

基于声压梯度参考的部分场分解方法及实验研究*

毕传兴[†] 郭明建 张永斌 徐亮

(合肥工业大学噪声振动工程研究所合肥 230009)

(2011 年 12 月 6 日收到; 2012 年 1 月 3 日收到修改稿)

采用扫描测量方式得到的不相干声场需分解成完全相干的部分场后才能用于近场声全息重建. 现有的方法都是将声压作为参考进行部分场分解. 本文提出以声压梯度作为参考, 并建立一种基于声压梯度参考的部分场分解方法. 由于声压梯度比声压的衰减速度更快, 受到其他声源和环境噪声的影响比声压小, 所以以声压梯度为参考在分解完全相干的部分场过程中比以声压为参考更具有优势. 通过数值仿真和实验分析, 一方面验证了基于声压梯度参考的部分场分解方法的正确性和可行性; 同时通过与基于声压参考的部分场分解结果比较, 说明了基于声压梯度参考的部分场分解方法分解更稳健、结果更精确.

关键词: 不相干声场, 近场声全息, 声压梯度, 部分场分解

PACS: 43.35.Sx, 43.60.Sx

1 引言

近场声全息 (NAH) 技术是一种非常有效的噪声源识别、定位和声场可视化技术^[1-4]. 但是, 该技术要求在全息面上测量到的声场必须是完全相干的^[5], 而工程实际应用中的声场大部分是由若干个不相干或部分相干的声源所辐射的声场叠加而成. 对于这种不相干或部分相干声场的 NAH 测量, 可以采用快照法和基于扫描方式的多参考互谱测量法. 但是快照法需要大量的传声器和并行测量通道, 标定校准工作量比较大, 设备成本高昂, 不利于在工程实际应用中推广. 因此针对此类声场最合适的 NAH 测量方法是基于扫描方式的多参考互谱测量法. 该方法只需要用小阵列 (如线阵列) 在全息面上按照一定的顺序扫描声场即可采集到全息数据, 所需传声器少, 设备成本低.

采用扫描方式测量得到的不相干声场, 在进行 NAH 重建之前, 需对不相干声场进行部分场分解. 该思想是 1989 年由 Hald^[5] 提出, 他借助奇异值

分解将扫描测量到的不相干声场分解成若干个完全相干的部分场, 再分别对这些部分场进行 NAH 重建, 最后将重建后的声场进行叠加, 得到需要的重建结果, 该方法也被称为虚相干法. 1992 年, Hallman 等^[6] 提出采用偏相干理论^[7] 进行部分场分解, 该方法对不相干或部分相干的声源产生的声场都能有效地分解出完全相干的部分场. 1999 年, Tomlinson^[8] 对虚相干部分场分解法和偏相干部分场分解法进行了比较, 并对参考传声器的选取对分解结果的影响进行了分析. 2001 年 Nam 等^[9] 提出了一种新的部分场分解算法, 该算法与以往方法的最大差别就是参考传声器不必位于声源附近, 从而在一定程度上解决了参考传声器位置选取的问题; 随后, 他们又对该算法的表示形式进行了重新推导, 并通过两个实验进行了验证^[10]. 2003 年, Kown 等^[11] 对虚相干算法进行了改进, 通过补偿非稳态场来消除非稳态场对虚相干法算法的影响, 从而得到了非稳态场的部分场分解方法; 同年, Lee 等^[12] 将虚相干法引入到柱面 NAH 中, 并结合补偿非稳态场的算法, 能得到理想的重建结果. 2004 年, Kim

* 国家自然科学基金 (批准号: 10974040, 11004045), 教育部新世纪优秀人才支持计划 (批准号: NCET-08-0767) 和高等学校博士学科点专项科研基金 (批准号: 20100111110007) 资助的课题.

[†] E-mail: cxbi@hfut.edu.cn

等^[13]提出借助 MUSIC 功率谱最大化方法来最优选取部分场分解方法中参考传声器的位置. 2006 年, Lee 等^[14]对采取扫描测量方式时, 测量噪声以及声源声级的变化对部分场分解结果以及采用该结果进行 NAH 重建的影响进行了分析. 2008 年, Kang 等^[15]将自适应零限法和最小误差法引入到部分场分解, 计算出部分场的等效声源, 然后通过最小二乘法和矩阵转换求出部分场.

上述研究主要是针对部分场分解方法以及参考位置进行研究, 其共同点是均采用声压作为参考来实现部分场分解. 实际上, 在描述声场信息的参数中, 声压梯度(类似质点振速)比声压的衰减速度更快, 如果采用声压梯度作为参考, 其受到其他声源和环境噪声的影响比声压小, 因此声压梯度比声压更具有优势. 本文在现有的部分场分解方法(主要是虚相干法和偏相干法)的基础上, 采用声压梯度参考代替声压参考, 提出基于声压梯度参考的部分场分解方法, 并通过仿真和实验检验该方法的可行性和优越性.

2 原理

部分场分解方法是指在不相干声场的声源附近布置多个参考, 并在全息面上采用小阵列扫描该声场, 然后将测量到的参考信号和全息信号进行自谱和互谱, 并进行声场的空间变换计算, 从而得到完全相干的部分场的一种算法. 设不相干声场是由 N 个互不相干的声源产生, 在声源附近布置 N 个参考, 全息面上共有 M 个场点. 声源、参考和场点之间的关系如图 1 所示.

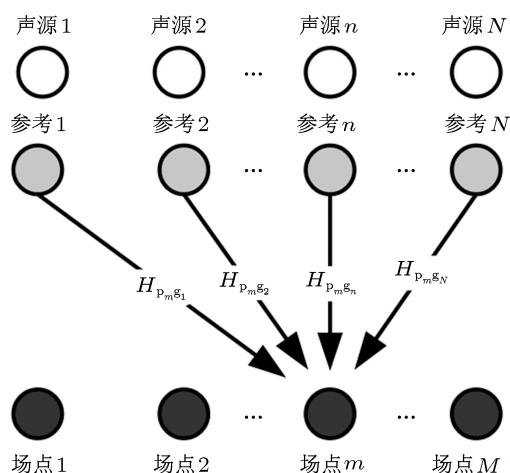


图 1 声源、参考和场点的关系

在基于声压梯度参考的部分场分解方法中, 每个参考位置上沿声波传播方向布置两个相同的声压传声器. 根据有限差分原理, 当两个传声器之间的距离远小于被测声波波长时, 声场中某点声传播方向 r 上的声压梯度可以由声波传播方向 r 上该点两相邻点处的声压值近似估算

$$\frac{\partial p_n}{\partial r} \approx \frac{p_{n1} - p_{n2}}{\Delta r}, \quad (1)$$

式中, $\frac{\partial p_n}{\partial r}$ 是第 n 个参考位置的声压梯度, Δr 为两个传声器之间的间距, p_{n1} 和 p_{n2} 为第 n 个参考位置上的两个传声器测量到的声压. 本文为了书写方便, 令 $g_n = \frac{\partial p_n}{\partial r}$.

设所有的传声器都进行 K 次采样. 声压梯度和场点声压分别用向量表示为

$$g = [g_1, \dots, g_n, \dots, g_N]^T, \quad (2)$$

$$p = [p_1, \dots, p_m, \dots, p_M]^T \quad (3)$$

式中, “T”表示转置. g_n 和 p_m 分别包含 K 次采样

$$g_n = [g_n^{(1)}, \dots, g_n^{(k)}, \dots, g_n^{(K)}], \quad (4)$$

$$p_m = [p_m^{(1)}, \dots, p_m^{(k)}, \dots, p_m^{(K)}]. \quad (5)$$

2.1 基于虚相干的部分场分解原理

虚相干法是借助奇异值分解来计算部分场的一种方法. 首先计算声压梯度的自谱、场点声压的自谱及它们之间的互谱, 分别表示为

$$S_{gg} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K g^{(k)} (g^{(k)})^*, \quad (6)$$

$$S_{pp} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K p^{(k)} (p^{(k)})^*, \quad (7)$$

$$S_{gp} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K g^{(k)} (p^{(k)})^*, \quad (8)$$

式中, “*”表示复数共轭转置, k 表示第 k 次采样, $g^{(k)}$ 和 $p^{(k)}$ 是第 k 次采样的列向量. 由图 1 可知, 场点声压可以由声压梯度线性表示为

$$p = H_{pg} g, \quad (9)$$

式中, H_{pg} 是声压梯度与场点声压之间的转换矩阵. 根据 (6)—(9) 式可得场点声压自谱和声压梯度自谱及它们之间互谱的关系为

$$S_{pp} = H_{pg} S_{gg} H_{pg}^*, \quad (10)$$

式中

$$H_{pg} = S_{gp}^* S_{gg}^{-1}. \quad (11)$$

然后对声压梯度自谱进行奇异值分解, 表示如下:

$$S_{gg} = U \Lambda V^* = U \Lambda U^* = \hat{g} \hat{g}^*, \quad (12)$$

式中, U 和 V 分别为特征向量组成的酉矩阵, 在此 U 和 V 相等, Λ 表示奇异值的矩阵, \hat{g} 表示不同于声压梯度参考的虚参考. 由 (12) 式可得 $\hat{g} = U \Lambda^{1/2}$. 而场点声压自谱 S_{pp} 可被分解成若干个完全相干的部分场, 且分解出的部分场 \hat{P} 满足 $\hat{P} \hat{P}^* = S_{pp}$, 根据 (10), (11) 和 (12) 式可将部分场表示如下:

$$\hat{P} = H_{pg} \hat{g} = S_{gp}^* S_{gg}^{-1} U \Lambda^{1/2} = S_{gp}^* U \Lambda^{-1/2}, \quad (13)$$

式中, \hat{P} 的第 n 列表示第 n 个部分场. 由 (13) 式可知, 部分场可由虚参考线性表示.

2.2 基于偏相干的部分场分解原理

偏相干法是通过偏相干原理计算出条件谱及偏相干函数, 再利用条件谱和偏相干函数计算部分场的一种方法. 将 N 个声压梯度作为输入, 第 m ($m = 1, 2, \dots, M$) 个场点声压作为输出, 组成一个多输入单输出系统, 即测量到的输入为 $g_1^{(k)}, g_2^{(k)}, \dots, g_N^{(k)}$, 输出为 $p_m^{(k)}$, 为了方便计算, 令 $g_{N+1}^{(k)} = p_m^{(k)}$. 首先, 计算出这 $N+1$ 个信号的自谱和互谱

$$S_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K g_i^{(k)} (g_j^{(k)})^*, \quad (14)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, N+1; j = 1, 2, \dots, N+1$. 然后利用 (14) 式得到的自谱和互谱迭代计算条件谱. 仅考虑消除前 a 个声源的影响时, 根据偏相干原理可得条件谱的迭代计算公式

$$S_{ij \cdot a!} = S_{ij \cdot (a-1)!} - L_{aj} S_{ia \cdot (a-1)!}, \quad (15)$$

式中

$$L_{aj} = \frac{S_{aj \cdot (a-1)!}}{S_{aa \cdot (a-1)!}}, \quad (16)$$

(15) 和 (16) 式中, $a = 1, 2, \dots, N; i, j > a; S_{ij \cdot a!}$ 表示消除前 a 个声源的影响后第 i 个信号与第 j 个信号的条件谱; $S_{ij \cdot (a-1)!}$ 表示消除前 $a-1$ 个声源的影响后第 i 个信号与第 j 个信号的条件谱; $S_{ia \cdot (a-1)!}$ 表示消除前 $a-1$ 个声源的影响后第 i 个信号与第 a 个信号的条件谱; L_{aj} 表示频率响应函数; $S_{aj \cdot (a-1)!}$

表示消除前 $a-1$ 个声源的影响后第 a 个信号与第 j 个信号的条件谱; $S_{aa \cdot (a-1)!}$ 表示消除前 $a-1$ 个声源的影响后第 a 个信号的条件谱. 根据 (14), (15) 和 (16) 式迭代计算消除前 $N-1$ 个声源的影响后第 N 个声压梯度的条件谱 $S_{NN \cdot (N-1)!}$ 、第 m 个场点声压的条件谱 $S_{(N+1)(N+1) \cdot (N-1)!}$ 及它们之间的条件谱 $S_{N(N+1) \cdot (N-1)!}$, 并计算偏相干函数

$$\gamma_{N(N+1) \cdot (N-1)!}^2 = \frac{|S_{N(N+1) \cdot (N-1)!}|^2}{S_{NN \cdot (N-1)!} S_{(N+1)(N+1) \cdot (N-1)!}}. \quad (17)$$

根据偏相干函数和条件谱求得第 N 个部分场在全息面上第 m 个场点处的声压为

$$\hat{p}_{mN} = (\gamma_{N(N+1) \cdot (N-1)!}^2 \times S_{(N+1)(N+1) \cdot (N-1)!})^{1/2}. \quad (18)$$

依次遍历全息面上的 M 个场点, 可得第 N 个部分场 $\hat{p}_N = [\hat{p}_{1N}, \dots, \hat{p}_{mN}, \dots, \hat{p}_{MN}]^T$. 然后依次将第 n ($n = 1, 2, \dots, N-1$) 个声压梯度排在第 N 个位置, 将第 m 个场点声压排在第 $N+1$ 个位置, 根据上述方法计算可得到第 n 个部分场 $\hat{p}_n = [\hat{p}_{1n}, \dots, \hat{p}_{mn}, \dots, \hat{p}_{Mn}]^T$.

3 数值仿真

如图 2 所示, 在声源面 ($z = 0$) 上布置两个不相干的脉动球声源. 声介质的密度为 1.21 kg/m^3 , 声速为 340 m/s . 全息面的位置 $z_h = 0.10 \text{ m}$, 全息面的大小为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, 全息面上划分 21×21 个场点. 每个声源附近的参考位置上沿 z 向布置两个参考传声器, 两传声器距离为 0.012 m , 两传声器连线的中点距声源面 $z_r = 0.05 \text{ m}$. 仿真中脉动球的振动频率为 $100\text{--}2000 \text{ Hz}$. 仿真过程中, 增加 20 dB 的白噪声, 模拟真实环境. 针对仿真得到的数据, 分别采用虚相干法和偏相干法作为部分场分解方法, 将基于声压梯度参考分解的部分场结果与基于声压参考分解的部分场结果进行对比. 定义部分场声压幅值的误差为

$$\text{Err} = \frac{\|e - \bar{e}\|}{\|\bar{e}\|} \times 100\%, \quad (19)$$

式中, \bar{e} 为理论值, e 为计算值, $\|\bullet\|$ 表示 2 范数.

图 3 和图 4 分别为采用虚相干法和偏相干法基于声压参考和基于声压梯度参考分解的部分场

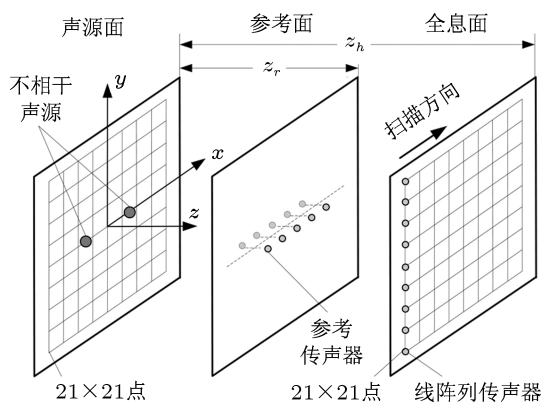


图2 仿真原理示意图

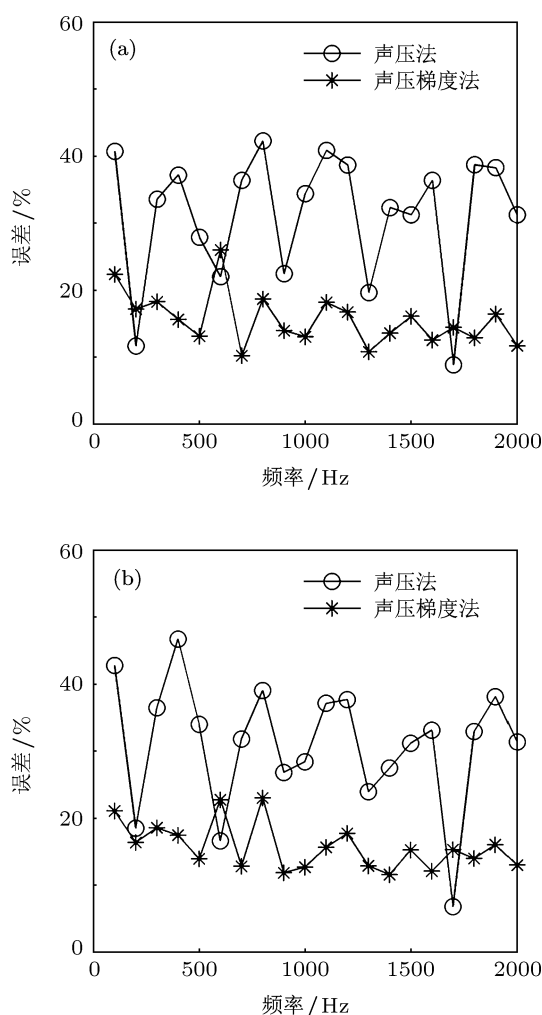


图3 基于声压和声压梯度参考的虚相干法分解的部分场声压幅值误差 (a) 部分场1结果; (b) 部分场2结果

的声压幅值误差比较. 由图3和图4可得, 基于声压梯度参考的分解结果误差要小于基于声压参考的分解结果误差. 在虚相干法中, 基于声压参考的分解结果误差范围大, 为7%到47%, 且分解结果不

稳定, 而基于声压梯度参考的分解结果误差相对较小, 为10%到23%, 精度较高, 较稳定. 在偏相干法中, 基于声压梯度参考的分解结果误差在2%左右, 基于声压参考的分解结果误差为5%到10%, 说明偏相干法更稳定, 结果比虚相干法精确.

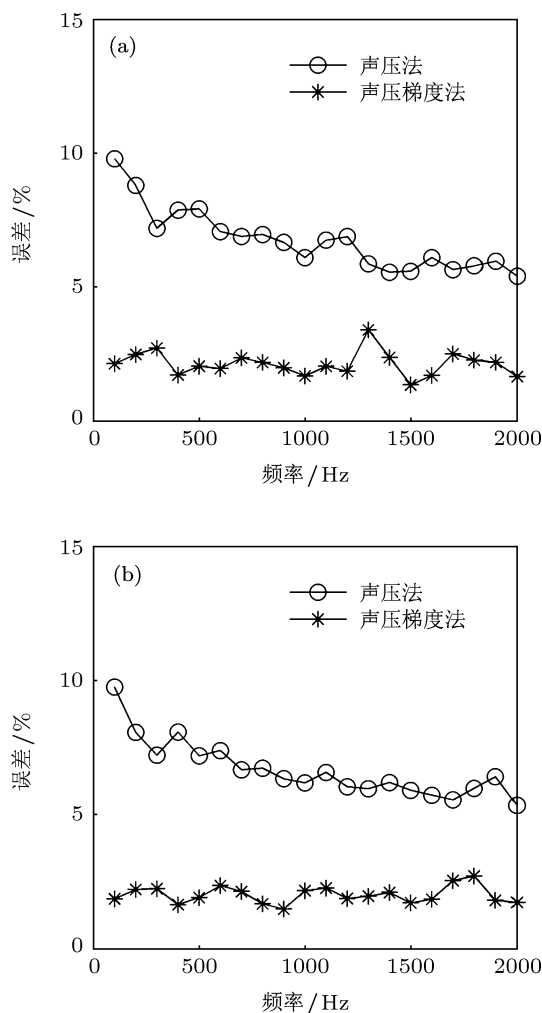


图4 基于声压和声压梯度参考的偏相干法分解的部分场声压幅值误差 (a) 部分场1结果; (b) 部分场2结果

为了更好地比较基于声压参考和基于声压梯度参考的部分场分解方法的优劣, 本文给出1000 Hz时测量面中中间一行的结果比较. 如图5和图6所示, 基于声压梯度参考的分解结果比基于声压参考的分解结果更精确. 对于虚相干法, 基于声压梯度参考的分解结果中, 分离出的主要声场和理论值吻合度较好, 虽然在另一声源位置上仍有较小的波动, 但总体误差较小, 而基于声压参考的分解结果中, 主要声场和理论值吻合较差, 且在另一声源位置上有较大的峰值, 误差较大. 对于偏相干

法, 基于声压梯度参考的分解结果和理论值几乎完全符合, 精度较高, 而基于声压参考的分解结果中, 主要声场也可以分离出来, 但在另一声源位置处会出现幅值波动, 与理论值不能很好符合.

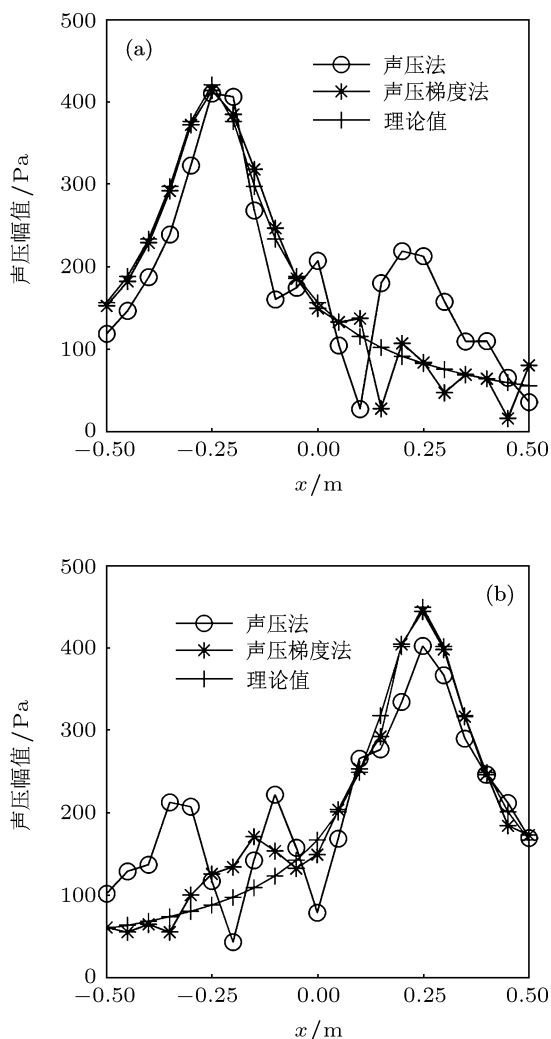


图 5 基于声压和声压梯度参考的虚相干法分解的部分场声压幅值 (a) 部分场 1 结果; (b) 部分场 2 结果

由于在部分场分解实施过程中, 参考的位置选取对分解结果精度有一定的影响. 下面将变化参考的位置以对两种方法进行比较. 在第一个声源附近区域 $\{-0.35 \text{ m} \leq x \leq -0.15 \text{ m}, -0.35 \text{ m} \leq y \leq 0.35 \text{ m}\}$ 和第二个声源附近区域 $\{0.15 \text{ m} \leq x \leq 0.35 \text{ m}, -0.35 \text{ m} \leq y \leq 0.35 \text{ m}\}$ 选取 16 组位置, 用于声压梯度测量的两个传声器的中点距声源面 $z_r = 0.05 \text{ m}$, 具体坐标如表 1 所示. 图 7 和图 8 分别为 1000 Hz 时基于声压参考和声压梯度参考的虚相干法和偏相干法分解的部分

场声压幅值误差结果. 由图可知, 无论参考在哪个位置, 只要在同等条件下, 基于声压梯度参考分解的部分场结果误差均小于基于声压参考获得的结果, 且偏相干法分解的部分场结果误差小于虚相干法分解结果.

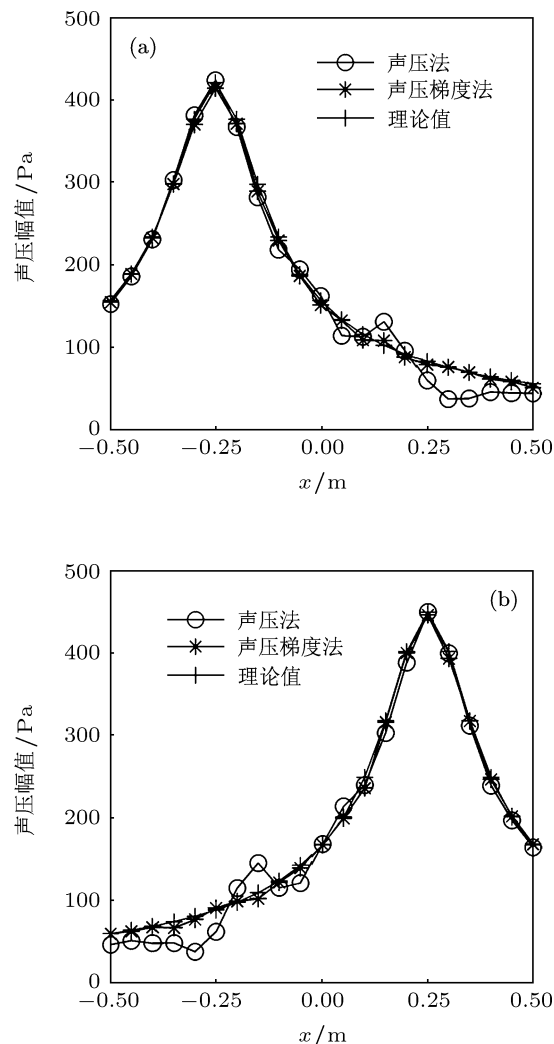


图 6 基于声压和声压梯度参考的偏相干法分解的部分场声压幅值 (a) 部分场 1 结果; (b) 部分场 2 结果

此外, 为了研究在声压梯度测量时两传声器轴线方向变化对分解的部分场结果误差的影响, 下面给出了 1000 Hz 时两传声器的轴线与 z 轴夹角 θ 变化对基于声压梯度参考的部分场分解方法的影响, 如图 9 所示. 从图中可知, 由两传声器轴线方向变化引起的误差随 θ 角的增大而增大, 但是当 θ 角小于 45° 时, 由两传声器轴线方向变化引起的误差小于 3%, 该误差远远小于采用声压梯度参考优于基于声压参考的误差. 因此在实际工程应用中, 只要

表1 参考的位置

序号		1	2	3	4	5	6	7	8
参考1位置	x/m	-0.30	-0.30	-0.35	-0.30	-0.25	-0.20	-0.35	-0.35
	y/m	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.05	-0.30	0
参考2位置	x/m	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.35
	y/m	0.10	-0.15	0.20	-0.15	0.15	0.20	-0.15	-0.10

表1 续

序号		9	10	11	12	13	14	15	16
参考1位置	x/m	-0.35	-0.35	-0.35	-0.30	-0.30	-0.25	-0.20	-0.35
	y/m	0	0.10	0	0.25	0.25	-0.05	0.05	0
参考2位置	x/m	0.20	0.20	0.30	0.25	0.15	0.35	0.25	0.30
	y/m	-0.15	0.15	-0.05	-0.15	0.10	0.05	-0.15	-0.15

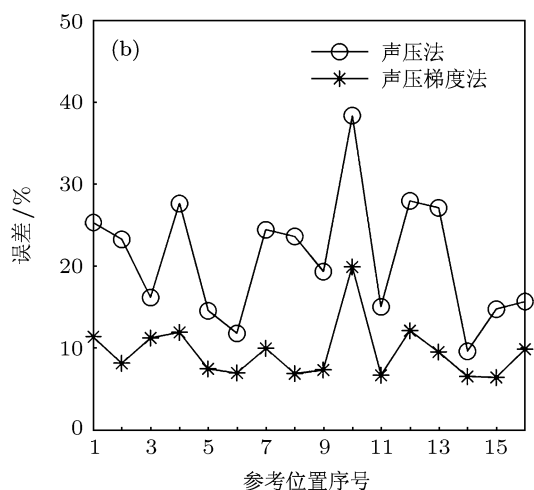
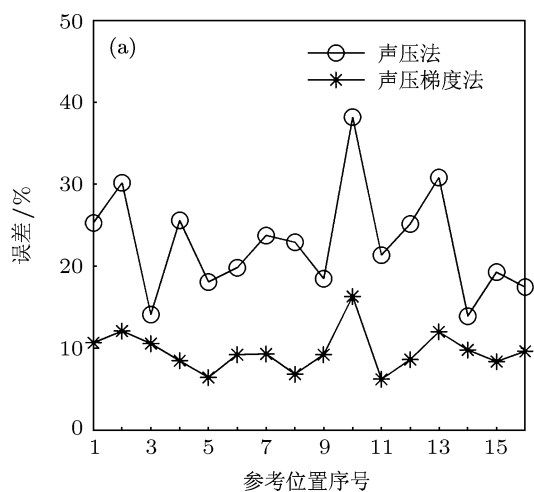


图7 基于声压参考和声压梯度参考的虚相干法分解的部分场声压幅值误差 (a) 部分场1结果; (b) 部分场2结果

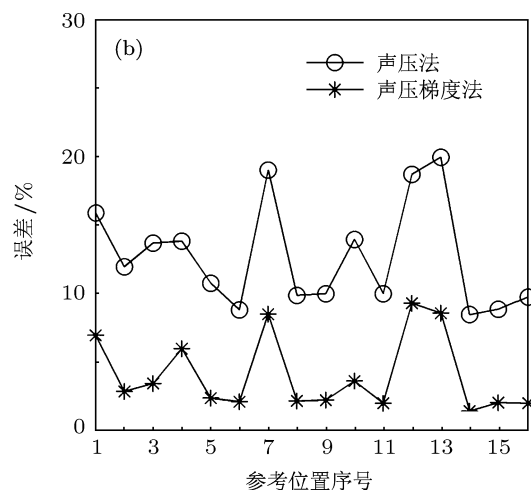
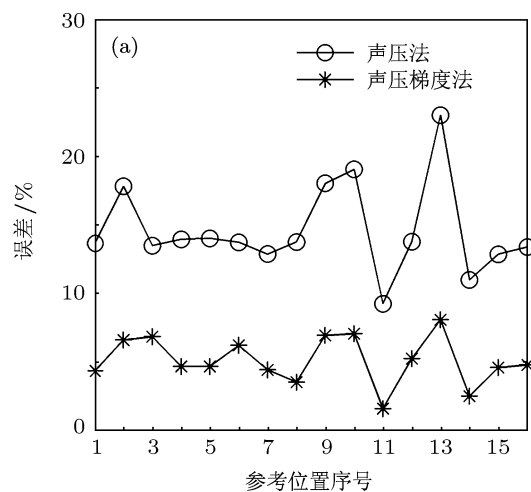


图8 基于声压参考和声压梯度参考的偏相干法分解的部分场声压幅值误差 (a) 部分场1结果; (b) 部分场2结果

两传声器中的轴线方向与声传播方向夹角小于 45° , 即两传声器中的轴线方向尽可能垂直于源面, 由两传声器轴线方向变化引起的误差很小, 不会对部分场结果产生太大影响.

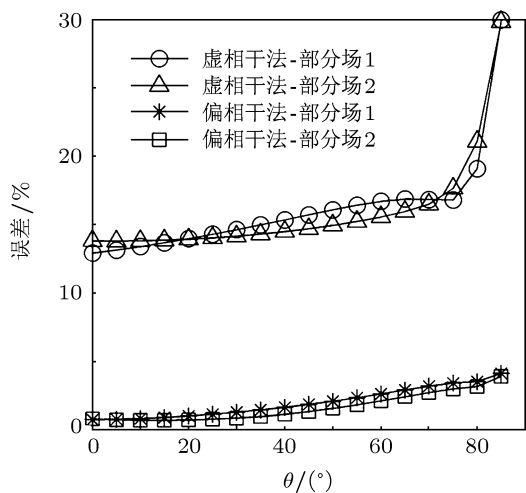


图9 基于声压梯度参考的部分场分解方法获得的声压幅值误差与声压梯度测量两传声器的轴线与 z 轴夹角 θ 的关系图

上述结果一方面说明了基于声压梯度参考的部分场分解方法的可行性, 同时也说明了在同等条件下, 基于声压梯度参考的方法要优于基于声压参考的方法. 此外, 结果也表明无论是基于声压梯度参考还是基于声压参考, 采用偏相干涉法能获得比虚相干涉法更优的结果; 基于声压梯度参考的方法在实际测量时两传声器的轴线方向应尽可能与源面保持垂直.

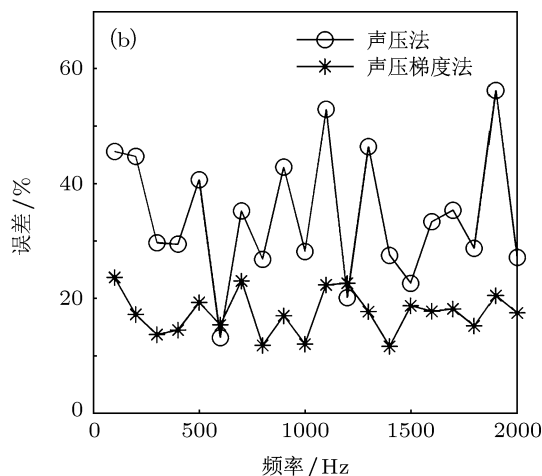
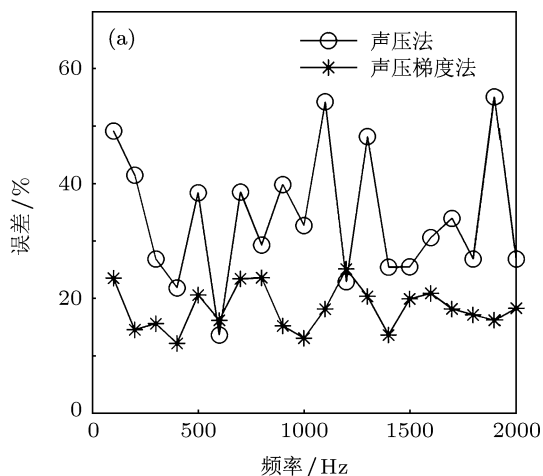


图11 基于声压和声压梯度参考的虚相干涉法分解的部分场声压幅值误差 (a) 部分场1结果; (b) 部分场2结果

4 实验验证

实验是在空旷的大房间进行, 实验测量装置如图10所示. 所用声源为两个音频特性不一样的音响, 两个音响的纸盆中心位置分别为 $(-0.25, 0, 0)$ m 和 $(0.25, 0, 0)$ m, 通过两个独立的声源信号驱动, 声源信号为白噪声, 两声源的相位差随机变化. 参考传声器共4个, 位置分别为 $(-0.25, 0, 0.044)$ m 和 $(-0.25, 0, 0.056)$ m, $(0.25, 0, 0.044)$ m 和 $(0.25, 0, 0.056)$ m. 全息测量面位于 $z_h = 0.10$ m 处, 全息测量面的大小为 $1\text{m} \times 1\text{m}$, 全息面上划分 21×21 个场点. 信号由多通道的信号采集器与42个传声器组成的阵列及参考传声器采集获得. 用扫描测量的方式采集声场信息, 采样频率为 10kHz , 进行50次采样.

图11和图12分别为采用虚相干涉法和偏相干涉法基于声压参考和基于声压梯度参考分解的部分

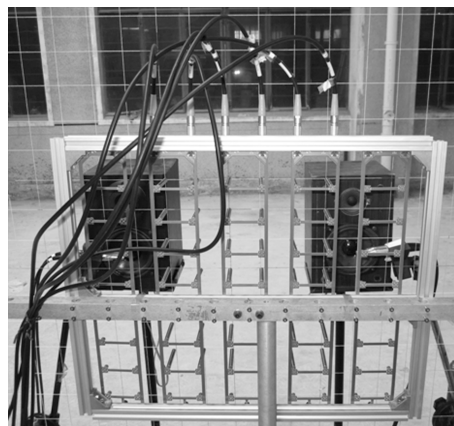


图10 实验测量装置图

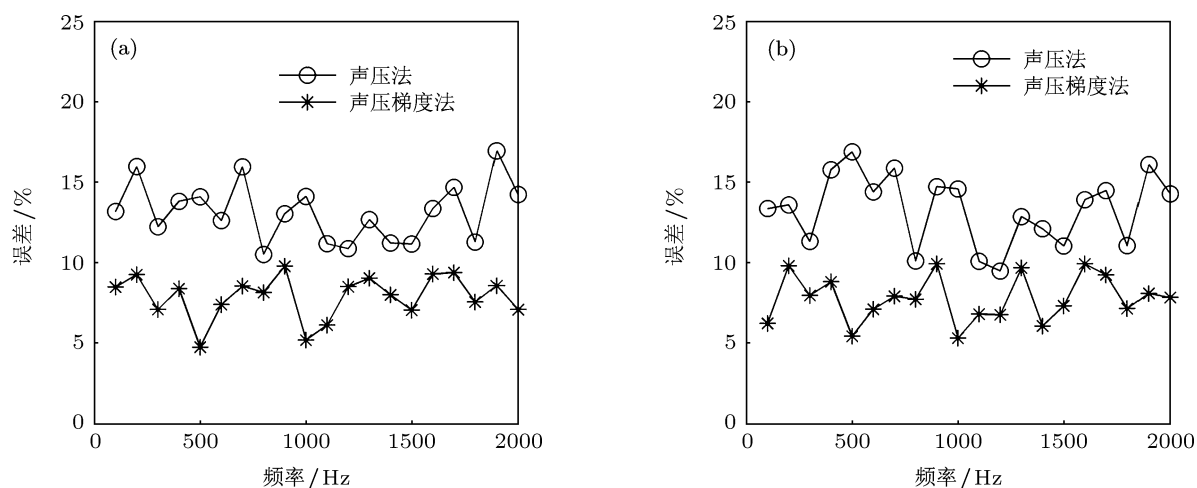


图 12 基于声压和声压梯度参考的偏相干法分解的部分场声压幅值误差 (a) 部分场 1 结果; (b) 部分场 2 结果

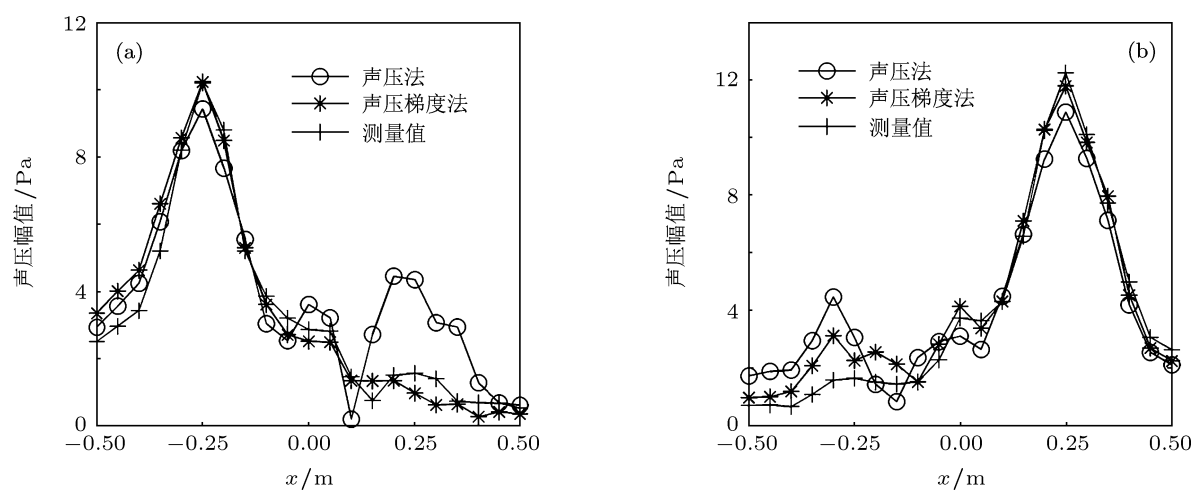


图 13 基于声压和声压梯度参考的虚相干法分解的部分场声压幅值 (a) 部分场 1 结果; (b) 部分场 2 结果

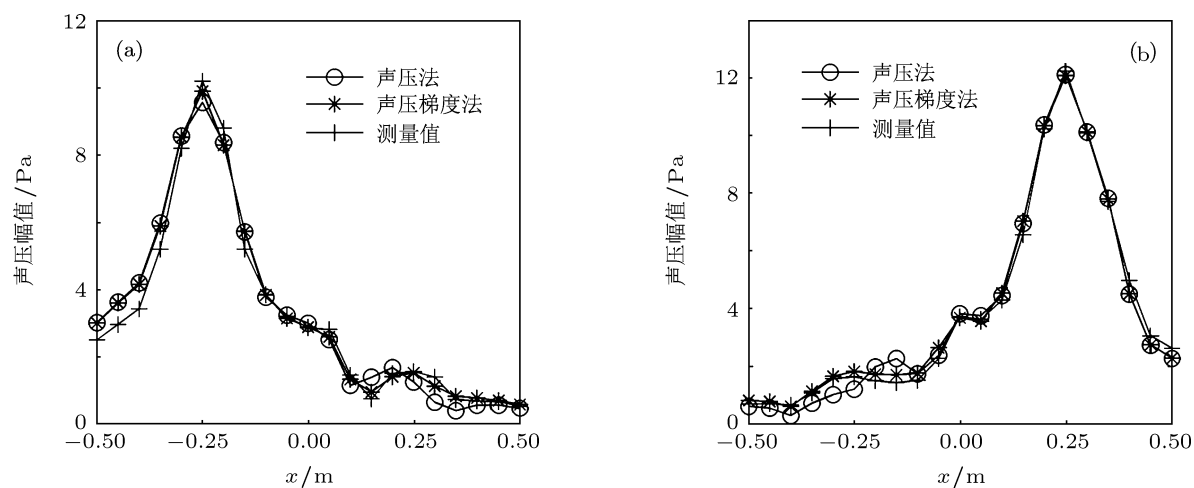


图 14 基于声压和声压梯度参考的偏相干法分解的部分场声压幅值 (a) 部分场 1 结果; (b) 部分场 2 结果

场的声压幅值误差比较. 与上节仿真分析结果相同, 无论采用哪种部分场分解算法, 基于声压梯度参考的分解结果误差均小于基于声压参考的分解结果误差; 采用偏相干法分解更加稳健, 能获得比虚相干法更优的结果. 图 13 和图 14 为 1000 Hz 时测量面中间一行的部分场分解结果比较, 进一步验证了上述结论.

5 结论

提出以声压梯度作为参考, 并建立一种基于声压梯度参考的部分场分解方法. 由于声压梯度比声压的衰减速度更快, 受到其他声源和环境噪声的影

响比声压小, 所以以声压梯度为参考在分解完全相干的部分场过程中比以声压为参考更具有优势. 通过数值仿真和实验验证表明: 在同等条件下, 基于声压梯度参考的分解结果比基于声压参考的分解结果更接近理论值 (或测量值), 误差更小, 精度更高; 同时无论是采用声压梯度参考还是采用声压参考, 偏相干法比虚相干法更加稳定, 分解的结果精度更高. 此外, 结果也表明: 在实际测量时应尽量使声压梯度测量的两传声器轴线方向垂直于源面方法以进一步提高部分场分解的精度. 由于该方法实施比较简单, 而且效果比较明显, 从而有利于在实际工程应用中推广.

-
- [1] Williams E G, Maynard J D, Skudrzyk E J 1980 *J. Acoust. Soc. Am.* **68** 340
 - [2] Maynard J D, Williams E G, Lee Y 1985 *J. Acoust. Soc. Am.* **78** 1395
 - [3] Bi C X, Zhang Y B, Xu L, Chen X Z 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 1108 (in Chinese) [毕传兴, 张永斌, 徐亮, 陈心昭 2010 物理学报 **59** 1108]
 - [4] Zhang H B, Jiang W K, Wan Q 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 313 (in Chinese) [张海濱, 蒋伟康, 万泉 2008 物理学报 **57** 313]
 - [5] Hald J 1989 *B&K technical review* **1** 1
 - [6] Hallman D, Bolton J S 1992 *Proc. Inter-noise* 92 p1165
 - [7] Bendat J S, Piersol A G 2000 *Random Data: Analysis and Measurement Procedures* (3rd Ed.) (New York: Wiley) p218
 - [8] Tomlinson M A 1999 *Applied Acoustics* **57** 243
 - [9] Nam K U, Kim Y H 2001 *J. Acoust. Soc. Am.* **109** 1808
 - [10] Nam K U, Kim Y H 2004 *J. Acoust. Soc. Am.* **116** 172
 - [11] Kwon H S, Kim Y J, Bolton J S 2003 *J. Acoust. Soc. Am.* **113** 360
 - [12] Lee M, Bolton J S, Mongeau L 2003 *J. Acoust. Soc. Am.* **114** 842
 - [13] Kim Y J, Bolton J S, Kwon H S 2004 *J. Acoust. Soc. Am.* **115** 1641
 - [14] Lee M, Bolton J S 2006 *J. Acoust. Soc. Am.* **119** 382
 - [15] Kang Y J, Hwang E S 2008 *J. Sound. Vib.* **314** 867

An investigation of partial field decomposition using pressure gradient reference*

Bi Chuan-Xing[†] Guo Ming-Jian Zhang Yong-Bin Xu Liang

(*Institute of Sound and Vibration Research, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China*)

(Received 6 December 2011; revised manuscript received 3 January 2012)

Abstract

The incoherent sound field obtained by scanning measurement cannot be used directly for nearfield acoustic holography to reconstruct the sound field. And therefore, the incoherent sound field needs to be decomposed into fully coherent partial fields. In previous methods, the pressure is used as reference to obtain the partial fields. In this paper, the pressure gradient is used as the reference for the partial field decomposition. Because the pressure gradient decays faster than the pressure, the interaction of the pressure gradient between the incoherent sources is weaker than that of the pressure, which may improve the effect of the partial field decomposition. A numerical simulation and an experiment are conducted to test the feasibility of the method. And it is shown that the partial field decomposition method based on pressure gradient reference is robust and the decomposed results are better than those based on pressure references.

Keywords: incoherent sound field, nearfield acoustic holography, pressure gradient, partial field decomposition

PACS: 43.35.Sx, 43.60.Sx

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10974040, 11004045), the Program for New Century Excellent Talents in University (Grand No. NCET-08-0767), and the Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (Grand No. 20100111110007).

[†] E-mail: cxbi@hfut.edu.cn