

文章编号:1006-1355(2009)05-0093-03

船艇柴油机排气噪声自适应主动控制算法及实验研究

邓军¹, 孙昭君², 王斌¹, 王静¹

(1. 镇江船艇学院 船艇工程系, 江苏镇江 212003; 2. 海军工程大学 科研部, 武汉 430033)

摘要: 船艇柴油机排气噪声具有与转速强烈相关的特点, 可采用以转速信号为基频合成次级声源进行噪声主动控制的方法, 难点在于确定各级声源的权值。本文提出了一种计算最佳的误差权值的方法解决这一问题, 并进行了实验研究。结果表明该方法可有效地控制排气噪声, 并能跟踪柴油机转速变化, 适合于船艇推进柴油机转速经常变化的工况。

关键词: 声学; 船艇柴油机; 排气噪声; 主动控制; 自适应

中图分类号: TK421^{+.6} 文献标识码: A

Self-Adapting Active Control of Exhausting Noise of Marine's Diesel Engines and Its Experimental Study

DENG Jun¹, SUN Zhao-Jun², WANG Bin¹, WANG Jing¹

(1. Zhenjiang Academy of Watercraft, Department of Watercraft Engineering, Zhenjiang Jiangsu 212003, China;
2. Naval University of Engineering, Researching Department, Wuhan 430033, China)

Abstract: Exhaust noise of marine's diesel engines is strongly related to rotating speed. Thus, the active noise control can be realized by composing secondary sound sources with the rotating speed signals as the base frequencies. But the difficulty lies on the determination of the weights of different sound sources. An arithmetic based on calculating the best error-weights is presented to overcome the difficulty. The results indicate that the method can effectively control exhausting noise and trace the change of diesel engine's rotating speed. It adapts to the working conditions of marine propelling engines, whose rotating speeds are changing frequently.

Key words: acoustics; marine's diesel engine; exhausting noise; active control; self-adapting

柴油机排气噪声恶化工作生活条件、影响艇员身心健康和船艇隐蔽性, 并降低有关仪器设备的性能。

传统噪声控制方法主要包括吸声处理、隔声处理和使用消声器^[1]。前两种方法对中高频噪声控制效果较好, 后一方法虽然可以较好地控制低频噪声, 但所需设备一般为较为笨重、体积庞大且频段较窄, 应用范围有限, 有源噪声控制为近年来兴起的新解决方法^[2]。船艇柴油机排气噪声以低频间歇性排气噪声为主, 其谐波性强, 且一定转速条件下

对应一组具有一定基频的谐波噪声, 适合于采用有源噪声控制技术降低噪声。但需要具有自动追踪初级噪声统计特性、控制器特性可随时间而变化的自适应有源控制系统。

提出了一种闭环自适应控制系统消除这些谐波成分的噪声, 应用波形合成技术合成基频受控于柴油机转速信号的谐波序列; 解决了柴油机排气噪声主动控制中难于获得次级声源输入信号的问题, 并在一台船用4-85柴油机上进行了实验研究。

1 噪声控制原理

1.1 自适应主动噪声控制

主动消声是通过人为地引入一定数量的“噪声源”(次级声源), 通过调节它们的源强度(振幅A、

收稿日期: 2009-01-05; 修改日期: 2009-02-09

作者简介: 邓军(1973-), 男, 湖北荆州人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 船艇动力机械与工程。

E-mail: deng_j_ujs@163.com

相差 ϕ),从而在特定的空间降低噪声的一种噪声控制技术^[3]。与传统的无源噪声控制技术相比,有着低频消声效果好,以及消声装置体积小,安装方便等特点。

用柴油机转速信号作为基频信号产生频率等于基频及基频整数倍的声音信号,这些声音信号以不同的权值线性相加,合成次级声源。

1.2 权矢量的算法

在次级声源的合成过程中,关键是确定各阶声源的强度,即权矢量 W 。自适应控制与自适应信号处理的系统对于柴油机排气噪声进行主动控制特别适用。在自适应控制中,将输出 $y_k(t)$ 与所希望的值 $d_k(t)$ 比较。如果有误差 e_k ,则用 e_k 去控制 W ,使 W 为 $E[e_k^2] = \min$ 的最佳权值。

Widrow 与 Hoff 于 1959 年提出的 LMS 算法^[4]是求取最佳权矢量的一个简单和有效的递推方法,此法不需要求相关矩阵和矩阵求逆,而是运用最优化的数学算法—最陡下降法。按照这种方法,下一期权矢量为

$$W_{k+1} = W_k - \mu \nabla_k \quad (1)$$

其中 μ 是一个控制稳定性和收敛速度的参量, ∇_k 为均方误差梯度。在实际中,为了便于用实时系统实现,取单个误差样本的平方 e_k^2 的梯度作为均方误差梯度的估计。得到的如下迭代公式

$$W_{k+1} = W_k - \mu \hat{\nabla}_k = W_k + 2\mu e_k X_k \quad (2)$$

1.3 消声模型

自适应单频率消声器消声模型如图 1 所示,其原始输入为任意的信号 $S(t)$ 与单频率($\omega = \omega_0$)的干扰 $\cos\omega_0 t$ 的叠加,经过采样后送入 d_k (k 代表时间,下同)端,故有 $d_k = s_k + \cos(\omega_0 kT)$ 。参考输入是一个纯正弦波 $A \cos(\omega t + \phi)$,经过采样送至 x_{1k} ,及 x_{2k} 端,其中后者经过一个 90° 相移。两个权 W_{1k} 及 W_{2k} 可以使组合后的正弦波的振幅 A 和相角 Φ 都可以调整,因为二个权代表可以有二个自由度待调整。经过 $W_{1k} W_{1k}$ 与 $W_{2k} W_{2k}$ 相加得 y_k ,其相角和振幅都可以与原始输入中的干扰分量相同使输出 e_k 中的 ω_0 频率谐波噪声得以消除。

权矢量由公式(2)得到。而

$$y_k = \sum_{i=1}^2 W_{ik} x_{ik} \quad (3)$$

2 实验研究

2.1 实验装置

在一台船用 4-85 柴油机上建立了实验装置,转速信号由磁电转速传感器产生,运算部件采用

TMS320C25D 型开发板^[5],由扬声器产生合成次级声源。

2.2 实验结果

在多种转速(基频)下对消声前后的排气管噪声进行了测量,并在转速和收敛步长变化的情况下进行了测量。

在转速 1 620 rpm,即基频为 54 Hz 时,得到的消声结果如图 1 所示。

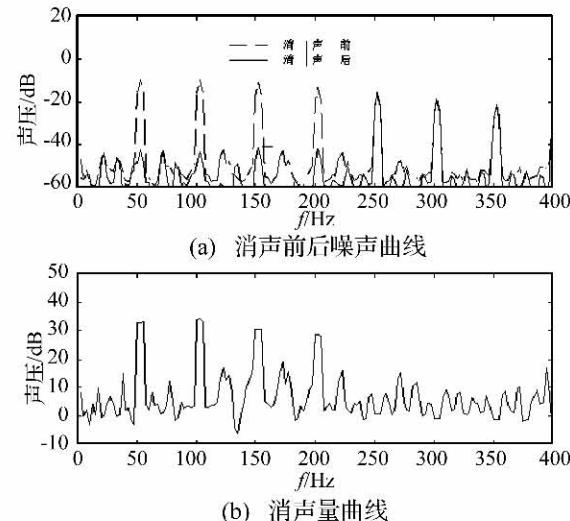


图 1 转速 1620 rpm 时的消声前后噪声曲线及消声量曲线

Fig. 1 Noise pressure curve before and after noise reduction and noise control scope curve

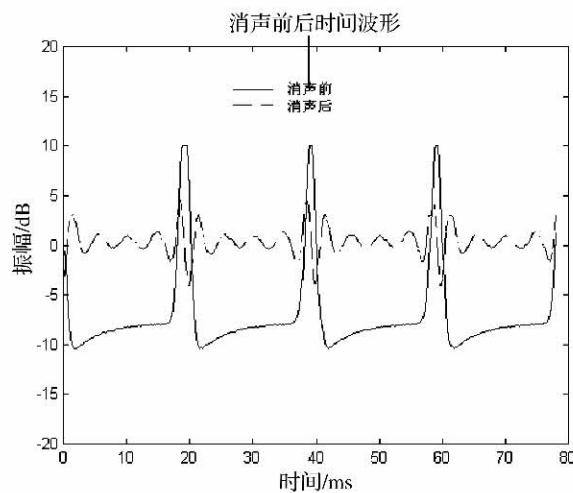


图 2 转速发生变化时消声前后的排气噪声波形

Fig. 2 Exhaust noise wave before and after noise reduction when ratating speed changes

在实验得到的噪声曲线图 3(a)中,柴油机排气噪声的峰值分布具有很强的谐波性,峰值分别位于 54、108、162、216 Hz 等与基频 54 Hz 成倍数关系的频率处,消声前峰值声压约为 10 dB 左右,消声后,峰值频率处噪声声压有大幅度下降,消声量在图 1(b)中显示,在峰值频率处约为 30dB 左右,而其它

频率处消声量在 0~15 dB 左右。

在转速变化时得到的消声效果如图 4 所示：

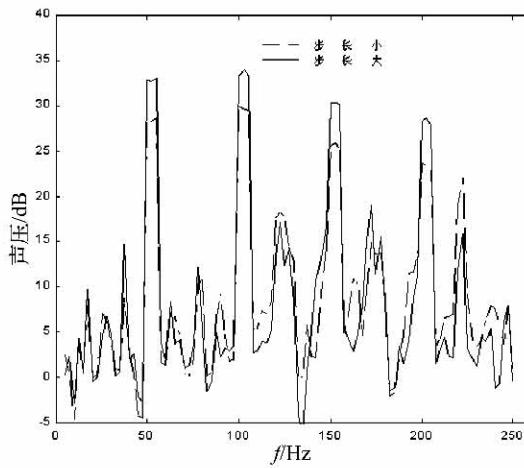


图 3 基频一定步长不同时消声量曲线

Fig. 3. Noise control scope curve with different step lengths

船艇柴油机转速常处于波动变化中,当转速改变时,排气噪声的基频也相应发生变化,如消声器不能跟随转速的变化,则只能在某些固定转速处取得较好的消声效果,不能满足船艇柴油机降噪要求,本组实验的目的在于研究消声器的在转速跟随性。在实验中,转速改变,消声前在 18、38、59 ms 处振幅最大,约为 10 dB,消声后振幅降低到约 4 dB,且在峰值时间处都有较大程度的下降。

柴油机转速一定,改变收敛步长时得到的消声效果如图 5 所示:

收敛步长影响消声器的消声反应速度,在计算芯片速度一定的情况下,步长过大有可能使得计算误差较大,消声效果差;而步长过小延长了系统反应时间,有可能造成扬声器产生的噪声与排气噪声

相位不同而使得消声效果差,在实验中采用了两种计算步长,消声量曲线中两种步长的消声效果各不相同,在峰值处大步长消声效果略好,而在次峰值出小步长消声效果较好。

3 结语

(1) 应用波形合成自适应处理技术对具有低频谐波性的柴油机排气噪声进行主动控制有明显的消声效果,在峰值频率处消声量均可达到 30 dB 以上,整个消声量可达 15 dB 以上。

(2) 当频率变化时波形合成自适应处理技术同样可以对噪声信号进行准确跟踪、适时处理,说明这一算法对转速变化有较好的跟随性。

(3) 不同的自适应收敛步长对消声效果有影响,在一定范围时,收敛步长大消声效果好。

利用波形合成技术和文中提出的权值算法对柴油机排气噪声进行自适应主动噪声控制可实现宽带消声,为实现船艇柴油机排气噪声自适应主动噪声控制提供了一种有效的方案。

参考文献:

- [1] 陈克安. 有源噪声控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003. 1~10.
- [2] Clark R. L., Cole P. G. Active Damping of Enclosed Sound Fields Through Direct Rate Feedback Control [J]. *Journal of the acoustical society of American*, 1995 (5): 1710~1716.
- [3] 陈克安, 等. 弹性结构封闭空间主动消声 [D]. 西安: 西北工业大学航海工程学院, 1994. 4~6.
- [4] 吴兆熊, 等. 数字信号处理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001. 23~25.
- [5] TMS320c25 User's Guide [Z]. Texas Instrument, 1986.

(上接第 86 页)

- [3] 公害防止の技術と法规編集委員会, 公害防止の技術と法规振动篇 [R], 执善株式会社, 1984.
- [4] 夏禾, 吴萱, 于大明. 城市轨道交通系统引起的环境振动问题 [N]. 北方交通大学学报, 1999, 4: 28~32.
- [5] 曹国辉, 方志. 地铁运行引起房屋振动的研究 [J]. 工业建筑, 2003, 12: 19~25.
- [6] 雷晓燕, 圣小珍. 现代轨道理论研究 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008: 22~41.
- [7] 雷晓燕. 轨道力学与工程新方法 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002: 44~45.
- [8] 西北综合勘测设计研究院. 普陀区建民村旧区改造一期岩土工程勘察报告 [R]. 西安: 2005: 18~20.
- [9] 刘晶波. 波动问题中的三维时域粘弹性人工边界 [J].

工程力学, 2005, 22(6): 46~51.

- [10] Ahmad S, Al-Hussaini TM, Fishman KL. An investigation on Active Isolation of Machine Foundation by Open Trenches [J]. *J Geotech Eng ASCE*, 1996, 122: 54~64.
- [11] Yang Y B, Hung H H. A Parametric Study of Wave Barriers for Reduction of Train-induced Vibrations [J]. *Int J Numer Meth Eng*, 1997, 40: 29~47.
- [12] Al-Hussaini TM, Ahmad S. Numerical and Experimental Studies on Vibration Screening by Open and In-filled Trench Barriers [J]. In: Chouw N, Schmid G, Editors. International Workshop on Wave Propagation, Moving Load and Vibration Reduction, (WAVE2000). Rotterdam: Balkema, 2000: 241~50.