

办公建筑大空间空调系统性能优化分析

金松

(上海建工一建集团有限公司, 上海 200437)

摘要 为满足大空间的空调舒适度, 改善热空调的效果, 暖通系统采取的措施主要有大空间空调分层设计、中央空调与低温辐射地暖相结合、采用射流喷口等, 然而受建筑结构及装饰立面设计限制, 依靠传统的经验并不能很好地保证构筑物内大堂的热空调效果。基于此, 本文针对案例办公楼大堂大空间变风量热空调系统, 通过热空调设计与检测调试, 提出一套灵活实用的空调系统, 以期对相关人员进行有益参考。

关键词 办公建筑; 大空间; 空调箱; 风口; 阀门

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.031

0 引言

随着人类生活形态多元化及建筑功能需求的扩展, 各类如展厅、中庭、电影院、办公大堂等大空间建筑愈发受到人们的关注。为满足此类大空间的空调舒适度, 暖通空调技术也在不断革新, 如通过对大空间空调进行分层设计、中央空调与低温辐射地暖相结合、大堂区域采用射流喷口等措施, 来改善大堂热空调的效果^[1-2]。然而, 每个构筑物都有其独特性, 往往受结构及装饰立面设计限制, 依靠传统的经验并不能很好地保证构筑物内大堂的热空调效果。本文依托某超高层办公楼一层办公大堂的热空调设计与测评, 针对办公楼大堂大空间变风量热空调系统, 提出优化设计建议。

1 办公建筑大空间空调系统概述

某超高层项目位于上海市静安区, 项目总建筑面积 100 040 m², 其中汇集了约 64 350 m² 的国际甲级办公,

约 8 600 m² 精品商业复合业态, 为典型的上海老城区重建项目。该项目地处老城区, 空间狭小, 寸土寸金, 建筑设计中分配给机电系统安装的空间较为局促, 附近没有能源站, 即没有外接冷热源, 大楼内部需设置独立的冷热源设备, 建设方对装饰面如净空、墙体装饰面厚度、立面美观度等有极高的要求, 机电管线安装难度大, 超高层建筑、垂直跨度大, 空调排水管程长。

综合以上特点, 本项目空调系统采用以空气源热泵作为冷热源, 空气源热泵安装灵活, 无需固定能源站, 可满足室内外安装需求。VAVbox 变风量末端能根据负荷动态调节风量, 符合节能要求^[3]。空调水系统采用同程式设计, 可有效平衡各支路阻力, 避免因水程长导致的供冷/热不均^[4]。

空调水采用同程式系统, 设计参数如表 1 所示。

其中, 办公大堂区域的空调箱设置于地下一层的空调机房内, 新风取自机房内的土建自然风道, 在空调机

表 1 闸北广场合并重建城市更新项目空调设计参数

建筑名称	房间名称	夏季		冬季		人均使用面积 (m ² /人)	新风量 (m ³ /h·P)	噪声标准 dB (A)	备注
		温度(°C)	相对湿度 (%)	温度(°C)	相对湿度 (%)				
上海闸北广场合并重建城市更新项目	办公	24	≤ 55	20	≥ 45	8	30	≤ 45	
	会议室	24	≤ 55	20	≥ 45	2.5	30	≤ 40	
	商业	24	≤ 60	22	—	2.5	20	≤ 55	
	餐厅	24	≤ 60	22	—	2.5	30	≤ 55	
	办公大堂	26	≤ 65	18	—	15	10	≤ 50	
	电梯厅	26	≤ 65	18	—	8	20	≤ 45	

作者简介: 金松 (1979-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑机电。

组送风侧接入回风段进行混合。送风管通过核心筒内的风管井上升到大堂顶部，沿大堂顶板敷设，再沿幕墙边梁柱下引至 6 m 高度。回风管经大堂柱边穿楼板下至地下一层，接至空调机房。

地下一层的采用单台风量为 32 000 m³/h、标准制热工况为 200 kW 的组合式空调机组作为空调送风设备，空调供回水温度 43.5 °C /38.5 °C。地面辅以供回水温度为 45 °C /40 °C 的低温辐射地暖。在标准工况下，地暖地面目标温度为 28.5 °C。一层大堂空调送风系统图如图 1 所示。

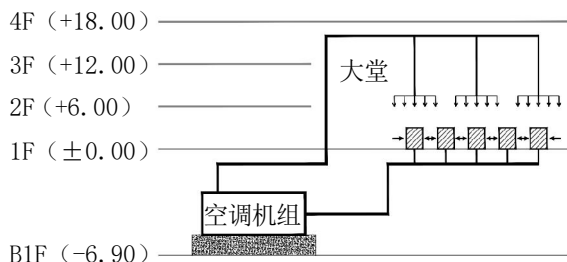


图 1 一层大堂空调送风系统图

由于本项目大堂立柱与梁板的设计限制，此大空间无法布置分层的送风口，仅有 6 m 处靠近幕墙侧的横梁可以供给安装送风口。初始设计时，大堂空调送风口为大空间常用的球型射流风口，但因球型射流风口较厚，安装需要较宽的装饰包裹空间，无法满足建设方对装饰面的美观需求，故经设计院同意后调整为单层百叶风口。

2 原设计空调效果评测

为了验证大堂热空调的效果，制定了专项调试方案，对大堂进行了测试。在空调箱最大频率运行，水阀、风阀全开的情况下，通过电子温度计测量距地 1.5 m 处温度。在大堂区域选取四个点：p1、p2、p3、p4，当室外温度为 7 °C 时，分别量得温度为 16 °C、15 °C、14 °C、15 °C，大堂温度取平均值 15 °C（如图 2 所示）。

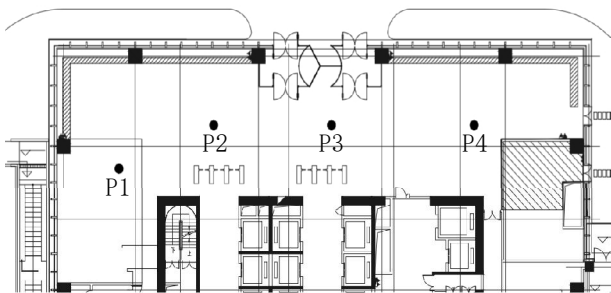


图 2 大堂测温点位

在室外大气湿球温度为 6 °C、空调供回水 44 °C / 39 °C 的情况下，测得温度分层情况如表 2 所示。

表 2 热成像仪测得空间温度

距地高度 (m)	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)	平均温度 (°C)	设计目标温度 (°C)
0	31.6	27.9	29.8	28.5
1.5	15.7	14.8	15.3	18
3	15.9	14.9	15.4	18
4.5	16.2	14.9	15.6	18
6	20.1	18.7	19.4	18
9	22.9	21.4	22.2	18
12	23	23.6	22.8	18
15	23.8	23.7	23.8	18
18	24.3	24.1	24.2	18

其中，距地 0 m 即低温辐射地暖地板温度。送风口位于 6 m 处的靠近幕墙侧的横梁上，风口形式为单层百叶风口，测得风口出风平均温度为 31.5 °C。回风口平均温度 14.7 °C。根据表 2 可知，在地面 1.5 ~ 4.5 m 空间，温度低于设计目标值，6 m 以上满足或超过设计目标值，热量存在严重分布不均的情况。

至此，我们可以得出结论，原设计存在严重的温度分层问题，核心原因如下：

1. 烟囱效应：大空间垂直尺度大（18 m），热空气自然上升特性显著，单层百叶风口送出的热空气（出风温度 31.5 °C）无法到达下部空间，迅速上浮至顶部。
2. 风口性能不足：单层百叶风口射流系数仅 0.6 ~ 0.8（球型射流风口可达 1.2 ~ 1.5），射流距离短，无法将热空气输送至距地 1.5 ~ 4.5 m 区域^[5]。

3. 地暖辅助有限：地暖虽达到设计温度（29.8 °C），但热量仅能向上辐射 1 ~ 2 m，无法覆盖 3 m 以上区域，且与空调热风无协同作用。

需注意的是，原设计大堂单位面积热负荷为 80 W/m²，远高于《公共建筑节能设计标准》（GB 50189-2015）中高级办公楼大堂 60 W/m² 的限值，说明系统总供热量满足要求，问题根源在于气流组织不合理，而非设备能力不足^[6]。

3 办公建筑大空间空调系统性能优化方案

根据热空气上升、冷空气下降的空气对流基本原理，采用上送下回的空调送风模式时，一层大堂的空调在制冷工况下，可以很好地达成设计目的，人体舒适度感受良好。但同样的系统，在制热工况下，即使过剩的热负荷参数，消耗更多的能源，却无法满满足人体对热空调的舒适度需求。

热空气自然上升的特性，若无喷流风口将热空气送至低处，则上送下回式布置的空调效果远不如下送上回式。基于上述情况，设计一种可以实现夏季上送下回，冬季下送上回的空调系统，就成为最优的解决方案。

为达成此目的，在不修改已完成装饰面区域的管线风口布置的前提下，对地下一层空调机房内的接管进行了优化。优化方案仅修改空调箱进出口处的风管，最大程度地保留了原有的系统路由。

优化后的空调机房内相比原设计方案，新增4个开关阀（若想实现远程控制，则可选用电动开关阀），夏季冷空调工况，1#与2#阀门开启，3#与4#阀门关闭，空调风路与原设计风管路由一致，当切换至冬季热空调工况时，1#与2#阀门关闭，3#与4#阀门开启，实现送风口与回风口的互换。冬季原6 m处送风口变为回风口，原地面回风口变为送风口，夏季则相反（如图3所示）。

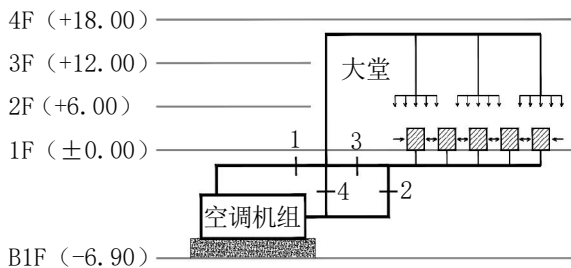


图3 一层大堂空调优化后送风系统图

4 办公建筑大空间空调系统性能优化效果

经过为期两周的空调机房风管改造，最终完成了上文所述的优化方案改造。

将阀门切换至制热工况，一层大堂空调顺利调整为了下送上回式送风空调。选取室外大气湿球温度5℃、水阀风阀全开的条件下，借助热成像仪同样对优化后的大堂空调进行了温度测量，结果如表3所示。

表3 优化后的大堂空间温度

距地高度(m)	最高温度(℃)	最低温度(℃)	平均温度(℃)	原平均温度(℃)	设计目标温度(℃)
0	33.7	31.2	32.5	29.8	28.5
1.5	26.4	24.8	25.6	15.3	18
3	25.9	24.7	25.3	15.4	18
4.5	26.7	24.2	25.0	15.6	18

通过测量结果可知，优化后的热空调效果在人体舒适度感知区域有了极大的改善，较原有空调该区域

平均提升空间温度10℃。且有较大的盈余空间，为后续大堂空调的节能目的留足了空间。

优化成果汇总如下：

1. 舒适度提升：距地1.5~4.5 m区域平均温度从15.4℃提升至25.3℃，远超设计目标18℃，人体舒适度显著改善（PMV值从-1.8降至-0.3，达到“舒适”等级）。

2. 能耗优化：因温度达标，可降低空调箱运行频率（从50 Hz降至35 Hz），实测系统能耗降低18.5%，年节约电费约2.3万元。

3. 稳定性：连续1个月监测显示，系统温度波动范围≤±1.2℃，远优于原设计±3.5℃的波动范围，满足精密空调控制要求。

5 结束语

在民用建筑机电设计中，大空间空调系统因空间尺度大、负荷波动性强、功能需求多元等特点，导致设计参数难以精准匹配，成为影响建筑能效与舒适性的主要技术障碍。结合国内的建筑行业形势，大空间空调往往存在与超高层建筑大堂共通的疑难点。例如：建筑主体未预留分层空调送风口的附着点、风管管线过长、风向偏转角超过180°、建设方对装饰立面有特殊要求等。该优化方案不仅解决了该项目大堂空调舒适度问题，还为同类大空间建筑（如展厅、中庭、高铁站候车厅）空调系统设计提供了可参考的思路。未来可进一步结合AI控制技术，实现“工况自动切换+负荷动态调节+能耗实时监测”的智能化运行，推动大空间空调系统向“低能耗、高舒适、智能化”方向发展。

参考文献：

[1] 杜雅婧, 大型公共建筑暖通空调系统节能设计与运行优化研究[J]. 工程技术研究, 2024, 09(24):194-196.
 [2] 周科, 李锦堂, 张广秋, 等. 冷热双向全周期维度蓄能空调系统设计优化[J]. 建筑节能(中英文), 2024, 52(09): 42-49.
 [3] 李红, 建筑暖通空调系统节能优化设计分析[J]. 居业, 2024(11):85-87.
 [4] 胡正路, 郑伟栋, 张志光, 等. 空调器室内机风道结构优化设计与性能分析[J]. 家电科技, 2024(S01):302-304.
 [5] 宋义华, 空调系统节能优化与智能控制技术的研究[J]. 家电维修, 2025(06):6-8.
 [6] 张军. 建筑空调系统多目标优化设计研究[J]. 设备管理与维修, 2025(02):54-57.