

方案设计阶段的严寒地区近零碳 小型办公建筑影响因子研究

李辰琦,任航

(沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 以实现建筑近零碳为目标,研究严寒地区小型办公建筑的设计影响因子及其参数控制。**方法** 以沈阳建筑大学近零碳示范项目为例,采用天正软件模拟分析形体、平面形式、朝向、中庭比例、窗墙比、光伏屋面倾角等关键因子对建筑碳排放影响,进而利用 Pearson 相关性系数法对这些因子进行分析,确定最佳参数。**结果** 通过模拟得出宜选取布局紧凑的混合式办公空间的平面布局、建筑朝向为南偏西 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、形体规则且体型系数为 $0.26 \sim 0.3$ 、中庭比例为 $5:3$ 到 $2:1$ 、窗墙比为 $0.3 \sim 0.4$ 、光伏屋面角度为 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$;影响因子的重要性排序从大到小依次为体型系数、光伏屋面角度、窗墙比、中庭比例、建筑朝向、平面形式;模拟得出目标建筑比基础建筑总碳排放量减少了 $2\,177\,039.72\text{ kg}$,碳排放降低率为 83% 。**结论** 充分考虑建筑的关键设计因子影响并合理控制相关参数,通过正向设计可有效降低碳排放,实现近零碳化目标。

关键词 近零碳化;影响因子;参数控制;碳排放

中图分类号 TU210.5

文献标志码 A

引用格式:李辰琦,任航. 方案设计阶段的严寒地区近零碳小型办公建筑影响因子研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2024,40(6):1060-1067. (LI Chenqi, REN Hang. Research on the impact factors of near zero carbon small office buildings in cold regions during the scheme design phase[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science),2024,40(6):1060-1067.)

Research on the Impact Factors of Near Zero Carbon Small Office Buildings in Cold Regions during the Scheme Design Phase

LI Chenqi, REN Hang

(School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: This study aims to achieve near-zero carbon emissions in building design by investigating key design factors and parameter control for small office buildings in extremely cold

收稿日期:2023-11-08

基金项目:国家自然科学基金项目(51878417)

作者简介:李辰琦(1976—),男,教授,博士,主要从事光伏建筑一体化和绿色建筑等方面研究。

regions. Using the near-zero carbon demonstration project at Shenyang Jianzhu University as a case study, Tianzheng software simulates the effects of factors such as building form, layout, orientation, atrium ratio, window-to-wall ratio, and photovoltaic roof angle on carbon emissions. The Pearson correlation coefficient method identifies optimal parameters. Simulations indicate that a compact mixed-use office layout is optimal, with an orientation of 0° to 30° , a form factor of 0.26 to 0.3, an atrium ratio of 5:3 to 2:1, a window-to-wall ratio of 0.3 to 0.4, and a photovoltaic roof angle of 10° to 25° . The factors are ranked by importance: form factor, photovoltaic roof angle, window-to-wall ratio, atrium ratio, building orientation, and layout. The target building achieved a carbon emissions reduction of 2 177 039.72 kg, or 83%, compared to the baseline model. This study demonstrates that thoughtful design and parameter control can effectively reduce carbon emissions and meet near-zero carbon goals.

Key words: near zero carbonization; impact factors; parameter control; carbon emission

建筑运行阶段的碳排放占社会碳排放总量的22%以上,建筑节能降碳对于实现双碳目标具有巨大的战略意义^[1]。继低能耗建筑、超低能耗建筑后,近零碳建筑越来越成为一种趋势。小型办公建筑因适用性强而广泛应用于综合商业区、工业厂区、科技园区等,但作为独栋的小型建筑,其建筑碳排放量相对较高^[2]。D. Tuhus-Dubow 等^[3]利用 GA 算法对建筑的形体和围护结构进行优化分析,得出矩形和梯形建筑在五种不同的气候条件下都具有最佳性能。A. Mahdavi 等^[4]以维也纳地区的被动式住宅和超低能耗住宅为例,将各项建筑参数进行了比较分析,结果表明,被动式建筑使用的能耗明显更少,提供的室内条件相对更好,所得额外资源支出和环境影响可在短时间内得到抵消。L. P. Wang 等^[5]以英国某零能耗建筑为例,运用 Energy Plus 和 TRNSYS 软件对采用被动式和主动式措施的建筑能耗参数进行对比,提出了典型住宅的最佳设计策略。冯国会等^[6]以严寒地区某近零能耗居住建筑为例,模拟分析各个设计参数对能耗的影响,影响程度从大到小依次是窗墙比(供冷能耗)、外窗传热系数、外墙传热系数、窗墙比(供热能耗)、屋面传热系数。安琪等^[7]利用 Ladybug + Honeybee 软件对既有建筑的围护结构进行优化,建筑全年运行能耗可减少 15.37%,减碳量可达 106.96 t。孙嘉祎等^[8]

以某节能示范建筑为例,依托 Rhino + Grasshopper 平台,基于 RBFOpt 算法分形态、立面两个阶段进行能耗设计多目标优化,最优方案单位面积碳排放量下降了 4.75%,产能消费比提高了 8.2%。

目前,国内外学者对于建筑降碳的研究主要集中在建筑的形体系数、围护结构的物理性能等方面。为实现在各个环节对碳排放进行有效控制,笔者从建筑师角度出发,在方案设计阶段,以沈阳建筑大学近零碳示范建筑为例,将碳排放控制与功能、空间、形式等建筑传统设计要素正向结合,以建筑碳排放量作为约束目标,采用以 IBE 为计算内核的天正碳排放计算软件进行模拟分析,对方案设计过程中的关键因子进行相关性分析,进而确定最佳选择范围,为建筑师在方案设计阶段实现近零碳建筑目标提供参考。

1 基础模型建立

1.1 建筑基本信息

研究对象为处于方案设计阶段的沈阳建筑大学近零碳示范建筑(简称示范建筑)。该示范建筑位于辽宁省沈阳市浑南区,建筑用地 750 m^2 ,南侧建设场地相距 15 m 处有两栋高度为 6.9 m 的办公楼,其余三面则被树木环绕。示范建筑为小型办公建筑,具有展示、会议、科研等综合功能。根据示范建筑的场地与功能需求,建立基础模型为 3 层,单

层高度为3.6 m,体型系数为0.29,窗墙比为0.3,如图1所示。

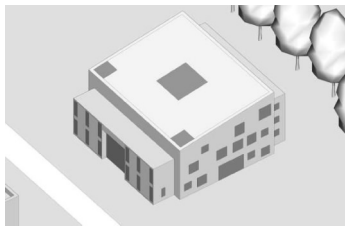


图1 基础模型

Fig.1 Basic model

1.2 基本条件设置

参照《零碳建筑技术标准》中对建筑热工条件要求,对示范建筑模型的基本条件进行设定。外墙采用10 mm水泥砂浆+200 mm挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(带表皮)+8 mm纤维板($\rho=1\,000\text{ kg/m}^3$)+200 mm岩棉板+12mm石膏板+10 mm水泥砂浆,综合传热系数为 $0.11\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。屋顶采用4 mm防水层+20 mm水泥砂浆+250 mm挤塑聚苯乙烯泡沫塑料+120 mm钢筋混凝土,综合传热系数为 $0.12\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。窗采用6 mm高透光Low-E玻璃+12 mm空气+6 mm透明玻璃,综合传热系数为 $2.0\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$;太阳得热系数为0.4。能源系统设定为冷热源均采用空气源热泵,其COP设定为3.0。供暖时间从当年的11月1日至次年3月31日,制冷时间为7月1日~9月1日,工作时间为8:00—18:00;供冷季设计温度为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$,供暖季为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 关键影响因子分析

近零碳建筑设计阶段的影响因子及取值是根据建筑方案设计的主要内容来选取和确定的,并根据基本设计流程确定影响因子的排序,包括建筑形体、平面布局、中庭比例、窗墙比、光伏屋面角度等。按照方案设计对影响因子进行单因素模拟分析,其余基本条件与基础模型保持相同,以便于识别各关键因子对碳排放量的影响。

2.1 建筑形体

2.1.1 建筑朝向

建筑朝向的选取是建筑方案设计的重要环节,建筑朝向影响建筑所受太阳辐照强度,进而影响建筑在采暖与制冷方面的碳排放量^[9]。在严寒地区,为得到良好的日照通常以南向或接近南向作为建筑朝向基本选择。设正南为 0° ,分别选取南偏西与南偏东 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 作为插值点,以这13个方向进行建筑碳排放量模拟计算,结果见图2。模拟结果显示建筑由南向东西偏转,采暖与制冷的碳排放量也随之增加,制冷的碳排放量变化更为明显,在南偏西 45° 时建筑碳排放总量达到最高,制冷碳排放的增量最大。这是因为建筑受到西晒的影响,造成夏季制冷的碳排放量升高。正南朝向的建筑碳排放量最低,是因为在冬季可收获较强的太阳辐射,减少冬季采暖的碳排放量。因此,示范建筑的基本朝向可选择南偏西 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

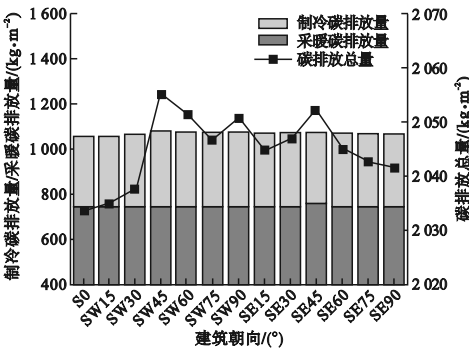


图2 不同朝向的建筑碳排放量

Fig.2 Carbon emissions from buildings in different orientations

2.1.2 体型系数

建筑形体是影响建筑性能的重要因素^[10]。基于小型办公建筑功能需求和常用设计形式建立四种形体模型(见图3),每层面积均为 576 m^2 。

图4为不同形体的碳排放量与体型系数的模拟结果。可以看出,方形和L形的采暖与制冷碳排放量变化水平较低。U型的采暖碳排放量较大,导致碳排放总量最高。回型

的制冷碳排放较大,是因为建筑中间内部庭院的出现,导致制冷的碳排放增加。随着体型系数的增加,建筑的碳排放总量也随之增长,超过0.3时建筑碳排放增加量较大。因此,选择整体规整的方形、体型系数为0.26~0.3的建筑体型作为该示范建筑的基本形体。

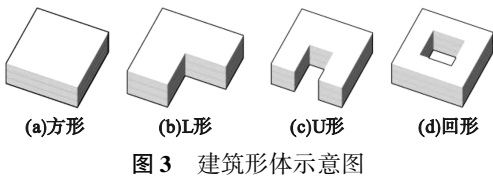


Fig. 3 Schematic diagram of the building form

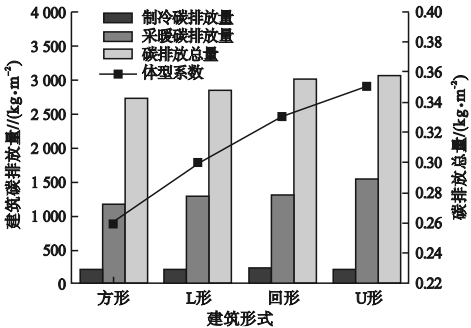


图4 不同形体的碳排放量与体型系数

Fig. 4 Carbon missions and body size coefficients of different shapes

2.2 建筑平面布局

办公空间在办公建筑中占比较大,对建筑碳排放量影响也很大。常见布局有单间式、开放式、混合式。在满足功能的前提下,选取了如图5所示三种办公空间平面布局形式进行模拟对比。

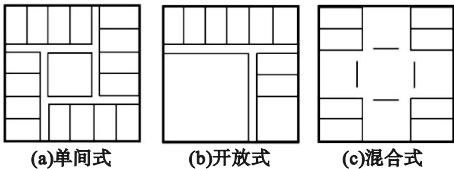


图5 平面布局示意

Fig. 5 Plane layouts are indicated

图6为三种平面布局的建筑碳排放量模拟结果。开放式布置的碳排放总量最高,混合式次之,单间式最低。虽然单间式空间布局的灵活性较低,但其各个房间内部所受太

阳辐照量均匀分布,其采暖与制冷的碳排放量也较为均衡。开放式布局在办公空间的使用上更加高效,布局更加灵活分散,但采暖与制冷的碳排放增量较大,这是因为开放式的办公空间在夏季室内所受太阳辐照增加,使得温度升高,制冷的碳排放量也随之增长;同时,办公空间分隔较少、区域较大,使冬季采暖碳排放量随之上升。混合式布局兼顾开放式与单间式的优点,各功能区间布局更加灵活,在满足办公需要的同时,避免了开放式布局中的办公空间过大、空间分隔不均导致采暖与制冷的碳排放量增加,碳排放总量与单间式布局相比差距较小,可将建筑碳排放量控制在较低的水平。因此,该示范建筑方案设计优选“混合式布局”。

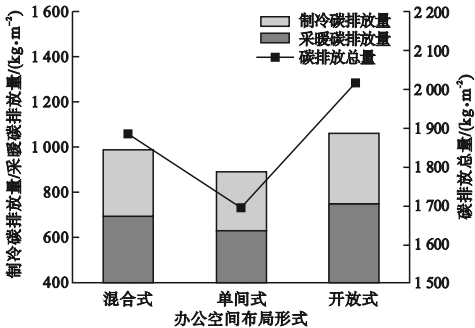


图6 三种平面布局的建筑碳排放量变化

Fig. 6 Changes in carbon emissions of buildings with different layouts

2.3 中庭比例

中庭是小型办公建筑垂直空间设计上的关键要素。根据该示范建筑实际情况,将建筑中庭的长度设定为6~14 m,步长为2 m,高度和宽度不变,分别为9 m和6 m,则长宽比分别为1:1、4:3、5:3、2:1、7:3。

图7为不同中庭长宽比的碳排放量模拟结果。随着长宽比的增加,建筑碳排放量呈下降趋势。在1:1时建筑碳排放最高,直至长宽比为2:1时建筑碳排放量达到最低,继续增大中庭长宽比至7:3,建筑碳排放升高至与长宽比4:3的水平相近。中庭长度的增加可在一定程度上增加建筑内部得热,但中庭的长宽

比超出一定范围时,建筑内部得热达到限值,建筑采暖的碳排放量开始增加。因此,该示范建筑中庭设计可采用5:3至2:1。

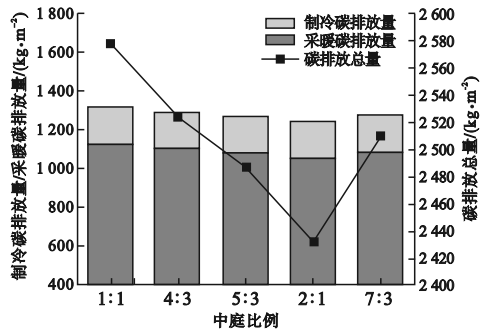


图7 不同中庭长宽比的碳排放量

Fig. 7 Carbon emissions from different aspect ratios of the central and western regions

2.4 窗墙比

《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013)规定办公室、会议室等场所的采光系数数值不应低于3.0%。《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB 55015—2021)中规定屋顶透光部分面积不应大于屋顶总面积的20%,综合考虑采光、得热和保温需求,基于该建筑所处的气候分区和围护结构热工性能限值,设定窗墙比变化范围为0.1~0.8,步长为0.1,建立示范建筑碳排放分析模型。

图8为不同窗墙比下的采光系数和碳排放量。

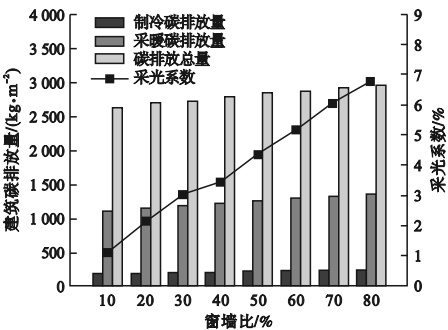


图8 不同窗墙比下的采光系数和碳排放量

Fig. 8 The daylighting coefficient and carbon emissions under different window to wall ratios

模拟结果显示随着窗墙比增加,使得建筑内部可以得到更多太阳辐照量,这部分热量使建筑供冷季碳排放量增加较快,供暖季

碳排放量增加较为平缓。建筑采光系数随着窗墙比的增加呈上升趋势。在窗墙比达到0.3时,此刻的建筑采光系数达到3.03%,满足标准要求。在窗墙比为0.3~0.4,建筑采光系数的增加并未使建筑碳排放量有明显变化。因此,示范建筑的窗墙比可控制在0.3~0.4。

2.5 光伏屋面角度

图9为光伏发电系统在该示范建筑的应用示意图,图10为不同角度下的减碳量与体形系数的变化。在建筑方案设计过程中,要综合考虑屋面坡度和光伏发电效率之间的平衡^[11],合理选择屋面倾角,尽量减小倾角造成建筑北立面墙体尺度变大的不利影响^[12]。示范建筑所处地区光伏的最佳倾角是正南36°。设定光伏系统采用单晶硅光伏组件,光电转化效率为20%、光伏额定工作温度为45℃、杂项损失为0.045、失配损失为0.155。

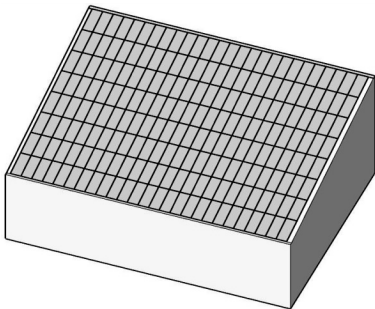


图9 光伏与屋顶结合示意

Fig. 9 Schematic diagram of photovoltaic and roof integration

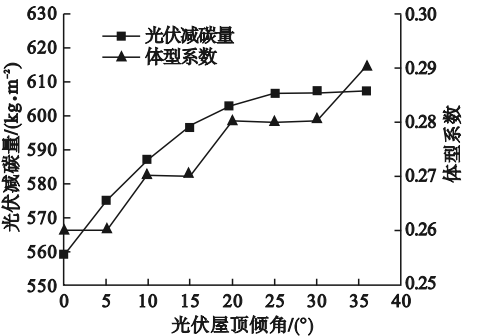


图10 不同角度的光伏减碳量与体形系数的变化

Fig. 10 Changes in carbon reduction and shape coefficient of photovoltaics from different perspectives

模拟结果显示随着屋面倾角的增大,建筑减碳量也相应增加,同时体型系数缓慢增长。当倾角大于25°时光伏产能与减碳量变化不明显,倾角在10°~30°时体型系数的变化量较少,曲线走势趋于平缓,在10°~15°和20°~30°围内建筑体型系数不变。因此,综合考虑三者关系,光伏屋面倾角可选择10°~25°。

3 综合模拟分析

3.1 影响因子相关性分析

相关性分析是一种统计方法,可用于研究多个变量间的关系强度。通过 Pearson 相关系数的方法可对影响因子的相关性进行分析,以对比每个参数与碳排放量之间的相关性。计算公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中: x_i 和 y_i 为两个变量的观测值; \bar{x} 和 \bar{y} 为两个变量的均值; n 为观测值的数量。相关性系数 r 的范围值为 $[-1, 1]$,1表示完全正相关;-1表示完全负相关;0表示无相关性。

图11为Pearson相关性系数矩阵分析结果。建筑朝向与体型系数的相关性系数 r 为0.793,呈正相关性。当建筑朝向改变,建筑的整体形状也会随之调整,以更好地利用自然光照、减少碳排放量或优化空间的使用。建筑朝向与光伏屋面角度的相关性系数 r 为-0.806,呈负相关性。建筑朝向的调整需要改变光伏系统的安装角度以确保获得最佳的太阳能捕获效率。体型系数与中庭比例的相关性系数 r 为-0.974,呈负相关性。中庭的设计受体型系数影响较大,建筑体型系数的增加,使得建筑形体相对复杂,则需要更大的中庭比例满足采光和通风的需求,反之则减小大中庭的需求。体型系数与窗墙比的相关性系数 r 为0.988,呈正相关性。随着体型

系数的增大,建筑的表面积与体积也会相应增加,而不同的体型系数对采光与热性能有不同的要求,调整窗墙比以平衡建筑能效。光伏屋面角度与窗墙比的相关性系数 r 为-0.934,呈负相关性。光伏屋面角度会对窗墙比产生间接的影响,光伏屋面角度的变化会使得建筑的形体系数产生变化,从而影响窗墙比。随着窗墙比的增加,需要减少光伏屋面的角度以平衡建筑能效的表现,同时保持建筑的整体美学与功能性的需要。

依据影响因子相关性分析结果,对重要性进行排序:体型系数和光伏角度在所有参数中对碳排放的影响最为显著,应作为设计优化的首先考虑因素。窗墙比次之,中庭比例和建筑朝向的影响相对较小,但在某些特定设计情况中仍可能发挥一定作用。平面形式对碳排放的影响相对最小,但不同平面形式在空间利用和功能安排上可能有不同的优劣,需要根据项目需求进行选择。

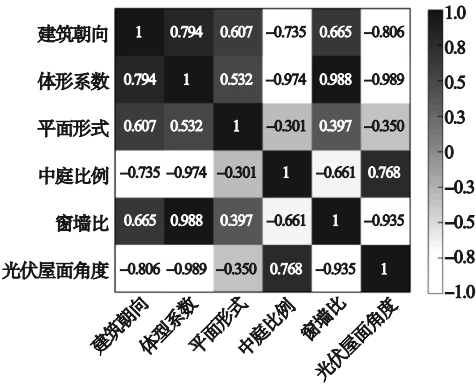


图11 Pearson相关性系数矩阵

Fig. 11 Pearson correlation coefficient matrix

3.2 建筑综合设计

为进一步综合验证各影响因子的相互作用,将各影响因子进行组合模拟,以确定示范建筑的最终方案。图12为示范建筑方案设计示意图。基于影响参数相关性分析与方案设计顺序,确定示范建筑采用方形形体,体型系数为0.26(在设计过程中还要进行调整),朝向为南偏西30°;采用混合式办公空间布局,建筑中庭比例为2:1;南立面窗墙比为

0.37、东西立面为0.31、北立面为0.32;基于分析结果,建筑顶层层高的最高点设置在3.6 m以下,并设置局部3层使用,为确保在体型系数相对较小的情况下光伏发电量最大化,采用单坡屋面,倾角为12°,同时在建筑的南立面布置光伏系统,可铺设面积分别为432 m²和83.52 m²。最终,在各个设计参数影响下,兼顾建筑艺术性,建筑的体型系数确定为0.3。

表1为模拟得该出示范项目的目标建筑与基建筑型的碳排放量对比。与基础建筑相比,目标建筑的总碳排放量减少了2 177 039.72 kg。建筑的采暖与制冷的碳排放量分别降低了16 750.15 kg和

32 209.82 kg。此外,建筑中庭比例与窗墙比优化后,使房间内的光照得到改变,从而有效降低了照明系统的碳排放量。目标建筑碳排放降低率为83%,满足《零碳建筑技术标准》中对近零碳小型办公建筑在严寒地区的建筑降碳率不小于55%的要求。

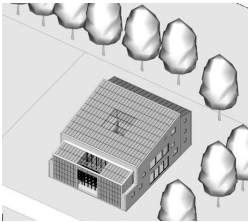


图12 示范建筑方案示意图

Fig.12 Demonstration building plan

表1 目标建筑与基础建筑碳排放量对比

Table 1 Comparison of carbon emissions between design buildings and basic buildings

组别	各分项碳排放量/kg							建筑碳排放降低率/%
	采暖	制冷	输配系统	生活热水	照明系统	可再生能源	总碳	
目标建筑	714 134.90	116 060.77	14 441.68	185 751.93	831 086.27	-1 222 015.84	639 459.71	83.00
基础建筑	730 885.05	148 270.59	15 180.84	288 646.19	1341 846.76	-914 971.99	2 816 499.43	66.62

4 结 论

(1)通过模拟分析得出,该示范建筑宜选取布局紧凑的混合式办公空间的平面布局、建筑朝南偏西0°~30°、形体规则体型系数为0.26~0.3、中庭比例为5:3到2:1、窗墙比为0.3~0.4、屋顶光伏倾角为10°~25°。

(2)建筑朝向与体型系数、光伏屋面角度,体型系数与中庭比例、窗墙比,光伏屋面角度与窗墙比存在较强的相关性,影响设计参数重要性排序依次为体型系数、光伏屋面角度、窗墙比、中庭比例、建筑朝向、平面形式。

(3)综合考虑各因素进行优化后,提出最佳设计方案,相较于基础建筑,最佳方案总碳排放量减少了2 177 039.72 kg,建筑的采暖与制冷的碳排放量分别降低了16 750.15 kg和32 209.82 kg,碳排放降低率

为83%,满足近零碳建筑标准的要求。

参考文献

[1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2022(公共建筑专题)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2022. (Building Energy Conservation Research Center Tsinghua University. Research center annual development research report on building energy efficiency in China 2022: special topic on public buildings [M]. Beijing: China Construction Industry Press,2022.)

[2] 魏一然. 寒冷地区小型办公建筑能耗特性的比较研究[J]. 建筑技术, 2013, 44(11): 1016-1020. (WEI Yiran. Comparative study on energy consumption characteristic of small office building in cold region [J]. Architecture technology,2013,44(11):1016-1020.

[3] TUHUS-DUBROW D, KRARTI M. Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings [J]. Building & environment, 2010, 45(7): 1574-1581.

[4] MAHDAVI A,DOPPELBAUER E M. A performance comparison of passive and low-energy buildings [J]. Energy & buildings, 2010, 42(8):1314-1319.

- [5] WANG L P, GWILLIAM J, JONES P. Case study of zero energy house design in UK [J]. Energy & buildings, 2014, 41 (11): 1215 - 1222.
- [6] 冯国会, 徐小龙, 王悦, 等. 以能耗为导向的近零能耗建筑围护结构设计参数敏感性分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2018, 34(6): 1069 - 1077.
(FENG Guohui, XU Xiaolong, WANG Yue, et al. Sensitivity analysis of nearly zero energy buildings envelope design parameters based on energy consumption [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2018, 34(6): 1069 - 1077.)
- [7] 安琪, 李绥. 严寒地区既有建筑围护结构低碳设计研究: 以鞍山市某办公建筑为例[J]. 建筑节能(中英文), 2023, 51(5): 16 - 21.
(AN Qi, LI Sui. Low-carbon design research of existing building envelopes in cold areas: taking an office building in anshan city as an example [J]. Building energy efficiency, 2023, 51(5): 16 - 21.)
- [8] 孙嘉祎, 李绥, 董铁欣. 碳中和导向下寒地近零能耗建筑形态多目标优化研究[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(1): 87 - 95.
(SUN Jiawei, LI Sui, DONG Yixin. Multi-objective optimization of nearly zero energy building shape in cold regions with carbon neutrality orientation [J]. Journal of human settlements in West China, 2024, 39(1): 87 - 95.)
- [9] 葛小榕. 寒冷地区低碳建筑方案阶段设计方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2017.
(GE Xiaorong. Study on the methods of low-carbon building design of cold region in early stage [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2017.)
- [10] 田一辛. 寒冷地区办公建筑性能优化设计研究[D]. 天津: 天津大学, 2020.
(TIAN Yixin. Performance optimization design for office buildings in cold regions [D]. Tianjin: Tianjin University, 2020.)
- [11] 傅筱, 陆蕾, 施琳. 基本的绿色建筑: 回应气候的形式空间设计策略[J]. 建筑学报, 2019(1): 100 - 104.
(FU Xiao, LU Lei, SHI Lin. The basic green building design climate-responsive design strategies for form and space [J]. Architecture journal, 2019(1): 100 - 104.)
- [12] 苗展堂, 杜艺萌, 杨崴, 等. 技与艺的融合: 可持续太阳能建筑“R-CELLS”的顶棚设计[J]. 世界建筑, 2023(3): 34 - 39.
(MIAO Zhantang, DU Yimeng, YANG Wei, et al. Integration of art and technology: ceiling design of r-cells, a sustainable solar house [J]. World architecture, 2023(3): 34 - 39.)
- [13] 冯国会, 崔航, 常莎莎, 等. 近零能耗建筑碳排放及影响因素分析[J]. 气候变化研究进展, 2022, 18(2): 205 - 214.
(FENG Guohui, CUI Hang, CHANG Shasha, et al. Analysis of carbon emission and influencing factors of near-zero energy buildings [J]. Climate change research, 2022, 18(2): 205 - 214.)
- [14] 吴彦, 周勤欣, 罗德成, 等. “双碳”背景下大型公共建筑碳排放控制指标研究: 以广阳岛功能建筑为例[J]. 建筑节能(中英文), 2024, 52(5): 31 - 37.
(WU Yan, ZHOU Qinxin, LUO Decheng, et al. Carbon emission control indicators for large public buildings under the “dual-carbon goals”: analysis of the functional buildings of Guangyang island [J]. Building energy efficiency, 2024, 52(5): 31 - 37.)
- [15] 李晓萍, 李宝伟, 王国慧, 等. 基于多目标优化的严寒地区近零能耗建筑适用技术研究[J]. 建筑节能, 2020, 48(11): 63 - 66.
(LI Xiaoping, LI Baowei, WANG Guohui, et al. Application technologies of nearly zero energy building in severe cold zone based on multi-objective optimization method [J]. Building energy efficiency, 2020, 48(11): 63 - 66.)
- [16] 岳小莉. 民用建筑功能、成本及碳排放多目标方案优选研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
(YUE Xiaoli. Research on the multi objective plan optimization of function cost and carbon emissions for civil building [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.)
- [17] GONG X, AKASHI Y, SUMIYOSHI D. Optimization of passive design measures for residential buildings in different Chinese areas [J]. Building and environmental, 2012, 58: 46 - 57.
- [18] WILDE P D. The gap between predicted and measure energy performance of buildings: a framework for investigation [J]. Automation in construction, 2014, 41(5): 40 - 49.
- [19] 冯国会, 李奇岩, 王刚, 等. 基于 DeST 仿真和 GS-SVR 算法对严寒气候区近零能耗公共建筑逐时负荷预测[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2022, 38(1): 149 - 155.
(FENG Guohui, LI Qiyang, WANG Gang, et al. Hourly load forecast of nzeb in severe cold area based on DeST simulation and GS-SVR algorithm [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2022, 38(1): 149 - 155.)
- [20] 窦宝月. 近零能耗居住建筑能耗影响因素及预测模型研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2018.
(DOU Baoyue. Study on influencing factors and prediction model of energy consumption of near zero energy residential buildings [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018.)
- (责任编辑: 王国业 英文审校: 刘永军)