

联合波叠加法的全息理论与实验研究^{*}

李卫兵[†] 陈 剑 毕传兴 陈心昭

(合肥工业大学噪声振动工程研究所, 合肥 230009)

(2005 年 3 月 15 日收到, 2005 年 8 月 20 日收到修改稿)

当空间声场中同时存在多个相干声源时, 运用常规近场声全息方法无法重建每个相干声源表面的声学信息, 当然也无法预测每个声源单独产生的空间声场. 相干声场的全息重建与预测已成为全息技术推广应用中亟待解决的问题. 在提出联合波叠加法并将其应用于空间声场变换的基础上, 对其进行了实验研究. 通过对实际相干声场的全息重建与预测, 验证了常规波叠加法在相干声场重建中的局限性. 联合波叠加法在相干声场全息重建与预测过程的可行性和准确性, 还研究了 Tikhonov 正则化方法在抑制声学逆问题的非适定性中的有效性和滤波系数的选择原则的可行性, 以提高全息重建与预测的精度.

关键词: 近场声全息, 联合波叠加, 相干声场, Tikhonov 正则化

PACC: 4320, 4363

1. 引 言

近场声全息技术作为声学逆问题的一个分支^[1-3], 已经发展成为一种声源识别和声场辐射问题研究的有效技术. 它只需测量声源附近全息面上的复声压数据, 就可以重建与预测整个三维空间的声压场、质点振速及声强矢量场, 因而对有效地进行噪声源识别、控制和声辐射特性的研究具有重要意义^[4-15].

上世纪 80 年代初, Williams 提出了基于空间声场变换的近场声全息方法^[4-6], 但它只能重建平面、柱面及球面等可分离变量的空间声场, 因而在一定程度上限制了其适用范围. 为了克服这一缺点, Veronesi 和 Maynard 在 1989 年提了基于边界元法的近场声全息技术; 它可以分析具有任意表面形状的内部和外部声辐射场, 但在重建声源表面声场时存在奇异积分和解的非唯一性问题^[7-12]. 为了避免奇异积分问题, Koopmann 等提出了波叠加技术^[13, 14]. 文献^[15]将其应用于单源声场的重建与预测, 并且取得了很好的效果.

但实际声场通常存在多个声源, 对于非相干声源, 可以采用常规波叠加法; 对于相干声源, 由于常

规波叠加法无法分离出全息面上每个声源单独产生的标量声压, 所以无法重建相干声场中单个相干声源表面的声学信息, 也就无法预测单个相干声源所辐射的空间声场, 给噪声源辐射特性的分析及其控制带来许多不便, 所以相干声场的全息重建已经成为全息技术推广过程中亟待解决的问题. 由于辐射声源之间的相互影响是十分微弱的, 并且对于非理论声源也无法了解它们之间的相互作用, 所以本文所研究的相干声场, 都忽略了相干声源之间的相互作用. 大量的实验和仿真结果也表明这种处理是可行的.

本文提出了联合波叠加法, 并将其应用于相干声场的全息重建与预测. 它利用相干声场的可叠加性, 通过构造全息面与多个相干声源之间的联合声压匹配矩阵, 精确地重构出各个相干声源的表面声学信息, 进而分别预测每个相干声源的空间声场分布, 再叠加以获得整个相干声场的空间分布, 从而实现了相干声场中单个相干声源表面声学信息的重建及其辐射声场的预测. 详细地介绍了采用联合波叠加法实现相干声场重建与预测的实验过程, 并且采用 Tikhonov 正则化方法来抑制声学逆问题中的非适定性, 以提高全息重建与预测的精度, 还对 Tikhonov 正则化方法中滤波系数的选择进行了探讨, 得出了一些重要的结论.

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 10504006)及教育部重点项目(批准号: 02126)资助的课题.

[†] E-mail: hf_lwb@sina.com

2. 联合波叠加法的基本理论

2.1. 基于常规波叠加法的声全息理论

理想流体媒质中,由表面法向振速已知的声源产生的小振幅时间谐振声场,其在无限域中引起的外部声辐射问题可以 Helmholtz 方程描述为

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}) + k^2 p(\mathbf{r}) = 0, \quad (1)$$

式中 $p(\mathbf{r})$ 为点 \mathbf{r} 上的复声压; $k = \omega/c = 2\pi/\lambda$ 为声波数, c 为声速, λ 为声波长, ω 为角频率.

如图 1 所示的声辐射外问题中, S 为声源的闭合表面,其外部区域为 E ,内部区域为 D . 现假设在 D 域中,所有的等效简单源连续分布在一虚构的闭合曲面上,将该等效声源体记为 O ,则满足(1)式的空间声场中任意点 \mathbf{r} 处的复声压可以用波叠加积分公式表示为

$$p(\mathbf{r}) = \int_{\Omega} i\rho c k q(\mathbf{r}_o) g(\mathbf{r}, \mathbf{r}_o) d\Omega, \quad (2)$$

其微分形式为

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}) = \int_{\Omega} q(\mathbf{r}_o) \nabla g(\mathbf{r}, \mathbf{r}_o) d\Omega, \quad (3)$$

式中, \mathbf{r}_o 为 O 上的任意一点, $p(\mathbf{r})$ 和 $\mathbf{u}(\mathbf{r})$ 分别为点 \mathbf{r} 处的声压和振速矢量, $q(\mathbf{r}_o)$ 为位于点 \mathbf{r}_o 处的等效简单源的源强, ∇ 为梯度运算符.

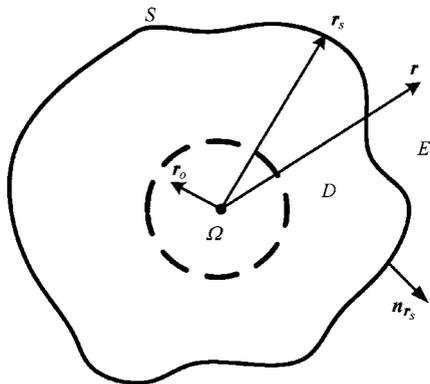


图 1 声源与声场各域之间的位置关系

等效源的连续分布无法实现计算,所以实际采用的是在虚构曲面上放置若干个简单源来代替的办法,设 N 为简单源的单个数,且表面 S 上有 M ($M \geq N$) 个边界结点. 则针对这 M 个边界结点(2)(3)式表示成矩阵形式为

$$\mathbf{P}_s = \mathbf{DQ}, \quad (4)$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{EQ}, \quad (5)$$

式中, $\mathbf{P}_s = [p(\mathbf{r}_{s1}) p(\mathbf{r}_{s2}) \dots p(\mathbf{r}_{sM})]^T$ 为声源表面声压列向量; $\mathbf{U} = [u(\mathbf{r}_{s1}) u(\mathbf{r}_{s2}) \dots u(\mathbf{r}_{sM})]^T$, 为声源表面边界结点处的法向振速列向量;

$$\mathbf{Q} = [q(\mathbf{r}_{o1}) q(\mathbf{r}_{o2}) \dots q(\mathbf{r}_{oN})]^T$$

为等效源序列的源强列向量; \mathbf{D} , \mathbf{E} 分别为等效源序列与声源表面之间的声压与法向振速匹配矩阵,且

$$D_{mm} = i\rho c k g(\mathbf{r}_{sm}, \mathbf{r}_{on}), \quad (6)$$

$$E_{mm} = \partial g(\mathbf{r}_{sm}, \mathbf{r}_{on}) / \partial n_{r_{sm}}, \quad (7)$$

式中 $\partial/\partial n_{r_s}$ 为曲面 S 在点 \mathbf{r}_s 处的外法向导数.

设全息面上有 M 个测量点 \mathbf{r}_{hm} , 则同样有

$$\mathbf{P}_h = \mathbf{HQ}, \quad (8)$$

式中, \mathbf{P}_h 为全息面声压列向量, \mathbf{H} 为等效源序列与全息面之间的声压匹配矩阵,且

$$H_{mm} = i\rho c k g(\mathbf{r}_{hm}, \mathbf{r}_{on}). \quad (9)$$

基于波叠加方法的全息重建与预测方法就是:由(8)式求出等效源序列的源强列向量 \mathbf{Q} , 将其代入(4)(5)式中即可重建出声源表面 S 上的声压 \mathbf{P}_s 与法向振速 \mathbf{U} , 实现声场的全息重建; 将其代入(2)(3)式中即可预测声场中任意场点处的声压 $p(\mathbf{r})$ 与振速矢量 $\mathbf{u}(\mathbf{r})$, 实现声场的全息预测.

2.2. 误差分析及正则化处理

假设全息面测量声压 $\tilde{\mathbf{P}}_h$ 为其真实值 \mathbf{P}_h 和随机误差 \mathbf{P}_{he} 之和, 即

$$\tilde{\mathbf{P}}_h = \mathbf{P}_h + \mathbf{P}_{he}. \quad (10)$$

为了更好地分析 \mathbf{P}_{he} 对 \mathbf{Q} 的计算结果的影响, 先对 \mathbf{H} 做奇异值分解得

$$\mathbf{H} = \mathbf{V} \text{diag}(\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_N) \mathbf{W}^H, \quad (11)$$

式中 $\Lambda_1 \geq \Lambda_2 \geq \dots \geq \Lambda_N \geq 0$, (12)

$$\mathbf{v}_i^H \mathbf{v}_j = \delta_{ij}, \mathbf{w}_i^H \mathbf{w}_j = \delta_{ij}, \quad (13)$$

式中, Λ_i 代表奇异值; \mathbf{v}_i 和 \mathbf{w}_i 分别是左、右奇异矢量.

运用(11)式, 可得到

$$\mathbf{Q} = \sum_{i=1}^N \frac{\tilde{\mathbf{P}}_h \cdot \mathbf{v}_i}{\Lambda_i} \mathbf{w}_i \quad (14)$$

式中, \cdot 表示求内积.

随着 i 的增大, 奇异值 Λ_i 会越来越小, 则 \mathbf{w}_i 的权重系数增大; 从而使随机测量误差 \mathbf{P}_{he} 的影响被放大. 所以必须采取相应的滤波措施来抑制 \mathbf{P}_{he} 对

计算结果的影响.

正则化滤波的主要宗旨是抑制(14)式中重建结果贡献小,而对误差非常敏感的较小奇异值的影响.通常采用的方法是对(14)式中的每项加上滤波因子,这样就有

$$\mathbf{Q}_{\text{reg}} = \sum_{i=1}^N f_i \frac{\tilde{\mathbf{P}}_h \nu_i}{\Lambda_i} \mathbf{w}_i, \quad (15)$$

式中 f_i 为滤波系数,滤波系数随着奇异值 Λ_i 的减小而趋近于零,这样就削弱了其对误差的敏感性.

根据不同的滤波系数选择方法,正则化方法可以分为好几种.其中 Tikhonov 正则化方法是应用比较多的一种有效方法,它的主要思想是使由(15)式求得的 \mathbf{Q}_{reg} 满足解的残余范数 $\|\mathbf{H}\mathbf{Q}_{\text{reg}} - \tilde{\mathbf{P}}_h\|_2$ 和解的范数 $\|\mathbf{Q}_{\text{reg}}\|_2$ 之间的联合加权达到最小,也就是

$$\min_{\mathbf{Q}_{\text{reg}}} \|\mathbf{H}\mathbf{Q}_{\text{reg}} - \tilde{\mathbf{P}}_h\|_2^2 + \lambda^2 \cdot \|\mathbf{Q}_{\text{reg}}\|_2^2, \quad (16)$$

满足上式的 \mathbf{Q}_{reg} 为

$$\mathbf{Q}_{\text{reg}} = \sum_{i=1}^N \frac{\Lambda_i^2}{\Lambda_i^2 + \lambda^2} \frac{\tilde{\mathbf{P}}_h \nu_i}{\Lambda_i} \mathbf{w}_i, \quad (17)$$

式中 $\lambda > 0$ 为正则化滤波系数, \mathbf{Q}_{reg} 只受 λ 影响.且(15)式中 $f_i = \Lambda_i^2 / (\Lambda_i^2 + \lambda^2)$.

由(17)式可以看出,滤波系数 λ 的选取对正则化结果有着非常关键的影响. λ 的选择一般采用 L 曲线法则^[16].

2.3. 联合波叠加法

当空间声场为相干声场时,测量声压是多个相干声源在全息面上产生的声压叠加,而现有的仪器和设备是无法将每个声源各自产生的声压分离开来的.对某个具体声源而言,测量声压既包含了该声源自身在全息面上产生的声压,也包含了其余声源在全息面上产生的声压.若仍然采用常规波叠加方法来重建该声源的表面信息时,则其余声源在全息面产生的声压会以噪声的形式叠加在该声源自己在全息面上产生的声压上.而全息重建属于声学逆问题,测量数据的微小误差都会对重建结果产生很大影响,甚至是产生毫无意义的重建结果,所以无法通过常规波叠加方法来实现相干声源表面声学信息重建.

为此,下面介绍联合波叠加方法的基本原理.

假设空间声场中同时存在 K 个辐射源,每个辐

射源在全息面上点 \mathbf{r}_h 处产生的复声压为 $p_k(\mathbf{r}_h)$,则根据相干声场的可叠加性知全息面上点 \mathbf{r}_h 处的测量声压 $p(\mathbf{r}_h)$ 为

$$p(\mathbf{r}_h) = \sum_{k=1}^K p_k(\mathbf{r}_h), \quad (18)$$

则对全息面上的 M 个测量点,结合(8)式可得

$$\mathbf{P}_h = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_k \mathbf{Q}_k, \quad (19)$$

式中 \mathbf{H}_k 为第 k 个辐射源的等效源序列与全息面之间的声压匹配矩阵, \mathbf{Q}_k 为第 k 个辐射源的等效源序列的源强列向量.

将各个相干源的 \mathbf{H}_k 及其对应 \mathbf{Q}_k 分别进行合并,即令

$$\mathbf{H}_T = [\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2, \dots, \mathbf{H}_K], \quad (20)$$

$$\mathbf{Q}_T = [\mathbf{Q}_1^T, \mathbf{Q}_2^T, \dots, \mathbf{Q}_K^T]^T, \quad (21)$$

式中 \mathbf{H}_T 称为辐射源与全息面之间的联合声压匹配矩阵, \mathbf{Q}_T 称为等效简单源序列的联合源强列向量,上标 T 表示转置矩阵.则有

$$\mathbf{P}_h = \mathbf{H}_T \mathbf{Q}_T. \quad (22)$$

(22)式与(8)式具有相同的形式,则结合前面介绍的正则化方法即可求得 $\mathbf{Q}_{K(\text{reg})}$,对 $\mathbf{Q}_{K(\text{reg})}$ 进行列向量分解可分别得到 K 个声源的等效简单源的源强列向量 $\mathbf{Q}_{k(\text{reg})}$,再运用和常规波叠加法相同的步骤即可实现每个声源单独产生的声场的重建与预测,叠加后则可实现相干声场的重建与预测.这就是联合波叠加法的基本原理和其全息重建与预测公式.

3. 实验研究

实验是在半消声室中完成的,测量装置如图2所示.实验中发声装置为两只尺寸相同的音箱,相干声场频率为 630Hz.

两音箱的前端面同在平面 $x = 7\text{cm}$ 上,两者纸盆中心的位置坐标分别为 $(7\text{cm}, -20\text{cm}, 0)$ 和 $(7\text{cm}, 20\text{cm}, 0)$,纸盆中心距地面 1.32m.全息面为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的平面,全息面上均匀分布 21×21 个测点,全息面与音箱前端面之间的平行距离为 0.15m,且全息面中心对准空间坐标原点.

计算过程中,每个音箱的外表面均匀地分布 54 个结点,在音箱的角边处采取稍离结点法进行网格结点的划分^[17],等效简单源位于音箱表面结点背离分析域(即位于音箱内部)的法向方向上,每个等效简单源与其对应的表面结点之间的距离为该结点所

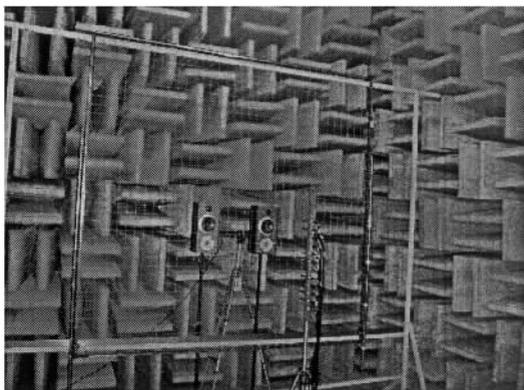


图 2 半消声室中的实验系统照片

在平面与坐标原点之间距离的 0.2 倍。

实验过程中,时域声压信号由图 2 中固定在两音箱附近的参考传声器和在全息面上扫描移动的 11 只扫描传声器测量.图 3 即为测量得到的全息面声压.

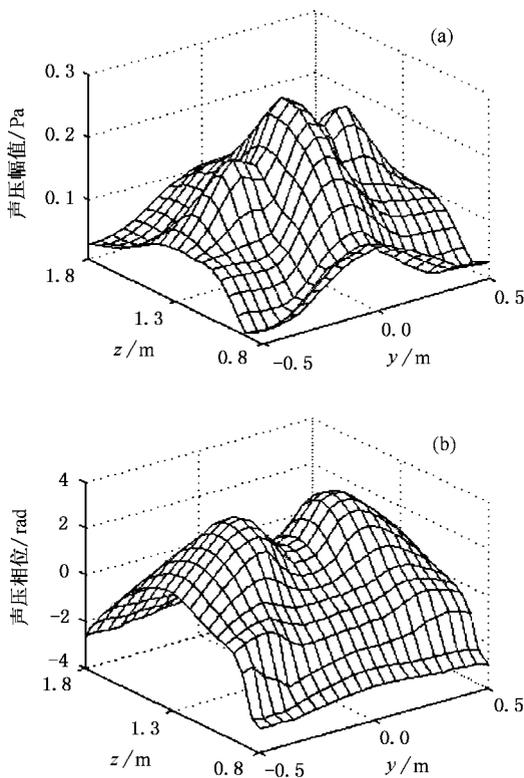


图 3 全息面声压 (a)全息面声压幅值 (b)全息面声压相位

3.1. 常规波叠加法的局限性验证

下面采用常规波叠加法来重建图 2 所示的相干声场中左边音箱(记为 1 号音箱)的表面法向振速,

以验证常规波叠加法在单个相干声源表面声学量重建过程中的局限性。

图 4 所示即为常规波叠加法重建的 1 号音箱表面法向振速.音箱纸盆实际位置在前端面左右方向的中间、距上端面 0.135m 处.显然,图 4 所示的表面法向振速与纸盆的实际位置不符;并且从图 4 可以发现:1 号音箱右侧面和后端面的法向振速也比较大,而且前端面上纸盆位置也向右侧偏移,这是由于在重建 1 号音箱表面法向振速时,采用的是 1 号和 2 号音箱在全息面上产生的声压之和作为全息声压,而 2 号音箱的声压贡献必然在离其相对比较近的 1 号音箱的前端面、右侧面和后端面上反映出来,这样就出现了图 4 所示的重建结果。

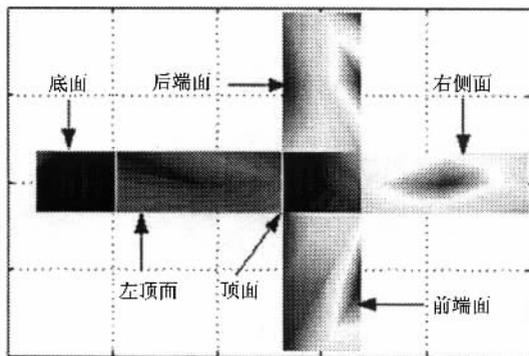


图 4 1 号音箱表面法向振速分布

常规波叠加法无法准确重建相干声场中各个相干声源表面声学量,当然也无法对每个相干声源产生的空间声场进行全息重建与预测,这对相干声源的辐射特性和其辐射声场的研究和控制带来不便.所以图 4 的重建结果充分证明了常规波叠加法在相干声场全息重建与预测过程中的局限性。

3.2. 联合波叠加法对相干声场的重建与预测

为了验证本文提出的联合波叠加法在单个相干声源表面声学量重建与其辐射声场预测,及整个相干声场全息重建与预测过程中的有效性和准确性,以及忽略相干声场中相干声源之间的相互作用在实际应用中的可行性,下面采用联合波叠加法来重建与预测 1、2 号音箱产生的相干声场。

图 5 所示的 1、2 号音箱表面法向振速分布情况,准确地显示了两音箱的纸盆位置.同时从图 5 也可以发现 2 号音箱的纸盆振动较 1 号音箱要大,实际测量发现 2 号音箱的纸盆中心前 5mm 处的声压级比 1 号音箱相同位置处的声压级高 1dB。

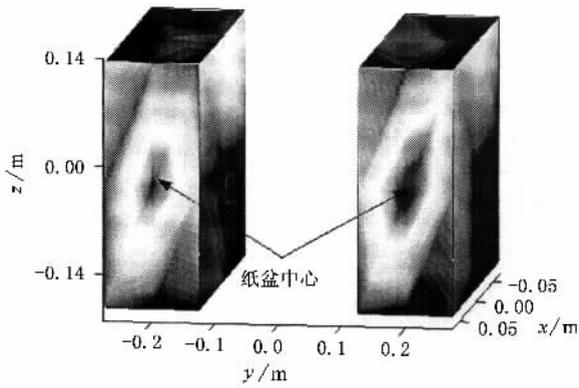


图5 1 2号音箱表面法向振速分布

为了进一步验证联合波叠加法在整个相干声场重建与预测过程中的有效性和准确性,选取平面 $x = 0.105\text{m}$ 为相干声场的全息预测面。

图6所示为预测面第11行上计算声压幅值和测量声压幅值之间的比较情况。

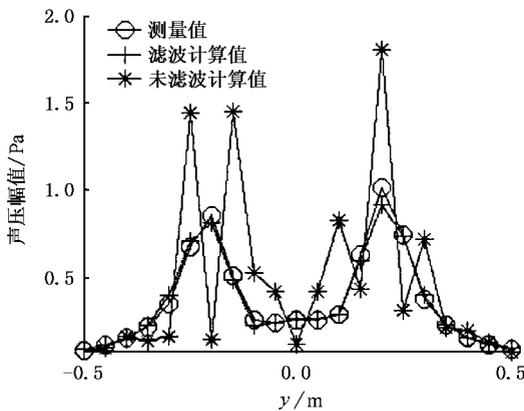


图6 预测面第11行计算声压幅值和测量声压幅值

定义其计算的预测面声压幅值的相对误差为

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_T} |p_i - \bar{p}_i|^2}{\sum_{i=1}^{N_T} |\bar{p}_i|^2}}, \quad (23)$$

式中 N_T 为所有预测表面节点总数, p_i 和 \bar{p}_i 分别为第 i 个节点上计算和测量声压。则滤波时,联合波叠加法计算的预测面声压幅值的相对误差 $\eta = 18.82\%$ 。同样的方法可以计算滤波时,图6所示的第11行上的计算声压幅值的相对误差为 6.67% 。可见虽然在整个预测面上的预测精度不是很高,但是在正对音箱纸盆区域上的预测精度还是很高的。其原因是由于全息面边缘区域上测量声压信号的信噪比较中心区域要低,而对应的预测面边缘区域上计算声压又主要受全息面边缘区域的测量声压影响,

所以预测面边缘区域的重建精度比中心区域要低很多,从而使整个预测面的精度降低。

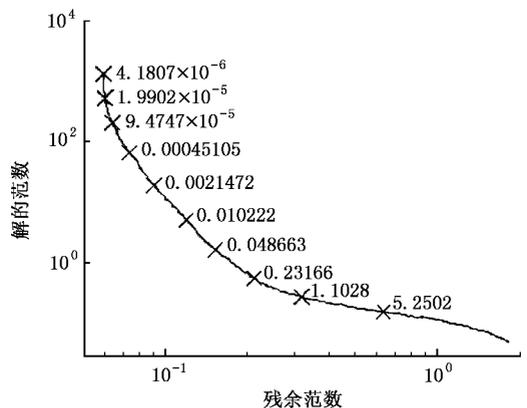
图5中所示的表面法向振速分布情况和以上计算的预测相对误差,充分证明了联合波叠加法在相干声场预测过程中的准确性。

在以上相干声源表面声学量的重建和相干声场的预测过程中,都忽略了相干声源之间的相互作用,这也验证了本文为了简化计算过程而忽略相干声源之间的相互作用在实际应用中是可行的。

3.3. Tikhonov 正则化滤波的作用及滤波系数的选择

图6所示的未滤波计算声压幅值,由于没有采用正则化滤波抑制全息面上测量误差对计算结果的影响,所以计算值与测量值之间的差距非常大。并且其上的重建精度也由滤波时的 6.67% 下降为 88.9% 。对比滤波与不滤波所对应的重建精度,Tikhonov 正则化滤波方法在抑制全息测量误差对重建与预测结果的影响方面的作用就非常明显了,同时也表明只要选择合适的滤波系数,重建与预测结果的精度是非常高的。

Tikhonov 正则化滤波方法实施的关键是滤波系数 λ 的选择。根据2.2节的讨论可知,滤波系数可以根据 L 曲线准则来确定。但是由于影响重建与预测结果的因素是多方面的,所以该准则在实际过程中要灵活运用。

图7 L 曲线

由于所绘制的 L 曲线变化比较平滑,所以拐点不是很明显。但是从其变化的趋势看,拐点的大概位置应在 $0.01 \leq \lambda \leq 0.2$ 之间,所以可以在这个区间内选取若干点,比较预测的效果,选择合适的滤波系数,以获得最佳的重建与预测效果。按照上述的滤波系数选择方法,选定滤波系数为 0.05 。图5和图6中

采取滤波措施时的滤波系数均为 0.05,这充分说明了该滤波系数选择方法的有效性.图 4 所示的重建结果也是正则化滤波以后得到的,滤波系数为 0.1,由于 2 号音箱在全息面上产生声压全部以噪声的形式体现在 1 号音箱的表面法向振速的重建过程中,所以虽然进行了滤波,也不可能获得准确的结果.

4. 结 论

提出了联合波叠加法,将其应用于相干声场的全息重建与预测过程,解决了常规波叠加法在相干声源表面声学量重建及其辐射声场的全息预测过程中的局限性,使得相干声场的全息重建与预测问题

得到有效解决,分析了测量误差对重建与预测结果的影响,提出用 Tikhonov 正则化滤波方法来抑制误差的影响,讨论了滤波系数的选择问题.通过实验验证了常规波叠加法的局限性、联合波叠加理论推导的正确性、Tikhonov 正则化滤波方法的有效性和滤波系数选择准则的可行性.

理论分析和实验结果表明:联合波叠加法解决了相干声源表面声学量重建及其单独辐射声场的全息预测问题,有利于更加深入和具体地了解辐射源的辐射特性及其辐射声场的空间分布特点,为相干噪声源的识别和控制提供了有力手段,拓宽了全息技术的应用范围.

-
- [1] You Y X , Miao G P 2000 *Acta Phys. Sin.* **51** 2038 (in Chinese)
[尤云祥、缪国平 2002 物理学报 **51** 2038]
- [2] You Y X , Miao G P , Liu Y Z 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1103 (in Chinese) [尤云祥、缪国平、刘应中 2001 物理学报 **50** 1103]
- [3] You Y X , Miao G P 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 270 (in Chinese)
[尤云祥、缪国平 2002 物理学报 **51** 270]
- [4] Williams E G , Maynard J D 1980 *Phys. Rev. Lett.* **45** 554
- [5] Williams E G , Maynard J D , Eugen S 1980 *J. Acoust. Soc. Am.* **68** 340
- [6] Maynard J D , Williams E G , Lee Y 1985 *J. Acoust. Soc. Am.* **78** 1395
- [7] Veronesi W A , Maynard J D 1989 *J. Acoust. Soc. Am.* **85** 1307
- [8] Gardner B K , Berthar R J 1988 *Trans. ASME , J. Vib. Acoust. Reliab. Des.* **110** 84
- [9] Kim G T , Lee B T 1990 *J. Sound. Vib.* **136** 245
- [10] Bai M R 1992 *J. Acoust. Soc. Am.* **92** 533
- [11] Kim B K , Ih J G 1996 *J. Acoust. Soc. Am.* **100** 3003
- [12] Kim B K , Ih J G 2001 *J. Acoust. Soc. Am.* **107** 3289
- [13] Koopmann G H , Song L , Fahnlne J 1989 *J. Acoust. Soc. Am.* **86** 2433
- [14] Song L , Koopmann G H , Fahnlne J 1991 *J. Acoust. Soc. Am.* **89** 2625
- [15] Yu F , Chen J , Li W B *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2607 (in Chinese) [于 飞、陈 剑、李卫兵等 2004 物理学报 **53** 2607]
- [16] Hansen P C 1992 *S. I. A. M. Rev.* **34** 561
- [17] Zhang S Y 1998 *A study on a new numerical method for the calculation of the machine acoustic radiation* (Hefei : Dissertation) P57 (in Chinese) [张胜勇 1998 机器声辐射计算的新型数值方法的研究 (合肥 : 博士论文) 第 57 页]

Investigation on holographic algorithm and experiment of combined wave superposition approach^{*}

Li Wei-Bing[†] Chen Jian Bi Chuan-Xing Chen Xin-Zhao

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

(Received 15 March 2005 ; revised manuscript received 20 August 2005)

Abstract

The general near-field acoustic holography (NAH) cannot reconstruct the surface acoustic information of each coherent acoustic source in coherent acoustic field ,which has more than one acoustic sources with the same frequency , and they cannot realize holographic reconstruction and prediction of the independent acoustic field generated by one coherent acoustic source too . So the holographic reconstruction and prediction of coherent acoustic field has become the foremost problem to be resolved in the application of NAH . On the basis of the proposed combined wave superposition approach , an experiment is carried out to realize the holographic reconstruction and prediction of a coherent acoustic field generated by two sound boxes . By this experiment the feasibility and accuracy of combined wave superposition approach are demonstrated ,the shortcoming of general wave superposition approach in holographic construction and prediction of coherent acoustic field are also demonstrated . The Tikhonov regularization method is proposed to control the ill-posedness of inverse acoustic problem , and the principle of filter coefficient selection is also studied . The experiment indicates that Tikhonov regularization method with appropriate filter coefficient can improve the precision of the holographic reconstruction and prediction .

Keywords : near-field acoustic holography , combined wave superposition , coherent acoustic field , Tikhonov regularization method

PACC : 4320 , 4363

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10504006) and by the Key Project of Chinese Ministry of Education (Grant No. 02126).

[†] E-mail : hf_lwb@sina.com