

视听无边 世界联通

作好准备, 走在当今 AV/IT业务 的前沿

当今的世界日益高度网络化, 前沿的专业视听技术已应用于日常生活的各方面, 是重要力量主导并推动着网络化世界的发展。在InfoComm China 展会, 您将能熟谙各种前沿专业视听技术的新发展, 保持市场的领先地位。

2016年4月, InfoComm China 展会规模再创新高, 呈献众多崭新的专业视听和信息通信技术解决方案及更多的新展商。同时更助您获得更多的合作商机, 为客户提供更强大的解决方案, 巩固您在市场的领先地位! 您亦可以参加展会的高峰会议, 获悉行内的专业知识和前沿市场趋势。

立即连通! 业内人士免费入场!
请即上网或以微信预先登记观展:
www.infocomm-china.com
www.ifcshow.com

同期举行:

Hospitality
Technology
Expo

Powered by CHTA
www.htxworld.com



扫一扫! 关注展会官方微信
获取最新资讯及快速登记!

主办单位:

infoCommAsia infoComm
INTERNATIONAL
讯联展览(北京)有限公司

本项目属于:

电声技术

DIANSHENG JISHU

1977年创刊 月刊

中国期刊方阵双百期刊
中国科技论文统计源期刊
中国科技核心期刊
电子精品期刊

主管单位

中国电子科技集团公司

主办单位

电视电声研究所

(中国电子科技集团公司第三研究所)

编辑出版

北京电视电声杂志社《电声技术》编辑部

总 编 盖志芳 (010)59570240
副 总 编 哈宏疆 (010)59570241
主 编 史丽丽 (010)59570243
编 辑 李 薇 (010)59570243

国内总发行 北京报刊发行局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司

(北京399信箱)

印 刷 廊坊市三友印务装订有限公司

中国标准连续出版物号 ISSN 1002-8684
CN 11-2122/TN

邮发代号 2-355

国外代号 M814

订阅方式 全国各地邮局 本刊发行部

发行时间 每月17日出版

每期定价 15.00元

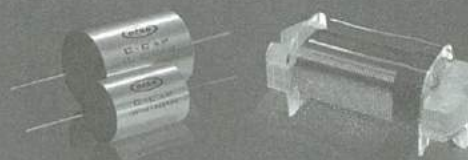
地 址 北京朝阳区酒仙桥北路乙7号

通信地址 北京743信箱杂志社

邮政编码 100015



Audio Grade Components 音响级电容电感



伽佰利国际有限公司
Phone: 86.769.23326915 23326925
Fax: 86.769.23326935
E-mail: sales@gabrielintl.com



www.erseeaudio.com

目次

2016年第40卷第1期总375期

- 音频工程
 - 1 音乐厅中的声扩散设计初探 / 古林强
 - 7 对一些教学用房声学处理误区的探讨 / 晏家龙
 - 12 论电子音乐演出场馆的声学设计
——浅析位于上海二十一世纪民生美术馆的“声立方超感官空间” / 林 勇, 徐真德, 陈 畅
- 扬声器与传声器
 - 21 有限长线声源曲面声场分析 / 薛 政, 沈 勇, 冯雪磊
 - 25 专业监听扬声器发展新技术简析
——以 Genelec 8351 三分频声学同轴监听音箱为例 / 袁逸桐, 叶思成
- 器件与电路
 - 30 煤矿传送带超声检测系统设计 / 王志坤, 杨 录
 - 34 WSN 节点定位算法改进研究 / 张 琰, 王中训, 姜 阳, 刘宝军
 - 37 中波发射机 LC 谐振放大电路研究与仿真 / 刘必洋
- 电声基础
 - 41 超声换能器频率特性及匹配研究 / 杜 鹏, 姜 楠, 宋 波
 - 46 从专利文献来看电声技术最新发展 / 郝庭基
- 立体声与环绕声
 - 50 探究家庭全景声的国内发展现状(下)
——以真力杜比全景声混录棚为例 / 叶思成, 杜依霖, 李英若
- 语音技术
 - 55 G.718 宽带语音编解码器的 DSP 实现及优化 / 申星海, 王春柳, 陈德宏
- 通信电声
 - 61 基于 SC-FDMA 系统的噪声估计算法研究 / 栾亚婷, 阎春荣, 杜昊阳
 - 65 基于高阶累积量的近场通信波达方向估计算法 / 陆兴华, 陈富树
- 网络与多媒体
 - 70 云计算在电视音频领域应用的几个问题 / 李岩泽, 刘 强
- 数字信号处理
 - 73 基于 LabVIEW 的乐曲声音文件的制作 / 蒋萍花
- 节目制作与广播
 - 78 GY/T 282—2014 标准在电台制作中的探索与实践 / 周更杰
- 82 ● 业界动态

文献引用格式:林勇,徐真德,陈畅.论电子音乐演出场馆的声学设计[J].电声技术,2016,40(1):12-20.
LIN Yong, XU Zhende, CHEN Chang. On acoustic design of electronic music concert hall: Analysis of the E-SONIC in Shanghai twenty-first century people's livelihood art museum[J]. Audio Engineering, 2016, 40(1): 12-20.

中图分类号: TU114 文献标志码: A DOI: 10.16311/j.audioe.2016.01.03

特约专题: 建声设计

论电子音乐演出场馆的声学设计

——浅析位于上海二十一世纪民生美术馆的“声立方·超感官空间”

林勇, 徐真德, 陈畅

(中国美术学院3D音画研究所, 浙江 杭州 310024)

摘要: 电子音乐作为一个独立的音乐类别,在各专业音乐高校研究与教学中,尚无形成统一的音乐声学标准。光滑的石膏板吸声系数小,以此作为墙面的房间存在着明显的声学缺陷,即混响时间过大,声音浑浊等等。这种现象在较大空间的房间中尤为严重。因此临时对这种房间结构进行设计使其适合电子音乐演出时需要采用一些特殊的声学处理,以控制大厅的混响时间并改善颤动回声、低频驻波等声缺陷。经过多种声学措施后,达到了满意的室内电子音乐演出的音质效果。该场馆的声学设计可以作为电子音乐演出场馆的声学设计参考标准。

关键词: 音乐声学;建声设计;混响时间;电子音乐

On acoustic design of electronic music concert hall:

Analysis of the E-SONIC in Shanghai twenty-first century people's livelihood art museum

LIN Yong, XU Zhende, CHEN Chang

Abstract: As a unique music category, there has not been a common standard of music acoustics in the research and education of Electronic Music in colleges and universities. The sound absorption coefficient of the smooth gypsum board is small, so the room has obvious acoustic defect, that is the reverb time is too long, and the sound is muddy and so on. And it is especially serious in larger spaces. Therefore, we must do some special acoustics design for these rooms to let it be suitable for the electronic music performance, that is to control the reverb time in the hall and to fix room acoustic defects such as the flutter echo and low frequency standing waves. After multiple measurements, we satisfied with the sound quality of the indoor electronic music performance. The acoustic design of the venue can be used as a reference standard for the acoustic design of the electronic music concert hall.

Key words: music acoustics; room acoustic design; reverb time; electronic music

“声立方”是一个全新定制的3D声音空间,其选址位于“上海二十一世纪民生美术馆”(原2010上海世博会法国国家馆)这一历史地标建筑内,是在声音、空间、时间三重语境下诞生的从听觉出发的非典型跨媒介艺术事件。整场演出大致分为《电波协奏 Wave concerto》、《声影二重 Sound-Body Duo》、《城市迷阵 City-Maze》和《浮生之歌-Spiritual of floating lives》等四个篇章,分别介入自然与文明、城市与人、个体与群体、现代媒介与人性本真等二元性观照,内

在的丰富经由声音媒介所呈现——相互包容、渗透、对抗却又和谐。

而上海二十一世纪民生美术馆内作为该场演出的展馆长约为2.2m,宽约为1.9m,高约为50.0m,其墙面、顶部与地面均为光滑的石膏板。

美术馆存在着混响时间过长、颤动回声和低频驻波等多种声缺陷,完全不符合音乐演出的条件。而与往常不同的是,该项目为2013上海市科学技术委员会文化科技融合发展专项“基于3D全息声音系统的

交互式音乐多媒体舞台表演示范工程(山水乐坊)”驻场演出,即此次演出将应用基于波场合成的3D全息音频技术来做大型电子音乐演出,在国内尚属首次。电子音乐是主要依靠扬声器系统实现作品的演绎,其特殊性对场馆的混响控制等建设环境提出了相应的要求。电子音乐的作曲,后期制作往往都在经过声学设计的录音控制室、合成棚内,其声学环境一般参照ITU 1116标准进行设计。而演出环境由于往往在大空间内进行,完全参照ITU标准进行设计显然不合理。且电子音乐演出场馆的声学标准在国内未有统一标准。如不作周密的声学处理,严重的音质缺陷将有违3D全息声音技术所期望带来的听觉感受。同时,为了配合其临时作为电子音乐演出的场所,在对该展馆进行声学设计时还需满足方便快捷安装、拆卸,重复使用等原则。

解决这些问题的设计原则是众所周知的,但限于具体条件不但要采用一些快捷并新颖的声学处理来克服上述声缺陷,而且还要有良好的内部装饰效果以体现当代艺术之美,这便是所面临的问题。

1 上海二十一世纪民生美术馆室内声学缺陷

此展馆内四壁、地面和房顶均为光滑的石膏板,且房顶高,空间大。在未作处理时的空场混响时间相当之长,如表1所示。通过赛宾公式可以得出该展厅的平均混响时间将近4.6s,同时笔者采用了Gold Line TEF测试设备在展厅门关闭、无外界强声源等的测试环境下对展厅的混响时间进行了测试。其中500Hz的混响时间为4.6s,从125Hz到4kHz各频段的平均混响时间为4.62s,与理论数据基本一致。

表1 空场混响时间

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
RT ₆₀ /s	5.6	4.8	4.6	4.5	4.2	4.0

原始房间混响计算为

$$RT_{60} = 0.16 \times \frac{V(\text{房间体积})}{\alpha(0.12) \times S(\text{房间6个面面积})} = \left(0.16 \times \frac{9182}{0.12 \times 2666} \right) s = 4.592 s \quad (1)$$

房间混响结果为4.592s。

经测试得出如表1的数据(数据来源为实地测得)。

在未经处理的展厅中听声音样本时感觉声音浑浊,清晰度层次不清,中频及中低频混响太大,直达声

比例小,主旋律不够突出,缺中高频,明亮度差,谐波失真或互调失真大,瞬态响应不好。其中混响声是展厅内声音最重要的组成部分,相关实验表明^[1],混响时间短则语言清晰度高,混响时间长则语言清晰度低。当混响时间在0.3s左右时,清晰度达到最高。当然笔者认为为了适合电子音乐的演出,并非需要使展厅内声音清晰度达到最高,即一味追求混响时间短。只需令音质丰满、圆润动听,逼真且清晰,有一定温暖感即是达到了观众对声场的基本要求^[2]。同时,电子音乐的演出往往也会结合原声类乐器的表演,如本次演出中有萨克斯风、现代打击乐等,追求混响时间短会导致现场原声类乐器混响效果不佳。

2 电子音乐对声学环境要求的特殊性

混响时间是声学设计中最为重要的一项客观指标,也是本文论述的重点。

传统的音乐演出多是在音乐厅中,建声环境是其音乐的一部分。而不同用途(演出)的厅堂,最佳混响时间也不相同。一般来说,音乐厅和剧场的最佳混响时间比讲演厅要长些;轻音乐要求节奏鲜明,混响时间要短些;交响乐的混响时间可以长些;难于听懂的剧种如昆曲之类,混响时间一长,就更难于听懂;节奏较慢而偏于抒情的剧种,混响时间则可以长些。总之,要有一定的、恰当的混响时间,才能把演奏和演唱的感情色彩表现出来,得到应有的艺术效果。

当然,电子音乐也不例外,但是电子音乐的时空艺术主要依托于艺术家本身对于电声信号的艺术处理,由电声系统对此进行还原。以早前比较成功的电子音乐作品《吟》的演出为例^[3],该作品的演奏法和声音都是传统的乐器发出的,但通过外部效果器的实时处理令原本的演出空间变为虚无缥缈的、很广阔的声音空间。电子音乐可以将听众带到了与真实空间完全不同的声音空间中。电子音乐演出不依赖真实空间的混响,所以对真实空间的建声设计需要达到一定的标准(此处的建声设计主要是指混响时间的控制)。

笔者认为为达到电子音乐演出建声设计的标准,其演出的环境必须在短混响时间和均匀的声场建设中,其中“短”混响时间为相对短的“合适”混响时间。它对演出场地的建声环境要求环境与传统音乐演出的要求完全不同。

而根据以往的经验,适合电影放映的最佳混响时间一般不超过0.8s,适合音乐厅的一般是1.5s(上海音

乐厅达到了这个指标)等。而笔者认为最适合电子音乐的混响时间不能太短也不能太长。混响时间过短甚至零混响时间,会令观众感觉空间不真实,声音发闷、发干、不自然,缺少温暖感,不符合人类的听觉特性,而混响时间过长会令演出音质大打折扣。因此笔者认为最合理的电子音乐演出的平均混响时间应在 0.7~0.9 s 的范围之内。同时在声学设计时还要考虑到对各个频段的混响值做一些区别,低频部分的混响值需要较高于中频,而高频的混响时间可以较低或较高于中频。这样的混响曲线符合人们对声音的听觉感受,符合 ITU-R BS.1116-1 标准(见图 1)。通过设计后的混响时间必须在理论混响时间(范围)内(笔者对上海二十一世纪民生美术馆的声学设计也是基于此标准)。

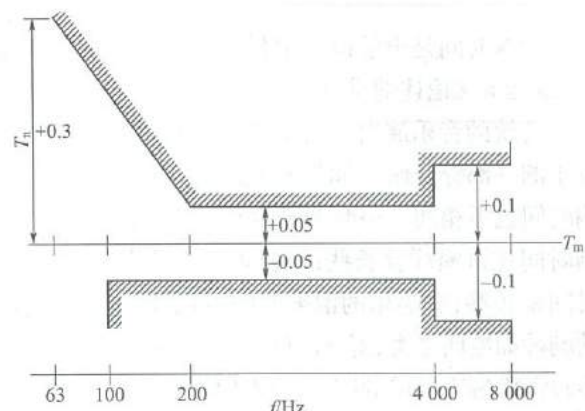


图 1 ITU-R BS.1116-1 的混响时间标准

“声立方”四个篇章的作曲家分别为秦毅、杨扬、房大磊、许志博。他们这次的电子音乐创作分别是在

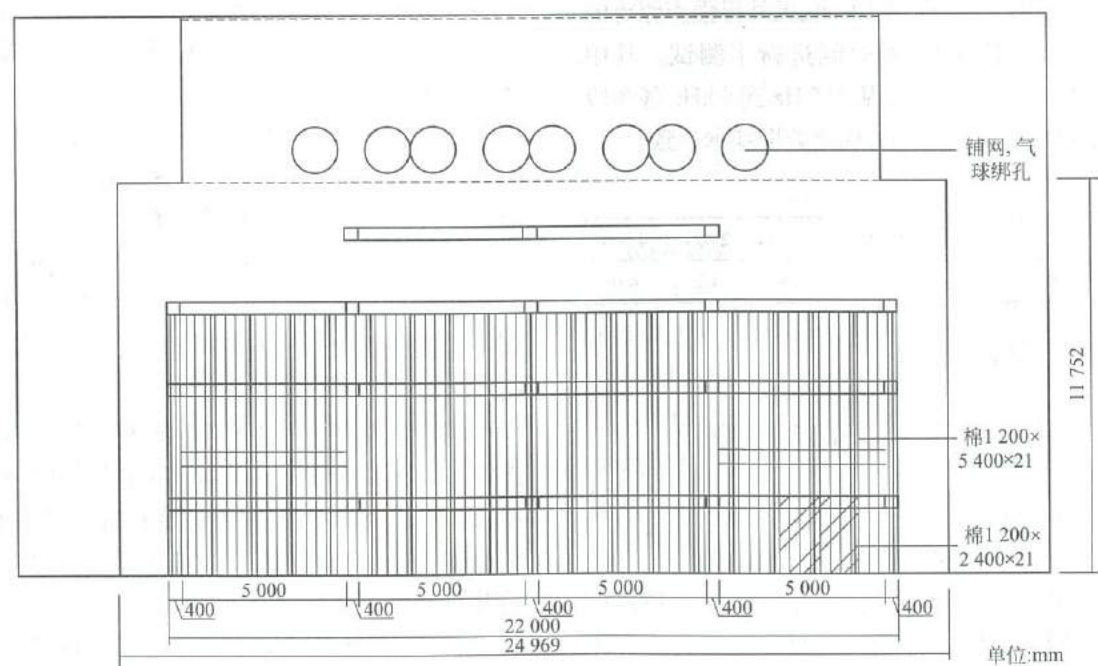


图 2 声学模块立面布置示意图

上海音乐学院电子音乐实验室(南楼 607)、费迪曼逊四维音乐工程设计公司四维全息声音实验室、数字电视国家工程研究中心声音制作实验室等。虽然作曲家在作品进行空间处理时会加混响的效果器,并且在录音棚完成创作后还会根据现场环境的情况,在现场彩排时根据实际情况做一些调整。但是为了使原作在“声立方”中呈现时的还原度尽可能高,做到真正反馈制作环境下的声音特点。因此演出环境的混响时间要尽可能地与创作环境相近。

在此次演出中非常需要注意的一点是,其中有电子音乐与原声乐器(鼓、萨克斯)、人声等的结合。如果混响时间过小,则不利于原声乐器和人声在现场演出的效果,完美的最佳混响时间是能够令原声乐器也能很好地兼容,与电子音乐演出完美地混叠,找到能令电子音乐与原声乐器、人声等在合奏时达到和谐的合适的声学环境。

3 声学设计措施——基于电子音乐演出最佳混响时间

3.1 墙体声学模块设计

因条件限制,场馆要求不能破坏美术馆内的现有墙面等设施,因此不能在原表面做涂层或其他处理。为了满足容积率最大化的用户需求,经过设计考量决定在有限的空间里采用桁架搭配使用双层空腔的多孔性吸声材料声学模块,来降低混响时间。图 2 是立面声学模块布置图。

“多孔性吸声材料以吸收中、高频的声能为主,共振吸声材料(或结构)吸收以低频声能为主^[4]。”笔者期望设计出来的声学模块具有增加低频吸声的延

伸度,增强高频的吸声效率等优点。因此在设计时不仅采用了双层空腔的设计结构,而且两层也分别采用了不同的吸声材料。该声学模块的设计如图 3 所示。

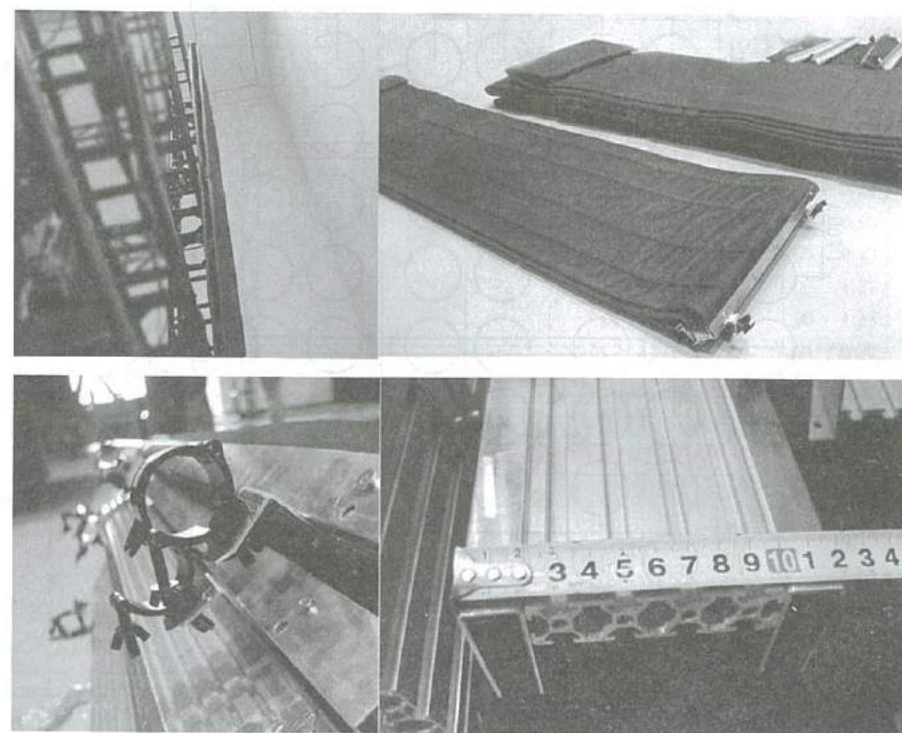


图 3 桁架式声学模块设计实物照片

空腔为 8 cm 宽。第一层声学模块里面内藏了厚度在 3 cm 左右的聚酯纤维的吸声材料,外包透声的布料;第二层是采用类似防雨布材料的不透声布料包裹着含有部分玻璃纤维的吸声材料。

当声波射入到这个声学模块的第一层上时,即当声波入射到多孔材料表面时,主要是两种机理引起声波的衰减:首先是声波产生的振动引起小孔或间隙内的空气运动,造成和孔壁的摩擦,紧靠孔壁和纤维表面的空气受孔壁的影响不易动起来,由于摩擦和粘滞力的作用,使相当一部分声能转化为热能,从而使声波衰减,反射声减弱达到吸声的目的;其次,小孔中的空气和孔壁与纤维之间的热交换引起的热损失,也使声能衰减^[5]。而第二层的不透声材料对

高频的吸声效果不好,只能防得住中高频,防不住低频。其内部含有一些玻璃纤维,是用来解决低频的问题。大家知道空腔低频吸声主要是依靠共振能量损耗,中高频能量的耗散主要依靠散射和波型模式转换^[6]。在第一层和第二层之间设计的 8 cm 空腔会使中高频到达第二层上会做一个反射,当其反射回第一层时会再被第一层消耗一次。利用这个结构便大大增加了中高频的吸声效率。

经测试该声学模块的吸声系数为 0.95,在整个展馆中将使用 880 m² 的声学模块(房间 6 个面总面积为 2 666 m²),通过赛宾公式可以计算出这些模块的量只能使房间的混响时间达到 1.4 s,如图 4 所示。

$$RT_{60} = 0.16 \times \frac{V(\text{房间体积})}{\alpha(0.95) \times S(\text{所需模块面积}) + \alpha(0.12) \times S(\text{剩余面积})} = \left(\frac{0.16 \times 9182}{0.95 \times 880 + 0.12 \times 1786} \right) s \approx 1.4 s \quad (2)$$

这与笔者的目标混响值存在着一定的差距,因此必须进行其他的设计来弥补墙面模块吸声的不足。

3.2 增加低频吸声的创新措施——顶部设计

展馆主要用于电子音乐的演出,整场演出尽显

现代科技与当代艺术之美。为此,在顶部用于吸声与装饰的材料采用了 PVC 材质的直径为 150 mm 的“气球”,如图 5 所示。该设计除了有低频吸声的功能,也增加了顶部空间的扩散功能,使声音能够在房间中间的均匀度更好地体现。

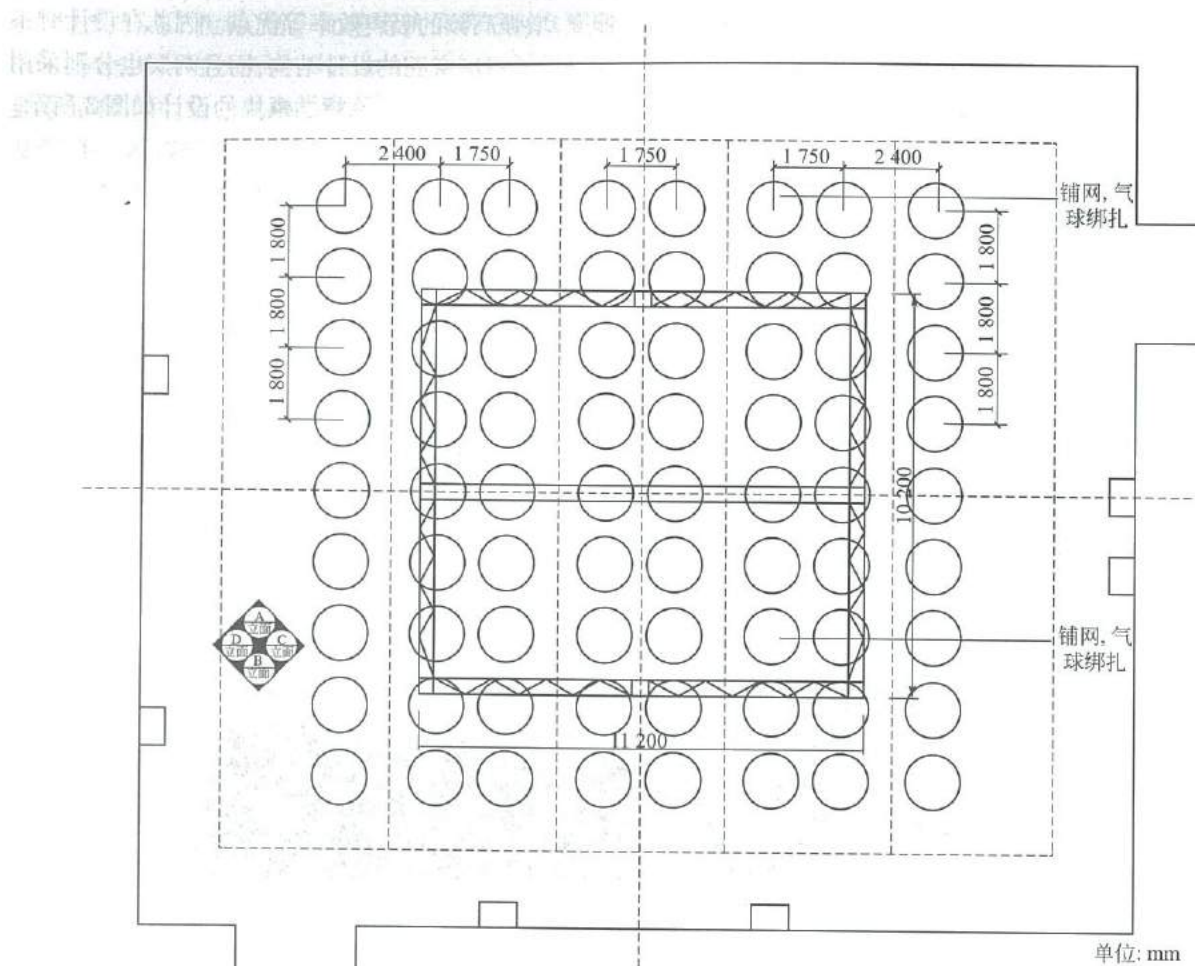


图4 设置气球用于低频吸收及高频扩散

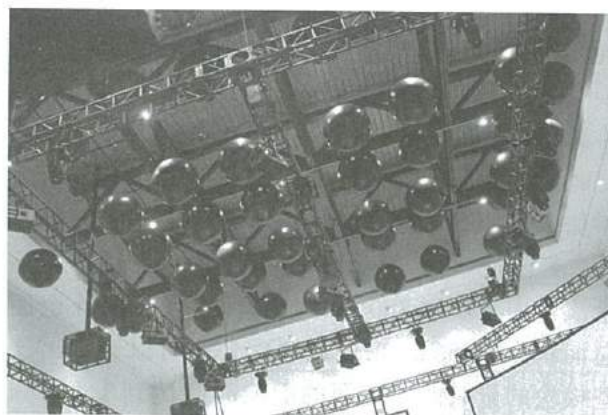


图5 顶部气球式的声学处理方式

根据相关的实验结果表明^[7], 单个球腔的径向共振对覆盖层的低频消声性能有重要贡献, 覆盖薄层在共振区具有良好的消声性能。在展馆顶部布置PVC气球去铺满顶部空间, 不仅可以作为当代艺术装置美化环境, 而且弥补了墙面模块对低频吸声的不足。

4 检测验证

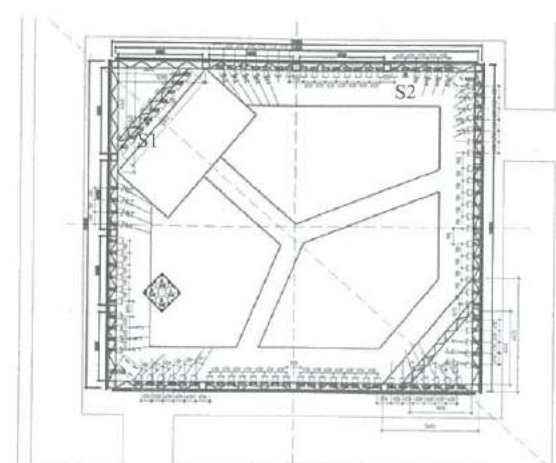
经过以上种种声学措施后, 笔者再次采用 Gold Line TEF 测试设备对该空间进行了各个频段的混响时间测验。该测试是在演出正常使用状态下进行的(无观众), 既开空调, 无外界强声源。扬声器采用场内演出所用扬声器, 测点如图6所示, 分别为0层 S_1, S_2 , 1层 S_3 。

接收点如图7所示, 分别为 R_1, R_2, R_3, R_4 。

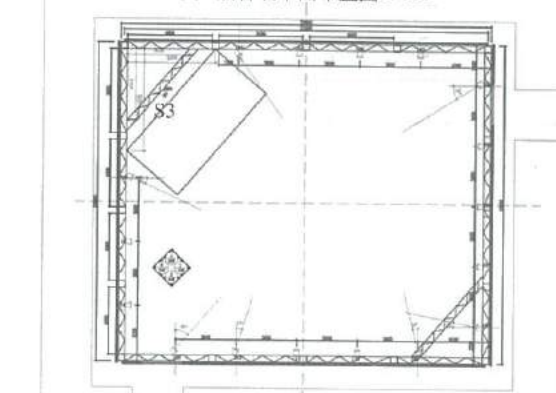
经检测得出的 R_1, R_2, R_3, R_4 在 S_1, S_2, S_3 三个测点各频段的混响时间如表2~5所示。

最后经计算得出处理后该空间的个频段混响时间平均值如表6所示, 平均混响时间为0.849s。

设计完成后声学测试仪所得出的测试数据与理论数据基本一致, 还要考虑到观众的吸声系数^[8], 误差在容许范围内。墙面的模块与顶部气球的设计有效地降低了混响时间, 声学设计前后混响时间对比如表7及图8所示。

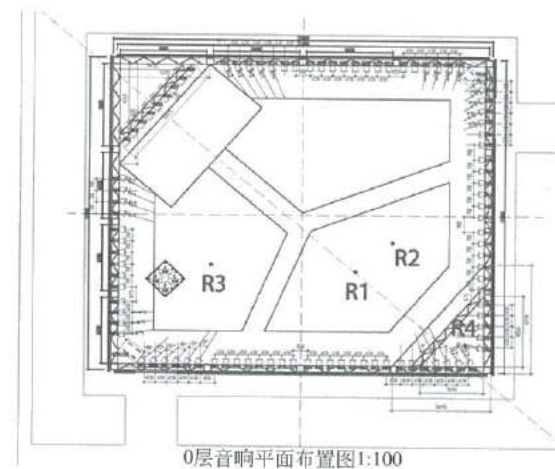


(a) 0层音响平面布置图1:100



(b) +1层音响平面布置图1:100

图6 声源测点布置图



0层音响平面布置图1:100

图7 接收点 R_1, R_2, R_3, R_4 示意图(截图)

表2 R_1 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000	平均值
S_1	0.97	1.64	0.47	0.38	0.73	0.48	0.73
S_2	1.48	0.72	1.18	0.6	0.66	0.25	0.74
S_{2-2}	1.53	0.71	1.42	0.55	0.69	0.24	0.77
S_{2-3}	1.64	0.74	1.22	0.57	0.65	0.25	0.76
S_{3-1}	2.30	1.19	0.79	0.55	0.65	0.45	0.91
S_{3-2}	2.09	1.21	0.77	0.56	0.67	0.44	0.88

表3 R_2 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000	平均值
S_{1-1}	0.96	1.91	0.56	0.57	0.64	0.55	0.80
S_{1-2}	0.95	1.94	0.55	0.56	0.63	0.60	0.80
S_{2-1}	1.29	1.02	1.97	0.36	0.56	0.46	0.85
S_{2-2}	1.17	1.03	2.36	0.37	0.57	0.46	0.90
S_{3-1}	1.08	1.58	1.28	0.54	0.64	0.51	0.87

表4 R_3 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000	平均值
S_{1-1}	1.00	2.00	1.01	0.50	0.70	0.45	0.87
S_{1-2}	0.98	2.04	1.00	0.48	0.68	0.41	0.85
S_{2-1}	1.10	1.33	1.00	1.29	0.98	0.59	0.97
S_{2-2}	1.09	1.34	1.00	1.34	1.02	0.60	0.98
S_{3-1}	1.50	1.36	1.04	0.70	0.71	0.46	0.87
S_{3-2}	1.48	1.37	1.01	0.70	0.72	0.48	0.87

表5 R_4 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000	平均值
S_1	1.16	1.54	0.70	0.63	1.02	0.42	0.84
S_2	1.14	1.76	0.95	0.65	0.63	0.28	0.81
S_3	1.50	1.15	1.14	0.58	0.76	0.59	0.90

表6 $R_1/R_2/R_3/R_4$ 平均混响时间

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000	平均值
RT_{60}/s	1.304	1.397	1.065	0.618	0.722	0.449	0.849

表7 声学设计前后的混响时间

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
处理后 RT_{60}/s	1.034	1.397	1.065	0.618	0.722	0.449
处理前 RT_{60}/s	5.600	4.800	4.600	4.500	4.200	4.000

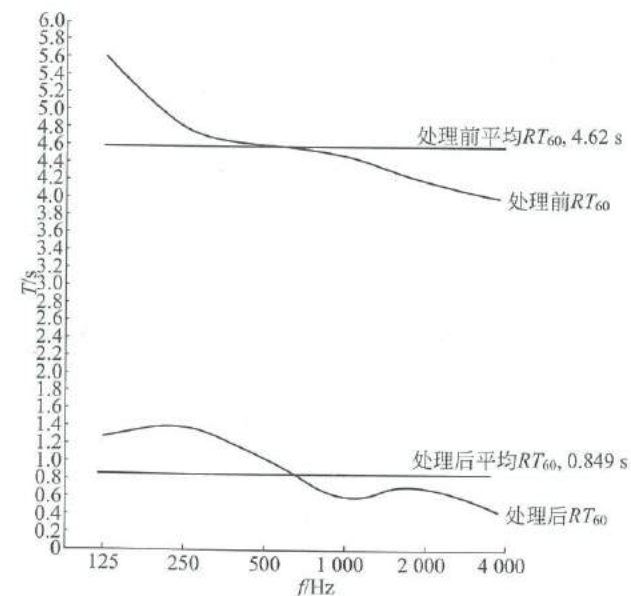


图8 声学设计前后的空场混响时间 T_60

综上所述,可以确定在经过一系列的声学设计后,该展馆空场时的平均混响时间已经由原来的4.62 s减小到0.849 s,与笔者所推论适合电子音乐演出的最佳混响时间值0.7~0.9 s基本相符,此次对上海二十一世纪民生美术馆展馆用于电子音乐演出的声学设计是有效的。

但是笔者认为在500~1 000 Hz之间混响时间差值较大,为此笔者在场内再次设计增加了绒面地毯与观众席(皮质沙发与蒲团),以期可以吸掉一部分500~1 000 Hz的声音,增加的地毯与座位及测点。同时为了增加准确性还加测了顶部音箱平面波为测点 S_4 。

经检测得出的 R_1, R_2, R_3, R_4 在 S_1, S_2, S_3, S_4 三个测点各频段的混响时间如表8~11所示。(其中 $R_1, R_2, R_3, S_1, S_2, S_3$ 与第一次测试时所取点位置均相同。)

表8 R_1 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000	平均值
S_1	1.020	1.260	0.600	0.800	0.670	0.590	0.780
S_{1-2}	0.990	1.440	0.820	0.780	0.550	0.490	0.780
S_{2-1}	0.940	1.390	0.930	0.630	0.610	0.440	0.770
S_{2-2}	0.810	1.750	0.920	0.630	0.590	0.450	0.770
S_{3-1}	1.000	1.270	0.770	0.820	0.470	0.570	0.770
S_{3-2}	0.950	0.940	0.830	0.690	0.490	0.420	0.690
S_4	0.930	1.050	0.830	0.520	0.710	0.530	0.730
平均值	0.949	1.300	0.814	0.696	0.584	0.499	0.756

表9 R_2 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000	平均值
S_{1-1}	2.260	2.210	0.700	0.860	0.750	0.350	1.070
S_{2-1}	1.420	0.980	0.420	0.610	0.320	0.220	0.610
S_{3-1}	1.950	1.670	0.960	0.880	0.720	0.580	1.020
平均值	1.877	1.620	0.693	0.783	0.597	0.383	0.900

表10 R_3 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000	平均值
S_{1-1}	1.210	2.730	0.780	1.040	0.500	0.390	1.020
S_{1-2}	1.190	1.560	0.710	1.190	0.480	0.330	0.840
S_{2-1}	1.180	1.260	0.740	0.520	0.660	0.590	0.750
S_{2-2}	1.200	1.410	0.610	0.630	0.860	0.330	0.770
S_{3-1}	1.240	2.670	0.730	1.050	0.620	0.450	1.030
平均值	1.204	1.926	0.714	0.886	0.624	0.418	0.882

表11 R_4 声源点测得数据 RT_{60}

f/Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000	平均值	
S_1	1.230	1.200	0.600	0.780	0.600	0.640	0.790	
S_2	1.350	1.930	0.610	0.900	0.680	0.460	0.890	
RT_{60}/s	S_3	1.250	0.860	1.010	0.590	0.620	0.610	0.770
S_4	2.390	0.930	1.090	0.400	0.750	0.740	0.990	
平均值	1.555	1.230	0.828	0.668	0.663	0.613	0.860	

最后经计算得出处理后该空间的各频段混响时间平均值如表12所示,平均混响时间为0.849 s。

表12 $R_1/R_2/R_3/R_4$ 声源点在测点 S_1, S_2, S_3, S_4 测得平均混响时间

f/Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000	平均值
RT_{60}/s	1.396	1.519	0.762	0.758	0.617	0.478	0.849

声学设计前后(加座位等)的混响时间如图9所示。

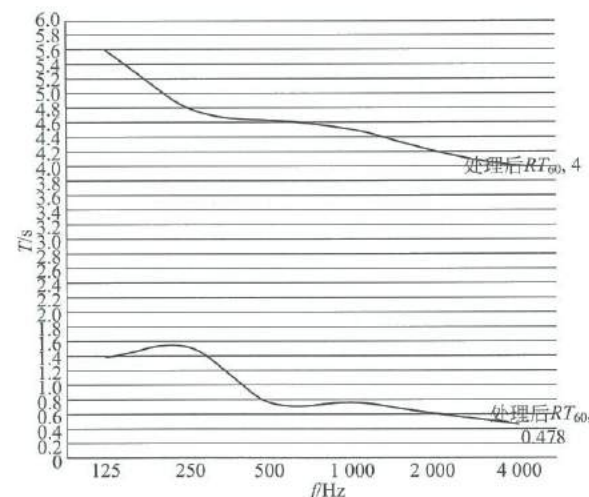


图9 声学设计前后(加座位等)的混响时间

在增加了地毯与座位后,平均混响时间没有变,都是0.849 s。而通过第一次测点的混响时间曲线与第二次相对比(见图10)不难看出,增加的地毯与沙发座椅等对500 Hz的混响时间的降低产生了比较明显的作用,令混响时间在500~1 000 Hz频段的数值差更加小(更加符合ITU 1116对混响时间的标准)。

这对在将来适用于电子音乐演出的室内声学设计中各个频段的混响时间把握起到一定的参考作用。

除此之外,还应考虑到满场时观众吸声系数的影响,总的混响时间会再降低一些,会低于目前声学设计后所得出的0.849 s,与理论混响时间数值0.7~0.9 s

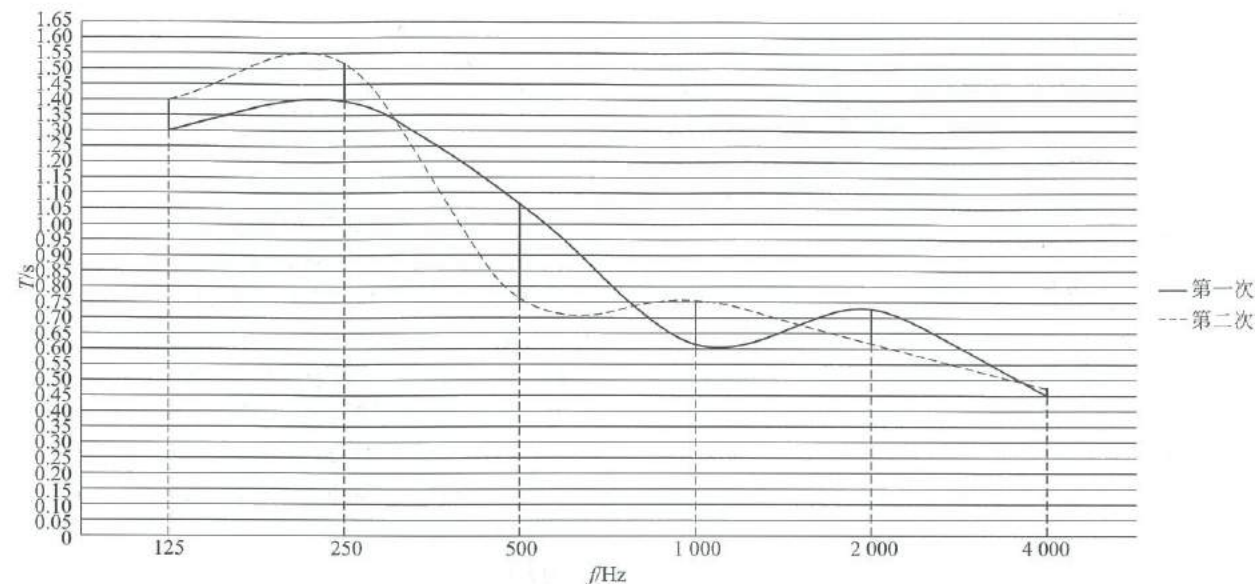


图10 两次混响时间测试对比图

基本相符。

5 结语

基于此声学设计与电声设计的基础上,费迪曼逊四维音乐工程设计公司于2015年8月13日邀请德国工程师Stmauer赴上海二十一世纪民生美术馆为演出前的音响效果做最后的调试,就该声场笔者对Stmauer进行了采访,Stmauer认为根据他的感受,这样的声场环境已经非常接近完美的电子音乐演出的声场环境了。他说由于他并不了解在声学设计之前,以及其他设计方案将会带来怎样的效果,所以无法确定这样的声场环境是不是最完美的。但他可以确定的是,这是一个适合电子音乐演出的场所,这样的混响环境是合适的^[9]。

而在“声立方—超感官空间”进行了五天演出的2015年8月28日晚上,在上海二十一世纪民生美术馆内为此次演出开展了一场名家云集的演后谈。其中韩锺恩教授谈了他对本次在该感官空间内的演出给予了高度的美学评价。韩锺恩教授说:“我觉得世道变了,传统意义上的作品在这里不见了,在这个作品当中我们首先要所谓的艺术啊审美啊都卸掉,来直接面对这样一种纯粹的声音。这也是我自己在做美学研究过程中,面对20世纪的音乐一直想给出的一个姿态。当我们带着古典的姿态去聆听这样一种新的声音的时候,可能会给出不合时宜的评价……”除此之外,韩锺恩教授还提到:“我可以这样讲,第一,我们原来心目中的音乐是一种美的艺术,到了20

世纪音乐,我们更多地面对的是音响艺术……今天我可能更愿意把它看作是一个声音技术的产物,它可能会越来越走到声音本身当中去。”

上海戏剧学院教授对此次演出啧啧称奇:“它反映了极其综合性的一个跨界的交互的演出,这个媒体应该是当代世界上最现代的。不到声立方的现场来,你怎么跟他讲这里有多好都没有用,因为你感受不到声音、灯光等的配合。我们是在体验感受,这个演出跟我们的传统的美学理念完全不一样!”

而第三幕的作者杨扬在关于碎片化问题的回答上表示,这个场馆的声学设计在表现各个作品时能够给观众和谐的感受,他说:“关于这个问题我觉得首先这不是一个传统意义上的音乐厅,他是一个开放的环境。第二就是说,我们这些作品……他们自己本身就是一个比较开放性的,或者说自己已经存在一个界限在它本身的作品里,所以当这些作品在同一个听觉环境出来到大家的耳朵里,他本身就存在一定的统一性。”

而第四幕的作者徐志博则提出了新的电子音乐空间思维与现在该空间经过声学设计之后存在的一些不足之处。他说:“其实创作这个作品最初的原动力是这个3D空间……虽然只有6个演员,但是能够在这个空间呈现出一种接近于3D的,也就是说在我们观众四周的一个站位……这个空间现场的扩声我们可以说是一个虚拟的3D,人在这个空间里面就是一个真实的3D,是两种3D的混合。”同时他觉得座位的设置令他的创作受到了一定的限制,“其实我们本来是想和观众有更多地互动的,现在的呈现演出方式

是我们逐渐从理想走向现实的结果。之前考虑过不设置座位,观众可以自由走动,因为这个3D系统并没有一个“皇帝位”,没有所谓最好的听音位置,每个位子都能获得最真实的听音体验。其实听我们的作品大家应该是走来走去,你对哪里感兴趣就走到哪里,但是这在演出过程中会有限制……”

韩钟恩教授极其准确地提出了此次演出并不是单纯意义上的一场音乐会,很难从声音或者音乐上将这次的演出归纳出来,甚至没有一个很明确的现成定义。因此适合该演出的场馆的声学设计也是摸索进行的,就这种演出形式而言,该场馆的声学设计所起到的影响总体来说是正面的,它没有削弱艺术的表现力,而是令其更加真实与完整地展示在观众面前。

参考文献:

[1] 张秀欣,张坤书,田中敏.声学建筑声运动的关键——混响时间的控制[J].商场现代化,2005(3):8-11.
[2] 韩宝强.空间音乐声学研究:把音乐放在首位[J].演艺设备与科技,2006(2):8-10.
[3] 张晓贞.初论电子音乐的音响听觉特性[D].北京:中央音

(上接第6页)

的盲目状态,需要提供更多定量或者半定量的参考数据。目前普遍采用的缩尺模型试验法由于受项目投入资金的限制往往无法进行,而且优化改动也不方便,常用的建筑声学辅助设计软件例如CATT及ODEON等又不能对界面的散射行为进行模拟,所以不借助其他数值分析方法就几乎没有办法实现半定量分析。本次音乐厅中的声扩散设计初探表明运用快速多极边界元法来预测扩散体的影响是可能的,通过与平面的对比,选择优化的扩散表面更有利于把声能量有效投射到需要的区域,这种方法可以为扩散设计提供数据支持,尽管这只是大量声学设计中的一个环节,但量化的描述对声学设计起到了很好的促进作用,也为声扩散的影响问题提供更多有益的参考。

参考文献:

[1] ROBINSON P, XIANG N, BRAASCH J. Understanding the perceptual effects of diffuser application in rooms [C]//Proceedings of Meetings on Acoustics. Acoustical Society of America, 2014, 12(1): 015002.
[2] HARRIS R. The acoustic design of the Bridgewater Hall, [C]//Proceedings of the Institute of Acoustics. Manchester: [s.n.], 1997, 19(3): 129-135.
[3] BARRON M. Auditorium acoustics and architectural design

乐学院, 2011. 第四章空间音响特性_声音的调色板: 29-37; 第五章电子音乐音响特性在作品中的体现 P37.

[4] 魏刚. 多孔性吸声材料及穿孔装饰吸声板的吸声特性[J]. 房材与应用(材料·结构), 2005(6): 10-12.
[5] 李海涛, 朱锡, 石勇, 等. 多孔性吸声材料的研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2004(6): 15-18.
[6] 白国锋, 刘碧龙, 隋富生, 等. 多重散射方法研究轴对称空腔覆盖层的声学特性[J]. 声学学报, 2012(3): 15-19.
[7] 赵宏刚, 刘耀宗, 温激鸿, 等. 含有周期球腔的黏弹性覆盖层消声性能分析[J]. 物理学报, 2007(8): 5-8.
[8] 华天初. 音乐厅声学指标的客观标准及意义[J]. 音乐艺术(上海音乐学院学报), 2007(1): 22-26.
[9] 韩宝强. 我国近代音乐声学研究概览[J]. 武汉音乐学院学报, 2002(1): 5-8.

作者简介:

林勇(1960—), 学士, 副教授, 中国美术学院3D音画研究所所长, 主要研究方向为录音、音效理论与创作;
徐真德(1984—), 硕士, 中国美术学院3D音画研究所研究员, 主要研究方向为3D全息声音技术;
陈畅(1991—), 学士, 主要研究方向为3D全息声音技术。
责任编辑: 史丽丽 收稿日期: 2015-10-22

[M]. [S.l.]: Routledge, 2009: 149-153.
[4] COX T J, D'ANTONIO P. Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application [M]. [S.l.]: CRC Press, 2009.
[5] 王韵镛. 界面声扩散对音乐厅室内音质的影响初探 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
[6] 赵越喆, 张冉. 声学扩散体及界面声散射研究进展 [J]. 南方建筑, 2012(2): 90-94.
[7] BERANEK L L. Concert hall design: some considerations [C]//International Symposium on Room Acoustics. England: [s.n.], 2013.
[8] 章奎生. 音乐厅建声设计技术的传承与发展 [J]. 声学技术, 2011, 30(1): 27-32.
[9] YLA-OIJALA P, KIMINKI S P, J ARVENPAA S. Conforming boundary element methods in acoustics [J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2015, 50: 447-458.
[10] HARGREAVES J A, COX T J. A transient boundary element method model of Schroeder diffuser scattering using well mouth impedance [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2008, 124(5): 2942-2951.
[11] LENZ R L. Acoustic diffusers, the effects of materials and finishes on diffusion efficiency and absorption coefficients [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2013, 134(5): 4003-4003.

责任编辑: 史丽丽

收稿日期: 2015-10-13

文献引用格式: 薛政, 沈勇, 冯雪磊. 有限长线声源曲面声场分析 [J]. 电声技术, 2016, 40(1): 21-24.

XUE Zheng, SHEN Yong, FENG Xuelei. Analysis on curved sound field of finite line sound source [J]. Audio Engineering, 2016, 40(1): 21-24.

中图分类号: O42 文献标志码: A DOI: 10.16311/j.audioe.2016.01.04

有限长线声源曲面声场分析

薛政, 沈勇, 冯雪磊

(南京大学 声学研究所近代声学教育部重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要: 以椭圆面的声场为例, 分析线声源曲面声场特性。通过理论建模, 并进行仿真计算, 得出椭圆面声场特性, 即频率、椭圆面声场位置、椭圆性质、线声源长度等参数对声场性质影响。通过调节椭圆面位置和形状, 可以在一定长度和频率下的声源下获得最佳声场。对影院、剧场设计具有一定的参考意义。

关键词: 有限长线声源; 曲面声场; 参数分析

Analysis on curved sound field of finite line sound source

XUE Zheng, SHEN Yong, FENG Xuelei

(Key Laboratory of Modern Acoustics, MOE, and Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: This article analyses the acoustical characteristics of curved surfaces and focuses on the oval surface. Through theoretical modeling and simulation computing, we finally find out the acoustical characteristics of oval surface field. By changing the position and shape of oval surface field, the best sound field can be obtained under particular length and frequency of source. This paper can provide some reference for cinema and theatre.

Key words: finite line sound source; curved sound field; parameters analysis

扬声器阵列相对单个扬声器有更好的声学特点, 主要表现在辐射声能集中, 因此获得了十分广泛的应用^[1], 也受到相关科研工作者的关注。当阵列中扬声器数目较多并且排列紧密时, 可以认为阵列是线声源, 而现实应用也表明用线声源代替阵列来分析声场是合理的^[2]。早在20世纪30年代, Wolfe和Malter L便提出了线声源的概念^[3], 随后在1940年, Olsen阐述了线阵列的原理^[4]。线阵列研究发展至今, 已经融入了阵列排布设计、算法等一系列复杂的程序^[5-6]。2015年, 张赵晶等人分析了斜面声场特性^[7], 但这还缺少对曲面声场的研究, 而曲面声场在实际生活中出现最多, 具有高度的实用价值。本文分析曲面声场中的椭圆面声场, 基于理论推导与仿真计算, 分析了不同参数对椭圆面声场的影响, 得出了椭圆面声场的声场特性。

基金项目: 舞台听觉呈现系统声场仿真技术研究(2012BAH38F03-02)

1 理论分析

对线声源声场的研究建立在点源辐射的基础上, 即将线声源看作无穷多点声源, 辐射声场就是这些点源辐射声场的叠加。在本文分析中, 线声源是相同的, 即各点声源特性完全一致, 因此在计算声场分布特性时, 可以不用考虑声源引起的影响, 而只考虑由相对位置产生的幅值、相位特性。在图1中, 点源A在B点产生的声场为

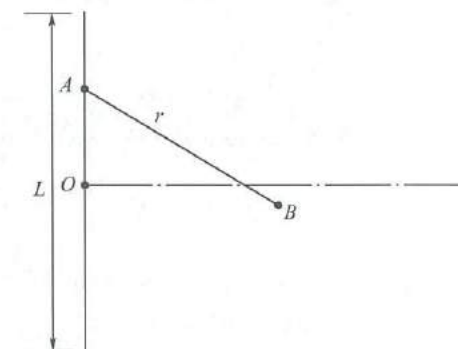


图1 点源模型