

夏热冬冷地区大型剧场建筑 空调系统设计难点及分析

浙江大学建筑设计研究院有限公司 杨毅[☆] 曹志刚 丁德 任晓东 吴佳艳
杭州汉升信息技术有限公司 王挽澜

摘要 介绍了大型剧场建筑空调系统常规设计思路,针对舞台空调系统设计、观众厅温度场不均匀和空调系统消声设计等问题,进行了分析,提出一些初步解决方案。

关键词 剧场建筑 空调系统 舞台 观众厅 不均匀温度场 消声

Difficulties and analysis of air conditioning system design for large-scale theater buildings in hot summer and cold winter zone

By Yang Yi[★], Cao Zhigang, Ding De, Ren Xiaodong, Wu Jiayan and Wang Wanlan

Abstract Presents the conventional design of air conditioning systems for large-scale theater buildings. Proposes the preliminary solutions to common problems, e.g. air conditioning system design for the stage, non-uniform temperature distribution in auditorium and noise elimination design.

Keywords theatre building, air conditioning system, stage, auditorium, non-uniform temperature distribution, noise elimination

★ The Architectural Design & Research Institute of Zhejiang University Co., Ltd., Hangzhou, China

①

1 剧场建筑常规设计思路

近年来,全国各地掀起了文化建筑建设热潮,其中大型剧院建筑成为各级地市的标志性建筑,以浙江省为例,杭州大剧院、宁波大剧院、温州大剧院、绍兴大剧院、湖州大剧院等成为近几年大型剧院建筑的代表。纵观各类甲等大型或特大型剧院的设计,为满足热舒适性等方面的要求,各区域空调系统设计基本依据以下原则:

1) 观众厅池座和楼座多采用座椅下送风的全空气空调系统,采用二次回风或再热方式来控制观众厅湿度。

2) 由于受到安装空间的限制,舞台即使考虑空调系统,也仅仅在舞台台口两侧的马道下方设置送风风管,采用喷口或多叶送风口等向舞台送风。为加强舞台空调效果,多在侧台或后台增设一次回风的全空气空调系统。

3) 后台边多为化妆间等演出用房和接待室等辅助用房,由于为小空间,空调系统多采用风机盘管加新风和排风的系统。

本文仅对上述三大区域进行分析,前厅、休息厅、排练厅、声控光控室、同声翻译室等辅助用房的空调系统设计不在讨论范围内。

根据 JGJ 57—2000《剧场建筑设计规范》、GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》及国内外剧场建筑空调系统设计的成功案例,表 1 给出了剧场建筑室内设计参数^[1-4]。

由于大型剧院建筑空间大而复杂、人员相对密集,而且对于声、光、热、湿等各方面环境要求十分苛刻,使得其空调系统设计存在难点,必须从细节入手,分析各种原因,方可找到解决方案。

2 舞台空调系统设计难点及分析

舞台空调系统设计是剧场空调设计的最大难点之一,主要原因在于受到以下因素的影响:

①☆ 杨毅,男,1970 年 8 月生,硕士,高级工程师,院副总工程师
310028 浙江省杭州市天目山路 148 号浙江大学西溪校区东
一办公楼
(0571) 85891588
E-mail:yyilion@163.com
收稿日期:2013-06-13
修回日期:2013-08-05

表1 剧场建筑室内设计参数

	夏季			冬季			新风量/(m ³ / (人·h))
	温度/℃	相对湿度/%	空气流速/(m/s)	温度/℃	相对湿度/%	空气流速/(m/s)	
观众厅	26~28	40~70	≤0.3	18~20	30~60	≤0.2	15
舞台	26~28	40~70	≤0.3	18~20	30~60	≤0.2	30
侧台、后台	28~30	40~70	≤0.5	16~18	30~60	≤0.3	30

1) 高大空间。舞台主台高度平均达到20~30 m,侧台和后台高度均达到15~20 m,舞台主台进深一般也在20 m以上。以湖州大剧院为例,舞台主台进深24 m,2层栅顶高度达到27 m,侧台高度15.3 m,后台高度为21 m。如此大的空间很难实现很好的气流组织。

2) 舞台设备较多,有大幕、防火幕、各种幕布和布景的吊杆、灯具合音箱的吊篮、工作马道、电缆、多层格栅等各式各样的演出设备,侧台有运送布景的行车、后台有多层格栅、吊杆等。密布的舞台设备使得空调系统无处立足。另外由于大幕、侧幕、天幕等不得在演出时被吹动,使得空调系统送风系统更难设计。

3) 由于多数城市的剧场建筑都兼作当地重大会议(如地市级人民代表大会)的召开场所,此时,舞台上人员处于静止状态,且需要长时间停留,人员对温度、湿度及风速的敏感性较大,使得对舞台空调系统的要求较高,业主一般希望在会议期间舞台空调系统能够实现与常规会议室相同的效果。

4) 舞台使用期间灯光照明辐射得热较大,演出人员或会议主席台成员很容易出现头热脚冷的现象。

5) 舞台多设计成升降舞台、移动舞台、旋转舞台等,乐池也多具备升降功能。这使得通过地板辐射等方式供暖或供冷的可能成为泡影。

6) 目前多数剧场为满足建筑造型和功能的要求,屋面多采用轻质屋面,保温性能较差,而且屋顶与墙体之间的密封性很难得到保证;舞台的侧墙多数为外墙;再加上布景道具的入口均需4 m以上的高度,且多为普通非保温的防火卷帘门。综合上述舞台围护结构的特点,即使在夏热冬冷地区,如果舞台未考虑任何供暖设施,冬季时也会形成下降的冷气流,吹向舞台,甚至吹起大幕飘向观众厅,如果舞台与观众厅存在较大温差时,这一现象将十分严重,如图1所示。

综合分析上述原因,可以发现舞台空调系统设计主要是解决空调系统设置位置、送风方式和防止

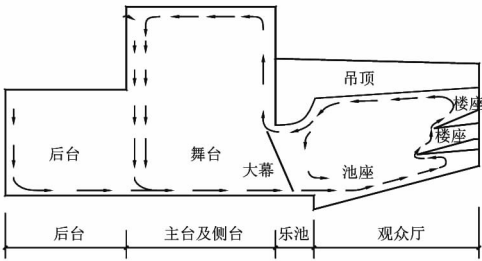


图1 剧场建筑舞台冷气侵入影响示意图

冷风侵入等三大问题。剧场建筑常规空调系统送风管安装位置多在舞台两侧第一条马道下方,回风采用侧台下方回风。一般第一条马道距舞台面高度为12 m以上,马道宽度一般为0.8~1.5 m。舞台空调送风风管及送风风口总宽度不宜大于马道宽度,如采用喷口侧送风,送风口只能在侧幕之间布置,而且送风风速不能过大,否则将会吹动侧幕,影响演出。如此高的送风高度和如此低的送风风速的要求,使得舞台空调效果很难保证,特别是冬季暖风更难送达人员活动区。适当降低送风风口高度和提高送风风速是解决采用这种单一空调系统满足舞台基本舒适性要求的唯一方法。此时适当增设侧台(甚至后台)的上送下回的全空气空调系统,对于提高舞台主台的热舒适性有一定效果,但是由于受到送风高度的限制,在冬季效果并不明显。

也有不少剧场建筑在舞台的前天桥下方或在第二道和第三道幕之间的上空设置空调送风风管,由于空间狭窄,而且受安装高度和送风要求的限制,所以采用较少。

在分析部分舞台空调系统的测试数据中发现,除了空调送风受限外,导致舞台冬季空调效果进一步恶化的主要因素是舞台冷壁效应和冷风侵入,解决好这一问题会大大改善舞台空调的舒适性。为了实现这一目标需要做到:

- 1) 要求土建专业提高轻质屋面与墙体之间及舞台顶部窗户的密封性能,进一步提高舞台外墙的保温性能,最好能将舞台完全包裹在建筑外围护结构内部。
- 2) 改善布景运输通道上卷帘门的密封性和保

温隔热性能,必要时可以考虑在这一部位增设热风幕。

3) 为了减小冷壁效应,根据整个舞台围护结构的最大热负荷,在侧台的四周布置冬季加热、夏季供冷的低噪声风机盘管或 VRF 室内机(带辅助电加热),向墙壁吹风,这不仅可以消除冬季冷风沿墙壁形成的下沉现象,还可以改善舞台在各个季节的气流组织。

对某大剧院进行实测发现,舞台与观众厅温差最大达到 15℃左右,大幕最大被吹起的角度约 17°,观众厅第一排最大风速可以达到 2.5 m/s。经过仔细调试和采用上述改善措施后,上述现象基本消除。

3 观众厅温度场不均匀的解决方案

新建的大型或特大型剧院多采用 2 层甚至 3 层的观众厅,为了保证所有观众的观看效果,观众厅的池座和各层楼座从前排起,不断升起,一般池座的第一排与最后一排高差会达到 4~5 m,楼座各排之间起伏更大。如空调系统未作分区,回风口设置不合理,且未作很好的调试时,观众厅夏季会出现前冷后热的现象,到冬季受热空气上浮的影响,这一现象更为明显。另外,观众不满员、分布不均匀时,也会使观众厅温度场的不均匀问题更加明显。

观众厅温度不均匀的问题可以通过以下方法解决:

1) 各层观众厅必须分区,应采用不同的空调箱为不同楼层送风。在条件容许时,同一楼层的观众厅也宜分区,各区空调箱独立设置。

2) 观众厅池座如采用同一空调系统送风,建议前后排采用不同的可调送风方式,特别是楼座下方和前部应当分别对待。如观众厅采用下送风空调方式时,宜将整个池座的送风静压箱分隔成 2~3 个相对独立的送风区域,分别可调送风(电动调节更佳)。冬季空调送风宜加大池座前部送风风量,减小池座后部和楼座送风风量,甚至楼座可以考虑部分或全新风模式运行。

3) 观众厅不宜采用仅后部回风方式,宜采用前后部回风可调的方式,宜在舞台台口附近采用下回风方式或在舞台两侧音柱附近设置下回风风口。冬季空调回风宜加大前部回风口的回风量,减小后部回风风量,夏季反之。

4) 出现观众不满员、分布不均匀时,宜根据现场观众分布情况和各区回风温度开启相应的空调

机组和送风风口。

只有通过正确的调试和在实际运行中不断摸索,才能应对不同情况下空调系统的运行。

4 空调系统消声问题分析及解决方案

因剧场背景噪声要求高,甲等剧场建筑的观众厅背景噪声应不大于 NR25 噪声评价曲线(相当于 A 声级噪声值 30 dB)。NR25 噪声评价曲线的倍频带声压级见表 2。

表 2 NR25 噪声评价曲线的倍频带声压级 dB							
倍频带中心频率/Hz							
	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
声压级	55.2	43.7	35.2	29.2	25.0	21.9	19.5

对于大型剧场建筑,空调系统的噪声源主要为空调冷热源及相关设备运行噪声、空调箱运行噪声、风机盘管(或 VRF 室内机)运行噪声、风机运行噪声、空气在输送过程中产生的再生噪声(如在阀门处、变径处、风口处产生的再生噪声)。针对这些噪声,应进行仔细的分析计算,才能获得消声器选型的依据。

以某大剧院观众厅为例,消声设计除考虑空调箱自生噪声外,还应考虑气流再生噪声的影响。除应考虑空调管路系统(如直管、弯头、变径、阀门、风口和静压箱等)自然衰减外,还应根据观众厅要求的 NR25 噪声评价曲线的倍频带声压级,计算选取合适的消声器。由于该工程采用下送风方式,静压箱作了较好的吸声处理,对于低频噪声吸收较好,所以在选择消声器时着重考虑对中高频噪声吸收,设计选用了复合阻抗式消声器,并根据计算结果选取了两级。

总结多个剧场的设计经验,剧场观众厅和舞台的消声设计建议如下:

1) 要求空调冷热源、冷却塔、水泵、空调箱、风机盘管(或 VRF 室内机)和风机均应选择低噪声设备,尤其是直接放置在舞台周边的风机盘管(或 VRF 室内机)和放置在观众厅或舞台周边机房内的空调箱更应重视这一问题。

2) 空调冷热源设备应放置在远离剧场核心部位(观众厅、舞台等)的专用机房内,无特殊情况不应贴邻布置。

3) 冷却塔不应布置在观众厅、舞台(含主台、侧台和后台)的正上方,如布置在其侧墙附近,其侧墙上不应设置外窗或百叶。

(上接第 4 页)

4) 空调箱、风机应布置在专用机房内,机房应作好隔声和吸声处理,经计算其隔声能力应使传递到观众厅或舞台的噪声比允许噪声标准低 5 dB。

5) 观众厅空调系统宜采用下送风方式,除在风管出机房之前设置两级用于消除中高频噪声的复合阻抗式消声器外,送风静压箱还应作好吸声处理,以消除中低频噪声。同时,建议回风系统除设置回风消声静压箱外,还宜设置一道复合阻抗式消声器。

6) 舞台空调系统送风方式受到限制,一般只能采用上送下回全空气系统,辅以舞台周边的风机盘管(或 VRF 室内机)送风。建议全空气系统在风管出机房之前设置两级用于消除中高频噪声的复合阻抗式消声器外,在送风口之前设置送风消声静压箱以消除部分中低频噪声。同时,建议回风系统除设置回风消声静压箱外,还宜设置一道复合阻抗式消声器。

7) 所有设备和风管应作好减振处理。

5 结语

通过对设计过程中遇到的一些难点和重点进行分析,提出了一些解决的初步方案,这些技术措施在湖州大剧院、淮安大剧院、安源大剧院、芜湖大剧院等项目中得到广泛的应用,获得了较好的效果。但是,在具体的剧院空调系统设计中还应将详细的计算分析结果作为最终依据,这样才能为观众提供一个舒适的感受文化艺术的环境。

参考文献:

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [2] 李惠风,白雪莲,李昕原. 观演建筑空调设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [3] 中国建筑科学研究院. GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012
- [4] 中国建筑西南设计研究院. JGJ 57—2000 剧场建筑设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2000