

浙江大学艺术考古博物馆空调设计

浙江大学建筑设计研究院有限公司 杨毅[☆] 任晓东 曹志刚 丁德

摘要 介绍了该博物馆的空调冷热源、风系统、水系统及消声减振设计,重点讨论了展厅恒温恒湿空调系统的空气处理过程、温湿度控制方式、气流组织和节能运行措施。

关键词 博物馆 空调系统 恒温恒湿 消声减振 冷热源

Air conditioning system design for Zhejiang University Museum of Art & Archaeology

By Yang Yi[★], Ren Xiaodong, Cao Zhigang and Ding De

Abstract Presents the designing of air conditioning cold and heat sources, air system, water system and noise reduction and vibration isolation of the museum. Emphatically discusses the air handling process, temperature and humidity control method, air distribution and energy saving measures of the constant temperature and humidity air conditioning system for the gallery.

Keywords museum, air conditioning system, constant temperature and humidity, noise reduction and vibration isolation, cold and heat source

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

①

1 工程概况

浙江大学艺术考古博物馆(以下简称浙大艺博馆)位于浙江省杭州市浙江大学紫金港校区西区西南角,总建筑面积约为 25 189 m²,其中地上面积约为 18 513 m²,地下室面积约为 6 676 m²。建筑高度为 23.4 m。其效果图见图 1。



图 1 浙江大学艺术考古博物馆效果图

浙大艺博馆作为一个高校博物馆包含了 2 个不同的功能区域——博物馆和艺术学院。艺术学院是供学生和教学人员使用的教学与研究机构,包括办公室、教室、演播厅、阅览室等;博物馆向公众开放,包括 4 个展厅、1 个中央展厅、2 个文物库房等。2 个区域均有其入口和大厅,通过一个位于演讲厅旁的共享大厅连接。

博物馆建筑中文物储存及展示空间的室内温

湿度要求较高,且室内装修和外立面对室内风口、外墙百叶、室外设备的布置都提出了严格的要求,这些因素都增加了空调系统设计的难度。

2 冷热源设计

2.1 室内设计参数(见表 1)

表 1 室内设计参数

	温度/℃		相对湿度/%		新风量/(m ³ / (人·h))	A 声级噪 声/dB
	夏季	冬季	夏季	冬季		
展厅	24±1	20±1	50±5	50±5	30	<40
文物库房	24±1	20±1	50±5	50±5	30	<40
演播厅	26	20	55	40	20	<45
办公室	26	20	55	40	30	<45
教室	26	20	55	40	20	<40

研究表明,影响文物的主要因素有:温度、湿度、光照、空气污染物、微生物等,其中温度和湿度相互影响、相互作用,是直接影响甚至决定文物一切物理、化学、生物作用的 2 个最基本条件^[1]。本工程设计之初就要求主要展厅的室内环境能满足引进国际交流展品的要求,西方国家博物馆大都将

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: yangy@zuadr.com

收稿日期:2013-06-13

修回日期:2013-07-22

所有展厅的温度全年控制在 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ ^[2],考虑到夏季展厅温度设定为 22°C 会使展厅内人员感觉偏冷,同时从节能角度出发,本工程将展厅夏、冬季温度分别设定为 24°C 和 20°C ,博物馆展厅的环境控制则按照西方国家博物馆的要求将整个展厅维持在温度波动 $\pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度波动 $\pm 5\%$ 的精度范围内。

2.2 冷热源配置

整幢建筑冷负荷为 $2\,144\text{ kW}$,考虑展厅等恒温恒湿区域的再热冷负荷后,建筑冷负荷为 $2\,550\text{ kW}$;建筑热负荷为 $1\,343\text{ kW}$ 。单位面积冷负荷指标为 101 W/m^2 ,热负荷指标为 52 W/m^2 。

本工程空调冷源选用额定制冷量为 882 kW 的螺杆式水冷冷水机组 3 台,设计空调供冷供回水温度为 $6^\circ\text{C}/12^\circ\text{C}$,较低的空调冷水温度为除湿提供了有力的保障,适当增大温差使冷水流量减少了近 17% ,冷水管管径和冷水泵的配电容量及管道占用的吊顶空间也相应减小。

热源选用额定供热量为 698 kW 的燃气真空热水锅炉 2 台,用于冬季空调供热和展厅等恒温恒湿区域的再热。燃气真空热水锅炉总额定供热量为 $1\,396\text{ kW}$,设计空调供热供回水温度为 $60^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}$ 。

3 空调风系统设计

展厅、文物库房、演讲厅、门厅采用全空气系统。展厅、文物库房采用上送下回的气流组织方式。演讲厅的送风先送至地板下的混凝土消声保温静压腔,再通过每个座椅下的非承重送风柱送至房间内,回风通过吊顶上的回风口回至空调机组。入口大厅顶部由于直接采用暴露的现浇混凝土密肋梁作为装饰,无法采用上送风,因此采用沿玻璃幕墙布置的地板格栅送风口向上送风,侧墙顶部条形风口回风。办公室等小空间均采用风机盘管加新风系统。

博物馆展厅室内设计参数要求较高,对空调系统的设计提出了较高的要求。

3.1 展厅空气处理过程

展厅采用带转轮热回收的双风机一次回风定风量全空气系统,夏季和冬季空气处理过程见图2。

为了达到相应的温湿度精度和实现较好的气流组织,系统制冷模式设计工况下的计算送风温差设定为 7°C 。计算过程取全热回收装置的全热回

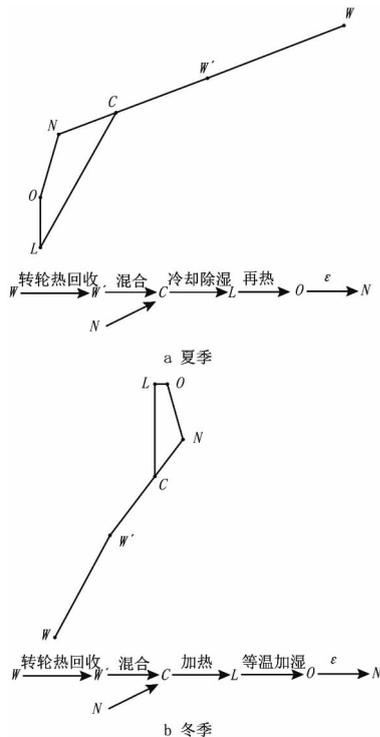


图2 展厅夏季和冬季空气处理过程

收和显热回收效率均为 60% ,展厅人员密度取 0.4 人/m^2 。以展厅1为例进行计算,焓湿图计算参数和结果如表2所示。

表2 展厅1焓湿图计算参数和结果

夏季室内冷负荷/kW	64.1
冬季室内热负荷/kW	21.3
室内散湿量/(kg/h)	20.5
新风量/ m^3/h	8 000
排风量/ m^3/h	7 200
送风量/ m^3/h	20 750
夏季空调机组热回收量/kW	57.5
夏季空调机组供冷量/kW	156.8
夏季空调机组再热量/kW	39.4
冬季空调机组热回收量/kW	47.3
冬季空调机组供热量/kW	72.6
冬季空调机组加湿量/(kg/h)	12

从图2和表2可以看出,转轮热回收空调机组在满足封闭展厅的新风和排风需求的同时回收显热和潜热,能在冬季减少加热量和加湿量,在夏季减少制冷量和除湿量。

3.2 展厅温湿度控制方式

在展厅的典型区域设置温湿度传感器,3个一组,然后通过3倍冗余逻辑方法计算得出展厅温湿度。3倍冗余计算方法如下:有3个传感器A,B和C,将其测得的温湿度参数先两两一对相减,如A-B,B-C,C-A,然后选出所得绝对差值最小的一对,

对这对数据求平均值,作为该区域的温湿度值。

由于表冷器兼具降温和除湿功能,其运行既关系到室内干球温度,又牵涉到室内相对湿度,所以需要同时对两个信号进行控制,通过选择器进行比较,从两个信号中选取较大者,作为有效信号来控制表冷器的运行^[3]。加热器和加湿器的功能单一,可分别由温度控制器和湿度控制器进行控制。

如图3所示,在转轮热回收装置的新风和排风入口设置焓值传感器,分别测量排风与新风的比焓,夏季当新风比焓高于排风比焓时(冬季工况相反),焓值传感器通过转轮控制器启动转轮进行热回收。

3.3 展厅气流组织

本工程4个展厅的面积在500~1000 m²之间,吊顶高度均不小于4.5 m。在如此大的空间内

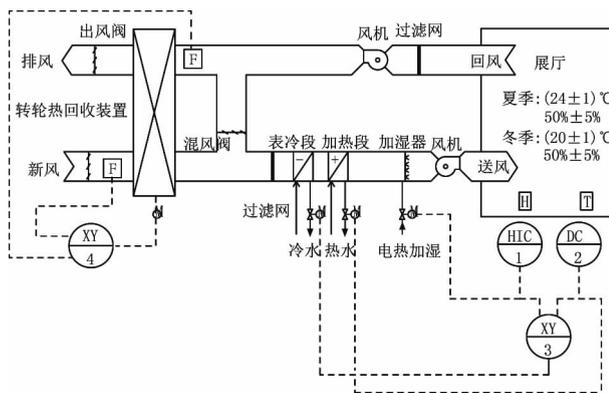


图3 展厅温湿度自动控制系统

要保证温湿度的稳定和均匀,需要良好的气流组织。如图4所示,展厅采用上送下回的气流组织方式。送风口配合装修要求采用条缝风口均匀布置在吊顶上,保证送风均匀,利用展厅室内石膏板背

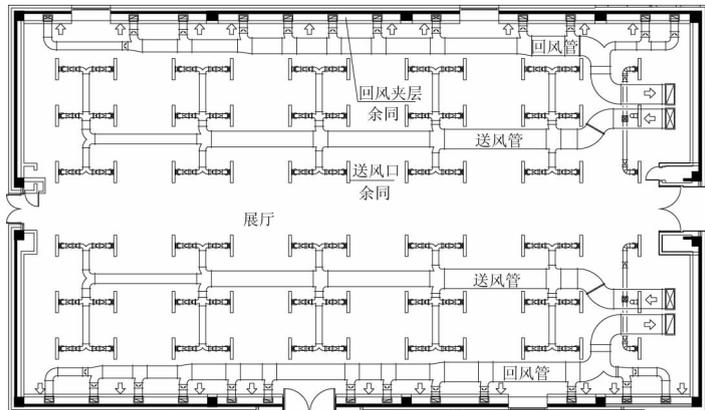


图4 展厅空调风管平面

衬墙和围护结构外墙之间约350~500 mm厚的夹层进行回风。室内石膏板背衬墙和地板之间沿展厅长边留出60 mm高的通长间隙作为底部回风槽,既保证了回风的均匀性和较低的回风风速,同时底部细长隐蔽的回风槽也保证了展厅的美观。

3.4 展厅空节能运行措施

本工程在其中2个展厅各预留了一套展柜空调系统。当只需保证展柜内的恒温恒湿要求时,就可启用展柜空调系统,展柜外的展厅空间可按舒适性空调模式运行,既能保证展品和参观人员的温湿度要求,又可减少运行能耗。展柜空调机组采用一次回风定风量全空气系统,不设排风,送入少量新风以维持相对展厅的微正压,其余控制方式与展厅空调系统相同。展柜内的温湿度精度要求为温度波动范围±1℃,相对湿度波动范围±5%。

根据展厅空调运行过程中参观人员的变化规律,采取分时段调节新风量的措施,例如早晨刚开馆和夜间闭馆期间可减少新风量运行,从而减少空调能耗。但是为了防止新风量波动对展厅温湿度造成影响,不能频繁地调节新风量。以展厅1为例对不同时段的新、排风量进行计算。展厅1设有2 m×3.5 m的单层窗4扇,总缝隙长度为44 m;设有2.2 m×2.4 m的门2扇,总缝隙长度为23.2 m。维持室内正压10 Pa时,单层窗的缝隙渗透风量为4.0 m³/(m·h),门的缝隙渗透风量为23.5 m³/(m·h)^[4]。经计算,维持展厅正压所需的风量为721 m³/h。在展厅刚开馆和夜间闭馆期间调整风阀开度,将新风量设定为721 m³/h,同时关闭排风阀;在正常时段送入设计工况所需的新风量8000 m³/h,并设定排风量为7219 m³/h。

4 空调水系统设计

本工程空调水系统为四管制(局部两管制)。展厅、文物库房等恒温恒湿区域采用四管制;教学区、公共区域采用两管制,通过设置在冷热水管上的电动蝶阀进行冬夏季管路切换。空调冷水系统采用两级泵系统,一级泵定频,二级泵变频。空调热水系统采用一级泵系统,一级泵变频。用户侧空调水循环系统划分为3个区域,分别为艺术品展览储存区、公共区和教学区。水泵根据各分区供回水管的压差变频运行,以减少水泵能耗。

所有新风机组和空调机组的空调冷热水回水管设置动态平衡电动调节阀,保证在调节机组水量时不会改变系统的原有平衡。在风机盘管供回水管分区处设置静态流量平衡阀,以平衡各区域的供水流量。采用异程式连接的区域,每个风机盘管均设置动态平衡电动两通阀;采用同程式连接的区域,每个风机盘管均设置电动两通阀。

5 空调系统消声减振设计

为了提升博物馆的声学品质,给参观者提供一个安静、舒适的参观环境,必须对博物馆展厅等功能区域的背景噪声进行控制。

噪声控制的主要内容包括以下几个方面:防止外部环境噪声传入房间内部;防止设备用房对功能用房的噪声干扰;楼板撞击声控制;设备振动控制及设备间噪声控制。主要手段是提高房间门、墙体、楼板等的隔声量,要求门采用隔声门,计权隔声量不小于35 dB,功能用房和设备机房的隔墙、楼板的计权隔声量不小于50 dB;设备机房内的设备进行隔振处理;设备机房墙面作吸声处理。

空调系统内各类空调设备在运行时,其振动和噪声会沿着基础、楼板、墙体及管道等传递,直接安装在楼板上的设备会引起楼板振动并产生噪声,因此空调系统的噪声控制是民用建筑噪声控制的重点。

针对上述分析,浙大艺博馆的空调系统采取了以下消声减振措施。

冷热源机房设置在博物馆西北角独立的设备机房区域,其中2层为制冷机房,3层为锅炉房,屋面设置冷却塔。该区域离人员活动区域较远,从物理空间上将主机、水泵等设备的噪声进行了隔离。

空调机房墙面及吊顶采用穿孔钙板吸声结构,墙面做法为穿孔硅钙板(穿孔率2%和20%间隔布置)加50 mm厚离心玻璃棉,与刚性墙面之间留出

50 mm空腔。顶部吊顶吸声结构做法为穿孔硅钙板(穿孔率20%)加50 mm厚离心玻璃棉加吊顶空腔。演讲厅混凝土座椅送风静压腔内贴50 mm厚离心玻璃棉。

空调水管、风管与设备进出口连接均采用柔性连接。展厅、演讲厅的空调送风管采用两级消声,回风采用一级消声。

空调机组采用混凝土梁作为基座,同时在梁下安装带阻尼弹簧的隔振器。制冷机组设备自身质量大,转速高,所以隔振要求也相对较高,采用钢筋混凝土板混合结构作为基座进行隔振,以降低隔振体系的重心,提高隔振体系的稳定性,并采用阻尼弹簧减振隔振器,使传到支撑结构上的干扰力尽可能地小。为使水泵隔振传递率达到规定要求、隔振元件受力均匀、设备振动得到控制,水泵隔振基座要有一定的质量和刚度,设计确定隔振基座的质量必须是水泵质量的1.5倍以上。

通过以上消声减振设计可以将空调系统产生的噪声控制在要求的范围内。

6 设计体会

博物馆的室内设计参数要满足展品的要求并结合人员的舒适度来确定。本工程通过适当调整展厅温度和预留展柜空调来满足博物馆的不同需求,并达到节能运行的目的。

展厅的恒温恒湿要通过详细的空气处理过程计算,采用合理的温湿度控制方式和气流组织等多种手段来保证,同时也要对建筑围护结构提出较高的要求。转轮热回收装置的设置可以减少能耗。

空调系统产生的噪声是建筑物噪声的主要来源之一,合理的消声减振措施要根据建筑声学品质的具体要求来制定,既要保证建筑的使用要求,又要经济合理。

参考文献:

- [1] 喻李葵,侯华波,陈焕新. 博物馆文物保存温湿度指标及其实现方式[J]. 建筑热能通风空调,2007,26(1):25-28
- [2] 盛晓康,董静. 中国国家博物馆暖通空调系统设计[J]. 暖通空调,2011,41(10):1-5
- [3] 郑幼明,俞春尧,张学军. 博物馆恒温恒湿文物环境控制系统的建立和优化设计[J]. 文物保护与考古科学,2008,20(增刊):32-39
- [4] 住房和城乡建设部工程质量安全监管司,中国建筑标准设计研究所. 全国民用建筑工程设计技术措施 暖通空调·动力[M]. 北京:中国计划出版社,2009:86