

民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析

Analysis of Composite Energy-saving Methods for Renewable Energy Heating and Cooling Modes in Residential Buildings

申建光

(西安市建筑设计研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对不同情况和区域下的供热供冷模式能耗较大、综合节能率较低的问题, 提出民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析。该方法优先分析了民居建筑可再生能源的能源消耗影响因素, 计算出民居建筑可再生能源供热供冷模式下的能耗及负荷敏感性系数, 依据计算结果取得民居建筑可再生能源负荷与各个影响因素之间的数理关系, 基于获取结果建立供热供冷模式下的多周期负荷节能优化模型, 达到降低民居建筑能耗及负荷的目的, 实现民居建筑可再生能源的复合节能分析。实验结果表明: 节能率测试、能耗测试结果皆满足实际应用需求, 节能效果较佳。

关键词: 民居建筑; 可再生能源; 供热供冷模式; 复合节能分析

中图分类号: TU831.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2023) 05-0101-06

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.05.017

SHEN Jianguang

(Xi'an Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: Aiming at the problems of large energy consumption and low comprehensive energy-saving rate of heating and cooling modes in different situations and regions, this paper puts forward the analysis of compound energy-saving method of renewable energy heating and cooling mode in residential buildings. This method gives priority to the analysis of the influencing factors of renewable energy consumption in residential buildings, calculates the energy consumption and load sensitivity coefficient under the heating and cooling mode of renewable energy in residential buildings, obtains the mathematical relationship between the renewable energy load of residential buildings and various influencing factors according to the calculation results, and establishes the multi cycle load energy-saving optimization model under the heating and cooling mode based on the obtained results, Achieve the purpose of reducing the energy consumption and load of residential buildings, and realize the compound energy-saving analysis of renewable energy in residential buildings. The experimental results show that the energy-saving rate test and energy consumption test results meet the needs of practical application, and the energy-saving effect is better.

Keywords: residential buildings; renewable energy; heating and cooling modes; composite energy-saving analysis

0 引言

民居建筑中供热供冷模式是建筑能耗的主要一部分^[1], 为了能够节省民居建筑能源的使用^[2-3], 需要对民居建筑可再生能源供热供冷模式的复合节能应用实行详细分析。

作者简介: 申建光 (1975—), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 暖通、空调、热力系统工程设计优化分析, 节能控制等。

收稿日期: 2022-04-22

建筑节能

张朝阳等^[4]提出数据驱动的机床等待过程节能方法研究,对整体生产进度实行了有效评估,并将生产进度数据用作数据输入,以此建立出预测模型,利用该模型对需要等待的时间预测,根据预测结果对机床的状态变换,达到降低能耗的目的,再对其开展案例分析,依据分析结果获取能耗对比结果,从而实现节能减排,但是评估效果差,存在综合节能率差的问题。刘堂等^[5]提出基于人体热适应的相变蓄热墙体房间节能性能评价方法,首先建立了墙体热容法模型和传热模型,并采用有限差分法对两种模型的离散方程实行获取,通过对节能贡献率的求解,将其应用到城市建筑中对建筑能源的节能效果实行评价,从而实现节能方法的研究,但是评价效果不够完善,存在节能性能低的问题。张俊玉等^[6]提出 CART 决策树方法在煤电厂节能降耗中的应用方法,从热力设备中获取煤电厂的监控数据,采用 CART 决策树关联规则方法对控制不同工况下的煤耗,提升了煤耗节能效率,再以煤电厂历史运行数据为研究对象,利用 CART 决策树方法对数据调控,将其与传统方法对比,验证了煤耗节能降低效果,实现节能方法的研究,但是调控结果不明显,存在耗能高的问题。

为了解决上述方法中存在的问题,提出民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析。

1 民居建筑能源影响因素分析及能耗负荷模拟计算

1.1 民居建筑可再生能源影响因素

民居建筑可再生能源在供应时会因为多种因素干扰导致能源在供热供冷模式下消耗过多,其主要原因与民居建筑的外形、布局、结构等参数的组成有着密切关系。而内部因素则是因为人员密度、结构、设备照明等,外界因素为外界气象条件。

(1) 自身影响

民居建筑物与室外空气中的接触的表面积及包围体积之间的比值就是民居建筑的体形系数,它与民居建筑的能源消耗有着关联性,当民居建

筑物的体形系数越大时,建筑所消耗的能源就越大;反之则越小,同时对建筑节能就越有效果。在常规的民居建筑规划期间,可以利用下述方程表达式对民居建筑物的体形系数计算,从而确定民居建筑的底面形状、建筑面积、高度等。该方程表达式定义如下:

$$\eta = \frac{F}{V} = (ab + 2(a + b)h) / abh = \frac{1}{h} + \frac{2}{b} + \frac{2}{a} \quad (1)$$

式中: η 描述的是民居建筑体形系数, F 描述的是外表面积, V 描述的是建筑体积, a 描述的是建筑底面宽, b 描述的是底面长, h 描述的是高度。

通过上述方程表达式可知,民居建筑的楼层高度及楼层数量都会对体形系数造成影响。层高层数越多,与其相对应的体形系数就会越小,民居建筑的可再生能源在供冷供热模式下也就更加节能。一般情况下,民居建筑建立过程中需要遵循设定的建筑高度控制规定,具有限制性,所以各个民居建筑的层数变化范围较小,根据常规调研及研究即可获取民居建筑的建筑层高。

(2) 内部因素

民居建筑可再生能源中的内热源是影响民居建筑节能的主要影响因素。民居建筑可再生能源处于冷负荷时,内热源就会随着负荷的增大而产生变化,导致建筑内部的能源负荷比重过大。而民居建筑可再生能源处于热负荷时,内热源就会降低建筑中的负荷大小,具体体现在夏季、冬季的空调负荷中。由此可得,内部因素会对民居建筑的负荷预测精度造成影响。

(3) 外界因素

民居建筑室外空气的温湿度与太阳辐射强度均体现在室外设计参数中。民居建筑若主要应用动态负荷,那么设计的室外参数也是动态的。民居建筑室内设计参数表现为温湿度两方面,无论是室外参数还是室内参数,都会对民居建筑的主要负荷产生影响,那么具体的负荷影响因素如表 1 所示。

通过表 1 获取影响能源负荷消耗的主要因素^[7],并以此为基础计算出民居建筑可再生能源

供热供冷模式下消耗的负荷。

表 1 民居建筑可再生能源负荷消耗影响因素
Table 1 influencing factors of renewable energy load consumption in residential buildings

	主要参数	模型因子	来源
物理模型	底面形状	底面形状	规划信息
	底面面积	长宽比	规划信息
	建筑朝向	建筑朝向	规划信息
	建筑高度	建筑高度	—
	建筑体型	体形系数	标准、规范、调研
	外墙	传热系数	标准、规范、调研
	屋面	传热系数	标准、规范、调研
	窗户及门	传热系数、透射率、吸收率	标准、规范、调研
	层高	层高	标准、规范、调研
	内扰因素	人员	人员密度及作息
设备		设备功率及作息	标准、规范、调研
照明		照明功率及作息	标准、规范、调研
室外气候条件		温湿度、辐射	标准、规范
外扰因素	室内设计条件	温湿度	标准、规范
	新风	新风量	标准、规范
地方性条件	采暖季及空调季	采暖季及空调季时间表	标准、规范、调研

1.2 供热供冷模式能耗负荷计算

(1) 民居建筑供冷供热模式下的能耗计算

为了能够有效计算出民居建筑在供冷供热模式下的可再生能源消耗量，采用热平衡法^[8]将民居建筑的外表面热平衡、内表面热平衡、整体热平衡、空气热平衡等相互关联，以此达到获取民居建筑表面温度及空气温度的目的，从而计算内在负荷。那么民居建筑可再生能源的导热系数用方程定义如下：

$$q_{ko}'' = \sum_{j=1}^{\infty} X_j + T_{o, t-j} + X_o T_{o, t-j} + \sum_{j=1}^{\infty} \Phi_j + q_{ko, t-j}'' \quad (2)$$

式中： q_{ko}'' 描述的是导热， X_j 标记为内部导热传递系数， $T_{o, t-j}$ 描述的是外表面温度， t 标记为时刻， j 描述的是系数， X_o 描述的是热平衡， Φ_j 标记为热流量。

由于方程 (2) 的表达式对民居建筑的动态传热计算结果的计算精度较差，所以需要对方程 (2) 改进，取得导热传递方程，定义如下：

$$q_{ki}'' = - Z_o T - \sum_{j=1}^{\infty} X_j + T_{o, t-j} + Y_o T_{o, t} + \sum_{j=1}^{\infty} Y_j T_{o, t} + \sum_{j=1}^{\infty} \Phi_j + q_{ki, t-j}'' \quad (3)$$

式中： q_{ki}'' 标记为导热传递， Z_o 描述的是外部导热传递系数， Y_o 标记为外表面热平衡， Y_j 标记为中间导热传递系数。

方程 (3) 既是导热传递方程也是民居建筑可再生能源内部热流量计算方程表达式，而民居建筑可再生能源的外部热流量如下式定义：

$$q_{ko}'' = - Y_o T - \sum_{j=1}^{\infty} Y_j + T_{o, t-j} + X_o T_{o, t} + \sum_{j=1}^{\infty} Y_j T_{o, t} + \sum_{j=1}^{\infty} \Phi_j + q_{ko, t-j}'' \quad (4)$$

基于以上方程可知，民居建筑的内表面及外表面的温度和热流量都与民居建筑的能耗有关，所以利用热平衡法取得民居建筑的表面温度后，将其应用到可再生能源供热供冷模式下的建筑辐射板能耗计算中，从而取得民居建筑的辐射板能耗。

(2) 负荷敏感性分析

民居建筑除了需要计算可再生能源在供热供冷模式下的能耗，还要对建筑冷热负荷展开敏感性分析^[9]，研究建筑的影响因素数值，获取影响因素对建筑负荷造成的影响程度，即敏感性系数。计算方式表示如下。

民居建筑的影响因素是对结果系数产生的影响程度，也被称作敏感性系数，敏感性系数中主要分为三种系数，分别是：结果影响程度的系数，即 IC ；系数变量， ΔIP 与 ΔOP ，三种系数变量之间的关系如图 1 所示。

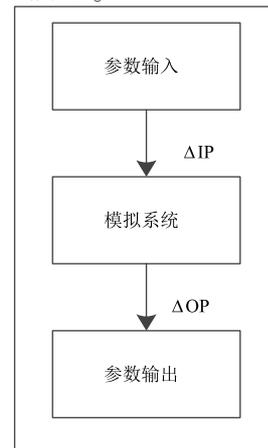


图 1 负荷敏感性分析关系图
Fig. 1 Load sensitivity analysis diagram

建筑节能

基于图 1 敏感性系数的关系, 以有量纲和无量纲两种形式, 取得民居建筑的敏感性系数, 有量纲形式下的敏感度表示为 $\frac{\Delta OP}{\Delta IP}$, 它的影响系数

表示为 $\frac{\Delta OP \div O_1 P}{\Delta IP}$; 而无量纲形式下的敏感性系数

定义为: 点弹性 $(\Delta OP \div O_1 P) / (\Delta IP \div I_1 P)$, 弧线中点弹性 $\Delta OP \div [(OP_1 + OP_2) / 2] / \Delta IP \div [(IP_1 + IP_2) / 2]$, 弧均值弹性 $(\Delta OP / \Delta IP) / (\bar{OP} / \bar{IP})$ 。

式中: OP_1 标记为参数输入变动前的影响因素数值, IP_1 标记为输出参数变动前的数值, OP_2 、 IP_2 分别表示输入、输出参数变动后数值, \bar{OP} 、 \bar{IP} 输入、输出参数变动前后的平均值。

基于获取的能耗数据及敏感性系数, 对民居建筑在不同时期下的冷负荷、热负荷、能耗分析, 从中取得民居建筑负荷与各个影响因素的数理关系, 通过获取结果建立负荷节能优化模型, 达到降低建筑负荷的目的, 实现负荷节能。

2 建立供热供冷模式下的多周期负荷节能优化模型

2.1 多周期负荷节能定义

建立供热供冷模式下的多周期负荷节能优化模型前, 首先需要构建一个民居建筑热泵机组运行功率计算模型, 以该模型为基础确立民居建筑的压缩机功耗, 用方程表达式定义如下:

$$P_{at} = n_0 + n_1(t_i - t_0) + n_2(t_i - t_0)^2 + n_3 Q_m + n_4 Q_m^2 + n_5(t_i - t_0) Q_m \quad (5)$$

式中: P_{at} 标记为实际运行功率, Q_m 标记为实际制冷量, t_i 标记为冷却水回水温度, t_0 标记为供冷水供水温度, n_0 标记为拟合系数。

2.2 目标函数及求解

将民居建筑全周期的最低运行能耗为主, 利用上述构建的模型对建筑中的实际运行特性反应, 体现出民居建筑热泵机组的最佳运行状态^[10], 取得全周期的实际最低能耗, 表示为:

$$\min ENERGY = \sum_n \sum_t (P_{at} \times Y_{at} \times T) \quad (6)$$

式中: $\min ENERGY$ 标记为运行最小能耗值, T 标记为运行时间, P_{at} 标记为运行功率函数, Y_{at} 标记为运行情况。

2.3 约束条件及求解

以民居建筑设备运行特性及能量守恒原理为主, 构建模型数值上的约束条件。

(1) 建筑设备约束

$$Q_L \leq Q_m \leq Q_U \quad (7)$$

式中: Q_L 标记为设备制冷量下限, Q_U 标记为设备制冷量上限, Q_m 标记为实际制冷量。

建筑设备的最大冷负荷不能高于额定数值, 所以设定设备负荷下限为: $0.2Q_n \leq Q_m \leq Q_n$ 。

式中: Q_n 标记为额定制冷量。

(2) 负荷约束

民居建筑设备运行时, 设备的实际制冷量总和要符合周期总负荷, 定义为: $\sum_n Q_m \geq D_t$ 。

式中: D_t 标记为总负荷需求。

(3) 运行逻辑约束

建立的节能优化模型中, Y_{at} 为设备运行逻辑变量, 也是设备在多时期运行的情况, 因而设定设备处于运行状态时, 取值为 1; 而设备停止运行后, 取值为 0。

上述目标函数及约束条件为建立的民居建筑可再生能源供热供冷模式负荷节能优化模型, 将民居建筑可再生能源及建筑设备的初始数据输入到模型中, 其最终输出结果就是最佳节能量, 以此实现民居建筑负荷节能。

3 实验与分析

为了验证民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析的整体有效性, 需要对该方法开展实验对比测试。

采用民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析 (方法 1)、数据驱动的机床等待过程节能方法研究 (方法 2) 和基于人体热适应的相变蓄热墙体房间节能性能评价方法 (方法 3) 进行实验测试。

(1) 选取某一民居建筑作为研究对象, 采用方法 1、方法 2 和方法 3 对设定的民居建筑在不同

建筑节能

气候下进行建筑供能节能率模拟测试，根据测试结果验证民居建筑能源节能效果，建筑节能率越高，说明该方法的节能效果越强，反之则越差。具体测试结果如图 2 所示。

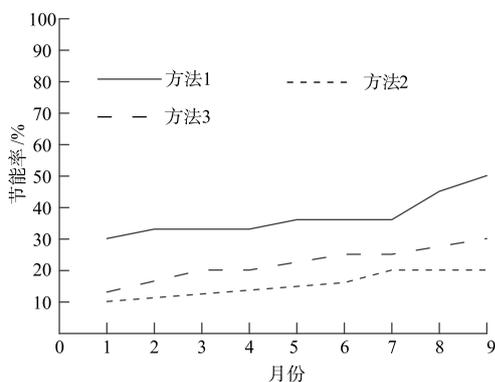


图 2 民居建筑本体节能率对比测试

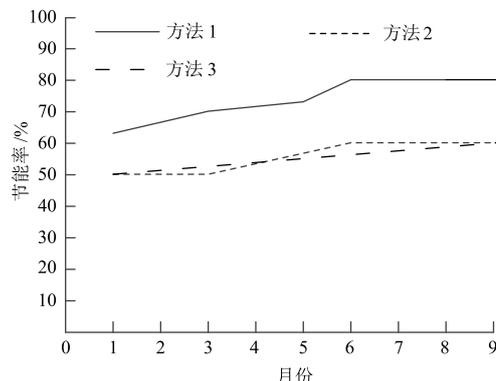
Fig. 2 Comparison test of energy saving rate of residential buildings

民居建筑外部气候的变化会随着月份的增长而产生变化，在不同月份下，方法 1 的民居建筑本体节能率在 30%~50%之间，它的整体节能率要高于方法 2 和方法 3，可见方法 1 的节能效果强。

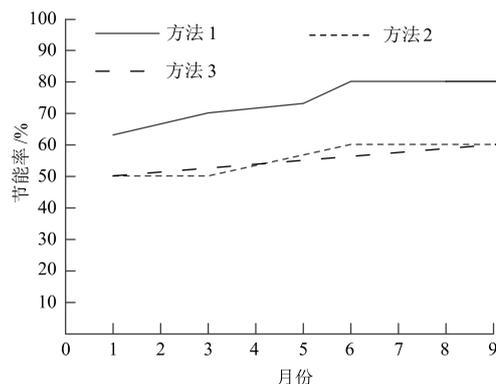
以民居建筑本体节能率为基础，利用三种方法对不同气候分区下的民居建筑开展建筑综合节能率测试，测试结果如图 3 所示。

从图 3 (a) 中可以看出，严寒地区下各个方法的民居建筑综合节能率都处于 50%以上，综合节能效果较高。经对比发现，方法 2 和方法 3 的综合节能率整体差异较小，但两种方法与方法 1 的差距较大，可见严寒地区下方法 1 的民居建筑综合节能率最佳。

而在夏热冬暖地区，如图 3 (b) 所示，三种方法的综合节能率都有所上升，与图 3 (a) 相比，三种方法在此气候下综合节能效果均有所上涨。其中效果最明显的是方法 1，它在夏热冬暖地区下综合节能效果达到了 80%以上，而其余方法仅处于 60%以上，由此得知方法 1 在任意气候分区下的民居建筑综合节能率都最高。



(a) 严寒地区下的民居建筑综合节能率测试



(b) 夏热冬暖地区下的民居建筑综合节能率测试

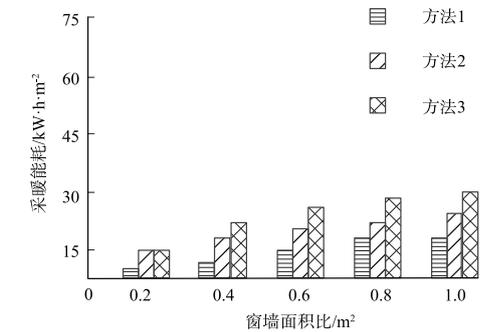
图 3 不同分区下的建筑综合节能率对比分析

Fig. 3 Comparative analysis of the comprehensive energy saving rate of buildings under different zones

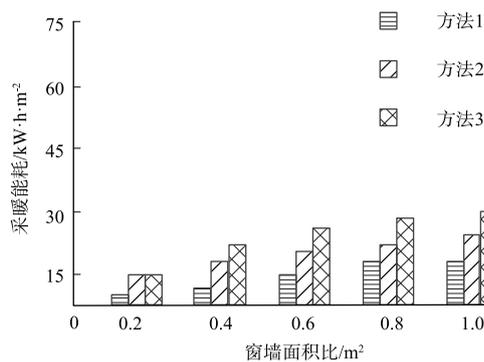
综上所述，不论是民居建筑本体节能率还是综合节能率，方法 1 的最终节能效果都是最优的。这主要因为方法 1 分析了民居建筑能耗影响因素，为后续的可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析奠定了理论基础，加强了该方法的整体节能效果，达到了在任意气候分区下节能性能最佳的目的。

(2) 民居可再生能源会随着太阳能的变化而变化，设定以阳光不断推进为测试条件，采用三种方法对民居可再生能源实行采暖能耗测试和制冷能耗分析，根据能量消耗结果判定三种方法的节能性能，能耗越低表明该方法的节能性能越强。测试结果如图 4 所示。

建筑节能



(a) 采暖能耗变化分析



(b) 制冷能耗变化分析

图4 不同情况下的能耗对比分析

Fig. 4 Comparison and analysis of energy consumption in different situations

以南向阳光间、北向缓冲空间为主,根据窗墙面积比变化测试三种方法的采暖能耗。从图4(a)可知,采暖能耗会随着阳光的变化而增大,在窗墙面积比增加的情况下,三种方法所呈现出的采暖能耗差异性较大。三种方法中,方法1的采暖能耗较低,而方法2和方法3在测试过程中的整体采暖能耗均高于方法1,验证了方法1的能源消耗小,节能效果优。

以南向阳光间、北向缓冲空间为主,三种方法在制冷时产生的能耗要高于采暖时所消耗的能量。随着阳光进深深度的增加,三种方法的制冷能耗都有提升,但方法1的上升进度相较于方法2和方法3的进度较慢,同时总体制冷能耗较低,验证了方法1的节能性能最好。

4 结论

民居建筑过多的能源消耗会导致我国能源短

缺,为了解决这种问题的发生,提出民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能方法分析。该方法详细分析了民居建筑可再生能源影响因素,并计算了建筑可再生能源在供热供冷模式下的能耗及负荷敏感性分析,从中获取影响因素对民居建筑负荷造成的影响程度,基于获取结果建立多周期负荷节能优化模型,利用该模型实现民居建筑可再生能源供热供冷模式复合节能,从而完成节能方法的分析。该方法在能源节能方法中发挥着重要作用,在今后节能方法中有着良好的发展前景。

参考文献

- [1] 池方爱,徐利明,彭昌海.建筑平面能耗系数的推导与应用——以斯宅传统民居为例[J].工业建筑,2021,51(4):31-39.
- [2] 陈成敏.综合能源供应站多形态供氢的规划建设探讨[J].矿冶工程,2021,41(3):151-157.
- [3] 张英婕,王洪强.基于组合赋权和灰色关联投影法的区域能源供应系统评价研究[J].数学的实践与认识,2021,51(7):26-34.
- [4] 张朝阳,吉卫喜.数据驱动的机床等待过程节能方法研究[J].中国机械工程,2020,31(12):1492-1499.
- [5] 刘堂,刘江,乔宇豪,等.基于人体热适应的相变蓄热墙体房间节能性能评价方法[J].建筑科学,2020,36(2):133-139.
- [6] 张俊玉,胡家豪,黄嵩.CART决策树方法在煤电厂节能降耗中的应用[J].控制与决策,2021,36(5):1232-1238.
- [7] 聂金哲,刘继磊,李德英,等.基于能耗模拟的北方新农村典型居住建筑能耗影响因素分析[J].新型建筑材料,2020,47(4):139-146.
- [8] 范文婷,李涛,赵增怡,等.新型节能柴窑热平衡测定与计算方法及能耗分析[J].中国陶瓷,2021,57(10):75-81+90.
- [9] 高枫,朱能.寒冷地区办公建筑负荷敏感性差异分析及应用[J].哈尔滨工业大学学报,2020,52(4):180-186+194.
- [10] 李骥,乔鏢,马宁,等.某医院大型地源热泵系统的设计优化与运行效果验证[J].暖通空调,2020,50(8):27-34.