

南京国际博览中心展厅 空调通风系统运行实测

华东建筑设计研究院有限公司 董涛[☆] 刘览 杨子学 马伟骏 叶大法
南京河西会议展览有限责任公司 杜进 黄厚武

摘要 介绍了南京国际博览中心展厅空调通风系统在过渡季、冬季及夏季不同工况实际运行情况下室内热环境的测试情况,并由实测数据加以分析,着重讨论了测试日展厅分层空调的节能性,指出工程研究应注重实践,工程实测应得到更多的重视和关注。

关键词 展厅 分层空调 温度梯度 运行实测

Test of HVAC system operation for exhibition hall of Nanjing International Expo Centre

By Dong Tao[★], Liu Lan, Yang Zixue, Ma Weijun, Ye Dafa, Du Jin and Huang Houwu

Abstract Presents the actual test of indoor thermal environment in different operational situations in transitional seasons, winter and summer respectively. Analyses the test data and discusses the energy saving effect of stratified air conditioning of the exhibition hall in the test day. Indicates that the practice should be emphasized in project research and more stresses should be put on the project test.

Keywords exhibition hall, stratified air conditioning, temperature gradient, operational test

★ East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

1 工程概况

南京国际博览中心包括 6 个标准展厅。标准展厅平面为矩形,东西长 160 m,南北长 72 m,屋顶由两块高度从 18 m 至 25 m 的坡屋面组成,主体采用大跨度预应力张弦梁的钢筋混凝土框架结构,属高大空间建筑。南京国际博览中心标准展厅以及展厅分层空调负荷计算和气流组织设计详见文献[1]。

南京国际博览中心项目 2006 年开始建设,2008 年 9 月通过竣工验收。其空调通风系统已运行了两年多,系统总体运行正常,室内空调效果良好。

为进一步了解展厅空调通风系统运行的实际情况,同时作为对展厅气流组织理论分析和模拟研究的补充,笔者用近一年半的时间,对展厅在各种空调通风系统运行工况下的室内温度场进行了实测,并结合实测数据对展厅内的热环境情况进行分析。

2 测试仪器和装置选用

1) GK600 系列温湿度变送器

GK600 系列温湿度变送器采用单片全校准智能传感器和高集成 CMOS 微电子技术,利用微处理器对湿度测量值进行非线性补偿和温度补偿,具有测量精度高、重复性、长期稳定性及互换性好等优点。变送器采用抗反接、抗过流、抗过压电路设计,提高了产品的可靠性。传感器探头和电路板元器件采用隔热缝分腔布置,确保传感器探头不受元器件温升影响,提高测量精度。

GK600 系列温湿度变送器由若干温湿度传感器和巡检装置组成。其工作原理是通过巡检装置采集传感器温湿度信号,并由连接巡检装置的计算机实时记录和储存采集数据。

温湿度传感器的温度测量精度为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度测量精度为 $\pm 3\%$ 。

①☆ 董涛,男,1976 年 6 月生,工学硕士,工程师
200002 上海市汉口路 151 号华东建筑设计研究院有限公司
(021) 63217420 - 6538
E-mail: tao_dong@ecadi.com
收稿日期:2011-03-02
修回日期:2011-05-23

2) BES 系列温湿度采集记录器

BES-02 温湿度采集记录器是基于单片机技术研制开发的超低功耗现场测试仪表。采用一体化结构,具有体积小,测量精度高,可同时测量温湿度,由电池供电,数据存储量大,不需接线,使用方便等特点。适用于节能建筑现场测试中室内外温湿度的采集、实验室环境监测、空调系统测试等场合。

BES-02 温湿度采集记录器的温度测量范围为 $-30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量精度为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;相对湿度测量范围为 $0\sim 99\%$,测量精度为 $\pm 3.0\%$ 。采样周期为 $10\text{ s}\sim 24\text{ h}$,可任意设置,记录容量达 16 000 条数据,保存周期可达到 10 年以上。

该装置采用 3 V 纽扣电池供电,通讯接口为 RS232C,配有专用数据通讯处理软件,以实现采集数据与普通计算机之间的通讯和数据导接。

3) Testo 手持式多功能测量仪

采用 Testo425 型手持式多功能测量仪。该仪器携带方便,带有温湿度测量和风速测量功能(热敏风速仪)。仪器固定连接传感器探头,并带有伸缩式手柄。温度、相对湿度、风速测量能够实现实时切换,还带有时间段/多点平均值计算功能,不仅能计算出风量、温度、风速的平均值,还可以显示最大值和最小值。

该仪器的温度测量范围为 $-20\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;相对湿度测量范围为 $0\sim 100\%$,测量精度为 $\pm 0.1\%$;风速测量范围为 $0\sim 20\text{ m/s}$,测量精度为 $\pm 0.03\text{ m/s}$ 。

4) 其他设备和装置

在测试过程中还用到了风管打孔器,用于空调机组送风量测量。

由于展厅大空间高度较高,会展公司还调用升降机完成测点悬挂工作。

3 测试结果及分析

按表 1 中的三个工况分别进行测试。

表 1 展厅空调通风系统运行工况测试说明

测试工况	测试时间	说明
过渡季	2009-05-29— 2009-05-30	自然通风情况下展厅空间温度场测定
冬季	2010-03-10	冬季送热风供热情况下展厅空间温度场测定
夏季	2010-08-13— 2010-08-14	夏季送冷风供冷情况下展厅空间温度场测定

3.1 过渡季自然通风工况

过渡季(即春秋季节)主要进行自然通风情况下大空间室内温度场的测试。设计时展厅各朝向外

墙上方均根据消防性能化分析报告按照自然排烟的要求设有面积不小于展厅地面面积 3% 的电动窗,此部分电动窗兼作平时自然通风口。因此,此次测试需要了解展厅在过渡季采用自然通风方式时的室内温度场情况。

在 B 馆西南片区进行测试。制作温度梯度测杆 2 根,在距外墙 12 m 和 30 m 处悬挂布置,测试近区和远区的室内温度梯度。每根温度梯度测杆在从地面至屋顶的不同高度上布置 14 个温湿度传感器。同时采用手持式测量装置对室外温度进行定时测量。

测试日展厅内人员不多,据目测约为 $15\sim 20\text{ m}^2/\text{人}$ 。展厅内停放的参展汽车均未发动。室内热源仅为人员和灯,内部发热量不大。自然通风时,高度约在 $14\sim 16\text{ m}$ 的外窗全部开启。室内底部其他开口状态为:北侧卷帘门通道打开一处,通道宽、高分别为 6.8,5.1 m;另展厅东侧与连廊连接处玻璃门全部开启(门宽 2 m,高 4 m,共 6 扇),而连廊的室外门打开,各展厅连廊相同,开门若干,展厅东侧间接与室外连通。

室外气温按照有、无遮阳分别测试。测试日室外最高气温约出现在 $14:30\sim 15:30$,如图 1 所示。根据测试数据,有遮阳位置室外最高气温约为 $28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,无遮阳位置室外最高气温约为 $32.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于展厅所有外墙面几乎全天均受到坡屋顶遮挡,日射对室内空气温度影响非常小,故本工况分析采用有遮阳位置的室外空气温度。

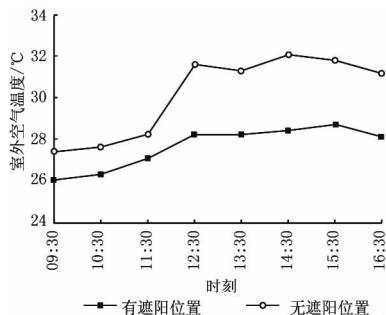


图 1 自然通风工况下室外空气温度测试结果(2009 年 5 月 29 日)

展会举行期间,因室外空气温度、室内人流等扰量持续变化,故分别截取以下时间段内各测量点的平均温度^①进行分析:09:45—10:15,11:45—

① 测试中凡涉及某时间段内的温度值,均为该时间段内若干温度测量结果的算术平均值。

12:15,13:45—14:15,15:45—16:15。上述时间段内近区和远区测杆温度测量结果如图2所示。

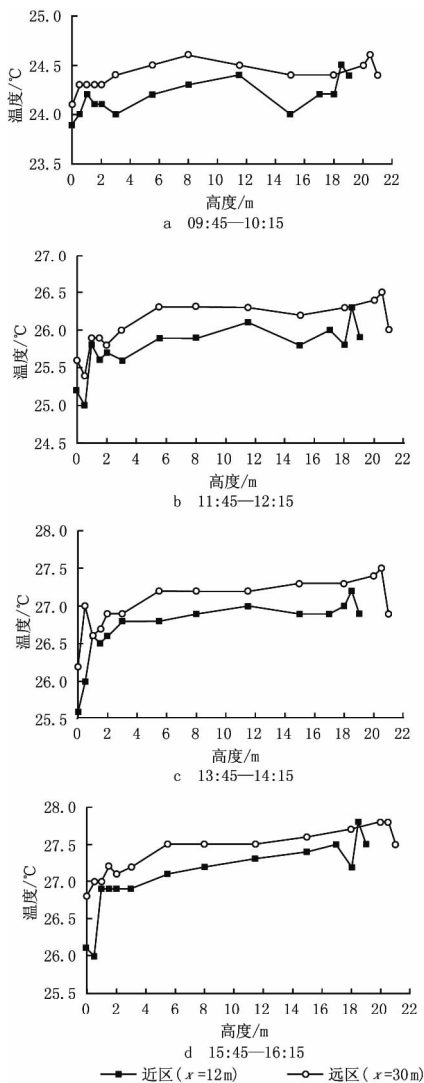


图2 近区和远区测杆温度测量结果(2009年5月29日)

从图2可以看出,自然通风情况下,近区和远区测杆不同高度上的温度变化呈现出近似相同的规律。因展会09:30开始,故在09:45—10:15时间段人流量不大,且由于展厅空间大,围护结构在之前(夜间或清晨)蓄存了大量冷量,故此时间段近区和远区测杆在高度上未呈现明显的温度梯度,室内温度基本维持在24.0~24.5℃。接近中午时,由于人流增多和室外气温上升,近区和远区测杆不同高度上空气温度上升至25.5~26.5℃。时至下午,室内空气温度继续上升,约为27.0~28.0℃。同时,由于近区测杆更靠近外墙,且较远区测杆(位于展厅中央通道附近)更少受到人流和展位区域等室内热源的影响,故近区测杆处温度梯度较远区测

杆处更为明显。在不同时间段内,远区测杆处的工作区平均温度比近区高约0.2~0.5℃。

在某一时间段内关闭展厅所有对外开口,取此时近区和远区测杆的测量温度作为无自然通风时的室内温度,与有自然通风时的室内温度测试结果进行比较,结果见图3。

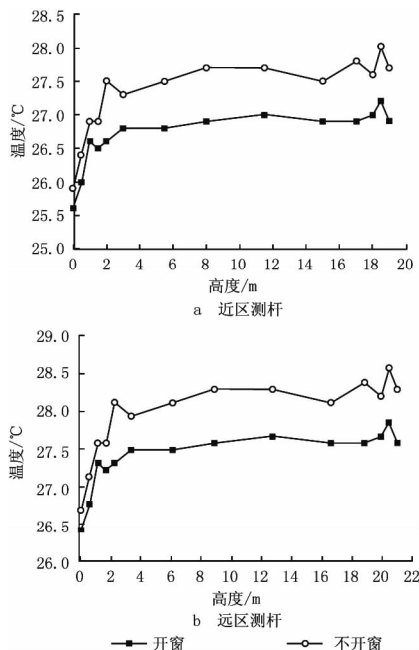


图3 自然通风效果比较(2009年5月29日)

由此可见,在开启外窗进行自然通风时,室内各点温度较不开窗时有不同程度的下降,工作区平均温度下降超过0.5℃。关闭外窗时,在空间上部由于热量无法排除,故气温上升较下部明显,远区测杆处上部空间不开窗时较开窗时温度上升约1.0℃。

3.2 冬季供热工况

冬季工况主要进行展厅大空间空调送热风情况下的室内温度场测试。展厅空调风口按照夏季送冷风工况布置,冬季仅调节送风气流的角度进行气流组织的校核。冬季工况测试的目的是复核室内温度场是否满足设计要求。

冬季测试位置为A馆西南片区。温度测杆布置位置及方法同自然通风工况测试,同时采用手持式测量装置测试室外温度及室内周边区空气温度,采用风管打孔方法测试空调机组送风温度及送风量。

测试日室外气温测量结果如图4所示,室外空气温度逐时升高,约在15:00达到最高值,接近8℃。

空调未开启情况下温度梯度测杆和周边区温度测量结果如图5和图6所示。

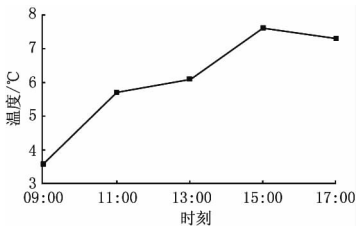


图 4 冬季工况室外空气温度测量结果(2010 年 3 月 10 日)

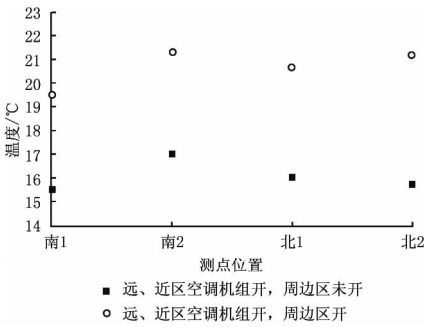


图 8 冬季空调供热时周边区空气温度

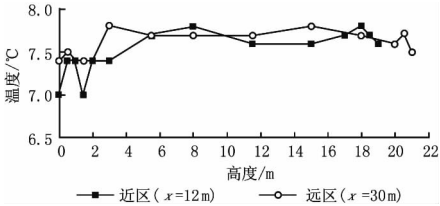


图 5 冬季不开空调时测杆各点温度
(2010 年 3 月 10 日, 13:00—13:30)

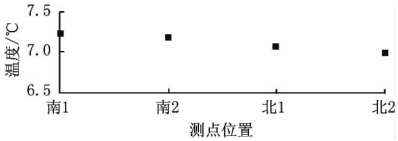


图 6 冬季不开空调时周边区测点温度
(2010 年 3 月 10 日, 13:00)

由于空调系统未开启,且室内没有内热源,因此近区和远区测杆上各点并未呈现出温度分层现象。同时,周边区空气温度比近区和远区测杆上相同位置处稍低。未开启空调时,室内工作区平均温度大约在 7.0~7.3℃范围内,越靠近外墙,工作区平均温度越低。

开启空调系统进行供热后,各测点温度测量结果如图 7,8 所示。

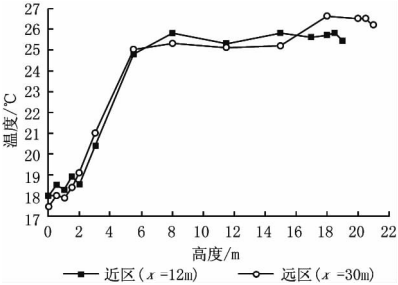


图 7 冬季空调供热时测杆各点温度
(2010 年 3 月 10 日, 16:00—16:30)

由图 7 可见,空调送热风时,测杆上各点呈现出明显的温度梯度,由于送风角度为向下 30°,送风直接送至测杆 6 m 左右高度,故近区和远区测杆在 4~6 m 高度温度梯度变化明显;由于热空气上浮,在两测杆 8 m 高度以上,空气温度约为 25~

26℃,比工作区温度高 8℃左右。周边区设置的空调系统对周边区空气温度有明显的改善作用。在内区的工作区平均温度分别为 18.5℃和 18.2℃时,周边区测得的温度大约为 16℃,比内区温度约低 2℃;当开启周边区空调系统沿外墙送热风时,各测点温度上升 4~5℃左右,且周边区各测点的温度基本在设计温度(20℃)附近。

3.3 夏季分层空调供冷工况

展厅大空间分层空调主要针对夏季空调送冷风工况而言。夏季工况测试是在夏季展厅空调送冷风情况下研究室内空气的温度场分布,其关键是测试实际使用中展厅空间的温度分层情况,也即是测试展厅高度方向上的温度梯度情况,从而对本项目分层空调的实际效果进行评价,以便进一步对项目的节能情况进行分析讨论。

夏季测试位置为 A 馆西北片区。温度测杆布置位置及方法同自然通风工况测试。采用 BES-02 温湿度采集记录器,放置于 A 展厅西侧屋面位置(暴露于日射下,避免遮阳影响),自动记录测试日室外温湿度实时数据。同时采用 3 个 BES-02 温湿度采集记录器,分别粘附在北侧外墙面上,高度分别为 0.6,1.1,1.7 m,自动记录测定时间内周边区相应高度的空气温度。采用手持式测量装置通过测试空调机组的断面风速来确定空调机组送风量,将 BES-02 温湿度采集记录器粘贴在空调机组送风段,记录空调机组送风温湿度参数。

测试日展厅内举行婚博会,室内人员较多,目测约为 3~5 m²/人。各展位内除人员外,灯光和设备等内热源负荷较大,不时有表演引起人员围观。室内的负荷情况比较理想,满足夏季工况测试的要求。

夏季工况测试日室外空气综合温度最高已达 42℃左右,室外空气参数如图 9 所示。

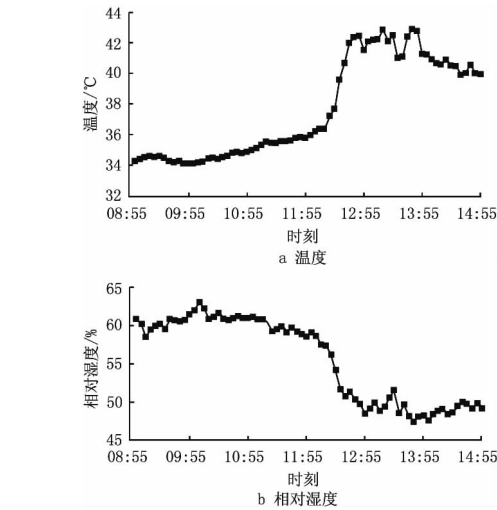


图9 夏季室外空气温湿度变化曲线(2010年8月14日)

近区和远区空调机组内的风速测量结果如图10所示,通过断面平均风速计算得到空调机组送风量分别为51 624 m³/h和61 632 m³/h,实测风量与原设计风量相比,偏差分别为-8%和-10%。

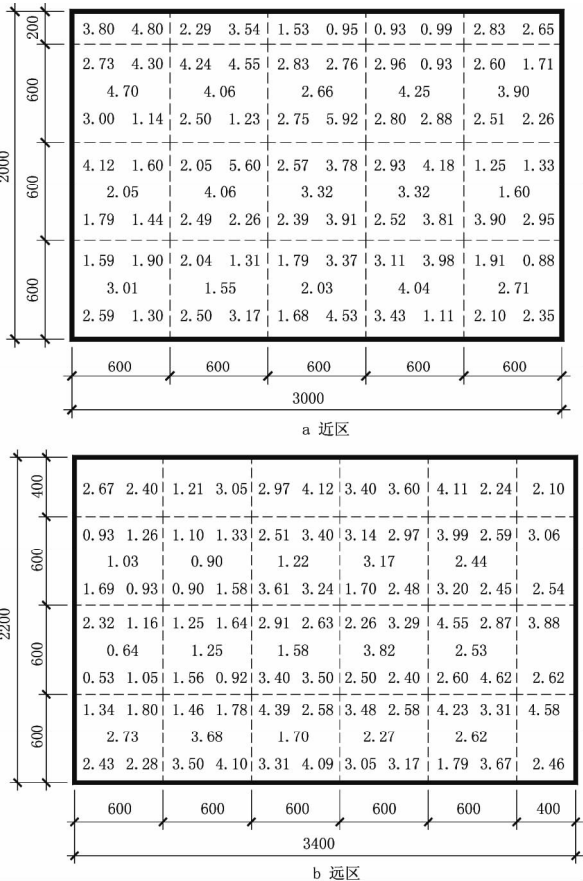


图10 空调机组断面风速(单位:m/s)

由自动记录仪导出空调机组送风温湿度,如图11所示。

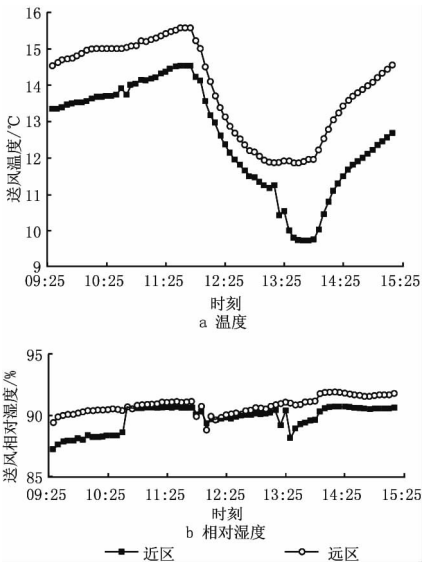


图11 空调机组送风温湿度(2010年8月14日)

在2010年8月13日测试了空调系统未开启、空场情况下的室内温湿度^①,结果如图12所示。

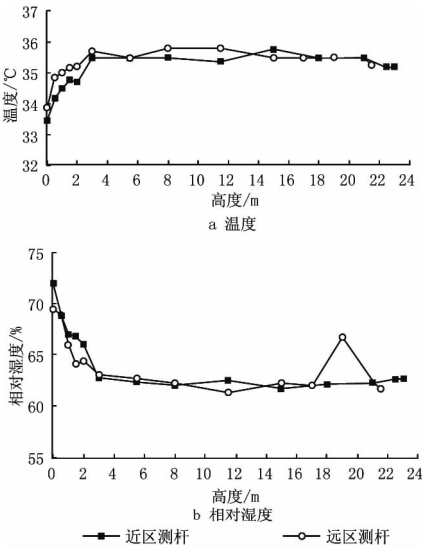


图12 夏季不开空调时测杆各点温湿度
(2010年8月13日,14:15—14:30)

在夏季空调系统未开启时,室内空气沿高度方向没有出现明显的温度分层,屋顶下的空气温度比工作区平均温度高出不到2 ℃。工作区相对湿度比空间上部稍高。在2 m高度以上,室内温度和相对湿度均比较稳定,基本没有变化。

空调系统运行时的测量结果如图13所示。

① 因时间和测试安排的原因,未能测量到8月13日室外空气参数。根据天气播报情况,在8月13—14日期间,南京市天气没有明显变化,故近似认为13日的室外天气情况和14日相同,将相关测量结果用于比较分析。

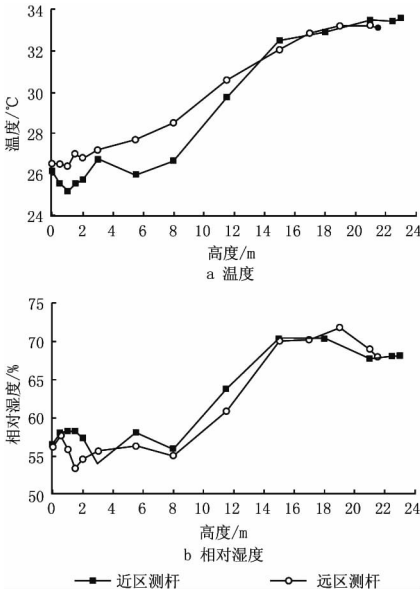


图 13 夏季空调开启时测杆各测点温湿度 (2010 年 8 月 14 日, 13:30—14:00)

从图 13 可见,展厅空间在高度方向上空气温度分层较为明显,沿展厅高度方向呈现明显的温度梯度。近区和远区测杆处屋面下测点的温度分别为 33.6℃和 33.2℃,而工作区平均温度(2 m 以下各测点温度平均值)分别为 25.7℃和 26.7℃,温差分别为 7.9℃和 6.5℃。同时,测试结果和原分层空调气流组织计算中确定的分层高度一致。设计时由于考虑了近区和远区采用两排喷口送风,分层高度约 9 m,故近区测杆在第 8 和第 9 测点(离地高度分别为 8,11.5 m)之间才出现明显的温度梯度。而远区测杆由于仅受远区系统的喷口送风作用,故在超过 2 m 高度之后,温度就逐渐上升形成温度梯度。在高度 15 m 以上,近区和远区测杆相同高度上的测点温度基本相同,说明展厅在超过 15 m 高的空间内,相同的高度上空气温度也基本相同。对比图 12b 和图 13b,开启空调后展厅下部空间相对湿度降低,而上部空间的空气未被处理,故上部空间的空气相对湿度无明显变化。

周边区各测点空气温度测量结果如图 14 所示。周边区空调系统开启前,周边区各测点温度为 27.5~28.5℃;空调系统开启后,周边区温度明显下降,各高度上测点温度下降到 25.5℃左右。同冬季情况相似,周边区空调系统能够有效降低周边区的空气温度,改善周边区的舒适度。

4 夏季实测日分层空调的节能性分析

根据实测数据对展厅分层空调的节能性进行

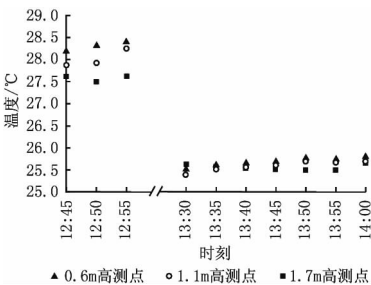


图 14 周边区各测点空气温度(2010 年 8 月 14 日)

分析。

根据图 12a 中实测得到的夏季空调未开启时室内各高度上的温度值可得到图 15 中的拟合曲线 2,再根据图 13a 中分层空调情况下各高度上的温度值可得到拟合曲线 1。在未开启空调时,室内温度分布曲线为曲线 AE(展厅未开启空调时由于通风作用室内温度比室外综合温度低);空调开启后,室内温度分布曲线为曲线 BD。室内工作区设计温度为 26℃;实测室外综合温度为 41℃。因此可以这样理解,如不采用分层空调方式,空调系统需将相同高度上的空气温度从曲线 AE 上的对应点降低至 26℃的水平线上;如采用分层空调方式,则空调系统仅需将相同高度上的空气温度从曲线 AE 上的对应点降低至曲线 BD 上的对应点。例如图 15 中 8 m 高度处空调未开启时对应的状态点为 a 点,采用分层空调需将此处温度降低至 b 点,如采用全室空调方式则需将温度从 a 点降低至 c 点,bc 线段即为此处节能部分。

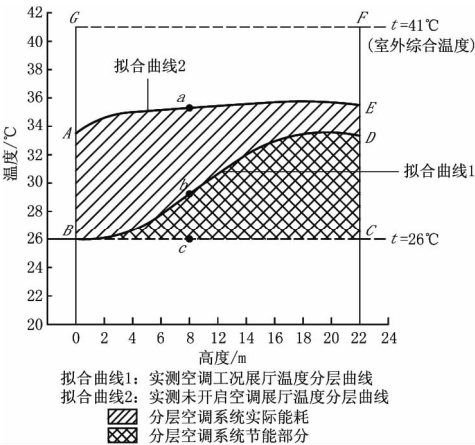


图 15 展厅分层空调节能分析

结合整个展厅高度考虑,采用全室空调方式所需要的空调能耗为 GBCF 围合的封闭区域(全室空调方式下空调负荷),采用分层空调时的空调能耗为

GBDF 围合的封闭区域(分层空调方式下空调负荷)。因此,BCD 区域即为分层空调的节能部分。

可采用拟合曲线围合区域的面积进行节能率计算。假定混合通风方式所需空调能耗为 1,则在满足工作区室内温度要求的情况下,分层空调所需空调能耗约为 0.58,节省约 0.42。也即是说,较混合通风方式,展厅实测日的节能率已达到 42%左右,节能效果较为明显。

5 结语

根据对展厅空调通风工况的测试结果,笔者对分层空调系统的设置有以下经验体会:1) 分层高度应尽量低。2) 双排喷口的送风效果较理想。南京国际博览中心项目原考虑两排喷口大小相同,如室内设计允许,笔者建议可以尝试远区喷口和近区喷口采用不同规格,以适应风量和射程的不同要求。3) 过渡季展厅对自然通风的利用相当重要,有条件时要考虑采用自动窗(可结合消防自动排烟窗设置)。4) 周边区空调系统对改善周边区室内温度有效果,但测试中发现展厅使用时周边区一般作为通道或展位后场,且人员相对较少,因此可以考虑在要求不高时不设置周边区系统,以简化系统并节省空间。

此次南京国际博览中心展厅空调通风系统的实测工作受到诸多客观条件的影响,例如项目的展会性质和室外天气等不是测试工作人员所能控制的,因此尽管在测试仪器、人员等方面已精心准备、全力安排,仍然要历时近一年半才完成三次测试工作。测试工作能够完成,要感谢会展管理方和参展公司的大力配合和支持。

近年来,暖通工程项目的实测越来越受到重视,尤其对于展览馆或剧场等特殊类型的建筑。设计师关注系统是否按照所设想的方式正常运行,而建设方或管理方则关注空调通风系统能否使室内温湿度达到所要求的效果。作为一名设计行业的从业者,笔者的初衷是想通过项目实测分析,作为对展馆建筑气流组织研究的完善和补充,同时通过对系统实际运行情况的了解,总结和完善分层空调设计方法,积累设计经验。工程研究离不开实践,希望本文能够起到抛砖引玉的作用,使越来越多的研究工作者对工程实测更加重视和关注。

参考文献:

- [1] 董涛,刘览,马伟骏,等. 南京会展中心展厅分层空调设计[J]. 暖通空调,2009,39(4):130-134



南京洁能缘环境科技有限公司

节能减排 承载千秋



转轮热回收器



高温转轮



能量回收机组



新风换气机



板式热交换器

转轮式热回收器——领先的整体缠绕辐条技术

设备特点:

1. 热回收率在81.5%以上,通过交换后压降为150Pa。
2. 转轮迎风面厚度200mm(轮芯的厚度),壳体宽度290mm。
3. 转轮式热交换器在12转/分钟时具有可观的温度效率,温度效率大约在20转/分钟。
4. 转轮工作温度可控制在-40℃~120℃范围。
5. 转轮迎风面风速控制在1.5~5.2m/s。
6. 转轮轮芯材质为特种合金铝材,传热系数高、防氨、耐腐蚀、使用寿命长。
7. 整体缠绕+固定辐条结构。非胶水粘贴,结构牢固稳定,使用寿命可达15年以上,清洗简便。
8. 波纹高度1.5mm、1.7mm、2.0mm、2.3mm有四种规格的波纹高度可供选择,轮芯蜂窝为正三角形。
9. 铝箔厚度0.08mm,铝箔越厚,转轮使用寿命越长。
10. 转轮密封性能高。采用双耐磨防水毛刷加橡塑隔层结构,转轮表面平整度高,密封严密,漏风率低。
11. 密封严密再加装双清洁扇面后,使漏风率控制在1%以内。
12. 传动皮带带有自张紧装置,免维护,无需经常调整皮带长度。

南京市幕府东路50号

电话: 025-85547317 85439883 传真: 025-85545069

网址: www.njjny.com 邮箱: se@njjny.com