

化等特点。目前工业领域中广为应用的电动伺服马达的一个缺点是转速大、转矩小。当将其用于位置控制系统时,就必须配有一个减速齿轮以保证其低速运转,并获得较大的转矩。但配用减速齿轮总是不可避免地要带来一些毛病,诸如对驱动系统的反冲效应、对进给量的放大效应等。然而,超声马达却正好可以弥补这些不足。另外超声马达还可做成角度进动式的、直线进动式的等,因此其潜在的应用价值应

该说是可观的。

参 考 文 献

- [1] Satoshi Iwamatsu, Proc. of 6th. Symposium on Ultrasonic Electronics, Tokyo, 1985, 174—176.
- [2] Akira Endo, Jap. J. Appl. Phys. supp., 26-1 (1987), 197—199.
- [3] Love A.E.H., A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity, Dover, New York, 1944.

声级计整机灵敏度的校准与校准误差分析

吴 胜 举 张 明 锋

(陕西师范大学应用声学研究所)

1991年5月28日收到

本文分析了声级计整机灵敏度的校准方法与校准误差,并根据实测结果,指出了实际使用时校准声级计应注意的事项和减小校准误差的方法。

一、引 言

在实际工作中经常遇到下述情况:用两台经过校准的声级计测量同一个噪声源的噪声,其测量结果差别较大。究其原因,除声级计本身固有的系统误差和测量方法不对引起的误差外,一个主要的误差因素是校准本身有误差。下面我们根据大量实测数据来分析引起这一误差的主要因素及消除这些误差因素的方法。

二、两种校准方法的比较

声级计整机灵敏度的校准方法有两种,其一是用声校准器(本文指活塞发声器和声级校准器)校准,称为声校准;其二是用声级计内部的校准信号进行校准,称为电校准。详见图1。

声校准法是将声校准器与待校准声级计上的传声器耦合在一起,调节放大器的“灵敏度电位器”,使声级计的读数与声校准器产生的声压级

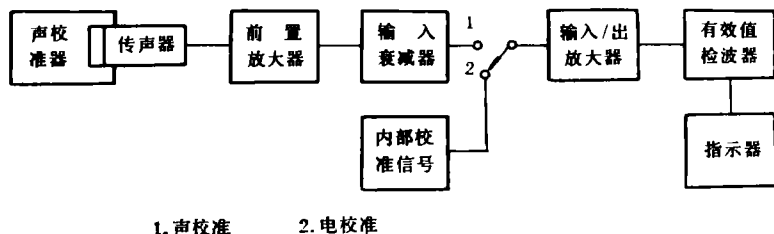


图1 两种校准方法的方框

表1 声级计整机灵敏度修正值 K 与其所配传声器的开路灵敏度修正值 K_0 的比较(单位: dB)

K_0	+0.3	+2.0	+0.4	-1.8	-1.4	0.0	0.0	0.0	-0.4	+0.3
K	-0.5	+0.8	-1.7	+0.3	-2.5	-0.5	0.0	+3.5	-2.2	+2.1

注: 声级计及其所配传声器型号略

(包括气压等修正)相同。电校准法是按说明书规定的方法将声级计置于校准工作状态, 调节其“灵敏度电位器”, 使其表头读数偏离校准线 K_0 dB, 这里 K_0 为所用传声器的开路灵敏度修正值。从图1可以看到, 两种校准方法的根本差别在于: 声校准法是对包括传声器在内的整个声级计进行校准, 而电校准法只是用传声器的开路灵敏度校准了输入衰减器之后的放大器的放大倍数。从理论上讲, 只有声级计的有关技术参数符合其设计要求, 才可以认为两种校准方法的校准效果是一样的。但实际情况并不尽然。表1是我们对一部分声级计用声校准法校准时所得放大倍数修正量 K (即声级计整机灵敏度修正值)与其所配传声器的开路灵敏度修正值 K_0 的比较, 不难看出, 其差值最大可达3dB以上。

三、校准误差分析

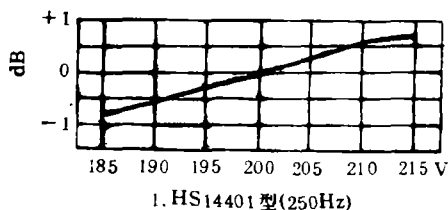
1. 声校准法

这种方法的校准误差主要取决于声校准器所产生的声压级的准确度, 一般来说, 用活塞发声校准器校准优于 ± 0.2 dB(包括气压等修正), 用声校准器校准优于 ± 0.5 dB。

2. 电校准法

这种方法的校准误差主要取决于以下几个方面

(1) 传声器极化电压变化引起的误差



声级计所配传声器需加极化电压方能正常工作, 由电声换能器理论知, 传声器接收声波后的输出电压与极化电压的关系为

$$\Delta V(\epsilon) = \frac{\Delta C(\epsilon)}{C_t + \Delta C(\epsilon)} V \quad (1)$$

式中 V 为极化电压, $\Delta V(\epsilon)$ 为声波作用时传声器输出电压变化量, C_t 为传声器的等效电容, $\Delta C(\epsilon)$ 为声波作用时传声器等效电容变化量。由于传声器的开路灵敏度与 $\Delta V(\epsilon)$ 成正比, 所以与极化电压也成正比。经实测, 有些使用中的声级计的极化电压低于额定值5.0%—7.5%, 按理论计算其灵敏度降低0.45—0.68dB。有时极化电压由于某种偶然因素比标称值低很多, 甚至引起传声器灵敏度降低10dB之多。在此情况下若还用传声器校准卡上所给开路灵敏度修正值来校准声级计的整机灵敏度必然会引起较大的校准误差。在放大器正常工作的情况下, 我们测得两种不同尺寸电容传声器的开路灵敏度随极化电压变化的特性, 如图2所示, 其变化规律与B&K公司的测量结果基本相符。

(2) 前置放大器传输损失引起的误差

由于电阻抗很高的电容传声器总是与起阻抗变换作用的前置放大器联用的, 此时起作用的不再是开路灵敏度, 而是负载灵敏度, 其表达式如下

$$L_m = L_{m0} + g + 20 \lg \frac{C_t}{C_t + C_i} \quad (2)$$

式中 L_{m0} 为传声器的开路灵敏度级, L_m 为其

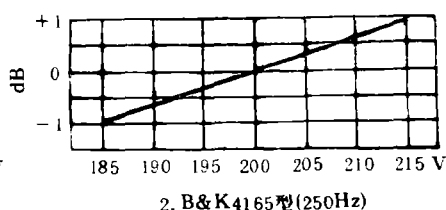


图2 电容传声器的开路灵敏度随极化电压变化的特性

表 2 一些典型的 G 值 (单位: dB)

1/2英寸 (12.7mm) 传声器 (17pF)	2614/15前置放大器	2619前置放大器	2203声级计 +UA0196 延伸杆	2209/10声级计 +UA0196延伸杆
G(dB)	+2.2	+0.2	+2.1	+0.1

负载灵敏度级, g 为前置放大器增益, C_i 为传声器的等效电容, C_i 为前置放大器输入电容。我们知道, 传声器的开路灵敏度修正值由下式给出

$$K_0 = L_{m_i} - L_{m_0} \quad (3)$$

其中 L_{m_i} 为传声器的标称灵敏度级, 令传声器的负载灵敏度修正值为

$$K = L_{m_i} - L_m \quad (4)$$

设前置放大器的传输损失为

$$G = -g - 20 \lg \frac{C_i}{C_i + C_i}$$

则得

$$K = K_0 + G \quad (5)$$

由图 1 便知, 在校准中, 校准信号是不经前置放大器而直接加到放大器的输入端, 忽视了 G 的影响, 进而引起校准误差。表 2 列出一些声级计的传声器及延伸杆与声级计配合使用时的典型 G 值。

(3) 前置放大器输入阻抗降低引起的误差

经测算, 国产普通声级计的输入阻抗大于 $200 \text{ M}\Omega$, 精密声级计的输入阻抗大于 $500 \text{ M}\Omega$ 。其前置放大器的电压传输比为 $0.95-0.98$, 增益为 $-0.18-0.45 \text{ dB}$ (注: 在实际使用中, 由于一些因素的影响, 有时会使场效应管的输入电阻及自举限幅二极管结电阻下降, 导致前置放大器的输入阻抗降低, 使传声器的负载加重。我们测得有些前置放大器的电压传输比在原基础上下降 $25-85\%$, 增益则变为 $-3-20 \text{ dB}$)。

(4) 延伸杆与延伸电缆引起的误差

在有些场合, 为了保证测量结果的可靠性与准确性, 需在传声器与声级计主机之间加接延伸杆和/或延伸电缆, 它们对传声器接收到的信号有一定的衰减而引起不易被注意到的误差。特别是目前一些国产声级计的前置放大器放在机壳内不能外移, 而使延伸电缆不得不接

在传声器与前置放大器之间, 其校准误差就更大。表 3 是我们测得的部分国产声级计加接延伸杆或延伸电缆时其整机灵敏度的降低值。

表 3 延伸杆或延伸电缆引起的整机灵敏度的降低值 (单位: dB)

加接延伸杆	+1.5	+0.1	+0.1	+0.2	+1.1	+2.0	0.0
加接延伸电缆	—	—	—	—	+0.4	+1.0	+0.6

注: 声级计型号略

(5) 传声器灵敏度不稳定引起的误差

以 HS14401 和 CH11 型电容传声器为例, 其灵敏度的温度系数和压力系数分别为 $\pm 0.02 \text{ dB}/^\circ\text{C}$ 和 $\pm 0.38 \text{ dB/kPa}$ (即 $\pm 0.5 \text{ dB}/100 \text{ mmHg}$)。假设传声器校准卡上所给灵敏度值是在温度为 20°C , 大气压为 101.3 kPa 的条件下测得的, 那么当声级计在 $-10-40^\circ\text{C}$ 和 $86-106 \text{ kPa}$ 的环境条件下使用时, 传声器灵敏度的变化量将不大于 $\pm 1.2 \text{ dB}$ 。一般用户对环境条件变化引起的这一误差并不进行修正。(至于其他环境条件(如湿度等)对灵敏度的影响, 因资料及实验条件所限暂时无法给出)

(6) 校准信号变化引起的误差

声级计内部校准信号的幅度通常相当于受 1 Pa 声压作用时, 在灵敏度实际值与标称值相等的传声器电端产生的开路电压。但由于电路元件性能的变化, 导致校准信号不够稳定, 从而引起较大的校准误差。经测量内部校准信号的可变调整量在 $\pm 1.2-2.5 \text{ dB}$ 之间, 若校准信号偏大(或减小) 1 dB , 则测得的声压级就比实际声压级小(或大) 1 dB 。然而声级计使用者中的绝大部分无法根据传声器的标称灵敏度来将校准信号调整到标称值的允差范围之内。这是最不易被测量者发现而又最易出现的测量误

(下转第18页)

六、结 论

从实验结果可知,本方案是可以满足一般工业测量所需的精度要求,可进一步开发成工业测流仪器。

传感器采用外夹式,小管径时可以采用斜入射。为保证 L 的精度,可把两传感器先连在一起再安装,有时可采用多路传感器以提高响应速度,从而提高测量准确度。

我们对超声相关测流技术的研究,无论是理论方面还是实践,还都需要深入。

参 考 文 献

- [1] Butterfield M. H., Bryant G. F. etc., *Trans. Soc. Instrument Technology*, 13-2 (1961), 111—113
- [2] Bently B. A. & Dawson, *Trans. Soc. Instrument Technology*, 18-3 (1966), 183—192.
- [3] Beck M. S., Plaskowski J. A. etc., *Powder Technology*, 2 (1968), 269—277.
- [4] Coulthard J., *Ultrasonics*, (1973), 83—88.

- [5] Beck M. S. & Kaghazchi B., IEEE Conference Publication, 159 (1977).
- [6] Liewellyn G. J., Proc. IMEKO (London, 11 (1976).
- [7] Jordan J. R. & Kelly R. Q., M. & C. 9 (1976).
- [8] Browne M. A. etc., *Electronic Letters*, 18—12, (1982).
- [9] Massen R., A Series of Brochures Published by Endress + Hauser Gmb Co., (1982).
- [10] Massen R., Merkel J. & Linder K. P., ACTD IMEKO, (1982).
- [11] Henry R. M., IEEE Conference Digest, 32 (1979).
- [12] Keech R. P., Kent Industrial Measurement, Flow Products.
- [13] Xu L. A., Green R. G. etc., *J. Phys. E. Sci. Instrum.* 21 (1988), 406—414.
- [14] Jouni S. Tornberg etc., *IEEE, Trans. on Sonics and Ultrasonics*, Su-30-4 (1983), 264—269.
- [15] 郑洽余,鲁钟其,流体力学,机械工业出版社,1980年。
- [16] 川田裕郎,小宫勤一,流量测量手册,计量出版社,1987年。
- [17] Sheen S. H. & Raptis A. C., *ISA Transactions*, 24-2 (1985), 53—58
- [18] Bendat J. S. & Piersol A. G., Wiley-Interscience, (1971).
- [19] Fisher M. J. etc., *J. Fluid Mech.*, 18-1-1 (1964), 97—116.

(上接第 39 页)

差。

综合上述分析并结合图 1 可知,前五项目误差因素使得传声器在声级计整机中表现出来的灵敏度并不等于其校准卡上所给开路灵敏度,从而引起电校准误差;即使前五项目误差因素可以忽略,第六项误差因素也会引起电校准误差。这些电校准误差使得测量结果不准确,而声校准由于是对包括传声器在内的整个声级计进行校准,所以克服了这些缺陷。

四、结 论

1. 由以上研究分析知,声校准法克服了电校准法中存在的六个主要误差因素,从而减小了校准误差,提高了测量精度。所以作者推荐用声校准法来校准声级计的整机灵敏度。而且在测量开始前和结束后都要进行校准,两者的读数之差不得大于规定值(该值大小由测量所要求的准确度确定)。

2. 在声级计主机与传声器之间需要加接延伸杆和/或延伸电缆时,应该在整个测量系统连接好之后再行校准,以消除延伸杆和/或延伸电缆对整机灵敏度的影响(这也是电校准听克服不了的校准误差)。

3. 退一步讲,若用户没有声校准器,而只能用电校准法时,为了减少测量误差应该用整机灵敏度修正值 K (而不是传声器的开路灵敏度修正值 K_0)来校准,并且当需要使用延伸杆和/或延伸电缆时,应该使用连接上它(们)时的 K 值来校准声级计。考虑到整机电路工作不稳定性影响,为了避免使用不合格的声级计,应按有关国标的规定定期将声级计送计量部门检定。

参 考 文 献

- [1] B&K, Condenser Microphones and Microphone Preamplifiers for Acoustic measurements, Data Handbook, B&K, Revision September 1982, p35, 78