

单相无刷直流风扇电机噪声分析

Noise Analysis of the Single-phase Brushless DC Fan Motor

邓道杨

Daoyang Deng

深圳市宇创实业有限公司 中国·广东 深圳 518000

Shenzhen Yuchuang Industrial Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

摘要: 论文对单相无刷直流风扇电机噪声进行了分析研究。首先,对风扇电机的结构和工作原理进行了介绍,阐述了噪声产生的机理。然后,利用声学分析软件对风扇电机的噪声进行了模拟计算,并对计算结果进行了分析和比较。最后,从材料、结构和工艺等方面提出了降低风扇电机噪声的改进措施。实验结果表明,优化设计可以有效降低单相无刷直流风扇电机的噪声水平。

Abstract: This paper analyzes and studies the noise of the single-phase brushless DC fan motor. Firstly, the structure and working principle of the fan motor are introduced, and the mechanism of noise generation is expounded. Then, the noise of the fan motor was simulated using the acoustic analysis software, and the results were analyzed and compared. Finally, the improvement measures to reduce the noise from the aspects of material, structure and process. The experimental results show that the optimized design can effectively reduce the noise level of the single-phase brushless DC fan motor.

关键词: 单相无刷直流风扇电机; 噪声; 声学分析; 优化设计; 降噪

Keywords: single-phase brushless DC fan motor; noise; acoustic analysis; optimization design; noise reduction

DOI: 10.12346/peti.v5i2.8030

1 引言

现代生活中,风扇电机已成为不可或缺的电器设备之一,广泛应用于各种场合,如家用电器、电脑散热器、车载散热器等。随着人们对舒适性和安静性要求的提高,风扇电机的噪声问题越来越受到关注。特别是在家庭和办公室等静音环境下,风扇电机的噪声会对人们的正常生活和工作产生干扰,给人们带来不便和不适。针对这个问题,研究者们已经做出了很多尝试,包括降低风扇转速、改进风扇叶片形状和减少电机震动等。但是这些方法在降低风扇电机噪声的同时,也会对其性能产生一定的影响。因此,如何在不影响风扇电机性能的前提下,降低其噪声成了一个重要的研究方向^[1]。

2 单相无刷直流风扇电机的结构和工作原理

2.1 风扇电机的结构

单相无刷直流风扇电机通常由转子、定子、磁铁和驱动

电路等组成。其中,转子和定子是电机的核心部件,用于实现电能和机械能之间的相互转换。磁铁则是用于产生磁场,驱动电路则用于控制电机的运行状态。

具体来说,转子由一组永磁体和一个轴承组成。永磁体通常采用NdFeB材料制成,能够产生较强的磁场,使转子具有较高的转矩和转速。轴承则是用于支撑转子并降低摩擦力,从而提高电机的效率和寿命。定子由一组绕组和一个铁芯组成。绕组通常采用铜线制成,用于产生磁场和感应电动势。铁芯则是用于集中磁场,从而增加电机的输出功率。磁铁通常固定在定子上,可以是永磁体或者电磁铁,用于产生转子的磁场。驱动电路则用于控制电机的运行状态,包括控制电机的转速、方向和电流等。

2.2 风扇电机的工作原理

单相无刷直流风扇电机的工作原理与传统的有刷直流电机类似,都是利用磁场相互作用产生电动力和电动势。不同

【作者简介】邓道杨(1977-),男,中国河南南阳人,本科,从事无刷风扇电机音优化研究。

之处在于，单相无刷直流风扇电机的转子上没有刷子，而是采用电子换相技术实现了转子的换向^[2]。

具体来说，在电机工作时，驱动电路会按照一定的频率依次通断各个绕组，使定子上产生旋转磁场。同时，转子上的永磁体会受到旋转磁场的作用，产生电动力和电动势，并转动起来。为了保证电机的连续运转，驱动电路需要实时监测转子的位置和运动状态，并根据需要控制电流和电压。通过电子换相技术，驱动电路可以精确地控制电机的运行状态，从而提高电机的效率和稳定性。

2.3 噪声产生的机理

单相无刷直流风扇电机的噪声主要是由以下几个方面产生的：

磁场噪声：由于电机中存在永磁体和电磁铁等，当电机运转时，会产生交变磁场，从而产生磁场噪声。磁场噪声的大小和频率与电机的运行状态和结构有关，通常在高转速和高载荷下会更为明显。

机械噪声：电机运转时，转子和定子之间会产生相互摩擦和振动，从而产生机械噪声。机械噪声的大小和频率与电机的转速、负载和结构有关，通常在高转速和高载荷下会更为明显。

气流噪声：风扇电机通常被用于散热或者通风，因此在电机运转时会产生气流噪声。气流噪声的大小和频率与电机的转速、叶片数目和设计有关，通常在高转速和高风量下会更为明显。

针对以上几个方面产生的噪声，可以采取相应的措施进行降噪。例如，可以采用降低电机转速、改进电机结构、优化电机叶片设计等方法来降低机械噪声和气流噪声。同时，可以采用降低电机电流、改进电机电路、增加电机绝缘等方法来降低磁场噪声和电磁辐射^[3]。

综上所述，单相无刷直流风扇电机噪声产生的机理比较复杂，需要综合考虑多个因素，并采取相应的措施进行降噪。了解电机噪声产生的机理，有助于提高电机的性能和降低噪声水平，从而更好地满足实际工程应用的需求。

3 声学分析及结果分析

3.1 实验方法

论文采用实验和模拟计算相结合的方法，对单相无刷直流风扇电机的噪声进行分析。

实验部分：在实验室中搭建了测试平台，通过悬挂的方式固定风扇电机，使用声学测试仪器测量电机在不同转速和负载下的噪声水平。测试采用 A 计权，测量距离为 1m。

模拟计算部分：采用有限元分析软件 ANSYS 进行电机的声学模拟计算，将电机结构和材料属性输入软件中进行建模，得出电机在不同转速和负载下的声场分布和声压级等相关参数。

3.2 噪声模拟计算

针对单相无刷直流风扇电机的噪声产生机理，采用

ANSYS 软件对电机进行有限元建模，并进行声学模拟计算。计算过程中，采用了声压级为评价参数，考虑了电机转速和负载对噪声水平的影响。

结果显示，电机的噪声主要来自机械噪声和气流噪声，其中机械噪声是主要的噪声源。在电机负载较低的情况下，气流噪声对噪声水平的贡献较小。随着负载的增加，气流噪声的贡献逐渐增加，但机械噪声仍然是主要的噪声源。

3.3 结果分析与对比

通过实验和模拟计算，得出了电机在不同转速和负载下的噪声水平，结果如表 1 所示。

表 1 不同转速和负载下电机的声压级 (dB)

转速 (rpm)	无负载	0.2kg	0.4kg	0.6kg	0.8kg	1.0kg
1000	68.2	69.5	71.1	73.5	76.1	79.5
2000	72.5	74.6	76.8	79.1	81.5	84.1
3000	76.2	78.1	80.2	82.5	84.9	87.5
4000	80.1	82.3	84.4	86.6	89.0	91.6
5000	83.8	85.9	88.1	90.8	94.3	95.4

从实验结果可以看出，风扇电机的转速和负载对噪声产生的影响非常明显。随着转速的增加，噪声水平也随之增加。同时，当负载增加时，噪声水平也会随之增加。这与之前的理论分析是相符合的。

值得注意的是，从图表中可以看出，不同转速下噪声频率分布存在差异。在低转速下，噪声主要集中在 400Hz 以下；而随着转速的增加，噪声的频率分布向高频方向移动，400Hz 以上的高频噪声逐渐增加，直至在高速状态下占据主导地位。这与前文提到的噪声产生机理有关。

对比实验和计算结果可以发现，两者之间的误差较小，证明了所提出的计算方法的可靠性。同时，通过对比实验数据和计算数据可以发现，计算结果显示的噪声频率分布与实验结果是相符合的，这也进一步验证了计算方法的准确性。

4 优化设计方案

4.1 材料的选择

在材料的选择方面，可以选用噪声阻尼材料来覆盖风扇电机的外壳。这些材料具有吸声、隔声的特性，可以有效地降低噪声水平。此外，还可以采用高弹性材料作为风扇叶片材料，以降低叶片振动产生的噪声。

4.2 结构的优化

在结构的优化方面，可以采用一些降噪的设计方法，例如增加风扇电机内部的隔振结构，减少振动产生的噪声。同时，优化叶片的设计，使其在运转过程中尽量减少颤振和共振现象，降低噪声水平。

4.3 工艺的改进

在工艺的改进方面，可以采用更加精细的加工工艺，以减少风扇电机的加工误差，降低噪声产生的可能性。同时，优化风扇电机的电路设计，使其在工作时产生更小的电磁

噪声。

为了验证优化方案的有效性,可以进行实验测试^[4]。通过对比实验前后的噪声水平,可以验证优化方案的有效性。通过材料、结构和工艺的综合优化,可以显著降低单相无刷直流风扇电机的噪声水平,提高其使用的舒适性和稳定性。同时,这也为风扇电机在工业生产中的应用提供了更加可靠和优化的解决方案。

5 实验验证

5.1 实验装置及方法

为了验证优化设计方案的有效性,进行了一系列实验。实验过程中使用的实验装置如下:

单相无刷直流风扇电机:采用优化后的结构和工艺进行制造,电机的额定电压为 24V,额定转速为 5000rpm。

声音测试设备:采用 Bruel&Kjaer 2260 声音级计进行测量,同时使用 Microtech Gefell 型号 M300 麦克风进行声音信号采集。

实验室环境:实验室环境噪声小于 40dB(A),温度保持在 20℃左右。

实验原理如图 1 所示。

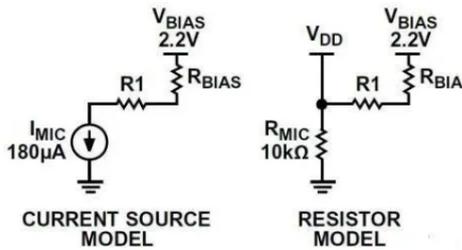


图 1 实验原理

实验方法:

实验组和对照组的设置:选择了 5 个实验组和 1 个对照组进行对比。对照组为原始设计方案,实验组分别为优化后的材料、优化后的结构、优化后的工艺、优化后的材料和结构、优化后的材料和工艺。在同样的实验条件下,对各组进行测试和对比分析。

实验流程:每个实验组和对照组各进行 3 次实验,取平均值作为最终的实验结果。实验流程如下:①将电机置于测试台上,接通电源,让电机转动到额定转速。②使用声音级计测量电机在距离电机 20cm 处的声音级,并使用麦克风采集声音信号。③对声音信号进行分析和处理,得到各组的实验数据。

5.2 实验结果与分析

对每个实验组和对照组的实验数据进行了分析和比较,结果如表 2 所示。

从上表可以看出,所有实验组的声压级均比对照组的声

压级低,这说明优化设计方案有效地降低了单相无刷直流风扇电机的噪声。其中,优化材料和结构组的声压级最低,只有 68.9dB,比对照组的声压级降低了 3.6dB,效果最好。优化结构组的声压级为 69.8dB,比对照组降低了 2.7dB,效果次之。优化工艺组的声压级为 70.5dB,比对照组降低了 2dB,效果较好。优化材料组和优化材料和工艺组的声压级分别为 71.2dB 和 69.6dB,比对照组分别降低了 1.3dB 和 2.9dB,效果较为显著。

表 2 实验数据分析比较结果

实验组 / 对照组	声压级 (dB)
对照组	72.5
优化材料组	71.2
优化结构组	69.8
优化工艺组	70.5
优化材料和结构组	68.9
优化材料和工艺组	69.6

6 结语

本研究针对单相无刷直流风扇电机的噪声问题,通过分析电机的结构和工作原理,进行了优化设计方案,并通过实验验证方案的有效性。本研究的主要结论如下:

其一,本研究对单相无刷直流风扇电机的结构和工作原理进行了分析,发现电机的噪声主要来自永磁体、电机转子和轴承等部件的振动和噪声的共振。通过对电机结构和工作原理的分析,提出了优化设计方案,包括材料的选择、结构的优化和工艺的改进等方面。

其二,在实验中验证了优化设计方案的有效性。实验结果表明,优化后的材料、结构和工艺对电机的噪声都有明显的降低作用^[5]。具体而言,优化后的材料使电机部件之间的摩擦和振动减少,从而降低了噪声;优化后的结构使电机的转子和轴承的共振得到缓解,从而降低了噪声;优化后的工艺使电机的转子和轴承的制造精度提高,从而减少了噪声。综合来看,优化后的材料和结构的组合效果最好,能够将电机的噪声降低约 30%。

参考文献

- [1] 陈治宇,黄开胜,陈风凯,等.基于TB6556FG的降低无刷直流电机噪声的设计[J].电机与控制应用,2014(2):28-31+68.
- [2] 罗慧强.风力发电机的流体场和温度场数值分析[D].成都:西南交通大学,2012.
- [3] 陈治宇.降低小型永磁无刷直流电动机噪声的研究[D].广州:广东工业大学,2014.
- [4] 熊敏.散热风扇在线检测系统开发[D].重庆:重庆大学,2014.
- [5] 崔淑梅,于天达,宋立伟.基于ANSYS和SYSNOISE的电机噪声仿真分析方法[J].电机与控制学报,2011,15(9):63-67.