

暖通工程中的节能技术与应用

谢秋生

四川迪威消防设备制造有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i3.14395

[摘要] 相关统计说明,建筑暖通系统能耗占比高达40%–60%,因此在全球能源危机与“双碳”目标背景下,其节能改造成为实现低碳转型的关键领域。本文系统梳理了暖通工程节能技术体系,涵盖设备层、系统层及智能控制层三大维度,结合医院、地铁、工业厂房等典型场景的应用案例,量化分析节能率与经济效益。研究显示,采用磁悬浮机组与地源热泵复合系统的项目,综合节能率可达35%以上。通过生命周期成本法与碳交易收益评估,揭示了节能技术长期投资回报率超15%的潜力,为工程实践提供理论支撑与技术选型参考。

[关键词] 暖通工程; 节能技术; 可再生能源; 智能控制; 绿色建筑

中图分类号: S210.4 **文献标识码:** A

Energy saving technology and application in HVAC engineering

Qiusheng Xie

Sichuan Diwei Fire Equipment Manufacturing Co., Ltd

[Abstract] Against the backdrop of the global energy crisis and the "dual carbon" goal, the energy consumption of building HVAC systems accounts for as much as 40% –60%, and their energy-saving transformation has become a key area for achieving low-carbon transformation. This article systematically summarizes the energy-saving technology system of HVAC engineering, covering three dimensions: equipment layer, system layer, and intelligent control layer. Combined with application cases in typical scenarios such as hospitals, subways, and industrial plants, it quantitatively analyzes the energy-saving rate and economic benefits. Research shows that projects using a combination of magnetic levitation units and ground source heat pumps can achieve a comprehensive energy-saving rate of over 35%. Through the use of life cycle cost method and carbon trading benefit evaluation, the potential for long-term investment return rate of energy-saving technology exceeding 15% has been revealed, providing theoretical support and technical selection reference for engineering practice.

[Key words] HVAC engineering; Energy saving technology; Renewable energy; Intelligent control; Green Building

引言

在全球能源供需矛盾加剧与我国“双碳”战略深入推进的双重背景下,建筑领域能耗问题愈发凸显,其中暖通空调系统能耗占建筑总能耗的40%–60%,成为节能减排的核心突破口。当前,传统暖通工程普遍存在设备能效偏低、系统运行粗放、控制策略滞后等痛点,导致大量能源浪费。与此同时,高效冷热源技术、智能控制算法及可再生能源集成应用的快速发展,为破解这一难题提供了技术支撑。本文立足工程实践需求,系统分析暖通工程节能技术体系,结合典型应用场景量化节能效益,旨在揭示技术融合与创新对降低运行成本、减少碳排放的协同作用,为行业绿色转型提供理论依据与实践路径。

1 暖通工程节能技术体系

暖通工程节能技术体系是降低建筑能耗、实现绿色低碳运行的核心支撑,其技术路径覆盖设备层、系统层与智能控制层三个维度,通过硬件升级、系统优化与数字赋能的协同作用,实现全生命周期节能增效。以下从技术原理、应用效果及典型案例展开分析。

1.1 设备层节能技术

设备层节能聚焦于冷热源设备与动力设备的能效提升,通过技术创新直接降低单位能耗。

1.1.1 高效冷热源设备

磁悬浮离心式冷水机组采用无油润滑技术,消除机械摩擦损耗,其能效比可达7.0以上,较传统螺杆机组提升40%以上。例如,上海某超高层建筑采用磁悬浮机组后,夏季制冷能耗降低

32%, 年节约电费超200万元。地源热泵系统通过地下浅层地热能交换实现冷热双供, 季节性系数稳定在4.5以上, 较空气源热泵节能50%以上。北京某住宅项目应用地源热泵后, 冬季供暖成本从35元/㎡降至18元/㎡, 且无燃烧排放污染。

1.1.2 变频技术应用

变频技术通过调节电机转速实现流量按需供给, 显著降低水泵与风机的运行能耗。变频水泵根据末端负荷动态调整流量, 实测节能率达30%-50%, 广州某商业综合体改造后, 年节电量达120万kWh。变频风机在变风量空调系统中, 结合室内CO₂浓度反馈, 实现风量精准控制, 杭州某办公楼应用后, 新风机组能耗下降28%, 同时室内空气质量达标率提升至98%。

1.2 系统层优化技术

系统层节能通过优化管网设计与能量回收机制, 减少输送损耗与余热浪费, 提升系统整体能效。

1.2.1 水力平衡调节

水力失调是集中空调系统常见问题, 导致近端用户过冷、远端用户不足。静态平衡阀通过预设阻力系数实现初始流量分配, 而动态压差控制阀可根据末端压差变化自动调节开度, 维持系统稳定性。成都某商业综合体改造前, 末端温差达8℃, 改造后采用动态压差控制阀, 水力平衡率提升至95%, 空调系统节能18%, 年节约运行费用85万元。

1.2.2 热回收技术

热回收装置通过回收排风中的显热与潜热, 减少新风处理能耗。转轮式全热交换器效率可达65%-75%, 适用于湿度控制要求高的场所, 如医院手术室。深圳某医院应用后, 新风处理能耗降低40%, 年减少蒸汽消耗1200吨。冷凝热回收技术将制冷机组排热用于加热生活热水, 上海某酒店项目实现热水系统零能耗运行, 投资回收期仅3.2年。

1.3 智能控制技术

智能控制技术通过数据驱动与算法优化, 实现设备运行策略的动态调整, 挖掘节能潜力。

1.3.1 基于BIM的能耗模拟

建筑信息模型结合能耗模拟软件, 可在设计阶段预测系统能耗, 优化设备选型与管网布局。南京某地铁站项目通过BIM模拟, 将通风系统风道阻力降低15%, 风机功率减少22%, 年节电量达50万kWh。

1.3.2 物联网监控系统

物联网技术通过部署传感器与智能网关, 实现设备运行状态实时监测与故障预警。某数据中心采用AI算法对冷机群控进行优化, 根据IT负载动态调整制冷量, 电源使用效率从1.6降至1.3, 年节约电费超300万元。此外, 机器学习模型可预测末端负荷变化, 提前调节设备运行参数, 武汉某工业厂房应用后, 空调系统响应速度提升50%, 能耗波动率降低35%。

2 典型应用场景分析

暖通工程节能技术的应用需结合具体场景需求, 通过技术适配与系统集成实现能耗最优解。本文从公共建筑、工业厂房

及居住建筑三大领域切入, 分析典型场景下的技术路径与节能成效。

2.1 公共建筑领域

公共建筑具有能耗密度高、运行时间长等特点, 其暖通系统节能需兼顾舒适性与能效比。

2.1.1 医院手术室净化空调节能

手术室对温湿度、洁净度及新风量要求严苛, 传统四管制空调系统通过独立冷热源满足供冷供热需求, 但存在能量抵消问题。北京某三甲医院采用“四管制+热泵”复合方案, 利用热泵回收排风冷凝热, 冬季供暖时COP达4.2, 夏季制冷时热回收效率65%, 系统年节电量80万kWh, 相当于减少标准煤燃烧240吨。同时, 通过变频风机与智能压差控制, 维持手术室正压梯度稳定性, 避免因过度换气导致的能耗浪费。

2.1.2 地铁车站通风节能

地铁车站通风需应对客流波动与活塞风效应, 传统射流风机全时段运行能耗较高。广州地铁14号线引入“射流风机+活塞风井”协同控制策略, 利用列车运行产生的活塞风辅助通风, 结合CO₂浓度与客流密度实时调节风机频率。实测数据显示, 高峰时段活塞风可替代30%机械通风量, 系统整体节能率22%, 年节约电费超150万元。此外, 通过CFD模拟优化风道布局, 减少局部阻力损失, 风机能耗进一步降低8%。

2.2 工业厂房领域

工业厂房暖通系统需满足生产工艺的特殊需求, 节能技术需与工艺流程深度耦合。

2.2.1 纺织车间温湿度精准控制

纺织车间对温湿度敏感度极高, 传统转轮除湿技术依赖电加热再生, 能耗占空调系统40%以上。浙江某纺织企业采用溶液除湿技术, 利用氯化锂溶液吸收空气中水分, 通过低品位热源驱动再生, 除湿能耗降低60%。配合变频空调箱实现温湿度独立控制, 夏季车间湿度稳定在65%±5%, 产品次品率下降12%, 年节约运行成本200万元。

2.2.2 涂装车间VOCs处理节能

涂装车间挥发性有机物处理需高温焚烧, 传统RTO装置热效率约85%。上海某汽车工厂升级RTO系统, 采用陶瓷蓄热体分段加热与余热梯级利用技术, 将焚烧温度从800℃降至750℃, 热效率提升至95%, 天然气消耗量减少30%。通过热管换热器回收烟气余热, 预热新风至150℃, 进一步降低辅助燃料用量, 年减排VOCs12吨。

2.3 居住建筑领域

居住建筑暖通节能需平衡舒适性、经济性与可维护性, 推广适用性强的技术方案。

2.3.1 户式地源热泵系统

地源热泵通过地下埋管换热实现冷热双供, 但初期投资较高。武汉某别墅项目采用垂直地埋管+水冷螺杆机组方案, 系统COP冬季达4.0、夏季达5.2, 较空气源热泵节能55%。经过10年生命周期成本分析, 考虑电费节省与政府补贴, 项目动态投资回收期6.8年, 内部收益率达12%。

2.3.2 辐射空调与新风联动

辐射空调以毛细管为末端,通过低温差辐射供冷/供热,配合独立新风系统满足通风需求。南京某被动式住宅项目采用该技术,夏季辐射末端供冷能力 $45\text{W}/\text{m}^2$,室内温度波动 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,新风系统搭载全热交换器,显热效率70%、潜热效率60%,整体能耗较传统风机盘管系统降低40%。用户调研显示,95%住户认为室内热舒适性显著提升,且无吹风感不适。

3 节能技术经济性分析

暖通工程节能技术的推广需综合评估经济性与环境效益,通过全生命周期成本分析、政策激励效应及碳减排收益量化,为技术选型与投资决策提供科学依据。

3.1 生命周期成本分析

生命周期成本涵盖初始投资、运行维护、设备更换及残值回收等全周期费用,是衡量节能技术经济性的核心指标。以某办公楼空调系统改造为例,地源热泵系统初始投资较传统风冷热泵高25%,但运行费用年均降低38%。通过10年期动态折现计算,地源热泵LCC为1200万元,较传统系统低12%,投资回收期5.8年。进一步敏感性分析显示,当电价上涨10%时,地源热泵LCC优势扩大至18%,凸显其在能源价格波动下的抗风险能力。此外,设备寿命差异显著影响LCC:地源热泵地下换热器寿命达50年,而风冷热泵压缩机需10年更换一次,长期维护成本增加200万元。因此,LCC分析需结合技术特性与使用场景,避免短期投资偏好导致的长期成本陷阱。

3.2 政策激励效应

政策激励是降低节能技术推广门槛的关键手段。合同能源管理模式通过“节能效益分享”机制,由节能服务公司承担初始投资,用户以节省的能源费用支付服务费,有效缓解企业资金压力。例如,山东某工业园区采用EMC模式改造蒸汽系统,节能服务公司投资800万元,用户按节能收益的70%分期支付,5年内收回全部成本并持续受益。同时财政部《北方地区冬季清洁取暖规划》对地源热泵、空气源热泵等清洁供暖技术给予30%-50%的初投资补贴,北京某住宅项目通过补贴将地源热泵投资回收期从8年缩短至5年,政策杠杆效应显著。

3.3 环境效益评估

节能技术的环境效益可通过碳减排量与生态价值量化。以1万 m^2 商业建筑为例,采用高效冷热源与智能控制系统后,年节约标准煤320吨,减少 CO_2 排放800吨。在碳交易市场机制下,若碳价为80元/吨,年碳收益达6.4万元。此外,节能技术间接减少 SO_2 、 NO_x 等污染物排放,其环境修复成本可折算为生态价值。研究表明,800吨 CO_2 减排量相当于500棵成年乔木的年碳汇能力,或等效于1.2公顷森林的生态服务价值。进一步结合绿色建筑认证,节能技术可提升项目溢价能力,上海某写字楼因应用地源热泵与光伏一体化系统,租金较周边同类项目高15%,出租率提升20%,形成“节能-增收”良性循环。

4 发展趋势与挑战

4.1 技术融合趋势

随着物联网、大数据与人工智能技术的渗透,暖通工程节能技术正从单一设备优化向系统级智能控制演进。人工智能算法通过机器学习历史运行数据,可实现负荷预测误差低于5%,动态调整设备启停与参数设定,如深圳某数据中心采用AI优化制冷系统后,PUE从1.5降至1.25。数字孪生技术通过构建虚拟设备模型,实时映射物理系统状态,提前预警故障并优化维护策略,例如西门子为工业厂房开发的数字孪生平台,使设备停机时间减少40%,维护成本降低25%。未来,5G+边缘计算将进一步缩短控制延迟,推动分布式能源系统与暖通设备的协同运行。

4.2 标准体系完善

全球节能标准呈现“严苛化”与“精细化”趋势。欧盟ERP能效标签制度通过分级认证倒逼企业提升产品能效,我国《近零能耗建筑技术标准》虽已实施,但在实际项目中面临指标落地难、检测方法不统一等问题,如围护结构气密性测试易受现场环境干扰,导致40%项目难以达标。此外,跨区域标准差异制约技术推广,需加快建立全国统一的能效评估与认证体系。

4.3 行业痛点突破

初投资过高仍是节能技术普及的主要障碍,地源热泵系统单位造价较传统空调高30%-50%,中小企业投资意愿不足。需通过政策杠杆暖通系统因操作不当存在15%以上的性能损失。建议加强校企合作,开发模块化培训课程,并推广智能运维平台,通过自动化诊断减少对人工经验的依赖。

5 结论

暖通工程节能技术正朝着高效化、集成化与智慧化方向加速演进。设备层面, CO_2 跨临界制冷技术凭借GWP接近零的优势,将成为冷链物流与商业制冷领域的主流选择;系统层面,光储直柔系统通过光伏发电、储能调节与直流配电的深度融合,实现建筑能源自给率超60%;运维层面,基于大数据的故障预测模型可将设备停机时间减少50%以上。未来需进一步强化政策引导与技术创新的协同效应,通过碳交易机制激活市场活力,同时完善标准体系与人才培养机制,推动节能技术从“示范应用”向“规模化推广”跨越。

[参考文献]

- [1]郭瑞,申铁军.暖通空调节能技术在建筑工程中的应用分析[J].建材发展导向,2025,23(09):115-117.
- [2]黄圆圆.建筑工程中室内暖通空调节能技术应用探究[J].建筑,2024,(11):121-123.
- [3]徐彪.建筑工程中的暖通空调节能技术应用探讨[J].中国设备工程,2024,(10):217-219.
- [4]王永宝,钱文涛,尹春晓.暖通空调节能技术在建筑工程中的应用分析[J].中国战略新兴产业,2024,(15):132-134.

作者简介:

谢秋生(1981--),男,汉族,河南省唐河县人,大学本科、暖通工程师、研究方向:暖通工程节能技术。