

慢波导环形换能器指向性的计算机计算程序

陈培田

(国家海洋局海洋技术研究所)

1985年11月21日收到

本文利用有限元式 Helmholtz 积分方程法完成了慢波导环形换能器指向性的数学计算程序。文中给出了程序中所用的各种数学表达式, 计算程序方框图以及计算题例。计算题例中计算机计算结果与实际测量结果基本上是一致的。

一、前言

慢波导环形换能器是由声学慢波导与自由淹没式环振子组合而成的一种水声换能器(图1)。这种换能器指向性形成的机理, 作者已在文章^[1]中作了介绍。该换能器的指向性不能直接利用 Helmholtz 积分法进行解析求解, 但可利用有限元法进行数值求解^[2]。解法是: 将慢波导环形换能器等效为一个圆柱形声源 FECD(图2), 其中圆柱 ABCD 对应于环振子的内腔圆柱; 圆柱 ABEF 对应于声学慢波导。对等效声源 FECD 进行有限元式分割: 端面 FE、AB 和 DC 分别被分割成 M 个等间隔的圆环形有限面元; 柱面 BC 和 BE 分别被分割成 N_1 个和 N_2 个等高度的圆柱面形有限面元。于是, 等效声源总共被分割出 $(3M + N_1 + N_2)$ 个有限面元。

相对于外部介质的表面 Helmholtz 积分方程为^[2]:

$$2\pi P(\xi_\alpha) - \sum_{\beta=1}^{N_s} P(\xi_\beta) \int_{s_\beta} \frac{\partial}{\partial n_\xi} \times \left\{ \frac{\exp[-jk_0 d(\xi_\alpha, \xi)]}{d(\xi_\alpha, \xi)} \right\} ds(\xi) \approx j\omega\rho_0 \sum_{\beta=1}^{N_s} v(\xi_\beta)$$

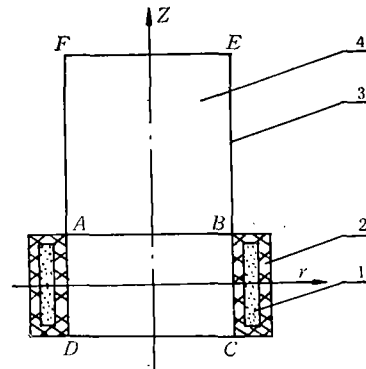


图1 换能器结构示意图
(1) 压电陶瓷环 (2) 聚氨酯包敷层 (3) 慢波导体 (4) 甲基硅油(慢波导介质)。

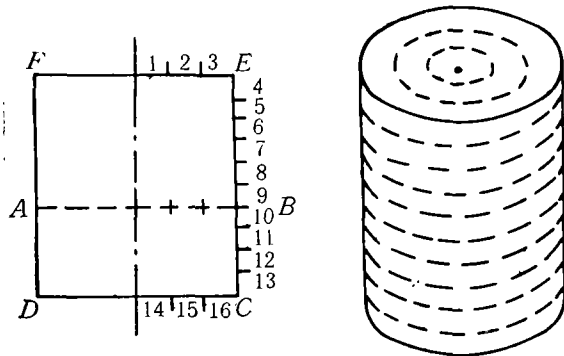


图2 等效声源的有限元式分割

$$\times \int_{s_\beta} \frac{\exp[-jk_0 d(\xi_\alpha, \xi)]}{d(\xi_\alpha, \xi)} ds(\xi), \quad \alpha = 1(1)N_s \quad (1)$$

其中, ρ_0 , k_0 分别为外部声场中介质的密度和

波数; ω 为角频率; $P(\xi_\beta)$ 和 $v(\xi_\beta)$ 分别为第 β 个有限面元上点 ξ_β 处的声压和该点沿外法线方向的振速, 并且用 $P(\xi_\beta)$ 和 $v(\xi_\beta)$ 近似该面元上的平均声压和平均垂直振速; N_s 为有限面元的总数; s_β 表示第 β 个面元.

将式(1)作用于圆柱 $FECD$, 可得到含有 $(2M + N_1 + N_2)$ 个线性方程的方程组.

相对于内部介质的表面 Helmholtz 积分方程为^[2]

$$\begin{aligned} & 2\pi P(\xi_\alpha) + \sum_{\beta=1}^{N_s} P(\xi_\beta) \int_{s_\beta} \frac{\partial}{\partial n_\xi} \\ & \times \frac{\exp[-jk_i d(\xi_\alpha, \xi)]}{d(\xi_\alpha, \xi)} ds(\xi) \\ & \simeq -j\omega\rho_i \sum_{\beta=1}^{N_s} v(\xi_\beta) \\ & \times \int_{s_\beta} \frac{\exp[-jk_i d(\xi_\alpha, \xi)]}{d(\xi_\alpha, \xi)} ds(\xi), \\ & \alpha = 1(1)N_s. \end{aligned} \quad (2)$$

其中, ρ_i 和 k_i 分别为声源表面内部声场介质的密度和波数.

将式(2)分别作用于圆柱 $ABCD$ 和圆柱 $ABEF$, 于是又得到分别含有 $(2M + N_1)$ 个和 $(2M + N_2)$ 个线性方程的两个方程组.

将以上得到的三个方程组联立起来就得到含有 $(6M + 2N_1 + 2N_2)$ 个线性方程的联立方程组. 求解该联立方程组即可求得等效声源 $FECD$ 所有有限面元上的声压和垂直振速(平均值). 最后利用有限面元式外部 Helmholtz 积分:

$$P(Q) \simeq \sum_{\beta=1}^{N_s} \frac{1}{4\pi} \left\{ P(\xi_\beta) \int_{s_\beta} \frac{\partial}{\partial n_\xi} \right.$$

$$(1) \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= \begin{cases} 1, & \alpha = \beta \\ 0, & \alpha \neq \beta \end{cases} \begin{cases} m, & n = 1(1)IMAX \\ \alpha = m \\ \beta = n. \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (5a)$$

$$(2) \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= -M_{mn}^{ii}, \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0\rho_0 C_0 G_{mn}^{ii} \end{aligned} \right\} \begin{cases} m = 1(1)IMAX, \\ n = 1(1)JMAX, \\ \alpha = m, \\ \beta = IMAX + n. \end{cases} \quad (5b)$$

$$\begin{aligned} & \times \left\{ \frac{\exp[-jk_0 d(Q, \xi)]}{d(Q, \xi)} \right\} ds(\xi) \\ & + j\omega\rho_0 v(\xi_\beta) \int_{s_\beta} \frac{\exp[-jk_0 d(Q, \xi)]}{d(Q, \xi)} \\ & \times ds(\xi) \end{aligned} \quad (3)$$

其中 Q 为声场远场中的一点, 即可求得慢波导环形换能器的辐射声场, 并且进而可求得辐射声场的指向性.

二、关于直圆柱声源的有限面元式 Helmholtz 积分方程

Rogers 曾利用有限面元式表面 Helmholtz 积分方程计算了直圆柱声源的指向性^[3], 在本文的程序设计中, 我们将采用类似的方法.

假设直圆柱声源的上、下端面分别被分割成 $(IMAX)$ 个有限面元, 圆柱面被分割成 $(JMAX)$ 个有限面元, 那么整个圆柱共被分割成 $(LCMAX) = 2(IMAX) + (JMAX)$ 个有限面元, 并且按图 2 所示定义各面元的序号.

我们先讨论相对于外部介质的表面 Helmholtz 积分方程[式(1)].

首先我们可以把式(1)写成下面的形式^[3]:

$$\begin{aligned} & \sum_{\beta=1}^{LCMAX} DM(\alpha, \beta) P(\beta) \\ & = \sum_{\beta=1}^{LCMAX} GM(\alpha, \beta) v(\beta), \\ & \alpha = 1(1)LCMAX. \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $P(\beta) = D(\xi_\beta)$, $v(\beta) = v(\xi_\beta)$, $DM(\alpha, \beta)$ 和 $GM(\alpha, \beta)$ 为系数矩阵. 根据文献[3]中的有关关系式, 我们不难导出系数矩阵 DM 、 GM 中各元素的值为:

$$1.\alpha = 1(1)IMAX$$

$$(3) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= -M_{mn}^{ib}, \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{ib} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m, n &= 1(1)IMAX, \\ \alpha &= m, \\ \beta &= IMAX + JMEX + n \end{aligned} \quad (5c)$$

2. $\alpha = (IMAX + 1)(1)(IMAX + JMEX)$

$$(1) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= -M_{mn}^{is}, \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{is} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m &= 1(1)JMEX, \\ n &= 1(1)IMAX, \\ \alpha &= IMAX + m, \\ \beta &= n. \end{aligned} \quad (5d)$$

$$(2) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= \begin{cases} 1 - M_{mn}^{is}, & \beta = \alpha \\ -M_{mn}^{is}, & \beta \neq \alpha \end{cases} \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{is}, \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m, n &= 1(1)JMEX, \\ \alpha &= IMAX + m, \\ \beta &= IMAX + n. \end{aligned} \quad (5e)$$

$$(3) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= -M_{mn}^{ib}, \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{ib} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m &= 1(1)JMEX, \\ n &= 1(1)IMAX, \\ \alpha &= IMAX + m, \\ \beta &= IMAX + JMEX + n. \end{aligned} \quad (5f)$$

3. $\alpha = (IMAX + JMEX + 1)(1)LCMAX$

$$(1) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= -M_{mn}^{bs}, \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{bs} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m, n &= 1(1)IMAX, \\ \alpha &= IMAX + JMEX + m, \\ \beta &= n. \end{aligned} \quad (5g)$$

$$(2) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= -M_{mn}^{bs}, \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{bs} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m &= 1(1)IMAX, \\ n &= 1(1)JMEX, \\ \alpha &= IMAX + JMEX + m, \\ \beta &= IMAX + n. \end{aligned} \quad (5h)$$

$$(3) \quad \left. \begin{aligned} DM(\alpha, \beta) &= \begin{cases} 1, & \beta = \alpha \\ 0, & \beta \neq \alpha \end{cases} \\ GM(\alpha, \beta) &= jk_0 \rho_0 C_0 G_{mn}^{bb} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m, n &= 1(1)IMAX, \\ \alpha &= IMAX + JMEX + m, \\ \beta &= IMAX + JMEX + n. \end{aligned} \quad (5i)$$

以上各式中, $j = \sqrt{-1}$, C_0 为声场介质中声速。

式(5)中矩阵元素 M_{mn} , G_{mn} 分别给出如下^[3]:

$$1. M_{mn}^{ss} = -a \int_0^\infty J_0(la) J_1(la) \mu^{-2} l^2 \{ \exp[-\mu(z_m - z_n - D_s/2)] - \exp[-\mu(z_m - z_n + D_s/2)] \} dl$$

$m, n = 1(1)JMEX$, 且 $m < n$.

$$M_{mn}^{ss} = -a \int_0^\infty J_0(la) J_1(la) \mu^{-2} l^2 \{ \exp[-\mu(z_n - z_m - D_s/2)] - \exp[-\mu(z_n - z_m + D_s/2)] \} dl$$

$m, n = 1(1)JMEX$, 且 $m > n$. (6a)

$$2. M_{mn}^{ss} = 2a \int_0^\infty J_0(la) J_1(la) l^2 \mu^{-2} [\exp(-\mu D_s/2) - 1] dl$$

$m, n = 1(1)JMEX$ (6b)

$$3. M_{mn}^{ss} = -a \int_0^\infty J_0(lr_m) J_1(la) l^2 \mu^{-2} \{ \exp[-\mu(h - z_n - D_s/2)] - \exp[-\mu(h - z_n + D_s/2)] \} dl$$

$m = 1(1)IMAX, n = 1(1)JMEX$ (6c)

$$4. M_{mn}^{ib} = \int_0^\infty J_0(lr_m) e^{-2\mu h} [r_n^L J_1(lr_n^L) - r_n^u J_1(lr_n^u)] dl$$

$m, n = 1(1)IMAX, r_n^L = r_n - D_i/2, r_n^u = r_n + D_i/2$. (6d)

$$5. M_{mn}^{is} = - \int_0^{\infty} J_0(la) e^{-\mu(h-z_m)} [r_n^u J_1(lr_n^u) - r_n^L J_1(lr_n^L)] dl$$

$$m = 1(1)JM AX, n = 1(1)IM AX.$$

(6e)

$$6. G_{mn}^{ss} = a \int_0^{\infty} [J_0(la)]^2 l \mu^{-2} \{ \exp[-\mu(z_m - z_n - D_s/2)] - \exp[-\mu(z_m - z_n + D_s/2)] \} dl$$

$$m, n = 1(1)JM AX, \text{ 且 } m < n.$$

$$G_{mn}^{ss} = a \int_0^{\infty} [J_0(la)]^2 l \mu^{-2} \{ \exp[-\mu(z_n - z_m - D_s/2)] - \exp[-\mu(z_n - z_m + D_s/2)] \} dl$$

$$m, n = 1(1)JM AX, \text{ 且 } m > n. \quad (7a)$$

$$7. G_{mn}^{ss} = -2a \int_0^{\infty} [J_0(la)]^2 l \mu^{-2} [\exp \times (-\mu D_s/2) - 1] dl$$

$$m = n = 1(1)IM AX \quad (7b)$$

$$8. G_{mn}^{is} = a \int_0^{\infty} J_0(lr_m) J_0(la) l \mu^{-2} \{ \exp \times [-\mu(h - z_n - D_s/2)] - \exp[-\mu(h - z_n + D_s/2)] \} dl$$

$$m = 1(1)IM AX, n = 1(1)JM AX \quad (7c)$$

$$9. G_{mn}^{is} = \int_0^{\infty} J_0(lr_m) \mu^{-1} [r_n^u J_1(lr_n^u) - r_n^L J_1(lr_n^L)] dl$$

$$m, n = 1(1)IM AX \quad (7d)$$

$$10. G_{mn}^{ib} = \int_0^{\infty} J_0(lr_m) \mu^{-1} e^{-2\mu h} [r_n^u J_1(lr_n^u) - r_n^L J_1(lr_n^L)] dl$$

$$m, n = 1(1)IM AX \quad (7e)$$

$$11. G_{mn}^{is} = \int_0^{\infty} J_0(la) \mu^{-1} \exp[-\mu(h - z_m)] [r_n^u J_1(lr_n^u) - r_n^L J_1(lr_n^L)] dl$$

$$m = 1(1)JM AX, n = 1(1)IM AX \quad (7f)$$

在式(6)式(7)中, a 为圆柱的半径; h 为圆柱高度的一半; $D_s = a/(IM AX)$, 即端面上有限面元的宽度; $D_s = 2h/(JM AX)$, 即柱面上有限面元的高度; $\mu = (l^2 - k_0^2)^{1/2}$; $z_n = h - (n - 0.5)D_s$, $n = 1(1)JM AX$.

对于相对于内部介质的表面 Helmholtz 积

分方程(2), 不难看出其形式与式(1)是类似的, 所不同的只是某些项前面的符号, 以及式中声学参量的取值. 因此, 对于式(2), 只要我们通过与式(1)相类似的处理方法, 也就可以得到与式(4)相类似的线性方程组.

三、慢波导环形换能器辐射声场的指向性

1. 声源表面各有限面元上声压和垂直振速的计算

由于我们在前面已经给出了式(1)和式(2)所对应的线性方程组的具体形式, 那么我们就得到了对应于整个慢波导环形换能器等效声源的联立线性方程组. 由于该联立方程组中所含未知数(声压和垂直振速)的个数与方程的个数恰好相等^[2], 因此通过求解该联立方程组即可求得等效声源各个有限面元上的声压和垂直振速值.

2. 辐射声场指向性的计算

我们将式(3)写成下面的形式^[4]:

$$P(Q) \simeq \sum_{\beta=1}^{N_s} P(\beta) J_{\beta}(Q) + \sum_{\beta=1}^{N_s} v(\beta) I_{\beta}(Q) \quad (8)$$

$$\text{其中 } J_{\beta}(Q) = \frac{1}{4\pi} \int_{s_{\beta}} \frac{\partial}{\partial n_{\xi}} \times \left\{ \frac{\exp[-jk_0 d(Q, \xi)]}{d(Q, \xi)} \right\} ds(\xi) \quad (9)$$

$$I_{\beta}(Q) = j\omega\rho_0 \frac{1}{4\pi} \times \int_{s_{\beta}} \frac{\exp[-jk_0 d(Q, \xi)]}{d(Q, \xi)} ds(\xi) \quad (10)$$

式(8)中, $P(\beta)$ 和 $v(\beta)$ 已由前面求出, 只要我们再求出 $J_{\beta}(Q)$ 和 $I_{\beta}(Q)$, 就可以求得换能器的辐射声场 $P(Q)$. 为此按图 3 建立坐标系.

设等效直圆柱声源的高为 H_0 , 半径为 a ; 上、下端面分别被分割成 $(IM AX)$ 个圆环形有限面元, 圆柱面被分割成 $(JM AX)$ 个等高度的

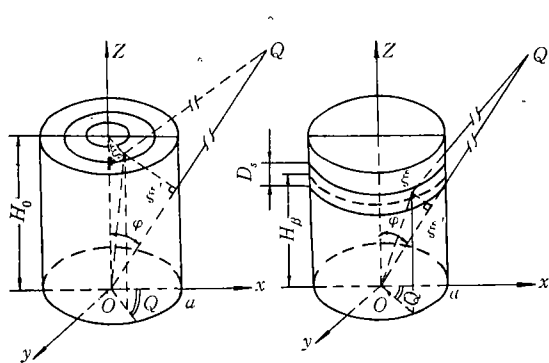


图3 等效直圆柱声源

圆柱面形有限面元；柱面上第 β 个有限面元中心截面的 z 坐标为 H_β 。

假设点 Q 为远场中的一点， Q 点到坐标原点的距离为 R_0 ， OQ 与 Oz 轴间的夹角为 φ ， $\xi(r, \theta, z)$ 为用柱坐标表示的等效圆柱声源有限面元上的一点，于是可得到：

$$d(Q, \xi) = R_0 - r \cos \theta \sin \varphi - z \cos \varphi \quad (11)$$

(1) 对于上端面上的有限面元

设 r_β^L 和 r_β^R 分别为上端面上第 β 个圆环有限面元的内、外半径。将式(11)代入式(9)和式(10)，经推导(推导过程略)可得：

$$J_\beta(Q) = \frac{1}{2R_0^2 k_0} (1 + jk_0 R_0) \text{ctg} \varphi [r_\beta^L J_1(k_0 r_\beta^L \sin \varphi) - r_\beta^R J_1(k_0 r_\beta^R \sin \varphi)] \exp[-jk_0(R_0 - H_0 \cos \varphi)] \quad (12a)$$

$$I_\beta(Q) = \frac{1}{2R_0 \sin \varphi} j\rho_0 C_0 [r_\beta^L J_1(k_0 r_\beta^L \sin \varphi) - r_\beta^R J_1(k_0 r_\beta^R \sin \varphi)] \exp[-jk_0(R_0 - H_0 \cos \varphi)] \quad (12b)$$

(2) 对于圆柱面上的有限面元

考虑圆柱面上的有限面元，经推导(推导过程略)可得到：

$$J_{(IMAX+\beta)}(Q) = \frac{1}{k_0^2 R_0^2} (-k_0 R_0 + j) \text{tg} \varphi \sin \times \left(\frac{1}{2} k_0 D_s \cos \varphi \right) J_1(k_0 a \sin \varphi) \exp \times [-jk_0(R_0 - H_\beta \cos \varphi)] \quad (13a)$$

$$I_{(IMAX+\beta)}(Q) = \frac{1}{R_0 \cos \varphi} j\rho_0 C_0 a J_0(k_0 a \sin \varphi)$$

$$\times \sin \left(\frac{1}{2} k_0 D_s \cos \varphi \right) \exp[-jk_0(R_0 - H_\beta \cos \varphi)] \quad (13b)$$

其中 $\beta = 1(1)IMAX$ 。

(3) 对下端面上的有限面元

由于下端面处于坐标系 xoy 平面内，并且下端面的法线正方向与上端面的法线正方向相反，所以根据式(12)可以直接得到：

$$J_{(IMAX+JMAY+\beta)}(Q) = -[\text{式}(12a)]_{H_0=0} = \frac{1}{2R_0^2 k_0} (1 + jk_0 R_0) \text{ctg} \varphi [r_\beta^L J_1(k_0 r_\beta^L \sin \varphi) - r_\beta^R J_1(k_0 r_\beta^R \sin \varphi)] \exp(-jk_0 R_0) \quad (14a)$$

$$I_{(IMAX+JMAY+\beta)}(Q) = [\text{式}(12b)]_{H_0=0} = \frac{1}{2R_0 \sin \varphi} j\rho_0 C_0 [r_\beta^L J_1(k_0 r_\beta^L \sin \varphi) - r_\beta^R J_1(k_0 r_\beta^R \sin \varphi)] \exp(-jk_0 R_0) \quad (14b)$$

其中 $\beta = 1(1)IMAX$

将式(11)–(14)代入式(8)，即求得慢波导环形换能器辐射声场 $P(Q)$ 。求 $P(Q)$ 的归一化值即求得声场的指向性：

$$D(\varphi) = |P(Q)| / |P_{MAX}(Q)| \quad (15)$$

四、计算机程序的结构

我们采用 FORTRAN 计算语言设计了慢波导环形换能器指向性的计算机计算程序。该程序的结构如图4所示。

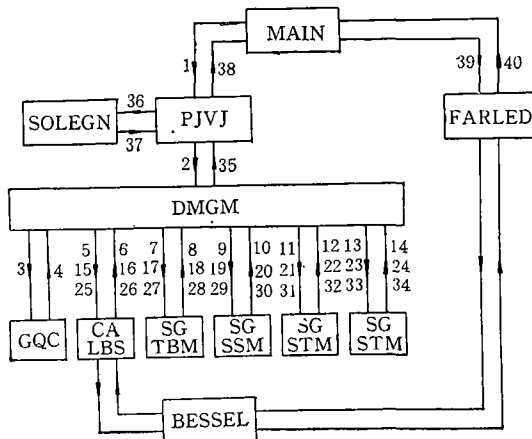


图4 计算机程序结构框图

程序框图中各部分的功能分别为 MAIN——主程序; PJVJ——计算各个有限元上的声压和垂直振速; SOLEGN——解线性方程组; GQC——计算高斯求积法中所需要的高斯点和系数; CALBS——计算各种 Bessel 函数的值; SGTBM, SGSSM, SGSTM, SGTSM——计算式(6)和式(7)所表示的矩阵元素 M_{mn} , G_{mn} 的值; BESSEL——计算零阶和一阶 Bessel 函数的子程序; FARLED——计算慢波导环形换能器的指向性。图中的数字表示程序执行过程中的顺序, 箭头表示程序执行的走向。由图示可以看出, 程序 CALBS, SGTBM, SGSSM, SGSTM 和 SGTSM 被程序块 DMGM 先后调用了三次。

五、计算例

我们使用本文设计的程序对图 1 所示换能

(上接封三)

带通、低通、高通、带阻或切比雪夫、巴特沃斯、椭圆滤波器之间进行选择。使用非常方便。(声学所已从国外引进这个软件)。

这次会议虽然只开了 4 天, 但内容非常丰富。我国学者在声学语言、信号处理领域中的工作已受到国外同行的重视, 作者曾与 ASSP 协会上届主席 Dr. Crochierc 和本届主席 Dr. Crystal 会面, 他们对越来越多的中国学者来参加这样的会议表示很高兴, 同时对中国学者的工作给予高度评价。

明年的 ICASSP 预定 4 月 11 日—14 日在美国纽约举行。会议的征文工作已经开始。应征作者可以就

器的指向性进行了计算。换能器的结构, 计算结果和实测结果见文献[1]。计算工作是在 14.5kHz (环振子水中谐振频率) 上进行的^[2], 在进行指向性计算时, 选取计算点的间隔为 2°。计算使用了 UNIVAC 1100/10 计算机。对于所计算的题例, 本程序的计算结果与实测结果基本上是一致的, 虽然两者之间的差距还是存在的。对此, 文献[2]已作了分析和讨论, 这里不再重复。

工作中曾得到罗继业同志的协助, 郑国芝同志帮助描图, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈培田, 应用声学, 6-1(1987), 31—34.
- [2] 陈培田, 声学学报, 12-3 (1987).
- [3] ROGERS, H., NRL Report 7240, 1972.
- [4] SCHENCK, A., J. Acous. Soc. Am., 44-1 (1968), 46.

本文中所列的七个专题在 9 月 1 日之前寄送 4 份约 400 字(指英文)的摘要与论文说明(格式见 1986 年 7 月份的 ASSP 杂志)至

Dr. John G. Ackenhusen
ICASSP-88 Technical Program Chairman
AT&T Bell Laboratories
Room 2A-128
600 Mountain Avenue
Murray Hill, NJ 07974
USA.

(李启虎)

国家标准化主管部门批准发布 8 项声学国家标准

国家计划委员会和国家标准局批准发布了 7 项新的和 1 项修订的声学国家标准。这些标准的编号、名称和发布实施日期如下:

国家计划委员会批准发布的

GBJ 87-85 工业企业噪声控制设计规范 85-12-31 批准, 86-06-11 实行;

GBJ 88-85 驻波管法吸声系数和声阻抗率测量规范 85-12-31 批准, 86-06-11 实行。

国家标准局批准发布的

GB 3102.7-86 声学的量和单位 86-05-19 发布, 87-03-01 实施;

GB 6881-86 声学——噪声源声功率级测定——混响室精密法和工程法 86-09-13 批准, 87-07-01 实

施;

GB 6882-86 声学——噪声源声功率级测定——消声室和半消声室精密法 86-09-13 批准, 87-07-01 实施;

GB 7582-87 声学——耳科正常人的气导听阈与年龄和性别的关系 87-03-27 批准, 87-11-01 实施;

GB 7583-87 声学——纯音气导听阈测定——听力保护用 87-03-27 批准, 87-11-01 实施;

GB 7584-87 声学——护听器声衰减的测量——主观法 87-03-27 批准, 87-11-01 实施。

这些声学国家标准将由中国标准出版社等处出版, 各地计量标准书店发行经销。

(全国声标委秘书处)