

上海某商业综合体更新改造项目暖通空调系统设计与案例分析

汤晓岑

上海天华建筑设计有限公司 上海 200235

【摘要】：以上海市中心城区某既有商业综合体更新改造工程为例，介绍在建筑空间受限、多业态复合、不停业施工及上海地方节能高标准约束下的暖通空调系统重构设计措施。通过负荷精细化模拟、冷热源高效化配置、水风系统分区分质优化、全热回收与智能群控集成，解决原系统能效偏低、水力失调、新风不足、舒适度差及运维粗放等问题。项目经过一个完整的供暖季和供冷季后，空调运行效果良好。希望该研究可以为夏热冬冷地区同类商业改造项目提供参考。

【关键词】：商业综合体；既有建筑改造；暖通空调；全热回收；智能控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.068

引言

随着城市更新进入存量时代，上海中心城区大型商业综合体逐步进入整体升级改造周期，改造内容不仅涉及建筑形象、内部空间、业态功能的全面提升，同时要求机电系统同步更新换代。2000年前后建成的大型商业项目大量采用溴化锂吸收式冷热水机组，在当前能源价格、节能标准、运营需求下普遍存在能效低、能耗高、维护繁琐、寿命到期等问题，已难以适配高端商业运营需求。本文结合某大型商业综合体整体升级改造工程实践，重点阐述在建筑、结构、装修、业态同步改造的前提下，对暖通空调系统实施全面拆除、重新设计、全新安装的技术路线、系统方案、关键措施及改造效果，为同类大型商业整体改造项目提供可复制、可推广的暖通设计经验。

1 工程概况

本项目位于上海市宝山区核心商圈，为既有商业更新改造工程。本项目总建筑面积约5.5万平方米，项目3公里辐射常住人口超百万，区域人口密集，居民生活消费需求旺盛。建筑高度23.4m，地上3层包含零售、餐饮、亲子娱乐、休闲中庭及配套服务区。原建筑建成于1996年，为上海某玩具厂综合车间。2003年改造并扩建成为综合型购物中心。之后又经过多次局部改造和加建，已运营使用20余年。本次为全业态、全空间、全系统整体升级，涵盖建筑屋面使用空间更新、中庭重构、商铺重新分割、装修全面升级，同时机电系统（暖通、给排水、电气、消防、智能化）全部同步改造。项目建成初期采用溴化锂吸收式冷热水机组，燃气驱动供冷供热；水系统为定流量一次泵系统，末端以风机盘管+简易新风为主；无集中控制，无热回收装置。随着使用年限的增加，溴化锂机组真空度降低，换热性能衰减，频繁故障，目前已经完全停止使用。2012年左右应购物中心改造，增加过一台

螺杆式冷水机组，如今经过十余年的使用，各种设备也出现不同程度的老化，能效低下且运维成本高，渐渐不再使用。商场内租户以独立安装的多联机系统为主，室外机凌乱分布于屋顶和外立面。在业态更新后，空调负荷特性、舒适度要求、空气品质标准全面提高，原系统无法满足；鉴于本次为商业整体升级改造，建设单位确定：暖通空调系统全部拆除，按全新建筑标准重新设计与新建。

2 改造难点与设计原则

2.1 主要改造难点

其一，既有条件约束强。主机房位置固定。结构经过多次改造加固土建高度不利，吊顶净空受限，管线综合难度大。其二，多业态负荷差异显著。零售、餐饮、亲子、中庭高大空间、健身房、KTV等负荷特性、温湿度参数、新风量要求差异大。其三，运营要求高。需分区分段施工，保障商场不停业或短期封闭，系统切换平稳无中断。其四，节能指标刚性。满足上海市公共建筑能耗限额要求，争创绿色商场，能效与碳排放控制严格。其五，室内环境品质要求提升。控制CO₂浓度、油烟串味、噪声、温湿度均匀性，提升顾客体验。

2.2 设计原则

第一，安全可靠，冗余适配。满足商业连续运营，设备配置兼顾满负荷与部分负荷工况。第二，分区分质，按需供能。按业态、内外区、使用时段独立设置系统，避免相互干扰。第三，高效低碳，技术适配。优先采用高效主机、变频输配、热回收等成熟节能技术。第四，智能运维，便捷管理。设置BA系统与冷站群控，实现分时分区、联动控制、能耗分项计量。

3 负荷计算与负荷特性分析

3.1 主要设计参数

本项目采用逐时冷热源负荷模拟，以上海标准气象参数为依据，结合业态使用密度、照明设备功率、内区/外区围护结构、人员在室率等参数建模计算。该项目夏季空调室外计算干球温度 34.4℃，湿球温度 27.9℃；冬季空调室外计算干球温度 -2.2℃。室内设计参数如表 1 所示。通风系统方面，餐饮厨房区补风与排油烟匹配，就餐区新风量 $\geq 30 \text{ m}^3/(\text{人}\cdot\text{h})$ ；中庭高大空间采用全空气系统，过度季节可加大新风至 100%。中庭顶部设集中排风系统，可排出顶部由于长期受到太阳辐射而聚集的高温热气，达到降低中庭温度的目的。

表 1 室内设计参数

业态类别		商业	餐饮	美食广场	儿童业态	教育	健身	超市
冬季设计参数	温度(℃)	20	20	20	20	18	18	18
	相对湿度	--	--	--	--	--	--	--
夏季设计参数	温度(℃)	25	24	24	25	25	25	26
	相对湿度	55	60	60	60	60	60	60
人员密度(m^2/p)		4	4	2	4	2	3	6
新风量($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{p}$)		30	30	30	30	30	50	20

3.2 负荷计算结果及特征

项目总设计冷负荷 7631kW，单位面积冷负荷约 173W/ m^2 ；总设计热负荷 4086kW，单位面积热负荷约 92W/ m^2 。该项目餐饮区湿负荷与散热集中，厨房设备散热高，需独立排油烟与补风；中庭高大空间热分层显著：上部热量聚集，下部人员区易偏热，传统全空间空调能耗高、效果差；部分负荷占比高，商业建筑日间负荷波动大，机组长期处于 70%以下负荷区间运行。负荷分析结果为冷热源选型、系统分区、控制策略制定提供核心依据。

4 暖通空调系统全面改造设计方案

4.1 冷热源系统全面更新

本次为暖通空调系统全面改造，即：原有设备全部拆除，系统重新设计、管路重新布置、控制全新搭建。不间断经营区域为独立多联机系统，空调系统不受本次改造影响。在冷源方面，拆除原有直燃型溴化锂机组和低效螺杆式冷水机组，采用 2 台 900RT 离心式冷热机组+1 台 400RT 变频离心式冷水机组组合，

总制冷量 7736kW，满足设计冷负荷。定频机组 IPLV(C) ≥ 6.20 ，变频机组 IPLV(C) ≥ 7.60 ，达到《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB 55015-2021)的能效要求，适配商业负荷特性。热源方面，采用常压燃气热水锅炉，提供冬季空调热水，供热稳定、调节灵活、安全可靠、运维简单。该系统能效远高于原溴化锂系统；冷热源独立，调节更灵活；设备寿命长，故障率大幅降低；适配商业整体升级后的运营需求。机房配置方面，冷冻水采用 7℃/12℃，冷却水 32℃/37℃；冷却水泵、冷冻水泵、冷却塔均采用变频控制，与主机群控联动，实现最优工况匹配。

4.2 水系统及风系统

水系统采用一次泵变流量系统，分集水器之间设置压差旁通控制，保障主机流量稳定。按区域设置独立水力分支，每层设置动态流量平衡阀与电动调节阀，解决水力失调问题。公区、健身房、KTV 等大型场所区域设置独立空调水回路，避免与其他商业区相互干扰。风系统与末端方面，公共走廊区域采用吊顶式空调箱+吊顶式新风机+风机盘管。零售区与就餐区采用风机盘管+独立新风，保证舒适度与空气品质。厨房区设置机械排油烟系统+机械补风系统，维持厨房微负压，防止油烟串入公共区域。中庭高大空间采用分层空调策略，仅对人员活动区(2.5~4.0m)送风，上部设置排风，减少无效空间制冷。与全空间空调相比，节能率可达 15%~20%，温湿度均匀性显著提升。高大商业空间采用吊柜机+新风系统，其中篮球场和羽毛球场等对气流要求较高的场所，在边缘采用下送的高静压风机盘管，避免气流对运动的影响。卫生间、设备机房设置机械排风系统，保证室内负压与异味排除。

4.3 节能控制及防排烟系统

该项目设置过度季节全新风。水泵、风机、冷却塔全部变频，根据负荷实时调节转速，降低输配能耗。项目采用智能 BA 控制，按营业时间分时启停设备，CO₂浓度联动新风量调节，冷站群控实现主机、水泵、冷却塔最优组合运行，能耗分项计量，远程监控与故障报警。防排烟系统方面，该项目严格按照《建筑防排烟系统技术标准》(GB 51251—2017)设计。中庭、内走道、无窗房间、商铺等设置机械排烟系统；排烟风机、补风机采用消防专用风机，与空调系统电气连锁；火灾时自动切断非消防电源，关闭空调风系统，启动排烟与补风系统，满足消防安全要求。

5 关键问题与技术解决措施

一是该项目机房空间狭小，针对既有机房空间有

限,采用紧凑式管路布置,优化设备间距与走向,使用集成式阀门组件,减少占用空间。在满足检修与通行前提下,最大化利用设备基础与管井,避免结构拆改。二是该项目多业态系统干扰,餐饮排油烟、公共区空调、影院新风系统完全独立设置,风管走向、机房、风机分开布置。厨房维持微负压,公共区维持微正压,杜绝串味、串声、串烟。三是该项目需要不停业改造施工,采用分区域、分楼层、分系统割接方式,保留临时空调保障营业区域。新系统先行安装调试,再逐一切换旧系统,实现运营与施工并行,缩短整体工期。四是高大空间热环境控制方面,中庭采用侧送下回+顶部排风的分层气流组织,配合低速大风量送风,降低风速感与噪声,控制人员活动区温度,避免上部热量下压造成过热。

6 改造效果与效益分析

在室内环境效果方面,改造完成后实测结果显示,夏季室内温度 24~26℃,相对湿度 40%~60%;冬季 20~22℃;公共区 CO₂浓度≤1000ppm;无明显油烟串味、噪声与气流不均现象,顾客与商户满意度显著提升。在能耗与节能效益方面,改造后系统综合能效比

提升 35%以上,输配系统能耗降低约 30%,新风热回收年节约约 12%。项目年空调总电耗较改造前降低 28%,设备故障率大幅下降,运维人力与备件成本显著减少,静态投资回收期约 4.5 年,经济效益良好。在合规与社会效益方面,该项目满足上海市公共建筑节能限额要求,符合绿色商场运营标准,碳减排效益明显,提升了商业品质与城市更新形象。

7 结论

首先,商业综合体改造暖通设计应以负荷特性与业态需求为核心,采用分区分质系统,可有效解决空间干扰与舒适度不足问题。其次,磁悬浮高效主机+变频输配+全热回收+大温差小流量+智能群控的集成方案,适配商业建筑部分负荷运行特征,节能效果突出。再次,充分利旧合格管路与结构,优化管线综合,可大幅降低改造成本与施工难度,满足不停业运营要求。中庭高大空间采用分层空调、地下车库采用 CO 联动通风、过渡季全新风运行,投入低、见效快,适合存量改造推广。最后,本项目经验可为上海及夏热冬冷地区既有商业综合体、商办建筑暖通改造提供工程参考。

参考文献:

- [1] 陆耀庆.使用供热空调设计手册[M]第2版.北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.民用建筑供暖通风与空气调节设计规范:GB 50736—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.公共建筑节能设计标准:GB 50189—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑防烟排烟系统技术标准:GB 51251—2017[S].北京:中国计划出版社,2017.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑防排烟系统设计标准:DG_TJ 08-88-2021[S].上海:同济大学出版社,2021.
- [6] 辛亚娟,杨帆,张子正.城市更新背景下既有商业建筑暖通空调系统改造设计策略分析[J].暖通空调,2024.