

汽车冷却风扇噪声的分析与优化

郑宏龙

海南海马汽车有限公司 海南 海口 571100

摘要: 国家标准对汽车内外噪声提出了明确的限制,而车用冷却风扇是汽车的主要噪声源之一。故而,风扇高转速所带来的噪音等问题逐渐引起重视。本文主要介绍了汽车发动机冷却风扇噪声的产生机理,简述了影响风扇噪声的风扇性能、结构参数、安装条件等因素,结合新技术的发展对发动机风扇噪音的产生进行了分析,并在此基础上对某车型风扇进行了优化。

关键词: 发动机;冷却模块;冷却风扇;噪声

前言

近年来,发动机功率的提高及发动机舱设计的复杂化,使得整车的冷却性能要求也越来越高。而提升冷却性能的途径之一便是增大风扇的负荷,但负荷增大的同时风扇噪声也会增大,与整车NVH性能需求出现矛盾。本文主要针对我司某款车型的开发过程中风扇噪声的整改进行系统分析与优化,使整车冷却性能需求与NVH性能之间达到平衡。

1 风扇气动噪声概述

风扇气动噪声产生机理为非定常压力脉动,按其产生机制可以分为两大类,即旋转噪声和涡流噪声。旋转噪声,主要有两种来源,一是由于工作轮上均匀分布的叶片打击周围气体介质,引起周围气体压力脉动而产生噪声,二是由于气流流过叶片后,在叶片尾缘处形成尾迹区,尾迹区内气流的压力和速度都大大低于主流区,这样出口区内将形成不均匀气流,这种不均匀气流周期性作用于周围介质,产生压力脉动而形成噪声。涡流噪声,产生根源是压力随机脉动。其主要来源有来流紊动、二次涡流、附面层随机脉动以及边界层分离等,其中边界层脱落造成的叶片压力脉动占主导地位。风扇的涡流噪声是一种宽频带的连续噪声,反映在噪声频谱上,是振幅不大的连续频段且衰减较慢^[1]。

2 影响风扇噪声的因素

研究表明,对于冷却风扇,影响其噪声的主要结构因素有:扇叶材料、扇型、叶片数、风扇的轮毂比、叶片安装角度、叶片夹角、风扇动平衡、及风扇的安装条件等。

由风扇转速、直径、风量和静压等主要参数的改变而引起的声功率级变化值,其经验公式如下^[2]:

$$L_p = 70 \lg \frac{D_2}{D_1} + 50 \lg \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

$$L_p = 20 \lg \frac{D_2}{D_1} + 25 \lg \frac{p_2}{p_1} \quad (2)$$

$$L_p = 10 \lg \frac{V_{a2}}{V_{a1}} + 20 \lg \frac{p_2}{p_1} \quad (3)$$

式中, L_p 为声功率级; D_1 、 D_2 分别为风扇整改前后的外径; n_1 、 n_2 分别为风扇改变前后的转速; p_1 、 p_2 分别为风扇改变前后分压; V_{a1} 、 V_{a2} 分别为风扇改变前后的风量。

3 风扇降噪分析

3.1 风扇主要参数的确定

3.1.1 风扇风量的确定

风量应该根据整车热平衡来确定,在满足整车热平衡的基础上尽量降低转速,避免出现散热过剩、油耗加大等现象。例如风扇设计时,其设计工作电压一般为12V(按照蓄电池电压),但实际测试发现整车加载在风扇的工作电压(发电机发出的电压)为13.5V左右。由于风扇的转速跟电压成正比,而风扇转速加大的同时,风量与噪声也同时加大。在此情况下,风量增加了400至500,出现了性能偏高,且同时噪声也加大了3dB左右。

3.1.2 风扇直径的确定

依据《汽车设计手册》标准,风扇扫过的环形面积占散热器芯体正面积的百分比应大于45%,风扇直径大小应和散热器的形状相协调,条件允许时可增大风扇的直径,降低风扇转速,以达到减小功率消耗和降低噪音的目的。在某些散热器长、宽比例相差较大时,可以采用两个直径较小的风扇所取代。同时,由于风扇轮毂比越大,风量越小,相应的噪声越大,因此当风扇风量一定时,在条件允许的情况下,尽可能加大风扇的直径并减小风扇轮毂比(一般取0.2~0.5之间),以降低风扇转速,这有利于噪音的下降。

3.1.3 风扇转速的确定

因为风扇的风量、风压和功率消耗分别与风扇的转速一次、二次、三次成正比,所以提高转速是增加风量和风压的有效方法,但功率的消耗也急剧增加。而且风扇转速太高,会产生很大的尖锐噪音。风扇的噪声主要由风扇的风扇叶片切割扰动气流产生,所以风扇外径的转速最大不可超过 $60 \times 70 / \pi D^2$ 。在散热器与风扇之间要设导流风罩,并且必须密封导风罩与散热器的联结处,防止风扇抽风时,外界空气从不密封处短路流入风扇,使流过散热器的风量减少,使散热器的散热效果下降。

3.2 风扇叶数及叶型的确定

作者简介: 郑宏龙, 1988.11, 男, 汉, 广东汕头, 海南海马汽车有限公司, 中级工程师, 本科, 研究方向: 发动机冷却系统。

风扇在叶片数小于5时,风量随着叶片数的增多而增大,而叶片数大于5时,风量随着叶片数的增多增幅很小。因此应注意选择风扇的叶片数,并非越多越好。一般为7叶或者9叶。

3.2.1 直叶片风扇

叶片特点为等宽、等距,其结构简单,便于生产,在早其汽车开发中广泛应用,但由于噪声大等原因,如今已基本淘汰。

3.2.2 导流型叶片风扇

叶片上设有导流片,有利于气流在轴向和径向流动,大大地减少了空气涡流等小循环的流动,但这种叶片由于动平衡等工艺性较差而很少使用。

3.2.3 机翼型叶片风扇

参考飞机机翼现状设计,叶片的空气流动性好、效率高、噪声低,是高转速风扇常选用的形状。

3.2.4 前弯叶片风扇

叶片顶端有一部分向前弯曲,运转时它所排除的空气不完全为轴流,而是有部分气流与轴向近45°方向排出。这样能减少叶片顶部空气的涡流损失,减少排风背压,提高风扇效率。其缺点是结构复杂,安装时轴向尺寸较大,所以,更多的是用于重型汽车。

3.2.5 铲形叶片风扇

铲形叶片为顶端宽、根部窄的逐渐变宽形式,采用这种叶片可充分利用风扇叶片在周向安装时,顶端有较大的空间,并利用叶片顶端效率高的特点,可适当增加风扇扇风面积。铲形叶片还可分为3类,其类型与相应的风量、噪声对比如下图所示。根据设计标准,前掠型风扇是汽车上广泛使用的叶片形状。

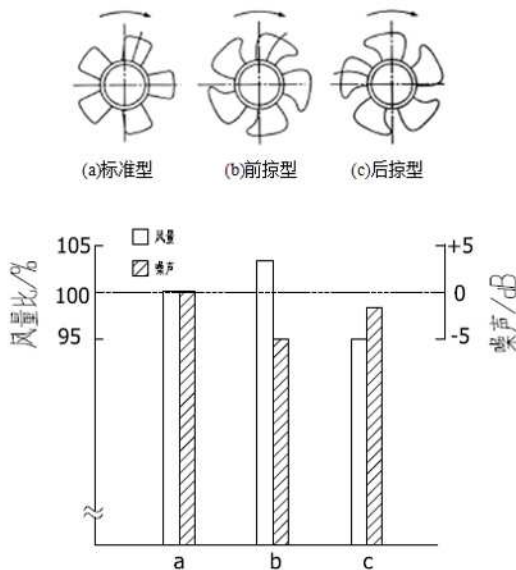


图1 3种扇叶的叶形、风量及噪声特性对比

3.2.6 环形叶片风扇

叶片为一环形整体,能有效减少风扇扇叶顶端气流二次

循环和空气涡流,增大风扇的效率、降低风速噪声,在汽车上广泛应用。

3.2.7 挠性叶片风扇

以上所介绍风扇皆为刚性叶片风扇,即风扇叶片在工作时无可见的弹性变形。但还有一种风扇被称为挠性叶片风扇,其材质很薄,且叶片与托板间采用了特殊的连接方式。工作时,叶片的质量中心对托板的支点产生一个力矩,使叶片产生变形,叶片投影宽度变化(投影宽度随气流速度及转速提高而变窄),在空气中的作用面积也相应变小,风扇的扇风量随之改变,这样可充分利用轿车高速时的迎风效应,使风扇的驱动功率得到明显的改善,同时降低了噪声。但挠性叶片风扇由于本身的生产工艺复杂、成本高,故而未得到广泛的使用。

3.3 风扇安装条件的确定

风扇安装条件对风扇噪声同样有所影响,若设计优良的风扇安装条件差,原有的动平衡等性能不能充分发挥,同样会造成噪声、振动的不良,无法达到设计目标,所以在整车冷却系统布置中必须给予充分重视。比如风扇对散热器芯部的覆盖率要大,并尽量覆盖散热器上部;必须采用风扇护风罩;应在散热器上下侧板上都增加海绵进行密封等,通过这些措施,可以有效的利用热传导效应、减少散热器的热回流、降低排风背压,使风扇排风通畅,才能更有效地提高风扇效能,降低风扇噪声^[3]。

4 某车型风扇的优化

4.1 优化目标

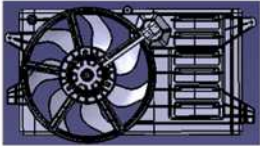
在保证冷却性能的前提下对风扇进行优化,降低风扇噪声。

4.2 现状分析

以下是某车型原车风结构性能参数及其结构图。

表1 原车冷却风扇结构性能参数及结构图

风扇直径/mm	轮毂直径/mm	轮毂比	叶片数	叶片形状	叶片材料	前倾角/(°)	叶片安装角/(°)
387	160	0.41	7	等厚前掠型	GFPP	6	51.4
短接风扇高转速	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)	怠速开空调	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)
	2238	62.1	45.9		2424	68.4	50.8



4.3 优化过程

此次优化主要从风扇设计参数、扇叶数量、扇叶结构这3方面着手。

4.3.1 设计参数优化

该车型风扇设计时,设计电压为12V,相应的高转速风量为2400m³/h。但经实际测试,风扇工作加载的电压为13.5V

左右。风量增加了400 m³/h至500 m³/h, 致使散热能力过剩。针对此问题, 对风扇转速进行了降低。优化后的样件和原车样件在整车上的噪声对比试验数据见表2, 试验表明: 优化后, 车外噪声下降5dB至6dB, 车内噪声无明显改善, 整车密封性能还需改善。

表2 某车型冷却风扇一次优化前后整车噪声对比试验

方案	短接风扇高速转			怠速开空调		
	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)
原方案	2238	62.1	45.9	2424	68.4	50.8
优化转速	1860	57.8	39.8	2130	61.6	51.1

4.3.2 叶片数量优化

针对上述优化后的状态, 在保证热平衡条件不变的前提下, 风扇的风量、直径等参数不变, 对叶片的数量做了优化, 相应的转速也发生了微小的变化。优化后的样件和以上样件在整车上的噪声对比试验数据见表3。试验表明: 在风量不变的基础上对扇叶数量、形状的优化, 对噪声的改善同样有不可忽视的作用。

表3 某车型冷却风扇二次优化前后整车噪声对比试验

方案	短接风扇高速转			怠速开空调		
	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)
原方案	2238	62.1	45.9	2424	68.4	50.8
优化转速	1860	57.8	39.8	2130	61.6	51.1
优化转速+叶片数量	1800	55.2	37	2050	60	50.7

4.3.3 叶片结构优化

针对上述优化后的状态, 在保证热平衡条件不变的前提下, 风扇的风量、直径等参数不变, 对叶片的结构、叶片安装角和扇叶数量同时做了优化, 相应的转速也发生了微小的变化。优化后的样件与以上样件在整车上的噪声对比试验数据见表5, 风扇结构见图3。综上整车NVH测试结果可知, 优化后, 风扇噪声明显下降, 优于整车风扇噪声设定目标, 而且成本没有增加, 达到优化目的。

表5 某车型冷却风扇三次优化前后整车噪声对比试验

方案	短接风扇高速转			怠速开空调		
	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)	风扇转速 (rpm)	车外噪声 dB (A)	车内噪声 dB (A)
原方案	2238	62.1	45.9	2424	68.4	50.8
优化转速	1860	57.8	39.8	2130	61.6	51.1
优化转速+叶片数量	1750	55.2	37	2050	60	50.7
优化转速+叶片数量+叶形	1872	54.1	36.7	2198	58.9	50.1

最终方案结构图



5 结论

风扇的设计与优化应从整车出发, 在保证整车热平衡条件的前提下, 尽可能地对风扇的风量、转速、安装角度、扇叶结构等进行深入优化, 从而获得更好的NVH性能。

参考文献:

- [1]张扬军.汽车冷却风扇气动噪声分析.北京:清华大学汽车工程系热流体系统室, 2008.
- [2]庞剑, 谌刚, 何华.汽车噪声与振动——理论与应用.北京:北京理工大学出版社, 2003.
- [3]风扇噪声级设计资料.