工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

既有建筑暖通空调改造中的节能设计策略研究

左振海
上海建工五建集团有限公司　中国·上海　200131

DOI：10.32629/ems.v8i10.22605

［摘　要］我国存量既有建筑体量庞大，其中一部分存在设备老化、能耗高、系统匹配差、运行管理粗放等问题，挖掘其节能潜力是实施节能减排的重要途径。本项目以“双碳”为背景，结合既有建筑的节能潜力，分析既有建筑的运行状况，分析其内在原因，提出改善方案。本项目的研究将为我国现有建筑的节能减排工作提供理论依据。

［关键词］既有建筑；暖通空调；改造工程；节能设计

引言

我国城市更新建设已从大拆大建转向存量建筑更新改造，存量建筑改造是实施“双碳”的重要举措，也是推进城镇化建设的重要内容。目前，我国既有建成房屋建筑面积超过 600 亿平方米，而 2010 年之前竣工超过 70%。受当年设计规范、材料及施工工艺的限制，此类建筑的空调设计普遍存在设计余量偏大、设备能效偏低、围护结构保温性能差、运行调控单一等问题。相对于新建项目，既有建筑受既有结构、管线布局和持续使用要求限制，单纯更换设备很难从本质上解决水力失稳、荷载失配等深层问题，设备改造后性能衰减依旧突出。当前许多城市新建项目只注重设备的升级改造，而忽略了整体的整体优化及后期的维修。本项目拟通过案例分析，整合多种节能措施，为国内既有建筑空调系统的设计与工程应用提供实践基础。

一、建筑概况

上海市某办公楼改造工程，共 6-10 层，内部装饰区域主要是办公楼，属于高层公共建筑，本次改造面积为 6208.55 平方米。图 1 为该建筑典型平面方案。采用 HDY-SMAD 软件对其进行载荷的计算与分析，得出建筑冷负荷指标为 1117 kW/m2，单位面积冷负荷 180W/㎡，热负荷指标为 745kW，单位面积热负荷 180W/㎡。

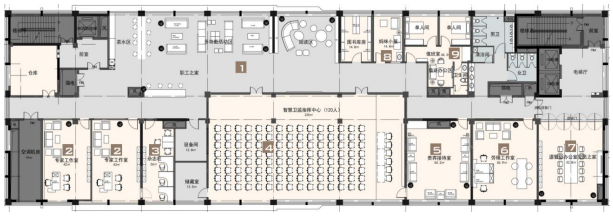


图 1　典型平面方案布置如图

（一）室内外设计参数

该项目的室外设计参数和室内设计参数分别如表 1 和表 2 所示。

表 1　室外设计参数

夏季空调室外计算干球温度（℃）	34.4	冬季空调室外计算干球温度（℃）	-2.2
夏季空调室外计算湿球温度（℃）	27.9	冬季空调室外计算相对湿度（%）	75
夏季通风室外计算温度（℃）	31.2	冬季通风室外计算温度（℃）	4.2
室外风速	夏季：3.1m/s	大气压力(h.Pa)	夏季：1005.4
	冬季：2.6m/s		冬季：1025.4

表 2　室内设计参数

部位	夏季		冬季		噪声
	温度(℃)	相对湿度（%）	温度(℃)	相对湿度（%）	dB(A)
办公室	25	≤65	20	≥30	≤40
门厅	26	≤65	18	≥30	≤50

（二）空调风系统

空调末端采用风机盘管加新风的形式。风机盘管承担室内显热负荷与潜热负荷，新风系统负责提供室内人员卫生所需的新风量并承担部分新风负荷。改造范围内的新风由本项

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

目原有新风空调提供，本次设计不新增大型新风机组，仅根据装修平面修改风机盘管及相应水管、风管的平面布置与规格，调整送风口、回风口位置，使其与新装修的吊顶、隔断和功能分区相匹配，保证气流组织合理、室内舒适。



图 2　典型平面方案布置如图

（三）空调水系统

冷热源利用大楼原有风冷热泵，改造的核心是在沿用原有冷热源与风系统的前提下，使空调系统与新的装修平面相适应。尽可能保留原有系统资源、减少对主体结构的改动。工程冷热源利用大楼原有风冷热泵，冷水供回水温度为 7/12 ℃，热水供回水温度为 45/40 ℃，可分别满足夏季供冷与冬季供暖的需要。改造过程中不更换冷热源机组，仅对空调水系统与末端作相应调整，既减少了改造投资，也缩短了施工周期。

风机盘管的容量按计算的分区负荷选型，并在水系统水力平衡计算的基础上确定各支路平衡阀口径与预设定值。末端改造以装修平面为基准逐层深化，避免了原有末端与新的空间布局错位的问题。

空调末端采用两管制空调水系统，夏季供冷水、冬季供热水。两管制系统管路简洁、占用空间小、初投资较低，适用于冷热负荷差异不大、对温湿度独立控制要求不高的办公建筑，与改造工程尽量减少管线改动的目标相契合。

每层空调水平管路采用异程式布置。异程式系统中，距供水立管近的环路管路短、阻力小，距立管远的环路管路长、阻力大，各并联环路之间易出现流量分配不均，导致近端末端流量偏大、远端末端流量偏小而影响供冷供暖效果。为此，在各层水平管路的各环路支路上设置静态平衡阀，通过静态平衡阀的开度预调节，使各并联环路在设计工况下达到设计流量，实现各末端的均衡供水。静态平衡阀在系统初次调试时一次设定，运行中无需频繁调节，结构简单、可靠性高。

二、既有建筑暖通空调系统能耗偏高的核心成因

（一）围护结构热工性能衰减，冷热损耗量大

建筑围护结构是冷热损耗的主要载体，也是暖通系统能耗偏高的重要诱因。不少老旧建筑外墙仅采用普通砌体，建设阶段就未设置合格保温层。投入使用多年后，墙体出现开裂、风化现象，隔热保温性能持续衰减。建筑外窗多为单层普通玻璃，密封性能不佳，夏季室外热量容易侵入室内，冬季室内热量不断向外流失。屋面与地面的保温材料老化破损，防水层脱落，进一步加剧冷热能量损耗[1]。现有数据表明，围护结构产生的冷热负荷占到暖通总负荷的 40%～55%，远高于新建节能建筑的控制标准。墙体渗水、门窗缝隙结露等问题，常会让空调持续满负荷运行，既难以降低能耗，也无法保障室内舒适水平。

很多老旧建筑还存在后期改造留下的附加问题，例如后期加装外挂空调支架、广告牌、管线托架，破坏原有外墙面层，形成多处热桥。热桥部位热量传递速度远高于墙体其他区域，不仅增加冷热负荷，还容易在墙体内部产生结露，持续侵蚀保温层，形成恶性循环。部分建筑原有外遮阳构件缺失或失效，夏季太阳辐射直接透过窗户进入室内，进一步放大制冷负荷，这类细节问题在前期能耗诊断阶段常常被忽略。

（二）暖通设备老化低效，系统匹配存在偏差

不少建成时间较早的建筑，暖通设备服役年限已超过 15 年，性能衰减问题比较突出，如图 2 所示。旧式冷水机组与锅炉的能效 COP 普遍低于 3.0，对比当下高效机型 5.5 以上的指标，差距十分显著。配套水泵、风机基本为工频运行，不具备变频调控能力，负荷波动阶段能耗偏高。早年暖通设计常预留过量安全余量，设备选型偏大，和建筑实际负荷不匹配，长期在大设备带小负荷的低效区间工作。此外，风管、水管锈蚀，外覆保温层脱落，冷热介质输送途中热量损耗明显，整套系统运行效率因此进一步下降。

设备老化带来的另一项隐性问题是部件积垢与润滑油劣化。换热器表面附着水垢、灰尘后，换热效率会持续下降，主机需要消耗更多电能才能维持设定的换热效果。很多项目仅关注主机铭牌参数，忽视换热器清洗保养，即便更换新设备，短时间内也会出现能效衰减。

（三）输配系统水力失调，产生隐性能耗浪费

水力失调是老旧暖通系统十分普遍的问题，也是容易被忽视的能耗来源。原有输配系统按照固定工况设计，管道排布不合理、管径搭配失衡，管道长期运行后内部结垢堵塞，阀门老化失效，造成不同楼层、不同房间水流量、风量分配

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

不均。部分区域温度过高，另一部分区域冷热不足。运维人员一般通过提高主机出力、加大风机水泵功率来弥补温差，直接拉高整体能耗。多数老旧系统没有动态水力平衡装置，无法跟随负荷变化调整流量，系统持续在失衡状态运行，输配能耗长期超出合理范围。

在多支路、多区域的大型建筑中，水力失调还会引发系统压力波动，造成部分阀门、管道接头长期承压，增加漏水漏风风险。一旦出现渗漏，不仅造成冷热介质流失，还会损坏吊顶、墙体，间接增加建筑维护成本。

（四）调控手段简单，运维专业化程度不足

传统既有建筑大多为人工管控，缺少对外部环境及室内人员数量变化的自动化监测装置。其操作与维修工作多依靠手工操作，无标准设置切换时刻及温度，导致能耗增大。该系统缺少完整的能量统计、失效警告等功能，很难快速、精确地确定系统中的能量损耗与设备的安全性。常规维护方法因缺少精准检测，不能达到设备最优维护。

三、既有建筑暖通空调改造的节能设计策略

（一）围护结构节能改造，削减基础冷热负荷

为了达到节能排放，必须对建筑物进行合理的围护结构设计。在尽量减小对建筑物的干扰的基础上，增强墙体保温、封闭性能，降低建筑物内的得热与失热。在墙面改造中，应该以采用薄抹灰保温系统为主，选择挤压板、岩棉等保温材料，对墙面出现的空洞、开裂等问题进行治理，再进行保温层的施工，同时还要结合防裂防护和防水涂层的施工。在施工受限制的情况下，可采取室内保温措施，使原有施工难度降低，节省费用[2]。

将原有普通外窗整体更换为断桥铝型材搭配低辐射中空玻璃，封堵门窗间的缝隙，降低因通风而造成的能量损耗。针对热桥部位，改造时需强化保温，在梁柱与墙体之间的连接处增设保温材料，阻断热桥向内传导。有条件的建筑应增设外遮阳设备，通过设置固定式或调节式遮阳器，两者都能在夏季阻挡太阳，空调冷负荷，与仅改善墙体保温相比，采用外遮阳节能效果更加明显。

屋面是夏季室内主要得热部位，改造将保温、防水、隔热一体化，更换已损坏的保温层，增设反射隔热层，减少屋面热量。建筑首层地面采用保温防潮材料，防止冷热交换。整体改造后，可使建筑内部温、湿分别降低 30-40%，降低主要设备的运行负荷，同时也为后期的调试与优化创造了良好的条件。

（二）核心设备更新，提升单机运行效率

针对老旧、选型不合理的既有系统，不宜采用大功率的装置来代替。用电磁离心和高频变频螺旋式压缩机代替传统的螺旋式压缩机。这类器件的低负荷性能非常好，IPLV 值为 10.0，能够很好地满足建筑负荷的不同特点，减少系统的能耗。在供热系统中，采用风地源热泵和变频天然气热泵，取代原有的煤气锅炉，使其能效比传统的天然气源提升 20%-25%。水泵、风机配置变频调速装置，可随房间负载和管路压力而调节转速，在低负载情况下可减少 30%-50%的能耗。对因腐蚀而受损的风管进行更换，并修补保温层，减少输送过程中的冷热损耗。通过合理选用设备，降低过剩产能，解决 “大马拉小车” 低效运行问题。

设备改造前期必须开展连续的负荷实测，不能直接采用原始设计图纸上的负荷数值。原始设计负荷基于当年气象参数和理想化使用场景，和建筑多年实际使用情况存在明显偏差，实测数据能够帮助设计人员合理确定设备容量，从源头避免再次出现选型过大的问题。

（三）输配系统优化，改善水力失调问题

水力失调治理是输配系统改造的重点。改造前期对原有管道开展检测，清理管内结垢杂物，修复堵塞管路，调整不合理管径，降低管路阻力。主干管与各支路加装动态平衡阀、电动调节阀，替代老式静态阀门，根据各区域实时负荷调整管路阻力，实现流量动态分配，缓解冷热不均、系统超压问题。

推广大温差小流量运行模式，通过调整冷热温差，减少水泵流量，保证冷却供热，减少输送能耗。在常规的单一管路供暖模式下，通过增加一条管路，与水箱温控阀相配合，对每个单元进行流量调节，从而实现分室控温，避免不必要的热能损耗。通过对该系统的适当调节，可以降低管道中的能耗 25%-35%。

（四）搭建智能调控体系，实现精细化运行

智能化的改造能够改变传统的人工作业模式，使全系统的节能潜力得到最大限度的利用。采用物联网、自动控制等技术，在室内、管道和设备部分分别安装温、湿度、流量、压力和能耗等传感器，以达到对设备及室内环境进行在线监控的目的。

系统具备气候补偿、负载预估、区域分时等多种特性，

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

可随户外气温及人员变动而调整主机出力、送风量及管路速度，以达到按需提供冷与热之目的。针对写字楼与商务楼宇，分别采用“工作日保障舒适度、非工作日减载”、无人区域调低设备出力，实现无人场景的节能降耗[3]。系统具备自动报警、能量消耗分析等多种功能，方便了维修人员的日常操作，同时还具备对系统进行遥控调试的功能。实施智能化改造后，有望实现建筑能耗的连续下降 15-20%。

基于智能的理念，我们不再盲目追求安装过多的监控站点，而要优先考虑主机、水泵、干线以及人口密集区域，以减少改建成本。为了避免采集到的数据失真，造成检测误差，甚至造成能耗上升，需要对其进行周期校准。

（五）完善运维机制，维持长期节能效果

节能技术的效果，既要靠设备的升级，也要靠后期的运营与管理。很多项目在初期取得了明显的效果，但运行一段时间后却有一定程度的回升，究其原因，是因为运行中存在着经营管理上的缺陷。因此，在制订设备维护方案的时候，必须将维护体系、体系调节体系、周期维护体系结合起来。对主机、泵阀、传感器等进行常规清洁校正，及时消除管路阻塞、变送器等故障，保证设备正常高效运行[4]。

通过培训维护人员，掌握其工作流程，掌握其故障诊断方式，降低人为错误所导致的能源损耗。通过对能耗数据的统计分析，实现能耗数据的周期性比较，并对运行方案进行持续修订。在此期间，对设备进行升级及例行保养，保证能效持续提高。

四、改造设计的实施原则

（一）因地制宜的适配原则

既有建筑的空调改建没有通用的方案，要根据建筑的功能、建造年限、结构状态以及气候条件等多方面来确定。在寒冷地区改造中，重点强化围护保温，并结合废热的利用，对冬季采暖模式进行优化；在夏热冬冷地区，应以降低能耗、调整空调运行模式及冷热源运行模式为主。办公楼、商场、医院等建筑在服役年限和供冷量上存在较大差别，必须将其选用与调整方法分开进行研究，而不能照搬既有案例，使其更接近于实际运营[5]。

（二）安全经济长效原则

在不损害原有建筑的承载结构和消防装置的情况下，对管道改变和设备的安装必须符合现行规范，以确保建筑和设备的安全。在项目实施过程中，要从经济性角度出发，选用容易实施、后期维护成本低的技术措施，避免过度改造造成的资金浪费。在选用装备和材料时，要本着持久耐用的原则，尽量降低以后的更换和维护成本，同时考虑前期投入和长期节约能源。

五、结语

本工程保留原有冷水机组与冷水水泵，沿用原有新风供给；通过对双管式空调节水系统的合理布局，静态平衡阀调节各楼层的横向管路，按照装修图纸对其末端进行改造，达到了某办公建筑 6-10 层办公建筑的空气调节效果。实际应用表明，与现行的高层办公建筑比较，其空调性能指数降低约 5%，实现预期的节能目标。

对既有建筑进行空调节能改造，是达到节约能源，降低污染，盘活存量的有效手段。要实现深度节能，需要从降负荷、设备更新、管线优化、智能控制、清洁能源利用和维修保障等方面对其进行全面优化。通过改造建筑物的墙壁，降低底层冷热电负荷，并改造主机和传输设备，提升单元效率，解决用水失衡问题，实现隐性能耗。通过对空气调节系统的智能调控，达到降低空气质量，减少空气污染，改善空气质量的目的。从长远看，随着“双碳”目标的推进，电网向智能、低碳方向发展是大势所趋。在上述研究的基础上，进一步开展多学科协同求解的研究，持续完善相关标准及运营管理体系，推动建筑节能减排，推动我国建筑产业绿色转型。

[参考文献]

[1]宋真真.既有建筑暖通空调系统节能改造设计实践研究[J].产品可靠性报告,2025,(11):73-74.

[2]朱雨婷.既有办公建筑超低能耗改造设计分析[J].建筑节能(中英文),2025,53(4):57-62.

[3]张天睿,杨辰,杨静.既有公共建筑暖通节能及绿色改造现状分析[J].科技与创新,2024,(5):166-168.

[4]李剑桥.既有住宅建筑暖通空调季节转换与节能设计研究[J].江西建材,2025(9):91-93.

[5]杨超.寒冷地区既有公共建筑暖通空调系统综合节能改造的实现路径[J].节能,2026(6):20-22.

作者简介：左振海（1980.6-），男，汉族，中国山东临沂人，硕士，高级工程师，注册公用设备工程师（暖通），从事暖通空调设计与节能设计方面的研究。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.