浙江义乌大剧院项目建筑声学设计报告
（室内施工图阶段）



华东建筑设计研究院有限公司·声学及剧院专项设计研究所

2024

团队信息：

声学设计团队：华东建筑设计研究有限公司·声学及剧院专项设计研究所

项目声学专项负责人	杨志刚	张晓岚				
土建声学设计人	金瑞					
机电声学设计人	陈佳俊	张龙	邓怡情			
室内声学设计人	文立森	周凯宇	张龙	李佳菊	陈佳俊	张晓岚
测试团队	文立森	车奕辰	张龙	陈佳俊	周凯宇	

浙江义乌大剧院项目建筑声学设计报告
（配合施工图阶段）

第一部分：项目概述

1、设计依据

本项目声学设计应执行以下主要设计规范与标准，包括（但不限于）：

1.土建、机电、室内施工图（送审版）

2.MAD 各厅过程版建筑模型提资

3.中华人民共和国行业标准《剧场建筑设计规范》（JGJ 57—2016）

4.中华人民共和国国家标准《电影院建筑设计规范》(JGJ 58--2008)

5.中华人民共和国国家标准《剧场、电影院和多用途礼堂建筑声学设计规范》（GB/T 50356—2005）

6.中华人民共和国国家标准《民用建筑隔声设计规范》（GB 50118－2010）

7.中华人民共和国国家标准《建筑隔声评价标准》(GB/T 50121—2005)

8.中华人民共和国国家标准《声环境质量标准》（GB 3096－2008）

9.中华人民共和国国家标准《社会生活环境噪声排放标准》（GB 22337－2008）

10. 《音乐厅和歌剧院（音乐厅）》（白瑞纳克 著）

11. 中华人民共和国国家标准《建筑环境通用规范》（GB 55016-2021 ）

12. 中华人民共和国噪声污染防治法（2022.06.05 施行）

13. 中国工程建设标准化协会标准《音乐厅建筑声学设计标准》T/CECS 1228-2023

2、项目概况

义乌位于浙江省中部，地属金华市，是全球最大的小商品集散中心，被联合国、世界银行 等国际权威机构确定为世界第一大市场。义乌市委计划在一个整体建筑内，整合建设大剧院和 会议功能，分别实现各自的最佳功能，从而改善义乌市民文化娱乐生活，满足国际和国内大型会议及大型活动接待需求，实现“会”“展”功能在该区域的有机融合。

项目拟建于规划中的义乌国际文化中心区域，以文化中心的建设为契机，打造集商贸、商务、文化”三位一体“的城市强核。场地位于市中心区南北景观轴和义乌江转弯交汇处，是滨 江的重要景观节点，各向视线的焦点，得天独厚的地标位置。地处义乌江南岸，西南侧为公园 绿地，北侧隔江相对是金融商务区与福田湿地公园。东南紧邻次干路清波路，西北、东侧临近 义乌江，根据《义乌国际文化中心城市设计专题研究及技术统筹（成果初稿）》的规划设计， 规划未来西、北有跨江人行、车行隧道及大桥，沿义乌江一侧设有慢行通道，国际文化中心区内增设有公交车站，文化区南侧设有 2 号、3 号轨道线。场址区域交通方便，地理位置优越。

项目用地为国有划拨方式供地，为义乌市文化中心区 04-01 地块，总用地面积为 47000 ㎡，呈不规则形。用地最长处约 280m，最短处约 200m。北岸商务中心区以高层建筑为主构成天际线高点，项目所在地为中心文化区，多层建筑为主，周边已建成图书馆、会展中心、广播中心、体育中心等文体设施。

根据服务范围约定，我司负责义乌大剧院全部区域声学空间：主要包含剧院和会议两大功能区。

- 一个 1600 座大剧场
- 一个 1200 座音乐厅
- 配套排练厅、琴房等
- 会议区包括：2000座国际大会议厅、小会议厅、600座多功能小剧场及其附属设施。



图 1：项目效果图



图 2：大剧院项目总图

第二部分：项目概述

1、项目总体噪声与振动控制

剧院类项目的背景噪声要求非常高。把噪声和振动控制在允许的范围内，是确剧院观众厅具有良好音质效果的前提。

（1） 目前项目周边均为规划道路。项目邻水而居，环境安静。

（2） 图 3 中红色为规划道路 3 号路，蓝色为规划下穿隧道。但位置未最终确定。

（3） 项目西南侧冷却塔放置区域（绿色线圈）。设备为项目自用。



图 3：项目和道路、下穿路隧道位置关系图

1.1）环境噪声噪声级控制标准：

参照中华人民共和国国家标准《社会生活环境噪声排放标准》(GB22337—2008)、声质量环境噪声标准》(GB3096—2008)、《城市区域环境振动标准》(GB10070-88)，本项目拟适用于 2 类声环境标准：以商业金融、集市贸易为主要功能，或者居住、商业、工业混杂，需要维护住宅安静的区域。

2 类声环境标准对应边界噪声排放限值如下表格 1 所示。边界满足噪声要求的同时，项目建筑外立面外 1 米位置也要去噪声等级满足下表格 2 所示。

表 1 社会生活噪声排放源边界噪声排放限值（单位：dBA）

项目边界噪声限值	昼间 （当日 6:00~22:00）	夜间 （22:00~次日 6:00）
2 类声环境功能区类别	60dB	50dB

表 2 社会生活噪声排放源边界噪声排放限值（单位：dBA）

建筑外立面外 1 米噪声限值	昼间 （当日 6:00~22:00）	夜间 （22:00~次日 6:00）
2 类声环境功能区类别	60dB	50dB

1.2）环境振动级控制标准：

中华人民共和国行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量》（JGJ/T 170-2009）

2) 中华人民共和国国家标准《城市区域环境振动标准》（GB 10070-88）

3) 《城市区域环境振动标准》（GB 10070-88）

4) 《环境影响评价技术导则——城市轨道交通》（HJ453-2008）

下表 3 规范参考《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量》（JGJ/T 170-2009）中 0 类地块夜间标准，这是现行国家规范中，对室内环境振动级要求的最高标准，对标室内背景噪声级 35dBA。

由于本项目周边交通线路均为规划道路，所以在未来道路设计、施工时应充分考虑到其交通振动、噪声对本项目的影响，进行考虑。

表 3 歌剧院、音乐厅、多功能厅小剧场、国际会议厅室内环境振动控制标准（单位：dB）

场馆	控制振动标准（dB）
义乌大剧院项目内各场馆	≤62dB

2、项目室内噪声级控制目标

2.1）室内噪声：

表 4 项目各区域房间室内允许噪声级要求如下

房 间 名 称	背景噪声 （噪声评价曲线或 A 声级）
主要功能用房	
1600 人剧院	NR-25 （自然声条件下：国标甲等剧院室内背景噪声要求）
1200 人音乐厅	NR-20 （自然声条件下：高于国标甲等剧院室 内背景噪声要求）
多功能小剧场	NR-30 （自然声条件下：国标乙等剧院室内背 景噪声要求）
国际会议厅	NR-30 （无自然声条件下：国标甲等剧院室内背景噪声要求）
会议厅区各小会议室	NR-35
排练厅	NR-30
声控室	NR-30
配套功能用房	
琴房	NR-30
贵宾休息厅、乐队休息室	NR-30
办公室、培训办公、教室	<45dBA
VIP 化妆室	<40dBA
化妆室	<45dBA
员工餐厅	<45dBA
大堂、前厅	<50dBA
典型设备机房	
变配电室	<70dB(A)
空调机房/风机房	<70~75dB(A)
生活水泵房	<75dB(A)
制冷机房	<95dB(A)
锅炉房	<85dB(A)
柴油发电机房	<105dB(A)

应考虑和防止各项噪声源对房间或厅堂的干扰，这些噪声源包括：

（1） 内部的设备噪声。包括空调和通风、排风系统、给排水系统、电器系统、， 以及出入口门开关碰撞声和座椅翻动声等噪声。

（2）外界传入的噪声。既包括建筑物内其它房间和走廊的噪声，如各种设备机房、走廊的喧哗、舞台设备和厕所设备、厕所设备、厨房和电梯等处的噪声，也包括户外的交通噪声（车辆、铁路、航空等噪声）以及其它社会噪声。

3、项目建筑构件围护构造控制目标

3.1）墙体、楼板、门窗的隔声设计

3.1.1）概念阐述

空气声 air-borne sound: 声源经过空气向四周传播的声音。

计权隔声量 Rw weighted sound reduction index：表征建筑构件空气声隔声性能的单值评价量，单位为 dB。计权隔声量宜在实验室测得。

频谱修正量 spectrum adaptation term: 频谱修正量是因隔声频谱不同以及声源空间的噪声频谱不同，所需加到空气声隔声性能的单值评价量上的修正值。当声源空间的噪声呈粉红噪声频率特性或交通噪声频率特性时，计算得到的频谱修正量分别是粉红噪声频率修正量（C）或交通噪声频率修正量（Ctr ）。

3.1.2）屋面的隔声要求

表 5 项目屋面隔声量要求如下：

区域	空气声隔声量	雨水撞击声声压级
项目屋面	RW+C≥55dB	Ln’,t ≤50dB

3.1.3）墙体的隔声要求

表 6　项目各区域房间室墙体隔声量要求如下：

受影响的区域	隔声量
大剧院、音乐厅四周墙体	RW+C≥60dB
多功能厅和周边房间之间的墙体	RW+C≥60dB
多功能厅的幕墙和室内隔断组合后的墙体	RW+C≥55dB
国际会议厅中心四周墙体	RW+C≥60dB
国际会议厅的幕墙和室内隔断组合后的墙体	RW+C≥55dB
小会议室和小会议室之间的墙体	RW+C≥50dB
排练厅和走道之间的墙体	RW+C≥45dB
排练厅和排练厅之间的墙体	RW+C≥55dB
排练厅和化妆间之间的墙体	RW+C≥50dB
琴房与走道之间墙体	RW+C≥45dB
琴房与琴房之间墙体	RW+C≥55dB
贵宾室四周墙体	RW+C≥50dB
化妆间和走廊之间的墙体 化妆间和化妆间之间的墙体	RW+C≥45dB
	RW+Ctr ≥45dB
机房墙体	（实际墙体参见声学隔声隔振图标注）
功能配套用房与设备机房之间的墙体	Rw+Ctr ≥50dB （实际墙体参见声学隔声隔振图标注）

3.1.4）楼板的隔声要求

表7　项目各区域房间室墙体隔声量要求如下

楼板	隔声量
大剧院、音乐厅、多功能小剧场、国际 会议厅观众厅上方结构楼板	RW+C≥50dB
音乐厅、多功能小剧场顶部天窗	RW+C≥45dB
大剧院、音乐厅、多功能厅、国际会议厅观众厅上方结构楼板和室内吊顶组合	RW+C≥60dB
多功能厅和小会议室之间的结构楼板	RW+C≥65dB
排练厅下楼板 （与化妆间间、后场的楼板）	RW+C≥60dB
琴房下楼板 （与办公室之间的楼板）	RW+C≥60dB
办公室、培训等房间和其它房间之间的 结构楼板	RW+C≥50dB
空调机房上楼板 （与静压箱之间的楼板）	RW+C≥60dB
敏感机电设备的楼板 （下部有功能用房，如化妆间等）	RW+Ctr ≥60dB
一般机电设备的楼板（下部没有功能用 房）	RW+Ctr ≥45dB
其他楼板的最低要求	RW+C≥45dB

3.1.5）门/窗的隔声要求

表 **8** 项目各区域房间室门隔声量要求如下

门窗所属厅室名 称	隔声量	最低构造要求
设备机房	RW+Ctr≥40dB（单开门） RW+Ctr≥35dB（双开门）	从专业隔声门厂家采购
观众厅	声闸组合隔声量 RW+C≥50dB (内门 RW+C≥30dB， 外门 RW+C≥35dB）	从专业隔声门厂家采购
排练厅	声闸组合隔声量 RW+C≥50dB (内门 RW+C≥30dB， 外门 RW+C≥35dB）	从专业隔声门厂家采购
琴房	RW+C≥35dB	从专业隔声门厂家采购
贵宾休息室	RW+C≥30dB	详见门构造要求

注：设备机房的门应当采用专业厂家生产的防火隔声门，隔声门应提交隔声测试报告。

4、项目建筑构件围护构造控制目标

4.1）机组隔振要求

表 9 项目典型机房设备减振效率要求如下：

机器种类	隔振效率（%）		
	低限区域	正常区域	敏感区域
空调机组、风机	80%	90%	≥95%
水泵	80%	95%	≥98%
变压器	70%	90%	≥95%
管道系统	70%	90%	≥95%

4.2）隔声减噪的设计措施

4.2.1）机房的吸声降噪处理

表 10 项目设备机房吸声降噪要求如下

构件位置	声学参数	做法
顶棚	降噪系数 NRC 要求≥0.7	25mm~30mm 吸声喷涂，A 级防火 或其它穿孔板类吸声顶部，降噪系数满足声学要求
墙面	降噪系数 NRC 要求≥0.8	穿孔石膏板，后衬 50mm 吸声棉 穿孔石膏板板厚 9-12mm，穿孔率>15%，孔径≥8mm

4.2.2）设备机房运行噪声允许值要求

表 **11** 项目设备机房运行噪声允许值要求如下

房间	允许噪声级（A 声级，dB）	机房是否需 要吸声处理	设备隔振措施
柴发机房	<105dB(A)	墙、顶需要	采用弹簧隔振
锅炉房	<85dB(A)	墙、顶需要	--
制冷机房	<90dB(A)	墙、顶需要	采用弹簧隔振或橡胶垫隔振， 根据设备类型确定
水泵机房（生 活）	<75dB(A)	墙体需要	拟采用弹簧隔振
水泵机房（空调用）	<75dB(A)	墙、顶需要	拟采用弹簧隔振
空调机房	<70-75dB(A)	墙、顶需要	采用弹簧隔振或浮筑地坪，详 见声学隔声隔振图
风机房	<70-75dB(A)	墙、顶需要	采用弹簧隔振

变压机房	<70	墙面宜吸声处理，顶面不需要	采用弹簧隔振与橡胶隔振双隔振
电梯机房*	<70	需要	请电梯厂家根据安全考虑，在曳引机设备以及曳引机和墙体或支撑构件之间设置隔振垫块。隔振垫块为电梯厂家自带，并由电梯安装公司安装。

5、项目厅堂室内音质控制目标

5.1）概念阐述

①混响时间及相关参量

混响时间 RT：声音达到稳态后停止发声，声能衰减 60dB 所需要的时间。实测混响时间 T30 是指声能最初衰减 30dB 所需要时间的 2 倍。

②早期衰变时间 EDT：指声能最初衰减 10dB 所需要时间的 6 倍。

③ 双耳质量系数 BQI=（1- IACCE3）早期双耳听觉相关系数 IACCE3：时间长度从 0 到 80ms 的双耳听觉相关系数，是 500、1000 和 2000 Hz 的 3 个倍频带测量结果 IACC 的平均值。

④侧向反射比 LF：80ms 内侧向反射声能与 80ms 内总声能的比值，对应的公式如下。其中 P8(t)为 8 字型指向性传声器测得的声压，积分从 5ms 开始是为了消除直达声的影响），LFE4 为 1s25、250、500 和 1000Hz 的 4 个倍频带 LF 的平均值。

$$LF=\frac{\int_{5ms}^{80ms}p_8^2(t)dt}{\int_{0}^{80ms}p^2(t)dt}$$

⑤声场力度 G:它的定义为舞台上一个无指向性声源在厅堂中某点产生的声压级与自由声场中（声功率保持不变）离声源 10m 处的声压级之比，对应的公式如下。其中 P10(t)为同一声源在自由声场中，接收点离声源为 10m 处的声压。

$$G=10\lg\frac{\int_{0}^{\infty}p^2(t)dt}{\int_{0}^{\infty}p_{10}^2(t)dt}(dB)$$

中频声场力度 Gmid：为中频 500 和 1000Hz 的 2 个倍频带 G 的平均值；

低频声场力度 G125：为低频 125Hz 的 G 值。

⑥初始时延间隙 ITDG：是厅堂中某一座席处舞台上声源来的直达声的到达时刻，与第一反射声的到达时刻之间的间隔。它与“亲切”的主观感觉有关。ITDG 一般指正厅池座中心附近位置处（即舞台与第一层挑台栏板之间的半程位置）的值。

⑦表面扩散因子 SDI：是天花板和墙面表面扩散程度的视觉检查。

⑧明晰度 C80：80ms 前后接收到的声能之比，对应的公式如下。为了增大明晰度 C80 对音质评价的灵敏度，常将 500、1000 和 2000 Hz 的 3 个倍频带的测量值加以平均，并以 C80，3 表示。

$$C=10\lg\frac{\int_{0}^{80ms}p^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty}p^2(t)dt}(dB)$$

⑨背景噪声：厅内无人占用时，在通风、空调、调光等设备正常运转条件下的噪声。

5.2）主要技术用房的音质设计指标

5.2.1）大剧院音质设计指标

中频满场混响时间 RT：

文艺演出兼顾人大会议功能状态：RT=1.40±0.10s

- 混响时间频率特性：

早期衰变时间 EDT：1.2~1.4s

低频比重：1.0～1.15（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.8～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

. 侧向反射系数 LFE4：15%～35%

. 双耳质量系数 BQI：0.6~0.71

- 响度

中频声场力度 Gmid：-1.0~2.0dB

低频声场力度 Glow：-1.05~2.3dB

- 本底噪声：NR-25
- 每座容积：7～9m3/人
- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.2.3）多功能厅音质设计指标

中频满场混响时间 RT：

宴会厅模式，空场混响时间 RT≤2.0s

剧场模式，空场混响时间 RT=1.1+/-0.1s

. 混响时间频率特性：

低频比重：1.0～1.2（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.9～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

. 侧向反射系数 LFE4：15%～35%

. 响度

中频声场力度 Gmid：0.0~5.0dB

低频声场力度 Glow：8~10dB

. 本底噪声：NR-30

. 每座容积：10～12m^3/人

- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.2.4）国际会议厅音质设计指标

中频满场混响时间 RT：空场混响时间 RT=1.5+/-0.1s

混响时间频率特性：

低频比重：1.0～1.1（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.9～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

- 本底噪声：NR-30
- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.2.5）小会议厅音质设计指标

中频满场混响时间 RT：

空场混响时间 RT≤0.6s

. 混响时间频率特性：

低频比重：1.0～1.1（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.9～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

本底噪声：NR-35

. 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.2.6）小会议厅音质设计指标

①声乐排练厅

- 中频混响时间：RT=1.1±0.1 秒 （500～1000Hz）
- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

②舞蹈排练厅

- 中频混响时间：RT=0.8±0.1 秒 （500～1000Hz）
- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.2.7）琴房音质设计指标

- 中频混响时间：RT=0.3±0.1 秒 （500～1000Hz）
- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.2.8）大堂音质设计指标

公共大堂中应结合室内设计进行吸声处理

第三部分：项目围护构造隔声设计

为保证各个厅室或区域的背景噪声不超过设计最大允许噪声级，各厅室的建筑构件空气声隔声量必须满足第二部分“ 声学设计指标”中第 3 节要求。

6、项目围护构造隔声量控制

6.1）墙体隔声构造要求

华东院声学所各区域墙体构造要求或建议如下表，以使得各区域墙体可以满足声学设计要求。

表 14 项目重点区域墙体隔声量要求与图纸做法评估：

区域	声学敏感厅堂	隔声量	最低构造要求
剧院区域	大剧院观众厅四周墙体	RW+C≥60dB	目前建筑图纸为：双道 500mm 厚钢筋混凝土墙体，中间预留机电和交通空间，声学同意。
	大剧院舞台四周墙体	RW+C≥60dB	目前建筑图纸为：单道 500mm 厚钢筋混凝土，声学同意。
	音乐厅四周墙体	RW+C≥60dB	目前建筑图纸为：500mm 厚砌体墙和 200mm 厚砌体墙，双道墙体中间预留机电空间，声学同意。 但建议移开音乐厅南侧三台电梯井道，或电梯井道和音乐厅之间的墙体隔声待加强。
	排练厅（琴房）和排练厅（琴房）之间的墙体	RW+C≥55dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体两侧增加 100mm 石膏板轻质墙体。
	排练厅（琴房）和化妆间之间的墙体	RW+C≥50dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体单侧增加 100mm 石膏板轻质墙体。
	排练厅（琴房）和走廊之间的墙体	RW+C≥45dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学同意。
	教室等附属功能房间之间的墙体	RW+C≥45dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学同意。
	调音室和休息室之间	RW+C≥50dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体单侧增加 100mm 石膏板轻质墙体。
	调音室和调音室之间	RW+C≥50dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体单侧增加 100mm 石膏板轻质墙体。
会议区域	2000 厅国际会议厅四周墙体	RW+C≥60dB	目前建筑图纸为：双道 200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。中间预留交通、存储空间。 但门区域为单墙和单道门构造。 声学要求会议厅面对会议前厅侧的门区域加强墙体和门的隔声量，建议此区域设置声闸。
	会议区贵宾室和贵宾室之间的墙体	RW+C≥50dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体单侧增加 100mm 石膏板轻质墙体。
	120 人会议室和会议室/有噪声的房间之间的墙体	RW+C≥50dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体单侧增加 100mm 石膏板轻质墙体。
	120 人会议室和走廊的房间之间的墙体	RW+C≥45dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学同意。
地下层设备区域	设备机房和走廊之间的墙体	RW+Ctr≥45dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学同意。
	设备机房临近声学敏感用房区域之间的墙体	RW+Ctr≥50dB	目前建筑图纸为：200mm 厚砌体墙，墙体双面抹灰 20mm。 声学要求加强墙体隔声量，建议在墙体单侧增加 125mm 石膏板轻质墙体。

注：

- 所有声学要求的砌块墙体的砌块容重要求≥700kg/m^3。
- 所有隔声墙体都需要封闭到顶。

6.2）楼板隔声量复核

华东院声学所对部分声学敏感空间的楼板厚度和隔声量要求提供如下。

表 16 项目楼板隔声量评估：

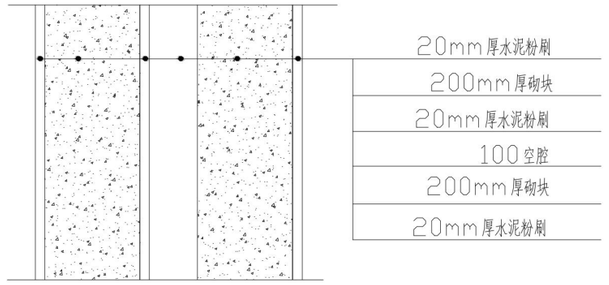
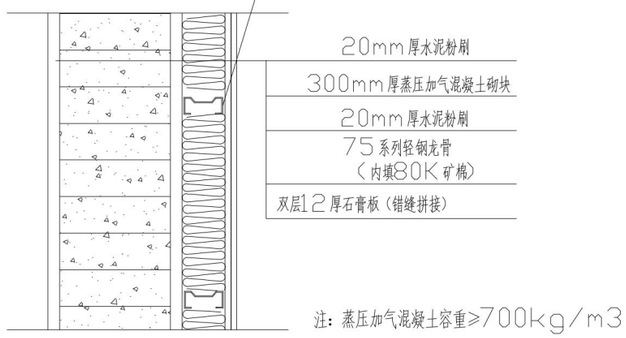
楼板	空气声隔声量	撞击声声压级	构造要求建议
音乐厅观众厅上结构楼板	$R_W+C\geqslant 60dB$	$L_{nt,w}\leq 30dB$	厚度不小于 150mm 结构混凝土楼板+室内吊顶
剧院/音乐厅观众厅下结构楼板	$R_W+C\geqslant 60dB$	--	厚度不小于 150mm 结构混凝土楼板+室内地面完成面
排练厅和化妆间之间的楼板	$R_W+C\geqslant 55dB$	$L_{nt,w}\leq 50dB$	厚度不小于 150mm 结构混凝土楼板+室内地面完成面
排练厅和排练厅之间的楼板	$R_W+C\geqslant 60dB$	$L_{nt,w}\leq 45dB$	浮筑楼板（结构混凝土楼板+30 厚橡胶垫+80mm 混凝土板）+室内地面完成面
国际会议厅观众厅上结构楼板	$R_W+C\geqslant 60dB$	$L_{nt,w}\leq 45dB$	厚度不小于 150mm 结构混凝土楼板
120 人会议室	$R_W+C\geqslant 55dB$	$L_{nt,w}\leq 50dB$	厚度不小于 150mm 结构混凝土楼板+室内地面完成面
制冷机房和上方化妆室、音乐厅观众厅之间的楼板	$R_W+Ctr\geqslant 60dB$	--	厚度不小于 200mm 结构混凝土楼板 音乐厅观众厅下方的制冷机房应移出
空调机房和上方音乐厅观众厅（静压箱）之间的楼板	$R_W+Ctr\geqslant 60dB$	--	厚度不小于 200mm 结构混凝土楼板
柴油发电机房和上方会议室观众厅之间的楼板	$R_W+Ctr\geqslant 60dB$	--	厚度不小于 200mm 结构混凝土楼板
空调机房上楼板（与静压箱、贵宾室之间的楼板）	RW+C≥60dB	--	厚度不小于 200mm 结构混凝土楼板

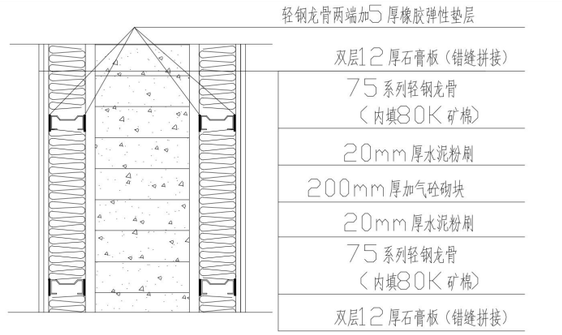
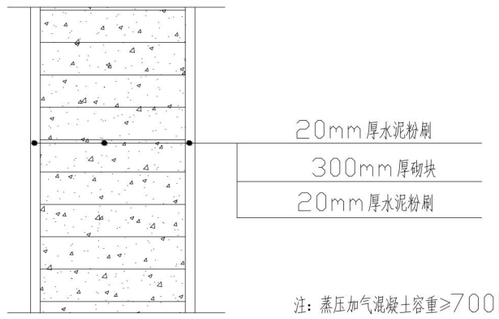
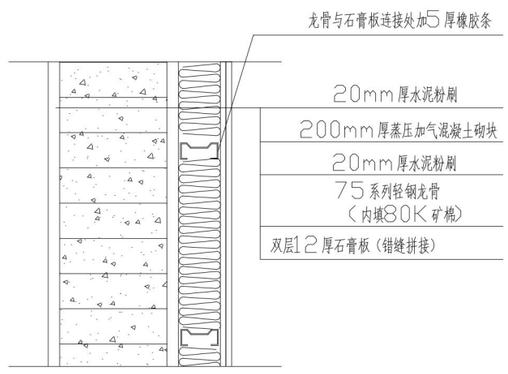
注：

1）根据与建筑专业构造，除特殊说明外，结构楼板厚度按 150mm 进行考虑。

6.3）典型墙体和楼板节点示意

表 17 项目墙体隔声量节点示意：

空气声隔声量	墙体构造节点示意
$R_W+C\geqslant 60dB$	200mm 砌块（双面 20mm 抹灰）+100 空腔+200mm 砌块（20mm 抹灰）  注：蒸压加气混凝土容重≥700kg/m3
$R_W+C\geqslant 55dB$	300mm砌块（双面20mm抹灰）+75系列轻钢龙骨内满填80k矿棉+双层12厚石膏板（错缝安装） 
	双层12厚石膏板（错缝安装）+75系列轻钢龙骨内满填80k岩棉+12厚石膏板+75系列轻钢龙骨内满填80k岩棉+双层12厚石膏板（错缝安装）

	 注：蒸压加气混凝土容重≥700kg/m3
R_W+C≥50dB	300mm砌块（双面20mm抹灰）  注：蒸压加气混凝土容重≥700kg/m3
	200mm砌块（双面20mm抹灰）+75系列轻钢龙骨内满填80k矿棉+双层12厚石膏板（错缝安装）  注：蒸压加气混凝土容重≥700kg/m3
R_W+C≥45dB	200mm砌块（双面20mm抹灰）

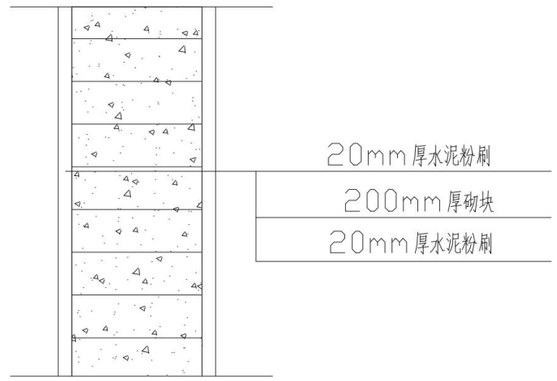
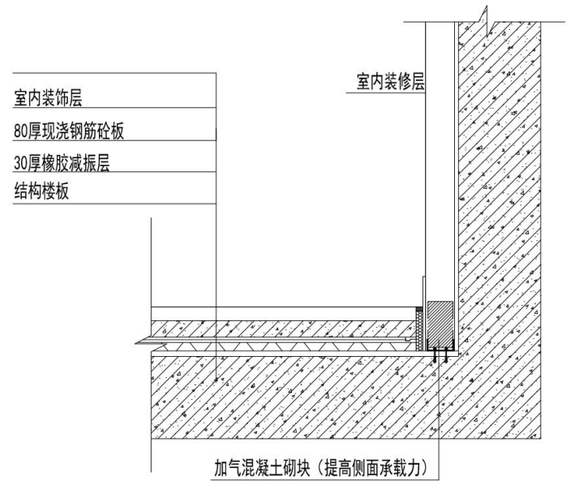
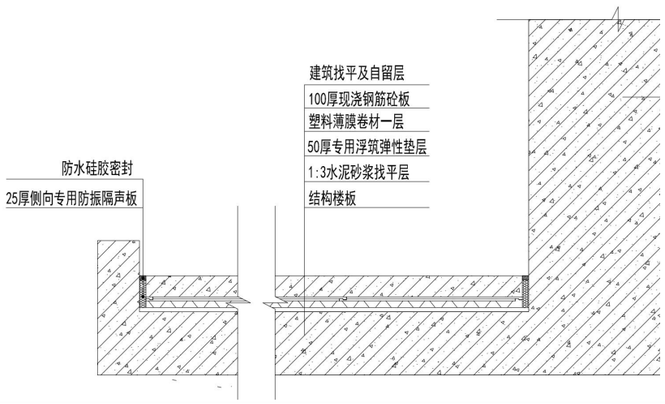
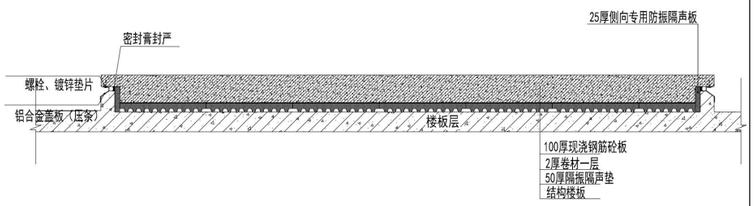
	 注：蒸压加气混凝土容重≥700kg/m3

表 18 项目楼板节点示意：

楼板隔声量/撞击声	楼板构造节点示意
排练厅浮筑楼板 RW+C≥60dB Lnt,w≤45dB 浮筑产品撞击声改善量ΔLw≥28dB	结构混凝土楼板+30 厚橡胶垫+80mm 混凝土板+室内地面完成面 

机房浮筑楼板 RW+C≥60dB Lnt,w≤45dB 浮筑产品撞击声改善量ΔLw≥30dB	结构混凝土楼板+50 厚橡胶垫+100mm 混凝土板+建筑完成面 
剧院与露天剧场的浮筑楼板 RW+C≥60dB Lnt,w≤30dB 浮筑产品撞击声改善量ΔLw≥30dB	

6.4）浮筑楼板做法施工要求

其施工应注意：

① 首先结构楼板表面应比较平整，或者完成找平；

② 将隔声减振垫/块层按设计要求布置好。满铺隔振垫应保证每一块之间密拼或相互咬口，块状隔振块则应保证块与块之间的间距符合施工深化要求，且隔振块之间满铺岩棉。

③ 隔声减振垫/块层上方铺设防水膜或防水卷材，防水膜之间彼此相互搭接 100mm，并使用胶带搭接密封。若使用隔振块，则隔振块上需要设一道 2mm 镀锌钢板，点焊拼接。

④ 在卷材或钢板上编织钢筋，并浇注混凝土，成为浮筑楼板。

⑤ 浮筑地坪施工时，侧边应使用 25-30mm 厚隔声减振垫，将浮筑地坪与周围墙体脱开。

浮筑楼板构造中，隔振垫上部的不同厚度的混凝土楼板配筋建议如下表。若建筑/结构有明确要求，则参考建筑/结构专业意见。

浮筑楼板厚度	钢筋规格	钢筋间距	
40	φ4	300	
70	φ8	200	
100	φ8	150	
150	φ8	150	双层双向筋
200	φ10	150	双层双向筋

减振垫参数要求如下：

① 产品的隔声量和固有频率限定

	计权撞击声压级改善量（dB）	固有频率范围（Hz）	变形量范围（mm）	单块/垫荷载范围（N/mm2）
6-12mm 隔声减振垫	≥18dB	≤30Hz	≤2mm	0-0.020
25-30mm 隔声减振垫	≥28dB	8-15Hz	≤10mm	0-0.12
30-50mm 隔声减振垫/块	≥30dB	7-10Hz	≤10mm	0-0.15

② 其它限定

a. 隔声减振垫橡胶极限抗压强度≥12MPa。

b. 为保证投标产品具有长使用寿命，投标产品应具有良好的物理机械性能、耐化学介质稳定性、耐热老化性、耐疲劳性等，且提供具有相应资质（CMA）、（CNAS）的第三方检测机构检测报告。

c. 耐热老化性能（70℃×24h）：产品刚度变化率（<20%）、压缩永久变形（<5%）。

d. 耐液体后性能（蒸馏水，23℃×48h）：产品刚度变化率（<20%）、压缩永久变形（<5%）、体积变化率（<5%）。

e. 疲劳性能：产品须通过耐久性测试：通过 300 万次疲劳测试验证，产品刚度变化率（<20%）、压缩永久变形（<5%）。

2.4.3）管线穿墙/楼板密封安装说明：

各管线穿墙/楼板需进行隔声封堵。详见隔声隔振声学节点图。

① 封堵之前，清洁孔口周边及贯穿物，使之干燥、无灰尘与杂物。

② 将 80kg/m³ 矿棉紧密填入孔壁与风管的缝隙内,两侧各留出 25mm 用于填膨胀型防火密

封胶。

③ 将膨胀型防火密封胶注入风管与孔壁间的缝隙内，修整表面。

④ 系统 48 小时内不得扰动。

⑤ 管道从设备机房穿越墙壁或楼板时，必须做防火隔声封堵。

⑥ 管道穿越墙壁或楼板进入主要技术用房（如会议室、办公室等）时,必须做防火隔声封堵。

⑦ 其它情况，做一般封堵，但不能和墙壁或楼道硬连接。

第三部分：机电声学设计

根据机电专业设计方案，本章节对设计范围各厅堂进行空调系统消声降噪提出声学要求和建议，并对设计范围内设备机房提出声学要求。

1、项目主要区域声学背景噪声设计目标

各区域设计目标如下表所示：

表：各区域声学敏感房间室内允许噪声级要求如下：

房 间 名 称	背景噪声 （噪声评价曲线或 A 声级）
1600 人剧院	NR-25 （自然声条件下：国标甲等剧院室内背景噪声要求）
1200 人音乐厅	NR-20 （自然声条件下：高于国标甲等剧院室内背景噪声要求）
多功能小剧场	NR-30 （自然声条件下：国标乙等剧院室内背景噪声要求）
国际会议厅	NR-30 （无自然声条件下：国标甲等剧院室内背景噪声要求）
会议厅区各小会议室	NR-35
排练厅	NR-30
声控室	NR-30

2、项目暖通系统噪声减噪设计要求

2.1）空调系统管道内气流速度的允许值

空调系统的消声主要包括降低沿管道传播的风机噪声（合理配置消声器、消声弯头、静压箱等）和合理控制气流噪声两方面的内容。控制气流噪声的根本措施就是降低风速。

目前国际会议中心区域 1F 小会议室回风风速 5.5 米/秒，超出声学设计要求。请暖通设计调整。

表 项目内各区域空调系统风速声学要求限值：

房 间 名 称	噪声标准评价曲线		管道内气流速度的允许值（m/s）		
	NR 评价曲线	A 声级	主风管	次风管	房间出风口
1600 座歌剧院	NR-25	/	≤5.0	≤4.5	≤2.5
1200 座音乐厅	NR-20	/	≤4.0	≤3.5	≤1.5
2000 座国际大会议厅	NR-30	/	≤6.5	≤5.5	≤3.3
600 座多功能小剧场	NR-30	/	≤6.5	≤5.5	≤3.3
小会议厅	NR-30	/	≤6.5	≤5.5	≤3.3
声控室、琴房	NR-30	/	≤6.5	≤5.5	≤3.3
排练厅	NR-30	/	≤6.5	≤5.5	≤3.3
办公室、培训办公、教室、化妆	/	<40dBA	≤7.5	≤7.0	≤4.0
VIP 化妆室	/	<40dBA	≤7.5	≤7.0	≤4.0
大堂/前厅	/	<50dBA	≤9.0	≤7.0	≤5.0

注：

- 对于排练厅等声学敏感区域，需要独立送回风，并保证本底噪声要求。
- 根据管道内速度允许值配置合理的风管尺寸，观众厅采用坐席下送风时，送风口风速不得超过 0.2 m/s。

2.2）空调设备的声学要求

服务于本项目观众厅（音乐厅、歌剧厅、多功能厅）、国际会议大厅以及其对应舞台、排练厅的**空调设备应尽量选择使用的设备转速为≤960rpm，机外静压≤500Pa 的设备。**

空调设备供应商应提供产品各频率声功率级实验室测试值供声学顾问审核。

本项目建议使用设备的机壳外声压级要求如下表。

表 AHU 空调机组声压级限值表

选型风量	单个设备 噪声限值
CMH	dB（A）
35001~45000	≤74
25001~35000	≤72
20001~25000	≤70
15001~20000	≤68
10001~15000	≤66
＜10000	≤65

（注：单个设备噪声值指的是地面高度 1.5 米处，并离机电设备外壳 1.0 米测点的平均值，是消声室测定值。）

空调设备机壳应有一定的隔声性能，机壳隔声量 Rw≥25dB。

空调机组进出风口声功率级（Lwi（Lin））高限值表（单位：dB）。请避免选择噪声高于下述限值的设备，当噪声高出时，会导致暖通管道系统增加消声器数量或新增管道消声内衬。

述限值的设备，当噪声高出时，会导致暖通管道系统增加消声器数量或新增管道消声内衬。

机组风量（m3/h）		63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
25001~35000	送风	≤95dB	≤90dB	≤92dB	≤93dB	≤87dB	≤80dB	≤80dB	≤76dB
	回风	≤92dB	≤84dB	≤86dB	≤87dB	≤81dB	≤76dB	≤76dB	≤71dB
20001~25000	送风	≤93dB	≤87dB	≤89dB	≤90dB	≤84dB	≤77dB	≤77dB	≤73dB
	回风	≤89dB	≤81dB	≤83dB	≤84dB	≤78dB	≤73dB	≤73dB	≤68dB
15001~20000	送风	≤90dB	≤84dB	≤86dB	≤87dB	≤81dB	≤74dB	≤75dB	≤70dB
	回风	≤86dB	≤78dB	≤80dB	≤81dB	≤75dB	≤70dB	≤70dB	≤65dB
10001~15000	送风	≤88dB	≤82dB	≤84dB	≤85dB	≤79dB	≤72dB	≤73dB	≤68dB
	回风	≤84dB	≤76dB	≤78dB	≤79dB	≤73dB	≤68dB	≤68dB	≤63dB
＜10000	送风	≤86dB	≤80dB	≤82dB	≤83dB	≤77dB	≤70dB	≤71dB	≤66dB
	回风	≤82dB	≤74dB	≤76dB	≤77dB	≤71dB	≤66dB	≤66dB	≤61dB

空调机组可由供货厂家自供弹簧减振器，并提供设备减振计算书供设计审核。机壳外使用橡胶减振垫隔振处理。

空调机组设备隔振要求：

- 弹簧减振器要求：

① 隔振器的频率为 3～5Hz
② 隔振器的实际变形量控制在最大变形量的 60%-80%
③ 阻尼比≥0.05
④ 弹簧隔振器承受荷载，不应超过允许工作荷载

- 橡胶减振垫要求：

① 竖向许可荷载 320~5000N
② 竖向变形量 6~8mm
③ 竖向固有频率 8.0-10Hz
④ 邵氏硬度 40~50 度
⑤ 其它：耐酸、油、碱、防老化，耐温-20°~80°

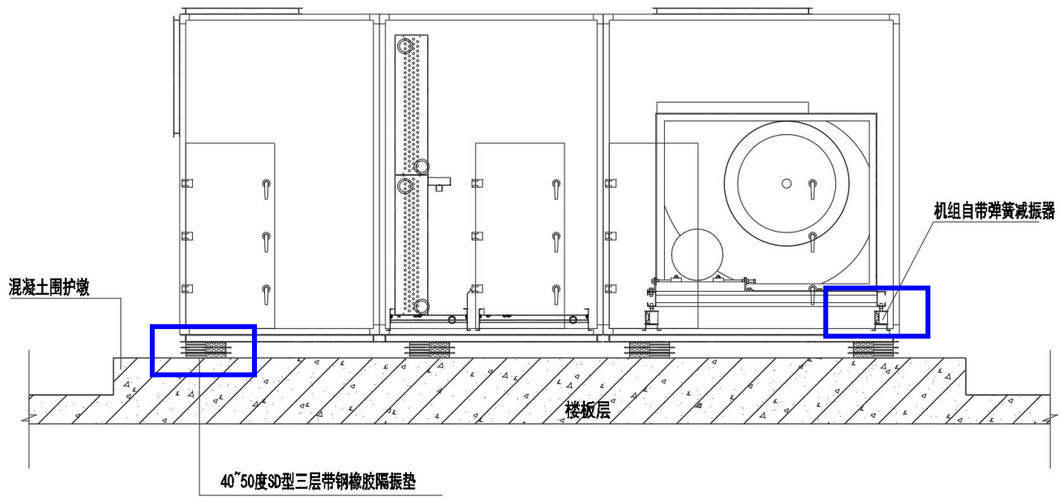


图 空调机组隔振要求

请注意：声学要求应体现在设备招标技术规格书中，回标资料（设备机外噪声级、设备送回风口声功率级（Lwi（Lin））、设备隔振计算书）应提供声学顾问/设计审核。安装公司安装前应将实际采购与安装设备的技术参数提供声学顾问/设计审核和设计校准。

2.3）空调系统管道消声器数量的声学计算要求

根据 2023.06.05 暖通专业过审全套图纸，对项目暖通管道进行消声复核。

① 音乐厅

机组名称	服务区域	风量	送回风	现有图纸消声设备		声学计算消声设备		备注
				XZK	消声弯头	XZK	消声弯头	
AHU-1-B1-21	演奏台	5500	送	1	2	1	2	风管加消声内衬
			回	1	2	1	2	
AHU-1-B1-22	演奏台	5500	送	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
			回	1	1	1	2	
AHU-1-B1-31	音乐厅座椅区前	6000	回	1	1	1	2	
			送	1	2	1	2	满足
AHU-1-B1-32	音乐厅座椅区左 1	4000	回	1	0	1	2	增设 2 节消声弯头
			送	1	2	1	2	满足
AHU-1-B1-33	音乐厅座椅区左 2	6000	送	0	2	1	2	增设 1 节消声器
			回	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
AHU-1-B1-34	音乐厅座椅区左 3	3000	送	1	1	1	2	
			回	1	1	1	2	
AHU-1-B1-35	音乐厅座椅区左 4	5500	送	1	2	1	2	满足
			回	1	0	1	2	增设 2 节消声弯头
AHU-1-B1-36	音乐厅座椅区左 5	5500	送	1	2	1	2	满足
			回	1	2	1	2	满足
AHU-1-B1-37	音乐厅座椅区右 1	4000	送	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
			回	1	2	1	2	满足
AHU-1-B1-38	音乐厅座椅区右 2	6000	送	1	1	1	2	满足
			回	1	2	1	2	满足
AHU-1-B1-39	音乐厅座椅区右 3	4000	送	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
			回	1	1	1	2	
AHU-1-B1-40	音乐厅座椅区右 4	5500	送	0	0	1	2	增设 2 节消声弯头，1 节消声器
			回	0	0	1	2	
AHU-1-B1-41	音乐厅座椅区右 5	5500	送	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
			回	1	1	1	2	
AHU-1-B1-42	音乐厅座椅区中间 1 左	9000	送	1	2	1	2	满足
			回	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
AHU-1-B1-43	音乐厅座椅区中间 1 右	9000	送	1	2	1	2	满足
			回	2	0	2	0	满足
AHU-1-B1-44	音乐厅座椅区中间 2 左	5000	送	1	1	1	2	增设 1 节消声弯头
			回	1	1	1	2	
AHU-1-B1-45	音乐厅座椅区中间 2 右	5000	送	1	1	1	2	
			回	1	2	1	2	满足

② 大剧院

机组名称	服务区域	风量	送回风	现有图纸消声设备		声学复核结果备注
				XZK	消声弯头	
AHU-1-B2-01	大剧场池座	21000	送	1	2	满足
			回	1	2	满足
AHU-1-B2-02	大剧场池座	21000	送	1	2	满足
			回	1	1，另有一个静压箱	满足
AHU-1-B2-03	大剧场池座	21000	送	2	2	满足
			回	2	1	满足
AHU-1-B2-04	大剧场 1F 楼座	3000	送	1	0	满足
			回	1	0	满足
AHU-1-B2-05	大剧场 2F 楼座	3500	送	1	0	满足
			回	1	0	满足
AHU-1-B2-06	大剧场 1F 楼座	19000	送	1	1	增加 1 个消声弯头
			回	1	1	增加 1 个消声器和 1 个消声弯头
AHU-1-B2-07	大剧场 2F 楼座	10000	送	1	2	满足
			回	1	1	满足
AHU-1-B2-08	大剧场 1F 楼座	3000	送	1	0	满足
			回	1	0	满足
AHU-1-B2-09	大剧场 2F 楼座	3500	送	1	0	满足
			回	1	0	满足
AHU-1-B1-02	主舞台	22000	送	2	1	满足
			回	1 个静压箱+1 个立管消声器+消声风管 或 2 个 xzk 消声器+立管消声		满足
AHU-1-B1-05	侧舞台	12000	送	2	2	满足
			回	1	0	增设 1 个消声器或消声弯头
AHU-1-B1-06	侧舞台	20000	送	1	1	增设 1 个消声器
			回	1 个 xzk+1 个消声弯头+立管消声		满足
AHU-1-B1-09	后舞台	12000	送	2	0	满足
			回	2	0	满足
AHU-1-B1-10	后舞台	12000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-1-B1-11	候场区	4000	送	1	1	满足
			回	1	0	满足
AHU-1-B1-03	主舞台	20000	送	1 个 xzk+1 个消声弯头+立管消声		满足
			回	1 个 xzk+1 个消声弯头+立管消声		满足

③ 多功能小剧场

机组名称	服务区域	声学计算应设消声器	现有图纸消声器	复核结论
EAF-2-3F-8 (20000cmh)	多功能厅排风	1 节消声静压箱+1 节 XZK+1 节 XZP100	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
EAF-2-3F-7 (8000cmh)	多功能厅排风	1 节消声静压箱+1 节 XZK	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
EAF-2-3F-6 （4000cmh）	多功能厅排风	1 节消声静压箱+1 节 XZK	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
EAF-2-3F-5 （4000cmh）	多功能厅排风	1 节消声静压箱+1 节 XZK	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
AHU-2--B1-12 (20000cmh)	送风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	1 节 XZP100+1 节消声弯头	缺一节 XZP100
	回风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	1 节 XZP100	缺一节消声静压箱和一节 XZP100

AHU-2--B1-13	送风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	1 节消声弯头+2 节 XZP100	满足
	回风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	1 节 XZP100+1 节消声弯头	缺一节 XZP100
AHU-2--B1-15	送风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	2 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
	回风	2 节 XZP100+1 节消声弯头	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-2--B1-16（20000cmh）	送风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	2 节 XZP100	缺一节消声静压箱
	回风	2 节 XZP100+1 节消声弯头	2 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
AHU-2--B1-25	送风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100	2 节 XZP100	缺一节消声静压箱
	回风	2 节 XZP100+1 节消声弯头	2 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
AHU-2-B1-30（6000cmh）	送风	2 节 XZP100	1 节 XZP100	缺 1 节 XZP100
	回风	2 节 XZP100	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足

④ 国际会议中心

- **大会议厅**

机组名称	服务区域	风量	送回风	现有图纸消声设备		备注
				XZP100	消声弯头	
AHU-2-B1-1	国际会议厅	20000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-2	国际会议厅	20000	送	1	2	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-3	国际会议厅	20000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-4	国际会议厅	20000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-5	国际会议厅	20000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-6	国际会议厅	20000	送	1	0	增加 1 个消声弯头
			回	1	0	增加 1 个消声弯头
AHU-2-B1-34	国际会议厅	17000	送	1	2	满足
			回	1	2	满足

- **1F 小会议室**

机组名称	服务区域	风量	送回风	现有图纸消声设备		备注
				XZP100	消声弯头	
AHU-2-B1-19	1F 会议室	8000	送	1	2	满足
			回	1	2	满足
AHU-2-B1-20	1F 会议室	8000	送	1	1	满足
			回	1	2	满足
AHU-2-B1-21	1F 会议室	8000	送	1	2	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-22	1F 会议室	8000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-26	1F 会议室	10000	送	1	1	满足
			回	1	1	满足
AHU-2-B1-27	1F 会议室	10000	送	1	3	满足
			回	1	3	满足
AHU-2-B1-28	1F 会议室	10000	送	1	1	满足
			回	1	2	满足
AHU-2-B1-29	1F 会议室	10000	送	1	1	满足
			回	1	2	满足

⑤ 排练厅

机组名称	服务区域	风量	送回风	现有图纸消声设备		备注
				XZP100	消声弯头	

AHU-1-B1-12	舞蹈排练厅	12000	送	2		满足
			回	2		满足
AHU-1-B1-13	声乐排练厅	8000	送	2		满足
			回	1	1 个静压箱	满足，静压箱应为消声静压箱
AHU-1-B1-15	音乐训练厅	15000	送		1	满足
			回		1+末端消声静压箱	满足
AHU-1-B1-16	声乐排练厅	7500	送	2		满足
			回	2		满足
AHU-1-B1-47	舞蹈排练厅地送风	6000	送	1		满足
			回			满足
AHU-1-B1-48	声乐排练厅地送风	4000	送	1		满足
			回			满足

⑥ 休息厅

机组名称	服务区域	送回风	现有图纸消声器	复核结论
AHU-1-B2-10（18000cmh）	休息厅	送风	1 节 XZP100	满足
		回风	1 节 XZP100+消声风管	满足
AHU-1-B2-11（18000cmh）		送风	1 节 XZP100	满足
		回风	1 节 XZP100+消声风管	满足
AHU-1-B2-12（18000cmh）		送风	1 节 XZP100	满足
		回风	1 节 XZP100+消声风管	满足
AHU-1-B2-15（8000cmh）		送风	2 节 XZP100	满足
		回风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-1-B2-16（15000cmh）		送风	1 节 XZP100+2 消声弯头	满足
		回风	1 节 XZP100+1 节消声弯头+消声风管	满足
AHU-1-B2-17（8000cmh）		送风	1 节 XZP100	满足
		回风	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
AHU-1-B2-18		送风		本轮未见
		回风		本轮未见
AHU-1-B2-19（8000cmh）		送风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
		回风	1 节 XZP100+2 节消声弯头+1 节消声静压箱	满足
AHU-1-B2-20		送风		本轮未见
		回风		本轮未见
AHU-1-B2-21		送风		本轮未见
		回风		本轮未见
AHU-1-B2-22（10000cmh）		送风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
		回风	1 节 XZP100+2 节消声弯头+1 节消声静压箱	满足

AHU-1-B2-23（8000cmh）	送风	1 节 XZP100	图纸与材料表风量不一致
	回风	1 节 XZP100	图纸与材料表风量不一致
AHU-1-B1-01（8000cmh）	送风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
	回风	2 节 XZP100+1 节消声静压箱	满足
AHU-1-B1-19（25000cmh）	送风	2 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
	回风	2 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-1-B1-20（12000cmh）	送风	1 节 XZP100+3 节消声弯头	满足
	回风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-1-B1-23（12000cmh）	送风	1 节 XZP100+2 节消声弯头+消声风管长度大于 6m	满足
	回风	1 节 XZP100+1 节消声弯头+消声风管长度大于 6m	满足
AHU-1-B1-24（15000cmh）	送风	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
	回风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
AHU-1-B1-26（30000cmh）	送风	2 节 XZP100+消声风管长度大于 6m	满足
	回风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100+消声风管长度大于 6m	满足
AHU-1-B1-28（22000cmh）	送风	主管：1 节 XZP100+1 节消声弯头+消声风管长度大于 6m 支管 1：1 节 XZP100 支管 2：1 节 XZP100	满足
	回风	1 节消声静压箱+2 节 XZP100+1 节消声弯头+消声风管长度大于 6m	满足
AHU-1-B1-29（22000cmh）	送风	主管： 1 节消声弯头+消声风管长度大于 6m 支管 1：1 节 XZP100 支管 2：1 节 XZP100	满足
	回风	1 节消声静压箱+1 节 XZP100+1 节消声弯头+消声风管长度大于 6m	满足
AHU-1-2F-01（15000cmh）	送风	2 节消声弯头	满足

	回风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-1-2F-02（12000cmh）	送风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	新图纸机组风量变小
	回风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-1-3F-01（13000cmh）	送风	主管： 1 节消声弯头 支管 1：1 节 XZP100 支管 2：1 节 XZP100	新图纸机组风量变大
	回风	1 节消声静压箱+1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
AHU-1-3F-02（15000cmh）	送风	1 节 XZP100	新图纸机组风量变小
	回风	1 节消声静压箱+1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
AHU-2-B1-07（20000cmh）	送风	1 节 XZP100+1 节消声弯头	新图纸机组风量变大
	回风	主管： 1 节 XZP100+1 节消声弯头 支管 1：1 节 XZP100+管井内侧贴吸声材料厚度不小于 30mm 支管 2：1 节 XZP100+管井内侧贴吸声材料厚度不小于 30mm	满足
AHU-2-B1-08（18000cmh）	送风	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
	回风	支管 1：1 节 XZP100+1 节消声弯头+管井内侧贴吸声材料厚度不小于 30mm 支管 2：1 节 XZP100+管井内侧贴吸声材料厚度不小于 30mm	满足
AHU-2-B1-10（25000cmh）	送风	1 节 XZP100+2 节消声弯头	满足
	回风	1 节 XZP100+1 节消声弯头+管井内侧贴吸声材料	满足
AHU-2-B1-11（20000cmh）	送风	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足
	回风	1 节 XZP100	满足

AHU-2-B1-14（20000cmh）	送风	支管 1：1 节 XZP100 支管 2：1 节 XZP100	新图纸机组风量变大
	回风	主管： 2 节 XZP100 支管 1：管井内侧贴吸声材料 支管 2：1 节 XZP100+管井内侧贴吸声材料	满足
AHU-2-B1-24（25000cmh）	送风	2 节 XZP100	满足
	回风	1 节 XZP100	满足
AHU-2-B1-32（25000cmh）	送风	2 节 XZP100	满足
	回风	1 节 XZP100+1 节消声弯头	满足

⑦ 大剧院、音乐厅、多功能厅排风

大剧院、音乐厅、多功能厅观众厅区域排风在厅内排风段消声量等同 1 节消声静压箱+1 节 xzp100 消声器。

排风段在室外侧消声器同目前暖通图纸。

2.4）空调系统管道消声器声学要求

声学要求：

① 章节 4 所使用的消声器 XZP100 默认有效长度不小于 1 米。XZK 默认有效长度不小于 1.6 米。两节消声器之间应保持一定距离，不小于 0.5m。

② 本项目计算所选用的消声器消声量均参考国家最新图集（《XZP100 消声器选用与制作》15K116-1， XZK 阻抗复合型消声器选用与制作(19K116-5)，xzw50 型消声器选用与制作（18K116-4））的相关要求

③ 消声设备需由专业厂家生产，并提供相应的消声产品测试报告。测试报告应由国家（中国）或行业认可的声学实验室进行测定。

④ 项目消声设备供货厂家提供的消声器及消声弯头的消声量应满足声学顾问要求。并向声学顾问/设计提供产品对应消声量实验室检测报告。

⑤ 消声器消声量一般性要求如下表所示。

⑥ 当项目施工实际采购消声器消声量低于下表要求时，声学设计将在现有暖通管线增加消声器数量或其它消声措施。

表 20 消声设备消声量的一般性要求

消声器消声量 dB(工作风速：6~8m/s)	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
消声器 XZP100	≥0.5dB	≥0.6dB	≥5.7dB	≥18.6dB	≥22.0dB	≥22.2dB	≥18.9dB	≥11.5dB
消声器 XZK	≥2dB	≥10.4dB	≥18.8dB	≥28.7dB	≥30.7dB	≥28.7dB	≥24.4dB	≥18dB
消声弯头 XZW50	≥6.5dB	≥7.5dB	≥15.5dB	≥15.5dB	≥11.5dB	≥9dB	≥7.5dB	≥8.5dB
消声静压箱	≥2dB	≥8.5dB	≥10dB	≥14.5dB	≥14.5dB	≥11.5dB	≥11.5dB	≥15dB

⑦ 消声器制作要求：

- 消声器参考 15K116-1《XZP100 消声器选用与制作》、19K116-5《XZK 阻抗复合型消声器选用与制作（选用分册）》、18K116-4:《XZW50 型消声弯头选用与制作》、17ZK05《金属静压箱》
- 镀锌钢板材质应符合现行国家标准《连续热镀锌钢板及钢带》GB/T 2518-2008 的规定.
- 热轧等边角钢，应符合现行国家标准《热轧型钢》GB/T 706-2008 的规定.
- 穿孔镀锌钢板，厚度 0.5～0.6mm，孔径 4～6mm，穿孔率 P 大于或等于 20%.
- 消声片吸声材料采用离心玻璃棉板（容重 48kg/m3，且纤维平均直径宜为 5～7μm），应符合现行国家标准《吸声用玻璃棉制品》JC/T 469-2014 的规定. 离心玻璃棉需经测试

证明能经受 20 米/秒的风速，确保不会破损，产生飞絮。

- 无碱玻璃布，厚度 0.1∽0.5mm，应符合现行国家标准《E 玻璃纤维布》JC/T 170-2012 的规定.
- 消声器须由镀锌钢板外壳、吸声物料、内在隔板、支架等组成。外壳测试要达到 2Kpa 并在此状态下，不能有超过 2%的泄漏或变形。焊缝必须粘合济密封。未端由镀锌软钢板或轧钢造厂.

⑧ 消声设备需由专业厂家生产，并提供相应的消声测试报告。

2.5）风系统管道隔声措施声学要求

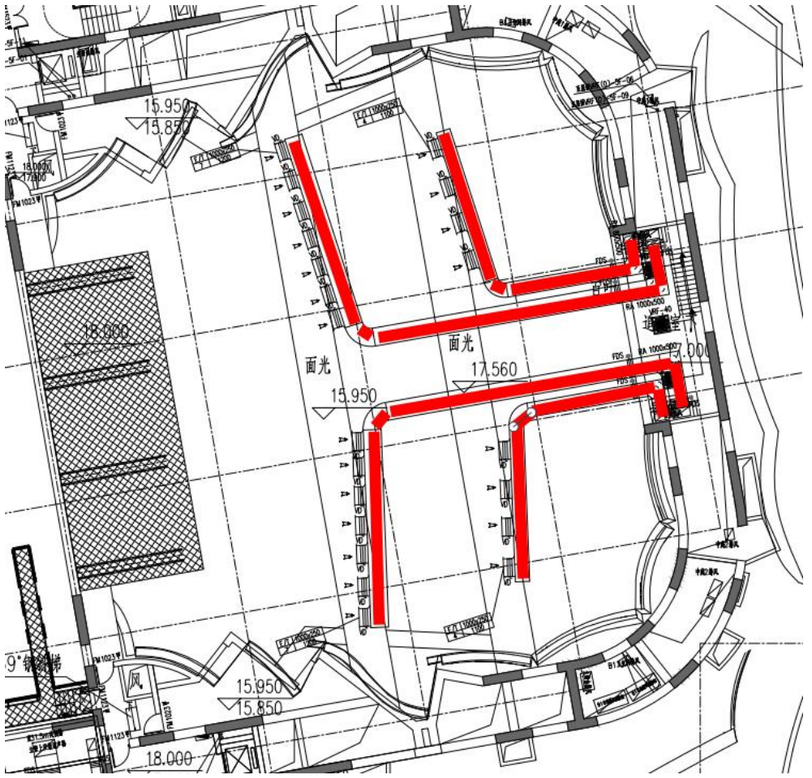
项目空调送回风管、新风管、一般通风管均采用镀锌钢板制作，风管配件、钢板厚度、允许漏风量、风管间连接及加固等均应符合现行标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243 中的要求。(空调送回风管、新风管、通风管强度和严密性检验应按中压系统标准选取。)

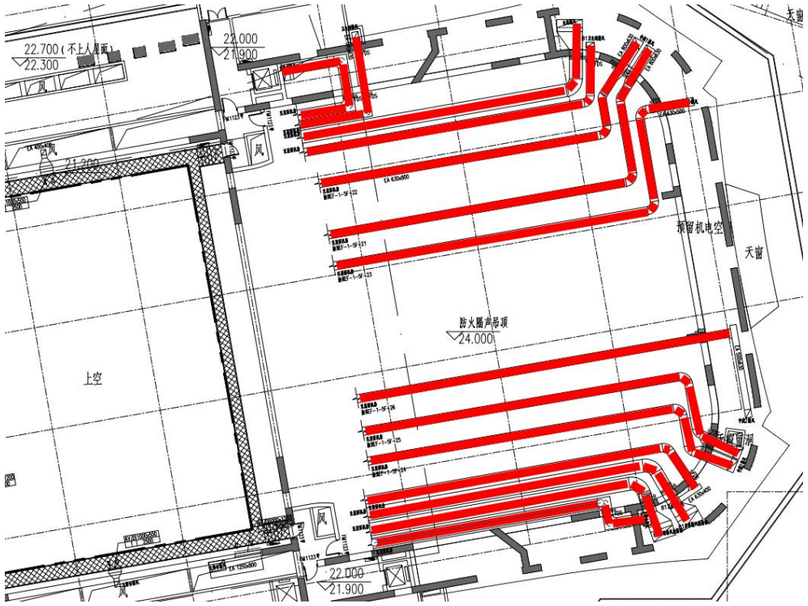
观众厅、舞台、国际会议厅、多功能厅的空调送回风管采用镀锌钢板(镀锌层大于 275g/m2)内保温消音风管，镀锌钢板厚度 0.5mm，共板法兰连接，内衬厚度为 25~30mm 的环保离心玻璃棉消音板其燃烧性能为不燃 A 级。容重大于 48Kg/m^3，棉板内层复合一层低频降噪毡，再敷一层黑色消音抑菌布(抑菌率达到 99.5%以上)，棉板与镀锌钢板风管采用环保胶粘合，粘合率大于 90%风管长边大于两米，采用角钢法兰。静压箱及竖向管井内的采用 1.2mm 厚镀锌钢板。

根据计算，镀锌钢板(镀锌层大于 275g/m2)内保温消音风管可提供的管道隔声约为 Rw≈24dB。观众厅、舞台、国际会议厅、多功能厅区域空调管道需要在管道外另做隔声包裹措施。

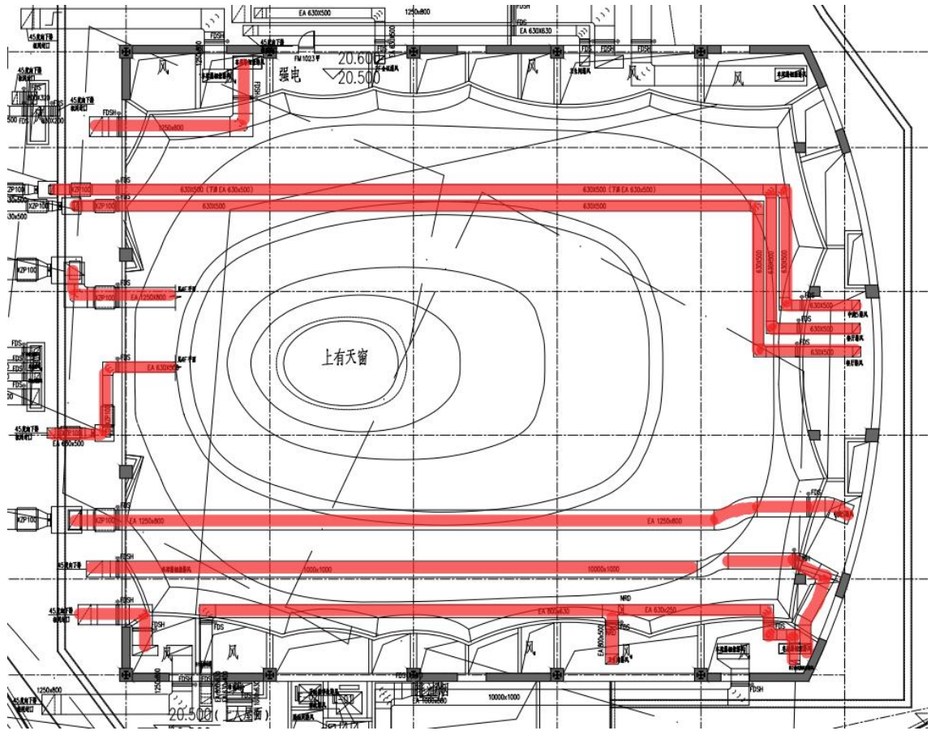
① 空调机房风管隔声措施设置区域：

- 服务于各个观众厅（大剧院、音乐厅、多功能小剧场、国际会议厅、)、舞台的空调系统送、回风管，做管道隔声措施做法 1。
- 服务于各个观众厅（大剧院、音乐厅、多功能小剧场)、舞台的空调系统送、回风管，从设备送/回风端口至末端均做风管隔声措施。其中，送风段隔声包裹至观众席下方的静压箱入口。采用管道隔声措施做法 1。
- 大剧院装饰吊顶上方回风管、中庭等排风管做管道隔声包裹。可采用做法 1 或做法 2，具体根据区域的防火等级。

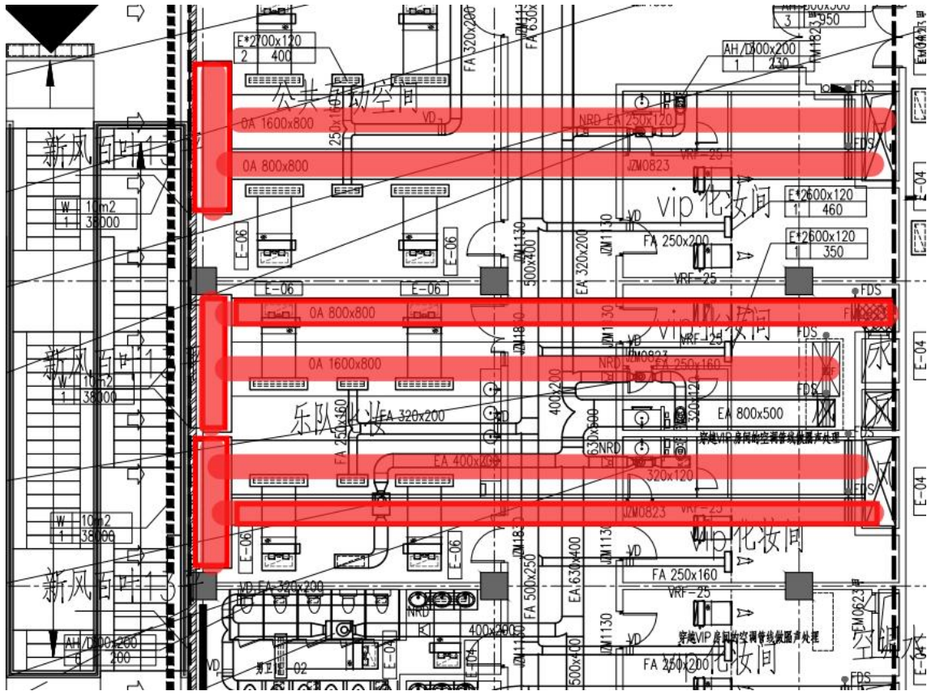




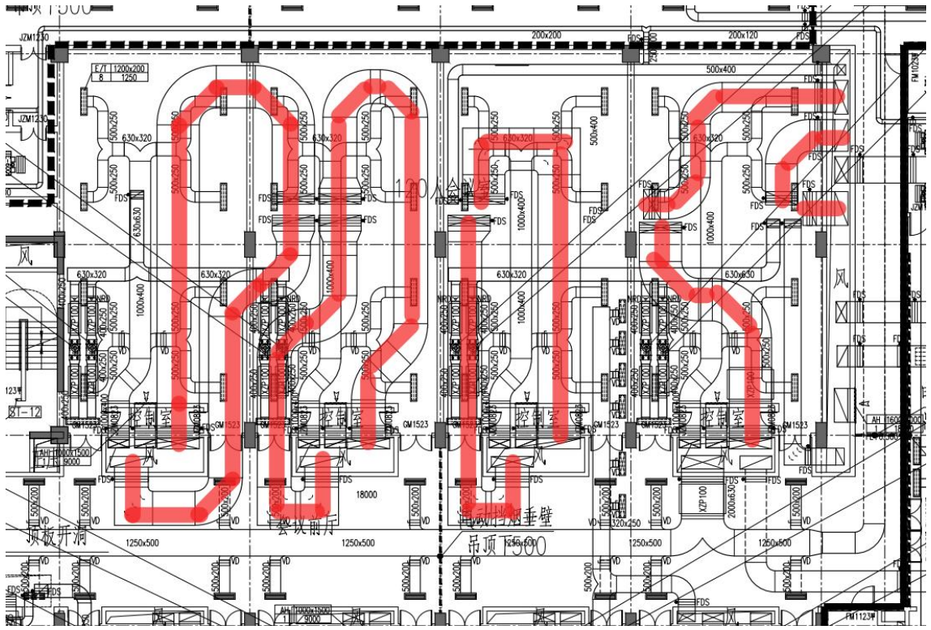
- 音乐厅吊顶上方排风管做管道隔声包裹。采用管道隔声措施做法 1。
-



- 音乐厅区域的乐队化妆间上方设置了大量的室外新风引风管道（编号 OA），这些管道需要做管道隔声包裹。可采用做法 1 或做法 2，具体根据区域的防火等级。



- 服务于小剧场的送回风管道在 1F 会议室上方盘绕，此部分风管做管道隔声包裹处理。



- 送风风管不应直接从设备机房传入观众厅静压箱底部，应从风井道或从侧面经过至少 3 个转弯进入静压箱，保证有较充足的管道自然消声段，且预留足够的安装至少 2 节 xzp100 消声器（有效长度 1000mm，全长约 1400mm）的空间。

- 服务于其余区域的空调系统：

设备风量≤10000CMH 时，在设备机房内的风管做隔声封堵；机组末端隔声包裹到静压箱内支管分支处；

设备风量 10000CMH≤设备风量≤20000CMH 时，风管隔声包裹从设备送/回风端口至出机房 3 米管道范围处，沿途范围内的消声器同样需要做隔声包裹。

设备风量 20000CMH≤设备风量时，风管隔声包裹从设备送/回风端口至出机房 5 米管道范围处，沿途范围内的消声器同样需要做隔声包裹。

① 做法 1——适用于空调系统、穿越 A 级防火区的风管（含排烟风管）：

风管外使用 50mm 厚 100kg/m³ 岩棉/矿棉做隔声材料。同时可替代原风管外的保温层（请暖通专业审核，是否可替代）。并在 50mm 厚 80kg/m³ 岩棉/矿棉外，另加一层 12mm 防火板进行隔声加强。

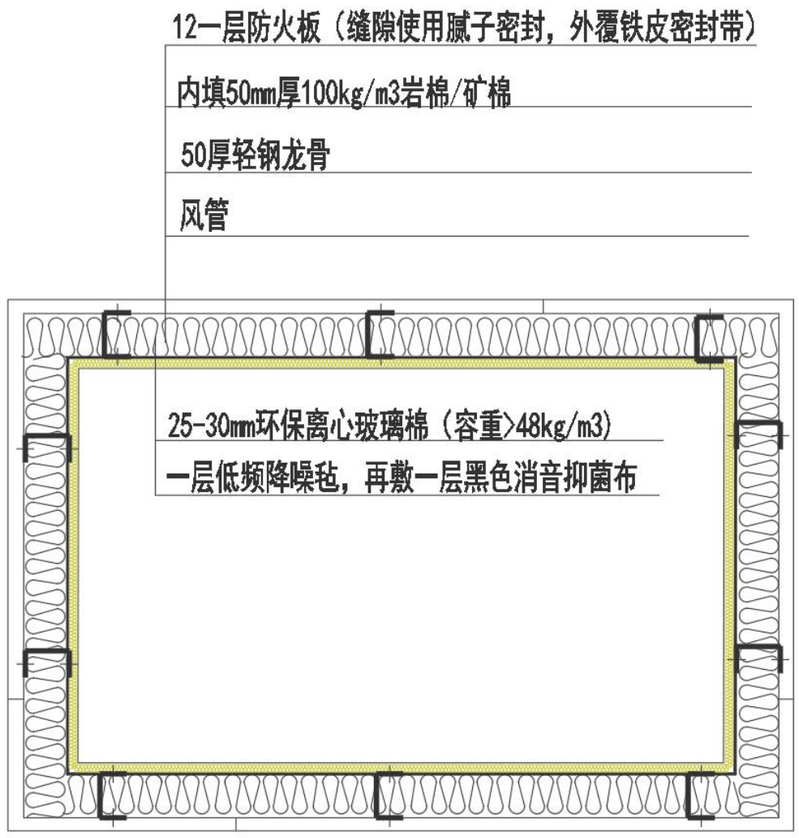


图 风管壁外隔声包裹要求做法 1

② 做法 2——适用于空调系统、排风系统和新风系统：

风管外使用 50mm 100kg/m³ 岩棉/矿棉做隔声材料。同时替代了原风管外的保温层。

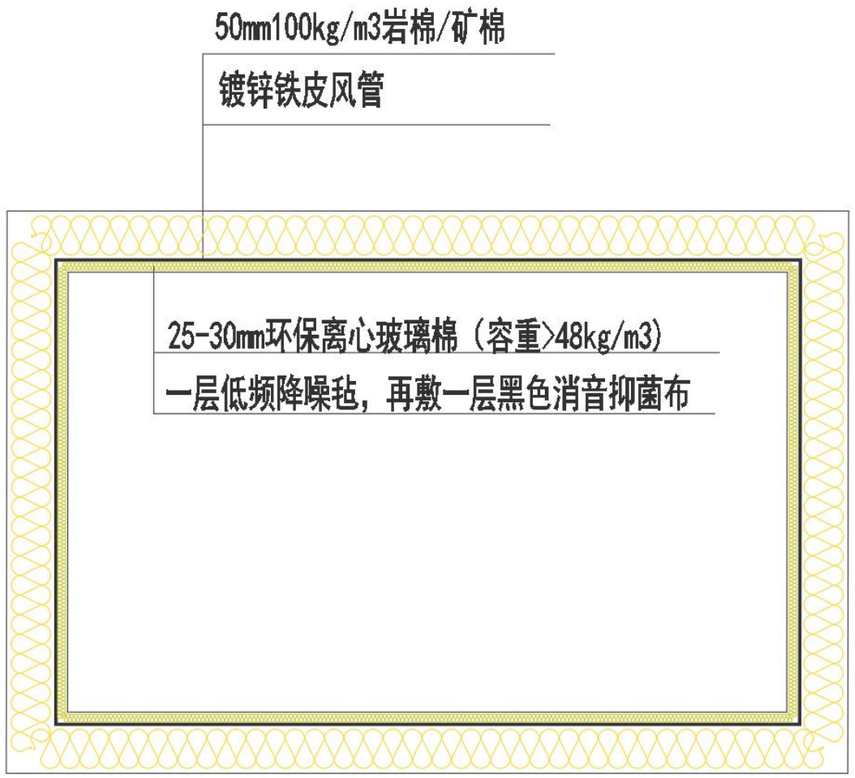


图 风管壁外隔声包裹要求做法 2

- 声闸中的管道隔声包裹

部分观众厅声闸区域行走风管，导致声闸隔声墙体完整性被破坏。对这些穿声闸区域的风管外部进行隔声包裹措施。

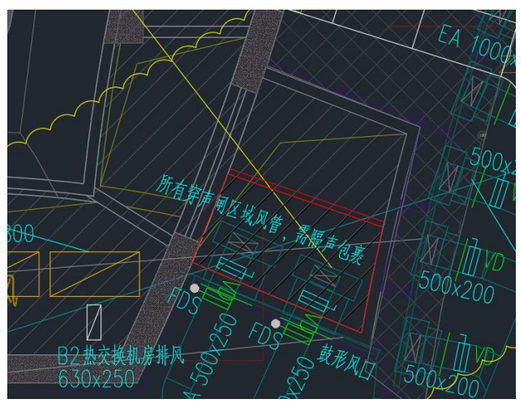


图 风管穿声闸形式示意（红色区域做隔声包裹处理）

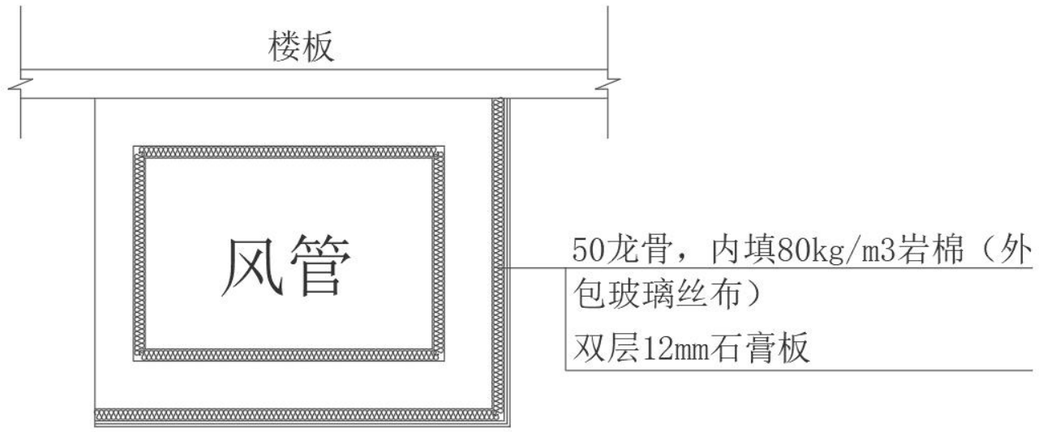


图 声闸内风管外部隔声包裹做法示意

2.4）风口百叶的声学要求

百叶安装应固紧，不应随着气流有可见明显晃动及“哗哗”声。百叶净通风面积不得低于开口面积的 65%，即风口实际运行风速不得高于设计开口风速的 1.5 倍。

2.5）风阀门、风口的声学要求

- 风阀：

  空调送回风管道噪声经过风阀时，会有再生气流噪声，同时也会有一定的局部传声损失。机电厂商消声计算时须将风阀引起的噪声进行评估。

- 风口（散流器、条形风口等）再生噪声上限值

表格 风口再生噪声上限值参考量（单位：dB）：

倍频程	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
气流再生噪声上限值	<58dB	<46dB	<38dB	<32dB	<28dB	<25dB	<23dB	<21dB

风口形式会影响实际末端风速。

百叶等风口装饰面板，其净通风面积不得低于暖通图中风口开口面积的 65%。

- 音乐厅/大剧场的下送风风口散流器噪声上限值

① 每个座椅下送风量：参考暖通设计资料；

② 每个座椅送风速：座椅送风器中心线 300mm 远处（脚裸），各点最大风速 V≤0.2m/s；

③ 座椅散流器的出风噪声（针对所有组合座椅）：≤NR-10。

2.6）静压箱声学要求

2.6.1）池座静压箱的声学要求

所有观众席静压箱内部均需进行吸声处理。做法如示意图所示。

采用柔性全开孔橡塑吸声材料，使用进口阻燃环保胶水粘合。防火性能符合《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB8624-2012 中 B1 级难燃标准;综合吸声系数 NRC≥0.68(尤其在低频当频率头 500Hz 时，25mm 厚度的吸声系数 NRC≥0.6，30mm 厚度的吸声系数 NRC≥0.87;频率为 250Hz 时，25mm 厚度的吸声系数 NRC≥0.21，30mm 厚度的吸声系数 NRC0,30)。

以上各性能指标要求提供国家权威部门出具的检测报告。

观众厅和下方静压箱之间的风管洞口应注意隔声封堵。

2.6.2）大堂空间“静压箱”的声学要求

项目大堂局部空间（如下图所示）采用立式风机盘管。为了控制大堂中的背景噪声，立式风机盘管空间中建议在装饰空间墙体和装饰空间内侧设置吸声材料，降低声源位置噪声。

吸声材料同观众席内静压箱材质。采用柔性全开孔橡塑吸声材料，产品厚度不低于 25mm。产品降噪系数要求 NRC≥0.68。

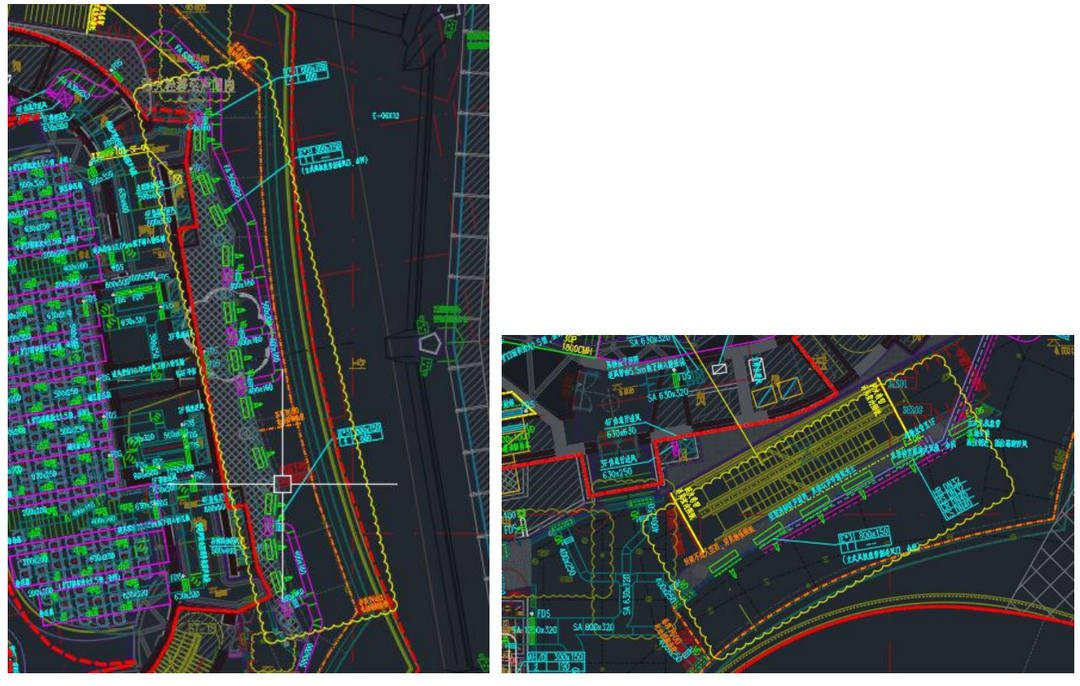


图 大剧院前厅（二层、三层平面）

2.7）消防用排烟风系统管道隔声措施声学要求

消防用排烟风管不应使用一根管道直接穿越多个声学敏感用房。

安装空间充足的情况下，排烟风管主管应布置在走廊或前厅区域，支管进入声学敏感房间。

若安装空间不足，排烟风管主管必须穿越多个声学敏感房间时，应在穿越墙前后设置常闭排烟风阀，必要时设置消声器。排烟风管管壁做风管隔声包裹。做法参见图“风管壁外隔声包裹要求做法”。

3、项目设备机房噪声与振动控制处理措施

3.1）设备机房的吸声降噪处理

表 21 项目内设备机房隔声、消声降噪要求

构件位置	声学要求	声学做法做法

顶棚	降噪系数 NRC 要求>0.7	50mm32kg/m³ 离心玻璃棉 下覆 12mm 穿孔石膏板，穿孔率≥15%，孔径 8-12mm。
墙面	降噪系数 NRC 要求>0.8	墙面+100mm 轻钢龙骨（内填 100mm 容重≥32kg/m3 离心玻璃棉）+12mm 穿孔石膏板，穿孔率≥15%，孔径 8-12mm。
门	Rw+Ctr≥35dB	成品采购 请提供门体隔声量实验室检测报告供声学顾问进行复核

3.2）设备机房门

声学要求有噪声干扰设备机房门必须为隔声门。隔声门位置详见隔声隔振图。

声学要求如下：

- 声学要求设备机房为成品钢制门。应由专业隔声门生产商供货。
- 最低隔声量需不小于 $Rw+C_{tr}$≥35dB，机房隔声门隔声量要求详见隔声隔振图纸。
- 机房隔声门，门扇和门边框设置企口，门框贴 PU 密封条。如下图所示。若机房门未设置门槛，则应在门体下方设置自动升降隔声条。



图 9： PU 密封条示意（数字表示密封条宽度与高度）

3.3）设备机房吸声隔振要求

表 22 项目内设备机房设备隔振效率要求

设备房间	机房是否需要吸声处理	设备隔振措施	设备管道隔振措施	设备机组隔振效率
水泵机房（生活）	墙面吸声处理需要	采用弹簧隔振	采用弹簧隔振落地安装	≥98%
空调机房	墙面、顶面吸声处理需要	空调机设备自带弹簧减振器 机壳外采用橡胶减振垫 部分机房采用浮筑地坪（详见隔声隔振图纸）	采用弹簧隔振吊装	≥95%
风机房	需要	采用弹簧隔振	采用弹簧隔振吊装	≥95%
变压机房	墙面吸声处理需要	采用弹簧隔振与橡胶隔振双隔振 机房采用浮筑地坪（详见隔声隔振图纸）	/	≥95%
锅炉机房	墙面、顶面吸声处理需要	橡胶减振垫	/	
制冷机房	墙面、顶面吸声处理需要	采用弹簧隔振	采用弹簧隔振落地安装	≥95%

3.3.1）水泵设备（空调水泵与生活水泵）声学要求：

据环境要求确定水泵隔振方式并设计选用隔振元件使设备隔振传递率达到规定要求，同时根据水泵产品技术参数及隔振设计的要求，隔振惯性台座的重量必须是水泵重量 1.5~2 倍或以上。

① 水泵必须安装在惯性台座上，采用型钢混凝土混合结构隔振惯性台座，降低隔振体系的重心，增加水泵隔振体系的稳定性，提高隔振效果。

② 隔振规格及参数：

- 惯性台座必须包括一个经焊接的槽钢刚架和混凝土的组合体，惯性台座的厚度应不小于于 200mm
- 立式生活水泵混凝土惯性台座上配备压缩量为 25~50mm 外置式弹簧减振器，具体根据实际位置、机房内允许高度、隔振效率选定
- 弹簧隔振器承受荷载，不应超过允许工作荷载
- 隔振器的频率为 2.5～3Hz,
- 隔振器的阻尼比为 0.05，以防止水泵启动和关闭时产生共振
- 隔振器弹簧水平刚度不得小于垂直刚度 50%
- 隔振效率达 98%以上

③ 水泵的进水口管道采用金属波纹管或橡胶桡性接管连接隔振。由于水泵量程高、压力大，因此出水口采用金属波纹管连接。

④ 屋面水泵设备泵头管道采取钢架支撑形式隔振，由于泵头管道振动较大，会通过钢架支撑传递到楼层上，所以泵头支撑应落在水泵浮筑隔振区域。

⑤ 地下层水泵设备设计时须考虑采用管道弹性托架减振器。应防止水泵启动时水的冲击力对管道的影响，便于现场施工安装及更换。弹性托架减振器要求见表 22。

3.3.2）空调设备声学要求：

参见章节“第四部分：机电声学设计”中 2.2 部分。

3.3.3）排风机、排风/排烟兼顾风机隔振措施

排风机、排风/排烟兼顾风机设备供应商应提供产品各频率声功率级实验室测试值供声学顾问审核。本项目建议使用设备各频率声功率上限值如下表所示。

表格 25 风机组送回风口声功率级上限值：

机组噪声限值（dBA）	风量
60	＜2000CMH
68	2000~10000CMH
70	10000~20000CMH
72	＞20000CMH
75	＞30000CMH

1) 落地风机采用型钢混凝土混合隔振惯性台座形式配备阻尼弹簧器隔振
2) 混流风机采用钢架吊装结构，采用吊架弹簧隔振器
3) 隔振规格及参数：

- 隔振器的频率为 3～5Hz
- 隔振的变形控制在（在没有预压时）25～30mm
- 阻尼比 0.05
- 弹簧隔振器承受荷载，不应超过允许工作荷载
- 固定盒和弹簧吊架之间，提供吊杆在额定荷载下允许任何方向至少 15 度偏转的空隙，总偏差允许 30 度
- 弹簧吊架必须能承受至少 120%过载保护能力
- 风机转速：900RPM～1450RPM 隔振效率达 97%；风机转速：500RPM～900RPM 隔振效率达 92%
- 风机出风口和管道连接处用帆布接口连接，防止风机振动通过管道振动传递

3.3.4）风机盘管

- 风机盘管类设备宜送回风管。距离设备最近的送风口与风机盘管设备之间的距离不小于 1 米。距离设备最近的送风口与风机设备之间的距离不小于 0.5 米。
- 设备送回风口风速参考“第四部分：机电声学设计”中 1 部分表“项目内各区域空调系统风速声学要求限值”
- 验收测试：设备处于中档风速工作状态下的服务区域的背景噪声。

声学对风机盘管和多联空调室内机设备的工作噪声要求如下表。目前暖通表中对风机盘管设备噪声建议参考声学要求进行调整。

表格 26 风机盘管设备噪声要求：

风量	声压级要求（dBA）
风量<350CMH	≤35dBA
350CMH≤风量<800CMH	≤40dBA
800CMH≤风量<1500CMH	≤43dBA
风量≥1500CMH	≤48dBA

3.3.5）变压器设备声学要求：

① 声学顾问/设计要求单台噪声级限值≤68 dBA。

② 变压器安装弹簧加橡胶垫隔振措施，减少噪音振动对周边声学敏感用房的影响。组合隔振效率≥95%。

③ 隔振规格及参数：

变压器底座下必须包括一个经焊接的槽钢刚架，钢架上焊二块 20mm 钢板，起到平衡作用，刚架的厚度应大于 120mm

变压器下配备 25 mm 防剪切阻尼弹簧减振器

- 弹簧隔振器承受荷载，不应超过允许工作荷载
- 隔振器的频率为 3～5Hz
- 隔振器的阻尼比为 0.06，以防止水泵启动和关闭时产生共振
- 隔振器弹簧水平刚度不得小于垂直刚度 60%
- 弹簧隔振效率达 97%以上

在弹簧减振器底座下安装瓦楞形橡胶隔振垫。

- 隔振垫频率为 9～10Hz
- 隔振的变形控制在 2.5～4mm
- 阻尼比 0.08
- 橡胶硬度为 45~50 度之间
- 橡胶隔振效率达 85%以上

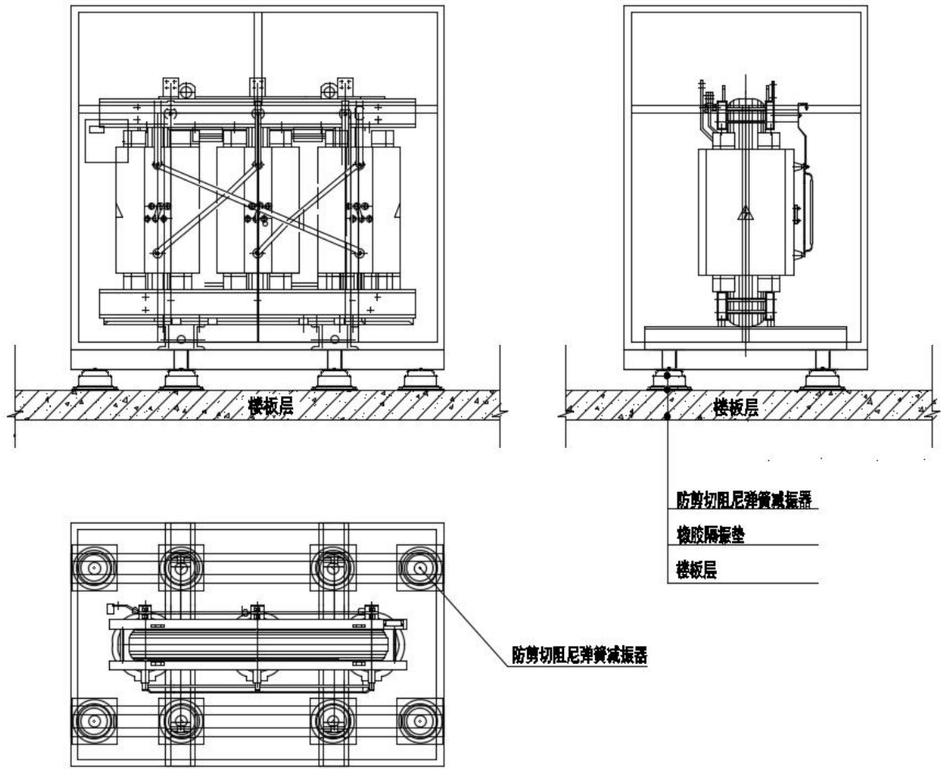


图 10：变压器隔振示意图

3.3.6）制冷机设备声学要求：

① 制冷机组体积和重量比较大，离心制冷机组隔振采用橡胶隔振垫在设备底座直接安装。

② 橡胶垫隔振规格及参数：

- 隔振垫频率为 8～10Hz。
- 设备频率与隔振器的固有频率比控制在 f/fo=3～4。
- 隔振的变形控制在 6～8mm,
- 阻尼比 0.08。
- 隔振效率达 85%以上。

③ 弹簧减振器规格及参数：

- 隔振频率为 3~4Hz。
- 设备频率与隔振器的固有频率比控制在 f/fo=3～4。
- 隔振的变形控制在 25mm,
- 阻尼比 0.03。
- 隔振效率达 96%以上。

④ 进水出水口采用橡胶挠性接管连接，管道采取钢架吊装形式隔振，由于管道振动较大，会通过钢架支撑传递到楼层上，设计时须考虑采用管道弹性托架减振器。

⑤ 附冷冻机组隔振示意图。

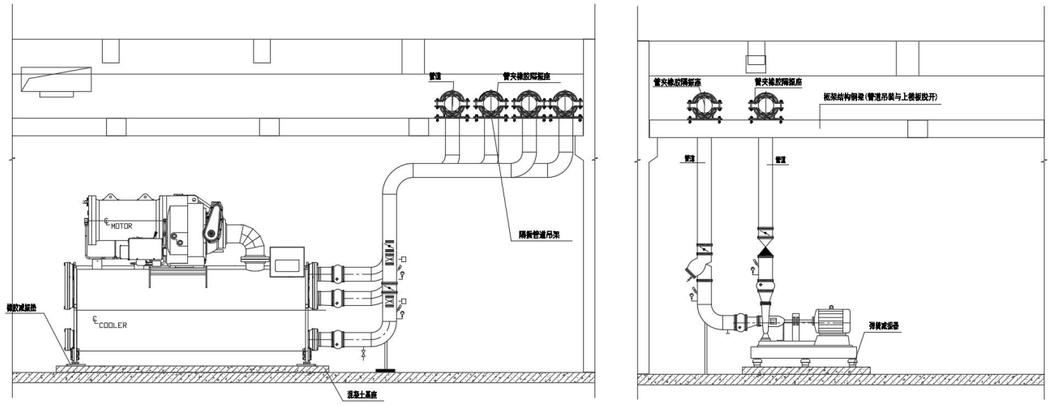


图 11：离心冷冻机组隔振处理示意图

3.3.7）锅炉房机设备声学要求：

锅炉机房位于地下层，机房内迎风机应采取隔振措施并加装隔声罩，由锅炉厂家提供。并井声学顾问审核。

锅炉机房内噪声应不高于 90dBA。

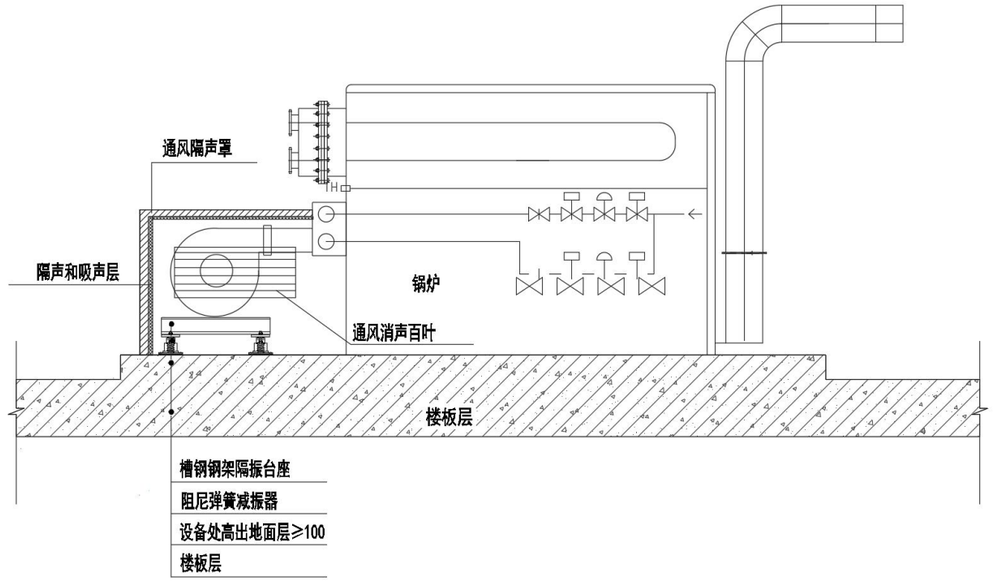


图 12：锅炉设备降噪处理示意图

3.3.8）冷却塔设备声学要求：

冷却塔设备位于项目红线内西南侧，距离项目幕墙边界 39 米，距离项目红线距离 6 米。

根据《声环境质量标准》（GB 3096－2008）和《社会生活环境噪声排放标准》（GB 22337－2008），冷却塔噪声到项目幕墙边界 1 米处和红线位置应衰减到 60dB。因此应考虑选择超低音型号设备，设备应自带消声筒，设备周边应结合建筑景观做消声屏障。

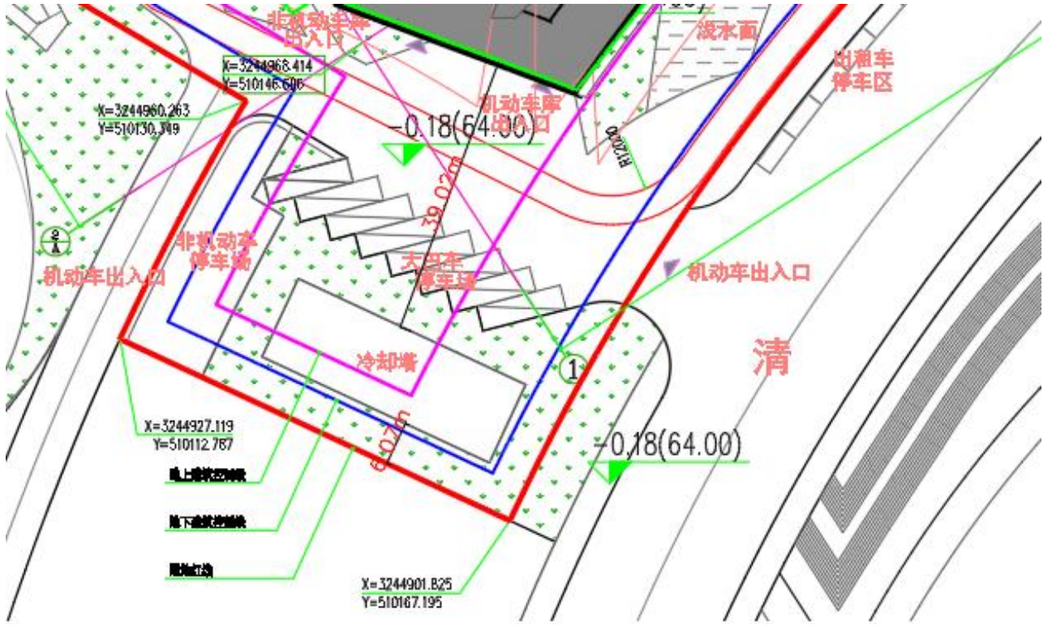


图 13：冷却塔位置示意图

3.3.9）管道系统声学要求：

- 管道隔振效率应≥95%。
- 在设备与管道之间配置软连接装置，减少设备振动及固体声沿管道的传递。
- 管道支架、吊架、托架都须采取隔振措施。设计时须考虑采用管道弹性托架减振器隔振减少振动传递。
- 管道穿墙时应与建筑墙体完全脱开，并放置橡胶隔振带进行隔振处理。
- 项目施工设备安装公司应向声学顾问/设计提供设备减振效率计算书和减振设备产品资料，以便声学顾问/设计审核减振效率是否满足声学设计要求。

表格 27 管道管托橡胶隔振座性能指标要求：

管道管托橡胶隔振座性能指标		
性能指标	全橡胶	钢托架+凹凸橡胶垫
变形量	2mm~4mm	2mm~4mm
固有频率	9±2Hz	9±2Hz
拉伸强度	≥10Mpa	≥10Mpa
拉断伸长率	≥350%	≥350%
拉断伸长率变化率	≤25%	≤25%
导热系数	≤0.5W/m.K	≤0.5W/m.K
适用口径	DN25~DN900	DN50~DN2000
保温难易程度	与木托架尺寸一致，便于安装及保温	不适用

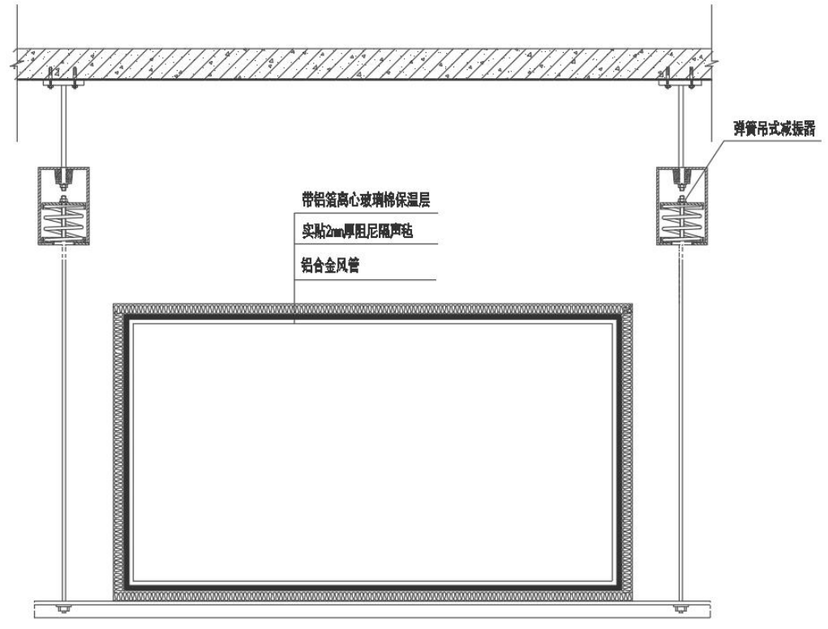
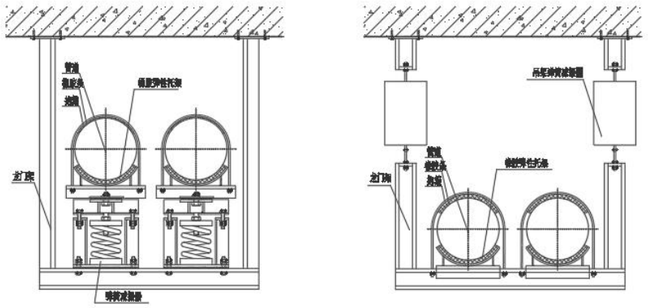
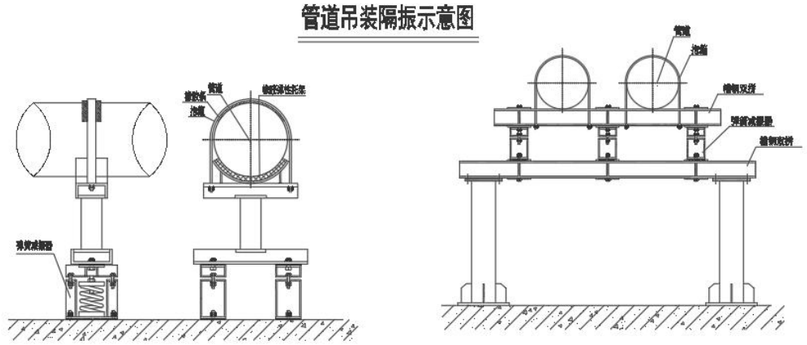


图 14 风管隔振示意



管道吊装隔振示意图



管道支撑隔振示意图

图 15 水管隔振示意

4、电梯系统声学要求：

4.1）电梯系统的声学要求：

电梯运行时的产生的噪声和振动会对周边区域产生噪声影响，可能使得区域内的噪声超出该区域内规定的最大噪声值。

电梯的噪声与振动控制是整个声学设计中不可或缺的一部分，不仅是为了良好的声环境，也保证乘客和电梯周边区域生活办公的人员有较好的舒适度。

4.2）垂直电梯的噪声要求：

电梯运行时电梯机房和轿厢应符合的噪声限值标准，见下表。单位：dB(A)。注该表数据重点参考《剧场建筑设计规范》中对剧院各区域的背景噪声要求，部分数据优于国标《电梯技术条件》。

额定速度 v/(m/s)v≤1.5m/s	噪声限值
额定速度运行时机房内平均噪声（有电梯机房）	≤75dB(A)
额定速度运行时电梯设备平均噪声（无电梯机房）	≤65dB(A)
运行中厢轿内最大噪声值	≤45dB(A)
轿厢开关门过程最大噪声值（距离层站门 1 米位置）	≤50dB(A)
电梯层站门开关门过程最大噪声值（距离层站门 1 米位置）	≤50dB(A)

机房设备产生的噪声、导靴与导轨间的滚动或者滑动摩擦以及轿厢高速移动时由于“活塞效应”产生的气流噪声等是电梯运行时主要的噪声来源。

针对上述电梯运行时产生的噪声，提出以下噪声控制措施：

1) 电梯机房内需要做吸声处理，机房的门和隔墙均需达到一定的隔声量；
2) 导轨制造与安装时应有严格的质量控制，轿厢和配重的运动导轨应保证很高的垂直度，在 5m 长度上偏差不应大于 0.6mm，滚动导靴应用大尺寸且覆有橡胶面层的滚轮；
3) 电梯厂家需进行详细计算，确定在井道内预留孔洞的数量，间距，尺寸等，使井道内的压缩气体能够以合理的速度释放，避免释放速度过快产生气流噪声；
4) 电梯运行中，各机构和电气设备不得有异常撞击声或响声。

4.3）垂直电梯的振动控制：

机房内设备的振动以及轿厢移动时导轨与导靴的碰撞是电梯运行时主要的振动来源，针对这些主要振动，提出以下噪声控制措施：

1) 应选用合适的减振器对拽引机整体做隔振处理，避免机器的振动通过声桥传到电梯周边的区域
2) 轿厢和配重的运动导轨与导轨支座之间应设专业隔振垫，所有固定螺栓和螺母间应衬垫相同厚度的专业隔振垫
3) 滑动导靴与导轨之间应紧密接触，防止间隙过大而导致的振动问题。
4) 电梯设备曳引机应整体考虑隔振处理。中标供应商应将其隔振措施提声学顾问审核。

4.4）扶梯

音乐厅、大剧院区域的扶梯隔振措施建议如下，请中标厂家进行落实深化。

在扶梯上下支撑点使用橡胶或氯丁橡胶隔离垫。典型的用于自动扶梯上部支撑的隔振器安装如下图所示。该细节可以应用于下支撑（以及任何中间支撑）。应选择相应厚度和固有频率的隔振垫的，以衰减自动扶梯产生的最低振动频率。声学对减振垫的厚度和频率要求请参见表1。请中标厂家进行复核和落实深化。

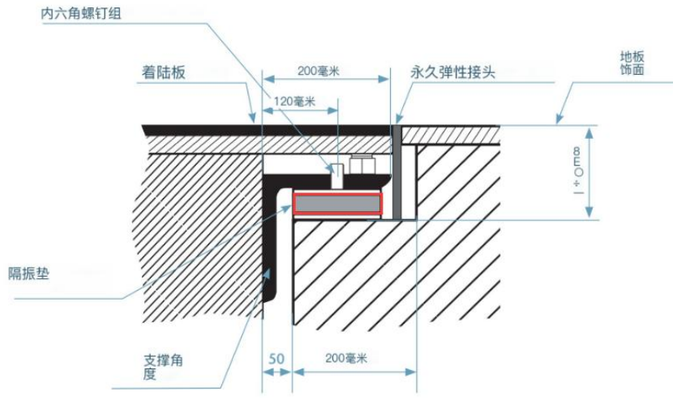


图-扶梯隔振典型节点

25-30mm 橡胶隔振垫块隔振性能示范如下表 1。

表 1-隔振垫参数建议

项目	声学要求建议
厚度	25-30mm
压缩变形量范围	2-5mm
固有频率	9-11Hz
插入隔声量	≥25dB

4.5）供应商协同

4.5.1）当存在电梯机房时：

电梯设备供应商应在投标阶段提交电梯隔振方案及相应减震器详细资料，在最终验收阶段需提交国家认可专业检测机构的噪声与振动检测报告。

声学专业要求在电梯曳引机支撑结构中设置减振垫块，可采用厚度不小于 50mm 的橡胶隔振垫块或其它由电梯供货商、声学顾问共同认可的减振措施。

4.5.1.1）曳引机承重梁不伸入墙体

曳引机承重梁不伸入墙体情况下。在曳引机支撑构件下方采用减振措施。

减振垫块或减振器设置位置如下图示例。

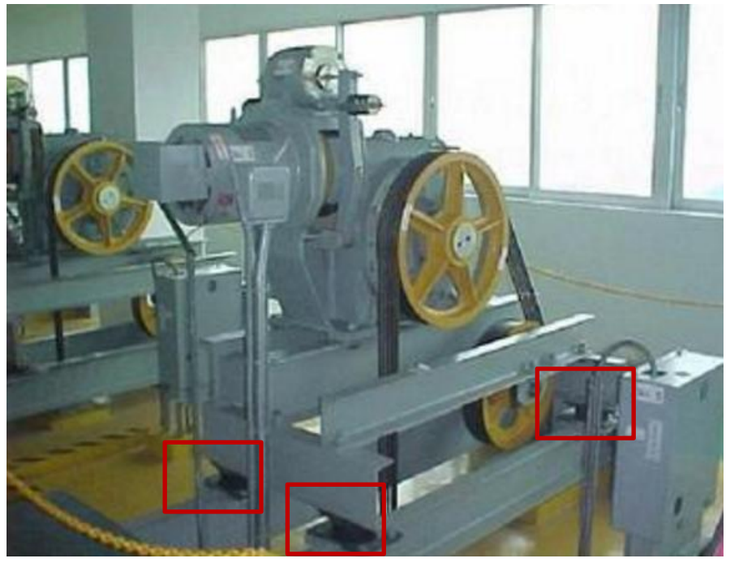
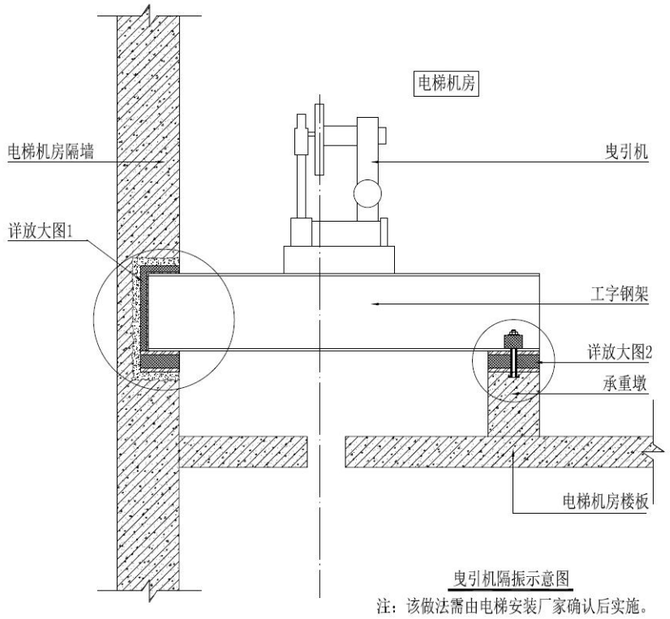


图 电梯曳引机设备减振示意

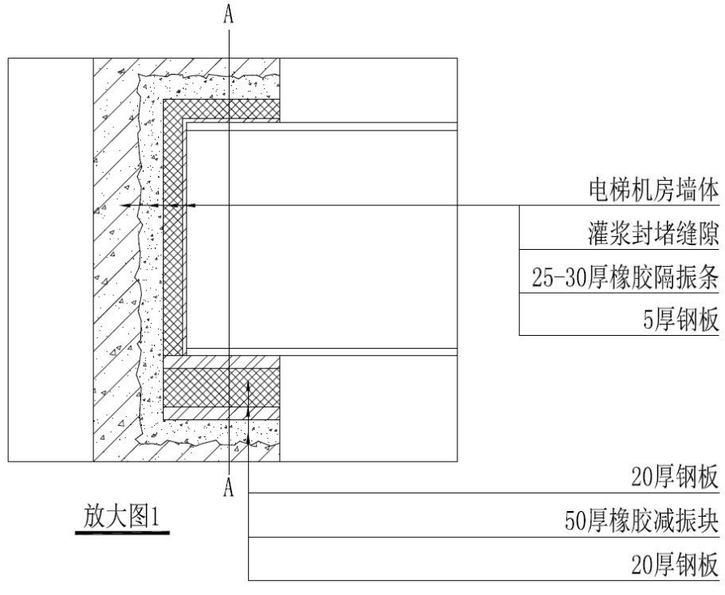
4.5.1.2）曳引机承重梁伸入墙体

曳引机承重梁伸入墙体情况下。在曳引机支撑构件下方和墙体内采用减振措施。做法如下图示意。

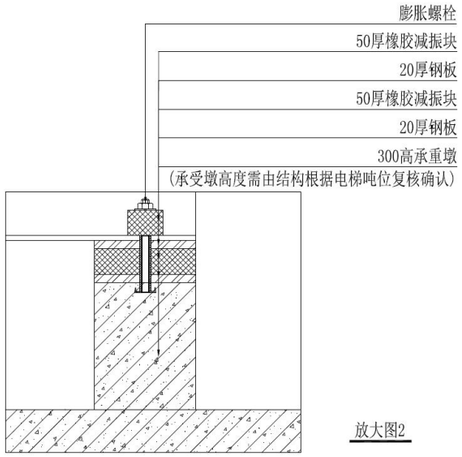


曳引机隔振示意图

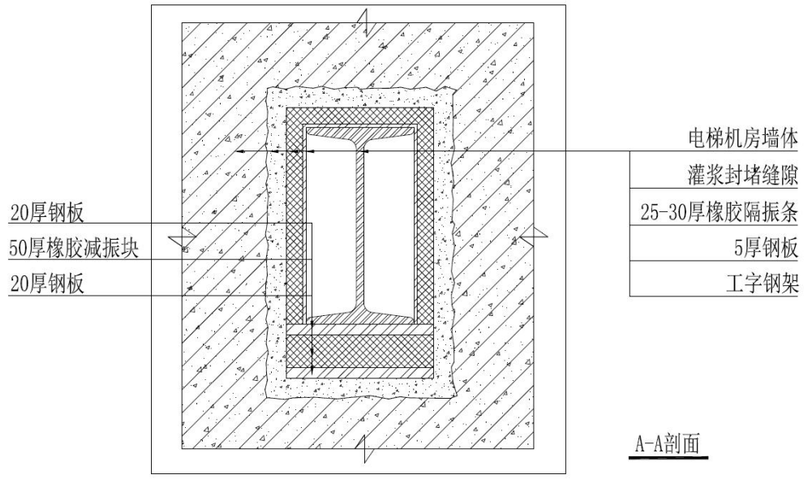
注：该做法需由电梯安装厂家确认后实施。



放大图1



放大图2



A-A剖面





图 电梯曳引机设备减振示意

4.5.2）当不存在电梯机房时：

应在曳引机和其承重钢梁之间设置减振处理。所有隔振措施应由电梯供应商进行安全评估。隔振位置示意如下图。

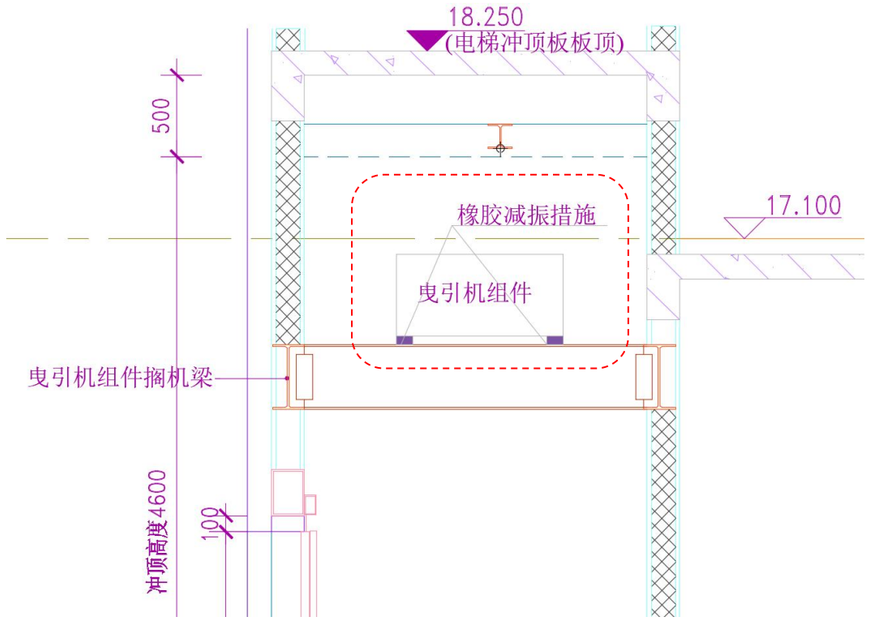


图 无电梯机房曳引机设备减振位置示意

5、项目中其它类的声学要求

项目音乐厅、大剧场、小厅（多功能厅）室内背景要求高。除对常规的机电系统和设备提出声学要求外，声学对其它舞台工艺、室内照明、消防等产品提出相关要求。

5.1 灯光设备的声学要求

音乐厅、大剧场、小厅（多功能厅）的灯光设备

1）舞台灯光设备应选用“全静音”类型产品。产品应提供产品噪声实验室测试报告，供声学顾问/设计审核。

为保证厅内室内噪声满足设计要求，不宜选择任何带散热风扇的产品。

2）厅内装饰性的 LED 灯具/灯带，其自带工作用的电源需要设置在装饰吊顶之上，不可直接放置在厅内。

3）室内照明灯具选用低噪声的灯具和调光装置，设备噪声宜≤25dBA。

5.2 消防报警设备的声学要求

1）选用低噪声消防报警系统，正常状态下消防报警系统不能有明显的“滴滴”和散热的风扇噪声，总噪声不能大于背景噪声要求。下图示意（a），产品运行时有明显的“滴滴声”。

2）吸气式空气检测设备，其设备主体应设置在厅外，将进气管道引入厅内。避免吸声风扇噪声干扰室内。下图示意（b），产品运行时的风扇吸气噪声对厅内产生明显的噪声干扰。



（a）



（b）

5.3 管风琴区域的声学要求

管风琴内部的恒温恒湿空调应足够安静，其运行噪声低于音乐厅室内噪声允许噪声级要求。若无法满足，则演出过程中，该空调需要处于关闭状态。

管风琴腔内的鼓风机设备应是静音的，或另设鼓风机室，以便控制设备噪声。

5.4 舞台机械设备运行噪声的声学要求

1) 舞台设备运行时的噪声，在观众席第一排中部应小于 60dB（A）；对应台口外观众厅及其他舞台设备，在观众厅第一排中部应小于或等于 50dB（A）。演出时，所有舞台机械设备不运行。
2) 所有机械设备的设计应对空气噪声给以足够的重视，并采取适当的措施，降低机械的空气噪声。所有参与表演的机械（即在演出过程中需要运转的机械）均应采用低噪声电动机、高精度减速器和高精度运动部件。
3) 舞台机械设备运行造成的空气噪声在距噪声源 1m 处，电机功率≤15kw，电机的噪音≯65dB（A 计权声压级），电机功率＞15kw～≤45kw，电机的噪音应≯70dB（A 计权声压级），电机功率＞45kw 电机的噪音≯78dB（A 计权声压级）。
4) 所有舞台机械设备运转时不应有过分的振动，所有运转部件都应采用防震联接，并配有防震垫片、尼龙螺母或类似产品。有振动倾向的设备与其基础之间应采取减振或隔振措施。在设计设备构件时，应考虑构件的固有振动频率，以避免使用时产生共振。

6、工程设备和空调系统减振的声学施工要求

6.1 施工要求

① 所有减振器（如弹簧减振器、橡胶减振器、弹性吊钩、弹性支撑等）的安装，应有专业减振器厂家协助安装，确保正确安装。声学设计为减振措施的大样图，等所有机电设备都确定后，由减振器专业厂家根据机电设备的转速、尺寸等参数进行详细计算来配置合适的减振器，并且出深化施工图。计算书和深化施工图经声学设计单位确定后方可安装施工，并且减振器专业厂家应指导安装公司正确安装。

- 隔振惯性台座采用槽钢焊接而成，中间为钢筋混凝土，混凝土强度不得低于 C20。

- 安装时先布置减振器位置，施工台座时，先用垫块抬高模板，使减振器不受力，然后浇筑混凝土。
- 待混凝土保养期满后，将机组设备放置于惯性台座上并固定，将（卸去垫块）缓慢放下，使各减振器均匀受力。
- 通过减振器调整机组水平，使减振器刚度中心与隔振体系统重心在同一垂直线上。

② 消防水泵管道以及消防排烟风机原则可不考虑隔振措施。

③ 隔振施工必须由专业安装施工单位完成。

④ 设备管道支架、托架都须采取隔振措施。采用管道可调节式弹簧隔振器隔振减少振动传递。

⑤ 管道穿墙时应与建筑墙体完全脱开，并放置橡胶隔振带进行隔振处理。

⑥ 在工程实践中常发现隔振器在安装后呈倾斜状态，这样会使弹簧与外壳相碰，失去隔振效果。因此在设计、安装时必须注意，并要求管道隔振尽可能采用着地隔振支承架、弹性托架或管道平置吊架。

⑦ 管道隔振计算重量应考虑设计管架间距内的管道自重、满管水重、保温层重及以上三项之和。

6.2 声学在设备采购招投标阶段、施工阶段需总包以及安装公司配合的工作

下述工作尚需总包、机电施工单位以及产品供应商协同配合：

承包单位在施工阶段应向声学顾问/设计方提供下述文件资料，经声学顾问/设计方审核确认后，方可进行施工安装。

① 设备机房深化方案；

② 设备 8 倍频程声功率级噪声数据、设备机壳外 1 米或 1.5 米位置声压级噪声数据（根据具体设备有区分）；

③ 设备减振器资料；

④ 消声器厂家深化的暖通消声计算书；

⑤ 中标减振器厂家深化的减振效率计算书（或有中标设备厂家提供）

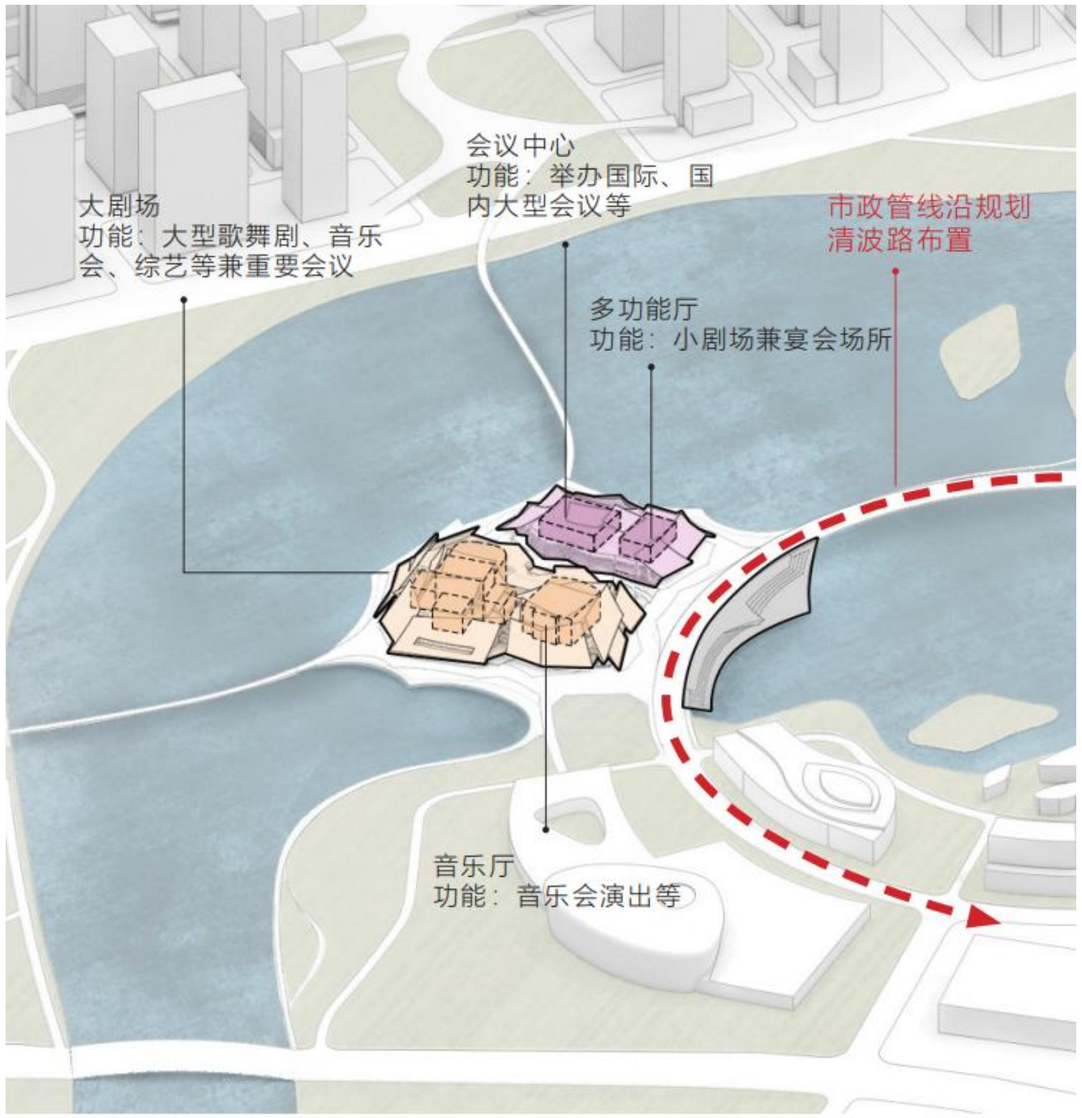
⑥ 吸声产品吸声报告（由国家/行业认可的实验室完成，测试标准参考中国现行相应标准）

第五部分：项目音质设计

本章节根据项目各厅堂体型模型调整进行更新音质计算、计算机软件模拟。

1、音质设计依据

- 2021.05-2022.12 期间 MAD 各主要厅堂建筑模型
- 中华人民共和国行业标准《剧场建筑设计规范》（JGJ 57—2016）
- 中华人民共和国国家标准《剧场、电影院和多用途礼堂建筑声学设计规范》（GB/T 50356—2005）
- 中华人民共和国国家标准《民用建筑隔声设计规范》（GB 50118－2010）
- 中华人民共和国国家标准《建筑隔声评价标准》(GB/T 50121—2005)
- 中华人民共和国国家标准《声环境质量标准》（GB 3096－2008）
- 中华人民共和国国家标准《社会生活环境噪声排放标准》（GB 22337－2008）
- 《音乐厅和歌剧院》（白瑞纳克 著）



2、音乐厅声学设计

根据与 MAD、室内专业配合，音质设计尚处于沟通设计过程中。最终文本可能会和本章节有局部调整。

2.1）音乐厅声学设计指标

2.1.1）音乐厅使用功能

以交响乐演出为主要功能，自然声为主。

2.1.2）容座：

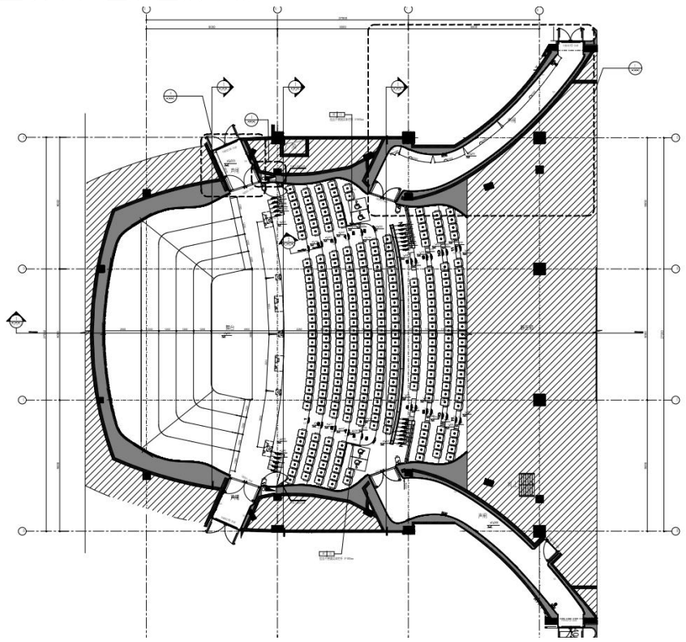
音乐厅规模约为 1200 座　注:以建筑图纸为准

2.1.3）建筑概况

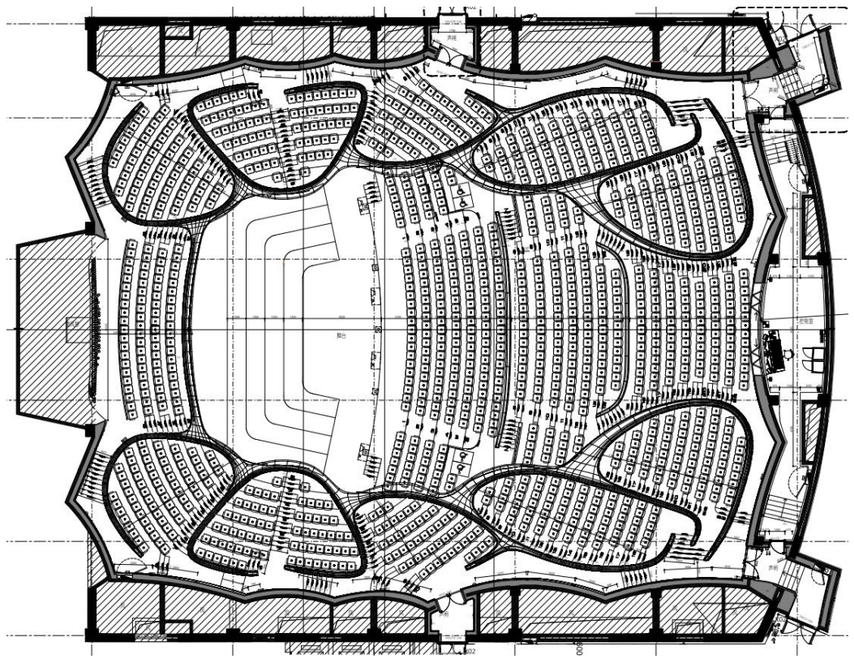
厅内建筑尺寸：最长：约 40.95m；　宽：约 33.5m；　平均高：约 18.4m；

全台阶形式，共 20 排（第一排到最后一排高差为 5.79 米）

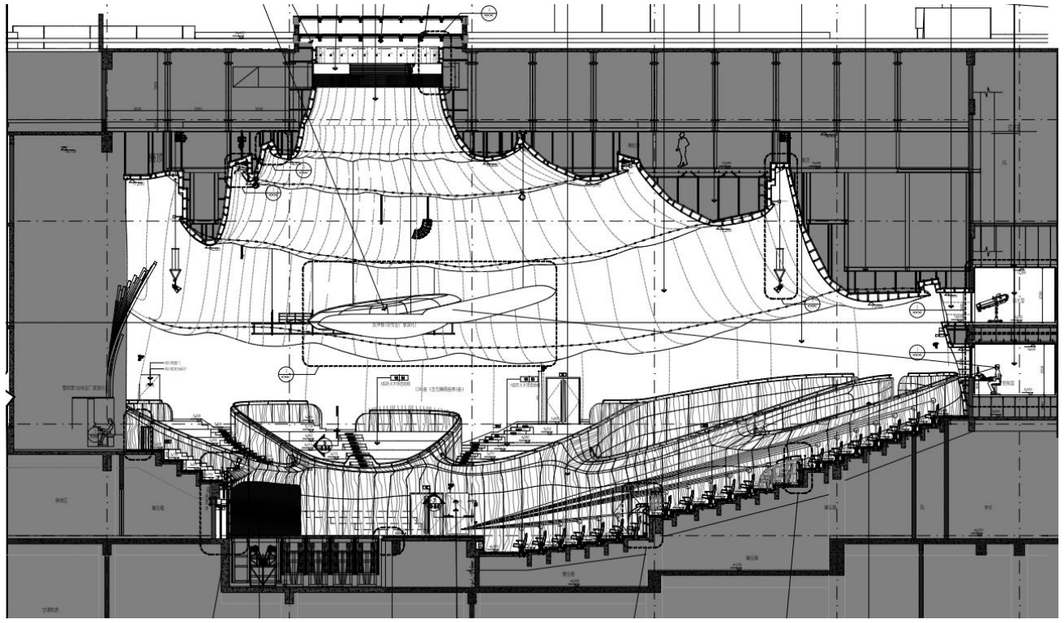
声控室、光控室设于池座后区的中部。

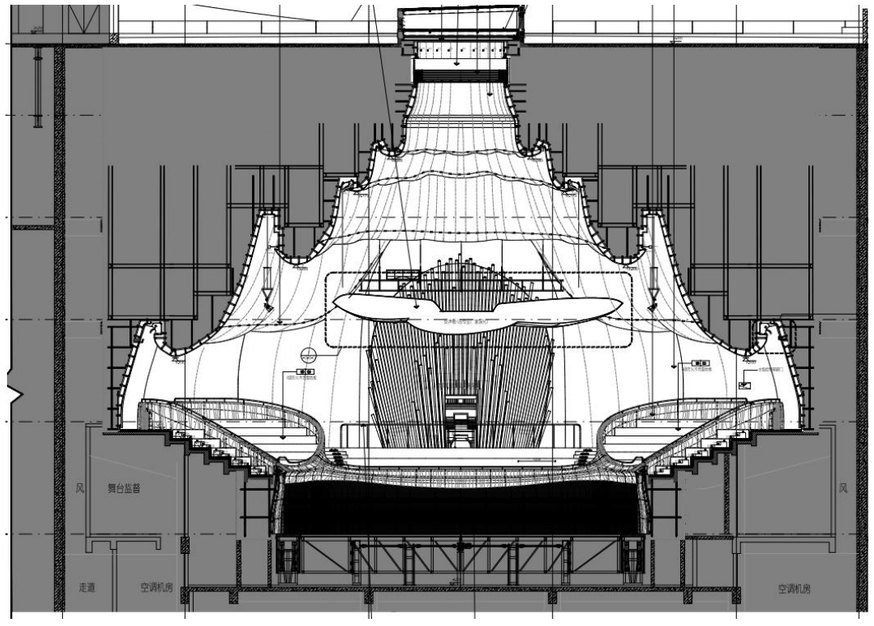


音乐厅池座一层平面图



音乐厅楼座二层平面图





观众厅剖面图

2.2）音质设计指标

- 中频满场混响时间 RT：2.0±0.10s

  混响时间频率特性：

  低频比重：1.0～1.3（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

  高频比重：0.8～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

- 侧向反射系数 LFE4：15%～35％
- 明晰度 C80:-3.0~2.0
- 本底噪声：NR-20
- 中频声场力度：0~4dB
- 每座容积：11～13m^3/人
- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

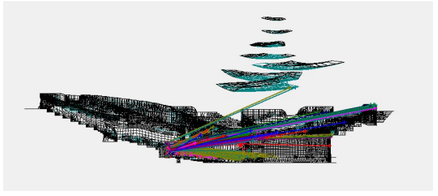
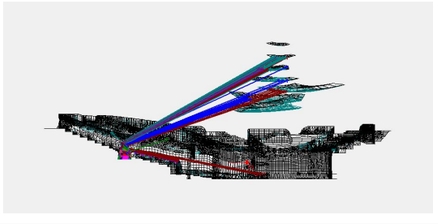
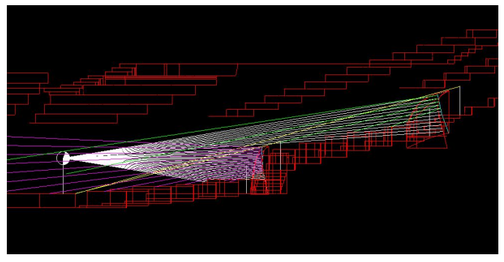
2.3）音乐厅体型分析

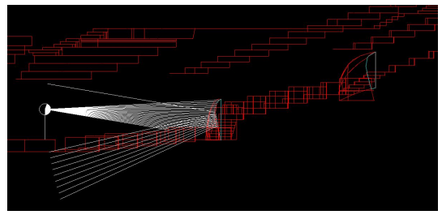
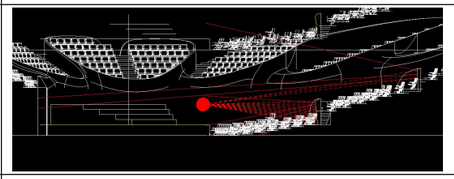
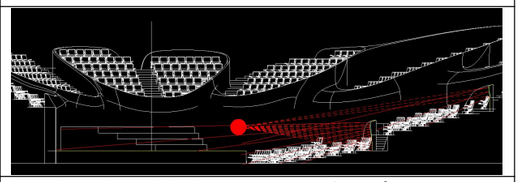
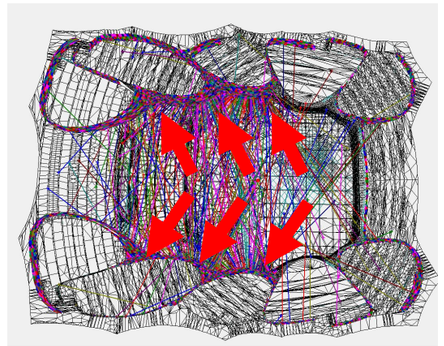
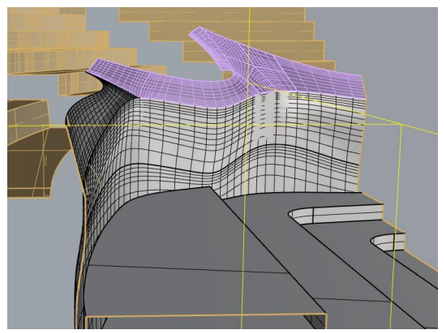
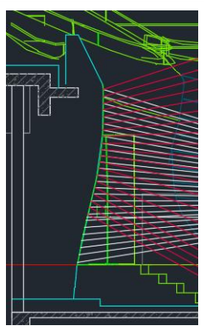
音乐厅的音质效果主要决定于其接收到的直达声与反射声的时间和空间分布状况。一个较好的观众厅体形（吊顶和墙面形状）和表面的声学性质可以保证厅内声场时间和空间的均匀分布，也就决定了剧场的优良音质效果。

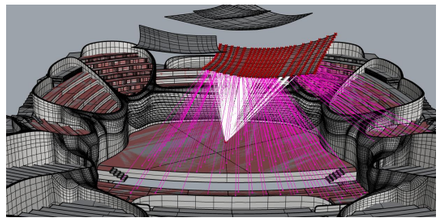
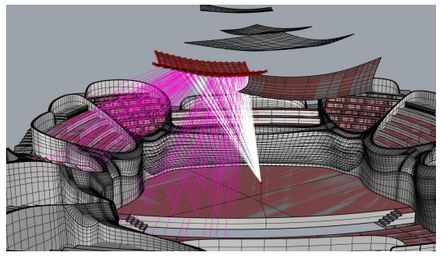
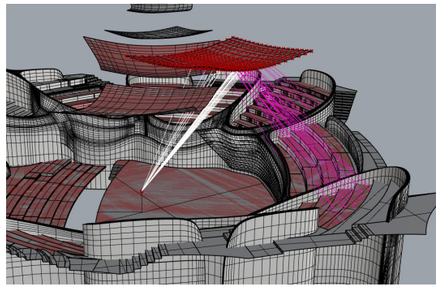
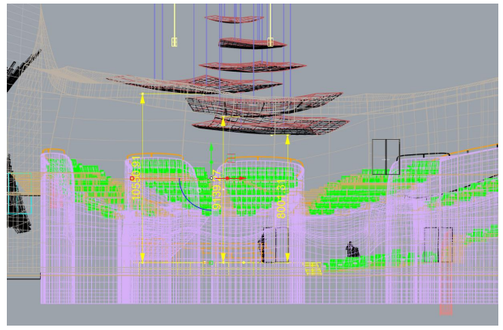
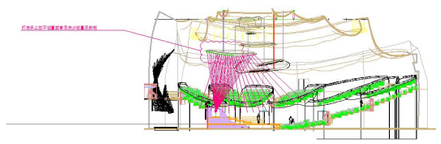
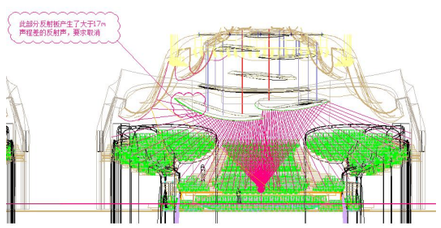
直达声后 50ms 以内的反射声对增加语言清晰度和亲切感有重要作用；而直达声后 80ms 以内的反射声对增加音乐明晰度有重要作用；直达声与强反射声的声程差不应超过 17m，否则易造成回声。同时在体形设计中还应避免弧形墙面或吊顶造成局部声聚焦甚至产生回声，以及平行墙面造成颤动回声等声学缺陷。

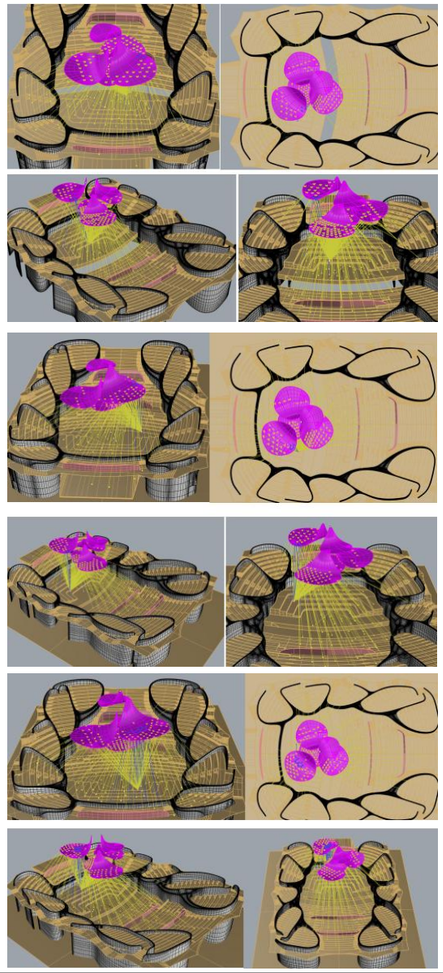
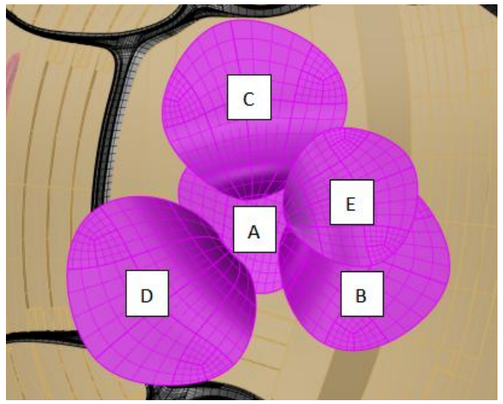
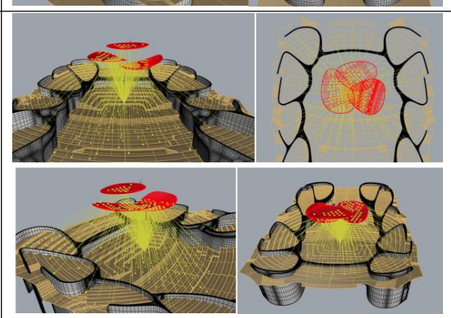
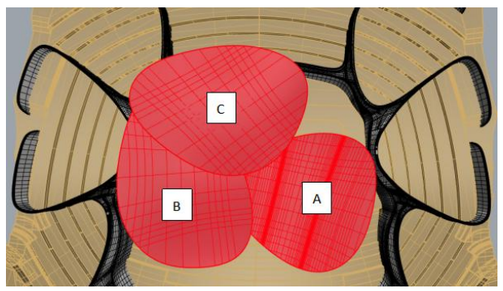
体型分析的原则就是：（1）观众席尽可能获得丰富的早期反射声，（2）声线反射均匀，（3）无聚焦等声学缺陷

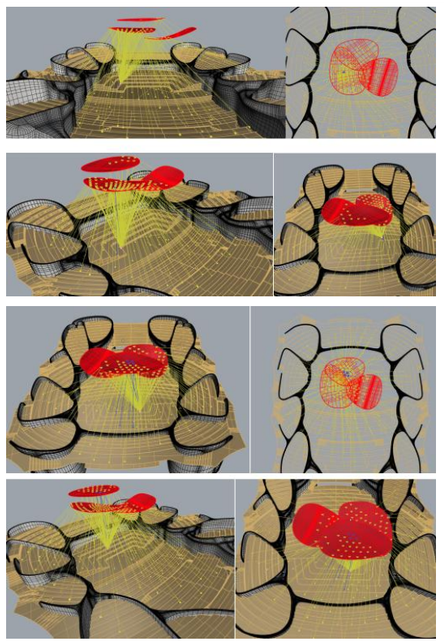
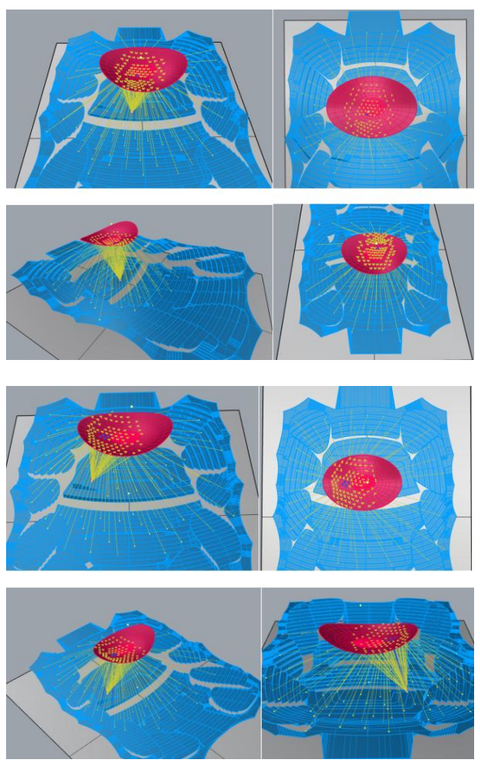
声学专业根据 2021.06-2023.08 期间的音乐厅模型进行多次声线分析调整。下表为过程中较为重要的分析和调整过程：

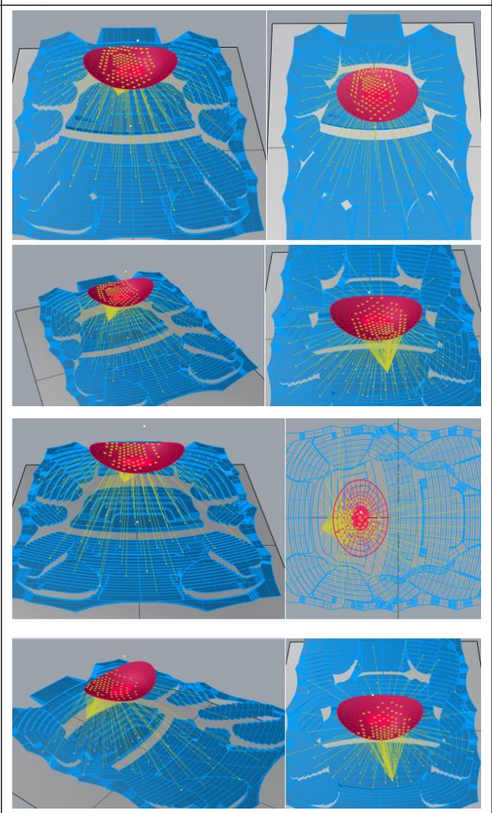
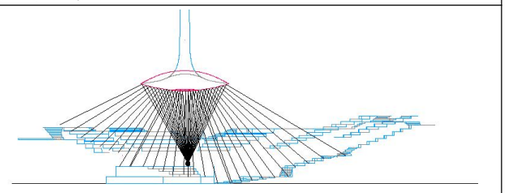
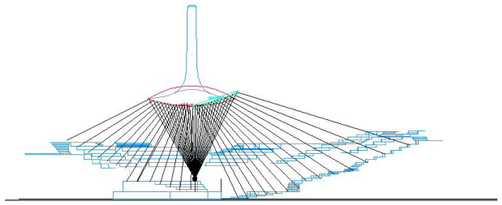
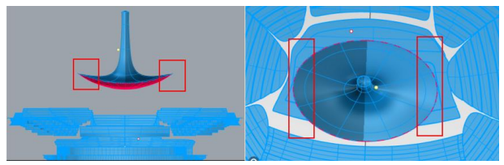
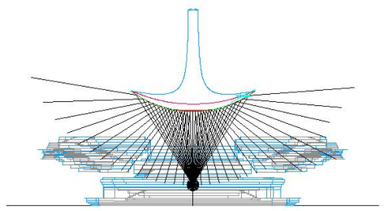
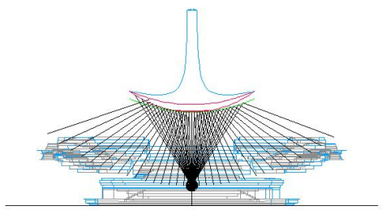
日期	分析	声学意见
2021 0609	 	

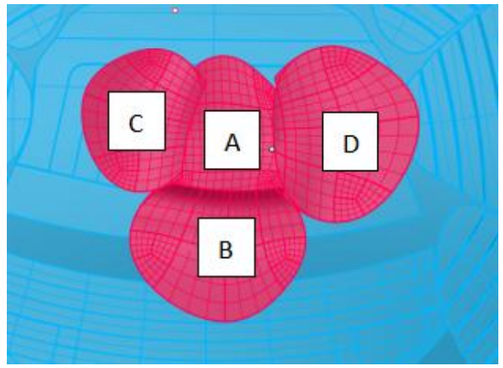
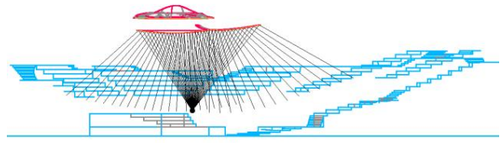
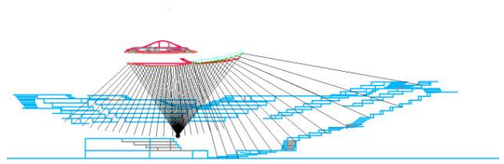
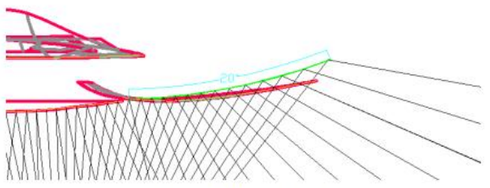
日期	分析	声学意见
		
2021 1230		
2022 0810		凹弧区域做微扩散处理，尺度 50~100mm
2022 0810		 背景墙上沿应与舞台侧墙一样，同时给予舞台向下的反射声，见剖面造型。

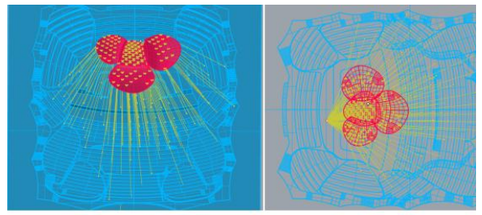
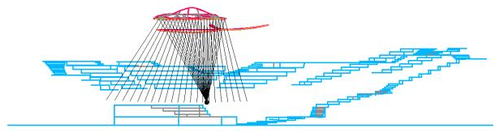
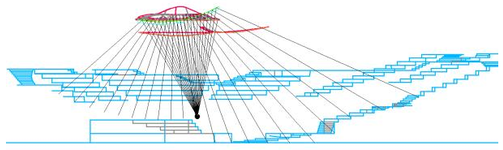
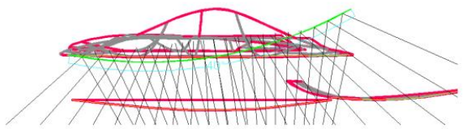
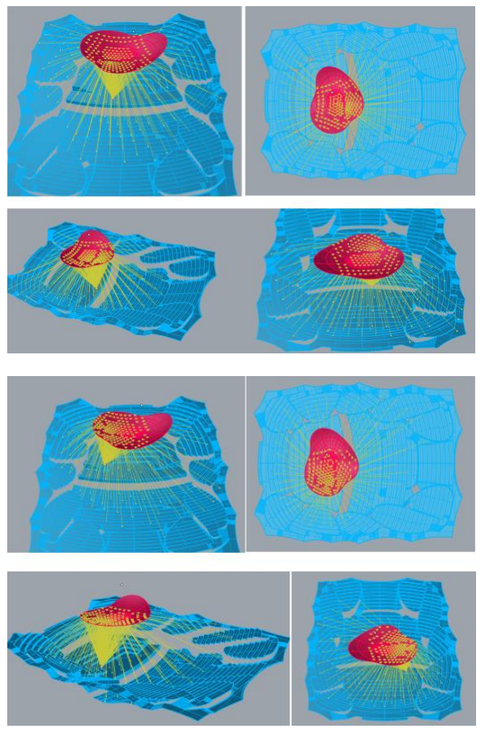
日期	分析	声学意见
2022 0915	  	 1、最下方三块声音反射板对舞台及舞台周围观众区域有比较均匀且有利的反射声支持； 2、三块反射板相互之间针对不同位置，相互独立但又较好的相互补充； 3、三块反射板的高度距离舞台面在 8~11m 之间，反射声声程差几乎都在 50ms 以内； 综上所述，反射板满足声学设计要求。
2022 1122	 	结论： 1）打击乐上方不设置或者设置尽快小的反射板 2）第二块反射板部分产生了大于 17m 声程差的反射声，要求修改。

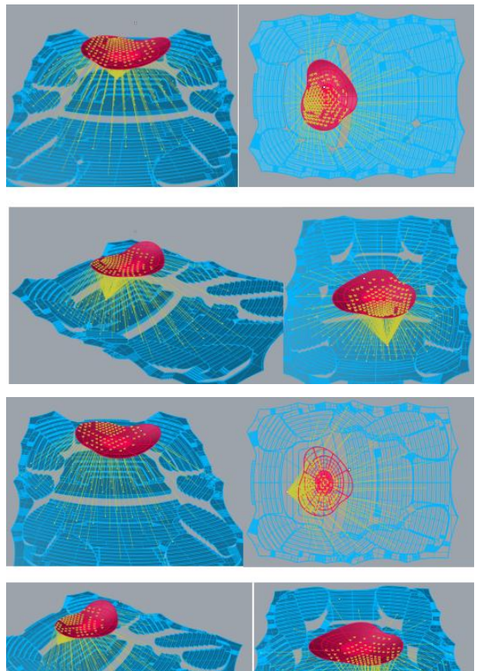
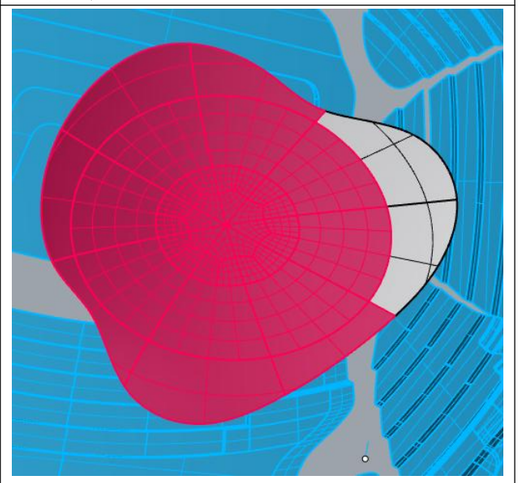
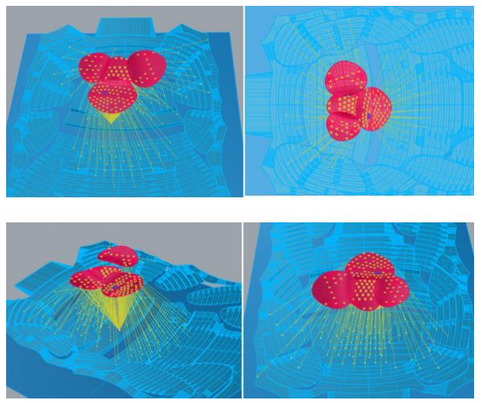
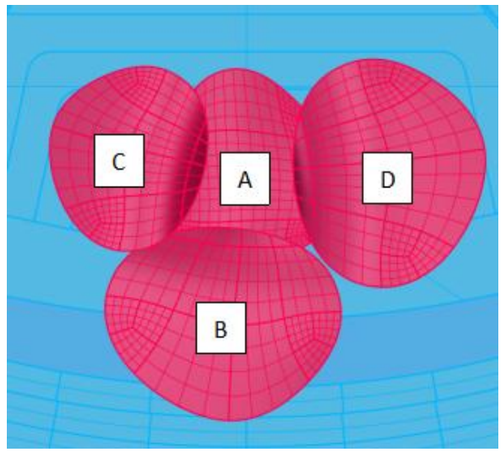
日期	分析	声学意见
2022 1206		 1）ABCD 四块反射板均对乐声有效反射，E 因受其他板块的遮挡，虽然在舞台上视觉可见，但并无明显声线反射效果，E 以上反射板被其余板块遮挡，无声学反射功能。 2）反射板 A 不仅给予乐师很好的相互听闻，还讲乐师推送至观众席，承担了很好的反射功能。 3）反射板 B 主要用于小提琴的反射，同样完成了很好的反射功能。 4）反射板 C 主要用于中提琴，大提琴，低音提琴的反射，反射效果良好。 5）反射板 D 在多个声援位置，都出现了强回声，此回声会干扰乐师的演奏，建议将 D 向 B 靠拢，增加弦乐反射的同时，还可以向舞台两侧观众席提供反射声。 6）打击乐区域不需要反射板，要求调整 D 板块。
2022 1207		 1)ABC 三块反射板均对乐声有效反射，其余上部因受遮挡，无声学反射功能 2)反射板 A 主要用于中提琴，大提琴，低音提琴的反射，反射效果良好，同时将乐声送至舞台侧面观众席。

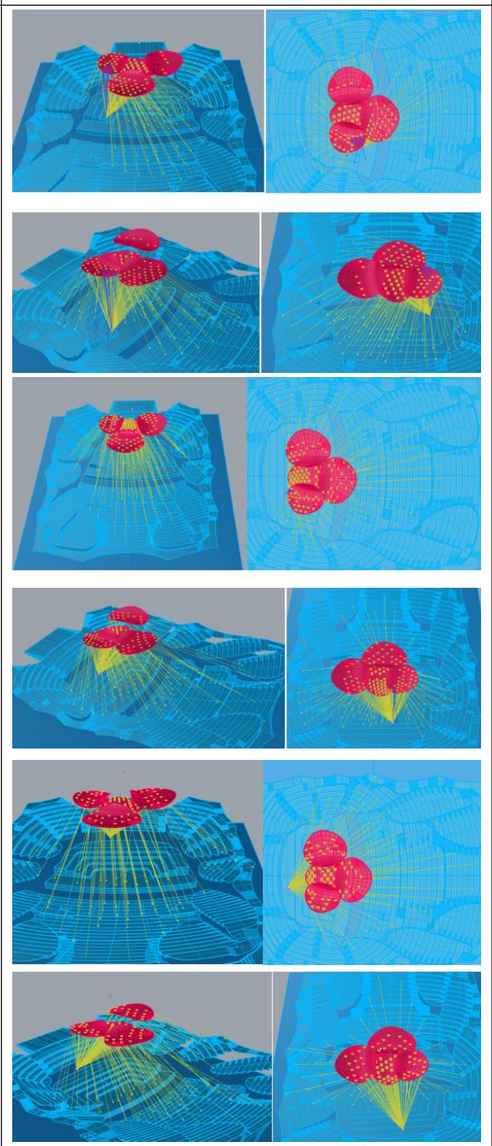
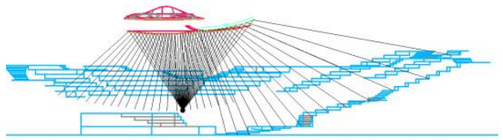
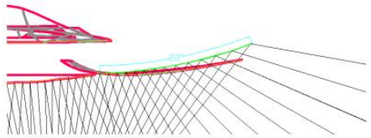
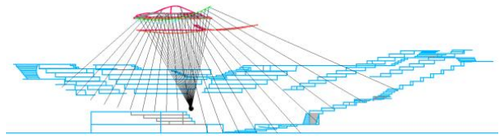
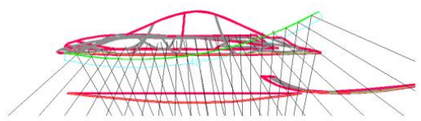
日期	分析	声学意见
		3)反射板 B 主要用于小提琴的反射，同样完成了很好的反射功能，同时将乐声送至舞台侧面观众席。 4)反射板 C 主要管乐的反射，但因其曲率较小，在管乐和打击乐位置都出现了强回声（蓝色反射声线），此回声会干扰乐师的演奏，建议增大反射板 C 的曲率。 5)方案一和方案二都整体完成了很好的反射功能，但是在细节上均需做出调整，两者都各有优缺点，相信再经过深化后，都可以完成出色音质的反射功能。
2023 0104		分析结果： 1）声源点 1 位置，反射板给予乐师很好的相互听闻 2）声源点 2 位置主要用于小提琴的反射，完成了很好的反射功能的同时，有强回声出现，此回声会干扰乐师的演奏，缓慢增大 2 位置的曲率。 3）声源点 3 位置反射效果良好，给了管乐很好的乐声反射。 4）声源点 4 反射效果良好，将打击乐的声音分散至厅内。 5）反射板前端上翘，更好的将弦乐的推送观众席，见下图

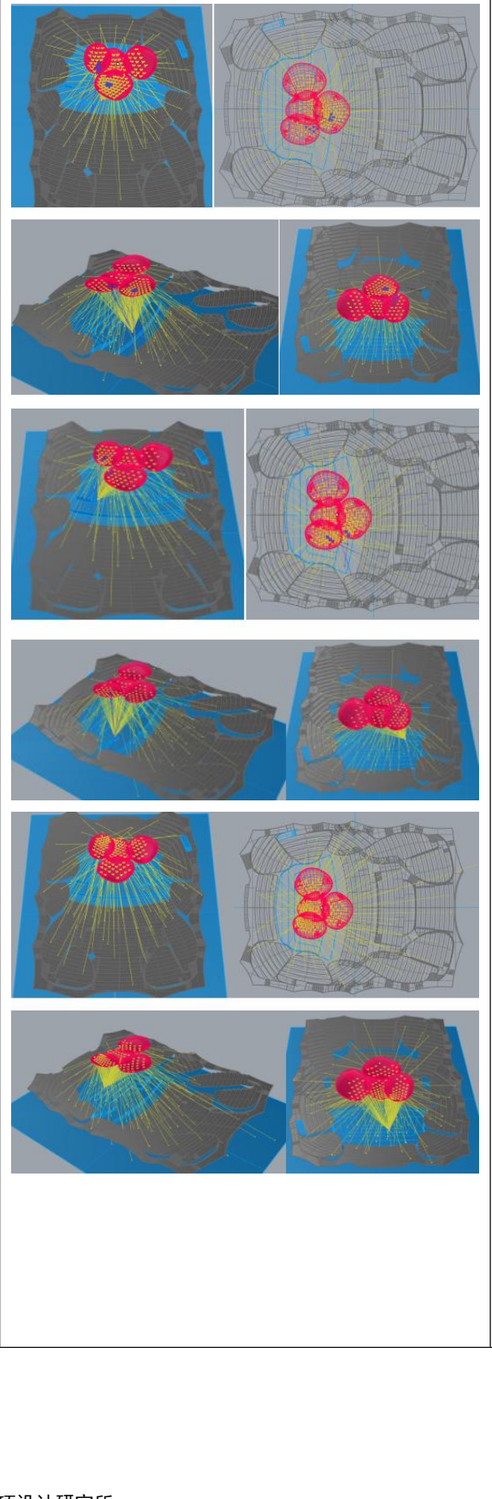
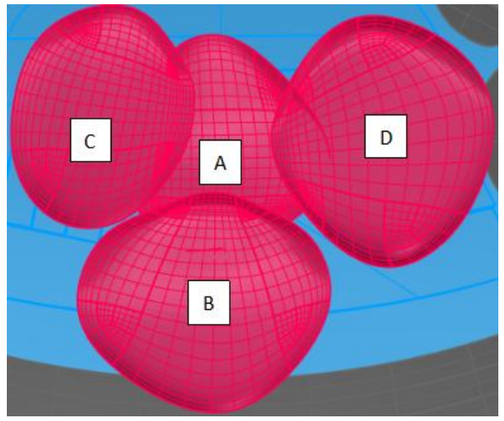
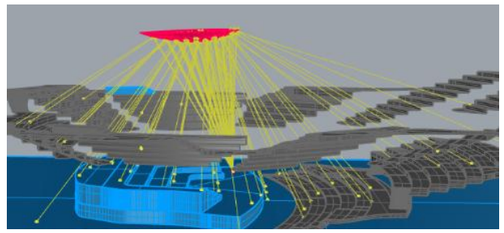
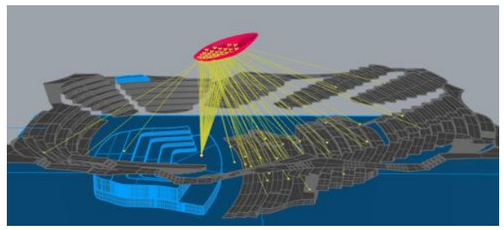
日期	分析	声学意见
		  6）反射板横剖方向：边缘 3 米长度内，反射面无效，建议做适当优化。   

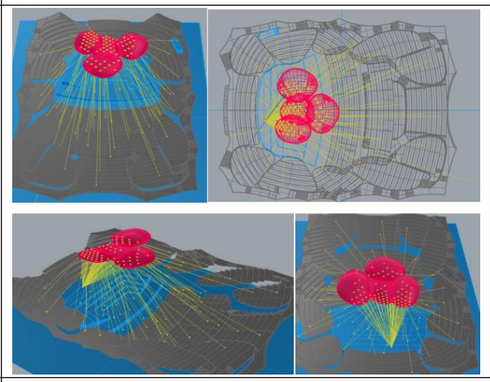
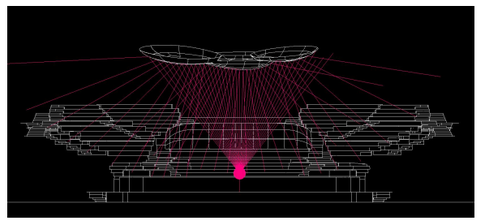
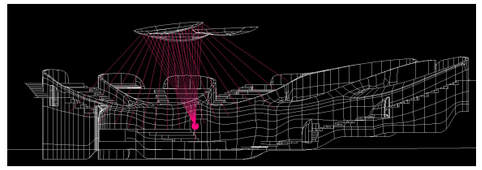
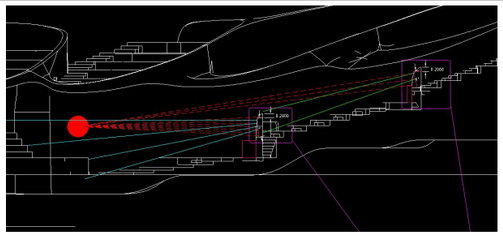
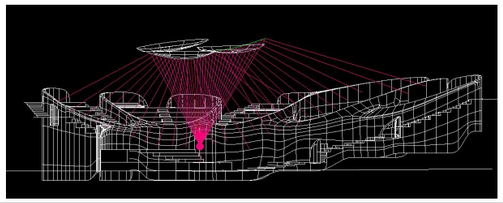
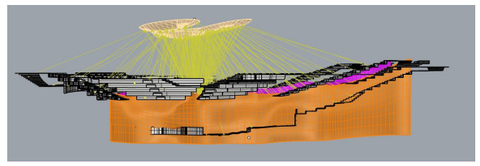
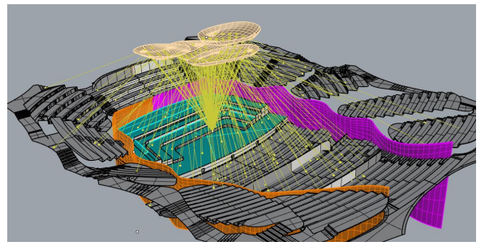
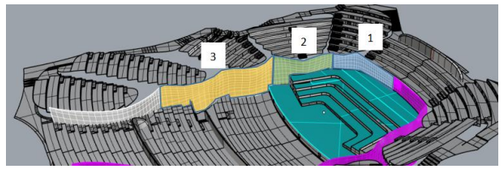
日期	分析	声学意见
2023 0105		 1）反射板 A 给予乐师很好的相互听闻 2）反射板 B 覆盖了大部分观众，但是仍然建议位置 B 叶片反射板前端上翘，更好的将弦乐的推送观众席，见下图  现有造型反射板 B 反射  建议造型反射板 B 反射  反射板 B 叶片修改建议 3）反射板 C&D 主要用于弦乐的反射，完成了很好的反射功能，可适当增大位置 2 上方叶片的曲率。

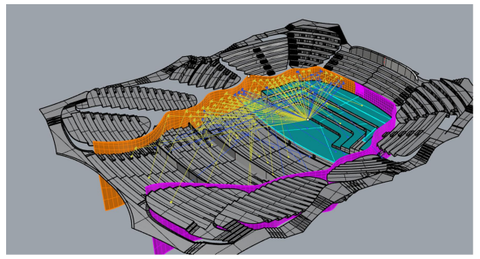
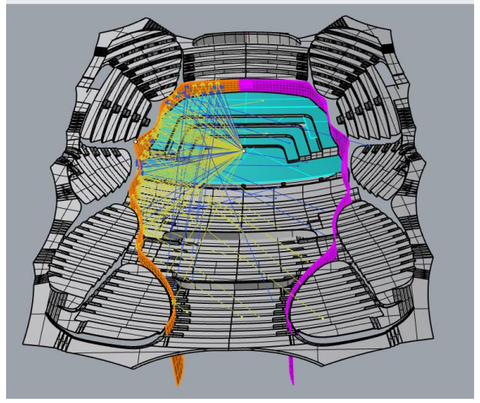
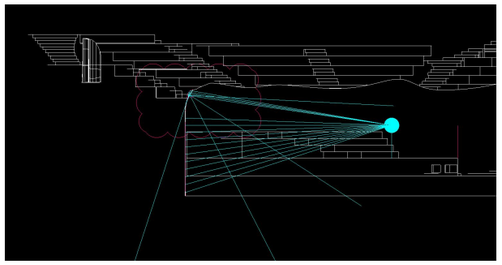
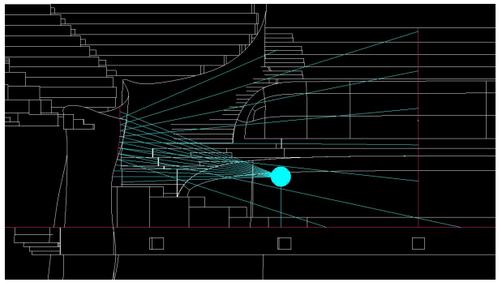
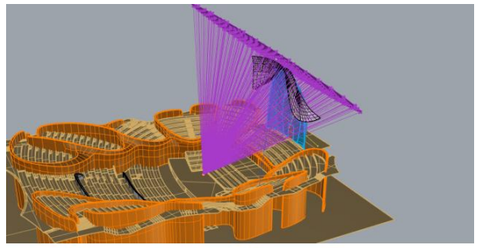
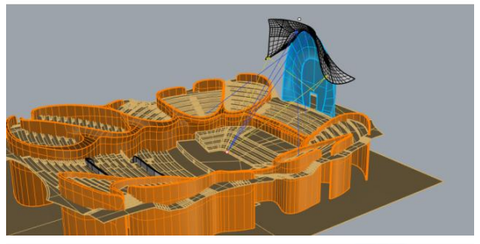
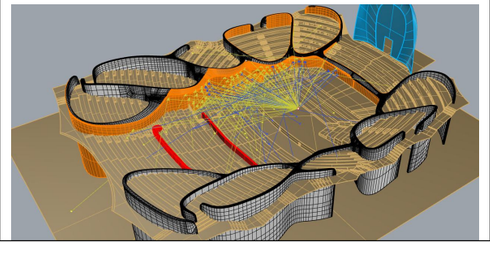
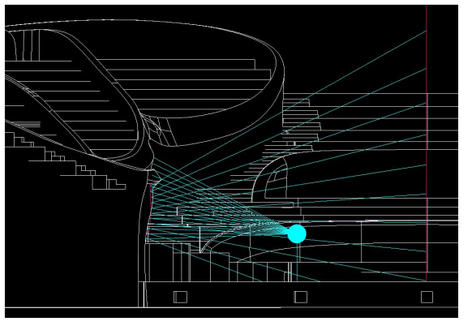
日期	分析	声学意见
		 现有造型反射板 C&D 反射  建议造型反射板 C&D 反射  反射板 C&D 叶片修改建议 4）花瓣横剖方向建议参考整片造型建议
2023 0113		1）声源点 1 位置，反射板给予乐师很好的相互听闻 2）声源点 2 位置主要用于小提琴的反射，完成了很好的反射功能 3）声源点 3 位置反射效果良好，给了管乐很好的乐声反射。 4）声源点 4 反射效果良好，将打击乐的声音分散至厅内。 5）反射板性能更加优异，但仍需反射板整体向前倾斜，更好的将弦乐的推送后区观众席，弧度参考 20230104 文件。 6）反射板灰色区域无有效反射，过于上翘，望优化，弧度参考 20230104 文件。

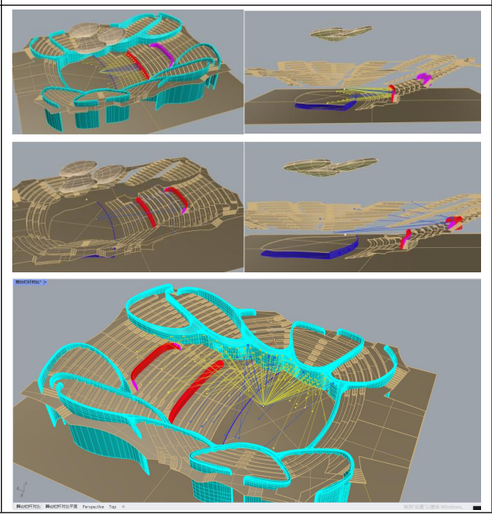
日期	分析	声学意见
		
2023 0222		 1）反射板 A 在声源 1 位置出现了强回声，此回声会干扰乐师的演奏，缓慢增大 2 位置的曲率。 2）反射板 B 覆盖了大部分观众，但是仍然建议位置 B 叶片反射板前端上翘，更好的将弦乐的推送观众席，见 20230105 意见。

日期	分析	声学意见
		 20230105 意见反射板 B 反射  20230105 意见-反射板 B 叶片修改建议 3）反射板 C&D 主要用于弦乐的反射，C 反射板在声源 3 位置上出现了强回声，修改见 20230105 意见  20230105 意见-建议造型反射板 C&D 反射  20230105 意见-反射板 C&D 叶片修改建议 4）花瓣横剖方向建议参考 20230104 意见

日期	分析	声学意见
2023 0309		 1）声源 1 位置，反射板 B&C 在声源 1 位置出现了强回声，此回声会干扰乐师的演奏，建议将反射板整体上翘，以便将乐声更好的推向观众席  反射板 A 上翘 5°  反射板 B 上翘 25° 2）声源 2 位置，反射板 B&C 覆在声源 2 位置出现了，此回声会干扰乐师的演奏，建议将反射板整体上翘，以便将乐声更好的推向观众席 3）声源 3，4 位置，反射板性能良好。

日期	分析	声学意见
		
2023 0512	   	
2023 0524	 	1）反射板声学复核 结果： ①反射板反射性能满足声学要求； ②反射板使用高度常规设置为 8~10m； ③反射板面密度需大于 20kg/m2  ①舞台背景墙 做吸声处理，垂挂吸声帘幕，风口内壁实贴 25mm48K 离心玻璃棉 ②舞台侧墙 舞台侧墙目前声线反射不理想，均反射到就近地面，不利于乐声飘散 修改建议见 CAD 墙修改建议 ③观众席墙面

日期	分析	声学意见
	 	观众侧墙目前声线反射不够理想，部分反射到就近地面，应调整弧线弯曲顶点，利于声线向观众席反射 修改建议见 CAD 墙修改建议  
2023 0630	  	结论：此部分顶面对声学无反射功能，亦不引起声学缺陷，声学对此无异议；因管风琴体积较大，管风琴面向观众席的整个墙面均为镂空形式，无反射功能。 舞台侧墙目前声线反射不理想，均反射到就近地面，且形成了声影区，不利于乐声飘散 修改建议见 CAD 墙修改建议　另发现观众席栏板高度发生变化，但造型并未有相应调整，修改建议见 CAD 墙修改建议 

日期	分析	声学意见
2023 0810		结论：现有反射弧度将声线反射指舞台地面，无法满足声学要求，请根据 20230510 反射墙意见进行修改。 结论：现有反射弧度将声线反射指舞台地面，无法满足声学要求，请根据 20230630 舞台墙意见进行修改。

2.4）音乐厅音质计算

2.4.1）体积及各部分面积核算

位置	面积
顶部吊顶	1190m2
围合墙	366m2
栏板	186m2
座椅	876 m2
地面（走道）	344m2
舞台	229m2

根据计算，总面积是 3191m2，每座容积 11.8 m3/人，符合设计要求。

2.4.2）厅内混响时间计算

● 室内空气吸声量的计算：

取室内温度为 20℃，湿度为 60%，V 总=13978m3

中心频率(Hz)	500	1000	2000	4000
4m	0.0025	0.0044	0.0085	0.0234
4mV	22	38	74	203

● 室内座椅空气吸声量的计算（注：按照座椅单位占地面积进行计算）：

频率（Hz）		125	250	500	1k	2k	4k
舞台坐椅	空座椅的吸声系数	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	空座椅的吸声量	53	42	42	42	42	42
	满座椅的吸声系数	0.10	0.17	0.32	0.32	0.52	0.68
	满座椅的吸声量	21	36	68	68	110	143
观众席坐椅	空座椅的吸声系数	0.55	0.65	0.70	0.71	0.71	0.70
	空座椅的吸声量	427	504	543	551	551	543
	满座椅的吸声系数	0.63	0.74	0.82	0.85	0.86	0.86
	满座椅的吸声量	489	574	636	660	667	667

项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1k	2k	4k
			α A	α A	α A	α A	α A	α A
墙面	舞台后墙	25	0.3 8	0.35 9	0.4 10	0.45 11	0.5 13	0.5 13
	管风琴	44	0.55 24	0.35 15	0.25 11	0.2 9	0.15 7	0.15 7
吊顶	GRG（帆）	1190	0.12 143	0.11 131	0.08 95	0.07 83	0.06 71	0.05 60
	GRG（围合墙）	366	0.12 44	0.11 40	0.08 29	0.07 26	0.06 22	0.05 18
楼座栏板	木饰面	186	0.12 22	0.11 20	0.08 15	0.07 13	0.06 11	0.05 9
地面	走道木地板	344	0.1 34	0.08 28	0.07 24	0.06 21	0.06 21	0.05 17
空场混响时间	空场总吸声量		755	790	770	756	737	709
	Sα		755	790	770	756	737	709
	α		0.24	0.25	0.25	0.24	0.23	0.23
	[-ln(1-α)]		0.27	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26
	S[-ln(1-α)]		863	910	883	865	840	803
	S[-ln(1-α)]+4mV		869	927	922	934	980	1195
	空场 T60		**2.59**	**2.43**	**2.44**	**2.41**	**2.30**	**1.88**

满场混响时间	满场总吸声量		785	853	888	890	921	934
	Sα		785	853	888	890	921	934
	α		0.25	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30
	[-ln(1-α)]		0.29	0.32	0.33	0.33	0.35	0.35
	S[-ln(1-α)]		903	996	1044	1046	1090	1109
	S[-ln(1-α)]+4mV		909	1013	1083	1116	1230	1500
	满场 T60		**2.48**	**2.22**	**2.08**	**2.02**	**1.83**	**1.50**

2.5）各界面材质的音质设计要求



2.5.1）吊顶：

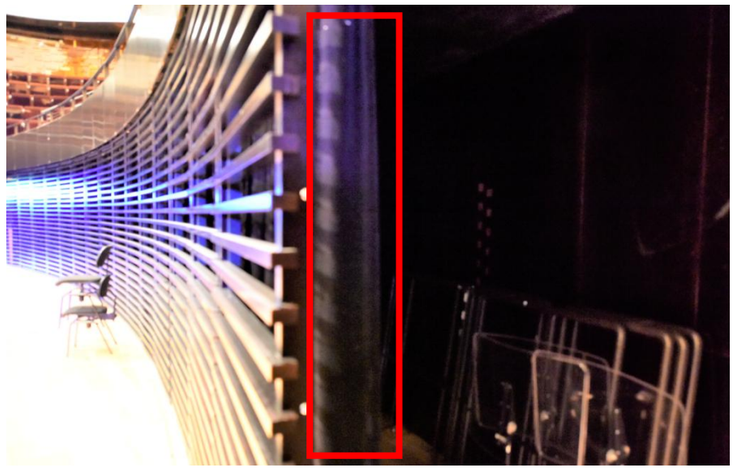
音乐厅观众厅的吊顶材料建议采用 GRG 扩散板，面密度需 50~60Kg/m^2。

2.5.2）墙面

经过计算，墙面不需要做吸声 GRG 面密度需 50~60kg/m^2。墙面表面应考虑声学扩散肌理，增加声学扩散作用。

2.5.3）演奏台后区的吸声部分

舞台格栅位置。格栅透空率≥50%。格栅后悬挂吸声帘布。帘布的材质可以选择丝绒或羊毛类材质。布料打褶率≥200%，面密度≥400g/m2。布料的悬挂位置应尽量靠近格栅。



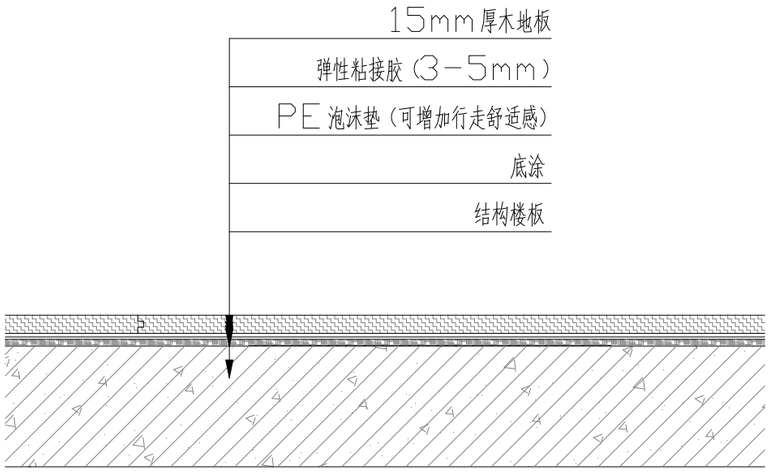
2.5.4）栏板

经过计算，栏板不需要做吸声 GRG 面密度需 30~40kg/m^2。拦板表面应考虑声学扩散肌理，增加声学扩散作用。

2.5.5）地面

观众厅常规地面两种。但根据新的消防规范，观众厅的饰面做法应结合实际项目中的消防要求。

1)木地板地面实贴做法。

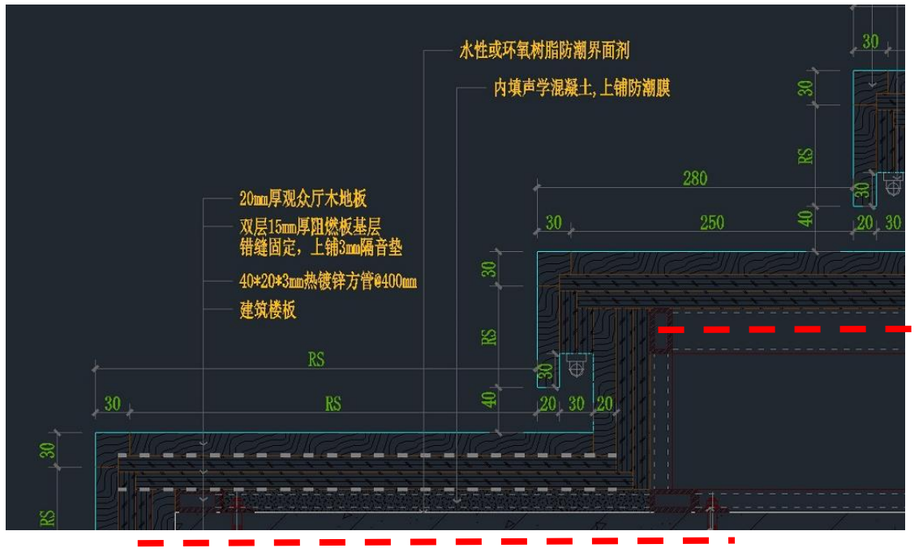


木地板做法示意图

2）木地板下设木龙骨。木龙骨内填轻质混凝土。

观众席地面应采用木地板，地板龙骨内填充“声学混凝土”密实空腔，以防止地板构造对低频声能量产生过多的吸收。声学混凝土通常可以选择轻质混凝土，例如陶粒混凝土、轻骨料混凝土等。根据项目施工工艺要求，可选择湿法工艺填充，或预制板块填充。

为了防止观众的脚步噪声过响，应在木地板和其做法构造基层板中设置一层 3mm 隔音垫。做法如下图红色区域所示：



3mm 隔音垫满足下述性能：

(1) 静刚度≥0.02 N/mm³

(2) 动静刚度比≤1.35

(3) 压缩永久变形≤5.0%

(4) 撞击声隔声改善量△Lw≥8dB

2.5.6）舞台地面

轮宽度均匀（年轮宽度为 2mm，而且要求在两个毗邻年轮宽度的差异不超过 30%），纹理通直的木材。

发音效果稳定性的评价 木材音板的发音效果稳定性主要取决于木材抗吸湿能力和尺寸稳定性。因此木材应进行改性处理，增大其抗吸湿性和尺寸稳定性。

由于各树种木材性质差异大，不是所有木材都适合作舞台地板。声学要求舞台地板材质轻软、年轮宽度均匀，纹理通直、抗吸湿能力强和尺寸稳定。建议采用经过改性处理的松木（年轮宽度约为 2mm，而且要求在两个毗邻年轮宽度的差异不超过 30%，且纹理通直），建议为板厚 50mm，下有 60 mm×60 mm 木搁栅。

国内外音质良好的音乐厅舞台地板用材一览表：

音乐厅名称	舞台木地板
PHILHARMONIE DE PARIS 巴黎交响乐厅	Scots Pine 欧洲赤松(松木)
WALT DISNEY CONCERT HALL 沃尔特·迪士尼音乐厅	Oak 橡木
SHANGHAI SYMPHONY HALL 上海音乐厅	Japanese Hinoki 50 毫米日本北海道扁柏木(松木)
STANFORD UNIVERSITY BING CONCERT HALL 斯坦福大学宾音乐厅	Alaskan Yellow Cedar 阿拉斯加黄柏(松木)
CHAMBER HALL, MUSEO DEL VIOLINO 意大利提琴博物馆室内乐厅	Alaskan Yellow Cedar 阿拉斯加黄柏(松木)
NEW WORLD CENTER CONCERT HALL	Alaskan Yellow Cedar

美国新世界中心音乐厅	阿拉斯加黄柏(松木)
Helzberg Hall at Kauffman Center for the Performing Arts 美国考夫曼表演艺术中心赫尔兹伯格大厅	Alaskan Yellow Cedar 阿拉斯加黄柏(松木)
HELSINKI MUSIC CENTRE CONCERT HALL 芬兰 赫尔辛基音乐中心音乐厅	Finnish pine 芬兰松木

2.5.7）管风琴区域

管风琴壁龛内墙面面密度≥60kg/m2。若壁龛墙体为土建墙体，例如混凝土剪力墙或砌体墙，则可直接进行软胶漆粉刷。若为石膏板装配式墙体，则需要在墙体内侧另做 GRG 面层，面密度需满足设计要求。

管风琴墙，如下图图片中的非琴管部分。这一部分的墙可能存在实体墙和透空墙两部分。实体墙选择为面密度≥50kg/m2 的 GRG 面层。透空墙，可以选择完全透空，或设置透声布（透声率>80%）。透声布可选择音响透声布类的材质。

具体设置应参考管风琴顾问或供应商的提资要求。

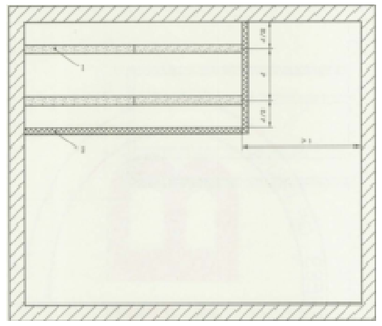


2.5.8）观众席座椅

- 由于座椅的吸声量占整个观众厅总吸声量的比例最大（通常占到 1/2 到 2/3 左右），因此对观众厅内的混响时间指标起到决定性因素。要求座椅在空座和有人座时，其吸声量化尽可能较小，以减少不同上座率条件下，观众厅混响时间变化不明显。为此对观众厅内座椅提出以下声学要求：

频率（Hz）	125	250	500	1000	2000	4000
观众席吸声系数（空场）	0.20-0.30	0.50-0.60	0.65-0.75	0.65-0.75	0.65-0.75	0.65-0.75

（以上数据要求允许有±0.05 的误差，厂商应提供混响室实测座椅的吸声性能数据，测试方法严格按照 GB/T 20247-2006《声学 混响室吸声测量》，安装方法建议采用“应用不吸声环绕挡板的 J 类安装示例二”见下图，试件安装占地面积应为 10 ㎡～15 ㎡，座椅安装建议：3 排×6 座=18 座或 4 排×5 座=20 座）



- 座椅靠背的上边及两侧边宜留一段装饰木框边，以减少声吸收。
- 建议座椅采用木靠背及硬木扶手，坐垫和靠背内软垫层尽可能薄一些，建议坐垫厚度宜不超过 10cm，靠背厚度宜不超过 7cm。
- 座椅翻板要求人站起时需自动弹起，翻板应有阻尼装置，碰撞声应尽量小，最大冲击噪声宜低于 NR-20。
- 座椅送风柱底部应设散流装置，以合理分配气流，调整风速，减少出风口气流噪声。

3、剧场声学设计

3.1 大剧院使用功能

大剧院为甲等剧院。

大剧场可容纳观众 1600 人，可以演出大型歌剧、舞剧、音乐会、大型综艺及举办两会活动等

以电声为主，建声为辅。

3.1.1）容座：1600 座（不含乐池临时座椅）

池座为 966 座，一层楼座为 382 座，二层楼座为 252 座。另外升降乐池可加座 80 座，池座前区两侧共设有 4 个残疾人席位。

3.1.2）建筑概况

厅内建筑尺寸：最宽处 33m，最大进深 33.2m，平均高约 15.3m；

舞台开口：18.0m×12.0m，舞台面高度比第一排观众席高 1.0m；

台口两侧观众厅内设置二道耳光室；天花设二道面光天桥，一道追光；

池座观众席为全台阶形式，共 23 排（不包括乐池区域的临时座位），前后高差（总起坡）为 4.50m，平均起坡为 0.20m；

楼座为全台阶形式，一层楼座共 8 排，前后高差（总起坡）为 2.75m，平均起坡为 0.39m；二层楼座共 5 排，前后高差（总起坡）为 2.00m，平均起坡为 0.50m；

观众席前部设升降乐池，开口尺寸约为：最大长约 19m，平均宽约 4.5m，面积约 80m^2；

舞台包括主舞台和侧舞台；

主舞台尺寸：长：32m，深：25m，高约 32m（到衍架底），面积约 800 m2；

左侧舞台尺寸：长：25m，深：21m，高约 16m（到梁底），面积约 525 m2；

右侧舞台尺寸：长：25m，深：21m，高约 16m（到梁底），面积约 525 m2；

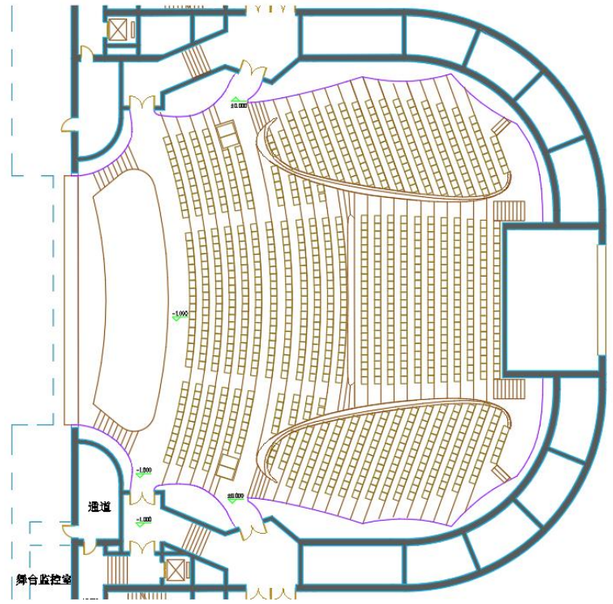
后舞台尺寸：长：23m，深：22m，高约 13m（到梁底），面积约 506 m2；

主舞台栅顶：三层天桥标高分别为：13.6m、20.8m 及 24.8m；

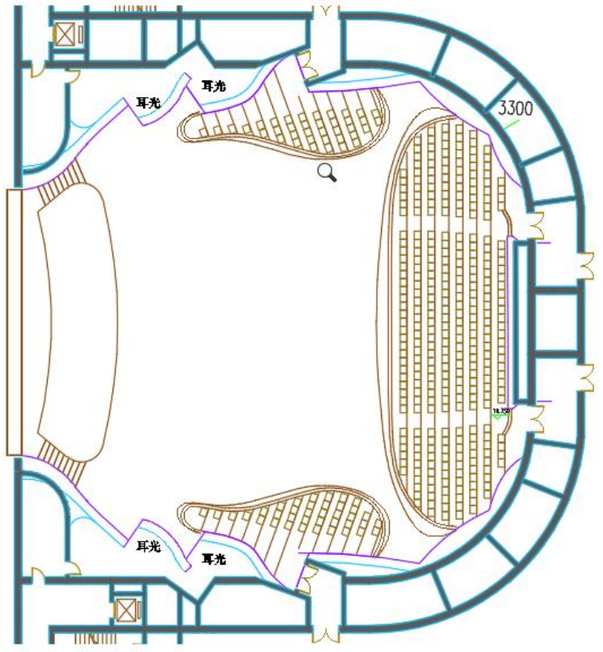
舞台上设升降舞台等机械化舞台；

主扬声器设于台口前部；

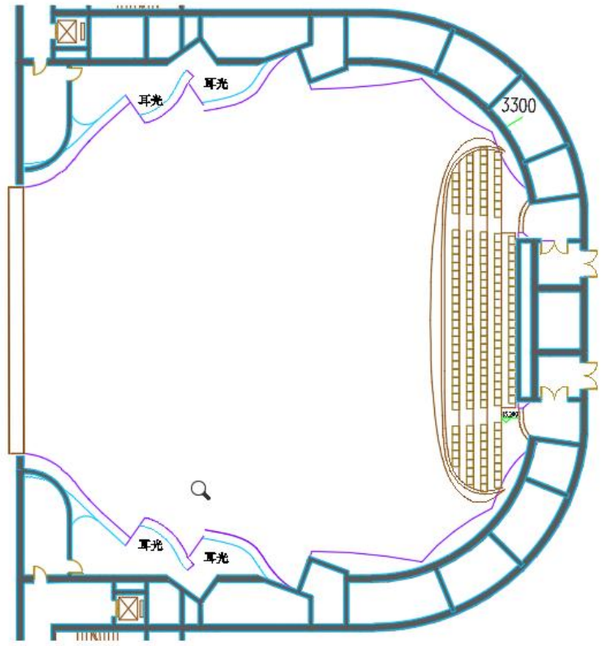
声控室、光控室设于池座后区的中部。



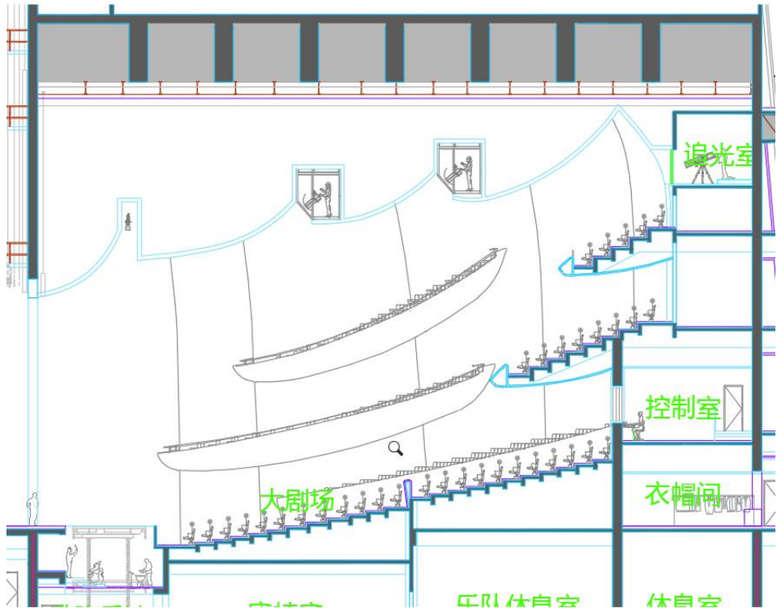
大剧院池座平面图



大剧院一层楼座平面图



大剧院二层楼座平面图



大剧院剖面图

3.1.3）音质设计指标

1）中频满场混响时间 RT：

演出状态：1.40±0.10s

2）混响时间频率特性：

低频比重：1.1～1.3（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.8～1.0s（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

3）侧向反射系数 LF_{E4}：15%～35%

4）声场力度 G_{mid}：-1.0～2.0dB

5）音乐明晰度 $C_{80(3)}$(空场）：1.0～3.0

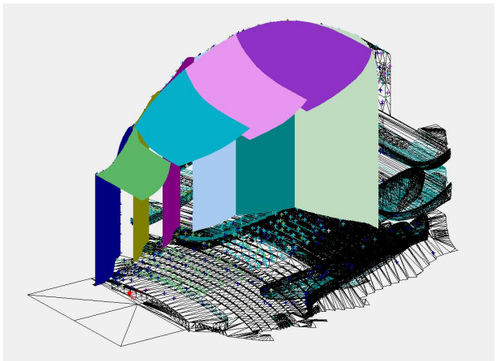
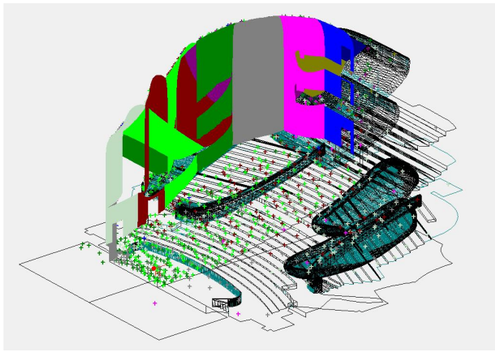
6）本底噪声：NR-25

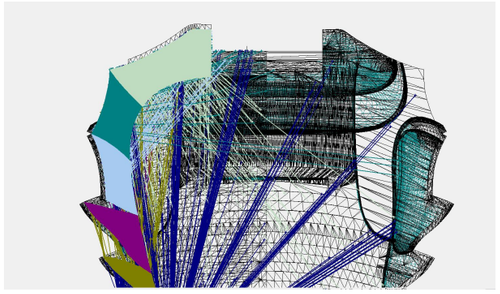
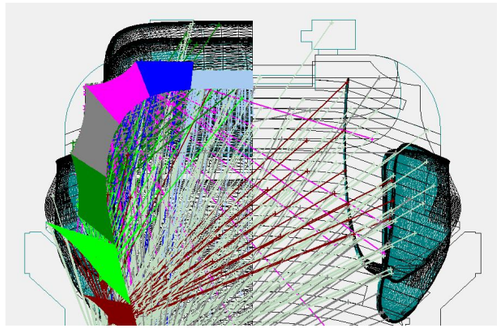
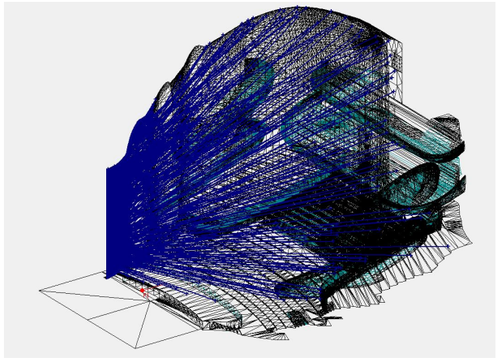
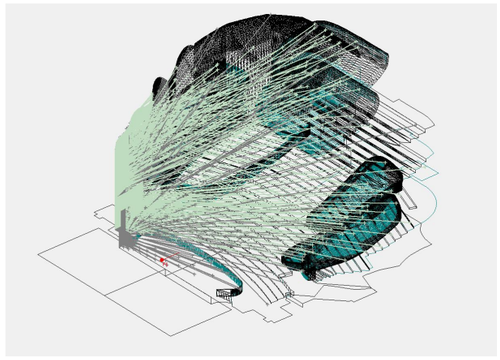
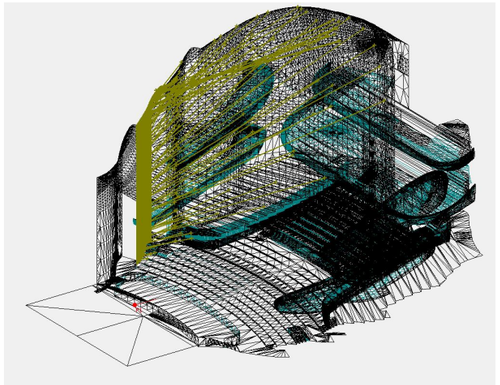
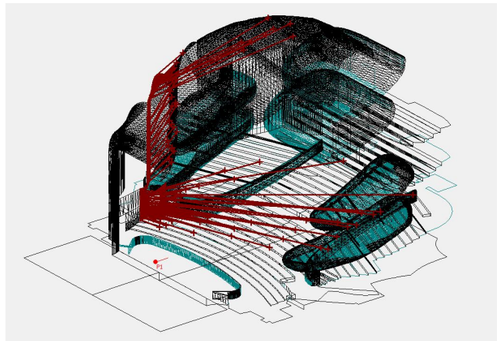
7）每座容积：7～9m^3/人

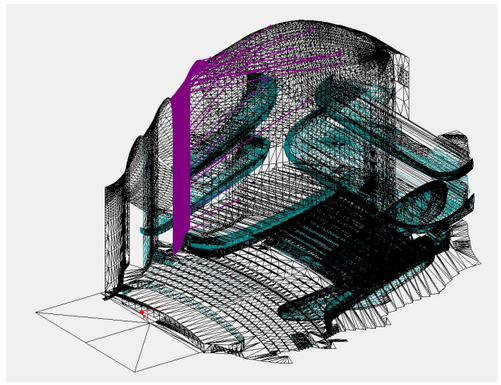
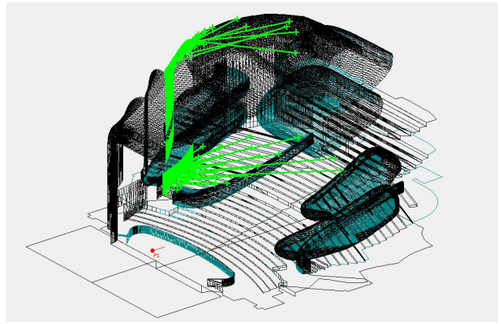
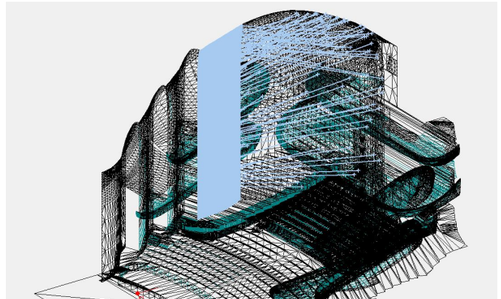
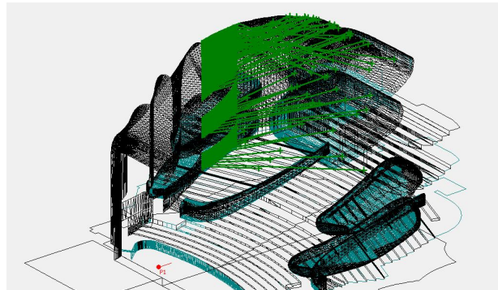
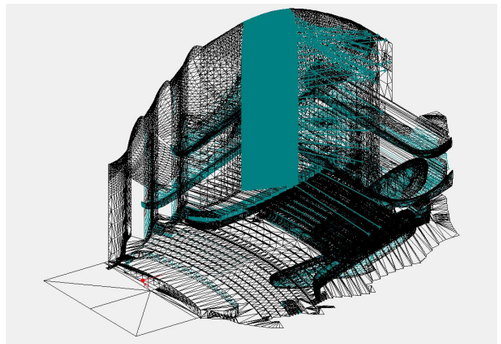
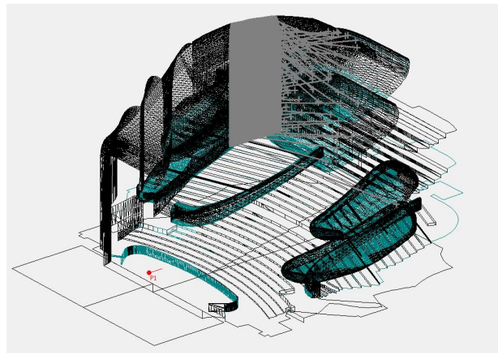
8）厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

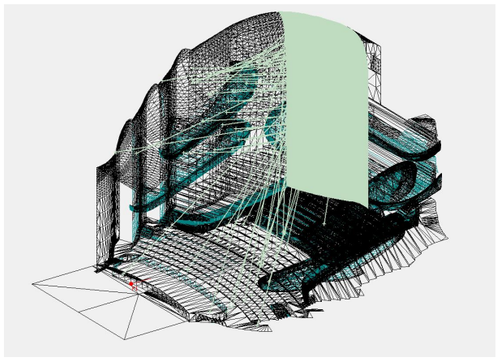
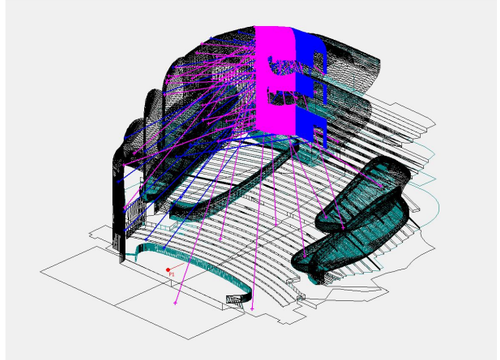
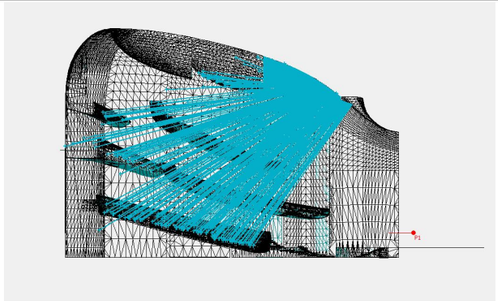
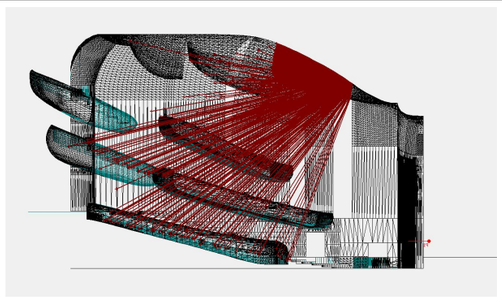
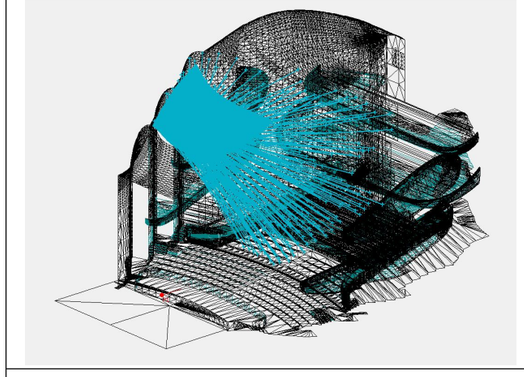
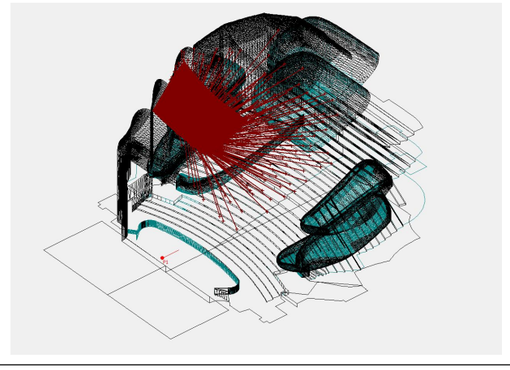
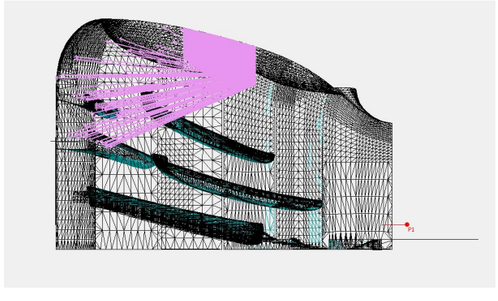
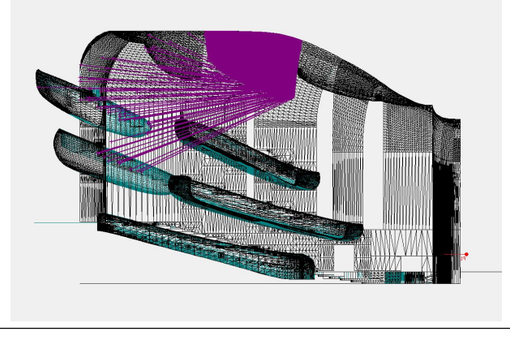
3.2 大剧院声线分析

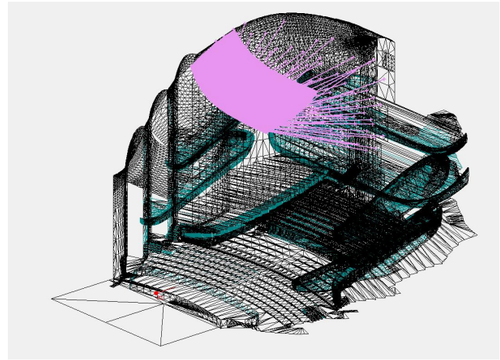
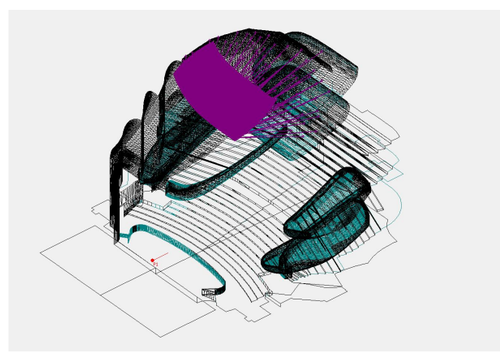
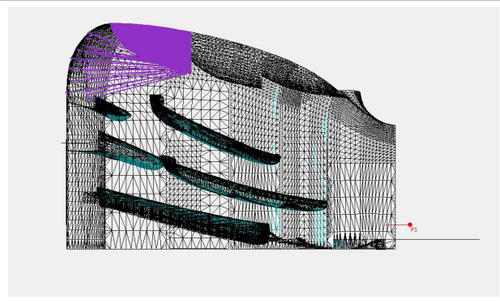
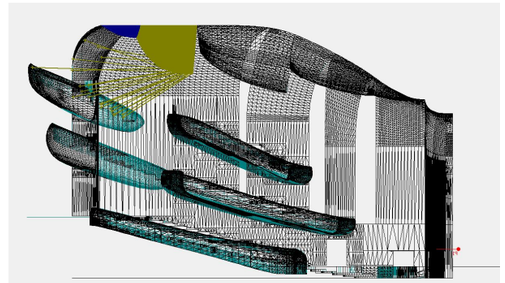
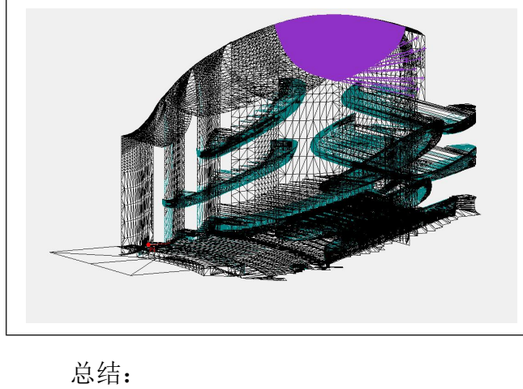
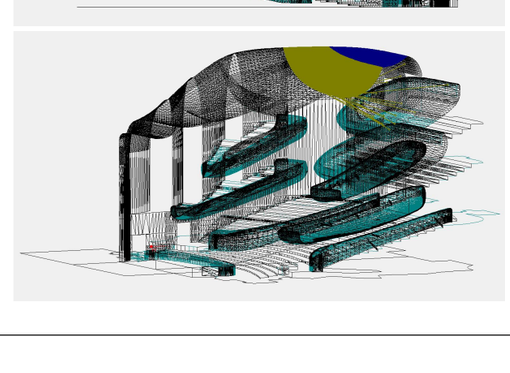
大剧院在 2021 年-2023 年持续优化顶部、墙面玻璃分隔。

原版声线分析	现模型声线分析
	

原版声线分析	现模型声线分析
	
	
	

原版声线分析	现模型声线分析
	
	
	

原版声线分析	现模型声线分析
	
	
	
	

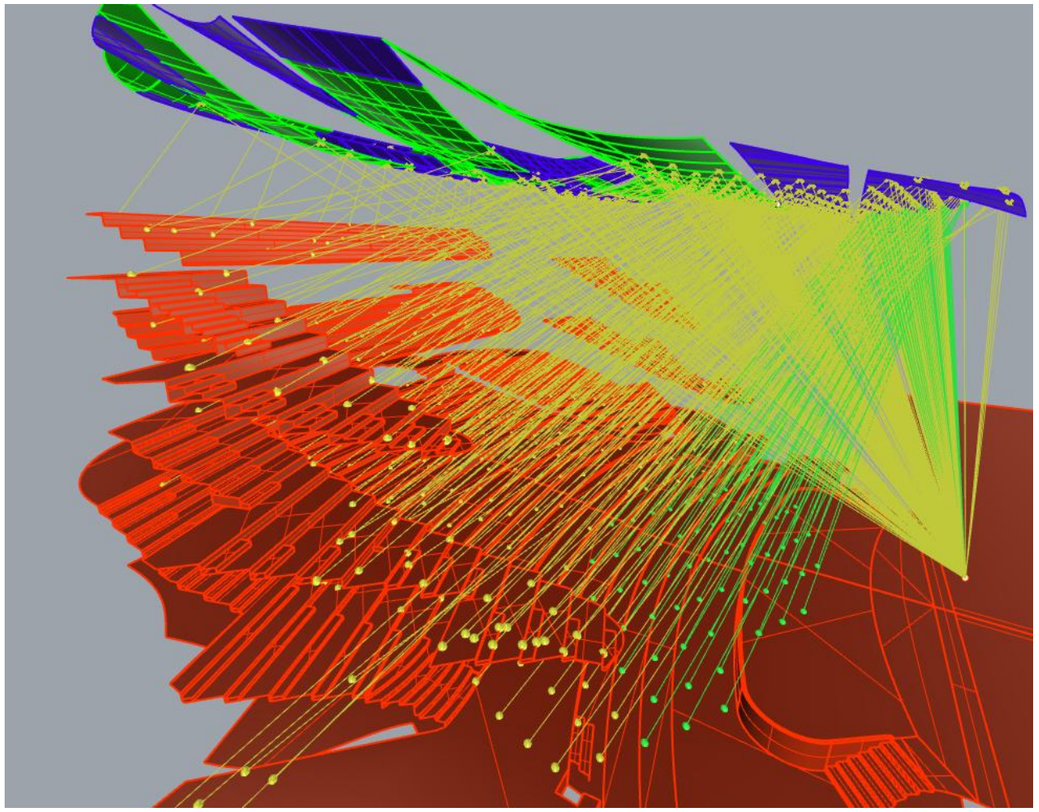
原版声线分析	现模型声线分析
	
	
	

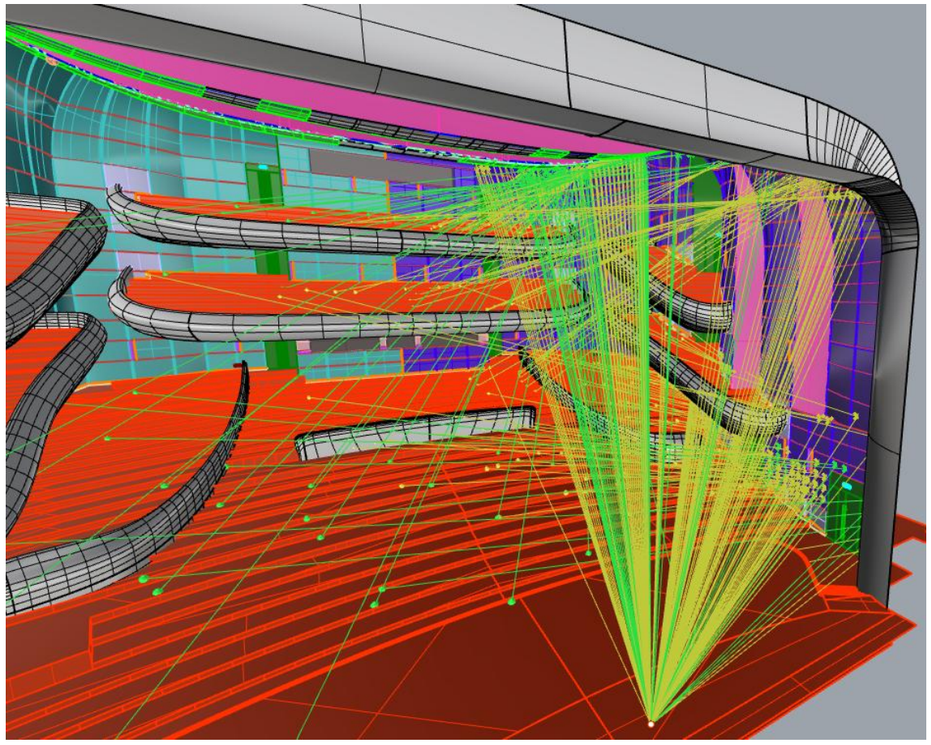
总结：

1）吊顶声反射

声反射整体均匀。

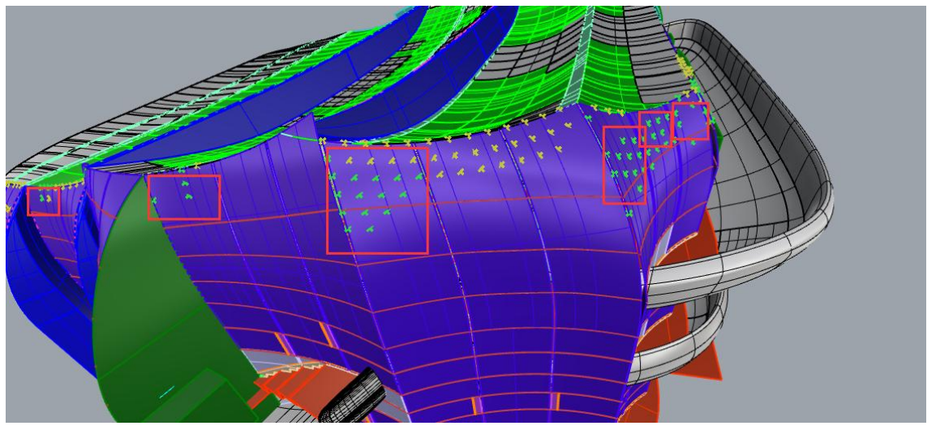
声线效果如附图。





2）墙面声反射

经检查，墙面反射声基本均匀。但吊顶和墙面的交接位置存在一次反射声声程差超过 50ms 的情况。下图示例的红框范围内的对应玻璃应表面做扩散肌理。



3.3 音质计算

3.3.1）体积与各部分面积核算

1）体积及每座容积

V=13260m^3

每座容积 V/N=13260/1600=8.3m^3/人

2）各部分面积

舞台开口面积 S1=18×12=216m^2

地面面积 S2=1623m^2

其中观众席面积=985m^2

伸出舞台面积=117m^2

走道面积=521m^2

吊顶面积 S3=1434m^2

其中面光桥开口面积=50m^2

墙面面积 S4=1906㎡

其中耳光开口面积=40㎡

栏板面积 S5=684㎡

总面积 S=S1+S2+…+S5=5863㎡

3.3.2. 厅内混响时间计算

1）室内空气吸声量的计算

取室内温度为 20℃，湿度为 60%，$V_{总}$=13260m³

项目	500	1000	2000	4000
4m	0.0025	0.0044	0.0085	0.0234
4mV	33	58	113	310

2）厅内座椅吸声量的计算

座椅面积：985m²

频率（Hz）	125	250	500	1k	2k	4k
空座椅的吸声系	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
空座椅的吸声量	394	591	699	719	729	729
满座椅的吸声系	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
满座椅的吸声量	621	729	808	837	847	847

注：座椅吸声系数按座椅的单位占地面积计。

3）厅内混响时间控制设计计算

$V_{总}$=13260m³，$S_{总}$=5863m³

项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1k	2k	4k
			αA	αA	αA	αA	αA	αA
舞台	开口	216	0.45	0.60	0.65	0.65	0.65	0.65
			97	130	140	140	140	140
地面	乐池/伸出式舞台	117	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
	舞台专用木地板		22	15	13	13	13	13
	走道	521	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04
	木地板（实贴）		47	31	26	26	26	21
墙侧	玻璃饰面	1866	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
			280	224	187	149	131	112
	耳光开口	40	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.50
			12	14	16	18	20	20
栏板	木饰面、玻璃饰面（面密度≥40kg/m2）	684	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
			103	82	68	55	48	41
天花	玻璃饰面（面密度≥40kg/m2）	1384	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
			208	166	138	111	97	83
	面光口	50	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.50
			15	18	20	23	25	25
空场混响时间	空场观众席吸声量	985	394	591	699	719	729	729
	Sα		1177	1271	1308	1254	1229	1184
	α		0.20	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20
	[-ln(1-α)]		0.22	0.24	0.25	0.24	0.24	0.23
	S[-ln(1-α)]		1314	1432	1480	1411	1379	1323
	S[-ln(1-α)]+4mV		1314	1432	1513	1469	1492	1633
	空场 T60		**1.63**	**1.49**	**1.41**	**1.45**	**1.43**	**1.31**
满场混响时间	满场观众席吸声量	985	621	729	808	837	847	847
	Sα		1403	1408	1417	1372	1347	1302
	α		0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22
	[-ln(1-α)]		0.27	0.27	0.28	0.27	0.26	0.25
	S[-ln(1-α)]		1604	1611	1621	1563	1530	1473
	S[-ln(1-α)]+4mV		1604	1611	1655	1621	1643	1783
	满场 T60		1.33	1.33	1.29	1.32	1.30	1.20

3.4 剧院声学要求

3.4.1）吊顶：

拟采用玻璃或类玻璃材质，面密度需 50Kg/m2。根据面密度核算，玻璃总厚度应大于20mm。 从控制造价考虑，吊顶玻璃保持平滑玻璃面。

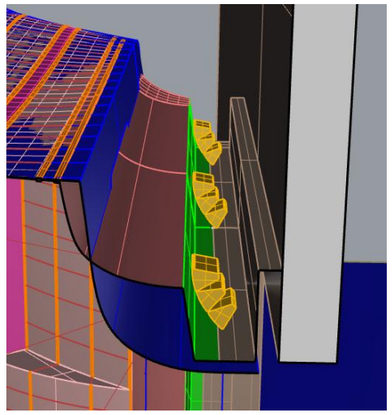
玻璃厚度选择：10mm+胶膜+10mm，玻璃面密度≥50kg/㎡。玻璃材质面密度不低于2500kg/m³ 。

3.4.2）墙面

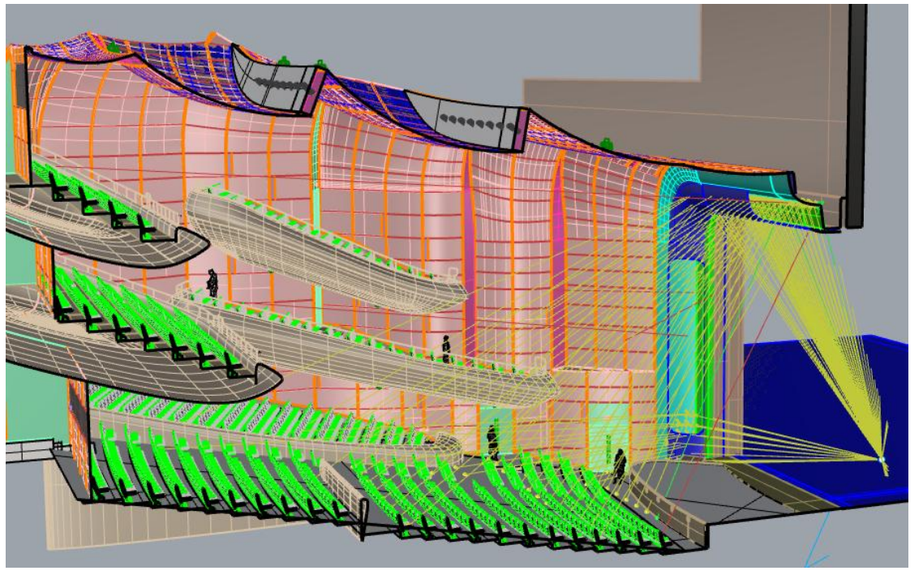
3.4.2.1）台口

台口部分墙面要求使用 GRG 材质，材质面密度≥60kg/㎡。

- 根据模型对比，本次模型主要优化位置为剧场台口与考虑台口区域的顶部进行优化，以使用台口扬声器的设置。



- 根据三维声线分析，优化后造型声线反射可以满足声学需求。



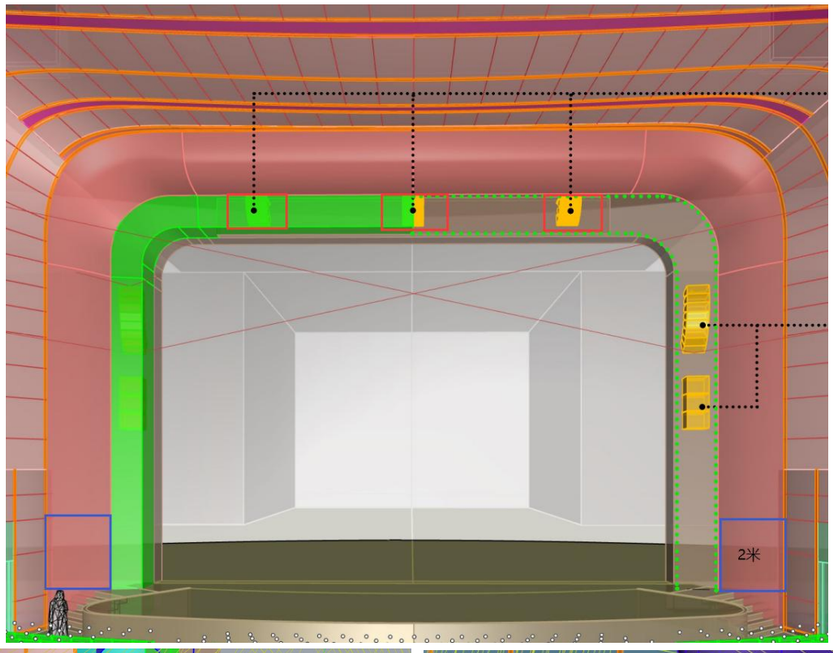
另有几点需要注意：

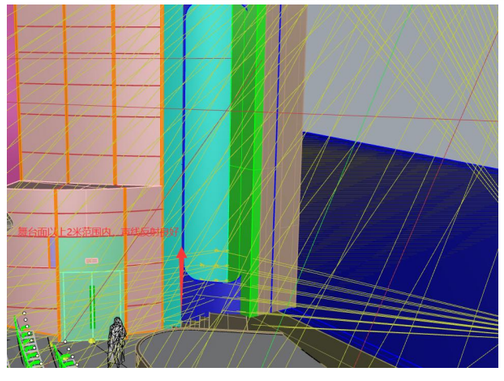
① 红色区域应有 3-5° 倾角。

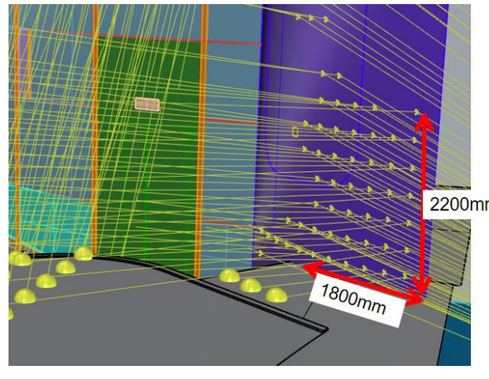


② 建筑声学要求，台口扬声器应尽量靠近绿色区域，并按可以接受的最小面积做开口处理（例如下图红色框示意）。避免在绿色区域做通长开口。

另蓝色框（舞台面上 2.2 米高度内）不宜设音响开口，此区域有声学反射作用。







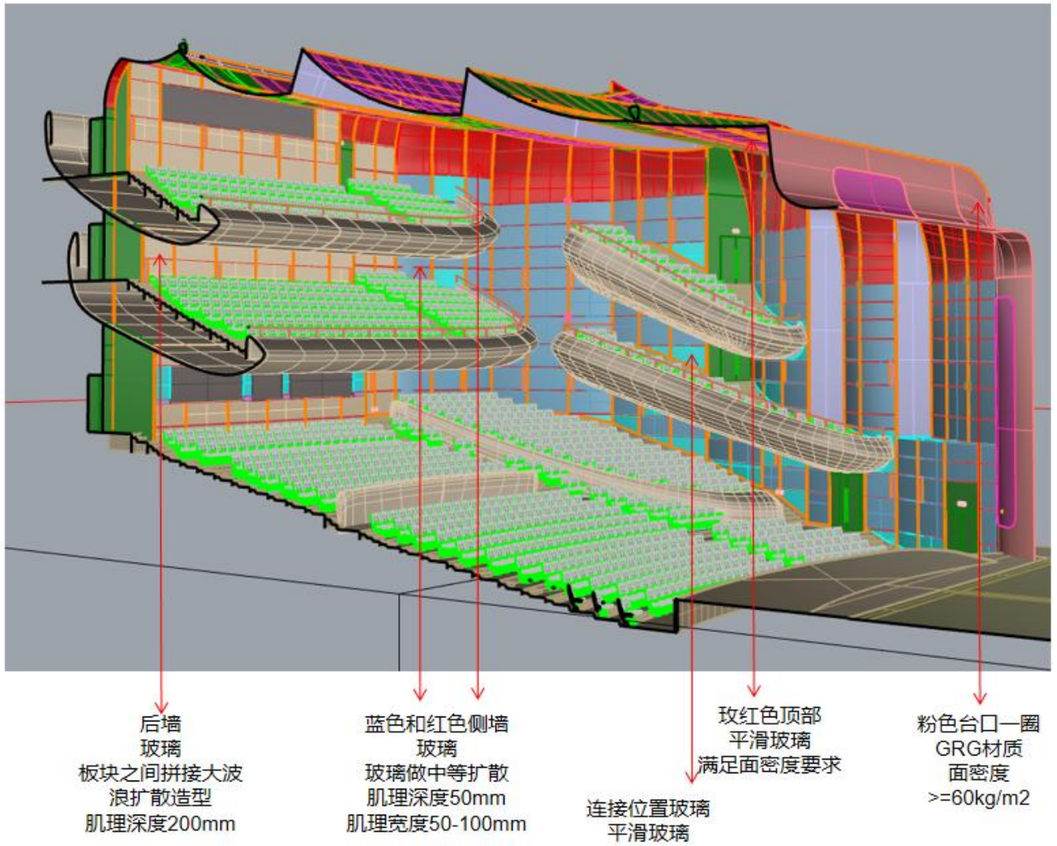
台口墙面音响口开洞应避开建筑声学重要反射区。如下图所示范围，均应避免开音响孔洞。

3.4.2.2）玻璃墙面

大剧场玻璃墙面要求材质面密度≥40kg/㎡。

玻璃厚度选择：8mm+胶膜+8mm。玻璃材质面密度不低于 2500kg/m³ 。

玻璃根据不同墙面位置做不同扩散肌理。

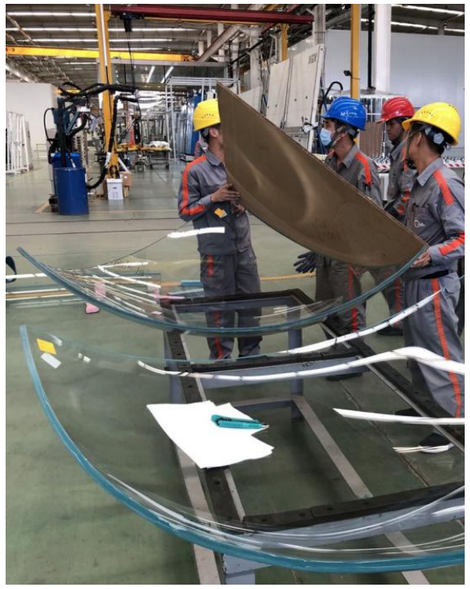




材料案例- 起伏纹理 20-30mm 前区



起伏纹理 50mm 中区



起伏纹理 100-200mm 后区

声学要求项目对玻璃区域做声学性能测试。测试内容包含：玻璃自身固有频率测试、玻璃吸声系数、玻璃表面肌理的散射系数。

1）玻璃自身固有频率测试

测试要求：测试时，玻璃后部的安装结构完整，越接近真实条件越好。玻璃样板为 1:1。

测试场地：样板段现场。

测试描述：

玻璃与其框架按实际情况搭建后，在玻璃表面放置若干测试点。对构造整体的固有频率进行测试。

2）玻璃吸声系数

测试要求：提供 10 平方米的样品进行测试。测试时，玻璃后部带简单安装构造。

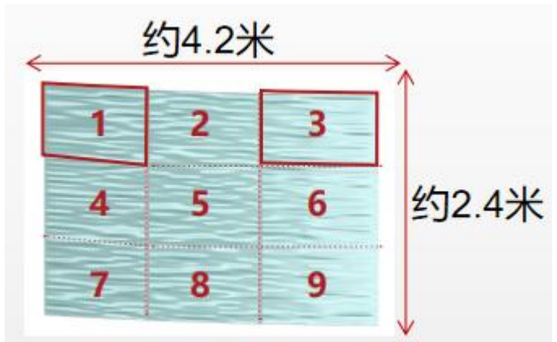
测试场地：声学实验室。

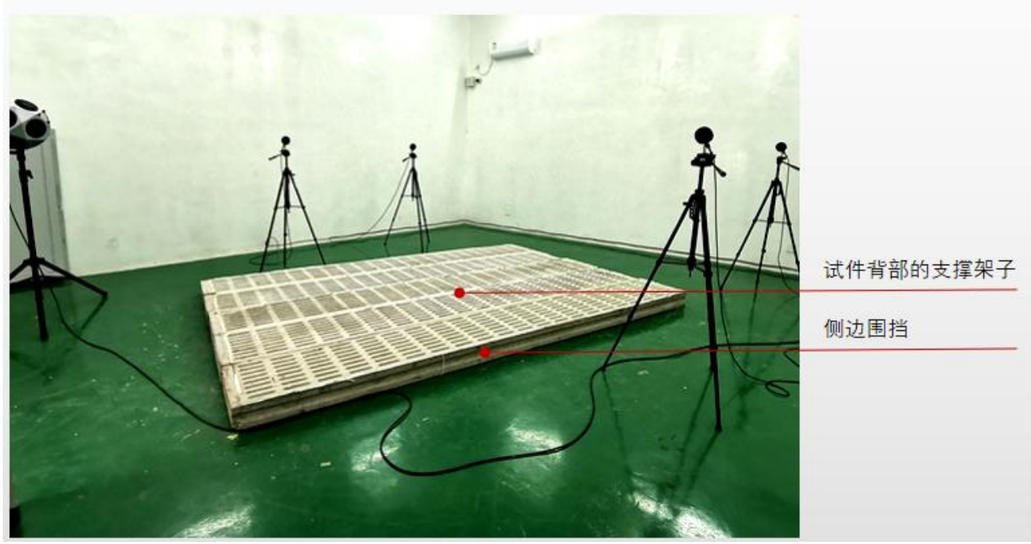
测试描述：

测试时，玻璃试件（各块玻璃拼接后）的尺寸宜控制在 2.4 米×4.2 米的尺寸范围，试件总面积 10.08 平方米。由于试件为玻璃，尺寸分割不灵活，实际测试面积可以适当大于测试规范要求。所以单块玻璃的尺寸设定控制在 2.6 米×1.35 米，实际使用 3-4 块玻璃，即可以满足测试需求。

单块玻璃和玻璃之间打胶处理，实验室可做打胶处理，或由玻璃厂家进行打胶处理。

测试用玻璃可以用 8mm+胶片+8mm 的玻璃，或者 10mm+胶片+10mm 的玻璃，或者两者组合。玻璃表面的肌理可混合。





实验室的门尺寸为 2 米×1.6 米，所以单块玻璃试件的尺寸划分应充分考虑可进出实验室门。

3）玻璃表面肌理的散射系数

测试要求：不同表面肌理的玻璃，进行分别测试。测试时，可不带安装构件。散射系数的面积则根据实验室要求。

测试场地：声学实验室。

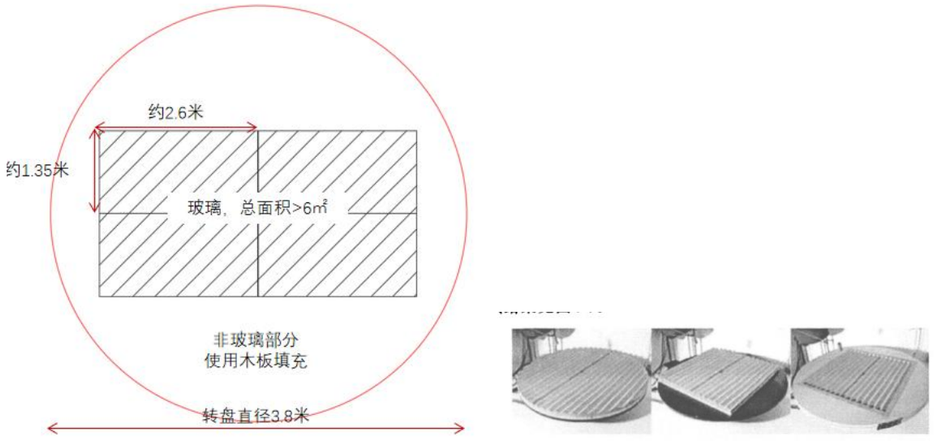
测试描述：

测试时，玻璃试件（各块玻璃拼接后）的面积要求不小于 6 ㎡。内嵌入一个直径在 3.8 米的转盘内。试件和转盘之间的空隙将使用木板进行填充，填充物由实验室提供。

试件应选择 3 种肌理形式。如下图所示。



由于单块玻璃将被控制在 2.6 米×1.35 米的尺寸范围，所以测试散射系数时，2-4 块玻璃即可满足实验室测试要求。



“玻璃和转盘的位置示意”与“实验室测试实景照片”

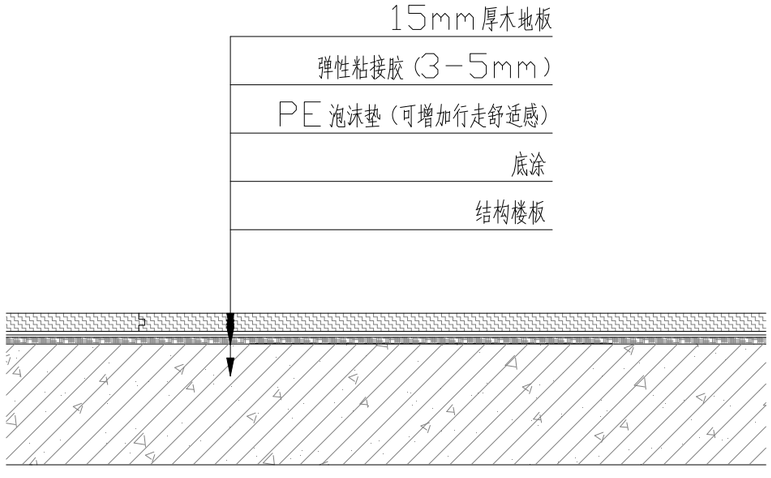
- 声学建议的测试顺序：

声学测试对样品本身没有破坏性。但由于玻璃试样本身属易碎品，请玻璃厂家协助配合测试。根据对玻璃安装构件的要求，建议测试顺序：1）散射系数测试；2）吸声系数测试；3）VMU 样板现场进行自身固有频率测试。

3.4.3）地面

做法 1：实贴做法。

声学设计要求地板面料为贴实材料，如用木地板，则必须注意将龙骨间隙填实，以避免地 板共振吸收低频。观众厅内走道部位建议可铺设薄地毯，以防滑并避免脚步走动噪声。也可以 考虑采用新型软木地板面层，同样可以起到装饰、防滑和降低脚步走动噪声的作用。

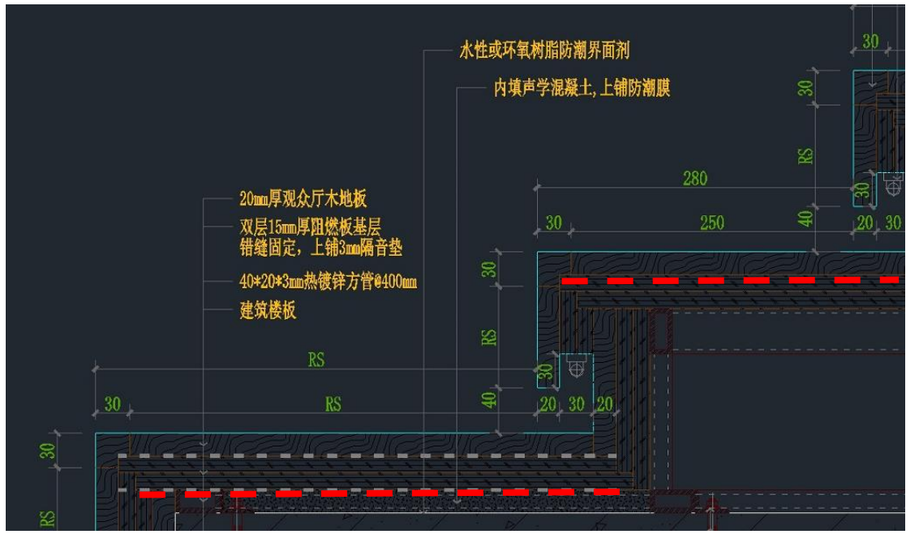


地面做法示意图

做法 2：有木龙骨的地面做法。

观众席地面应采用木地板，地板龙骨内填充“声学混凝土”密实空腔，以防止地板构造对低频声能量产生过多的吸收。声学混凝土通常可以选择轻质混凝土，例如陶粒混凝土、轻骨料混凝土等。根据项目施工工艺要求，可选择湿法工艺填充，或预制板块填充。

为了防止观众的脚步噪声过响，应在木地板和其做法构造基层板中设置一层 3mm 隔音垫。做法如下图红色区域所示：



3mm 隔音垫满足下述性能：

(5) 静刚度≥0.02 N/mm³

(6) 动静刚度比≤1.35

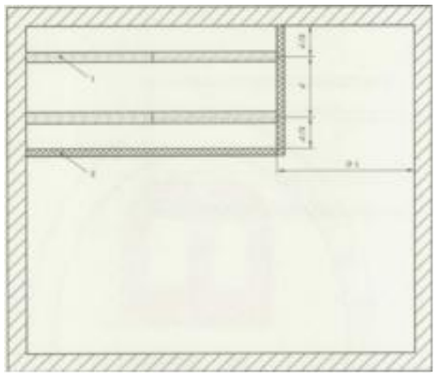
(7) 压缩永久变形≤5.0%

(8) 撞击声隔声改善量△Lw≥8dB

3.4.4）座椅

1.座椅空场吸声系数要求

频率	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
每平方米座椅吸声系数（空场）	0.30~0.45	0.40~0.50	0.70~0.80	0.70~0.80	0.70~0.80	0.70~0.80





厂商应提供混响室实测座椅的吸声性能数据，测试方法严格按照 GB/T 20247-2006《声学混响室吸声测量》，安装方法建议采用“应用不吸声环绕挡板的 J 类安装示例二”见下图,挡板高度宜为 1.2m；试件安装占地面积应为 10 ㎡～15 ㎡，座椅安装建议：4 排×5 座=20 座）

2.要求座椅在空座和有人座时，其吸声量化尽可能较小，以减少不同上座率条件下，观众厅混响时间变化。

3．建议座椅采用木靠背及硬木扶手。

4．座椅的底面宜做吸声处理。

5．座椅垫翻动时应有阻尼装置，不产生噪声，也无碰撞声。

6．座椅翻动时产生噪声应低于 NR-20。

3.4.5）舞台墙面

大剧场内为了避免舞台空间与观众厅空间之间因耦合空间而产生的不利影响，声学设计要求舞台空间内的混响时间应基本接近观众厅的混响时间。声学设计要求在舞台侧墙面做吸声处理（下图红色区域部分）。

具体吸声做法：

3 米以下部分：20 厚防撞木丝板（喷黑色水性涂料）＋75 系列轻钢龙骨，详见下图；

3 米以上部分：5mm 厚穿孔率 20%的穿孔石膏板（黑色）＋75 系列轻钢龙骨、内填 50 厚 32kg/m3 离心玻璃棉（外包玻璃丝布）。

3.4.6）乐池

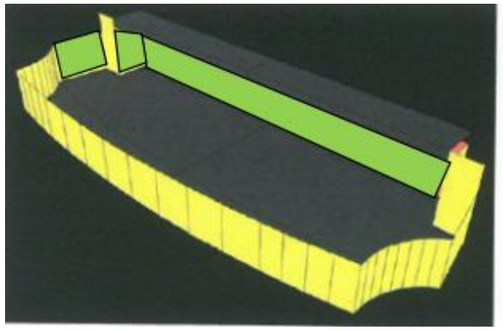
乐池的声学要求是将音乐清晰而无畸变地投向大厅中去，平衡和融洽更好，没有音色失真。同时也向舞台的表演者提供一定的反射声，起到声反馈的座椅。为使歌唱和乐队有良好的融洽，歌唱者一定要能听到清晰而平衡的乐队声音，这样才能恰当地调节他们的歌喉。乐池中乐师之间能够很好的相互听闻，同时乐师们也要能听到歌唱声以保持良好的融洽。

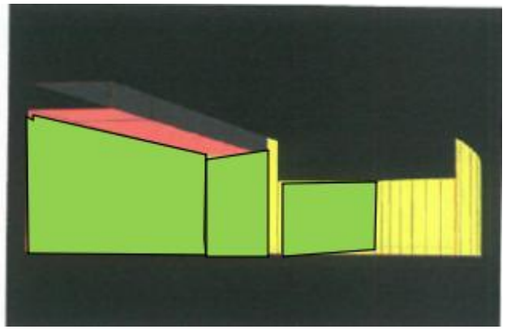
至于视觉要求，演唱者和乐师们都要很方便地看到指挥。

乐池内缩进部分声压级会过响，不仅对乐师的听力有损害，而且会产生干扰，乐师听不到台上歌唱者的声音而难以沟通。因此在缩进部分做一些吸声处理，部位可在两侧墙和部分后墙。

吸声材料为 18mm 厚木穿孔吸声板，后衬 100mm 吸声空腔，吸声空腔内填 100mm32kg/m3 离心玻璃棉（玻璃棉外包玻璃丝布）。吸声面积约占侧墙面面积的 1/2，均匀分布。或 25mm 厚织物软包定型吸声板（直贴）。

乐池墙面吸声区域如下图绿色所示。红色区域主要起反射作用。在项目池座空间高度不足的区域，红色区域不做吊顶。若池座空间高度允许，应做石膏板吊顶。石膏板吊顶可呈 3° 左右的角度，更有利于声音向乐池外扩散。此区域的天花的面密度应≥ 20kg/m2，可采用 2 层 12 毫米石膏板。





4、多功能厅（小剧场）声学设计

4.1 使用功能

以举办话剧表演及宴会功能为主要功能，声源以电声为主。其设计和形式灵活，适应观演、集会、宴会功能的需要。表演/会议模式下，可容纳观众规模约为 500 座。宴会模式下，可作为容纳 500 人的用餐餐厅。



剧场模式



会议模式



宴会模式

4.2 音质设计指标

1）中频混响时间 RT：

宴会模式下，空场混响时间 RT≤2.0s

剧场/会议模式下，满场混响时间 RT=1.1±0.1s

2）混响时间频率特性：

低频比重：1.0～1.2（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.9～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

3）侧向反射系数 LFE4：15%～35%

4）响度 G

中频声场力度 G_{mid}：0.0~5.0dB

5）本底噪声：NR30

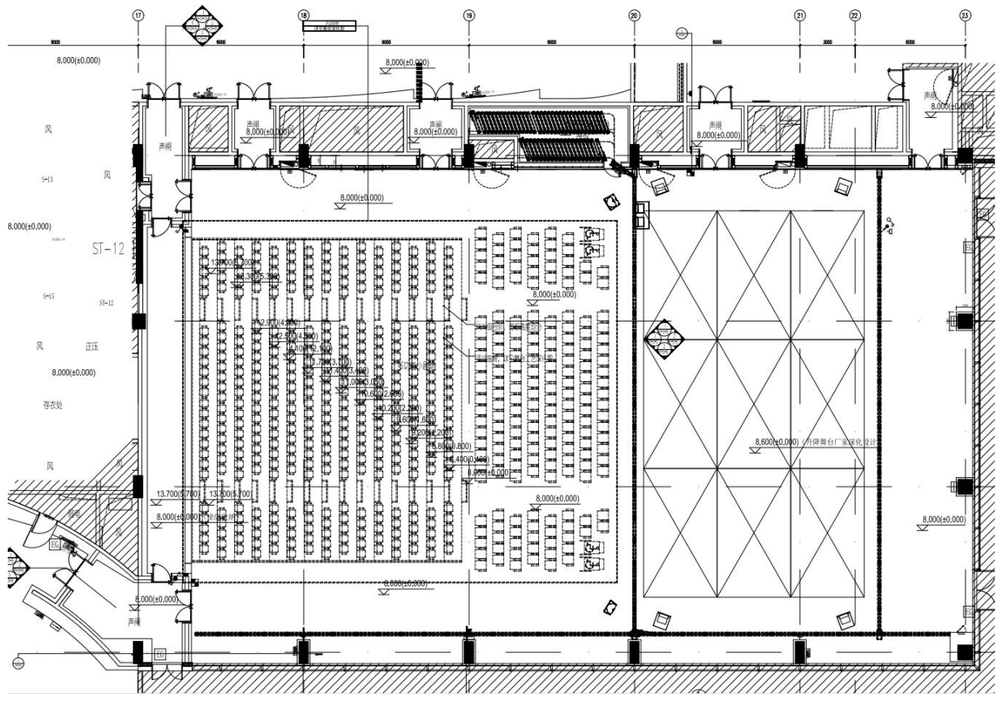
6）每座容积：10～12m³/人

7）厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

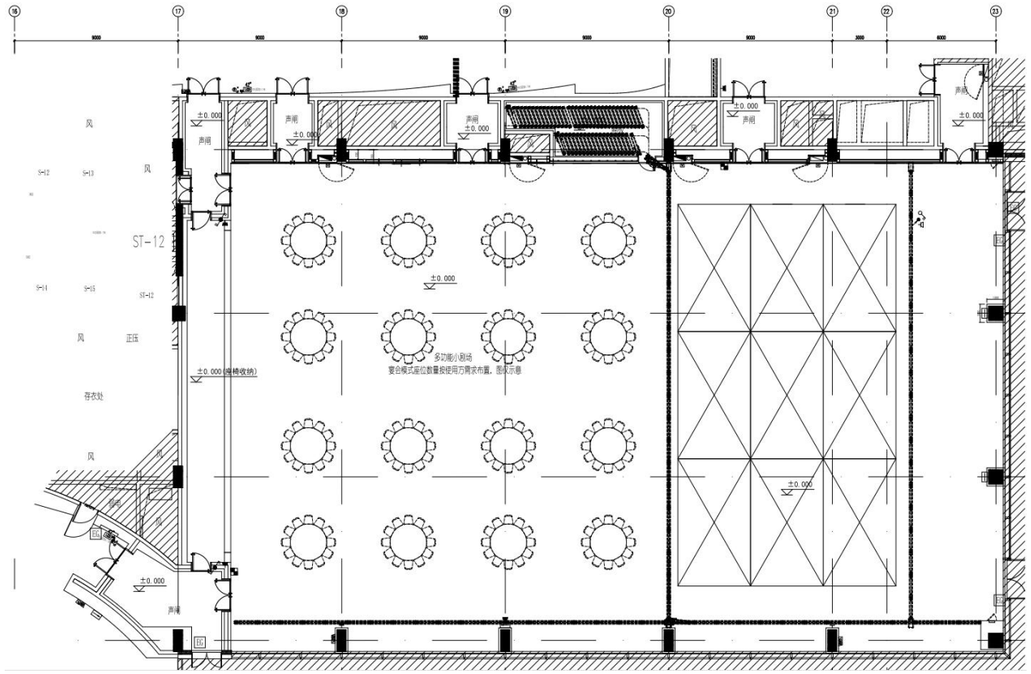
4.3 音质设计

4.3.1 建筑概况

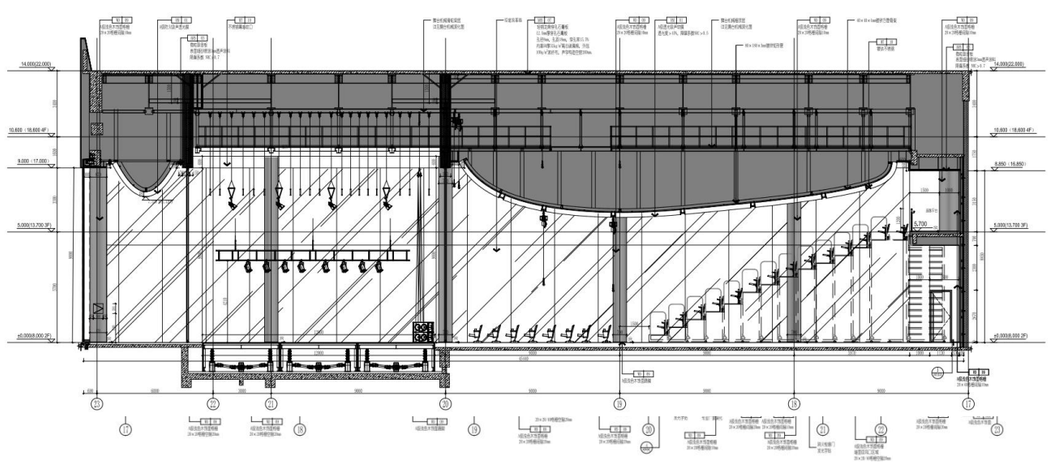
建筑的平剖面图参见下图。



剧场平面图（演出模式）



剧场平面图（宴会模式）



剧场剖面图

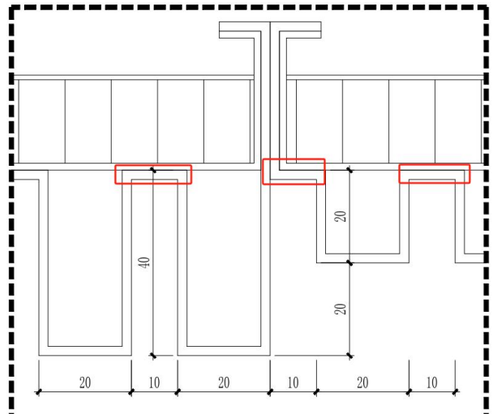
4.3.2 材料做法要求

① 多功能厅的侧墙

该观众厅基本呈鞋盒型，有较为均匀的侧向声反射。要求同时具备较高的扩散系数和一定的吸声系数，以应对不同使用功能下的声环境要求。

材料采用 A 级浅色木饰面格栅，材料要求：20mm 宽 x20mm 深/40mm 深，净间距 10mm(回风墙面 20mm 空隙，背面留空衬金属网，色同木皮)

防火 A 级铝衬底浅色木皮，木皮厚度 0.35mm，背后贴覆 1.5mm 厚铝格栅(内部采用大于 80kg/m^3 岩棉填实，端部封堵)



建议 10mm 间隙内（红框内）填吸声内衬包木色布。示意图如下：



两侧墙均设置活动声学帘幕，要求面密度≥300g/m^2，打折率 200%，降噪系数 NRC≥0.75，距离墙面至少 100mm 的位置，需注意避让活动隔断。在会议室模式下帘幕展开。建议使用彩绒呢， 灯芯绒和来福呢质地。



参考声学帘幕样式图

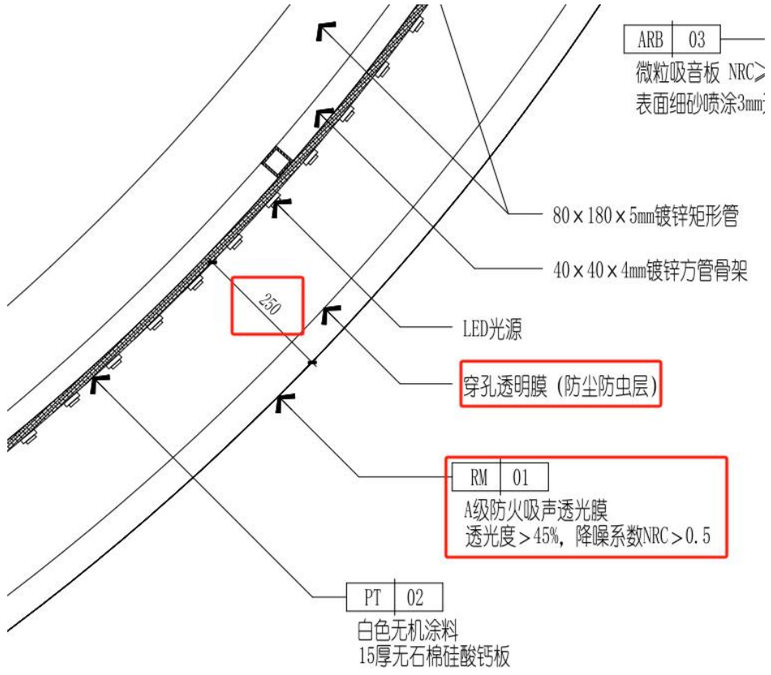
② 多功能厅的后墙

材料采用 20mm 宽 x 50mm 深，净间距 10mm，防火 A 级铝衬底浅色木皮，木皮厚度 0.35mm，微孔处理（孔径 0.5mm，穿孔率 5.9%），背后填 50mm 厚，48kg/m³ 离心玻璃棉，外包 100g/m² 透声玻纤布，透空率>80%.

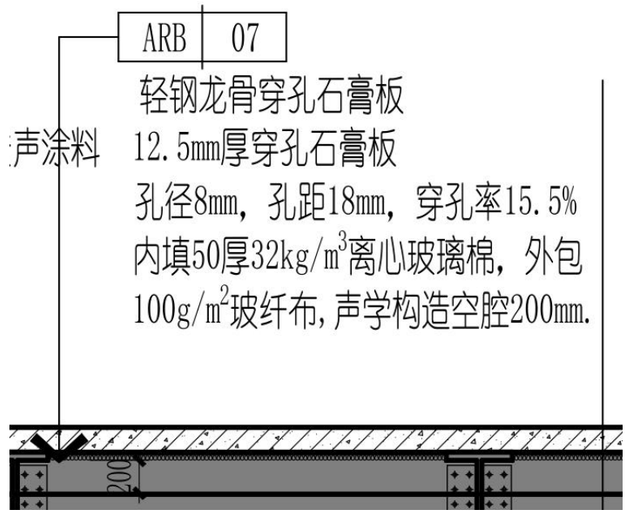
降噪系数 NRC>0.75。

③ 多功能厅的吊顶

观众厅大面采用吸声透光膜，A 级防火吸声透光膜，透光度>45%，降噪系数 NRC>0.5。节点如下：



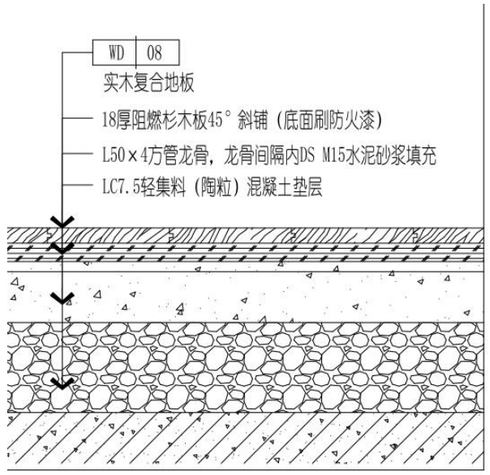
剧场观众厅顶板下采用 12.5mm 厚穿孔石膏板（孔径 8mm，孔距 18mm，穿孔率 15.5%）内填 50 厚 32K 离心玻璃棉，外包 100g/m² 玻纤布，空腔 200mm。节点如下：



局部吊顶采用微粒吸音板，表面细砂喷涂 3mm 透声涂料，降噪系数 NRC 大于 0.7。

④ 多功能厅的地面

实木复合地板，节点如下：



⑤ 多功能厅的活动隔断

定制半自动活动隔断，活动隔断由供货商提供产品实验室测试报告，产品实验室隔声量不低于 STC-52。产品现场隔声量检测要求满足 Dn,t，w+C>35dB，隔断面密度要求>30kg/m^2。隔断表面木饰面格栅深度 20mm，表面微穿孔。

活动隔断上方采用轻钢龙骨石膏板（50 龙骨+双面双层 12 厚纸面石膏板错峰拼接）封堵。

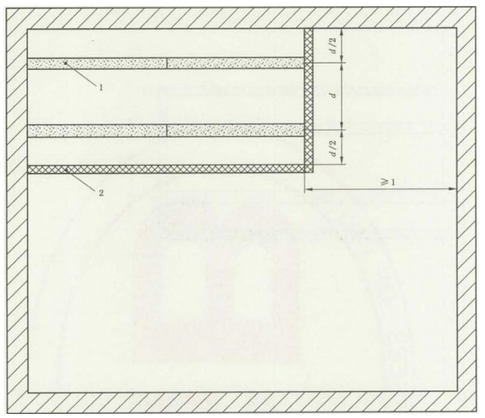
1. 座椅做法要求

由于座椅的吸声量占整个观众厅总吸声量的比例最大（通常占到 1/2 到 2/3 左右），因此对观众厅内的混响时间指标起到决定性因素。要求座椅在空座和有人座时，其吸声量化尽可能较小，以减少不同上座率条件下，观众厅混响时间变化不明显。为此对观众厅内座椅提出以下声学要求：

座椅的吸声系数宜控制在下表所列数据：

频率	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
每平方米座椅吸声系数（空场）	0.25~0.35	0.42~0.50	0.45~0.55	0.55~0.65	0.55~0.65	0.55~0.65

以上数据要求允许有±0.05 的误差，厂商应提供混响室实测座椅的吸声性能数据给顾问审核，测试方法严格按照 GB/T 20247-2006《声学 混响室吸声测量》，安装方法建议采用“应用不吸声环绕挡板的 J 类安装示例二”见下图，挡板高度为 1 米，试件安装占地面积应为 10 ㎡～15 ㎡，座椅安装建议：3 排×6 座=18 座或 4 排×5 座=20 座），**测试时，包含台阶部分**）





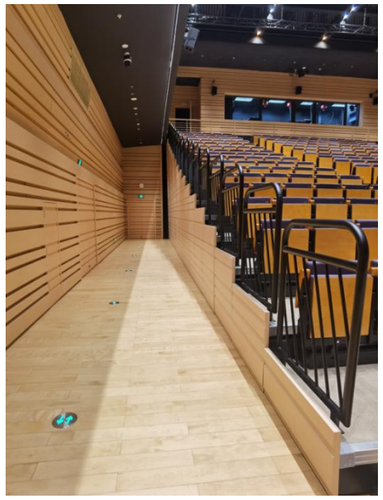
座椅吸声系数测试现场示例

2.要求座椅在空座和有人座时，其吸声量化尽可能较小，以减少不同上座率条件下，观众厅混响时间变化。

3.座椅垫翻动时应有阻尼装置，不产生噪声，也无碰撞声。

4.伸缩座椅伸出后，座椅下方的大空腔两边应设有封板。样式可参考下图案例。（左图：长沙梅溪湖大剧院。右图：北京艺术中心）





活动座椅侧面参考封板照片

5、国际会议中心声学设计

根据设计要求，国际会议中心有会议、展厅两大使用功能。

5.1）国际会议中心主厅概况

5.1.1）国际会议中心主厅使用功能

满足义乌国际、国内大型会议及大型活动接待。

5.1.2）容座：

规模约为 2000 座。

5.1.3）建筑概况

平面为长方形布置，42x42m，梁底净高约 16m，采取中间无柱平楼面设计。可根据不同使用需求，通过活动隔断分成 2~3 个独立的会议厅。主入口位于厅西墙，次入口位于厅南墙，东墙设有服务通道开门。北墙为通透玻璃幕墙， 可一览江景。大型会议模式的主席台位于厅北端，东北部相邻设有贵宾休息区。同声传译及声光控制室设于二层厅东北侧，面对主席台。





5.2）国际会议中心主厅声学设计指标

① 中频混响时间 RT：

空场混响时间 RT=1.5+/-0.1s

满场混响时间 RT=1.3+/-0.1s

② 混响时间频率特性：

低频比重：1.0～1.1（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.9～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

③ 语言清晰度 D50≥0.5

④ 语言传输系数 STI≥0.6（良好）

⑤ 本底噪声：NR-30

⑥ 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

5.3）混响时间计算

5.3.1）室内空气吸声量的计算

取室内温度为 20℃, 湿度为 60% ， V 总=19960m3

中心频率(**Hz**	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
4m	0.0028	0.005	0.01	0.028
4mV	56	100	200	559

5.3.2）厅内座椅吸声量的计算

无会议桌座椅面积=1436m2

条　件	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
空座椅的吸声系数	0.35	0.47	0.57	0.62	0.62	0.61
空座椅的吸声量	503	675	819	890	890	876
满座椅的吸声系数	0.54	0.66	0.76	0.83	0.86	0.86
满座椅的吸声量	775	948	1091	1192	1235	1235

5.3.3）混响时间计算

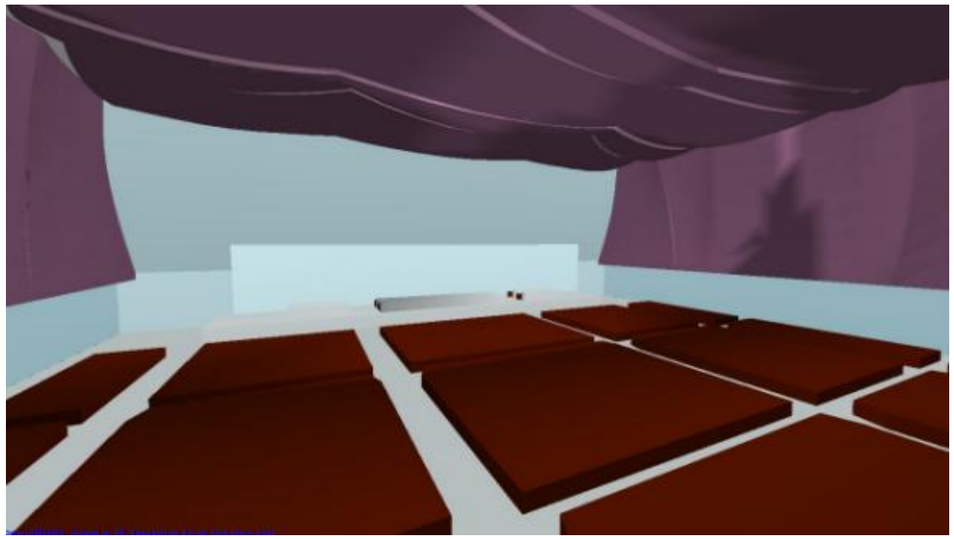
项目	装置位置及选用材料	面积	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
			α	α	α	α	α	α
			A	A	A	A	A	A
观众厅地面	地板，地毯	320	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
			6	19	45	118	192	208
主席台	地板	8	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
			0.8	0.56	0.48	0.48	0.48	0.48
观众厅吊顶	石膏板	1000	0.25	0.18	0.11	0.08	0.07	0.06
			250	180	110	80	70	60
观众厅吊顶	吸声	1000	0.05	0.11	0.57	0.65	0.67	0.76
			50	110	570	650	670	760
观众厅前墙	玻璃、显示屏等	510	0.20	0.15	0.08	0.05	0.05	0.05
			102	76.5	40.8	25.5	25.5	25.5
观众厅侧墙、后墙	非吸声墙体	1338	0.25	0.18	0.11	0.08	0.07	0.06
			334.5	240.84	147.18	107.04	93.66	80.28
空场混响时间	空场观众席吸声量		503	675	819	890	890	876
	Sα		1496	1482	1842	1952	2012	2070
	α		0.27	0.26	0.33	0.35	0.36	0.37
	[-ln(1- α)]		0.31	0.31	0.40	0.43	0.44	0.46
	S[-ln(1- α)]		1740	1721	2232	2398	2492	2583
	S[-ln(1-α)]+4mV		1748	1745	2288	2498	2691	3142
	空场 T60		1.84	1.84	1.40	1.29	1.19	1.02
满场混响时间	满场观众席吸声量		775	948	1091	1192	1235	1235
	Sα		1769	1755	2115	2253	2357	2429
	α		0.32	0.31	0.38	0.40	0.42	0.43
	[-ln(1- α)]		0.38	0.37	0.47	0.51	0.54	0.57
	S[-ln(1- α)]		2125	2104	2654	2881	3056	3183
	S[-ln(1-α)]+4mV		2133	2128	2710	2981	3256	3742
	满场 T60		1.51	1.51	1.19	1.08	0.99	0.86

5.4）国际会议大厅各界面声线材料要求

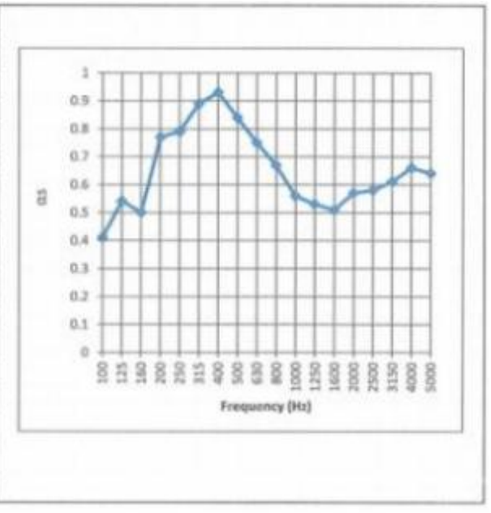
5.4.1）顶面和墙面

顶面和侧墙上部分做吸声处理。采用无缝微粒吸声板。使用区域： 顶面全部和侧墙上部。如下图墙面和顶面紫红色区域示意。

声学要求严选产品吸声性能。产品降噪系数 NRC>0.7。产品吸声特性示意如图表。

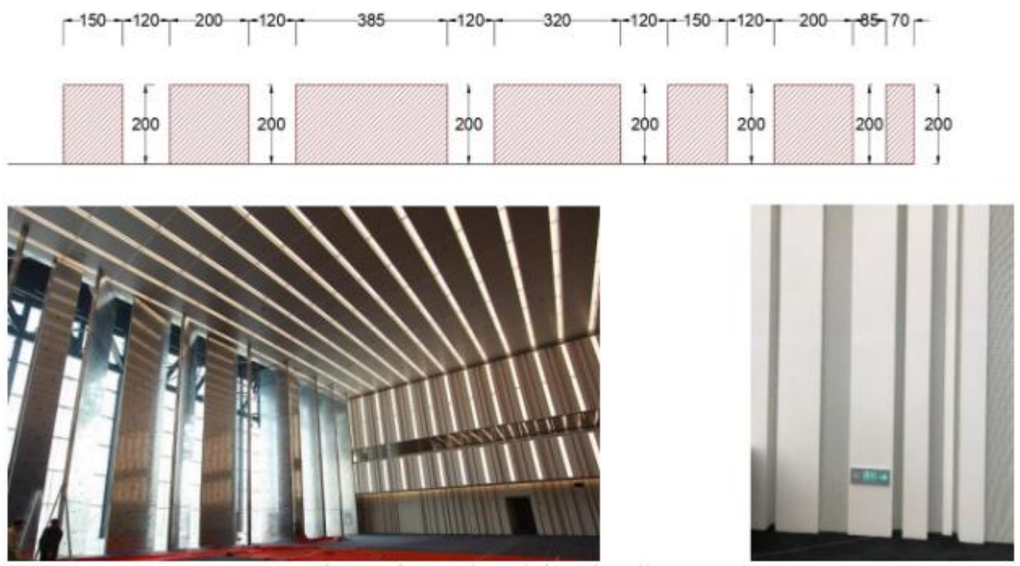


频率 (Hz)	α_s
100	0.41
125	0.54
160	0.50
200	0.77
250	0.79
315	0.89
400	0.93
500	0.84
630	0.75
800	0.67
1000	0.56
1250	0.53
1600	0.51
2000	0.57
2500	0.58
3150	0.61
4000	0.66
5000	0.64
NRC	0.70
SAA	0.70



侧墙低区不吸声的墙面，需做声学扩散处理。声学建议采用 MLS 伪随机数量的扩散形式。

形式示意如下图。建筑设计可在此基础上进行水平向尺度进行调整。但深度 200mm 不建议进行调整。



案例示意（上海世博会议中心蓝厅）

5.4.2）地面

当前建筑效果图中使用地板或自流平类地铺材质。声学建议使用地毯。利用地毯在中高频吸声性较高的特性来平衡微粒吸声板在中低频吸声较高的特性。地毯绒高建议不低于 5mm。

5.4.3）其它

在扩声系统设计时，需要尽量采用顶部声学布置方式；主扬声器的辐射范围应避开侧墙和后墙区域；请扩声系统设计单位对该厅堂进行电声声场模拟测算。

5.4.4）活动隔断

国际会议厅中活动隔断应注意表面采用一定的声学扩散或吸声处理。

声学扩散肌理建议深度 10-20mm。

声学吸声棉的降噪系数控制在 NRC>0.50。

活动隔声隔声量要求选用产品构件隔声量不小于 STC-55 的产品。

6、小会议室部分



6.1）体积及各部分面积核算

位置	面积
顶部	153m2
侧墙	775m2
地面	153m2

根据计算，总面积是 1085m2，总体积是 775m³

6.2）混响时间计算

6.2.1)室内空气吸声量计算

取室内温度为 20℃, 湿度为 60% ，V 总=775m3

中心频率(Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
4m	0.0028	0.005	0.01	0.028
4mV	8	14	28	79

6.2.2）混响时间计算

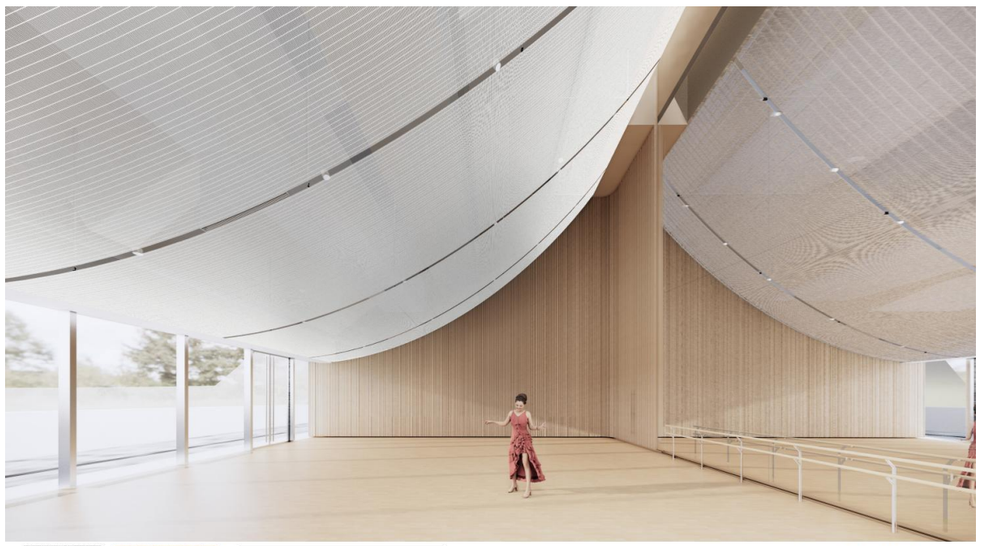
项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1000	2000	4000
			α	α	α	α	α	α
			A	A	A	A	A	A
木地板	木地板	153	0.1	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
			15	11	9	9	9	9
吊顶	微孔吸声板	153	0.25	0.89	0.99	0.64	0.48	0.4
			38.25	136.17	151.47	97.92	73.44	61.2
墙面	非吸声墙体	775	0.15	0.1	0.06	0.06	0.06	0.06
			116.25	77.5	46.5	46.5	46.5	46.5
混响时间	Sα		170	224	207	154	129	117
	α		0.16	0.21	0.19	0.14	0.12	0.11
	[-ln(1- α)]		0.17	0.23	0.21	0.15	0.13	0.11
	S[-ln(1- α)]		185	251	230	166	137	124
	S[-ln(1- α)]+4mV		185	252	232	169	145	145
	混响时间		0.67	0.49	0.54	0.74	0.86	0.86

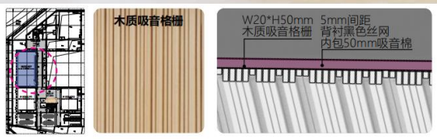
7、排练厅部分

根据室内专业提供的《220928_排练厅区域方案优化模型及方案文本》，对舞蹈排练厅、声乐排练厅和声乐排练厅 2 进行声学计算和复核

7.1 舞蹈排练厅

设计目标：混响时间 0.8±0.1s





舞蹈排练厅效果图
DANCE REHEARASL HALL RENDERING

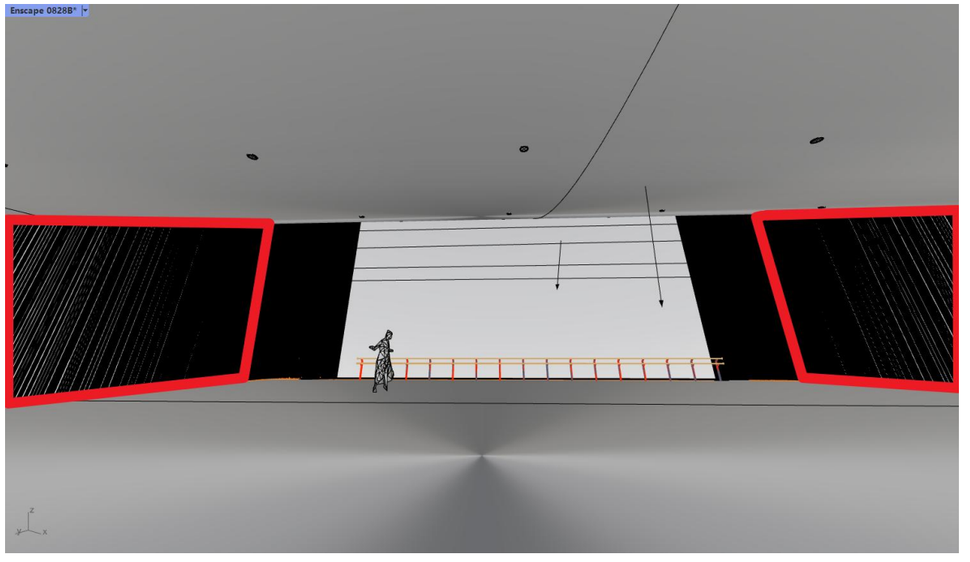
YIWU GRAND THEARER MAD Architects

经计算，顶面：金属网上方楼板底敷设 50mm32kg/㎡离心玻璃棉（外包白色透声玻璃丝布），面积需 283 ㎡，铺满楼板底。

墙面：共需 20*50mm*5mm（间隔缝隙）吸音木格栅背衬 50mm32kg/㎡离心玻璃棉（外包黑色透声玻璃丝布）MLS 造型扩散造型 110 平方米。剩余木格栅后方可为实体墙/板，不留空腔不加玻璃棉。另外现有木格栅造型不满足 MLS 序列要求，无法保证扩散作用，建议根据后方声学要求进行修改。

项目	装置位置及选用材料	面积	125		250		500		1k		2k		4k	
			α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
墙面	无吸声处理墙面	135	0.15	20	0.12	16	0.1	14	0.08	11	0.06	8	0.06	8
	幕墙	66	0.25	17	0.15	10	0.12	8	0.1	7	0.08	5	0.06	4
	墙面吸声	110	0.25	28	0.35	39	0.56	62	0.60	65	0.60	65	0.60	65
	镜子	145	0.02	3	0.02	3	0.02	3	0.04	6	0.04	6	0.04	6
吊顶	吊顶吸声	283	0.25	71	0.5	142	0.8	226	0.85	241	0.85	241	0.85	241
	无吸声楼板	139	0.25	35	0.15	21	0.12	17	0.1	14	0.08	11	0.06	8
地面	走道（地板）	274	0.1	27	0.07	19	0.06	16	0.06	16	0.06	16	0.06	16
混响时间	吸声量		200		249		345		360		353		349	
	α		0.17		0.22		0.30		0.31		0.31		0.30	
	[-ln(1-α)]		0.19		0.24		0.36		0.37		0.37		0.36	
	S[-ln(1-α)]		220		281		411		431		421		415	
	S[-ln(1-α)]+4mV		221		283		417		442		442		475	
	T60		1.56		1.21		0.82		0.78		0.78		0.72	

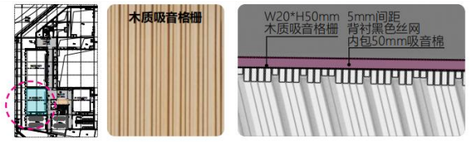
另外，声学要求下方红框墙体需向内倾斜 5°防止颤动回声，模型中未体现，需保证墙体倾斜角度。



7.2 声乐排练厅 1

设计目标：混响时间 1.1±0.1s





声乐排练厅1效果图
VOCAL REHEARASL HALL RENDERING

YIWU GRAND THEARER MAD Architects

经计算，顶面：金属网上方楼板底敷设 50mm32kg/㎡离心玻璃棉（外包白色透声玻璃丝布），面积需 135 ㎡。

墙面：木格栅不需要吸声作用，做 MLS 扩散造型即可，木格栅后方可为实体墙/板，不留空腔不加玻璃棉。另外现有木格栅造型不满足 MLS 序列要求，无法保证扩散作用，建议根据后方声学要求进行修改。

项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1k	2k	4k
			α A	α A	α A	α A	α A	α A
墙面	无吸声墙体	317	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06	0.06
			48	38	32	25	19	19
	幕墙	41	0.25	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06
			10	6	5	4	3	2
	吊顶吸声	135	0.25	0.5	0.8	0.85	0.85	0.85
			34	68	108	115	115	115
吊顶	无吸声楼板	134	0.25	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06
			34	20	16	13	11	8
地面	木地板	174	0.1	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
			17	12	10	10	10	10
混响时间	吸声量		142	144	171	168	158	155
	α		0.18	0.18	0.21	0.21	0.20	0.19
	[-ln(1-α)]		0.20	0.20	0.24	0.24	0.22	0.21
	S[-ln(1-α)]		157	159	193	189	176	172
	S[-ln(1-α)]+4mV		157	160	196	195	190	210
	T60		1.38	1.36	1.11	1.11	1.15	1.04

7.3 声乐排练厅 2

设计目标：混响时间 1.1±0.1s





声乐排练厅2效果图
VOCAL REHEARASL HALL RENDERING

YIWU GRAND THEARER MAD Architects

经计算，顶面：金属网上方楼板底敷设 50mm32kg/㎡离心玻璃棉（外包白色透声玻璃丝布），面积需 130 ㎡（除梁以外，其他楼板均布置玻璃棉）。

墙面：共需 20*50mm*5mm（间隔缝隙）吸音木格栅背衬 50mm32kg/㎡离心玻璃棉（外包黑色透声玻璃丝布）扩散造型 110 平方米，均匀穿插分布于墙体上。剩余木格栅后方可为实体墙/板，不留空腔不加

玻璃棉。另外现有木格栅造型不满足 MLS 序列要求，无法保证扩散作用，建议根据后方声学要求进行修改。

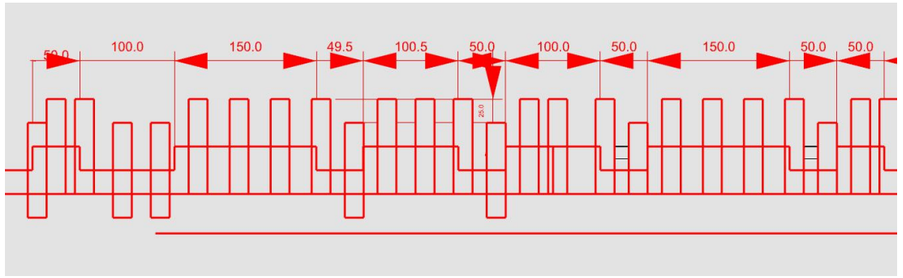
项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1k	2k	4k
			α A	α A	α A	α A	α A	α A
墙面	无吸声墙体	481	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06	0.06
			72	58	48	38	29	29
	墙面吸声	110	0.25	0.35	0.56	0.60	0.60	0.60
			28	39	62	65	65	65
吊顶	吊顶吸声	130	0.25	0.5	0.8	0.85	0.85	0.85
			33	65	104	111	111	111
	无吸声楼板（梁）	28	0.25	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06
			7	4	3	3	2	2
地面	木地板	158	0.1	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
			16	11	9	9	9	9
混响时间	吸声量		155	176	227	227	217	216
	α		0.17	0.19	0.25	0.25	0.24	0.24
	[-ln(1-α)]		0.19	0.22	0.29	0.29	0.27	0.27
	S[-ln(1-α)]		170	196	261	261	247	247
	S[-ln(1-α)]+4mV		171	198	266	270	266	298
	T60		1.74	1.49	1.11	1.10	1.11	0.99

附：MLS 序列

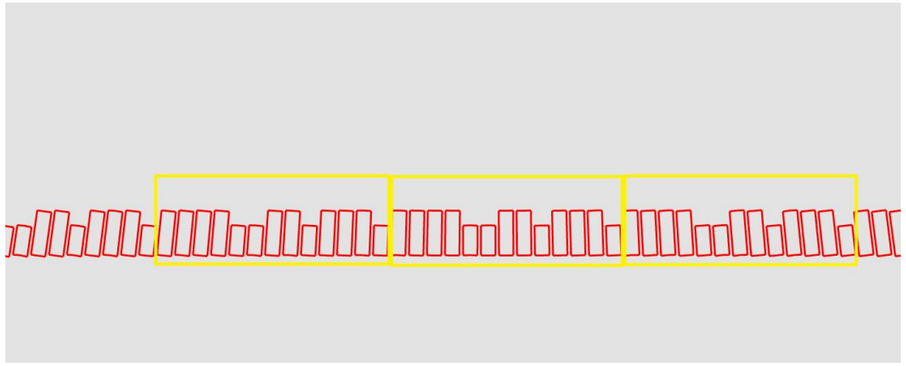
0mm 200mm 400mm 600mm 800mm 1000mm

MLS 序列经过精细计算，需要按照比例尺度关系进行等比缩放使用，木格栅造型可在 MLS 造型基础上增加木格栅，但整体需满足 MLS 的序列要求，示例如下图（950mm 为一个序列周期）。

但从模型来看，当前木格栅不满足 MLS 序列要求，建议根据 MLS 要求进行修改（无论是否吸声都需要遵循 MLS 序列的要求）。



舞蹈排练厅和声乐排练厅 1 木格栅序列



声乐排练厅 2 木格栅序列

另外为了保证吸声效果，吸声部分的木格栅间隔缝隙与木格栅宽的比例需大于等于 1:4（例如 5mm 缝隙：20mm 宽木格栅=1：4）。

7.3 音乐排练厅

7.3.1）体积及各部分面积核算

位置	面积
顶部	243m2
侧墙，含玻璃和幕墙	559m2
地面	243m2

根据计算，总面积是 1056m2，总体积是 1786m³ 。

7.3.2）室内空气吸声量的计算

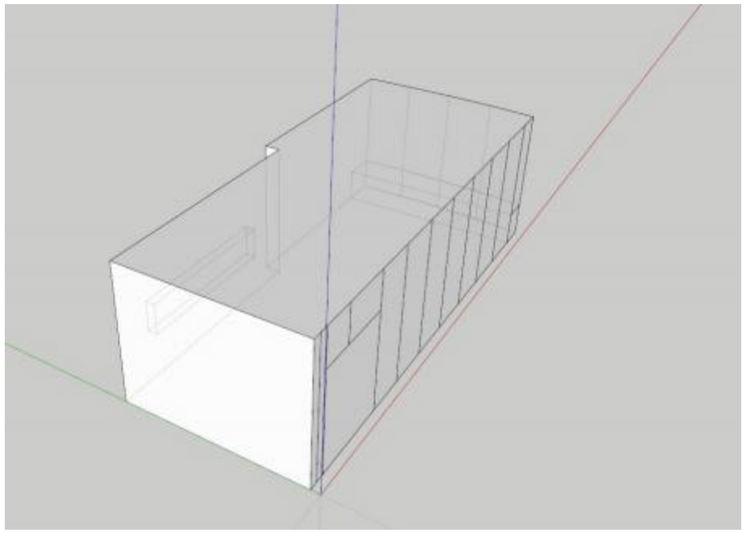
取室内温度为 20℃, 湿度为 60% ， V 总=1786m3

中心频率(Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
4m	0.0028	0.005	0.01	0.028
4mV	5	9	18	50

7.3.3）混响时间计算

项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1k	2k	4k
			α A	α A	α A	α A	α A	α A
墙面	无吸声处理部分	47	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06	0.06
			7	6	5	4	3	3
	幕墙	146	0.25	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06
			37	22	18	15	12	9
	墙面吸声	80	0.25	0.5	0.8	0.85	0.85	0.85
			20	40	64	68	68	68
	镜子	286	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04
			6	6	6	11	11	11
吊顶	石膏板/或裸顶	43	0.25	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06
			50	30	24	20	16	12
	吊顶吸声	200	0.25	0.5	0.8	0.85	0.85	0.85
			50	100	160	170	170	170
	走道（木地板）	252	0.1	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06

7.4 乐队休息室



7.4.1）体积及各部分面积核算

位置	面积
顶部	43m2
侧墙，含玻璃和幕墙	95m2
地面	43m2

根据计算，总面积是 182m2，总体积是 139m³ 。

7.4.2）室内空气吸声量的计算

取室内温度为 20℃, 湿度为 60% ， V 总=139m3

中心频率(Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
4m	0.0028	0.005	0.01	0.028
4mV	0	1	1	4

7.4.3）混响时间计算

项目	装置位置及选用材料	面积	125	250	500	1k	2k	4k
			α A	α A	α A	α A	α A	α A
墙面	无吸声处理部分	95	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06	0.06
			14	11	10	8	6	6
吊顶	石膏板+吊灯	43	0.25	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06

			11	6	5	4	3	3
地面	薄地毯	43	0.02	0.04	0.25	0.27	0.35	0.40
			1	2	11	12	15	17
混响时间	总吸声量		26	20	25	24	24	25
	α		0.14	0.11	0.14	0.13	0.13	0.14
	[-ln(1-α)]		0.15	0.11	0.15	0.14	0.14	0.15
	S[-ln(1-α)]		28	21	27	25	26	27
	S[-ln(1-α)]+4mV		28	21	28	26	27	31
	混响时间 T60		0.80	1.07	0.80	0.86	0.82	0.71

8、前厅、大堂等公共空间

声学要求公共区域的顶面或墙面结合室内美观效果要求进行吸声处理，已保证公共空间的室内声学环境。

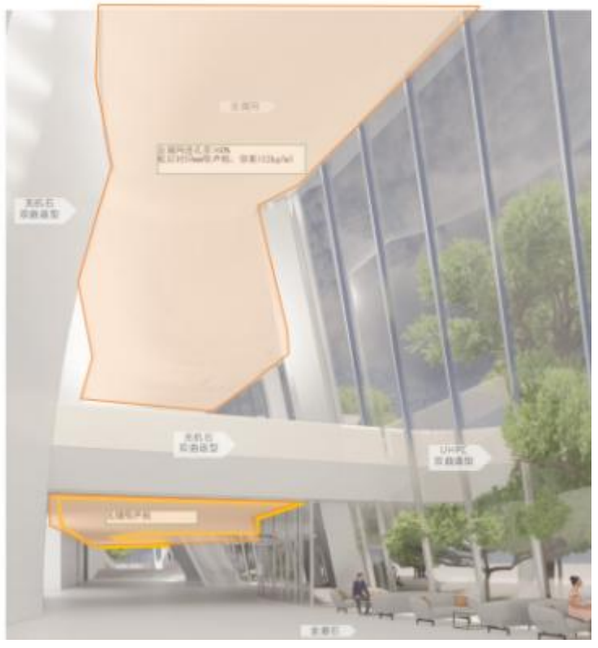
结合项目公共区域的室内效果，采用无缝微粒吸声板。使用区域：顶面或顶面、侧墙透空 装饰层后部暗藏。

声学要求严选产品吸声性能。产品降噪系数 NRC>0.7。

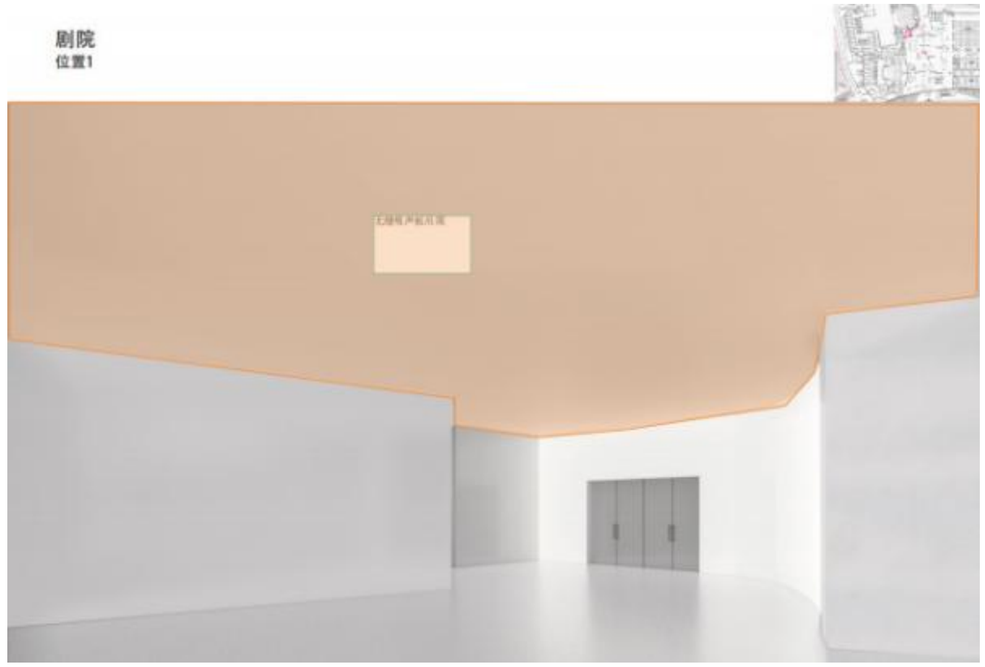
布置区域如下图彩色区域示意。



CONFERENCE HALL LOBBY
DYNAMIC SAILS /WASHING SOLID WALLS



剧院
位置1



剧院
位置2



剧院
位置3



剧院
位置4



剧院
位置6



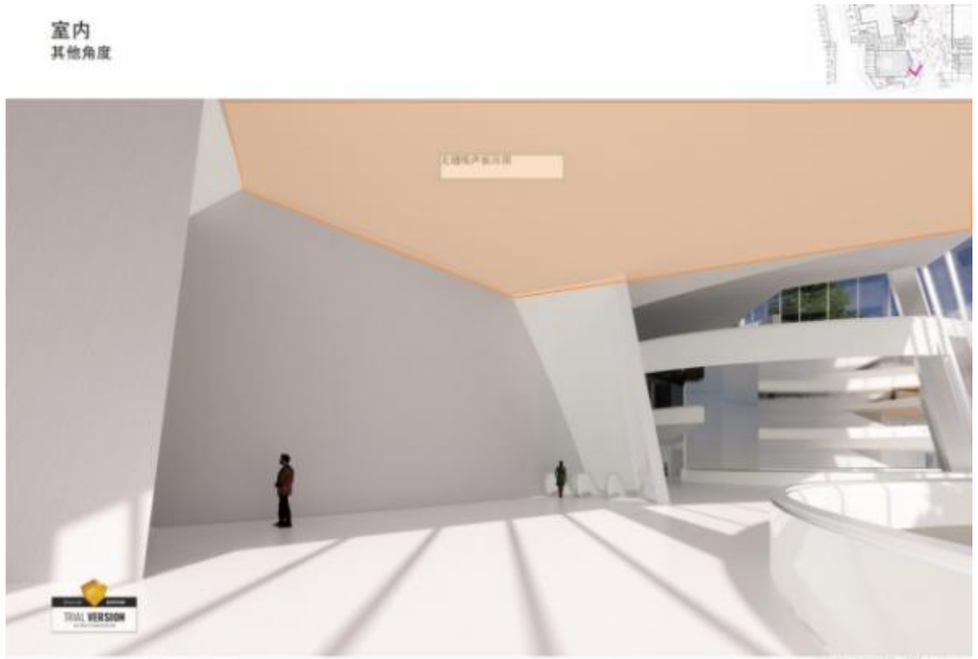
剧院
位置7



室内
其他角度



室内
其他角度



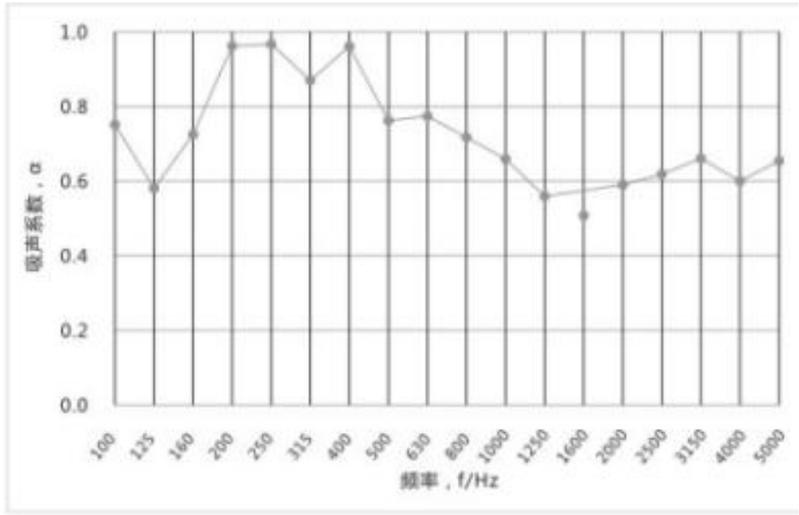




无缝吸声板的声学性能要求。

频率	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz
吸声系数	0.75	0.58	0.96	0.97	0.97	0.87	0.96	0.77	0.78

频率	800Hz	1000Hz	1250Hz	1600Hz	2000Hz	2500Hz	3150Hz	4000Hz	5000Hz
吸声系数	0.72	0.66	0.56	0.51	0.59	0.62	0.66	0.60	0.65
								NRC	≥0.75



第六部分：通用性室内音质要求

1）面光桥、音响桥内部吸声做法

面光桥、音响桥应做好封闭，保证观众厅吊顶为一个完整的闭合面。

- 面光桥应注意：

1）为了防止通过大面积面光口连通天花内的平顶空间体积，影响厅内混响控制，面光天桥应以石膏板将其分隔成室，灯桥两侧设门与马道连通。

2）面光天桥的长条内壁面也会引起不良声反射，故要求在面光天桥内壁面做吸声处理。

3）面光天桥界面的构造均采用不燃材料，面光开口尺寸、吊架及龙骨用料规格由建筑、装修及灯光工艺专业确定。

4）面光桥根据暖通专业要求预留灯光设备散热孔。

5）5mm 水泥压力板可由 9-12mm 穿孔石膏板替代。

面光桥做法示意图如下：

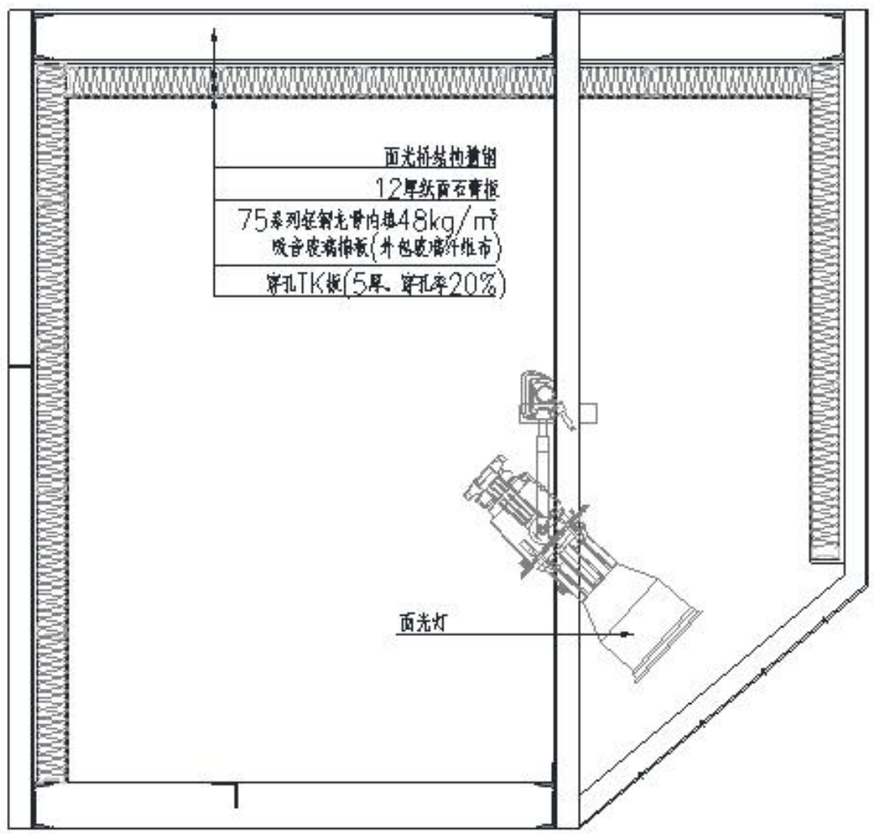


图 面光桥做法示意图

- 音响桥应注意：

位于台口前上方的主音箱室应在建筑声学上考虑以下措施：

1）主音箱桥室应封闭（除声音辐射口外）隔声，以防声音向吊顶上部空间散出。

2）主音箱室内壁面应做吸声层。

3）声辐射口采用全频透声优良的音响布包蒙，并尽可能同台口天花颜色一致。

4）声辐射口位置大小、音箱室吊架、龙骨用料规格及音箱吊挂构件等由建筑、装修及音响工艺专业确定。

5）5mm 水泥压力板可由 9-12mm 穿孔石膏板替代。

音响桥做法示意图如下：

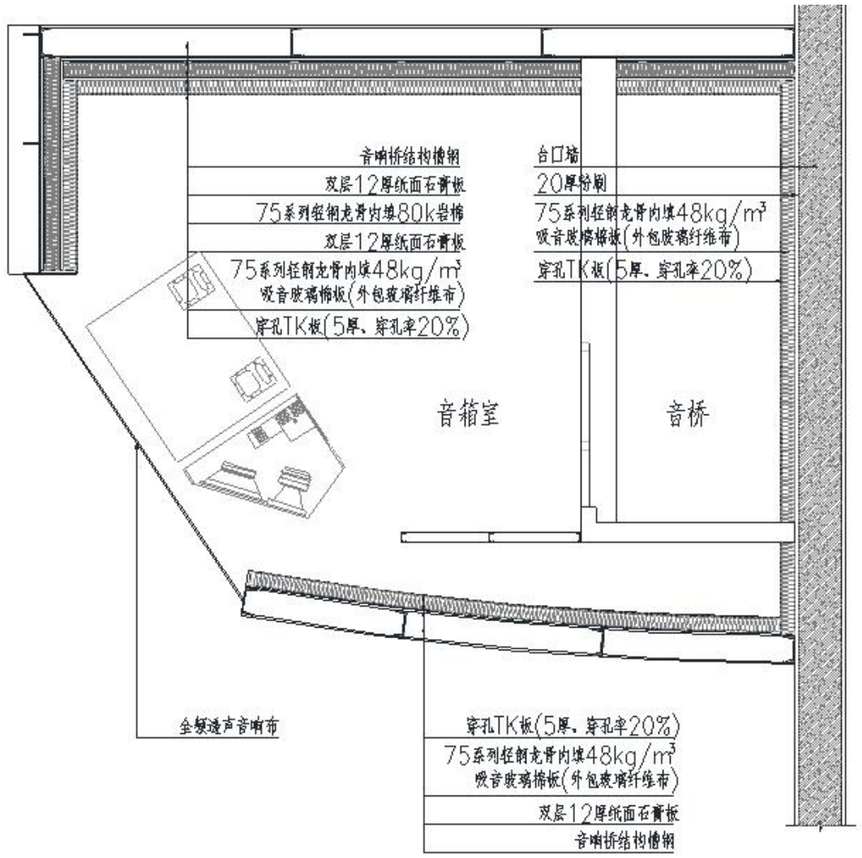
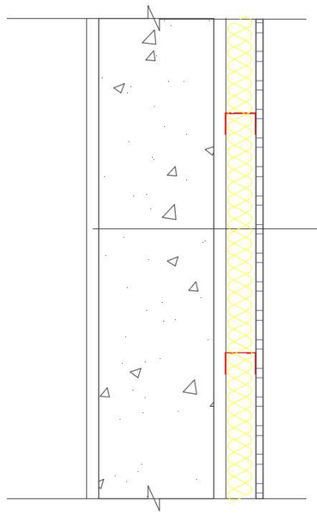


图 音响桥做法示意图

2）耳光室内部吸声做法

歌剧厅、戏剧厅的耳光室需要在其内部平直的、垂直向的墙面进行吸声处理。做法如下：



耳光室墙体
50龙骨，内填50mm32kg/m3离心玻璃棉（外包玻璃丝布）
5-6mm穿孔水泥压力板，穿孔率20%

3）声闸的声学要求

所有设置声闸的区域，其声闸统一要求如下：

① 为了防止走廊的噪声通过门传入观众厅，因此出入观众厅的门，均需采用双道防火隔声门以形成声闸，声闸的整体隔声量要求≥50dBA。

② 声闸兼起光闸的作用。如采用单扇门，演出期间有人外出，推开门时外部灯光会照射进观众厅，就会影响观看的效果。而采用双道门则可以避免这种现象的出现。

③ 声闸内墙面均需做吸声处理，具体做法见下图。声闸内吊顶建议采用矿棉吸声板或穿孔铝板吸声板（铝板穿孔率为 20%，板后贴 SoundTex 吸声无纺布）。声闸的吸声做法可以根据室内设计的美观需要而进行更换。

④ 所有隔声门周边应采用高质量的密封，尤其隔声门的中间接缝处以及底部与地面接缝处，底部应采用门的底部可自动下降的接缝处理（隔声门关闭时门的底部自动下降，和门框下缘密封好；隔声门开启时门底部的下降部分自动升起，和地面保留≤10mm 的间隙）。在声学上不接受底部采用毛刷或橡胶条密封的隔声门。

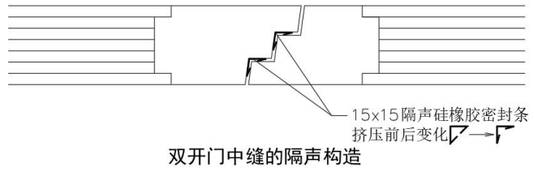
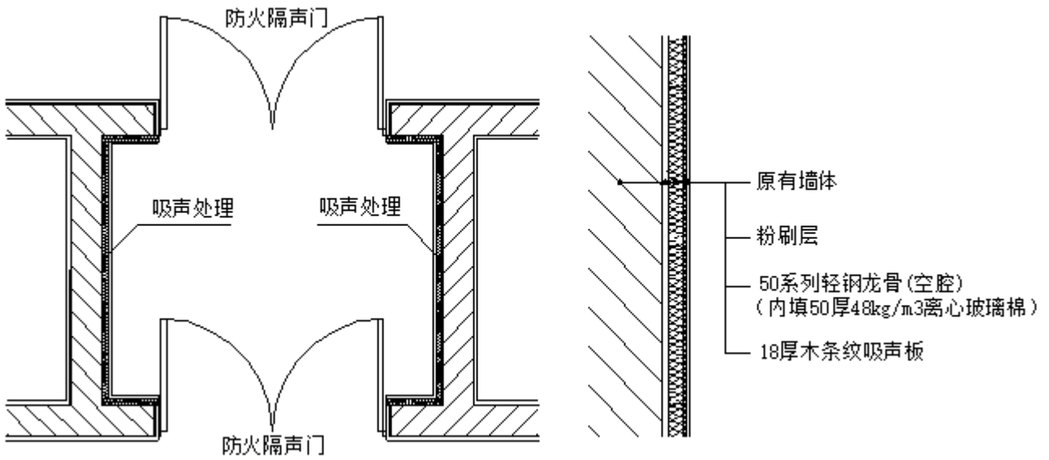




图 隔声门缝声学做法要求



墙面做法建议采用 50 厚轻钢龙骨内填 32kg/m3 袋装离心玻璃棉，外覆 12mm 厚穿孔 FC 板。穿孔板穿孔率不小于 15%，孔径约 8~11mm。穿孔板表面宜哑光、黑色/深灰色乳胶漆处理。注意避免涂料堵塞穿孔板。

吊顶建议采用 50 厚轻钢龙骨内填 32kg/m3 袋装离心玻璃棉，外覆 9mm 厚穿孔 FC 板。穿孔板穿孔率不小于 15%，孔径约 8~11mm。穿孔板表面宜哑光、黑色/深灰色乳胶漆处理。注意避免涂料堵塞穿孔板。

穿孔 FC 板可以由穿孔石膏板替代。

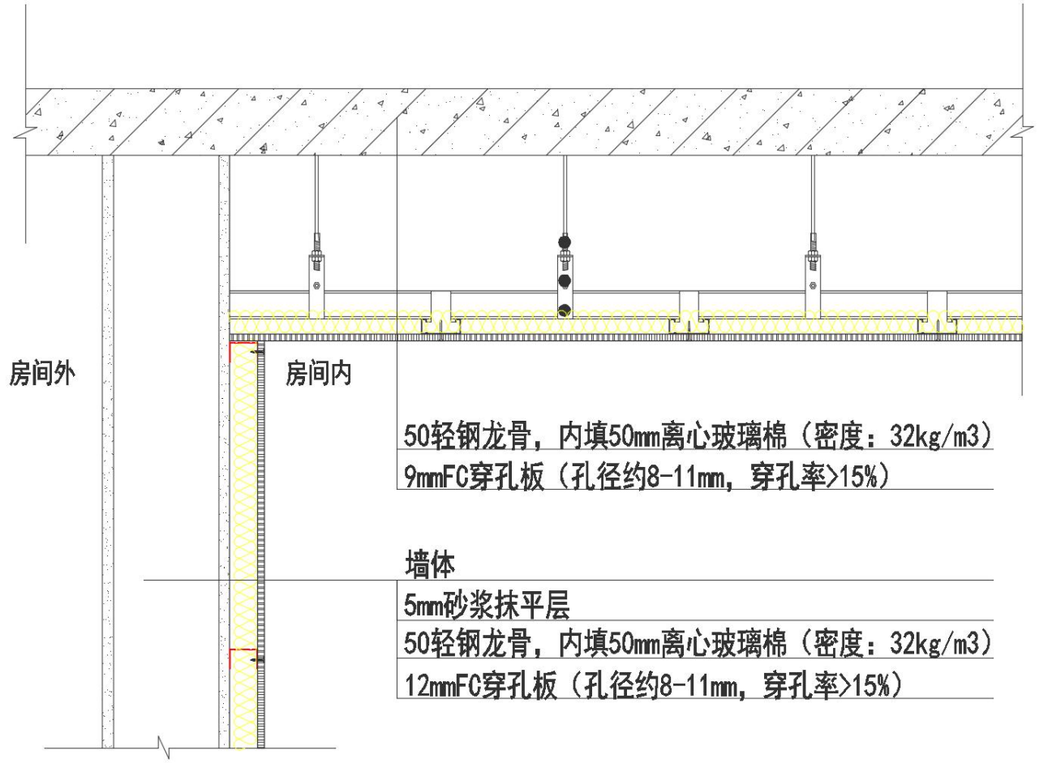


图 墙面和墙面的吸声做法示意图

4）工艺用房：音响室、追光室、功放室、硅箱室、舞台机械电气机房的声学做法要求

工艺用房包含：音响室、追光室、功放室、硅箱室、舞台机械电气机房，其房间内部声学要求进行吸声处理。做法如下：

5）工艺用房：声、光控制室的声学做法要求

声控、灯控室的位置：声控室要能瞭望舞台，并希望能直接听到场内的扩声效果，便于操作调节，因此它的位置应在观众厅的后部。为了工作时与舞台上联系方便，以楼下后部为佳。

声控、灯控室与观众厅之间要有足够宽敞的窗，并可以开启。不仅为了看，也为了直接监听场内的实际效果并进行调音控制。观察窗开启后净空通常不小于 1m（高）×2m（宽），而且坐在调音台前的工作人员能看到主扬声器，这样才能听到中高频的直接声。

声控、灯控室的净面积为 10～12m2，净高要≥2.8m，深度不得小于 2.5m。声控室地面宜超过观众厅最后一排地面至少 60cm，使厅内后排有人走动时不致遮挡对舞台的观察。窗台下沿净高 90cm，使操作台面不高于窗台。

声控、灯控室内铺设架空防静电活动地板，活动地板距混凝土地面为 300mm，声控室内管线均暗敷在活动地板下。

声控、灯控室混响时间宜为 0.3～0.5 秒，且混响特性基本平直，以提高监听音箱的清晰度。

声控室装修做法：

吊顶为金属穿孔板吊顶（穿孔率>20%），吊顶龙骨内填 50mm32kg/m3 离心玻璃棉，外包透声玻璃丝布；

墙面使用穿孔墙板，墙板龙骨内填 50mm32kg/m3 离心玻璃棉，外包透声玻璃丝布。墙板穿孔率>15%。

地面为架空防静电活动地板；

空调系统产生的噪声不宜超过 NR-30。

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）
60dB 60dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB
55dB 55dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB
50dB 50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB
45dB 45dB

建筑声学指标要求	
背景噪声要求	**dBA/ NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a 需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	** 门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚区域

-16.000舞台基坑平面图

空调机房	≤75dBA
a	自带弹簧+GZ1

空调机房	≤75dBA
a	自带弹簧+GZ1

新风机房	≤75dBA
a	GZ1

空调机房	≤75dBA
a	自带弹簧+GZ1

风机房	≤75dBA
a	GZ1

风机房	≤75dBA
a	GZ1

风机房	≤75dBA
a	GZ1

热交换机房	≤80dBA
a	GZ1

风机房	≤75dBA
a	GZ1

风机房	≤75dBA
a	GZ1

地下二层平面图 1:300

地下二层平面图

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB

建筑声学指标要求

背景噪声要求	**dBA/ NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a 需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	** 门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚区域

-2.400夹层平面图

-3.000非机动车库平面图

静压箱 | --

锅炉机房 | ≤85dBA | GZ2

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

风机房 | ≤75dBA | GZ2

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

制冷机房 | ≤90dBA | GZ2

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

变电机房 | ≤75dBA | GZ3
顶部不做吸声

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

上部化妆间

机房上楼板厚度不小于300mm
所有水泵相关管道落地安装。
风机类设备使用弹簧减振吊架

机房下楼板采用浮筑楼板

上部舞台

机房下楼板采用浮筑楼板

上部卫生间

上部候场

上部服装间

机房顶板厚度不小于200mm

上部贵宾室

机房顶板厚度不小于200mm

声学专业不接受风管路由直接穿越楼板进入音乐厅静压箱。
需从侧边绕井道后进入音乐厅静压机房。
要求送回风各出所有消声器应设置在机房内。

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

上部会议厅

机房上楼板厚度不小于200mm

风机房 | ≤75dBA | GZ2

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

上部会议室

机房上楼板厚度不小于200mm

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

机房下楼板采用浮筑楼板

上部咖啡厅

变电机房 | ≤75dBA | GZ3
顶部不做吸声

机房上楼板厚度不小于200mm

上部会议室

换热机房 | ≤80dBA | GZ2

水景机房 | ≤70dBA | GZ2

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1
上部候场、静压箱、舞台

新风机房 | ≤70dBA | GZ2

风机房 | ≤75dBA | GZ2

水景机房 | ≤70dBA | GZ2

空调机房 | ≤75dBA | 自带弹簧+GZ1

地下一层平面图 1:300

地下一层平面图

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB

静压箱	---
α	---

前厅	50dBA
α	---

国际会议厅	NR-30
α	---

贵宾室	NR-30
α	---

卷帘或移门隔声量Rw+C>20dB

门隔声量Rw+C>45dB

增加隔声吊顶

活动隔断Rw+C>40dB

幕墙隔声量Rw+Ctr>35dB

增加隔声吊顶

候场区	---
α	---

静压箱	---
α	---

休息厅	50dBA
α	---

会议室	NR-35
α	---

顶面吊装排风机采用隔声降噪措施
排风风管串会议室，建议增加串音消声器
排烟风管串会议室，建议走道进入

建筑声学指标要求

背景噪声要求	**dBA/ NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a 需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	(**)门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚区域

一层声学平面图

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB　60dB　60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）
墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB　55dB　55dB
墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB　50dB　50dB
墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB　45dB　45dB

建筑声学指标要求	
背景噪声要求	**dBA/　NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a　需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	(**)门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚

排练厅	NR-30
α	--

下部化妆间

剧院	NR-25
α	--

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB，
开门会降低整体隔声量

舞蹈排练厅浮筑

声乐排练厅下楼板厚度不小于150mm

机房浮筑

机房局部浮筑

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB

送回风、排烟需要分区处理
风管不可穿活动隔断

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB
活动隔断STC-52

与电梯相邻隔声加强

水景机房	≤70dBA
α	GZ2

空调机房	≤75dBA
α	自带弹簧+GZ1

空调机房	≤75dBA
α	自带弹簧+GZ1

音乐厅	NR-20
α	--

多功能小剧场	NR-30
α	--

同声传译	NR-25
α	--

大剧场平面图 1:300

大剧场二层楼座平面图 1:300

1-1截口剖面图 1:50

2-2截口剖面图 1:50

3-3截口剖面图 1:50

4-4截口剖面图 1:50

二层平面图 1:300

二层声学平面图

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）
60dB 60dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB
55dB 55dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB
50dB 50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB
45dB 45dB

建筑声学指标要求

背景噪声要求	**dBA/ NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a 需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	** 门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚

风机房	≤75dBA
a	GZ2

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB

排风风管穿墙前、后加串音消声器；
排烟风管穿墙前、后加装长闭风阀；
墙体做隔声封堵；

玻璃墙体Rw+C＞45dB

风机吊装采用弹性吊钩
排烟风管穿墙前、后加装长闭风阀，墙体做隔声
排风管需做隔声包裹
排风管消声器应设置在机房内，避免需通过管井

下楼板：室内减振层
排烟管串排练厅，建议走道进入

机房局部浮筑

排烟风管穿墙前、后加装长闭风阀，
排风管做隔声包裹
排风管消声器应设置在机房内，避免需通过管井

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB
活动隔断STC-52

排练厅	NR-30
a	--

风机房	≤75dBA
a	GZ2

排练厅/培训	NR-30
a	--

水设备机房	≤70dBA
a	GZ2

空调机房	≤75dBA
a	自带弹簧+GZ1

空调机房	≤75dBA
a	自带弹簧+GZ1

三层平面图 1:300

三层声学平面图

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB
（注：声闸、管井、迷生楼梯可做为双墙认定）

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB

建筑声学指标要求

背景噪声要求	**dBA/ NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a 需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	** 门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB

新风管串排练室，
建议加防止声消声器

下弹排练厅，截面

幕墙隔声量Rw+Ctr＞35dB
活动隔断STC-52

排练厅	NR-30
α	--

空调机房	≤75dBA
α	自带弹簧+GZ1

休息区	50dBA
α	--

四层平面图 1:300

图纸名称	四层声学平面图
项目编号	编号
设计阶段	方案

墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB　60dB　60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB　55dB　55dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB　50dB　50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB　45dB　45dB

建筑声学指标要求	
背景噪声要求	**dBA/　NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	△a　需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	⊗**　门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1　橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2　弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3　双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域 楼板加厚

风机房	≤75dBA
△α	GZ2

风机房	≤75dBA
△α	GZ2

风机房	≤75dBA
△α	GZ2

风机房	≤75dBA
△α	GZ2

18.000标高屋面层平面图　1:300

建设单位	
建设名称	
设计名称	
图名	18.000标高屋面层平面图
工程编号	阶段　施工
比例	专业　月
日期	图号

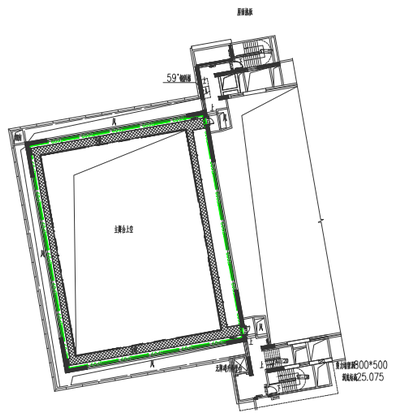
墙体隔声量：Rw+频谱修正=60dB　60dB　60dB
（注：声闸、管井、逃生楼梯可做为双墙认定）

墙体隔声量：Rw+频谱修正=55dB　55dB　55dB

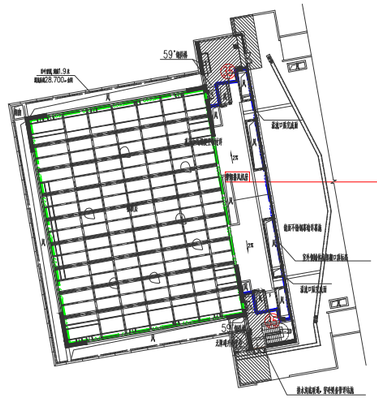
墙体隔声量：Rw+频谱修正=50dB　50dB　50dB

墙体隔声量：Rw+频谱修正=45dB　45dB　45dB

建筑声学指标要求	
背景噪声要求	**dBA/　NR-** *注：房间内最大允许背景噪声值或需符合**号噪声评价曲线
吸声要求	a　需吸声处理 *注：有装饰要求的与室内设计协商另定
门窗隔声要求	**　门、窗的最小计权隔声量**(dB) *注：隔声门应由专业厂家生产。
机组隔振要求	GZ1 橡胶隔振（隔振效率85%以上） GZ2 弹簧隔振（隔振效率95%以上） GZ3 双隔振（隔振效率98%以上） 浮筑区域

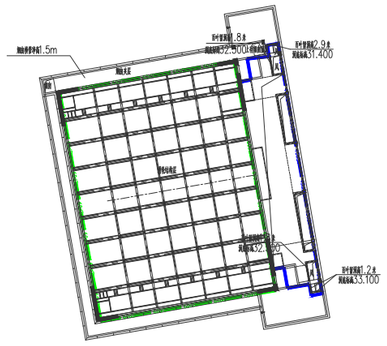


大跨坡25.170标高局部屋面平面图 1:300

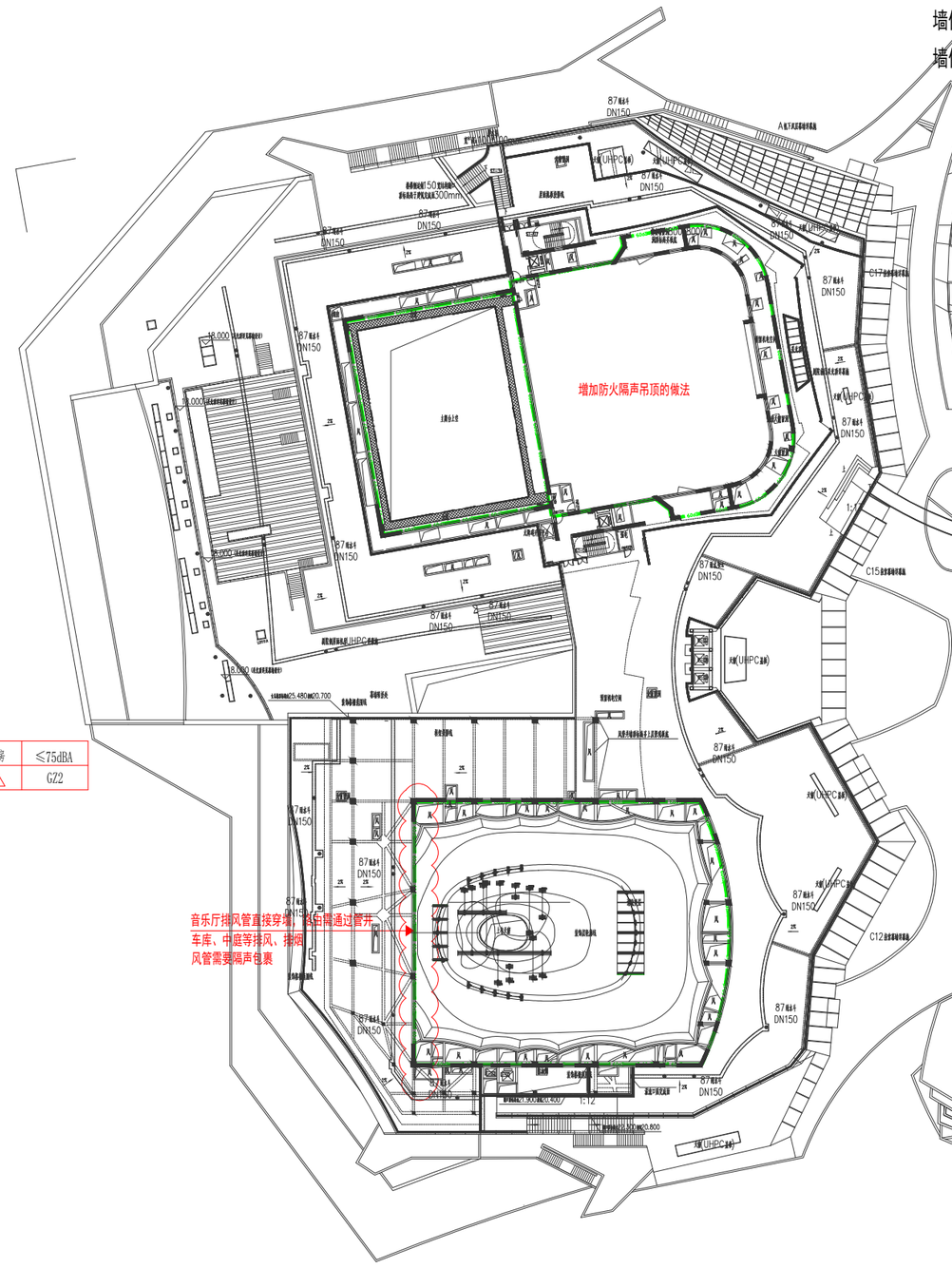


大跨坡28.700标高局部屋面平面图 1:300

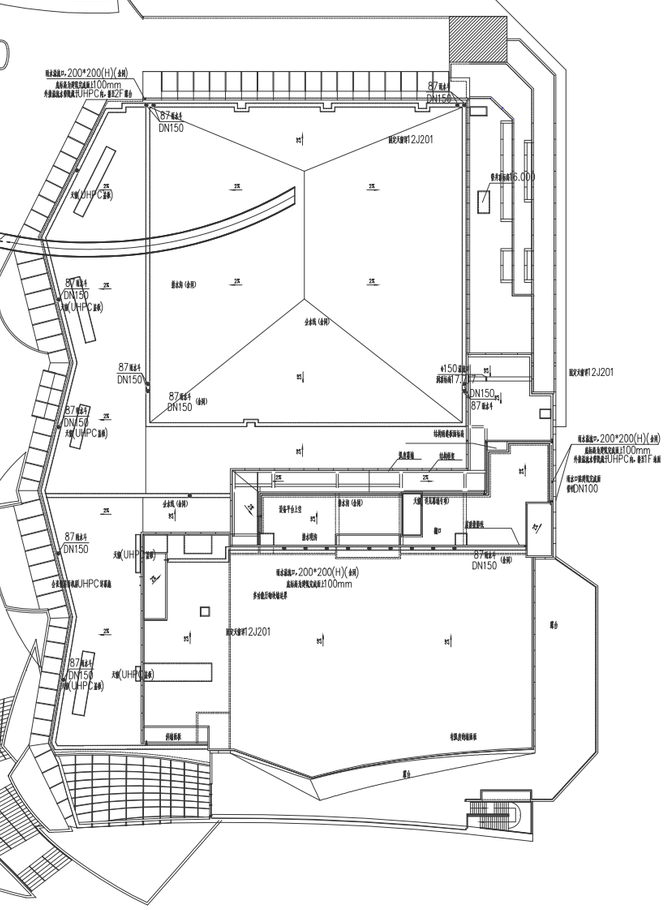
风机房	≤75dBA
α	GZ2



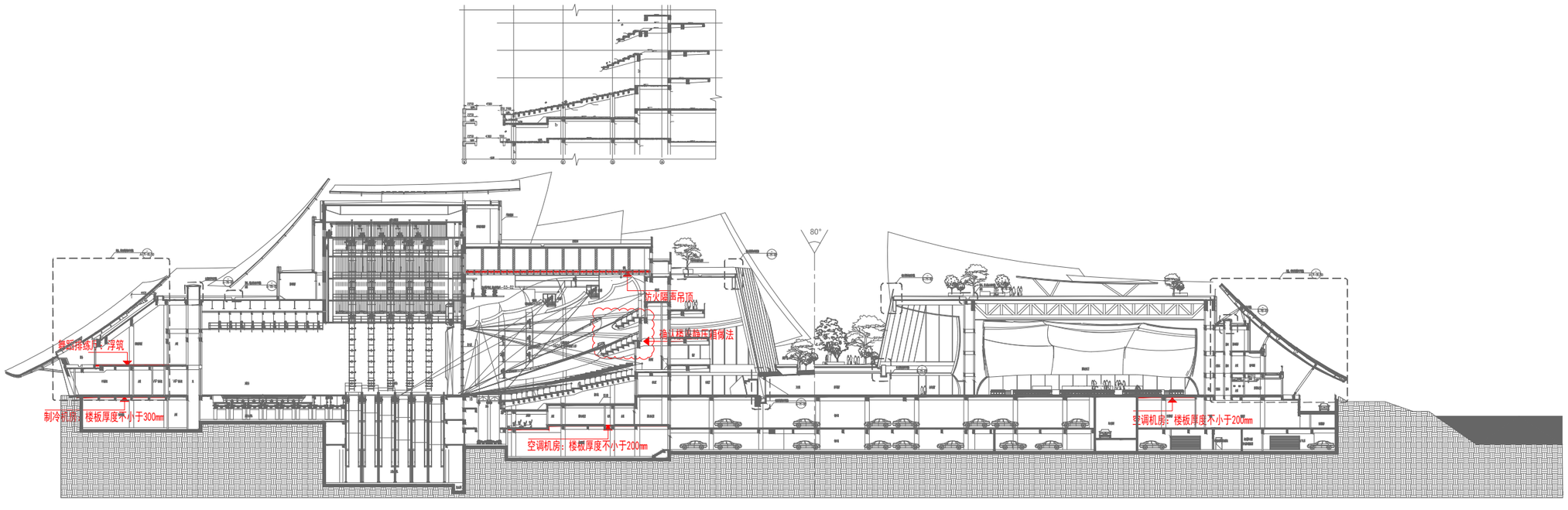
大跨坡31.500标高局部屋面平面图 1:300



吉乐厅24.500标高局部屋面平面图 1:300

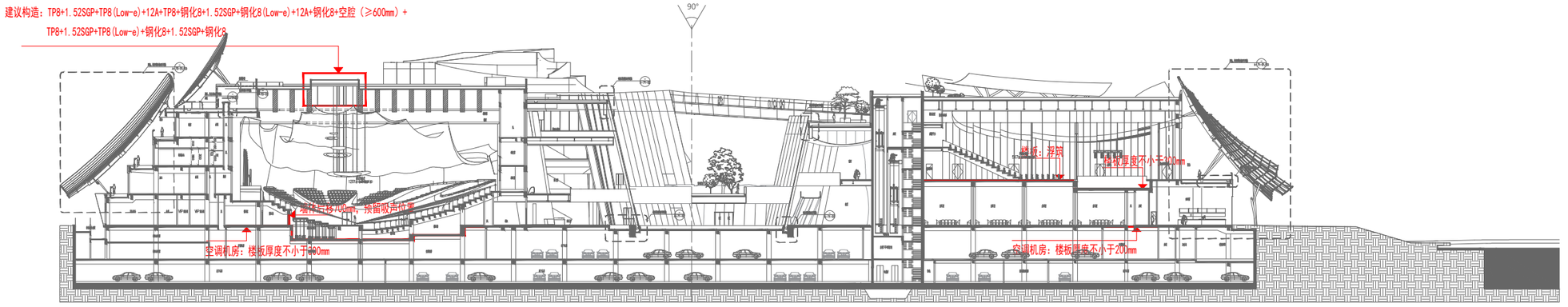


22.000标高屋面层平面图 1:300

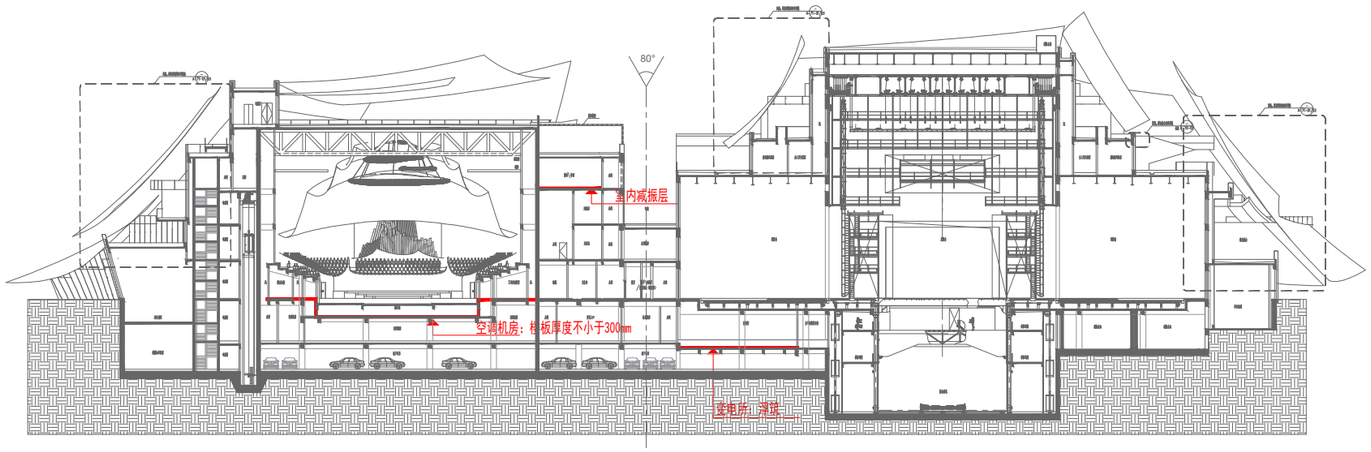


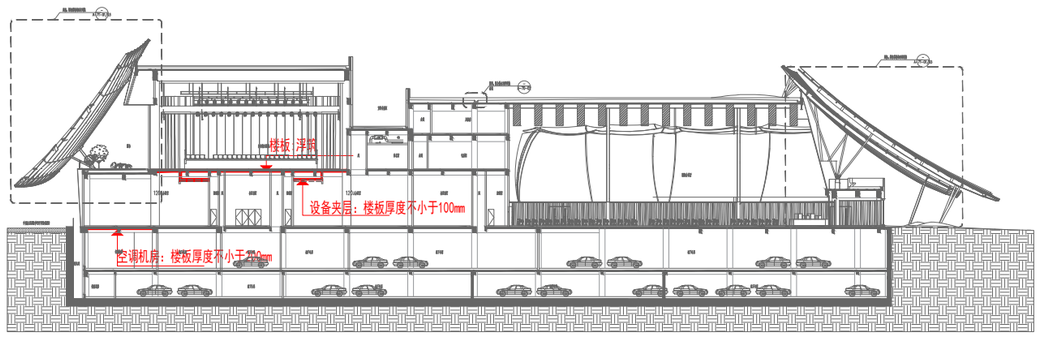
天窗隔声量Rw+C＞60dB

建议构造：TP8+1.52SGP+TP8(Low-e)+12A+TP8+钢化8+1.52SGP+钢化8(Low-e)+12A+钢化8+空腔（≥600mm）+
TP8+1.52SGP+TP8(Low-e)+钢化8+1.52SGP+钢化8



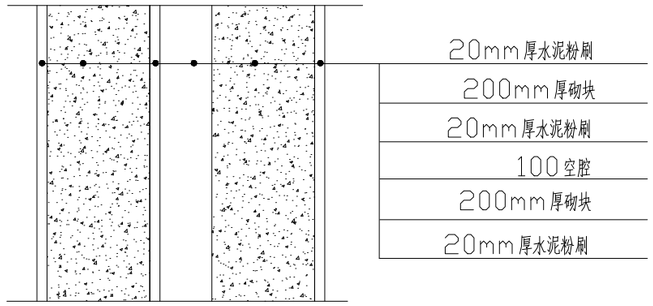
A－A，B－B声学剖面图


80°
室内减振层
空调机房：楼板厚度不小于300mm
变电所：浮筑


楼板：浮筑
设备夹层：楼板厚度不小于100mm
空调机房：楼板厚度不小于300mm

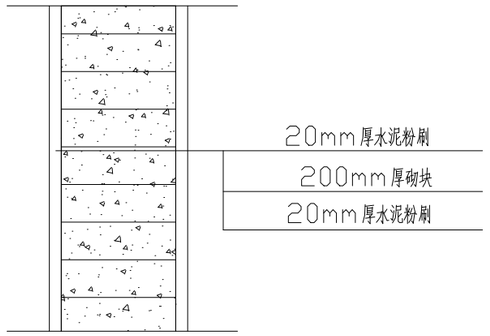
C-C,D-D声学剖面图

墙体隔声量：Rw＋频谱修正＝60　60dB



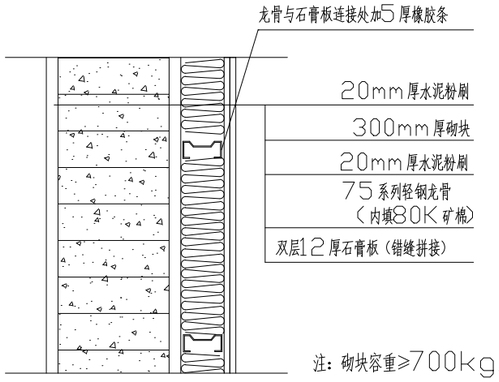
注：砌块容重≥700kg/m3

墙体隔声量：Rw＋频谱修正＝45　45dB

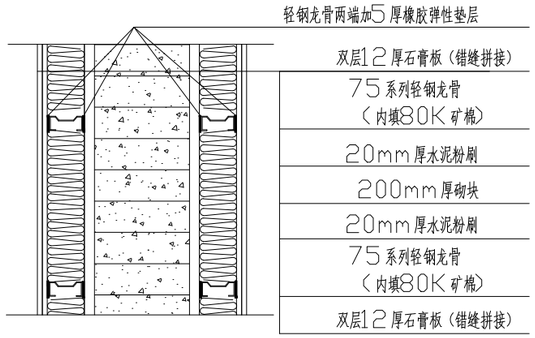


注：砌块容重≥700kg/m3

墙体隔声量：Rw＋频谱修正＝55　55dB

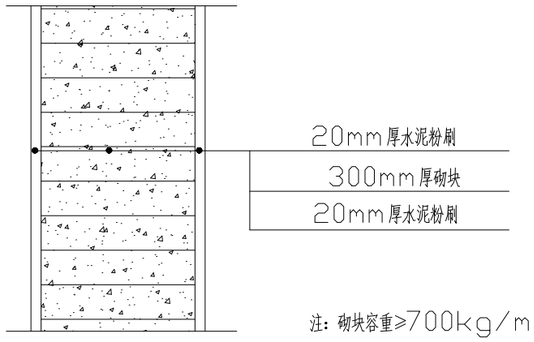


注：砌块容重≥700kg/m3

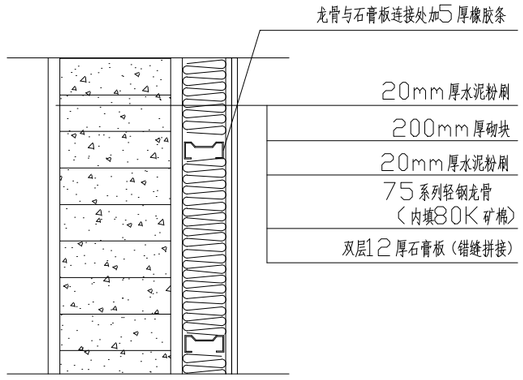


注：砌块容重≥700kg/m3

墙体隔声量：Rw＋频谱修正＝50　50dB

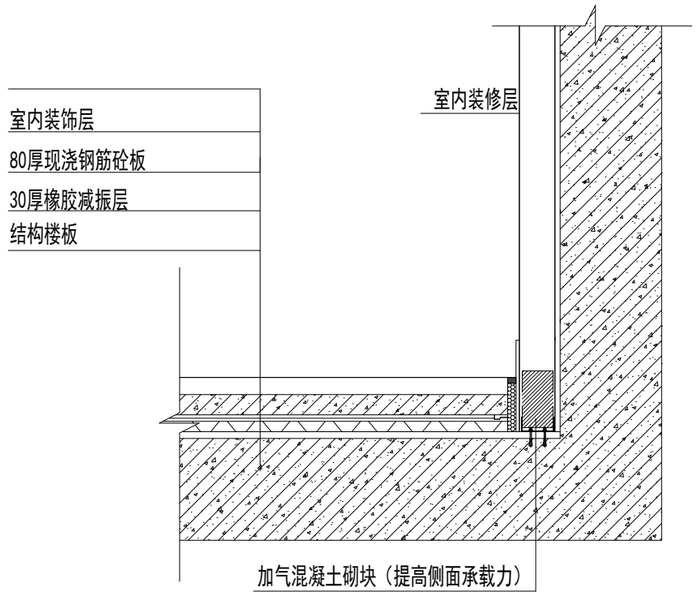


注：砌块容重≥700kg/m3

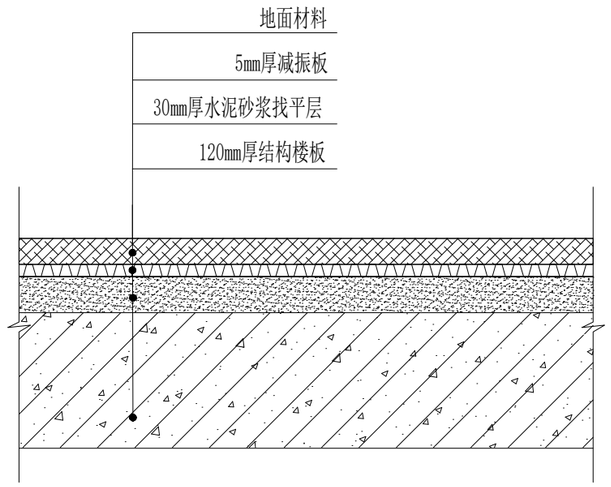


注：砌块容重≥700kg/m3

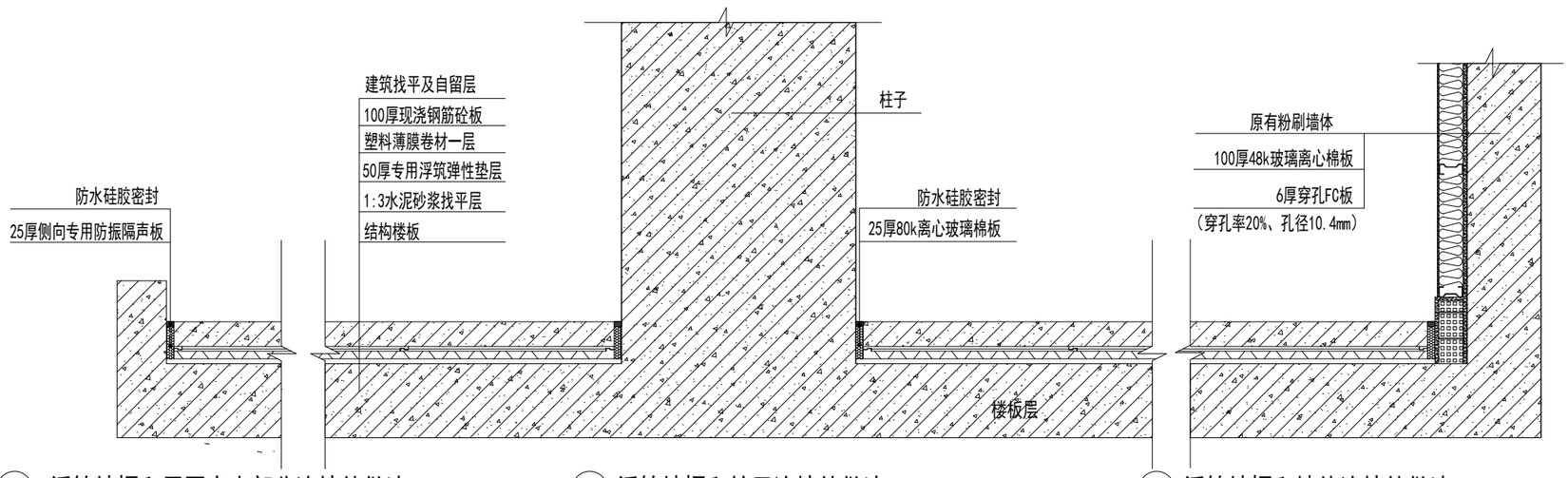
排练厅浮筑示意图



排练（培训）与排练（培训）之间楼板室内减振层示意



机房浮筑示意图



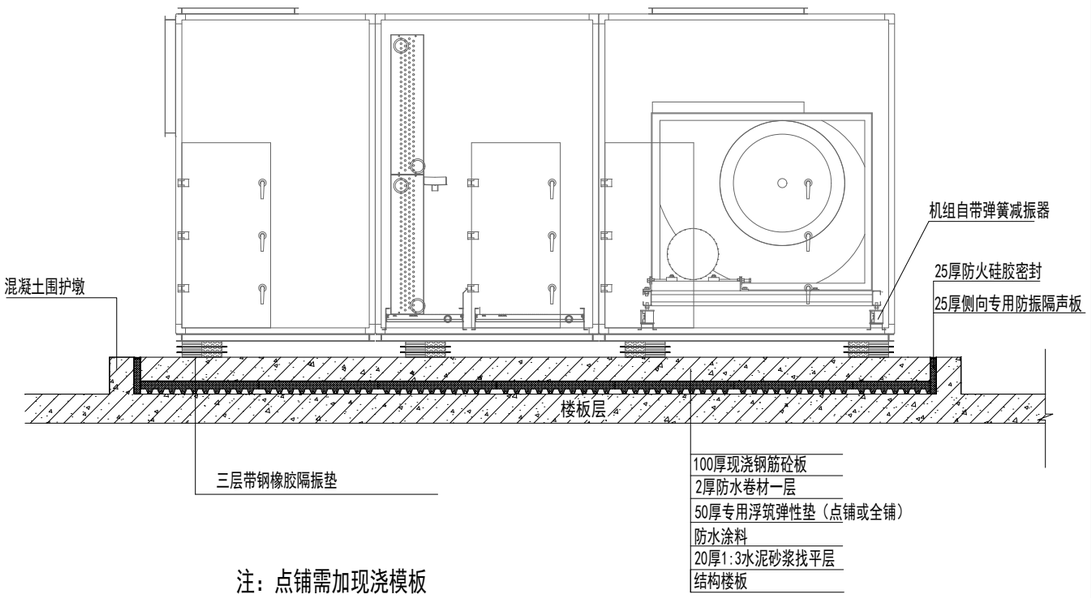
① 浮筑地坪和周围高出部分连接处做法

② 浮筑地坪和柱子连接处做法

③ 浮筑地坪和墙体连接处做法

机房局部浮筑示意图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
	GZ3	双隔振结构+浮筑	自带弹簧减振器	100㎜浮筑层
			专用隔声隔振垫	



注：点铺需加现浇模板

减振器频率	8~10Hz
减振器变形	6~8㎜
减振器阻尼比	0.08
隔振效率	99%
台座控制速度	＜10㎜/s
隔振垫厚度	50㎜
隔振垫重量	31.6kg/m2

备注：

1、混凝土强度为C20，螺纹钢筋直径为Φ12，螺纹钢网纹双向间隔为150*150㎜。

2、螺纹钢交接处用双层铅丝扎牢。

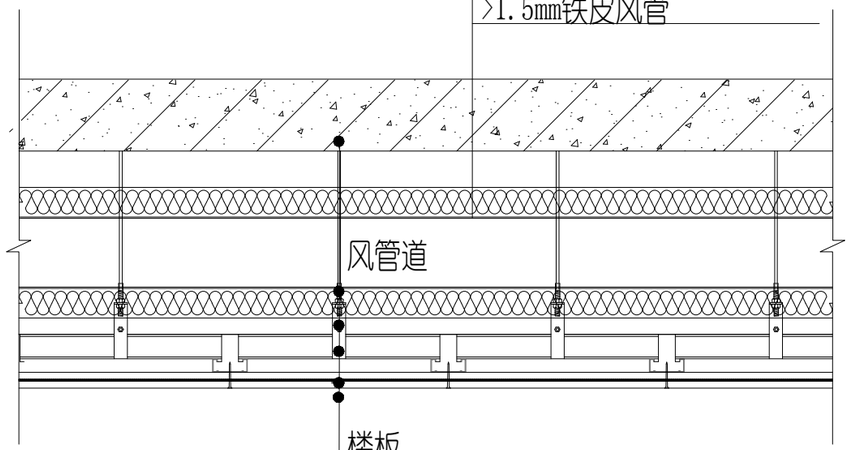
3、100㎜厚浮筑楼板层的底面与螺纹钢底面间距30㎜（即保护层厚度）。

4、四周钢筋混凝土保护层厚度为30㎜。

图号

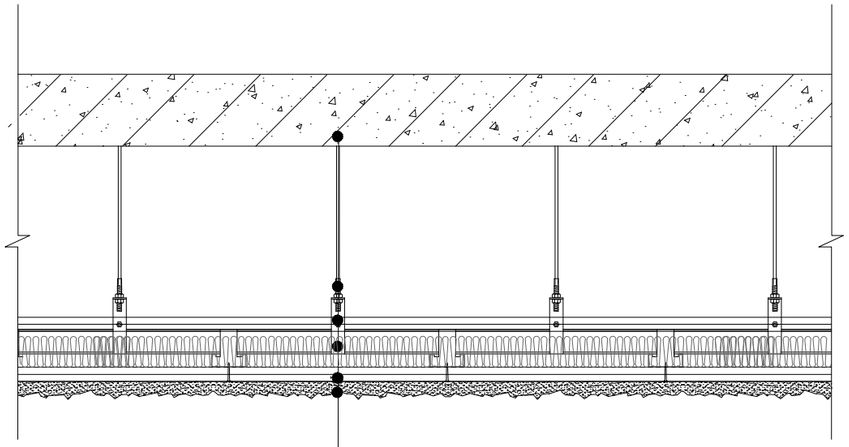
图名　局部浮筑楼板隔振节点图

一层化妆间、卫生间等上部增加隔声吊顶



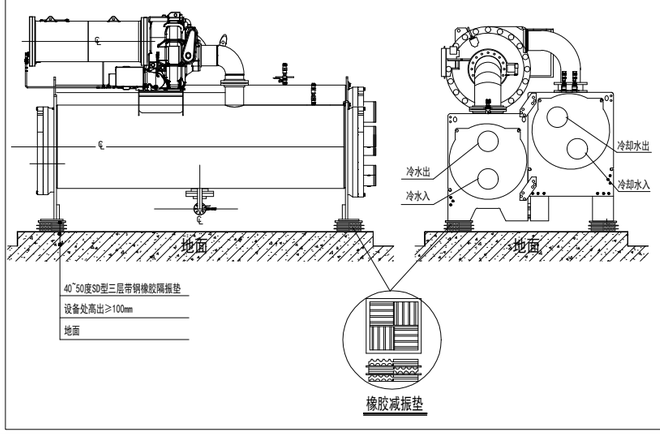
50mm，容重>80kg/m3隔音棉
>2mm橡胶隔音毡，自带背胶
>1.5mm铁皮风管
楼板
轻钢龙骨
两层12mm纸面石膏板（错缝拼接，缝隙使用腻子密封）
两层石膏板中设置一层3mm橡胶隔声毡

大剧场上方隔声吊顶



楼板
双层12mm耐火纸面石膏板（错缝拼接，缝隙使用腻子密封）
75系列轻钢龙骨(内填50mm100kg/m3岩棉，外包玻璃丝布)
双层12mm耐火纸面石膏板（错缝拼接，缝隙使用腻子密封）
25mm吸声喷涂（A级防火）

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ1	直接安装	橡胶减振垫	无



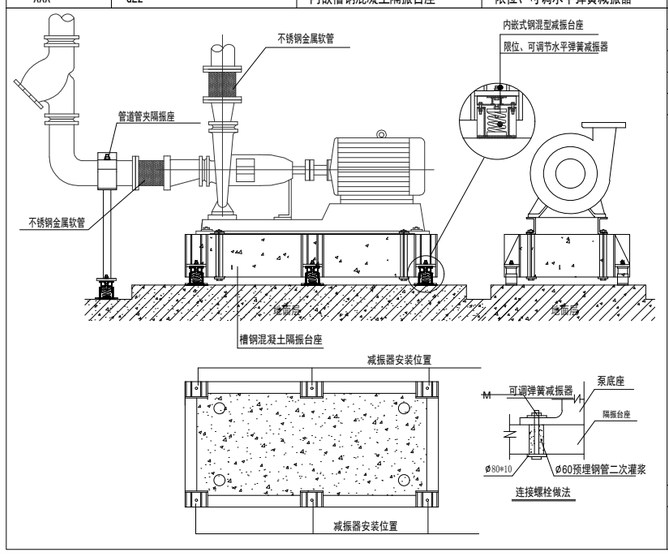
减振器频率	8~10Hz
减振器变形	6~8mm
减振器阻尼比	0.08
隔振效率	85%以上
台座控制速度	<8mm/s

备注：
适用于地下层冷水机组安装
隔振器型号根据具体机组各种参数进行具体选择。

图号

图名 离心式冷水机组隔振安装示意图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	内嵌槽钢混凝土隔振台座	限位、可调水平弹簧减振器	≥300mm

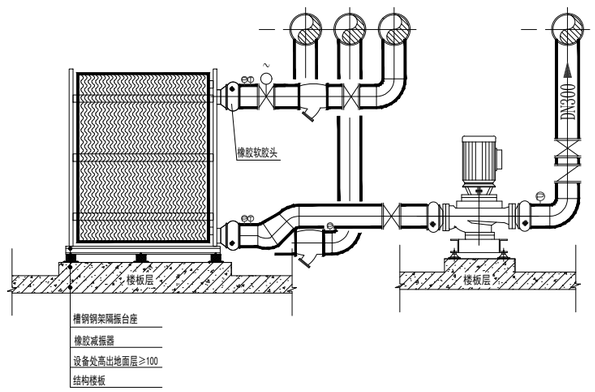


减振器频率	2.2Hz
减振器变形	50mm
减振器阻尼比	0.03
隔振效率	98%以上
台座控制速度	<5mm/s

图号

图名 卧式水泵楼板隔振节点图

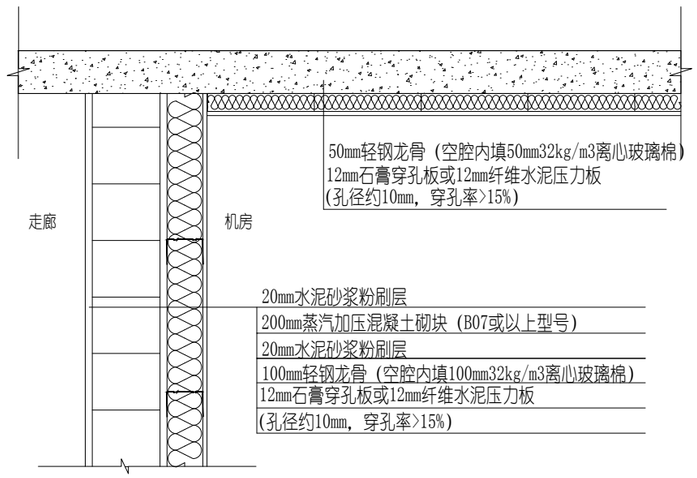
设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ1	槽钢钢架隔振台座	橡胶减振器	≥140mm



减振器频率	7~9Hz
减振器变形	4~8mm
减振器阻尼比	0.06
隔振效率	92%以上
台座控制速度	<5mm/s

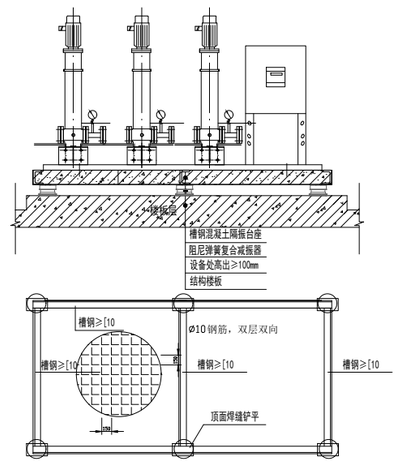
图号

图名 热交换机隔振节点大样图



机房吸声做法图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	槽钢混凝土隔振台座	弹簧减振器	≥100mm



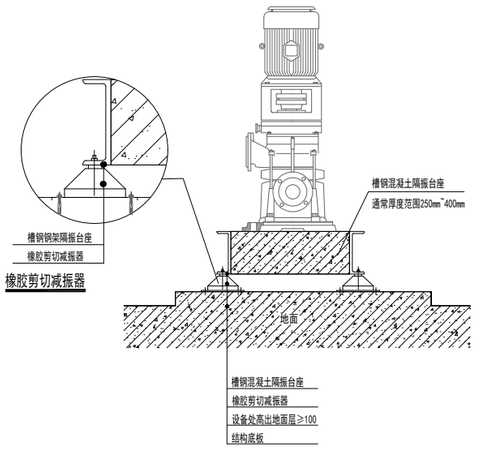
减振器频率	3~5Hz
减振器变形	25~30mm
减振器阻尼比	0.035
隔振效率	95%以上
台座控制速度	<10mm/s

备注：
适用于上楼层（或敏感区域）立式水泵组

图号

图名　立式变频水泵组隔声及隔振节点大样图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ1	槽钢混凝土隔振台座	橡胶剪切减振器	≥250mm

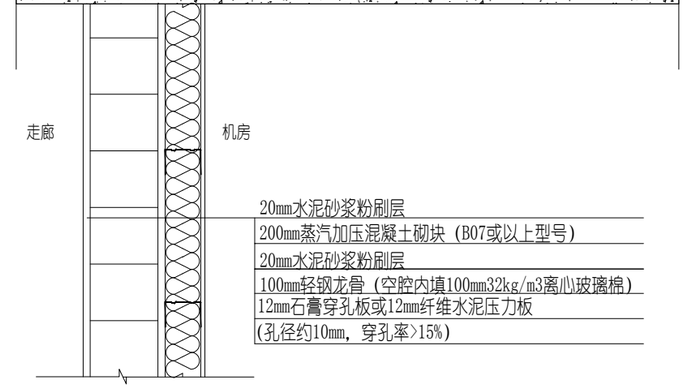


减振器频率	5~10Hz
减振器变形	8~10mm
减振器阻尼比	0.08
隔振效率	85%以上
台座控制速度	<5mm/s

备注：
适用于地下设备层

图号

图名　水泵隔振节点大样图

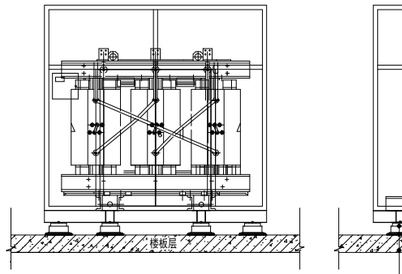


机房吸声做法图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ3	双隔振	防剪切阻尼弹簧减振器+橡胶隔振垫	无

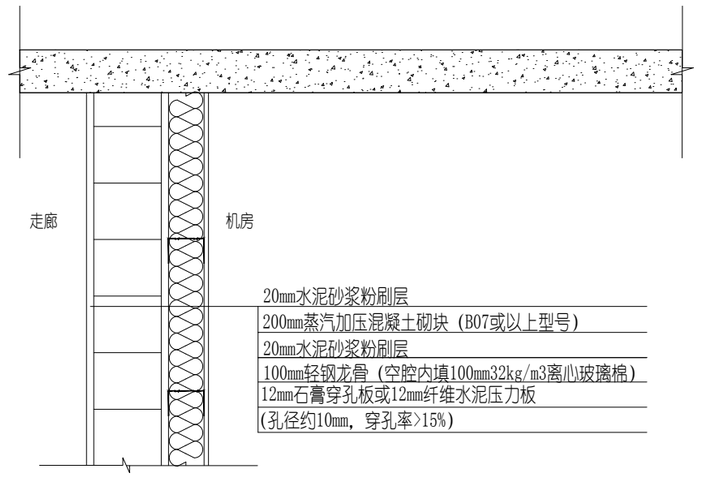
减振器频率	3~5Hz
减振器变形	25~30mm
减振器阻尼比	0.06
隔振效率	98%以上
台座控制速度	<5mm/s

备注:
适用于楼上变压机房



图号

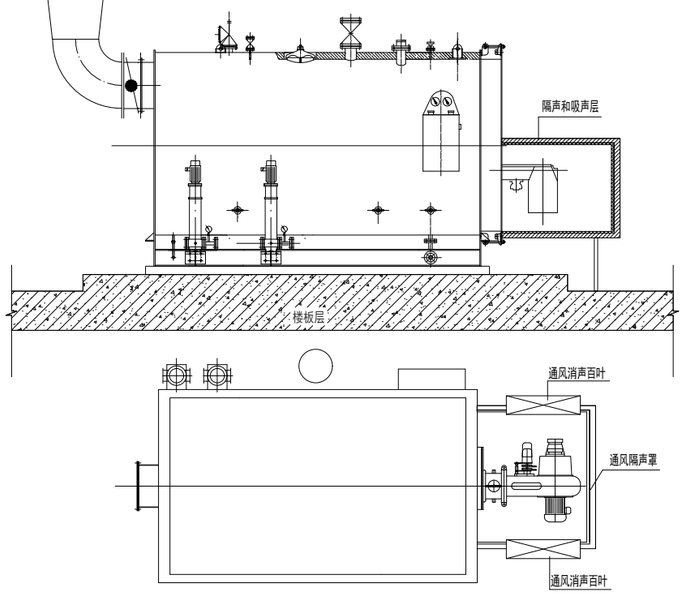
图名 变压器双隔振节点大样图



机房吸声做法图

工程名称	变压器及设备隔振及降声做法详图
设计	施工图
审核	刘

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX				

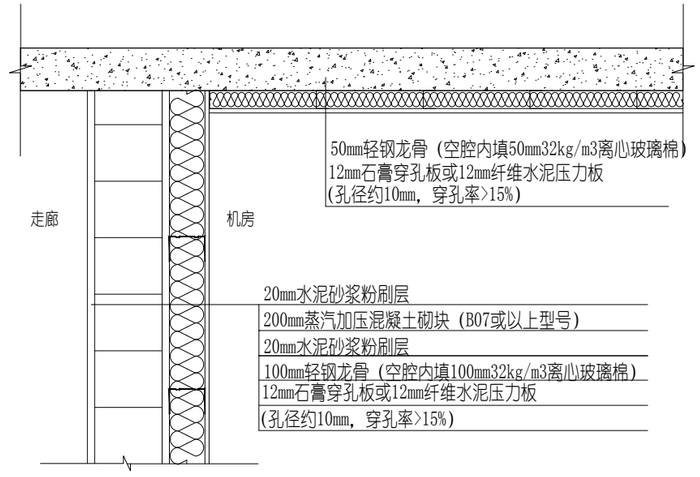


减振器频率	
减振器变形	
减振器阻尼比	
隔振效率	
台座控制速度	

图号

图名　锅炉隔声

节点大样图

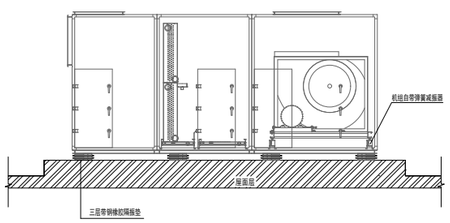


机房吸声做法图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ3	双隔振结构	自带弹簧减振器 专用隔声隔振垫	100mm

减振器频率	8~10Hz
减振器变形	6~8mm
减振器阻尼比	0.08
隔振效率	99%
台座控制速度	<10mm/s
隔振垫厚度	50mm
隔振垫重量	31.6kg/m2

备注：



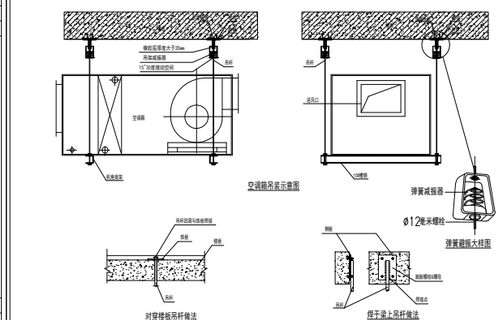
图号

图名 空调机组隔振节点图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX		GZ2	吊装	弹簧橡胶复合减振器

减振器频率	3.2Hz
减振器变形	25~35mm
减振器阻尼比	0.035
隔振效率	95%以上
台座控制速度	

备注：
适用于设备层吊装风机隔振

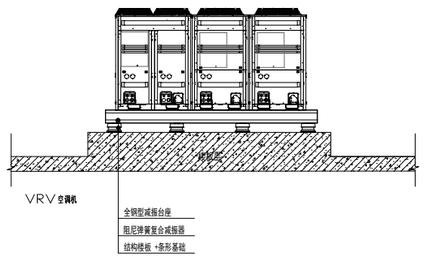


图号

图名 空调器吊装隔振做法示意

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	全钢型减振台座+弹簧减振器	弹簧减振器	≥120mm

减振器频率	3~5Hz
减振器变形	25mm
减振器阻尼比	0.035
隔振效率	95%以上
台座控制速度	<5mm/s



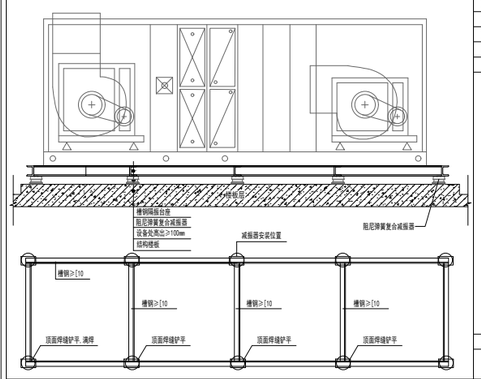
图号

图名 VRV空调机组
隔振节点大样图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	槽钢隔振台座	阻尼弹簧复合减振器	≥100mm

减振器频率	3~5Hz
减振器变形	25~30mm
减振器阻尼比	0.035
隔振效率	95%以上
台座控制速度	<10mm/s

备注：
适用于上楼层空调机组



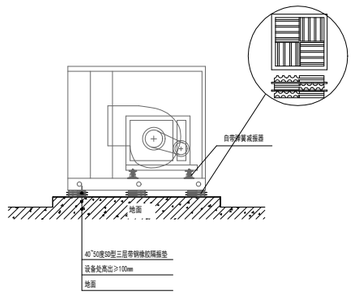
图号

图名 空调机组隔振节点图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ1	直接安装	橡胶减振垫	无

减振器频率	8~10Hz
减振器变形	6~8mm
减振器阻尼比	0.08
隔振效率	85%以上
台座控制速度	<8mm/s

备注：
适用于地下层风机机组、小于100000CMH风机或者自带弹簧隔振器的风机设备



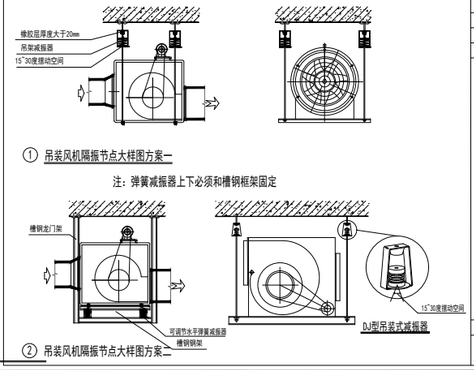
图号

图名 风机箱隔振节点图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	吊装	弹簧减振器	无

减振器频率	3.2Hz
减振器变形	25~35mm
减振器阻尼比	0.035
隔振效率	95%以上
台座控制速度	

备注：
适用于设备层吊装风机隔振

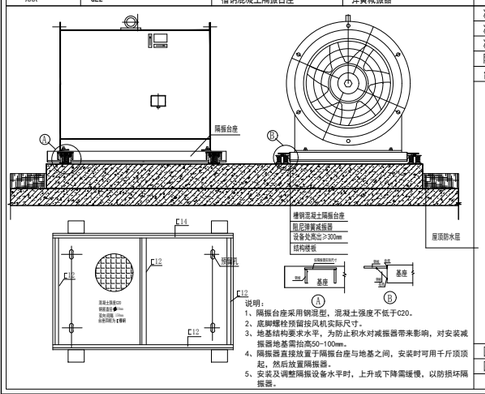


图号

图名 吊装风机
隔振节点大样图

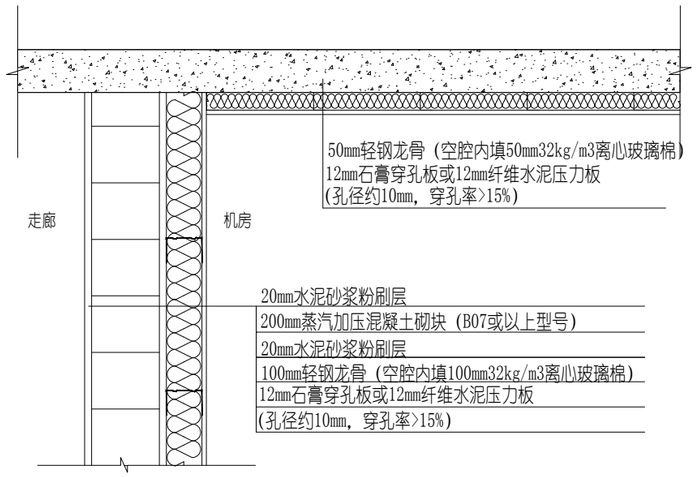
设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	槽钢混凝土隔振台座	弹簧减振器	≥100mm

减振器频率	2.2Hz
减振器变形	50mm
减振器阻尼比	0.03
隔振效率	97%以上
台座控制速度	<7mm/s

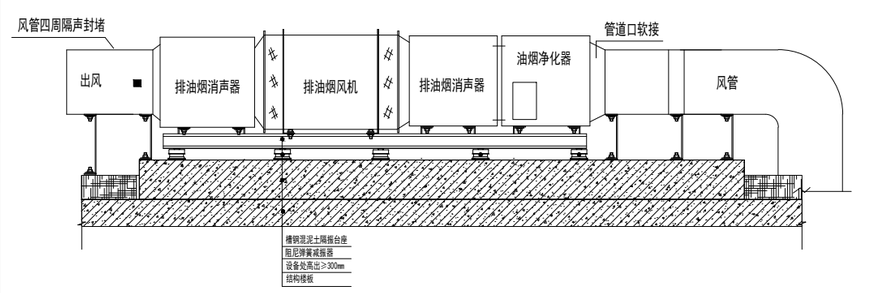


图号

图名 屋面排风风机隔振详图

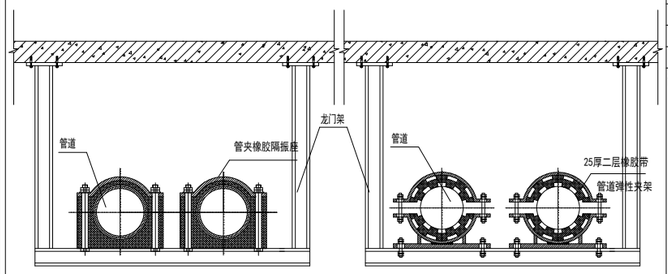


机房吸声做法图



空调、风机设备隔振护脚基本详图

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ1		管道管夹减振器	



① 吊装管道橡胶隔振做法

注:150口径管道以下

② 吊装管道橡胶隔振做法

注:150口径管道以上

减振器频率	8~10Hz
减振器变形	4~6mm
减振器阻尼比	0.06
隔振效率	85%以上
台座控制速度	

备注:

1、设备层机房内的落地管道及吊装管道必须做管道隔振处理。

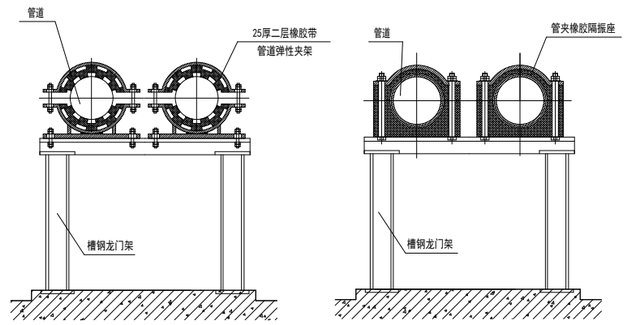
2、建议设备层机房内管道采用落地支撑安装。

3、管道弹性夹架内的橡胶带硬度为50~60度。

图号

图名 吊装管道橡胶隔振做法

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ1	直接安装	管道管夹减振器	无



① 落地管橡胶隔振做法

注:150口径管道以上

② 落地管橡胶隔振做法

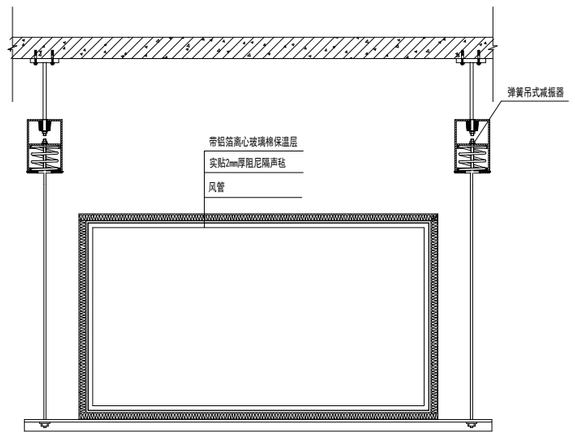
注:150口径管道以下

减振器频率	8~10Hz
减振器变形	6~8mm
减振器阻尼比	0.08
隔振效率	85%以上
台座控制速度	

图号

图名 地下层水泵管道支架隔振方案

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	吊装	弹簧橡胶吊架减振器	



减振器频率	3.2Hz
减振器变形	25mm
减振器阻尼比	0.03
隔振效率	95%以上
台座控制速度	

备注:

使用范围说明:

1. 设备机房与主要用房相邻，风管直接进入主要相邻用房，则风管出机房应考虑做隔声处理。

2. 风管从设备机房进入走道再进入主要相邻用房时，分三种情况:

1）当机组风量<10000时，风管不做隔声处理;

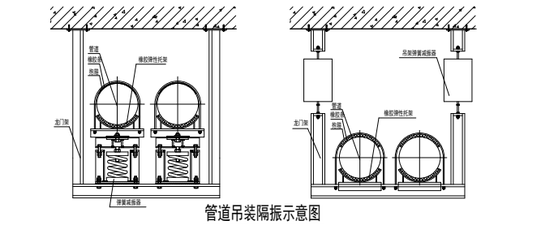
2）当>10000机组风量<20000时，风管出机房3米内做隔声处理;

3）当机组风量>20000时，风管出机房5米内做隔声处理.

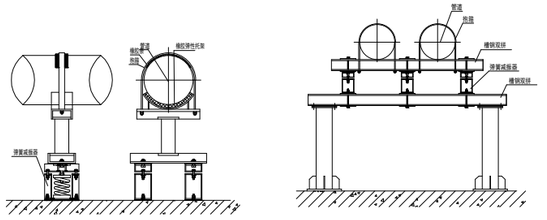
图号

图名 风管隔声隔振处理做法

设备编号	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度
XXX	GZ2	吊装	弹簧橡胶复合减振器	无



管道吊装隔振示意图



管道支撑隔振示意图

减振器频率	3.2Hz
减振器变形	25~35mm
减振器阻尼比	0.035
隔振效率	95%以上
台座控制速度	

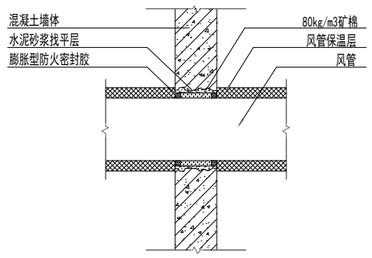
备注:

管道弹簧减振适用于室外的空调机组设备

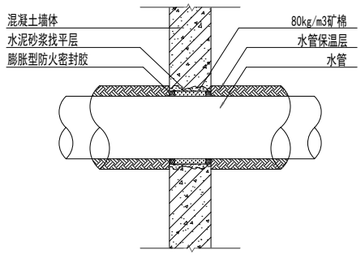
图号

图名 吊装管道弹簧隔振做法

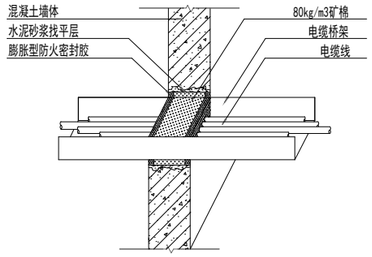
设备细节	设备隔振形式	隔振结构形式	隔振器种类	隔振台座厚度



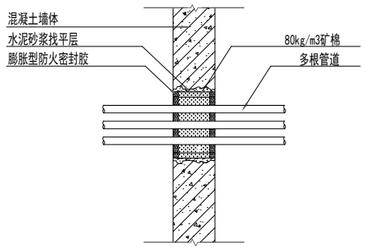
① 风管防火封堵示意图



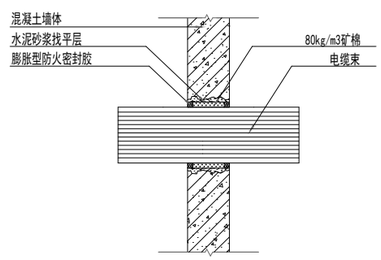
② 水管防火封堵示意图



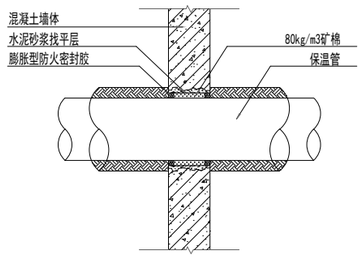
③ 电缆桥架防火封堵示意图



④ 多根管道防火封堵示意图



⑤ 电缆束防火封堵示意图



⑥ 保温管防火封堵示意图

减振器频率	
减振器变形	
减振器阻尼比	
隔振效率	
台座控制速度	

备注：

使用范围说明：

1、管道从设备机房穿越墙壁或楼板时，必须做防火隔声封堵。

2、管道穿越墙壁或楼板进入主要技术用房（如会议室、办公室等）时，必须做防火隔声封堵。

3、其它情况，做一般封堵，但不能和墙壁或楼道硬连接。

管道封堵安装说明：

1、安装之前，清洁孔口周边及贯穿物，使之干燥、无灰尘与杂物。

2、将80K矿棉紧密填入孔壁与风管的缝隙内，两侧各留出25mm用于填膨胀型防火密封胶。

3、将膨胀型防火密封胶注入风管与孔壁间的缝隙内，修整表面。

4、系统48小时内不得扰动。

图号	
图名	管道穿墙隔声防火封堵做法

义乌大剧院歌剧院计算机模拟报告

2023.05.17

前言

自从 60 年代 Shroeder 把计算机模拟的基本原理引入室内声学和 Krotstad 首次发表室内声场计算机模拟的论文以来，厅堂音质的计算机模拟技术得到了长足的发展。

一方面由于近代计算机性能的提高使复杂的模拟运算能够得以实现；另一方面声场模拟方法的不断完善和改进为厅堂音质模拟的实用化创造了条件。随着厅堂音质计算机模拟技术的深入研究，模拟速度和精度不断提高，对厅堂音质中声波的传播、反射和吸收等特性的模拟也越来越逼真。

目前厅堂音质的计算机模拟软件已经较为成熟，广泛地应用于厅堂音质设计、音质评价、声场特性研究等领域。与实物模型（缩尺模型）相比，它克服了模型制作和测试中的困难，而且它的模型的建立和修改十分方便、便捷，大大地节约了时间和费用。特别是在最近几年，计算机模拟分析已经成为厅堂获取良好音质的必要的辅助工具。

本次计算机声学模拟分析所采用的软件为丹麦技术大学编制的 ODEON 16，为目前市场最新版本。ODEON 建声模拟软件是世界上公认模拟结果最可靠的建声模拟软件之一。

本次计算机声学模拟分析主要是为了了解厅内声学评价参量。通过对这些参量的数据分析，检查厅内音质环境的好坏、厅内的墙面和顶面的材料布置是否合理，以便在以后的建声和装修设计中加以调整。

（注：1994 年，德国声学学会曾组织了一次声场计算机模拟分析软件的国际性巡回比较研究。其结果发表在 1995 年的 15 届国际声学大会（ICA）。在参加的 16 个软件中，只有三个软件的计算结果被认为可靠，计算结果与实测值之差在平均实测值的标准偏差之内，ODEON 就是其中之一。）

计算机声场模拟的客观参量

根据 ISO 3382：2009(E)国际标准以及 Beranek 著的《音乐厅和大剧院》，决定厅堂音质的主要客观参量为：

1. 混响时间 RT（Reverberation time）：声音达到稳态后停止发声，声能衰减 60dB 所需要的时间。实测混响时间 T_{30} 是指声能最初衰减 30dB 所需要时间的 2 倍。
2. 早期衰变时间 EDT（Early decay time）：指声能最初衰减 10dB 所需要时间的 6 倍。EDT 与人的混响感相关性更好。
3. 明晰度 C80（Clarity）：透明度是用于评价音乐的透明程度，它的定义是 80ms 前后接收到的声能之比，对应的公式为：

$$C80 = 10\lg\frac{\int_0^{80ms} p^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t)dt}(dB)$$

4. 为了增大明晰度 C80 对音质评价的灵敏度，常将 500、1000 和 2000 Hz 的 3 个倍频带的测量值加以平均，并以 C80(3)表示。
5. D50（清晰度）清晰度 D50 为早期声能与总声能的比值，单位为 dB。其中早期声指 0－50ms 内到达的声能。

$$D50 = 10\lg\frac{\int_0^{50ms} p^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt}(dB)$$

其中，p(t)为声压的瞬时值。

6. 侧向反射比 LF（lateral Energy Fraction）：80ms 内的侧向反射声能与 80ms 内总声能的比值，对应的公式为：

$$LF = \frac{\int_{5ms}^{80ms} p_8^2(t)dt}{\int_0^{80ms} p^2(t)dt}$$

（其中 P8(t)为 8 字型指向性传声器测得的声压，积分从 5ms 开始是为了消除直达声的影响），LFE4 为 125、250、500 和 1000Hz 的 4 个倍频带 LF 的平均值。

7. 声场力度 G（Sound strength）：它的定义为舞台上一个无指向性声源在厅堂中某点产生的声压级与自由声场中（声功率保持不变）离声源 10m 处的声压级之比，对应的公式为：

（其中 P10(t)为同一声源在自由声场中，接收点离声源为 10m 处的声压）。中频声场力度 Gmid

$$G = 10\lg\frac{\int_0^{\infty} p^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t)}(dB)$$

为 500 和 1000Hz 的 2 个倍频带 G 的平均值。

8. 低音比 BR（Bass Ratio）：是低频（125Hz、250Hz）混响时间与中频（500Hz、1000Hz）混响时间的比值，对应的公式为：

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}}$$

此外反射声序列（the impulse response）也是厅堂音质的重要参量，通过观察测点的反射声序列，能够较好地评价和分析该点的音质的好坏及是否存在音质缺陷。

9. 语音传输指数 STI（speech transmission index）：0~1 之间的度量，代表语音传输通路与可懂度相关的语音传输品质。STI 是一种确定传输通路语音传输品质的快速客观测量方法。使用语音传输指数 STI，各种语音传输通路条件下不同类型词和不同形式句子的言语可懂度就能被预测。

一、大剧院声场模拟分析

1. 大剧院功能及建筑概况

大剧院容座为 1600 座。

厅内建筑尺寸：长：约 31.8m；宽：18 ~34m。

舞台开口：18 m×11.85m；

2. 音质设计指标

大剧场可容纳观众 1600 人，可以演出大型歌剧、舞剧、音乐会、大型综艺及举办两会活动等声源形式以自然声为主要声源，电声并重。

主要音质设计指标：

- 中频满场混响时间 RT：

文艺演出兼顾人大会议功能状态：RT=1.40±0.10s

- 混响时间频率特性：

早期衰变时间 EDT：1.2~1.4s

低频比重：1.0～1.15（提高低频 RT 可增强音乐丰满度）

高频比重：0.8～1.0（降低高频 RT 可提高语言清晰度）

- 侧向反射系数 LFE4：15%～35％
- 响度

中频声场力度 Gmid：-1.0~2.0dB

低频声场力度 Glow：-1.05~2.3dB

- 厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

3. 计算机声场模拟

3.1 模拟方法

本次模拟主要步骤为：首先建立实际厅堂符合声学软件要求的三维模型，然后对三维模型的所有三维面布置声学材料，将材料声学特性参数输入计算机模拟软件形成三维计算机声学模型，最后由软件模拟出声波在室内的传播的声场特性。实际厅堂三维声学模型是建立整个模拟的基础，模拟厅堂的各个界面必须是平面，对于结构复杂的实际厅堂内表面，为了提高模拟的准确性需要进行声学简化，如把曲面划分为几个或多个平面的组合、把实际的扩散造型以扩散系数附值替代等。

3.2 模型建立

在建立三维模型以前，确定以下的直角坐标系（x、y、z）：

坐标原点取台口大幕线下舞台中点位置，从原点指向观众厅方向为 x 轴的正方向；从原点指左侧墙方向为 y 轴的正方向；从原点向正上方为 z 轴的正方向。声源布置在大幕线中点往后 0.5 米处的舞台上，距离舞台面 1.5 米高。模拟接收点均匀布置在成对称关系的观众席的一侧，共 24 个测点，测点距离剧院地面高 1.2 米。

模型及测点布置如下图所示：

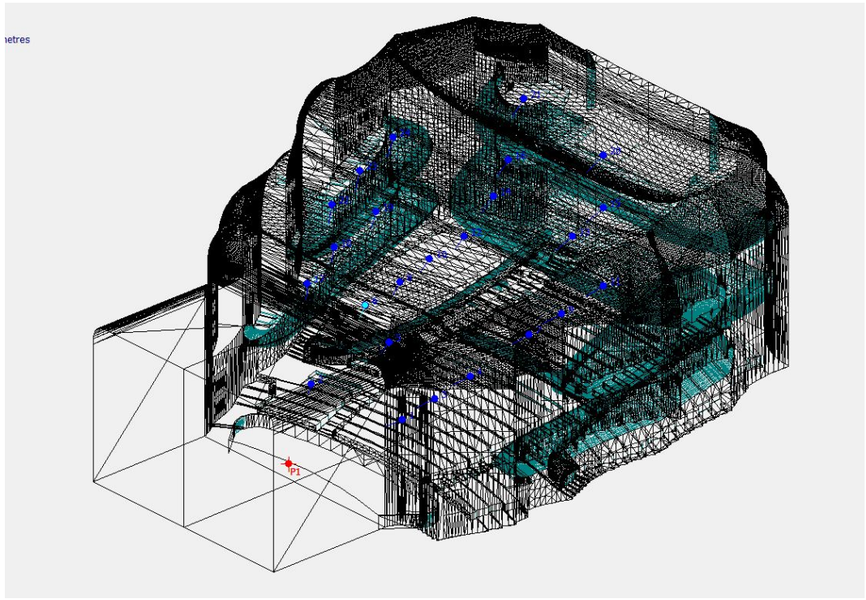


图 1 模型轴测图

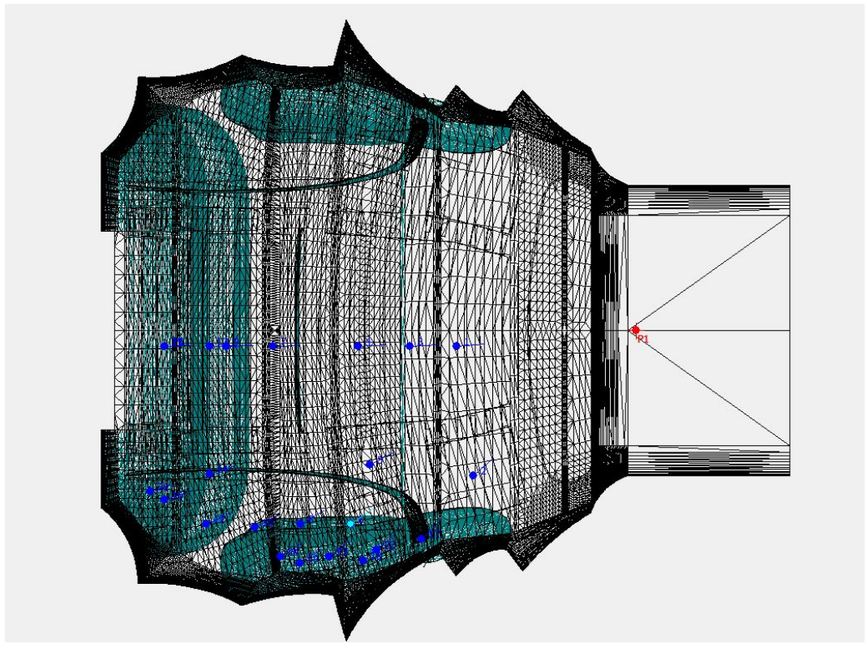


图 2 模型俯视图

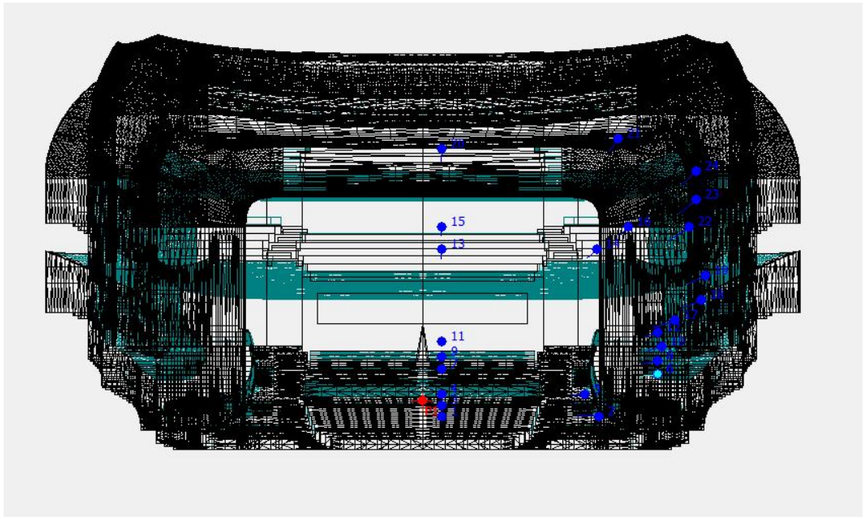


图 3 模型前视图

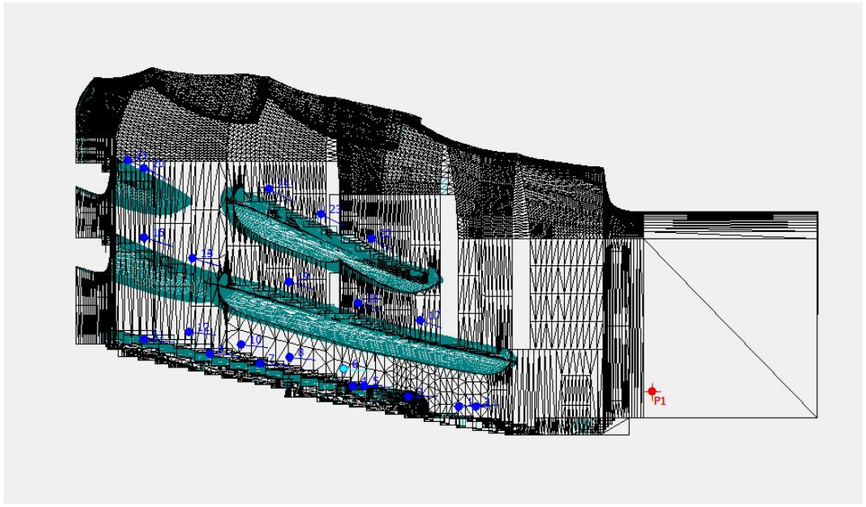


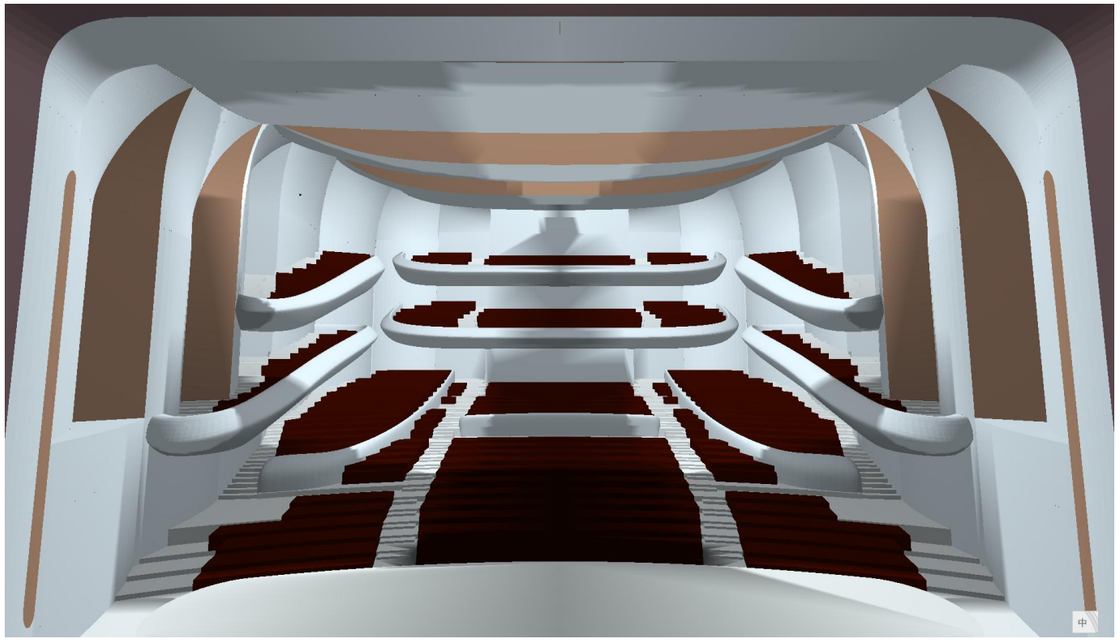
图 4 模型侧视图

3.3 吸声材料布置

大剧院材料布置汇总如下：

部位	材料说明	吸声系数（倍频带）					
		125	250	500	1000	2000	4000
舞台	开口	0.45	0.6	0.65	0.65	0.65	0.65
	舞台专用木地板	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06

地面	乐池与舞台齐平	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04
后墙	玻璃饰面	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	门窗	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
侧墙	玻璃饰面	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	耳光开口	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.50
栏板	木饰面	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
天花	玻璃饰面	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	面光开口	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.50
座椅	满场	0.63	0.74	0.82	0.85	0.86	0.86
	空场	0.40	0.60	0.71	0.73	0.74	0.74



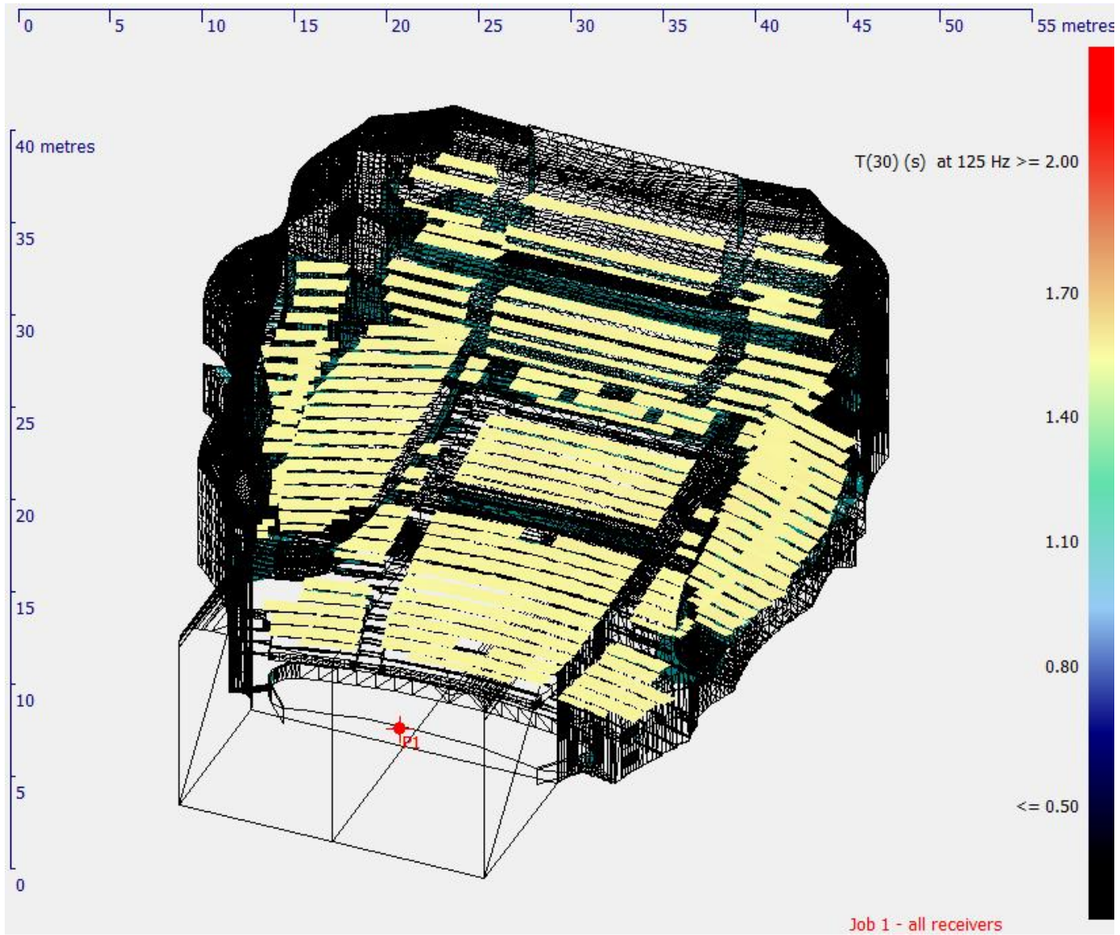
附上吸声材料后的模拟效果图

3.4 计算机声场模拟结果

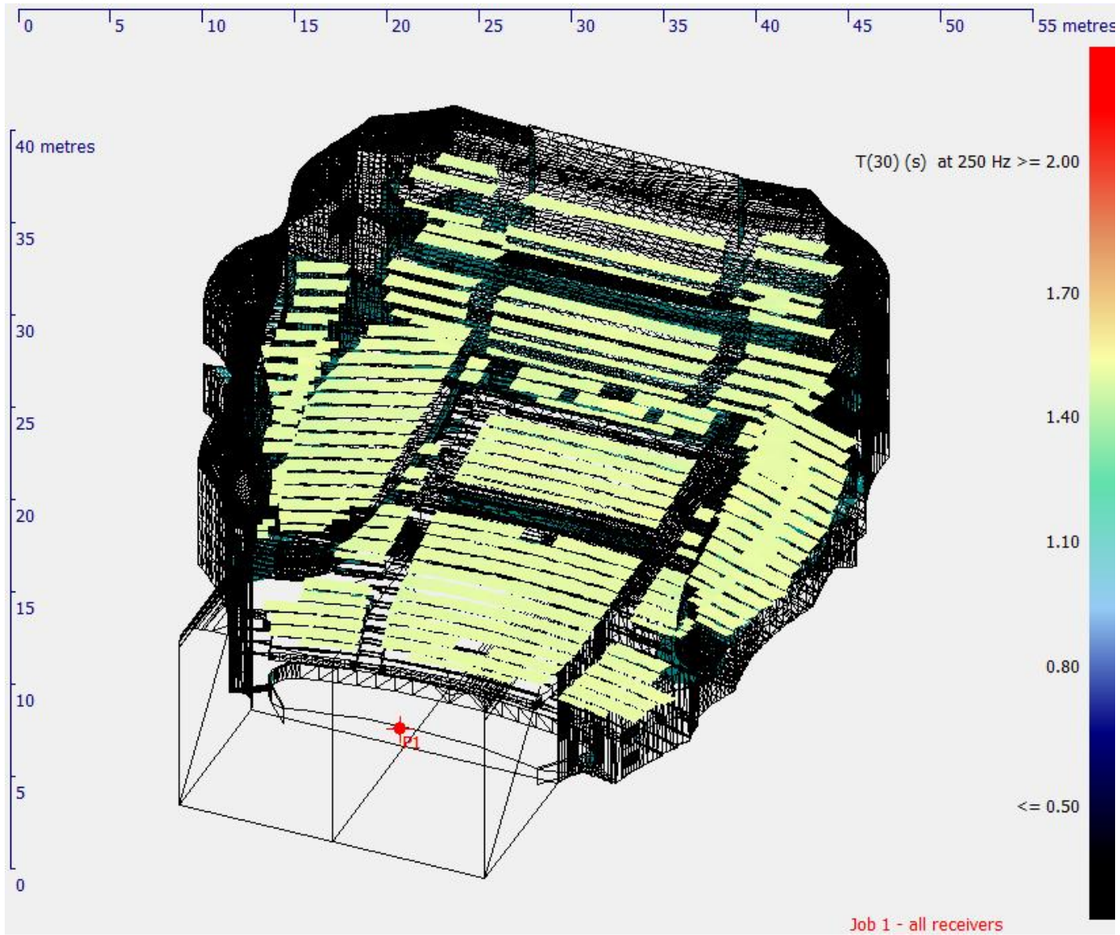
1). 混响时间 T_{30}（满场）

a.观众厅座区的彩色网格示意图

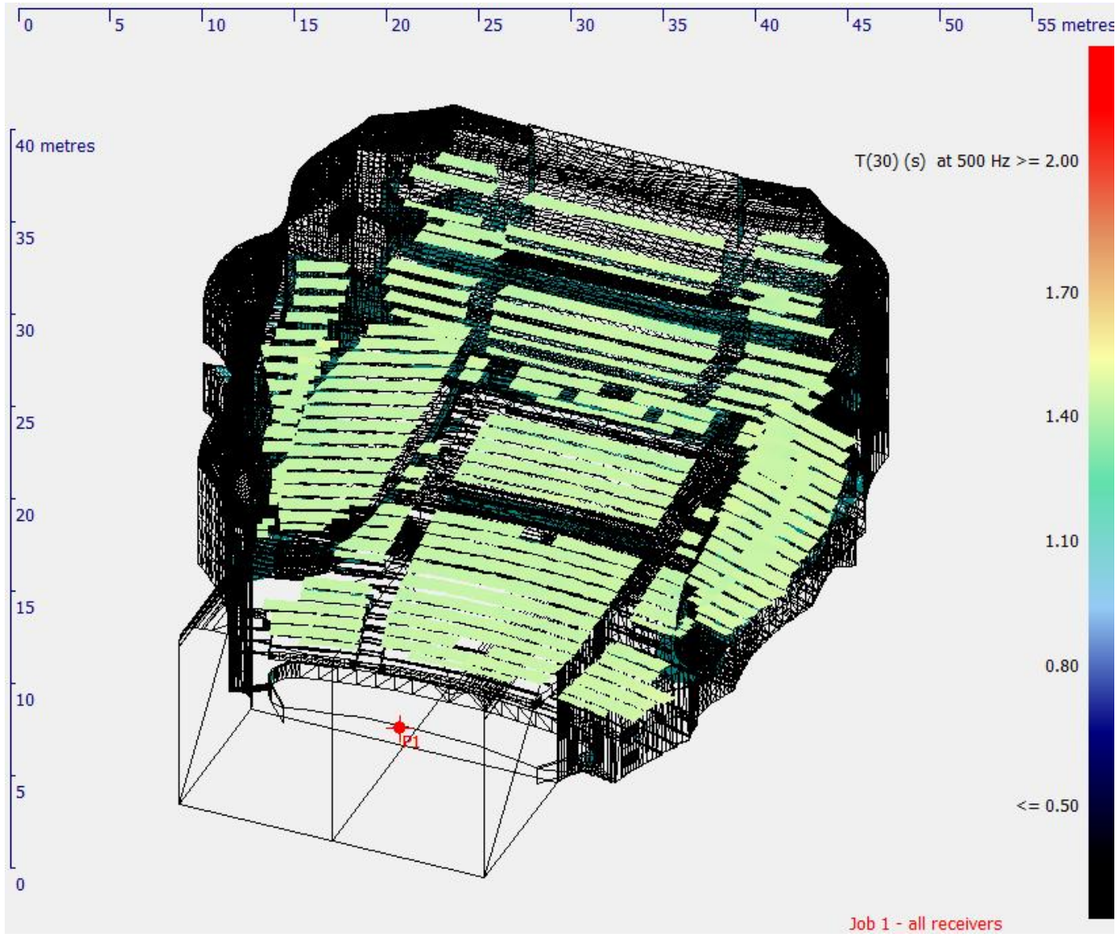
（低频 125Hz）



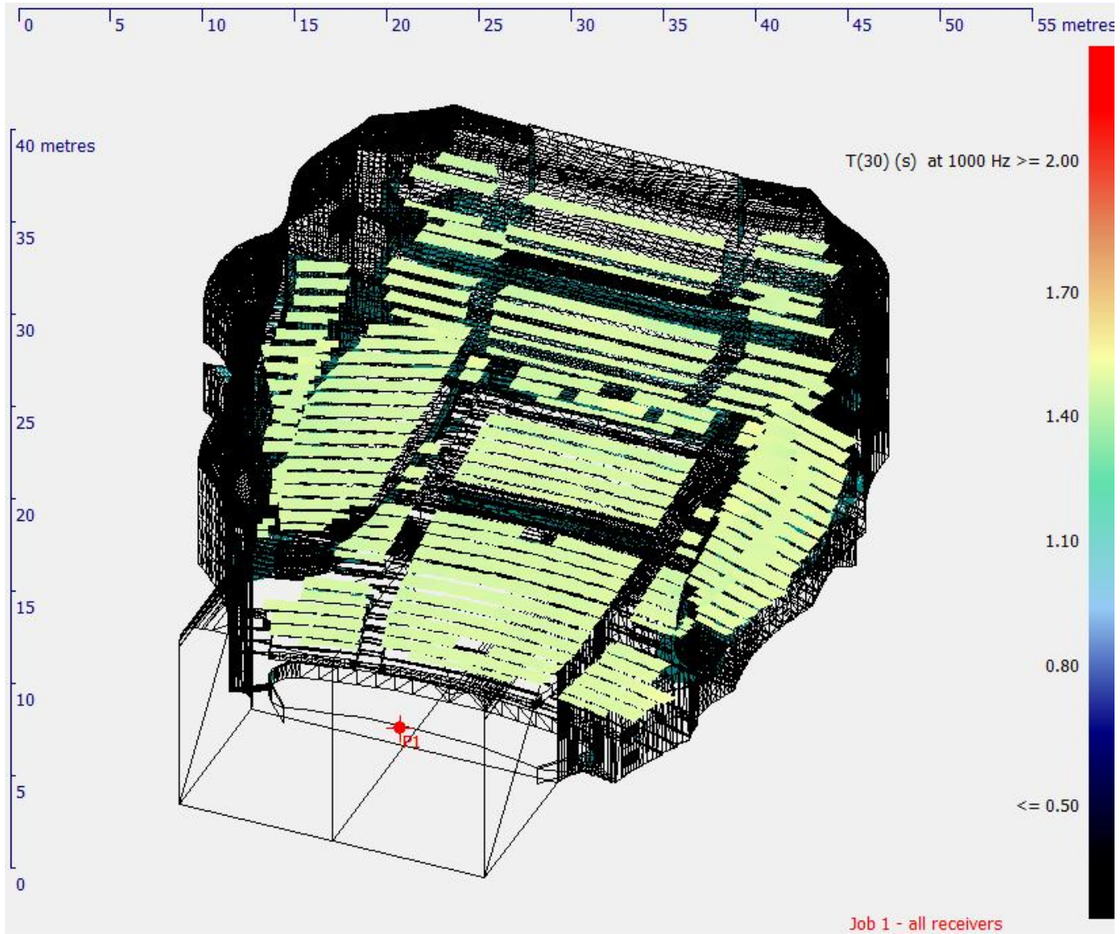
（低频 250Hz）



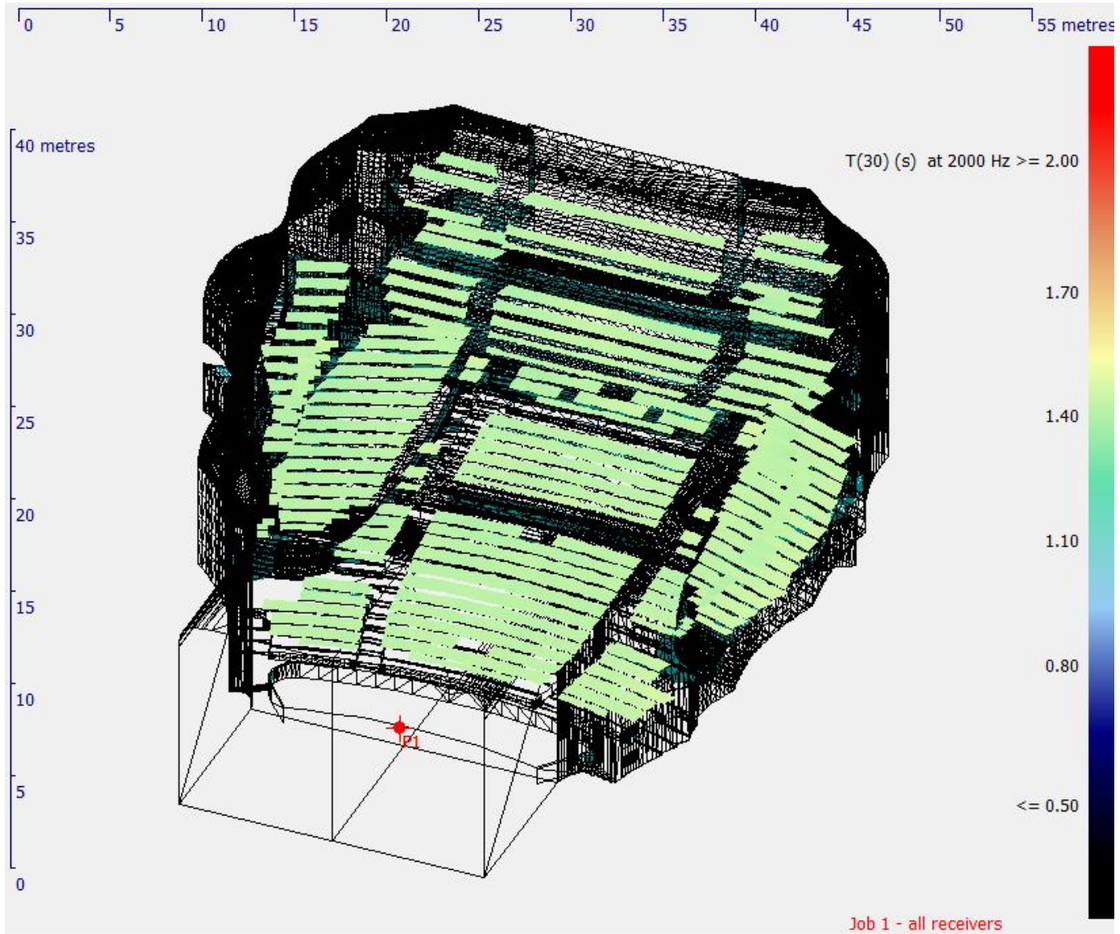
（中频 500Hz）



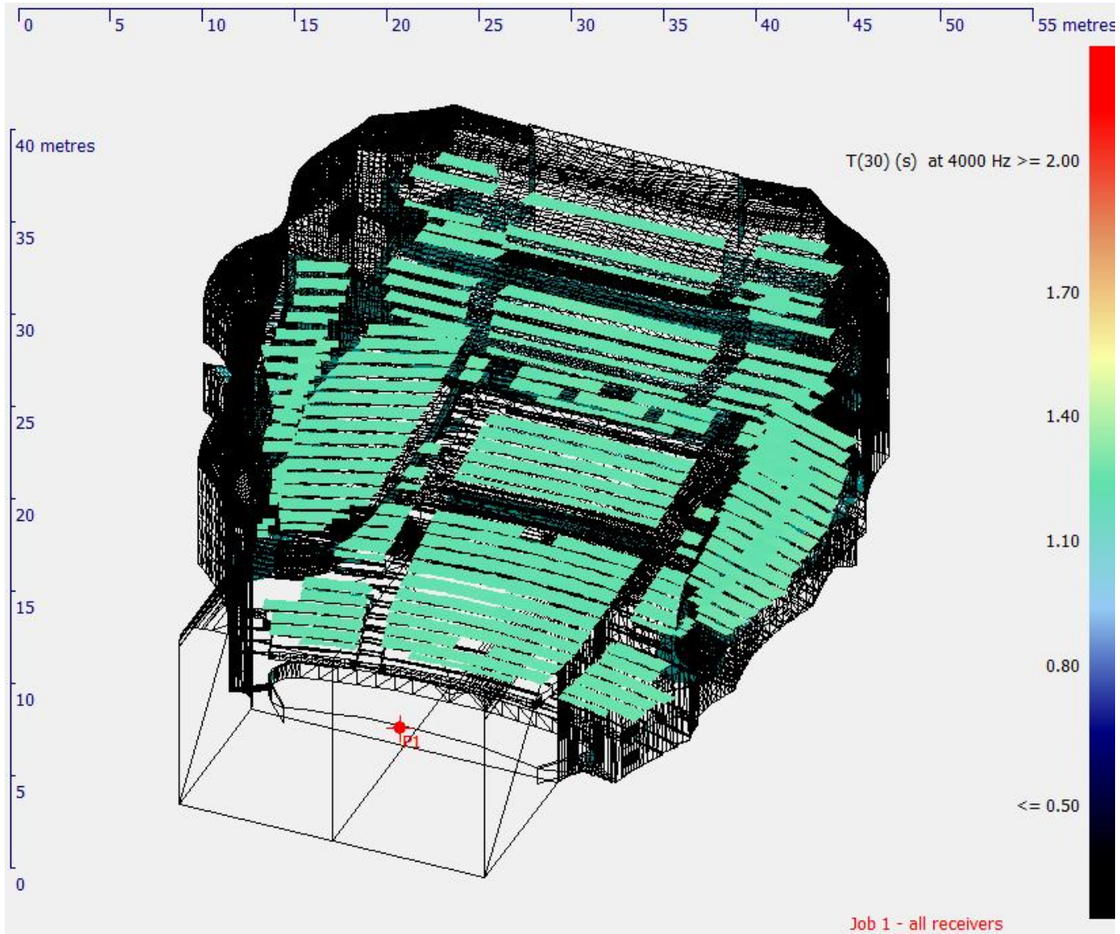
（中频 1000Hz）



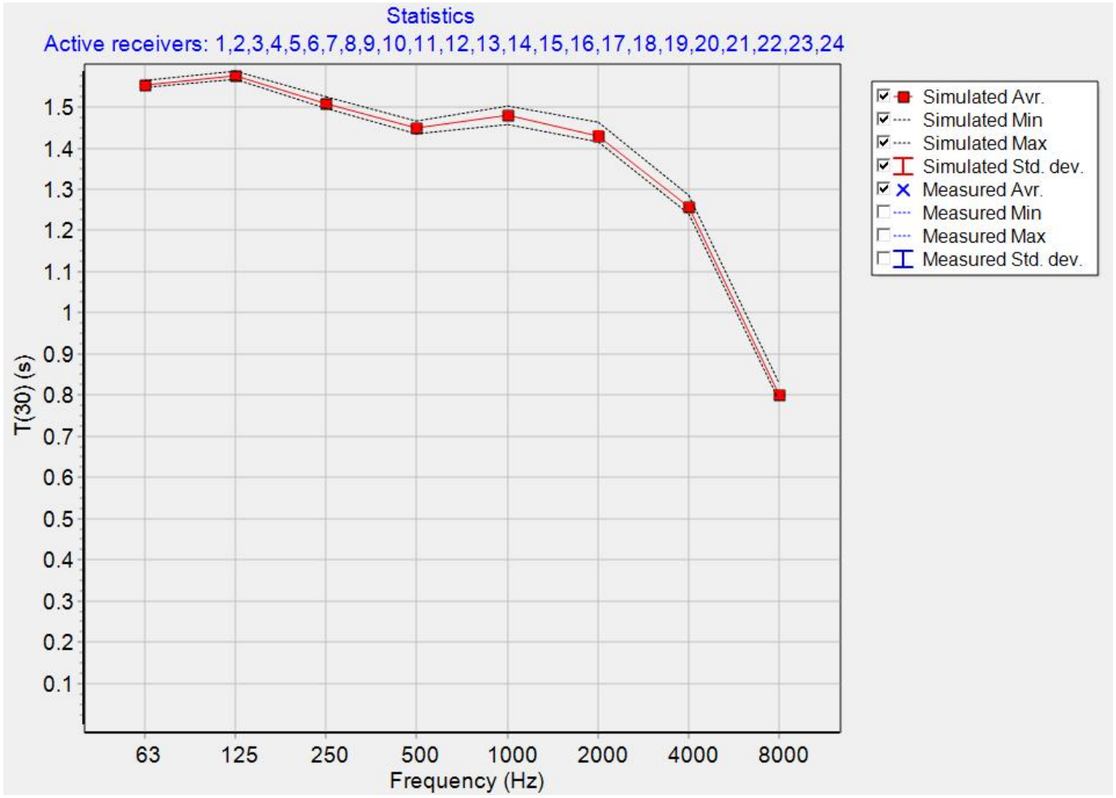
（高频 2000Hz）



（高频 4000Hz）



b.24 个测点的平均值以及最大、最小值范围



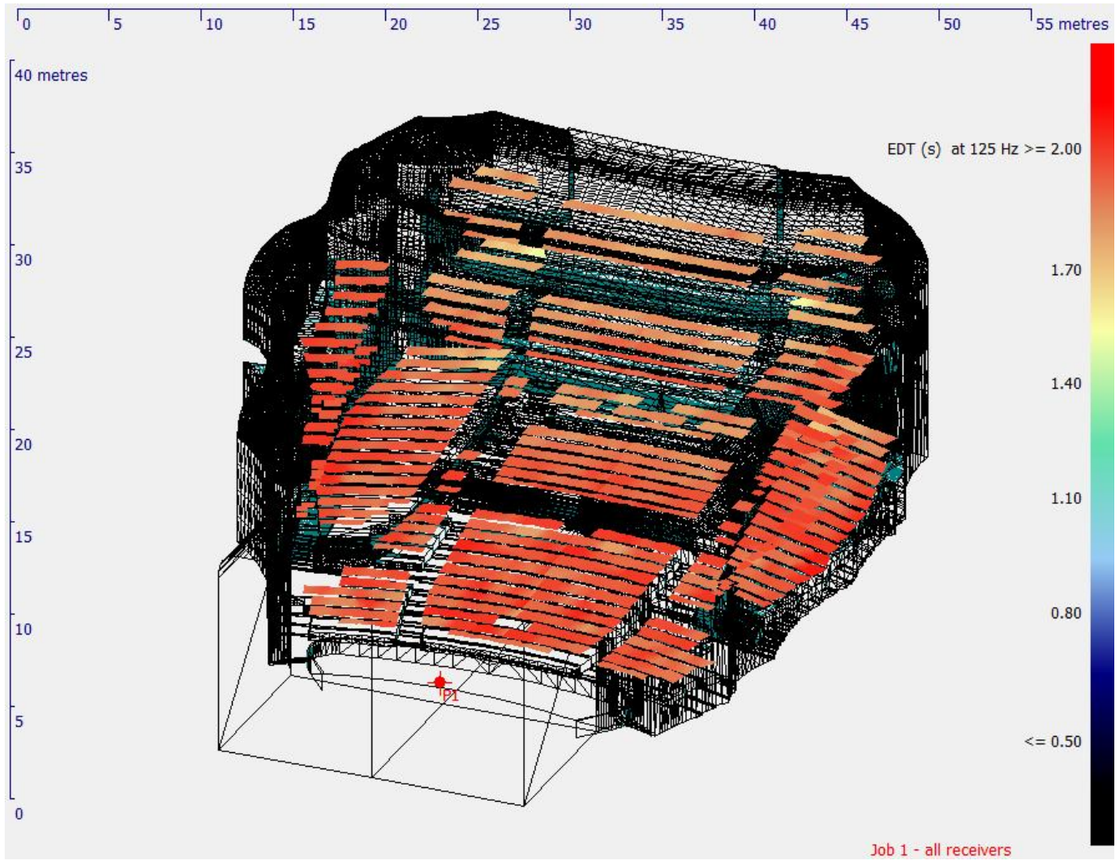
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	1.57	1.50	1.43	1.46	1.42	1.24
Maximum	1.59	1.52	1.47	1.50	1.46	1.29
Average	1.58	1.51	1.45	1.48	1.43	1.26

评价：中频满场混响时间 T30 平均值为 1.47 秒，在设计指标范围（1.3~1.5 秒）内。混响时间的频率特性和中频混响时间设计值符合设计要求。据 T30 彩色网格分布图可以看出，混响时间分布均匀，最大值和最小值在合理的范围内。

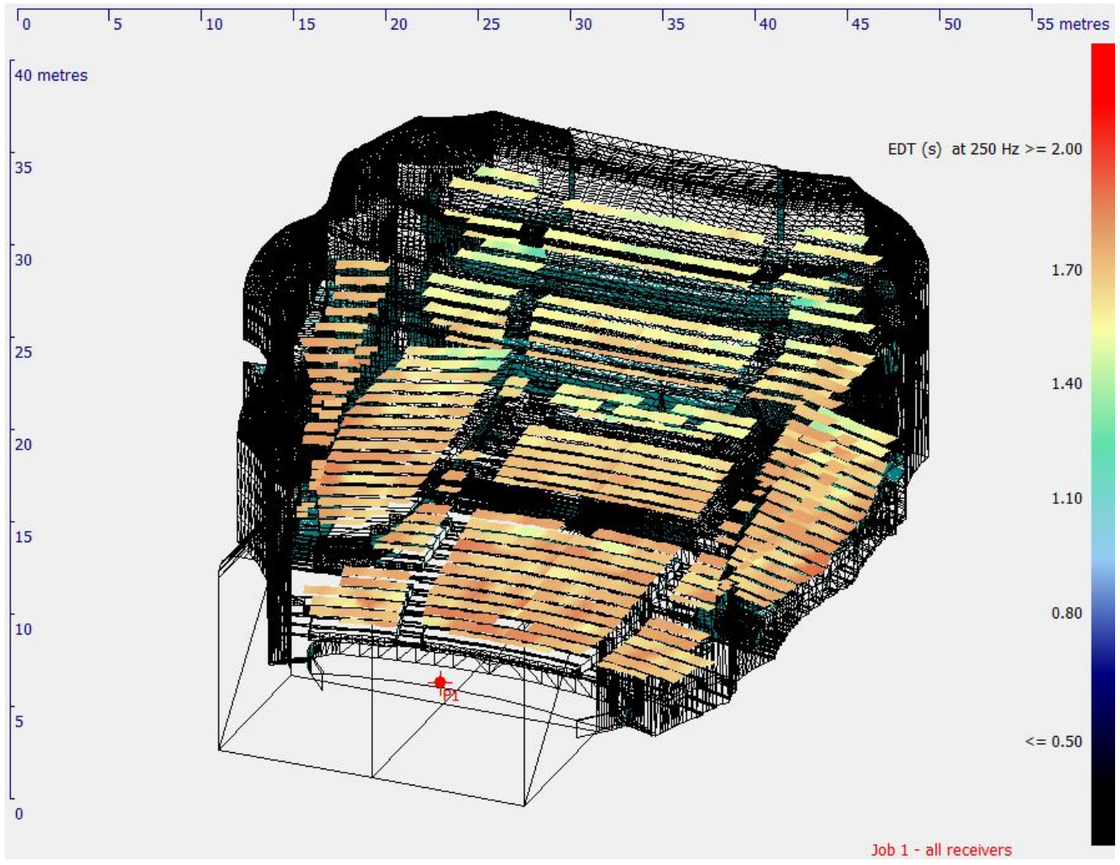
2). 早期衰变时间 EDT（空场）

a.观众厅座区的彩色网格示意图

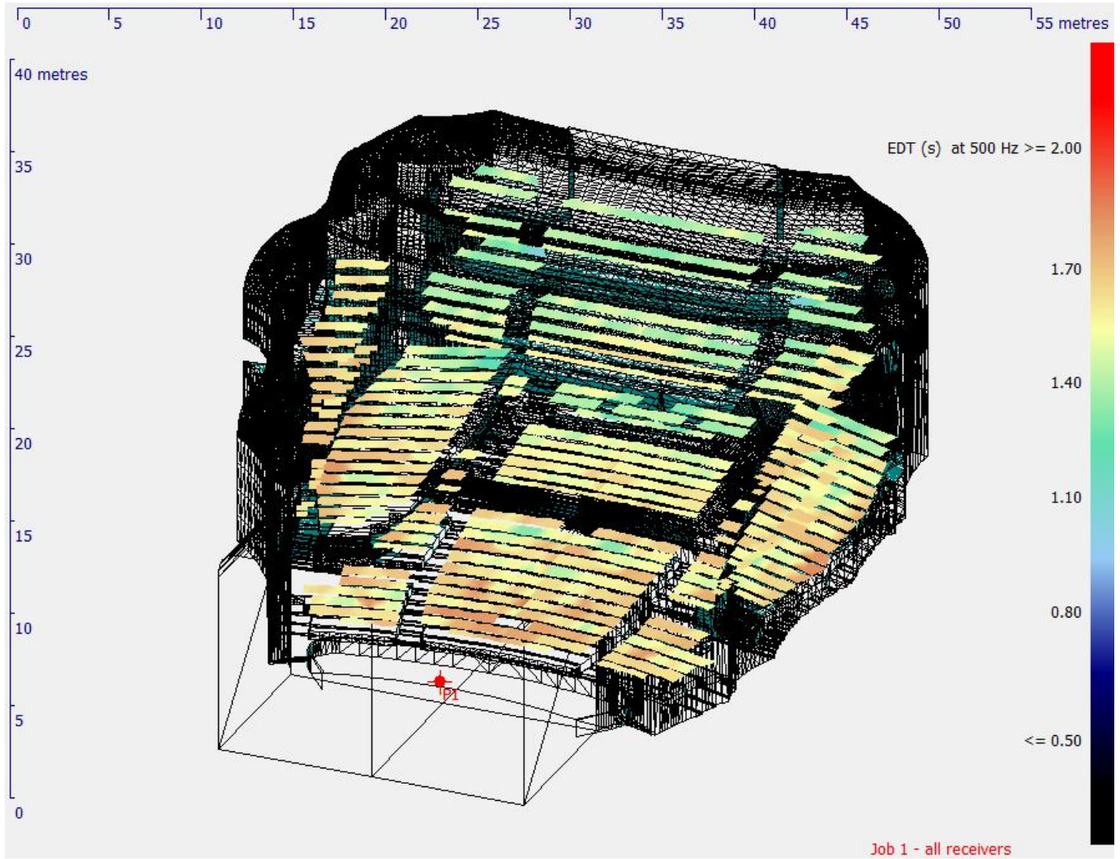
（低频 125Hz）



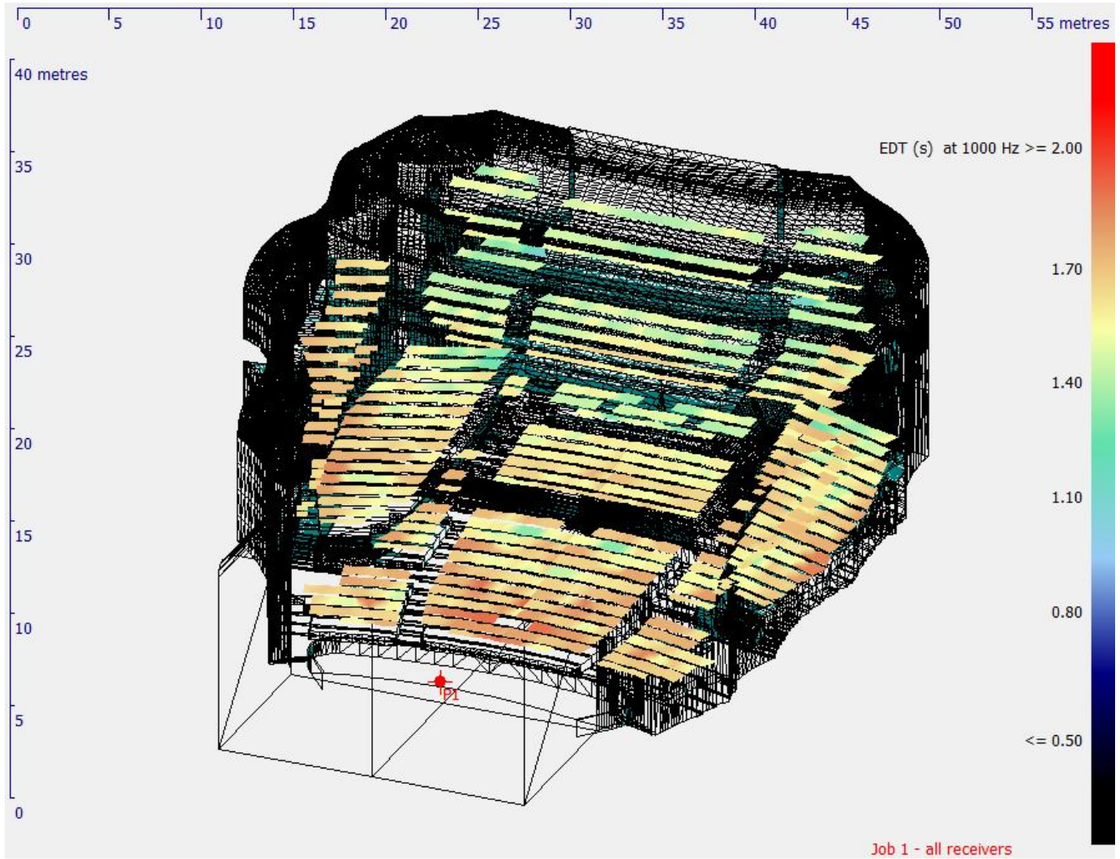
（低频 250Hz）



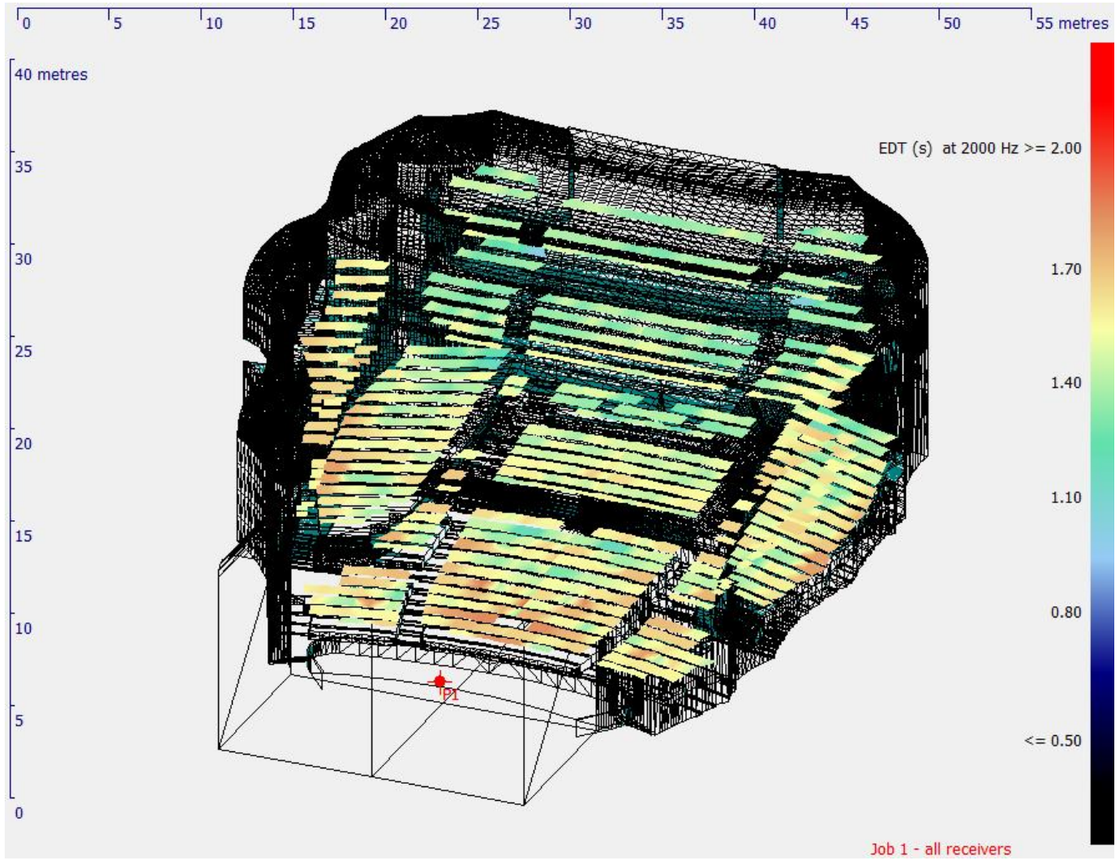
（中频 500Hz）



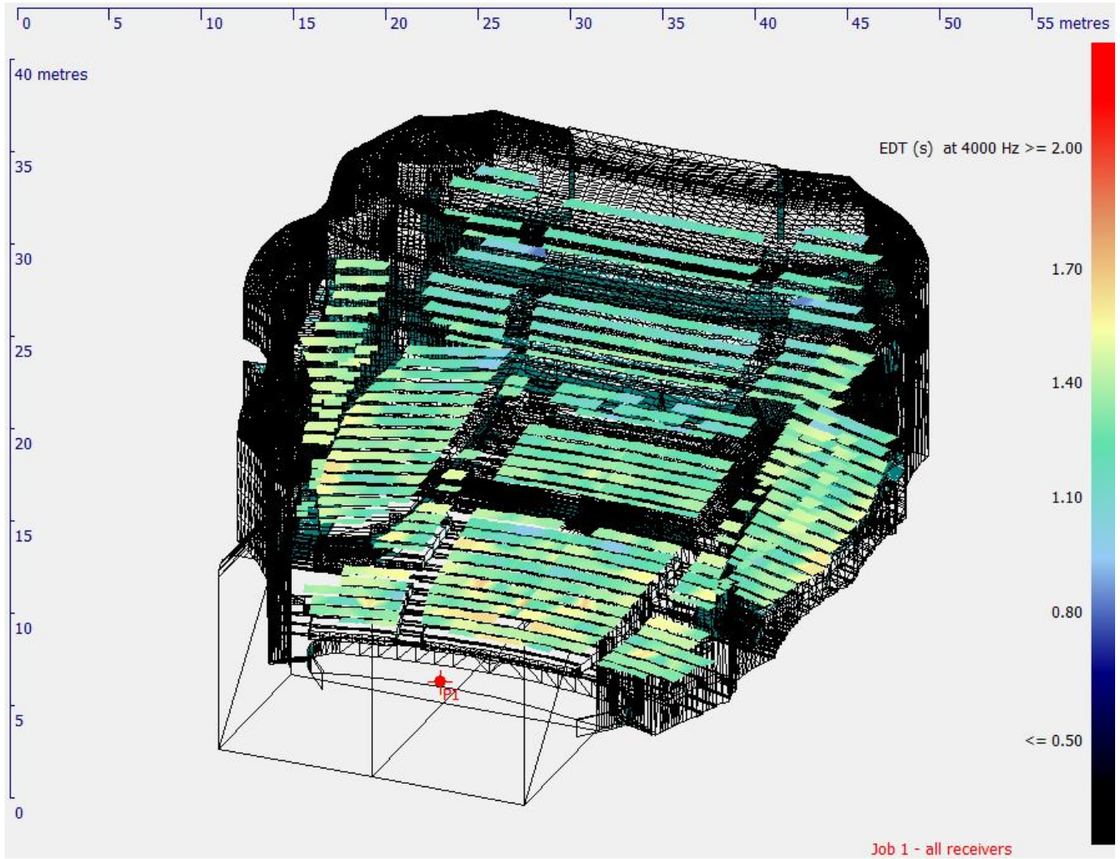
（中频 1000Hz）



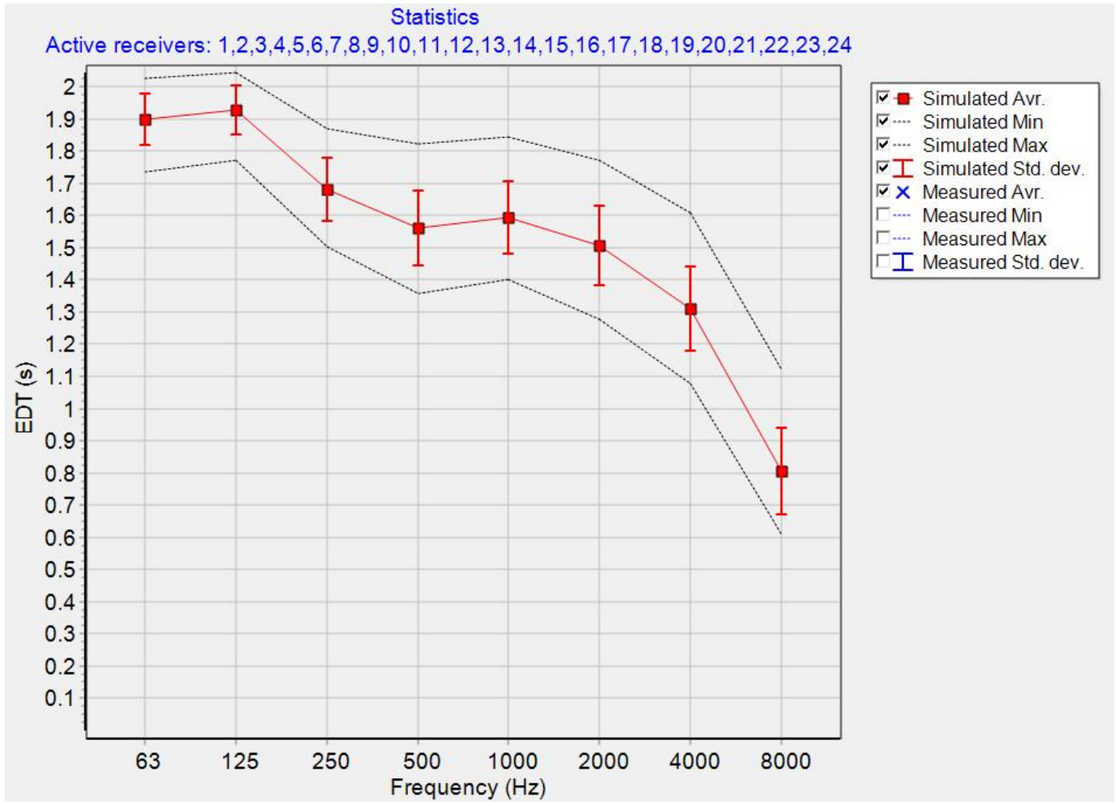
（高频 2000Hz）



（高频 4000Hz）



b.24 个测点的平均值以及最大、最小值范围



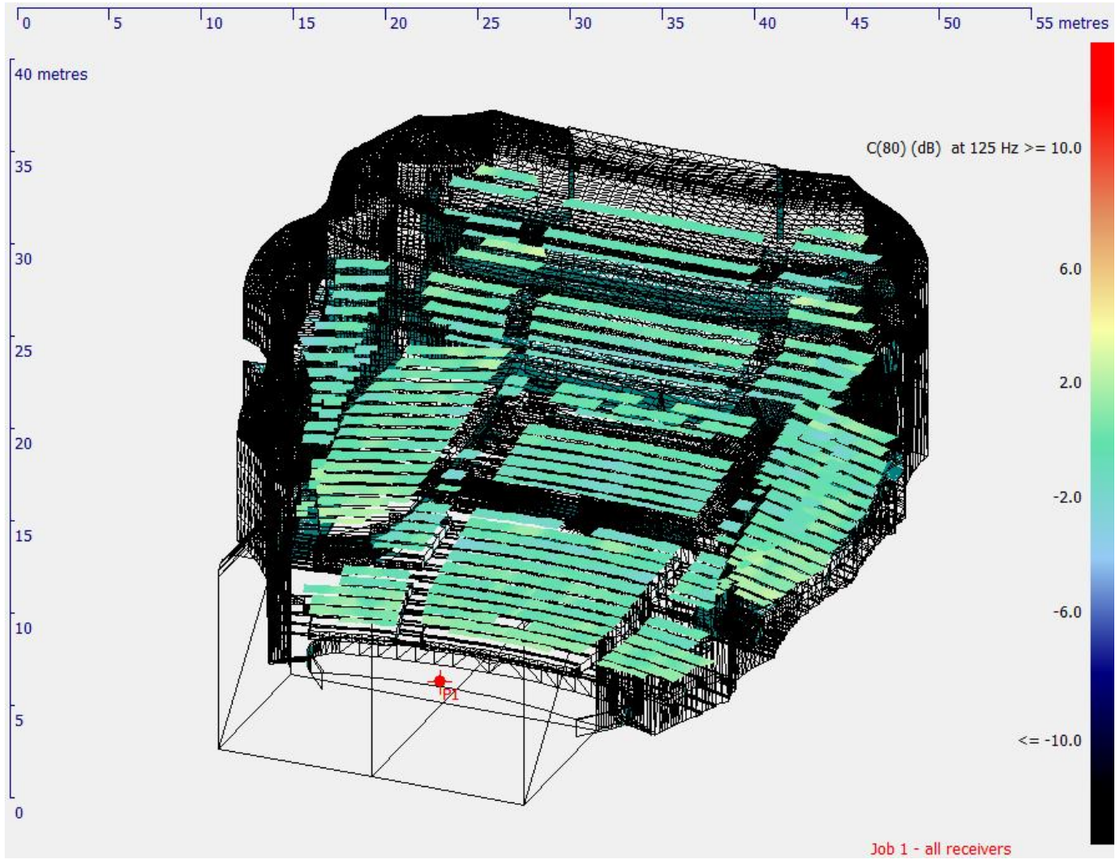
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	1.77	1.50	1.36	1.40	1.28	1.08
Maximum	2.04	1.87	1.82	1.84	1.77	1.61
Average	1.93	1.68	1.56	1.59	1.51	1.31

评价：早期衰变时间 EDT 反应人耳对厅堂混响时间主观感受。

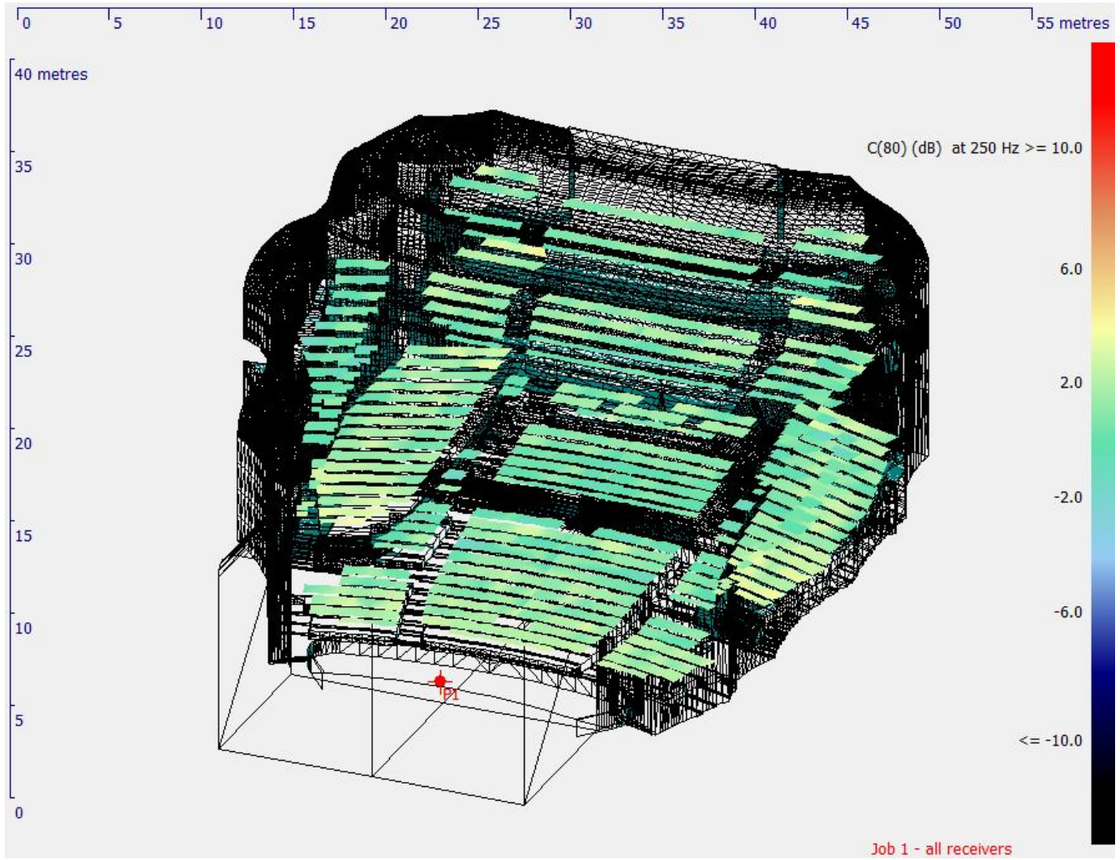
3). 明晰度 C80 （空场）

a.观众厅座区的彩色网格示意图

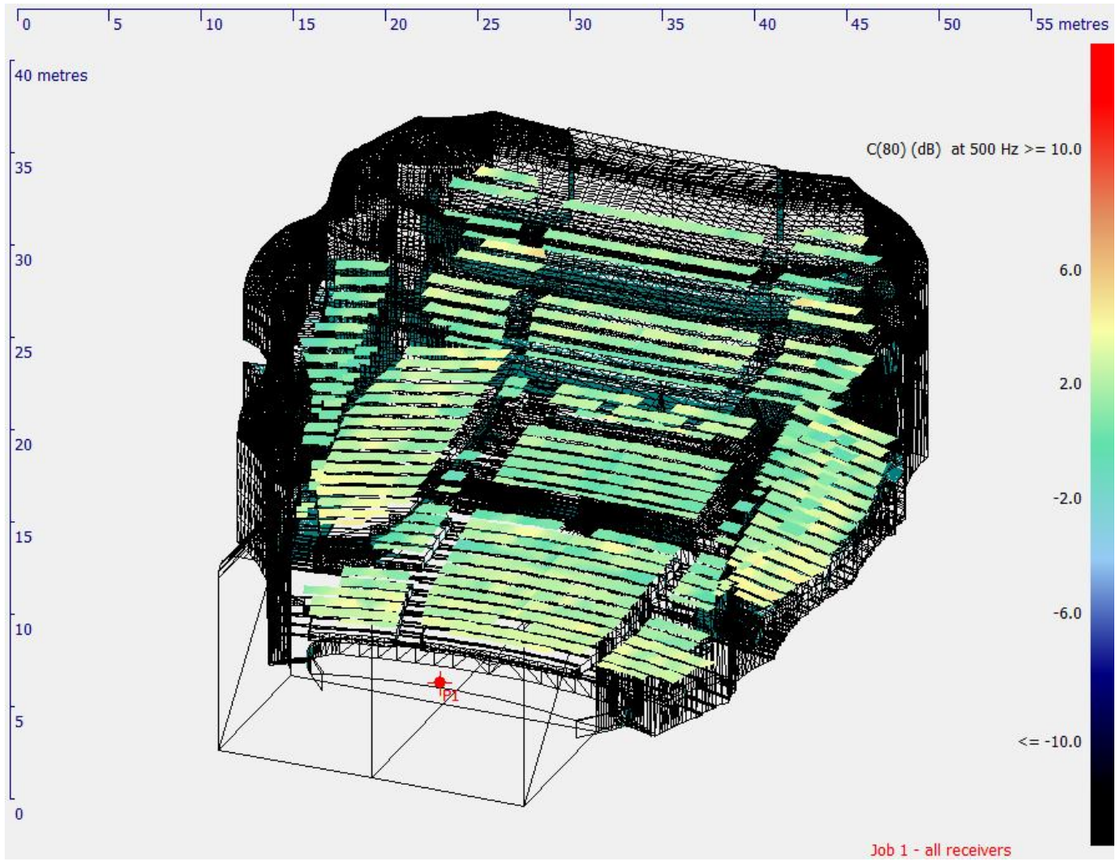
（低频 125Hz）



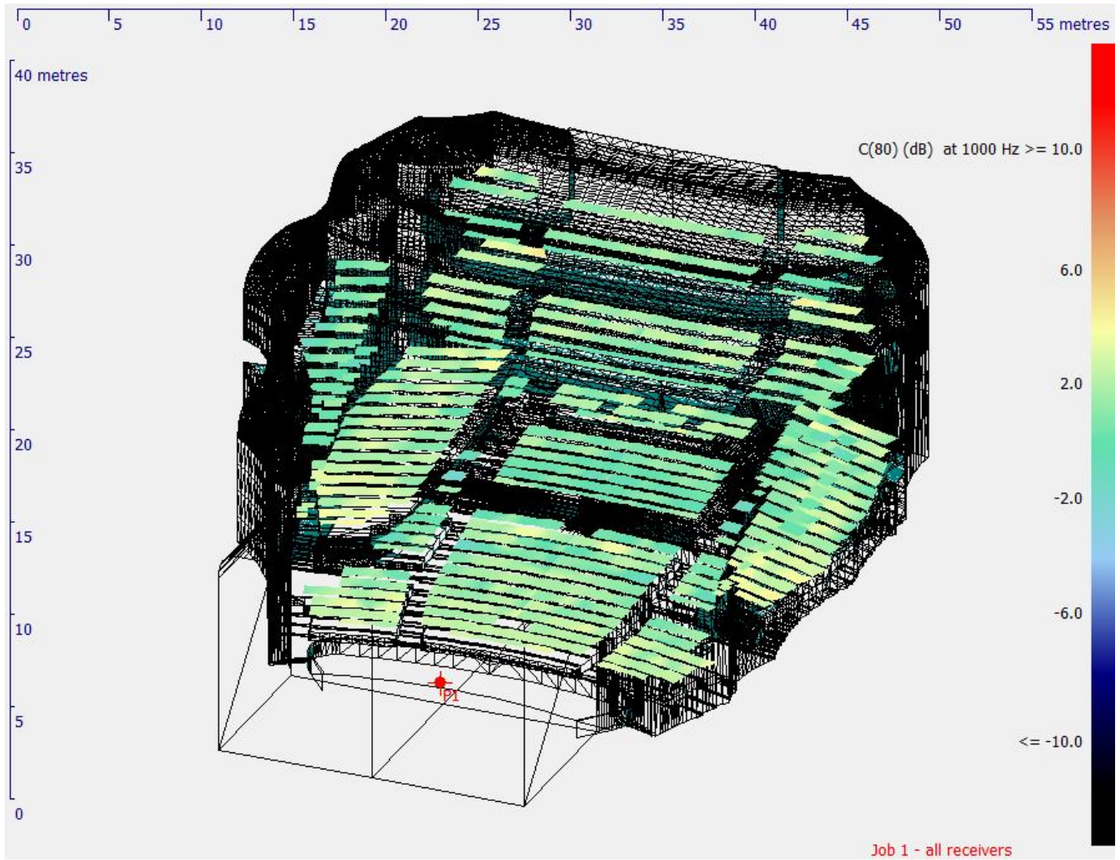
（低频 250Hz）



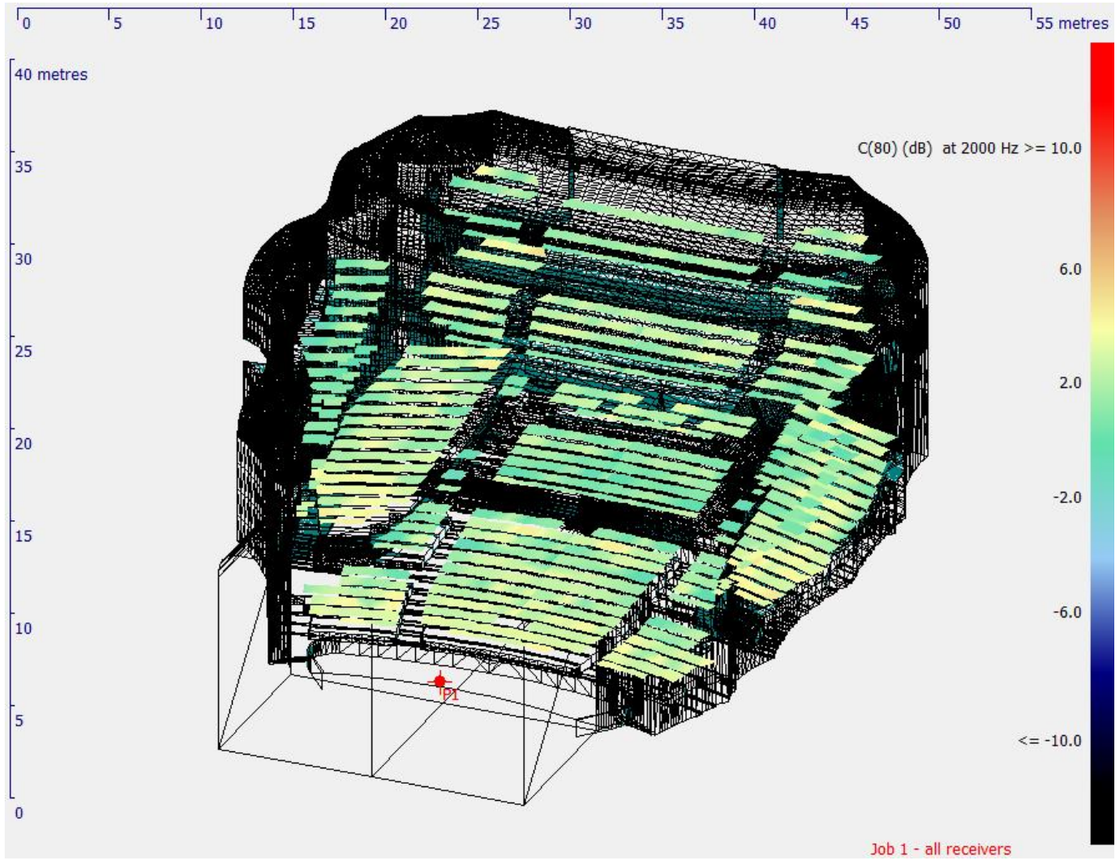
（中频 500Hz）



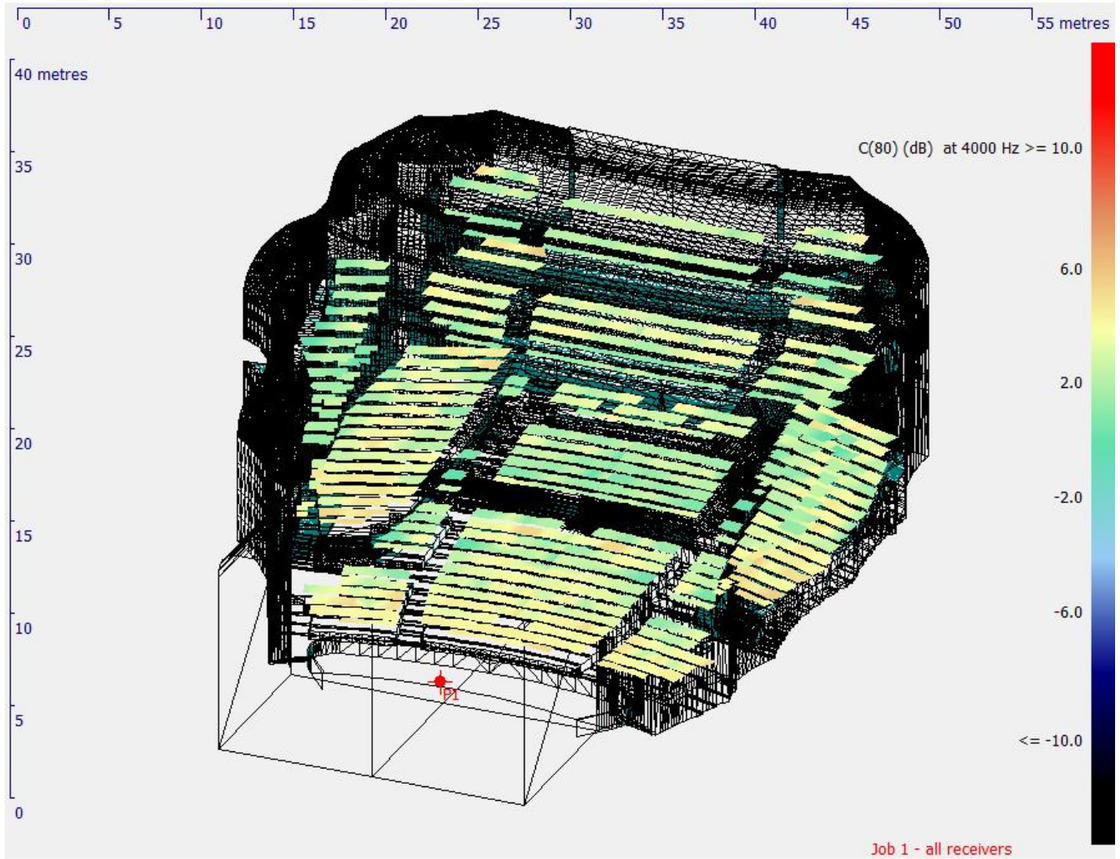
（中频 1000Hz）



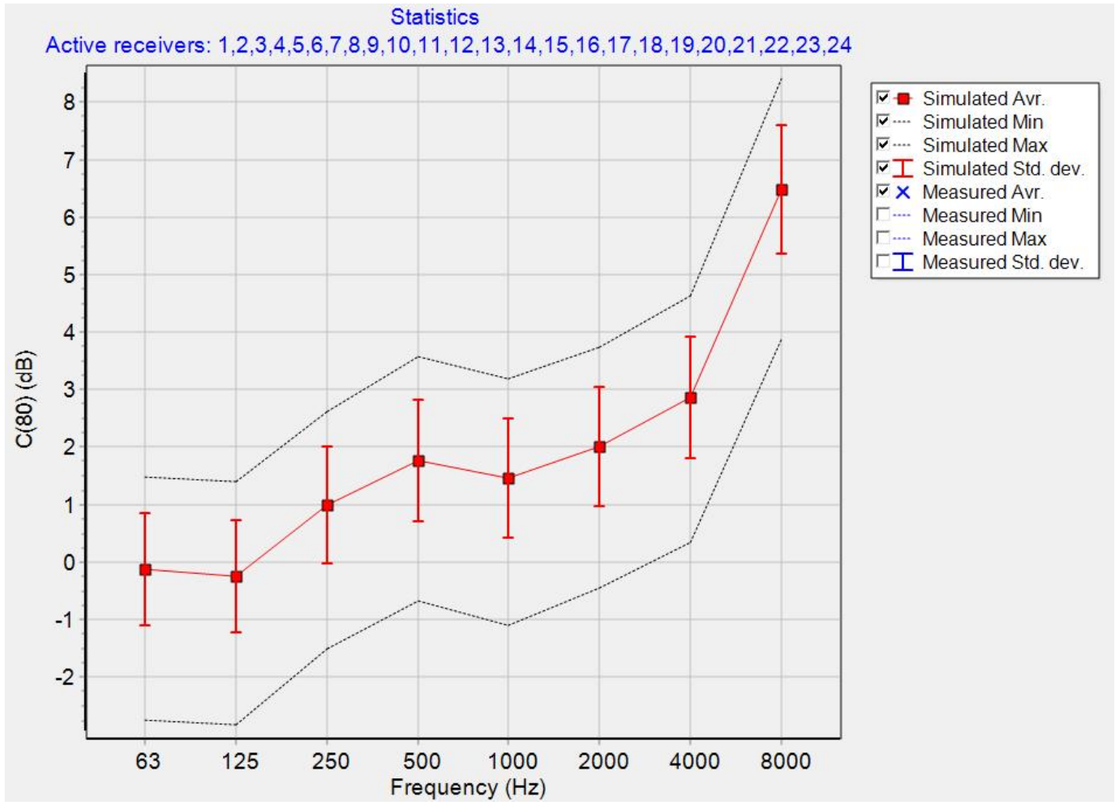
（高频 2000Hz）



（高频 4000Hz）



b.24 个测点的平均值以及最大、最小值范围



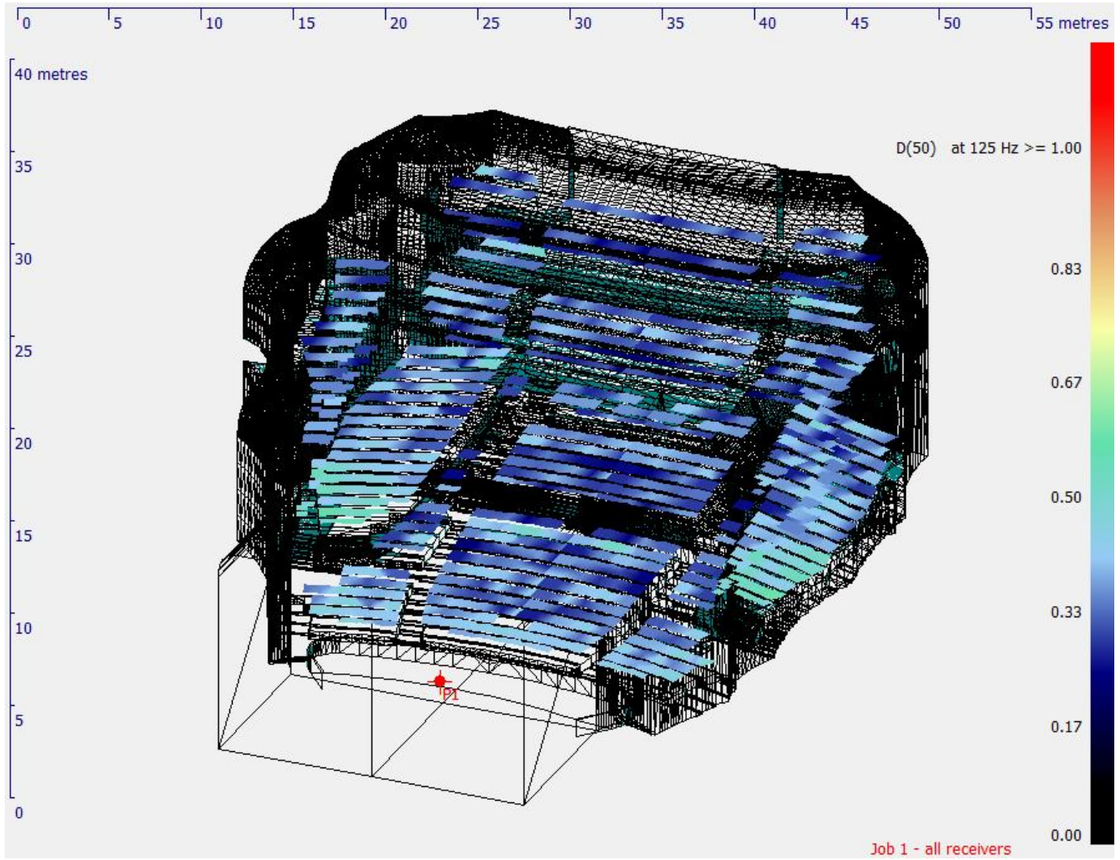
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	-2.8	-1.5	-0.7	-1.1	-0.5	0.3
Maximum	1.4	2.6	3.6	3.2	3.7	4.6
Average	-0.2	1.0	1.8	1.5	2.0	2.9

评价：音乐明晰度 C80（3）模拟结果为 1.8dB，满足剧院要求。

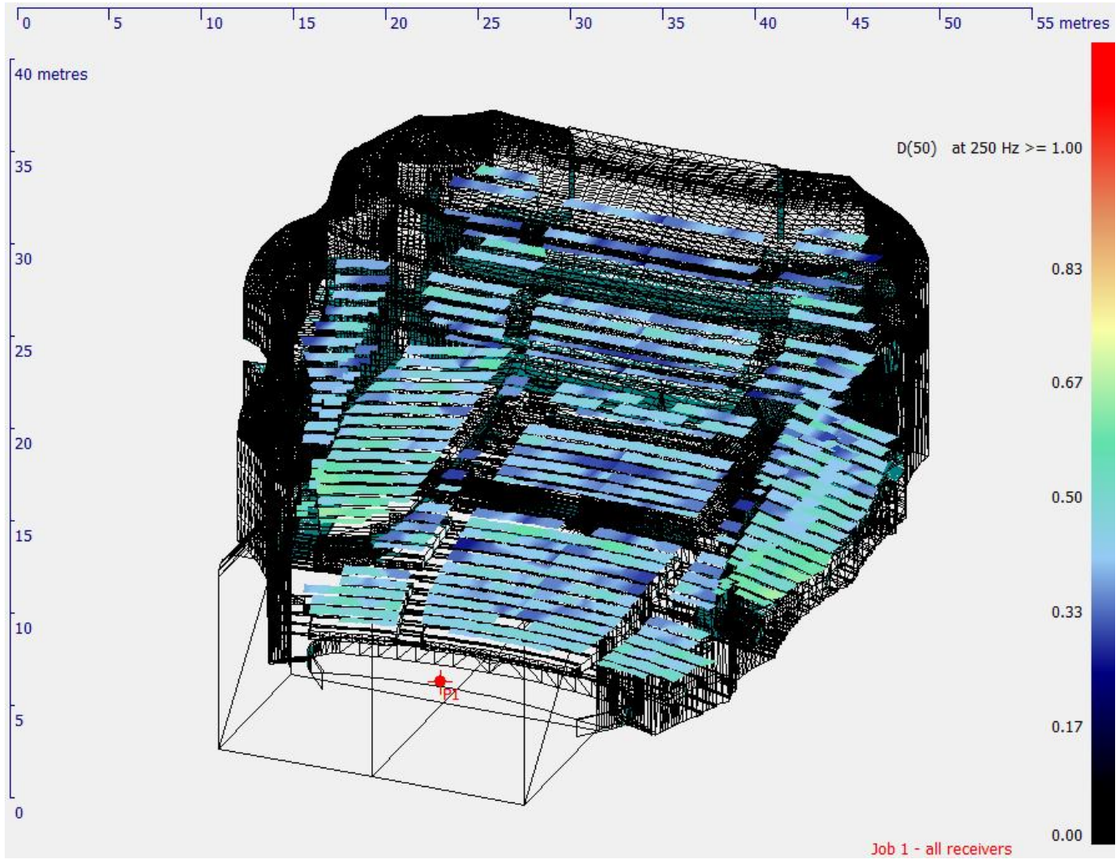
4). 清晰度 D50 （空场）

a.观众厅座区的彩色网格示意图

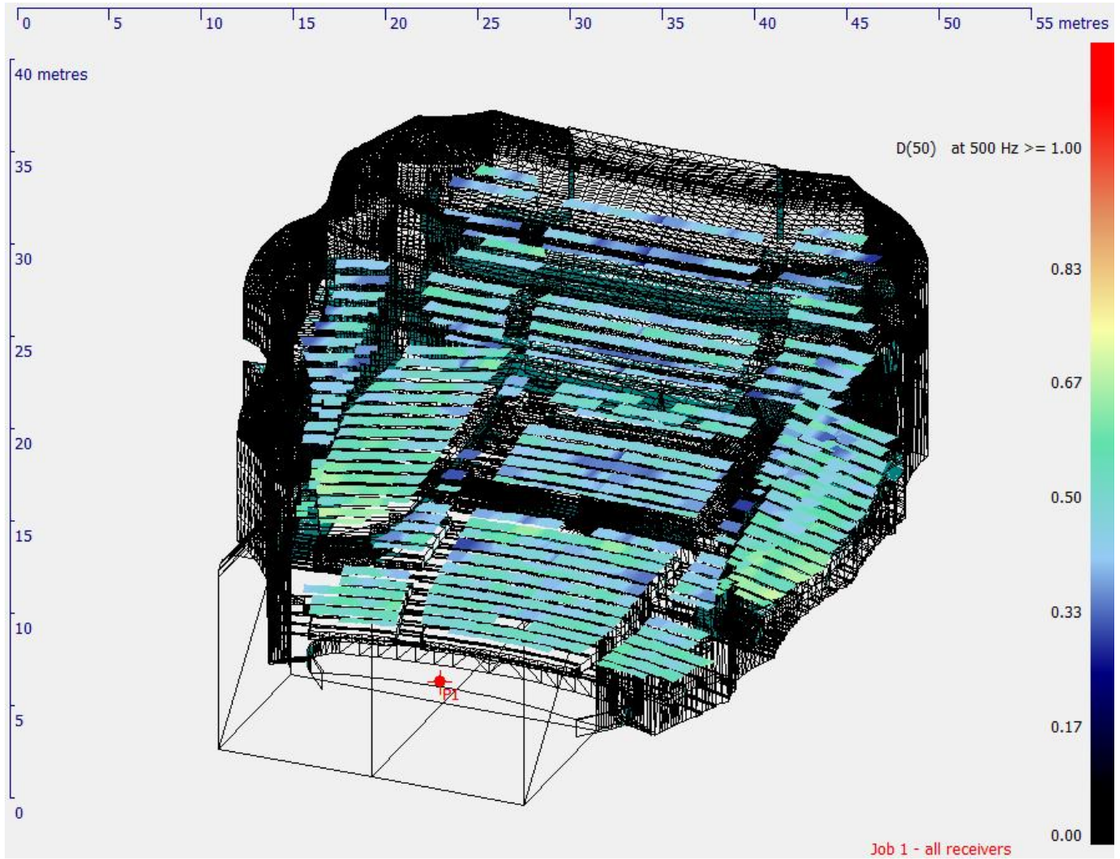
（低频 125Hz）



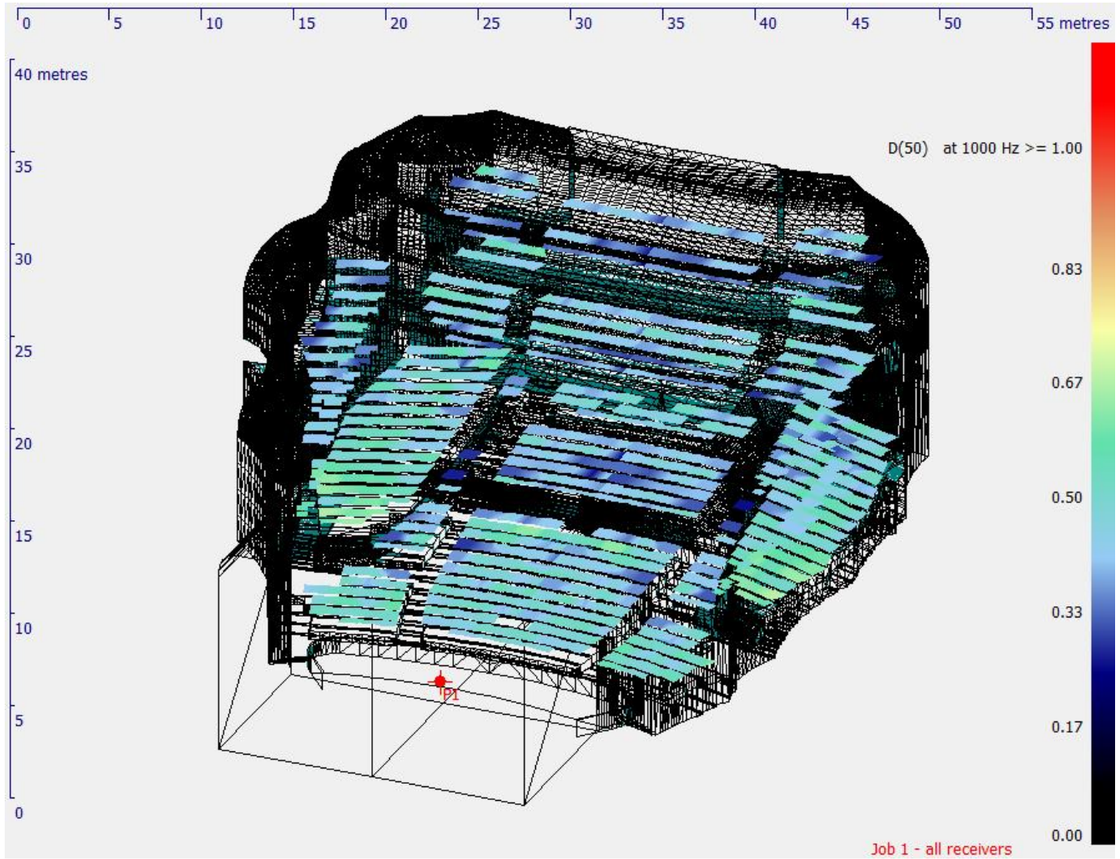
（低频 250Hz）



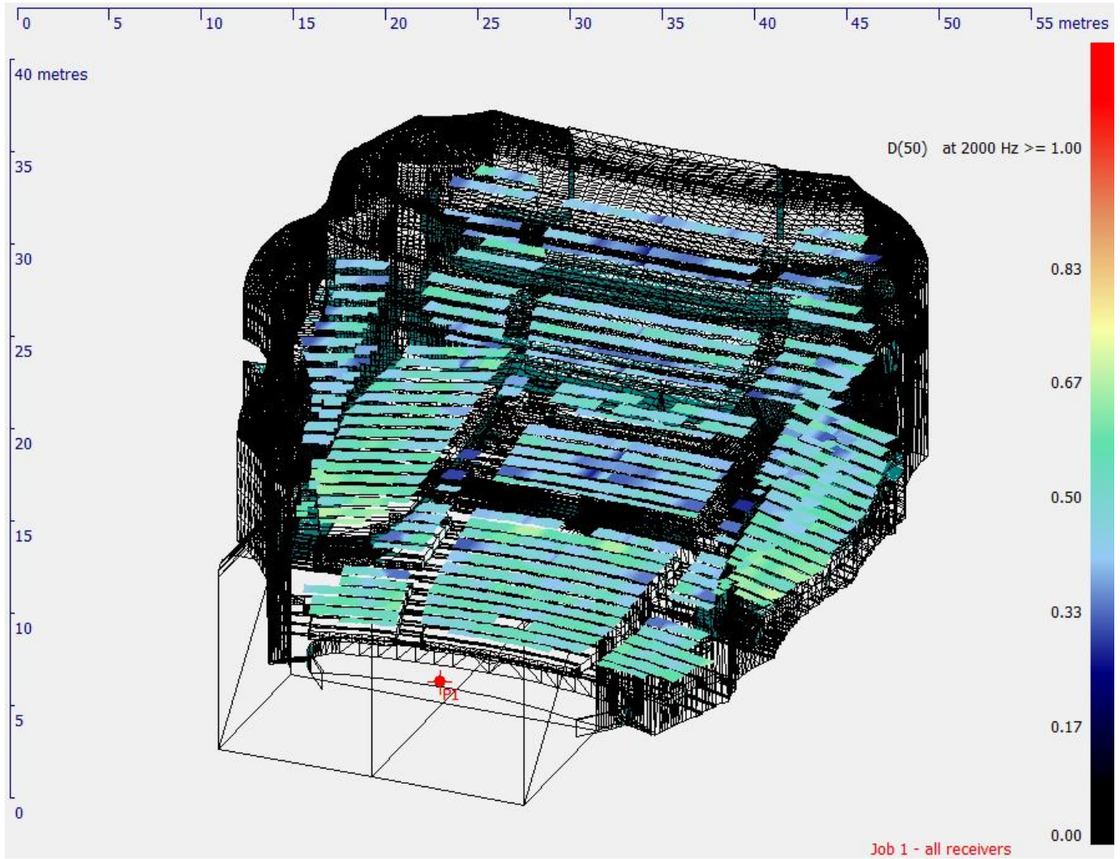
（中频 500Hz）



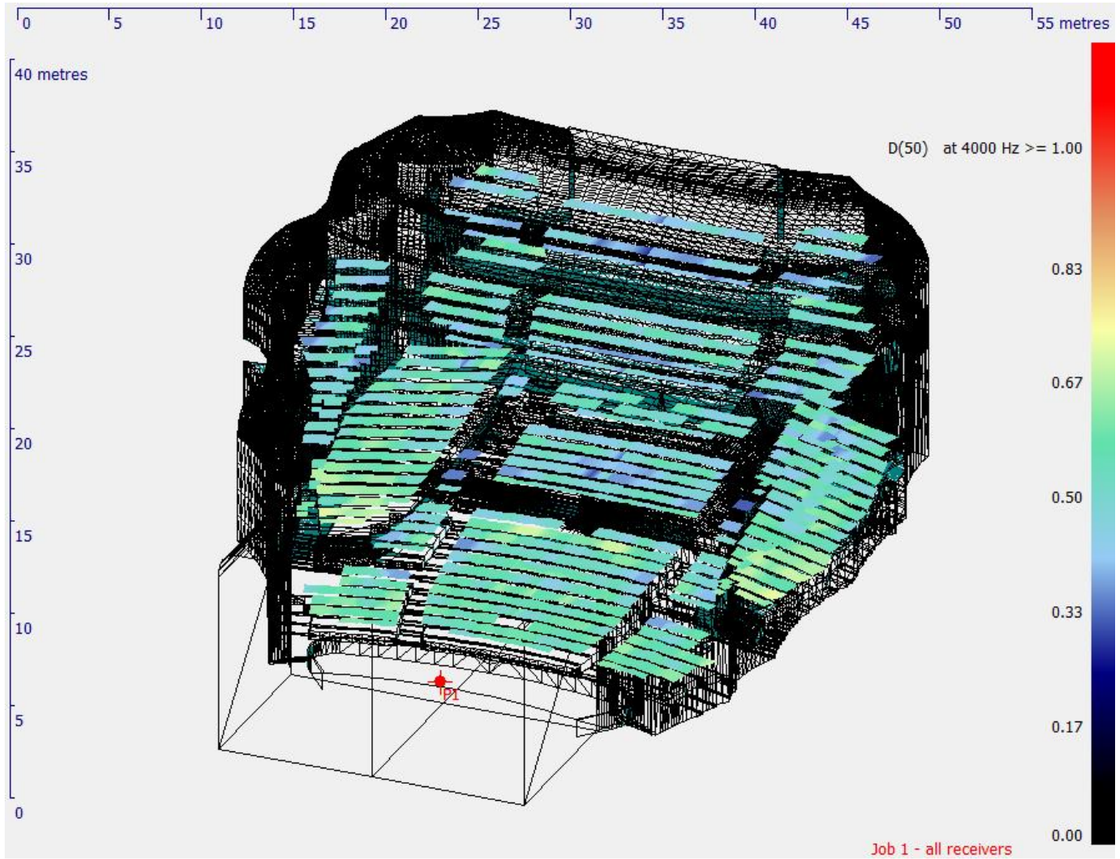
（中频 1000Hz）



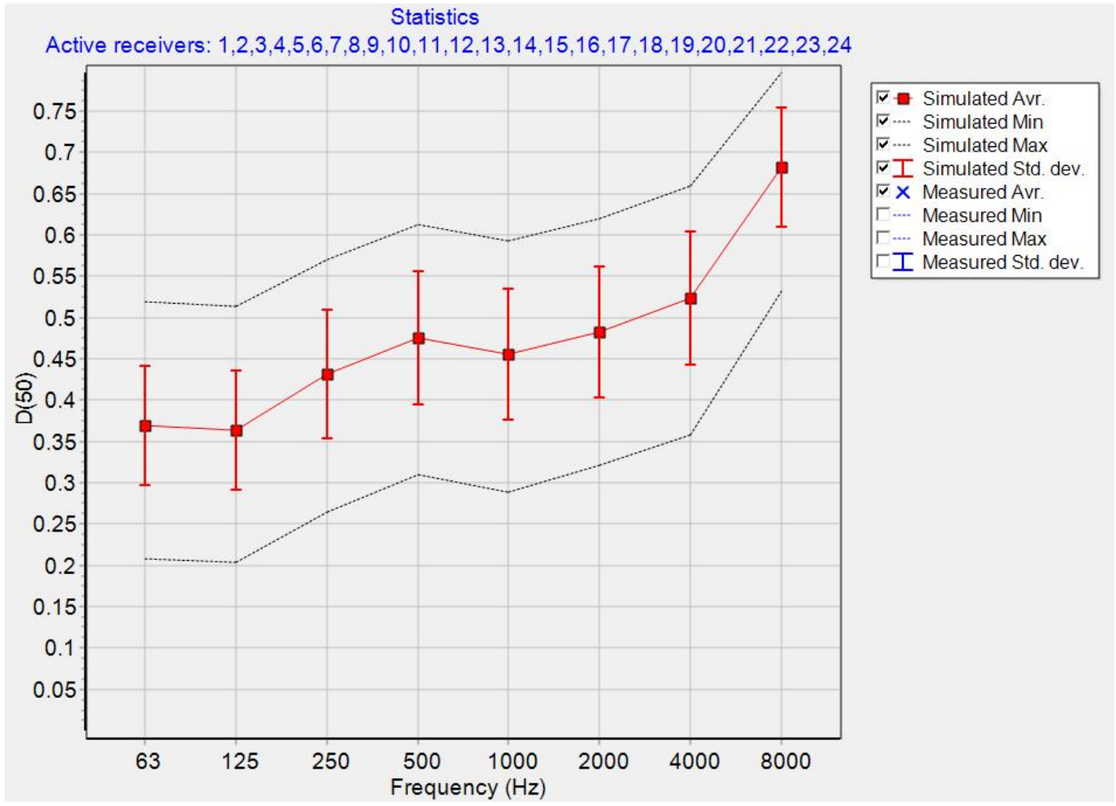
（高频 2000Hz）



（高频 4000Hz）



b.24 个测点的平均值以及最大、最小值范围



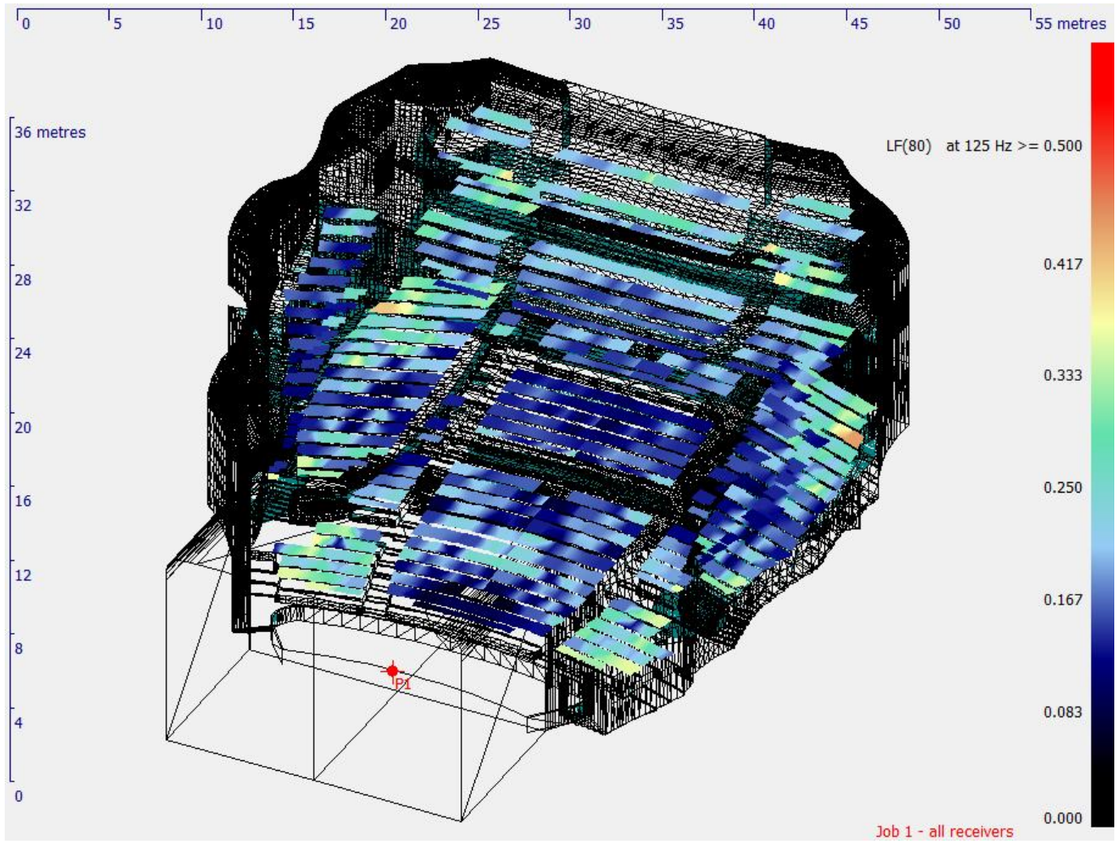
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	0.20	0.26	0.31	0.29	0.32	0.36
Maximum	0.51	0.57	0.61	0.59	0.62	0.66
Average	0.36	0.43	0.48	0.46	0.48	0.52

评价：清晰度 D50（中频）模拟结果为 0.47。

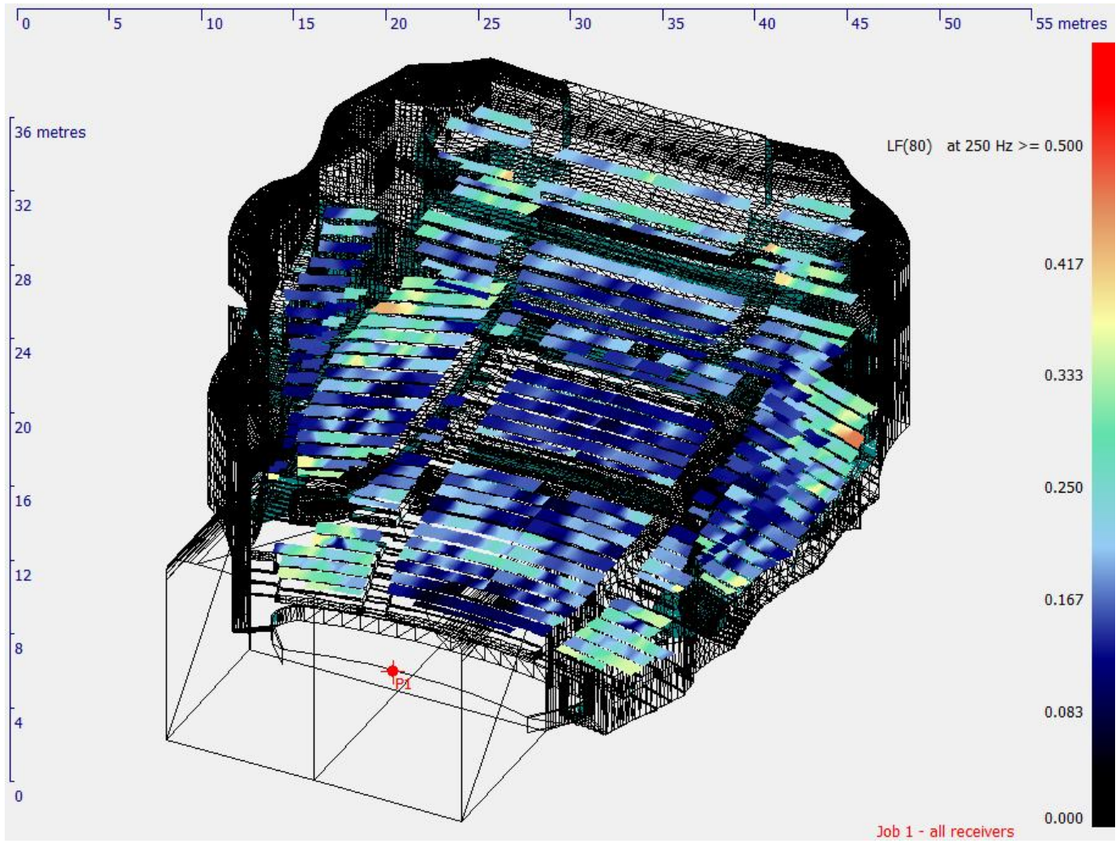
5). 侧向反射比 LF80（空场）

a.观众厅座区的彩色网格示意图

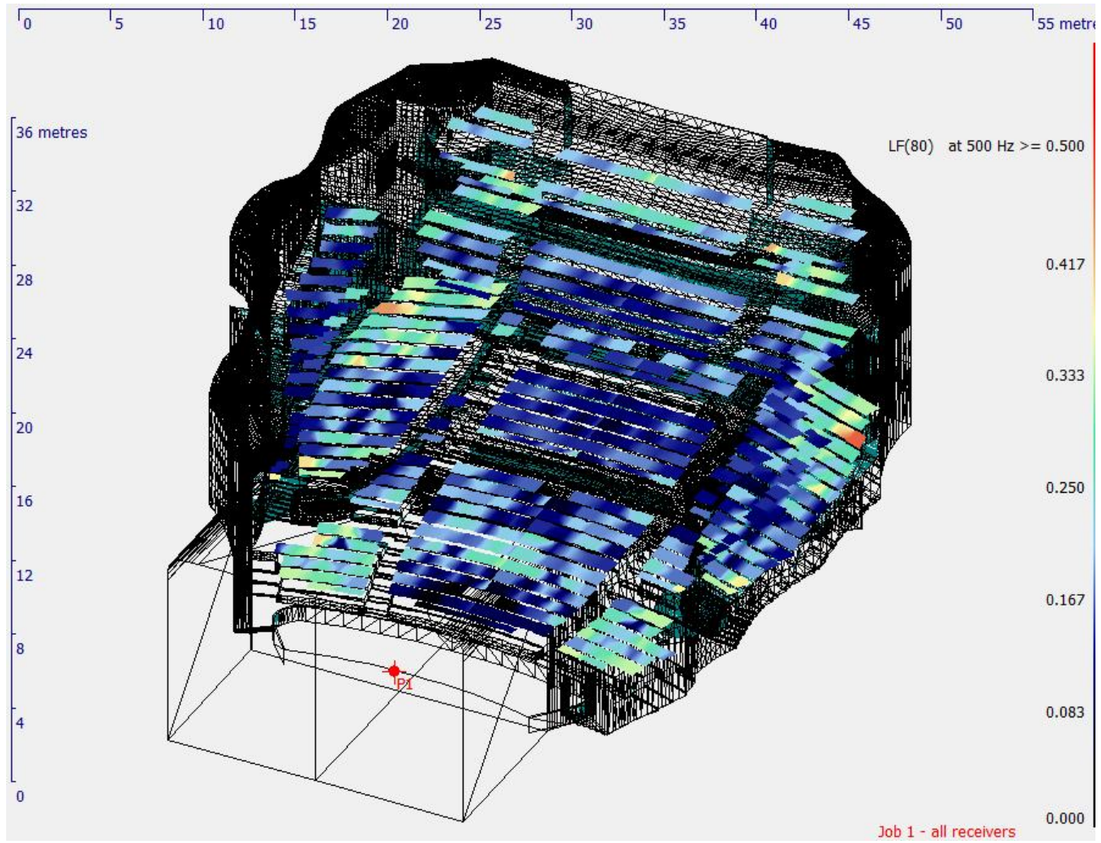
（低频 125Hz）



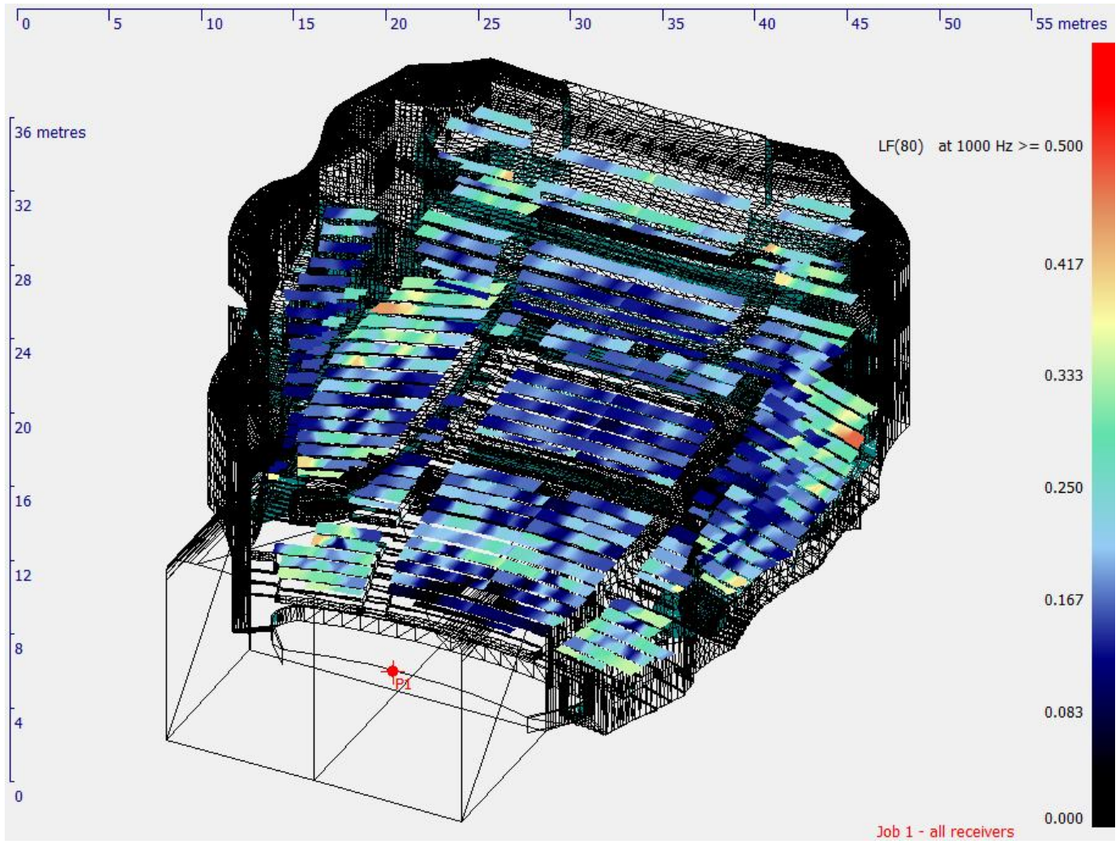
（低频 250Hz）



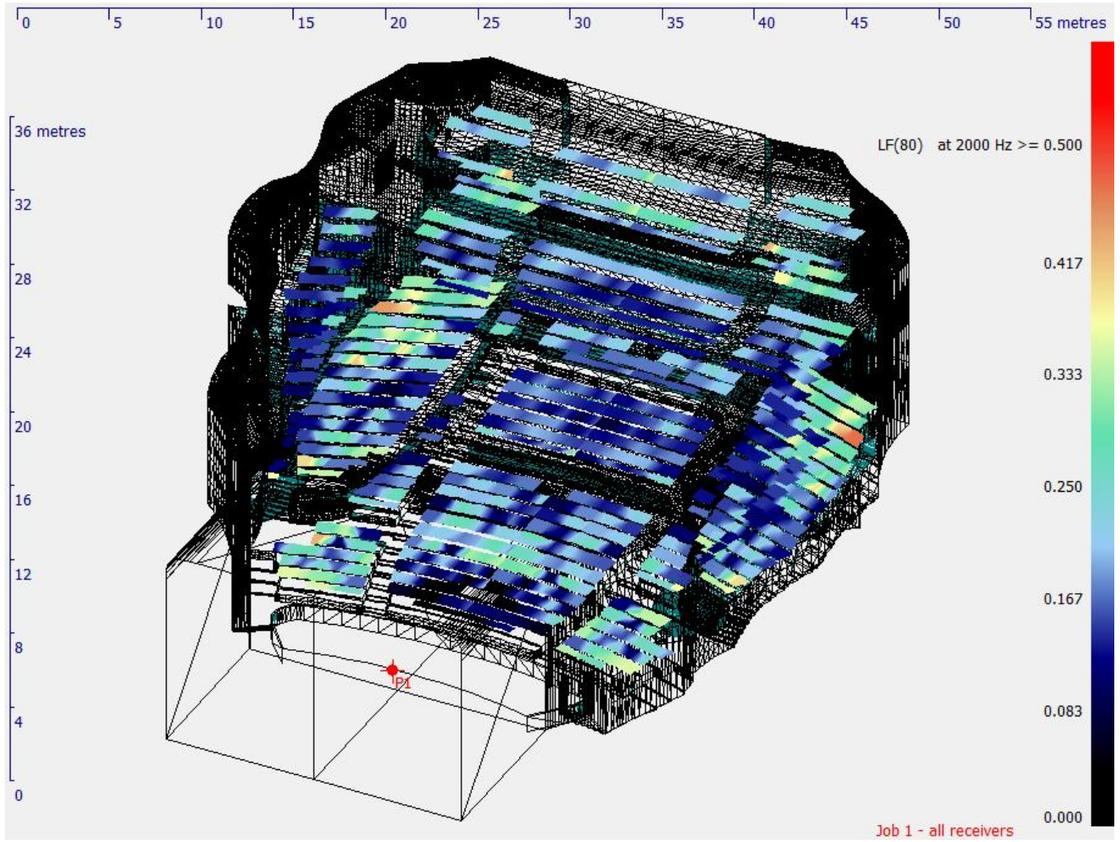
（中频 500Hz）



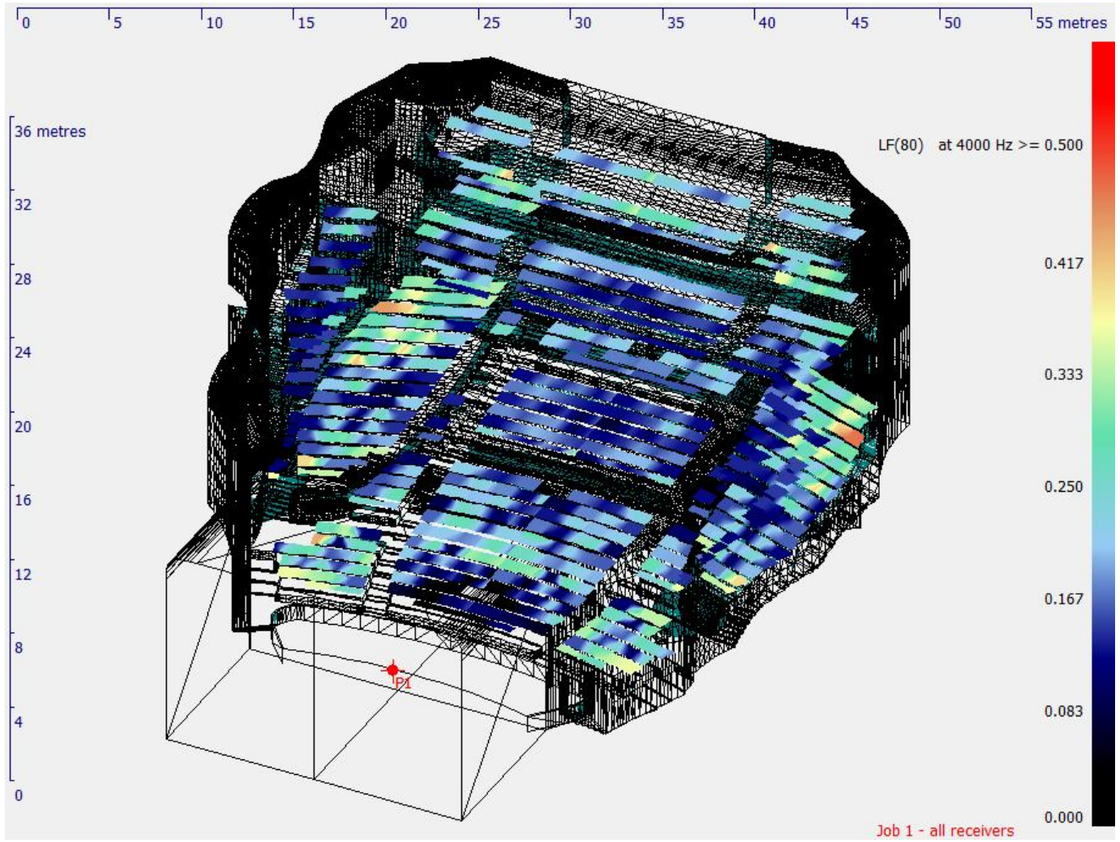
（中频 1000Hz）



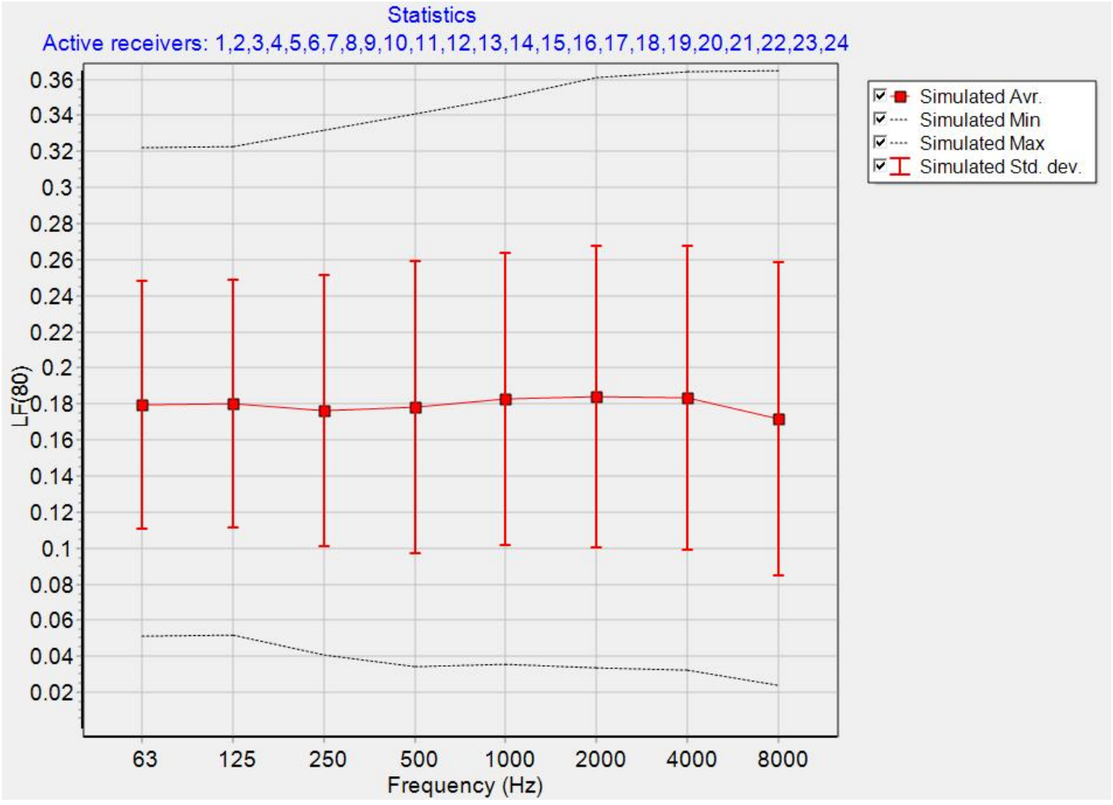
（高频 2000Hz）



（高频 4000Hz）



b.24 个测点的平均值以及最大、最小值范围



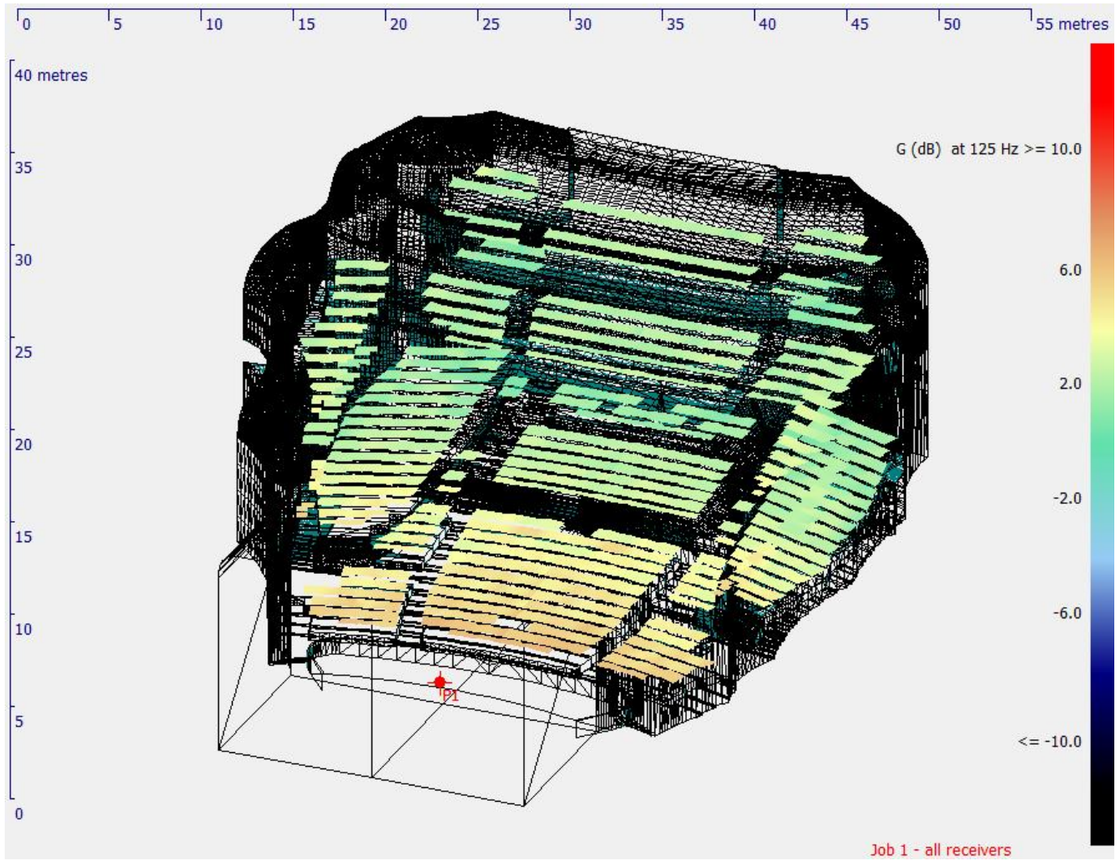
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	0.052	0.041	0.034	0.036	0.033	0.032
Maximum	0.323	0.332	0.341	0.350	0.361	0.364
Average	0.180	0.176	0.178	0.183	0.184	0.184

评价：侧向反射比 LF 平均值为 0.179。

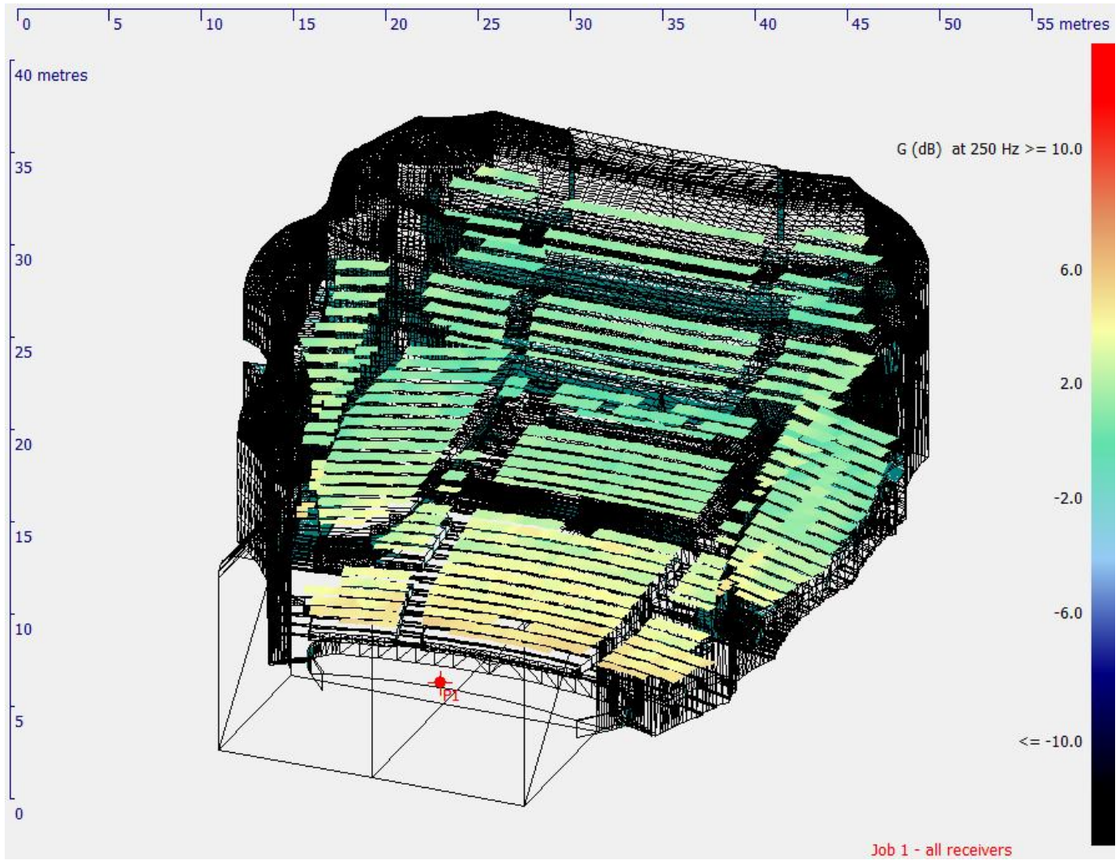
6). 声场力度 G（空场）

a.观众厅座区的彩色网格示意图

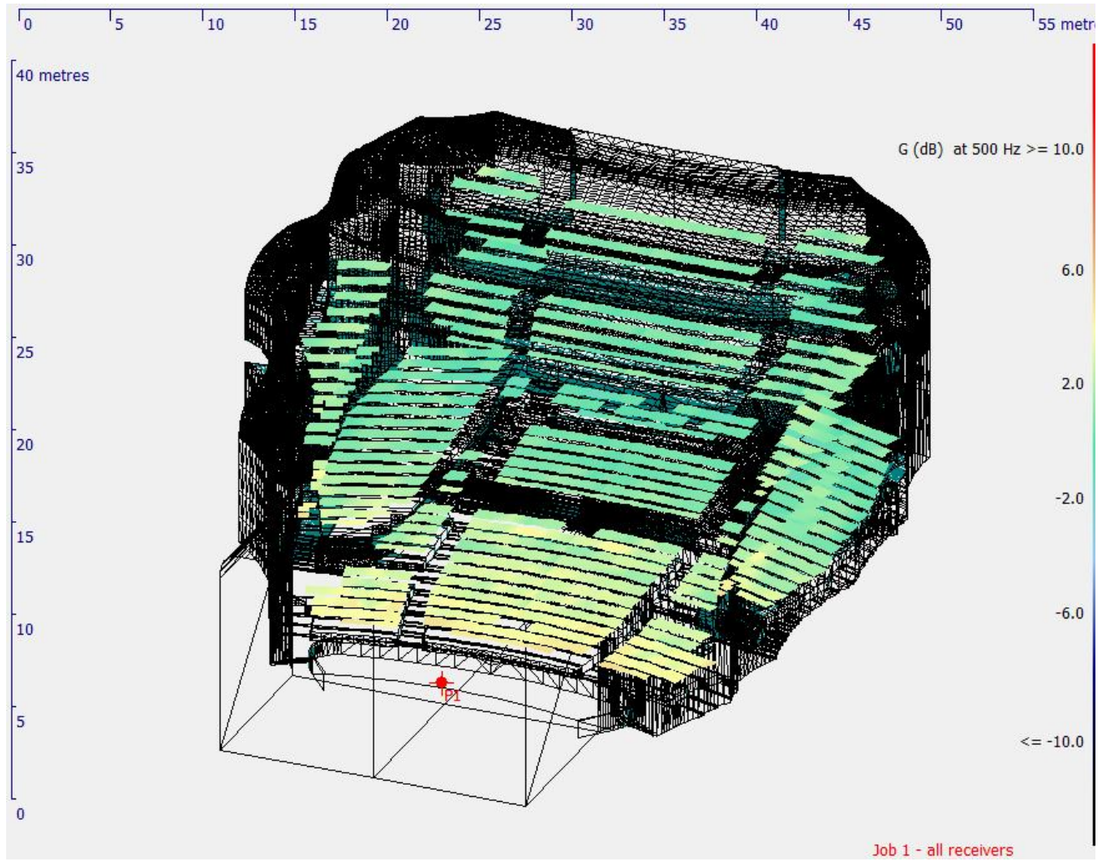
（低频 125Hz）



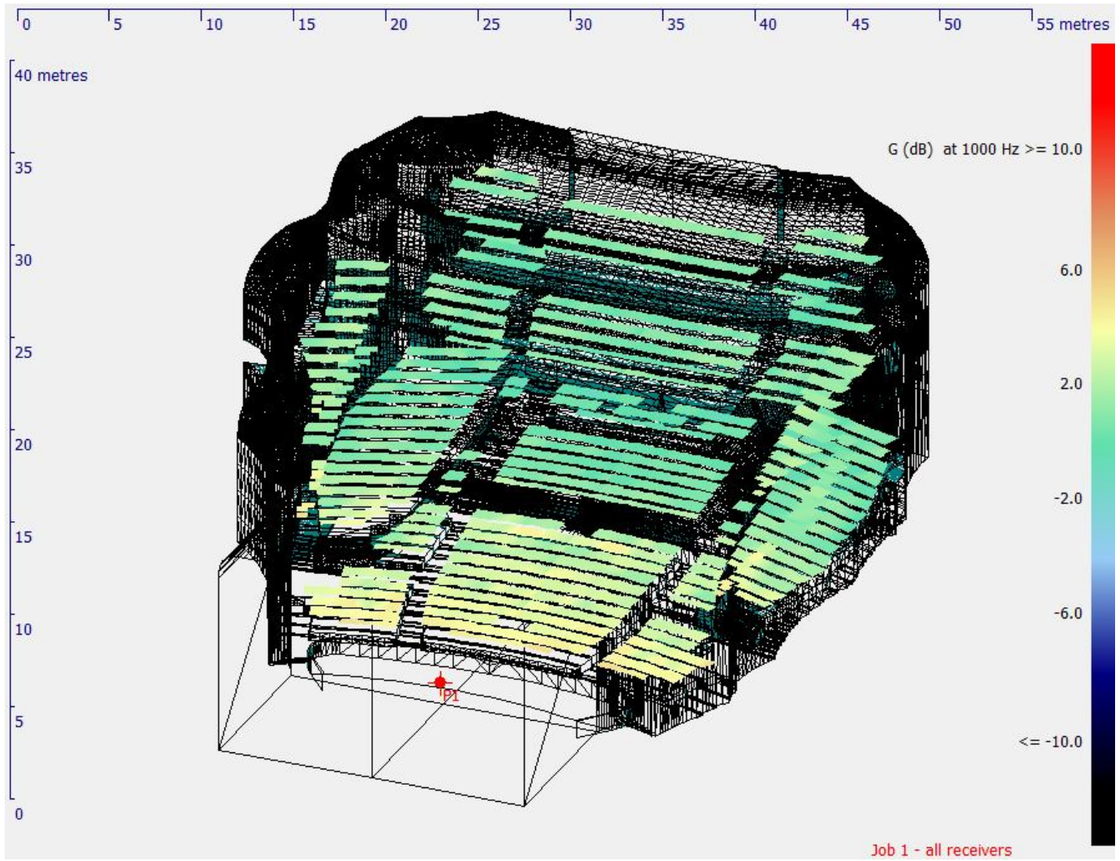
（低频 250Hz）



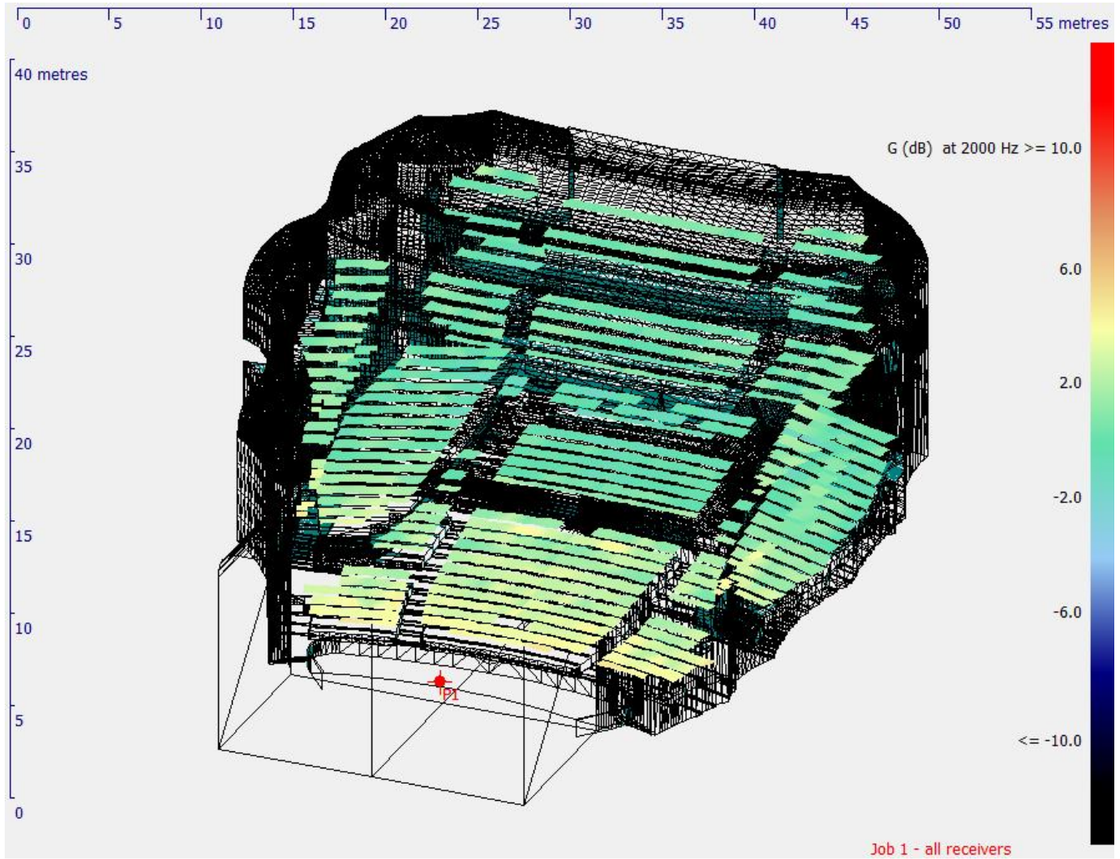
（中频 500Hz）



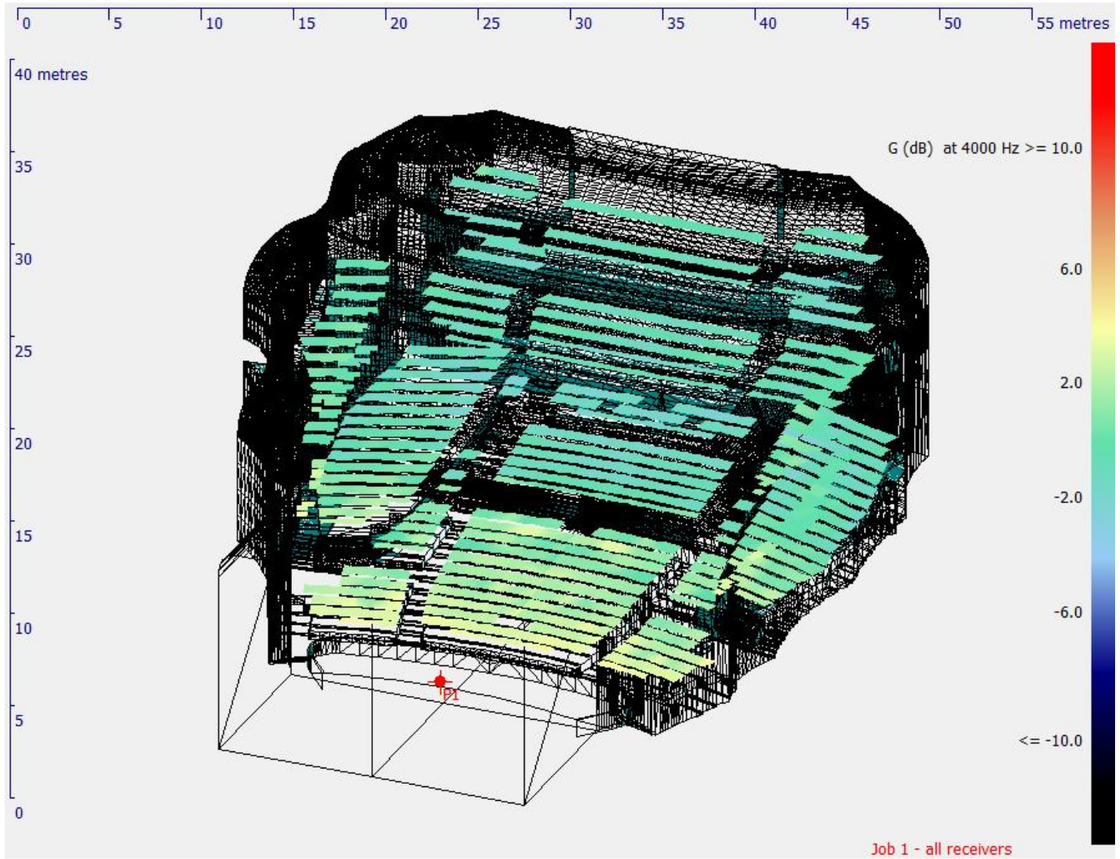
（中频 1000Hz）



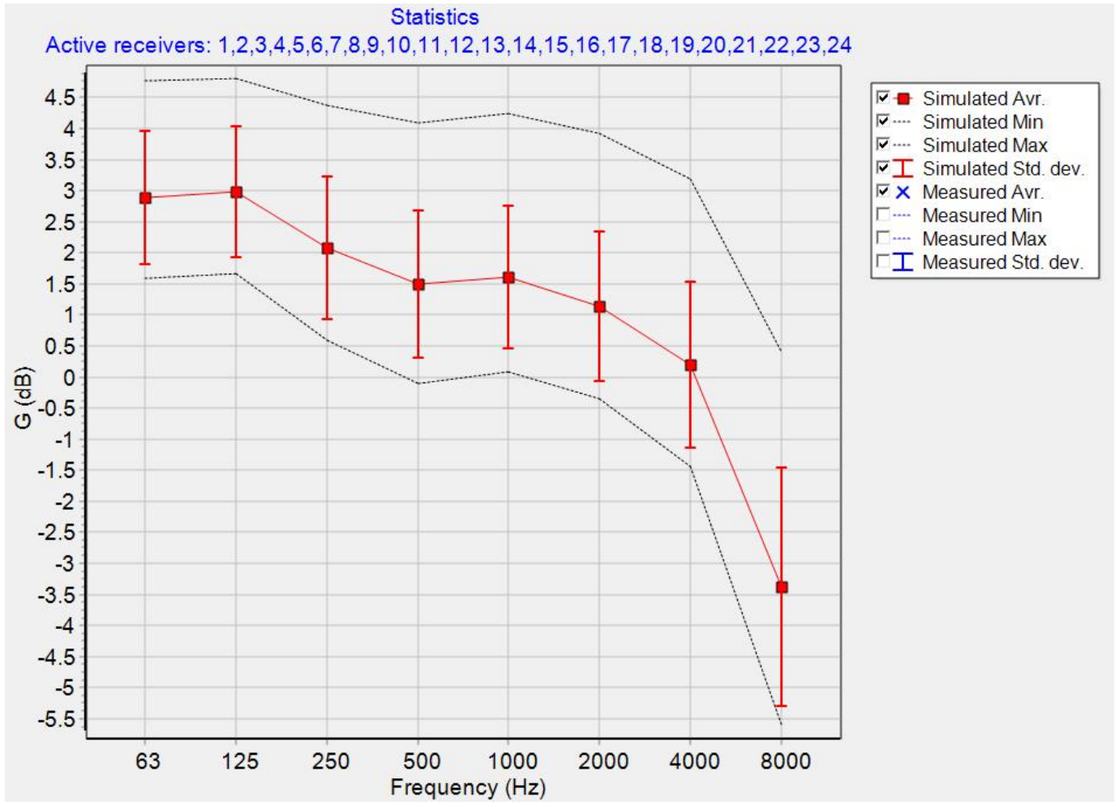
（高频 2000Hz）



（高频 4000Hz）



b.24 个测点的平均值以及最大、最小值范围

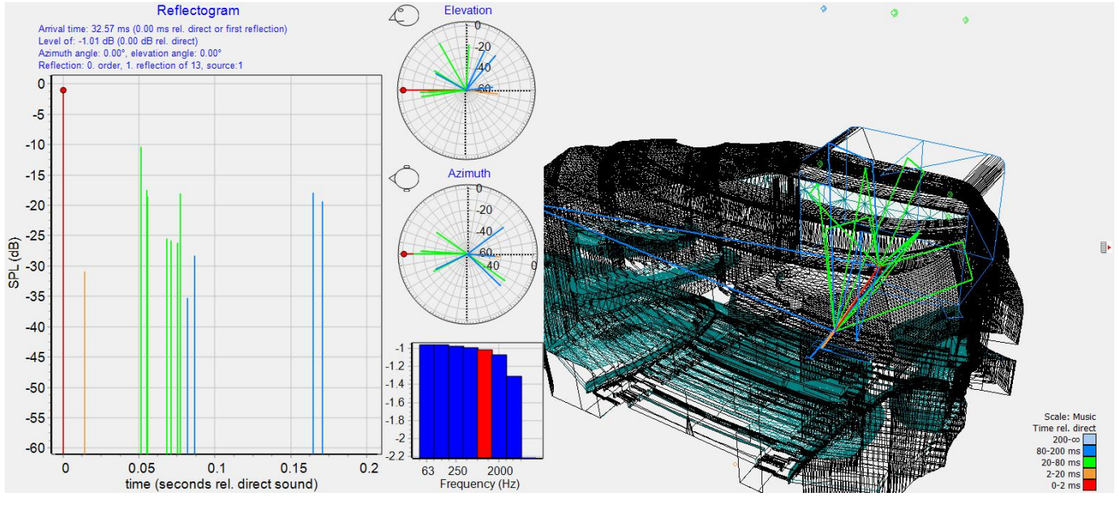


Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	1.7	0.6	-0.1	0.1	-0.3	-1.4
Maximum	4.8	4.4	4.1	4.2	3.9	3.2
Average	3.0	2.1	1.5	1.6	1.1	0.2

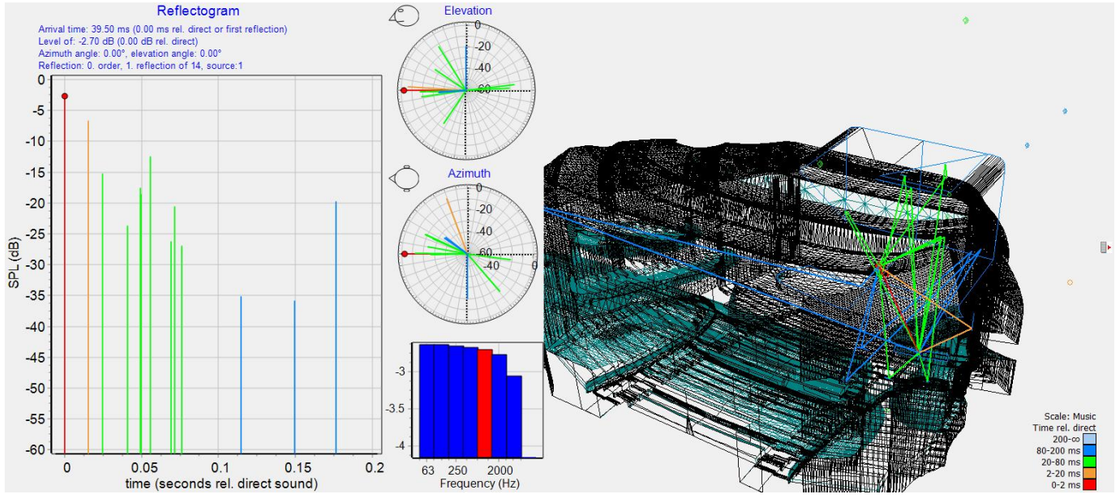
评价：声场力度模拟结果中频声场力度 Gmid 为 1.6dB。观众厅座区的彩色网格示意图符合声压级随距离衰减的规律。

7). 24 个测点的反射声序列：

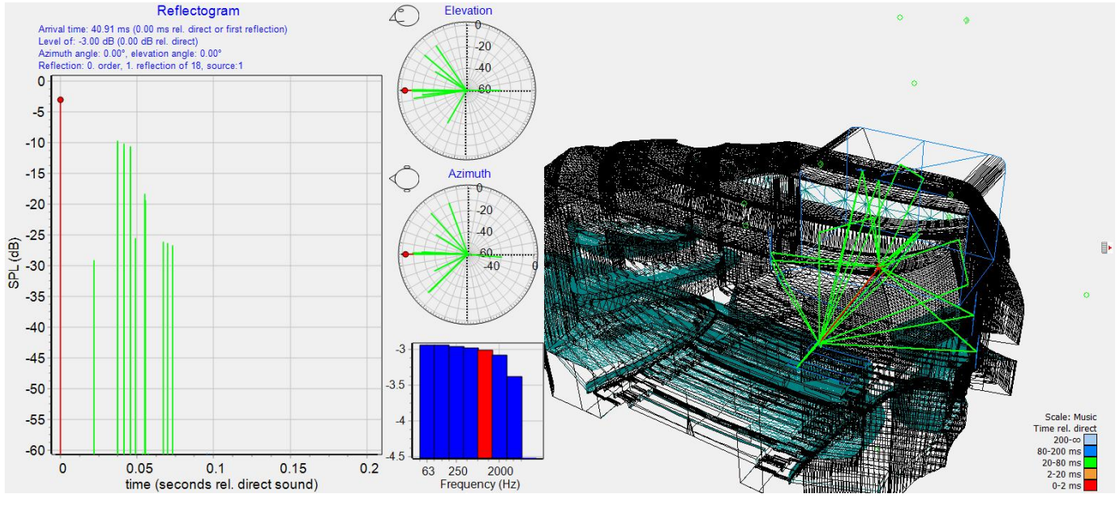
测点 1



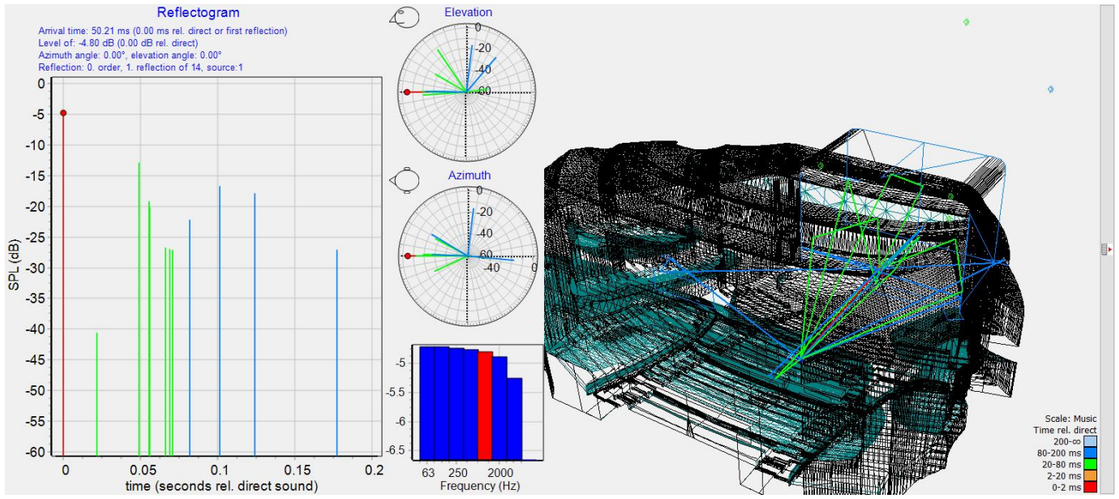
测点 2



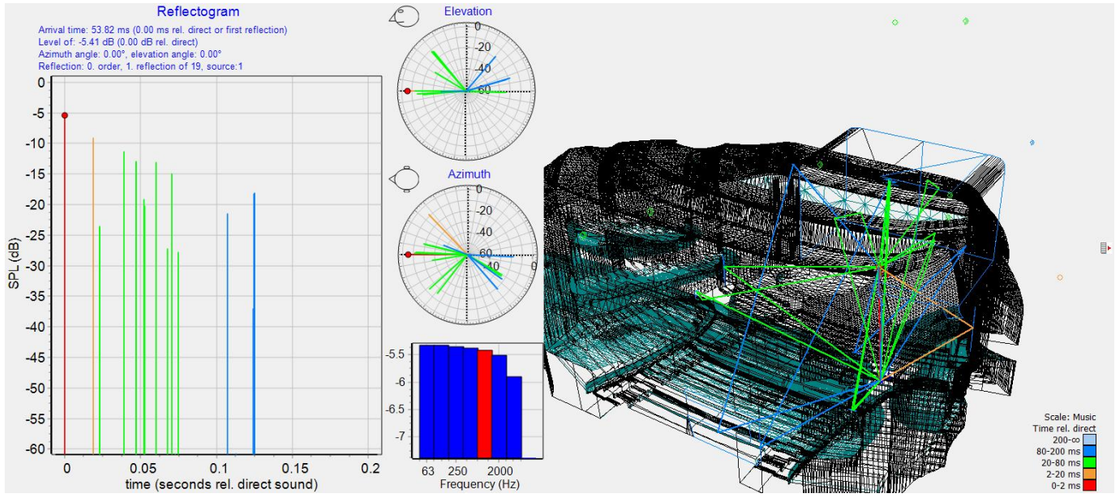
测点 3



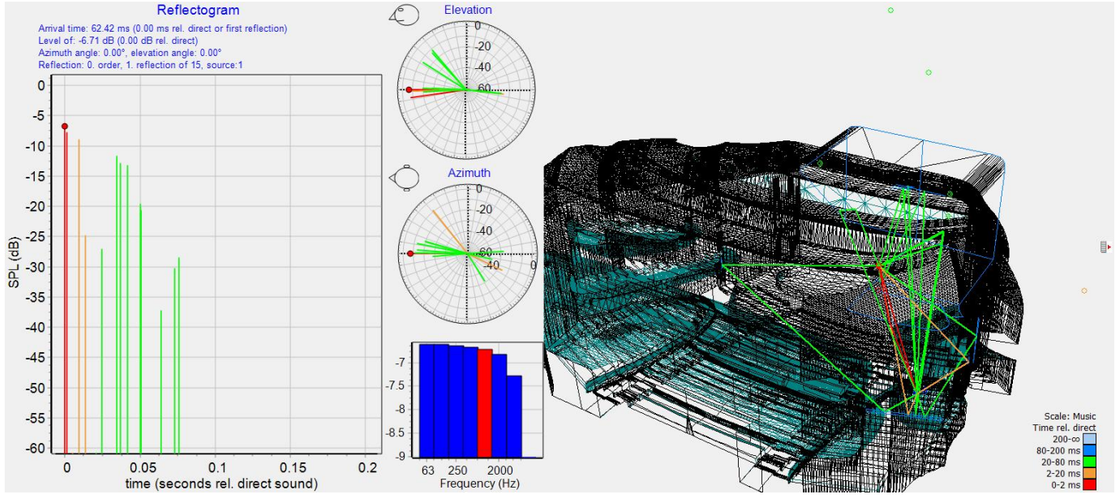
测点 4



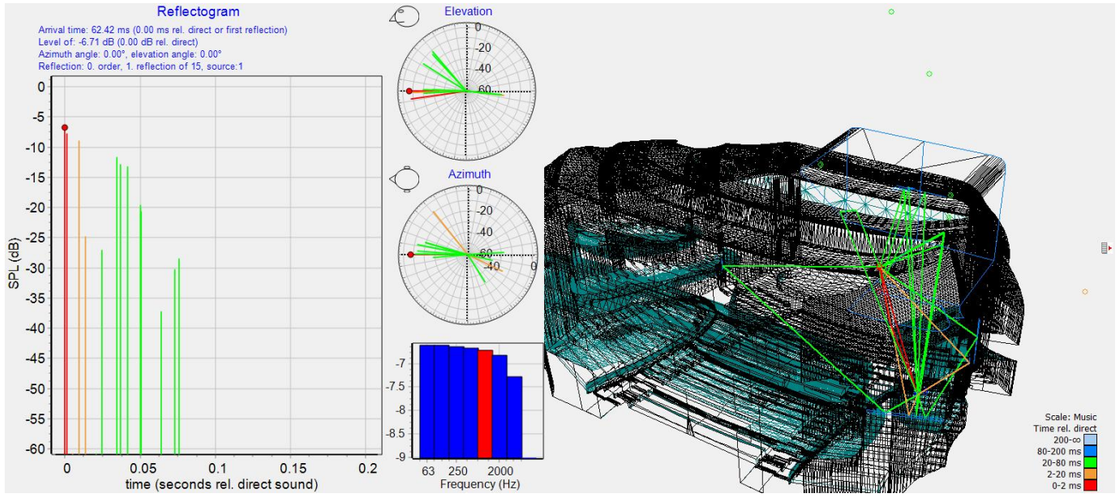
测点 5



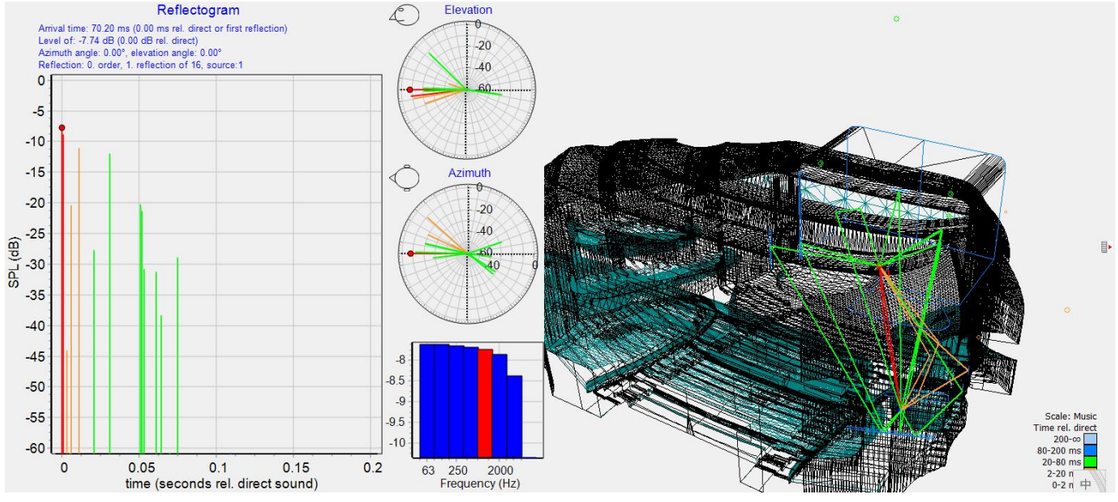
测点 6



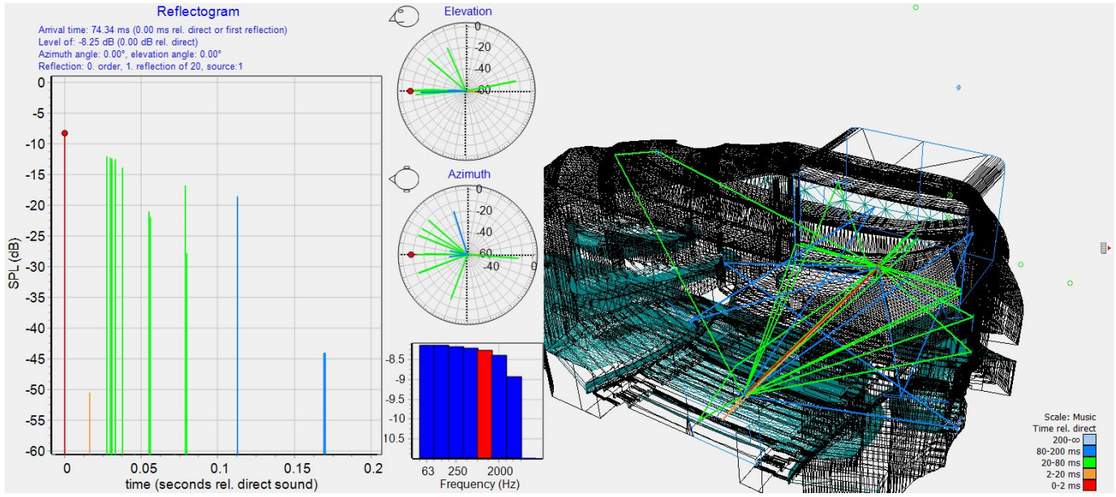
测点 7



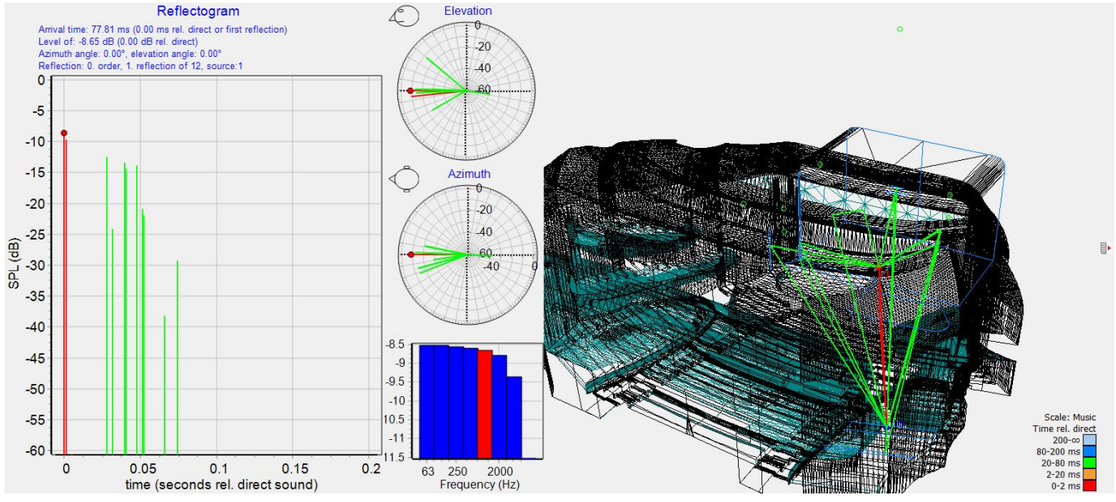
测点 8



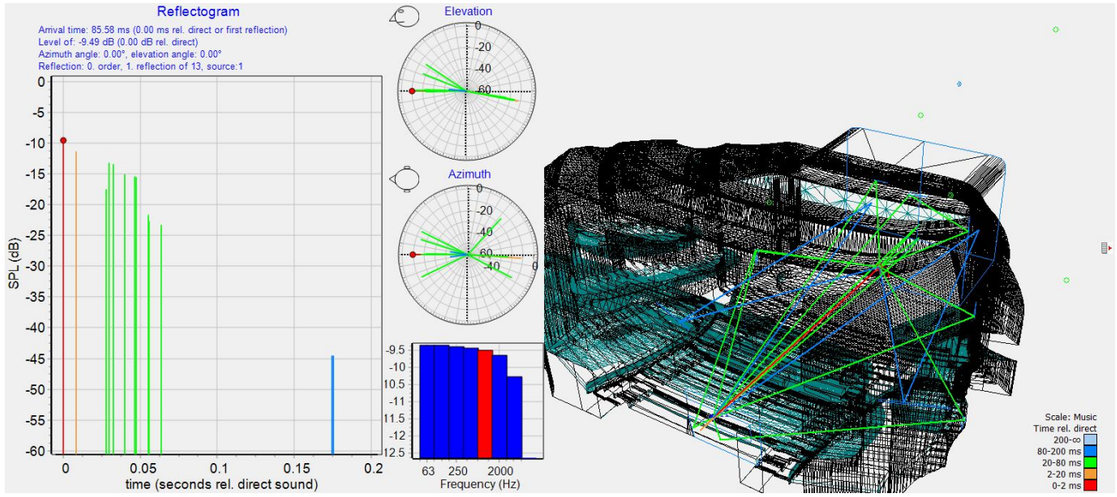
测点 9



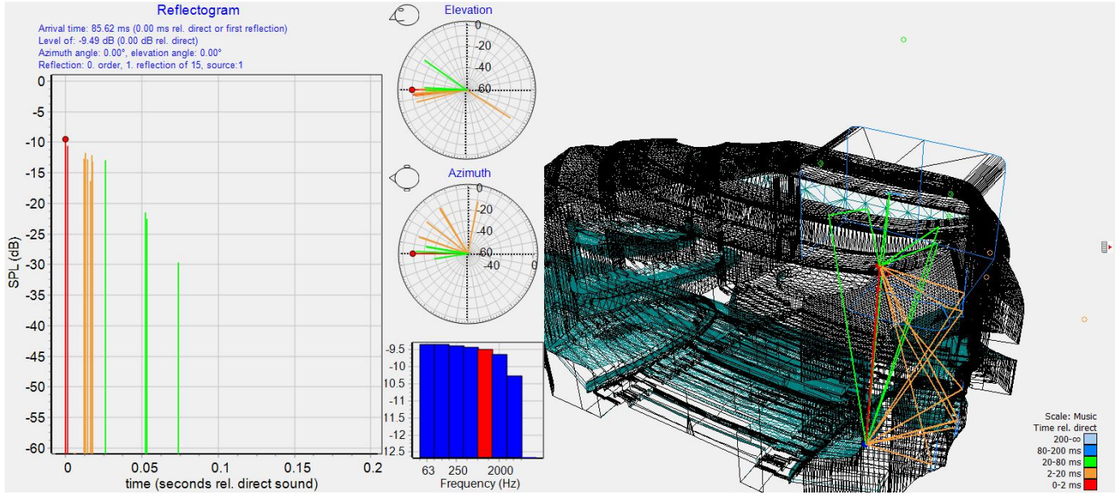
测点 10



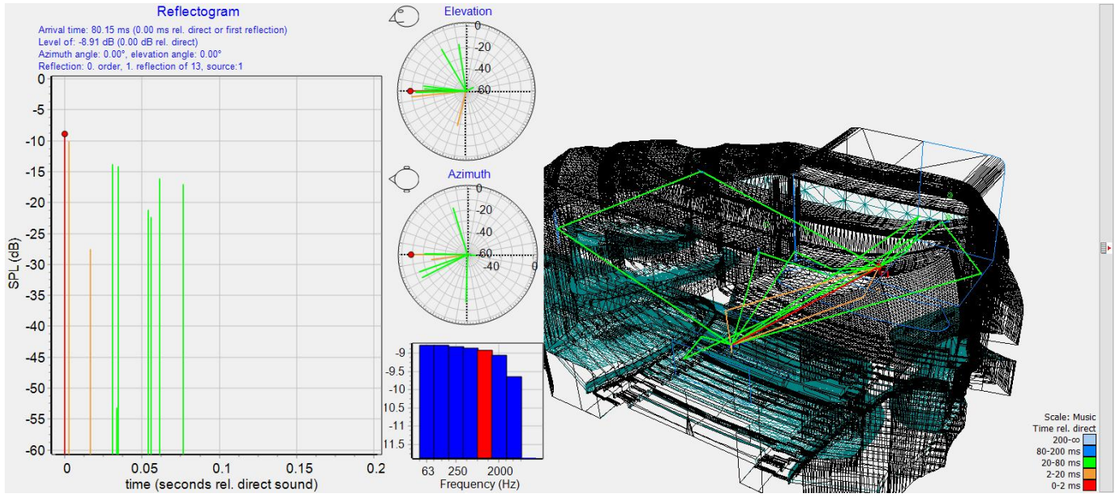
测点 11



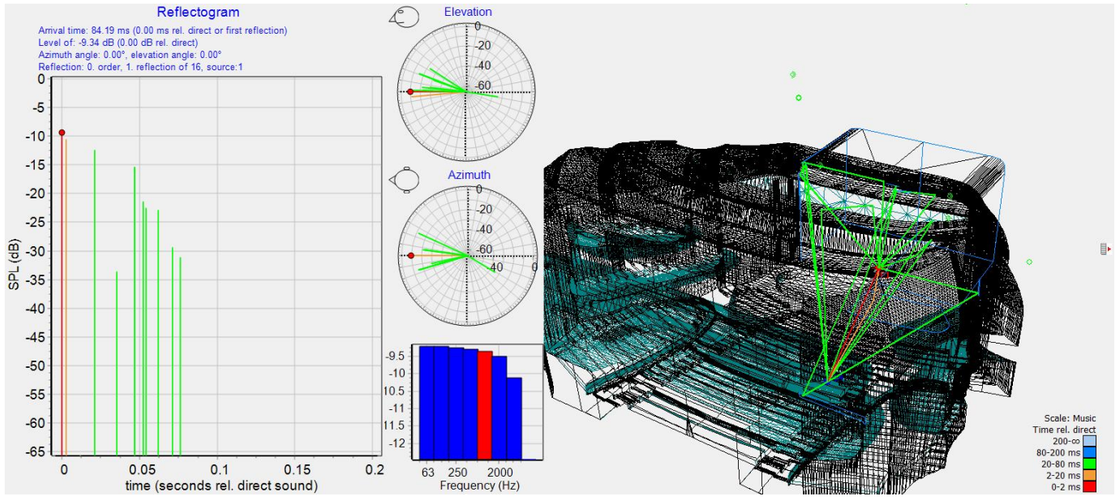
测点 12



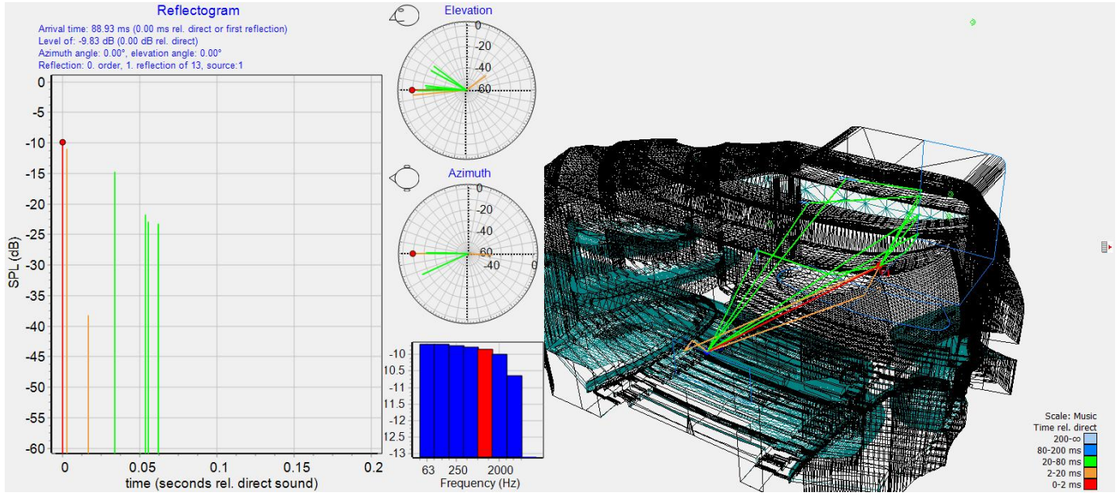
测点 13



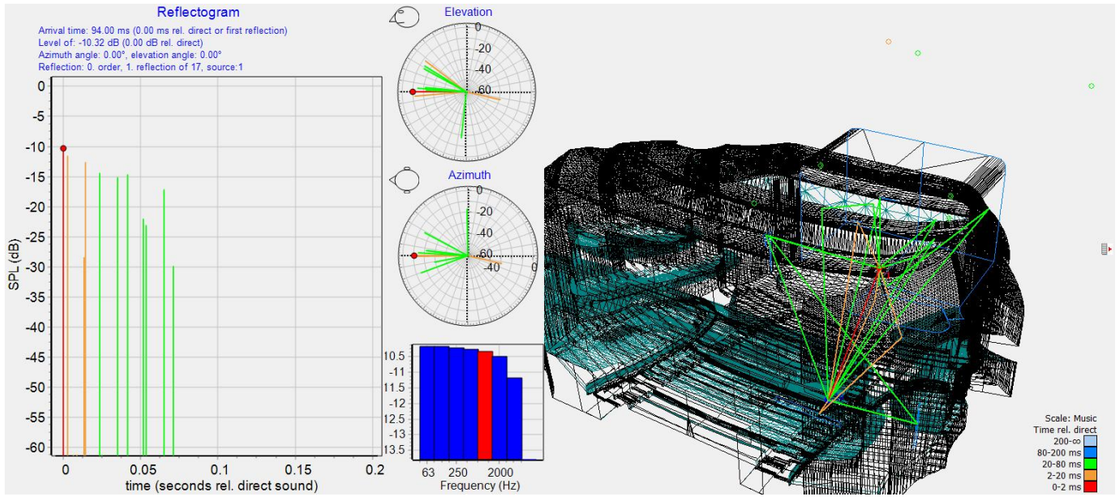
测点 14



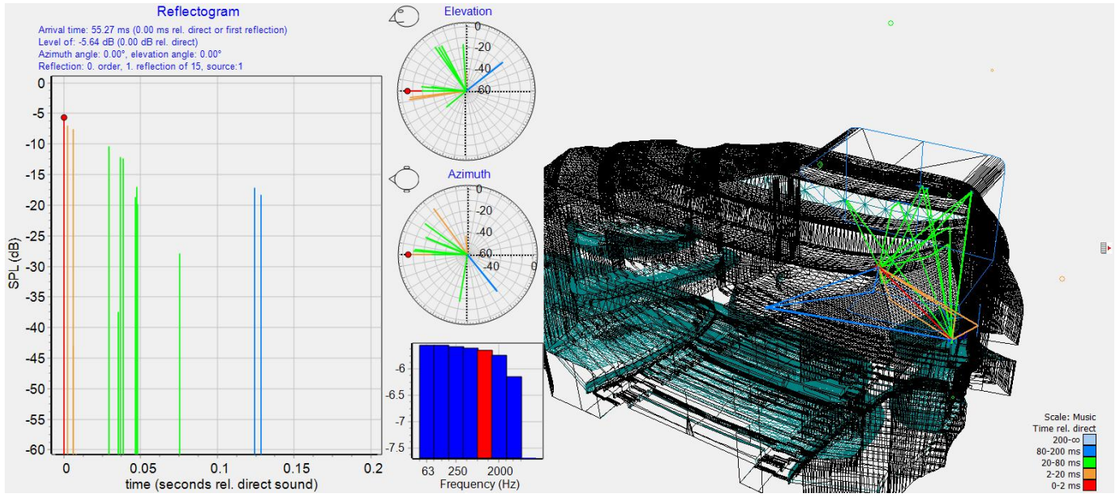
测点 15



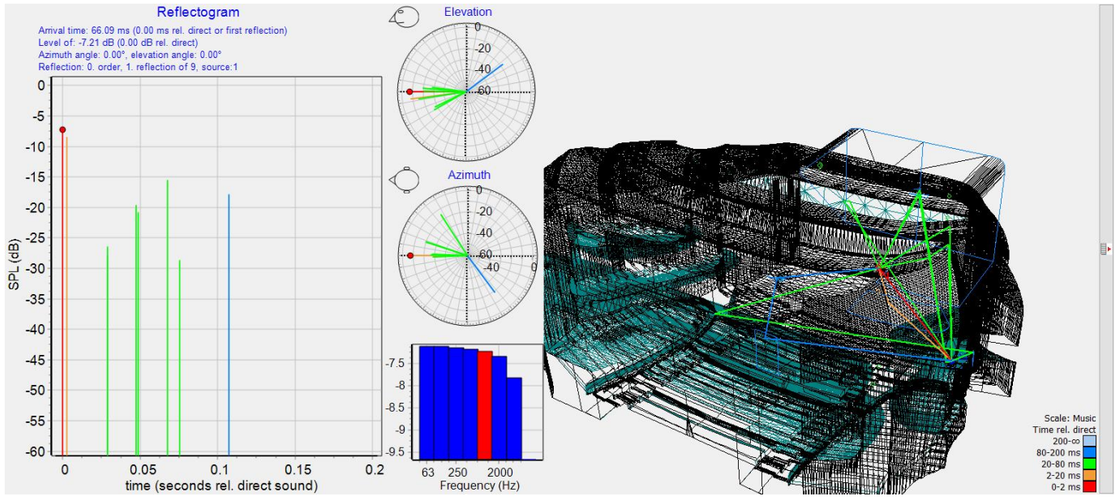
测点 16



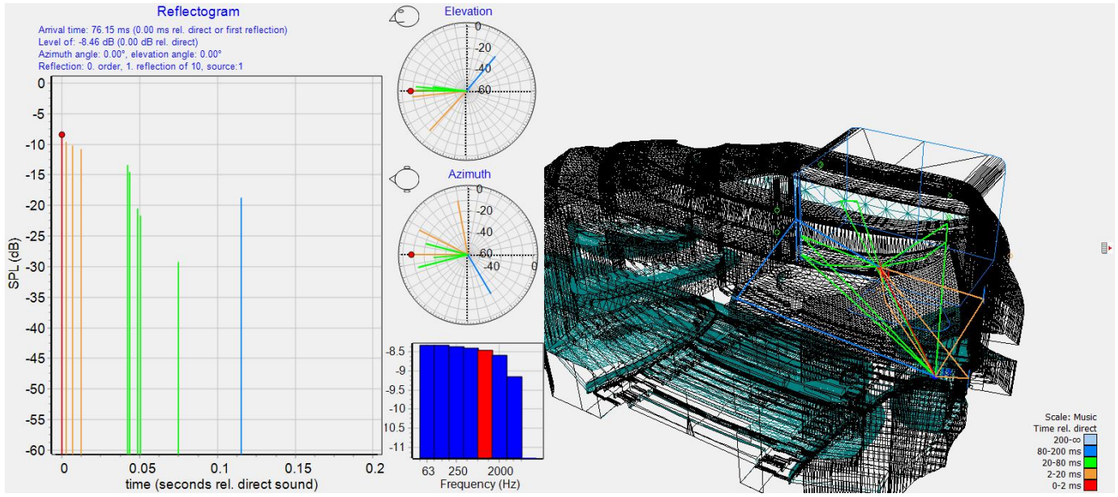
测点 17



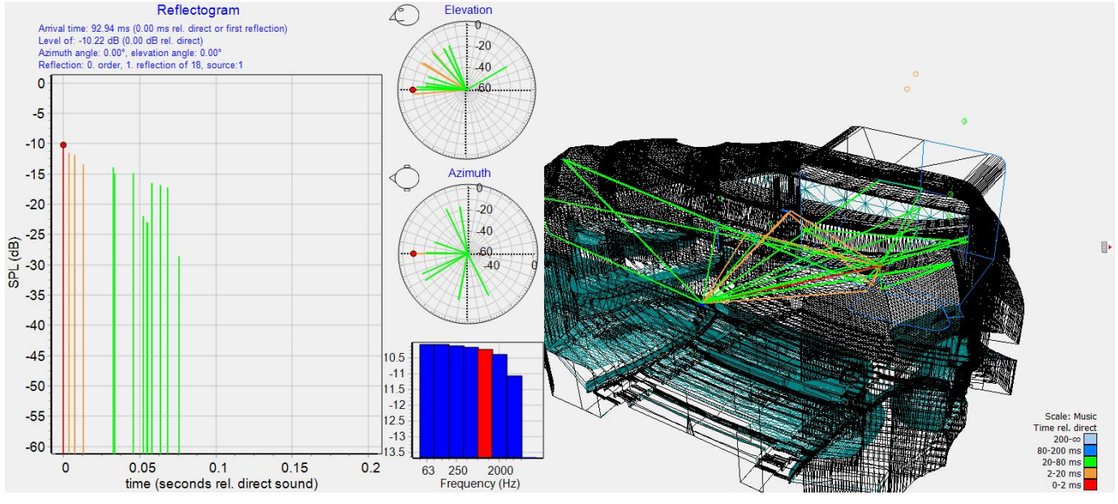
测点 18



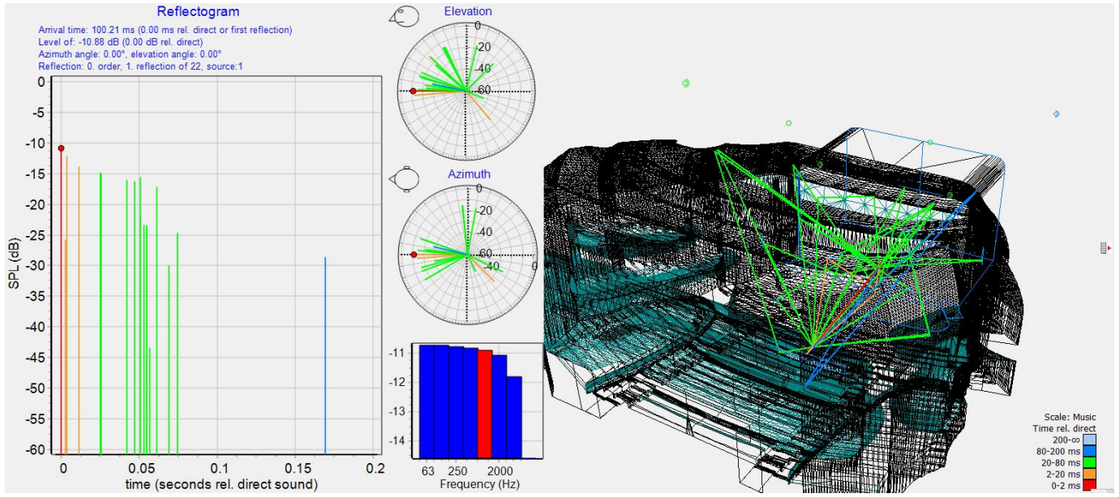
测点 19



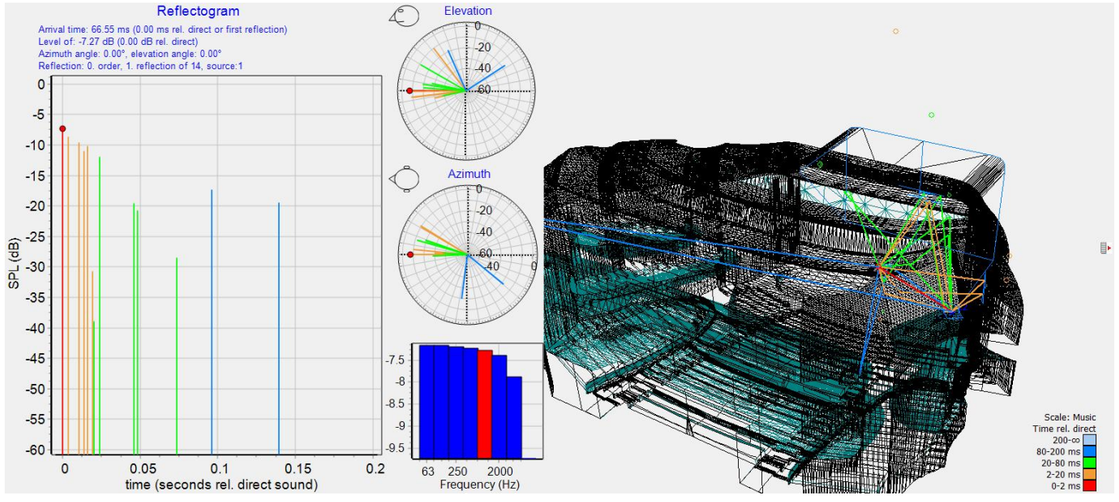
测点 20



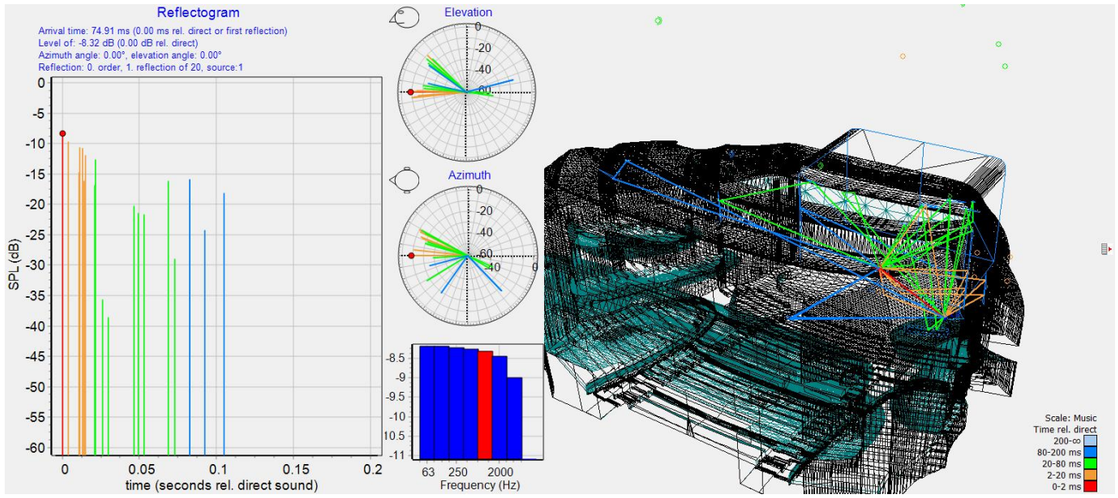
测点 21



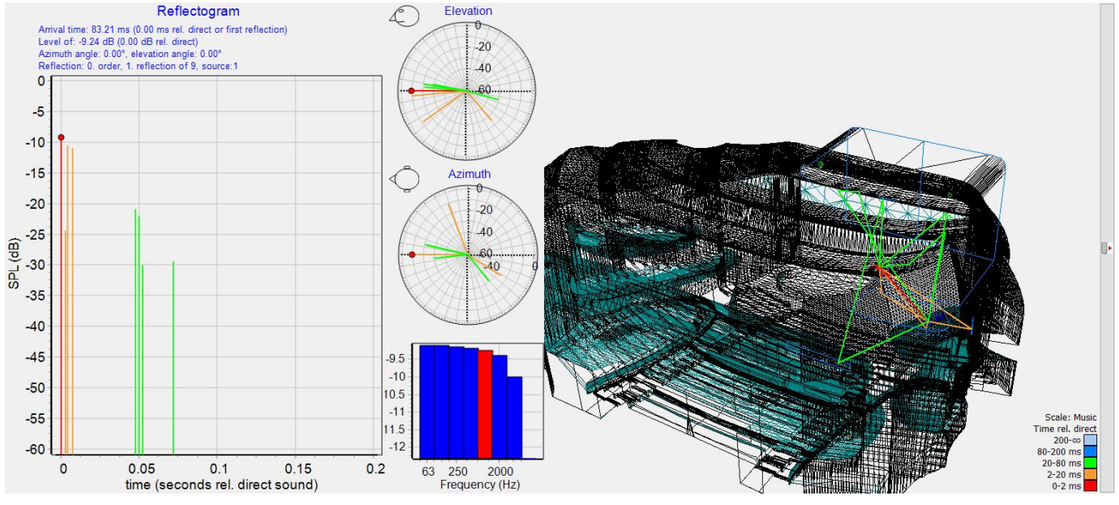
测点 22



测点 23



测点 24



4. 模拟结果汇总

客观参量	主观感觉	模拟值	设计值
T30（中频）(s) (满场混响时间)	混响感	**1.47**	**1.3~1.5**
低频比重	音乐丰满度	**1.05**	**1.0～1.15**
高频比重	语言清晰度	**0.92**	**0.8～1.0**
EDT（中频）(s) （空场早期衰减时间）	混响感	**1.58s**	**1.2~1.4**
$C_{80,3}$（dB） （空场明晰度）	音乐明晰度	**1.8dB**	
G_{mid}（dB） (空场中频声场力度)	中频声能的强度	**1.6dB**	**-1.0~2.0**
LF （空场侧向反射声）	空间感	**0.179**	**15%～35%**

- ◆ 在剧院为满场条件下，中频混响时间 T30 的平均值为 1.47 秒，符合声学设计要求。
- ◆ 明晰度 C80 平均值为 1.8dB，符合剧院要求。
- ◆ 声场力度 Gmid 为 1.6dB，符合响度随距离衰减的变化趋势。
- ◆ 侧向反射声能比 LF80 平均值为 0.179，符合剧院要求。

义乌大剧院音乐厅声学模拟报告

报告编写：文立森

校对：李佳菊

审核：张晓岚

华东建筑设计研究院有限公司

声学及剧院专项设计研究所

2023 年 4 月 28 日

前言

自从60年代Shroeder把计算机模拟的基本原理引入室内声学和Krotstad首次发表室内声场计算机模拟的论文以来，厅堂音质的计算机模拟技术得到了长足的发展。

一方面由于近代计算机性能的提高使复杂的模拟运算能够得以实现；另一方面声场模拟方法的不断完善和改进为厅堂音质模拟的实用化创造了条件。随着厅堂音质计算机模拟技术的深入研究，模拟速度和精度不断提高，对厅堂音质中声波的传播、反射和吸收等特性的模拟也越来越逼真。

目前厅堂音质的计算机模拟软件已经较为成熟，广泛地应用于厅堂音质设计、音质评价、声场特性研究等领域。与实物模型（缩尺模型）相比，它克服了模型制作和测试中的困难，而且它的模型的建立和修改十分方便、便捷，大大地节约了时间和费用。特别是在最近几年，计算机模拟分析已经成为厅堂获取良好音质的必要的辅助工具。

本次计算机声学模拟分析所采用的软件为丹麦技术大学编制的ODEON 14，为目前市场最新版本。ODEON建声模拟软件是世界上公认模拟结果最可靠的建声模拟软件之一。

本次计算机声学模拟分析主要是为了了解厅内声学评价参量。通过对这些参量的数据分析，检查厅内音质环境的好坏、厅内的墙面和顶面的材料布置是否合理，以便在以后的建声和装修设计中加以调整。

（注：1994年，德国声学学会曾组织了一次声场计算机模拟分析软件的国际性巡回比较研究。其结果发表在1995年的15届国际声学大会（ICA）。在参加的16个软件中，只有三个软件的计算结果被认为可靠，计算结果与实测值之差在平均实测值的标准偏差之内，ODEON就是其中之一。）

计算机声场模拟的客观参量

根据ISO 3382：2009(E)国际标准以及Beranek著的《音乐厅和歌剧院》，决定厅堂音质的主要客观参量为：

1. 混响时间RT（Reverberation time）：声音达到稳态后停止发声，声能衰减60dB所需要的时间。实测混响时间T_{30}是指声能最初衰减30dB所需要时间的2倍。
2. 早期衰变时间EDT（Early decay time）：指声能最初衰减10dB所需要时间的6倍。EDT与人的混响感相关性更好。
3. 明晰度C80（Clarity）：透明度是用于评价音乐的透明程度，它的定义是80ms前后接收到的声能之比，对应的公式为：

$$C80 = 10\lg\frac{\int_{0}^{80ms} p^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t)dt}(dB)$$

为了增大明晰度C80对音质评价的灵敏度，常将500、1000和2000 Hz的3个倍频带的测量值加以平均，并以C80(3)表示。

4. D50（清晰度）清晰度D50为早期声能与总声能的比值，单位为dB。其中早期声指0－50ms内到达的声能。

$$D50 = 10\lg\frac{\int_{0}^{50ms} p^2(t)dt}{\int_{0}^{\infty} p^2(t)dt}(dB)$$

其中，p(t)为声压的瞬时值。

5. 侧向反射比LF（lateral Energy Fraction）：80ms内的侧向反射声能与80ms内总声能的比值，对应的公式为：

$$LF = \frac{\int_{5ms}^{80ms} p_8^2(t)dt}{\int_{0}^{80ms} p^2(t)dt}$$

（其中P8(t)为8字型指向性传声器测得的声压，积分从5ms开始是为了消除直达声的影响），LFE4为125、250、500和1000Hz的4个倍频带LF的平均值。

6. 声场力度G（Sound strength）：它的定义为舞台上一个无指向性声源在厅堂中某点产生的声压级与自由声场中（声功率保持不变）离声源10m处的声压级之比，对应的公式为：

（其中P10(t)为同一声源在自由声场中，接收点离声源为10m处的声压）。中频声场力度Gmid

$$G = 10\lg\frac{\int_{0}^{\infty} p^2(t)dt}{\int_{0}^{\infty} p_{10}^2(t)}(dB)$$

为500和1000Hz的2个倍频带G的平均值。

7. 低音比 BR（Bass Ratio）：是低频（125Hz、250Hz）混响时间与中频（500Hz、1000Hz）混响时间的比值，对应的公式为：

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}}$$

此外反射声序列（the impulse response）也是厅堂音质的重要参量，通过观察测点的反射声序列，能够较好地评价和分析该点的音质的好坏及是否存在音质缺陷。

1. 音乐厅功能及建筑概况

音乐厅为约 1200 座的专业音乐厅。

最大长度约 45 米； 最大宽度 35 米；舞台前沿到最远一排座位距离 25 米；中区池座宽约 20 米，地面到吊顶最高点：约 20 米。

演奏台设升降舞台，舞台前沿宽度 21 米；舞台后沿宽度约 14 米；深度 13 米，舞台面积约 200 平方米。

2. 音质设计指标

音乐厅使用功能为交响乐演出。建筑声学技术指标建议：

a） 中频（满场）混响时间 RT： 1.9～2.1s

b） 早期衰变时间 EDT：2.1～2.5s

c） 音乐明晰度 C80,3 ：-3.0～1.0

d） 中频声场力度 Gmid ：2.0～6.0dB

e） 低频声场力度 G_{125}：3.0～7.0dB

f） 侧向反射声能比 LF：0.17~0.35

g） 舞台支持度：＞-14

厅内任何位置上不得出现回声、多重回声、颤动回声、声聚焦和共振等声学缺陷。

3. 计算机声场模拟概述

3.1 模拟方法

本次模拟主要步骤为：首先建立实际厅堂符合声学软件要求的三维模型，然后对三维模型的所有三维面布置声学材料，将材料声学特性参数输入计算机模拟软件形成三维计算机声学模型，最后由软件模拟出声波在室内的传播的声场特性。实际厅堂三维声学模型是建立整个模拟的基础，模拟厅堂的各个界面必须是平面，对于结构复杂的实际厅堂内表面，为了提高模拟的准确性需要进行声学简化，如把曲面划分为几个或多个平面的组合、把实际的扩散造型以扩散系数附值替代等。

3.2 模型建立

在建立三维模型以前，确定以下的直角坐标系（x、y、z）：

坐标原点取舞台前沿中点位置，从原点指左侧墙方向为 x 轴的正方向；从原点指向观众厅方向为 y 轴的正方向；从原点向正上方为 z 轴的正方向。声源布置在舞台边沿中点往后 3 米处的舞台上，距离舞台面 1.5 米高。模拟接收点均匀布置在成对称关系的观众席的一侧，共 11 个测点，测点距离剧院地面高 1.2 米。模型及测点布置如下图所示：

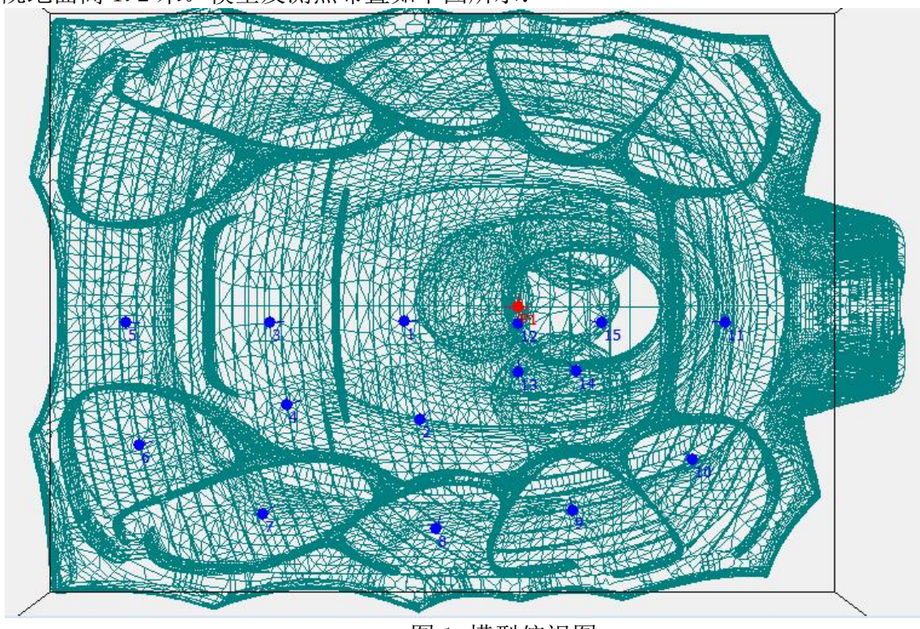


图 1 模型俯视图

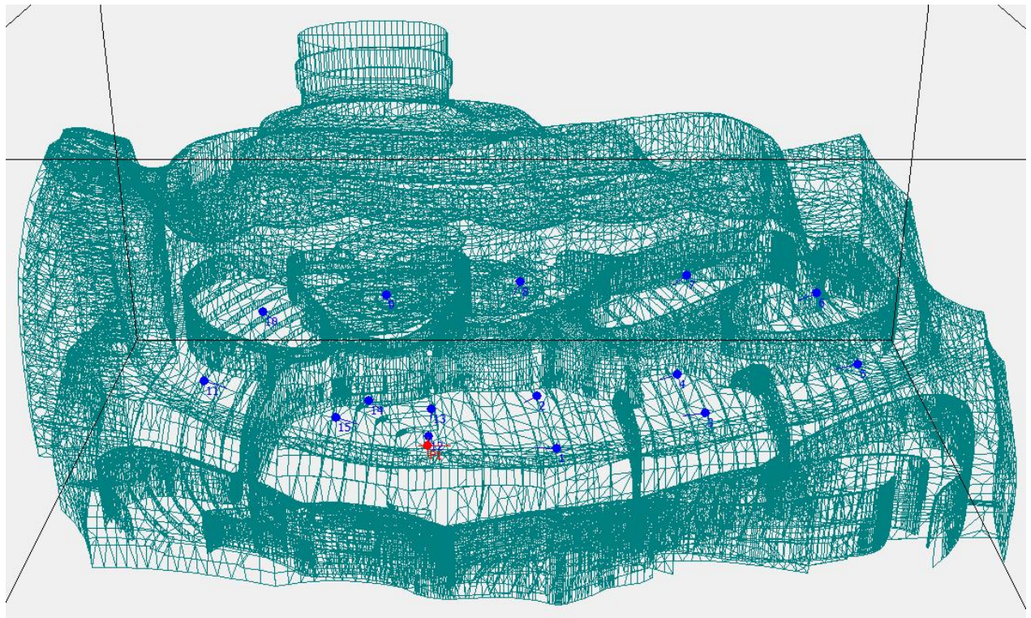


图 2 模型侧向俯视图

3.3 吸声材料布置

戏剧院材料布置汇总如下：

部位	材料说明	吸声系数（倍频带）					
		125	250	500	1000	2000	4000
舞台	舞台地面	0.1	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05
地面	走道木地板	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04
墙面	楼座 GRG	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03
	池座 GRG	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03
	管风琴	0.55	0.35	0.25	0.20	0.15	0.15
	灯光开口	0.30	0.35	0.45	0.50	0.50	0.55
天花	反射板	0.20	0.12	0.08	0.08	0.06	0.06
	吊顶 GRG	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03
座椅	满场	0.50	0.72	0.78	0.83	0.86	0.86
	空场	0.42	0.65	0.70	0.71	0.70	0.70



图 3 附上吸声材料后的模拟效果图（满场）



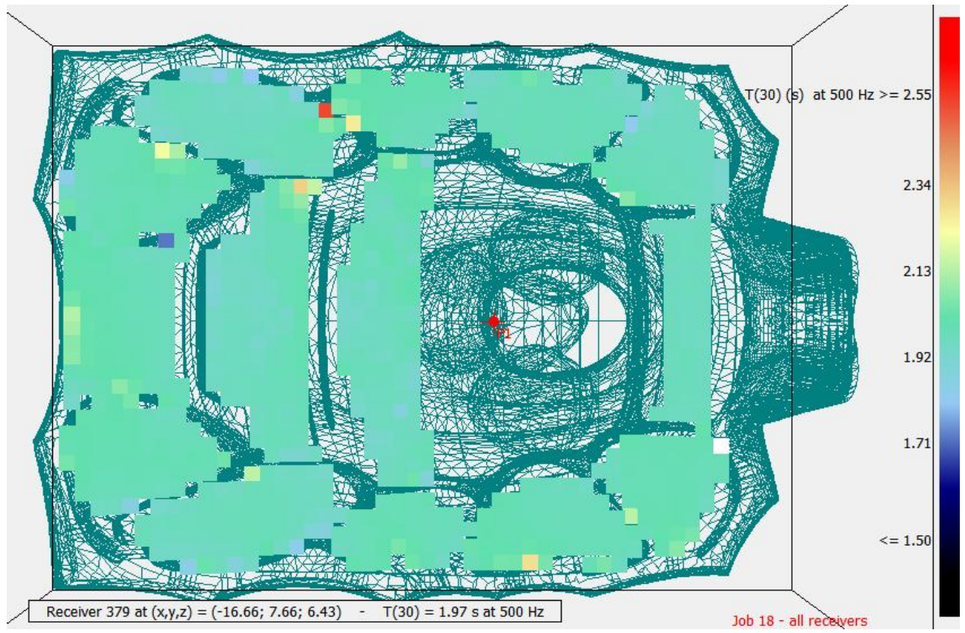
图 4 附上吸声材料后的模拟效果图（满场）

3.4 计算机声场模拟结果

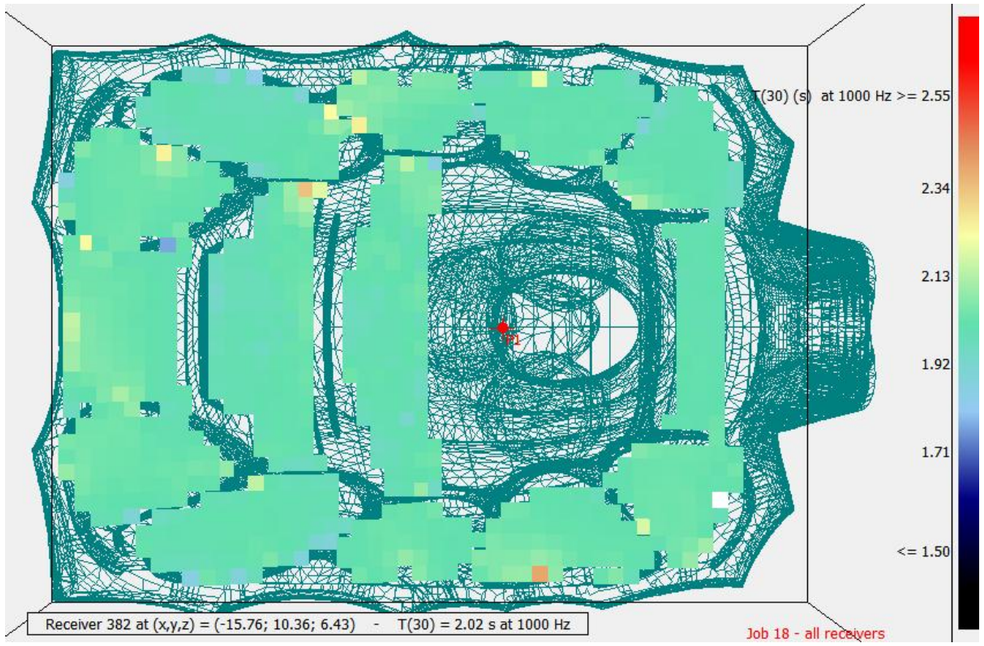
1). 混响时间 T_{30}（满场）

a. 观众厅座区的彩色网格示意图

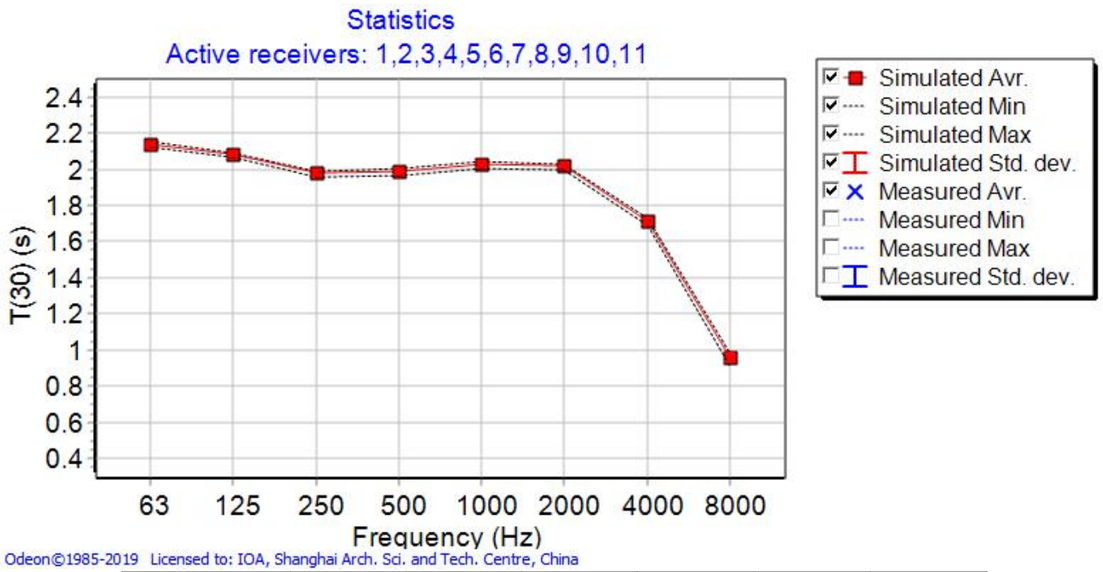
（中频 500Hz）



（中频 1000Hz）



b. 各个测点的平均值以及最大、最小值范围



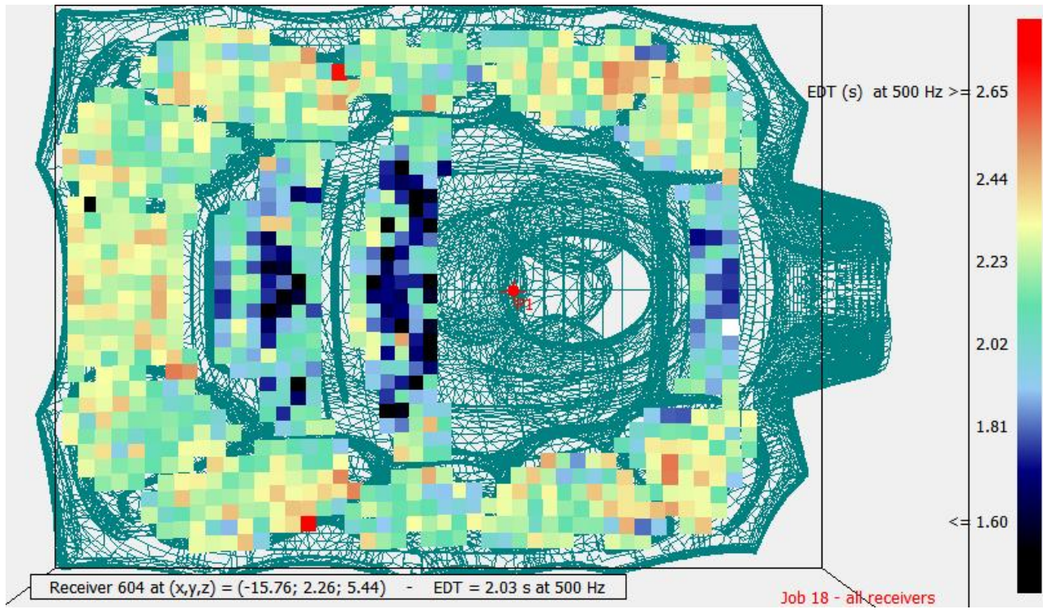
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	2.06	1.96	1.97	2.01	2.00	1.69
Maximum	2.09	1.99	2.01	2.04	2.03	1.73
Average	2.08	1.98	1.99	2.03	2.02	1.72

评价：中频空场混响时间 T30 平均值为 2.01 秒，在设计指标范围（1.9~2.1 秒）内；据 T30 彩色网格分布图可以看出，混响时间分布均匀。

2). 早期衰变时间 EDT（空场）

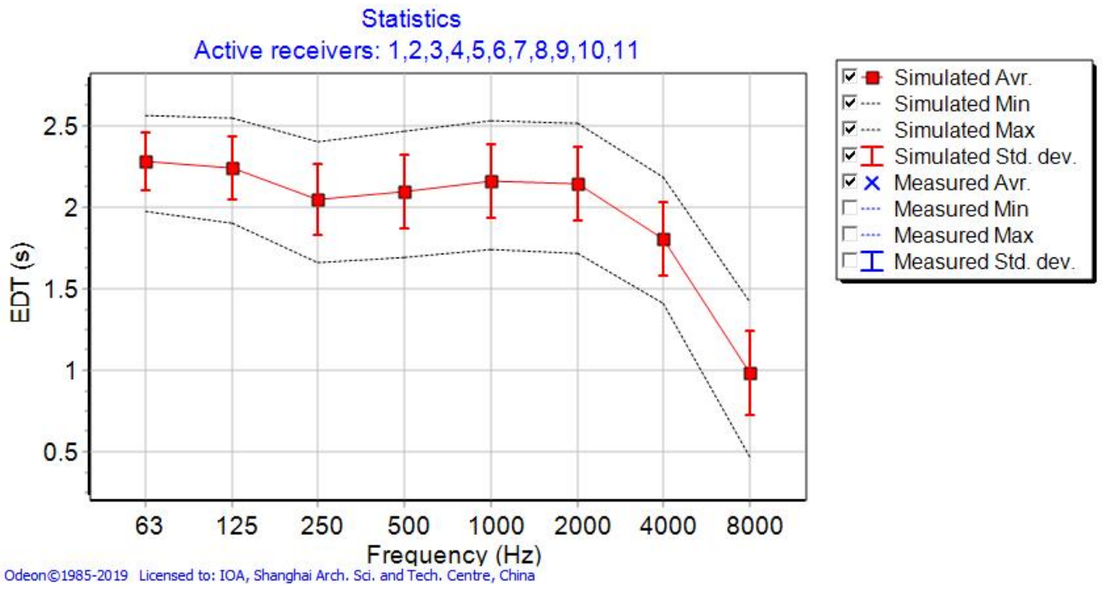
a. 观众厅座区的彩色网格示意图

（中频 500Hz）



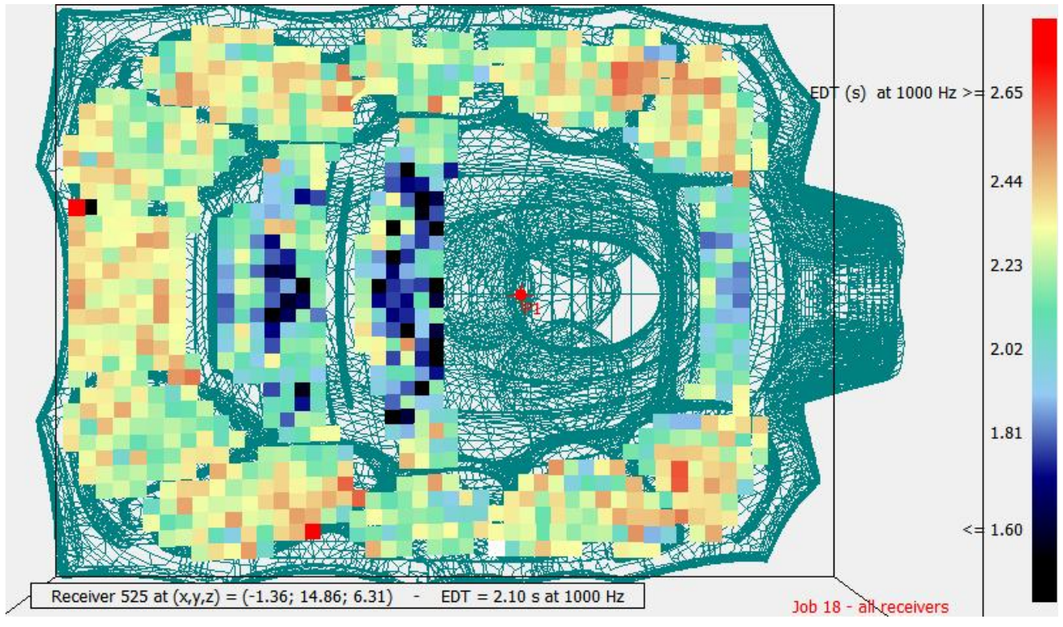
（中频 1000Hz）

b. 各个测点的平均值以及最大、最小值范围



Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	1.90	1.66	1.69	1.73	1.71	1.41
Maximum	2.54	2.40	2.46	2.53	2.52	2.18
Average	2.24	2.05	2.09	2.15	2.14	1.80

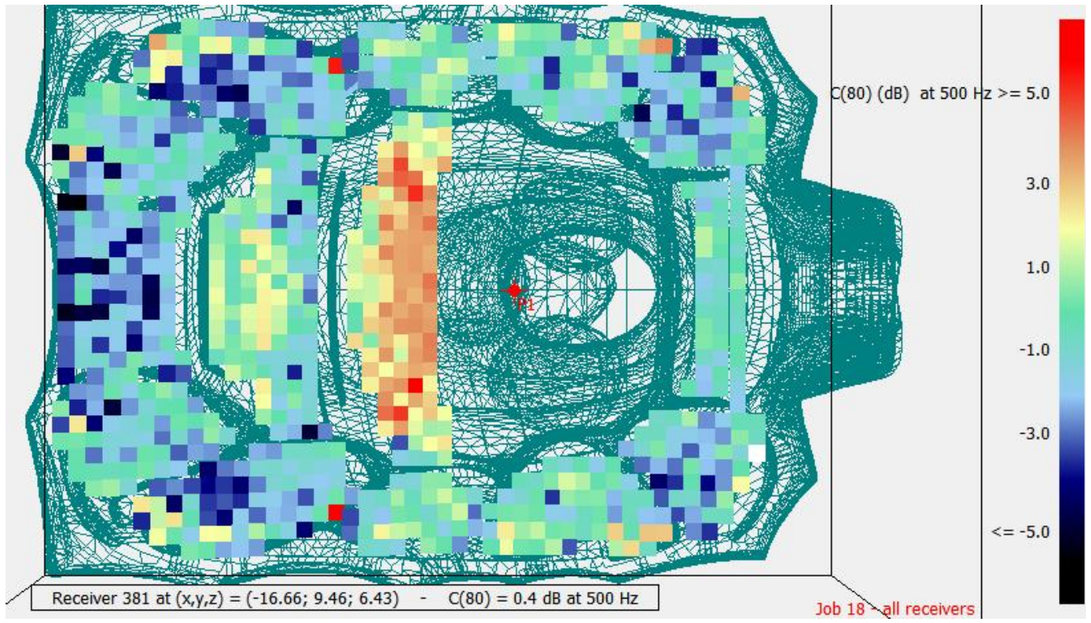
评价：早期衰变时间 EDT 为 2.12 秒，满足设计指标范围。



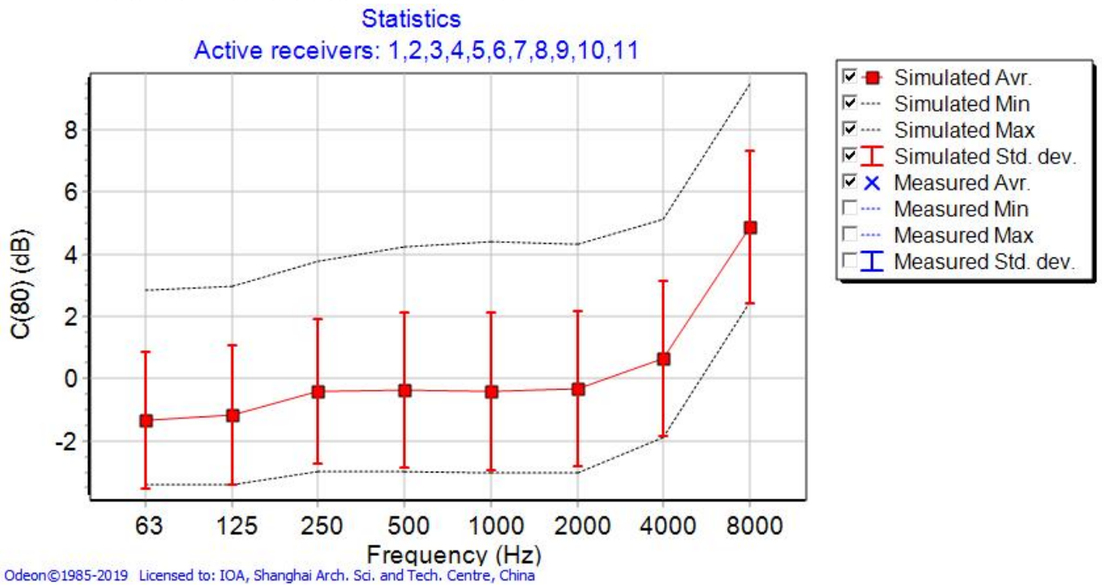
3). 明晰度 C80（空场）

a. 观众厅座区的彩色网格示意图

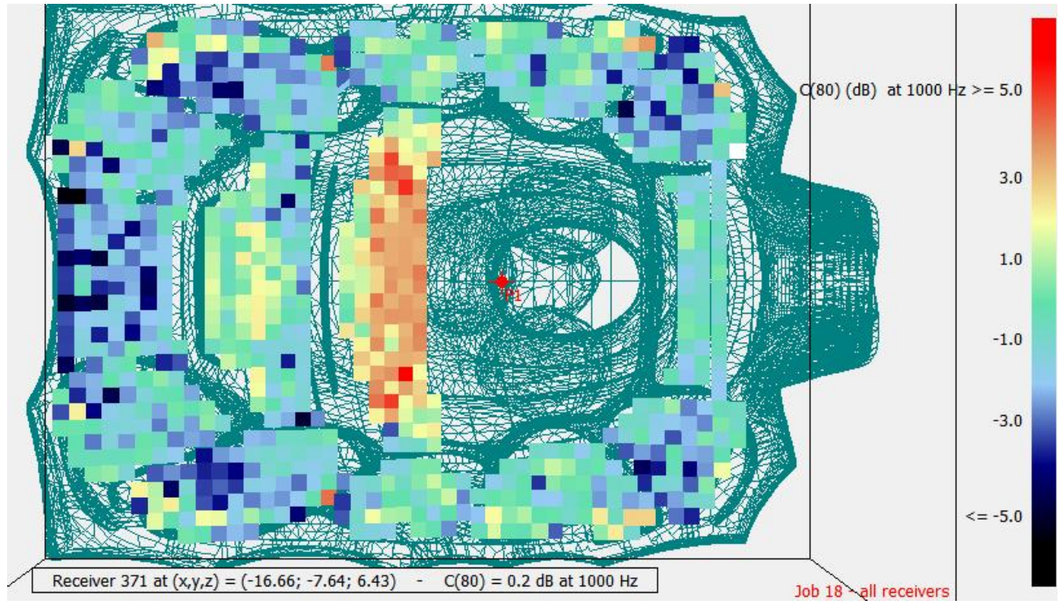
（中频 500Hz）



b. 13 个测点的平均值以及最大、最小值范围



（中频 1000Hz）



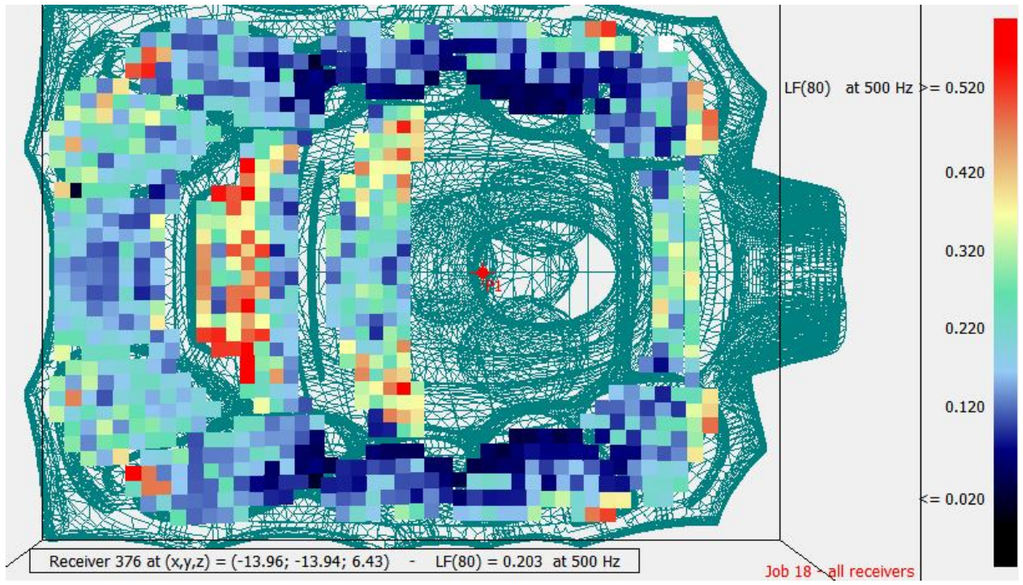
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	-3.4	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-1.9
Maximum	3.0	3.8	4.3	4.4	4.3	5.1
Average	-1.1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	0.7

评价：音乐明晰度 C80（3）模拟结果为-0.4，满足设计要求指标范围。

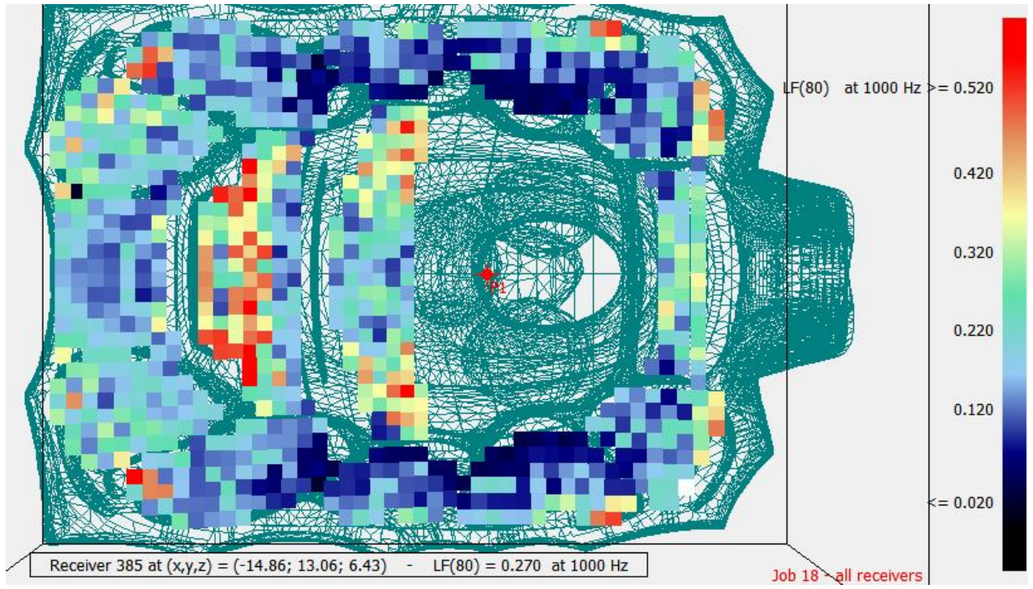
4）. 侧向反射比 LF80(空场)

a. 观众厅座区的彩色网格示意图

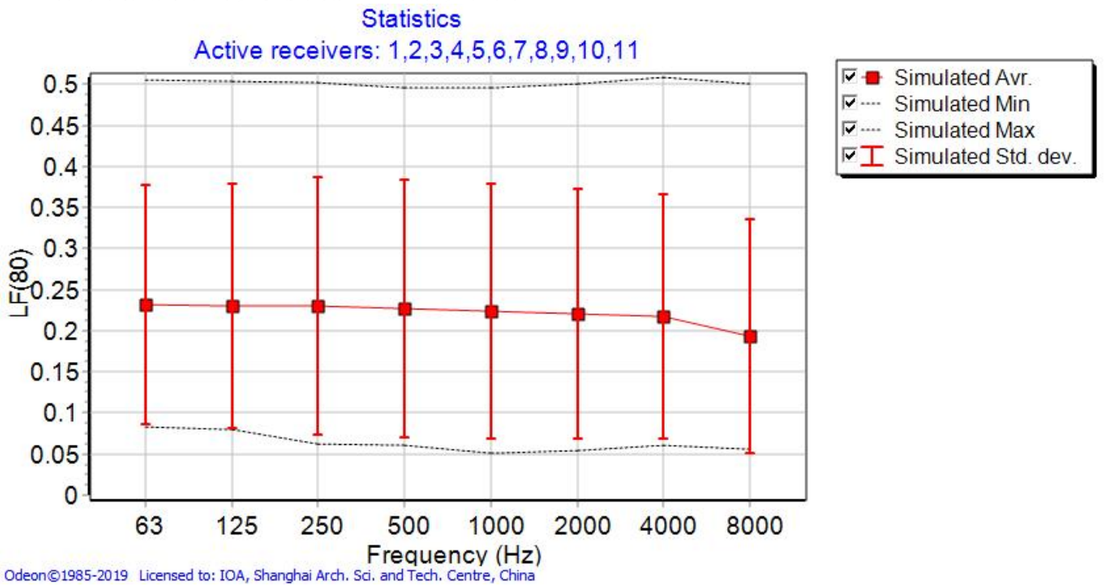
（中频 500Hz）



（中频 1000Hz）



b. 各个测点的平均值以及最大、最小值范围



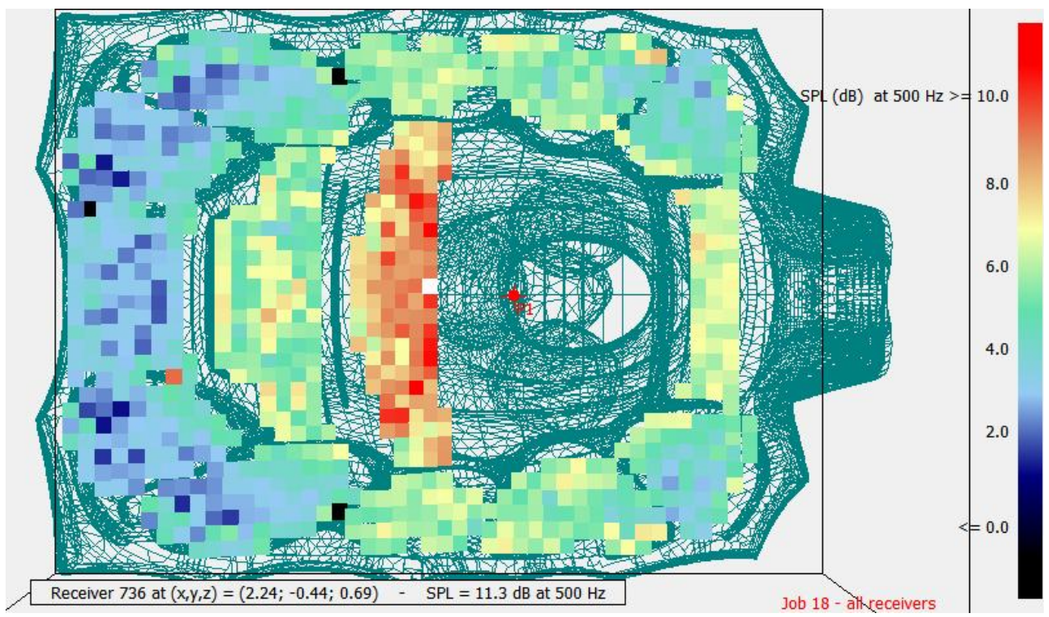
Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	0.08	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
Maximum	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51
Average	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22

评价：侧向反射比 LF 平均值为 0.23，说明该音乐厅侧向反射声充足，可以满足声学要求。但在分布上不太均匀，池座中区与舞台两侧楼座差别略大。

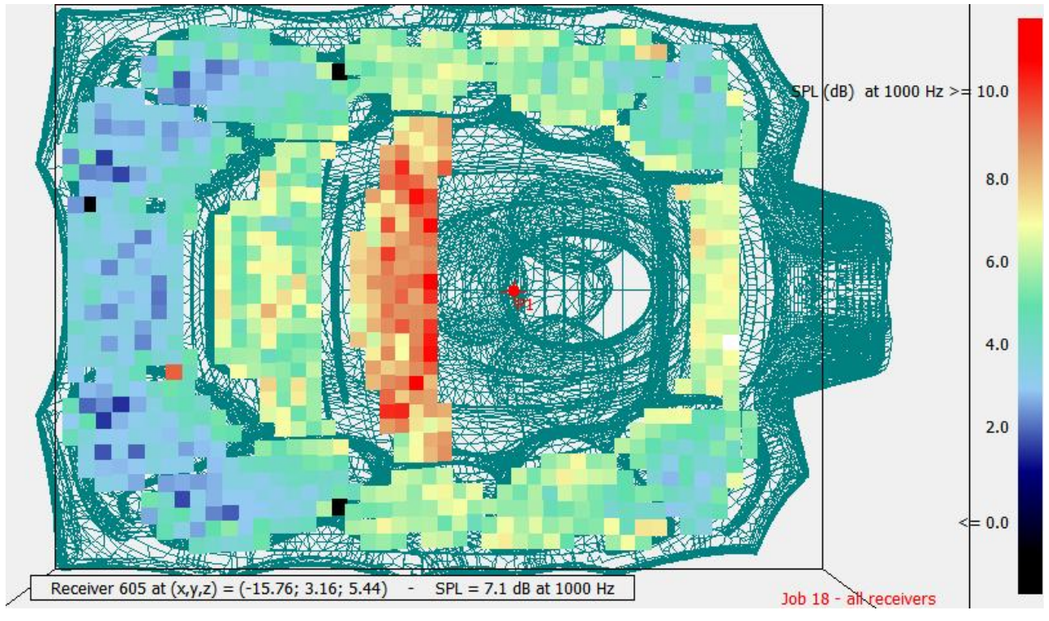
5). 响度因子 G(空场)

a. 观众厅座区的彩色网格示意图

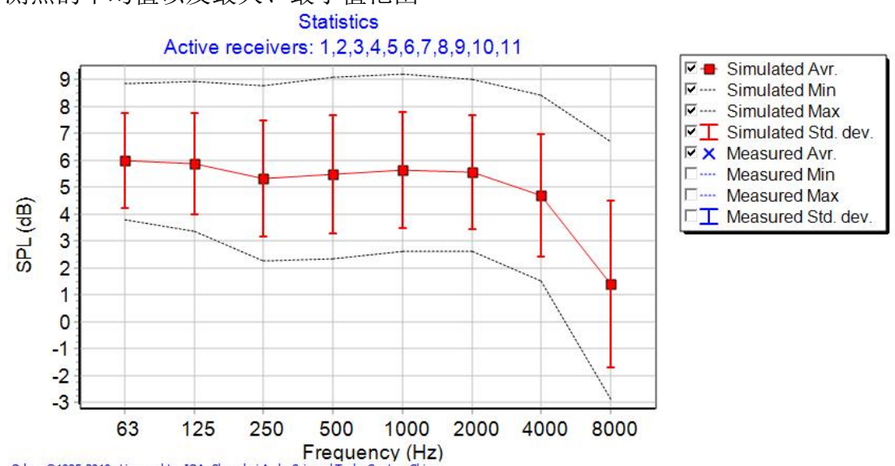
（中频 500Hz）



（中频 1000Hz）



b. 各个测点的平均值以及最大、最小值范围



Band(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mimimum	3.4	2.3	2.3	2.6	2.6	1.5
Maximum	8.9	8.8	9.1	9.2	9.0	8.4
Average	5.9	5.3	5.5	5.6	5.6	4.7

评价：响度因子模拟结果中频 Gmid 为 5.6dB；低频 G_{125} 为 5.9，满足设计要求；声场不均匀度满足±4dB；观众厅座区的彩色网格示意图符合声压级衰减的规律。

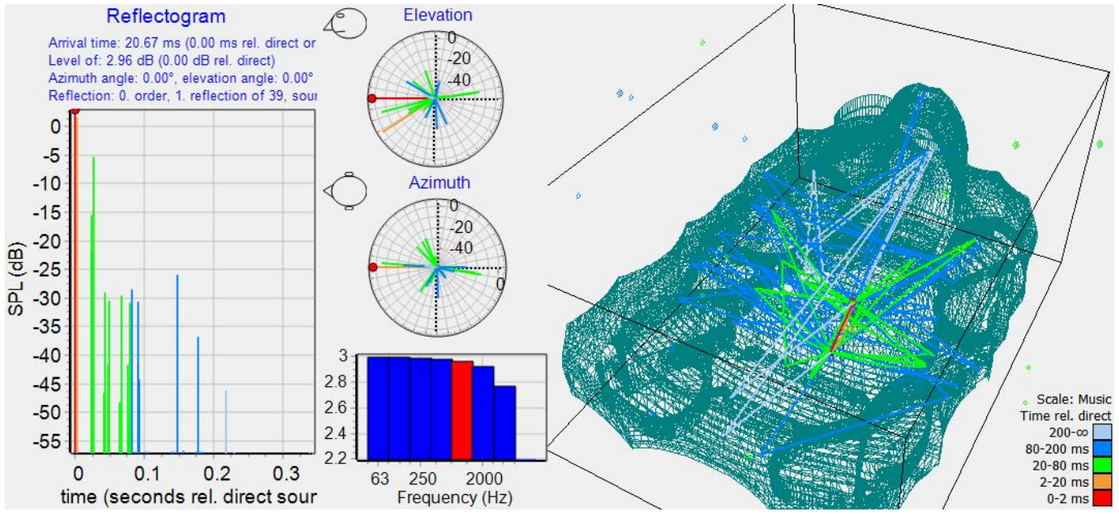
6). 早期舞台支持度 ST-early(空场)

频率 / 测点	倍频程中心频率(Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
舞台指挥位置	-12.1	-11.7	-11.1	-10.46	-11.3	-10.5
弦乐位置	-10.9	-10.5	-10.24	-9.8	-9.6	-9.8
管乐位置	-12.9	-12.7	-12.4	-12.1	-12.0	-12.0
打击乐位置	-19.0	-17.6	-16.9	-16.9	-17.0	-17.3
平均值	**13.7**	**13.1**	**12.7**	**12.3**	**12.5**	**12.4**

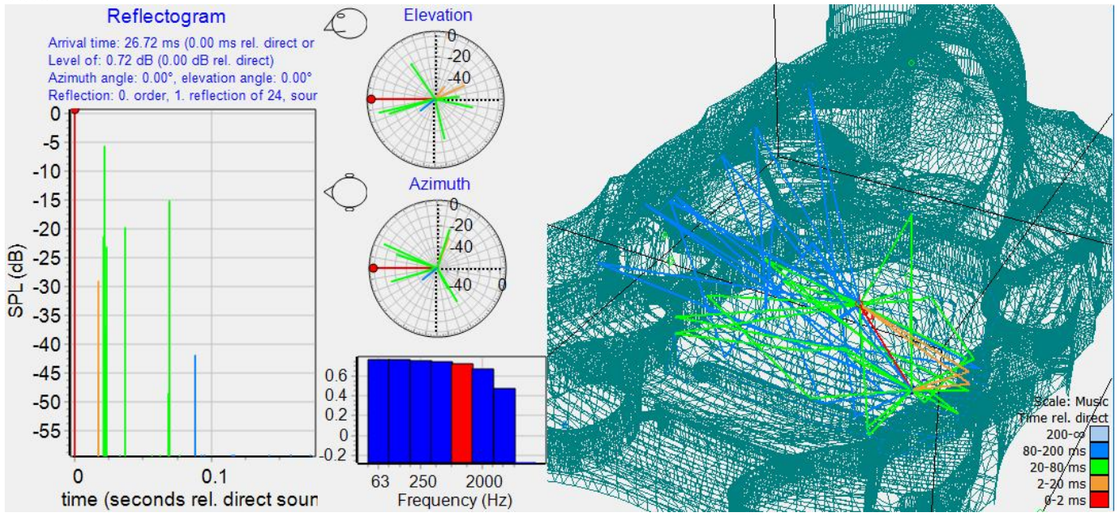
评价：舞台支持度模拟结果满足设计指标范围。打击乐位置相对较低是由于舞台后墙的吸声及上方无反射板覆盖所致，是声学有意如此设计。

7)．各个测点的反射声序列：

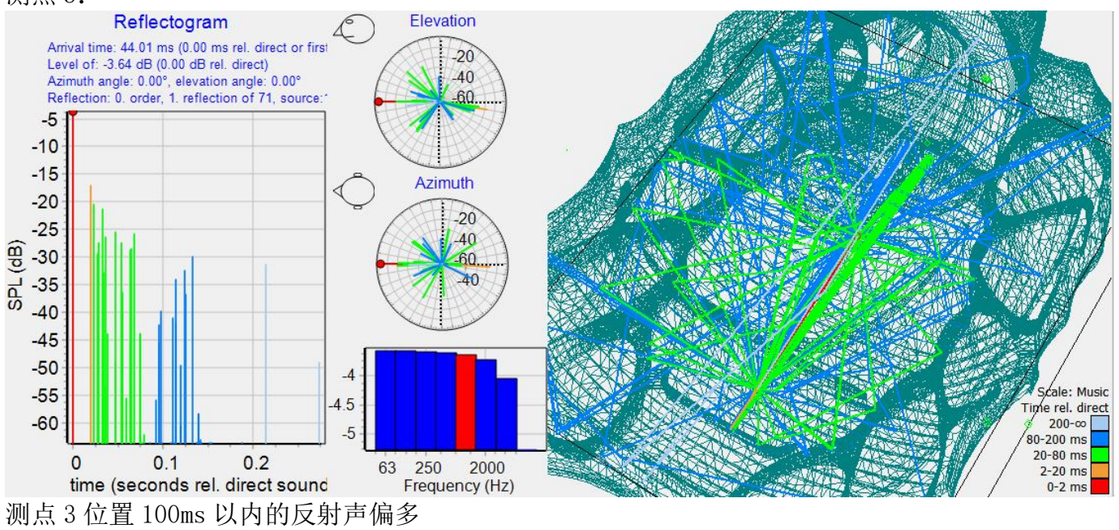
测点 1：



测点 2：

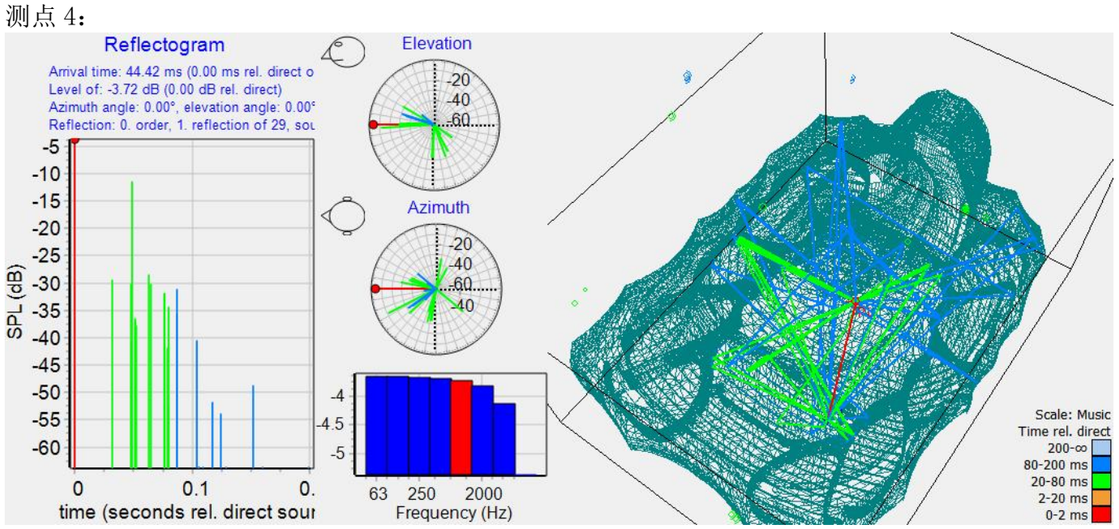


测点 3：

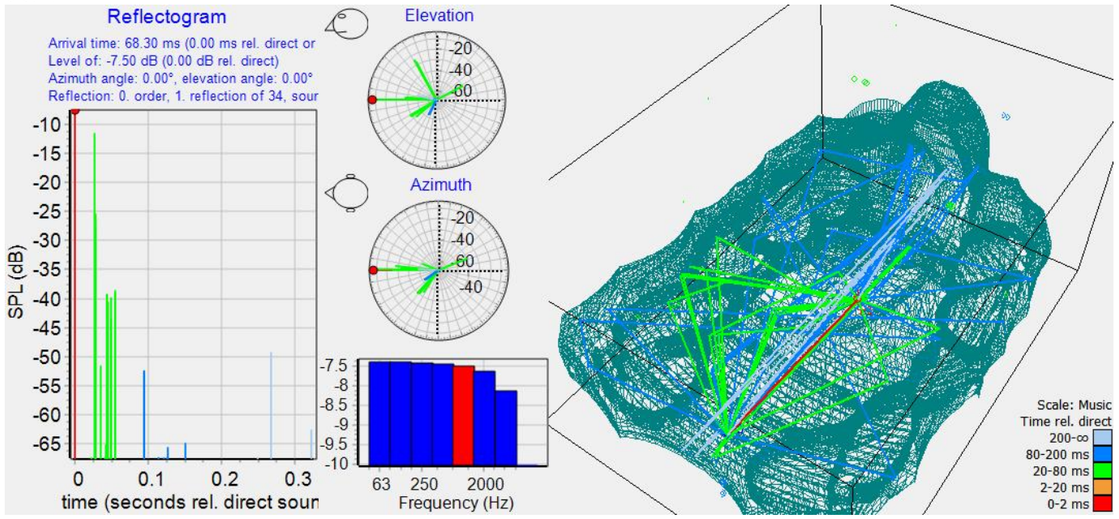


测点 3 位置 100ms 以内的反射声偏多

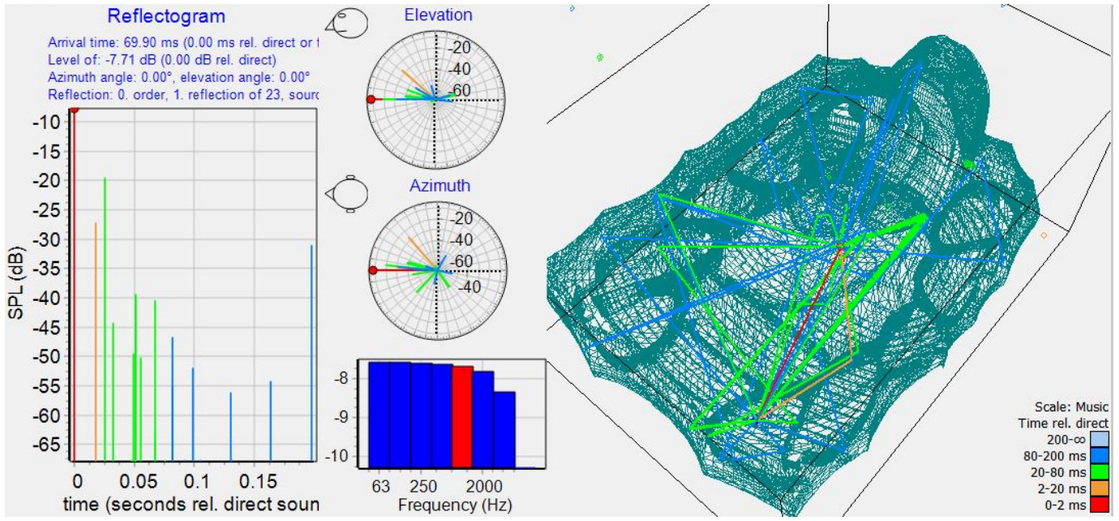
测点 4：



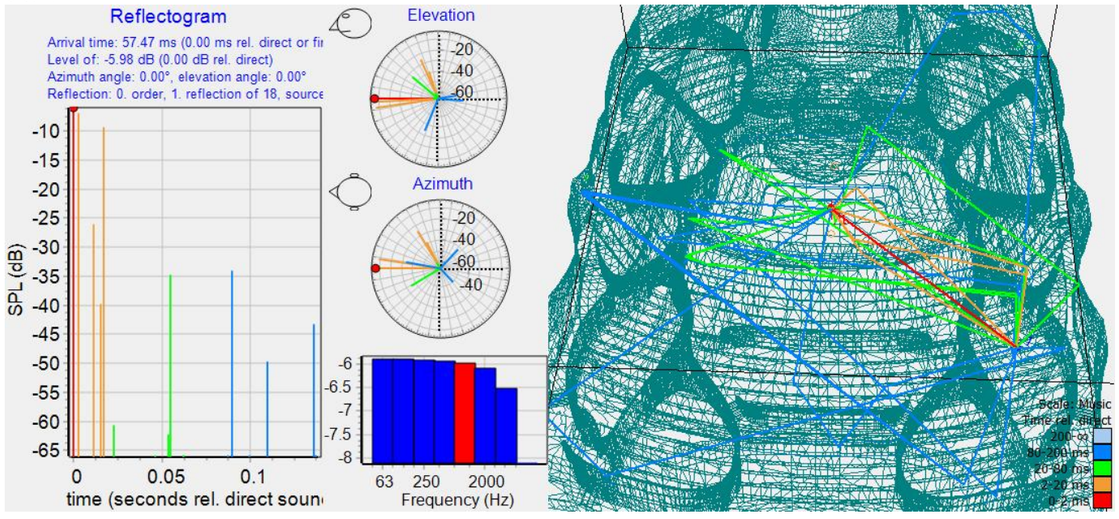
测点 5：



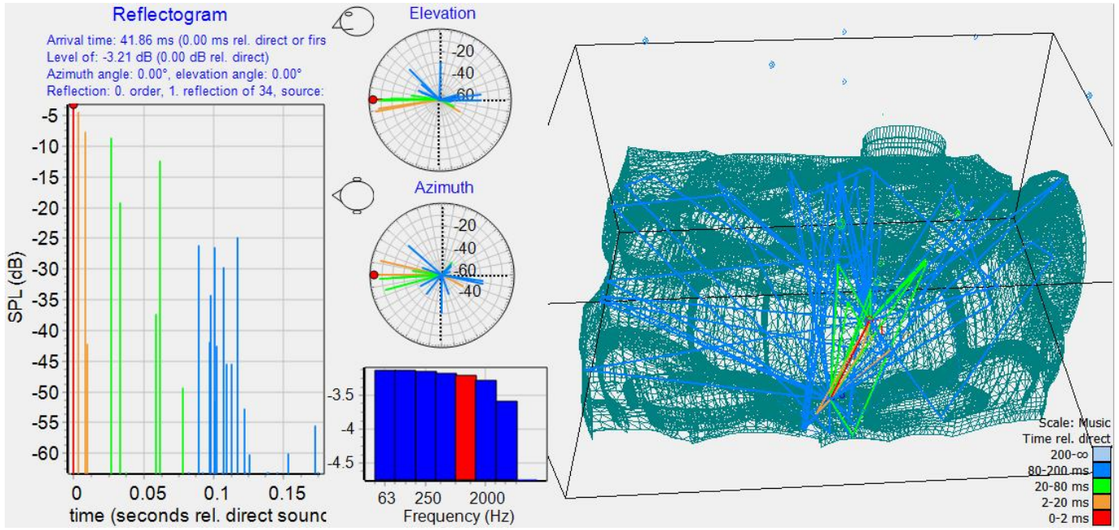
测点 6：



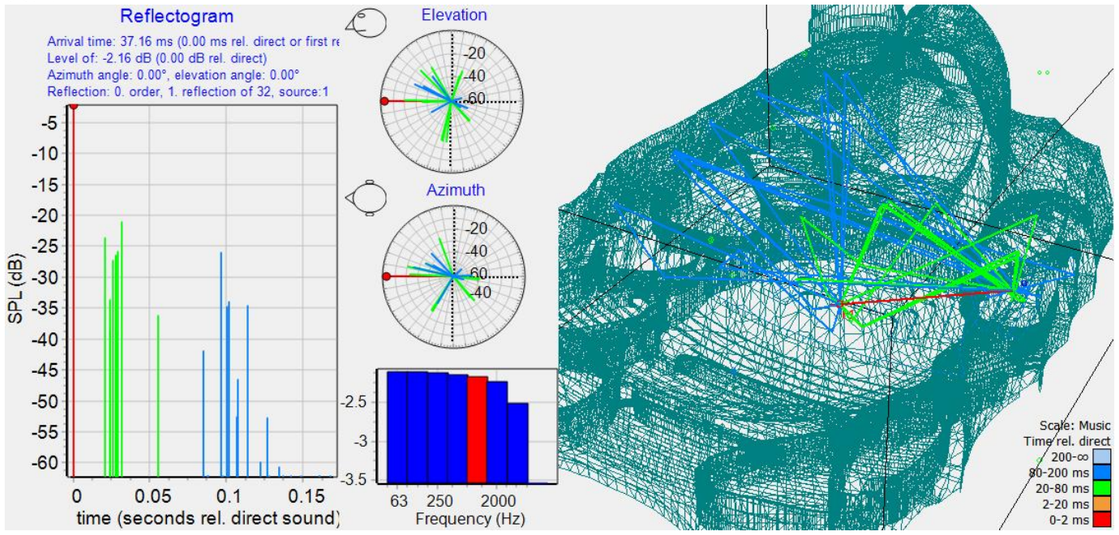
测点 7：



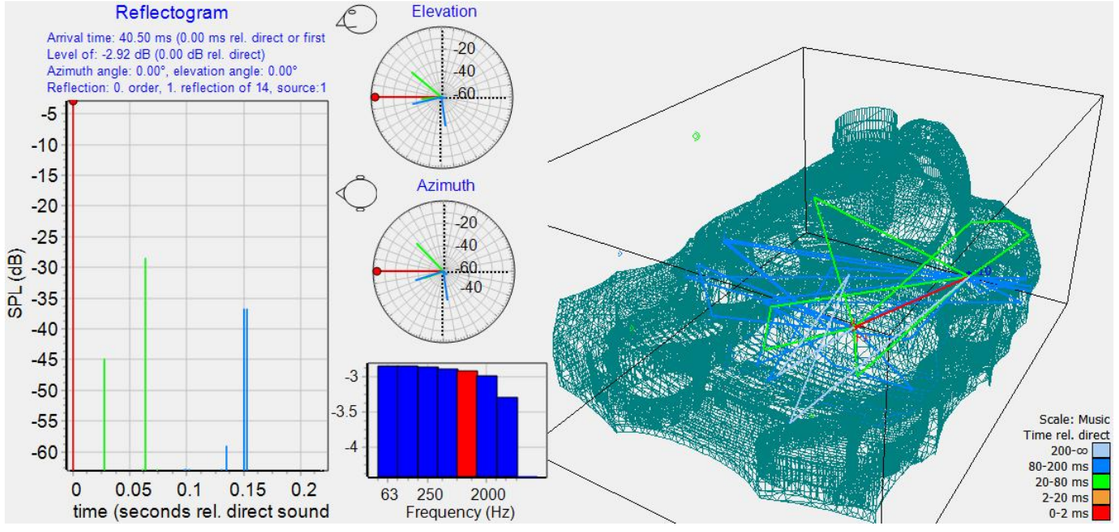
测点 8：



测点 9：

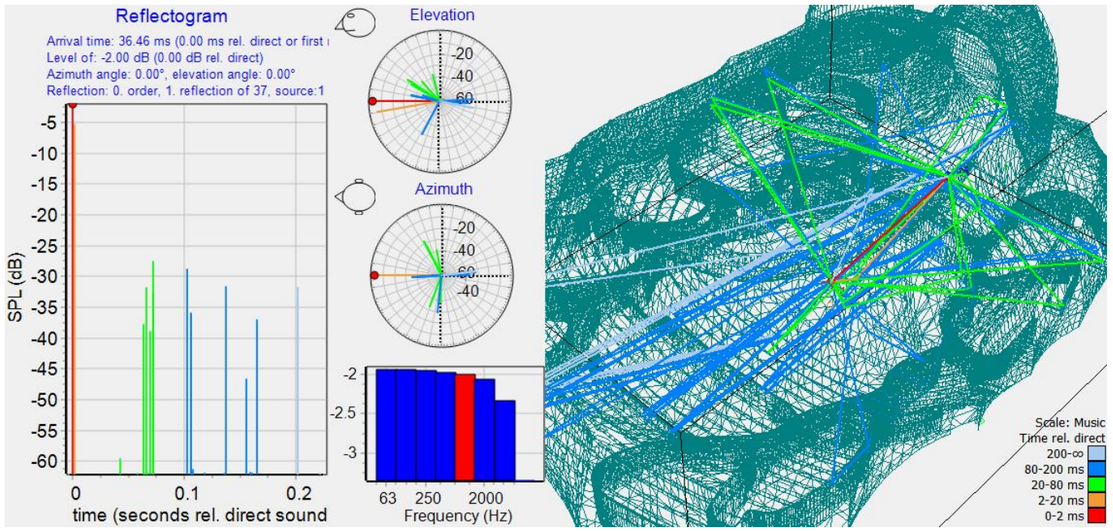


测点 10：



测点 10 反射声偏少

测点 11：

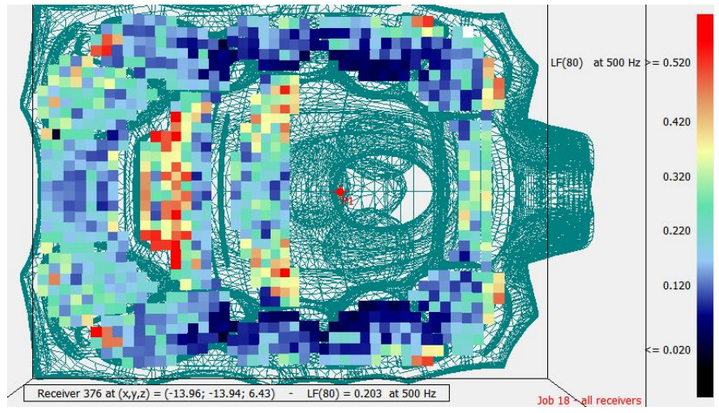


测点 11 缺少 50ms 以内的反射声，有回声可能

3.4 结论及建议

计算机模拟结果显示，目前音乐厅方案各音质指标基本满足设计要求，仍有一些细节等待优化。

问题一：但侧向反射比 LF 平均值为 0.23，说明该音乐厅侧向反射声充足，可以满足声学要求。但在分布上不太均匀，LF 池座中区与舞台两侧楼座差别略大

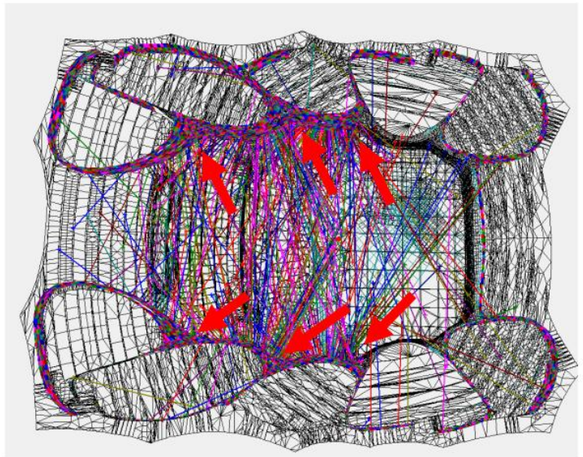


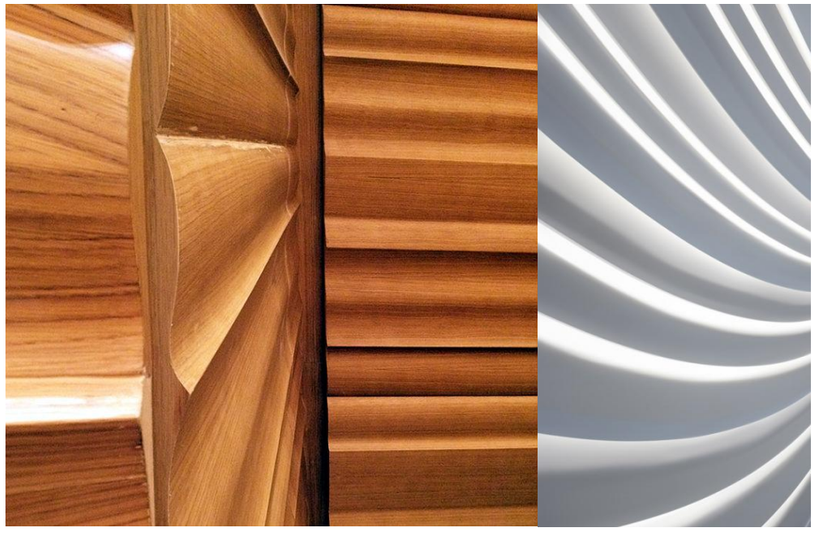
措施一：观众席墙面做微扩散，尺寸 50mm~100mm,形状根据美观确定，此结论与 2022 年 8 月 10 号音乐厅墙面声学复核结果一致。

●建议 1 观众席墙面

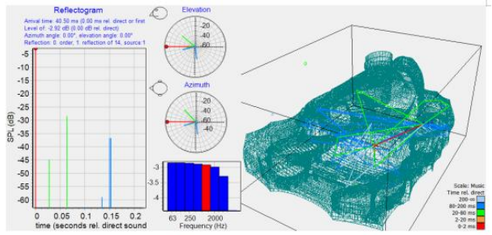
可以看出凹弧有汇聚，对邻居座位有影响。

改进办法是凹弧区域做微扩散处理，尺度 50~100mm

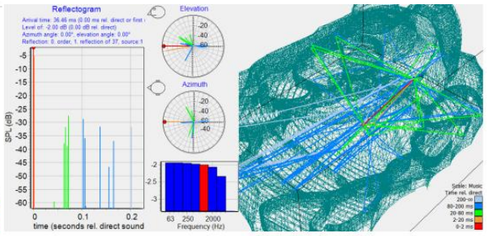




问题二：测点 10（舞台侧面楼座）反射声较少，测点 11（管风琴前方座位）前 50ms 反射声较少，有回声可能



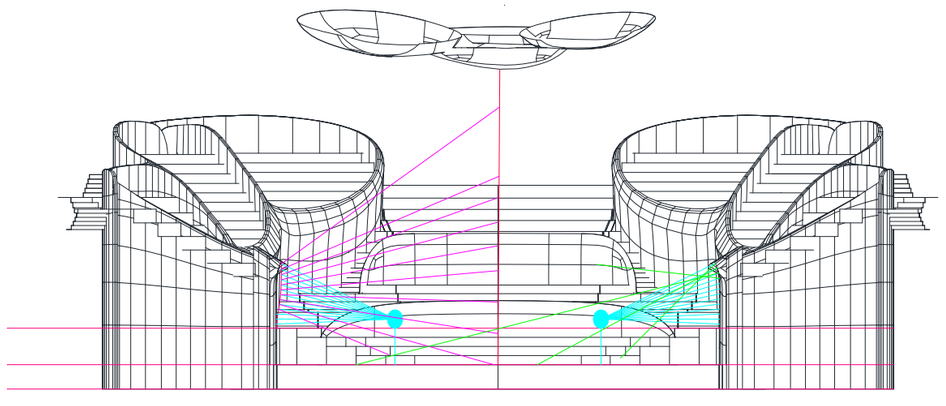
测点 10 反射声偏少



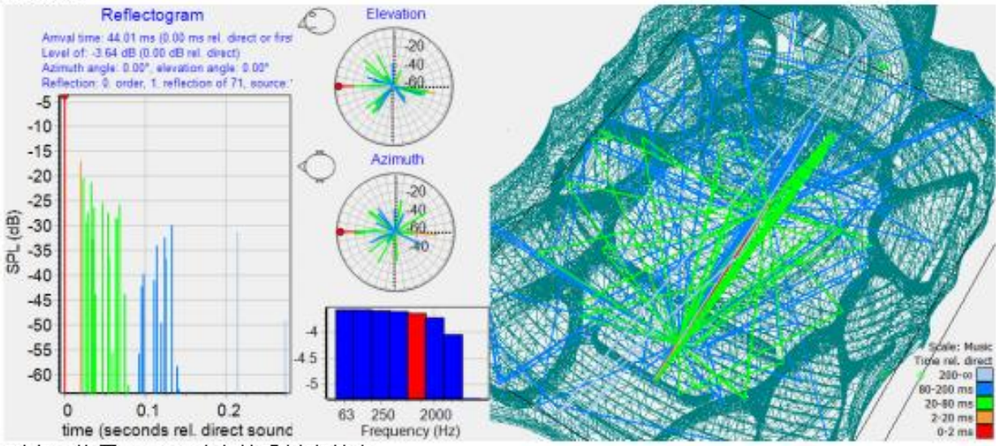
测点 11 缺少 50ms 以内的反射声，有回声可能

措施二：调整舞台墙面倾斜角度，现有墙面在舞台乐师位置最后一排形成了聚焦，聚焦位置近人耳处，且使得乐声整体向下反射未能很好的发散出来，如下右图所示。建议修改墙面为粉红色线条，此结论与 2022 年 8 月 10 号音乐厅墙面声学复核结果一致。



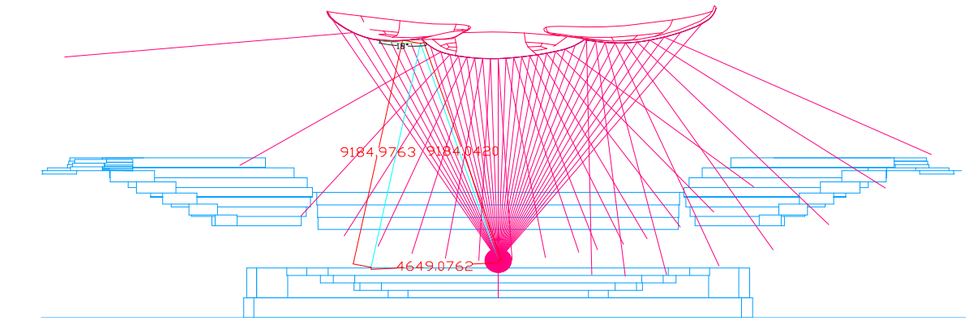


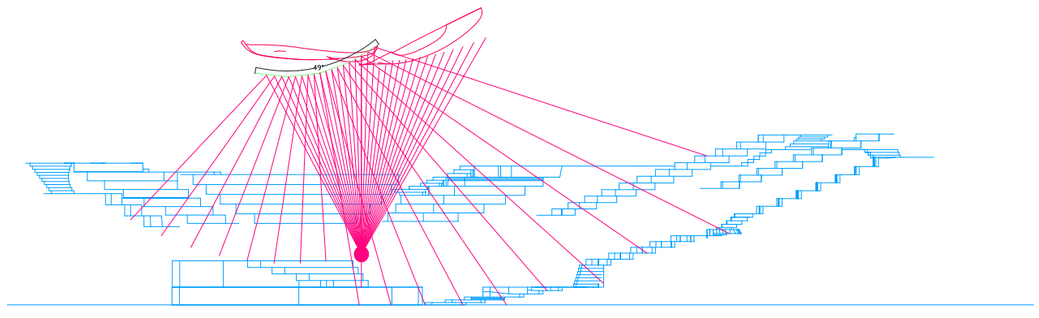
问题三：测点 3 位置 100ms 以内的反射声偏多



测点 3 位置 100ms 以内的反射声偏多

措施三：舞台后墙做吸声处理，舞台后墙镂空率需>50%

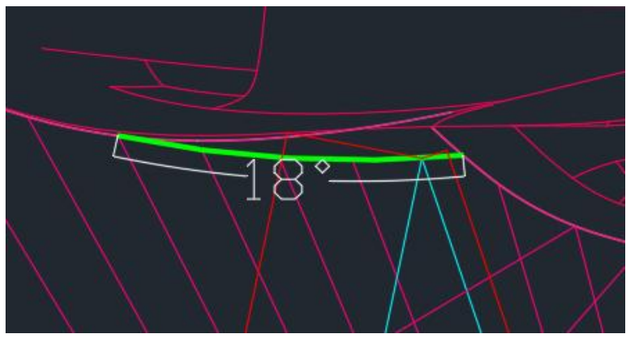




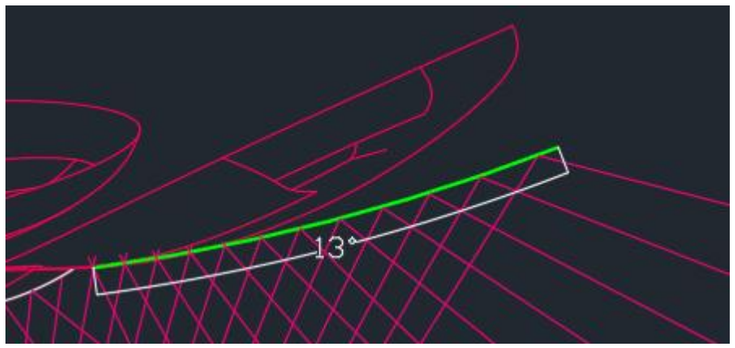
问题四：反射板待优化

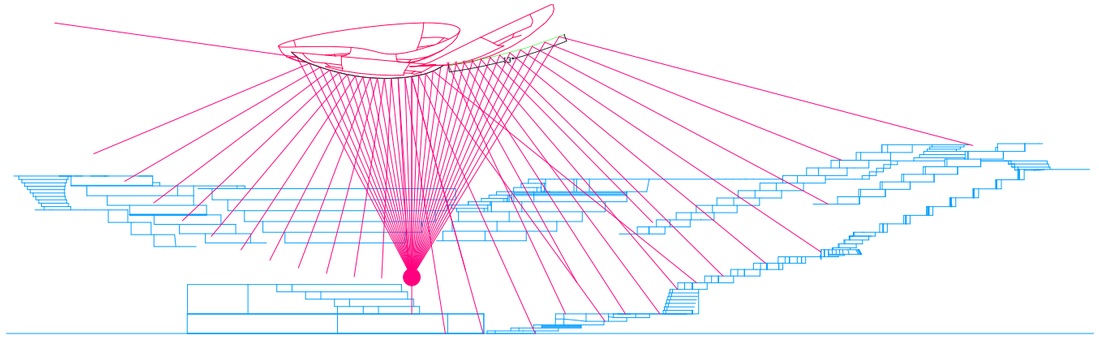
措施四：优化意见维持 20230321 意见

4.1 反射板侧片



4.2 反射板前片





特别注意：

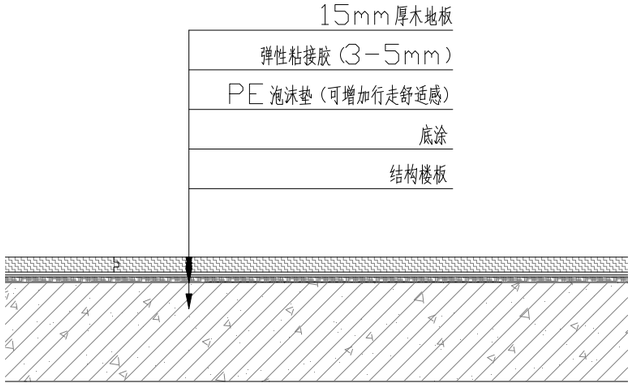
观众厅内的饰面材料需注意避免低频吸收

需要注意的点一：所有墙面、顶面、栏板 GRG 密度 60KG/M2

需要注意的点二：观众席地面需填实

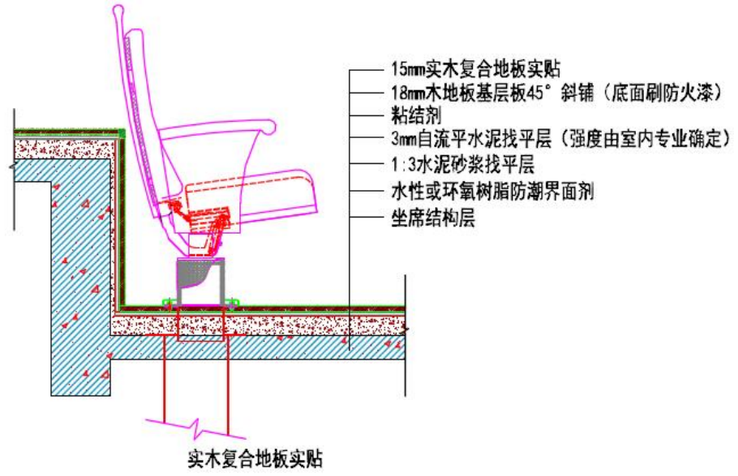
观众厅常规地面两种。但根据新的消防规范，观众厅的饰面做法应结合实际项目中的消防要求。

1)木地板地面实贴做法。



木地板做法示意图

2）木地板下设木龙骨。木龙骨内填轻质混凝土。



实木复合地板实贴

需要注意的点三：

暖通风口避免使用金属网，其他区域如遇不可抗拒因素使用金属网时，金属网厚需大于 3mm。演奏台风管加消声内衬。