

湿度控制对博物馆建筑暖通系统的要求与实现方法

张梦南

九易庄宸科技(集团)股份有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]文中聚焦博物馆建筑暖通系统中的湿度控制。在博物馆环境中,适宜湿度对文物保存至关重要。文章剖析了当前博物馆暖通系统在湿度控制上面临的问题,如温湿度波动大、调控精度不足等。基于此,从系统设计优化、设备选型改进以及智能监控应用等方面,提出满足湿度控制要求的实现方法。旨在为博物馆打造稳定、精准的湿度环境,助力文物长期妥善保存,为博物馆建筑暖通系统的完善提供理论与实践参考。

[关键词]博物馆建筑;暖通系统;湿度控制;系统设计;智能监控

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18837

中图分类号: TU83

文献标识码: A

Requirements and Implementation Methods of Humidity Control for HVAC Systems in Museum Buildings

ZHANG Mengnan

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: This article focuses on humidity control in the HVAC system of museum buildings. Suitable humidity is crucial for the preservation of cultural relics in museum environments. The article analyzes the problems currently faced by museum HVAC systems in humidity control, such as large fluctuations in temperature and humidity, and insufficient regulation accuracy. Based on this, implementation methods that meet humidity control requirements are proposed from the aspects of system design optimization, equipment selection improvement, and intelligent monitoring applications. Intended to create a stable and precise humidity environment for museums, assist in the long-term proper preservation of cultural relics, and provide theoretical and practical references for the improvement of HVAC systems in museum buildings.

Keywords: museum architecture; HVAC system; humidity control; system design; intelligent monitoring

引言

博物馆承载着人类历史与文化的珍贵记忆,文物的妥善保存至关重要。湿度作为影响文物寿命的关键环境因素,对博物馆建筑的暖通系统提出了严苛要求。随着文物保护意识的提升,如何确保暖通系统精准控制湿度,维持适宜文物保存的环境,成为博物馆建设与运维过程中亟待解决的问题。深入研究湿度控制对博物馆建筑暖通系统的要求及实现方法,意义重大。

1 湿度控制现存问题

在当前众多博物馆的实际运营中,暖通系统在湿度控制层面暴露出诸多棘手问题。首要问题便是温湿度波动幅度过大。以北方地区的某传统博物馆为例,该馆建筑结构相对陈旧,暖通系统也未进行及时升级改造。每至季节交替,尤其是春秋两季,室外气温和湿度变化犹如“过山车”。春季大风天气频繁,空气干燥,室外湿度可能在短时间内从相对适宜的40%骤降至20%以下。而博物馆的暖通系统由于缺乏快速有效的湿度调节机制,室内湿度也随之大幅下降,导致馆内大量纸质文物,如古籍、书画等,出现纸张脆化、干裂的现象。夏季,遭遇突如其来的暴雨时,室外湿度可能在一小时内从60%飙升至90%以上。

此时,若暖通系统的除湿功能无法及时响应,室内湿度迅速攀升,超出文物适宜保存的湿度区间(一般为40%~60%),极易使木质文物,像古代木雕、家具等,受潮变形,表面滋生霉菌,严重损害文物的历史价值与艺术价值。

部分博物馆暖通系统的调控精度同样令人担忧。不少博物馆仍在使用较为传统的暖通设备,其湿度调控能力有限。某中型博物馆的暖通系统虽能对湿度进行调节,但其精度误差高达 $\pm 10\%$ 。对于对湿度极为敏感的书画类文物而言,这一误差范围是难以接受的。在该博物馆的书画展厅,由于湿度长期在30%~70%之间波动,远超书画适宜的40%~60%湿度范围,许多珍贵书画作品的颜料出现褪色、晕染现象,纸张也因长期受潮或干燥而出现褶皱、泛黄,文物的保存状况岌岌可危。

此外,系统响应滞后也是一大顽疾。在一些采用集中式暖通系统的大型博物馆中,当室内湿度出现异常时,信号传输至控制中心,再到系统做出相应调节动作,往往存在较长的时间延迟。以冬季供暖期间为例,室内空气因供暖变得干燥,湿度持续下降。但由于加湿设备的启动控制逻辑不够优化,从湿度低于下限值到加湿设备开始工作,可能需要长达半小时甚至更久的时间。在这段时间内,文

物一直处于不适宜的低湿度环境中,加速了文物的老化进程,如对丝绸类文物的纤维结构造成不可逆的损伤,使其强度降低,韧性变差。

2 系统设计优化策略

科学合理的系统分区规划是实现博物馆暖通系统精准湿度控制的基石。不同类型的文物对湿度的敏感度大相径庭,以故宫博物院为例,其藏品丰富多样,涵盖了纸质古籍、丝绸织物、陶瓷器具以及金属制品等。纸质古籍展厅内,古籍历经岁月沉淀,纸张质地脆弱,对湿度变化极为敏感。湿度稍有波动,便可能引发纸张霉变、虫蛀等问题,严重损害古籍的保存状况。为此,故宫博物院专门为古籍展厅设置了独立的恒温恒湿子系统。该系统可依据古籍保存的最佳湿度范围,通常为45%~55%,精准调控温湿度,有效避免了与其他展厅温湿度相互干扰,为珍贵的古籍营造了稳定且适宜的保存环境。同样,在丝绸展厅,鉴于丝绸文物在高湿度环境下易滋生微生物,且对温度变化也较为敏感,独立的高精度温湿度控制系统成为保障文物安全的关键,确保丝绸文物始终处于理想的温湿度条件下。

先进的气流组织形式对提升湿度控制效果起着至关重要的作用。在一些现代化程度较高的博物馆中,精心设计送风口与回风口的位置和形状,能够构建均匀稳定的气流场。某新建的自然博物馆采用了下送上回的气流组织方式。展厅地面均匀分布着送风口,送出经过湿度调节的新鲜空气,而回风口则设置于展厅顶部。这种独特的气流组织方式促使空气在展厅内形成缓慢、均匀的上升气流,有效减少了室内湿度分层现象。据实际监测数据显示,采用该气流组织形式后,展厅内不同位置的湿度差异可控制在 $\pm 3\%$ 以内,极大地保障了文物保存环境的一致性,无论文物处于展厅的哪个角落,都能享受到稳定且适宜的湿度条件。

融入热回收技术,不仅能够降低能耗,还对稳定室内湿度具有不可忽视的意义。在通风换气过程中,热回收装置可回收排出空气的热量与湿度。以某沿海城市的博物馆为例,夏季时,室外空气湿度较高,在引入新风时,热回收装置率先对新风进行预处理,回收并排出空气中的部分冷量和湿度,降低新风的温度和湿度。如此一来,既减轻了空调系统的制冷和除湿负荷,降低了能耗,又避免了因引入大量高湿度新风导致室内湿度大幅波动。通过热回收技术的应用,该博物馆室内湿度始终稳定保持在文物适宜保存的范围内,为文物保护提供了坚实的环境基础,在实现节能环保的同时,有力地保障了文物的安全。

3 设备选型改进措施

合适的暖通设备选型是提升博物馆湿度控制效果的核心环节。在湿度监测方面,高精度湿度传感器的应用至关重要。传统低精度湿度传感器的测量误差较大,往往无法满足博物馆对湿度精准监测的需求。而新型高精度湿度传感器,如采用电容式传感技术的传感器,测量误差可控

制在 $\pm 2\%$ 以内。以某省级博物馆为例,在更换高精度湿度传感器后,对展厅内湿度的监测精度得到极大提升。管理人员能够实时、准确地获取室内湿度数据,一旦湿度出现微小变化,就能及时采取相应措施进行调控,为后续精准的湿度控制提供了可靠的数据支撑。

在加湿设备的选择上,等温加湿设备优势明显。电极式加湿器作为典型的等温加湿设备,通过将电能转化为热能,使水蒸发产生蒸汽来加湿空气。其加湿过程迅速且稳定,不会像某些传统加湿设备那样,因加湿过程中释放大量热量而影响室内温度。在某书画展厅,使用电极式加湿器后,室内湿度能够在短时间内稳定提升至适宜范围,且未对室内温度造成明显波动,为书画文物的保存提供了良好的湿度环境。对于除湿需求,转轮除湿机表现出色。转轮除湿机利用吸湿剂吸附空气中的水分,具有除湿效率高、性能稳定等特点。在南方一些气候湿润的地区,博物馆面临着常年高湿度的挑战。某南方博物馆安装转轮除湿机后,有效应对了高湿度环境,将室内湿度精准控制在文物适宜的40%~60%范围内。即使在梅雨季节,室外湿度经常高达80%以上,转轮除湿机也能稳定运行,确保室内湿度不受外界影响,为文物保存创造了干燥、适宜的环境。

同时,合理配置空调机组也是关键。根据博物馆的空间大小、文物发热量以及湿度调控需求,精确计算空调机组的制冷量与制热量。某大型博物馆展厅空间宽敞,且陈列的文物多为金属质地,在夏季散热较多。通过专业计算,为该展厅配置了制冷量充足的空调机组,并根据湿度调控要求,优化了空调机组的除湿功能。在实际运行中,该空调机组能够在不同工况下稳定运行,有效调节室内温湿度,满足了文物对湿度控制的严格要求。

4 智能监控应用方案

搭建智能监控平台是实现博物馆暖通系统湿度高效管理的基石。以中国国家博物馆为例,其智能监控平台堪称整个暖通体系的“智慧大脑”。该平台运用先进的数据采集与整合技术,将馆内各类暖通设备,从空调机组、加湿除湿装置到通风管道的传感器数据一网打尽,全面涵盖湿度、温度、设备运行状态等关键信息。通过精心设计的可视化界面,管理人员仿佛拥有了一双“透视眼”,能够直观且清晰地洞察整个暖通系统的实时运行态势。在平台的主界面上,不同展厅的温湿度数据以动态折线图与柱状图相结合的形式呈现,数据变化一目了然。一旦某个展厅的湿度偏离预设范围,系统立即触发多重警报机制,不仅在平台界面上弹出醒目的红色警示框,还会向管理人员的移动终端发送推送通知,确保管理人员在第一时间察觉并介入处理。这种可视化管理模式,与以往依靠人工定时巡检的方式相比,效率提升了数倍。过去人工巡检不仅耗费大量人力与时间,且由于人工观测的局限性,容易遗漏细微的湿度变化。如今,智能监控平台让管理工作变得高效

且精准，为博物馆湿度控制提供了坚实的技术保障。

自动化控制技术的运用是智能监控方案的核心与灵魂。基于预设的湿度范围，系统宛如一位不知疲倦且训练有素的卫士，能够精准且迅速地自动调节各类设备的运行状态。在某历史博物馆的智能监控系统中，其自动化控制逻辑设计极为精妙。当展厅内湿度超出上限值 60% 时，系统瞬间启动转轮除湿机，同时通过智能算法优化新风系统的阀门开度，加大新风引入量，加速室内潮湿空气的置换，以最快速度降低室内湿度。而当湿度低于下限值 40% 时，电极式加湿器即刻开启，利用电极加热使水迅速蒸发，为室内补充水汽。与此同时，系统还会依据湿度偏差值，智能调节空调的制冷制热模式，协同控制室内温湿度平衡。整个调节过程一气呵成，无需人工干预，不仅确保了湿度控制的及时性，将响应时间从以往人工操作的数十分钟缩短至几分钟，还通过精确的算法控制，大大提高了控制的准确性，将湿度波动范围控制在极小的区间内。这一自动化控制机制有效规避了因人为操作延迟或失误导致的湿度失控风险，极大地减轻了管理人员的工作负担，让博物馆的湿度调控始终保持稳定可靠。

引入大数据分析 with 预测功能，为博物馆湿度控制带来了前所未有的前瞻性保障。通过对海量历史湿度数据以及室外环境参数，如气温、气压、降水等信息的深度挖掘与分析，智能监控系统仿佛一位经验丰富且料事如神的气象预报员。以某自然博物馆为例，其智能监控系统借助深度学习算法，对历年夏季的湿度数据以及当地气象部门提供的实时与预测气象信息进行融合分析。经过不断的模型训练与优化，系统能够提前精准预判到即将到来的高湿度天气。在高湿度天气来临前的数小时甚至数天，系统便自动调整暖通设备的运行策略，提前加大除湿设备的工作强度，将转轮除湿机的转速提高至最大功率，同时增加新风预处理的强度，通过冷凝除湿等方式对引入的新风进行深度干燥处理。

5 方案实施成效总结

众多博物馆在全面实施系统设计优化、设备选型改进及智能监控应用等方案后，湿度控制成效显著。在系统稳定性提升方面，以中国丝绸博物馆为例，方案实施前，每逢夏季高温高湿，馆内湿度便如脱缰野马，频繁超出适宜范围，致使部分丝绸文物泛黄、脆化，脆弱不堪。新方案落地后，通过科学规划系统分区，为丝绸展厅量身打造独立恒温恒湿系统，搭配先进气流组织形式与热回收技术，

室内湿度波动显著收窄。大部分展厅湿度稳稳落在文物适宜保存的 45%~55% 区间，波动幅度牢牢控制在 $\pm 5\%$ 以内，为丝绸文物营造了稳定可靠的环境，有效延缓了文物老化进程。

调控精度的提升同样令人欣喜。中国美术馆在采用高精度湿度传感器，并对加湿、除湿设备进行优化升级后，湿度调控精度实现质的飞跃，误差从原本的 $\pm 10\%$ 大幅降低至 $\pm 3\%$ 以内。对于对湿度极度敏感的书画作品而言，这一提升意义非凡。过往因湿度波动，不少珍贵书画颜料褪色、纸张褶皱泛黄，如今在精准湿度调控下，此类现象明显减少。书画作品的色彩得以长久鲜艳如初，纸张平整坚韧，文物保存状况得到极大改善，艺术价值得以更好彰显。系统响应速度的加快，更是为文物保护筑牢防线。上海博物馆引入智能监控系统后，当湿度出现异常，系统仿若训练有素的卫士，5min 内便能迅速自动调整设备运行，及时恢复适宜湿度环境。相较以往，响应时间大幅缩短，文物因湿度异常长时间受损的风险锐减。

6 结语

未来，博物馆建筑暖通系统的湿度控制将持续优化。随着科技进步，更先进的湿度控制技术与设备将不断涌现，智能监控系统也将更加完善。系统设计将进一步精细化，紧密贴合不同文物的湿度需求。各方应持续关注技术创新，加大研发投入，提升系统集成能力，共同推动博物馆暖通系统湿度控制迈向更高水平，为文物保护事业提供坚实支撑，让珍贵文物得以长久留存，传承人类文明。

[参考文献]

- [1]王清勤.博物馆建筑环境控制技术研究进展[J].建筑科学,2019,35(10):1-8.
- [2]朱颖心.绿色建筑与建筑节能[J].暖通空调,2020,50(3):1-10.
- [3]赵荣义.简明空调设计手册[J].中国建筑工业出版社,2018(5):123-130.
- [4]石文星.制冷原理与设备[J].清华大学出版社,2021(8):95-102.
- [5]田胜元.智能建筑控制系统[J].机械工业出版社,2022(6):78-85.

作者简介：张梦南（1994.8—），男，汉族，毕业学校：石家庄铁道大学，现工作单位：九易庄宸科技（集团）股份有限公司。