相控阵高强度聚焦超声高阵元驱动效率

相位独立控制方法*

徐 丰 陆明珠 万明习

(西安交通大学生物医学信息工程教育部重点实验室 西安 710049)
 2009 年 5 月 5 日收到
 2009 年 9 月 25 日定稿

摘要 针对如何简化上百阵元高强度聚焦超声相控阵控制模块的问题,本文提出高阵元驱动效率的相位独立控制方法。利用 该方法计算了一种 256 阵元中心开孔球面相控阵的聚焦声场,并与传统的幅度相位综合控制方法进行了分析和比较。计算和 实验结果表明该方法在简化相控阵驱动控制模块、提高阵元驱动效率的同时,可以有效实现相控阵的空间三维单焦点聚焦。 由于阵元驱动控制的简化而引起的焦域能量偏差,可以通过适当调整相控阵输入总声功率进行有效的补偿。 PACS 数: 43.20, 43.35

Phase-control method for a high intensity focused ultrasound phased array with high excitation efficiency

XU Feng LU Mingzhu WAN Mingxi

(The Key Laboratory of Biomedical Information Engineering, Ministry of Education, Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049) Received May 5, 2009

Revised Sept. 25, 2009

Abstract In order to simplify the driving control module for the high intensity focused ultrasound phased array with hundreds of elements, a phase-control method with high excitation efficiency is proposed. With the help of this method, focused acoustic fields of a 256-element annular spherical-section phased array are calculated and compared with the corresponding fields obtained by using the traditional control method of imposing both amplitude and phase signals. It is shown through simulation and experiments that the therapeutic focusing fields with spatial single-focus can be synthesized validly, under the conditions of simplified driving control module and increased array excitation efficiency. The focal energy aberration, which is brought with this simplification method, can be compensated validly by adjusting the overall input acoustic power.

引言

高强度聚焦超声 (High Intensity Focused Ultrasound, HIFU) 利用超声的热效应机制,向病灶区 域发射短时高强度的超声能量从而产生瞬时高温使 细胞组织蛋白迅速凝固,形成不可逆的焦区组织坏 死,实现肿瘤的非侵入式治疗,具有广泛的临床应用 前景[1]。

目前, HIFU 主要采用单阵元和相控阵两种换 能器。单阵元聚焦形式单一, 通过机械扫描完成聚焦 控制, 已率先在国内应用于临床^[2]。相控阵利用电子 控制聚焦, 声场控制准确、焦点模式灵活, 可实现同 时多点聚焦, 在扫描治疗应用中便于控制以实现精确 定位^[3-5]。随着相控阵阵元数目的增多, 阵元驱动控 制趋于复杂, 如何提高阵元驱动效率、降低相控阵应

* 国家自然科学基金资助项目 (10674108) 和国家自然科学基金重点资助项目 (30630024)。

用成本、简化阵元驱动控制已经成为 HIFU 相控阵应 用领域新的研究课题,例如文献 6 通过研究 100 阵 元线阵探讨了用几十个信号通道控制上万阵元的简 化控制方法。在对相控阵声场合成方法的研究中, Ebbini 等人提出了阵元激励的加权最小范数解,用 以提高阵元激励效率,并对一种64阵元的一维相控 阵进行了仿真分析^[7]。对于上百阵元的 HIFU 相控 阵, 文献 8 通过对相位误差的影响研究, 验证了合成 声场对阵元激励信号的容差要求相对较低,聚焦鲁 棒性相对较强。基于此,本文提出高阵元驱动效率的 相位独立控制方法,相对于文献 6,本文以二维球面 阵为研究对象,实现系统简化的同时提高了阵元驱 动效率;相对于文献7,该方法通过对上百阵元相控 阵的仿真和实验研究,对独立控制的相位信号进行 了量化精度的确定。利用该方法,本文对一种256阵 元中心开孔球面相控阵进行声场合成仿真分析和实 验,探讨了其适用范围,并对简化控制引起的焦域能 量偏差提出了补偿措施。本文的研究结果为上百阵 元相控阵驱动控制的设计提供了有效的简化依据。

1 相控阵声场合成方法

由 N 个阵元组成的相控阵换能器,利用惠更斯 原理,将每个阵元看作独立声源,对各独立声源产生 的声场进行叠加,可以得到 N 阵元相控阵在声场空 间中位置为 r 处的声压描述^[9]:

$$p(r) = \frac{j\rho ck}{2\pi} \sum_{n=1}^{N} u_n \int_{S_n} \frac{e^{-(\alpha+jk)|r-r_n|}}{|r-r_n|} dS_n, \quad (1)$$

其中 j = $\sqrt{-1}$, ρ 和 c 分别为介质密度和介质中的声速, α 为介质中的声衰减系数, k 为波数, S_n 和 u_n 分别为第 n 个阵元的表面积和相对阵元表面的法 向粒子速度, r_n 为第 n 个阵元的位置。式 (1) 的矩 阵描述形式为:

$$\boldsymbol{P}_M = \boldsymbol{H}\boldsymbol{U}_N, \qquad (2)$$

其中, $U_N = [u_1 \ u_2 \ \cdots \ u_N]^T$ 为阵元激励的复数向 量, $P_M = [p(r_1) \ p(r_2) \ \cdots \ p(r_M)]^T$ 为声场空间中 M 个点的复数声压向量, $M \times N$ 阶矩阵 H 为前向 传输算子, 其元素描述如下:

$$\boldsymbol{H}(m,n) = \frac{\mathrm{j}\rho ck}{2\pi} \int_{S_n} \frac{e^{-(\alpha+\mathrm{j}k)|r_m - r_n|}}{|r_m - r_n|} \mathrm{d}S_n.$$
(3)

为了有效实现相控阵的声场合成,需要对阵元 激励的复数向量 U_N 进行最优估计,一般的方法是

利用声场空间中设定点的复数声压向量 P_M ,通过求 解矩阵方程 (2) 获取。设定点一般选取聚焦模式的焦 点位置处,矩阵方程的求解可采用迭代算法或声场共 轭直接合成方法 ^[10],而伪逆矩阵算法的应用则更为 广泛 ^[11],公式描述如下:

$$\widehat{\boldsymbol{U}}_{N} = \boldsymbol{H}_{F}^{*\mathrm{T}} \left(\boldsymbol{H}_{F} \boldsymbol{H}_{F}^{*\mathrm{T}} \right)^{-1} \boldsymbol{P}_{M}, \qquad (4)$$

其中 \hat{U}_N 为 U_N 的伪逆矩阵算法最优估计, H_F 为 焦点处对应的前向传输算子, H_F^{*T} 表示 H_F 的共轭 转置矩阵。

2 高阵元驱动效率的相位独立控制单 焦点聚焦

2.1 单焦点声场模式的焦点声强计算

对于空间单焦点聚焦模式, M = 1, 利用焦点位 置处的复数声压 P_1 求解阵元激励复数向量 \hat{U}_N , 考 虑到 P_1 的相位分量不会影响到合成单焦点聚焦声场 的能量分布, 归一化取 $P_1 = [1]$; 前向传输算子 H_F 在单焦点聚焦模式下为一个由 N 个元素组成的行向 量, 此时 ($H_F H_F^{*T}$)⁻¹ 为一个实常数。综合以上条 件,并且不考虑实常量系数的影响,代入式 (4) 可 求得:

$$\widehat{U}_{N} = [\widehat{u}_{1} \ \widehat{u}_{2} \ \cdots \ \widehat{u}_{N}]^{\mathrm{T}} = \boldsymbol{H}_{F}^{*\mathrm{T}} = [h_{1}^{*} \ h_{2}^{*} \ \cdots \ h_{N}^{*}]^{\mathrm{T}}.$$
(5)

考虑到相控阵阵元面积的差异性影响,需要根据 设定的相控阵总声功率 *Pa* 对各阵元进行功率分配, 从而得到最终用于声场合成的复数阵元激励信号的 幅度分量:

$$|u_i| = \sqrt{\frac{2P_a}{\rho c \sum_{n=1}^{N} |\widehat{u}_n|^2 S_n}} |\widehat{u}_i|, \quad (i = 1, 2, \cdots, N) \quad (6)$$

变换式 (2) 得到单焦点声场中焦点处的复数声压 p_F :

$$p_F = \boldsymbol{H}_F \boldsymbol{U}_N = \sum_{i=1}^N |h_i| \, |u_i|, \qquad (7)$$

最后结合式(5)、式(6)和式(7),计算出相控阵 幅度相位综合控制条件下单焦点声场模式的焦点声 强 *I_F*:

$$I_F = \frac{p_F^2}{2\rho c} = \frac{P_a}{\rho^2 c^2 \sum_{n=1}^N |\hat{u}_n|^2 S_n} \left(\sum_{i=1}^N |h_i| |\hat{u}_i|\right)^2 = \frac{P_a}{\rho^2 c^2} \frac{\left(\sum_{i=1}^N |h_i|^2\right)^2}{\sum_{n=1}^N |h_n|^2 S_n}$$
(8)

2.2 高阵元驱动效率的相位独立控制

相控阵阵元驱动效率 η 的定义如下^[7]:

$$\eta = \frac{\langle U_N, U_N \rangle}{N u_{\max}^2} \times 100\% = \frac{\sum_{n=1}^N |u_n|^2}{N u_{\max}^2} \times 100\%, \quad (9)$$

其中〈·,·〉定义两个复数列向量的内积, u_{max} 为阵 元表面可以得到的最大法向粒子速度。式 (9) 的定义 表明,对相控阵各阵元施加相同的激励幅度进行相 位独立控制声场合成,可以获得高阵元驱动效率, 此时:

$$|u_i| = \sqrt{\frac{2P_a}{\rho c N S_i}}, \quad (i = 1, 2, \cdots, N)$$
 (10)

代入式 (7) 并变换成声强即可得到高阵元驱动效 率的相位独立控制条件下单焦点声场模式的焦点声 强 *I_F*:

$$I'_{F} = \frac{P_{a}}{\rho^{2}c^{2}N} \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{|h_{i}|}{\sqrt{S_{i}}}\right)^{2}.$$
 (11)

比较 I_F 和 I'_F , 不难看出, 相位独立控制对合成 声场焦点声强具有一定的影响, 具体影响程度取决于 焦点处对应的前向传输算子 H_F . 考虑相控阵各阵元 面积相同的特殊情况, 此时 $S_i = S(i = 1, 2, \dots, N)$, 分别代入式 (8) 和式 (11) 计算得到:

$$I_F = \frac{P_a}{\rho^2 c^2 S} \sum_{i=1}^N |h_i|^2,$$
 (12)

$$I'_{F} = \frac{P_{a}}{\rho^{2}c^{2}S} \frac{\left(\sum_{i=1}^{N} |h_{i}|\right)^{2}}{N}.$$
(13)

根据平方平均数恒大于等于算术数平均数的数 学定理可以推出: $I_F \ge I'_F$,即,在 H_F 不是常数向 量的条件下,高阵元驱动效率的相位独立控制会引起 合成单焦点声场中焦点能量的下降。

3 256 阵元中心开孔球面相控阵

本文对一种 256 阵元中心开孔球面相控阵进行 相位独立控制的声场合成仿真分析,并与幅度相位 综合控制的结果进行比较。相控阵每一阵元的投影 均为面积相等的正方形,投影面积为 7 mm×7 mm, 其它参数分别为:外径 140 mm,曲率半径 110 mm, f 数 0.78,工作频率 1.1 MHz。以相控阵球面顶点为 坐标原点,波束方向为 z 轴,建立 xyz 坐标系,对 式 (3)进行严格的推导,可以得到简洁、精确的前向 传输算子公式^[9]:

$$H(m,n) = \frac{j\rho ck}{2\pi} \frac{R_2 w^2}{R'} e^{-(\alpha+jk)R_1}$$

$$\operatorname{sinc} \frac{kx_m w}{2R} \operatorname{sinc} \frac{ky_m w}{2R},$$
(14)

其中 w 为阵元投影正方形边长, R, R', R₁, R₂ 均 为与第 n 个阵元位置和声场空间中第 m 个点坐标 (x_m, y_m, z_m) 相关的计算参数。

4 仿真分析和实验结果

4.1 仿真分析

设定仿真分析中超声传播介质的参数如下: 声速为 1540 m/s,密度为 10³ kg/m³,衰减系数为 0.000115 Np/m。以下以上述 256 阵元中心开孔球 面相控阵为研究对象,利用伪逆算法估计阵元复数 驱动向量,结合式 (2)和式 (14)对合成空间单焦点 声场进行仿真分析。

首先计算幅度相位综合控制的合成空间单焦点 声场,结果表明该相控阵换能器在几何焦点处实现 单焦点聚焦,可以得到 1.4 mm×1.4 mm×7.7 mm 的 单焦点尺寸,焦点尺寸定义为 $x_{HM} \times y_{HM} \times z_{HM}$,其 中 x_{HM} , y_{HM} 和 z_{HM} 分别为x,y和z方向的声强 -6 dB 波束宽度。当聚焦点在三维空间内偏转时, 焦点尺寸存在一定程度的差异性。由于相控阵阵元 中心间距约为发射超声波长的 4.5 倍,当偏转焦点远 离几何焦点的偏转量过大时,会在相对方向上产生 能量较大的栅瓣。一般认为栅瓣的能量需控制在主 瓣能量的 -6 dB 以下。

根据式 (10) 对相控阵阵元驱动幅度实施一致性 处理,提高阵元驱动效率,进行相位独立控制。仿真 计算结果显示,相对于幅度相位综合控制^[5],相位独 立控制主要影响合成声场的焦点能量,其影响程度与

聚焦点相对于几何焦点的偏转量密切相关。图 1 显 示了相控阵在三维空间内偏转聚焦时,相位独立控 制对合成单焦点声强的影响情况,其中图 1(a) 为焦 点在 z = 110 mm 的二维焦平面上偏转时, 幅度相 位综合控制和相位独立控制的合成焦点声强对比结 果,图中x和y轴分别为x和y轴方向上的聚焦偏 转量, z 轴 I2/I1 为对应的焦点声强比值。可以看 出,在靠近球面相控阵几何焦点的一定区域内, I2 略大于 I1, 随着偏转焦点远离几何焦点, 比值 I2/I1 逐渐降低。在以几何焦点为中心, 边长 20 mm 的正 方形区域内,相位独立控制仅会引起焦点声强最大 0.3%的能量衰减。图 1(b)显示了不同焦平面内直线 y = x 方向上,幅度相位综合控制和相位独立控制的 合成焦点声强对比结果,图中横坐标表示焦点在 x 和 y 轴方向上的相同偏转量。可以看出, 随着声场焦点 在径向 z 轴方向上偏转量的增加, 相位独立控制对 焦点声强的影响逐渐显著, 而且, 聚焦声场的焦平面 在靠近换能器的方向上偏转时,对应的焦点声强影 响相对显著。取两个焦平面分别进行仿真计算,结果 显示: 在 z = 102 mm 的焦平面上,以 (0,0,102)mm 坐标点为中心, 边长 20 mm 的正方形区域内, 相位 独立控制会引起焦点声强最大 9.3% 的能量衰减; 而 在 z = 118 mm 的焦平面上, 面积相同的正方形区域 内, 焦点声强的最大能量衰减百分比为 5.1%。

进一步分析相位独立控制对聚焦声场焦点位 置、焦点尺寸、旁瓣及栅瓣的影响情况。计算结果 显示,除栅瓣以外,聚焦声场的整体能量分布并没有 引起显著变化,仍能实现精确定位、高强度的能量聚 焦。对栅瓣能量的分析显示,随着聚焦点偏转量的增 加, 焦点能量逐渐衰减的同时, 栅瓣能量呈现出不规 律的变化趋势,即,针对不同的偏转聚焦声场,相位 独立控制会引起栅瓣级的增大或减小。分析栅瓣级 增大的不利情形,以聚焦于空间坐标 (4,4,106)mm 处 的偏转聚焦声场为例, 计算相位独立控制对声场整 体特性的影响结果,图 2(a)和图 2(b)分别显示了幅 度相位综合控制与相位独立控制得到的声场焦平面 二维声强分布图,图中相控阵输入总声功率均设定 为 25 W。通过比较,不难看出除了焦点能量稍有降 低和栅瓣能量稍有增加以外,两者的整体声强分布 呈现出良好的一致性。



相控阵阵元相位驱动一般采用数字电路实现, 对连续的相位值进行数字化处理会产生相应的量化 误差。为实现量化相位独立控制声场聚焦,需要分析 量化误差对合成声场的影响,以确定相位量化精度。 计算幅度与不同量化位数的相位信号综合控制得到 的聚焦声场,结果显示:相位量化位数越小,量化误 差越大, 声场影响越显著; 对于不同的偏转聚焦模 式,量化误差则基本相似,相同量化位数的声场影响 基本一致。以聚焦于空间坐标 (4,4,106)mm 处的偏转 聚焦声场为例, 计算相位量化误差对合成声场的影 响,图 3 显示了 z = 100 mm 的焦平面内 x 轴方向上 焦点附近的一维声强分布图。图中显示,相位量化误 差主要引起声场焦点能量的降低, 3 位量化精度引 起焦点能量 5.65% 的衰减, 4 位和 5 位量化精度引 起焦点能量的衰减百分比分别为 1.08% 和 0.36%。 计算结果表明, 4 位量化精度的相位信号足以保证 声场的有效聚焦.

图 4(a) 显示了该偏转聚焦模式 4 位量化相位独 立控制得到的声场焦平面二维声强分布图,图中相 控阵输入总声功率设定为 25 W。与图 2(a)的结果 进行比较,可以看出在相位独立控制的基础上对相 位信号实施 4 位量化处理,其声场的影响仍主要体 现为焦点能量的衰减和栅瓣能量的增加。

通过提高相控阵输入总声功率可以补偿由相位 独立控制和相位信号 4 位量化处理引起的焦点能量 衰减,图 4(b)显示了该聚焦模式在与图 4(a)相同条 件下,相控阵输入总声功率提高为 25.3 W 时的声场 焦平面二维声强分布图。比较图 4(b)和图 2(a)的结 果,不难看出,适当调节相控阵输入声功率使焦点能 量得到了足够的补偿,但栅瓣能量也随之增加,计算 最大栅瓣级的结果表明,补偿措施可以使其控制在 -9 dB 以下。为便于比较,图 5 给出了不同控制条件 下,声场焦平面内 *x* 轴方向上的一维声强分布图, 表 1 同时列出了图 2(a)、图 2(b)和图 4(a)、图 4(b) 中合成聚焦声场的焦点能量、焦点位置、焦点尺寸以 及最大栅瓣级的仿真计算结果,均可有效支持以上 结论。

表 1 不同控制条件下 (4,4,106)mm 处的聚焦声场参数比较

	焦点声强 (W/cm ²)	焦点位置 (mm)	焦点尺寸 (mm×mm×mm)	最大栅瓣级 (dB)
图 2(a)	1299.86	(4, 4, 106)	$1.2 \times 1.2 \times 7.1$	-9.21
图 2(b)	1298.86	(4, 4, 106)	$1.3 \times 1.3 \times 7.1$	-9.06
图 4(a)	1284.60	(4, 4, 106)	$1.3 \times 1.3 \times 7.1$	-9.08
图 4(b)	1300.02	(4, 4, 106)	$1.3 \times 1.3 \times 7.1$	-9.08



图 3 聚焦于 (4,4,106)mm 处的声场焦平面内一维声强分布图







图 5 聚焦于 (4,4,106)mm 处的声场焦平面内一维声强分布图



(a)透明有机玻璃实验结果(b)透明仿体实验结果图 6 四位量化相位独立控制的单焦点实验结果

4.2 实验结果

利用仿真得到的焦点模式所对应的阵元驱动信 号 U_N, 对 256 通道驱动系统进行四位量化精度的 相位独立控制,聚焦超声分别作用于 1.5 mm 厚的 透明有机玻璃薄片和透明仿生物 (acrylamide/BAS) 组织仿体进行系统实验,其中透明仿体的参数 为: 密度 1060 kg/m³, 声速 1600 m/s, 衰减系数 0.6 dB/(cm·MHz), 比热容 3850 J/(kg·K), 热传导系 数 0.55 W/(cm·K)。将透明有机玻璃薄片和透明仿体 分别精确置于 110 mm 焦平面位置, 观测相位独立控 制方法得到的焦点模式,结果分别显示于图 6(a) 和 图 6(b)。实验中所用电功率均为 100 W,透明有机玻 璃试验中聚焦超声作用时间约1s,透明仿体实验中 聚焦超声作用时间为 20 s。图 6(a) 中显示的 5 个单 焦点,中间的点为轴上单焦点 (x=0 mm, y=0 mm),其余的 4 个点均为离轴单焦点:右点 (x = 4 mm,y = 0 mm)、左点 (x = -4 mm, y = 0 mm)、上点 (x=0 mm, y=4 mm)、下点 (x=0 mm, y=-4 mm);图 6(b) 中左上点为轴上单焦点 (x=0 mm, y=0 mm), 其余的 2 个点分别表示 x 和 y 轴方向上离轴 5 mm 的 单焦点:右点 (x=5 mm, y=0 mm)、下点 (x=0 mm, y=0 mm)y = -5 mm)。图 6 的实验结果表明:声场焦点位 置准确,能量集中,无明显的旁瓣,高阵元驱动效 率的相位独立控制方法可以实现有效的空间单焦点 聚焦。

5 结论

本文提出了相控阵高阵元驱动效率的相位独立 控制方法,确定了相位量化精度,并对一种 256 阵元 中心开孔球面相控阵进行了单焦点聚焦仿真分析和 实验。结果表明,相位独立控制对合成单焦点聚焦声 场的总体分布影响并不显著,主要导致焦点能量和 栅瓣能量的变化。在靠近相控阵几何焦点一定区域 内实现偏转聚焦,会引起焦点能量的小幅增强,随着 偏转焦点远离几何焦点,焦点能量的衰减影响逐渐 显著。通过适量调整相控阵输入总声功率可以补偿 由于相控阵阵元驱动幅度一致性处理和相位量化误 差引起的焦点能量衰减,鉴于输入总声功率和焦点 能量的线性关系,很容易根据衰减量确定输入总声 功率的补偿数值。

本文针对上百阵元的 HIFU 相控阵,提出了高 阵元驱动效率的 4 位量化相位独立控制的简化设计 方法,并验证了其声场聚焦的有效性。

为便于进行量化分析和驱动控制,上述研究以 线性声学理论为基础,而非线性声波传播理论认为 声速随声压的增加而增加,从而使声压的连续正弦 波锯齿化,增加了谐波分量。非线性的作用使得焦点 处能量峰值升高,吸收等热效应明显增强,但焦点位 置基本不变,这些内容还需要进一步的深入研究。

参考文献

- Clement G T. Perspectives in clinical uses of high-intensity focused ultrasound. *Ultrasonics*, 2004; 42: 1087—1093
- WANG Zhibiao, BAI Jin, LI Faqi et al. Study of a "biological focal region" of high-intensity focused ultrasound. Ultrasound Med. Bio., 2003; 29(5): 749-754
- 3 Wan H, VanBaren P, Ebbini E S et al. Ultrasound surgery: comparison of Strategies using phased array systems. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, 1996; **43**(6): 1085—1098
- 4 王绪飞,王晓东,陆明珠等.球面矩形阵元相控阵高强度聚焦超 声手术的子阵工作模式.声学学报,2005;**30**(5):473—480

- 5 LU Mingzhu, WANG Xiaodong, WAN Mingxi et al. Image-guided 256-element phased-array focused ultrasound surgery: system and multifocus pattern control. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, 2008; **27**(5): 84—90
- 6 Caulfield R E, Yin Xiangtao, Juste J et al. A novel phase assignment protocol and driving system for a high-density focused ultrasound array. *IEEE Trans. Ultrason. Ferro*elect. Freq. Contr., 2007; 54(4): 793-801
- 7 Ebbini E S, Cain C A. Multiple-focus ultrasound phasedarray pattern synthesis: optimal driving signal distribution for hyperthermia. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, 1989; **36**(5): 540—548
- 8 Wang H, Ebbini E, Cain C A. Effect of phased errors on field patterns generated by an ultrasound phased-array hyperthermia applicator. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect.*

Freq. Contr., 1991; 38(5): 521-531

- 9 LU Mingzhu, WAN Mingxi, XU Feng et al. Focused beam control for ultrasound surgery with spherical-section phased array: sound field calculation and genetic optimization algorithm. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, 2005; **52**(8): 1270—1290
- Ibbini M S, Cain C A. A field conjugation method for direct synthesis of hyperthermia phases-array heating patterns. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, 1989; **36**(1): 3—9
- 11 Wang H, Ebbini E, Cain C A. Computationally efficient algorithms for control of ultrasound phased-array hyperthermia applicators based on pseudoinverse method. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, 1990; **37**(2): 274—277

声学消息

田静被授予国际声学和振动学会 (IIAV) 荣誉会士称号

2010 年 7 月 18 日至 22 日,第 17 届国际声与振动大会 (ICSV17) 在埃及的开罗举行,会议期间,国际声学和振动学 会 (IIAV) 宣布授予中国声学学会理事长、中国科学院声学研究所研究员田静博士学会荣誉会士 (Honorary Fellow) 称号,并 颁发了证书和奖牌,以表彰其在声学和振动研究领域中所做出的杰出贡献。该证书由国际声学和振动学会理事长 Luis Bento Coelho 和执行理事长 Malcolm J. Crocker 共同签署。

国际声学和振动学会是致力于推动声学和振动科学研究的国际性学术组织,与世界各国的研究机构和众多的国际性学术组织都有密切的关系。其成员包括荣誉会士、会士、会员、准会员、学生会员和荣誉退职会员六个类别。由理事会提名、会员委员会选举,国际声学和振动学会每年最多评选出一名荣誉会士。此前该学会只有诸如 Leo L. Beranek 、 Per V. Bruel和马大猷等 11 位国际最著名的声学家被授予荣誉会士称号。

田静博士长期从事电声与噪声学研究,在有源噪声与振动控制、电子抗噪声通讯器件、声频特征信号控制、声学微机电 系统、交通噪声传播与评价、有限振幅声波的应用等方面,都有深入的研究和突出的建树。在基础研究方面,他对有源降噪 的三种能量机制之间的关系、有源控制系统的普适传递函数、闭空间声场的简正方式有源控制等一系列问题有重要的理论创 新;在有源抗噪的应用研究方面,取得了国际领先水平的研究成果,并已推广应用;在声波清灰、声学微机电、声学特征信 号控制等方面也有重要的技术创新,取得了很好的社会和经济效益。

在会议的开幕式上,田静博士应邀作了题为"泛在信息社会中声学的机遇"的大会报告,报告的战略视野和对前瞻性技术的认识,以及所介绍的中国声学研究的相关进展给与会者留下了深刻的印象,引起热烈反响。