

公共建筑暖通空调节能改造路径与设计策略研究

刘季鑫

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025120059

摘要：本文探讨公共建筑暖通空调节能改造，指出其既有系统存在能效瓶颈。阐述节能改造受政策引导，因建筑功能差异有个性化负荷需求。介绍负荷精确计算、冷热源协同配置等技术，强调运行监控、人工智能调适等作用。还提及全生命周期成本分析等决策模型，及BIM技术、绿色施工等实施要点，展望智能调适技术前景。

关键词：公共建筑；暖通空调节能改造；智能调适技术

Research on Energy-Saving Renovation Paths and Design Strategies for HVAC Systems in Public Buildings

Liu Jixin

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article explores the energy-saving renovation of HVAC systems in public buildings and points out the energy efficiency bottlenecks in existing systems. Elaborate that energy-saving renovation is guided by policies and has personalized load demands due to differences in building functions. Introduce technologies such as precise load calculation and coordinated configuration of cooling and heating sources, emphasizing the role of operation monitoring and artificial intelligence adjustment. It also mentioned decision-making models such as full lifecycle cost analysis, as well as implementation points such as BIM technology and green construction, and looked forward to the prospects of intelligent adaptation technology.

Keywords : public buildings; energy saving renovation of HVAC systems; intelligent adaptation technology

引言

在当前可持续发展战略背景下，2022年颁布的《国家绿色建筑标准与能效提升强制性规范》对公共建筑暖通空调节能改造起到关键引导与约束作用。公共建筑暖通系统运行存在能耗差异明显、设备老化、控制策略不当及负荷匹配差等能效瓶颈，且不同类型建筑功能差异影响能耗结构。因此，需综合考虑负荷精确计算、冷热源协同配置等多方面技术，在全生命周期成本分析、风险预警与效益评估基础上，通过BIM技术、绿色施工技术规范等实施路径，借助合同能源管理模式，推动节能改造，而智能调适技术在未来节能改造中具有广阔前景。

一、公共建筑暖通系统能耗特征分析

(一) 公共建筑暖通系统运行现状

当前，公共建筑暖通系统运行存在一定特点。通过对典型公共建筑类型能耗数据的统计^[1]，发现不同功能的公共建筑，如办公建筑、商场、酒店等，其暖通系统能耗差异明显。办公建筑在工作日白天时段，人员密集、设备使用频繁，暖通系统负荷较大；商场因营业时间长、空间开阔且人员流动量大，全年能耗均处于较高水平；酒店则在入住高峰期对暖通系统需求突出。从系统运行效率来看，部分老旧公共建筑暖通设备老化，导致能源浪费严重，运行效率低下。在负荷特性方面，受季节、天气以及建

筑使用功能变化影响显著。夏季制冷与冬季制热需求不同，且室内人员、设备数量的动态变化也会使负荷产生波动，这都对暖通系统的精准调控与高效运行提出了挑战。

(二) 既有系统能效瓶颈诊断

公共建筑暖通系统既有系统存在诸多能效瓶颈。设备老化是一大关键问题，长期运行使得设备性能下降，如空调压缩机磨损，导致制冷制热效率降低，能耗增加^[2]。控制策略不当也严重影响能效，例如部分暖通系统未能依据室内外环境变化实时调整运行参数，始终保持固定模式，造成能源浪费。另外，负荷匹配差问题突出，设计阶段对建筑实际负荷预估不准确，使得设备选型过大或过小，无法在高效区间运行。当设备选型过大，实际负

荷低时，设备频繁启停，额外消耗电能；若选型过小，则难以满足需求，长期低效运行，最终都导致能源利用效率低下，能耗居高不下。

二、节能改造关键技术影响因素

(一) 政策法规与标准体系

国家绿色建筑标准与能效提升强制性规范对公共建筑暖通空调节能改造起着关键引导作用。绿色建筑标准从整体上规定了建筑的节能目标、技术措施与评价体系，为暖通空调系统设定了能源利用效率、可再生能源利用等方面指标，促使改造朝着绿色、低碳方向发展。而能效提升强制性规范更具约束性，明确了暖通空调设备的最低能效标准、运行管理要求等，这使得节能改造必须满足强制性底线要求，否则无法通过验收。这些政策法规与标准体系，一方面为节能改造提供了清晰的方向与准则，另一方面也激励相关企业和机构研发与应用更先进的节能技术。只有严格遵循这些标准与规范，公共建筑暖通空调节能改造才能符合国家可持续发展战略要求，切实实现节能减排目标^[3]。

(二) 建筑功能与能耗结构特征

不同类型公共建筑由于其功能差异，有着个性化的负荷需求，进而影响能耗结构特征。以医疗建筑为例，因其功能的特殊性，对室内温度、湿度、空气洁净度等要求严苛，一些特殊科室如手术室、重症监护室等全年都需保持特定环境条件，这使得空调系统需持续稳定运行，其能耗在整体建筑能耗中占比较大。办公建筑人员流动有规律，白天办公时段人员集中，对室内热舒适需求较高，照明与办公设备使用频繁，能耗结构中，空调与电气设备能耗占比突出。文体建筑则因活动时段不固定，活动期间人员密集，空调负荷较大，而在非活动时段能耗相对较低。这些基于建筑功能产生的能耗结构特征，是暖通空调节能改造关键技术选择时必须考虑的重要因素^[4]。

三、节能改造设计策略体系

(一) 系统优化设计方法

1. 负荷精确计算模型

在公共建筑暖通空调节能改造中，负荷精确计算模型至关重要。通过建立基于BIM的动态负荷预测，能全面、精准地考量建筑的各项参数。借助BIM技术的可视化与参数化特性，可整合建筑围护结构、朝向、人员活动、设备散热等多种影响因素^[5]。对这些因素进行动态模拟分析，进而得到不同时段、不同工况下的负荷变化数据。这些精确的负荷数据为后续设备选型提供了可靠依据，避免因负荷估算不准确导致设备选型过大或过小。过大造成能源浪费，过小则无法满足实际需求。如此，利用基于BIM的动态负荷预测与设备选型方法，实现对公共建筑暖通空调负荷的精确计算，为节能改造的系统优化设计奠定坚实基础。

2. 冷热源系统协同配置

在公共建筑暖通空调节能改造中，冷热源系统协同配置至关

重要。应研究多能互补系统与余热回收技术的集成应用^[6]。多能互补系统可整合多种能源形式，如电力、燃气、太阳能等，依据不同时段、不同场景的能源需求特性，灵活且高效地调配能源，实现能源的梯级利用，提升能源综合利用率。余热回收技术则是将暖通空调运行过程中产生的废热进行回收再利用，例如回收制冷系统的冷凝热用于预热生活热水等。通过两者集成应用，让冷热源系统各部分协同运作，既能满足建筑不同工况下的冷热负荷需求，又能最大程度减少能源浪费，达成高效节能的目的，为公共建筑暖通空调节能改造提供更优的冷热源配置方案。

(二) 智能控制策略创新

1. 基于IoT的运行监控体系

基于IoT的运行监控体系旨在通过物联网技术实现对公共建筑暖通空调系统全方位、实时的运行监控。借助各类传感器，如温度、湿度、压力传感器等，实时采集设备运行参数与室内环境数据，并通过IoT网络上传至云端数据中心。系统基于大数据分析与机器学习算法，对采集的数据进行深度挖掘，精准评估设备的实际运行能效^[7]。一旦发现设备运行参数偏离正常范围，立即发出故障预警，便于运维人员及时处理，避免故障扩大影响系统节能效果。同时，根据实时监测数据，系统能智能调整控制策略，实现对暖通空调设备的优化控制，确保其始终在高效节能状态下运行，提升整个系统的能源利用效率与稳定性。

2. 人工智能调适算法

在公共建筑暖通空调节能改造中，人工智能调适算法发挥着关键作用。该算法借助人工智能技术对暖通空调系统进行深度分析与调适。通过收集系统运行中的各类数据，如室内外温度、湿度、人员活动情况等，利用机器学习算法对这些数据进行处理与建模，以精准预测建筑的冷热负荷需求^[8]。进而依据预测结果实时调整暖通空调设备的运行参数，诸如压缩机频率、风机转速、阀门开度等，实现系统的动态优化运行。这不仅能使设备输出与实际负荷精准匹配，避免能源浪费，还能通过不断学习和自适应，持续优化控制策略，以适应不同季节、不同时段以及各种复杂工况下的运行需求，有效提升公共建筑暖通空调系统的能源利用效率，达成节能改造目标。

四、节能改造工程实施路径

(一) 改造方案决策模型

1. 全生命周期成本分析

在公共建筑暖通空调节能改造工程中，全生命周期成本分析是改造方案决策模型的关键环节。全生命周期成本涵盖了从项目规划、设计、施工、运营维护到最终拆除等各个阶段所产生的成本^[9]。在分析时，需考虑初始投资成本，包括设备采购、安装调试等费用；运营成本，如能源消耗、维修保养等；以及潜在的拆除与处置成本。通过准确量化这些成本因素，综合考量不同改造技术组合方案在整个生命周期内的成本投入情况。同时，结合公共建筑的实际使用需求、预期使用寿命等，对比各方案的全生命周期成本差异，以此为依据优选出既能满足节能目标，又能实现

经济性最优的改造技术组合方案，为节能改造工程的顺利实施提供科学决策支持。

2. 风险预警与效益评估

在公共建筑暖通空调节能改造工程实施路径的改造方案决策模型中，风险预警与效益评估极为关键。一方面，风险预警需全面考量技术、经济、环境等多方面风险因素。例如，新技术应用可能存在技术不成熟的风险，要对技术可行性、稳定性进行精准预判；经济层面，关注成本超支、投资回报周期变化等风险。通过构建风险预警指标体系，利用实时监测数据，结合大数据分析与机器学习算法，及时发现潜在风险并发出预警。另一方面，效益评估要从节能效益、经济效益与环境效益三方面入手。节能效益通过对比改造前后能耗数据量化评估；经济效益计算投资回收期、净现值等指标衡量；环境效益则评估减少的碳排放等对环境的积极影响，综合权衡各效益，为改造方案决策提供科学依据^[10]。

（二）施工阶段协同管理

1.BIM 技术全程应用

在公共建筑暖通空调节能改造工程的施工阶段，BIM 技术全程应用可实现可视化施工与多专业协同设计。借助 BIM 技术，构建精确的三维模型，将暖通空调系统的各类设备、管道等详细信息整合其中，使施工人员直观了解各部件位置与空间关系，提前发现潜在碰撞与冲突，避免施工返工。同时，基于该模型，各专业人员可进行实时沟通与协同工作。例如，电气专业与暖通专业能共同规划线路与管道走向，优化空间布局。而且，BIM 技术可模拟施工过程，对施工进度和资源分配进行合理规划与动态调整，确保施工高效有序推进，助力节能改造工程达到预期的节能与设计目标。

2. 绿色施工技术规范

在公共建筑暖通空调节能改造施工阶段，绿色施工技术规范至关重要。制定低影响施工工艺，需注重施工过程对周边环境及建筑原有系统的影响最小化。施工设备应选用低噪音、低振动型号，减少对建筑使用功能及周边人员的干扰。对于暖通空调设备的安装，要确保精准定位与规范操作，避免反复调整造成材料浪费与工期延误。同时，建筑废弃物管控标准必不可少。对施工中产生的废弃管材、保温材料等，需进行分类收集与处理。可回收材料及时回收利用，不可回收的按规定运送至指定地点，避免随意丢弃，以此实现绿色、环保、高效的暖通空调节能改造施工。

参考文献

- [1] 王乘熙. 基于 MPC 算法的暖通空调系统舒适节能控制策略研究 [D]. 苏州科技大学, 2022.
- [2] 高之坤. 西北某大型公共建筑空调水系统节能优化研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2022.
- [3] 赵丹阳. 基于典型测试工况的公共建筑空调系统节能检测方法研究 [D]. 北京工业大学, 2021.
- [4] 王梦阳. 某办公建筑中央空调系统群控优化策略及节能改造方案研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [5] 徐弘毅. EMC 模式下公共建筑节能改造项目风险分担研究 [D]. 兰州理工大学, 2021.
- [6] 张礼英. 公共建筑暖通空调系统的节能策略 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022, (02): 76-77.
- [7] 王娜. 绿色公共建筑项目中暖通空调节能设计分析 [J]. 建材与装饰, 2018, (19): 71-72.
- [8] 黄亚林. 公共建筑暖通空调自动系统与节能运行 [J]. 中国设备工程, 2022, (13): 81-83.
- [9] 赵昊天, 张昊. 提高公共建筑节能水平的暖通空调设计措施 [J]. 居业, 2015, (24): 61-64.
- [10] 南联建. 大型公共建筑暖通空调系统设计探究 [J]. 中国新技术新产品, 2015, (04): 110-111.

（三）运行维护长效机制

1. 智慧运维平台构建

构建智慧运维平台，旨在实现对公共建筑暖通空调系统的精细化、智能化管理。平台应集成数据采集功能，全面收集设备运行参数、能耗数据、环境温湿度等多源信息。通过数据分析挖掘技术，深度剖析设备运行状态与能耗规律，及时发现潜在故障隐患与能耗异常点。利用人工智能算法，对设备进行健康评估与能效预测，据此生成精准的维护策略与运行优化方案。例如，依据实时环境参数和负荷变化，动态调整设备运行频率，实现按需供能。同时，平台应具备远程监控与控制功能，运维人员可随时随地掌握设备运行情况，远程操控设备，提高运维效率，保障暖通空调系统高效、稳定运行，为节能改造的长效实施提供有力支撑。

2. 合同能源管理模式

合同能源管理模式是公共建筑暖通空调节能改造的有效市场化路径。在此模式下，节能服务公司与公共建筑业主签订合同，凭借专业技术与资金优势，承担从项目设计、融资、施工到运营维护的全过程工作。节能服务公司通过与业主分享节能改造后产生的效益来获取收益。例如，依据实际节能量，按一定比例分成。这不仅能缓解业主资金压力，还能利用节能服务公司的专业能力，提升改造效果。同时，合同需明确双方权利义务，如节能指标、项目验收标准、收益分配方式等，保障项目顺利实施。这种模式推动公共建筑暖通空调节能改造的专业化、市场化发展，实现节能效益与经济效益的双赢。

五、总结

公共建筑暖通空调节能改造，技术体系与实施要点的提炼至关重要。从技术体系来看，涵盖高效设备选用、系统优化控制等多个方面，实施要点则强调依据建筑实际情况精准施策，确保改造效果。在数字化转型的大背景下，智能调适技术展现出广阔的发展前景。它借助先进的传感与数据分析技术，能够实现对暖通空调系统运行状态的实时监测与精准调控，进一步挖掘节能潜力。未来，智能调适技术有望在公共建筑暖通空调节能改造中发挥更大作用，与其他节能技术相互融合，形成更为完善的节能解决方案，助力公共建筑达成更高的节能目标，为可持续发展贡献力量。