

# 基于光热性能模拟的办公建筑研究综述

王 琪, 崔艳秋\*

山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年9月29日; 录用日期: 2024年12月2日; 发布日期: 2024年12月10日

## 摘 要

在建筑领域, 办公建筑不仅是城市环境中最常见的空间类型之一, 也是一种能耗密集的建筑形式。由于其在城市能源消耗中所占比重显著, 办公建筑的能耗效率已成为全球研究者和实践者广泛关注的焦点。特别是室内光环境与室内热环境方面, 它们是影响办公建筑能耗的关键因素, 对建筑能耗产生深远影响。文章归纳分析了基于光热性能模拟办公建筑的国内外研究, 基于这些研究, 着重从室内光环境研究、室内热环境研究、光热耦合性能模拟研究和办公建筑能耗模拟研究四个主要方面进行了探讨, 识别关键的影响因素、技术演进和实现策略。归纳分析了当前该领域研究的特点与不足, 也探讨了未来可能的研究动向, 明确提供了研究和实践的新路径。这些分析旨在推动更多的实证研究、策略制定和实际应用, 以实现办公建筑能效的全面提升。

## 关键词

办公建筑, 光热耦合, 性能模拟, 光环境

# A Review of Office Buildings Based on Photothermal Performance Simulation

Qi Wang, Yanqiu Cui\*

School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Sep. 29<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 2<sup>nd</sup>, 2024; published: Dec. 10<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In the field of architecture, office buildings are not only one of the most common types of space in urban environments, but also an energy-intensive form of building. Due to its significant proportion of urban energy consumption, the energy efficiency of office buildings has become the focus of

\*通讯作者。

widespread attention of researchers and practitioners around the world. In particular, the indoor light environment and indoor thermal environment are the key factors affecting the energy consumption of office buildings, which have a profound impact on the energy consumption of buildings. Based on these studies, this paper summarizes and analyzes the research on the simulation of office buildings based on solar thermal performance, and focuses on four main aspects: indoor light environment research, indoor thermal environment research, solar thermal coupling performance simulation research and office building energy consumption simulation research, and identifies the key influencing factors, technology evolution and implementation strategies. This paper summarizes and analyzes the characteristics and shortcomings of current research in this field, discusses possible future research trends, and clearly provides a new path for research and practice. These analyses are designed to drive more empirical research, strategy development, and practical applications to achieve overall improvements in the energy efficiency of office buildings.

## Keywords

Office Buildings, Integration of Daylighting and Thermal, Dynamic Simulation, Daylighting Environment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着气候变化的影响日益加剧,节能减排和可持续发展已成为全球共同追求的目标。在响应这一全球性议题的过程中,绿色建筑不仅降低运行成本,而且还为用户提供了高质量的室内空间,同时对城市环境造成的影响也大大减少。在建筑领域,办公建筑作为城市环境中最普遍且活跃的空间形态之一,它的能耗问题已经引起了世界各地研究者和实践者的深刻关注。事实上,办公建筑不仅在商业、文化和社会活动中扮演着中心角色,而且在全球能源消耗的构成中占据了重要位置。

在办公建筑中,室内光环境和室内热环境是影响建筑能耗的两个主要方面。灯光和照明系统必须充分考虑自然光的引入和人工照明的高效使用。这不仅能够减少照明能耗,而且还能够提高员工的工作效率。同时,合理的室内热环境设计和控制对保障员工的舒适度以及节能降耗是极为重要的,这要求严格控制暖通空调系统的能耗,包括采暖、通风以及空气调节系统。为了进一步优化室内环境质量和能源效率,不断有研究者在探索如何将光环境与热环境相结合,从而形成所谓的光热耦合技术。光热耦合技术不仅能够提高室内舒适度,还能显著降低办公建筑的能耗。此技术与传统建筑实践相比,在提升空间使用效率和能源利用率方面展现出独特的优势。

本综述的目的是梳理和评估当前关于光热耦合办公建筑能耗研究的文献资料,并识别关键的影响因素、技术演进和实现策略。通过回顾室内光环境和室内热环境在办公建筑能耗中的作用,以及光热耦合技术如何被运用以降低这些能耗,从而对未来的研究方向提供清晰的路径,并促进更广泛的实践应用。

## 2. 室内光环境研究

20 世纪 70 年代后,由于建筑规模的扩展、能耗的增加以及促进健康的需求,使得自然光环境设计的重要性再次提升,自然光的精细化利用是这一时期的主要特点,也推动了自然光环境设计工具尤其是模拟工具的快速发展。其中代表性模拟软件有 ADELINe、Superlite 和 Radiance 等[1]。综合性模拟软

件如 Daysim、EnergyPlus、DeST、DIVA 等也增加模块, 用以分析室内光及光热耦合与建筑能耗之间的关系。

Reinhart 等人研究了不同类型的窗户与室内光分布的关系, 得出结论, 通过天窗等设计的引入, 能有效改善室内的光环境。还研究了窗户的定向放置, 以利用不同时间段的日光, 来减少夏季过热问题[2]。

Krarti 等人对一种简化分析方法的预测进行了改进和验证, 研究了美国等几个地点的建筑几何形状、窗户尺寸和玻璃类型的几种组合对采光性能的影响, 还研究了调光和阶梯式采光控制及其设置的影响[3]。

Alrubaih, M. S. 等人合理设计和选择采光系统, 研究了白天采光和照明控制策略的基本内容, 包括白天采光因子、照度和亮度、眩光指数等。为建筑师、建筑专业人士、研究人员更好地理解采光的基本问题, 为有效的采光设计和系统提供了有益的参考[4]。

Mangkuto, Rizki A. 等人提出了一种简单的多目标优化方法, 在简单的位于热带气候的建筑物, 以调查窗墙比, 墙壁反射率和窗户朝向, 研究对各种日光指标和照明能源需求的影响。根据标准筛选所有 Pareto 前沿中的最优解并进行排序, 找到了三个最优解, 窗户均为南向朝向[5]。

Berardi, Umberto 等人评估了多伦多一栋朝南办公楼的光架对照度水平的影响。有用日光照度(UDI)被视为分析的度量标准。对四种不同窗墙比的模拟结果进行了比较, 超过 35% 的窗墙比会导致光量增加, 并带来更高的眩光问题, 而在采用落地窗的情况下, 超过 35% 的窗墙比在采光方面并不有利[6]。

A Sherif 等人评估窗表面和房间表面平面上的空间日光自主性(sDA)和年日照量(ASE)的采光性能, 利用参数化工具和仿真软件对可能的缝翼形状进行了系统测试, 从而在窗表面和房间区域实现全年充足的采光, 并最大限度地提高患者的外部视野[7]。

张立超通过利用 Radiance 和 Daysim 软件进行模拟分析, 进行了一项研究来对比动态和静态采光评价指标。运用动态评价指标来分析办公空间的采光条件, 能更精确地揭示实际光照效果[8]。这一方法不仅为建筑师在设计时提供了更为科学和可信的数据支持, 而且还指导他们选择最合适的辅助采光系统, 以确保室内光环境的质量。

李汉林在研究中通过对比实际测试结果和现有评价方法, 提出了一系列优化高校光环境的策略。专选高校中典型的功能性空间作为研究样本, 并全面考虑到人们对光环境的需求和偏好。基于这种综合分析, 推荐了一组具体的改进措施, 这些措施不仅关注于光照质量的提升, 而且重视实现照明系统能耗的有效降低, 促进能源的节约与可持续发展[9]。

张海遐等人采用了 Radiance 软件来模拟和分析两类普遍使用的动态外部遮阳设施: 百叶和卷帘。通过对办公室内的光线分布、视觉舒适度以及工作区域照明水平等关键因素的综合考量, 对所研究的光环境进行了详尽的评价。结果表明, 活动式外遮阳百叶对于优化室内光环境方面具有突出的表现, 并在提升光的质量和创建愉悦的工作空间上发挥着重要作用[10]。

在建筑光学领域, 优化室内天然光照的能效和确保光环境的健康舒适性是全球研究的焦点之一, 如图 1 所示。国内外的研究者们对诸多因素如室内光环境、内外遮阳装置的形式与效能、自然采光特性、窗户设计以及玻璃类型进行了广泛的研究。虽然已有大量的研究, 但大多数都局限于具体地区、特定环境的独立案例研究, 并且受地理位置、时间和太阳辐射强度等多种变量的影响, 这些研究成果往往缺乏普遍适用性。

### 3. 室内热环境研究

美国在 20 世纪 60 年代开发了 BLAST 和 DOE 两种建筑热环境性能模拟软件[11] [12]。基于这些初代软件的经验, 后来又开发了更先进的第二代模拟工具, 如 EnergyPlus 和 Trnsys, 这些工具在建筑行业得到了广泛的应用[13] [14]。在欧洲, 同类型的软件叫做 ESP-r [15]; 而在亚洲, 具有代表性的热环境

性能模拟软件是中国清华大学开发的 DeST [16], 以及日本的 HASP [17]。设计阶段, 常用的热性能简化模拟工具包括: Baker 等人研发的 LT Method 3.0 [18], Cardiff 大学开发的 Ecotect [19], Leon 开发的 MIT design advisor [20]。这些简化模拟工具也是近年来研究的热点, 它们各具特色, 并能便利地用于设计阶段的热能模拟计算。

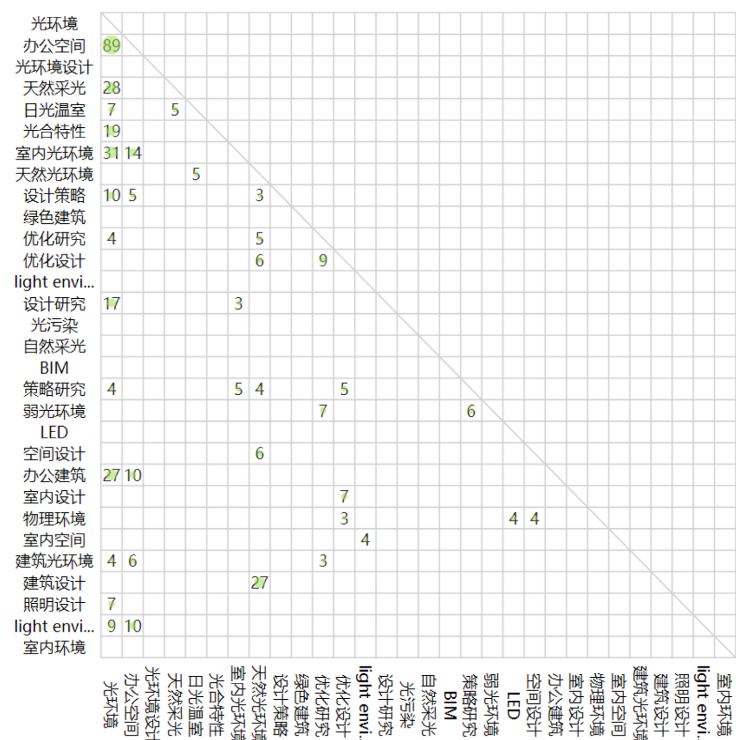


Figure 1. Hot keywords  
图 1. 热点关键词

Tsikaloudaki, K.等人提出了一种评估住宅窗户制冷性能的方法, 它基于一项参数研究, 强调窗口配置在几何特性、热物理和光学特性以及取向和遮光水平方面, 对其能耗的影响。这些结果强调了透明元件的热特性和光学特性之间的关系与它们的取向之间的大小; 尤其是对于住宅建筑来说, 至少在欧洲最温暖的地区, 太阳能的透射率在很大程度上决定了开窗的制冷性能[21]。

F Ascione 等人提出了一种基于仿真的模型预测控制(MPC)程序, 包括空间调节和热舒适运行成本的多目标优化。该程序结合了 EnergyPlus 和 MATLAB®, 根据天气状况和入住情况的预测, 在未来一天的规划范围内优化每小时的设定点温度[22]。

Andrea Gasparella 等人专注于分析了在欧洲四个不同城市区域的住宅中, 窗户的尺寸、玻璃类型、方位以及内部热增益如何影响建筑的能源消耗。结果表明, 为了促进建筑效能, 夏天应该实施遮阳策略以防止过度升温, 而冬天则应该确保尽可能大的窗户采光面积, 以促进太阳能的利用[23]。

Ibrahim Atmaca 等人探索了高辐射热条件下人体不同部位的局部温度差异, 以及不同设计的天花板和墙体内表面温度是如何影响热舒适度的。研究发现: 紧邻热源的人体部位感受到的不适更为显著, 受到直接太阳辐射影响的墙面和天花板表面温度较高, 这会削弱室内的热舒适水平, 从而对人体产生不适感[24]。

刘艳峰等人在冬季对拉萨市室内外环境进行测试期间, 所研究的房间未配备取暖系统。该地区朝南

的房间内室温仍能满足居住者的热舒适需求。比较遮阳与不遮阳的条件, 未使用内外遮阳措施的朝南房间室内温度比采取了内外遮阳措施的房间高出大约 1.1 摄氏度。因此, 研究得出结论指出, 在冬季, 太阳辐射对于室内取暖具有显著的积极作用[25]。

朱卫华等人在夏季对上海机场航站楼的室内环境参数进行测试, 并收集旅客关于实际热感觉的投票数据。当室内人员处于直接阳光照射之下时, 太阳辐射会对他们的热舒适度造成直接影响。太阳直射的热感觉效果相当于室内平均辐射温度增加了 11 摄氏度时所产生的热感觉。这意味着直接的太阳辐射可以显著提高人体感受到的热环境温度, 可能导致热不适[26]。

室内受到的太阳辐射引起的热效应是一个不容忽视的因素, 在优化建筑物的自然光照效果的同时, 应当注意防止因太阳辐射引起的过度加热, 以免对室内的热环境和居住者的热舒适度产生不利影响。

#### 4. 光热耦合性能模拟研究

近年来, 在光热耦合性能模拟的研究领域, 学者们特别关注自然采光模拟以及其与建筑热行为的综合分析, 如图 2 所示。研究重点是发展高效的方法来模拟和评价日光对室内环境的影响, 并解决眩光控制和遮阳技术在防止室内过热方面的问题。这些努力旨在提升室内光舒适度, 同时降低能耗和提高建筑的能效表现。

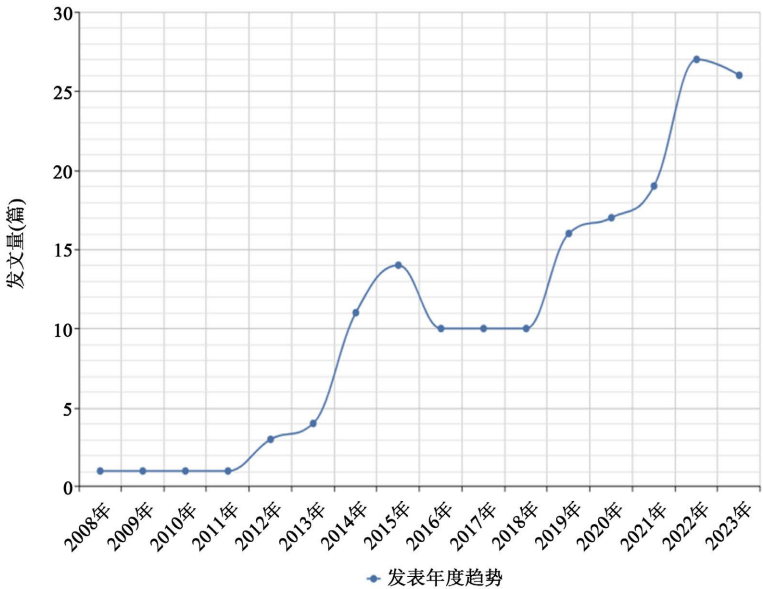


Figure 2. Distribution of publication quantity  
图 2. 发文数量分布

C.E.Ochoa 等人提出了一种智能窗口不透明度的优化方法, 通过使用智能窗口减少典型低热质量办公楼供暖、制冷和照明能耗的潜力。考虑的窗户由双层窗格玻璃单元组成, 其中在外部窗格玻璃的内表面上添加了可控吸收层。这种吸收层可以改变窗户的光学特性, 从而直接控制通过窗户进入建筑物的入射太阳热通量。在必要的加热、冷却和照明需求方面, 优化吸收层的太阳能热通量吸收率, 有助于显著降低年总能耗和冷却峰值负荷[27]。

J.M.Dussault 研究了窗户系统对亚洲建筑能耗的影响, 提出了亚洲地区的最佳窗口性能特性, 提出了在不同气候条件下选择最佳窗户的设计指南, 绘制了具有 5 种典型亚洲气候的前 3 种性能窗户系统的图表, 通过使用计算机模拟工具来评估各种窗口特性[28]。



J.W. Lee 等人提出并优化了与在建筑围护结构中应用不同类型和性能的窗系统相关的年度供暖、制冷和照明能耗。通过使用建筑模拟建模,在马尼拉、台北、上海、首尔和札幌五种典型的亚洲气候下,评估了不同窗墙比和朝向下的各种窗户性能,如传热系数、太阳得热系数和可见光透过率,将窗户性能与建筑能耗性能用简单的图表表达[29]。

H.Shen 使用先进的集成热和照明模拟模型,对带有自动内部卷帘的私人办公室的采光和能源性能进行了全面的全局不确定性和敏感性分析。在研究办公建筑透明围护结构的设计变量时,研究结果表明窗户面积和遮阳构件是影响建筑整体能耗的两个关键因素。通过优化窗户大小和配置以及使用高效的遮阳系统,可以显著提升建筑的能源效率。这种优化有助于减少因不当窗户设计导致的过度日照或热损失,同时保持室内空间的光照质量和舒适度[30]。

G.Kim 发现在韩国建筑中应用外遮阳系统时,整体能耗与遮阳板角度配置息息相关。将遮阳板角度设定为 60°时,观察到建筑的整体能耗达到最高值,而采用水平遮阳板配置时,建筑的能耗最低。为了减少建筑能耗,水平配置的遮阳系统可能更适合韩国的建筑设计[31]。

Manzan 等人在对办公建筑进行综合优化时,通过将室内自然采光和热环境性能作为核心指标,并将外部遮阳设施的位置及规模作为变量进行参数化设计分析,结果表明,经过优化的遮阳方案能够实现整体能耗降低 17%。这一最优设计解决方案不仅提升了能效,还保证了室内光热舒适性[32]。

Y.V.Perez 通过对热湿地区建筑的低能耗设计研究,得知建筑的朝向和外墙的传热系数是影响室内光热环境的主要因素。遮阳系统的设计作为次要变量,也对室内环境的温度和光线有显著影响[33]。这些要素得到适当考虑和优化,对于实现建筑的节能效果至关重要。

Alan Pino 等人基于动态模拟,对位于圣地亚哥的一栋办公楼的制冷和供暖需求进行了估算。在圣地亚哥的气候条件下,即使采用选择性玻璃,也不建议采用全玻璃外墙;夜间通风显示能非常有效地减少冷却需求;较低的窗墙比与太阳能保护可以实现一个更好的日光性能比较大的窗墙比由于防止眩光[34]。

Torres 等人运用 Radiance 软件进行模拟分析室内空间的眩光现象,结合遗传算法,将眩光概率(DGP)确定为优化的关键目标。优化针对自然采光辅助系统中的 21 个关键设计参数进行了排序,以提升室内光环境质量,减少眩光对居住者的不良影响[35]。

当前研究在性能模拟软件的综合应用方面面临一些挑战。多数情况下,研究者倾向于使用同一软件进行光热耦合模拟,这种做法可能会牺牲模拟的准确性。例如,虽然 EnergyPlus 在热环境模拟方面表现良好,但在光环境的照度和眩光模拟上准确度不足。同样, DIVA 虽然在光环境模拟方面得到了广泛应用,但在热环境分区模拟方面还面临一些限制。模拟准确性的不足直接影响了高精度优化算法的应用效果,因为优化算法依赖于精确的模拟数据才能发挥其最大潜力。因此,更好地整合并提升不同软件模拟的准确性,对于提高建筑性能模拟和优化设计的质量至关重要。

## 5. 办公建筑能耗模拟研究

办公建筑的能耗特点通常与其使用模式、占地特点、建筑材料以及设计标准等多个方面有关,关于办公建筑能耗模拟研究引起很大的关注,如图 3 所示。这些结构大体上具有相似的能源使用趋势,即高比例的能源消耗用于照明、暖通空调(HVAC)系统以及办公设备。在不断提高能效的过程中,这些特点必须得到详细的分析和深入的了解。

尹凡等人选定杭州市的一座办公楼作为案例,运用 DeST 软件进行详细的逐小时能耗模拟。通过设计精准的正交实验,探讨了不同因素如窗户朝向、玻璃材质、窗墙比例及外部遮阳结构对建筑全年能耗的具体影响。窗户朝向对整年能耗负荷的影响最为显著,紧随其后的是玻璃材料的种类、窗户与墙面的比例以及外部遮阳的设计。提出了一个综合性优化方案,该方案在考虑了多变量影响的基础上,为实现

建筑总能耗的最小化提供了可行路径[36]。

张伟捷等人对邢台市一栋办公大楼的能耗模拟分析中, 选用了 DeST 软件作为模拟工具, 专注于建筑的时刻冷负荷。构建了一个包含 7 个关键因素的正交实验设计, 综合评估了这些因素对房间冷负荷的具体影响。经过严密的数据分析, 确立了这些因素的影响主次顺序, 发现其中窗墙比对冷负荷的影响最为显著。基于这些发现, 进一步探索并锁定了能够实现最小冷负荷的各因素最优组合, 为办公建筑的能效优化提供了科学指导和实践方案[37]。



**Figure 3.** Keyword co-occurrence network graph  
**图 3.** 关键词共现网络图谱

东阳采用 DeST 软件结合正交实验方法, 细致分析了各个能耗因素与建筑整体能耗之间的相互作用。明确各个因素对建筑能耗的敏感程度, 按照影响力从大到小排序为: 外窗综合遮阳系数、窗墙比、建筑的平面布局、标准楼层面积、空间利用率、建筑朝向、外墙材料类型以及楼层高度, 为超高层办公建筑在设计和运营中针对性地实施能耗优化提供了重要的依据和参考[38]。

Susorova, Irina 等人通过运用建筑能耗模拟软件,对办公建筑的地理位置(不同气候区)、朝向、房间的尺寸比例(包括长宽比和进深)、窗墙比与建筑能耗间的相互关系进行了深入探讨。在干热气候区,那些拥有较大长宽比和较小进深的房间表现出较合适的适应性;较大窗墙比的房间在热气候区的适宜性超过冷气候区。不论在哪一气候区,朝南的房间均效果最佳。对不同条件下可能实现的节能率进行了统计分析,为办公建筑的节能设计提供了实用的参考数据和建议[39]。

根据能耗分析的结果，可以明确地看到，与外窗相关的因素是影响办公建筑能耗的重要方面。这包括外窗的综合遮阳系数、窗墙比例等，这些参数直接关联了建筑的日照接收与散失情况，进而影响冷暖负荷以及照明能耗。通过优化这些因素的设计，如提高窗户的隔热性能、调整窗墙比例或改善遮阳设备，我们可以有效减少办公建筑的能耗，并提升其整体能效性能。因此，在办公建筑节能设计过程中，应当特别关注外窗相关的设计和技术选择。

## 6. 研究总结及展望

文章总结了基于光热性能模拟在办公建筑领域的最新研究进展,通过对广泛文献的精细整理,向学

术界提出了一个详尽的知识框架。室内环境中的光环境和热环境对于提升办公建筑的舒适度与能效具有至关重要的影响。在此基础上, 光热性能模拟作为一种研究手段, 不仅揭示了当前的研究成就, 也指明了这一领域未来发展的挑战与机遇。

对基于光热性能模拟的办公建筑, 文章进行了现有研究的综合梳理与总结: (1) 室内光环境研究部分, 综述了影响办公建筑内部光环境的各种因素, 如室内光环境、内外遮阳装置的形式与效能、自然采光特性、窗户设计以及玻璃类型, 并分析了这些因素对人的视觉舒适和效率的影响, 但这些研究成果往往缺乏普遍适用性。(2) 室内热环境研究方面, 总结了热舒适度模型、温湿控制策略及其在办公空间的应用。深入探讨了不同气候区域、不同建筑物理结构对热环境的影响以及应对策略, 在优化建筑物的自然光照效果的同时, 应当注意防止因太阳辐射引起的过度加热, 以免对室内的热环境和居住者的热舒适度产生不利影响。(3) 光热耦合性能模拟研究部分, 着重介绍了将光环境与热环境耦合的模拟方法, 分析了光热耦合对办公建筑能效的影响, 以及多尺度、多级别模拟策略在实际设计中的应用和挑战。(4) 办公建筑能耗模拟研究方面, 与外窗相关的因素是影响办公建筑能耗的重要方面。通过优化这些因素的设计, 我们可以有效减少办公建筑的能耗, 并提升其整体能效性能。因此, 在办公建筑节能设计过程中, 应当特别关注外窗相关的设计和技术选择。

考虑到光热性能模拟对于办公建筑的未来发展至关重要, 提出以下探讨性观点: (1) 集成模拟工具的进化: 未来的建筑模拟工具将更加集成和用户友好, 能够同时处理复杂的光热传递问题。这些工具将采用更高级的算法实现更快速的计算和更高精度的模拟结果, 从而为建筑师和工程师提供实时的设计反馈。(2) 智能化与自适应建筑设计: 先进的光热性能模拟将被用来创建可动态响应环境变化的智能建筑。例如, 可变形的外壳结构以适应太阳角度的变化, 或者智能窗户能够基于光热模拟自动调整透光率。(3) 增强的数据分析与机器学习方法: 大数据和机器学习技术将被用来分析建筑光热性能的大量数据。通过从历史数据中学习, 我们可以预测建筑性能, 优化能耗, 并在设计阶段就考虑到光热效应。(4) 跨学科融合的发展: 光热性能模拟将继续结合多个学科的最新发展, 如可持续性原则、建筑物理学、计算流体动力学、人类行为学以及经济学, 为设计更高效、更舒适的办公建筑提供全面的视角。(5) 实时监控与反馈系统: 办公建筑将可能嵌入各种传感器以收集光热性能数据。这些数据将通过云计算平台进行实时分析, 以提供即时的光热环境调节。(6) 政策和规范的更新: 伴随技术的进步, 建筑标准和规范将会更新, 以推广最佳的光热性能模拟实践, 鼓励设计和建造低能耗办公建筑。(7) 可持续性与绿色建筑: 随着全球对节能减排要求的提高, 光热性能模拟将会成为设计绿色建筑的重要工具, 帮助实现零碳排放的建筑目标。(8) 教育与专业发展: 建筑专业的教育课程将更多地集成光热性能模拟的知识, 以培养具有高度专业技能的建筑师和工程师, 他们将对未来的建筑设计和运营产生深远的影响。通过不断的技术革新和跨学科研究, 基于光热性能模拟的办公建筑将继续朝着更加智能、高效、可持续的方向发展。

## 注 释

文中所有图片均为作者自绘。

## 参考文献

- [1] Vine, E., Lee, E., Clear, R., DiBartolomeo, D. and Selkowitz, S. (1998) Office Worker Response to an Automated Venetian Blind and Electric Lighting System: A Pilot Study. *Energy and Buildings*, **28**, 205-218. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(98\)00023-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(98)00023-1)
- [2] Krarti, M., Erickson, P.M. and Hillman, T.C. (2005) A Simplified Method to Estimate Energy Savings of Artificial Lighting Use from Daylighting. *Building and Environment*, **40**, 747-754. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.08.007>
- [3] Miquet, F. and Groleau, D. (2002) A Daylight Simulation Tool for Urban and Architectural Spaces—Application to Transmitted Direct and Diffuse Light through Glazing. *Building and Environment*, **37**, 833-843.



- [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(02\)00049-5](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(02)00049-5)
- [4] Alrubaih, M.S., Zain, M.F.M., Alghoul, M.A., Ibrahim, N.L.N., Shameri, M.A. and Elayeb, O. (2013) Research and Development on Aspects of Daylighting Fundamentals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **21**, 494-505. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.057>
  - [5] Mangkuto, R.A., Rohmah, M. and Asri, A.D. (2016) Design Optimisation for Window Size, Orientation, and Wall Reflectance with Regard to Various Daylight Metrics and Lighting Energy Demand: A Case Study of Buildings in the Tropics. *Applied Energy*, **164**, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.046>
  - [6] Berardi, U. and Anaraki, H.K. (2015) Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Buildings in Toronto. *Energy Procedia*, **78**, 1793-1798. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.310>
  - [7] Sherif, A., Sabry, H., Wagdy, A., Mashaly, I. and Arafa, R. (2016) Shaping the Slats of Hospital Patient Room Window Blinds for Daylighting and External View under Desert Clear Skies. *Solar Energy*, **133**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.053>
  - [8] 张立超. 基于动态采光评价的办公空间侧向采光研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014.
  - [9] 李汉林. 高校典型空间室内光环境分析与优化研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
  - [10] 张海遐, 季柳金, 魏燕丽, 等. 活动式建筑外遮阳设施对室内光环境的影响[J]. 江苏建筑, 2010(4): 102-105.
  - [11] DOE (1982) DOE Engineers Manual. Version 2.1A.
  - [12] SEL (2013) Trnsys Engineers Manual. Version17.
  - [13] LBNL (2002) EnergyPlus Engineering Document.
  - [14] Clarke, J.A. and McLean, D. (1988) ESP—A Building and Plant Energy Simulation System. Energy Simulation Research Unit, University of Strathclyde.
  - [15] 清华大学 DeST 开发组. 建筑环境系统模拟分析方法-DeST. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
  - [16] 松尾阳. 空调设备动态热负荷计算入门[M]. 东京: 日本建筑设备协会, 1980.
  - [17] Baker, N. and Steemer, K. (2000) Energy and Environment in Architecture a Technical Design Guide. E & FN Spon.
  - [18] Baker, N. and Steemers, K. (1996) LT Method 3.0—A Strategic Energy-Design Tool for Southern Europe. *Energy and Buildings*, **23**, 251-256. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00950-7](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00950-7)
  - [19] The MIT Design Advisor. MIT Department of Architecture. <https://architecture.mit.edu/>
  - [20] Mechri, H.E., Capozzoli, A. and Corrado, V. (2010) USE of the ANOVA Approach for Sensitive Building Energy Design. *Applied Energy*, **87**, 3073-3083. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.001>
  - [21] Tsikaloudaki, K., Theodosiou, T., Laskos, K. and Bikas, D. (2012) Assessing Cooling Energy Performance of Windows for Residential Buildings in the Mediterranean Zone. *Energy Conversion and Management*, **64**, 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.04.020>
  - [22] Ascione, F., Bianco, N., De Stasio, C., Mauro, G.M. and Vanoli, G.P. (2016) Simulation-Based Model Predictive Control by the Multi-Objective Optimization of Building Energy Performance and Thermal Comfort. *Energy and Buildings*, **111**, 131-144. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.033>
  - [23] Gasparella, A., Pernigotto, G., Cappelletti, F., Romagnoni, P. and Baggio, P. (2011) Analysis and Modelling of Window and Glazing Systems Energy Performance for a Well Insulated Residential Building. *Energy and Buildings*, **43**, 1030-1037. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.032>
  - [24] Atmaca, I., Kaynakli, O. and Yigit, A. (2007) Effects of Radiant Temperature on Thermal Comfort. *Building and Environment*, **42**, 3210-3220. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.009>
  - [25] 刘艳峰, 王登甲, 刘加平, 等. 拉萨市建筑冬季热环境影响因素测试分析[J]. 建筑科学, 2010, 26(8): 23-26.
  - [26] 朱卫华, 王建文, 张兆铭, 等. 虹桥机场 T2 航站楼夏季热环境实测与分析[J]. 建筑热能通风空调, 2014, 33(4): 9-12.
  - [27] Dussault, J., Gosselin, L. and Galstian, T. (2012) Integration of Smart Windows into Building Design for Reduction of Yearly Overall Energy Consumption and Peak Loads. *Solar Energy*, **86**, 3405-3416. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.016>
  - [28] Lee, J.W., Jung, H.J., Park, J.Y., Lee, J.B. and Yoon, Y. (2013) Optimization of Building Window System in Asian Regions by Analyzing Solar Heat Gain and Daylighting Elements. *Renewable Energy*, **50**, 522-531. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029>
  - [29] Shen, H. and Tzempelikos, A. (2013) Sensitivity Analysis on Daylighting and Energy Performance of Perimeter Offices with Automated Shading. *Building and Environment*, **59**, 303-314. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.028>
  - [30] Shen, H. and Tzempelikos, A. (2012) Daylighting and Energy Analysis of Private Offices with Automated Interior Roller Shades. *Solar Energy*, **86**, 681-704. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.11.016>

- 
- [31] Kim, G., Lim, H.S., Lim, T.S., Schaefer, L. and Kim, J.T. (2012) Comparative Advantage of an Exterior Shading Device in Thermal Performance for Residential Buildings. *Energy and Buildings*, **46**, 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.040>
- [32] Manzan, M. and Pinto, F. (2017) Genetic Optimization of External Shading Devices. *Proceedings of the Building Simulation: 15th International IBPSA Conference*, San Francisco, 27-30 July 2009, 180-187.
- [33] Perez, Y.V. and Capeluto, I.G. (2009) Climatic Considerations in School Building Design in the Hot-Humid Climate for Reducing Energy Consumption. *Applied Energy*, **86**, 340-348. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.05.007>
- [34] Pino, A., Bustamante, W., Escobar, R. and Pino, F.E. (2012) Thermal and Lighting Behavior of Office Buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings*, **47**, 441-449. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.016>
- [35] Torres, S.L. and Sakamoto, Y. (2007) Facade Design Optimization for Daylight with a Simple Genetic Algorithm. *Proceedings of the Building Simulation. International IBPSA Conference*, Beijing, 3-6 September 2007, 1162-1167.
- [36] 尹凡, 楚洪亮, 张建高, 等. 正交实验法分析外窗系统对建筑能耗的影响[J]. 科技通报, 2009, 25(4): 473-476.
- [37] 张伟捷, 吴金顺, 魏一然, 等. 基于正交实验法的建筑冷负荷影响因素分析[J]. 暖通空调, 2006, 36(11): 77-80.
- [38] 东阳. 广州地区超高层办公建筑标准层设计中的节能分析[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [39] Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A., Clack, H.L. and Elnimeiri, M. (2013) The Effect of Geometry Factors on Fenestration Energy Performance and Energy Savings in Office Buildings. *Energy and Buildings*, **57**, 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.035>