



陝西師範大學
SHAANXI NORMAL UNIVERSITY

本科生交叉实验论文(设计)

题目：基于文津楼 201 与文渊楼 102 报告厅的室内声
场分析

作者单位： 陕西师范大学物理学与信息技术学院

作者姓名： 赵成思 41706200 恒元 1701

罗 研 41706213 物（新） 1701

王 瑶 41706250 物（新） 1701

李子凡 41606193 物（新） 1701

指导教师： 高 洁（副教授）

2021 年 1 月

摘 要

随着我国高校的扩招与高校在校生的急剧增多,各高校开始在原校区扩建或改建大量的教学楼,以满足学生成长和教学的需要。但盲目扩建使得许多教报告厅声学条件跟不上的问题愈加突出,不良的声环境也会影响学校的教学质量和教学活动的进行。本文以本校文渊楼和文津楼报告厅为对象,对两者的声学环境进行了实地的声学数据测量与声场分布评估,对比其声学处理程度的差异,分析其课堂声学环境及相应改进。本实验采取的方法主要是,使用球形声源发射不同频率的单频声与白噪声,在各个分布点测量其声压级数值,从而研究两个报告厅内的声场分布情况并对其声场处理性能提出改进。

关键词: 声场分布, 混响时间, 传声器, SPL

[Abstract] With the expansion of colleges and universities in China and the sharp increase of college students, colleges and universities begin to expand or rebuild a large number of teaching buildings in the original campus to meet the needs of students' growth and teaching. However, the blind expansion makes the acoustic conditions of many teaching and research halls more prominent, and the bad sound environment will also affect the teaching quality and teaching activities of the school. In this paper, the acoustic data measurement and acoustic field distribution evaluation of the acoustic environment of Wenyuan Building and Wenjin Building are carried out, and the differences of acoustic processing degree are compared. The classroom acoustic environment and corresponding improvements are analyzed. The main method adopted in this experiment is to use spherical sound source to emit single frequency sound and white noise with different frequencies, and to measure the sound pressure level values at each distribution point. The distribution of sound field in the two lecture halls is studied and the performance of sound field processing is improved.

[Key words] sound field distribution, reverberation time, microphone, SPL

目录

| | |
|--------------------------|-----------|
| 摘 要 | 2 |
| 1.绪论 | 6 |
| 1.1 相关背景..... | 6 |
| 1.2 主要研究内容及目的..... | 6 |
| 2.声学测量的理论基础 | 8 |
| 2.1 声学基本理论..... | 8 |
| 2.1.1 声音产生的原理: | 8 |
| 2.1.2 声音的产生与传播: | 8 |
| 2.1.3 听觉的特性..... | 9 |
| 2.1.4 室内声场特性..... | 9 |
| 2.2 背景噪声..... | 10 |
| 2.2.1 噪声 | 10 |
| 2.2.2 噪声声源..... | 10 |
| 2.2.3 噪声——语言的私密性..... | 10 |
| 2.2.4 噪声控制标准..... | 11 |
| 2.3 声音的计量..... | 12 |
| 2.3.1 声压、声强、声功率..... | 12 |
| 2.3.2 声功率级、声强级与声压级..... | 12 |
| 2.3.3 计权声级..... | 13 |
| 2.3.4 频率与频程..... | 14 |
| 2.4 室内混响..... | 14 |
| 2.5 室内声场测量原理..... | 16 |
| 2.6 影响传声器阵列定位性能的因素..... | 17 |
| 3.实验方案及实验设备 | 18 |
| 3.1 实验方案..... | 18 |
| 3.2 实验设备..... | 19 |
| 4. 仪器的使用说明 | 22 |
| 4.1 仪器基本介绍..... | 22 |
| 4.2.设置硬件连接..... | 22 |
| 4.2.1 进入测试界面..... | 22 |

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| 4.2.2 开始测量..... | 23 |
| 4.2.3 数据导出..... | 24 |
| 4.3 2270 的使用..... | 24 |
| 5.对声学实验的数据处理与分析 | 26 |
| 5.1 实验背景噪声的测量..... | 26 |
| 5.2 对各单频声下的声压级图像的处理与分析..... | 26 |
| 5.2.1 各频率下不同位置的声压级图像（未做声学处理） | 26 |
| 5.2.2 各频率下不同位置的声压级图像（做过声学处理） | 28 |
| 5.3 对各个位置的声压级图像的处理与分析..... | 29 |
| 5.3.1 各位置下单频声的声压级曲线及分析（未做声学处理） | 29 |
| 5.3.2 各位置下单频声的声压级曲线及分析（做过声学处理） | 31 |
| 5.4 不同位置下讲课的声压级图像及分析..... | 32 |
| 5.4.1 不同位置下讲课的声压级曲线及分析（未做声学处理） | 32 |
| 5.4.2 不同位置下讲课的声压级曲线及分析（做过声学处理） | 33 |
| 5.5 不同频率下报告厅的三维分布和二维分布图及分析..... | 33 |
| 5.5.1 报告厅在不同频率下的二维分布（未做声学处理） | 33 |
| 5.5.2 报告厅在不同频率下的二维分布（做过声学处理） | 34 |
| 5.6 白噪声时声场的二维和三维分布..... | 36 |
| 5.7 混响时间..... | 37 |
| 5.8 基于 EASE 软件对于教室进行模拟..... | 38 |
| 6.实验结论 | 错误!未定义书签。 |
| 参考文献 | 42 |

1.绪论

1.1 相关背景

随着大学生招生数量的增加,有更多的课堂知识的授予需要在大报告厅中进行,这时报告厅场地的开阔为更多学生的课堂学习创造了更好的条件,它既冲破了常规小教室的空间限制,也使得学校对于课堂的管理更加方便,而报告厅的声学性能的设计提升与改善,其对大学生课堂学习具有至关重要的作用。

高校教育是我国培养高等研究人才的初级阶段,也是培养人才的主要场所,同时高校的大报告厅也是国内许多学校授课的主要平台,我国人才的培养主要的一点就在于对学生授课质量的保证,这是反映学校教学、科研、学科建设和管理水平的重要标志之一。在新世纪的竞争中,一个国家的竞争力部分体现在这个国家对于下一代人才的培育,具体来说就是这个国家所具备的高校的授课环境、授课教师水平与授课内容的质量,所以高校报告厅的声学建设是高校必须面对和重视的问题。

近年来,国家加大了对高校授课研究的投入,十分重视各个高校教学基础设施建设,特别是教学类大报告厅。各大高校按照教学计划,针对学生本学年教学任务中开设的各类专业课程,依据高校其现有的自身条件,设计并拟定具有高效性的开放管理草案,及时有效地将对学生的培养方案计划等向全体学生公布,便于学生满足自身需求的学习时间与内容,也便于教师严格遵循标准化预约流程开展教学工作。这对于各专业人才的培养以及提高学生专业素质与技能有着不可估量的作用。

而在报告厅建设中,人们往往着重于现代化教学设备的需求,而对其声场分布的考虑容易被人们忽略。然而在教学实践之中,一个好的声场分布环境对于老师的教学工作和学生的听课体验有着极大的影响,因而对于报告厅的声场分布测试可以很好的观测出其在声学性能方面的考量与设计。

1.2 主要研究内容及目的

本实验采用固定位置的球形声源,使其发出不同的单一频率和白噪声等,选取均匀分布于实验室的64个测量点,记录其声场的频域及时域,从而分别研究

两个报告厅内的声场分布状况。

对于不同频率下的同一行或同一列位置，对比其声场的声压级大小，探究变化规律。

对于同一频率下的不同位置，研究其声压级变化规律及与声源位置关系。

通过研究以上问题，比较不同频率声波在报告厅内的声场分布差异，探究不同位置对声音接收的声压级大小，从而研究其声学性能。

通过对两个对声学性能的不同处理程度的报告厅所展现的声压级图差异，分析其对单频声的处理吸收特性。

2.声学测量的理论基础

2.1 声学基本理论

2.1.1 声音产生的原理:

在有弹性介质扰动时会产生声音。一旦扰动发生,不管是在空气中的管弦乐器还是物体下落撞击地板的声音,声波将依靠介质,以一定的速度向外传播。因此,任何有关建筑声学的考虑都可以看作这样一个系统:声源、传播路径和声音接受者。

2.1.2 声音的产生与传播:

声音不是一种实实在在的物质,与通过视觉和触觉所感知的物体不同,其本质就是媒质中介质的振动。声音的产生和传播需要具备两个基本条件:一个条件是物体的振动,即振动源;另一个条件是传播振动的媒质,例如在真空中就没有声音,因为没有声音传播的介质,二者缺一不可。图表示的是敲击声叉——声音产生的一种最简单的形式。对于一个振动的音叉在空气中产生的简单的声波,其他所有复杂的声波亦是如此。

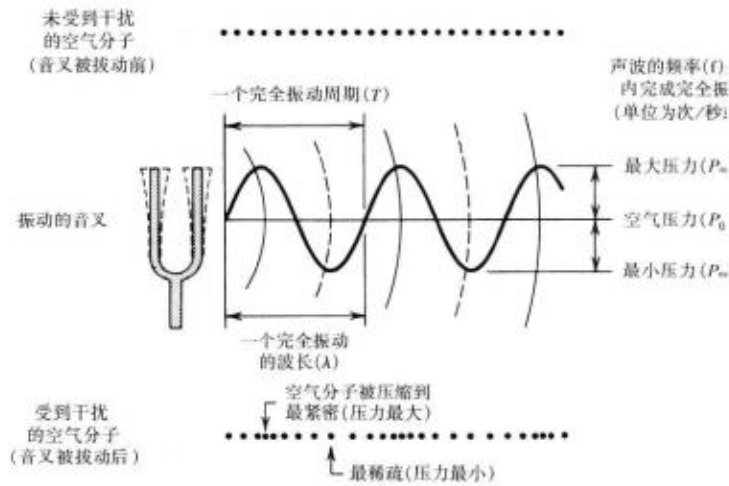


图 2.1 音叉说明一个简单的纯音如何产生

有声音的空间和区域称为声场。一定的频率和强度的声波传到人们的耳朵里的时候,人们就会产生相应的声音的感觉。

2.1.3 听觉的特性

掩蔽效应是指同一环境中的其它声音会使聆听者降低对某一声音的听力,或者说一个声音的听阈因为另一个较强声音的存在而上升的现象称为掩蔽。一个声音对另一个声音的掩蔽值,被规定为由于掩蔽声的存在,被掩蔽声的听阈必须提高的分贝数,提高后的听阈称为掩蔽阈。实验表明,当几个内容相同的声音相继到达听者处时,听者不一定能分辨出是几个先后来到的声音,就是说,人的听觉对延时声的分辨能力是有限的,这种现象即人类听觉的延迟效应,也称“哈斯效应”。大量测量统计发现,若有两个声音,后到者不比先到者的声压级高,不管后到者(延时声)是从哪个方向传来的,当延时声滞后时间不超过 17ms 时,人们就不会发现是两个声音当两个声音的方向相近时,延时 30ms 的延时声也不一定能被发现,当延时 35~50ms 时,延时声的存在才会被感觉到,当延时声超过 50ms 时,人们会感到延时声像回声一样起干扰作用。Hass 效应在扩声工程和室内声学以及立体声技术中必然要遇到并应充分利用。

2.1.4 室内声场特性

室内声学的研究对象是建筑空间内的声音传输。声波在室内传播过程中,当遇到的界面和障碍的尺寸与声波的波长相比足够大时,声波将按照几何光学反射定律反射。界面不同,反射的结果就不相同,我们希望声场越均匀越好。由声源直接传播到听者或传声器的声音,称为直达声由界面反射后而到达听者或传声器的声音,称为反射声还有一些经多次反射分布很密、方向不明确、能量更少一些的反射声,专业上称为混响声。直达声影响声音的亲切感,直达声不够,声音就缺乏亲切感反射声影响声音的清晰度混响声主要影响声音丰满度。厅堂中声音之所以好听,是三者配比适当的结果。室内声学问题,首先涉及到室内声场的物理方面和从声源到接收者的声音传输问题,再有是做为接收者的人对室内声场中的声音直达声与反射声共同存在的感知和审美问题。

室内声场的显著特点是:

- (1) 距声源有一定距离的接收点上,声能密度比在自由场中要大,不随距离的平方衰减,这是反射声的加强所引起的。
- (2) 声源在停止发声以后,在一定的时间内,声场中还存在着来自各个界面的延迟的反射声,即所谓“混响现象”。

房间的共振频率指的是,当房间中的声源产生声音时,整个房间对不同的频率会有不同的响应,其中最容易被激发起来的频率成分就是房间的共振频率,房间的共振频率主要由房间的大小决定。如果共振频率分布不均,就会使声音中某些频率成份不自然或单调地得到加强,使声音变得生硬或刺耳,这就是“染色现象”,对于容积比较小的矩形房间等,在低频段更容易引起这种现象。改变房间的尺寸比例或者形状,就可以改善或消除简并现象,改变房间的装饰与吸声材料的不规则配置也可以改善这种现象。

2.2 背景噪声

2.2.1 噪声

为了确保良好的室内声环境,并不是所有的声音都要保留,这时候通常需要去除噪声。任何一个声音都能从声源、路径和接收者进行分析,建筑噪声也能如此。

2.2.2 噪声声源

建筑中噪声的主要声源主要分为三类:

(1) 人们活动和办公设备产生的声源;

(2) 由建筑服务设备产生的声源;

(3) 由于建筑外部的环境产生的声源。比如人们的脚步声,空调的气流声等,都是噪声。这些噪声的声源产生震荡,引起室内声环境的不理想。

建筑噪声的传播通常有两种方式,一个是空气(气体)的传输,比如,空调风管的气流交换产生的气流声,会通过空气传播,引起观众的不适。另一个是建筑物(固体)传输,比如,一栋高层住宅,负一层的某个控制室产生的噪声会通过建筑楼板或者管道等的传播到楼上的用户中,影响居民的生活。

2.2.3 噪声——语言的私密性

在封闭的空间中,例如办公室、学校、旅馆、礼堂乃至我们这次着重介绍的演播厅,当噪声传来的时候,会让人们感觉到极不安全,也就是私密性受到威胁。当声音从一个声源室传到另一个声源室的时候,语言的私密性与清晰度是相互矛盾的。即一个房间传出的声音越弱(清晰度越低),那么证明该房间的私密性越

好。有六个因素可以影响语音的私密性：

(1) 听众位置处的背景声（受声室）。提高背景声可以掩盖一部分的噪声。

(2) 声源的强度。声音的信号越强，受声室得到的声音越清晰。

(3) 受声室对声音的吸收。通过提高对受声室的吸声设计，可以使噪声减弱。

(4) 声源室和受声室的比例。声源室和受声室的尺寸比例越大，受声室的声音信号越强。

(5) 在声源室和受声室之间的传输声音的结构特性。比如两个房间之间通过空气传声或者通过墙体传声，结果是不同的。

(6) 对语言私密性的需要。不同性质的建筑对语言的私密性有不同的要求。如果要求越高，则说明，噪声的信号越低，即有足够的屏蔽。

2.2.4 噪声控制标准

事实上，想要把噪声完全消除或隔绝是不可能，也是不必要的。因此，噪声控制的目的是根据实际情况，用最经济的方法把噪声限制在某一合适的范围内。在不同情况下容许的最高噪声声级的标准，称为噪声控制（评价）标准，简称“噪声标准”。

目前广泛采用的噪声标准有两大类。一类是以单一数值表示的噪声个人（评价）标准，即 A（计权）声级，简称 A 声级，记为 dB(A)。一般认为，它与人的主观评价有较好的相关性。A 声级可以用声级计测得，也可以由频谱求得。另一类是以倍频带声压级的容许值表示的标准。它们通常是以一组曲线表示。

当然，对于演播室而言，为了确保良好的室内声环境，一方面要做吸声处理，保证内部的声场均匀，另一方面也要减少建筑自身产生的噪音影响，防止外部噪声的进入，做好隔声、降噪、消声，它们都为良好的音质提供了一个保障，缺一不可。

表2.1 室内允许噪声

| 建筑类别 | 房间名称 | 允许噪声级, dB(A) | | | |
|------|------------|--------------|-----|-----|-----|
| | | 特级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 住宅 | 卧室、书房 | — | ≤40 | ≤45 | ≤50 |
| | 起居室 | — | ≤45 | ≤50 | ≤50 |
| 学校 | 有特殊安静要求的房间 | — | ≤40 | — | — |
| | 一般教室 | — | — | ≤50 | — |
| | 无特殊安静要求的房间 | — | — | — | ≤55 |
| 医院 | 病房、医务人员休息室 | — | ≤40 | ≤45 | ≤50 |
| | 门诊室、 | — | ≤55 | ≤55 | ≤60 |
| | 手术室 | — | ≤45 | ≤45 | ≤50 |
| | 听力测听室 | — | ≤25 | ≤25 | ≤30 |
| 旅馆 | 客房 | ≤35 | ≤40 | ≤45 | ≤55 |
| | 会议室 | ≤40 | ≤45 | ≤50 | ≤50 |
| | 多用途大厅 | ≤40 | ≤45 | ≤50 | — |
| | 办公室 | ≤45 | ≤50 | ≤55 | ≤55 |
| | 餐厅、宴会厅 | ≤50 | ≤55 | ≤60 | — |

注：夜间室内允许噪声级的数值比昼间小 10dB(A)

2.3 声音的计量

2.3.1 声压、声强、声功率

声功率是指声源在单位时间内以声波形式向外界辐射的能量，记为 W ，单位瓦 (W)。声强是指声波传播过程中，单位面积波阵面上通过的声功率，记为 I ，单位为瓦每平方米 (W/m^2)。

声压是指空气质点由于声波作用而产生振动时所引起的大气压力起伏，记为 P ，单位帕 (Pa)。任何一点，声压都是随时间变化的。某一时刻的声压称为瞬时声压。一段时间内瞬时声压的均方根称为有效声压。我们通常所说的声压，都是指有效声压。声强与声压有密切关系。

在自由声场中，某点的声强与声压有如下关系：

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 c} \quad (2.1)$$

式中： p ——有效声压，Pa；

$\rho_0 c$ ——声特性阻抗。 ρ_0 为空气密度， kg/m^3 ； c 为空气中的声速，m/s。

2.3.2 声功率级、声强级与声压级

在实际测量中，如果试图采用声压或声强的绝对值表征变化范围宽广的各种声音，要想保持一定的测量精确度，显然是难易实现的，因此，我们引入声压级

的概念，用以衡量声音的相对强弱。在考虑了人耳的听觉特性等因素后，对声压级做了如下规定：将待测声压的有效值 P_e 与基准声压 P_0 的比值取常用对数后，再乘以 20，就是该声压的声压级，通常记为 L_p 或 SPL，并取单位为分贝（dB）表达式：

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} \quad (2.2)$$

式中： p ——某点的声压， Pa

p_0 ——基准声压， 2×10^{-5} Pa。

声强级是声强与基准声强之比取对数的 10 倍，记为 LI，单位为分贝（dB），表达式：

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

式中： I ——某点的声强， W/m^2 ；

I_0 ——基准声强， $10^{-12}W/m^2$ 。

声功率也可以用“级”表示，是声功率与基准声功率之比取对数的 10 倍，称为声功率级，记为 LW 或 SWL，其基准声功率取 10^{-12} 瓦，单位为分贝（dB），表达式：

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (2.4)$$

(2.4) 式中： W ——某点的声功率， W；

W_0 ——基准声功率， $10^{-12}W$ 。

2.3.3 计权声级

测量声音大小的声级计利用内置的计权网络来模拟人耳对不同频率声压的响应，使得各频率对总声级的贡献近似地与人耳对频率的主观响应成正比，并对测量获得的最终量用总声级表示。在声级计中，计权网络又分为 A 计权网络、C 计权网络、

D 计权网络等。其中 A 网络参考 40 方等响曲线，对 500Hz 以下的声音有较大的衰减，以模拟人耳的低频不敏感特性。用 A 计权网络测得的声压级称为 A

计权声级，简称 A 声级，记为 L_A ，单位 $\text{dB}(A)$ 。实践证明，A 声级与人耳主观听觉效果吻合效果较好。

2.3.4 频率与频程

在质点振动学中，为了表征物体振动的快慢，我们引入了频率的概念，即物体的振动频率，是指在单位时间内物体的振动次数。声音的频率通常指的是声源的振动频率。一般地说，声音的频率值越大，主观感觉的音调越高；反之，在听感上越低沉。频率通常以 f 表示。人的听觉器官可以感受到的声音频率范围在 20 赫到 20000 赫之间，通常称为“声频范围”。在声频范围内听到的声音称为“可听声”。仅就可听声的频率范围而言，其间相差达 1000 倍。为了方便，在声学中把如此宽广的频率范围划分成若干较小的段落，每一段落中两个声信号（或其他信号）频率间的距离，称为频程。同时引入了一个对频率作相对比较的单位：倍频程（Oct.）。并且定义，频程是以相对比较的两个频率的高频与低频之比的以 2 为底数的对数表示，单位就是倍频程。

2.3.5 声波的逸散（透射）与吸收

通常来说，按照波阵面的形状，可将声波划分为平面波、柱面波和球面波三种。波阵面又称“波前”。它是同一时刻，相位相同点的轨迹所形成的曲面。对于空间行波而言，显然，这三类行波的波阵面分别为平面、柱面或球面。除平面波外，波阵面的面积在其传播过程中都将随着传播距离的增加而增加，从而使通过垂直于声传播方向的单位面积的声能逐渐减小，即声强随声传播距离的增加而减小。这种现象称为声波的逸散，又称透射。所谓声波的吸收，是指当声波在媒质中传播时，声能量不断被媒质吸收而转化为其他形式的能量。

2. 4 室内混响

混响是室内的声学现象。声音由声源发出后，在空气中传播，传播过程中在房间的界面上产生反射、吸收、扩散、透射、干涉和衍射等波动作用，形成复杂的室内声场，使人产生混响感。声源停止发声后，室内声场会持续一段时间。室内声学设计的关键之一是控制混响。

混响时间是衡量房间混响程度的量。声学工程中，某频率的混响时间是室内声音达到稳定状态，声源停止发声后，残余声音在房间内反复反射，经吸声材料吸

收, 平均声能密度自原始值衰减到百万分之一, 即衰减 60dB 所需的时间, 记为 RT60 或 T60。

混响时间是音乐建筑, 乃至所有厅堂建筑在声学设计当中最重要的指标, 也是唯一没有争议的定量指标。自从 1900 年塞宾提出著名的混响时间计算公式以来, 至今已经有一百多年了, 一直是声学设计和音质评价的最重要依据, 当我们谈论建筑声学设计时, 首先谈到的就是混响时间。

赛宾公式为

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-S \ln(1-a)} \quad (2.5)$$

式中, T60 是闭室的混响时间(s), S 是室内表面总面积 (m^2), a 是地面、墙面和天花板等房间内表面的平均吸声系数无量纲, V 是室内的容积。

赛宾公式的意义极其重要, 但当总吸声量超过一定范围时, 其计算结果将与实际情况有较大出入。如室内的平均吸声系数趋于 1 时, 实际的混响时间应该趋于 0, 但按照赛宾公式的计算却不为 0, 而有一定的值。鉴于赛宾公式的局限性, 艾润在理想模型的基础上, 运用声线法及统计原理导出了新的混响公式, 并于 1930 年发表了艾润公式。

由于混响时间的计算, 受到很多方面的影响, 其计算结果与实际测量值往往相差较大。产生误差的原因, 主要是计算时的假设条件与实际情况不符, 无法把实际情况的细节部分都考虑进去, 另一个原因就是代入公式的各项数据不准确。

我们分成三个方面来考虑

(1) 在一个房间中, 声源通常都是位于房间的一端发声, 其方向具有一定的指向性的, 并且房间的形状又各不相同, 这就会造成室内声场分布的不均匀。

(2) 在有观众座位区域的房间中, 观众区域的吸声量很大, 通常比墙面和天花板的吸声量大的多, 为了消除回声, 经常在后墙上做强吸声处理, 这就使室内各部分的吸声分布很不均匀, 所以声场通常是非扩散声场。

(3) 公式中的各项数值, 主要是各种材料的吸声系数, 而这些系数通常是查找资料得到的, 但是由于实验室与现场条件的不同, 这些吸声系数肯定会有误差。同样, 观众与座椅的吸收值通常也是不精确的。

从上面可以看出,混响时间的理论计算与实际测量结果会有一定的误差,但不能因此而放弃理论计算,因为这是我们分析声场最为简便也较为可靠的方法,尤其是在预测声场效果方面。所以,室内混响时间的现场测量有不可替代的重要性。通过现场测量,我们可以发现设计中预想的效果和实际情况的偏差,并由此对室内声学设计进行调整。

2.5 室内声场测量原理

声源发出的声波在传播过程中没有任何障碍物反射的声场称为自由声场。一般情况下,由于存在障碍物的反射影响,声场不可能是理想的自由声场。在封闭的房间内,声波经过多次反射,声源直接辐射声波同各种反射声波相互叠加形成室内声场。

声音在封闭的房间中传播,会受到房间的影响,主要是:①受到墙面、楼板及其他表面的阻挡作用,引起反射声,反射声和直达声相叠加;②改变音质,使听觉效果发生变化;③由于简正振动的存在,增加声能密度;④使声音在空间上的分布发生变化。室内声源发出的声音根据主观感受可以分为两大类,有用声和噪声,我们对这两类声音的关注点有所不同。第一类有用的声音,例如交谈声、音乐声等,在处理此类声学问题时,关注点在于室内音质的变化、声音的空间分布、声音的清晰度等问题,最终目的在于使得声音的接收者能够准确清晰地听到声音。第二类噪声,最典型的代表就是空调器或者其他电器运行时产生的无用的声音,在处理这类声音问题时,主要目的在于控制人员活动区域的噪声强度,使得其不至于过分干扰室内人员的正常活动。

从能量方面考虑,室内声源发声时,声波能量不断地向外辐射,与此同时声能也不断地被房间各个壁面、室内空气和其他物体吸收掉,当声源发射声能的强度维持不变,经过一段时间后,室内声能的产生和吸收将达到平衡。此时,虽然在局部空间的声能密度仍然可能会变化,但整体上房间内的声能密度达到了稳定。也即,室内形成了稳态声场。

当声源位于室内时,室内某点除了接收到直接从声源辐射的声能外,还接收到墙壁及其他物体反射的声能。一般根据声场性质的不同,分为直达声场和混响声场。直达声场是由声源没有经过反射,直接传播到室内各点所形成的声场。混响声场是声音经过壁面或其它物体的一次或多次反射后在室内空间形成的叠加

声场。对于直达声场，按照定义只有声源向周围辐射的声波，并不包括反射回来的声波，于是直达声场是自由声场。对于混响声场，由于一般情况下的房间壁面不会是理想的刚性壁面，在反射声波的同时会有散射作用，并且房间内的家具等物体同样会对声波起到散射作用，因此从声源发出的声波经过多次反射后相互叠加混杂，声波沿各个方向传播的概率几近于相同，声场在除去近壁面之外的室内各点也几乎是相同的。这种声波传播方向各向同性，相位无规律，并且在室内各处均匀分布的声场叫做“扩散声场”。在一般状况下，混响声场可以近似地看成扩散声场。

2.6 影响传声器阵列定位性能的因素

(1) 环境噪声:由于声源定位的环境多是在会议室等地点，因此噪声一般来说能量不是特别大，不会掩盖正常的语音，只是影响语音的清晰度和可懂度。同时，背景噪声通常不具有空间方向性，是一个全向噪声。

(2) 房间混响:在声源定位环境中，混响会对语音信号的接收效果产生负面影响，导致互相关函数或者波束的尖峰扩展，难以确定最大值，加大了定位的误差。房间混响是影响算法处理性能的一个重要原因。

(3) 模型噪声:模型噪声是人为引入的噪声。如传声器摆放的实际位置与理论值之间存在误差;各个传声器以及相应的处理通道的幅度/相位响应也不可能完全相同;在计算各个统计量时，由于样本数有限，得到的估计值与真实值也有偏差等等。所有这些，都使得真实的数据模型和算法设定的数据模型之间存在差异，因而称为模型噪声。模型噪声的随机性很大，随着时间、地点的改变而改变，处理起来较为困难。模型噪声是影响算法处理性能的一个重要原因。

(4) 传声器的摆放和数量:对于一个定位系统而言，麦克的数量越多，麦克的相对位置越多样化，提供的空间信息量越大，从而具有较高的定位精度。而在实际系统中，麦克的摆放位置比较固定，数量也比较少。因此必须在尽量少的麦克和固定摆法条件下，提供高的定位精度。

3.实验方案及实验设备

3.1 实验方案

实验者们对未经过声处理的教室的室内声场进行了测量，分析教室的声环境。实验者选取的是文津楼 201 报告厅，经初步测量，报告厅前后分别长 16 米和 23 米，宽 23 米，高 4 米。将声源放在报告厅前方中央位置，在整个报告厅中一共选取 56 个点，记录其声场的频域图谱，从而研究教室内的声场分布状况，通过研究以上问题，比较不同频率声波在报告厅的声场分布差异，探究不同位置对声音接收的声压级大小，从而研究报告厅的声学性能。最终将数据导入 ease 中作图，具体报告厅图片及布点如下图所示。



图 3.1.1 已做声学处理的报告厅（文渊楼）



图 3.1.2 未做声学处理的报告厅（文津楼）

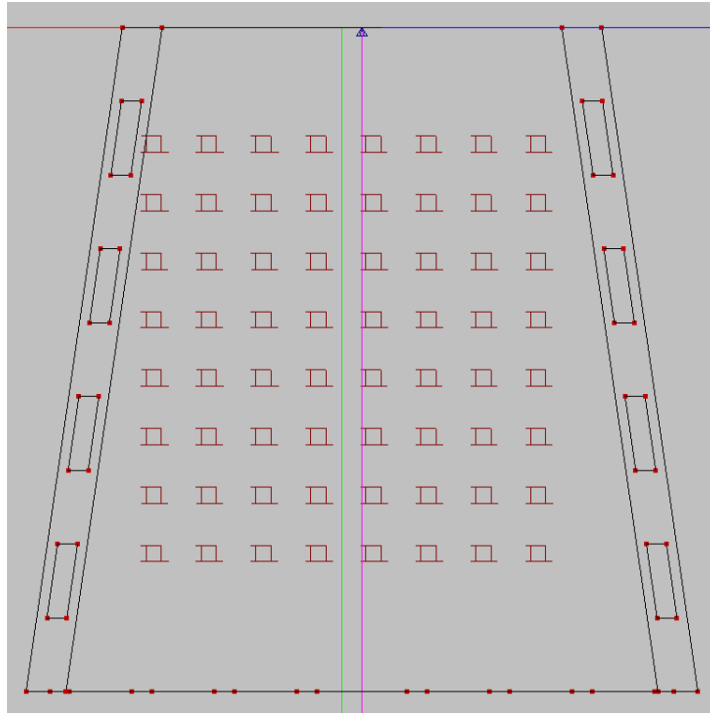


图 3.1.3 测试点的平面图

3.2 实验设备

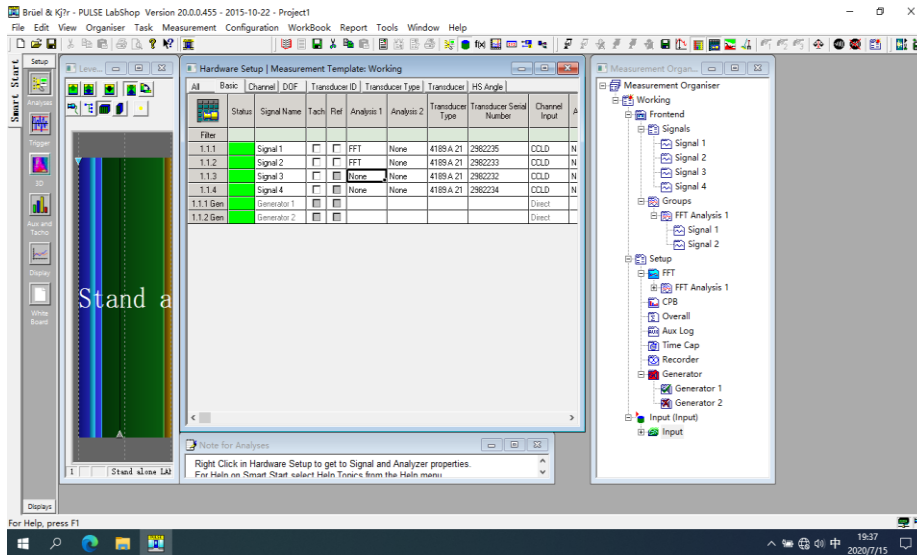


图 3.2.1 PULSE 测量分析系统 Labshop 软件

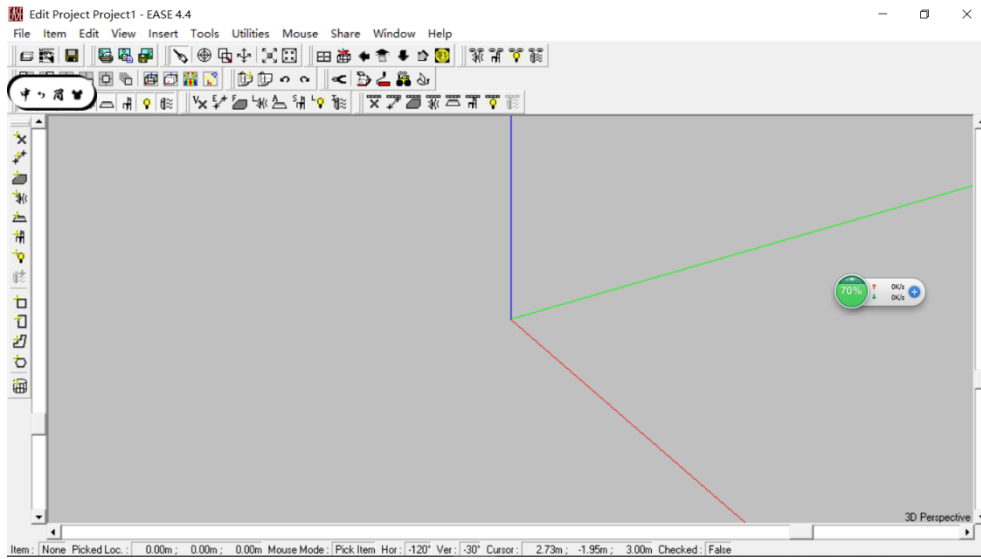


图 3.2.2 EASE 软件

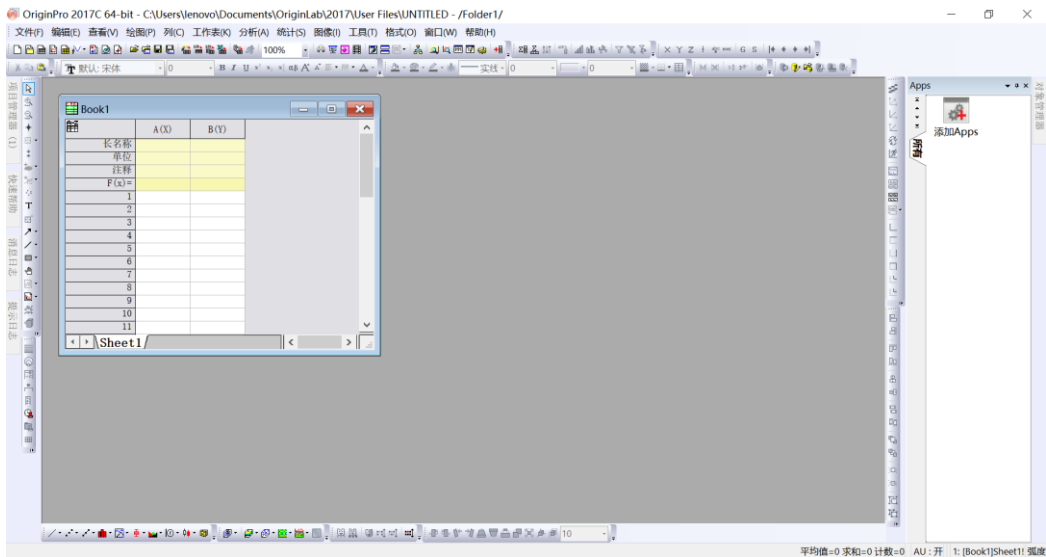


图 3.2.3 Origin 软件



图 3.2.4 无指向性声源



图 3.2.5 2270



图 3.2.6 传声器

4. 仪器的使用说明

4.1 仪器基本介绍

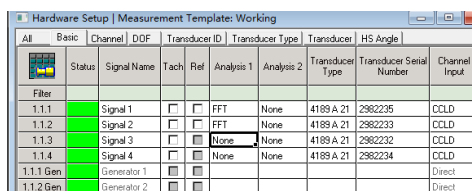
本实验主要是用 B&K 分析台和 PULSE 测量分析系统进行室内声场的测量。丹麦 B&K 开发的 PULSE 测量分析系统是基于 Windows 操作系统界面,它继承了 B&K 公司传统的模块化原理,为该系统的功能扩展及升级打下了坚实的基础。PULSE 噪声振动测量分析系统包括噪声测量分析系统、振动测量模态分析系统、机械故障测量分析系统和电声测量分析系统软件,它是目前在世界声学振动测试分析领域运用最广泛的分析仪——PULSE 多分析仪,该系统在全球范围内已销售了 5000 多套,所谓 PULSE 多分析仪就是在同一时刻,分析仪可以同时进行多通道 FFT 分析、CPB 分析、转速跟踪分析、阶次分析、三维谱阵分析等功能的分析仪,使环境中的噪声、振动信号测试分析工作得心应手,工作效率可得到大幅度的提高。

4.2.设置硬件连接

本次实验采用的硬件设施有:无指向声源、功率放大器、数据采集系统、四个传声器以及导线若干。

首先,实验者要根据待测量空间的特点设计好实验方案,并将无指向声源放到指定位置且固定不动,用导线将无指向声源同功率放大器连接好。其次,实验者要将四个传声器和数据采集系统连接好,记录好每一个扬声器分别对应哪一个通道,将扬声器分别按照实验方案放到待测地点。再次,将功率放大器的输入端口和数据采集系统的端口相连接。紧接着,打开功率放大器,(在打开功率放大器前,务必将功率调至最小,以免烧坏仪器),打开 Windows 系统的 PULSE Lab Shop 软件,进入测试。

4.2.1 进入测试界面



| All | Basic | Channel | DDF | Transducer ID | Transducer Type | Transducer | HS Angle | | |
|-----|-----------|-------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|------------|-----------------|--------------------------|---------------|
| | Status | Signal Name | Tach | Ref | Analysis 1 | Analysis 2 | Transducer Type | Transducer Serial Number | Channel Input |
| | Filter | | | | | | | | |
| | 1.1.1 | Signal 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FFT | None | 4189-A 21 | 2982235 | CCLD |
| | 1.1.2 | Signal 2 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FFT | None | 4189-A 21 | 2982233 | CCLD |
| | 1.1.3 | Signal 3 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | None | None | 4189-A 21 | 2982232 | CCLD |
| | 1.1.4 | Signal 4 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | None | None | 4189-A 21 | 2982234 | CCLD |
| | 1.1.1 Gen | Generator 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | Direct |
| | 1.1.2 Gen | Generator 2 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | Direct |

图 4.1 测量原始界面

进入测试页面后就会看见上图所示的界面。

首先,实验者需要将操作系统对信号 3 和信号 4 的分析方式改成傅里叶变换,即将图中的 Analysis 1 改成 FFT。

| All | Basic | Channel | DOF | Transducer ID | Transducer Type | Transducer | HS Angle | | |
|-----------|--------|-------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|------------|-----------------|--------------------------|---------------|
| | Status | Signal Name | Tach | Ref | Analysis 1 | Analysis 2 | Transducer Type | Transducer Serial Number | Channel Input |
| Fiber | | | | | | | | | |
| 1.1.1 | | Signal1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FFT | None | 4189 A 21 | 2982225 | CCLD N |
| 1.1.2 | | Signal2 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FFT | None | 4189 A 21 | 2982233 | CCLD N |
| 1.1.3 | | Signal3 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FFT | None | 4189 A 21 | 2982232 | CCLD N |
| 1.1.4 | | Signal4 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | FFT | None | 4189 A 21 | 2982234 | CCLD N |
| 1.1.1 Gen | | Generator 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | Direct |
| 1.1.2 Gen | | Generator 2 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | Direct |

图 4.2 更改为傅里叶变化之后的界面

第二,实验者需要在 Measurement Organiser 中找到声源,即 Generator 1,鼠标右击,选择 properties,即可设置声源的类型,频率,振幅等参数,实验者可根据具体实验情况自行选择。在本实验中,实验者设定的是单频正弦波。

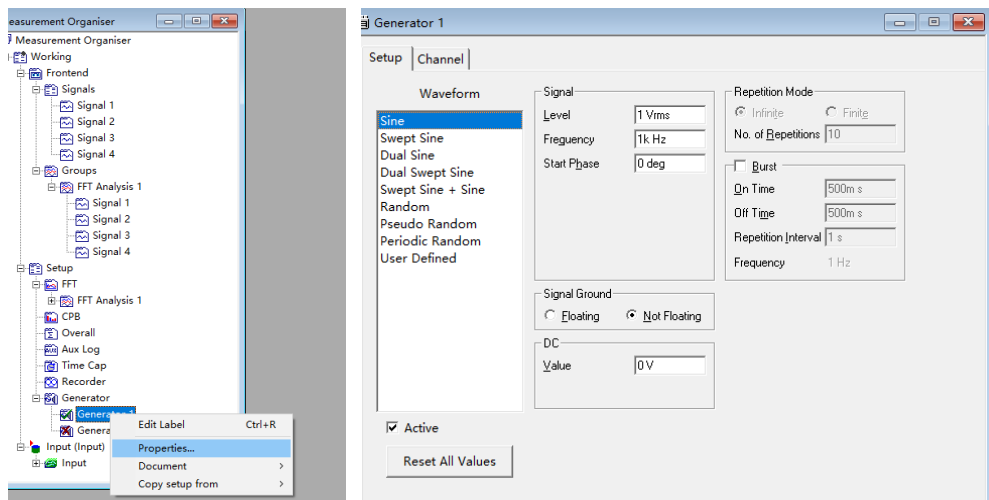


图 4.3 设定声源发出的声源类型和频率

4.2.2 开始测量

鼠标点击测试界面窗口左侧的 display, 在操作界面右上角有一排操作按钮,如下图所示。

首先实验者需要先让声源发声(如果声源不发声,需要检查连线是否正确,插头是否插好),第二步,点击开始测量按钮,测量一段时间后点击停止测量,最后关闭声源。



图 4.4 正式测量的界面上标

4.2.3 数据导出

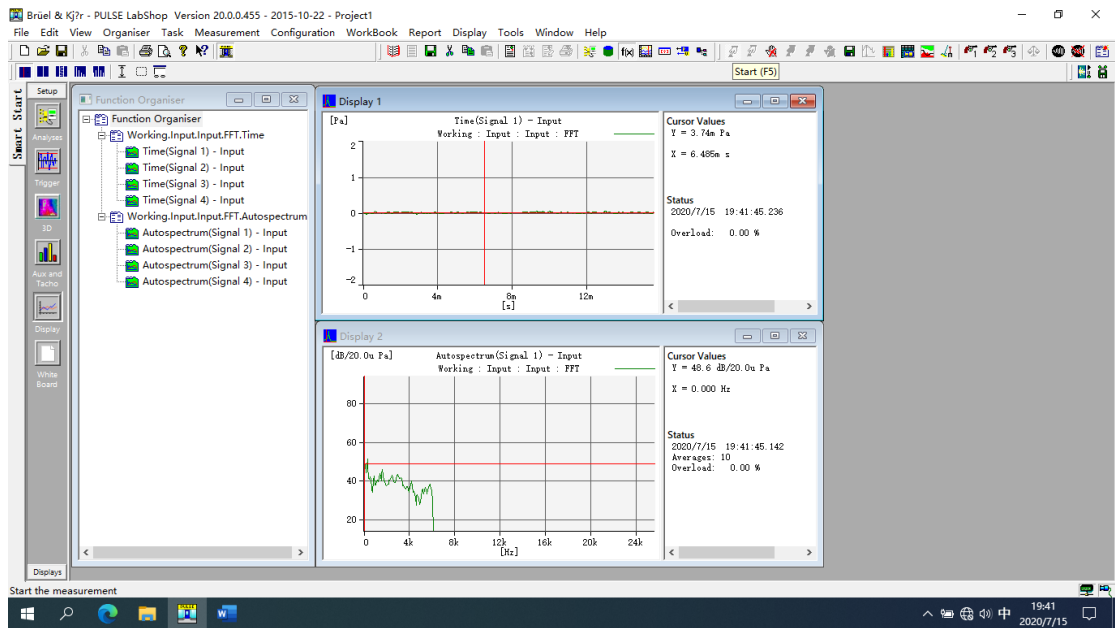


图 4.5 正式测量的界面

上图即为四个通道的测试结果，若保存数据，则分别右击信号 1，信号 2，信号 3，信号 4 的时域和频域图，选择复制数据，新建 Excel 文件，将数据复制进去即可（注意命名）。

4.3 2270 的使用

创新的 2270 型声级计是作为 2250 型声级计的高级解决方案来设计和开发的，用于测量、分析和记录声学 and 振动信号。在本文中，主要介绍 2270 测量混响时间的相关内容。

首先打开 2270 声级计，点击屏幕上方黑色部分，打开模板浏览器。在下拉菜单中选择混响时间，进入测量。点击左下角的主菜单，进入设定，在系统浏览器里面设定一个存储的路径，以便我们的测量结果能够保存到这个默认的存储路径中。设定完成后，重新回到系统浏览器中，在下拉菜单中选择设定，就可以对测定混响时间所需要的参数进行一个设定。

在设定的下拉菜单中有：输入、频率范围、测量控制、信号发生器，信号记录、后处理。

(1) 在输入中，我们选择输入是顶端插座，声场修正改成混响声场，如果实验者在测试过程中使用了风罩，就需要把风罩自动检测和风罩修正打开，如果

没有使用则不需要打开。

(2) 在频率范围中，我们可以视具体情况选择带宽是 1/3 倍频程或是 1/1 倍频程，设置好最高频带和最低频带的数值。

(3) 在测量控制中，首先要选择下拉菜单中的第一个——基于图示的测量，如果选择是，就是按照 2270 的内置模板进行测量，我们可以选择是否需要计算每个测点的平均值，最终取平均值作为测量结果，同样我们也可以不取平均值，即按照自己需求确定测量点；如果选择否，就需要实验者自行确定声源以及每一个声源的测点数目。对于自动存储功能，实验者可以视具体情况决定是否自动存储。在最大衰减时间中，我们要设定一个具体的数值。在激励中，我们要选择脉冲。在触发声压级中，要给定一个触发声压级的起始值。测量模式选择并行。

(4) 在信号发生器中，由于我们在第二步设置激励时选择了脉冲，软件已经内置完成，无需实验者自行设定。

(5) 在信号记录中，实验者具体情况选择，如果需要实时记录信号，就要选择开。

(6) 在后处理中，实验者可自行选择是否需要做总体平均。

设定完成后，我们要对测量的麦克风进行校准，校准完成后，就可以进行测量了。点击开始测量，然后人为给一个脉冲信号，测量完成后可以根据右边的频谱和衰减中的具体数据和衰减曲线来决定是否选用数据。如果实验者在实验过程中没有选择基于图示的测量，就要根据具体情况添加声源，在每一个声源的每一个测点中都施加一个脉冲信号，重复上述测量步骤。在本实验中，实验者采取的是用气球的爆破声来模拟脉冲信号。

5.对声学实验的数据处理与分析

5.1 实验背景噪声的测量

在有背景噪声的情况下，如果实际距离较大则主观感知距离都大于实际物理距离。背景噪声越小，主观感知距离与真实距离越接近。在背景噪声不断增加的情况下，主观感知距离也逐步增加，而且与实际物理距离的差值加大。以下是对实验场地的背景噪声数值测量而绘制出的曲线图及与 N30 的对比。

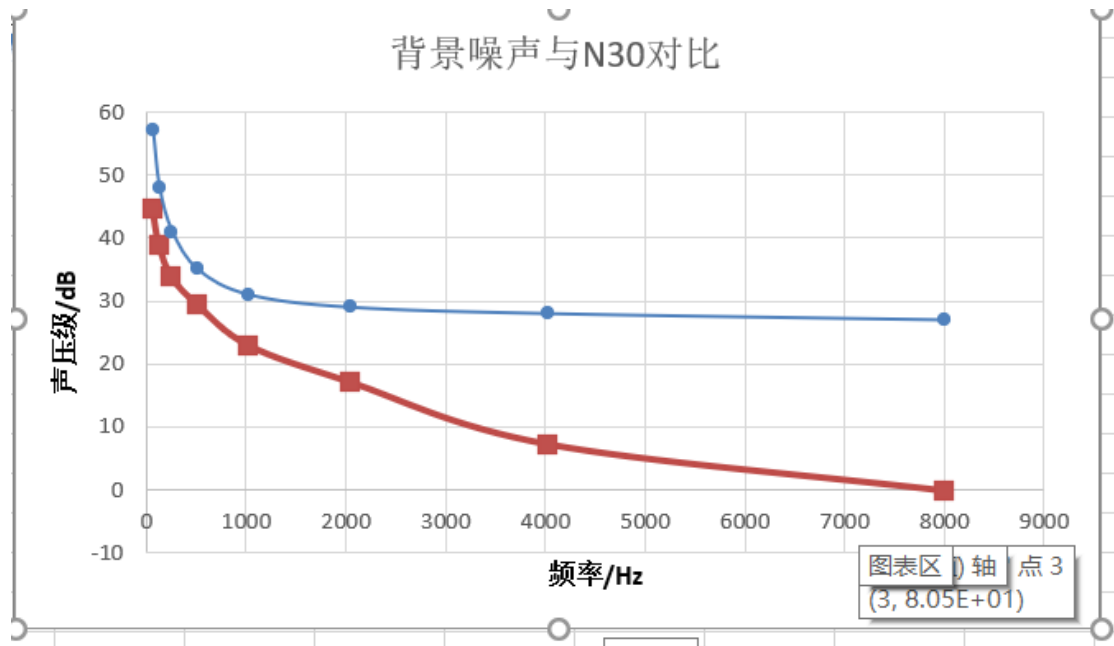


图 5.1.1, 背景噪声与 N30 对比

如图所示，实验选取的报告厅，可以看出背景噪声在 N30 以下，符合规定。

5.2 对各单频声下的声压级图像的处理与分析

5.2.1 各频率下不同位置的声压级图像（未做声学处理）

以下分别给出了在 125hz、250hz 及 500hz 的下未做声学处理的报告厅第 1、4 和 7 行测量点的声压级曲线，并对其进行分析。

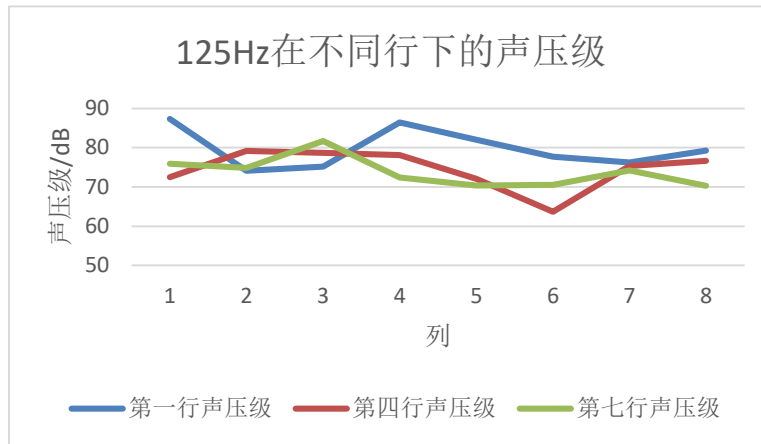


图 5.2.1.1 125Hz 在不同行下的声压级

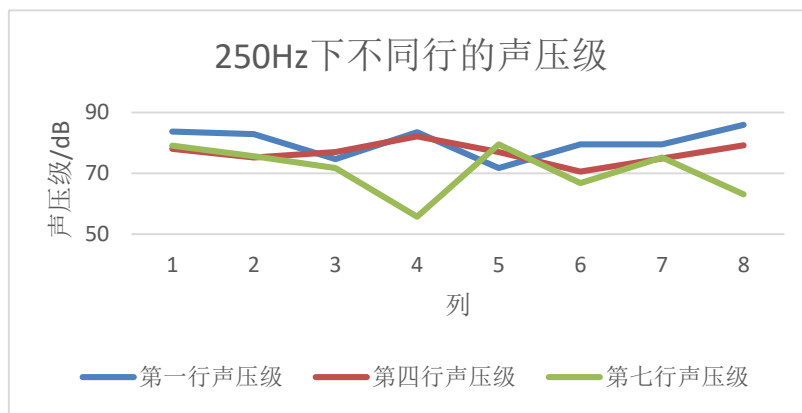


图 5.2.1.2 250Hz 在不同行下的声压级

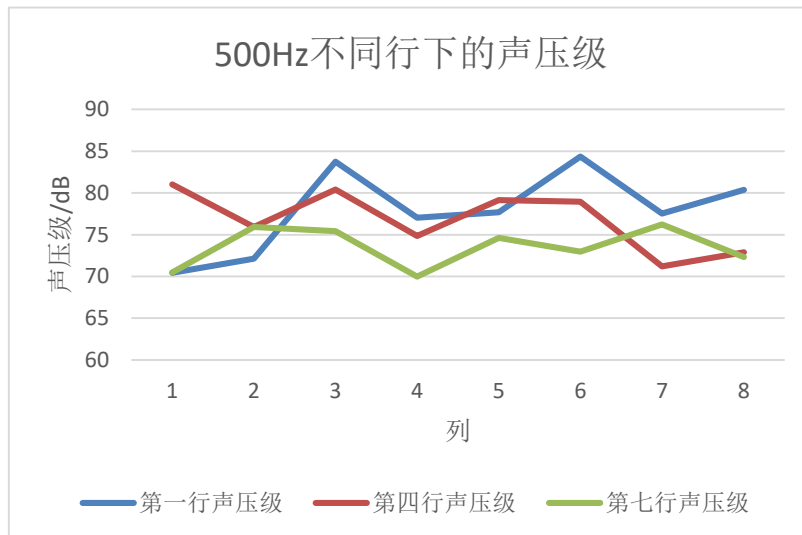


图 5.2.1.3 500Hz 在不同行下的声压级

分析 125Hz ， 250Hz ， 500Hz 下不同行的频率可以发现，每一条曲线的变化规律都近似，忽略误差，声压级随声源距离变大而减小。总体声压级别处于 70-85dB, 无明显差距。接近教室两侧的位置，声压级一般大于教室中央，并且随

声源距离增加而减小。

5.2.2 各频率下不同位置的声压级图像 (做过声学处理)

以下分别给出了在 125hz、250hz、500hz 及 1000hz 的下已做声学处理的报告厅第 1、4 和 7 行测量点的声压级曲线，并对其进行分析。

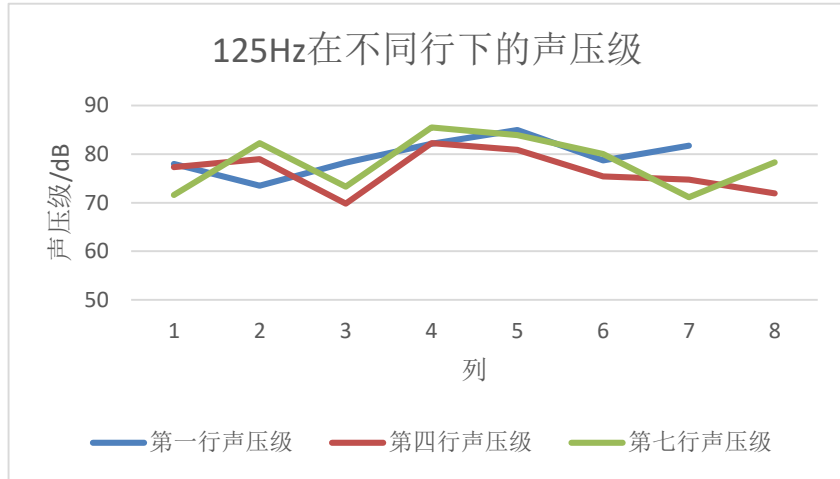


图 5.2.2.1 125Hz 在不同行下的声压级

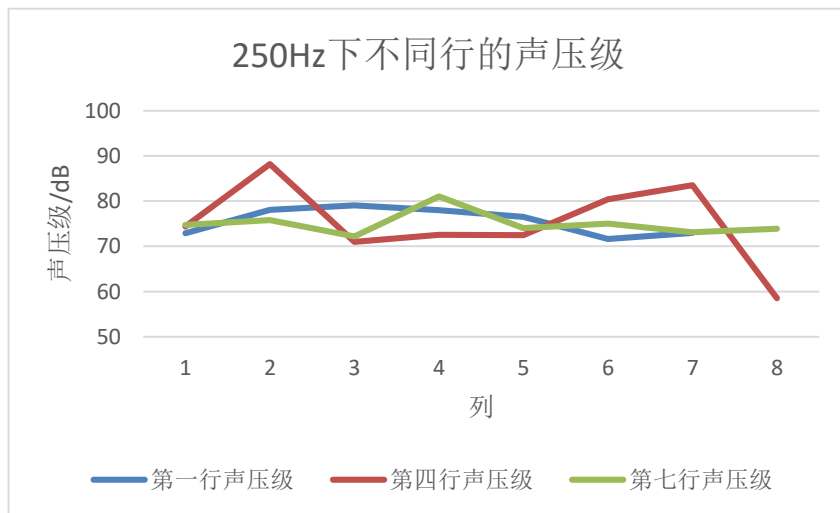


图 5.2.2.2 250Hz 在不同行下的声压级

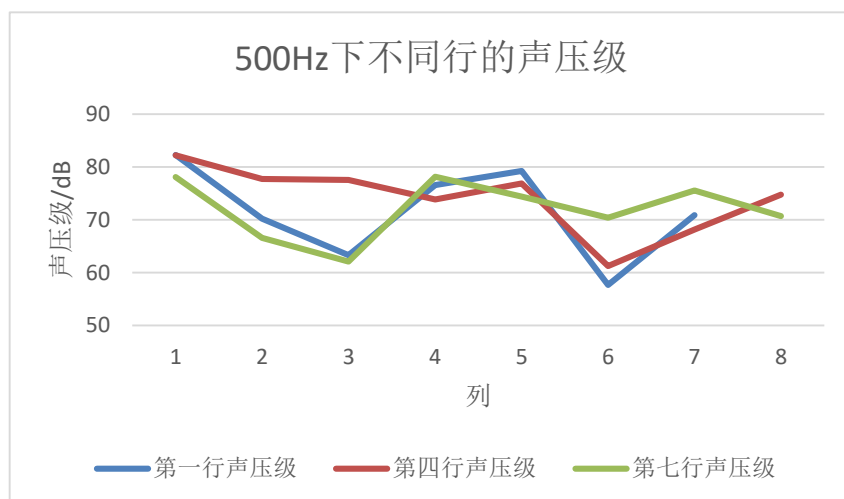


图 5.2.2.3 500Hz 在不同行下的声压级

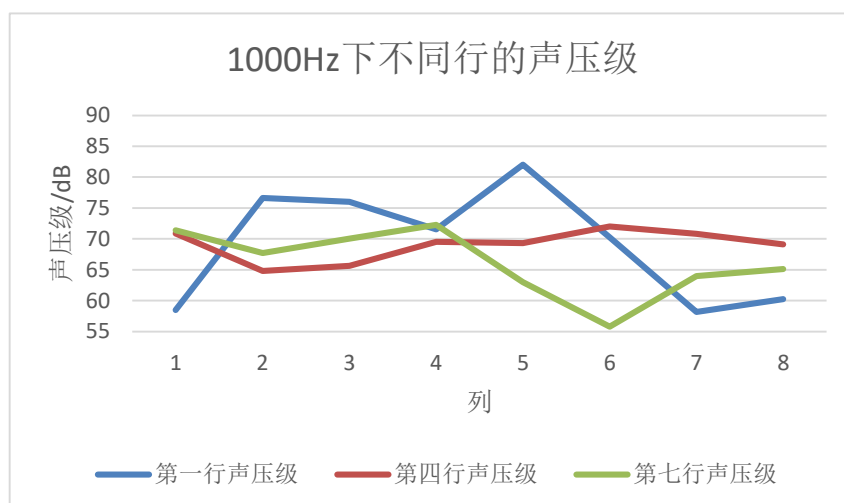


图 5.2.2.4 1000Hz 在不同行下的声压级

经过声学处理的教室，在 125hz 和 250hz 下，声压级在 70-85dB 之间，在 500hz 下声压级在 60-85dB 之间。在 1000hz 下，声压级在 55-80dB 之间，数据差异较大。综合数据可见，教室正中央及两侧的声压级相对较高，第三列及第六列的声压级相对较小。

5.3 对各个位置的声压级图像的处理与分析

5.3.1 各位置下单频声的声压级曲线及分析（未做声学处理）

以下分别给出了在未做声学处理报告厅的第 1、4 和 7 行测量点下，各单频声的声压级曲线变化，并对其进行分析。

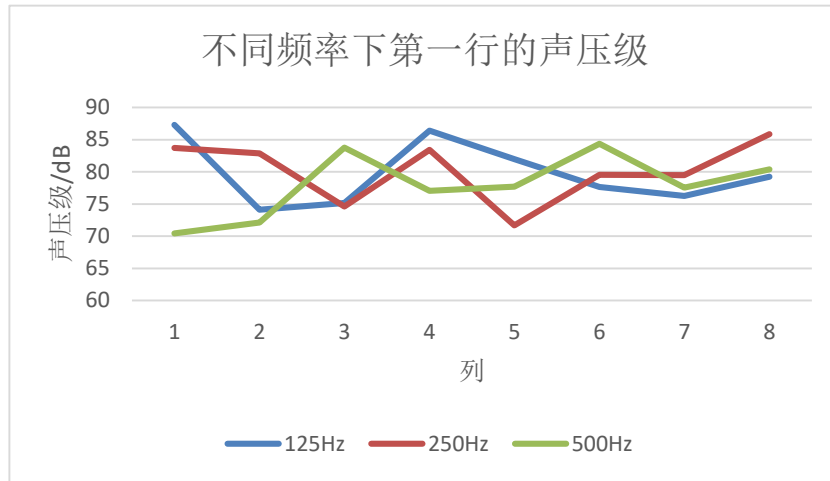


图 5.3.1.1 不同频率下第一行的声压级

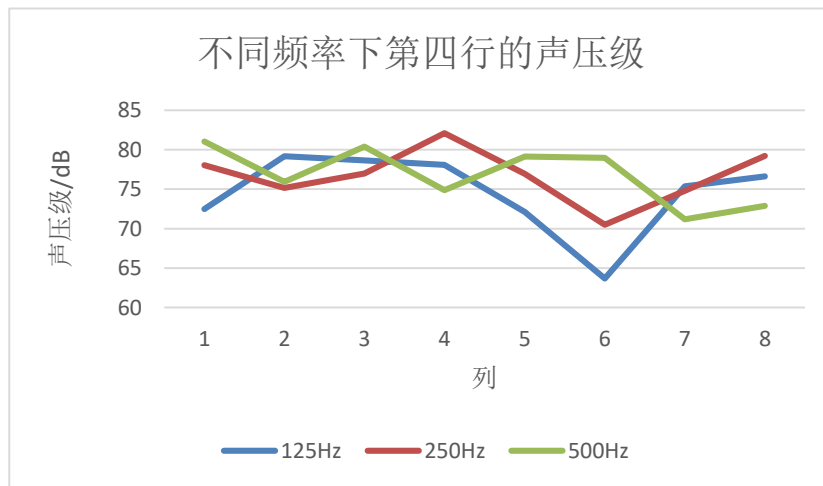


图 5.3.1.2 不同频率下第四行的声压级

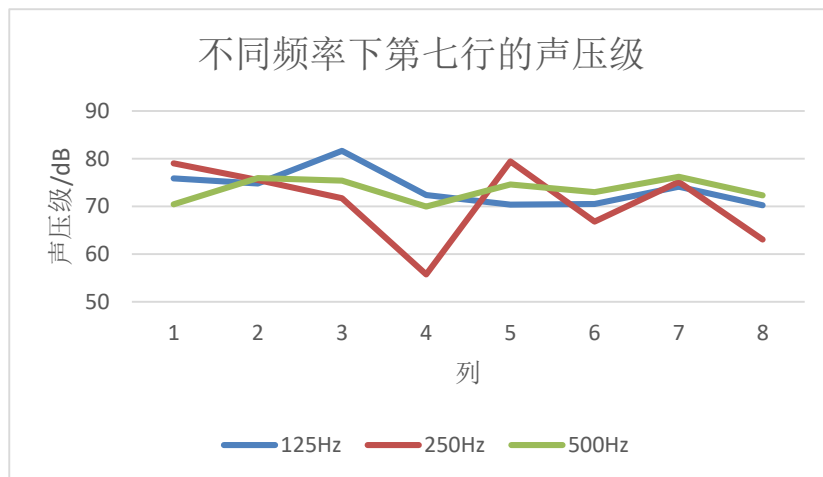


图 5.3.1.3 不同频率下第七行的声压级

分析图 5.3.1，不同频率下第一行声压级无明显差异，接近教室两侧的位置，声压级一般大于教室中央，但在正中央声压级别达到最大值。分析图 5.3.2，教

室 5-7 列之间声压级有明显减小，教室两侧与中央声压级近似。分析图 5.3.3，500Hz 的声音在第三列处有最大值，第四列处有最小值。综合比较可以发现，在第一行 125Hz 的声压级大于 250Hz 的声压级大于 500Hz 的声压级。

5.3.2 各位置下单频声的声压级曲线及分析（做过声学处理）

以下分别给出了在已做声学处理报告厅的第 1、4 和 7 行测量点下，各单频声的声压级曲线变化，并对其进行分析。

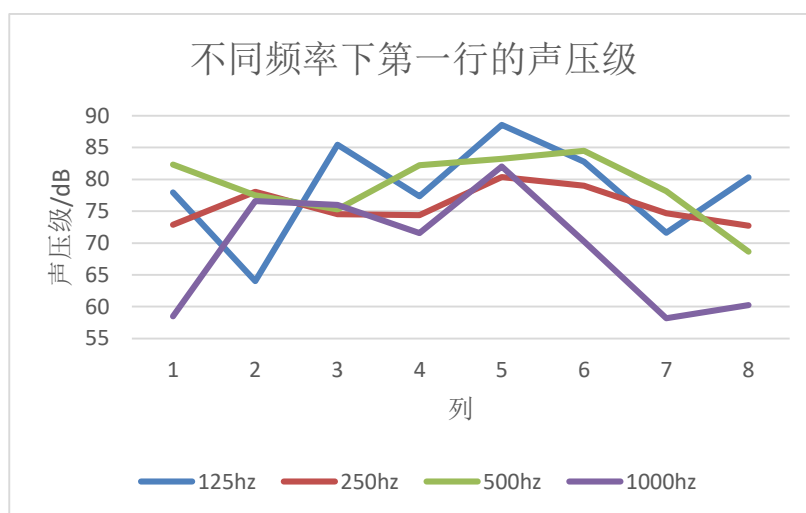


图 5.3.2.1 不同频率下第一行的声压级

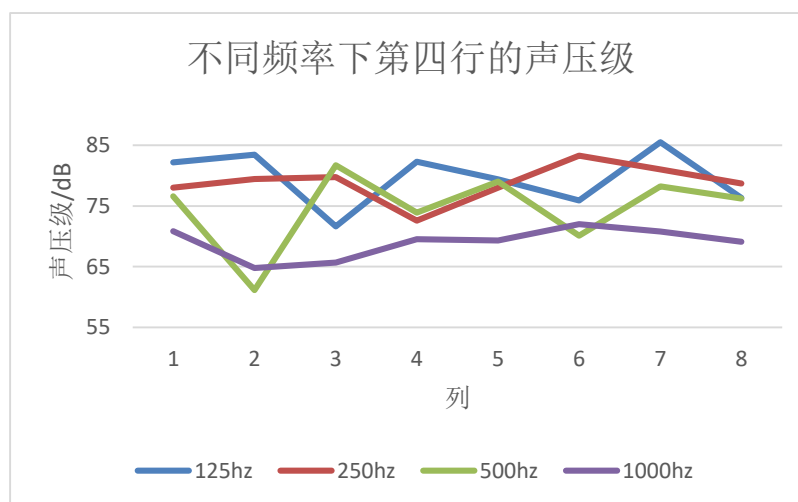


图 5.3.2.2 不同频率下第四行的声压级

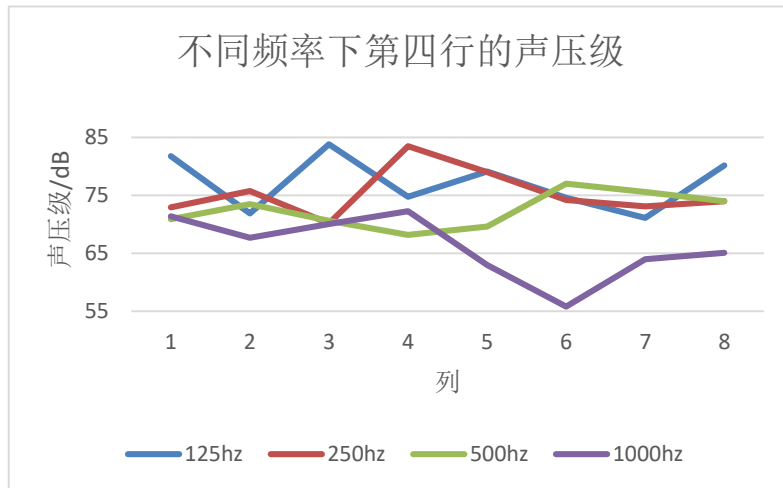


图 5.3.2.3 不同频率下第七行的声压级

经过声学处理的教室，不同频率下第一行声压级在 75-90dB 之间，第四行声压级在 70-85dB 之间，第七行声压级在 70-85dB 之间，可见，随着距离增大，声压级减少，第一行的声压级最大，但第四行和第七行的声压级差异较小，说明经过声学处理的教室，能显著增强最后一行同学的听课效率。

5.4 不同位置下讲课的声压级图像及分析

5.4.1 不同位置下讲课的声压级曲线及分析（未做声学处理）

以下给出了未做声学处理下报告厅的第 1、4 和 7 行测量点在讲课时的声压级变化图像，并对其进行分析。

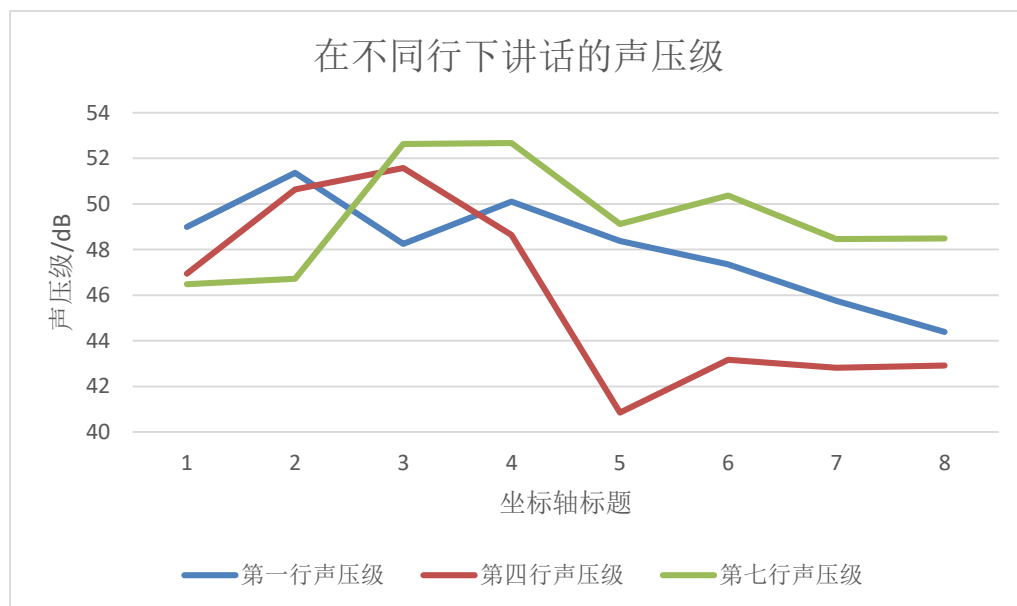


图 5.4.1.1 在不同行下讲话的声压级

如图所示，讲话声音在未经处理的教室，由于声源位置，面朝的方向等因素，

几乎没有规律，教室不同位置的听课效率，呈现出极大差异。

5.4.2 不同位置下讲课的声压级曲线及分析（做过声学处理）

以下给出了做过声学处理下报告厅的第 1、4 和 7 行测量点在讲课时的声压级变化图像，并对其进行分析。

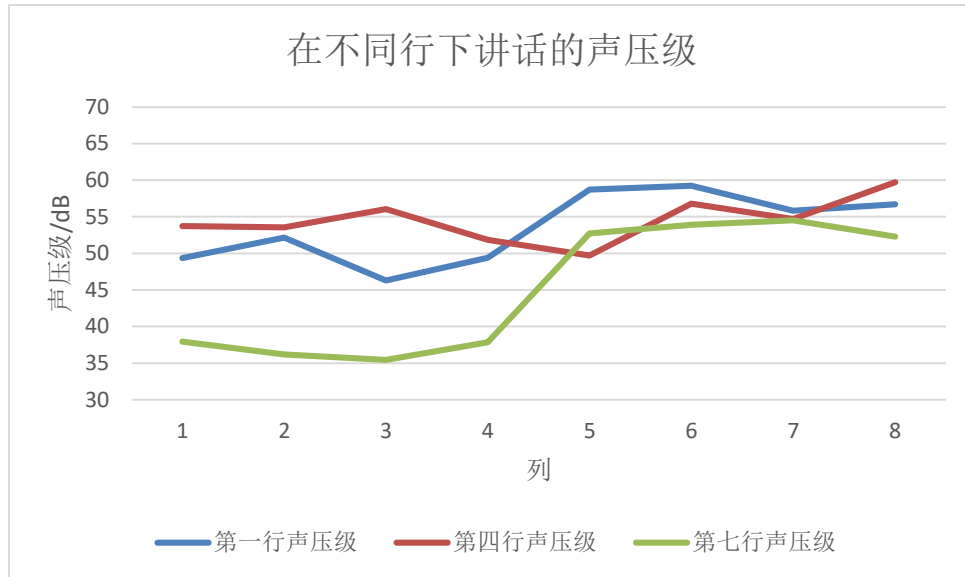


图 5.4.2.1 在不同行下讲话的声压级

课堂讲话时的声源方向不是固定的，因此有时会出现较大误差，但可以发现，经过声学处理的教室，声压级别随距离减少，但不会出现较大差异，一般在 5dB 之间。

5.5 不同频率下报告厅的三维分布和二维分布图及分析

5.5.1 报告厅在不同频率下的二维分布（未做声学处理）

下图是未做声学处理的报告厅的三维和二维声压级分布图，我们对这三组图像进行分析。

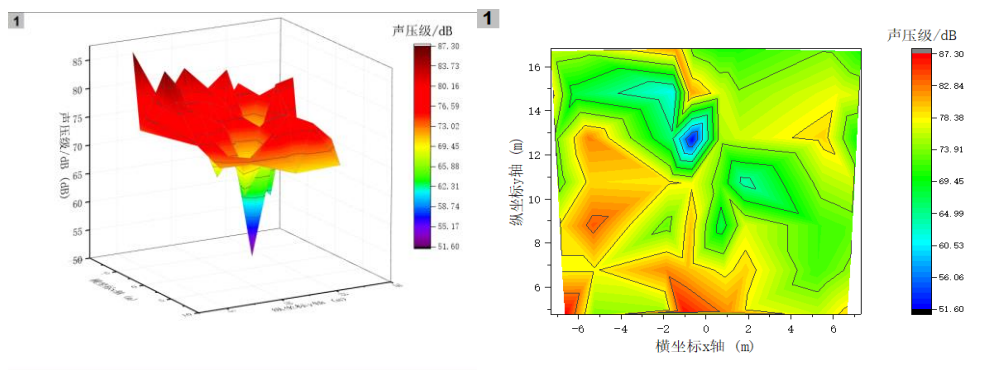


图 5.5.1.1 125hz 三维声场分布

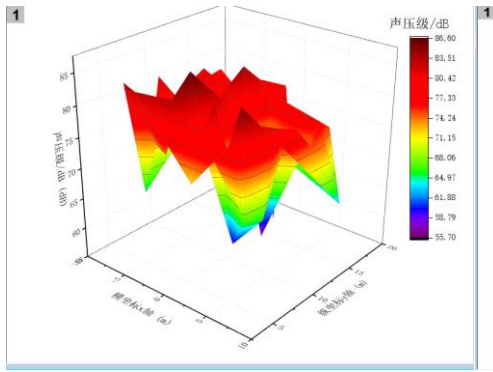


图 5.5.1.2 125hz 二位声场分布

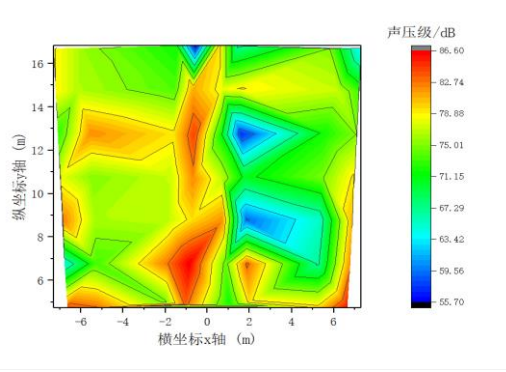


图 5.5.1.3 250hz 三维声场分布

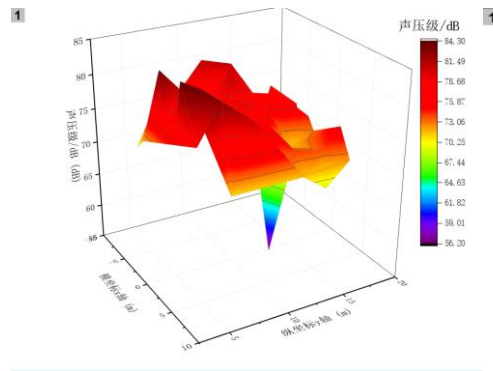


图 5.5.1.4 250hz 二位声场分布

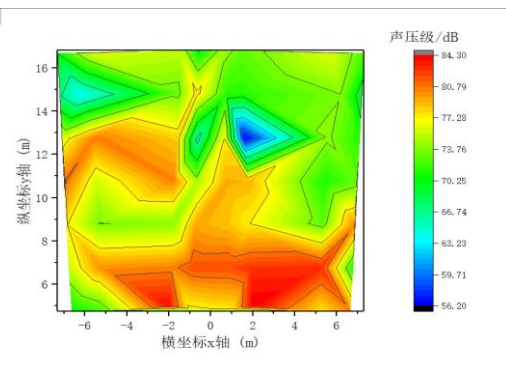


图 5.5.1.5 500hz 三维声场分布

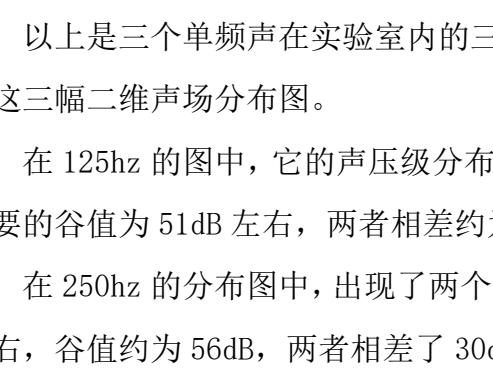
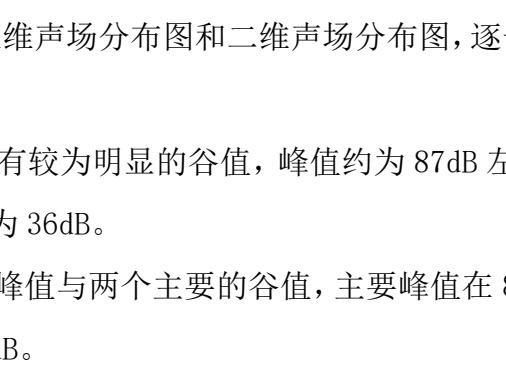


图 5.5.1.6 500hz 二位声场分布



以上是三个单频声在实验室内的三维声场分布图和二维声场分布图，逐一分析这三幅二维声场分布图。

在 125hz 的图中，它的声压级分布有较为明显的谷值，峰值约为 87dB 左右，主要的谷值为 51dB 左右，两者相差约为 36dB。

在 250hz 的分布图中，出现了两个峰值与两个主要的谷值，主要峰值在 86dB 左右，谷值约为 56dB，两者相差了 30dB。

在 500hz 分布图里，峰值与谷值相差约 28dB。

从四者比较中可以看出，三种频率的单频声中，频率越低，教室中峰谷两值相差越大，声场分布越不均匀，而会议室内三种单频声下声压级的峰值与谷值相差都在 30dB 左右，可以看出没有进行足够声处理的教室不同位置声场声压级波动非常大，极大影响学生听讲质量。

5.5.2 报告厅在不同频率下的二维分布 (做过声学处理)

下图是做过声学处理的报告厅的三维和二维声压级分布图，我们对这三组图像进行分析。

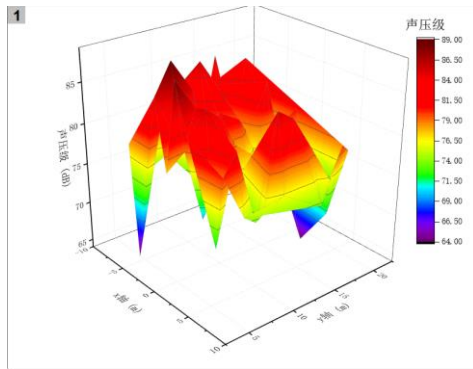


图 5.5.2.1 125Hz 三维声场分布

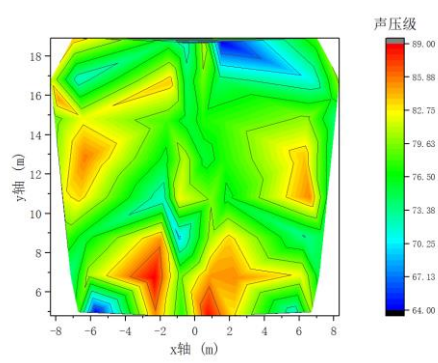


图 5.5.2.2 125Hz 二维声场分布

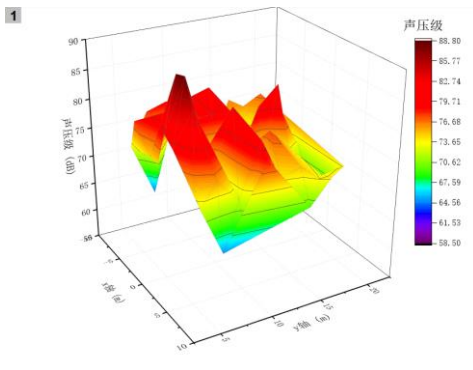


图 5.5.2.3 250Hz 三维声场分布

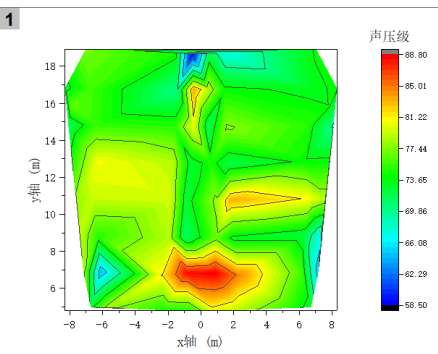


图 5.5.2.4 250Hz 二维声场分布

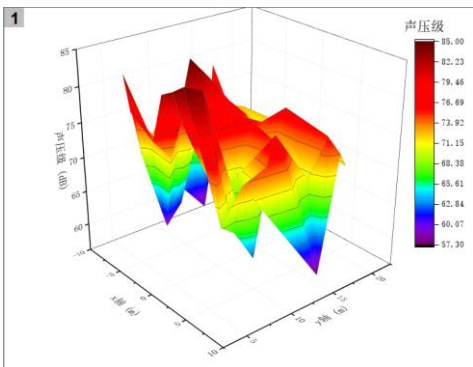


图 5.5.2.5 500Hz 三维声场分布

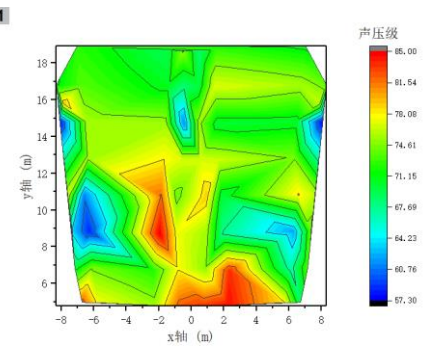


图 5.5.2.6 500Hz 二维声场分布

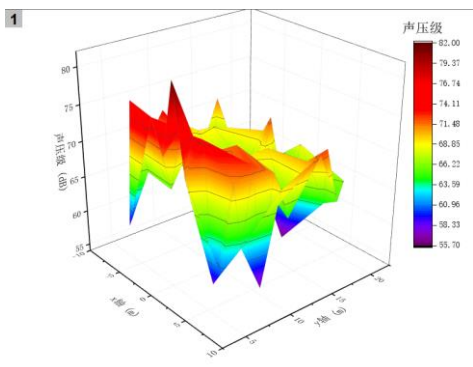


图 5.5.2.7 1000Hz 三维声场分布

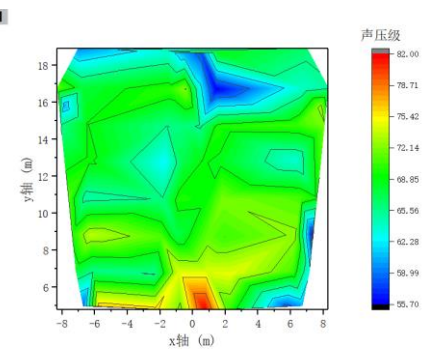


图 5.5.2.8 1000Hz 二维声场分布

以上是三个单频声在实验室内的三维声场分布图和二维声场分布图，我们逐一分析这三幅二维声场分布图。首先，在 125Hz 的图中，可以看到它的声压级分

布有较为明显的谷值，峰值约为 87dB 左右，而主要的谷值为 51dB 左右，两者相差约为 36dB. 而在 250hz 的分布图中，出现了两个峰值与两个主要的谷值，主要峰值在 86dB 左右，谷值约为 56dB，两者相差了 30dB. 在 500hz 分布图里，峰值与谷值相差约 28dB. 从四者比较中不难看出，三种频率的单频声中，频率越低，教室中峰谷两值相差越大，声场分布越不均匀，而会议室内三种单频声下声压级的峰值与谷值相差都在 30dB 左右，可以看出没有进行足够声处理的教室不同位置声场声压级波动非常大，极大影响学生听讲效率。

5.6 白噪声时声场的二维和三维分布

下面分别是未做声学处理和做了声学处理的报告厅白噪声声场的二维和三维分布图，我们对它进行分析。

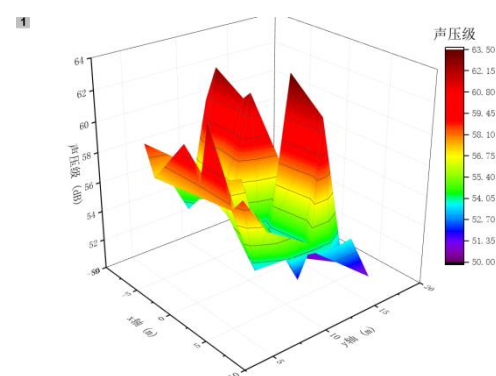


图 5.6.1 文津楼白噪声三维声场分布

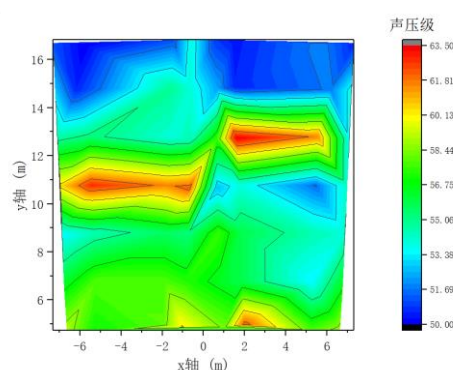


图 5.6.2 文津楼白噪声二维声场分布

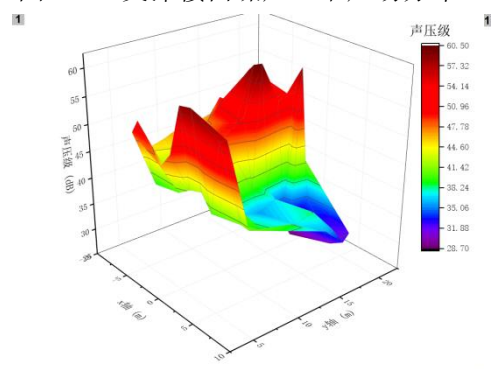


图 5.6.3 文渊楼白噪声三维声场分布

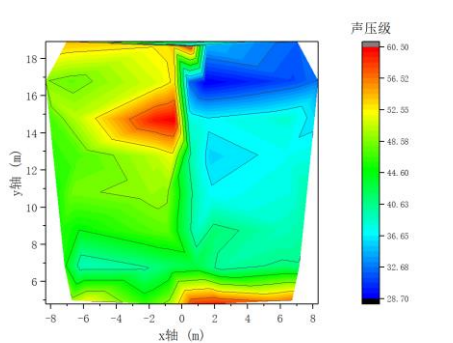


图 5.6.4 文渊楼白噪声二维声场分布

未做声学处理的声场分布规律十分明显，声场声压级整体沿 y 轴逐渐变小，由 63hz 至 50hz，在 y 轴为 11 和 13 时有一段明显的波动，也是整个报告厅的峰值，为 63hz。而做过声学处理报告厅中声场分布同样沿 y 轴逐渐减小，在 y 轴值为 14 与 17 时分别出现了波峰与波谷，总体较于前者声压级涨落较慢，较为均

匀。

5.7 混响时间

以下图表展现了是未做和已做声学处理的报告厅的混响时间数据分布及曲线图，对其进行分析。

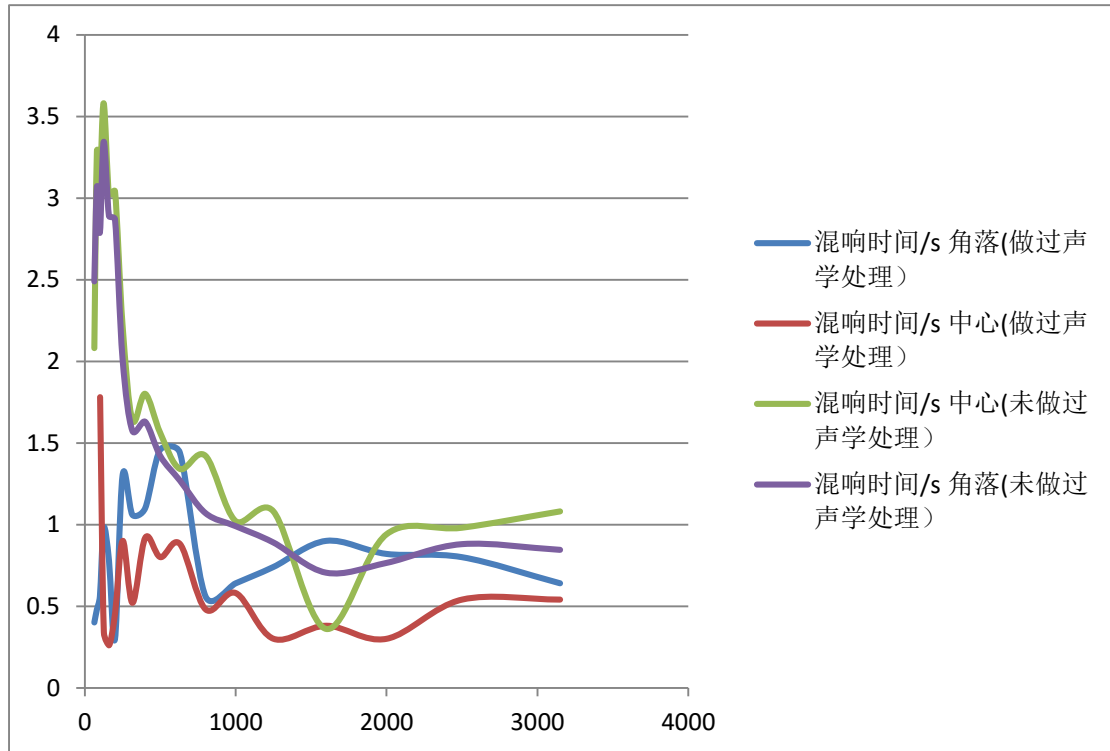


图 5.7.1 两种报告厅中心与角落的各频率混响时间曲线图

表 5.7.1 两种报告厅中心与角落的各频率混响时间

| T60 | 混响时间/s | | | |
|-------|------------|------------|-------------|-------------|
| 频率/Hz | 角落(做过声学处理) | 中心(做过声学处理) | 中心(未做过声学处理) | 角落(未做过声学处理) |
| 63 | 0.4 | | 2.08 | 2.49 |
| 80 | 0.48 | | 3.28 | 3.07 |
| 100 | 0.56 | 1.78 | 3.1 | 2.79 |
| 125 | 0.98 | 0.34 | 3.58 | 3.345 |
| 160 | 0.78 | 0.26 | 3.02 | 2.89 |
| 200 | 0.3 | 0.46 | 3.04 | 2.87 |
| 250 | 1.3 | 0.9 | 2.22 | 2.015 |
| 315 | 1.06 | 0.52 | 1.64 | 1.575 |
| 400 | 1.1 | 0.92 | 1.8 | 1.63 |

| | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 500 | 1.46 | 0.8 | 1.56 | 1.42 |
| 630 | 1.44 | 0.88 | 1.34 | 1.27 |
| 800 | 0.56 | 0.48 | 1.42 | 1.07 |
| 1000 | 0.64 | 0.58 | 1.02 | 0.99 |
| 1250 | 0.74 | 0.3 | 1.08 | 0.89 |
| 1600 | 0.9 | 0.38 | 0.36 | 0.705 |
| 2000 | 0.82 | 0.3 | 0.94 | 0.765 |
| 2500 | 0.8 | 0.54 | 0.98 | 0.88 |
| 3150 | 0.64 | 0.54 | 1.08 | 0.845 |

做过吸声处理的房间（文渊楼）各接收点的混响时间平均 T_{60} （125 ~2 kHz 5 个主要频段）为 0.812s。中频混响时间（500 Hz， 1 kHz 的平均值） T_{60} 中为 0.87s。混响时间随着频率的增加趋于逐步下降的态势， 各点之间数值差别不大。

未做过吸声处理的房间（文津楼）各接收点的混响时间平均 T_{60} （125 ~2 kHz 5 个主要频段）为 1.7855s。中频混响时间（500 Hz， 1 kHz 的平均值） T_{60} 中为 1.2475s。可以看出做过声学处理的教室混响时间明显小于没有做过声学处理的教室。

对于没有做过声学处理的教室，角落和中央的混响时间差异不大。对于做过声学处理的教室，教室角落的混响时间高于教室中央的混响时间。

5.8 基于 EASE 软件对于教室进行模拟

本节采用 EASE 软件对报告厅进行建模，对其内的声场分布进行模拟仿真。

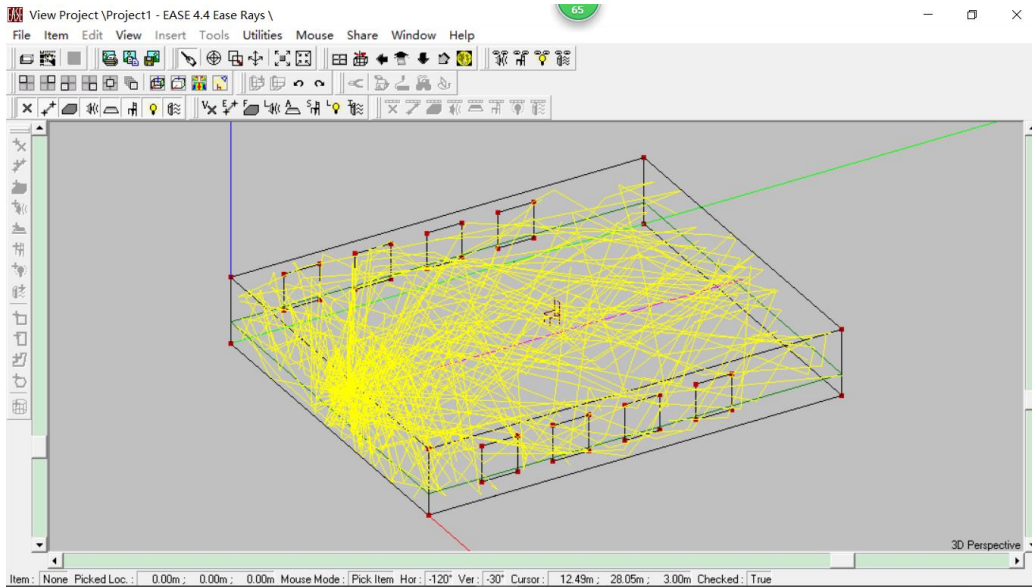


图 5.8.1 文渊楼声线追踪 (1)

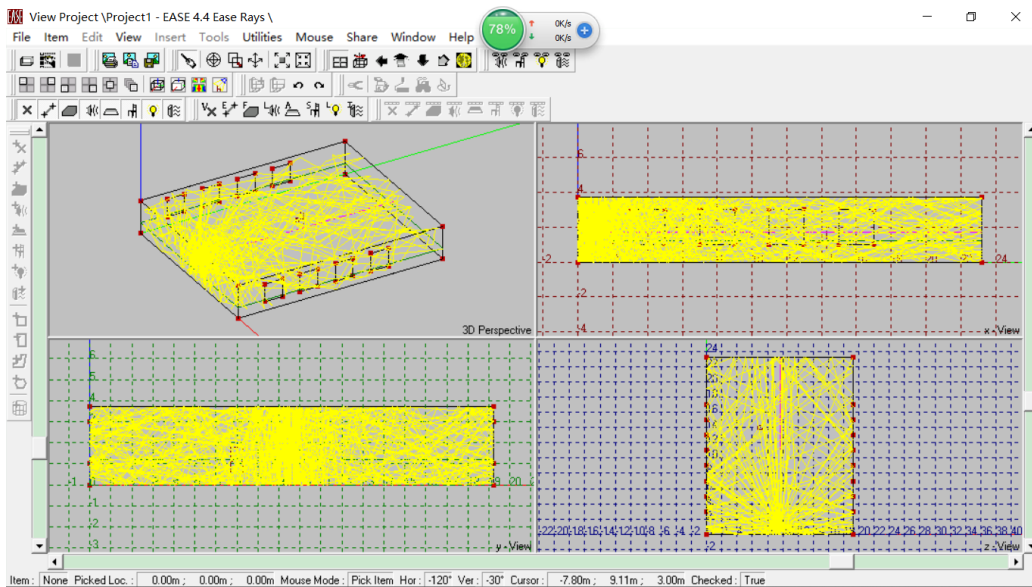


图 5.8.2 文渊楼声线追踪 (2)

Edit Face Table \ Project1 - EASE 4.4

| # | G | Item | Image | Vis | Img | Face Material | Color | 2-Fold | Rear Material | Rear Clr. | Face Texture | Rear Texture | Surface [m ²] | Shading | Locked | Sides |
|----|---|------|-------|-----|-----|---------------|----------|--------|---------------|-----------|--------------|--------------|---------------------------|---------|--------|-------|
| 1 | | F1 | - | Yes | Yes | MASONRY PT | 16777215 | No | | 16777215 | WALL | WALL | 65.84 | No | No | 4 |
| 2 | | F2 | - | Yes | Yes | MASONRY PT | 16777215 | No | | 16777215 | WALL | WALL | 85.84 | No | No | 4 |
| 3 | | F3 | - | Yes | Yes | GYPT2.5MMB | 16777215 | No | | 16777215 | WALL | WALL | 445.90 | No | No | 4 |
| 4 | | F4 | - | Yes | Yes | MASONRY PT | 16777215 | No | | 16777215 | WALL | WALL | 71.11 | No | No | 4 |
| 5 | | F5 | - | Yes | Yes | PARQUET FL | 16777215 | No | | 16777215 | WALL | WALL | 445.90 | No | No | 4 |
| 6 | | F6 | - | Yes | Yes | MASONRY PT | 16777215 | No | | 16777215 | WALL | WALL | 71.11 | No | No | 4 |
| 7 | | F7 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | MASONRY PT | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 8 | | F8 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | MASONRY PT | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 9 | | F9 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | MASONRY PT | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 10 | | F10 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | MASONRY PT | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 11 | | F11 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | ABSORBER | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 12 | | F12 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | ABSORBER | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 13 | | F13 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | ABSORBER | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |
| 14 | | F14 | - | Yes | Yes | WIND GLASS | 16777215 | Yes | ABSORBER | 16777215 | WALL | WALL | 4.00 | Yes | No | 4 |

图 5.8.3 声场模拟吸声材料的选择

使用 EASE 软件对文渊楼报告厅进行声场模拟，进入 EASE 界面，在空白处右击选择房间数据，取消镜像模式，点击插入点，插入面，依次连接各个点。参与声学计算的面之后进行拉伸，之后形成一个类似于立方体的空间。建立窗户，

窗户要设置成双折面，并且要依附在所在的墙上。

插入声源，实验使用的声源用于顺时针连接，显示呈黄色，不参与声学计算的面用逆时针连接，显示呈白色（房间表面）。建立好一个面是 SPHERE，球型声源。插入听音点，插入听音面：高度选择 1.2m。

声场模拟吸声材料的选择是：墙：Masonry（抹灰的砖墙）；地板：Parquet FL（木地板）；窗户：Wind Glass（普通玻璃）；顶棚：GYP125MMB（1.25mm 厚石膏板）；窗户设置为双折面，依附在墙上。

选择声线追踪，阶次选择 5 次，模拟画出声线追踪线。

6.实验结论

面对日益增加的高校扩招使得大型授课须使用的报告厅等教学场所不断增多，而其声学环境质量难以跟进的问题，本文对本校文渊楼和文津楼报告厅进行了调查，对两者的声学环境进行了实地的声学数据测量与声场分布评估，对比其声学处理程度的差异，分析其课堂声学环境及相应改进。本实验采取的方法主要是，使用球形声源发射不同频率的单频声与白噪声，在各个分布点测量其声压级数值，从而研究两个报告厅内的声场分布情况并对其声场处理性能提出改进。

对于不同频率下的同一行或同一列位置，对比其声场的声压级大小，探究变化规律。对于同一频率下的不同位置，研究其声压级变化规律及与声源位置关系。对于经过声学处理和未经声学处理的报告厅声场分布进行对比分析。实验数据与结果显示，经过处理的教室声场声压级分布总体比未经处理的教室更加均匀，更加适合进行授课活动等，而其良好的声学环境也能提升学生与老师的上课体验，对于学生课堂中有效信息的获取更加轻松与高效。

参考文献

- [1]杨大恒. 中、小型教室声场环境研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2007. 刘南. 关于大学实验室的现状与发展刍议. 佳木斯职业学院学报, 2015.
- [2]李玉道, 李法德, 孙学振, 李光提. 实验室开放现状存在的问题和解决方法[J]. 实验室科学, 2019, 22(05):150-153.
- [3]张莉. 基于传声器阵列的声源定位方法研究[D]. 电子科技大学, 2007. 杨杰. 高等学校多功能演播厅声环境研究.
- [4]刘琦. 室内多功能厅电声控制系统设计研究[D]. 江西科技师范大学, 2018. 籍
- [5]赵仕琦, 李浩森, 江燕涛, 阮文超. 某高校图书馆声环境的研究[J]. 住宅与房地产, 2019(21):41-42.
- [6]赵仕琦, 凌长明. 某高校图书馆声环境的测量及对学习效率的影响分析[J]. 智库时代, 2019(25):281-282.
- [7]籍仙荣. 高校图书馆声环境研究[D]. 太原理工大学, 2018.