

纪念应崇福院士诞辰100周年

关于音乐厅响度评价的研究

吴硕贤[†]

(华南理工大学建筑学院 亚热带建筑科学国家重点实验室 广州 510640)

摘要 该文回顾并综述了对音乐厅(包括西洋交响乐厅及中国民族音乐厅)响度评价的研究历程,指出采用乐队齐奏强音标志乐段的平均声压级 L_pF 作为评价音乐厅响度客观指标的合理性与可行性。文中给出 L_pF 的计算方法以及对若干厅堂计算值与实测值的比较,并通过主观评价,给出 L_pF 的初步优选值域。采用 L_pF 作为响度评价指标的好处不仅在于它能表征听众听到的绝对响度的感受,还在于能预判何种规模的乐队适于在多大规模的音乐厅中演出,以便达到较佳响度效果的问题。

关键词 音乐厅,响度,乐队声功率

中图法分类号: TU242.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2018)05-0593-04

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2018.05.002

Investigation into concert hall loudness evaluation

WU Shuoxian

(School of Architecture, South China University of Technology, State Key Laboratory of Subtropical Building Science,
Guangzhou 510640, China)

Abstract This paper looks back and summarizes the investigation into concert hall (including both of western orchestra hall and Chinese national music hall) loudness evaluation and demonstrates that the suggestion of L_pF , the mean forte sound pressure level of tutti-sound as a criterion to describe the loudness in a hall is suitable and reasonable. The prediction procedure of the L_pF value distribution in a hall is also demonstrated. Comparison results between predicted and measured L_pF data in some halls are shown. Some tentative optimum or allowable L_pF values for concert halls are given. The merits of using L_pF as a loudness criterion are that it can describe the real loudness impression of audience and it can also predict what kind of orchestra with suitable number of musicians can suit to a large or small hall to produce a perfect loudness impression.

Key words Concert hall, Loudness, Sound power levels of orchestra

2018-04-23 收稿; 2018-06-25 定稿

作者简介: 吴硕贤(1947-), 男, 福建诏安人, 中国科学院院士, 教授, 研究方向: 建筑声学。

[†] 通讯作者 E-mail: arshxwu@scut.edu.cn

1 引言

响度是评价音乐厅音质最重要的参量之一。Sabine 早在其题为“混响”的著名论文中就曾指出：“影响厅堂音质的主要因素有3个，即响度、平衡和混响”。日本声学家 Nagata^[1] 也指出：“描述厅堂响度的参量在世界范围内已成为愈来愈重要的参量”，“厅堂的响度，不论它是大是小，都是厅堂的显著特点之一”。BBN 声学顾问公司的 Pirn^[2] 也指出：“有许多小厅堂，采用大乐队演出，结果响度过大，也有一些大厅堂，声音过弱，未能产生足够的听觉刺激”。

响度既然这么重要，但为何评价响度的客观指标与优选值却一直未能确定呢？尽管德国声学家 Lehmann^[3] 曾于 1976 年提出强度指数 G 作为评价厅堂响度的指标，然而 G 的定义为：从一无指向性声源到达厅堂中某一座席处的声能，与同一声源在消声室中 10 m 距离处所测得的声能之比，再取对数值。从定义可知， G 仅代表一个相对的强度值，体现的是厅堂各界面的反射声对直达声的增强作用，并不反映听众所听到的绝对响度。再者， G 仅从物理声学角度出发，未与声源即具体交响乐队演奏相联系。另外，该因子也仅是笼统地对待室内所有反射声，没有将对声像有贡献的早期反射声与来自四面八方的混响声对听觉的不同贡献加以区别。

响度评价之所以长期未获解决，主要的困难在于：首先，响度不仅取决于厅堂的特征，尚取决于乐队的声能，而且乐队在演奏过程中，其所辐射的声能是时强时弱的，其动态范围可达 40 dB 以上，因此，必须规定一个恰当的单值指标来表征其发声强度；再者，长期以来，缺乏对乐器声功率的准确测定，导致乐队所辐射的声功率一直是个未知数。西方直至 20 世纪 60 年代，才陆续有声学家从不同实验室用不同方法对西洋交响乐的主要乐器进行声功率测试，最后由德国声学家 Meyer 汇总得出西洋乐器演奏强音标志乐段的声功率级值。而中国民族乐器的声功率，则迟至不久前，才由笔者所在的华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室采用混响室法及半消声室法系统测得 30 余种重要乐器的声功率级^[4]。在此基础上，终于有可能对西洋交响乐厅和中国民族音乐厅的响度做出较科学的定量评价。Wu 等^[5] 曾建议采用乐队齐奏强音标志 (f) 乐段的平均声压级 $L_p F$ (dB) 作为厅堂响度的评价指标，给出 $L_p F$ 的计算方法，并将计算结果与在若干厅堂

的实测结果对照，证明此指标可用于评价西洋交响乐厅与中国民族音乐厅的响度，并给出初步的优选推荐值域。

当然，采用 $L_p F$ 也只是对解决 G 因子未与声源即交响乐队演奏相联系的问题，朝评价绝对响度的方向迈出了一步，至于音质空间感等其他音质评价，仍应该参照早期声能因子或双耳互相关系数等其他指标来评价。

2 西洋交响乐厅响度评价

关于西洋乐器的声功率级，若干作者曾做过测量，1990 年由 Meyer^[6] 汇总了这些测量结果，指出交响乐队的平均强音标志声功率级可按式 (1) 计算：

$$L_{WF} = 90 + 10 \lg \sum_i n_i k_i, \quad (1)$$

式 (1) 中， L_{WF} 表示平均强音声功率级，dB； n 代表同种乐器的数量； k 为相应的功率因子。

表 1 给出了各种西洋乐器的平均强音声功率级 L_{WF} 和相应的功率因子 k 。

表 1 西洋乐器的平均强音声功率级 L_{WF} 和相应的功率因子 k

Table 1 The value of L_{WF} & k of western musical instruments

乐器	L_{WF}/dB	k	乐器	L_{WF}/dB	k
小提琴	89	0.8	单簧管	93	2
中音提琴	87	0.5	巴松(大管)	93	2
大提琴	90	1	喇叭	102	16
低音提琴	92	1.6	小号	101	13
长笛	91	1.3	长号(拉管)	101	13
双簧管	93	2	大号	104	20

依据表 1 所示数据和表 2 所示典型交响乐队编制，可由式 (1) 计算不同规模乐队强音标志时的平均声功率级，然后由式 (2) 计算出相应的强音标志下的平均声功率 W_F ，结果示于表 3。

$$W_F = W_0 10^{0.1 L_{WF}} = 10^{0.1 L_{WF} - 12}, \quad (2)$$

式 (2) 中， W_F 表示强音标志下的平均声功率，W。

求出 L_{WF} 后，即可用 Sabine 室内声压级公式 (式 (3)) 或用 Barron 的音乐厅室内声压级修正公式 (式 (4)) 来计算不同座席处的 $L_p F$ 。

$$L_p F = L_{WF} + 10 \lg \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right), \quad (3)$$

$$L_p F = L_{WF} + 10 \lg \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right) - 0.17 \frac{r}{T}, \quad (4)$$

表2 作为示例的不同规模的交响乐队编制
Table 2 The establishment of orchestra as an example

	单管乐队	双管乐队	三管乐队	特殊编制乐队
小提琴	10	20	30	36
中提琴	2	8	12	14
大提琴	2	6	10	12
低音提琴	2	4	6	10
长笛	1	2	3	4
双簧管	1	2	3	4
单簧管	1	2	3	4
大管	1	2	3	4
圆号			4	6
小号	1	3	3	5
长号	2	3	3	5
大号	2	3	1	2
打击乐器	1	2	4	6
竖琴及其它	0~1	0~1	1	8
总人数	20~30	43~60	62~86	120

表3 不同规模乐队强音标志时的平均声功率级 L_{WF} 和平均声功率 W_F
Table 3 The value of L_{WF} & W_F of different orchestras

乐队类型	单管乐队	双管乐队	三管乐队	特殊编制乐队
L_{WF}/dB	110	112	114	116
W_F/W	0.1	0.16	0.25	0.4

表4 民族乐器的强音标志平均声功率级 L_{WF} 及其功率因子 k
Table 4 The value of L_{WF} & k of Chinese musical instruments

拉弦乐器			弹拨乐器			吹奏乐器		
名称	L_{WF}/dB	k	名称	L_{WF}/dB	k	名称	L_{WF}/dB	k
二胡	90	1	中国筝	86	0.4	高音唢呐	103	20
中胡	89	0.8	扬琴	91	1.3	排箫	92	1.6
高胡	86	0.4	琵琶	86	0.4	洞箫	90	1
京胡	94	2.5	三弦	87	0.5	椰笛	99	7.9
板胡	91	1.3	中阮	85	0.32	曲笛	96	4
椰胡	89	0.8	柳琴	83	0.2	传统笙	98	6.3
大提琴	90	1	秦琴	82	0.16	巴乌	85	0.32
倍大提琴	92	1.6	大阮	86	0.4	葫芦丝	86	0.4
						埙	92	1.6
						新笛	97	5
						低音管	83	0.2
						中音唢呐	107	50
						低音笙	97	5
						中音笙	98	6.3
						高音笙	100	10

其中, r 为声源与受声者的距离, m ; A 为厅堂室内总吸声量, m^2 ; T 为混响时间, s 。

采用上述方法,我们将先后在维也纳音乐厅与杭州剧院进行演出交响音乐会时 L_pF 的计算值与实测值进行比较,发现两者吻合良好,在前一场合,误差小于 3 dB,在后一场合,误差仅为 1.5 dB。通过对听众进行主观响度评价的调研初步得出:对于西洋交响乐队演出,合适的 L_pF 值为 85~91 dB。

3 中国民族音乐厅响度评价

为了用同样的指标与方法来评价中国民族音乐厅的响度,首先需要测定中国民族乐器的声功率。为此,我们在华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室采用混响室法实测了 30 余种民族乐器的强音标志平均声功率级。该实验室体积为 $200 m^3$,长、宽、高分别是 6.9 m、6.3 m 及 4.6 m。测试时,乐器位于混响室中央一个半径为 2 m 的圆心处,4 个传声器分别在距声源 2 m 的 4 个位置上进行同步测量,传声器高 1.5 m。每种乐器分别由两位资深乐师使用两把不同乐器用 f 力度演奏音阶。由 4 个传声器同时测得中心频率为 100 Hz~10 kHz 的 1/3 倍频带声压级进行平均,由式 (5) 计算出各 1/3 倍频带的声功率级,进而计算出总声功率级,再把两把乐器的声功率级加以平均,最后得到各种乐器的强音标志平均声功率级。结果示于表 4。

表5 典型的民族乐队编制

Table 5 The establishment of Chinese orchestra

拉弦乐器组 (23人)		弹拨乐器组 (13人)		吹奏乐器组 (13人)		打击乐器组 (8人)	
名称	数量	名称	数量	名称	数量	名称	数量
高胡	2	扬琴	2	新笛	2	钢片琴	1
中胡	3	中国筝	1	曲笛	2	对钹	1
二胡	13	琵琶	2	梆笛	1	吊钹	1
大提琴	3	中阮	6	低音管	1	云锣	1
倍大提琴	2	大阮	2	中音唢呐	1	小件打击乐	1
				高音唢呐	2	大堂鼓	1
				低音笙	1	中国大鼓	1
				中音笙	1	定音鼓	1
				高音笙	2		

$$L_{Wn} = L_p - 10 \lg T + 10 \lg V + 10 \lg \left(1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_0}{1000} \right) - 14, \quad (5)$$

式(5)中, L_{Wn} 表示第 n 个 $1/3$ 倍频带声功率级, dB, n 为 $1 \sim 21$; T 为混响室混响时间, s; V 为混响室容积, m^3 ; S 为混响室总面积, m^2 ; λ 为测试频带中心频率所对应的波长, m; P 表示测试时的大气压, Pa; L_p 为平均 $1/3$ 倍频带声压级, dB。

表5示出典型民族乐队的编制。

同样根据式(1),可计算典型民族乐队的强音标志平均声功率级 $L_W F$,再根据式(4),可计算民族音乐厅各座席处的强音标志平均声压级 $L_p F$ 。

用以上方法,我们将在广州星海音乐厅进行民乐演出时的 $L_p F$ 预计值与实测值进行比较,二者误差也仅为1.5 dB。这说明采用乐队齐奏强音标志时的平均声压级 $L_p F$ 作为民族乐厅响度评价指标也是合适的。

通过对广州星海音乐厅的民乐演奏观众主观响度评价调研,初步得出:73.5 dB以下的 $L_p F$ 值会普遍被认为过低,而92.5 dB以上的 $L_p F$ 值会普遍被认为过高,因此,建议将以上两个数据作为民族音乐厅堂响度容限的上下限值,而以81~89 dB较为合适^[7]。当然,限于本文对 $L_p F$ 值域的调研还仅做了初步的工作,尚未能对各种类别及风格的音乐的优选值范围提出建议,有待今后进一步研究。

4 结论

本文回顾并综述了对音乐厅(包括西洋交响乐厅与中国民族乐厅)开展响度评价研究的历程,说明采用乐队齐奏强音标志乐段时的平均声压级 $L_p F$

作为评价音乐厅响度客观指标的合理性与可行性。响度是评价音乐厅音质的最重要的参量之一,但是其定量评价问题一直未获解决。过去利用强度指数 G 作为相对响度评价是不够的。目前,对于各种乐器的声功率测定的艰巨任务也已完成,故有条件利用 $L_p F$ 来对绝对响度做出定量评价。采用 $L_p F$ 作为响度评价指标的优点还在于通过它可预判不同规模的乐队较适合在何种规模的音乐厅中演出,以便产生恰当的响度感受,避免出现在小厅中由于乐队规模过大引起的响度过大,或反之,在大的厅堂中由于乐队过小引起响度不足的缺陷。

参 考 文 献

- [1] Nagata M. Design problems of concert hall acoustics[J]. Journal of the Acoustical Society of Japan, 2011, 10(2): 59-72.
- [2] Pirn R. The size parameter in concert hall design, unpublished manuscript, 1983, private communication.
- [3] Lehmann P. Über die Ermittlung raumakustischer Kriterien und deren Zusammenhang mit subjektiven Beurteilungen der Hörsamkeit[D]. Berlin: Technical University Berlin, 1976.
- [4] Wu S X, Zhao Y Z, Qiu J Z, et al. Sound power level measurement of the Erhu (Chinese Violin)[J]. Acta Acustica United with Acustica, 2008, 94(1): 164-167.
- [5] Wu S X, Li Q M, Kittinger E. A new criterion for concert hall loudness evaluation[J]. Acta Acustica, 2001, 87(2): 286-289.
- [6] Meyer J. Zur dynamik und schalleistung von orchesterinstrumenten[J]. Acta Acustica United with Acustica, 1990, 71(71): 277-286.
- [7] 邱坚珍, 吴硕贤. 民族音乐演出厅堂响度优选值研究[J]. 建筑学报, 2009(3): 67-69.
Qiu Jianzhen, Wu Shuoxian. Preferable loudness value for Chinese native music[J]. Architectural Journal, 2009(3): 67-69.