

器,处理后输出激励源信号。通过对几个男、女说话人的激励源信号试听表明:激励源信号基本上反映了原始语声的音调变化;由它能大致听懂原始语声的内容;女声的效果较男声好。

## 四、结 论

本文主要目的是改进并行处理提取基音法,以便于硬件实现。硬件研制及对其性能的初步检验表明,改进算法是有效的。整个基音提取器,除 A/D、D/A 及时钟控制信号产生电路外,仅用了一片  $\mu$ PD7720,有利于体积减小,功耗节省。

## 参 考 文 献

- [1] Rabiner, L. R. et al., *IEEE ASSP*, 24-5(1976), 399.
- [2] 王福全, 通信学报, 待发表.
- [3] Dubnowsk, J. J. et al., *IEEE ASSP*, 24-1(1976), 2.
- [4] 李昌立等, 声学学报, 1(1979), 12.
- [5] Feldman, J. A. et al., *IEEE SC*, 18-1(1983), 2.
- [6] NEC MPD 7720 Preliminary, Digital Signal Processor, NEC Electronics (Europe) GmbH.
- [7] Preliminary EVAKIT-7720 Operational Manual, Personal Computer Division, Nippon Electric Co., LTD, June 22, 1981.
- [8] Gold, B. et al., *J. Acous. Soc. Am.*, 46-2, Part2 (1969), 442.

# 微机在有源消声中的应用\*

沙 正 明                  沙 家 正

(上海 交通 大学)      (南 京 大 学)

1985 年 12 月 19 日收到

本文讨论将微机技术引入单源有源消声器。微机控制其可变参数,使消声系统能对噪声源进行自动跟踪。其参数在一定范围内随着消声情况的变化而变化,始终保持最佳的消声效果。对线状谱噪声可将其剩余噪声控制在本底噪声或比本底噪声稍高一点的范围内( $\sim 3\text{dB}$ )。跟踪速度较快,最佳消声状态的稳定性也较好。

## 一、引 言

有源消声自三十年代在原理上提出,五十年代由 Olson 制造出第一个有实用价值的电子吸声器以来,其发展是十分迅速的。特别是六十年代后期到七十年代,电子技术的进步极大地推动了有源消声的发展<sup>[1-3]</sup>。

目前,有源消声器已处于改进和提高的阶段,人们力求寻找既经济又有效的消声方法,使之实用化,本文研究的是微机自动控制技术在有源消声器中的应用。

## 二、原 理

有源消声的原理并不复杂,两列波沿同一方向传播,如果它们大小相等,位相相反就会互

相抵消。让其中一列波代表噪声声波,另一列波代表人造的“反噪声”声波,按上面的条件使两列波相消干涉,这便是有源消声的基本原理。实际作为一个消声器,要能够拾取一个波的信息,然后产生一个反相的声波,与原来的声波相消干涉,技术上还存在着许多问题和困难。

### 1. 单极子源有源消声器

管道中有源消声器的次级声源可以是双扬声器或三扬声器等组成的扬声器阵列,也可以是由单只扬声器所构成,它们通过吸收噪声能量或将噪声“反射”回去,达到消除噪声的目的。

在不需要考虑上游噪声情况的场合,用一只扬声器的单极子源有源消声器,结构比较简

\* 中国科学院科学基金资助的课题。

单,我们只要注意去除次级声源对提取噪声信号的影响,就可以取得比较好的消声效果<sup>[4]</sup>。

我们提出一种抵消法接收的有源消声结构,见图1。将传声器对称地置于次级辐射源的两侧,如果扬声器工作,那么两传声器应接收到相同的信号,这时我们使它们的输出相减,便可去除次级源本身的回输,提取出上游下来的噪声信号  $N$ 。

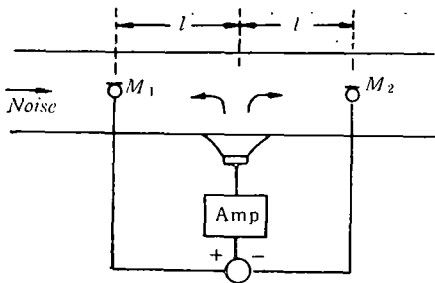


图1 抵消法声接收示意图

我们若把噪声声波  $N$  到达传声器  $M_1$  处的时间定为时间基点,那么  $M_2$  接收到的便是延时  $2\tau$  后的声波 ( $\tau = l/c$ ,  $c$  是声速),加上次级源辐射的声波经管道反馈给  $M_1$ 、 $M_2$ ,所以两个传声器的总输出为

$$D = M_1 - M_2 = N(0) - N(-2\tau)$$

变换到频率域上

$$D(\omega) = N(\omega) \cdot (1 - e^{-j2\omega\tau})$$

另外次级源的输出

$$S(\omega) = D(\omega) \cdot A(\omega) \cdot L(\omega) \cdot (-1)$$

根据消声条件,下游区初、次级声源辐射的声波相互抵消,也就是  $N(-\tau) + S(0) = 0$ ,即

$$N(\omega) \cdot e^{-j\omega\tau} + S(\omega) = 0$$

于是我们可得消声系统对放大器幅频特性的要求为

$$A(\omega) = \frac{1}{2L(\omega) \cdot \sin \omega\tau}$$

它是频率的函数,式中  $L(\omega)$  是扬声器的频响,  $\tau = l/c$  是时间因子。

## 2. 微机控制原理

有源消声要求次级声源辐射出的声波和噪声源的声波大小相等,位相相反,它对幅度及相

位的要求很高。一般说来,用固定参数的办法不容易做到在任何时刻都满足幅度及相位的最佳消声条件,噪声源及其他外部参数的变化,要求次级声源也要作相应的变化。我们把微机引入有源消声结构,使之初步具有自适应的功能,能够随着噪声源信号的变化自动调节自身的参数,辐射出适当的声波,抵消噪声声波。

微机的引入主要解决次级源辐射出来的声波对初级源声波的跟踪抵消,这里我们需要解决两个问题,一是两列波的大小判别及确定次级声源声波的变化方向,二是消除两列波差别、使之完全抵消的方法。

(1) 次级源声波变化方向的确定。我们知道两列波相消,其消声指数相对于幅度差和相位差两个参数来说是一个单极点函数。因此我们可以先假定次级源输出沿某一方向变化,即微机的控制参数朝某一方向调节,按这个方向变化参数后反馈给次级声源输出。如果下游接收到的声压在减小,表示设定的参数变化方向是正确的,次级源辐射的声波在抵消初级噪声源的声波,微机继续按这个方向变化参数,直到找到声压最小值。如果下游接收到的声压增大了,表示参数的变化方向不正确,下一步微机便改变方向,再按改变后的方向变化参数。在最小值附近,参数的变化方向会依次交替改变,遇到这种情况,表示系统已经找到了最佳消声点。

(2) 调整速度的确定。微机在确定了参数的变化方向以后,接下去需要确定的是参数的变化速度,要找一种方法,尽快地消除两列波之间的差别。在控制过程中,偏差的大小和控制信号的大小需要建立起一个函数关系,即所谓控制曲线。偏差大,控制量也大,避免控制量过小造成调节时间延长的缺点;偏差小,控制量也小,避免控制量过大造成超调或振荡。我们可以设定一个与误差成线性比例关系的调节模式,若  $p$  代表次级源辐射的声压,  $p_1$  代表初级噪声源的声压,那么,次级声压的调节变化速度

$$\frac{dp}{dt} = k(p - p_1)$$

式中  $k$  是比例系数。我们也可以根据消声曲线

的需要,确定其他更为复杂的控制曲线模式。

有源消声情况下,控制曲线中的误差是下游剩余噪声,取有效值,它不会出现负数。控制曲线应用于消声系统可以简化,我们把控制曲线量化,对八位字长的微处理机,可以不用连续的控制曲线,为减少微机的运算,我们采用图 2

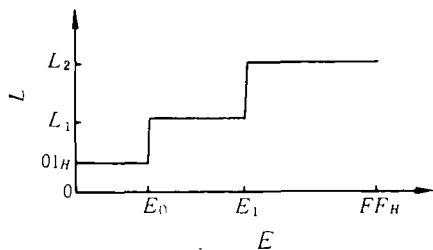


图 2 微机的控制曲线

$E$ : 误差;  $L$ : 调节步长、控制量。

所示的分级式控制曲线。控制曲线分成三个台阶,微机通过判别误差处于哪一个区域,得到对应的控制量,这个控制曲线用数学式子表示就是

$$\text{调节步长 } L = \begin{cases} 01H & \text{当误差 } E \leq E_0 \\ L_1 & E_0 \leq E \leq E_1 \\ L_2 & E_1 \leq E \leq FFH \end{cases}$$

式中  $01H$ 、 $FFH$  是八位二进制数的十六进制表示。它分三个区域进行调节,分别具有不同的调节速度。上面另外两个台阶的数值可以按控制曲线的模式不同定不同的值。

### 三、微机应用的实现方法

微型计算机应用于有源消声,用频谱分析的方法对计算机的性能要求较高,在计算机方面花的代价较大。本文中我们采用数字、模拟电子技术相结合的方法,微机控制模拟线路进行有源消声,这种方法对微机的要求较低,微机根据下游剩余噪声情况,调整次级消声系统的参数,直到在下游检测到的剩余噪声为最小,达到实际的最佳消声状态。

#### 1. 实验结构及装置

微机应用于有源消声器的实验框图见图 3,微机的控制参数为放大倍数、延迟时间(即相

移)及两路传声器的平衡。两路传声器信号平衡的目的,在于抵消次级声源对接收系统的影响,传声器  $M_d$  放在下游检测剩余噪声信号,并将它经过放大和检波,送给微机进行分析处理。为了防止外界条件的突变诱发次级声源产生啸叫,我们用一个过载保护电路来避免扬声器因负荷过大而遭破坏,一旦啸叫要形成,微机迅速减小参数值,破坏啸叫条件。

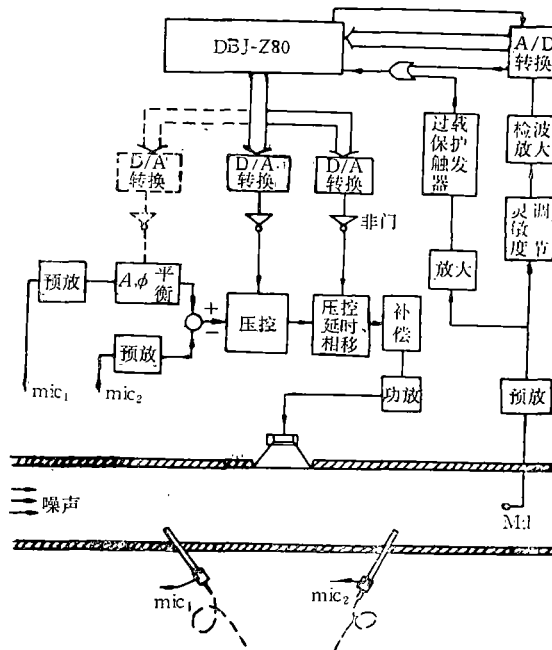


图 3 单源自适应有源消声框图

微机控制参数通过压控电路对次级声源的输出发生作用,有源消声的效果取决于幅度及相位的情况,压控放大器和压控相移器是有源消声器压控电路的基本单元。下面研究一下压控放大器。放大器深度负反馈时,放大倍数等于反馈系数的倒倒数,只要改变反馈系数,便可

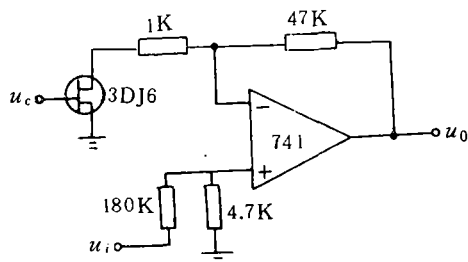


图 4 压控放大器电路结构

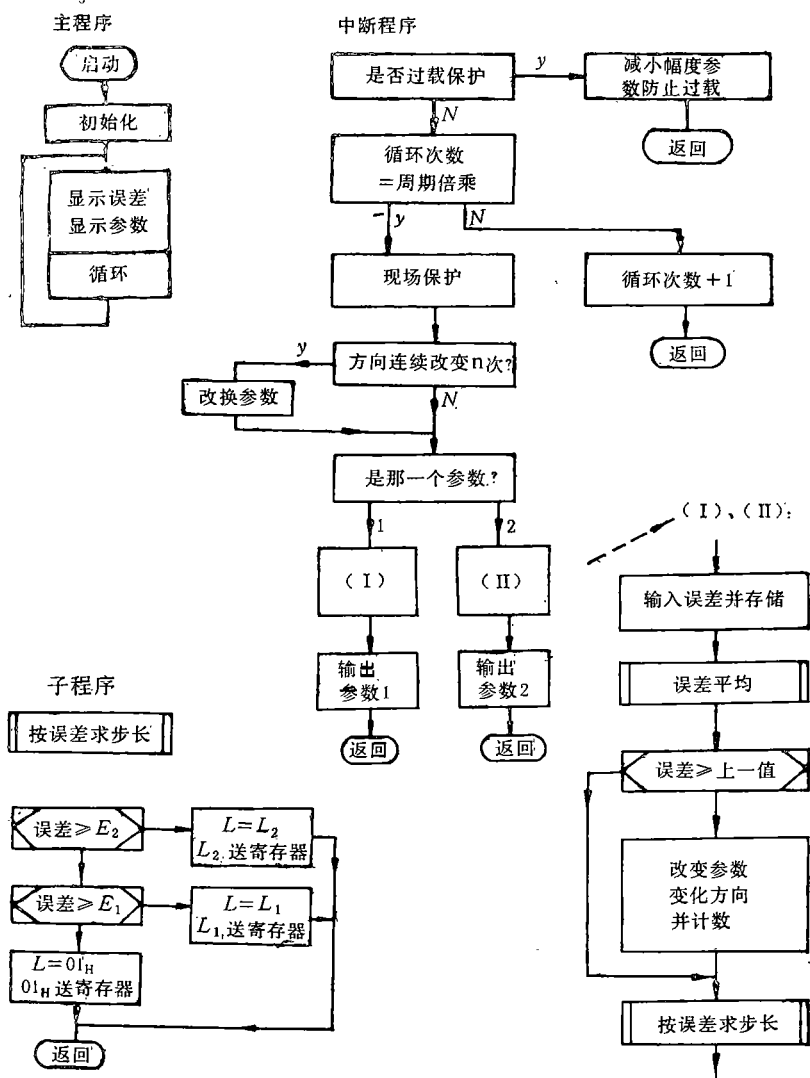


图5 程序流程框图

使放大倍数可变, 据此我们设计了图4所示的压控放大器, 图中场效应管和  $1k\Omega$  电阻与  $47k\Omega$  电阻构成可变的反馈系数, 通过场效应管栅极电压的不同数值, 使之等效于不同的电阻。场

效应管源、漏间等效电阻的线性动态范围较小, 输入信号过大会造成失真, 因此, 输入信号首先要进行衰减,  $180k\Omega$  和  $4.7k\Omega$  电阻就是用来完成对信号的衰减。该电路的性能见表1。

表1 压控放大电路的性能。有效输入电压  $u_i = 1V$

数字控制值	00H	10H	20H	30H	40H	50H	60H	70H	80H
控制电压 $u_c(V)$	0.007	-0.063	-0.133	-0.203	-0.277	-0.349	-0.422	-0.495	-0.567
输出电压 $u_o(mV)$	144.1	139.1	135.0	130.1	125.5	120.0	113.6	107.2	99.0
数学控制值	90H	A0H	B0H	C0H	D0H	E0H	F0H	F8H	FFH
控制电压 $u_c(V)$	-0.682	-0.798	-0.821	-0.844	-0.917	-0.990	-1.066	-1.104	-1.142
输出电压 $u_o(mV)$	90.8	81.2	70.4	57.3	43.0	28.7	17.1	13.4	11.6

## 2. 程序的基本思想

程序见图 5。在开始的初始化段，设定各参数的基本数值，随后进入循环，将各有关参数值显示出来。每过一定时间间隔微机系统对剩余噪声情况进行采样，在子程序中进行处理，修改参数，返回主程序后将参数的最新值显示出来，供人们监控。

微机系统通过中断申请进入子程序服务，由于啸叫是最高级紧急处理，进入子程序后首先检查程序是否因啸叫保护请求而进入中断，如不是则转入信号处理部分。周期倍乘是延长实际采样间隔的参数，它可以由我们灵活设置，改变实际的采样间隔，接下去程序现场保护，检验某参数是否已到了相对“谷点”，如已找到了本参数的极小值，则改换参数。下一步进行剩余噪声信号(声压误差)采样，通过误差平均子程序，对采入的误差进行加权平均，和上一误差值比较，如新采样的误差小，表示剩余噪声在减少，微机维持这一参数变化方向进行参数调节；如果新采样的误差大，则反方向调节参数，根据控制曲线模式，由误差确定参数的调节步长，最后输出调整好的参数，返回主程序。整个调节过程处于动态状态中。

## 四、微机应用于系统的消声结果

我们按照图 3 的消声装置进行消声实验，主要测量了该消声系统的跟踪速度，顺便测量了它的消声情况。

跟踪速度反映了有源消声器采用微机控制后对消声情况的跟踪能力。我们先谈一谈采样速度，采样速度也就是微机更新参数的速度，它越快，系统的跟踪速度也越快。由于扬声器瞬态失真的影响，其拖尾效应使微机的采样间隔

至少要十多毫秒，小于它，微机对参数失去控制作用，略大于它，系统的工作有效且稳定。由于采样速度是有限的，必然使跟踪噪声源及外部参数的变化为一有限值。我们先使次级源输出很小，在下游测到几乎是原噪声声压时，让微机采样速度放在最快，启动微机，让它根据下游的消声情况，自动调节次级声源的大小及相位，从

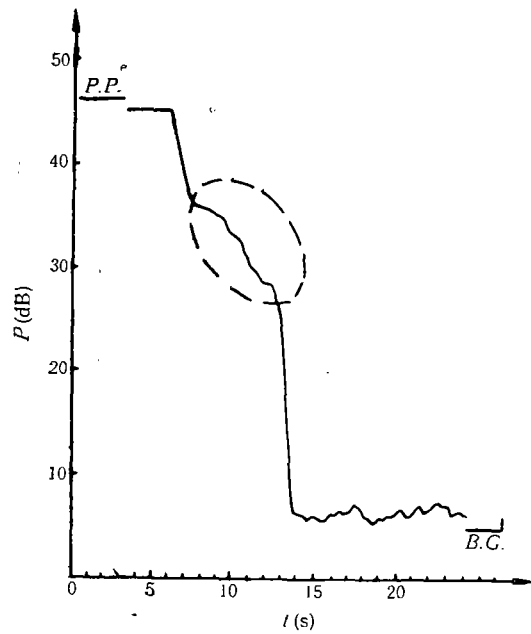


图 6 跟踪速度曲线

p. p.——初始声压； B. C.——本底噪声；  
记录纸速——3mm/s.

初始声压值找到最小声压值，在下游通过传声器将这一消声过程记录下来，见图 6。实测表明，微机系统能够有效地搜索，在 2~3s 内找到最佳消声点。图中虚框部分是因为微机字长有限，手动提高灵敏度时，手动调节干扰了微机的运行，一旦手动停止，微机很快就能找到最佳消声点。在初始声压附近，曲线的下降速度为 10

表 2 有源消声器对不同频带噪声的消声效果 单位: dB

中心频率 $f_0$ (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
单 频	11	15	25	25	30	33	40*	38*	36	30	17
1/3oct. noise	9	13	17	18	16	18	17	13	15	12	6
1oct. noise		10			9			6			4

\* 接收到的声波信号不失真时消声指数可以达到 50dB.

(下转第 9 页)

机器人相对于母船的位置。目前国际上用得较多的有四种,RS—7,RS/902和RS/904数字式水声位置参考系统(霍尼韦尔公司,海洋系统部),AMF301型测距测向水声定位器(AMF电气产品发展部);Wesmar SS201S声呐跟踪系统(韦斯马海洋系统部);AUTRANAV MAK-3(综合海洋技术公司)。中国科学院声学所东海研究站研制成了BR-01超短基线定位声呐,定位精度3%,作用距离300m。目前正在研制定位-引导-对接声呐。它不但可以对水下机器人定位,而且还可以把机器人引导到失事的船只,使机器人与失事船只的某些舱位对接,救出人员。

水下机器人又名有缆无人遥控潜水器,它有一根称作脐带的中性浮力电缆。在地形复杂的情形,电缆有时会被障碍物挂住,这往往是事故发生的重要原因。因此美、法、加等国竞相研制无缆水下机器人。工作已进行了不少时日,但至今没有一个实用的系统,这是有相当难度的高技术课题。如不用电缆传输信息,声波作为载体传送信息是唯一切实可行的方案。海洋信道是一个复杂的信道,且不说它的多径、色散和时变特性,它的有用带宽也远小于电缆。因

此除了研究在一定的体积、重量和电功率耗损的限制下如何提高声信道的波特率外,还要设法压缩各种信息。电视图象和声图象的信息必须大量压缩,传输到母船上后,要恢复到能使用的程度。各种指令也要大量压缩。随着现代技术的发展,这一难题的解决已呈现有望的前景。中国科学院声学所和沈阳自动化所等单位在联合研究这一课题。

由上面的简短介绍,我们可以看到声呐技术已成为水下机器人的愈来愈重要的组成部分。随着向海洋进军的深度和广度的增加,水下机器人愈加显示出它的重要性,愈加会得到迅速发展,声呐技术也会得到迅速发展。美国研制声呐的主要七家公司中已有五家把相当大的力量投入研制供水下机器人用的各种声呐设备。我国有着广阔的水域,其中蕴藏着丰富的资源,特别它是世界上有数的最有希望的海上油田之一,这些都会对水下机器人产生愈来愈大的需求。我国对水下机器人的研制、开发和生产给予了足够的重视,声呐技术的发展已放到了重要位置。中国声呐技术的迅速进展已引起了世界上一些水下机器人制造公司的重视,这会更加促进我们的工作。

---

(上接第39页)

dB/s左右,在最佳消声点附近,其下降速度约为20dB/s,这就是说,当外界条件有变化,引起消声指数的下降时,系统能以这个速度加以修正,使下游保持最佳的消声状态,我们把这个速度称之为跟踪速度。

微机程序中采用动态跟踪的方法,找到最佳消声点后,微机仍处于动态搜索之中,它能保证系统随时跟踪外界条件的变化,在下游把噪声消到本底,或比本底高1—3dB的水平,本系统的消声效果见表2。

## 五、结 语

自动控制技术引入有源消声,使消声自动化,是今后有源消声的发展趋势。微机作为控

制手段引入有源消声,避免了以往用微机进行频谱分析带来的响应过慢的问题,这种结构的有源消声系统,对微机性能要求不高,结构简单,有一定的实用参考价值。

作者在工作中得到了严志华、胡春年、林清波等老师在实验器材及方法方面的大力帮助,谨在此向他们表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Ross, C. F., *J. Sound and Vibration*, 80-3(1982), 373—380.
- [2] Ross, C. F., *J. Sound and Vibration*, 80-3(1982), 381—383.
- [3] La Fontaine, R. F. and I. C. Shephend, *J. Sound and Vibration*, 81-3(1983), 351—362.
- [4] 沙家正等, *应用声学*, 3—3(1984), 27.