

持有限值,即使当气流马赫数很小时,由气流引起的声功率级变化还是相当大。随着马赫数的增加,辐射声功率级可以增加达 5dB 以上。图 11 是根据反射系数的实验结果得出的辐射声功率随 ka 的变化。

五、结 论

排气系统尾管出口辐射的声功率,与管口的声阻抗密切相关。对于内燃机排气噪声,由于内部声阻很大,往往可视为恒速声源,此时管口辐射的声功率实际上与管口的声阻成正比。因此声阻抗的变化直接影响噪声的辐射。一般的排气尾管裸露,管口附近没有其他反射体,相当于管口无障板时的辐射。这与假设有障板时的辐射,即相当于一个刚性活塞镶在“无限大”固定障板情况完全不同。由本文提出的半经验

半理论公式计算可得出(式 7, 8, 3),无障板时管口声阻约降低一半。因此,管口的辐射条件应加以注意。

存在气流时,采用气流源与声源独立调节进行测量。这样的测量方法可以避免直接采用内燃机组引起的附加影响,能够使实验在控制的条件下进行,便于掌握实验规律。所做的实验表明,气流对声压反射系数幅值的影响并不很敏感,而相角的变化可以忽略不计。气流对辐射声功率的影响比较明显,特别在低频范围内,辐射声功率随 M 值增加是相当显著的。

参 考 文 献

- [1] 盛胜我,声学技术,5-1(1986),44.
- [2] 王佐民,声学技术,6-1(1987),1.
- [3] Levine H. and Schwinger J., *Physical Review*, **73** (1948), 383.
- [4] Zhao S. L. and Sheng S.W., *Proc. Inter- Noise* 86, July 21-23, 1986, Boston, USA.

面加权基阵孔径优化的计算机模拟

陈启敏 侯泽章

(陕西师范大学应用声学研究所)

1987 年 5 月 15 日收到

本文对加权医用相控阵超声换能器,在给定一理想的波束情况下,根据孔径分布函数与声压指向函数的富里叶变换关系,用计算机进行加权孔径的优化模拟,从而提供一个指向性较优的扫描基阵。

一、引 言

医用 B 超换能器的波束分布,直接影响着扫描系统的分辨力和图像清晰度。人们总是想尽各种办法,改善波束,以获得较好的图像。

声压的空间分布,是由发射器的辐射特性及其传播的空间特性决定的。阵列天线电磁辐射场理论指出,孔径分布函数与辐射场方向图函数,在数学上满足富里叶变换式^[1]。Rudnick

P. 把这一关系推广到声场中,并指出,基阵孔径分布函数与其声压指向函数也存在富里叶变换关系^[2]。我们曾对医用相控阵超声换能器,就辐射面加权、降低旁瓣、改善波束等,作了实验和分析^[3]。因此,若给定一个孔径分布,就有一个对应的声压分布,反过来也是这样。因此,根据扫描系统的需要,若给定一个理想的波束分布,就可以用计算机模拟出最优加权孔径,从而提供一个指向性较优的扫描基阵。

根据基阵理论^[4],一个多元线阵的指向函

数 $R(\varphi)$, 可以表示成如下形式

$$R(\varphi) = \sum_{m=0}^{N-1} Q(\rho) e^{-i \frac{\rho}{d} \varphi} \quad (1)$$

式中 $Q(\rho)$ 为相应的孔径分布函数, $\rho = md$,

$$\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

为相邻阵元相位差, d 为阵元间距, $m = 0, 1, \dots, N-1, N$ 为阵元数。

当阵元足够多时, 阵可以看作连续的。例如, 对一长为 $2L$ 的辐射源, 可写成积分形式, 即

$$R(\varphi) = \int_{-L}^L Q(\rho) e^{-i P \varphi} d\rho \quad (2)$$

(2) 式即为声压指向函数与其孔径分布函数的富里叶变换关系式。式中

$$P = \pi x / L, \rho = x / 2L (-L < x < L).$$

因此, 若给定一个所希望的指向函数 $R(\varphi)$, (2) 式的逆变换则是相应的加权孔径函数 $Q(\rho)$, 即:

$$Q(\rho) = \frac{1}{2\pi} \int_{-L}^L R(\varphi) e^{i P \varphi} d\varphi \quad (3)$$

同样, 对于离散阵, DFT (离散富里叶变换) 条件成立。若有 $2N$ 个阵元, 其间距为 d 的基阵, 其加权孔径用 $Q(nd)$ 表示, 指向函数用

$$R\left(\frac{m\lambda}{2Nd}\right)$$

表示, 则

$$R\left(\frac{m\lambda}{2Nd}\right) = 2 \sum_{n=0}^{N-1} Q(nd) e^{-j m n \varphi} \quad (4)$$

式中 λ 为波长。而面加权孔径分布函数 $Q(nd)$ 为

$$Q(nd) = \frac{1}{2N} \sum_{m=0}^{N-1} R\left(\frac{m\lambda}{2Nd}\right) e^{j m n \varphi} \quad (5)$$

公式 (2)、(3) 和 (4)、(5) 分别是连续阵和离散阵加权孔径函数与声压指向图函数的富里叶变换关系式。

二、加权孔径分布函数的运算

根据采样合成定理及 DFT 变换^[5], 一个孔径长度为 $2L$ 的基阵, 其指向函数 $R(\varphi)$, 可由

应用声学

一系列角间距为 $\lambda/2L$ 弧度上所取的值重建起来。反过来, 相应于指向函数 $R(\varphi)$ 的孔径分布函数, 可由所给的表达式或一系列相应的取样值的富里叶变换而得到。因此, 合成一个所期望的指向函数, 相当于寻找一个特定的孔径分布函数。

对 (5) 式进行变换。令

$$e^{j \varphi} = W, \frac{1}{2N} R\left(\frac{m\lambda}{2Nd}\right) = R(M)$$

则 (5) 式为:

$$Q(nd) = \sum_{m=0}^{N-1} R(M) W^{mn} \quad (6)$$

(6) 式表示出 N 个方程的计算, 写成紧凑形式为

$$Q(nd) = W^{nn} R(n) \quad (7)$$

要完成这一矩阵运算, 显然要作 $N \times N$ 次乘法和 $N(N-1)$ 次加法, 这要作大量运算。采用 FFT 运算, 就可大大减少运算次数。由采样合成定理, 对指向函数 $R(m\lambda/2Nd)$ 以角弧度 $\lambda/2Nd$ 为间隔采样, 即可由 (6) 式求出相应的加权孔径 $Q(nd)$ 。

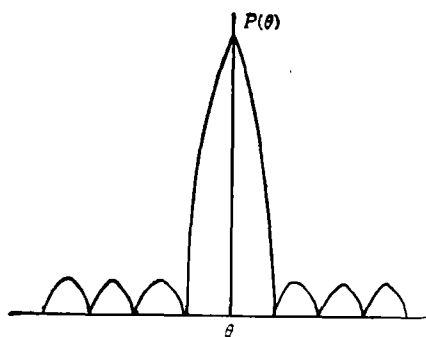
三、最佳加权孔径的计算机模拟

寻找最佳加权孔径的问题, 实际上是寻找最佳指向函数所对应的特定的加权孔径。所谓最佳也是相对的, 这里指的是基元数确定, 基元间隔一定情况下, 为得到一个指向函数较优的声场分布, 而所需的加权孔径。

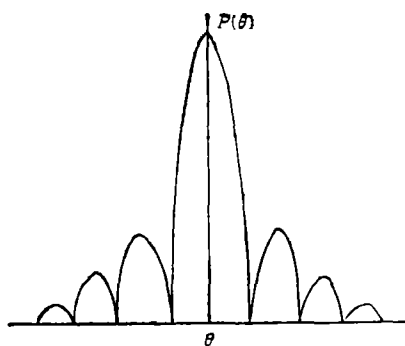
对于一个固定的辐射器, 向空间辐射的总能量是个常数。因此, 主瓣窄, 副瓣就高, 主瓣宽, 副瓣就低。加权孔径的选择, 就是要在波束角一定情况下, 使副瓣最低, 或在副瓣级一定情况下, 使波束角最小^[6]。

声压的空间分布, 可实现两种分布形式。一种是等副瓣级分布, 如图 1a 所示, 一种是差副瓣级分布, 如图 1b 所示。

显然, 分布 a 在整个扫描角域中, 都有相等的噪声电平, 但副瓣级较低。分布 b 的噪声分布随角度增大而迅速衰减, 但副瓣级较高。还



a 等副瓣级分布



b 差副瓣级分布

图1 远场声压空间分布基本形式。 θ 为偏离中心轴的角度

有一种分布,就是在主瓣附近,副瓣很低,可以把较大的副瓣置于扫描角阈之外。

模拟一个最优声场分布图,要根据扫描系统分辨力及系统信噪比的要求,同时也要根据加权阵列指向函数能量分布特征的要求,综合考虑来确定。

由于声压指向函数的对称性,我们只考虑 $0-\pi$ 区间。对于我们所研制的医用相控阵超声换能器,其指向图在 $\pm 8^\circ$ 以外副瓣很小,可以略去不计。当阵元数为 $2N = 32$ 时,采样 16° 次,采样间隔取为 0.5° ,对应于 0.0369 弧度。

1. 数学模型

根据(6)式,

$$Q(nd) = \sum_{m=0}^{N-1} R(M)W^{mn}$$

式中 $N = 16, n = 0, 1, \dots, 15,$

$$W^{mn} = \cos(mn\varphi) + j \sin(mn\varphi)$$

上式为

$$Q(nd) = \sum_{m=0}^{N-1} R(M) \cos(mn\varphi) + j \sum_{m=0}^{N-1} R(M) \sin(mn\varphi)$$

可写作

$$Q(nd) = \text{Re}[Q(N)] + j\text{Im}[Q(N)] \quad (8)$$

2. 计算流程图及程序(略)

3. 采样及模拟

根据扫描系统的要求,给定一所需的波束图,以 $\theta = 0.5^\circ$ 为角间距对波束图采样,取得一系列相应的 $R(M)$ 值,送入程序运算,即得一组加权孔径模拟值。

我们对两种情况进行了取样与模拟。第一种情况是,方向角一定,副瓣变化。第二种情况是副瓣一定,方向角变化。图2和图3分别表示两种情况下取样波束图和模拟加权孔径图。取样值和模拟值,分别标注在取样波束图和模拟孔径图上方相应位置上。

由加权孔径模拟结果可看出,随着副瓣的变化,加权孔径变化。随着方向角的变化,加权孔径也在变化。而且可以看出,加权孔径随方向角的变化,比随副瓣变化来得更快些。

四、小 结

1. 若给定一个所期望的波束分布图,根据加权孔径分布与声压分布的富里叶变换关系,采用FFT运算,用计算机可以模拟出相应的加权孔径,从而提供一个指向性较优的扫描基阵。

2. 所期望的波束分布图,是要根据实际扫描系统分辨力及扫描角域信噪比的要求来选取。在此基础上,才能用计算机进行加权孔径的优化模拟。

3. 我们希望副瓣级及波束角越小越好,但不能无限小,否则,或者变为无副瓣、无指向性的球面声源,而无分辨力可言,或者变为无副瓣的单脉冲,仅有数学意义,但与辐射波动相干过程波束指向能量分布规律相违背,而无物理意义。

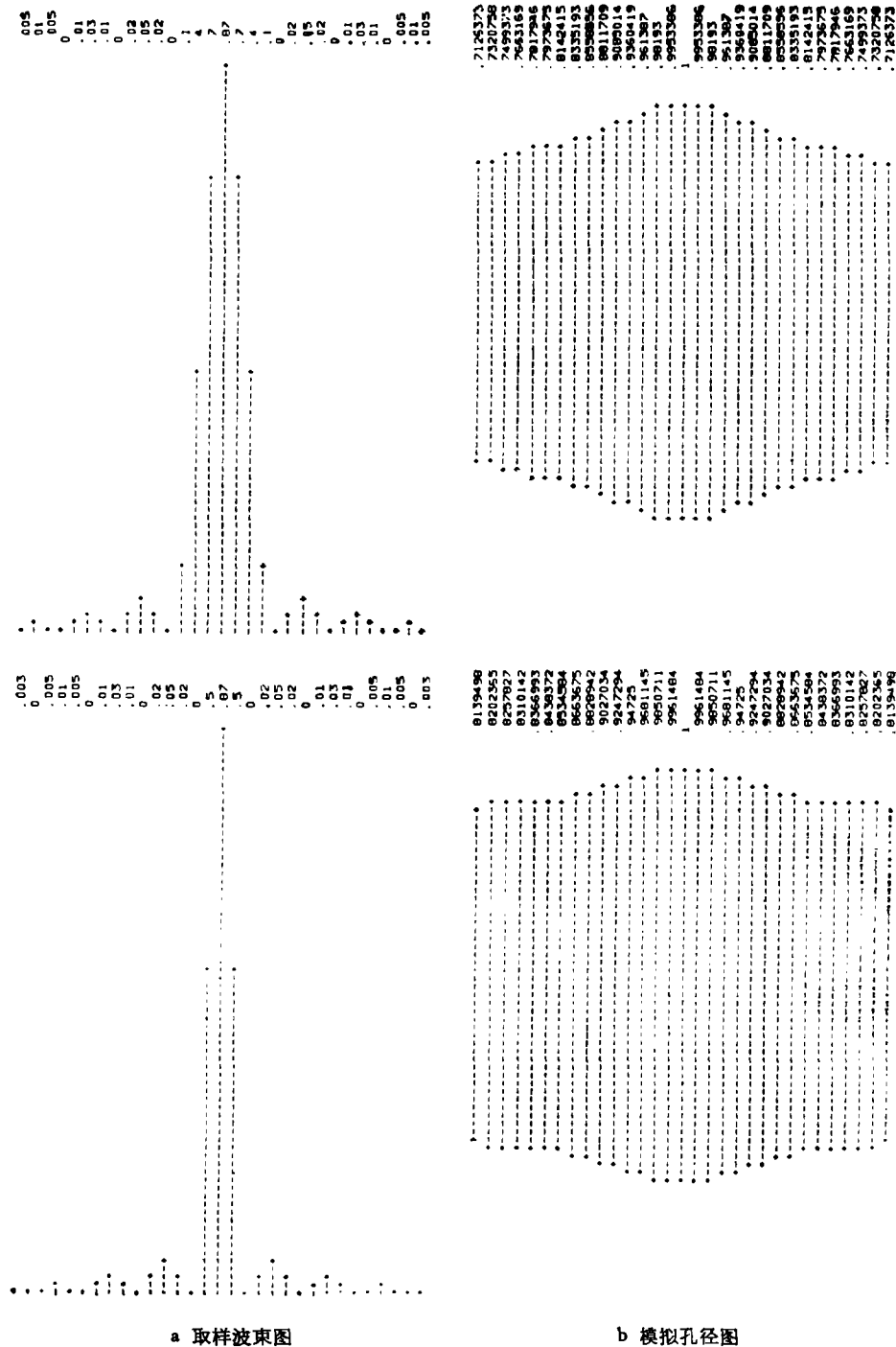


图 2 副瓣一定,方向角变化时的取样波束图和模拟孔径图。

参 考 文 献

- [1] 翟孟云等,阵列天线理论导引,国防工业出版社,1980,1—17.
[2] Rudnick P, *J. Acoust. Soc. Am.*, **46** (1969), 1089—1090.
[3] 陈启敏等,中国生物医学工程学报, **3-1**(1984),1—6.
[4] 汪德昭、尚尔昌,水声学,科学出版社,1981,660—664.
[5] 布赖姆 E. O.,快速富里叶变换,上海科学技术出版社,柳群译,1979,147—155.
[6] 周福洪,水声换能器及基阵,国防工业出版社,1984,248—251.

超声粉碎人工降雨冷云催化剂介乙醛

李 全 禄

(陕西师大应用声学研究所)

1987年6月26日收到

本文叙述了超声粉碎人工降雨冷云催化剂介乙醛 $[\text{CH}_3\text{CHO}]_{\text{L}}$ 的意义、方法、实验情况及其结果分析。超声粉碎的介乙醛,与机械研磨、高速气流粉碎和发射烟弹等方法破碎的介乙醛比较,其降雨效果(指成冰核率)提高了两个数量级。这为提高冷云催化剂的效果提供了一个新的途径。

一、概 述

一些发达国家如美国、法国、英国等国,人工降雨(及防冰雹)发展很快,技术水平和措施也较先进。在我国,特别是北方草原牧区、荒漠地带及林区等干旱地区,增加降雨量对改善其生态环境及发展国民经济具有重要意义。近年来,在气象、农业、林业、畜牧业等部门的共同努力下,我国的人工降雨事业有了较快发展。目前人工降雨基本上采用两种途径:地面引水浇灌(在无水源和地下水难以开发的地区不能实施,而且耗资很大);第二种(也是主要的)是选择适宜的天气条件,在云层中播撒冷云催化剂进行人工降雨(也有用于防冰雹和森林灭火的)。据文献[1—2]等报道,目前国外常用一种新型冷云催化剂介乙醛 $[\text{CH}_3\text{CHO}]_{\text{L}}$ [3]以代替原来的干冰(CO_2)、碘化银(AgI)和尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 。自然结晶的介乙醛与被粉碎后的介乙醛粉末的降雨效果存在着很大差别。已经试用过的破碎介乙醛的方法有:机械研磨、高速气流粉碎[4]和发射烟弹破碎[5],这些方法破

碎的晶粒大都在 $10\mu\text{m}$ 以上,而且不均匀。为了提高降雨成冰核率(与冷云催化剂的粒子个数即细度成正比关系),节省原料,我们采用超声粉碎,粉碎后的介乙醛晶粒大都在 $4\mu\text{m}$ 以下,而且均匀,其成冰核率比前几种方法提高了两个数量级,这一效果受到了有关部门的重视。

二、实 验 原 理

超声粉碎的原理是利用超声波在介质中传播时所引起的空化效应及机械作用而实现的。

1. 我们知道,超声波在液体介质中传播时,由于产生疏密区,负压力可在介质中产生很多空腔,这些空腔随振动的高频压力变化而膨胀、爆炸,真空腔爆炸时产生的瞬时脉冲流,其压力可达几千个大气压,如此大的冲击力,在真空腔爆炸时产生,能把周围的介乙醛颗粒震碎。

2. 超声波在液体介质中传播时,产生了剧烈地扰动作用,使介乙醛颗粒产生很大的速度,颗粒在相互碰撞或与器壁碰撞中击碎。