声强探头相位误差的电补偿技术

陈继康 张 益

(南京师范大学物理系 南京 210097) 1994年10月17日收到

摘要 以双传声器技术为基础的声强测量方法对两个传声通道的相位特性非常敏感.本文介绍了对声 强探头进行相位匹配以及使用精密相位计进行测量的方法和实例.通过在声强探头后级电路中采用一 种移相网络进行相位补偿,在大部分频段上减小了相位误差,可以改善声强测量的精度.文中提供了基本 的电路原理图和典型的实验数据.

关键词 声强,探头,相位,补偿

Electrical Compensation Technique for the Phase Error of Sound Intensity Probe

Chen Jikang, Zhang Yi

(Physics Department, Nanjing Normal University Nanjing, 210097)

Abstract Sound intensity measurement based on the two-microphone technique are highly sensitive to difference between the phase response of the microphone channels. The approach and examples of the phase matching design and the measurement by a precise phasemeter are given in this paper. After being compensated by electrical phase-shift network, the phase error between the two microphones is reduced and the accuracy of sound intensity measurement could be improved in most frequency ranges. The fundamental electronic circuit and the experimental data are shown. Key words Sound intensity, Probe, Phase, Compensation

1 引言

声强测量技术在噪声控制工程中有广泛的 应用^[1]. 国际标准 ISO9614^[2] 对有关测量范围、精 度要求、声环境、仪器装备、操作程序和具体 的数据处理等作出了明确规定. IEC1043^[3] 对 声强测量仪器提出了具体的精度分级标准,如 果以"压强梯度法"为测量基础,技术上最难 满足的指标是声强探头双路输出信号之间的精 确匹配. 直接应用普通电容传声器难以满足对 两路信号之间相位匹配的要求,在一般实验室 条件下很难对电容传声器的机械声学结构作较 大的改动.我们在多年实验的基础上,对声强 探头输出的双路信号进行了电路补偿,取得一 定的效果.

2 相位补偿方法

图 1 是移相网络中的一个电路调整单元的 原理图.图中 A 是运算放大器, R 是可调电 阻, C 是移相电容, R₁=R₂, C₆ 是运算放大器

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. ¹4卷第6期. Www.cnki.n



图1 移相电路单元

频率补偿电容. 可得传递函数:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC} \tag{1}$$

输出电压 V。对输入电压 V,的相移值为

$$\Delta \varphi = -2 \operatorname{arctg} \omega RC \tag{2}$$

如果选择较大的 RC, 使在整个测量频率范围 内 ω RC>1, 输出电压对输入电压的相移值约 为 π +2/ ω RC, 改变电阻 R 或电容 C 的值就能 微调低频段的相移值; 如果选择较小的 RC, 使在整个测量频率范围内 ω RC<1, 输出电压 对输入电压的相移值约为 – 2 ω RC, 改变电阻 R 或电容 C 的值就能微调高频段的相移值.

图 2 是一个声强探头的相位补偿电路原理 图:运算放大器 A₁和 A₂分别对两路信号进行 均衡放大,把两个传声通道的灵敏度统一调整 到 50mV/Pa, A₃和 A₄对两路信号的高频相位 误差进行微调补偿, A₅和 A₆对两路信号的低 频相位误差进行微调补偿,移相元件均采用固 定电容,只利用可调电阻微调相移.

3 测量装置和实验结果

图 3 是声强探头的相位误差测量装置框图,



图 2 相位补偿电路原理图



图 3 相位误差测量装置框图

应用声学 · 27 · ?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.m

		쿢	長1 声强	探头相位误	差实验数携	居 (单位: 虏	E)			
频率	样品A		样 品 B		样 品 C		样 品 D		样品E	
(Hz)	未补偿	补偿后	未补偿	补偿后	未补偿	补偿后	未补偿	补偿后	未补偿	补偿后
20	0.42	0.02	0.13	0.03	0.05	- 0.02	-0.06	0.04	0.07	0.02
25	0.30	- 0.02	0.06	- 0.02	0.04	-0.02	- 0.04	0.04	0.06	0.02
31.5	0.22	- 0.02	0.04	- 0.02	0.08	0.03	-0.05	0.01	0.03	0.00
40	0.15	- 0.03	0.04	- 0.01	0.10	0.05	-0.09	- 0.03	0.02	-0.01
50	0.15	- 0.01	0.07	0.03	0.12	0.08	-0.08	- 0.04	-0.01	-0.03
63	0.13	0.02	0.12	0.10	0.13	0.09	0.10	-0.05	-0.04	-0.05
80	0.11	0.03	0.15	0.13	0.15	0.11	-0.12	-0.08	0.03	0.02
100	0.10	0.03	0.19	0.18	0.13	0.08	0.09	- 0.05	0.09	0.08
125	0.09	0.06	0.21	0.20	0.19	0.13	-0.14	-0.09	0.12	0.11
160	0.10	0.09	0.25	0.26	0.20	0.13	-0.17	- 0.13	0.11	0.11
200	0.17	0.08	0.30	0.31	0.26	0.18	-0.19	- 0.14	0.14	0.14
250	0.18	0.10	0.33	0.35	0.29	0.19	0.06	0.10	0.15	0.16
315	0.23	0.13	0.27	0.30	0.35	0.23	0.21	0.27	0.17	0.19
400	0.32	0.20	0.30	0.35	0.43	0.27	0.24	0.32	0.20	0.23
500	0.23	0.33	0.35	0.40	0.54	0.34	0.20	0.30	0.28	0.31
630	0.16	0.30	0.39	0.47	0.65	0.40	- 0.32	- 0.20	0.35	0.38
800	- 0.74	- 0.55	0.19	0.29	0.63	0.33	0.40	0.57	0.39	0.46
1000	- 0.86	- 0.60	- 0.32	-0.20	0.88	0.49	0.44	0.66	0.55	0.64
1250	0.55	0.20	- 0.54	- 0.38	1.05	0.57	0.60	0.86	- 0.35	- 0.21
1600	0.20	0.60	0.08	0.10	0.95	0.31	0.83	1.13	0.49	0.60
2000	0.40	0.90	0.23	0.38	0.60	- 0.20	0.10	0.50	0.31	0.41
2500	0.55	1.08	0.20	0.50	0.50	-0.50	-2.35	- 1.78	0.60	0.80

0.50

0.70

3.10

-0.80

-0.90

1.10

声强探头两个传声器通道的信号先由均衡放大 器调整灵敏度,再通过相位补偿器的移相网络 进行相位调整、然后送至量程控制器、输出合 适的信号电平送至精密相位计,显示出声强探 头的相位误差值.

1.21

- 1.20

-1.50

040

0.60

-1.90

0.80

1.10

-1.30

0.04

0.20

- 2.70

3150

4000

5000

表1列出了5个声强探头相位误差在补偿 前和补偿后的对照实验数据,从这些相位误差 数据可以看出两个传声通道的相位特性具有如 下几点规律:

 (1) 低频段 20 — 125Hz 左右的相位误差 可以通过低频移相网络进行有效的补偿,5个 声强探头样品的相位特性都得到了改善,特别 是样品 A. 补偿前的相位误差很大, 经过补偿 相位误差很小,得到了很好的低频相位特性.

(2) 有的声强探头在 160-500Hz 左右的

中低频段相位误差较大,如样品 B. 用移相网 络补偿这个频段的相位误差比较困难,目前只 能通过挑选传声器的办法来解决,样品 A.C. D.E就是经过挑选的传声器对组成的声强探头, 未经相位补偿就具有较小的中低频段相位误差.

-3.60

-2.20

1.30

-3.00

-1.20

2.10

0.70

0.50

-0.90

0.40

0.10

-1.40

(3) 500Hz 左右以上高频段的相位误差情 况比较复杂,可以把这个频段的相位误差分成 两部分,一部分是和频率成正比的成分,另一 部分是不规则的起伏成份, 高频移相网络可以 对前者进行补偿.补偿后样品 A、B、C 的高频 相位特性得到了改善。有的传声器对的相位误 差随着频率的增加变化得比较平稳,如样品C. 经过补偿达到了较好的技术指标.

(4) 难以用简单的移相网络对高频段相位 (下转第25页)

14卷第6期 ?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.

表中 $u \pm \sigma$ 中的 σ , 是 16 个 u, 的平均值 u的标准偏差.为了减小由于风机源的不稳定以 及环境等对动力校正因子 K 的测量影响,我 们选用 u 测量相对误差 $\delta = \pm \sigma/u \le 0.73\%$ 的 16 组数据 (u, \overline{u}) 进行最小二乘法线性拟合,得 出超声面平均流速 u^* 与线平均流速 u 之间的 关系及动力校正因子 K:

$$u^* = (0.970u - 0.012)$$
 (m/s) (11)

$$K = 0.970$$
 (11a)

式(11)的相关系数 r=0.9996.而 u^* 与 u^2 之间的相对误差 δ 也已列人表 2.显然,在 3—13m/s范围内超声波气体流量计的测速误 差小于 ± 2%.而且,实测的动力校正因子 K值与表 1 的理论估算值也相当一致.这进一步 证实了速差法超声波气体流量计不仅在实用 上,而且在原理上也是正确可信的.

4 结论

通过测量超声脉冲沿顺、逆流方向上的传 播声时 t₁₂ 和 t₂₁,用速差法得到流体的线平均

(上接第28页)

误差的不规则成分进行补偿,每个声强探头样品都或大或小地存在着高频相位误差的不规则成分,样品 A、B、C、E都是经过选择的,样品 D的相位误差不规则成分较大,必须利用其它传声器另行选配调试.

(5)如整个频段相位误差都不大,则经过 移相网络补偿后能达到较好的技术指标,如样 品 *E*.

在测量的 25 个频率点上,样品 B、D 的相 位特性未能得到有效的改进,样品 A、C、E 的 相位特性得到了不同程度的提高,其中样品 A 在低频段 125Hz 以下的相位补偿效果十分明 显.样品 C 的相位补偿效果最好,在 23 个频 率点上都得到了改进,特别是将 5000Hz 频率 点上的相位误差从 3.10 度调整到 1.10 度.

4 小结

声强测量的精度主要取决于声强探头两路

流速 u, 再由动力校正因子 K来确定流体的面 平均流速 u*, 从而实现气体大流量的检测, 这 种超声波气体流量计不仅具有对流体无流阻、 无压力损失, 受流体组分及环境影响小的优 点,而且测量精度高,还能工作于低频脉动气流场 合. 因此, 是一种极有应用前景的气体大流量 测试技术.

致谢 本工作的现场校准是在吴淞煤气厂进行. 吴淞煤气厂的蔡以志同志,武达贤高工等进行了 φ700 管道系统的设计和施工. 中国计量科学研究院流量室的徐英华工程师对该超声波气体流量计进行了校准测试,在此表示衷心感谢.

参考文献

- [1] 孙东谋. 高桥化工, 1992, (2): 45-47.
- [2] 同济大学声学研究室.超声工业测量技术,上海人民出版 社,1977.161-183.
- [3] International Organization for Standardization, ISO Standard Handbook Vol. 15, Switzerland, ISBN 9267 100769, 1983, 146-184.

信号之间的相位匹配,我们希望能把相位误差 减小到最低限度.在有限的实验条件下,探头 的相位误差限制了声强测量的精度.通过采用 电路相位补偿的方法,能在不同程度上改善声 强探头的性能,如果经过选择的传声器对能够 接近所需的要求,那么通过补偿就能达到所需 的要求.另外,如果后级声强分析系统是采用 窄带互谱方式的,可以对声强探头的相位误差 信息进行分析取样存储,纳入以后每次实时分 析的程序,可以对声强探头的相位误差进行更 加全面、更加有效的补偿.

参考文献

- [1] 马大猷,沈 嚎编著,声学手册,第一版.北京:科学 出版社,1983.589.
- [2] ISO, 9614-1: 1993 (E). 1-5.
- [3] IEC, 1043: 1993. 23-27.

· 在用声学。 ?T994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n