

文章编号: 1671-6612 (2022) 02-258-05

夏热冬冷地区 净零能耗示范建筑能耗及碳排放分析

钟辉智 蔡君伟

(中国建筑西南设计研究院 成都 610041)

【摘 要】 以夏热冬冷地区净零能耗示范建筑——中建滨湖设计总部示范区为研究对象, 分析其采用的关键性主、被动技术, 利用 EnergyPlus 对其能耗进行模拟, 模拟结果显示示范区域能满足净零能耗的要求; 同时对示范区域运行阶段进行碳排放分析, 结果表明本项目示范区能够实现运营过程中碳的零排放。

【关键词】 净零能耗; 碳排放; 示范区域; 节能技术

中图分类号 TU24 文献标识码 A

Analysis on Energy Consumption and Carbon emission of Net Zero Energy Consumption Demonstration Buildings in Hot Summer and Cold Winter Areas

Zhong Huizhi Cai Junwei

(China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610041)

【Abstract】 Taking the Zhongjian Lakeside Headquarters as the research object, the key active and passive technologies adopted are analyzed, and its energy consumption is simulated by EnergyPlus. The simulation results show that the demonstration area can meet the requirements of net zero energy consumption; At the same time, the carbon emission analysis of the operation stage of the demonstration area shows that the demonstration area of the project can achieve zero carbon emission in the operation process.

【Keywords】 Net zero energy; Carbon emissions; Demonstration area; Energy saving technology

项目来源: 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项“净零能耗建筑关键技术研究示范”项目(19YFE0100300-11); 四川省科技计划重点研发项目“绿色建筑运行性能提升关键技术研究”(2020YFS0060)
作者(通讯作者)简介: 钟辉智(1980.04-), 男, 博士, 高级工程师, E-mail: 83503675@qq.com
收稿日期: 2021-09-29

0 引言

世界气候的剧烈变化, 已经成为人类共同面临的重大威胁之一, 而人类的活动引起的温室气体排放增加是引起这一变化的重要因素^[1,2]。第 75 届联合国大会期间, 习近平总书记向全世界郑重承诺我国二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和。碳达峰指二氧化碳的排放达到峰值不再增长, 意味着中国要在 2030 年前, 使二氧化碳的排放总量达到峰值, 之后不再增长, 并逐渐下降。碳中和指通过植树造林、节能减排、

产业调整等形式, 抵消自身产生的二氧化碳排放。碳排放主要来源于工业、建筑和交通运输三个领域^[3], 目前我国建筑领域占总碳排放的 20%左右, 建筑全生命周期碳排放过程中运营阶段占比超过 70%^[3], 控制建筑运营阶段碳排放量对于降低建筑碳排放起决定性作用。

1 项目概况及研究内容

夏热冬冷地区“净零能耗建筑”的示范区域如图 1 所示, 共 2 层, 建筑面积约 2000m², 主要使

用功能为办公室。该示范项目预期实现建筑年综合能耗 $\leq 65\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (包含供暖、通风、供冷和照明能耗, 不含可再生能源), 综合节能率达到 60% (以近零能耗建筑技术标准作为参考) [4]; 光伏装机容量 80kW, 设计年发电量 5.6 万 kWh。



图 1 “净零能耗建筑”示范区域 (虚线)

Fig.1 Demonstration area of "net zero energy consumption building"

2 项目主要节能技术效果分析

2.1 高性能围护结构

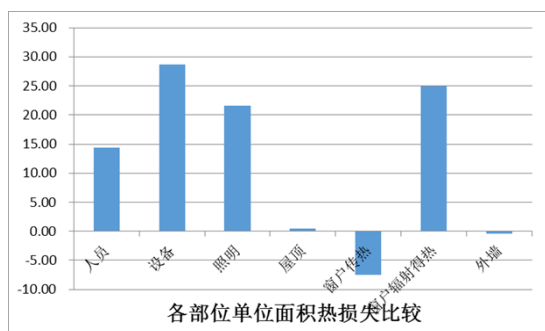


图 2 建筑各项热损失比较

Fig.2 Comparison of various heat losses of buildings

总的负荷指标中, 人员、设备及照明占冷负荷

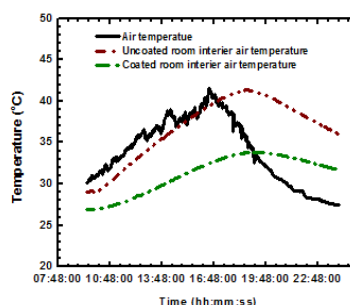
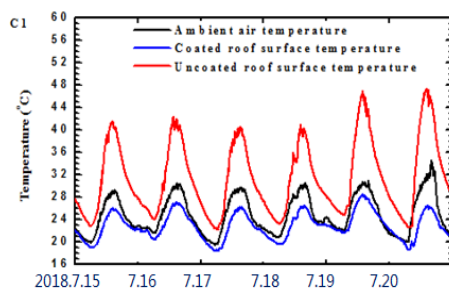


图 3 隔热制冷涂料的测试曲线

Fig.3 Test curve of thermal insulation refrigeration coating

2.3 自然通风降温 and 预冷技术

通风设计时充分考虑了夏热冬冷地区过渡季

总量超过 60%, 为空调冷负荷降低带来极大的挑战。窗户传热、外墙在整个过程中对负荷降低是正相关作用, 太阳辐射得热非常厉害, 应特别强调窗户的遮阳设计。综合分析后, 项目采用种植屋面, 保温隔热基层采用 120mmXPS, 屋面总的传热系数 K 小于 $0.25\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 。透明幕墙 (外窗) 部位采用三玻双中空三银玻璃 (10 超白+12Ar+8 超白+12Ar+6 超白), 从而降低了大于 780nm 的电磁波进入室内的热量, 其传热系数低至 $1.2\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, 太阳得热系数达到 0.23, 同时每层均有 1.145m 宽的外挑板, 使得综合太阳得热系数降低到 0.184。实体墙部分围护结构为装配模式, 采用骨架板式保温体系, 传热系数小于 $0.40\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 。

表 1 围护结构指标

Table 1 Index of building envelope	
围护结构性能指标	设计值
外墙传热系数 $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	0.40
屋顶传热系数 $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	0.25
外窗、幕墙传热系数 $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	1.2 (SHGC: 0.1)
窗户气密性	$50\leq 0.6/\text{h}$

2.2 建筑制冷涂料应用

反斯托克斯夜光制冷又称激光制冷或光学冰箱, 是指以一低能量的泵浦激光激发具有发光中心的制冷单元, 制冷单元自发辐射出高能量的光子从而实现物体制冷的物理现象。本项目在太阳光谱范围内实现了反斯托克斯荧光制冷来冷却围护结构的工程应用, 太阳反射率接近涂层材料理论物理限值 0.95, 无论是白天还是夜晚, 屋顶和西墙外表面温度恒低于气温, 远低于没有涂覆涂料的表面温度。

节的自然气候条件, 通风预冷的节能潜力主要体现在两个方面, 一是直接带走室内热负荷, 二是对室

内围护结构进行预冷,间接的带走第二天的热负荷。对其在有夜晚通风作用下的温度场进行模拟,围护结构冷却效果分析如图 4 所示。

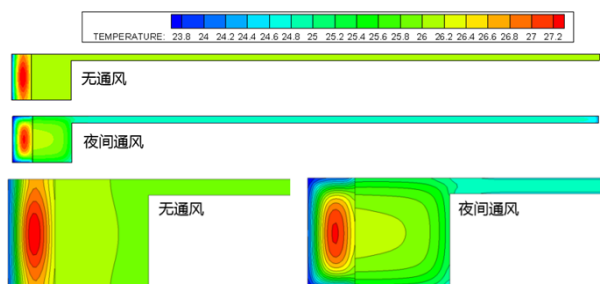


图 4 不同模式下围护结构温度分布

Fig.4 Temperature distribution of building envelope under different modes

由图 4 可知,采用了夜晚通风后,在冷空气的作用下,外墙、楼板、梁、柱等围护结构的温度明显下降,说明空气的冷量在这些围护结构内部进行了蓄存,到了白天,这些冷量就是对流及长波辐射换热的形式释放出来,以减小空调的负荷。

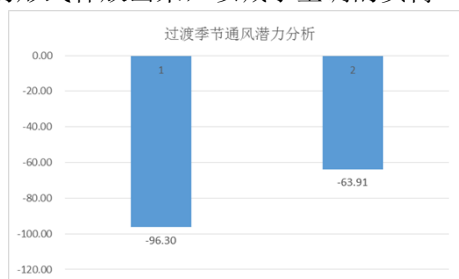


图 5 过渡季节通风潜力分析

Fig.5 Analysis of ventilation potential in transitional season

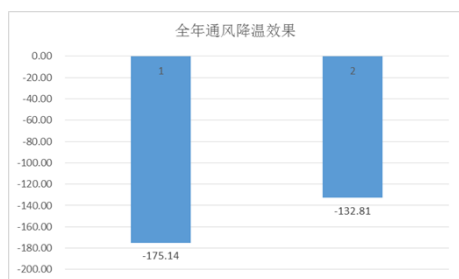


图 6 全年通风潜力分析

Fig.6 Annual ventilation potential analysis

图 5 为过渡季节通风潜力分析,其通风全年能耗降低 34%;图 6 为全年通风潜力分析,其全年能耗降低可达 24%。由此可见,建筑的全年通风预冷节能潜力非常明显。

2.4 温湿分控的高效空调系统

通过模拟发现,项目潜热比例高达 60~75%,

夏热冬冷地区新风与除湿负荷占主导地位。为了提高空调的效率,降低空调能耗,项目采用了“双冷源新风系统+干式风机盘管末端空调系统”及“双冷源全空气系统+工位送风空调系统”的温湿分控空调系统,该系统较常规冷水机组节能 15%以上。

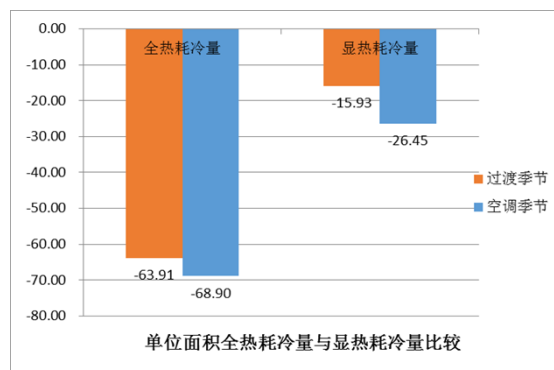


图 7 全热耗冷量与显热耗冷量比较

Fig.7 Comparison of total heat cooling capacity and sensible heat cooling capacity

2.5 太阳能光伏与直流供电技术

太阳能发电,是对自然资源进行利用的最直接、有效的方式,建筑本身利用太阳所发的电,是建筑自身的产能,可用来抵消建筑从外网消耗的能源,使建筑最大程度的符合近零、甚至净零能耗的标准。成都地区太阳能辐照资源相对较少,一般现场均采用多晶硅,其转换效率高,弱光效应好。

项目光伏太阳能电池板设于建筑两个模块屋面(约 600m²),光伏装机容量为 80kW,设计年发电量 5.6 万 kWh。其运行模式是在有太阳辐射的条件下,太阳能电池组件阵列将太阳能转换输出的电能,经过直流汇流箱集中送入直流配电柜,由并网逆变器逆变成交流电供给建筑自身负载,不足的电力通过联接电网来调节。

3 建筑能耗模拟分析

3.1 计算方法和参数设定

项目在模拟计算方面,选择了数值模拟软件 EnergyPlus,软件模拟中透明和非透明围护结构的构造层次和热工性能参数指标完全按照本项目实际实施的技术措施进行设置,如表 1 所示。室内环境参数和供暖空调设备能效指标等设置均符合国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015 的规定。软件的模型如图 8 所示。

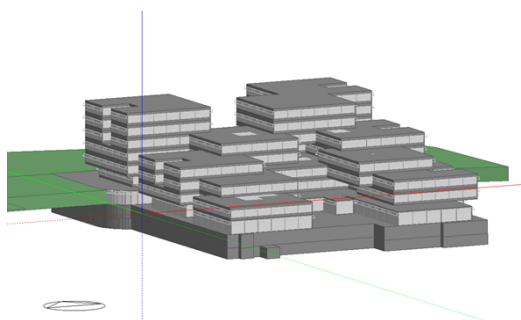


图 8 建筑模型图

Fig.8 Building model drawing

3.2 模拟结果与分析

根据软件模拟计算得到本项目的单位面积年耗电量结果如表 2 所示,本工程按照净零能耗公共建筑能效指标进行比较与分析,计算建筑耗电量指标时综合考虑了供暖能耗、空调能耗、照明能耗、新风设备能耗等。

通过能效指标计算参数设置,可以得到设计建筑和基准建筑的能耗综合值(不含可再生能源利用量)分别为: $95.134\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ 和 $146.224\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ 。设计建筑的建筑本体节能率为 34.94%,大于 GB/T 51350-2019《近零能耗建筑技术标准》中建筑本体节能率 $\geq 20\%$ 的约束性指标。

表 2 建筑本体节能率分析

Table 2 Analysis of energy-saving rate of building

noumenon		
类型	基准建筑	示范项目
建筑能耗综合值 (不包括可再生 能源)	$146.224\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ (56.24kWh 电 / $\text{m}^2\cdot\text{a}$)	$95.134\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ (36.59kWh 电 / $\text{m}^2\cdot\text{a}$)
建筑本体节能率	34.94%	

示范工程单位面积发电量为 28kWh 电/ m^2 ,由此可得,示范工程建筑综合节能率为 84.73%,大于 GB/T 51350-2019《近零能耗建筑技术标准》中建筑综合节能率 $\geq 60\%$ 的约束性指标。

表 3 建筑综合节能率分析

Table 3 Analysis on comprehensive energy-saving rate of

building		
类型	基准建筑	示范项目
建筑能耗综合值 (包括可再生能 源)	$146.224\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ (56.24kWh 电 / $\text{m}^2\cdot\text{a}$)	$22.334\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ (8.59kWh 电 / $\text{m}^2\cdot\text{a}$)
建筑综合节能率	84.73%	

4 建筑运行阶段碳排放分析

4.1 植物固炭

植物通过光合可实现固碳释氧和降温增湿的功能,达到改善城市空气质量,实现城市生态系统良性循环的效果^[5,6]。固碳释氧指在可见光的照射下,利用叶绿素等光合色素,将 CO_2 和 H_2O 转换为能够储存的有机物,并释放 O_2 ,维持空气中的炭氧平衡的生化过程^[7]。一般情况下,植物的光合作用的固碳量大于呼吸消耗的碳量,植物整体表现为固定 CO_2 ,释放出 O_2 ,因此植物体被称作天然的碳汇体^[8]。本项目示范区设置有垂直绿化和屋顶绿化,绿植主要为草本花卉,其总面积约为 1000m^2 ,按照日固碳量计算参数(参考文献)计算得到绿植每年固炭量约为 4.4tCO_2 。



图 9 示范区垂直绿化

Fig.9 Vertical greening in demonstration area

4.2 光伏减炭

本项目在屋顶安装了太阳能光伏发电板,面积约为 600m^2 ,采用峰值输出功率为 320W 的单晶硅组件,整个项目分别 2 个区域共布置光伏组件 261 块,总功率为 80kW 。



图 10 示范区光伏布置图

Fig.10 Photovoltaic layout of demonstration area

成都全年日照时数 914 小时,项目所在地太阳能年总辐射量 3564.0MJ/m^2 。光伏电站光伏发电损耗系数约在 $16.7\%\sim 30.0\%$,光伏发电工程总效率为 $70.0\%\sim 83.3\%$,本工程按 70%取值。经对光伏电

站周围的地形、环境、地面建筑物情况进行考察,建立本工程太阳能光伏电站上网电量的计算模型,可计算得典型气象年系统发电量预测结果,全年 5.6 万 kWh。光伏减碳量可以由如下公式: 光伏减碳量= 光伏发电量 $\times$ 发电碳排放因子- 光伏发电量 $\times$ 光伏发电碳排放因子。其中四川省发电碳排放因子为 0.125kg/kWh, 光伏发电碳排放因子为 0.0094kg/kWh。计算可得光伏系统每年净减碳排放量为 6.47tCO₂。

4.3 模拟结果与分析

示范区年用电量=2000 $\times$ 36.59=73180kWh, 其碳排放量=73180 $\times$ 0.125/1000=9.15tCO₂, 目前光伏发电全部用于示范区, 该示范区运营阶段对外碳=示范区用电碳排放量- 植物固碳量- 光伏减碳量=9.15-4.4-7.98=-3.23tCO₂, 可以实现运营过程中碳的零排放, 并且每年可以提供 3.23tCO₂ 的减碳指标。

5 总结

中建滨湖设计总部示范区通过采用高性能围护结构、建筑智能涂料、新风预冷技术、高效空调技术、智慧建筑技术、太阳能光伏与直流供电技术、办公室公务照明控制方式等主动、被动技术满足了《近零能耗建筑技术标准》GB/T51350-2019 中建

筑综合节能率 $\geq 60\%$ 的约束性指标; 同时通过设置屋顶、垂直绿化和太阳能光伏发电技术实现了示范区建筑运营过程中碳的零排放, 对于建筑碳中和研究具有示范意义。

参考文献:

- [1] M R L Anderegg. Expert credibility in climate change[J]. Proceeding s of the National Academy of Sciences, 2010,107(27):12107-12109.
- [2] P T Doran, M K Zimmerman. Examining the Scientific Consensus on Climate Change[J]. Eos Transactions American Geophysical Union, 2009,90(3):22.
- [3] 赵秀秀. 绿色建筑全生命周期碳排放计算与减碳效益评价[D].山西:大连理工大学,2017.
- [4] GB/T 51350-2019, 近零能耗建筑技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2019.
- [5] 刘嘉君,王志刚,阎爱华,等.12 种彩叶树种光合特性及固碳释氧功能[J].东北林业大学学报,2011,39(9):24-25.
- [6] 吴霞. 小陇山林区森林固碳效益的研究[J]. 西北林学院学报,2005,23(5):164-267.
- [7] 张一弓,张荟荟,付爱良,等. 植物固碳研究进展[J]. 安徽农业科学,2012,40(18):9688-9689.
- [8] 卫国强,何昆霖,张忠林,等. 植物固碳较其他 CO₂ 综合利用方法的优势分析[J].绿色科技,2013,(2):187-189.

(上接 257 页)

- [23] 韩星,梁煦,马克华,等. 华东地区封闭鸡舍内热、湿与污染物散发量的现场实测研究[J]. 建筑科学,2013,29(8): 57-63.
- [24] 任守纲,杨薇,王浩云,等. 基于 CFD 的温室气温时空变化预测模型及通风调控措施[J]. 农业工程学报,2015, 31(13):207-214.

- [25] 姚家君,郭彬彬,丁为民,等. 基于鹅舍气流场 CFD 模拟的通风系统结构优化与验证[J]. 农业工程学报,2017, 33(3):214-220.
- [26] 景亮, 方倩. 基于神经网络的出菇房 CFD 温度均匀性预测模型[J]. 中国农机化学报,2019,40(6):71-75.
- [27] 赵荣义,范存养,薛殿华,等. 空气调节[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2009.