

泰山文化艺术中心空调设计

中国建筑设计研究院 郑 坤[☆] 徐俊杰 孙淑萍 刘燕军 郭 然

摘要 介绍了该工程的空调系统设计,包括室内设计参数、冷热源、水系统、风系统等。重点分析了空调负荷计算建模,典型空间空调风系统节能设计及其 CFD 模拟分析预测,建筑外百叶设置情况等。

关键词 换气效率 分层空调 CFD 模拟

Air conditioning system design for Taishan Culture and Art Center

By Zheng Kun[★], Xu Junjie, Sun Shuping, Liu Yanjun and Guo Ran

Abstract Presents the air conditioning system design, including the indoor design parameters, cold and heat sources, water system, ventilation system. Emphatically analyses the air conditioning load calculation modeling, energy efficiency design of typical spaces ventilation systems, analytical prediction according to the CFD simulation, and the setting of skin-shutters.

Keywords air change efficiency, stratified air conditioning, computational fluid dynamics simulation

★ China Architecture Design and Research Group, Beijing, China

①

1 工程概况

项目位于山东省泰安市,京沪铁路以南,望岳东路与望岳西路之间。总建筑面积 58 995 m²,其中地上 40 358 m²,地下 18 637 m²。建筑最高 32 m,地

上 5 层,地下 1 层。主要功能有:1 100 座的乙级剧场、图书馆、美术馆、民俗博物馆以及配套餐饮等。

2 主要房间室内设计参数及空调负荷计算

室内设计参数见表 1。

表 1 主要房间室内设计参数

	夏季		冬季		新风量/(m ³ / (人·h))	人员密度/ (m ² /人)	A 声级噪 声/dB	备 注
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%				
剧场观众厅	26	60	18	35	15	按座位数	30	全空气定风量系统+排风+排烟
剧场舞台	26	55	22	35	20	3	30	全空气定风量系统+排风+排烟
观众大厅	27	60	16		10	10	45	全空气定风量系统+排烟
图书馆阅览室	26	55	18	40	30	5	40	全空气定风量系统及风机盘管
图书馆特藏库	24±2	55±5	16±2	45±5			50	分体式恒温恒湿空气系统
报告厅	25	60	18		20	按座位数	40	全空气定风量系统+排风+排烟
美术馆、民俗博物馆	26	55	18	40	20	5	45	全空气定风量系统+排风+排烟

注:图书馆特藏库的新风比为 10%。

采用斯维尔软件进行空调负荷计算(模型见图 1),软件可以自动提取建筑图中的围护结构参数信息,省去了大量输入数据的过程。尤其是本项目中含有大量弧线和波浪线等元素,普通负荷计算软件只能利用投影计算,费时而且准确性差,此软件可以自动对曲线进行分段拟合,使计算结果最大程度地接近实际值。经过模拟计算,本项目建筑空调冷负荷为 5 698 kW,热负荷为 6 011 kW。

3 空调冷热源及空调水系统设计

3.1 冷源

设一个集中冷源系统,制冷机房设在图书馆地下

层,冷却塔设置在剧场楼顶。制冷机组选用 2 台制冷量为 2 462 kW(700 rt)+1 台制冷量为 1 231 kW(350 rt)的电动水冷离心式冷水机组。冷水供回水温度为 7℃/12℃;冷却水进出水温度为 32℃/37℃。

3.2 热源

采用市政供热,一次热水供回水温度为 95℃/

①☆ 郑坤,男,1982 年 11 月生,硕士,工程师
100044 北京市车公庄大街 19 号中国建筑设计研究院机电
院
(010) 68302666
E-mail:zk20000421@126.com
收稿日期:2011-08-26

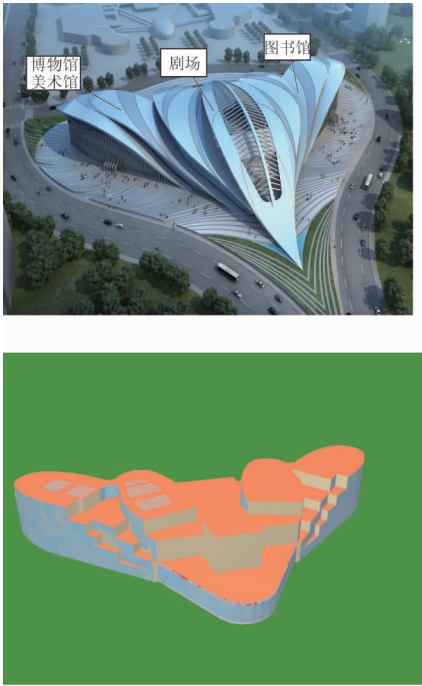


图1 空调负荷计算模型

70℃,在地下制冷机房内设换热机组,交换为60℃/50℃的热水供空调系统使用。

3.3 独立冷/热源

- 1) 图书馆4层特藏库、艺术品储藏库各设一套独立式分体恒温恒湿空调机组。
- 2) 剧场灯光及声、光控制室设置分体式空调。
- 3) 消防控制室等分别设分体空调。

3.4 空调水系统

采用一次泵、两管制、冷源侧定水量、末端变水量系统;三大功能区(博物馆、图书馆、剧场)风机盘管与空调及新风机组的冷/热水管在分、集水器处分别接出,可实现各功能区冷热独立控制计量。

4 典型空间空调风系统设计

4.1 剧场空调风系统设计及观众席气流组织评价

剧场空调设计是本工程的重点,而空调流场控制又是其中的难点。按照JGJ 57—2000《剧场建筑设计规范》^[1]的要求,舞台和观众厅分别设置空调系统。剧场观众厅池座前、后以及楼座分别设1台全空气一次回风定风量空调系统,气流组织方式分别为顶部旋流风口送风、观众厅前侧及后侧低位集中回风;观众厅平时排风由耳光室、灯桥处排出,带走大部分灯光散热量,降低空调负荷。剧场主舞台设2台全空气定风量空调机组,气流组织方式为主舞台两侧马道下送风,舞台低位集中回风;排风

由舞台顶部排出,排除高位余热,降低空调负荷。为保证非过渡季节舞台的风平衡,避免气流由观众席流向舞台而影响幕布,特设1台风机将观众席上空的空气排至舞台高位作为舞台排风的补风;剧场侧台及后台设2台全空气定风量空调机组,气流组织方式为顶部送风,舞台低位集中回风。由于剧场设计的复杂性,本文对剧场夏季设计工况进行CFD模拟分析预测。

模拟结果见图2~4。从图2,3可以看出,观

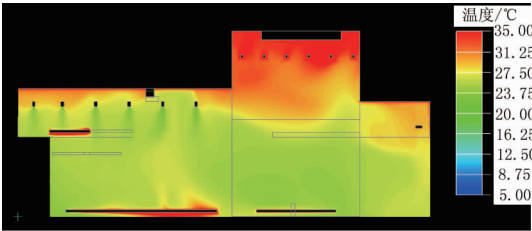


图2 剧场纵向剖面温度场

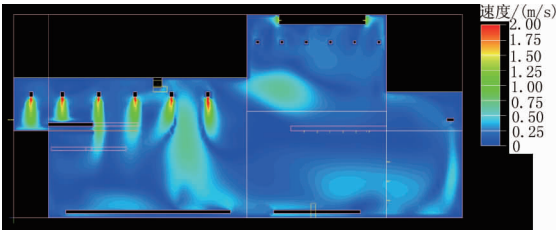


图3 剧场纵向剖面速度场

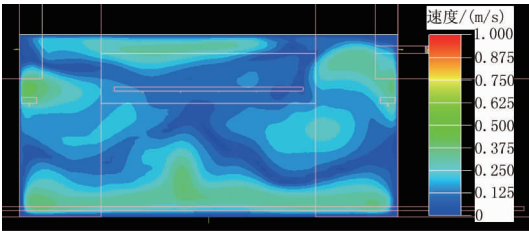


图4 幕布处速度场

众席环境温度约为26℃,风速小于0.5 m/s,基本满足JGJ 57—2000《剧场建筑设计规范》^[1]的要求。幕布处的风速(见图4)基本小于0.5 m/s,能确保设计工况时不影响幕布效果。除此之外,为了让观众不感觉闷,设计时还关注了观众席周围的空气新鲜程度,本文引入换气效率来评价气流组织效果。换气效率是衡量室内某点或全室空气更换效果优劣的指标^[2],其定义式是:

$$\zeta = \frac{\tau_n}{\tau_r} = \frac{\tau_n}{2\tau} \tag{1}$$

式中 τ_n 为名义时间常数,即活塞流的换气时间,具体数值为换气次数的倒数; τ_r 为实际换气时间; τ

为室内平均空气龄。

本工程剧场观众厅的空气龄模拟值见图 5,其观众席空气龄平均值约为 900 s,剧场换气次数为 3.5 h^{-1} ,故换气效率约为 0.57,大于上送上排气流组织形式的换气效率最大值 0.5^[2],这是因为在观众厅中上部设置了通向舞台上空的补风机,有效地提高了观众厅的换气效率,改善了上送上排送风形式的换气效果。综上所述,本工程剧场空调设计基本满足观众舒适性要求。

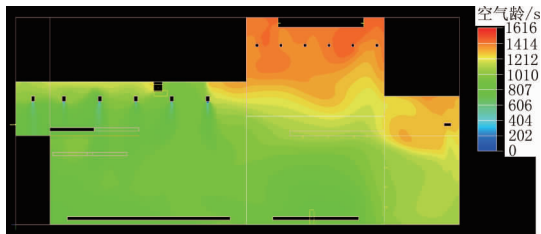


图5 剧场纵向剖面空气龄分布

4.2 门厅空调风系统设计

本工程左右两翼的门厅属于高大空间,传统的全室空调设计存在夏季能耗大和冬季热气流上升明显的缺点,所以门厅空调设计着重考虑了冷热气流的特性。夏季采用分层空调,人员区采用喷口侧送方式,非人员区设排风机排出高位余热,从而减少对人员区的辐射热,在保证人员活动区域舒适度的条件下节能运行;冬季充分考虑大空间气流组织的特点,通过风机将高区热气流引至人员活动区域以缓解热压效应,并在首层设置地板辐射供暖,有效改善大空间的温度梯度。本文对右翼门厅夏季及冬季设计工况进行了CFD模拟分析预测,结果见图6,7。

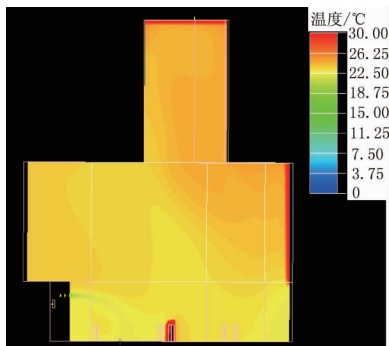


图6 门厅纵向剖面夏季温度场

满足设计分层高度的夏季分层空调冷负荷较全室空调的折减系数一般取 0.7^[3]。门厅人员区采用的喷口送风射程 $X=16 \text{ m}$,侧送喷口安装高

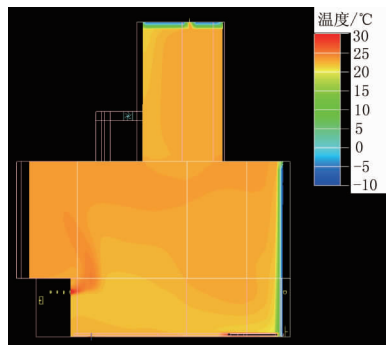


图7 门厅纵向剖面冬季温度场

度为 4.2 m,由气流组织确定射流落差 $Y=4 \text{ m}$ (射流落差公式 $Y=(\frac{1}{16} \sim \frac{1}{4})X$,射程较大时取小值,射程较小时取大值)。分层高度的计算公式为^[3]

$$h_1 = h + Y \quad (2)$$

式中 h 为工作区高度,m,本工程为 2 m。

可得设计分层高度为 6 m。

从图 6 可见,夏季空调设计工况下人员区温度在 25℃左右,基本满足设计要求。但温度分层不理想,尤其在门厅中部,冷气流上升到较高位置致使非人员区温度较设计温度偏低,分层空调形式的节能率有所降低,究其原因是喷口射流送风方式容易破坏空气温度分层^[4]。本工程较全室空调节能率约为 15%,但对于门厅通高处跨度较大的情况,喷口送风设置简洁、控制距离长,仍然是较好的选择。

另外从图 7 可见,冬季辅以地板辐射供暖和高低区热风循环风机后,人员区温度在 22℃左右,较设计温度偏高,可以考虑运行时调节空调供热量来满足设计要求,以达到安全、节能运行的目的。

5 结合建筑专业的外围护百叶设计

现代建筑对外观的要求十分严格,尤其是文化艺术类建筑,建筑师对立面效果的要求近乎苛刻。本工程复杂的外形使建筑内部的新风、排风以及排烟外百叶的布置极其困难。经与建筑师商讨,外围护结构上所开设百叶以不破坏建筑立面为原则,结合立面构造柱设置,外百叶开在构造柱双侧。但是由于构造柱内上下贯通,每层的新风和排风百叶、补风和排烟百叶必须在竖向统筹布置,不然易出现短路的情况。构造柱百叶详见图 8。

(下转第 64 页)

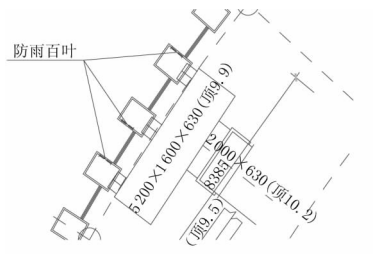


图 8 构造柱侧面外百叶详图

6 节能设计

6.1 大空间夏季采用分层空调设计方式,在保证人员活动区域舒适度的条件下节能运行;冬季通过风机将高温气流引至人员活动区域,有效改善大空间的温度梯度。

6.2 大量采用新风热回收措施,空调机组风机采用变频技术减少部分负荷的输送能耗。

6.3 最大限度地利用天然冷源,全空气空调系统过渡季采用比焓控制,实现新风比不小于 70% 的运行工况。

6.4 采用良好的围护结构隔热体系及外遮阳措施。

7 结语

本工程采用适合项目特点的负荷计算软件解决了复杂建筑建模的问题。同时,运用 CFD 模拟技术对典型房间空调节能设计进行分析预测,并在设计过程中修正设计参数,使空调区满足温度、风速及气流组织的设计要求,且达到安全、节能运行的目的。其次,结合建筑外立面构造柱设置外百叶,避免了其对建筑外观的影响。

参考文献:

- [1] 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,2001
- [2] 马仁民. 通风的有效性与室内空气品质[J]. 暖通空调,2000,30(5):20-23
- [3] 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
- [4] 高志宏,张伦,刘晓华,等. 高大空间末端排热方式[J]. 暖通空调,2011,41(3):88-92