

夏热冬冷地区近零能耗住宅室内湿特性分析

苏 醒^{1,2}, 田少宸^{1,2}

(1. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 201804; 2. 同济大学 工程结构性能演化与控制教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 以夏热冬冷地区近零能耗住宅和常规住宅为研究对象, 计算了夏季和除湿期的除湿量, 对比研究了两种建筑的热湿比特征和室内高湿度问题。研究表明: 近零能耗住宅和常规住宅除湿量变化主要取决于新风和渗透风量, 无人时段换气次数对总除湿量影响较小。在不考虑新风显热负荷和湿负荷的情况下, 近零能耗住宅夏季和除湿期的热湿比分别降低至常规住宅的 45.3% 和 38.5%。以室内温度为控制参数时, 近零能耗住宅在夏季和除湿期的室内高湿度时长比常规住宅长。夏季减小近零能耗住宅无人时段的开窗换气次数, 除湿期适当开窗通风有助于减少室内的高湿时数。

关键词: 夏热冬冷地区; 近零能耗建筑; 除湿量; 热湿比; 换气次数

中图分类号: TU119

文献标志码: A

Indoor Humidity Environment Analysis of Nearly Zero Energy Residence in Hot Summer and Cold Winter Zone

SU Xing^{1,2}, TIAN Shaochen^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Key Laboratory of Performance Evolution and Control for Engineering Structures of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Taking the nearly zero energy residence and conventional residence in hot summer and cold winter zone as research objects, the dehumidification capacity in summer and dehumidification period was calculated. The characteristics of angle scale and indoor high humidity of two kinds of buildings were studied comparatively. The results show that: the variation of dehumidification capacity of nearly zero energy residence and conventional residence are mainly determined by the amount of fresh air and infiltration rate. Air exchange rate during uninhabited period have little influence on the dehumidification capacity. Without considering the

sensible heat load and moisture load of fresh air, the angle scale of nearly zero energy residence in summer and dehumidification period is reduced to that of conventional residence 45.3% and 38.5% respectively. High humidity period of nearly zero energy residence in summer and dehumidification period is longer than that of conventional residence when indoor temperature is selected as the control parameter. Limiting the air exchange rate during uninhabited period of nearly zero energy residence in summer and ventilating properly in dehumidification period contributes to decrease the indoor high humidity time period.

Key words: hot summer and cold winter zone; nearly zero energy building; dehumidification capacity; angle scale; air exchange rate

随着建筑节能的要求不断提高, 近零能耗建筑在我国迅速发展, 但是对近零能耗建筑技术路线的探索必须考虑气候适应性的问题, 其技术体系需针对不同地区的气候特征进行深入研究。严寒及寒冷地区住宅能耗主要来源于冬季采暖; 但对于夏热冬冷地区, 不仅要考虑夏季空调、除湿以及冬季采暖的需求, 而且更需重视过渡季节的除湿问题。夏热冬冷地区夏季高温潮湿, 冬季阴冷, 该气候区夏季气温高于 35 °C 以上的时间大概在 20 d 左右, 最热时气温高达 41 °C 以上, 年平均相对湿度在 70%~80% 左右, 除湿期长。在过渡季节时尽管室外空气温度相对适宜, 但通常相对湿度可高达 95%~100%^[1-2]。

相比于常规建筑, 近零能耗建筑通过提高围护结构的热工性能和建筑气密性可以减少室内外的热量传递, 有效降低建筑的夏季冷负荷和冬季热负荷, 减少空调和采暖能耗。但对于湿负荷的降低效果不如显热负荷。另一方面, 室内湿环境与人体的舒适

收稿日期: 2019-08-19

基金项目: “十三五”国家重点研发计划专项(2017YFC0702600)

第一作者: 苏醒(1982—), 男, 副教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为低能耗除湿技术。

E-mail: suxing@tongji.edu.cn



论文
拓展
介绍

性和健康密切相关,过高的相对湿度会降低人体的舒适性,影响室内空气品质,有助于如霉菌、细菌以及尘螨等微生物的生长和繁殖^[3],同时还会增加建材和家具中挥发性有机物(VOC)的散发,增加臭氧、微粒和丙烯醛气体的刺激性^[4-5]。因此,对夏热冬冷地区近零能耗建筑的室内湿环境进行研究有助于选择和设计适用的空调和除湿系统形式。

许多学者对住宅的湿负荷和除湿量进行过相关研究,但关于夏热冬冷地区近零能耗居住建筑的相关研究较少。刘拴强等^[6]对室内湿负荷的构成以及计算方法进行了研究,指出人体散湿量和新风渗透产湿量是必须考虑的,新风和围护结构渗透引入的湿负荷同样不可忽略,尤其是在夏热冬冷地区和夏热冬暖地区。Walker等^[7]研究了不同标准的通风换气次数对常规住宅湿度的影响。夏热冬冷地区间歇运行住宅的开窗换气次数也会影响湿负荷和室内湿环境,徐小群等^[8]通过研究围护结构内表面的吸放湿特性指出非连续运行的空调系统应考虑围护结构内表面吸放湿作用对湿负荷的影响。曾宪纯等^[9]提出除湿湿日数的概念并计算出上海除湿湿日数天数为125 d,全年总湿日数为562.63 g·d·kg⁻¹。余晓平等^[10]对夏热冬冷地区典型城市除空调期以外的除湿期进行了统计,在室内相对湿度设定值为60%时,除湿期长度在80~120 d左右。

夏热冬冷地区近零能耗居住建筑的除湿问题和除湿能耗问题逐渐引起重视。Schnieters等^[11]指出上海等潮湿气候区近零能耗建筑设计时应重点防止湿度过大而引起发霉的问题,且夏季极端情况下需对制冷和除湿分开控制。Langer等^[12]发现近零能耗建筑采暖季室内相对湿度比常规建筑低,但夏季和过渡季节的室内湿度问题还未明确。O' Kelly等^[13]指出近零能耗建筑在潮湿气候区的近零能耗居住建筑中使用传统的压缩式空调系统难以很好地对室内的湿环境进行控制。Firlag等^[14]研究发现对近零能耗建筑能耗需求影响最大的是室内、外相对湿度引起的除湿需求和冬季的采暖需求。张强^[15]通过对夏热冬冷地区高层住宅的仿真指出年除湿能耗指标应控制在20 kWh·m⁻²·年⁻¹以内。

综上,目前针对夏热冬冷地区近零能耗住宅在湿特性的研究较少,本文以上海为例,采用DeST软件模拟计算近零能耗住宅和常规住宅的热、湿负荷和室内相对湿度状态,分析比较两种类型住宅人员在室期间和人员不在室期间以不同换气次数使用的热湿比特性及室内高湿度时长,以期为该地区近零

能耗住宅的室内湿环境控制提供数据支撑。

1 研究方法

1.1 季节性建筑设计参数

本文以上海市一典型户型的标准层住宅为例,采用DeST软件对建筑建模并仿真计算近零能耗住宅和常规住宅的动态热、湿负荷和室内温、湿度状态。住宅面积为100 m²,高2.9 m。住宅平面如图1所示。

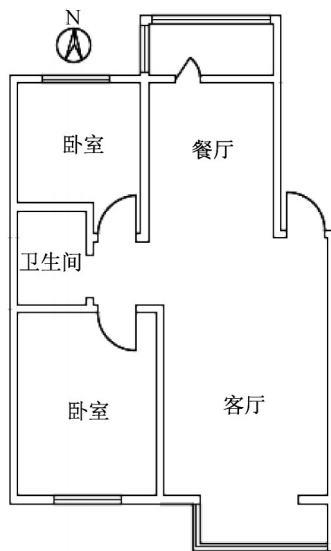


图1 住宅平面图

Fig.1 Plan of the residence

近零能耗建筑相关设计参数根据GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》^[16]选取;常规建筑相关设计参数根据上海市的DGJ 08-205—2015《居住建筑节能设计标准》^[17]选取。建筑围护结构基本信息及室内热扰的相关参数如表1所示,表中, R_H 为相对湿度。张慧玲^[18]基于热舒适和建筑节能的角度并结合上海市典型年气象数据对上海建筑节能季节进行了划分。除湿期为6月5日~6月24日和8月24日~9月22日;空调期为6月25日至8月23日。

用于仿真计算的上海市典型气象年数据在除湿期和空调期的室外逐时温度和相对湿度如图2所示。除湿期室外空气温度较低,存在室内空气温度低于夏季室内设计温度(26℃)的情况。相关标准综合建筑节能和人体热舒适两方面考虑,给出了夏季和冬季的室内温、湿度设计参数。但并未明确过渡季节的室内温、湿度设计参数。根据等效温度的概念,满足人体热舒适要求的室内相对湿度可高于夏

表1 建筑基本信息

Tab.1 Basic information of building

参数	近零能耗建筑	常规建筑
外墙传热系数/(W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0.27	0.99
屋面传热系数/(W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0.26	0.80
外窗传热系数/(W·m ⁻² ·K ⁻¹)	1.5	2.0
外窗太阳得热系数SHGC	0.15	0.35
气密性	N ₅₀ ≤0.6	4级
新风量	30 m ³ ·人 ⁻¹ ·h ⁻¹	根据换气次数计算
照明功率密度/(W·m ⁻²)	3	5
设备功率密度/(W·m ⁻²)	2	7
室内温度、相对湿度设计参数	夏季:26℃, 60%	
	除湿期:≤26℃, 70%	
人员	3人	
	散热量:134 W·人 ⁻¹	
	散湿量:109 g·人 ⁻¹ ·h ⁻¹	

季的设置值。另一方面,相对湿度过高会增加室内微生物滋生的风险。因此,除湿期室内相对湿度设定状态点应综合人体热舒适和降低室内微生物生长繁殖两方面进行确定。

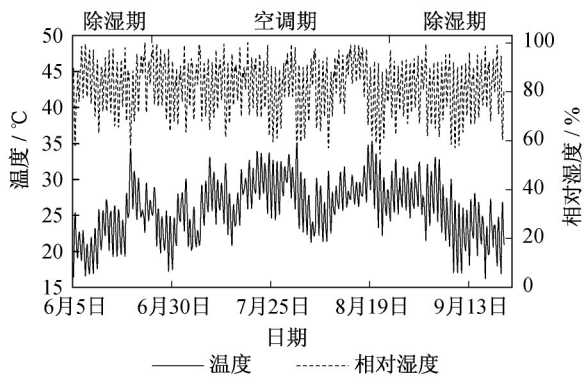


图2 室外温度和相对湿度

Fig.2 Outdoor temperature and relative humidity

相同温度下,相对湿度越低越不利于室内微生物的生长繁殖。另一方面,室内相对湿度的设定值会影响湿负荷和空调的除湿能耗。相同温度下,相对湿度设定值越低,需要的送风状态点含湿量就越低,除湿能耗也就越高。根据陈国杰^[19]对南方地区墙体表面霉菌滋生风险的研究结果,夏热冬冷地区应用加气混凝土墙体在室内温度低于26℃时,相对湿度低于73%即可有效降低墙体表面霉菌滋生的风险。因此,在除湿期室内空气温度低于26℃的期间,室内相对湿度设定状态点为70%。

多数住宅的空调运行模式为间歇运行,本文人员在室时间按周一至周五晚18:00至次日8:00和周末全天进行设置。住宅新风量和换气次数也是影响空调及除湿能耗的重要参数。人员不在室期间通常会对房间进行开窗通风,人员在室期间通常以最小

新风量送风(机械新风)或保持关窗。上海市常规住宅换气次数实测研究结果显示:大多数住宅关窗时的平均换气次数高于0.35 h⁻¹;开窗通风时换气次数集中于0.5~4.5 h⁻¹,最高可达9 h⁻¹以上,平均值为2 h⁻¹^[20-21]。人员在室期间,近零能耗住宅的机械新风量根据室内卫生需求确定,同时窗户保持关闭。人员不在室期间,计算并比较换气次数为0.035 h⁻¹至8 h⁻¹时的负荷和室内温湿度。常规住宅的关窗时的换气次数按0.35 h⁻¹计算;开窗时的自然通风量分别按0.5,1,2,5,8 h⁻¹进行计算。考虑到近零能耗住宅机械新风一般采用热回收型,房间同时存在排风。实际渗透风量受热压和风压的共同影响,有人时段以机械新风送风时,也应考虑渗透风的影响,为简化计算,渗透风引起的换气次数按关窗的换气次数考虑。

1.2 湿负荷计算方法

人体散湿量可根据劳动强度、室内温度和室内人员数量计算。除人体散湿量外,新风湿负荷和渗透风湿负荷也是住宅湿负荷的主要组成部分。为简化计算,住宅总湿负荷仅考虑以上三部分湿负荷。住宅总湿负荷按公式(1)计算:

$$W = W_p + W_i + W_j \quad (1)$$

式中:W为总湿负荷,g·h⁻¹;W_p为人体散湿量,g·h⁻¹;W_i为新风湿负荷,g·h⁻¹;W_j为渗透风湿负荷,g·h⁻¹。

新风湿负荷和渗透风湿负荷取决于室、内外温、湿度差值。夏季室外高温高湿,需要计算新风和渗透风的湿负荷与冷负荷,空调的除湿与降温同步进行。在过渡季节,室外温度常低于夏季的室内设计温度,但相对湿度较高,只需要计算新风和渗透风的湿负荷,同时考虑室内湿度的控制。除湿期室温低于夏季室内设计温度时不对室内温度进行控制,室内温度不是固定值,会随室外空气温度变化。因此,过渡季节保持室内相对湿度设定值不变时,室内含湿量设定状态点应随室内温度变化。综上,室内湿度设定状态点应以相对湿度表示,新风和渗透风除湿量采用含湿量进行计算。新风除湿量按式(2)计算。渗透风除湿量计算公式与新风量计算公式相同,仅风量不同。

W_i =

$$\begin{cases} M_f \cdot (d_o - 12.6), & t_N \geq 26, d_o > 12.6 \\ M_f \cdot \left(d_o - 622 \frac{\varphi_N \cdot P_N}{B - \varphi_N \cdot P_N} \right), & t_N < 26, d_o > d_N \end{cases} \quad (2)$$

式中:W_i为新风除湿量,g·h⁻¹;M_f为新风量,kg·h⁻¹;

t_N 为室外空气温度,℃; d_o 为室外空气含湿量, $g \cdot kg^{-1}$; φ_N 为除湿期室内相对湿度设定点,取70%; P_N 为室内温度对应的饱和水蒸气分压力,Pa; B 为大气压力,101 325 Pa。

为研究住宅不同使用方式分别对夏季和除湿期湿负荷的影响,采用季节性总除湿量进行分析。季节总除湿量计算公式为

$$W_{total} = \sum_{j=1}^n W_j \quad (3)$$

式中: W_{total} 为夏季/除湿期的总除湿量,g; W_j 为夏季/除湿期人员在室且需除湿的时间段1 h内的除湿量,g; n 为夏季/除湿期人员在室且需除湿的小时数。

1.3 住宅热湿比

传统住宅中的制冷和除湿均由空调的蒸发器完成。住宅在不同季节,甚至是1d内不同时段的热、湿负荷波动较大,这种温、湿度耦合控制的空调难以同时满足室内的温、湿度设计参数。对室内湿度的控制是通过蒸发器的性能与住宅的热、湿负荷的关系间接控制的,因此,住宅的室内湿环境通常难以满足要求。在近零能耗住宅中,热、湿负荷不等比例的降低会使房间的热、湿负荷特性发生很大变化。换气次数变化和新风是否经过热、湿处理也会影响住宅的热、湿负荷特性。本文采用热湿比的概念研究分析近零能耗住宅和常规住宅在不同使用方式下的热、湿负荷特征,可以为近零能耗住宅空调系统的设计提供一定的参考,热湿比按式(4)进行计算:

$$\epsilon = \frac{3600 \cdot Q}{W} \quad (4)$$

式中: ϵ 为建筑热湿比, $J \cdot g^{-1}$; Q 为冷负荷, W 。

1.4 仿真结果验证

为验证模拟方法的正确性,将常规建筑的室内温度、湿度仿真计算结果与文献[22]中对上海市常规住宅室内温、湿度8月4日和8月5日的实测数据进行比较。仿真计算的室内温、湿度随空调间歇运行情况和室外温、湿度的变化趋势与实测结果一致性较高。由于典型气象年温、湿度数据与实测数据略有偏差,实际情况下住宅的使用方式也具有一定随机性。因此,室内温、湿度仿真计算结果与实测数据存在一定误差。根据实测室外气象参数修正后的室内温度仿真值与实测值的最大相对误差为6.8%;室内相对湿度仿真值与实测值的最大相对误差为9.6%。可以认为该仿真计算方法能用于预测实际使用情况。

2 结果与讨论

2.1 总除湿量

近零能耗住宅、常规住宅在有人时间段不开窗通风(常规-有人时段关窗)和常规住宅在有人时间段以 $1 h^{-1}$ 换气次数运行(常规-有人时段换气次数 $1 h^{-1}$)空调系统间歇运行时白天无人时段不同换气次数下的夏季和除湿期的总除湿量分别如图3和图4所示。不同建筑类型的住宅中,有人时段换气次数变化对总除湿量的影响均高于无人时段换气次数的影响。

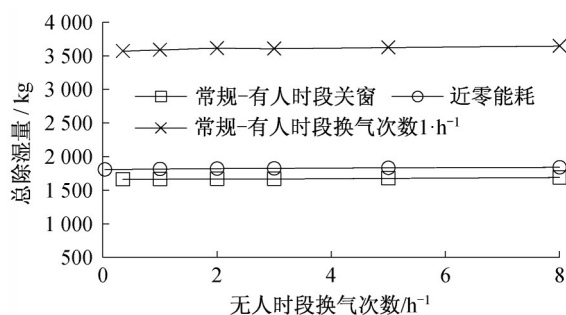


图3 夏季总除湿量

Fig.3 Total dehumidification capacity in summer

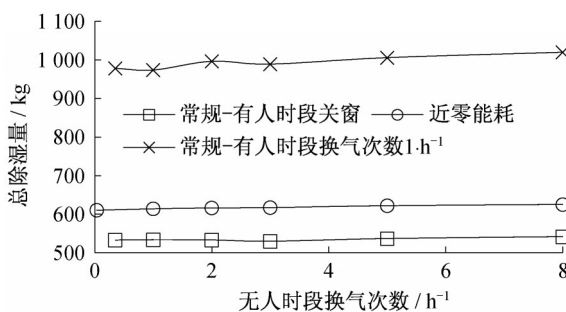


图4 除湿期总除湿量

Fig.4 Total dehumidification capacity in dehumidification period

近零能耗住宅夏季的总除湿量约为1 820 kg,除湿期总除湿量约为620 kg。标准规定新风量的常规住宅夏季总除湿量约为3 600 kg,除湿期总除湿量约为990 kg。关窗使用的常规住宅夏季总除湿量约为1 670 kg,除湿期总除湿量约为530 kg。不同建筑类型的住宅中,室内人体散湿量较稳定且相差不大。因此,除湿量的差异主要取决于新风和渗透风量。近零能耗住宅的新风和渗透风量之和高于常规住宅关窗的渗透风量,低于常规住宅标准换气次数下的风量。夏季室外空气含湿量高于除湿期。夏季不同新风及渗透风量下住宅的除湿量差值高于除湿期住

宅除湿量的差值。

无人时段开窗通风对住宅除湿量的影响主要体现在开窗通风量对室内蓄湿量的影响。常规住宅中,当无人时段次数从 0.35 h^{-1} 增加至 8 h^{-1} ,在标准新风换气次数和关窗渗透风换气次数情况下,人员在室期间的夏季总除湿量分别从 $3\,572$ 和 $1\,663\text{ kg}$ 上升至 $3\,648$ 和 $1\,691\text{ kg}$;除湿期总除湿量分别从 978 和 533 kg 上升至 $1\,020$ 和 542 kg 。近零能耗住宅中,随无人时段换气次数从 0.035 h^{-1} 增加至 8 h^{-1} ,人员在室期间以标准新风量运行的夏季总除湿量,从 $1\,809\text{ kg}$ 增加至 $1\,841\text{ kg}$;除湿期总除湿量从 611 kg 增加至 625 kg 。

2.2 热湿比

近零能耗住宅和常规住宅在无人时段以不同换气次数开窗通风的夏季和除湿期的热湿比如图5和图6所示。随着无人时段换气次数的增加,两种住宅的热湿比均有小幅度升高,但变化不明显。以近零能耗住宅为例,夏季 0.035 h^{-1} 换气次数下热湿比的中位数为 $4\,710\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, 2 h^{-1} 换气次数下热湿比的中位数为 $5\,061\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, 5 h^{-1} 换气次数下热湿比的中位数为 $5\,329\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 。除湿期 0.035 h^{-1} 换气次数下热湿比的中位数为 $4\,601\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, 2 h^{-1} 换气次数下热湿比的中位数为 $4\,876\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, 5 h^{-1} 换气次数下的中位数为 $5\,185\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

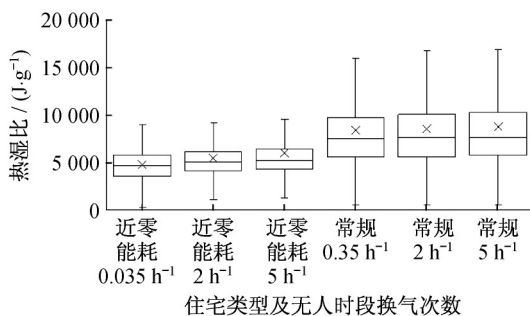


图5 夏季不同换气次数热湿比

Fig.5 Angle scale of different air exchange rate in summer

无人时段的换气次数会影响室内蓄热量和蓄湿量,进而影响空调开启时刻的冷负荷和湿负荷。两种类型住宅的热湿比均随无人时段换气次数的增加而升高,主要原因是换气次数增加,室内蓄热量上升幅度高于室内蓄湿量。热湿比随无人时段开窗换气次数变化较小。以无人时段不开窗工况为例分析不同住宅类型在新风热、湿处理后送入室内和新风直接送入室内的热湿比。该工况下的夏季热湿比和除湿期热湿比分别如图7和图8所示。

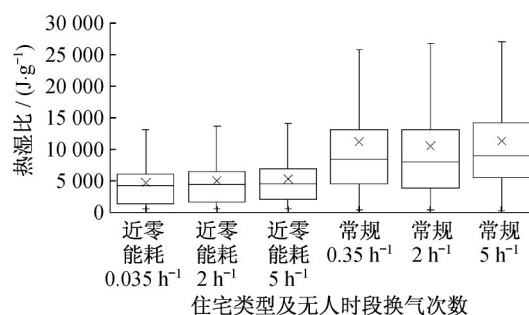


图6 除湿期不同换气次数热湿比

Fig.6 Angle scale of different air exchange rate in dehumidification period

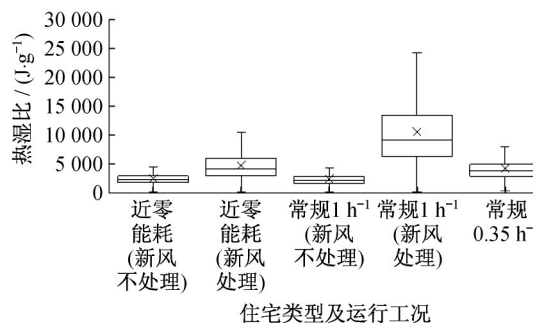


图7 无人时段不开窗夏季热湿比

Fig.7 Angle scale in summer during uninhabited period without opening window

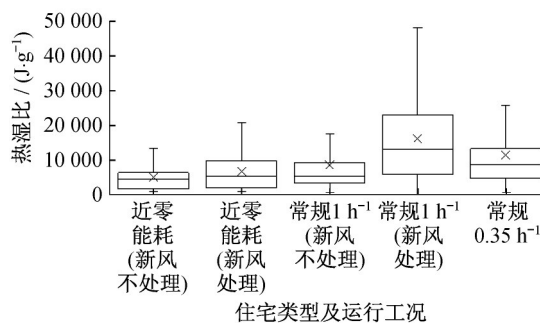


图8 白天不开窗除湿期热湿比

Fig.8 Angle scale in dehumidification period in day time without opening window

热湿比受室内热、湿负荷和新风热、湿负荷的综合影响。新风不经过热、湿处理直接送入室内时,近零能耗住宅的热湿比略低于常规住宅的热湿比且更接近标准规定换气次数下常规住宅的热湿比。主要原因是夏季的室外空气温湿度和除湿期的室外空气湿度与室内温湿度设定点相差较大,新风热湿负荷对热湿比的影响大于室内热湿负荷。

新风经过热湿处理后送入室内的热湿比高于新风不处理工况,且近零能耗住宅室内热湿比的升高

程度低于常规住宅。夏季新风处理后近零能耗住宅热湿比中位数由 $4\,710\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升至 $8\,352\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$; 常规住宅热湿比中位数由 $4\,373\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升至 $18\,418\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 。除湿期新风处理后的近零能耗住宅热湿比中位数由 $4\,601\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升至 $5\,525\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$; 常规住宅热湿比中位数由 $5\,455\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升至 $14\,349\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

相比于新风直接送入室内的运行方式, 新风经过热、湿处理后送入室内的热湿比不包括新风显热负荷和湿负荷, 仅由室内显热负荷、散湿量以及渗透风显热负荷和湿负荷决定。相比于常规住宅, 近零能耗住宅室内显热负荷降低程度高于湿负荷。因此, 新风不处理时近零能耗住宅的室内热湿比明显低于常规住宅。

2.3 室内湿度状态

室内相对湿度会影响人体的舒适性和健康, 不同住宅类型在不同换气次数下使用均会影响室内相对湿度。夏季室内相对湿度超过70%和80%的总时长统计如图9和图10所示; 除湿期室内相对湿度超过70%和80%的总时长统计如图11和12所示。

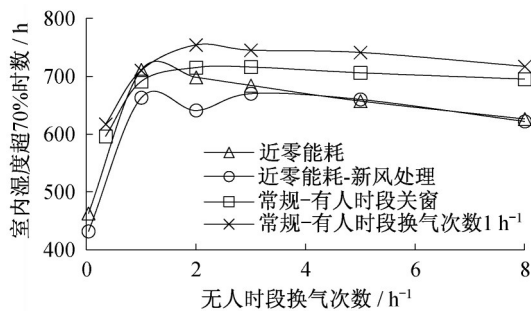


图9 夏季室内湿度超70%时长

Fig.9 Duration of indoor relative humidity over 70% in summer

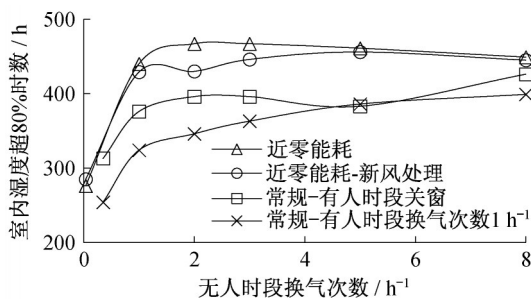


图10 夏季室内湿度超80%时长

Fig.10 Duration of indoor relative humidity over 80% in summer

夏季近零能耗住宅室内相对湿度超过70%的小时数低于常规住宅, 但超过80%的小时数高于常规住宅。以新风经过热、湿处理后送入室内且无人

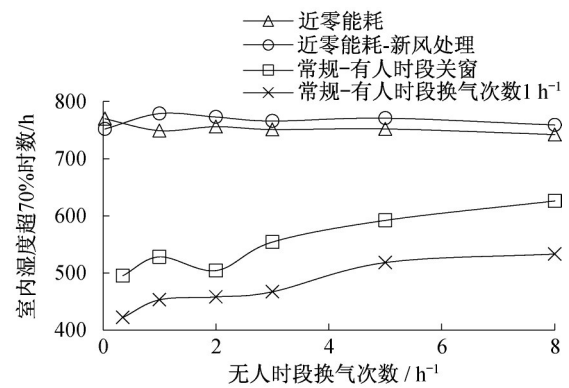


图11 除湿期室内湿度超70%时长

Fig.11 Duration of indoor relative humidity over 70% in dehumidification period

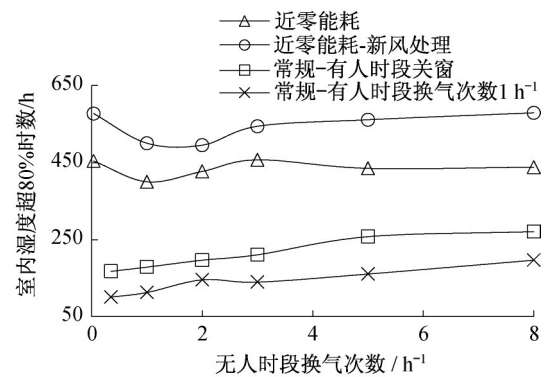


图12 除湿期室内湿度超80%时长

Fig.12 Duration of indoor relative humidity over 80% in dehumidification period

时段换气次数为 2 h^{-1} 为例, 近零能耗住宅室内相对湿度超过70%的小时数为641 h, 其中430 h超过80%; 常规住宅超过70%的小时数为715 h, 其中396 h超过80%。相比于常规住宅, 夏季近零能耗住宅更容易出现高湿问题。主要原因是控制空调启停的参数为室内温度, 当室内温度满足要求时空调停止运行, 无法继续除湿。

除湿期近零能耗住宅室内相对湿度超过70%和80%的小时数均高于常规住宅, 且新风经过热、湿处理后送入室内时室内高湿度时长最长。无人时段换气次数为 2 h^{-1} 时, 近零能耗住宅室内相对湿度超过70%的小时数为756 h, 超过80%的小时数为427 h; 常规住宅室内相对湿度超过70%的小时数为504 h, 超过80%的小时数为197 h。除湿期室外空气湿度高且温度低, 近零能耗住宅的显热负荷很小, 以温度作为控制参数的常规空调难以满足近零能耗住宅的室内除湿需求。

夏季无人时段保持关窗的情况下, 近零能耗住

宅和常规住宅的室内相对湿度超过70%的小时数最少,且随着无人时段换气次数的升高先增大,后减小。在除湿期内,无人时段换气次数对近零能耗住宅室内相对湿度超过70%的小时数影响较小,但室内相对湿度超过80%的小时数随无人时段的换气次数的增加而先减小,后增加。常规住宅室内相对湿度受无人时段换气次数影响较大,且室内高相对湿度时长随换气次数的升高而增加。近零能耗住宅在夏季无人时段保持关窗,除湿期无人时段进行适当的开窗通风有助于降低室内高湿度时长。

3 结论

为分析夏热冬冷地区气候环境下近零能耗住宅的室内高湿度问题和除湿需求,本文对一典型住宅进行了热、湿负荷特征计算并与常规住宅进行比较,主要结论如下:

(1)两种住宅夏季和除湿期的总除湿量主要受到人员在室期间房间换气次数的影响,无人时段换气次数对总除湿量的影响较小。夏季和除湿期,新风和渗透风量对住宅总除湿量影响较大。

(2)住宅热湿比随无人时段换气次数增加而增大,但影响较小。新风不经过热湿处理时,近零能耗住宅的热湿比更接近于标准规定换气次数下常规住宅的热湿比。在不考虑新风显热负荷和湿负荷的情况下,夏季和除湿期近零能耗住宅热湿比分别降低至常规住宅的45.3%和38.5%。

(3)当空调采用温度作为控制参数时,夏季和除湿期近零能耗住宅室内相对湿度比常规住宅更高,室内湿环境更差。空调间歇运行的近零能耗住宅夏季应减小无人时段的开窗换气量,除湿期的无人时段应进行适当的开窗换气。

参考文献:

- [1] 余晓平,付祥钊.夏热冬冷地区民用建筑除湿方式的适用性分析[J].建筑热能通风空调,2006,25(2):65.
YU Xiaoping, FU Xiangzhao. The analysis on air dehumidification of residential building in hot summer and cold winter zone [J]. Building Energy & Environment, 2006, 25 (2): 65.
- [2] GE F, GUO X, HU Z, *et al.* Energy savings potential of a desiccant assisted hybrid air source heat pump system for residential building in hot summer and cold winter zone in China [J]. Energy and Buildings, 2011, 43(12): 3521.
- [3] COMINO F, RUIZ DE ADANA M, PECI F. Energy saving potential of a hybrid HVAC system with a desiccant wheel activated at low temperatures and an indirect evaporative cooler in handling air in buildings with high latent loads [J]. Applied Thermal Engineering, 2018, 131(25): 412.
- [4] 江亿.温湿度独立控制空调系统[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
JIANG Yi. Building energy efficiency technology and application [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.
- [5] 朱颖心.建筑环境学[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2005.
ZHU Yingxin. Built environment [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [6] 刘拴强,刘晓华,江亿.温湿度独立控制空调系统中独立新风系统的研究(1):湿负荷计算[J].暖通空调,2010,40(1):80.
LIU Shuanqiang, LIU Xiaohua, JIANG Yi. Dedicated outdoor air system in the THIC air-conditioning system (1): calculation of space moisture load [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2010, 40(1): 80.
- [7] WALKER I, SHERMAN M. Humidity implications for meeting residential ventilation requirements [C]//Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference. Clearwater: Oak Ridge National Laboratory, 2007:1-14.
- [8] 徐小群,胡益雄.建筑围护结构内表面吸放湿对湿负荷的影响[J].建筑热能通风空调,2009,28(4):10.
XU Xiaoqun, HU Yixiong. The influence of moisture absorption and desorption in inner building envelope on humidity load [J]. Building Energy & Environment, 2009, 28 (4): 10.
- [9] 曾宪纯,邢艳艳,陆麟,等.基于除湿日数的温湿度独立控制系统设计方法[J].暖通空调,2016,46(1):38.
ZENG Xianchun, XING Yanyan, LU Lin, *et al.* Design method of temperature and humidity independent processed air conditioning system based on dehumidification moisture days [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2016, 46(1): 38.
- [10] 余晓平,彭宣伟,李彦.夏热冬冷地区居住建筑环境对空调能耗的影响分析[J].制冷与空调,2008,8(3):79.
YU Xiaoping, PENG Xuanwei, LI Yan. Analysis of influence of residential building humidity environment on energy consumption of air-conditioning in hot summer and cold winter area [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2008, 8(3): 79.
- [11] SCHNIEDERS J, FEIST W, RONGEN L. Passive house for different climate zones [J]. Energy and Buildings, 2015, 105: 71.
- [12] LANGER S, BEKO G, BLOOM E, *et al.* Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden [J]. Building and Environment, 2015, 93(1): 92.
- [13] O' KELLY M, WALTER M, ROWLAND J. Simulated hygrothermal performance of a passivhaus in a mixed humid climate under dynamic load [J]. Energy and Buildings, 2014, 81: 211.

- [14] FIRLAG S, ZAWADA B. Impacts of air flows, internal heat and moisture gain on accuracy of modeling energy consumption and indoor parameters in passive building [J]. *Energy and Buildings*, 2013, 64(5): 372.
- [15] 张强. 夏热冬冷地区被动式超低能耗住宅气候适应性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 2017.
ZHANG Qiang. Climate adaption research on passive and ultra-low energy residential buildings in hot summer and cold winter area [D]. Wuhan: College of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, 2017.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 近零能耗建筑技术标准: GB/T 51350—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Technical standard for nearly zero energy buildings: GB/T 51350—2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [17] 上海市建筑科学研究院(集团)有限公司. 居住建筑节能设计标准: DGJ 08-205—2015[S]. 上海: 同济大学出版社, 2015.
Shanghai Academy of Architectural Sciences (Group) Company Ltd. Design standard for energy efficiency of residential buildings: DGJ 08-205—2015 [S]. Shanghai: Tongji University Press, 2015.
- [18] 张慧玲. 建筑节能气候适应性的时域划分研究[D]. 重庆: 重庆大学土木工程学院, 2009.
ZHANG Huiling. Research on time-domain division based on building energy efficiency and climate adaption [D]. Chongqing: College of Civil Engineering, Chongqing University, 2009.
- [19] 陈国杰. 南方地区建筑墙体霉菌滋生风险研究[D]. 湖南: 湖南大学土木工程学院, 2017.
CHEN Guojie. Research on time-domain division based on building energy efficiency and climate adaption [D]. Changsha: College of Civil Engineering, Hunan University, 2017.
- [20] 张才才, 李振海. 上海市集合住宅气密性能实测及换气性能分析[J]. *节能*, 2005(2): 35.
ZHANG Caicai, LI Zhenhai. Field measurements of airtight performance of Shanghai residential buildings and the analysis the performance of ventilation [J]. *Energy Conservation*, 2005 (2): 35.
- [21] 赵雨, 谭洪卫. 上海地区不同通风方式住宅的室内环境实测分析[J]. *建筑热能通风空调*, 2019, 38(1): 28.
ZHAO Yu, TAN Hongwei. Study on residential PM2.5 pollution status quo and the relationship between indoor and outdoor [J]. *Building Energy & Environment*, 2019, 38 (1): 28.
- [22] 施瑞华, 李振海, 吉野博. 上海市住宅建筑夏季室内热湿环境实态调查与分析[J]. *能源技术*, 2005, 26(1): 27.
SHI Ruihua, LI Zhenhai, YOSHINO H. An investigation and analysis on indoor thermal environment of urban residence buildings in Shanghai [J]. *Energy Technology*, 2005, 26 (1): 27.