

椰胡声功率级的半消声室测试*

赵越喆^{1†} 李楠¹ 吴硕贤¹ 黄虹² 吴丽玲²

(1 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室 广州 510640)

(2 星海音乐学院音乐学系 广州 510500)

摘要 椰胡是具有地方特色的拉弦乐器之一,多用于演奏广东音乐和广东戏曲、曲艺的伴奏。但对其发声强度一直未进行过科学的测试。本文介绍在华南理工大学半消声室内参照 ISO (GB) 标准对椰胡声功率级的测量工作。由两位资深乐师分别用两把椰胡在 *pp*, *mp*, *f* 和 *ff* 力度下演奏单音、音阶和乐曲,对每一把椰胡的每一测试内容,由十通道测试设备同步测试中心频率为 100~10000 Hz 的 1/3 倍频带声压级谱,通过计算获得每把椰胡在演奏每项内容时的声功率级和动态范围。通过对两把椰胡的测试结果进行平均,获得该乐器在演奏上述内容时的典型声功率级数值及频谱。文中并将半消声室内的测试结果与混响室内的测试结果相对比,探讨测试环境对测试结果的影响。民族乐器发声强度及其频谱特性的获得是开展民族音乐厅堂音质研究的基础。

关键词 椰胡, 声功率级, 半消声室, 测试

Measuring the sound power level of Yehu in a semi-anechoic chamber

ZHAO Yue-Zhe¹ Li Nan¹ WU Shuo-Xian¹ HUANG Hong² WU Li-Ling²

(1 State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640)

(2 Dept. of Musicology, Xinghai Conservatoire of Music, Guangzhou 510500)

Abstract Yehu, as an important Chinese music instrument, is popularly used in Guangdong local music and Guangdong opera. Its sound power level has never been carefully measured. The first systematic measurement for determining the sound power level of Yehu instrument in a semi-anechoic chamber is reported here. Two professional musicians performed respectively on their own instruments. A ten-channel acoustical equipment was used to measure the sound pressure level spectrum synchronously when some single notes, music scale and melodies are performed under *pp*, *mp*, *f* and *ff* dynamics respectively. The radiated sound power levels and dynamic ranges of each instrument were then calculated. The measured sound power level results of each Yehu instrument were averaged to get the typical sound power levels and spectrum of the Yehu instrument when melodies, music scale and single notes are performed under *pp*, *mp*, *f* and *ff* dynamics respectively. The measured results in the semi anechoic

2010-01-26 收稿; 2010-03-17 定稿

*国家自然科学基金资助项目(50578065, 50938003)

作者简介: 赵越喆(1972-), 女, 辽宁黑山人, 教授, 博士, 研究方向: 建筑与环境声学。

李楠(1986-), 女, 硕士研究生。

吴硕贤(1947-), 男, 教授, 博士生导师。

黄虹(1955-), 女, 教授。

吴丽玲(1962-), 女, 副教授。

†通讯作者: 赵越喆, E-mail: arzhzyh@scut.edu.cn

chamber were then compared with those obtained in a reverberation chamber in order to investigate the effect of room acoustical condition on sound power radiation. Sound intensity measurements of national musical instruments lay the foundations for investigating the room acoustical condition of national music halls.

Key words Yehu, Sound power level measurement, Chinese musical instrument

1 引言

中国传统民族乐器的起源可追溯到 8000 年前。中国民族音乐不仅在国内,在国际上也越来越受到关注和重视。但我国对民族乐器的研究工作远远落后于西方国家以及亚洲邻国,可供查阅的基础资料非常有限。所以,对我国民族乐器进行更深入的声学研究和系统测量是进一步保护和弘扬本民族音乐文化的基础。

在乐器声功率测试方面,国际上 20 世纪 60 年代以来,陆续对西洋乐器声功率进行过较系统的测定^[1-4]。后来,由 Meyer 对这些测试结果加以整理,归纳出确定西洋乐器强音标志力度下声功率级的计算表达式^[4]。鉴于不同的乐器特征及音乐文化的差异,对西洋乐器的测试结果不能用于中国民族乐器。华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室与星海音乐学院合作,在混响室和半消声室内对 30 种重要民族乐器的声功率级进行了系统的测试,获得一些民族乐器的基本声学数据^[5-8]。乐器的声功率级不仅与乐器本身有关,还依赖于演奏者的演奏技巧及其对乐曲和力度的理解。此外,不同的声学测试环境对乐器声功率级的测量结果也会产生影响。对此我们在前期利用混响室对民族乐器声功率级作测试的基础上,又在半消声室中对这些乐器的声功率级再次进行测试,以完善和补充我国民族乐器的基础声学数据。这些数据为进一步研究我国的民族器乐发音特性、民族乐队编制以及民族音乐厅堂音质及评价具有重要价值。本文详细介绍了椰胡声功率

级的测试结果。

椰胡常用于广东音乐,是广东戏曲及曲艺的主要伴奏乐器之一。与其它拉弦乐器相比,其最有特色的部位是共鸣腔,以大椰子壳制作,前口盖以薄梧桐板为面板。椰胡的音域为 $g \sim g^2$, 音色浑厚、结实、柔和甜润,富有地方色彩,具有中音乐器效果,能融合乐队中各乐器的音色。

2 测试方法

椰胡声功率级的测试在半消声室内进行。该半消声室为房中房结构。半消声室安装尖劈后净空间尺寸为长×宽×高=7.3 m×5.3 m×4.65 m。经中国科学院声学计量测试站鉴定,其声学环境满足 GB 6882-86、ISO 3745 及 ISO 7779-1999 对声环境的要求。其背景噪声级为 3.5 dBA。

椰胡声功率级的测试依据 GB/T 3767-1996 进行。在半消声室架设一个半径为 2.2 m 的半球形支架,如图 1 所示。测量时 10 个 B&K4189 传声器及其前置放大器由 UA1317 支架固定在半球形支架上。传声器的膜片位于半径为 2.0 m 的半球面上。传声器拾取的声



图 1 半消声室内的测试支架、椰胡及其演奏者

信号由 10 通道 B&K PULSE 3560 同步记录。测试时演奏者朝向测点 1 和 8 的方向。各传声器位置示于图 2。

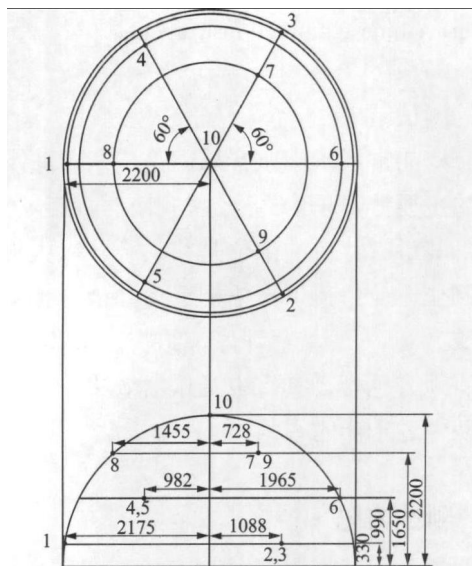


图 2 半球型支架尺寸及传声器位置
(图中单位: mm)

乐器所辐射的声功率级不仅与乐器本身的品质有关, 还与演奏者、演奏内容以及演奏力度与速度密切相关。考虑到不同乐器的品质以及演奏者对演奏力度理解上的差异, 测试中由两位演奏经验丰富的乐师分别演奏各自的乐器, 再对测试结果进行平均。两位演奏者中一名为男性, 另一名为女性, 分别有 49 年及 30 年演奏该种乐器的经历。两把椰胡的使用时间分别为 10 年和 20 年。下文分别记作椰胡 B 和椰胡 C。椰胡 B 及其演奏者分别在混响室和半消声室内均进行过测试。而椰胡 C 则仅在半消声室内进行测试。

为与混响室测试结果相对比, 测试中选用与混响室测试时相同的演奏内容, 即为:

(1) 代表性的 3 个单音, 分别是代表低音区的 g , 中音区的 g^1 及高音区的 g^2 , 测试时间为 4s, 通过无间歇回弓实现持续发音; (2) 中国传统 5 声音阶 ($g a c^1 d^1 e^1 g^1 a^1 c^2 d^2 e^2$), 测试时间为 8s; (3) 乐曲“茉莉花”, 时间为 20s。上述内容均分别在 pp , mp , f 和 ff 力度下进行演奏。

g^2), 测试时间为 8s; (3) 乐曲“茉莉花”, 时间为 20s。上述内容均分别在 pp , mp , f 和 ff 力度下进行演奏。

3 声功率级计算

声功率级计算依照 GB/T 3767-1996 进行。对每把椰胡的每项演奏内容, 在图 2 所示的半球形测试表面上的 10 个测点位置同时测试中心频率为 100~10000 Hz 的 1/3 倍频带声压级, 再由 (1) 式计算测量表面各频带的平均声压级。

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pi}} \right) \quad (1)$$

式中, L_{pi} 为第 i 个传声器位置上测得的 1/3 倍频带声压级, dB; N 为传声器数, 本测试中 $N=10$ 。再由频带声压级根据 (2) 式计算频带声功率级

$$L_{wn} = L_p + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (2)$$

式中 L_{wn} 为测试乐器第 n 个 1/3 倍频带的声功率级, dB。 $n=1 \sim 21$; S 为测量表面的面积, m^2 。本测试中 $S = 2\pi r^2 = 25.12 m^2$ 。 $S_0 = 1 m^2$ 。获得各个 1/3 倍频带声功率级后, 总声功率级由 (3) 式计算,

$$L_w = 10 \lg \left(\sum_{n=1}^{21} 10^{0.1 L_{wn}} \right) \quad (3)$$

式中, L_{wn} 为第 n 个 1/3 倍频带声功率级, dB。从 100~10000 Hz, 共有 21 个 1/3 倍频带。

4 测试结果及分析

4.1 总声功率级

4.1.1 半消声室测试结果

两把椰胡在半消声室内的声功率级测试结果列于表 1。从表中可以看出, 椰胡 B 在

表 1 椰胡 B、C 在半消声室内演奏单音、音阶及乐曲时的总声功率级及其动态范围 (dB)

演奏力度	单音						音阶		乐曲 《茉莉花》	
	g		g ¹		g ²		B	C	B	C
	B	C	B	C	B	C				
<i>pp</i>	68.4	74.6	69.1	71.0	63.9	58.4	78.4	79.5	77.1	74.3
<i>mp</i>	74.8	82.6	74.4	80.2	65.9	67.5	83.7	82.5	81.3	82.5
<i>f</i>	79.8	95.1	80.3	92.3	70.4	75.8	88.4	94.4	86.0	92.6
<i>ff</i>	83.5	96.8	84.5	95.7	71.7	85.0	92.0	94.9	90.6	96.1
动态范围	15.1	22.2	15.5	24.6	7.8	26.6	13.6	15.4	13.5	21.8

演奏 3 个单音 g , g^1 和 g^2 时, 动态范围均小于椰胡 C。乐器 B 在演奏 g^2 音时, 动态范围最小, 仅有 7.8 dB。与之相比, 乐器 C 在演奏该音时, 动态范围达到 26.6 dB, 是乐器 C 在所有测试内容中, 动态范围最大的。两把椰胡在演奏音阶时声功率级的动态范围分别为 13.6 dB 和 15.4 dB, 仅相差 1.8 dB, 动态范围相差最小。而在演奏乐曲《茉莉花》时, 椰胡 C 的动态范围明显大于椰胡 B, 动态范围之差达到 8.3 dB。对于所有演奏内容, 乐器 C 在 ff 力度下可发出更强的音。故乐器 C 的音色更为嘹亮。

4.1.2 半消声室和混响室内声功率级测试结果比较

椰胡 B 在半消声室和混响室内的声功率级测试结果的对比见表 2。表中, R 表示混响室测试结果, S 表示半消声室测试结果。从表中可以看出, (1) 对于所有测试内容, 在混响室内以 pp 力度演奏时乐器能发出更弱的音, 使得乐器 B 声功率级动态范围的混响室测试结果大于半消声室测试结果。(2) 椰胡 B 在演奏音阶和乐曲时的声功率级动态范围在两种测试环境下的测试结果较为接近。(3) 在 f 力度下演奏音阶和乐曲时, 两

种方法给出近似相同的测试结果, 分别为 86.8 和 88.4 dB (音阶), 86.8 和 86.0 dB (乐曲)。(4) 椰胡 B 在 4 种力度下演奏乐曲时, 在两种测试环境下给出几乎相同的结果, 分别为 76.1/77.1 dB (pp 力度)、81.0/81.3 dB (mp 力度) 86.8/86.0 dB (f 力度) 90.8/90.6 dB (ff 力度)。这说明, 乐器在演奏单音时, 受测试环境的影响较大。而在演奏音阶和乐曲时, 测试环境对椰胡辐射声功率的测试结果影响较小, 特别是在 f 和 ff 力度。

椰胡在混响室和半消声室内的平均声功率级的测试结果见表 3。从表中可以看出, 对于椰胡在演奏单音 g 和 g^1 以及音阶时的动态范围而言, 混响室测试结果均大于半消声室测试结果。而 g^2 音动态范围的半消声室测试结果则大于混响室测试结果。除 pp 力度外, 椰胡在以其余 3 种力度演奏音阶和乐曲时所辐射的声功率级几乎相同。以 f 力度为例, 椰胡在两种环境下演奏音阶时的测试结果分别为 88.5 和 91.4 dB, 平均值为 90.0 dB, 在该力度下演奏乐曲时, 声功率级分别为 88.0 和 89.3 dB, 平均值为 88.7 dB。在 ff 力度下, 两种测试环境中得到的椰胡演奏音阶和乐曲《茉莉花》时的声功率级平均值均为 92.6 dB。

表 2 椰胡 B 声功率级测试结果对比 (dB)

演奏力度	单音						音阶		乐曲《茉莉花》	
	g		g ¹		g ²					
	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S
<i>pp</i>	66.3	68.4	60.2	69.1	59.0	63.9	73.9	78.4	76.1	77.1
<i>mp</i>	75.9	74.8	72.9	74.4	65.4	65.9	80.0	83.7	81.0	81.3
<i>f</i>	79.7	79.8	80.6	80.3	73.0	70.4	86.8	88.4	86.8	86.0
<i>ff</i>	86.4	83.5	84.6	84.5	74.5	71.7	89.5	92.0	90.8	90.6
动态范围	20.1	15.1	24.4	15.5	15.5	7.8	15.6	13.6	14.7	13.5

表 3 椰胡平均声功率级测试结果对比 (dB)

演奏力度	单音						音阶		乐曲《茉莉花》	
	g		g ¹		g ²					
	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S
pp	65.3	71.5	63.3	70.0	56.7	61.2	74.5	78.9	74.7	75.7
mp	73.5	78.7	72.8	77.3	62.4	66.7	80.9	83.1	80.9	81.9
f	79.8	87.4	80.1	86.3	69.9	73.1	88.5	91.4	88.0	89.3
ff	86.1	90.2	84.7	90.1	72.9	78.4	91.8	93.4	91.7	93.4
动态范围	20.8	18.6	21.4	20.1	16.2	17.2	17.3	14.5	17.0	17.7

4.2 声功率级谱

4.2.1 半消声室内测试结果

椰胡 B、C 在 4 种力度下演奏音阶时的 1/3 倍频带声功率级谱如图 3 所示。从图中

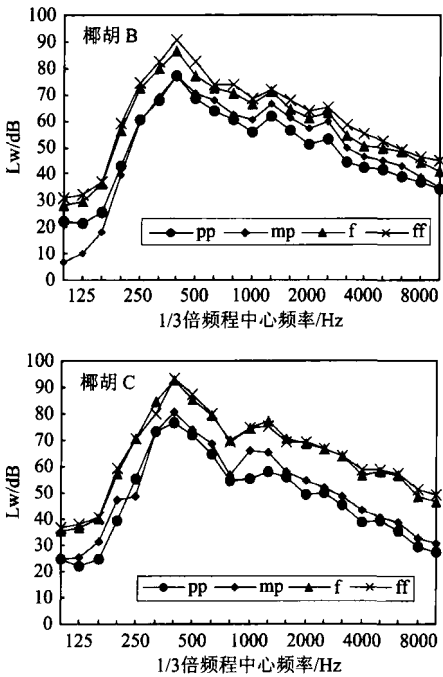


图 3 半消声室内测得的椰胡 B、C 以不同力度演奏音阶时的 1/3 倍频带声功率级谱

可以明显地看出, 椰胡在 400 Hz 时有最大的声能辐射, 声功率级谱在该频率有突出的峰值。在 400 Hz 两侧, 随着频率的降低或增大, 椰胡辐射的声能逐渐减小。在 1250 Hz 时, 又出现一小的峰值。椰胡 B 在 2500 Hz 时的声功率级有一更小的峰值。

4.2.2 半消声室与混响室测试结果比较

椰胡 B 在混响室和半消声室内测得的声功率级频谱测试结果对比见图 4。从图中可以看出两种方法得到的测试结果相差不大。在混响室和半消声室内测得的椰胡的平均声功率级频谱见图 5。在主峰频率上, 半消声室测试结果大于混响室测试结果。

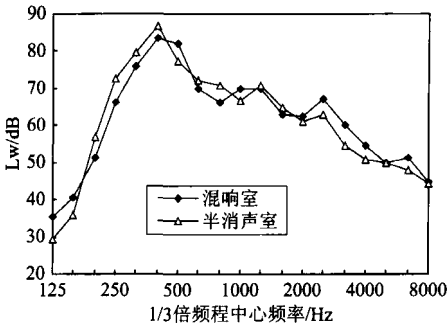


图 4 椰胡 B 在混响室和半消声室内以 f 力度演奏音阶时的声功率级谱测试结果对比

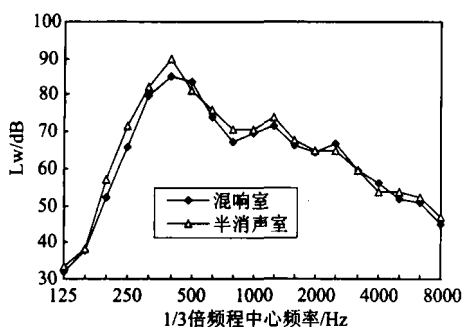


图 5 椰胡在混响室和半消声室内以 f 力度演奏音阶的平均声功率级谱测试结果对比

两把椰胡在 f 力度下演奏单音时的 1/3 倍频带声功率级谱如图 6 所示。从图中可以

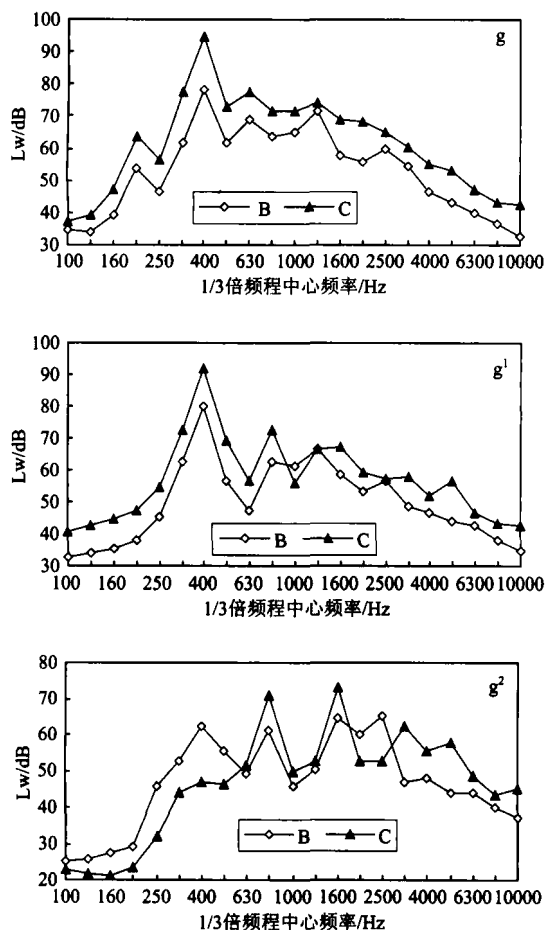


图 6 椰胡 B、C 以 f 力度演奏单音 (g, g^1, g^2) 时的 1/3 倍频带声功率级谱

明显地看出两支乐器发音的个性差别。乐器在演奏不同单音时的声功率级谱差别较大。在演奏同一单音时, 两支乐器辐射声能的主峰值频率相同, 但声功率谱的形状在整个测试频率上有差别。在以 f 力度演奏上述三个单音时, 椰胡 C 辐射的声能量比椰胡 B 要高。

5 结果讨论及结论

除上述测试内容外, 两位乐师还以正常力度演奏了椰胡的代表性曲目。椰胡 B 演奏了《禅院钟声》和《双声恨》, 所辐射的声功率级分别为 87.2 dB 和 85.9 dB, 与椰胡 B 在 f 力度下演奏音阶时的声功率级 88.4 dB 相近。椰胡 C 演奏了《禅院钟声》, 其辐射的声功率级为 95.0 dB。这一数值近似等于其在 f 力度下演奏音阶时所辐射的声功率级 94.4 dB。进一步对比椰胡在演奏上述乐曲和音阶时的声功率级谱, 见图 7。可以看出, 椰胡演奏乐曲和音阶时所辐射的声功率级谱形状相似, 由此我们可以认为椰胡在演奏乐曲时所辐射的声功率级及其频谱可用其以 f 力度演奏音阶时的声功率级和频谱代表。本文测试的两支椰胡以 f 力度演奏音阶时的平均声功率级为 91.4 dB, 频谱见图 8。进一步将混响室和半消声室的测试结果加以平均, 则椰胡在 f 力度下演奏音阶时的平均声功率级为 90.0 dB, 频谱见图 9。从图中可以看出, 两种测试环境对椰胡在 f 力度下演奏音阶时所辐射的声功率级影响较小。椰胡在 400 Hz 时有最大的声能辐射, 达到 86 dB。之后, 在 1.25 kHz 和 2.5 kHz, 也出现峰值, 分别为 71.6 dB 和 65.4 dB, 远小于 400 Hz 时的主峰值。

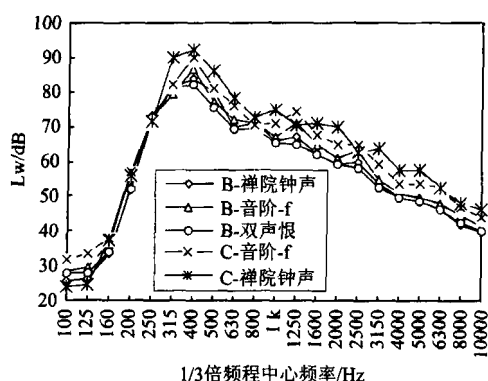


图7 椰胡B、C演奏代表性乐曲及在 f 力度下演奏音阶时的声功率级谱

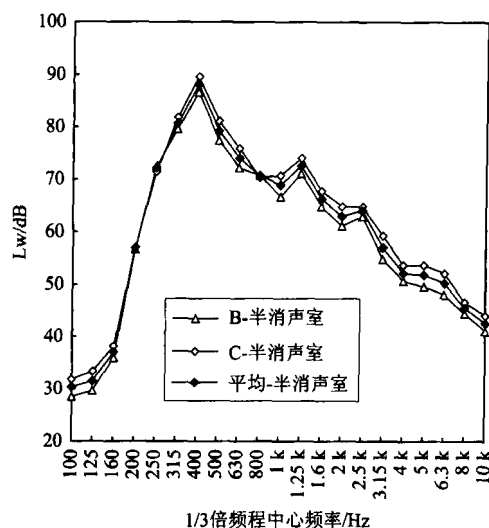


图8 椰胡B、C在半消声室内以 f 力度演奏音阶时的声功率级谱及平均声功率级谱

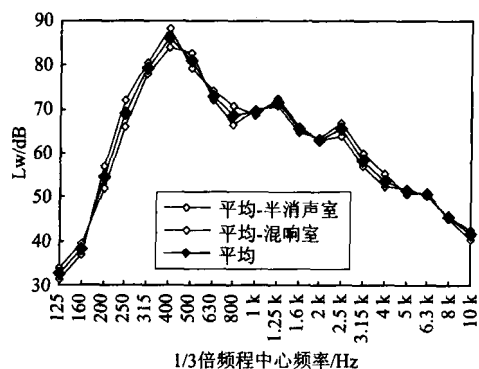


图9 椰胡B、C在半消声室内以 f 力度演奏音阶时的声功率级谱及平均声功率级谱

乐器在以相同力度演奏同一内容时,在两种测试环境下声功率级测试结果的差异,一方面是由于测试方法本身决定的测试结果不确定度的影响,另一方面演奏人员在不同的声学环境下的主观感觉有较大差异,影响了演奏人员的演奏强度。

乐器在演奏单音时的声功率级谱可用于仔细比较不同乐器之间音色的细微差别,在乐器改良和制作中有重要作用。而乐器在演奏乐曲和以 f 力度演奏音阶时所辐射的声功率级及其频谱的相似性,使得我们可以通过测试乐器以 f 力度演奏音阶时所辐射的声功率级及其频谱,计算乐队在厅堂中演出时强音标志乐段的声压级,从而评价厅堂的响度,并据此选择合适的乐队规模。这对民族音乐厅堂的音质研究无疑具有重要作用。

参考文献

- [1] M. CLARK and D. LUCE. Intensities of orchestral instrument scales played at prescribed dynamic markings. J. Audio Eng. Soc., 1965, 13(2): 151-157.
- [2] J. MEYER und J. ANGSTER. Zur Schalleistungsmessung bei Violinen. ACUSTICA, 1981, 49: 192-204.
- [3] A. BOUHUYS. Sound-power production in wind instruments. J. Acoust. Soc. Am., 1965, 37(3): 453-456.
- [4] J. MEYER. Zur Dynamik und Schalleistung von Orchesterinstrumenten. ACUSTICA, 1990, 71: 277-286.
- [5] 赵越喆, 吴硕贤, 邱坚珍, 等. 中国竹的声功率级测试. 应用声学, 2009, 28(5): 330-335.
- [6] 赵越喆, 吴硕贤, 邱坚珍, 等. 中国传统弹弦乐器大三弦的声功率级测试. 声学技术, 2009, 28(5): 629-633.
- [7] 赵越喆, 吴硕贤, 邱坚珍, 等. 秦琴在不同演奏力度下的声功率级, 噪声与振动控制, 2009, 29(3): 113-116.
- [8] Wu S. X., Zhao Y. Z., Qiu J. Z., et al. Sound Power Level Measurement of the Erhu (Chinese Violin). ACTA Acustica United with Acustica, 2008, 94(1): 164-167.
- [9] Zhao Y. Z., Wu S. X., Qiu J. Z., et al. Sound power level measurement of Yehu, a Chinese bowed stringed instrument, Proceedings of ICSV 16, 2009, Krakow, Poland.