

# 既有建筑暖通系统改造施工中的节能优化与质量控制

郭昌稳

陕西建工安装集团有限公司 陕西 西安 710000

**摘要：**既有建筑暖通系统改造中，节能优化与质量控制是核心目标。针对设备老化、系统匹配性差及控制逻辑落后等问题，需优先选用变频泵、热回收装置等高效设备，实现动态匹配与智能控制。同时，通过优化管道布局、采用高效隔热材料及变风量系统降低输配能耗。质量控制方面，需严格审核材料设备，强化施工过程监管，应用BIM技术模拟施工，并依托物联网实时监测数据。通过多目标优化模型平衡节能与可靠性，最终构建高效稳定、绿色低碳的暖通系统。

**关键词：**既有建筑；暖通系统改造施工；节能优化；质量控制

**引言：**随着建筑能耗问题的日益凸显，既有建筑暖通系统的节能改造迫在眉睫。当前，众多既有建筑暖通系统存在设备老化、系统匹配不合理、控制方式落后等状况，导致能耗居高不下。对其进行改造施工，不仅能降低建筑能耗、减少碳排放，还能提升室内环境舒适度。然而，改造施工中若忽视节能优化与质量控制，可能无法达成预期目标。因此，深入探讨既有建筑暖通系统改造施工中的节能优化与质量控制策略，具有重要的现实意义和应用价值。

## 1 既有建筑暖通系统现状诊断与问题分析

### 1.1 既有建筑暖通系统常见问题

(1) 设备老化、系统匹配性差、能耗过高。多数既有建筑暖通设备使用年限超10年，换热器结垢、风机轴承磨损等问题频发，导致换热效率下降30%以上；系统设计时未充分考虑建筑功能变化，如办公区改为机房后，原空调负荷与实际需求不匹配，部分区域过热或过冷；能耗数据显示，此类系统单位面积能耗较新建建筑高25%-40%，远超现行节能标准。(2) 控制逻辑落后、维护管理缺失。控制系统多为手动或简单时序控制，无法根据室外温湿度、室内人员密度动态调节，造成能源浪费；日常维护仅停留在设备开关机检查，缺乏定期的滤网清洗、管道试压等专业养护，近60%的系统因维护缺失引发故障，增加维修成本与停机时间。

### 1.2 诊断方法与流程

(1) 现场检测。采用热线风速仪在风口处多点测量，获取实际风量并与设计值对比，判断风系统是否存在漏风、堵塞；通过热电偶温度计检测供回水温差，分析水系统换热效率；调取建筑近12个月的电表、水表数据，结合建筑面积计算单位能耗，识别能耗异常区域；同时记录设备运行噪音、振动情况，初步判断设备老化

程度。(2) 模拟分析。运用CFD软件构建建筑室内流场模型，模拟不同工况下的温度分布、气流组织，找出温度不均、气流死角等问题；借助EnergyPlus软件输入建筑围护结构参数、设备性能曲线及现场检测数据，模拟系统全年能耗，对比节能标准找出节能潜力；结合现场检测与模拟结果，形成诊断报告，明确问题成因与整改方向<sup>[1]</sup>。

## 2 既有建筑暖通系统改造施工中节能优化技术体系构建

### 2.1 设备层优化

(1) 高效设备选型。在设备替换环节，优先选用变频泵替代传统定频泵，利用变频技术根据系统实际负荷动态调节转速，减少非必要能耗，相较于定频泵可降低能耗20%-35%；同时引入热回收装置，如全热交换器、显热交换器，回收排风中的冷量或热量，直接用于新风处理，降低新风处理能耗，提升系统能源利用率，热回收效率可达60%-85%，有效减少空调主机负荷。(2) 设备容量动态匹配方法。基于前期诊断得出的建筑实际负荷数据，摒弃“大马拉小车”的传统选型模式，采用动态匹配思路确定设备容量。通过计算建筑不同季节、不同时段的最大负荷与平均负荷，结合设备变工况运行特性，选择具备多级调节能力的设备，或采用多台小容量设备组合运行模式，确保设备在多数工况下处于高效运行区间，避免设备长期低负荷低效运转造成的能源浪费。

### 2.2 系统层优化

(1) 水力平衡调节与管网优化。改造过程中对原有管网进行全面排查，更换老化、堵塞的管道与阀门，采用水力平衡阀、静态平衡阀等装置，调节各支路流量，确保系统水力平衡，减少因流量分配不均导致的能源损耗；同时优化管网布局，缩短输送距离，降低管道阻力，提升系统输送效率，减少循环泵能耗<sup>[2]</sup>。(2) 变

频控制与智能群控策略。在风系统、水系统中引入变频控制技术，根据室内温湿度、负荷变化动态调节风机、水泵转速；搭建智能群控系统，实现对多台设备的集中管控与联动调节，如根据末端负荷需求自动启停部分机组、调节水流量与风量，避免单台设备满负荷运行，提升系统整体运行效率，降低综合能耗。

### 2.3 控制层优化

(1) 基于物联网的远程监控系统。构建物联网监控平台，在设备、管道、末端装置等关键位置安装温度、压力、流量、能耗等传感器，实时采集系统运行数据；通过云端平台实现数据存储、分析与远程监控，管理人员可实时掌握系统运行状态，及时发现异常情况并远程调控，减少人工巡检成本，确保系统稳定高效运行。

(2) 预测控制算法应用（如负荷预测模型）。引入负荷预测模型，结合历史运行数据、气象数据、建筑使用规律等因素，通过机器学习、大数据分析等算法，提前预测未来一段时间内的建筑冷热负荷；基于预测结果提前调节系统运行参数，如提前调整主机输出功率、水流量、风量等，避免系统频繁启停或工况大幅波动，提升系统响应速度与能源利用效率。

### 2.4 可再生能源集成

太阳能辅助供暖/地源热泵耦合设计。在改造中融入太阳能辅助供暖系统，利用太阳能集热器吸收太阳能，将其转化为热能用于建筑供暖或预热生活热水，降低对传统能源的依赖；同时采用地源热泵耦合设计，通过地下埋管与土壤进行热量交换，夏季将建筑内热量转移至地下，冬季从地下吸收热量为建筑供暖，地源热泵COP值可达3.0-4.5，能源利用效率远高于传统空调机组，与太阳能系统协同运行，进一步提升系统节能效果，减少碳排放。

## 3 既有建筑暖通系统改造施工中改造施工过程质量控制

### 3.1 施工前质量控制

(1) 施工图纸深化与BIM技术应用。基于原始建筑图纸与现场实测数据，对暖通改造施工图纸进行深化设计，明确设备定位、管道走向、管线排布细节，避免与其他专业管线冲突；引入BIM技术构建三维模型，模拟施工全过程，提前排查图纸中的尺寸偏差、空间干涉等问题，优化施工方案；通过BIM模型实现各参与方协同沟通，确保施工图纸信息准确传递，为施工质量奠定基础。(2) 材料设备验收标准。建立严格的材料设备验收流程，明确验收指标与检测方法。对进场的管道、保温材料、设备等，核查产品合格证、性能检测报告等文

件，确保符合设计要求与国家规范；针对保温材料，重点检测其导热系数、密度、吸水率等性能参数，采用专业仪器现场抽样检测，杜绝不合格材料入场；对变频泵、热回收装置等核心设备，检查其型号、规格、技术参数是否与设计一致，必要时进行开机试运行，验证设备性能稳定性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 施工中质量控制

(1) 关键工序控制。针对管道焊接工序，制定专项施工方案，明确焊接工艺参数（如电流、电压、焊接速度），要求操作人员持证上岗，焊接完成后采用无损检测（如射线检测、超声波检测）检查焊缝质量，防止出现气孔、裂纹等缺陷；在设备安装环节，使用水平仪、百分表等精密仪器控制设备水平度、垂直度，确保安装精度符合规范要求，避免因设备安装偏差导致运行噪音增大、能耗上升或故障频发。(2) 隐蔽工程验收。隐蔽工程施工完成后，需经严格验收合格方可进行下一道工序。对于保温层施工，检查保温材料铺设是否平整、接缝是否严密、固定是否牢固，测量保温层厚度是否达标，防止因保温层破损或厚度不足造成冷热量损失；针对风管系统，进行漏风量测试，采用漏光法或漏风量测试装置检测风管接缝、法兰连接处的密封性，确保漏风量符合GB50243-2016规范要求，避免因风管漏风影响系统运行效率。

### 3.3 施工后调试与验收

(1) 系统联合调试流程。施工完成后启动系统联合调试，先进行单机试运转，检查设备运行状态与参数是否正常；随后开展水力平衡调试，采用专用平衡阀调节各支路流量，确保系统流量分配符合设计要求；同时进行控制逻辑验证，测试智能控制系统的启停、调节功能，检查温度、压力等参数的控制精度，确保系统按预定逻辑稳定运行<sup>[4]</sup>。(2) 验收标准。严格依据《通风与空调工程施工质量验收规范》（GB50243-2016）及相关行业标准开展验收工作，检查设备安装、管道连接、保温施工等各环节质量是否达标；测试系统运行参数（如风量、温度、能耗），对比设计指标与规范要求，判断系统是否满足使用需求；整理施工技术资料、检测报告、调试记录等文件，确保资料完整归档，验收合格后方可交付使用。

### 3.4 质量追溯与责任体系

施工过程数据存档与区块链技术应用。建立全过程数据存档机制，对施工图纸、材料检测报告、工序验收记录、调试数据等信息进行分类存储，确保数据真实、完整、可追溯；引入区块链技术，将关键质量数据（如

材料进场时间、检测结果、验收结论)上传至区块链平台,利用其去中心化、不可篡改的特性,保障数据安全性与可信度;明确各参与方(建设单位、施工单位、监理单位)的质量责任,建立责任追溯机制,若后期出现质量问题,可通过存档数据快速定位责任主体,实现质量管控闭环。

#### 4 既有建筑暖通系统改造施工中节能与质量协同优化机制

##### 4.1 节能-质量矛盾分析

过度节能追求对系统可靠性的影响。在改造施工中,若单纯以降低能耗为核目标,可能通过缩减设备配置、降低材料标准或简化施工工艺实现短期节能效果,却会对系统可靠性造成显著负面影响。例如,为减少初期投入与运行能耗,选用容量偏小的设备,虽能降低即时能耗,但会导致设备长期处于满负荷运转状态,加速部件老化,增加故障频率;或采用低等级保温材料,虽能减少材料成本,却会因保温性能不足导致管道冷热量损失加剧,不仅无法实现长期节能,还可能引发管道结露、腐蚀等问题,破坏系统稳定性,增加后期维护成本,形成“节能”与“质量”的反向失衡。

##### 4.2 多目标优化模型

(1) 基于LCC(全生命周期成本)的优化方法。该方法突破传统仅关注初期投资的局限,将系统从改造施工到报废的全生命周期纳入考量,涵盖初期改造费用(设备采购、施工成本)、运行能耗费用(电费、燃料费)、维护检修费用(部件更换、故障维修)及报废处置费用。通过建立LCC量化模型,对不同改造方案的各阶段成本进行核算与对比,筛选出全生命周期内总成本最低的方案,在实现节能目标的同时,保障系统长期稳定运行——既避免因过度压缩初期成本导致后期能耗与维护费用激增,也防止因盲目追求高配置造成初期投资浪费,实现节能效益与质量可靠性在成本维度的协同优化。

(2) 遗传算法在参数优化中的应用。遗传算法作为一种启发式优化算法,可针对暖通系统改造中的多变量、多约束问题实现高效参数优化。在协同优化中,将节能指标(如单位面积能耗、COP值)与质量指标(如设备运行故障率、系统稳定性系数)作为优化目标,以设备运行参数(如水泵转速、主机输出功率)、施工参数(如管道

坡度、保温层厚度)作为变量,构建多目标优化函数。通过模拟生物遗传中的选择、交叉、变异过程,对参数组合进行迭代优化,逐步筛选出既能满足节能要求,又能保障系统质量的最优参数组合,解决传统优化方法难以平衡多目标的问题,提升协同优化的精准度。

##### 4.3 协同控制策略

动态调整控制参数以平衡节能与舒适度。在系统运行阶段,通过实时采集室内外环境数据(如室外温湿度、室内人员密度、温度波动)与系统运行数据(如设备负荷率、能耗指标),建立动态控制参数调整机制。当室内人员较少或室外环境适宜时,适当放宽温度控制区间,调整风机转速、水流量等参数,在满足基本舒适度的前提下最大化节能效果;当室内人员密集或室外环境恶劣时,自动提升系统运行参数精度,缩短温度调节响应时间,优先保障室内舒适度与系统稳定运行。同时,设定参数调整阈值,避免因参数波动过大导致设备频繁启停或工况突变,既防止过度节能影响舒适度与系统可靠性,也避免过度追求舒适度造成能耗浪费,实现节能与质量的动态平衡。

##### 结束语

既有建筑暖通系统改造施工意义重大,节能优化与质量控制是改造成功的关键。通过合理选型高效设备、优化系统与控制策略、集成可再生能源等措施,有效降低了系统能耗,推动了建筑节能减排。而严格的施工前、中、后质量控制,确保了改造工程的高质量完成。二者相辅相成,共同提升了既有建筑暖通系统的性能。未来,随着技术的不断进步,我们应持续探索更先进的节能与质控方法,让既有建筑暖通系统改造更好地服务于绿色建筑发展,实现经济与环境的双赢。

##### 参考文献

- [1]高品斌.超高层公共建筑暖通空调系统节能设计措施分析[J].中国设备工程,2025,(02):32-34.
- [2]马洁.既有公共建筑暖通节能及绿色改造现状分析及优化策略[J].大众标准化,2025,(09):88-90.
- [3]屈小刚.暖通空调系统中的施工质量控制对策分析[J].建材与装饰,2020,(04):34-35.
- [4]杨峰.试析暖通空调安装施工过程中的低质量控制[J].河南建材,2020,(13):112-113.