

内燃叉车进气系统消声性能改进设计研究

张永根

杭叉集团股份有限公司

DOI:10.12238/ems.v4i2.5079

[摘要] 从目前内燃叉车作业情况来看,在作业中很容易出现大规模噪声,一旦工作人员在内燃叉车中长期操作,会给驾驶人员身心健康带来严重影响,甚至会影响到周围生态环境。而进气系统噪声是内燃叉车噪声的主要来源,所以针对内燃叉车进气系统噪音研究是目前急需解决的问题。本文通过阐述进气系统噪声产生机理和进气系统消声性能分析与评价,让工作人员能真正掌握发动机进气噪音的产生原因,从而针对问题提出多样化改进设计,有利于将其将内燃叉车进气系统噪音控制在允许范围内。

[关键词] 内燃叉车; 进气系统; 噪音

中图分类号: TU96+6 **文献标识码:** A

Research on Improved Design of Noise Reduction Performance of Intake System of Internal Combustion Forklift

Yonggen Zhang

Hangcha Group Co., Ltd

[Abstract] Judging from the current operation of internal combustion forklifts, large-scale noise is easy to occur during operation. Once the staff operates the internal combustion forklift for a long time, it will have a serious impact on the physical and mental health of drivers, and even affect the surrounding ecology. The noise of the intake system is the main source of the noise of the internal combustion forklift, so the research on the noise of the intake system of the internal combustion forklift is an urgent problem to be solved. In this paper, by explaining the noise production mechanism of the intake system and the analysis and evaluation of the noise reduction performance of the intake system, the staff can truly grasp the cause of the engine intake noise, and then propose a variety of improved designs for the problem, which is conducive to controlling the noise of the air intake system of the internal combustion forklift within the allowable range.

[Key words] internal combustion forklift; intake system; noise

前言

在信息化时代背景下,叉车被广泛应用到各行业,同时政府部门对内燃叉车噪音标准逐渐提升。但由于我国相关法律法规颁布时间较晚,和国外发达国家相比,无论是噪音标准制定还是研究噪音控制技术方面,都存在较强的差异性。为避免内燃叉车噪音给叉车驾驶员带来严重影响,必须要将内燃叉车噪音控制在行业标准范围内容,禁止其超过极限范围。本文通过阐述进气系统噪声产生机理和进气系统消声性能分析与评价,让工作人员能真正掌握发动机进气噪音的产生原因,从而针对问题提出多样化改进设计,有利于将其将内燃叉车进气系统噪音控制在允许范围内。

1 内燃叉车发动机进气噪音的产生机理

1.1 周期性压力脉动噪音。在大气压力条件下,空气会从进气口被吸收到进气管口,防冻剂进气管道中的空气性能,会随着

内燃叉车发动机进气门运动出现不同程度的波动,从而导致空气密度产生规律性变化,引起内燃叉车不间断带来压力脉动噪音。通过工作人员对其进行各方面分析,发现压力脉动噪音和进气系统管道的特征基本相同,全部是利用节气门为主体,陆续向进气系统里面灌输在噪音,从而给进气系统带来严重影响^[1]。

1.2 气柱共振噪音。内燃叉车发动机正常运行时,进气系统管路会自动形成气柱共振系统,当进气管内拥有大量可压缩空气时,会给气柱带来严重影响,导致其出现不同程度的振动现象,再经过空气进行传播,当气柱振动停留在固定频率时,会形成共振,从而明显增加管道内的噪声影响。

1.3 涡流噪音。内燃叉车发动机的涡流噪音属于一种宽带高声强噪声源,其频率非常复杂,峰值通常分布在较宽频率范围中。但由于管道内很容易出现障碍物,如气门、尖刺等杂物,在气体粘性作用下,气体和障碍物进行相互碰撞,两者会出现气体

相互作用,在障碍物上部分出现涡旋气流。同时,在涡旋运动过程中,会出现多样化压力突变作用,给管道内部造成压力脉动噪声,当涡旋出现大量脱落时,通常会在气流中形成一次压力波动,并利用各种载体向外进行传递。另外,通过分析涡流噪声基本特征,发现涡旋脱落频率是影响涡流噪声频率的重要因素,而该因素和气流流速具有直接联系,当气流所传输的物体形状不规范时,涡旋形成过程极为不稳定,其噪声频带分布范围较广;当气流经过物体形状规范时,涡旋形成过程会呈现较强的周期性,涡流噪声同样会产生明显的峰值频率^[2]。

2 消声设计计算方法

2.1阻性消声器的计算方法。阻性消声器是通过采用气流管道中的多孔吸声材料来吸收噪声,从而达到控制噪音的效果,其消声性能和管道长度、性能、类型有必要联系。同时,在内燃叉车进气系统中,空气滤清器在内燃叉车进气系统中发挥着阻性消声作用,其中滤芯材料通常是利用多孔吸声的纤维材料为主体,目前最常用的阻性消声器为圆管式消声器。计算公式如下:

$$\Delta L = \phi(\alpha_0) \frac{P}{S} l = 4\phi(\alpha_0) \frac{1}{D} \quad (1)$$

$$\phi(\alpha_0) = 4.34 \times \frac{1 - \sqrt{1 - \alpha_0}}{1 + \sqrt{1 - \alpha_0}} \quad (2)$$

公式中: $\phi(\alpha_0)$ 表示和材料吸声系数有关的吸声系数; α_0 表示正入射吸声系数; P 表示管道界面周长; S 表示管道截面积; l 表示消声器有用长度; D 表示管道直径。

2.2拓张式消声器计算方法。拓张式消声器是指声波在管道截面变化位置出现反射,从而降低噪音影响程度,当声波传播到拓张位置时,会在拓张腔的墙壁位置出现不同程度的反射作用,发射出来的声波在频率和幅度方面基本相同,只是位置出现改变,当入射波位置和反射波位置完全相反时,声波会逐渐进行降低,甚至消失在人们听觉范围内;当入射波和反射波不完全相反时,这两种声波有部分会相互抵消,所以拓张腔轴向长度和消声频率具有直接影响(如图1所示)。其消声量计算公式如下:

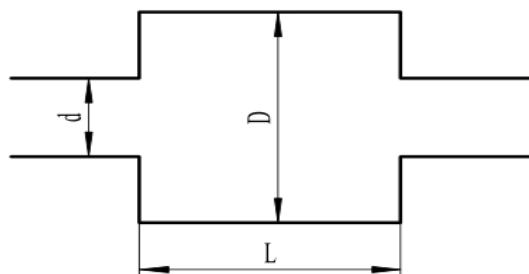


图1 单节拓张式消声器

$$\Delta L = 101g \left[1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 KL \right] \quad (3)$$

公式3中: m 表示扩张比; K 表示波数; L 表示扩张腔长度。

3 内燃叉车进气系统改进设计

3.1进气消声器改进设计。在传统内燃叉车进气系统中,进气消声器材料是以塑料为主体,空气入口段利用车架上面的连接腔和立柱管道相互连接,空气出口端和空气滤清器相通,开口位置朝上。为避免空气滤清器和车架出现严重的碰撞行为,工作人员将进气消声器设计为阶梯型,在两者中间的连接位置设计为斜面,并在进气消声器底部铺设大量海绵。同时,以往进气消声器属于扩张式消声器,但由于安装位置和车架结构存在严重限制,扩张腔自身体积较小,而空气出入口管道直径较大,导致扩张宽度要小于 m 值,从而导致进气消声器消声效果不明显;扩张腔末端出现倾斜作用,截面积呈现不断降低趋势,无形中失去截面突变给管道内部带来的阻挡声音的作用,属于一个不规范扩张式消声器。而在消声器底部铺设大量海绵,能起到较强的吸声效果,但由于海绵层厚度较低,吸声能力被大大减弱。另外,进气消声器安装位置靠近发动机,发动机在工作中会出现大量辐射噪音,再加上进气消声器材料全部采用塑料材质,导致发动机辐射噪音很容易通过进气消声器塑料壁传播到进气系统中(如图2所示)。



图2 原进气消声器实物图

为避免内燃叉车噪音给叉车驾驶员带来严重影响,必须要将内燃叉车噪音控制在行业标准范围内容,禁止其超过极限范围。本文对进气消声器做出如下优化:第一,为降低发动机辐射噪音给进气系统带来的影响,新型进气消声器材料全部利用钢板材质,其钢板厚度和以往进气消声器材料厚度基本相同;第二,为拓展进气消声器空间,提升进气消声器自身体积,工作人员要尽可能拓展其扩张比例;第三,为加强截面突变给进气消声器带来的噪音阻挡效果,在不进行大规模改进情况下,可去除传统进气消声器的斜面,有利于拓展扩张腔体积;第四,在空气入口位置安装插入管,能消除少量噪音频率^[3]。

3.2空气滤清器改进设计。传统内燃叉车进气系统的空气滤清器使用过程中,空气是从入口位置流到空气滤清器中,其中要穿越安全滤芯和主滤芯,最后从中间管道内流出。空气滤清器属于阻抗复合型消声器,滤芯不仅拥有净化空气的作用,还能发挥较强的吸声效果。叉车被广泛应用到各行业,政府部门对内燃叉车噪音标准逐渐提升,但由于我国相关法律法规颁布时间较晚,

和国外发达国家相比,无论是噪音标准制定还是研究噪音控制技术方面,都存在较强的差异性。为避免内燃叉车噪音给叉车驾驶员带来严重影响,必须要将内燃叉车噪音控制在行业标准范围内内容,禁止其超过极限范围。同时,由于空气滤清器安装控件非常有限,空气出入口位置根本不能进行随意变动,且腔体横截面积无法实现拓展行为,这表示扩张比根本无法进行改变,只能通过提升腔体长度来增加腔体体积,从而达到较好的低频消音效果。其中空气滤清器腔体原本长度在300mm左右,而经过工作人员优化后,其长度上升到360mm,其体积相当于拓展20%。

3.3进气接管改进设计。原进气接管是利用塑料为主体,空气通过入口处流到进气接管后,气流会自动会分成两个最终汇聚在一起,从出口位置进到发动机中。而进气接管结构是通过发动机结构和接管安装位置来确定,属于一种不规则管路,管道中截面积并未出现明显变化,导致消声作用流于表面,并未发挥其真正作用(如图3所示)。

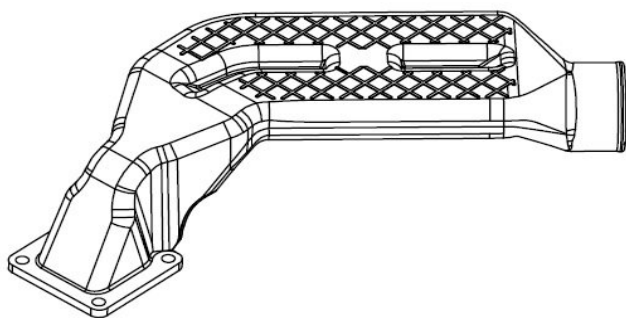


图3 原进气接管

在发动机最高转速和怠速两种情况下,中心频率处于630HZ的频段中出现明显噪音,其中噪音影响能力最强的频率在595HZ。面对这种特殊频率,本文考虑对进气接管提出三种全新进气接管。首先,去除分流环节,在管道内部使用钢结构,不使用任何消声结构,简单扩大管中腔体体积;其次,同样是消除分流结构,在管理中采用大量钢结构,且在管道两侧针对特殊频率设计赫姆霍兹共振消声器,在避免噪音干扰情况下完成整个设计工作;最后,分流环节和管道内壁基本相同,而在管道两侧则是设计微穿孔板共振吸收结构,在避免其他外在因素影响的条件下进行设计。

3.4声学有限元仿真。内燃机叉车噪声主要是来自于动力系统和发动机噪声。发动机和动力系统噪声一般分为燃烧噪声、气流噪声、机械噪声等类型。气流噪声一般是通过低频来控制,与排气过程和进气过程具有非常密切的联系,其中包含冷却风扇、涡轮增压器单元。气流噪声则含有排气噪声、风扇噪声、进气噪声等元素。机械噪声是通过气门爆震噪声、活塞敲击噪声、喷油泵噪声等。燃气噪声主要出现的原理是由于气缸内的压力不断提高,导致气缸内压力频率的不连续性和高频区域的电平增加,造成发动机机体出现大幅度振动,从而产生燃烧噪音

辐射。惯性力和燃烧力都是造成发动机结构振动,从而诞生噪音排放。由于柴油机内的气体要远超过惯性力,燃烧噪声要比其他机械带来的噪音排放量更大,其噪音辐射范围甚至能够辐射到几百、几千赫兹的频率范围。在汽油机运行过程当中,会遭遇机械噪声、气流噪声、燃气噪声等,但由于汽油机的燃气噪声要比柴油机的燃气噪声小很多。通过利用 Virtual Lab仿真软件对传统进气系统和新型进气系统进行声学有限分析,在分析过程中要去除刚体和流体间的耦合作用,并设置相关条件:第一,将管道内壁设置为无反射刚性壁面;第二,将单位质点速度安装在入口位置;第三,出口位置安装全吸声装置。在完成上述所有步骤后,才能进行接下来的仿真实验,经过工作人员进行大量实验发现,新型进气系统传递损失要高于传统进气系统,特别在中、低频段频率中,能大幅度消除噪声。因此,通过进行声学有限元仿真实验,能明确得到这种改进方法能有效满足设计要求。

3.5实验结果和分析。经过工作人员优化后,进气系统进气口噪声等级出现明显降低,在怠速情况下其噪声频率降低了2.78dB;在发动机转速最高的情况下,下降了3.18dB;在怠速情况下,低频段噪音下降程度大幅度增加,当其中心频率低于160HZ频率时,其噪声消声效果能达到3dB。同时,其在中、高频段的消声效果也非常明显,最高能达到5dB;而在发动机最高速度运行过程中,中、高频率在315HZ和500HZ两个频段的消声效果一般,在400-800HZ频率效果最佳。从上述实验数据能发现,改进后的进气系统消声效果非常明显,无论是在高速运转情况下还是在怠工速度下,都能达到良好的消除噪音效果,部分频率消声效果甚至达到5dB。此改进方案完全符合设计内燃叉车进气系统消声性能改进的要求。

4 总结

综上所述,目前内燃叉车运行情况来看,由于受到各种外在因素的影响,导致其消声器作用流于表面,并未发挥其真正作用。基于此,本文通过阐述进气系统噪声产生机理和进气系统消声性能分析与评价,让工作人员能真正掌握发动机进气噪音的产生原因,从而针对问题提出多样化改进设计,有利于将其将内燃叉车进气系统噪音控制在允许范围内。

[参考文献]

- [1]许强,刘伊凡,陈跃华,等.非对称阻抗插入管消声器的Chebyshev-变分法建模与求解[J].声学学报,2021,46(4):594-604.
- [2]许强,陈跃华,张刚,等.基于耦合声场建模的膨胀腔消声器声学性能分析及试验[J].宁波大学学报(理工版),2021,34(2):115-120.
- [3]张磊,郑旭,陈军,等.基于SEA分析验证的混响箱-消声室实验方法设计及隔声性能研究[J].振动与冲击,2020,39(8):258-263,270.

作者简介:

张永根(1976--),男,汉族,江西抚州市人,研究生,高级工程师,研究方向:叉车整车设计。