

深圳歌剧院-音乐厅空调系统设计研究

怀珍文

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司 上海 200082

【摘要】：随着我国综合实力的提升，文化产业也在蓬勃发展，各地不断新建剧场、音乐厅等类型的文化建筑。该类型建筑中消声减振设计为十分重要的环节，为本文介绍了深圳歌剧院项目音乐厅单体暖通系统及消声减振设计，结合气流模拟、声学模型等简述音乐厅空调系统选择，气流组织，消声减振设计的要点，针对该工程的实际情况进行技术总结，提出优化建议，希望能为类似项目提供参考意义。

【关键词】：音乐厅；暖通设计；气流模拟；消声减振；设备选型

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.041

1 工程概况

本项目位于深圳市南山区蛇口片区。项目地下2层，地上最大层数12层。包括展演功能区、公共服务区、地下室及配套设备用房区，总建筑面积19万m²左右。项目总体布局可参看下图图1。

音乐厅单体面积17670平方米，观众厅共有1800座，属于特大型音乐厅。其他功能区有300人综合排练厅、小排练厅、乐队休息室、贵宾休息室、化妆间、卫生间、前厅、乐器库等附属设备用房。



图1 深圳歌剧院总图

2 室内设计参数

音乐厅内各区域的声学环境要求非常高，具体设计参数详见下表表1。

表1 音乐厅室内设计参数表

房间名称	夏季		冬季		允许噪声级	新风指标	室内风速	
	温度 ℃	相对湿度 %	温度 ℃	相对湿度 %	NR 或 db(A)	m ³ /h. p	夏季	冬季
舞台	24	≤60	20	≥30	NR25	30	≤0.3	≤0.2
观众厅	24	≤60	20	≥30	NR20	20	≤0.3	≤0.2

排练厅	25	≤60	22	≥30	NR15	30	≤0.3	≤0.2
琴房	25	≤60	20	≥30	NR20	30	≤0.3	≤0.2
休息室	25	≤60	20	≥30	≤35	30	≤0.3	≤0.2
录音棚	25	≤60	20	≥30	NR15	30	≤0.3	≤0.2
化妆室	25	≤60	20	≥30	≤45	30	≤0.3	≤0.2
控制室	25	≤65	20	≥30	NR25	30	≤0.3	≤0.2

仅主要展演区的观众厅、舞台，演员排练、化妆、休息区域设置冷暖空调；
其他区域均为单冷型空调系统。

主要展演区集中设置一套空调冷热源系统，选用4台水冷冷水机组及3台风冷热泵机组作为冷热源，主机房位于地下室。空调水系统采用一次泵变流量系统，能源中心噪音对本单体基本没有影响。音乐厅舞台、观众厅等主要空间空调水系统采用四管制，附属用房等为两管制系统。深圳市为夏热冬暖区域，夏季干球温度33℃，湿球温度27.9℃。

音乐厅的舞台、观众厅、排练厅、录音室等高大空间均采用全空气空调送风系统，空调机组分区独立设置，控制单个系统风量不超35000m³/h。除采用座椅送风的观众厅采用二次回风系统外，其余区域的全空气系统均为一次回风系统。采用全空气系统的区域相应设有空调季、过渡季排风系统，排风风机位于观众厅顶部，风机变频控制，排风机工作时能有效带走顶部灯具散热量。

化妆间、琴房、工作间等采用风机盘管加新风系统。对于服务与关键房间的空调系统，其空气流速在接近末端时需逐渐减小，各功能区域全空气系统风速要求见下表2。

作者简介：怀珍文，男（1991.11—），汉族，上海人，工程师，工学学士，研究方向：暖通设计。

表 2 音乐厅空调通风风管风速控制表

噪声控制指标	机房内的送、回风管/ 机房外距离声学房间 6m 之外的送回风管	送回风主风道 (距离声学用房 3m 之内的风管)	送回风支 风道(静 压箱内)	回排风 口风速
NR-15	4.5	2.0	1.0	1.0
NR-20	4.5	2.0	1.0	1.0
NR-25	5.0	2.5	1.5	1.2
NR-30	5.0	2.5	1.5	1.2
NR-35	5.0	2.5	1.5	1.2
为室内噪声控制等级≤NR25 房间(观众厅、舞台、排练厅、录音棚、排练室等) 服务的风管均采用机制金属内衬玻璃棉毡消声风管,并外包 2.0mm 厚的优 质隔声毡,隔声毡紧贴镀锌钢板风管粘贴。				

音乐厅建筑中空调系统噪声对室内功能区视听效果影响非常大,所以该类型项目消声隔振控制为设计阶段的重点^[1]。本项目已选择噪声低的空调机组,源头上噪音已得到初步控制,但设备噪声仍远超观众厅噪声要求,故除了控制送回风管风速外,仍需在管路上增加消声器、消声弯头、消声静压箱等措施。

从空调设备至末端风口之间,风管上至少需设置一处消声静压箱及两处消声弯头,用来消除风管中的低频噪音,另外在送回风管主管直管段设置两级 XZP-100 型消音器,用来消除高频噪音。为避免末端调节风阀产生噪音,楼座土建静压箱内所有末端风管不设调节风阀,设计通过优化风管管路来达到风量平衡。利用专业软件 Rhino3D 模拟验证,最终使末端噪声值满足房间要求。声学模拟验证结果详见下图图 2。

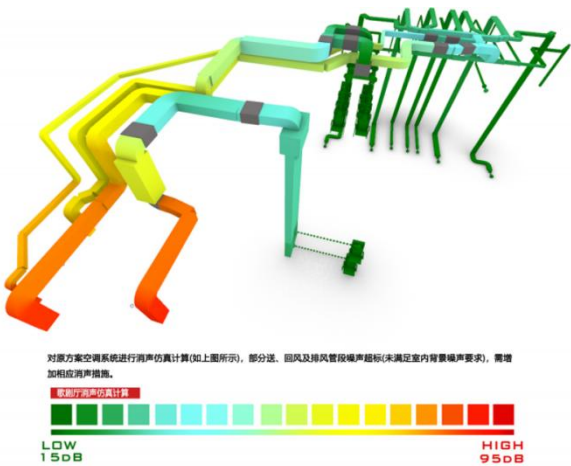


图 2 声学模拟三维图

琴房区域采用多联机室内机加新风系统,为避免房间互相传声,风管进入房间处设有消声器及消声弯头,采用带玻璃纤维内衬的风管连接。由于琴房、排练厅等隔声要求高,房门密闭性较好,为避免风量不平衡引起门缝处产生啸叫声,每个房间内送排风量均需相同。

乐器库区域采用恒温恒湿精密空调系统,精密空调送风管上方设置消声静压箱来减小设备噪声对其他功能区的影响。

演员休息厅区域采用开放式格栅,房间内的风机盘管用两层 12mm 石膏板和 50mm 的内部吸音衬里封闭。外壳上需设置检修口,隔音等级应为 $R_w \geq 30\text{dB}$ 。通过以上降噪措施,可以确保房间内的音乐家不受设备噪音干扰。

音乐厅的观众厅共 1800 座,其中池座 1171 个,楼座 629 个。观众厅四周设有卫生间、声闸等房间,维护结构较好,太阳辐射及温差传热热量小,主要的热源是人员、新风、室内灯具、设备散热,设计采用低位座椅送风来保证观众区的人员舒适性。通过针对此空间的 CFD 模拟,对室内的温度场进行验证。

采取的模拟方法:计算流体力学动态模拟(CFD)分析。

采用的软件: STAR-CCM+15.06.008。

假定条件 1: 观众厅与舞台之间连通。

假定条件 2: 周边功能区的空调系统均开启,且均达到室内设计温度。

假定条件 3: 观众厅围护结构均为密闭隔断,按不漏风考虑。

假定条件 4: 将室内负荷发热量均匀布置在各物体表面(人员、灯具等)。

假定条件 5: 各类风口按设计图纸尺寸乘以孔隙率建立,风速按有效面积进行计算。

舞台区与观众厅建筑空间及空调系统不独立,因此将观众厅及舞台均纳入 CFD 模拟边界范围。

通过模拟发现,由于观众厅顶部有大量电气设备、灯具发热量很大,对楼座人员舒适性产生不利影响,楼座区域夏季温度过高。针对此类情况,设计采取在马道上方增加单冷型多联机;降低楼座区域送风温度至 18°C ;加大楼座座椅送风量至 $65\text{m}^3/\text{h}$ 的措施来优化空调设计。最终保证了观众厅人员舒适度需求。气流组织模拟验证结果详见下图图 3。

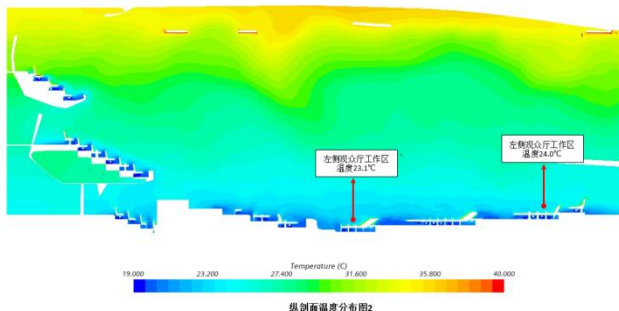


图3 CFD 模拟温度分布图

3 空调设备消声隔振设计

本项目空调箱、机械排风风机均布置在首层机房内，机房位于观众厅下方，最大限度减小对楼上功能区的影响。坐装的空调机组及风机设减震器及基座，吊装的风机盘管，风机等均设减震吊架。空调机组进出口均设有可曲挠橡胶接头或网套的不锈钢接头。由于首层机房设备安装空间十分紧张，选择在空调机房内搭钢平台，楼座区空调设备布置在钢平台之上，钢平台上方设备需设置槽钢混凝土隔振台座来减小设备震动对主体的影响。槽钢混凝土隔振台座节点详见下图4。

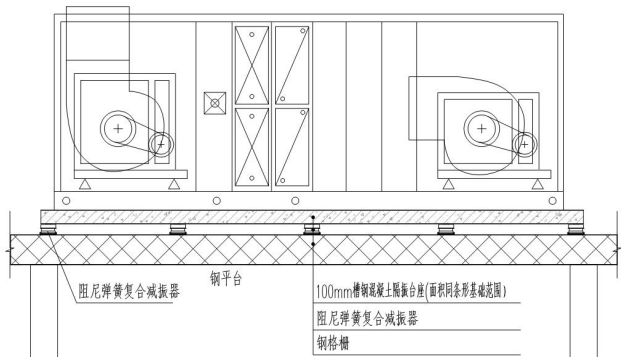


图4 槽钢混凝土隔振台座节点

琴房、乐器库、电气设备房空调采用多联机系统，外机布置在八层屋面，由于本项目顶部设有大屋盖，为避免多联机外机噪声被大屋盖反射至室外平台。建筑在外机平台进排风处均设有消声百叶，同时外机平台下方设置浮筑楼板来减小外机震动对观众厅的影响。

一层、二层单体范围比较小，三层底板下方有部

分为架空层，空调风管从架空层梁下安装，为避免室外噪声影响厅内，风管穿越室内外交界处设有水泥纤维板隔声箱， $R_w > 50\text{dB}$ 。

4 防烟系统设计

音乐厅总建筑高度大于 50m，防烟楼梯间、封闭楼梯间、合用前室、消防电梯前室均设置加压送风系统。设置了机械加压送风系统并靠外墙或可直通屋面的封闭楼梯间、防烟楼梯间，在楼梯间的顶部或者上一层外墙应设置常闭式应急排烟窗，且该应急排烟窗应具有手动和联动开启功能。

音乐厅观众区总高 21.1m，因有两层看台，设计清晰高度定为 18.0m，经计算厅内排烟风量为 $345000\text{m}^3/\text{h}$ 。排烟机房设在 8 层，风管通过顶部马道区域接入观众厅。考虑声学要求比较高，排烟口下方 1.5m 设有弧形反声板，在不影响排烟的前提下，来保证音乐厅的声学效果。马道所在的区域发热设备比较多，有一定的火灾危险性，故观众厅吊顶上部空间也设有消防排烟系统。

音乐厅消防补风风机设在四层，消防补风风管接入楼座静压箱，补风通过座椅送风静压箱上的送风口送入观众厅。

5 结语

(1) 合理的选择空调、排风机房位置可以有效的避免暖通系统对观众厅、排练厅等主要功能区的影响。

(2) 空调系统是音乐厅内主要的噪声、振动来源^[2]。暖通设计需重点考虑隔声降噪措施，与声学、土建专业密切配合，来同时兼顾各功能区的人员舒适性与建筑功能性需求。

(3) 音乐厅项目各房间空调需求差异较大，应根据不同区域的需求来设计空调系统，同时应避免各附属房间空调及主要功能区互相影响。

(4) 建议在设计阶段采用模拟软件对空调系统气流组织、声学控制等做模拟，通过辅助设计软件来优化暖通设计。

(5) 此类项目中的设备选型一定要综合考虑设备参数、尺寸、运行特征，优先选用噪音低，震动小的设备，从源头来控制噪声问题。

参考文献:

- [1] 代焱.某艺术学校综合剧场及音乐厅空调通风系统设计[J].制冷空调与电力机械,2011,32(03):45-48+52.
- [2] 陈国平.某小型音乐厅空调系统设计[J].科技风,2011,(06):24.