括1个三向加速度信号和4个玻璃法向振动加速度信号.图1所示为整个测试现场;图2a为车内噪声测量声学探头布置情况,图2b为刮臂三向振动加速度传感器布置情况,图2c则为挡风玻璃表面振动加速度传感器的布置示意.



图1 刮水器振动与噪声测试现场

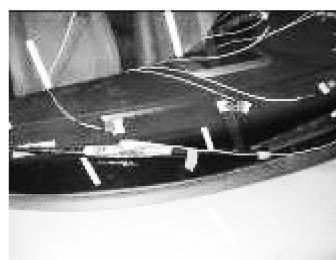
Fig.1 Wiper-induced vibration and noise test setup



a 声级计



b 刮臂加速度传感器



c 玻璃加速度传感器

图2 测点布置图

Fig.2 Experimental setup of measurement

### 1.2 试验工况设置

试验在整车半消声室内进行,试验时车辆发动机关闭,利用车载12V蓄电池供电,同时车辆的门窗正常关闭,驾驶员座椅安排1位试验人员模拟驾驶员单独驾车时车内声场空间.试验工况按照组合工况进行,共计24个测试工况.工况控制与安排如下:

——改变挡风玻璃的干湿状态,分别测量干燥状态、雨水状态、半干状态三种工况.

——改变刮刷速度档位,分别测量高速档、低速档、间歇档三种工况,其中,间歇档速度和低速档相同,故数据分析只针对高速和低速档情况.

## 2 试验数据处理与分析

### 2.1 试验数据处理方法

根据实测振动与噪声的非稳态特点,为了系统分

析刮水器工作过程中的噪声信号特征,需要采取时频分析技术,主要包括常用的幅值域分析、短时傅里叶分析以及频谱分析方法.各种方法简介如下.

(1) 幅值域分析方法 主要考察不同工况下噪声信号的平稳性和周期性,分析信号幅值大小及其变化特征.分析方法是基于实测噪声声压信号的时间历程,对噪声声压信号绝对值取包络线对比分析,分析信号特征以及相关因素的影响.

(2) 频率域分析方法 主要考察上刮与下刮过程中振动与噪声的频谱特征的变化,并利用互功率谱密度函数考察噪声与刮水器振动信号之间的关联关系,确定振动源与噪声源.

(3) 短时傅里叶时频分析 主要考察噪声与振动信号在整个工作过程中随时间的非稳态特征以及各个时段内的频率特征,从而确定振动与噪声的分类以及各类振动噪声的特征.具体应用 MATLAB 软

件中的 signal processing toolbox 中的 specgram 函数.

## 2.2 刮水器引起的车内噪声时域特性分析

### 2.2.1 噪声发生阶段与分类

图3为在低速档、挡风玻璃干燥工况下车内噪声声压信号在一个刮刷周期内的实测时间历程. 显然, 刮水器引起的噪声信号具有明显的非稳态特征, 在一个完整的工作循环内, 幅值以及频率成分是动

态变化的. 根据图3中信号的特征以及刮水器的工作机制, 可以将刮水器每个刮刷周期循环划分为2个过程4个阶段. 2个过程分别为从下止点到上止点的上刮过程, 和从上止点到下止点的下刮过程; 4个阶段分别为: ①阶段1, 刮水器在下止点的换向阶段; ②阶段2, 刮水器从下止点到上止点之间的上刮阶段; ③阶段3, 刮水器在上止点的换向阶段; ④阶段4, 刮水器从上止点到下止点之间的下刮阶段.

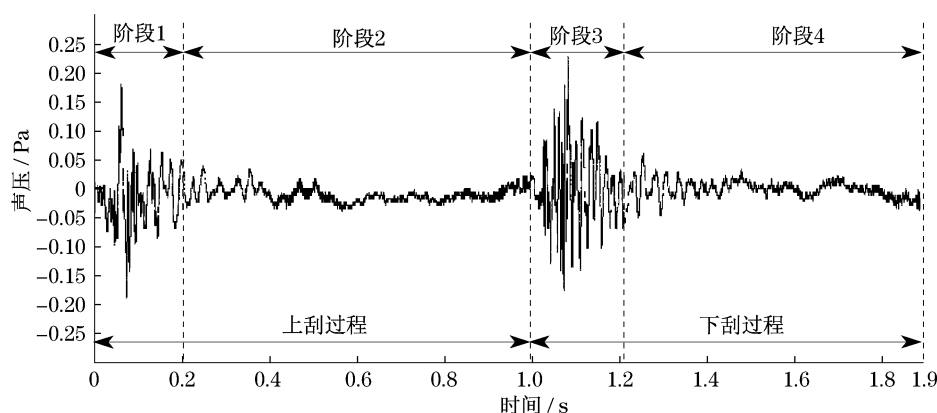


图3 刮水器在一个工作循环内引起的噪声阶段划分示意图

Fig.3 Interior sound pressure signal measured during one wiping cycle

### 2.2.2 噪声总体特征与影响因素分析

图4a,b分别为低速和高速工况下, 由刮水器在3个刮刷周期引起的车内噪声声压的绝对值的时间历程与绝对幅值的包络线图. 由图4分析可以得到以下结论:

(1) 两种刮刷速度下的噪声幅值总体特征受到挡风玻璃状态的显著影响, 具体表现在: ①干燥条件下的幅值时间历程表现出明显的与工作循环对应周期性特征, 而雨水与半干条件下的周期性趋于弱化, 这可能是由于这两种状态下玻璃表面的水分分布不均匀导致摩擦特性的不均匀. ②干燥条件下, 以上、下止点的换向噪声为主要成分, 呈现明显的冲击瞬态噪声特征; 半干与雨水条件下, 以上、下刮刷阶段的刮刷噪声, 尤其是上刮阶段的噪声为主要成分, 并且幅值变化比较剧烈, 同时, 上、下止点换向冲击噪声基本被淹没. ③三种挡风玻璃条件下都表现出上刮阶段噪声大于下刮阶段噪声的特点, 但是雨水与半干条件下的噪声幅值的差值很大, 而干燥条件下的差值较小.

(2) 在低速与高速时, 各种挡风玻璃状态下的

实测噪声信号的幅值总体分布特征基本相同, 即如(1)所述, 只是高速干燥条件下换向噪声峰值大于低速工况, 雨水条件下上刮阶段噪声峰值大于低速工况, 而半干条件下的刮刷噪声峰值比较接近.

## 2.3 刮水器引起的车内噪声频率域特性分析

### 2.3.1 总体噪声特征与影响因素分析

图5a,b分别为低速和高速工况下, 刮水器在3个刮刷周期引起的车内噪声声压的短时傅里叶时频分析结果. 由图5分析可以得到以下结论:

(1) 两种刮刷速度下的噪声时频特性总体特征受到挡风玻璃状态的显著影响, 具体表现在: 干燥条件下, 以上、下止点换向阶段为主要成分的冲击噪声为宽带噪声, 频率范围为0~500 Hz, 占据次要成分的上刮与下刮噪声幅值很小, 且基本在100 Hz以下; 雨水条件下, 以上刮阶段为主的噪声频率主要分布在0~1 000 Hz, 噪声峰值处于100~200 Hz之间, 而下刮阶段噪声很小, 且基本在200 Hz以下; 半干条件下, 以上刮阶段为主的噪声频率主要分布在0~1 000 Hz, 噪声峰值处于100~200 Hz之间, 而下刮阶段噪声很小.

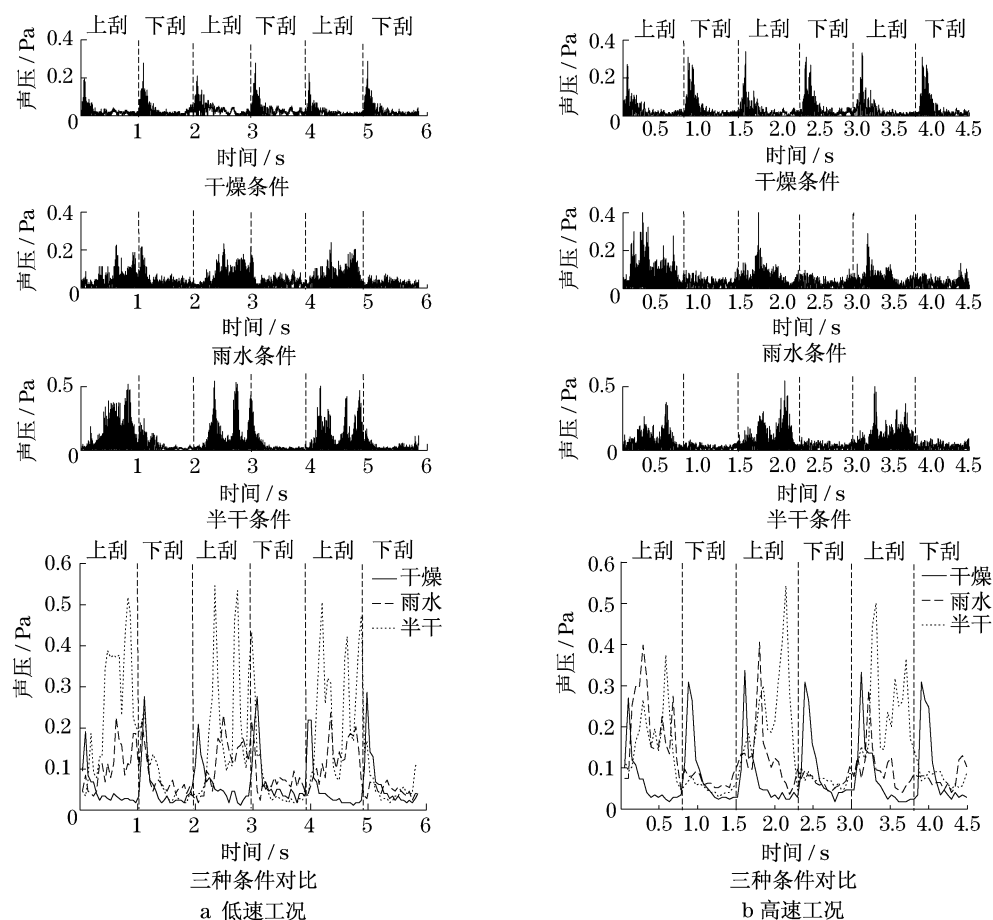


图4 车内噪声声压绝对值的时间历程及其包络线图

Fig.4 Time history curve and envelope curve of absolute values of sound pressure during three wiping cycles

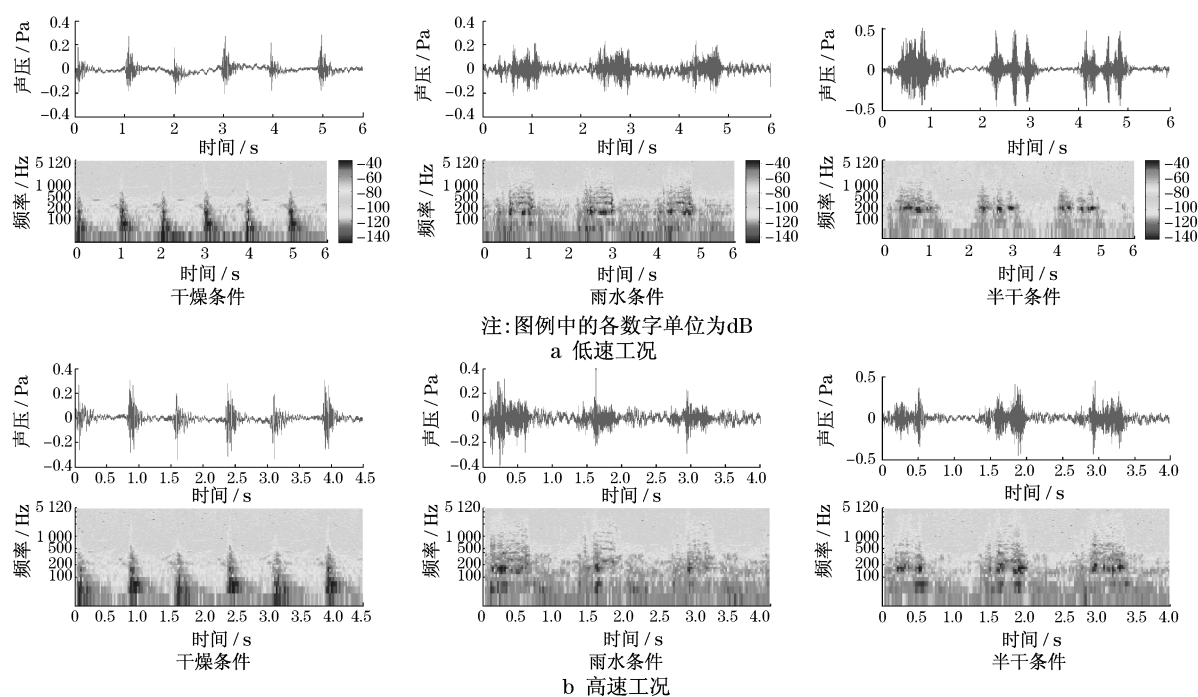


图5 车内噪声时频特性分析结果

Fig.5 Short-time fourier analysis of vehicle interior noise

(2) 在低速与高速下,各种挡风玻璃状态下的实测噪声信号的幅值总体分布特征基本相同,即如(1)所述,只是高速干燥条件下,换向噪声峰值大于低速工况,雨水条件下、上刮阶段噪声峰值大于低速工况,而半干条件下的刮刷噪声峰值比较接近.

### 2.3.2 刮刷噪声特征与影响因素及来源分析

下面详细分析上刮与下刮阶段的刮刷噪声.图6a,b分别为低速与高速工况下的上刮阶段和下刮阶段车内噪声在干燥、雨水和半干三种条件下的频谱特性.由图6可知:

(1) 对于上刮刮刷噪声,①干燥条件下,噪声能量主要分布在低频段内,存在330 Hz的峰值.②雨水和半干条件下,噪声能量主要分布在100~500 Hz

的频段内,而且分别存在频率为140~150 Hz的最大峰值频率;但雨水条件下,同时在270 Hz和410 Hz附近存在另外两个较大的峰值.③从整个频率范围看,噪声信号的功率谱密度的大小排序依次为:半干条件,雨水条件,干燥条件.

(2) 对于下刮刮刷噪声,①干燥条件、雨水条件和半干条件下的噪声信号频率都主要分布在低频段内,表现为低频噪声.②从整个频率分析范围来看,噪声信号的功率谱密度的大小排序依次为:雨水条件,半干条件,干燥条件.

(3) 高速工况下的上刮与下刮刮刷噪声频谱特性基本与低速相同.

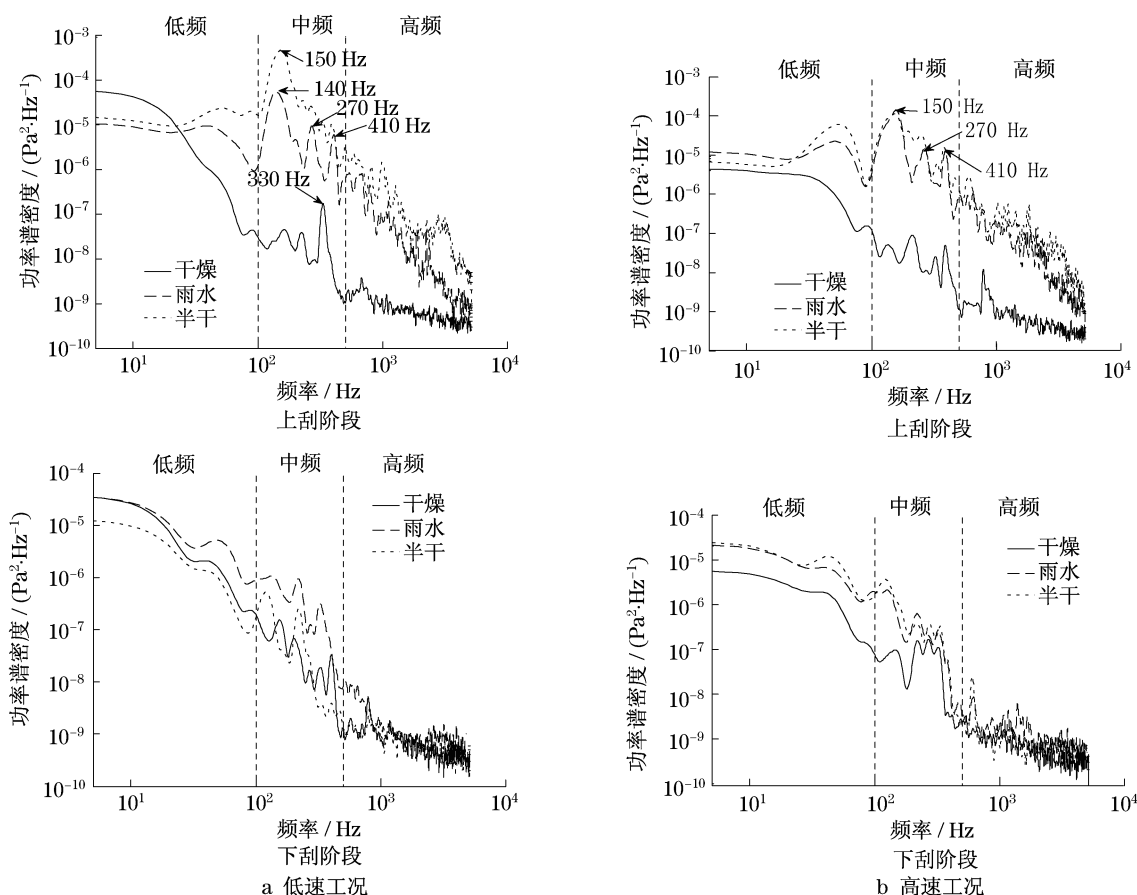


图6 上刮阶段和下刮阶段车内噪声频谱特性

Fig.6 Frequency domain analysis of wiping noise

### 2.3.3 刮刷噪声来源分析

下面进一步分析雨水和半干条件下占据主要频率成分的上刮100~500 Hz中频噪声与下刮0~100 Hz低频噪声的主要来源.

(1) 图7a,b分别对低速与高速工况下,上刮阶段车内噪声与刮臂、玻璃振动信号的互功率谱进行了对比.由图7可看出:

①低速雨水工况下,刮水器在上刮阶段产生的

噪声主要和驾驶员侧刮臂的切向和法向振动有关,相关频率(互功率谱峰值对应的频率)在140,270,410 Hz附近.在140 Hz处,噪声与切向振动以及噪声与法向振动的相关性相差不大;而在270 Hz处,噪声与法向振动的相关性较大;在410 Hz处,噪声与切向振动的相关性较大.高速雨水工况下,刮水器在上刮阶段产生的噪声主要和驾驶员侧、副驾驶侧刮臂的切向振动有关,相关频率(互功率谱峰值对

应的频率)在 160 Hz 附近.

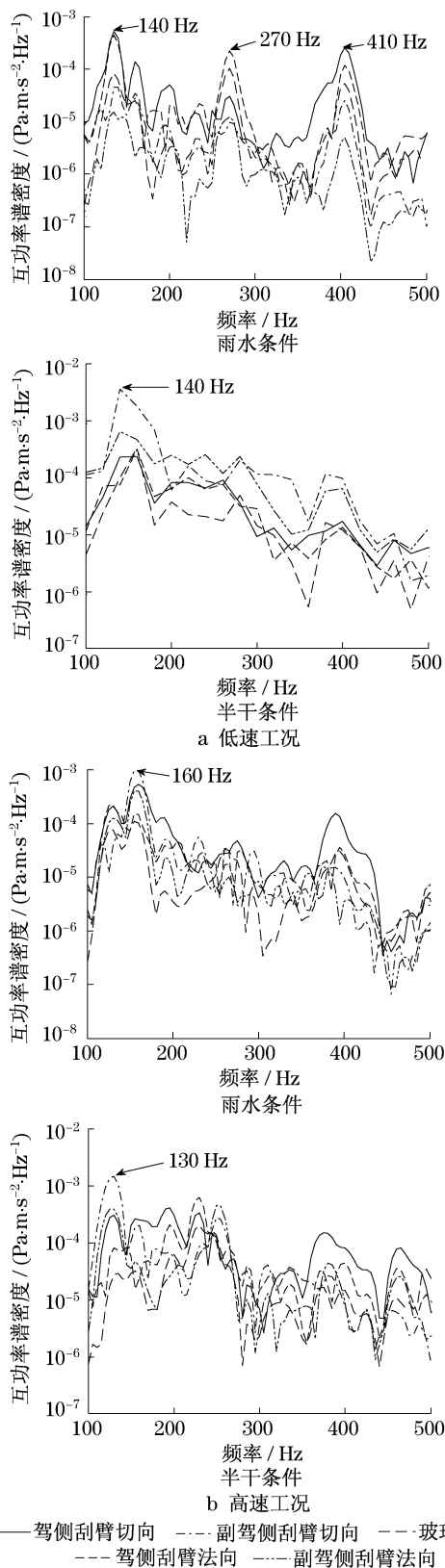


图7 上刮阶段车内噪声与刮臂、玻璃振动信号互功率谱对比

Fig.7 Cross-power spectrum and coherence of upwards-wiping noise, arm vibration and windshield vibration

②低速半干工况下,刮水器在上刮阶段产生的噪声主要和副驾驶员侧刮臂的切向振动有关,相关频率(互功率谱峰值对应的频率)在140Hz附近.高

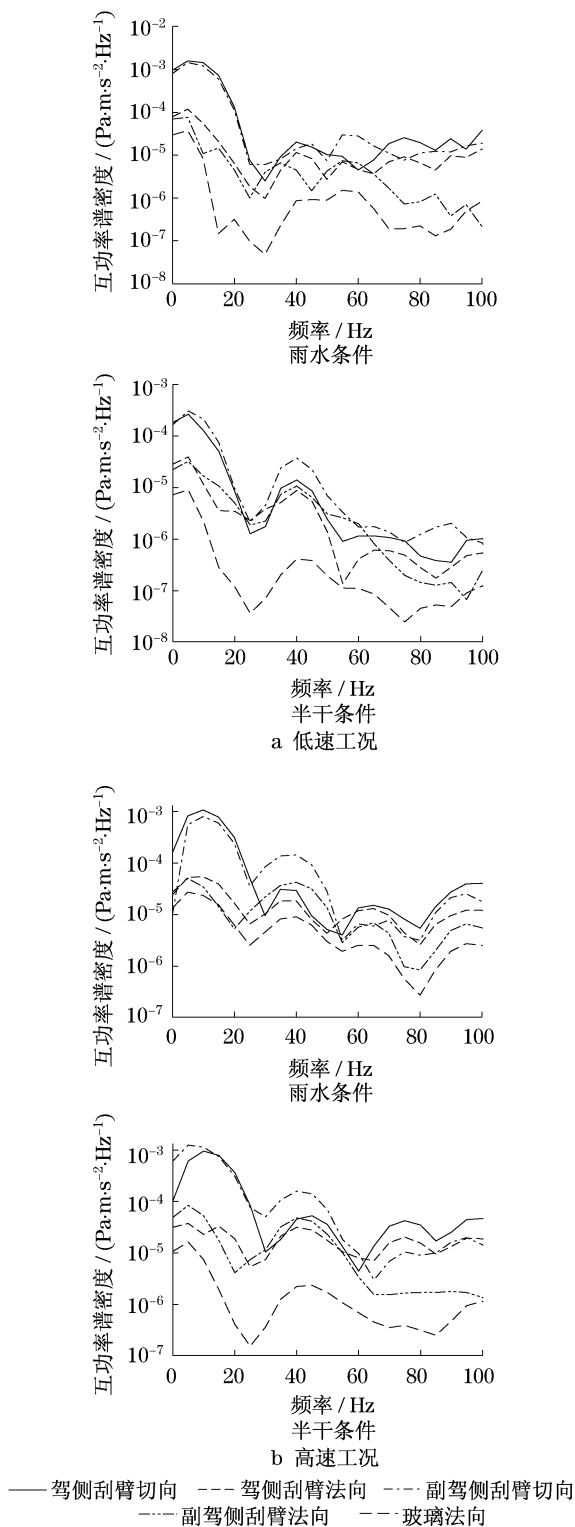


图8 下刮阶段车内噪声与刮臂、玻璃振动信号互功率谱对比

Fig.8 Cross-power spectrum of downwards-wiping noise, arm vibration and windshield vibration

速半干工况下,刮水器在上刮阶段产生的噪声主要和副驾驶员侧刮臂的切向振动有关,相关频率(互功率谱峰值对应的频率)在130 Hz附近。

(2) 图8a,b分别对低速与高速工况下下刮阶段车内噪声与刮臂、玻璃振动信号的互功率谱进行了对比。由图8可看出:

①低速雨水工况下,刮水器在下刮阶段产生的噪声主要和驾驶员侧刮臂、副驾驶员侧刮臂的切向振动有关,相关频率在0~20 Hz。高速雨水工况与低速雨水工况特点相同。

②低速半干工况下,刮水器在下刮阶段产生的噪声主要和驾驶员侧、副驾驶员侧刮臂的切向振动有关,相关频率也在0~20 Hz。高速半干工况与低速半干工况特点相同。

通过上述对刮臂、玻璃振动信号与噪声信号的互功率谱进行对比后发现:①上刮阶段,在雨水条件下,车内噪声主要与驾驶员侧刮臂切向和法向振动有关,而在半干条件下,车内噪声主要与副驾驶员侧刮臂切向振动有关。②下刮阶段,车内噪声主要与驾驶员侧刮臂及副驾驶员侧刮臂切向振动有关。

## 4 结论

(1) 刮水器与挡风玻璃之间摩擦作用引起的噪声,可以在一个刮刷工作周期内分为上、下止点处的换向噪声与上、下刮刷过程中的刮刷噪声两类;其中,换向噪声主要表现为瞬态冲击噪声,而刮刷噪声以上刮为主,表现为宽带夹杂谐波成分的复杂噪声。

(2) 换向噪声与刮刷噪声特性都受到挡风玻璃干燥、湿润与雨水状态的强烈影响,但工作速度档位

的影响较小;半干与雨水条件的噪声高于干燥条件。

(3) 雨水和半干条件下,上刮刮刷噪声主要分布在100~500 Hz内,而且分别存在多个谐波频率峰值成分;干燥条件下以低频为主,只存在单个主要谐波频率峰值成分。

(4) 刮刷噪声主要与刮水器刮臂的切向振动和法向振动有关。雨水条件下,上刮刮刷噪声主要与驾驶员侧刮臂的切向和法向振动有关;半干条件下,上刮刮刷噪声主要与副驾驶员侧刮臂切向振动有关;下刮刮刷噪声主要与刮臂切向振动有关。

## 参考文献:

- [1] Yukiho Murata, Yasuo Ohasi, Masaru Ishikawa, et al. Windshield wiper motor noise reduction[J]. Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, 1997, 51(2): 24.
- [2] Oshiro Takayoshi, Tadokoro Yoshimasa, Matsumoto Sadamu. Analysis of gear noise in an automotive front wiper system[C]// Proceedings of JSAE Annual Congress. Yokohama: Society of Automotive Engineers, 2005: 11-14.
- [3] Sébastien Jallet, Daniel Maubray, Sylvain Devos, et al. Numerical simulation of wiper system aerodynamic behavior. SAE Paper 2001-01-0036[DB/OL]. [2005-04-15]. <http://www.SAE.org>.
- [4] Shinya Goto, Hiroshi Takahashi, Takio Oya. Investigation of wiper blade squeal noise reduction measures. SAE Paper 2001-01-1410[DB/OL]. [2005-04-20]. <http://www.SAE.org>.
- [5] Suzuki Ryosuke, Yasuda Kimihiko. Analysis of chatter vibration in an automotive wiper assembly [J]. JSME International Journal. Series C, Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, 1998, 41(3): 616.
- [6] Park Kwanshin, Lee Donghoon. A study of factors that affect wiper system noise[C]// Proceedings of ISATA 2000, Dublin: Society of Automotive Engineers, 2000: 315-321.
- [7] WANG Jianlong, WAN Wei. Comparison of different pretreatment methods for enriching hydrogen-producing bacteria from digested sludge [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, 33(12): 2934.
- [8] Herbert D, Philipps P J, Strange R E. Carbohydrate analysis [J]. Methods Enzymol, 1971(5B): 265.
- [9] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent[J]. Journal of Biological Chemistry, 1951, 193(1): 265.
- [10] Lay J J, Lee Y J, Noiike T. Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste[J]. Water Research, 1999, 33(11): 2579.
- [11] Fan Y T, Zhang G S, Guo X Y, et al. Biohydrogen production from beer lees biomass by cow dung compost [J]. Biomass & Bioenergy, 2006, 30(5): 493.
- [12] Cai M L, Liu J X, Wei Y S. Enhanced biohydrogen production from sewage sludge with alkaline pretreatment [J]. Environmental Science Technology, 2004, 38(11): 3195.
- [13] Yokoyama H, Waki M, Moriya N, et al. Effect of fermentation temperature on hydrogen production from cow waste slurry by using anaerobic microflora within the slurry [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2007, 74(2): 474.
- [14] Zhang T, Liu H, Fang HHP. Biohydrogen production from starch in wastewater under thermophilic condition [J]. Journal of environmental management, 2003, 69(2): 149.
- [15] Torres M L, Llorens M D E. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes [J]. Waste Management, 2008, 28(11): 2229.
- [16] Fan Y T, Li C L, Lay J J, et al. Optimization of initial substrate and pH levels for germination of sporing hydrogen-producing anaerobes in cow dung compost [J]. Bioresource Technology, 2004, 91(3): 189.

(上接第1040页)

LIU Changqing, ZHANG Jiangshan, ZHAO Youcai, et al. Effects of initial pH on hydrogen production from acid pretreated municipal sludge [J]. Environmental Science, 2008, 29(9): 2628.