
赣州泛家居生态体验馆（中央大厅） 声学优化设计报告

杭州智达建筑科技有限公司

2024-03

赣州泛家居生态体验馆声学优化设计报告

一、项目概况

赣州泛家居生态体验馆位于赣州市南康区。泛家居生态体验馆中央大厅主要以播放宣传片、介绍家居历史文化、举办各类家博会家居展、领导讲话等功能为主。

中央大厅平面呈矩形，长约 75.8m，宽约 27.6m，高度约 29m（中央玻璃穹顶最高处），大厅与四周家居展示区域空间相互联通。墙面材料主要以石材、GRG 为主，二至四层栏杆为玻璃材质，穹顶材料为彩绘玻璃，地面材料为石材。大厅现状见图 1-1。

通过现场调研，目前中央大厅在实际使用过程中有以下声学问题需要改善：
1) 大厅内播放视频时声音模糊、有回声感；
2) 举办家居展及博览会时领导使用扩声系统讲话感受不好，台下观众听不清楚。

通过对中央大厅全面的声学测试（1-2~1-3）及数据分析研究，结合现场主观感受，提出有针对性的声学优化建议及改善措施。

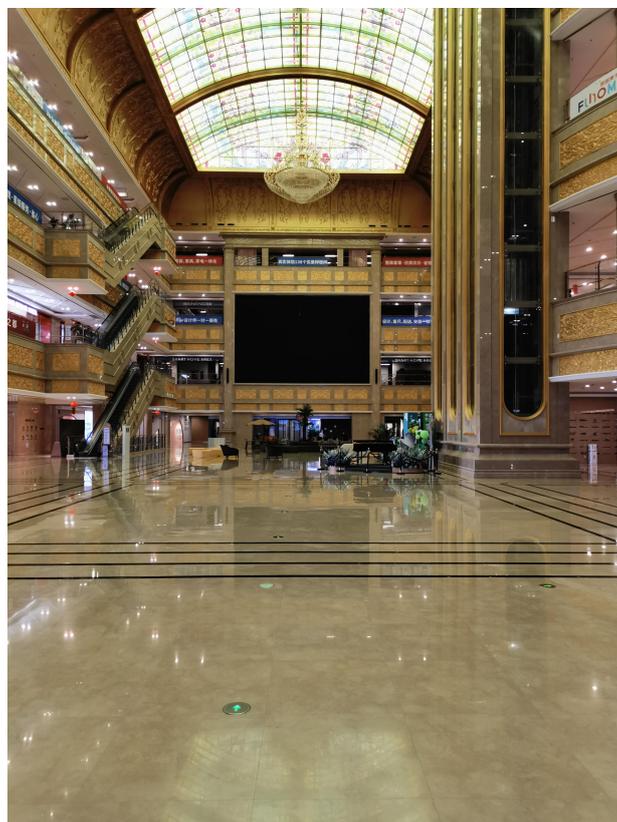


图 1-1 中央大厅现状-1



图 1-2 中央大厅声学测试-1



图 1-3 中央大厅声学测试-2

二、声学测试结果及分析

2024年3月25日我们对赣州泛家居生态体验馆中央大厅进行了声学测量。本次建筑声学测量是对大厅建声改善前的一次摸底测量，测量目的是为建声完善设计提供技术数据支撑。

测量时大厅为空场（除测试配合人员无其他人员在场）。主要测试仪器为 Brüel & Kjaer 2270 多功能频谱分析仪，Brüel & Kjaer4231 声校准器，NTI-XL2-TA 多功能频谱分析仪，测试项目为室内混响时间及其频率特性，并采集各测点的脉冲响应。

测试声源点位于舞台端弧形 LED 屏幕前 2m 处。大厅平面基本对称，共布置 7 个接收点，其中舞台上 2 个接收点，大厅内 5 个接收点。

大厅空场混响时间检测结果参见下表 2-1，混响时间频率特性曲线参见图 2-1。

表 2-1 中央大厅（空场）混响时间实测结果（各测点平均值）

频率(Hz)	100	125	160	200	250	315
混响时间 (s)	4.67	5.53	5.33	5.23	5.42	6.04
频率(Hz)	400	500	630	800	1000	1250
混响时间 (s)	5.73	6.25	5.90	5.53	5.55	5.36
频率(Hz)	1600	2000	2500	3150	4000	5000
混响时间 (s)	5.18	5.01	4.60	4.30	3.71	3.16

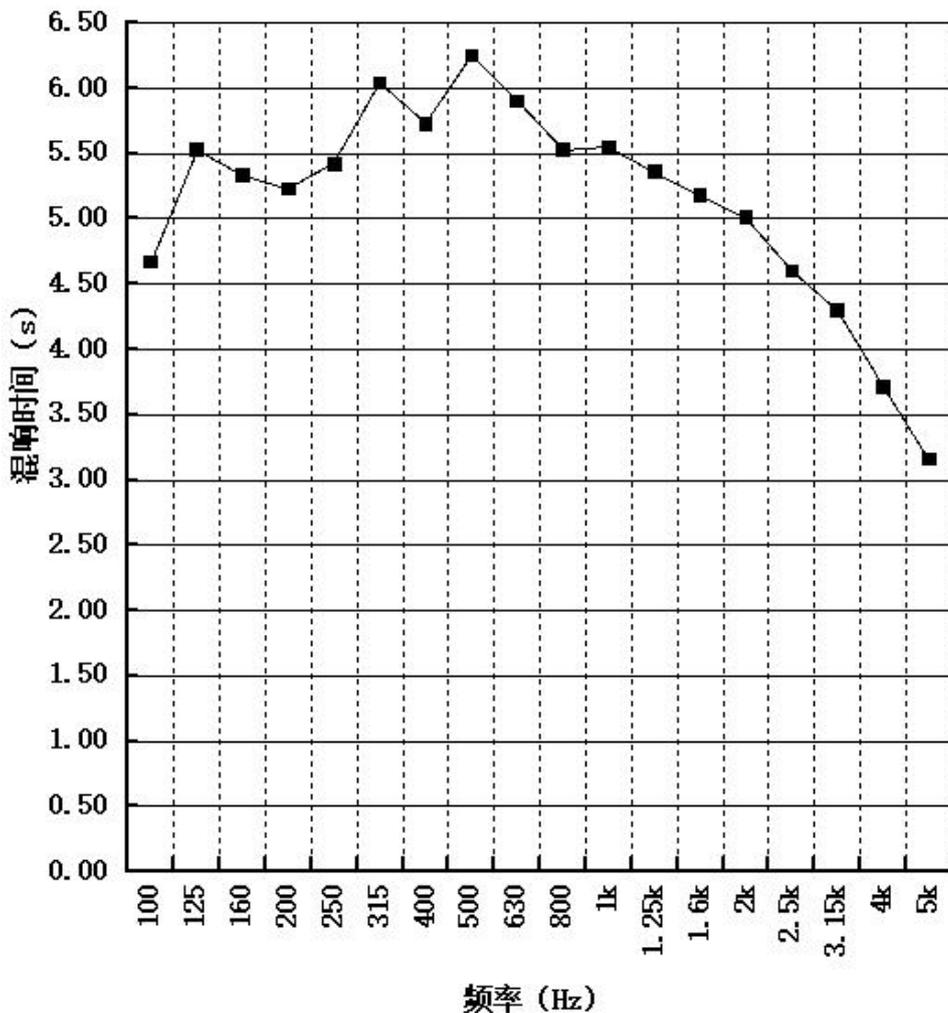


图 2-1 中央大厅（空场）实测混响时间 1/3 倍频程频率特性曲线

从混响时间测试数据来看，中央大厅中频混响时间在 5.9s 左右（500Hz 和 1000Hz 的平均值）。总体上来说，大厅室内装饰材料主要为 GRG、石材、玻璃等强反射声材料，缺少吸声性能较好的吸声材料，声能无法快速衰减，在空间中来回反射，导致室内混响时间偏长，影响了室内语言清晰度。因此，后续需适当增加吸声效果好的强吸声构造，降低厅内混响时间，改善混响时间频率特性。

三、声学设计目标

中央大厅从功能需求角度来说，大部分区域应有较好的语言清晰度，保证宣传片播放、领导讲话、解说员讲话时均可听清楚，无回声、颤动回声、声聚焦等声学缺陷。

1. 混响时间（RT）

混响时间（RT）是房间音质最重要的客观参量之一。它的定义是：声源停止发声后，声能衰减 60dB 所需的时间。混响时间越长，声音越具有混响感和丰满

感，但若混响时间过长，则声音含混不清；混响时间越短，声音清晰度高，易分辨，但若混响时间过短，则声音干涩沉寂。

本项目的空间性质属于中央大厅，并无相对应的声学规范、标准。从声学上来说，室内混响时间尽量低，对声音的清晰度一定是有益的，但本项目属于优化设计工程，与新建项目比在措施的实施上有一定的限制。因此，结合项目使用功能要求、及工程的实际情况，中央大厅中频混响时间优化设计值为 $\leq 3s$ 。混响时间频率特性基本平直，低频混响时间允许适当提升，高频部分混响时间由于空气的吸收可适当降低。

2. 清晰度（D50）

当声音发出声音后，通常把直达声后 50ms 内到达的反射声称之为早期反射声，研究和时间表明，早期反射声有加强直达声的效果，而这之后到达的反射声会对语言清晰度形成干扰。清晰度 D50 是 50ms 前的声能和总声能比（主要用于语言清晰度的判断）。一般当 $D50 \geq 0.5$ 时，语言清晰度较好，通过声学优化措施尽量增加 $D50 \geq 0.5$ 的区域。

四、改善措施

考虑到本项目的实际情况和改善需求，既要求改善措施具有明显的改善效果，又要考虑室内装饰效果以及后期施工的便利性，以期达到室内装饰效果和声学效果的统一。我们提出三种声学优化方案供参考。

方案一：

1. 墙面

结合现场实际情况在适宜区域布置吸声，旨在控制室内混响时间，改善回声、颤动回声等问题。吸声材料建议采用织物吸声帘幕，吸声帘幕外可采用纱布等透声面层，优化吸声帘幕的装饰效果。织物吸声帘幕的指标及布设位置要求如下：

1) 性能参数要求：面密度 $\geq 350g/m^2$ ，降噪系数 $NRC \geq 0.55$

2) 布设位置：中央大厅四周 2~4 层玻璃栏杆及墙面（图 4-1），舞台背后的 LED 大屏前不布置（考虑展会需使用该 LED 屏），舞台对面 LED 大屏如展会不启用也建议在该 LED 屏前布置吸声帘幕（减弱平行墙面之间颤动回声）。帘幕与墙面及玻璃栏杆的间距不宜小于 150mm，上述位置吸声帘幕总面积约 2600 m²。

此外大厅中央上空如果垂挂广告或会标条幅，建议条幅与吸声帘幕结合使用

（此时帘幕比靠墙悬挂具有更好的吸声性能）。



图 4-1 吸声帘幕布设位置示意

（中央大厅四周 2~4 层玻璃栏杆及墙面均需布置）

2. 地面

1) 地毯

举办展会有重要讲话时建议在中央大厅地面铺设地毯，既可以降低脚步声，又可以降低大厅的混响时间（相对于大理石地面，地毯对 1000Hz 高频声具有较好的吸声效果），选择地毯时尽量选厚质地毯（厚度在 5mm 以上，总面积约 1400 m²）。

2) 吸声屏风

在中央大厅一层场地内布设吸声屏风，吸声屏风高度不小于 2.5m（总面积约 155 m²），主要材料为聚酯纤维吸声板及玻璃棉板，构造做法见图 4-2 所示。

屏风表面可结合展会主题用透声面料装饰。屏风布置位置如图 4-3 所示（使用时可根据布展需要灵活组合布置）

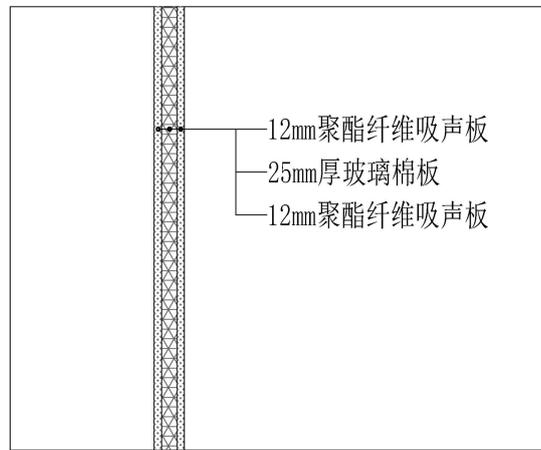


图 4-2 吸声屏风构造示意图

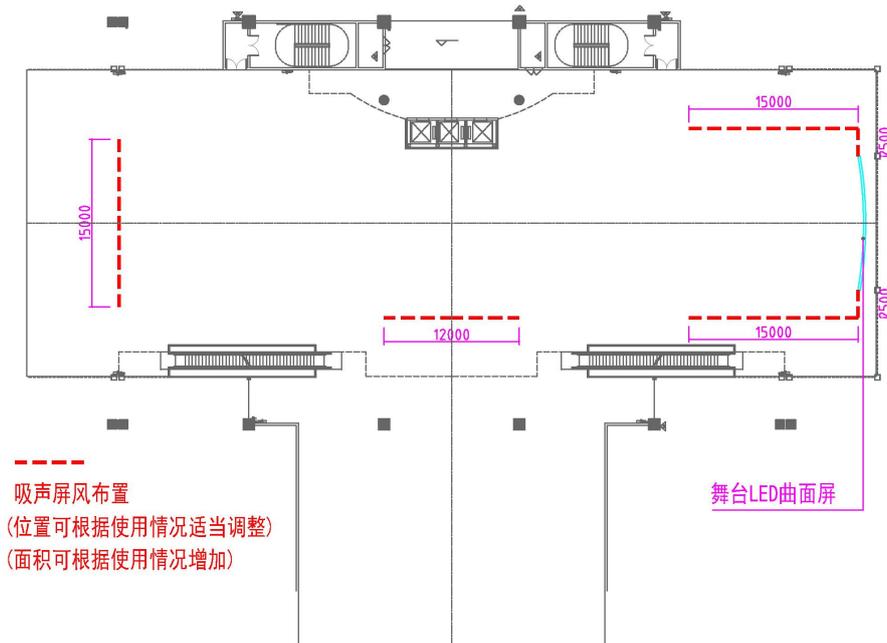


图 4-3 屏风布置平面示意图

综合上述声学措施，优化后的中频混响时间（500Hz 和 1000Hz 的平均值）可降低至 2.8s 左右。

方案二

把方案一中的吸声屏风换做装饰抱枕（装饰抱枕与吸声屏风布置面积相同），增加整体的装饰效果及家博会的氛围，其他措施与方案一相同，优化后的中频混响时间可降低至 2.7s 左右。

五、ODEON 声学模拟

为了更好地验证改善措施的有效性，我们采用了丹麦技术大学研究开发的新版本 ODEON16.10 软件，对本项目室内声场进行了模拟计算，并导出可听化文件供参考。

1. 简述

ODEON16.10 软件计算采用虚声源法与声线跟踪法混合算法，并对结果的准确性作适度的优化。

ODEON 软件模拟结果的可靠性是令人放心的。根据 1993~1995 德国声学学会建筑声学技术委员会对欧洲 16 个室内声场模拟软件参加的测试比较，有 3 个软件被列为可以可靠地计算室内声学参量的软件，ODEON 是其中之一。

Jens Holger Rindel, Hiroyoshi Shiokawa 等对维也纳的 Musikverein 音乐厅和阿姆斯特丹的 Concertgebouw 音乐厅分别用 ODEON3.1 计算机模拟和实测，得出软件对受声点混响时间和声压级的计算结果和实测结果基本吻合，比较结果发表在 1999 年 3 月的美国声学学会上。我们以前的工程经验也证实了软件的可靠性。

2. 模型的建立

为更好地指导建声的设计，在建立计算机模型时，各部分的面层建模尽量详细以求最大程度的反映真实情况，同时在不影响声场模拟结果的情况下，对部分复杂面进行了简化，最终建成的模型共有 475 个面围合而成，模型图 5-1 所示。我们同时模拟计算了中央大厅现状的模型，旨在与三种优化方案进行对比。

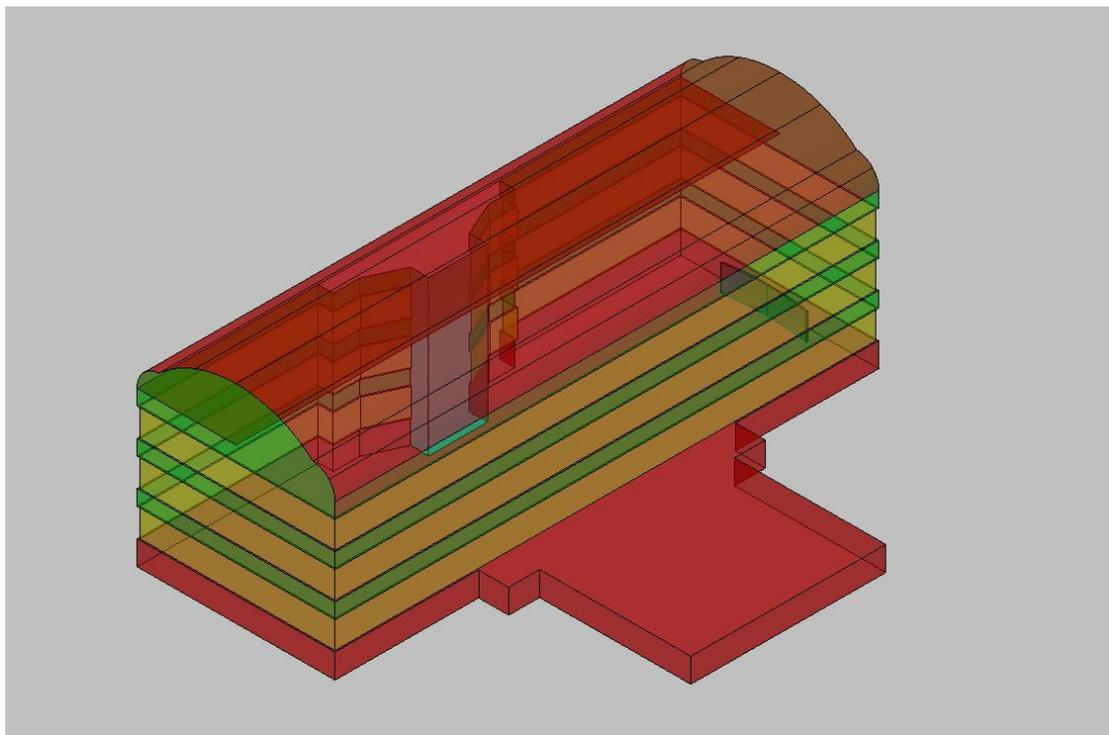


图 5-1 CAD 模型建构图

3. 计算参数的设置

在计算声学参量在地面的分布时，接收面高度设为地面以上 1.5 米，网格精度 0.5 米。模拟时温度为 20℃，相对湿度为 50%。

4. 声源及接收点设置

声源为无指向性点声源，位于 LED 屏幕中线为之前 2m 处。声源距离地面高度为 1.5m。

大厅内共布设 11 个接收点，接收点均距地面 1.5 米高，声源及接收点分布见图 5-2 至 5-5。

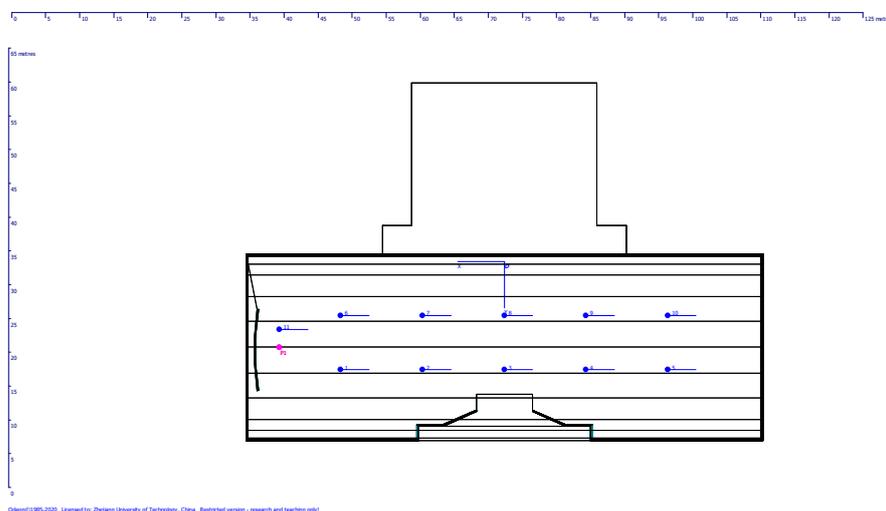


图 5-2 声源点和接收点平面分布图（红色表示声源点，蓝色表示接收点，下同）

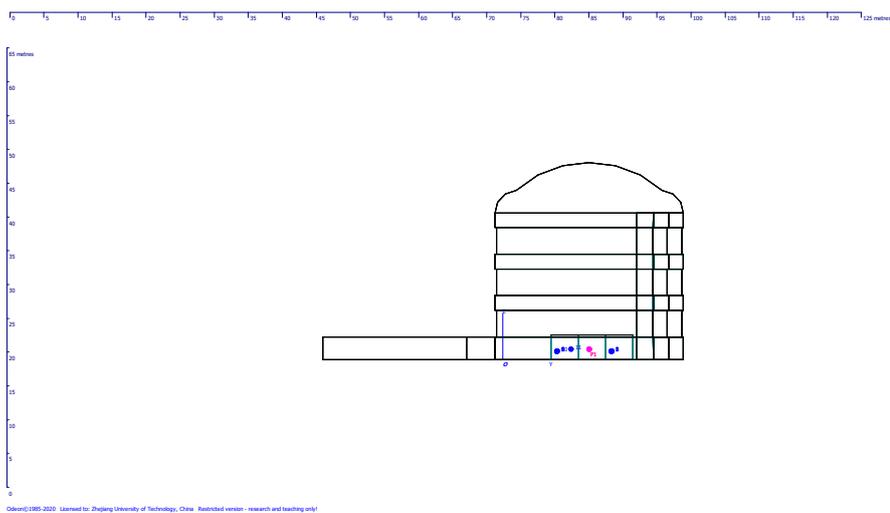


图 5-3 声源点和接收点立面分布图（1）

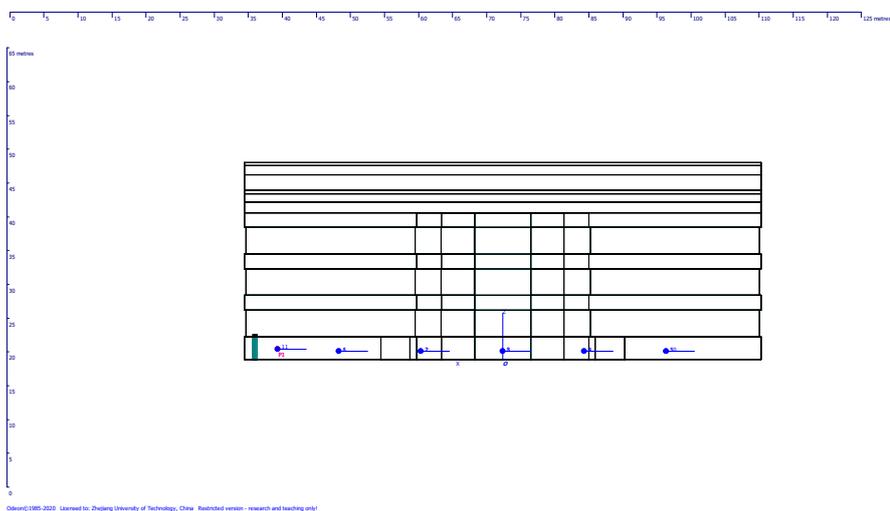


图 5-4 声源点和接收点立面分布图（2）

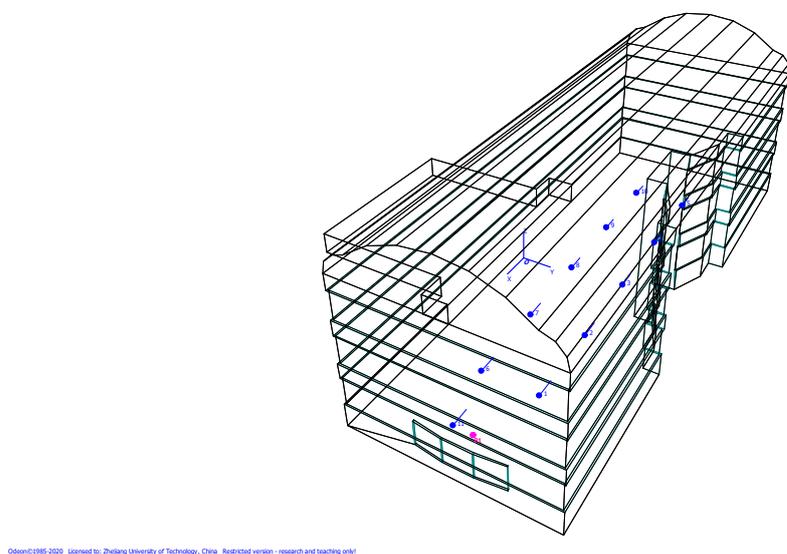


图 5-5 声源点和接收点三维空间分布图

5. 模型材质的设定

模型材质参数的设定主要来自两个途径：一是选用 ODEON 软件自带的材质库，如金属板、石材墙面，石膏板吊顶、石材地面等；二是声学设计需要控制的材料及构造，其吸声系数的参数经编辑后输入，如吸声吊顶、吸声帘幕、地毯等构造，这些材料的吸声系数是经过实验室测量并在实践中进行修正过的可靠数据。

6. 计算机模拟结果

6.1 混响时间 RT (T20) 分布

对中央大厅空间室内混响时间进行模拟，模拟结果如表 5-1 所示。

表 5-1 中央大厅混响时间模拟结果频率特性表

频率 (HZ)	125	250	500	1000	2000	4000
T20/s (现状)	5.3	5.4	6.0	5.5	5.0	3.6
T20/s (方案一)	4.0	2.7	1.9	2.2	2.2	2.0
T20/s (方案二)	4.1	3.1	2.8	2.8	2.6	2.3
T20/s (方案三)	4.1	3.0	2.7	2.7	2.4	2.1

中频 1000Hz 混响时间声场分布见图 5-6~5-9，图 5-6 为改善前室内混响时间情况，图 5-7 为方案一优化后大厅混响时间情况，图 5-8 为方案二优化后大厅混响时间情况，图 5-9 为方案三优化后大厅混响时间情况。从分布图上看，改善后，大厅混响时间均有明显下降，方案一有顶部吸声的措施，相较于其他两个方案下降幅度更大。

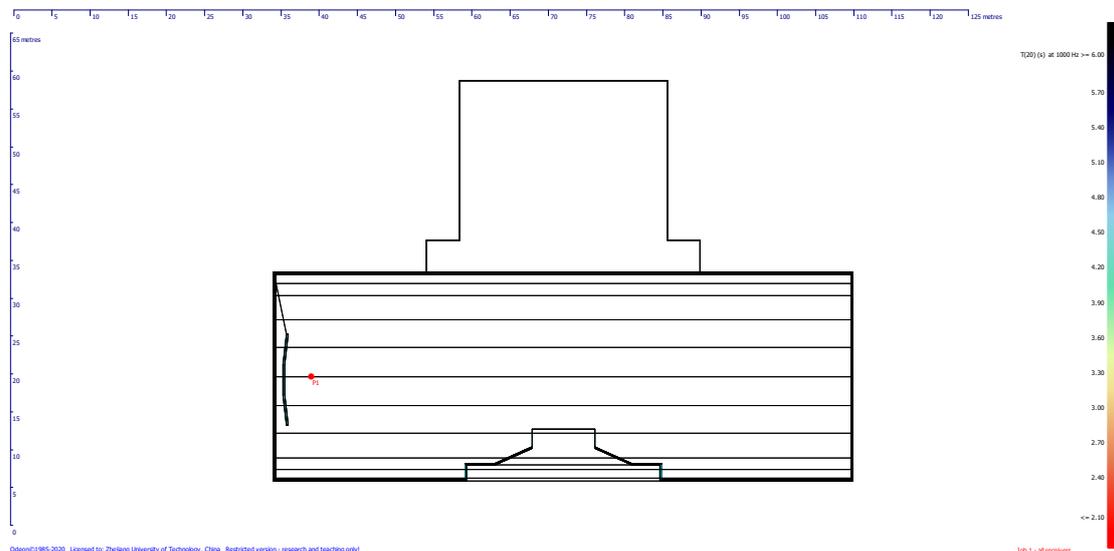


图 5-6 改善前 1000Hz 中心频率中央大厅混响时间模拟情况

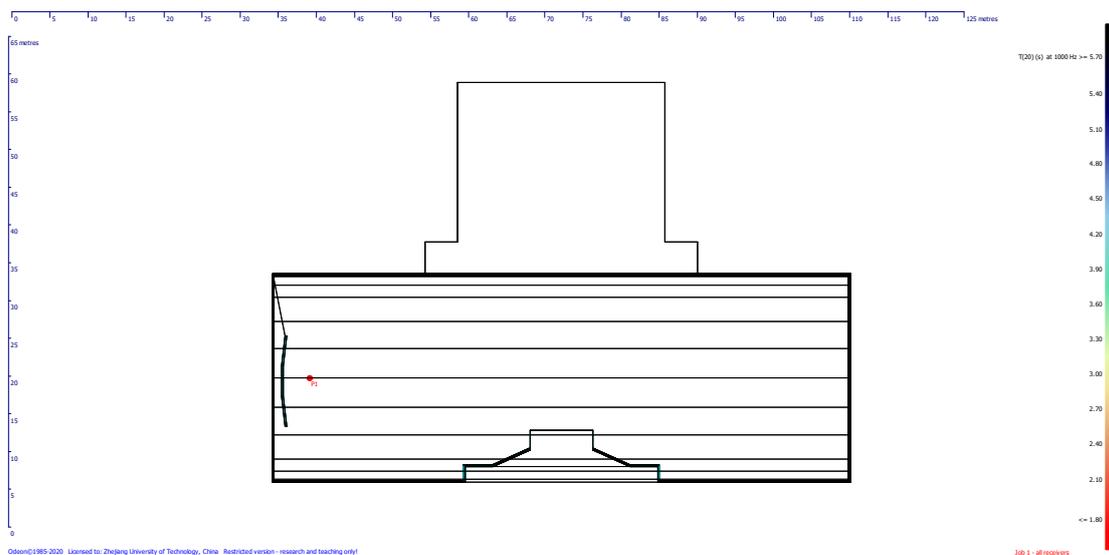


图 5-7 1000Hz 中心频率中央大厅混响时间模拟情况（方案一）

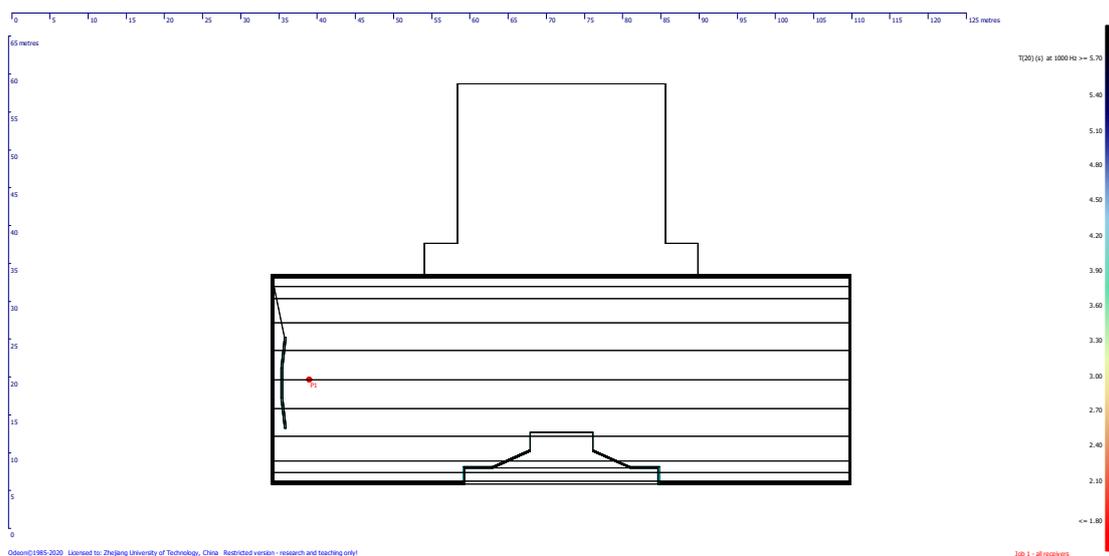


图 5-8 1000Hz 中心频率中央大厅混响时间模拟情况（方案二）

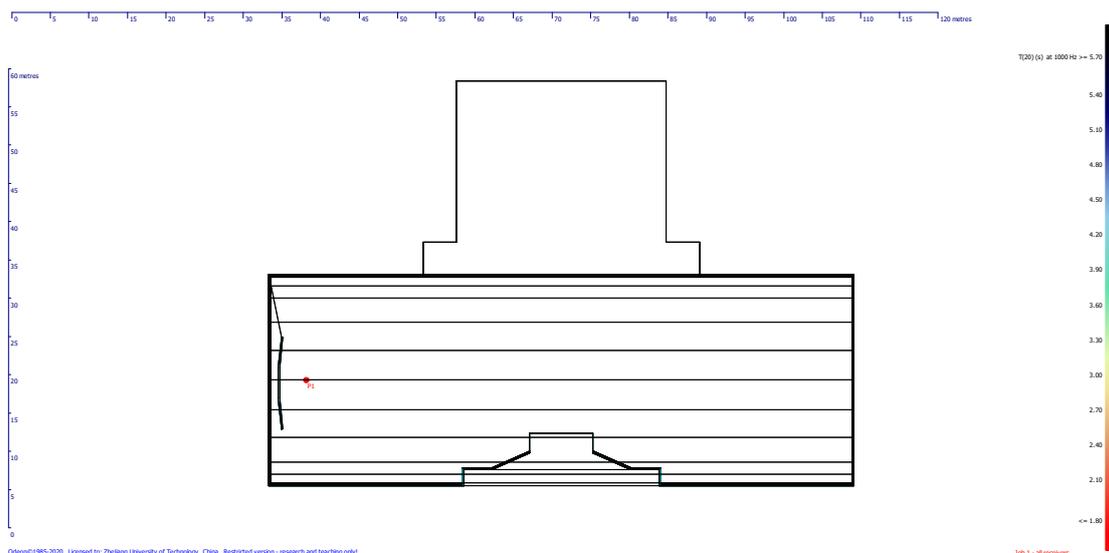


图 5-9 1000Hz 中心频率中央大厅混响时间模拟情况（方案三）

6.2 清晰度 D50 分布

对中央大厅清晰度 D50 进行模拟分析，中频 1000Hz 清晰度 D50 声场分布见图 5-10~5-13，图 5-10 为改善前大厅 D50 情况，图 5-11 为方案一优化后大厅 D50 情况，图 5-12 为方案二优化后大厅 D50 情况，图 5-13 为方案三优化后大厅 D50 情况。图中红色区块 D50 小于 0.5 语言清晰度不佳，从模拟结果来看，改善后，室内清晰度不佳的区域明显减少。

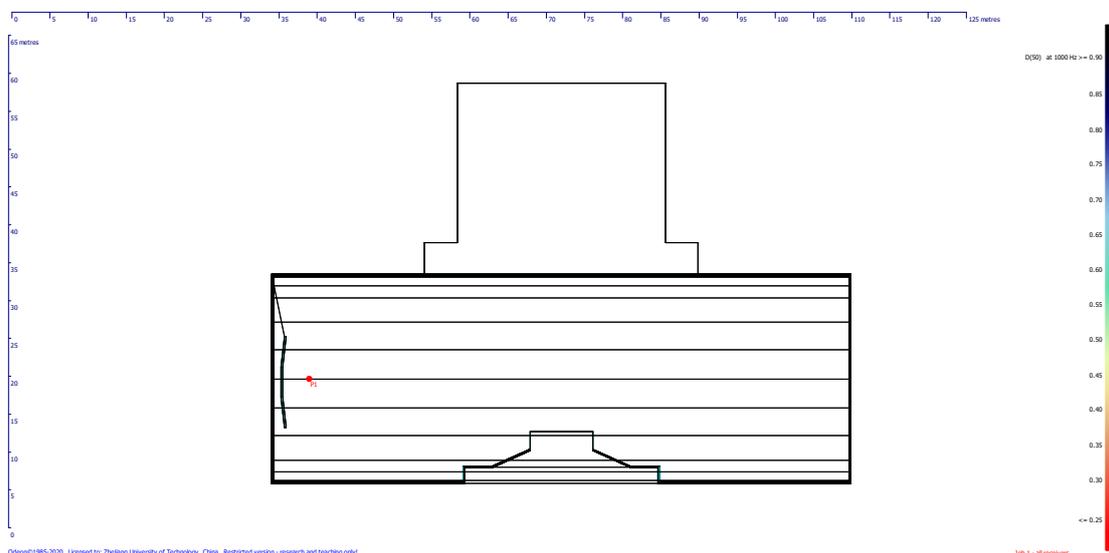


图 5-10 改善前 1000Hz 中心频率中央大厅清晰度模拟情况

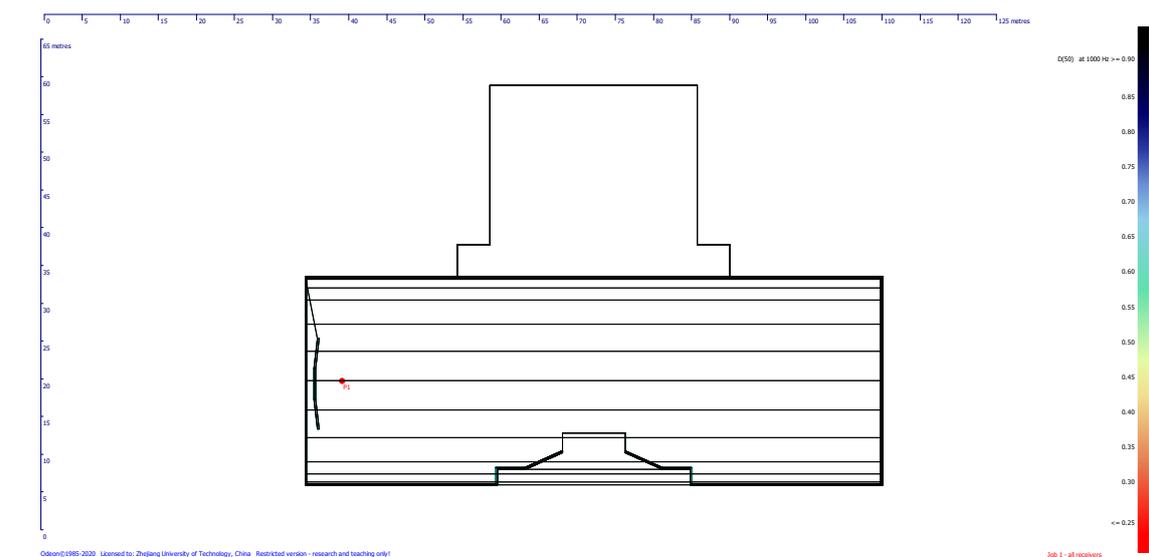


图 5-11 1000Hz 中心频率中央大厅清晰度模拟情况（方案一）

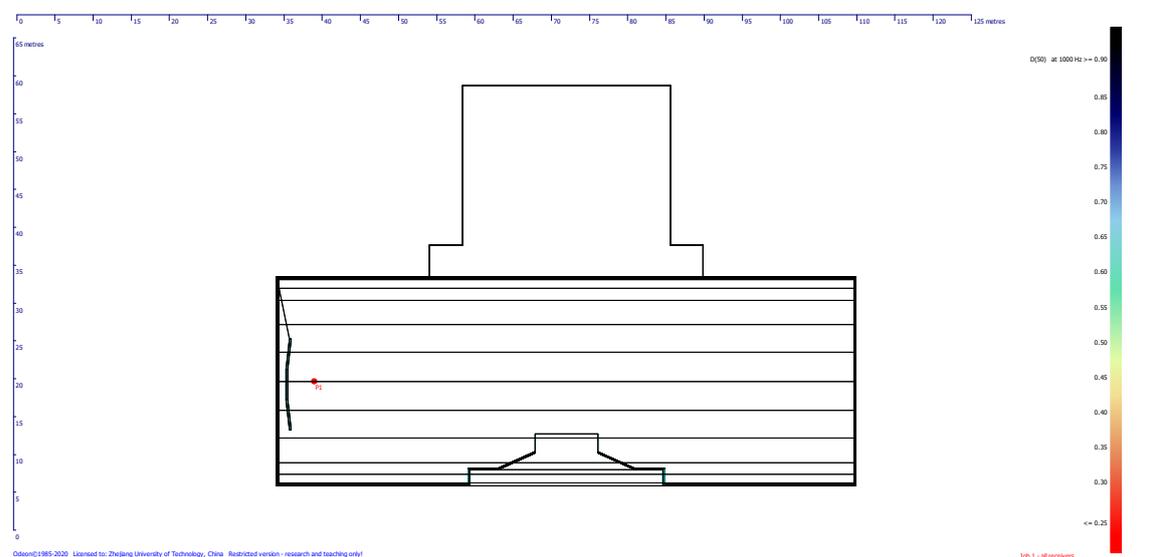


图 5-12 1000Hz 中心频率中央大厅清晰度模拟情况（方案二）

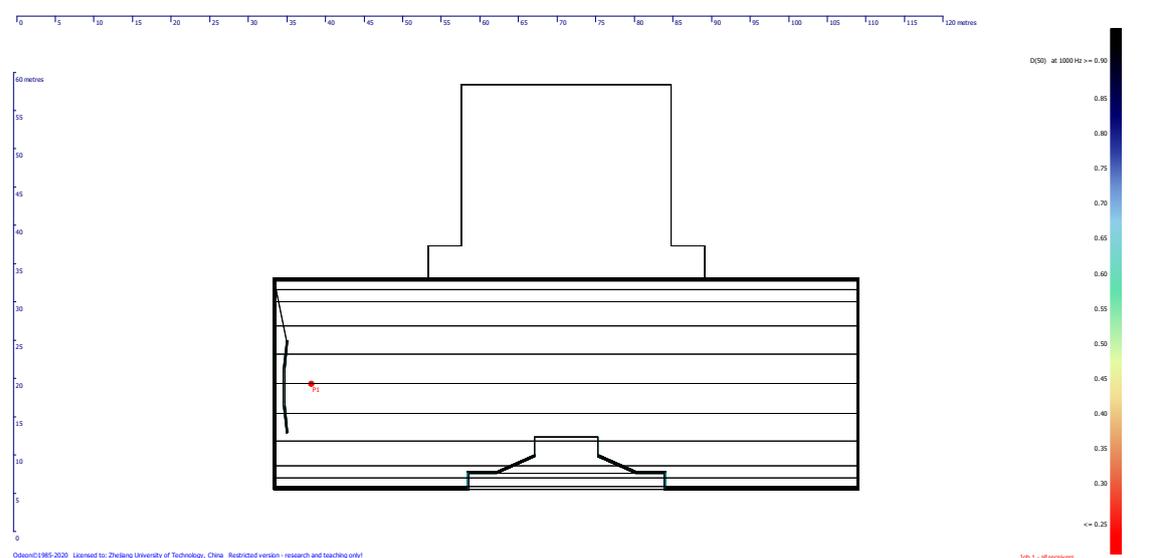


图 5-13 1000Hz 中心频率中央大厅清晰度模拟情况（方案三）

综上所述，通过声学措施的改善，大厅声学效果会有明显的改善，基本达到了设计目标要求。

7. 扩声系统调整建议

展会的扩声系统一般由组织方临时租赁使用，使用方式上提出如下建议，供参考：

- 1) 音箱指向性强，保证声音尽可能射向观众区域。
- 2) 主音箱音量不宜过大，如果观众后区声级不足用到补声音箱时，需注意延迟。

杭州智达建筑科技有限公司

2024.03