

上海世博会中国航空馆 通风空调设计

中国航空规划建设发展有限公司 詹泰益[☆]

摘要 介绍了该馆的通风、空调、防排烟系统的设计及通风空调系统的设计参数和系统形式,总结了在设计阶段、施工阶段及测试阶段的经验体会,重点介绍了特殊的屋面膜结构建筑形式下通风排烟系统的设计和处理措施。

关键词 航空馆 膜空腔通风 消防排烟

Ventilation and air conditioning design of China Aviation Pavilion in Expo Shanghai

By Zhan Taiyi[★]

Abstract Presents ventilation and air conditioning, smoke control and extraction system design in the project, and derives design parameters and system modes of HVAC. Summarizes some experiences in the design, construction and trial operation stages, and emphasizes the technical measures in ventilation and smoke extraction for a double-layer structure covered by a layer of white PVC.

Keywords Aviation Pavilion, film structure ventilation, fire control and smoke extraction

★ China Aviation Planning and Construction Development Co., Ltd., Beijing, China

①

0 引言

中国航空馆是中国航空工业集团公司和中国东方航空集团公司为 2010 年上海世博会联合建造的企业馆,为临时展馆。整个建筑覆盖洁白膜材,采用双球面平滑连接的膜结构屋顶形式,外形宛如云朵(见图 1)。这种立面结构给暖通空调设计带来较多困难。



图 1 航空馆外形

航空馆位于上海世博园浦西东片区,总建筑面积为 4 910 m²,地上 2 层,局部 3 层,建筑总高度为 22.00 m。功能展区主要分为前展区(等候大厅)、主展区(地乘展演区)

和后展区。主展区采用地乘 4D 展演系统,通过集成先进的无轨全智能自动化控制观光车,结合 3D 投影技术,辅助声、光、水、电、雾、气等特技效果,营造真实飞行环境。后展区包括虚拟现实展区,通过文字、图片、环幕、全息成像等多元化手段向观众展现中国航空发展的百年历程、揭示航空科技融入生活的未来图景;后展区还设有模拟机体验区,设有 4 架模拟飞行玩乐机和 1 座大型飞机模拟机,参观者可以体验真实的驾驶过程。除展厅外,还有一些公共服务用房、航空模拟餐厅等。

航空馆的正式运营时间为 184 d(2010 年 5 月 1 日至 10 月 31 日)。暖通设计包括建筑的通风、供冷空调、防排烟系统,不考虑供暖供热。

1 设计依据和设计参数

1.1 设计依据

依据国家现行有关设计规范及《世博会临时建筑物、构

①[☆] 詹泰益,男,1977 年 9 月生,大学,高级工程师
100120 北京市西城区德外大街 12 号中国航空规划建设发展有限公司一院
(010) 62037838
E-mail: terry1590@163.com
收稿日期:2010-05-24

筑物防火设计标准》、《世博会临时建筑物、构筑物设计标准》(暖通专篇)(建筑节能专篇)进行设计。

1.2 室内设计计算参数(见表 1)

表 1 夏季室内主要设计参数

	夏季		人均面积/ (m ² /人)	照明功率 密度/(W/m ²)	新风量/ (m ³ /(人·h))	A 声级 噪声/dB
	温度/℃	相对湿度/%				
等候大厅、预演厅	26	60	2	19	20	≤55
地乘展演区	26	65	2	12	20	≤55
后展厅	26	65	2	19	20	≤55
餐厅	25	65	1.25	13	20	≤55
VIP 休息室	25	65	5	11	50	≤45
会议接待室、办公室	25	65	5	11	30	≤50
门厅、走廊	28	65	10	15	10	≤55

2 系统介绍

2.1 空调系统

2.1.1 空调冷源

空调计算总冷负荷为 900 kW。在夹层的换热站房设置 1 台换热机组,将集中能源站提供的一次空调冷水(供/回水温度 6.5℃/12℃)换成二次空调冷水(供/回水温度 8℃/13℃),供给该展馆使用。

冷水泵及定压膨胀补水装置集成在机组内,循环水采用全程水处理器进行处理。考虑展馆为临时性建筑,且仅有空调,不供暖,水系统的补水直接采用自来水。

消防控制室、弱电机房等要求 24 h 空调的房间采用分体空调;根据设备工艺要求,大型模拟机室内采用两台分体空调。

2.1.2 空调水系统

水系统采用闭式一次泵两管制系统。系统总供回水管间设置压差控制的旁通阀。空调末端采用组合式空气处理机、新风机组和风机盘管,采用两管制空调末端变流量方式。水系统的高点设自动排气装置,低点设泄水装置。

2.1.3 空调风系统

1 层等候大厅和预演厅面积约 400 m²,设置 1 台组合式空气处理机,气流组织为射流风口侧送、单层百叶风口顶回。1 层后展区面积约 720 m²,设置 1 台组合式空气处理机,气流组织为旋流风口顶送、单层百叶风口顶回。室外新风与回风混合后,经过滤、冷却处理通过低速单风道送入空调房间。全空气系统配置排风机,过渡季室外条件允许时可不供冷,利用新风满足室内要求。

1 层,夹层的办公、会议、餐饮和接待等功能房间及 2 层地乘展演区采用风机盘管加新风系统,气流组织为散流器顶送或侧送,单层百叶风口顶回。新风机组采用带转轮热回收装置的双风机空调箱,总计 3 套新风机组。

2.2 通风系统

1 层等候大厅、预演厅、模拟机展区设有机械排风系统,公共卫生间、变配电间、水泵间等房间采用独立的排风系统,2 层地乘展演区采用通风换气次数为 2 h⁻¹的排风系

统。机械进风系统为平时进风及排烟补风合用。

2.3 防排烟系统

封闭楼梯间自然通风总面积之和不小于 2 m²,且该楼梯间顶层设有不小于 0.8 m² 的自然通风面积,防烟采用自然通风方式。

长度超过 20 m、无自然排烟条件的疏散内走道(夹层)采用机械排烟方式。排烟量按 60 m³/(m²·h)计算确定。排烟风机设在夹层机房内,通过建筑风道排至室外。不设补风系统。

展馆大空间排烟量根据 DGJ 08-88—2006, J 10035—2006《建筑防排烟技术规程》和《世博会临时建筑物、构筑物防火设计标准》的相关规定计算。

该防火设计标准针对世博临时性建筑物、构筑物使用年限为 1 年且建筑形式多样等特点进行编制,以国家、行业 and 上海市现行地方建设标准、规范为依据。后展区和地乘展演区的计算排烟量只及按 GB 50016—2006《建筑设计防火规范》计算的 55% 和 26%,因此排烟和补风系统的安装空间可以相应减小。后展区室内净高大于 6 m,面积约 800 m²,设置机械排烟系统。最小清晰高度 2.4 m,排烟量 26 200 m³/h。排烟风机设在 1 层机房内,通过建筑风道排至室外。补风量不小于排烟量的 50%,自然补风口设在储烟仓以下,风速不大于 3 m/s。

地乘展演区室内净高大于 6 m,面积约 1 800 m²,设置机械排烟系统。最小清晰高度 2.8 m,排烟量 28 250 m³/h。排烟风机设在 2 层顶上的机房内,通过建筑储烟仓排至室外。设机械补风系统,补风量不小于排烟量的 50%,补风口设在储烟仓以下,风速不大于 5 m/s。

2.4 节能自控

空调机组、新风机组的回水管上设电动调节阀。空调机组根据回风温度控制阀门开度,新风机组根据送风温度控制阀门开度,调节系统水量。风机盘管设温控器。温控器可通过控制电动水阀或控制风机三速开关实现对室温的控制。

等候大厅、模拟机展厅等人员密集公共场所设置 CO₂ 浓度监测装置。当 CO₂ 质量分数大于或等于 0.15% 时,控制通风空调系统运行,加大新风量。

3 设计数据

3.1 冷源设备

换热机组 1 台,换热量 900 kW;空调冷水循环泵 2 台(一用一备),流量 170 m³/h,扬程 33 m,功率 22 kW。换热机房面积 24 m²。

3.2 空调设备

组合式空调机组:风量 19 000, 26 500 m³/h 的各 1 台;排风热回收型新风机组:风量 3 300, 5 600, 13 500 m³/h 的各 1 台;风机盘管 60 台;空调设备安装功率 52 kW,空调机房面积 127 m²。

3.3 通风防排烟设备

静音型风机箱:风量 22 800 m³/h 的 1 台,风量 28 800 m³/h 的 2 台;混流排烟风机:风量 36 000 m³/h 的 1 台,风量 28 800 m³/h 的 2 台;低噪声轴流风机:风量 1 650 m³/h 的 9 台;换气扇 17 台;风幕机 20 台;通风排烟设备安装功率 44 kW。

4 技术难点和体会

追求想象“飞无限”是航空馆的设计灵魂,航空馆建筑的方案创新和展项、展品的高科技化给暖通设计带来了超出设计规范、较棘手的技术问题。

4.1 膜空腔内的安全措施

世博会期间上海的气候炎热,航空馆整个建筑被膜结构包覆,接受太阳辐射的面积非常大。膜材料的传热性能介于玻璃天窗与传统通风屋顶之间,其对于太阳辐射有一定的透射能力。膜结构与室内吊顶之间存在 1.5 m 高的空腔(如图 2 所示),周边下垂、中间上拱的曲面形成闷顶。膜结构与建筑本体周边的连接采用金属格栅吊顶,室外空气可以进入闷顶内。

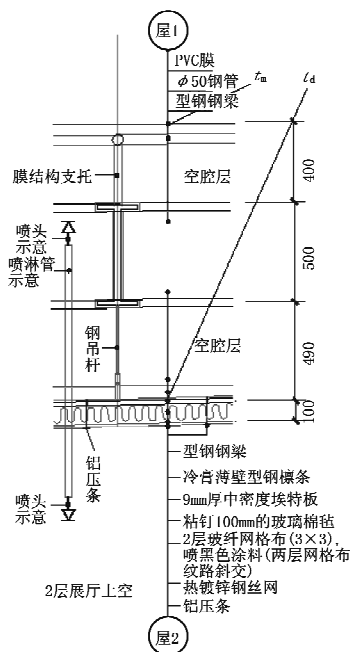


图 2 膜空腔节点详图

透过膜进入的太阳辐射热量会升高膜内腔空气温度,因建筑专业要求膜顶不能开孔,没有自然对流的条件,热空

气不能在高处顺利排出。

按照多种计算方案的研究分析和验证膜材料的检测报告数据,并根据膜材料生产厂提供的数据得出结论:膜的吸收比为 1.8%,反射比为 86.8%,透过比为 11.4%,即使太阳暴晒,膜内空气温度也不会超过 50℃,更不会使膜内喷头爆裂喷水,但是为了万无一失,在膜内空间极小的安装条件下,在膜屋面施工前增设了通风管道,引入展馆内的空调排风作为一种保障措施;同时在各个典型的位置设置了 18 个温度探头,实时监测馆内温度。

为实现建筑室外夜景照明,膜内空间增加了 5 000 个普通荧光灯管和镇流器。尽管如此,只要不是在太阳暴晒时膜里面还亮着灯,就能保证膜内空间的温度要求。

4.2 消防排烟问题

通常烟气通过高处外窗或天窗排出,为保证完美的建筑造型,不破坏“白云”的整体构想和不影响屋面防水,航空馆的膜屋面没有开天窗。整体被膜覆盖的建筑防排烟问题在设计伊始就很受重视。因为该展馆为临时建筑,设计时间和建设周期短,最初有过申请作消防性能化设计及评估以及专家认证的想法,后与上海世博消防部门沟通后,在确保展厅人员疏散宽度、保证人员安全及时疏散的前提下,认可笔者根据《世博会临时建筑物、构筑物防火设计标准》采用的方案。

《世博会临时建筑物、构筑物防火设计标准》规定封闭楼梯间的防烟采用自然通风方式的条件很明确。如果烟气从建筑外墙排出,则势必会进入膜空间蔓延,不能保证楼梯间的安全,因此必须想出好的路径解决排烟问题。部分排烟是通过建筑地沟排到膜外,这种做法得到了世博消防部门的认可。2 层地乘展演区的烟气是从较高处排出,也可能会有烟气串入膜空间,采取的措施是把那部分金属格栅吊顶改为金属板吊顶,尽可能让烟气顺着膜往外面的高空扩散。

5 结语

空间膜结构的屋顶形式体现了航空馆的独特性,但给通风空调防排烟系统的设计和设备的安装提出了诸多难题。由于工期紧,前期设计条件不完善,进度要求快,安装难度大,参与单位众多,要求各方密切配合,相互支持。在工程后期和试运营时,对出现的问题作了分析研究,及时拿出解决方案,进行必要的整改,基本达到设计要求。

· 简讯 · 2010 年度第二批绿色建筑评价标识、绿色建筑设计评价标识项目评审结果公布

根据《绿色建筑评价标识管理办法》(建科[2007]206 号)、GB/T 50378—2006《绿色建筑评价标准》、《绿色建筑评价技术细则》(建科[2007]205 号)、《绿色建筑评价技术细则补充说明(运行使用部分)》(建科函[2009]235 号)和《绿色建筑评价技术细则补充说明(规划设计部分)》(建科[2008]113 号),住房和城乡建设部组织开展了 2010 年度

第二批绿色建筑评价标识和绿色建筑设计评价标识项目评价工作。经过评审、公示,张江集电港总部办公中心改造装修项目获得三星级绿色建筑评价标识,绿创环保科研大厦(B 楼)等 4 个项目获得绿色建筑设计评价标识。

(本刊摘自 www.mohurd.gov.cn/gsgg/gg/jsbagg/201007/t20100721_201614.htm)

上海世博会主题馆西展厅 空调通风系统设计研究

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司 刘毅[☆] 唐振中 周谨
王颖 朱伟昌 张心刚

摘要 该展厅东西跨度 144 m, 南北跨度 180 m, 采用侧面双层喷口送风方式。模拟比较了双层喷口送风与单层喷口送风的室内温度场和速度场, 研究了双层喷口的出口风速; 同时, 对该展厅过渡季采用全新风模式在不同室外气温条件下的室内温度场进行了模拟, 分析了其节能性。

关键词 展厅 高大空间 双层喷口 全新风 过渡季

Design of air conditioning and ventilation systems for the Theme Pavilion West Exhibit Hall of Expo Shanghai

By Liu Yi[★], Tang Zhenzhong, Zhou Jin, Wang Ying, Zhu Weichang and Zhang Xingang

Abstract The exhibit hall spans 144 meters from east to west and 180 meters from north to south, and adopts side double nozzle outlets to supply air. Simulates and compares the indoor temperature field and velocity field under double nozzle outlet air supply with those under single nozzle outlet air supply. Studies the outlet air velocity of double nozzle outlets. Also simulates the indoor temperature field in all outdoor air mode in transition seasons at different outdoor temperatures, and analyses the energy saving effect.

Keywords exhibit hall, large space, double nozzle outlet, all outdoor air, transition season

★ Architectural Design & Research Institute of Tongji University (Group) Co., Ltd., Shanghai, China

①

1 建筑概况

世博会主题馆(见图 1)位于上海市浦东世博园区的核心区域, 是 2010 年上海世博会的永久场馆之一, 同时也是上海世博会一轴四馆的核心建筑之一。用地面积约 114 667 m² (172 亩), 总建筑面积 129 409 m², 地下 48 589 m², 局部 2 层, 地上



图 1 世博会主题馆鸟瞰图

80 820 m², 建筑总高度 26 m。从功能设置上来看, 主要用于展览。

主题馆占地面积约 55 000 m², 东西跨度 288 m, 南北跨度 180 m。整幢建筑西侧是一个 180 m×144 m 的大展厅, 也可以根据用途划分成 2 个展厅, 整个展厅内不设一根柱子(包括不设置送风柱), 是一个非常完整的大空间, 这也是业主特别强调并要求设计的, 目的是保证以后在使用上能够适应各种需求。本文主要对主题馆西展厅的空

①☆ 刘毅, 男, 1964 年 10 月生, 大学, 高级工程师
200092 上海市杨浦区四平路 1239 号同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司设计 1 所
(021) 65987788-5022 (0) 13701811910
E-mail: 13ly@tjadri.com
收稿日期: 2010-06-03
修回日期: 2010-07-07

调通风系统设计进行研究。

2 CFD 模拟建模及边界条件说明

采用 STAR CCM+ 软件对主题馆西展厅的室内气流组织进行 CFD 模拟,图 2 是西展厅的物理模型。值得一提的是送风喷口的模型,在初期模拟中发现,采用断面均一风速的风口模型无法实现西展厅大跨度送风的要求,同时与目前市场上喷口产品的实际情况也不相符合,本项目最终借鉴了球形喷口的实际尺寸,建立了如图 3 所示的喷口模型。

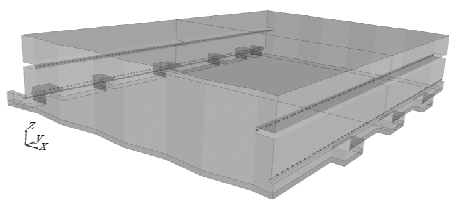


图 2 西展厅物理模型

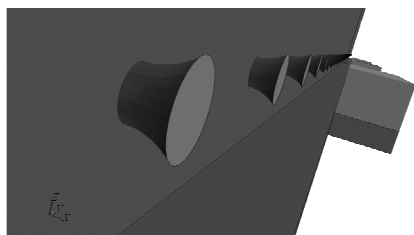


图 3 送风喷口物理模型

在模拟计算过渡季全新风模式通风的室内气流组织时,设定主题馆顶部自然排烟窗全部开启,以利于室内热气流上升并排出室外,屋顶排烟窗分布如图 4 所示。

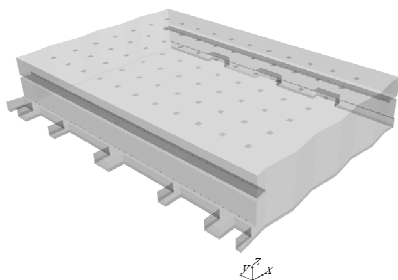


图 4 西展厅屋顶排烟窗分布示意

为了简化,模拟过程中作如下假设:

- 1) 空气流动为稳态湍流;
- 2) 室内空气为辐射透明介质;
- 3) 不考虑漏风影响,认为室内气密性良好。

采用 RNG $K-\epsilon$ 两方程模型,工质为理想气体,考虑由于温度变化产生的浮力的影响。求解区域

的离散采用控制容积方法,控制容积为多面体,网格数量为 140 万。

3 主题馆西展厅大空间气流组织的模拟分析

主题馆西展厅东西跨度 144 m,南北跨度 180 m,南北两侧外围护结构为玻璃幕墙,空调通风系统的送风管路布置在东、西两侧,两侧的送风系统需要满足 70 m 左右进深区域的室内空气流通。相比一般空间,西展厅自身体量大、进深大;同时,人员活动区域集中在距地面 2 m 以内的空间^[1]。因此,空调通风系统需要解决的问题主要有:

- 1) 侧送风系统能够送风至 70 m 远,即展馆中部也能实现空调通风效果;
- 2) 距地面 1.5 m 高区域内的温度场分布均匀;
- 3) 距地面 1.5 m 高区域内的速度场分布均匀。

送风系统的覆盖面广和送风均匀实际上是相互制约的,覆盖面越广,其覆盖范围内的送风均匀度越不容易满足^[2-3]。本项目送风系统需要解决的就是如何调整送风参数,使得覆盖面和均匀性均在一个合理的范围内。

在设计中,对西展厅的室内气流组织形式进行了多种边界条件的模拟计算,以室内温度场和速度场分布均匀等舒适性因素为评判标准^[4],选择最优的送风方式,并以此为依据辅助主题馆西展厅部分的空调通风系统设计,最终确定设计工况:双层风口高度分别为 7 m 和 18.4 m,低层风口平均风速 11 m/s,高层风口平均风速 14 m/s,送风温度 19℃。

在模拟计算中,各种不同边界条件针对的室内负荷保持一致,送风温度和送风量也保持一致。仅对不同工况下,风口的高度和风速及相关的风口面积进行调整。

3.1 大跨度侧送风双层喷口的研究

西展厅东西跨度大,送风距离远,采用普通的单层喷口侧送风,有可能造成室内温度场及速度场的均匀性、舒适性不足。

单层喷口侧送风(风口高度 6 m 和 10 m 两种工况)的温度场、速度场模拟结果如图 5,6 所示。

从图 5,6 可以看出,无论风口的高度是 6 m 还是 10 m,均不能满足室内温度的要求,相比较而言,6 m 高度的风口由于贴近人员活动区域,室内