神经网络分布式多通道协同控制声屏障原理研究

谭成翔 赵松龄

(同济大学声学研究所,上海 2 92)

摘要 声屏障的高度、材料、结构、重量和风载荷等要素受到景观要求和承载结构等条件的制约,进一步劣化了常 规声屏障在低频宽带噪声衍射和透射控制方面的缺陷 本文为此提出神经网络分布式多通道智能化协 同控制声屏 障方法 神经网络自组织形成时空二维非线性控制矢量,以形成优化的分布式消声器阵列 采用多目标优化 神经 网络通过自学习 首先优化各传感器和次声源的空间配置,以形成适当的消声空间分布并降低硬件开销;其次简化 控制器结构;最后精细优化各联结权 研究表明,该方法对宽带、大扇面噪声控制效果特别突出 关键词 噪声控制. 声屏障. 神经网络

随着城市化和经济建设的发展,噪声污染 已成为居民投拆最集中的环境问题之一 声屏 障作为治理交通环境噪声的主要途径之一.在 国内外受到越来越大的关注^[1-3] 声屏障的研 究始于6 年代 目前声屏障一般限于非有源控 制,声屏障的高度、材料、结构、重量及风载荷等 要素受到景观要求和承载结构等条件的制约: 低频宽带噪声传播距离远、污染范围大、以衍射 波和部分透射波形式跨越常规声屏障 近年来 Ise(1991)^[2]和 Omoto^[3](1995)等人开始研究 白话应 FIR 有源单诵道控制屏障 研究表明 有源控制可以增加声屏障的声隔离而不增加其 高度 然而,由于这类方法实质上是线性控制, 因此其对噪声的预测和抑制能力不足,主要表 现在对宽带噪声尤其是其频率高端效果锐减; 缺乏对声场的闭环增益的容错性和多消声器之 间的协调性 本文试图利用神经网络对声场的 非线性建模和预测能力[4-5]及其全局优化与容 错学习能力,研究神经网络分布式多通道协同 控制声屏障原理,以便解决声屏障高度与景观 约束下大扇面噪声污染控制问题

1 原理与结构

11 系统结构

神经网络分布式多通道协同控制声屏障原

理框图如图1所示



图1 神经网络分布式多通道协同控制声屏障原理框图

噪声传感器阵 Array(p) 安装在声屏障底 部,以监测噪声源的时频及空间特性 其中各阵 元的输出通过一组加权的并行的 T DNN 子网 为神经网络集成控制器提供多路参考输入矢 量

次级声源阵 Array(s) 的时频特性及空间 指向性由神经网络集成控制器自组织生成

误差传感器阵 Array(e) 均匀分布在期望 降噪区域,监测空间降噪效果,为神经网络集成 控制器的优化学习提供目标矢量

神经网络集成控制器为3层复合神经网

 ^{*} 中国博士后科学基金资助项目 收稿日期: 1996–11–24

络^[6] 其底层为一组加权的并行的TDNN子 网,接收初级声场的时空二维信息顶层输出驱动一组并行功率放大器组,为Array(s)提供时 空二维控制矢量

神经网络优化的目标函数是:

min: $J(W) = E < ||P{Array(e)}||^{E} >$ 其中, E 代表数学期望, P 代表声压 即 min: $J(W) = ||S_n(f, sp) [G_{nq}(f, sp) + G_{np}(f, sp)$ $G_{pe}(f, sp) G_{nn}(W) G_{es}(f, sp) G_{sq}(f, sp)]|^{E}$ 其中, S_n 为噪声源的频率(空间特性), G_{ng} 为噪 声源到指定静噪区的频率(空间传递函数), G_{np} 为噪声源到噪声传感器阵的频率(空间传递函 数), G_{pc}为噪声传感器阵到神经网络的频率(空 间传递函数), G_{nn}为神经网络的频率(空间传递 函数), G_s为神经网络到次级声源阵的频率(空 间传递函数), G_s为次级声源阵到指定静噪区 的频率(空间传递函数)

考虑到次级声源到误差传感器之间的声传 播延迟与衰减,可以导出神经网络消声器的学 习算法^[6]为加速收敛和避免局部极小点,采用



图2 声传播模型(剖面)

块动态学习并限制参量动态范围优化分结构 优化和精细学习2个阶段首先优化各传感器和 次声源的空间配置,以形成适当的消声空间分 布并降低硬件开销;其次简化控制器结构;最后 精细优化各联结权

12 声场模型

上述 声场 传递函 数可 以根据 Fresnel-Kirchhoff 衍射理论^[2]作近似理论 如图2所示

 $dG_{dq} = D_{(dn)(dq)} + D_{(dn)(dq)}$ 其中, $D_{xy}(f, sp) = -\frac{-if}{2c} \iint_{B} \frac{1}{r_{Xb} \cdot r_{Yb}} (\frac{r_{XB}}{r_{Xb}} + \frac{r_{Yb}}{r_{Yb}})$ X, Y = dn, dn, dq, dq; c 为声速; SB 为声屏障 上方的声衍射域; dSb 为 SB 上的面积微分元; r_{xb} 、 r_{Yb} 分别为 X、Y 到 dSb 的距离; r_{XB} 、 r_{YB} 为 X、Y 与声屏障之间的直线距离

$$dG_{np} = F(dn)(dp) + F(dn)(dp')$$
$$dG_{sq} = F(ds)(dq) + F(ds)(dq')$$

其中, *F*_{XY(X, Y= dn, dp, dp, dq, dq}, b) 为自由声场中从 X 到 Y 的传递函数:

$$F_{XY}(f, sp) = \frac{1}{r_{XY}} \exp(-j2\pi f r_{XY}/c)$$

其中, *dn* 和 *dn* 分别代表噪声源的一个基本构 成(这些随机分布的 *dn* 叠加构成总的初级声 源 *n*)及其镜像, *dp* 和 *dp* 分别代表一个噪声 传感器阵元位置及其镜像, *ds* 代表次级声源阵 的一个阵元, *dq* 和 *dq* 分别代表降噪观察区的 一个观测点及其镜像 对理想吸声型声屏障(立 式无限长), 若忽略路面吸声、声屏障的反射及 其顶端厚度, 则:

$$\frac{D(dn)(dq) + D(dn)(dq) + D(dn)(dq) + D(dn)(dq)}{\frac{1}{r_{Xb} \bullet r_{Yb}} \left(\frac{r_{XB}}{r_{Xb}} + \frac{r_{YB}}{r_{Yb}}\right) \bullet \exp(-j2\pi t) \frac{r_{Xb} + r_{Yb}}{c} dSt$$

2 典型结果

为观察本文所提出的有源声屏障的工作性 能,针对自由声场模型 结合实际采集数据,基 于3芯片 TMS32 C5 并行神经网络仿真实验 系统进行了大量的原理性仿真实验研究 图3给 出了典型结果 其中,观察区平均本底噪声为 7 dB(A),原始声屏障为3m 高微穿孔吸声型声 屏障;初级声源为在空间上呈离散随机线状分 布、峰值频率分布在125Hz 到8 Hz 平稳随机 噪声 Array(p)为4元等(1 m)间隔水平线列 阵 Array(S)为6元等(3m)间隔水平线列阵 Array(E)为4×4×4阵元三维等(3m)间隔十字 体积阵 观察区域为声屏障后侧25m 处下方 729m³的一个立方体区域 采样频率为1 kHz TDNN 单路节数为127 隐层神经元数为12个 图3给出了观察区域典型的降噪结果 在观察区 得到平均降噪量17dB(A)左右 而采用单个输 入单个次声源(单通道控制),其他部分不变,同 样条件下降噪量最大只能达到6dB(A)左右



图3 观察区域典型的降噪结果

体积加权平均降噪量的空间分布(729m³)]

3 结语

作为常规声屏障的补充和发展,分布式多 通道协同控制神经网络声屏障在原理上是可行 的 特别适宜于声屏障高度、结构及景观约束下 的环境噪声的治理 由于其自身具备很强的时 空信息综合和系统建模能力,对环境条件的适 应性大大提高,即使在常规自适应消声器难以 发挥效力的复杂空间也能达到很高的降噪量 其协调稳定的工作性能使得本方法极具应用潜 力 其在复杂声场中的机理将是后续研究的课 题之一

致谢 本项目的启动得到中国博士后科学
 基金(第17批)的资助 现得到日本学术振兴会
 的资助,笔者将在东京大学展开本项目的后续
 研究 谨表谢意

参考文献

- 1 马大猷 振动与噪声控制, 1994, 94(2):2
- 2 Ise S et al J Acoustic Society of Japan(E) 1991, **12**(12): 299
- 3 Omoto A, Fujiwara K J Acoustic Society of American, 1995, **94**(4): 2173
- 4 Tan C X, Proc of The lst Asia-Pacific Conf on Instrumentaiton, Measurement & Automatic Control Beijing: International Academic Publishers, 1991: 257
- 5 Tan C X, Ma Y L Internoise, 1991, 91(1): 633
- 6 Tan C X, Ma Y L Proc of Intl Joint Conf on Neural Networks ´ 1992 Beijing: China Electronic Industrial Publisher House, 1992: 529

(上接第46页)

4 还原, 合成气 CO+ H2的含量和 CO/H2比 都降低

表2 还原温度对13% (Wt) Co/Al₂O₃催化剂活性的影响¹

| t/ | $c_{\rm CO+ H_2} / \%$ | C O/ H ₂ |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| 35 | 75 5 | 1 39 |
| 4 | 86 7 | 1 31 |
| 5 | 78 76 | 1 23 |
| 55 | 79 98 | 1 21 |
| 6 | 84 2 | 1 |
| 1) 反应温度为7 | ,空速 GHSV= 5 | h ⁻¹ |

3 小结

Co/Al2O3催化剂上 CH4的CO2重整活性和 活性,与Co的负载量有关 当Co的负载量达 到13%(Wt)时,其活性最好 提高反应温度,能 增加 CH4和 CO2的转化率,也增加了合成气的 产率;提高反应的空速和催化剂的还原温度,均 能提高合成气中 CO/H2的比,并且当催化剂在

4 还原时其活性最好

参考文献

- 1 Fox J M Catal Rev , 1993, $\pmb{35}(2):194$
- 2 朱启明 天然气化学, 1991, 16(1): 3
- 3 Krylov O V Catal Today, 1993, 18(3): 269
- 4 张一平,丁云杰,郑小明,费金华 催化学报,1996,**17**(3): 232
- 5 Richardson J T and Paripatyadar S A Appl Catal , 199 , 61: 293
- 6 路勇,邓存,丁加雪等 第七届全国催化学术会议论文摘要 集 大连:中科院大连化学物理所,1994:59

Viaduct Chen Ziming (Department of physics, Ocean University of Qingdao), Liu Weiming et al (Environmental Monitoring Centre, Qingdao): Chin J Environ Sci, 18 (3), 1997, pp 41_44

The popular response to the traffic noise of elavated highway or viaduct in the Qingdao City was investigated using simultaneous doing method of questionaires and noise measurements The variations of subjective annoyance value and sleep interference rate with the effective noise level was analysed The difference in the subjective annoyance values and sleep interference rates of population of different groups was pointed out and the difference in their subjective response before and after the construction of an elevated highway or viaduct

Key words: traffic noise, elevated highway or viaduct, subjective response, subjective annoyance value, sleep interference

Reformed Methane by Carbon Dioxide over Co/Al₂O₃ Catalyst Fei Jinhua, Lu Haihua et al (Institute of Catalysis, Hangzhou University, Hangzhou 31 28) : *Chin J Environ Sci*, **18**(3), 1997, pp 45_46

In this paper, the effect of Co content, pretreatment conditions, space velocity and reaction temperature on the preformance of mathane reformed to synthesis gas by carbon dioxide over Co/Al2O3 catalysts has been investigated It was found that Co/Al²O³ catalyst with Co content of 13% (wt) (i e 13% wtCo/ Al₂O₃) showed the best reform activity, decreasing space velocity and increasing reaction temperature improved the conversion of mathane and carbon dioxide Catalysts also showed the best activity at reduced temperature at 4 The CO/H₂ ratio of yields increased with the space velocity increasing, decreased with reduced temperature and reaction temperature increasing When enough Co content is loaded on $Al_2O_3(eg \ 13\% wtCo/Al_2O_3)$, catalysts will appeare longer life and stability of activity

Key words: mathane, carbon dioxide, synthesis gas, catalyst, reform, Co/Al²O³

Basic Study on Neural Active Noise Barrier of Distributed & Coordinated Multi-Channels Chengxiang Tan and Songling Zhao (The Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 2 92): Chin J Environ, Sci , **18** (3), 1997, pp 47_49

The height, material, architecture, weight of the noise barrier are constrained by the landscape requirement and load-bearing frame, which deepens the deficiency of the conventional noise barrier in low frequency wide band noise diffraction and transmission To improve the performance of the conventional noise barrier, neural active noise barrier of distributed and intelligently coordinated multichannels is presented The adaptive nonlinear control vector in time and space domains is self-organized by the proposed compound neural network to drive the distributed secondary sources array optimized Multiobjectives optimization is adopted Through training, at first, the neural network optimizes the geometrical distribution of the sensors and secondary sources, in order to synthesize the suitable noise reducing space distribution and reduce the hardware cost; secondly, the structure of the neural controller is simplified At last, the reserved connection weights get

precisely optimized The scheme is demonstrated to be applicable especially for wideband and large area noise barrier

Key words: no ise control, no ise barrier, neural network

Chinese Expressway Tunnel Pollution and Control Wany Mingnian, Wong Hanmin, Guan Baoshu(Dept of Underground Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 61 31): Chin J Environ Sci , 18(3), 1997, pp 5 -53

In order to control air pollution and noise pollution in expressway Tunnel, i e Zhong Liangshan Tunnel, Wu Tongshan Tunnel and Qi Daoliang Tunnel were studied, the site test result showed that machinery ventilate control effectively air pollution in tunnel, source of noise is traffic flow, their noise go beyond the values of standard, so it is important to study on technique reduced noise pollution

Key words: expressway tunnel, air pollution, noise pollution, machinery ventilate

Experiments on Long Term Stability of Road Tile Made from Chromium-Bearing Slag Wang Yongzeng et al (China Institute for Radiation Protection Taiyuan 3 6): Chin J Environ Sci , **18**(3), 1997, pp 54_56

By adding 2 % chromium-bearing slag into base materials of making brick, the brick sample was sintered in the required geometric shape under the given temperature The size of sintered base sample was measured and the associated Cr water solubility test made before and after sintering The sample was tested in leaching liquid under variable conditions Based on the experiment results data, the leaching rate is 8×1^{-7} cm/d and the accumulative leaching faction is 1×1^{-4} cm/d, the stability of Cr in base sample was determined and therefore such method of treating chromiconsidered feassible um slag was and practible

Key words: chromium-bearing slag, road tile,