

大排量摩托车冷却风扇噪声测试与选型分析

严天雄, 吴晓佳, 贾志超, 刘进伟, 黄国鹏

(隆鑫通用动力股份有限公司 技术中心, 重庆 400052)

摘要:随着生活水平的提高,以休闲娱乐为主的大排量摩托车越来越受到大众的青睐。噪声水平直接影响摩托车的骑乘舒适性,冷却风扇噪声作为摩托车的主要噪声源之一需要重点关注。从摩托车骑乘工况和环境噪声污染的角度出发,提出一种合理的风扇噪声测试和评估方法。以某 500 cc 大排量摩托车风扇为测试对象,运用 LMS Test. Lab 测试系统进行噪声测试分析,明确冷却风扇噪声对驾驶员耳旁和四周环境噪声的贡献量,通过选型分析锁定整车噪声更低的风扇方案,提升了摩托车的骑乘舒适性,减少了环境噪声污染。风扇噪声测试和选型分析方法可为摩托车风扇匹配提供参考。

关键词:大排量摩托车;冷却风扇;耳旁噪声;骑乘舒适性;选型

中图分类号:TB53 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)04-0308-07

随着科技进步和人民生活水平逐步提高,摩托车的功能也逐步由原来的代步工具转变为技术先进的机动车辆,使其具有个性化和娱乐化的功能^[1]。市场上以休闲娱乐为主的 350~1 000 cc 大排量摩托车逐渐涌现,大排量摩托车将会越来越受到人们的青睐,行业前景较好^[2-5]。

摩托车出行越来越普遍,同时会带来一定的环境噪声污染问题,随着摩托车排量的增大,噪声污染问题会越来越严重^[6-7]。冷却风扇噪声作为摩托车噪声源的组成部分之一,需要重点关注。目前汽车冷却风扇噪声技术的研究比较成熟,已经可以实现对汽车冷却风扇的噪声预测。罗来彬等^[8]建立了汽车风扇及加换热器后的噪声预测通用性模型,可快速预测汽车冷却风扇的噪声。马金英等^[9]研究了乘用车冷却风扇气动噪声数值计算方法,经试验验证该方法可以对噪声进行合理的预测,可为前期方案的优化提供参考。彭志刚等^[10]寻找了一种能够快速预测汽车冷却风扇组件(CFM)离散噪声的方法,理论预测结果与试验较为吻合,该方法有助于在 CFM 设计早期缩短设计周期,提高工作效率。王媛文等^[11]提出了一种汽车发电机冷却风扇旋转噪声预测方法,能够实现修改前后风扇旋转噪声的预测,为风扇叶片周向分布角度设计提供依据。Kim 等^[12]通过实验设计和数值分析为车辆用交流

发电机开发了一种新的冷却风扇,数值预测结果与测试结果比较一致。然而摩托车风扇噪声相关的研究较少,郭东劭等^[13]通过对摩托车风扇噪声测试和频谱分析,确认风扇引起空气压力脉动产生了“呜呜”的啸叫声,通过重新设计叶尖形状,经主观评价啸叫声得到明显改善。张力伟等^[14]对电动摩托车用强制风冷差速电机噪声测试分析,确定电机噪声超标的主要原因是风扇气动噪声所致,并提出了旋转风扇气动噪声的降噪措施,为电动摩托车降噪提供了技术思路。

鉴于大排量摩托车冷却风扇噪声研究很少。以某 500 cc 大排量摩托车风扇为测试对象,运用 LMS Test. Lab 测试系统进行噪声测试分析,明确了冷却风扇噪声对驾驶员耳旁和四周环境噪声的贡献量,通过选型分析锁定整车噪声更低的风扇方案,提升了摩托车的骑乘舒适性,减少了环境噪声污染。

1 摩托车发动机冷却风扇噪声机理

1.1 风扇结构介绍

风扇按结构分为离心式风扇、轴流式风扇和螺旋式风扇 3 类。摩托车发动机冷却风扇通常采用是轴流式风扇,某 500 cc 排量的复古型摩托车发动机冷却风扇结构如图 1 所示。该风扇共有 10 片扇叶,扇叶等距分布且带外缘轮,风扇的叶轮直径为 140 mm,轮毂直径为 50 mm,轮毂比为 0.357。

收稿日期:2021-10-28

作者简介:严天雄(1989—),男,云南昭通人,隆鑫通用动力股份有限公司技术中心,主管工程师,硕士,研究方向为振动噪声分析与控制技术。

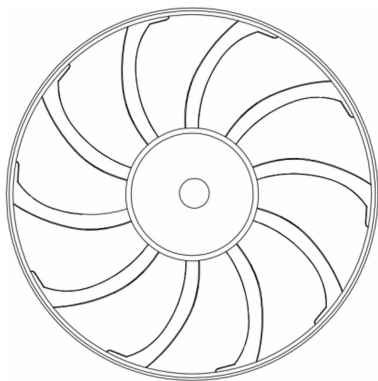


图 1 摩托车发动机冷却风扇结构

1.2 风扇噪声产生机理

轴流式风扇噪声主要分为叶片旋转阶次噪声和涡流噪声,风扇在旋转时,周期性地与气体作用,导致周围气体压力脉动而产生的噪声称为叶片旋转阶次噪声,其主要为偶极子声源,特征频率为^[15]

$$f_i = \frac{nz}{60} \times i \tag{1}$$

式中: f_i 为噪声频率; n 为风扇的转速; z 为风扇的叶片数; $i = 1, 2, \dots$, 为谐波次数。

涡流噪声是指风扇在旋转过程中,叶片带动周围空气产生无规律的相互作用,形成涡流,从而产生宽频的涡流噪声,由于黏滞力的作用,涡流不断产生、溃散和消失,导致空气质量和动量的脉动引起噪声^[16]。

2 风扇噪声贡献量测试分析

发动机冷却风扇噪声是摩托车主要噪声源之一,噪声过大会影响骑乘人员的乘坐舒适性和带来环境噪声污染问题,甚至影响骑乘安全^[17]。噪声贡献量测试的目的是明确风扇噪声对驾驶员耳旁噪声的影响大小,以及对摩托车周围环境噪声的影响程度。

2.1 试验方法介绍

2.1.1 试验设备及环境

噪声测试需要用到的测试设备包括数采前端、测试软件、声学传感器、声音校准仪及其他附件(如信号传输线缆、卷尺、三脚架)等。数采前端为 SIEMENS 公司 32 通道的 SCADAS Mobile 设备(图 2),测试软件为与数采设备配套的 LMS Test. Lab, 声学传感器为 GRASS 公司型号为 46AE 的麦克风,声音校准仪为 GRASS 公司型号为 42AB 的麦克风校准器。

噪声试验环境为半消声室内,消声室的背景噪声为 32.6 dB(A)。



图 2 噪声数采前端

2.1.2 试验工况和测点位置

摩托车发动机冷却风扇在整车状态下的噪声测试定义 3 种工况,见表 1。工况 1 为发动机不启动,稳压电源提供原车风扇电压(14 V)的直流电,该工况模拟停车后风扇单独运转的噪声;工况 2 为发动机怠速启动,稳压电源不通电,该工况模拟客户启动评价状态;工况 3 为发动机怠速启动,稳压电源提供原车风扇电压的直流电,该工况模拟车辆骑行中等红绿灯状态。

表 1 摩托车风扇噪声测试工况

工况	风扇接 14 V 电源	发动机怠速启动
工况 1	是	否
工况 2	否	是
工况 3	是	是

摩托车噪声评价通常有两种状态:骑行状态和车辆自然放置状态。①骑行状态测试:驾驶人员在正常的骑行坐姿下(确保车辆处于竖直状态),在驾驶员左右耳旁布置两个麦克风采集噪声,如图 3 所示,主要考虑耳旁噪声对驾驶人员身体健康和主观感受的影响^[18]。②车辆自然放置状态:在侧支架支起接触地面后,在与散热器平面成 45°,距离散热器 1 m,距离地面 1 m 高的位置布置 4 个传感器采集噪声,分别定义为右前、右后、左前和左后,如图 4 所示,主要考虑对环境噪声的影响。

2.1.3 试验步骤及信号采集设置

- 1)检查车辆的完整性,将摩托车置于半消声室内中心位置。
- 2)按照 2.1.2 中的测点要求布置麦克风,用信号传输线将麦克风、数采前端和测试电脑连接起来。
- 3)打开 LMS Test. Lab 测试软件,校准麦克风的灵敏度,保证测试精度。
- 4)设置采集参数,采用频率设置为 20 480 Hz,采样分辨率为 1 Hz,采样时间为 20 s,设置完成后可进行噪声信号采集。



图 3 驾驶员耳旁噪声测试



图 4 摩托车四周噪声测试

2.2 试验数据分析

2.2.1 驾驶员耳旁噪声数据分析

车辆骑行状态下驾驶员耳旁噪声的测试结果见表 2。由工况 1 和工况 2 相比可知,仅风扇启动时,驾驶员左耳侧噪声为 66 dB(A);除风扇外其他声源传播到驾驶员左耳侧噪声为 68.8 dB(A),二者相差 2.8 dB(A)。仅风扇启动时,驾驶员右耳侧噪声为 66.3 dB(A);除风扇外其他声源传播到驾驶员右耳侧噪声为 68 dB(A),二者相差 1.7 dB(A)。表明风扇噪声对驾驶员耳旁噪声的贡献较其他所有声源小。工况 2 和工况 3 为风扇启动前后噪声对比,风扇启动后,驾驶员左侧耳旁噪声增加 1.8 dB(A)。右侧耳旁噪声增加 2.1 dB(A),表明摩托车风扇噪声对驾驶员耳旁噪声的影响不可忽略。

表 2 驾驶员耳旁噪声值 单位: dB(A)

车辆状态	测试工况	测点位置	
		驾驶员左耳	驾驶员右耳
骑行	工况 1	66	66.3
	工况 2	68.8	68
	工况 3	70.6	70.1

驾驶员耳旁噪声 1/3 倍频程图如图 5 和图 6 所

示。从图中可以看出,风扇启动与否对驾驶员耳旁噪声低频段基本没有影响,在低频有两个比较明显的噪声峰值,对应中心频率分别 80 Hz 和 100 Hz,是由其他声源引起的。风扇对驾驶员耳旁噪声的影响主要集中在 1 000~3 000 Hz,该频段是驾驶员听觉比较敏感的频段。因此,对大排量摩托车来说,风扇噪声需要重点关注。

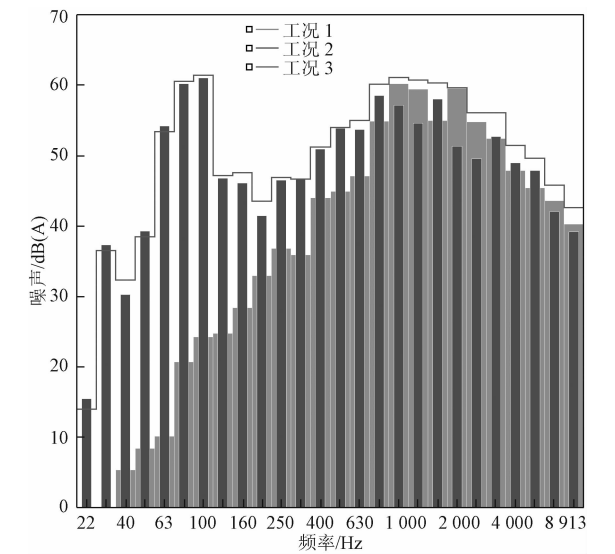


图 5 左耳侧噪声 1/3 倍频程图

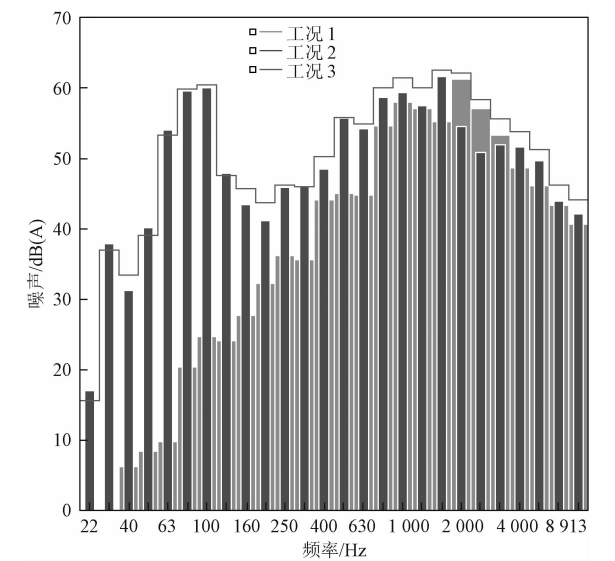


图 6 右耳侧噪声 1/3 倍频程图

2.2.2 摩托车周围环境噪声影响分析

车辆自然侧置状态下车辆周围的噪声测试结果见表 3。工况 1 和工况 2 相比可知,仅风扇启动时,摩托车四周的平均噪声为 69.4 dB(A),仅发动机启动时,摩托车四周的平均噪声为 69.8 dB(A),说明风扇噪声对摩托车四周环境噪声的影响与其

他所有声源相当。工况 2 和工况 3 相比可知,在发动机启动的基础上,当风扇启动后,摩托车四周环境噪声平均值为 72.8 dB(A),与风扇未启动相比噪声增加了 3 dB(A),说明风扇对摩托车四周环境的噪声影响较大。

表 3 车辆周围噪声值 单位: dB(A)

车辆状态	测试工况	测点位置			
		右前	右后	左前	左后
自然侧置	工况 1	70.6	67.7	70.5	68.6
	工况 2	68.9	72.2	68.5	69.4
	工况 3	72.8	73.5	72.7	72

摩托车四周噪声 1/3 倍频程图如图 7~图 10 所示。从图 7 中可以看出,风扇对右前侧噪声的影响主要集中在 1 000~4 000 Hz,尤其是在中心频率 1 600 Hz最大峰值处,风扇噪声比较突出。从图 8 可以看出,风扇对左前侧噪声的影响主要集中在800 Hz以上的频段,尤其在主要噪声峰值对应的 2 000、2 500、3 150 Hz 频率处,风扇噪声比较突出。从图 9 和图 10 可以看出,噪声最大的峰值不是来源风扇噪声,风扇对右后侧和左后侧的噪声影响相对较小。

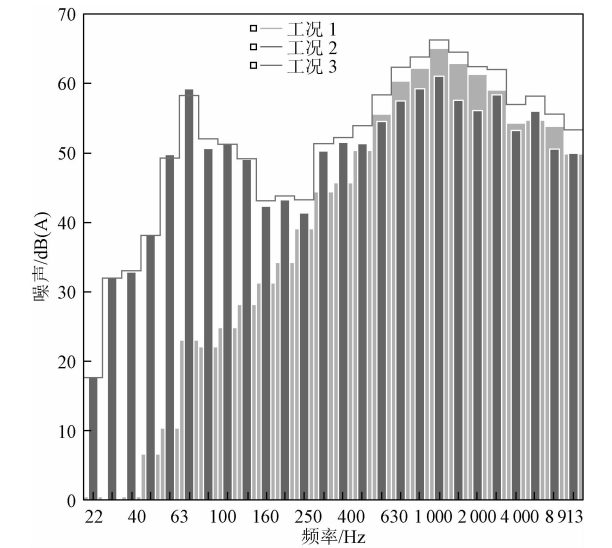


图 7 右前噪声 1/3 倍频程图

综上分析来看,风扇对摩托车车头前部噪声的影响大于车头后部,这与摩托车结构布置和放置状态有一定关系。总之,从大排量摩托车对环境噪声的影响来看,风扇噪声的影响需要引起关注。

3 风扇选型分析

为了提升摩托车的骑乘舒适性,风扇供应商提供了两种风扇单品样件以供整车上进行选型匹配,实物样件如图 11 所示。

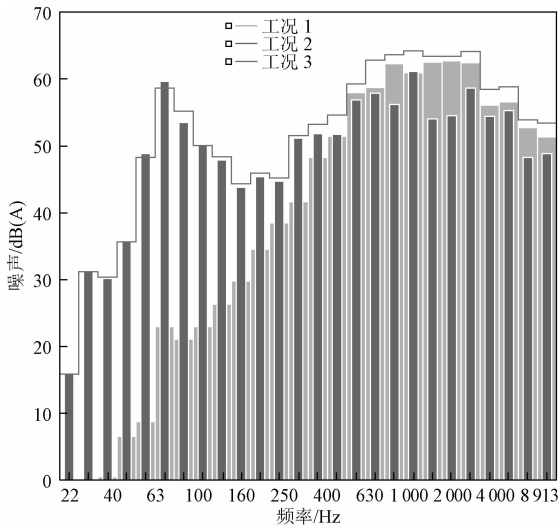


图 8 左前噪声 1/3 倍频程图

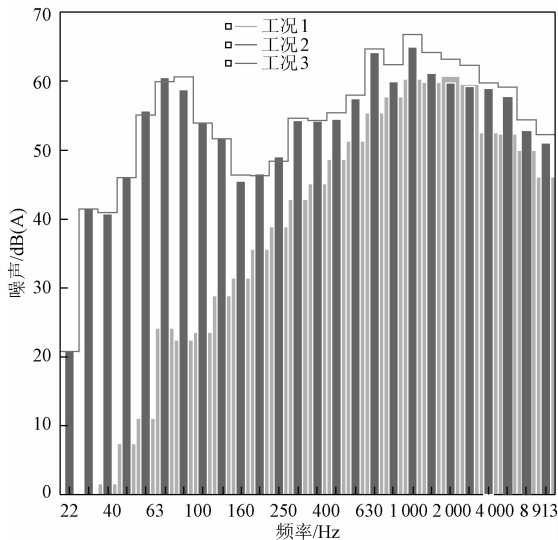


图 9 右后噪声 1/3 倍频程图

3.1 风扇转速测试对比分析

根据式(1)可知,风扇的转速是风扇噪声的关键影响因素之一。测试时,将风扇组件固定在简易工装上,利用稳压电源给风扇提供稳定 14 V 电压,利用光电传感器采集风扇运转过程中的转速大小,如图 12 所示。

单品风扇的转速测试结果见表 4,1# 风扇的转速比原状态低 532.7 r/min,转速降低明显。2# 风扇比原状态风扇的转速高了 57.3 r/min,转速比较接近。测得风扇的转速大小后根据式(1)能够计算出风扇叶片旋转时阶次噪声,1# 风扇、2# 风扇和原状态风扇的一阶噪声分别为 820.9、919.3、909.7 Hz,二阶噪声分别为 1 641.8、1 838.6、1 819.4 Hz。

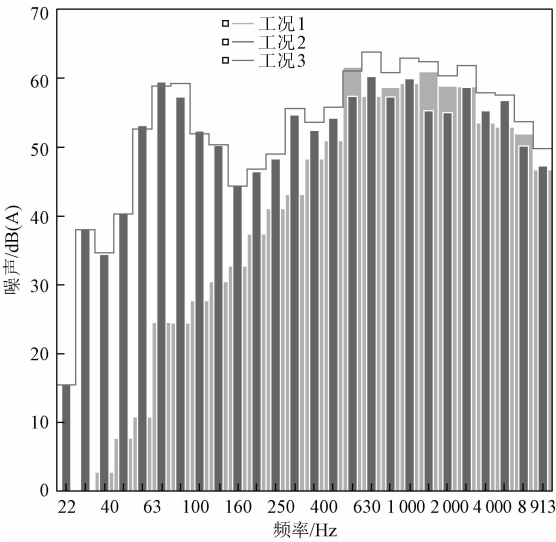


图 10 左后噪声 1/3 倍频程图

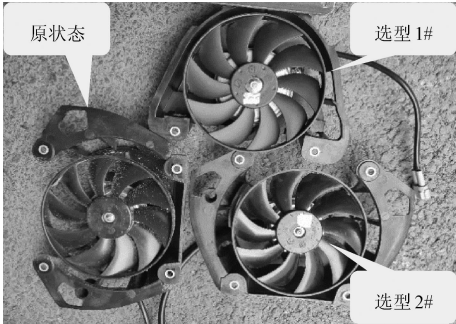


图 11 单品风扇实物样件



图 12 风扇转速和噪声测试

表 4 风扇转速		单位:r/min	
风扇型号	选型 1#	选型 2#	原状态
转速	4 925.5	5 515.5	5 458.2

3.2 单品风扇噪声测试对比分析

单品风扇的噪声测试如图 12 所示。在距离风扇组件 1 m 处与风扇进、出风侧 45°位置布置两传感器进行噪声测试。

单品风扇的噪声测试结果见表 5,3 种风扇进风侧噪声均高于出风侧,主要原因是风扇罩改变了噪声的传播方向,对噪声起到了一定的掩蔽作用。与原状态风扇相比,1#选型风扇进、出风侧噪声分别降低了 5.6 dB(A)和 4 dB(A),2#选型风扇进、出风侧噪声分别降低了 2.6 dB(A)和 1.3 dB(A),1#选型风扇的噪声最低,两种选型风扇方案的噪声均优于原状态。

表 5 单品风扇噪声对比测试值		单位:dB(A)	
风扇型号	选型 1#	选型 2#	原状态
进风侧噪声	68.3	71.3	73.9
出风侧噪声	64.7	67.4	68.7

3 种风扇进风侧的噪声 1/3 倍频程图如图 13 所示。原状态风扇噪声主要分布在中心频率为 1 600、2 000、2 500 Hz 频段,主要集中在风扇叶片旋转二阶噪声附近。在主要噪声源的中高频段,两种选型方案风扇的噪声均有降低,在低频段选型风扇噪声有所增加,但对噪声 Overall 值影响不大。

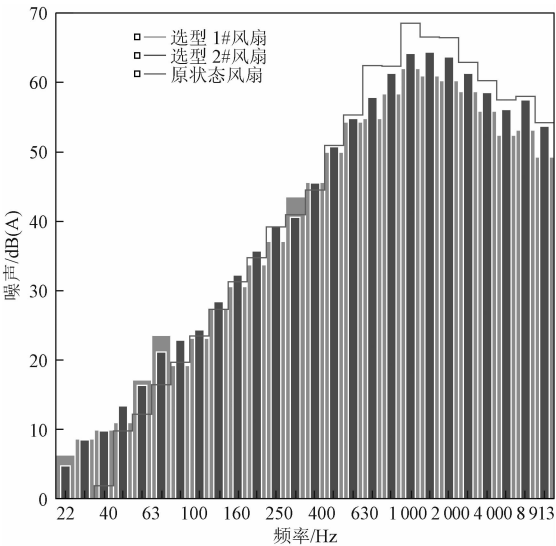


图 13 进风侧噪声 1/3 倍频程图

3 种风扇出风侧的噪声 1/3 倍频程图如图 14 所示,原状态风扇噪声主要分布在中心频率为 1 000、1 600、2 000 Hz 频段。在主要噪声源的中高频段,1#选型方案风扇的噪声均有降低,在低频部分频段选型风扇噪声有所增加,但对噪声 Overall 值影响不大。2#选型方案风扇的噪声中高频段除中心频率 1 250 Hz 外均有降低,在低频部分频段选型风扇噪声有所增加,但对噪声 Overall 值影响不大。进、出风侧噪声存在一定的差异,可能与风扇罩的结构影响有关。

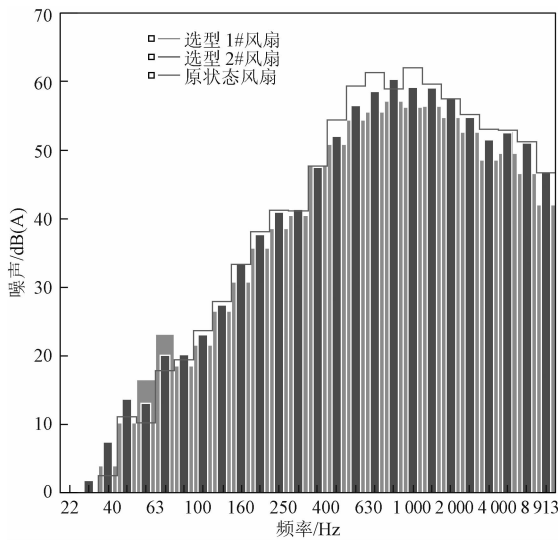


图 14 出风侧噪声 1/3 倍频程图

3.3 整车噪声测试对比分析

为了评价选型风扇在整车上的噪声表现,分别将选型的两种风扇换装到整车上与原状态进行对比测试,测试工况为表 1 中测试工况 1 和测试工况 3,其中工况 2 为同一状态,无须重复测试。

风扇挂整车后骑行状态的噪声对比测试结果见表 6,3 种风扇挂整车上驾驶员耳旁噪声表现与单品风扇的噪声趋势一致,挂原状态风扇噪声最大,挂 1# 选型风扇噪声最低,挂 2# 选型风扇噪声居中。在骑行工况 3 下,1# 选型风扇驾驶员左侧耳旁噪声比原状态降低 2.4 dB(A),右侧耳旁噪声降低 2.1 dB(A),2# 选型风扇驾驶员左侧耳旁噪声比原状态降低 1.5 dB(A),右侧耳旁噪声降低 1.4 dB(A)。因此两种选型风扇挂装整车后对驾驶员耳旁噪声都有改善,1# 选型风扇降噪效果更佳。

表 6 风扇挂整车骑行状态噪声对比测试值

单位: dB(A)

测试工况	测点位置	选型 1#	选型 2#	原状态
工况 1	驾驶员左耳	57.0	59.0	66.0
	驾驶员右耳	57.8	59.9	66.3
工况 3	驾驶员左耳	68.2	69.1	70.6
	驾驶员右耳	68.0	68.7	70.1

风扇挂整车侧置状态的噪声对比测试结果见表 7。在工况 1 下,摩托车挂 1# 选型风扇、2# 选型风扇和原状态风扇四周的噪声平均值分别为 60.6、63、69.4 dB(A),3 种风扇对环境噪声影响从大到小排序为原状态>选型 2#>选型 1#。与整车挂原状态风扇相比,挂 1# 选型风扇噪声降低了

8.8 dB(A),挂 2# 选型风扇噪声降低了 6.3 dB(A),对环境噪声的改善均比较明显。

在工况 3 下,摩托车挂 1# 选型风扇、2# 选型风扇和原状态风扇四周的噪声平均值分别为 71.3、70.7、72.8 dB(A),3 种风扇对环境噪声影响从大到小排序为原状态>选型 1#>选型 2#。与整车挂原状态风扇相比,挂 1# 选型风扇噪声降低了 1.5 dB(A),挂 2# 选型风扇噪声降低了 2.1 dB(A),对环境噪声均有一定的改善。

风扇选型除了考虑噪声性能外,还必须要保证基本的散热性能。在对 3 种风扇挂整车散热性能评估过程中,发现挂 1# 选型风扇后,车辆在长时间热车后停车怠速时冷却系统出现开锅的情况,不能满足散热要求,整车挂 2# 选型风扇和原状态风扇均没有出现开锅现象,能满足散热要求。

表 7 风扇挂整车侧置状态噪声对比测试值

单位: dB(A)

测试工况	测点位置	选型 1#	选型 2#	原状态
工况 1	右前	61.8	64.2	70.6
	右后	60.3	63.0	67.7
	左前	60.8	63.3	70.5
	左后	59.4	61.6	68.6
工况 3	右前	70.4	69.8	72.8
	右后	73.3	72.7	73.5
	左前	69.7	69.6	72.7
	左后	71.7	70.7	72.0

综合分析来看,1# 选型风扇的噪声表现最佳,但不能满足散热要求,2# 选型风扇的噪声表现次之,原状态风扇噪声表现最差,二者均能满足散热要求,因此选定 2# 选型风扇作为整车定型方案。

4 结论

1)运用 LMS Test. Lab 测试系统对某 500 cc 大排量摩托车风扇噪声测试分析,明确了冷却风扇噪声对驾驶员耳旁的贡献量和四周环境噪声的影响。

2)通过选型分析确定了整车的风扇方案,骑行工况驾驶员耳旁噪声比原状态降低 1.5 dB(A)左右,提升了大排量摩托车的骑乘舒适性,同时减少了摩托车对环境噪声的污染。

3)风扇噪声测试方法和风扇选型分析方法在大排量摩托车冷却风扇选型和匹配方面具有一定的参考价值。

参考文献

[1] 杨静.大排量摩托车悬架系统动力学仿真与优化分析

- [D], 重庆:重庆交通大学,2020.
- [2] 别立波. 大运摩托中大排量产品营销策略研究[D]. 兰州:兰州大学,2021.
- [3] 余千英,黄灿,谭礼斌,等. 基于CFD的摩托车流场分析及优化[J]. 科技和产业,2021,21(8):238-243.
- [4] 周志强. 双轮摩托车车架结构有限元计算分析[D]. 郑州:华北水利水电大学,2019.
- [5] 雷鹏,黄国鹏,贾志超,等. 基于振动控制的摩托车车架结构优化[J]. 科技和产业,2021,21(10):314-319.
- [6] 周小健,陈富坚,屈琦凯. 低温环境下摩托车出行的人体损耗成本模型[J]. 科学技术与工程,2018,18(27):253-258.
- [7] 姜雨. 基于出行方式划分模型的摩托车管理技术研究[J]. 科学技术与工程,2010,10(36):9131-9134,9138.
- [8] 罗来彬,吴亚东,彭志刚,等. 非均布汽车冷却风扇噪声实验及数值研究[J]. 噪声与振动控制,2021,41(5):175-181.
- [9] 马金英,马龙,林杰刚,等. 乘用车冷却风扇气动噪声模拟技术研究[C]//2020中国汽车工程学会年会论文集. 北京:中国汽车工程学会,2020:5.
- [10] 彭志刚,欧阳华,吴亚东,等. 基于动-静叶片相位调制的冷却风扇离散噪声控制[J]. 上海交通大学学报,2019,53(4):396-404.
- [11] 王媛文,董大伟,闫兵. 汽车发电机冷却风扇旋转噪声预测方法[J]. 航空动力学报,2015,30(7):1711-1720.
- [12] KIM W, JEON W H, HUR N, et al. Development of a low-noise cooling fan for an alternator using numerical and doe methods[J]. International Journal of Automotive Technology,2011,12(2):307-314.
- [13] 郭东劭,胡军峰. 摩托车发动机风扇噪声分析[J]. 摩托车技术,2012(11):40-43.
- [14] 张力伟,王仲太,刘治敏. 电动摩托车用差速电机噪声分析与抑制技术的研究[J]. 小型内燃机与车辆技术,2017,46(4):66-71,92.
- [15] 杨启梁,姚思敏. 闭式柴油发电机组降噪研究[J]. 机械设计与制造,2020(3):134-137.
- [16] 田绍军,李世珍,骆贵生,等. 汽车动力总成冷却风扇优化设计[J]. 噪声与振动控制,2020,40(1):99-103.
- [17] MIRANDA M H P, RODRIGUES R D N, BEZERRA R D A, et al. Numerical investigation of material properties and operating parameters effects in generating motorcycle brake squeal using the finite element method[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering,2020,42(3):2003-1548.
- [18] 李忠利,邹会勉,乔冬冬,等. 拖拉机驾驶室耳旁噪声主动降噪控制[J]. 科学技术与工程,2018,18(33):30-35.

Noise Test and Selection Analysis of Cooling Fan for Large-displacement Motorcycle

YAN Tianxiong, WU Xiaojia, JIA Zhichao, LIU Jinwei, HUANG Guopeng

(R&D Center, Chongqing LONCIN Motor Co., Ltd., Chongqing 400052, China)

Abstract: With the improvement of living standards, large-displacement motorcycles focusing on leisure and entertainment become more and more popular with the public. Their noise level directly affects the riding comfort of motorcycles. Cooling fan noise is one of the main noise sources of motorcycles, which needs to be focused on. From the perspective of motorcycle riding conditions and environmental noise pollution, a reasonable method for testing and evaluating fan noise was proposed. Taking a 500 cc large displacement motorcycle fan as the test object, using the LMS Test. Lab test system to conduct noise test and analysis, it was clear that the cooling fan noise contributes to the driver's ears and surrounding environmental noise, and the fan with lower noise of the vehicle was determined through the selection analysis, which improves the riding comfort of motorcycles and reduces environmental noise pollution. Fan noise testing and selection analysis methods could provide references for motorcycle fan matching.

Keywords: large-displacement motorcycle; cooling fan; noise near the ear; riding comfort; selection