

吸声材料在变频发电机组噪声控制中的应用

严天雄, 刘进伟, 吴晓佳, 黄国鹏

(隆鑫通用动力股份有限公司 技术中心, 重庆 400052)

摘要:吸声是一种有效的降噪措施,吸声材料广泛用于各种机械设备及其部件的噪声控制中。通过对某 1.7 kW 变频发电机组的噪声进行测试,发现该发电机组存在原状态吸声材料降噪效果不佳的问题,25%~75% 负载噪声仅仅降低了 0.1~0.4 dB(A),在空载工况下,发电机组的噪声反而增大了 1.1 dB(A)。通过更换 4 种不同参数的吸声材料进行对比测试,结果发现材质为聚氨酯、密度为 35 kg/m³、厚度为 10 mm 的吸声材料降噪效果最好。与原状态相比,4 种负载(空载、25% 负载、50% 负载和 75% 负载)下的噪声分别降低了 1.1、0.8、0.2、0.6 dB(A),发电机组的噪声得到了进一步改善。吸声材料的降噪分析结果可为发电机组的噪声控制提供思路。

关键词:变频发电机组;吸声材料;材料参数;隔声罩;1/3 倍频程

中图分类号:TB533⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)06-0277-06

吸声材料因其中高频具有较好的降噪效果得到广泛应用,对吸声材料的研究也越来越多^[1-3]。张宏宇等^[4]研究了吸声材料的流阻率、孔隙率、形状因子、黏性及热特征长度等参数对阻性消声器传递损失的影响;张胜强等^[5]研究了二甲基硅油含量、不同材料厚度和不同厚度空气层等参数对吸声性能的影响,为聚氨酯海绵在汽车上的应用提供指导;李青等^[6]研制了一种新型的多孔水泥基陶粒吸声材料,研究了颗粒级配、压缩比、空腔、表面形态、不同安装方法等对吸声性能的影响;周宇雯等^[7]研究了材料孔隙率和厚度对吸声效果的影响,对船舶的噪声控制提供了参考价值;Lumnitzer 等^[8]研究发现了用轮胎、废泡沫和内饰材料进行降噪,通过设计并测试多种吸声材料,找到 100~5 000 Hz 频率范围降噪的最佳参数;Aslan 等^[9]设计了一种吸声材料和穿孔板的声学结构,并对不同频段的降噪性能进行研究。

吸声材料在各种设备及器件噪声控制中取得良好的降噪效果。文献[10]中使用环保吸声棉和超细环保吸声棉组成的复合吸声棉作为吸声材料,结合吸声立柱和消声器设计对电源车的车厢进行降噪处理,使电源车噪声达到控制要求;文献[11]在高速列车空调风道内粘贴不同的吸声材料对比降噪效果,得到在风道内粘贴厚度为 25 mm,且其长度大于 1.785 m 时吸声材料时降噪效果较明显;

文献[12]通过在舱室内铺设吸声材料等降噪措施,有效地控制了钻井平台舱室的噪声。

发电机组作为备用电源、应急电源、移动电源得到广泛应用^[13]。因此,在上述研究的基础上,本文以某额定输出功率为 1.7 kW 的便携式静音变频发电机组为研究对象,分析吸声材料对发电机组的降噪效果。

1 吸声材料在发电机组上的使用

便携式静音变频发电机组的结构如图 1 所示,发电机组搭载的动力为单缸四冲程自然吸气式汽油发动机,发动机排量为 121 mL。使用隔声罩对动力系统进行降噪处理。

发电机组的噪声控制通常有采用隔振降低结构辐射噪声^[14]、结构模态避频^[15]、消声器和隔声罩设计^[16]等方法。除此之外,吸声材料常用于传递路径上的噪声控制,本文将吸声材料粘贴在该机组的隔声罩上,如缸头侧面板、启动拉手侧面板、左右提手顶部、排气侧面板和观察窗盖等位置进行降噪处理,如图 2 所示。

机组原状态吸声材料材质为聚氨酯材料,密度为 22 kg/m³,厚度为 10 mm。

2 原状态吸声材料降噪效果分析

2.1 发电机组噪声试验方案

在特定噪声测试间内进行机组噪声测试,将发电机组置于中央的试验台上,为了避免反射对噪声

收稿日期:2021-12-31

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,工程师,硕士,研究方向为振动噪声分析与控制技术。

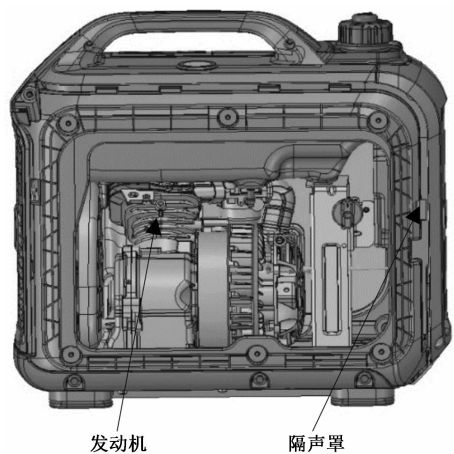


图 1 发电机组结构

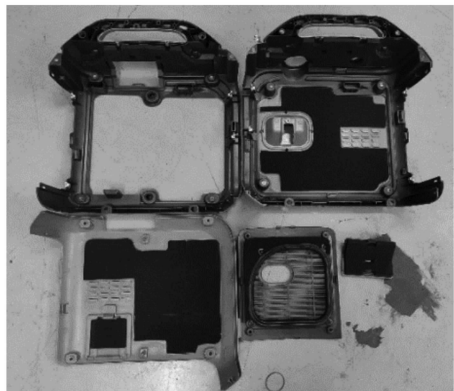


图 2 吸声材料的粘贴位置

的影响,采用穿孔板和吸声材料对墙面和试验台表面进行处理,测试环境的背景噪声为 45.2 dB(A)。

距离地面高度 1 m,发电机组表面 1 m 处分别布置 4 个传感器,根据发电机组的结构测点位置定义为面板、缸头、排气和拉手。测试 4 种不同负载(空载、25%、50%和 75%负载)下的噪声值,采用负载控制系统为发电机组提供负载输出,如图 3 所示。

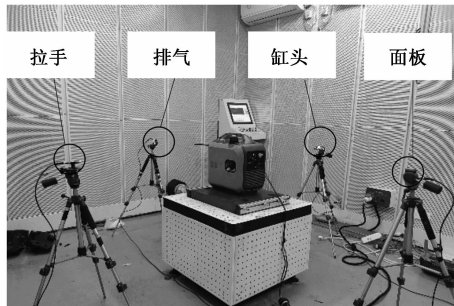


图 3 发电机组噪声测试

数据采集设备为 OROS 公司 32 通道的 OR38 振动噪声测试设备,利用配套的 NV Gate 软件进行

噪声信号采集,麦克风为 GRAS 公司 46AE 型传感器,测试前需要对其灵敏度进行校准以保证测试精度。采样频率设置为 20 480 Hz,采样分辨率为 1 Hz,采样时间为 15 s。

2.2 原状态吸声材料降噪效果分析

为了分析原状态吸声材料对发电机组的降噪效果,分别测试发电机组隔声罩上粘贴和不贴吸声材料两种状态的整机噪声值,对比两种状态下的噪声差异。发电机组隔声罩上不贴吸声材料的整机噪声测试值见表 1,经计算得到 4 点的平均噪声值。

表 1 隔声罩无吸声材料的整机噪声值

单位: dB(A)					
负载比例/%	面板	缸头	排气	拉手	平均值
0	68.3	70.0	74.0	68.6	70.9
25	70.4	71.4	75.8	70.4	72.7
50	74.5	75.8	78.8	75.1	76.4
75	78.4	80.4	83.0	79.8	80.7

从表 1 中可以看出,随着负载的增加,噪声呈逐渐增大的趋势。4 个面的噪声进行比较可知,排气侧的噪声最大,缸头侧的噪声次之,面板侧和拉手侧的噪声水平相当,噪声值较小。

发电机组隔声罩上粘贴吸声材料后整机的噪声测试值和平均值见表 2。与无吸声材料状态机组噪声相比,空载时机组 4 个面的噪声均增大了,面板侧、缸头侧和拉手侧均增大了 1 dB(A),排气侧噪声增大了 1.3 dB(A)。

表 2 隔声罩粘贴吸声材料后的整机噪声值

单位: dB(A)					
负载比例/%	面板	缸头	排气	拉手	平均值
0	69.3	71.0	75.3	69.6	72.0
25	70.0	71.4	75.5	70.2	72.4
50	73.8	75.4	78.5	74.9	76.0
75	78.1	80.5	82.5	80.1	80.6

各个负载下吸声材料的降噪效果如图 4 所示。空载状态,噪声平均增大了 1.1 dB(A),25%负载噪声平均降低了 0.3 dB(A),50%负载噪声平均降低了 0.4 dB(A),75%负载噪声平均降低了 0.1 dB(A)。因此,机组所使用的原状态吸声材料降噪效果不佳。

为进一步分析空载状态使用吸声材料后噪声增大的原因,对该状态下各测点的 1/3 噪声倍频程图进行对比分析。有无吸声材料两种状态下面板侧的 1/3 倍频程噪声值如图 5 所示。机组无吸声材料时面板的噪声主要集中在 500~2 500 Hz 的中频段。吸声材料的降噪频段主要在 5 000 Hz 以上的

高频段,在 400 Hz 以下的低频段吸声材料无降噪效果,在 500~1 000 Hz 中频段存在噪声放大的现象,500、630、800、1 000 Hz 4 个主要噪声频率处噪声分别增大了 1.8、1.7、2.4、2.3 dB(A)。综合分析可知,中频段噪声被放大是导致使用吸声材料后面板侧噪声增大的主要原因。

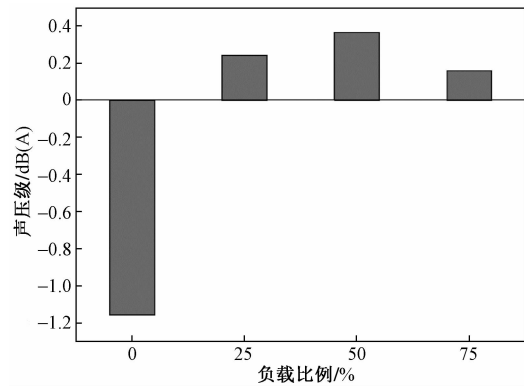


图 4 不同负载下吸声材料降噪效果

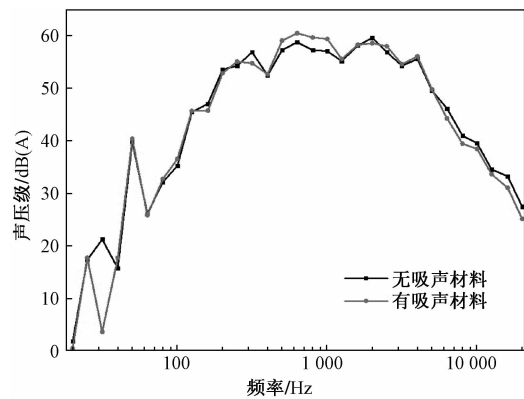


图 5 面板侧噪声 1/3 倍频程噪声值

有无吸声材料两种状态下缸头侧的 1/3 倍频程噪声值如图 6 所示。吸声材料在 125~400 Hz 的低频段有一定的降噪效果,在 125 Hz 以下的低频段和 1 000 Hz 以上的中高频段无降噪效果,主要的峰值频率处噪声增大明显,500、630、800 Hz 3 个主要噪声频率处噪声分别增大了 2.2、2.4、1.8 dB(A)。

有无吸声材料两种状态下排气侧的 1/3 倍频程噪声值如图 7 所示。吸声材料在 20~20 000 Hz 的全频段内几乎均无降噪效果,在 400~4 000 Hz 的主要频段噪声有所增大,630 Hz 处噪声增大了 4 dB(A),1 600 Hz 和 4 000 Hz 处噪声均增大了 2.1 dB(A)。

有无吸声材料两种状态下拉手侧的 1/3 倍频程噪声值如图 8 所示。吸声材料在 8 000 Hz 以上的

高频段有微弱的降噪效果,在 500~6 300 Hz 的主要频段噪声有所增大,500 Hz 处噪声增大了 1.6 dB(A),2 000 Hz 处噪声增大了 2.4 dB(A),2 500 Hz 处噪声增大了 1.7 dB(A)。

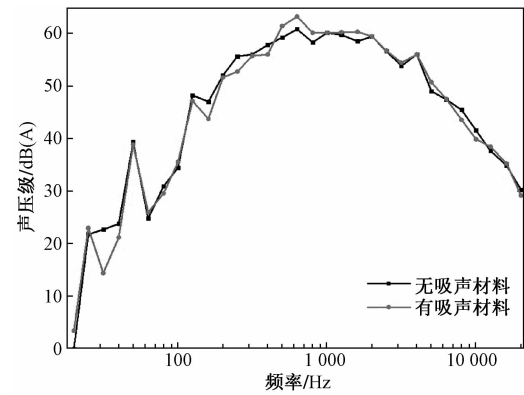


图 6 缸头侧噪声 1/3 倍频程噪声值

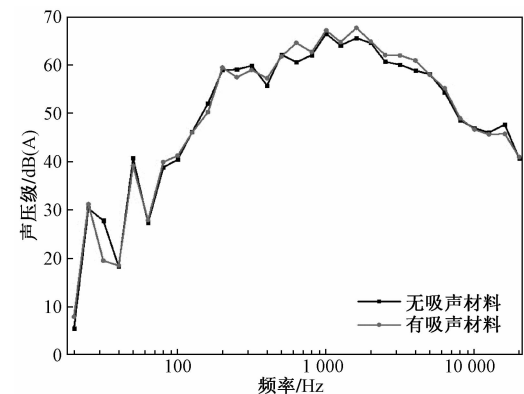


图 7 排气侧噪声 1/3 倍频程噪声值

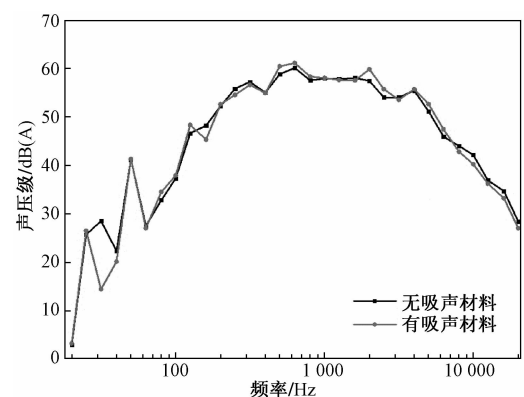


图 8 拉手侧噪声 1/3 倍频程噪声值

综上分析可得,原状态吸声材料在部分频段有降噪效果,但在机组主要噪声频段没有起到降噪作用,从而导致空载状态使用吸声材料后噪声增大,带载状态下的降噪效果也不明显。

3 吸声材料选型分析

经上述分析可知,原状态吸声材料的降噪效果不佳,为进一步降低发电机组的噪声,重新对吸声材料进行选型。

3.1 选型吸声材料样本

吸声材料厂家提供了 4 种吸声材料进行对比测试降噪效果,吸声材料根据隔声罩的尺寸利用刀模切割形成样本,如图 9 所示。

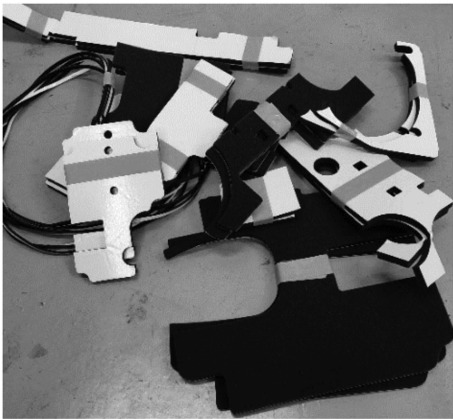


图 9 选型吸声材料样本

4 种吸声材料的参数见表 3。与原状态的吸声材料相比,1#材料增加了材料厚度,2#材料增加了材料的密度,3#材料同时增加材料的厚度和密度,4#材料更换了材质。

表 3 选型吸声材料参数

材料编号	材质	密度/(kg/m³)	厚度/mm
1#	聚氨酯	22	15
2#	聚氨酯	35	10
3#	聚氨酯	35	15
4#	橡塑	70	10

3.2 选型吸声材料降噪效果分析

根据 2.1 节中的噪声测试方法,分别在隔声罩上更换 4 种选型吸声材料进行噪声测试。各吸声材料的降噪效果如图 10 所示。从图中可以看出,所有的吸声材料在机组空载状态不但没有降噪效果,反而会将噪声放大,在中高负载(50%和 75%负载)均有不同程度的降噪效果,在 25%负载下,选型材料 1#和 4#无降噪效果。

从 5 种不同吸声材料的降噪效果来看,2#选型吸声材料的降噪效果最好,空载工况噪声仅增大了 0.1 dB(A),25%负载工况噪声降低 1 dB(A),50%负载工况噪声降低 0.6 dB(A),75%负载工况噪声降低 0.7 dB(A)。

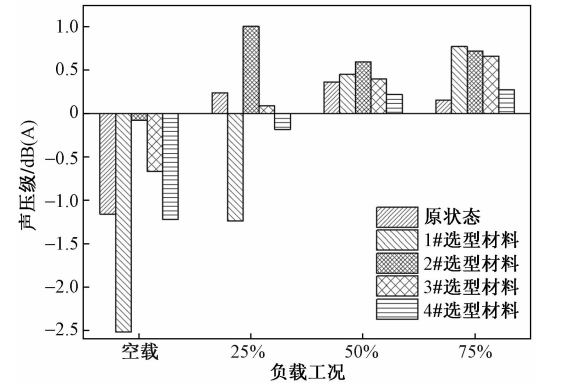


图 10 吸声材料降噪效果对比

从图 10 中可以看出,与原状态吸声材料降噪效果相比,使用 2#吸声材料机组在各个载荷下噪声均得到改善,其中空载噪声降低 1.1 dB(A),25%负载工况噪声降低 0.8 dB(A),50%负载工况噪声降低 0.2 dB(A),75%负载工况噪声降低 0.6 dB(A),2#吸声材料对发电机组的降噪效果优于原状态吸声材料。

从图 10 中可以看出,1#选型吸声材料在空载和 25%负载对机组噪声有明显的放大,空载工况噪声放大了 2.5 dB(A),25%负载工况噪声放大了 1.2 dB(A)。1#选型吸声材料与原状态相比仅增加了材料厚度,表明增加吸声材料厚度不能改善机组低负载的噪声。从 3#吸声材料与原状态相比同时增加材料厚度和密度,但从图 10 中的降噪效果来看,除 25%负载工况外,其余负载工况的降噪效果比原状态好。4#吸声材料使用橡塑材质,与原状态的材质不一样,从图 10 中降噪效果看,除 75%负载工况外,其余负载工况的降噪效果均比原状态差,对发电机组的噪声改善不明显。

鉴于 2#吸声材料在空载的降噪效果较明显,进一步对该工况下的降噪特性进行分析。在空载工况下,发电机组粘贴 2#选型吸声材料与原状态吸声材料面板侧的 1/3 倍频程噪声值如图 11 所示。从图 11 中可以看出,在主要噪声频率段,粘贴 2#选型吸声材料机组噪声除在 315 Hz 和 1 250 Hz 处比原状态分别大 2.2 dB(A)和 1.1 dB(A)外,其余主要噪声频率段都比原状态噪声低。尤其是在主要的峰值频率处起到了较好的降噪作用,以致面板侧的噪声降低。

在空载工况下,发电机组粘贴 2#选型吸声材料与原状态吸声材料缸头侧的 1/3 倍频程噪声值如图 12 所示。从图 12 中可以看出,粘贴 2#选型吸

声材料机组噪声除 160~400 Hz 频率外比原状态噪声低,而该频段不是缸头侧噪声的主要频段。特别是在最大峰值频率 630 Hz 处噪声降低了 2.4 dB(A),对该侧的噪声降低起到关键的作用。

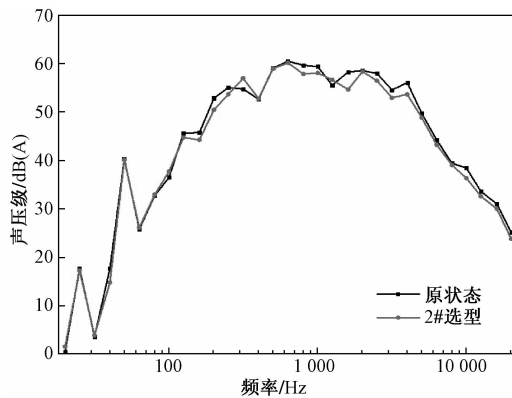


图 11 粘贴不同吸声材料面板侧噪声 1/3 倍频程噪声值

吸声材料的密度是影响发电机组噪声的关键因素之一。而增加吸声材料的厚度和更换为橡塑材质的吸声材料均不能对该发电机组起到良好的降噪作用。

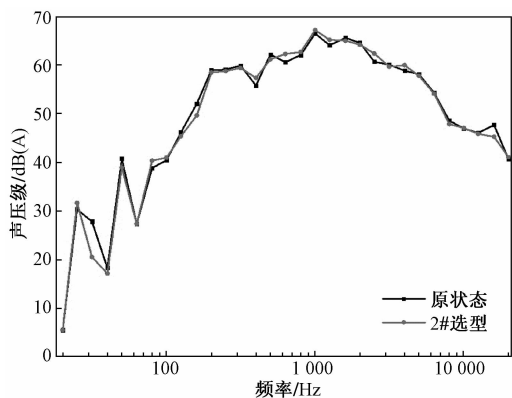


图 13 粘贴不同吸声材料排气侧噪声 1/3 倍频程噪声值

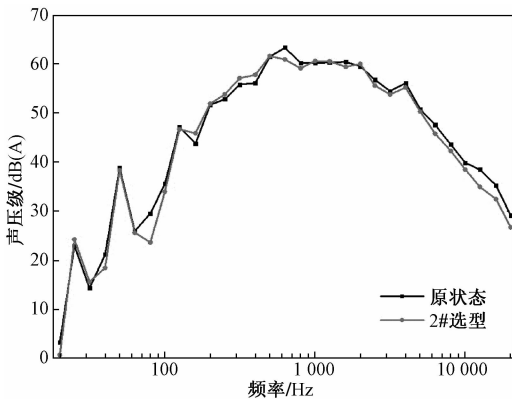


图 12 粘贴不同吸声材料缸头侧噪声 1/3 倍频程噪声值

在空载工况下,发电机组粘贴 2#选型吸声材料与原状态吸声材料排气侧的 1/3 倍频程噪声值如图 13 所示。从图 13 中可以看出,在主要的峰值频率段,粘贴两种吸声材料的噪声呈现交错分布,两种吸声材料下排气侧的噪声水平相当,表明 2#吸声材料对排气侧的噪声改善不明显。

在空载工况下,发电机组粘贴 2#选型吸声材料与原状态吸声材料拉手侧的 1/3 倍频程噪声值如图 14 所示。从图 14 中可以看出,粘贴 2#选型吸声材料拉手侧的噪声虽然在 80 Hz 处增加了 2.4 dB(A),增加的幅值较大,但该频段不是主要的噪声分布频率。而在 1 000 Hz 以上的中高频段具有明显的降噪效果,表明 2#吸声材料对拉手侧的噪声具有较好的改善效果。

综合上述分析可得,吸声材料的密度由 22 kg/m³ 增加到 35 kg/m³,能够有效降低发电机组的噪声,

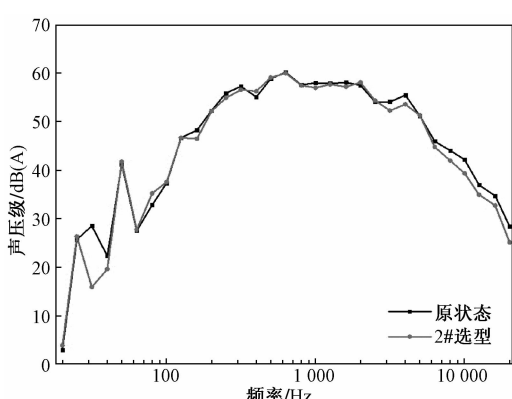


图 14 粘贴不同吸声材料拉手侧噪声 1/3 倍频程噪声值

4 结语

1)通过测试分析表明,发电机组原状态吸声材料降噪效果不佳,25%~75%负载噪声仅仅降低了 0.1~0.4 dB(A),空载工况下机组噪声反而增大了 1.1 dB(A)。

2)对 4 种不同参数的吸声材料进行对比测试,结果发现材质为聚氨酯,密度为 35 kg/m³,厚度为 10 mm 的吸声材料降噪效果最好。与原状态相比,空载噪声降低 1.1 dB(A),25%负载工况噪声降低 0.8 dB(A),50%负载工况噪声降低 0.2 dB(A),75%负载工况噪声降低 0.6 dB(A)。发电机组的噪声得到进一步改善。

3)增加吸声材料厚度和更换橡塑材质的吸声材料均不能降低发电机组的噪声,吸声材料的密度才是影响发电机组噪声的关键因素之一。该分析结果能够为发电机组的噪声控制提供思路。

参考文献

[1] 张苗,漆琼芳,罗建军. 吸声系数的传递函数法仿真计算[J]. 声学技术,2021,40(4):527-531.

[2] 敖庆波,王建忠,李烨,等. 低频吸声材料的研究进展[J]. 功能材料,2020,51(12):12045-12050.

[3] 梁李斯,郭文龙,张宇,等. 新型吸声材料及吸声模型研究进展[J]. 功能材料,2020,51(5):5013-5019.

[4] 张宏宇,包钢,董鑫,等. 吸声材料参数对阻性消声器传递损失影响的数值研究[J]. 科学技术与工程,2015,15(10):52-56.

[5] 张胜强,芮晓丽,朱盼,等. 有机硅改性聚氨酯海绵的吸声性能分析[J]. 科学技术与工程,2018,18(31):142-146.

[6] 李青,酆磊,朱万旭,等. 新型多孔水泥基陶粒吸声材料的性能分析[J]. 科学技术与工程,2017,17(1):103-107.

[7] 周宇雯,彭善辉,张兆德. 舱室布置和材料属性对舱室噪声的影响分析[J]. 船舶工程,2020,42(1):93-99,140.

[8] LUMNITZER E,HRICOVA B,BEDNAROVA L,et al. Development of materials obtained from recycled cars and their subsequent use in noise reduction[J]. Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology,2018,34(4):221-229.

[9] ASLAN R,TURAN O. An acoustic structure design supported by shear thickening fluid for sound absorption[J]. Applied Acoustics,2021,182:108257.

[10] 苏红春,袁春,潘小兵,等. 50 kW 静音型电源车车厢降噪设计与试验分析[J]. 科学技术与工程,2014,14(21):195-199.

[11] 张振威,苏燕辰. 高速列车空调风道的降噪[J]. 科学技术与工程,2018,18(3):354-360.

[12] 王娜,吕东方,刘一鸣,等. 超深水半潜式钻井平台机舱舱室噪声预报与控制[J]. 哈尔滨工程大学学报,2021,42(10):1465-1473.

[13] 黄蕾,李莉,张鹿. 柴油发电机组国内主要企业的专利现状分析[J]. 科技和产业,2014,14(9):57-60.

[14] 潘小红,钱凯,李力克. VOLVO PENTA 柴油发电机组双层隔振降噪系统设计与验证[J]. 科学技术与工程,2017,17(9):199-205.

[15] 严天雄,杨林,刘进伟,等. 40 kW 柴油发电机组噪声源识别与降噪研究[J]. 噪声与振动控制,2021,41(4):276-281.

[16] 熊鸿斌,臧春新. 城市综合体典型噪声源噪声影响预测与控制技术研究[J]. 科学技术与工程,2016,16(16):155-161.

Application of Sound Absorbing Material in Noise Control of Variable-frequency Generator Set

YAN Tianxiong, LIU Jinwei, WU Xiaojia, HUANG Guopeng

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

Abstract: Sound absorption is an effective noise reduction measure, and sound absorption materials are widely used in noise control of various mechanical equipment and their components. By testing the noise of a 1.7 kW variable frequency generator set, it is found that the generator set had the problem of poor noise reduction effect of the original sound absorbing material. The noise of 25%~75% load was only reduced by 0.1~0.4 dB(A). Under no-load condition, the noise of the generator set had increased by 1.1 dB(A) instead. The comparative test was carried out by replacing four kinds of sound absorbing materials with different parameters, and it is found that the sound absorbing material with a material of polyurethane, a density of 35 kg/m³, and a thickness of 10 mm had the best noise reduction effect. Compared with the original state, the noise under the four loads (no load, 25% load, 50% load and 75% load) had been reduced by 1.1, 0.8, 0.2, 0.6 dB(A), the noise of the generator set has been further improved. The noise reduction analysis results of sound absorbing materials could provide ideas for noise control of generator sets.

Keywords: variable-frequency generator set; sound absorbing material; material parameters; acoustic enclosure; 1/3 octave band