基于平面声源进行结构声辐射有源控制的 实验研究 *

李 双 陈克安 赵树磊 胡 莹

(西北工业大学航海学院环境工程系 西安 710072)

摘要 采用分布式平面声源作为次级声源,对振动钢板的声辐射进行了抵消实验,验证了以往研究中的一系列关键理论。实验研究结果表明:一个平面声源可以控制钢板奇-奇模态的声辐射,两个平面源可以控制结构偶-奇或奇-偶模态的声辐射,同时也可以控制结构奇-奇模态的声辐射;平面声源的面积和布放位置对降噪效果有重要影响,采用单个平面声源控制时,平面声源面积越大,控制效果越好;基于近场声压的误差传感策略是有效可行的,实际中,将近场测量面的声功率作为有源控制的目标函数与总声功率作为目标函数是一致的;控制后远场声压和声强都得到有效降低,部分区域的声能向声源流动,近场声压及声强分布也发生显著变化。

关键词 噪声控制,平面声源,有源声学结构

Experimental study on active control of sound radiation based on planar sound sources

LI Shuang CHEN Ke-An ZHAO Shu-Lei HU Ying

(Department of Environmental Engineering , College of Marine Engineering , Northwestern Polytechnical University , Xi'an 710072)

Abstract Active control of sound radiation from a vibrating steel plate using distributed planar secondary sources is investigated experimentally. The results show that (1) On using one planar secondary source, the sound power of the (odd, odd) modes can be reduced; (2) On using two planar secondary sources, the sound power of not only the (odd, odd) modes but also the (odd, even) modes can be reduced; (3) The areas and the locations of the planar secondary sources have important influence on noise reduction; On using one planar secondary source, the larger the area is, the better the control effect is. (4) The near field pressure based error sensing strategies are effective and feasible. The sound power calculated in terms of the sound pressures above the near field measuring plane can be used as an objective function which is consistent with the total radiated sound power.

(5) After control, the far field pressure and intensity can be reduced and some partial acoustic

²⁰⁰⁷⁻⁰⁴⁻¹⁷ 收稿; 2008-06-26 定稿

^{*}国家自然科学基金资助项目(10274060)

作者简介:李双(1976-),男,湖北随州人,博士,主要从事噪声控制以及结构声学的研究。

陈克安(1965 -),男,教授,博士,博士生导师。赵树磊(1982 -),男,硕士研究生。胡莹(1982 -),女,硕士研究生。

[†] 通信联系人 E-mail_:lishuang0123@163.com

energy is transferred into the near field, and that the distribution of the near field pressure and intensity are also changed distinctly.

应用声学

Key words Noise control, Planar sound source, Active acoustic structure

1 引言

上世纪 90 年代初, K. Heron 提出并发展了分布模态扬声器 (Distributed Mode Loudspeaker,简称 DML) [1]。 DML 是一种分布参数声源,外观可以制作成任意曲面,实际上常为平面,因而被称为平面扬声器或平面声源。经过 10 多年的发展,平面扬声器在音频消费电子领域获得极大成功,已有大量商业化产品销售。主要产品是基于 NXT 专利技术的扬声器,还有电致伸缩聚合物薄膜 (Electrostrictive Polymer Film,简称 EPF)、机电薄膜 (Electromechanical Film,简称 EMFi)等平面扬声器 [2]。

利用平面声源和有源消声(active noise control, ANC) 技术, 人们提出了有源声学结构 (Active Acoustic Structure, 简称 AAS)[3-4]。 AAS 以分布式声源为次级作动器,产生次级声 场,同时利用近场误差传感策略,在次级源表 面及附近布放传感器拾取误差信号,在控制器 的作用下实现结构声辐射的有源控制。AAS 的两个显著特点是:分布式次级声源和近场误 差传感。文[5]证明了 AAS 的可行性,定性地 提出了次级声源的布放准则,指出:只要布放 四个次级声源,原则上可以控制任意振动模态 辐射声。文[6]定量研究了次级声源的布放 规律,给出了明确具体的布放准则和优化方 法。文[7]和文[8]分别提出了基于近场声压 和结构表面振速的误差传感方法。文[9]建 立了严密统一的 AAS 次级作动和误差传感数 学模型,研究了次级声源布放机理和优化准则,对两种主要的近场误差传感策略及其优化进行了理论分析。文[10]和文[11]分别对AAS的控制策略和系统优化设计进行了研究。由此可见,对于有源声学结构的理论研究已取得大量成果,接下来通过实验研究验证相关的理论结果则显得尤为重要和迫切,文[12]对NXT技术的平板扬声器的声学性能进行了对NXT技术的平板扬声器的声学性能进行了测量,通过实验证明了其用于有源噪声控制的可行性,对于真正意义上的利用分布式平面声源进行有源噪声控制的实验,国内尚未见报道。本文采用一个和多个分布式平面声源对振动钢板的声辐射进行有源控制,对以往理论研究中的关键结果进行实验验证,为AAS的工程应用提供指导。

2 实验系统

实验在西北工业大学环境工程系半消声室中进行。半消声室中本底噪声低于15dBA。实验系统分为四个部分:初级结构(钢板和激振器)、次级声源(平面扬声器)、控制部分和测试部分。

使用深圳三诺公司生产的两种不同面积的平面扬声器作为次级声源:(1)面积为0.6m×0.5m的3YD50-60NXT技术平面扬声器,称之为1号扬声器;(2)面积为0.3m×0.2m的3YD20-30NXT技术平面扬声器,称之为2号扬声器,如图1所示。





图 1 实验所用的两种平面声源

实验中所用的钢板长、宽分别为 1.0m 和 2 所示,平面声源平行放置于钢板上方。 0.66m,厚度为3mm,四边模仿简支边界,如图

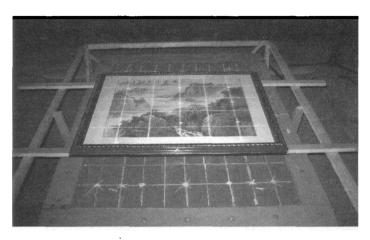


图 2 钢板及平面扬声器

在控制部分, B&K 公司 3109 型前端 (PULSE 分析仪),同时做信号发生器和数据 采集器,如图 3; B&K7752 数据采集后处理软 件及计算机(运行振动分析仪器的平台软 件):B&K2716c型功率放大器,如图3,它将信

号发生器的给出的两路信号分别放大后输入 激振器和平面扬声器。

测试部分的仪器包括 B&K3599 型声强仪和 四个4190型传声器,其中声强探头为两个4197型 1/2"声强传声器对,可以在声源近场测量声强。

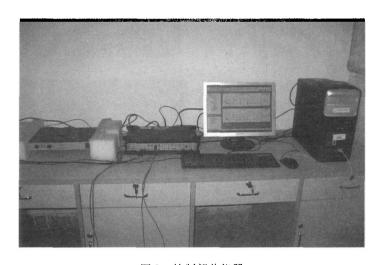


图 3 控制部分仪器

3 实验内容

3.1 初级结构的模态试验及次级声源性能分析 利用 LMS Test Lab 声振分析系统对简支 钢板进行模态试验,系统如图 4 所示。将钢板

表面均匀划分成 10×10 共 100 个单元,采用 单点锤击激励法测试结构模态。用 5 个加速 度传感器同时测量,测量20次(每次测量力锤 锤击的位置保持不变,力锤和前端相连,以便 系统采集到每次激励力信息),采集到钢板上

100 个点的加速度,通过 LMS Test Lab 系统软 及形状(振型)。实验分析结果与理论计算对件分析,最后得到钢板前几阶模态的固有频率 比如表1所示。

	•				•		
模态	序数	(1,1)	(2,1)	(1,2)	(3,1)	(2,2)	(4,1)
固有频率	实验测定	21.8	43.9	76.8	81.3	106.3	116.5
(Hz)	理论计算	24.6	46.9	75.9	84.2	98.3	126.4

表 1 结构模态试验分析结果

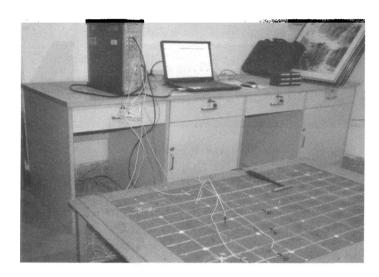
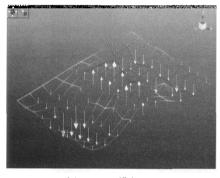


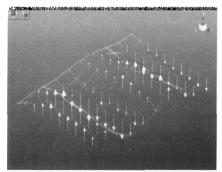
图 4 结构模态试验系统

下一步的有源控制将分别选取钢板的一个奇-奇模态(3,1)和一个偶-奇模态(4,1)对

其声辐射进行控制,通过实验分析得到的这两个模态的形状如图 5 所示。



(a) (3,1)模态



(b) (4,1) 模态

图 5 实验测定的振动模态形状

平面扬声器的性能测试见文[12],研究结果表明,NXT平面扬声器在低频下指向性较弱,结合输入信号的变化,不同数量的平面扬声器可以组合成有源噪声控制系统所需的单极子、偶极子和四极子模型,适合做有源噪声

控制的次级声源。

3.2 次级声源的布放准则验证

理论研究表明^[5]:单个次级声源可以控制 初级板的"奇-奇"振动模态声辐射,两个次级 声源可以控制初级板的"奇-奇"和"奇-偶"振

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

动模态声辐射,四个次级源可以控制所有类型的振动模态声辐射。下面将采用一个1号平面声源抵消钢板(3,1)奇-奇模态的声辐射(如

图 2),采用两个1号平面声源抵消钢板(4,1) 偶-奇模态的声辐射(如图 6),两个扬声器的激励幅度相同,相位相反。



图 6 两个 1 号平面扬声器

在各种不同的控制情况下,保持测量方法一致:在以钢板中心为圆心,以 150cm 为半径的半球面上,按声学测量规范中的建议位置^[13]取多个测量点,测量控制前后的声压值,进而求得半球表面上的平均声压级和噪声级的声功率。

有源控制效果是以远场 4 个点的声压平方和作为误差信号得到:将 4 个传声器放置在远场,通过手动方式反复调节次级声源的幅度和相位(相位在 PULSE 信号发生器中调节,幅度在 PULSE 信号发生器和功率放大器中均可调节),使得这 4 个测点声压的平方和最小。

表 2 和表 3 分别给出了两种控制情况 下半球面上具有代表性的 10 个测量点的声 压。 对于钢板(3,1)模态的声辐射进行控制后,半球面上各测量点声压均得到不同程度降低(见表2),平均声压级由56.5dB降至54.7dB(参考声压为2×10⁻⁵Pa,实验中为了避免单频激励在钢板上产生高阶谐频响应,激振器强度调得较低),总声功率级由先前的66.3dB降至64.5dB,说明采用一个次级平面声源可以有效控制结构奇-奇模态振动声辐射。

对于钢板(4,1)模态的声辐射进行控制后,除测量点1和5处的声压略有上升外(见表3),其它点的声压均得到显著降低。球面平均声压级由57.7dB降至53.3dB,总声功率级由控制前的67.5dB降至63.1dB,说明采用两个次级平面声源可以有效控制结构偶-奇模态振动声辐射。

表 2 (3,1)模态控制前后半球面上各点的声压级(r=1.5m)

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
控前	52.1	53.0	54.3	53.6	54.4	54.2	57.3	58.0	59.0	60.5
控后	50.9	50.8	51.8	53.1	53.4	52.8	54.6	54.7	55.2	60.2

 编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
控前	51.4	56.0	55.1	53.7	54.1	56.9	58.8	60.0	59.4	61.7
控后	52.2	53.7	52.8	50.9	54.5	54.6	54.6	54.0	53.9	49.0

表 3 (4,1) 模态控制前后半球面上各点的声压级(r=1.5m)

对钢板在非固有频率的振动声辐射进行控制。激振器的工作频率为 40Hz,介于钢板的(1,1)模态和(2,1)模态的固有频率之间,采用两个1号扬声器控制,控制后半球面上绝大部分点的声压降低(限于篇幅,实验数据未列出),平均声压级由 50.6dB 降至 48.4dB,总声功率级由控制前的 60.4dB 降至 58.2dB,说明结构在非固有频率下的振动声辐射也得到有效控制。

3.3 平面声源的面积及布放位置对控制效果的影响

首先考察平面声源的面积对控制效果的影响,激励频率为83.1Hz,分三种情况进行对比:(1)两个1号扬声器进行控制,控制中两扬声器同幅度同相位,相当于将单个1号扬声器的面积扩大一倍;(2)单个1号扬声器控制;(3)单个2号扬声器控制。三种情况下,扬声器面积依次减小,但每种情况下均放置在钢板的中央,控制效果比较如表4所示。可以看出,平面声源面积越大,降噪效果越好,实验结果与理论结果[5-6]一致。

表 4 平面声源面积对控制效果影响

平面声源	平上	9声压级	∕dB	声	功率级/	dB
面积	控制前	控制后	降噪量	控制前	控制后	降噪量
大	51.8	46.7	5.1	61.49	56.47	5.02
中	56.5	54.7	1.8	66.26	64.47	1.79
小	56.8	55.9	0.9	66.51	65.66	0.85

需要指出的是,对于三种控制情况,其控制前的声压级及声功率本应相等,但在表4中并不相等,原因在于:表8中的"控制前"是指平面扬声器已经放置在钢板上方,只是尚未启动,具有一定的"无源"隔声效果,每种情况下的无源隔声效果不同,因此测得的数据会有所不同。

如果将无源隔声效果也计入总体控制效果,则 面积较大的平面声源的隔声效果将更加显著。

表 5 1 号平面声源布放位置对控制效果影响

平面声源	平均	均声压级	/dB	声功率级/dB				
位置	控制前	控制后	降噪量	控制前	控制后	降噪量		
在钢板 中央	56.5	54.7	1.8	66.26	64.47	1.79		
偏离钢 板中央	57.2	56.0	1.2	66.86	65.66	1.21		

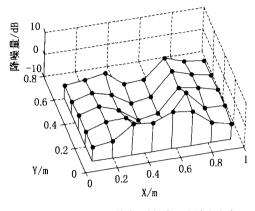
采用单个2号扬声器控制时,扬声器的三种布放位置为:钢板中央、向上偏离钢板中央、向下偏离钢板中央、如果以钢板中心为坐标原点,则上述三种布放位置下扬声器的中心坐标分别为(0,0)、(-0.1m,-0.2m)及(0.1m,0.2m),对应的降噪量分别为0.9dB、3.7dB及4.5dB。

理论上,对于简支矩形板(3,1)模态的振动声辐射,单个次级声源放置在初级板的中央时控制效果最好,该结论是基于(3,1)模态形状呈中心对称时得出;对于本文实验中的钢板,其(3,1)模态形状并不是中心对称的(见图 5a),所以平面声源放置在钢板中央时控制效果不一定是最好的,应放置在实际的模态波腹相对应的位置。

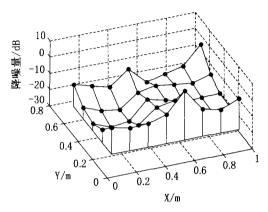
3.4 控制前后声场中声压和声强的变化

选取两个平行于钢板面且与钢板面积相等的测量面,测量面1距钢板的距离为20cm,称为近场测量面,将其沿长、宽方向均匀划分成8×5面元;测量面2距钢板的距离为90cm,称为远场测量面,将其沿长和宽方向均匀划分成5×3面元。在每种控制情况下用传声器和声强仪分别测量控制前后两测量面上每个面元中心的声压和声强,分析控制前后声场中近场和远场的声压变化及声强变化情况。

实验结果表明,采用一个或两个平面声源 对钢板(3,1)模态声辐射进行有效控制时,近 场测量面上的最大降噪区位于次级声源周围, 次级声源上方区域的声压在控制后上升,如图 7 所示,图中消声效果为各测量点控制前的声压级减去控制后的声压级而得到的降噪量。实验结果与理论仿真^[14]一致,最大消声区域应为误差传感器的最优布放位置。



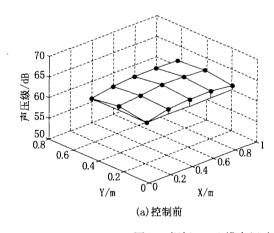
(a) 单个1号扬声器布放在中央



(b) 两个1号扬声器对称布放

图 7 对(3,1)模态进行控制时的近场测量面的降噪效果

各种控制情况下,远场测量面上的声压分布 及变化规律是相同的:(1)控制前远场测量面上 的各点声压幅值相差不大,分布较均匀。图8(a) 是钢板以(3,1)模态振动时的远场测量面的声压 分布(控制前),幅值在 62. 2dB 到 64. 4dB 之间。 (2)控制后远场测量面上的各点声压幅值均显著 下降,声压分布亦不再均匀,如图 8(b)所示,声压 幅值在 54. 2dB 到 58. 2dB 之间。



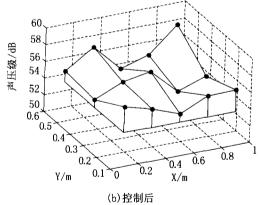
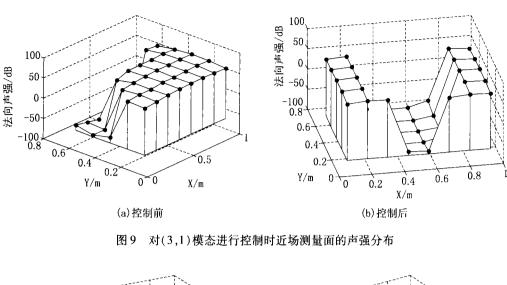


图 8 钢板(3,1)模态振动时的远场测量面的声压分布

通过对近场测量面上的声强进行测量发现: 控制前测量面上除与钢板左上角区域对应的地方出现负声强(即声强方向指向钢板,说明在此区域声源吸收能量),其它区域声强为正值,钢板向外辐射声能量,测量面上的各点平均声强为34.8dB(图9a)。控制后声能量的流动发生了显 著改变,次级声源的正上方区域声强为负值,吸收能量,而在测量面的边角处向外辐射声能量,测量面上的各点平均声强下降 5.3dB(图 9b)。说明经过初、次级声源的相互作用,声源变成了"弱辐射体"。图 9 和图 10 分别为(3,1)和(4,1)模态控制前后的近场测量面的声强分布。



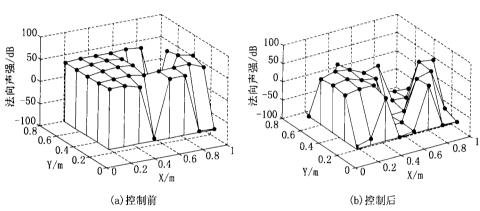


图 10 对(4,1)模态进行控制时近场测量面的声强分布

对各种控制情况下的远场测量面上的声强进行了测量,经对比分析后发现:(1)控制前远场测量面上的声强均为正值,且各点幅值相差不大,分布较均匀,如图11(a)所示。(2)

控制后远场测量面上的声强改变方式有两种:绝大多数点的声强显著下降;少部分点的声强由正值变为负值,方向发生改变,如图 11(b) 所示。

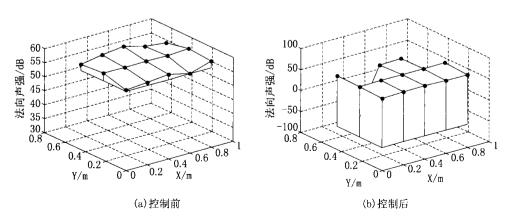


图 11 (3,1) 模态控制前后远场测量面的声强分布

需要指出的是,在文献[5~11]的理论计算 中,有源控制效果是以总声功率为控制目标(误 差信号)得到,而在本文的上述实验中,有源控 制效果是以远场4个点的声压平方和作为误差 信号得到的。半消声室可以近似看成是自由空 间,远场4个点的声压平方和与总声功率成正 比,将其作为误差信号是可行的。但是,从理论 上看,将远场有限点的声压平方和作为误差信 号所取得的降噪效果与以总声功率为控制目标 所取得的降噪效果有一定差距[3],再加上实验 中一些客观因素或误差的影响(如半消声室的 地面存在声反射、钢板模型与理论平板模型不 完全一致等),所以本文中的实验值(实际降噪 量)无法与理论计算降噪量进行定量比较。但 是,本文实验目的并不在于确定最大降噪量,而 是为了验证分析有源控制的可行性以及控制中 的一些准则和规律,因此,上述问题的存在不影 响本文实验结果的正确性。

3.5 基于近场声压误差传感的有源控制

上面 3.2~3.4 节的控制效果是通过远场 声压误差传感得到的,下面采用近场误差传感 来进行有源控制。 将激振器工作频率调至 84.0Hz,接近钢板(3,1)模态的固有频率(81.3Hz),此时钢板主要以(3,1)模态振动。采用一个1号平面扬声器对声辐射进行控制,扬声器放置在钢板中央,采用一个传声器进行近场误差传感,传声器与次级声源表面的距离为 12cm。

将误差传感器所在的平面作为测量面,将 其划分为 5 × 5 的面元。参考图 7(a)中的最 大降噪区,寻找到误差传感器的最佳布放位 置:对应钢板坐标(0.70m,0.20m)位置作为最 优位置,对应钢板坐标(0.70m,0.46m)作为次 最优位置。

控制前测量面上的声压分布如图 12(a) 所示,图中以测量面上第一点声压相位作为参考,与第一点声压相位相同的为正值,相反的为负值,下同。将误差传声器放在最优位置,调节平面声源的幅度和相位,传声器的幅值由控制前的 83.4dB 降至 77.5dB,此时测量面上的声压分布如图 12(b)所示;将误差传声器放在次最优位置时,传声器的幅值由控制前的 73.7dB 降至 60.6dB,此时测量面上的声压分布如图 12(c)所示。

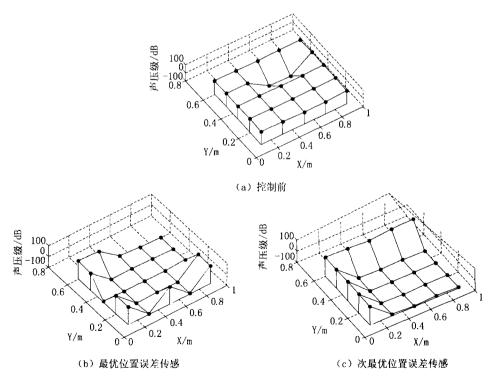


图 12 近场测量面上的声压分布

将图 12 中的测量数据代入近场测量面声功率的计算公式为^[15],计算出测量面的声功率级分别为 73.7dB(控制前),62.4dB(最优位置误差传感),68.6dB(次最优位置误差传感)。

对近场误差传感下的远场声压进行了测量,测量点位于以钢板中心为圆心,半径为100cm的半球面上,表6给出了半球面上具有

代表性的 10 个测量点的声压值,实验结果显示,在两种不同位置的误差传感下,各点的声压级都有显著下降,总的降噪效果令人满意(作者在实验现场凭双耳便已感觉到控制前后的显著变化),误差传感器放在最优位置比次最优位置的降噪更为优越,控制前后的声功率见表7。

表 6 近场误差传感下半球面上各点的声压级(r=1m

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
控制前	71.2	71.9	72.1	72.9	73.3	67.4	67.9	68.3	69.8	65.2
最优传感	51.8	58.0	45.5	62.0	51.6	42.1	65.6	65.3	62.8	47.3
次最优传感	61.8	65.7	63.2	63.9	66.1	58.4	65.7	65.0	64.8	58.7

表7 控制前后的声功率对比

	总声功率/dB	测量面声功率/dB
控制前	78.7	73.7
最优位置误差传感	68.6	62.4
次最优位误差传感	72.0	68.6

两种控制情况下的总声功率及测量面的声功率对比如表7所示。通过单个误差传感器近场传感,控制后总的声功率和近场测量面上的声功率均得到显著减低,很好地验证了相关的理论结果^[7,15]:(1)基于近场声压的误差传感策略是有效可行的,传感器的布放位置对控制效果的影响至关重要。(2)实际中,将测量面声功率作为有源控制的目标函数是有效可行的,它与总的声功率作为目标函数是一致的。

4 结语

采用分布式平面声源作为次级声源,对振动钢板的声辐射进行了抵消实验,验证了以往研究中的一系列的关键理论。研究结果表明: (1)一个平面声源可以控制钢板奇-奇模态的声辐射,两个平面源可以控制结构偶-奇或奇-偶模态的声辐射,同时也可以控制结构奇-奇

模态的声辐射:(2)平面声源的面积和布放位 置对降噪效果有重要影响,采用单个平面声源 控制时,平面声源面积越大,控制效果越好; (3)基于近场声压的误差传感策略是有效可 行的,实际中,将近场测量面声功率作为有源 控制的目标函数与总声功率作为目标函数相 一致:(4)控制前远场测量面上的各点声压分 布较均匀,有源控制后各点声压幅值均显著下 降,声压分布不再均匀,近场各点声压在控制 后有升有降。控制后声能量的流动发生了显 著改变,近场测量面上的平均声强幅度下降, 部分区域的声强方向改变,说明经过初、次级 声源的相互作用,声源变成了"弱辐射体",远 场测量面上的声强在控制前均为正值(声能向 远场传递),且各点幅值相差不大,分布较均 匀,控制后绝大多数点的声强方向不变,幅度 显著下降,少部分点的声强由正值变为负值 (能量返回近场)。

参考文献

- Bank G. The distributed mode loudspeaker (DML). In: Loudspeaker and Headphone Handbook. 3rd ed. Oxford: Focal Press, 2001.
- [2] 陈克安, 仲维彬, 曾向阳. 平面扬声器及其声学特性. 电声技术, 2003, 219(9):21-23.

- [3] 陈克安. 有源噪声控制. 北京:国防工业出版社, 2003.
- [4] Chen KA, Koopmann G H. Active control of low-frequency sound radiation from vibrating panel using planar sound sources. Journal of Vibration and Acoustics, 2002, 124(1):2-9.
- [5] 陈克安, 柯普曼. 基于平面声源实施结构声辐射有源控制的理论研究. 声学学报,2003, 28(4):279-293.
- [6] 李双,陈克安. 有源声学结构中次级声源的布放规律. 机械科学与技术, 2006, 25(11):1351-1357.
- [7] Chen Ke'an, Yin Xuefei. Active control of radiated sound using near-field pressure sensing. Chinese Journal of Acoustics, 2004, 23(3): 193 - 202.
- [8] 陈克安,陈国跃,李双,等. 分布式位移传感下有源声学结构误差传感策略. 声学学报,2007, 32(1):42-48.
- [9] 陈克安,李双,潘浩然,等. 有源声学结构中的次级作动

和误差传感. 自然科学进展,2006, 16(6):747-756.

- [10] 李双,陈克安. 自适应声学结构中基于声辐射模态的有源控制策略. 西北工业大学学报,2006,24(4):120-125
- [11] 潘浩然,陈克安,李双. 有源声学结构系统配置优化设计. 电声技术,2006, 4:58-60.
- [12] 仲维彬,陈克安,李宏伟. 平板扬声器用于结构声有源 噪声控制实验研究. 应用声学,2006,25(4);246-251.
- [13] 陈克安,曾向阳,李海英. 声学测量. 北京:科学出版社, 2004.
- [14] 潘浩然. 有源声学结构系统配置优化设计[硕士学位论文]. 西安:西北工业大学,2006.
- [15] 陈克安. 自适应声学结构误差传感策略. 振动工程学报, 2004, 17(3): 301-305.

超声治疗 2008 年研究生暑期学校成功举办

举办暑期学校是研究生教育创新计划的一项重要内容。由教育部和自然科学基金委联合主办,重庆医科大学和超声医疗国家工程研究中心共同承办的超声治疗学"大家"论坛——2008年全国研究生暑期学校,于7月15至25日在重庆医科大学国际学术报告厅隆重举行。重庆医科大学在全国乃至全世界范围内,作为高强聚焦超声核心技术的掌握者和技术发展的推动者之一,具有承办此次暑期学校的雄厚基础。

暑期学校正式学员 100 余人,其中有 6 名来自西方国家,50 余名来自南京大学、复旦大学、首都医科大学等全国 17 个著名高校的研究生,以及来自于中国人民解放军总医院、哈尔滨医科大学附属医院等 40 余名从事超声治疗的临床医生。旁听学员达 150 多人,他们是重庆医科大学、第三军医大学及重庆各高校相关专业的研究生和青年教师。学员们朝气蓬勃,思维活跃敏捷、勇于提出问题和积极讨论问题。

应邀前来授课的教师为国内外的知名专家、学 者,其中包括美国维蒙特大学、芝加哥大学、意大利欧 洲癌症中心、香港大学玛丽医院、南京大学、中科院武汉物理与数学所、西安交通大学、解放军总医院的超声科、重庆医科大学、河海大学及超声医疗国家工程研究中心的 22 位教授、专家。授课内容涉及到超声治疗中的超声、超声生物物理理论、工程学、HIFU 技术临床应用及其前景展望等,此外还讲授了声化学和超声在环保领域应用的进展等。

授课形式生动活泼,包括专家授课、学员提问、互动探讨、观摩高强聚焦超声临床治疗及远程诊断、学员主题报告和教师评议等。同时实现了双语教学:学生课本、讲课幻灯均为英文,有利于国际学术交流。

2004 年美国科学促进会曾邀请全世界 30 多名顶 尖级专家来评选当今的科技前沿课题,结果以高强聚 超声技术为主要内容的超声治疗当选。因此可以说, 这次研究生暑期学校不仅是我国超声医学的盛事,也 是当今前沿科技领域的一件盛事!

(南京大学 冯 若)