

文章编号: 1671-6612 (2021) 02-243-06

深圳国际会展中心超大展厅气流组织设计

吴少光 廖晓华 张 艳

(深圳市欧博工程设计顾问有限公司 深圳 518000)

【摘要】 针对深圳国际会展中心超大展厅的空间尺度和球型喷口射流特点, 结合建筑内部空间特点, 研究了超大空间侧送风的气流组织的可行性。并通过气流组织经典计算方法初步确定送风口送风量及安装高度, 最后通过 CFD 模拟计算软件进行气流组织模拟并优化风口布置。

【关键词】 超大展厅; 气流组织; 送风口; 计算流体动力学

中图分类号 TU83 文献标识码 A

Air Diffusion Design of Oversized Exhibition Hall in Shenzhen International Exhibition and Convention Center

Wu Shaoguang Liao Xiaohua Zhang Yan

(Aube Architectural Engineering design Co., Ltd, Shenzhen, 518000)

【Abstract】 In view of the extra large size of exhibition hall in Shenzhen international exhibition and convention center and the feature of jet nozzle, researches the feasibility of side air supply diffusion in oversized hall. Then calculates the air supply volume and installation height with classic air diffusion method. At last, calculates CFD numerical simulation for side air supply diffusion and optimizes according to the calculation result.

【Keywords】 oversized exhibition hall; air diffusion; air outlet; design key points; CFD numerical calculation

作者(通讯作者)简介: 吴少光(1988-), 男, 本科, 工程师, E-mail: 1269008297@qq.com
收稿日期: 2020-07-09

0 工程概况

近现代会展业经过了上百年的发展, 进入 21 世纪以来, 参展展品越来越多样化, 大型展览品也日渐走入展厅, 超大体型的展厅应运而生。深圳国际会展中心作为未来全球第一大会展中心, 设计上更具国际前瞻性。

为满足举办特殊类型的展览(比如航空展、游轮展等)和举办大型群众文体活动(比如春节联欢晚会、大型企业的年会等)等需求, 本项目设计了一个建筑面积约 5.3 万 m² 超大展厅。

展厅内部空间长度约 230m, 宽度约 160m, 桁架下净高呈中间高两侧低的弧形屋顶, 最大高度约 24m, 最小高度约 19m。沿着展厅两侧长边另设置净深 22.5m 的展厅配套功能房间, 沿着展厅两侧短边设置净宽 11.5m 的展厅设备机房。为了保证超

大展厅内部空间的完整性和视觉的通透性, 在展厅内部空间内只设有支撑三角桁架的四个钢结构支架。展厅二层平面图如图 1 所示。

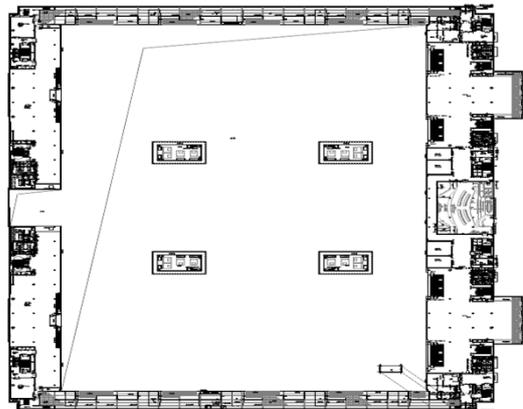


图1 超大展厅二层平面图

Fig.1 Oversized exhibition hall second floor

1 送风方式的选择及球形喷口特性分析

为节约空调能耗,高大空间通常采用分层空调,即送风口设在低于顶棚的侧墙上,节约负担上部空调负荷的能耗,具有良好的节能效果。在某些建筑空间内,侧送风的分层空调与全室空调方式相比,夏季可节省冷量30%左右^[1]。因此,在高大空间场合,分层空调通常作为首选方案。

虽然文献[2]对类似超大展厅顶送风全室空调和侧送风分层空调的能耗及气流组织对比分析结果表明:全室空调气流组织可满足使用要求,且能耗增加不明显。但该分析基于设备、照明负荷主要集中在人行高度附近的情况下。而超大型机械设备展览的设备、照明负荷往往在高位也占据较大比例;大型年会和晚会也会在高空中设置大量的专业照明,给室内高空带来较大的散热负荷。因此,在上述类似工况下,侧送风具有可观的节能性。

在设计定案中,项目运营单位也提出采用侧送风分层空调的建议,主要考虑以下两方面原因:基于多年的运营经验,侧送风的分层空调在实际运营中具有良好的节能效果,其次,顶送风对后期展厅上空吊挂的大型宣传幅会引起抖动,进而影响参展商广告效应。

而建设单位及施工单位从施工角度,认为顶送风方式势必在展厅桁架中带来大量大规格的风管,其安装难度增加,进而会影响到项目施工周期。

基于本专业的技术分析,并综合各方意见,本项目最终确定采用侧送风的气流组织形式。

超长距离侧送风形式通常采用良好射流特性的球形喷口。根据国内某主流球形喷口厂商的产品,球形喷口的最大规格为DUK-D630,出口处的直径0.3737m。为限制出口的阻力和噪声,通常要求单个喷口的风量不宜超过6000CMH,对应的出口风速15.31m/s。

根据侧送风射流特性,射程随着送风高度的增加而增加,而送风高度越高,分层空调的节能效果越差。因此,在结合场地高度和风口安装条件,初步拟定风口最大安装高度为15.5m或13.5m。

送风温差 $\Delta t = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$; 空调区高度 $h_1 = 6\text{m}$ 。当风口安装高度 $H = 15.5\text{m}$, 空调区域平均风速 $v_p = 0.25\text{m/s}$ ^[4]。根据文献[5]多股平行非等温射流计算公式组计算可求得阿基米德数 $Ar = 0.00042$, 射程 $x = 54\text{m}$ 。当安装高度 $H = 13.5\text{m}$ 时, $Ar = 0.00049$,

射程 $x = 45\text{m}$ 。

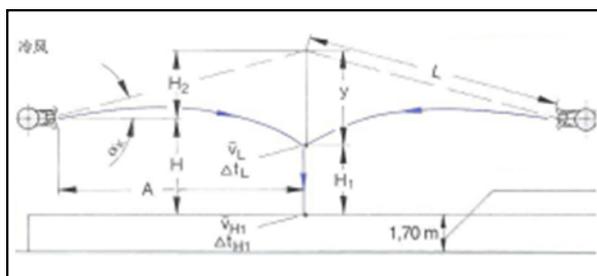


图2 球形喷口射流计算模型

Fig.2 Jet nozzle flow calculation model

2 送风气流设计及计算

根据上一节分析,该展厅的侧送风口布置应控制球形喷口的射程不大于54m。因此,根据展厅的体型,利用展厅中间三角桁架支撑结构,在南、北侧和中间4个送风柱设置上、下两排球形送风喷口,并在空调机房下方设置回风集气室,通过集气室侧面百叶(南、北)和集气室下方百叶(送风柱)回风。如图3所示,单侧最大送风距离40m,双侧最大送风距离73m。其中南、北侧净高较矮,上排喷口安装高度为13.5m;中间送风柱的上排喷口安装高度为15.5m;各位置的下排喷口安装高度均为10.5m。

为防止西侧中间展厅入口的冷负荷向内部入侵,在西侧靠近入口的两端设置喷口,并在入口南北两侧各设置3个规格D630球形喷口以改善入口气流组织。喷口安装高度15.5m。

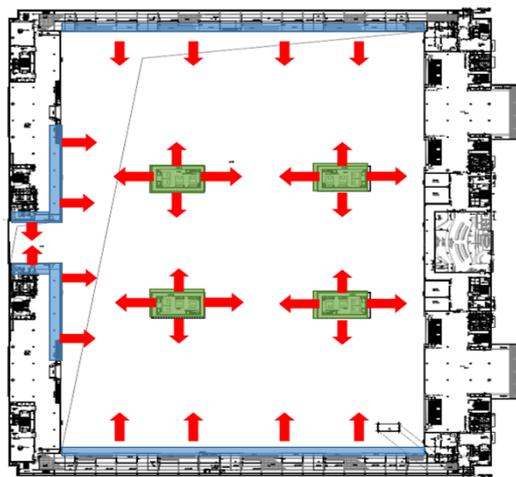


图3 超大展厅侧送风口布置图

Fig.3 Oversized exhibition hall side air supply outlet arrangement

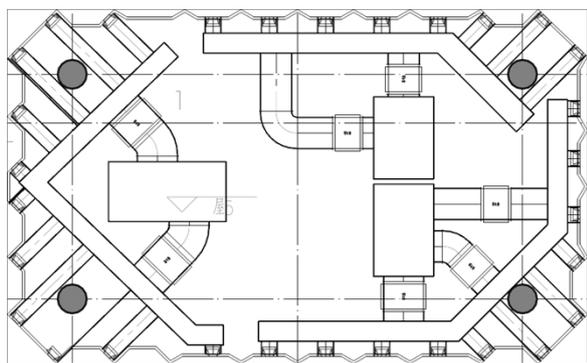


图4 送风柱上排喷嘴布置图

Fig.4 Upper jet nozzle arrangement in air supply column

由图3可以看出, 送风柱的四个角会形成送风盲区, 对远区会有一些影响, 因此, 在送分柱的上排喷嘴优化成切角改变送风角度, 最大限度减少送风盲区, 如图4。而近区处于上排喷嘴的气流回流区, 因此维持四边形的送风口布置形式。

图5为该展厅的气流组织剖面示意图, 喷嘴的射程均覆盖了室内空间。

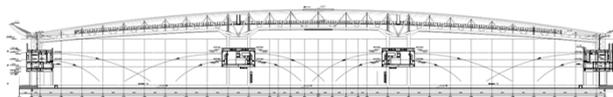


图5 超大展厅气流组织剖面图

Fig.5 Air diffusion profile in oversized exhibition hall

3 CFD 气流组织模拟计算及优化

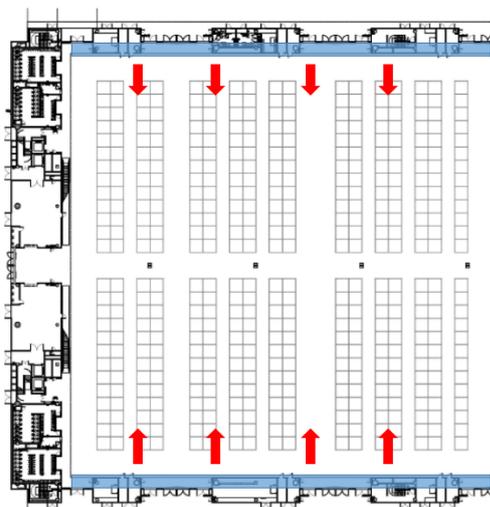


图6 1/2标准展厅侧送风口布置图

Fig.6 Side air supply outlet arrangement of half standard exhibition hall

根据上一节的送、回风口布置设计, 对比标准

展厅的气流组织形式: 两侧送风口距离97m, 上、下排球形喷嘴安装高度分别为13.5m和10.5m。对比图3和图6的气流组织形式, 可看出除入口处的气流组织形式相对特殊外, 其余空间气流组织形式均相似, 即图7位置。而标准展厅的气流组织在前期已经经过计算流体力学(下称CFD)数值模拟计算, 其计算结果符合设计要求。因此, 为减少数值模拟工作量, 超大展厅仅对图7复杂气流组织区域进行CFD数值模拟计算。

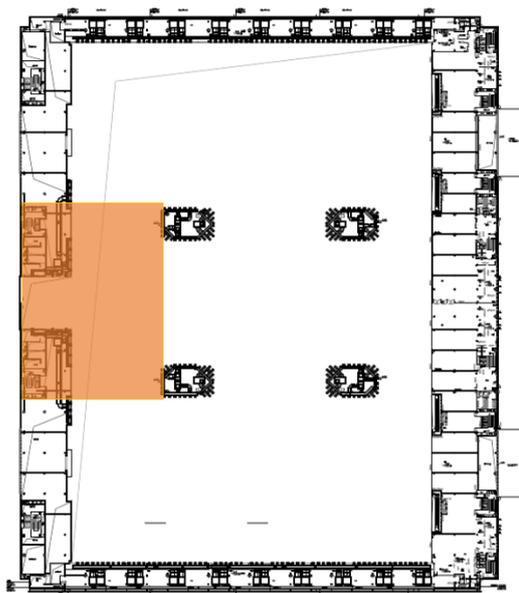


图7 超大展厅数值模拟计算范围

Fig.7 Oversized exhibition hall numerical simulation range

本次模拟采用Fluent软件进行数值模拟计算, 计算模型取图7范围的一半, 如图8所示。

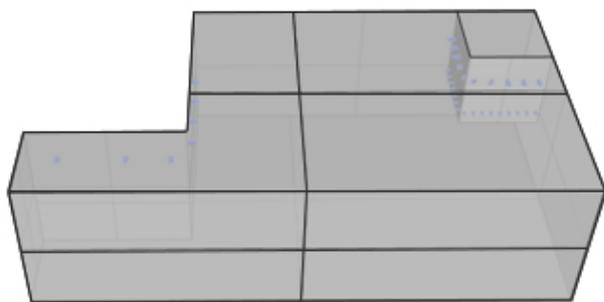


图8 CFD计算模型

Fig.8 CFD simulation model

边界条件设定如下: (1) 采用基于压力基的求解器; (2) 采用K-E REALIZE方程; (3) 近壁面采用壁面函数法; (4) 采用湍流充分发展喷嘴

模型模拟直管段湍流充分发展段的速度分布; (5) 采用PSEUDO TRANSIENT算法改善对流扩散问题。整体模型采用非结构化网格, 网格SKEWNESS小于0.7。

人行高度(1.5m处)的温度场、人行高度(1.5m处)的速度场及球形喷口速度迹线如图9~11。计算结果显示: (1) 人行高度的室内平均温度符合设计要求; (2) 因送风柱下侧回风口较高(8m), 导致一部分气流提前返回引起室内局部气流过高, 超过文献[6]要求的最大流速0.5m/s; (3) 入口处风口射程过大且间距过大导致入口处气流不均匀, 且局部风速过高。

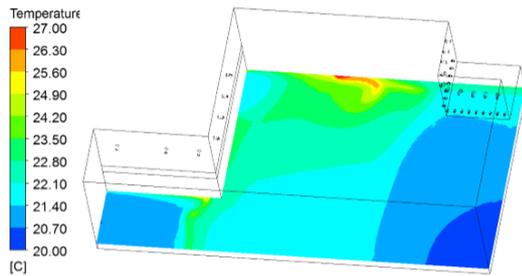


图9 1.5m处温度场

Fig.9 Temperature field at 1.5m

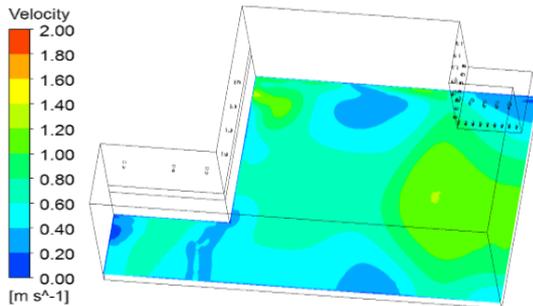


图10 1.5m处速度场

Fig.10 Velocity field at 1.5m

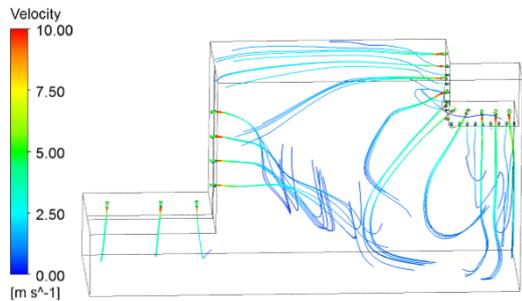


图11 球形喷口气流速度迹线

Fig.11 Air velocity path line of jet nozzle

因室内装饰要求, 送风柱的回风口高度无法降低。而入口处的送风口布置进行优化, 增加送风口数量, 将原单侧布置的3个D630的球形喷口改为9个D400的球形喷口, 减少每个风口的风量, 缩短射程, 提升了气流组织均匀性。

针对入口处的送风气流组织的改善进行CFD复核算证。其计算范围及CFD计算模型分别如图12和13所示。边界条件设置原则同上, 此处不再赘述。

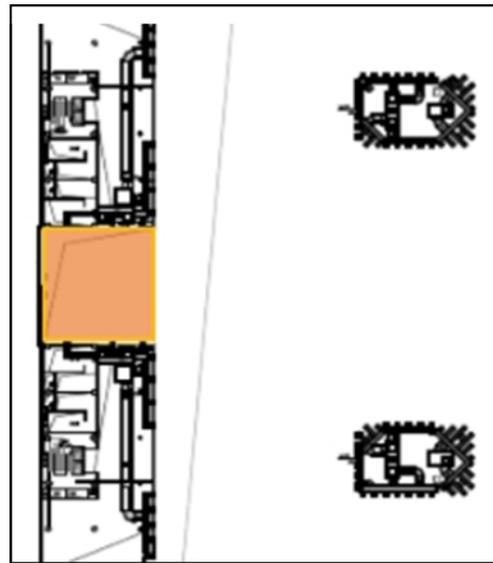


图12 超大展厅入口处数值模拟计算范围

Fig.12 Numerical simulation range at the oversized exhibition hall entrance

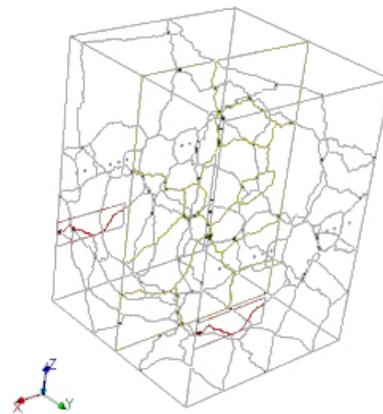


图13 入口处CFD计算模型

Fig.13 CFD simulation model at entrance

人行高度(1.5m处)的温度场、人行高度(1.5m处)的速度场及球形喷口速度迹线如图14~16。计算结果显示: (1) 入口处人行高度室内平均温度符合设计要求; (2) 入口处人行高度的

平均速度约0.44m/s, 符合文献[6]的规定值。(3)从流线图及人行高度速度分布图可以看出, 局部区域的风速已经达到0.55m/s的程度, 有不同程度的超标。考虑到入口处为人员短暂停留区, 局部风速允许略超设计指标。

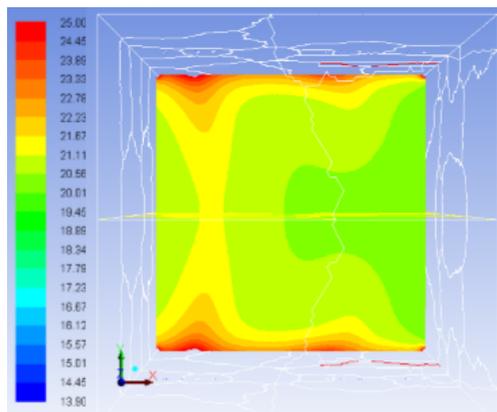


图14 1.5m处温度场

Fig.14 Temperature field at 1.5m

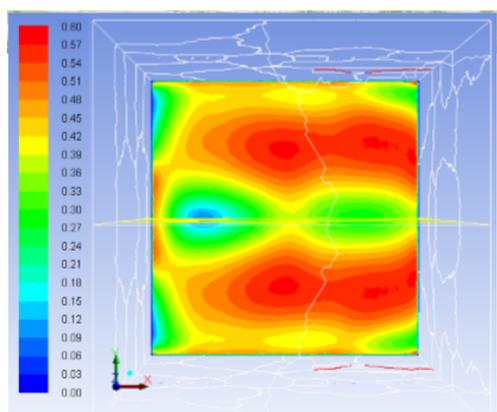


图15 1.5m处速度场

Fig.15 Velocity field at 1.5m

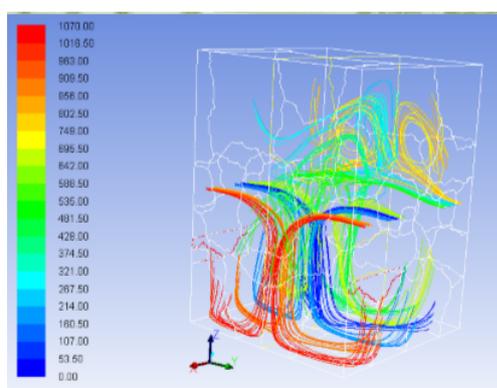


图16 球形喷口气流速度迹线

Fig.16 Air velocity path line of jet nozzle

根据以上两个区域的CFD数值模拟结果显示,

主要存在局部气流流速超过0.5m/s的问题。引起该结果的因素主要有以下两方面:(1)应运营方要求, 室内的设计温度按22℃考虑, 低于文献[4]推荐的24~26℃和文献[6]推荐的25~27℃, 因此室内送风量需大幅度增加;(2)受现场条件限制, 室内回风口的安装高度较高, 导致部分送风气流未经充分扩散而提前回流导致回风口附近流速过高。

4 运营情况介绍

本工程于2019年9月完成竣工验收并投入使用。超大展厅也在2019年年底至2020年年初成功举办了2020年央视新年音乐会“扬帆远航大湾区”和多场大型企业的年会。

央视新年音乐会于2019年12月23日~24日录制。此时间段内, 深圳市室外干球温度高达23~25℃, 天气较为炎热。且为满足现场舞台效果, 灯光设备负荷较大, 现场观众及大部分主持人、表演者衣着较厚。因此, 为满足室内舒适度要求, 仍需开启空调系统进行制冷。根据现场参与者的感受及反馈, 室内温度符合设计要求, 现场观众、主持人及表演者均无过热、吹风感等不适体感, 空调运行取得良好的效果。

而2020年年初企业举办的年会, 室外气温较低, 空调系统关闭制冷系统, 采取大新风比(50%)运行模式, 利用室外低温新风对室内发热量进行“免费冷却”, 室内的温湿度也均符合使用要求, 室内空气品质也得到良好评价。



图17 2020年央视新年音乐会现场照片

Fig.17 2020 CCTV New Years Concert Photo

5 结语

超大尺度展厅作为会展业发展大型展品展览(如飞机、游艇、大型机械产品)的载体, 越来越得到会展运营方的青睐, 目前新建的规模较大的会

展项目都会配置同等体量的展厅。而当前国内外此类展厅运行经验较少,尚无足够的样本量供参考和借鉴,给本项目的设计带来较大的困难。

本文在分析本项目的工程特点、结合运营单位、建设单位及施工单位等各方意见的情况下,设计采用侧送风的气流组织形式。

在进一步分析侧送风球型喷口的气流组织特性的基础上,结合展厅内部中间三角桁架支撑结构,设置了侧墙送风球形侧喷口及送风柱球形侧喷口。并采用“多股平行非等温射流”的计算公式进行设计计算和风口布置。

考虑到入口附近区域送风气流组织较为复杂,各股送风气流之间存在互相干扰的情况,导致上述计算结果产生一定偏差。因此,为获取更为精确的计算结果,对该区域的气流组织进行计算流体动力学数值模拟计算。并根据计算结果对送风口布置进行优化。

本项目自2019年9月竣工以来,在投入使用不到一年的时间内,已成功举办了2020年央视新年音

乐会“扬帆远航大湾区”和多场大型企业的年会,空调系统的运行经受住了考验,室内空调舒适度得到良好的评价,进一步验证了设计成果。为同类展厅的设计提供了新的设计思路。

参考文献:

- [1] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 贾昭凯,韩佳宝,刘建华,等.国家会展中心(上海)超高大展厅空调通风设计[J].暖通空调,2017,47(3):73-78.
- [3] 赵荣义,范存养,薛殿华,等.空气调节(第三版)[M].中国建筑工业出版社,1994.
- [4] 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.
- [5] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [6] JGJ 218-2010,展览建筑设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.