

# 光舒适空间下的动态建筑表皮设计 ——以济南地区办公建筑为例

张天宇, 房文博, 张逸, 郭睿

(山东建筑大学建筑城规学院)

【摘要】动态表皮作为响应建筑低碳化的主要手段之一,随着计算机水平的发展,动态建筑表皮越来越被重视。文章基于grasshopper作为参数化建模与模拟平台,octopus作为多目标优化数据处理工具,设计了一款具有旋转与移动的动态复合表皮。在不同时刻,以多目标优化的方式求得最优表皮状态,调节太阳光射入室内光线,从而达到调节室内光环境的目的。具体实验过程中,以春分日12:00的表皮状态进行模拟实验,选出表皮最优状态。通过典型时刻的模拟对比结果验证动态表皮在提高建筑光环境指标的效果,并探讨了动态表皮在建筑中的多目标优化流程,为建筑表皮的设计提供了新思路。

【关键词】多目标优化;光环境;动态表皮;优化设计

中图分类号:TU113

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2024.09.045

## Dynamic Architectural Skin Design in Light Comfortable Space —— A Case Study of Office Buildings in Jinan Area

ZHANG Tian-yu, FANG Wen-bo, ZHANG Yi, GUO Rui

(School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University)

【Abstract】As one of the main means of responding to building low-carbon, dynamic building skins are increasingly valued with the development of computer technology. This article is based on Grasshopper as a parametric modeling and simulation platform, and takes Octopus as a multi-objective optimization data processing tool to design a dynamic composite skin with rotation and movement. At different times, the optimal skin state is obtained through multi-objective optimization to adjust the sunlight entering the indoor light environment, thereby achieving the goal of adjusting the indoor light environment. During the specific experimental process, the optimal state of the epidermis is selected through simulation experiments at 12:00 on the vernal equinox. By comparing simulation results at typical moments, the effectiveness of dynamic skin in improving building lighting environment indicators is verified, and the multi-objective optimization process of dynamic skin in buildings is explored, providing new ideas for the design of building skin.

【Keywords】multi-objective optimization; light environment; dynamic skin; optimized design

## 1 引言

随着碳达峰、碳中和政策的不断落实,节能减排已经成为了建筑领域的重要目标。在过去二十年的城镇化快速发展中,建筑规模的扩大带动了建筑能耗的增加,中国建筑运行用能约占全社会总用能的20%<sup>[1]</sup>。但随着人们生活水平的提高,建筑室内光、热环境越来越受到重视,建筑表皮作为自然界与室内空间之间的物质界面,也开始发展它的气候适应性。

## 2 研究背景

自适应表皮在概念上被定义为:自适应表皮具有响应不断变化的性能要求与边界条件,随着时间的推移可逆性地更改其某些功能、特征或行为的能

力,以提高整体建筑性能为目的<sup>[2]</sup>。20世纪60年代至今,随着计算机水平的发展,建筑表皮开始向智能化发展,逐步演化出动态建筑(kinetic architecture)、气候适应性表皮等建筑智能表皮设计理论和方法<sup>[3]</sup>。

近些年来,伴随着参数化技术与性能模拟技术的发展,自适应表皮的发展得到了有效地推动。2007年完成的Kiefer Technic Showroom通过在墙面安装电动多孔铝遮阳板,实现了采光、节能、遮阳的目的。2012年落成的阿布扎比Al bahar塔,采用了六边形可变表皮,通过射线折叠的变化方式实现太阳光的遮挡与采光。2016年苗展堂等人总结了可变表皮的转动、折叠、滑动等5种主动式动态模式和物理、化学及生物型的被动式动态模式,并通过软件模拟与现有建筑表皮在建筑物理环境方面进行了比较<sup>[4]</sup>。2022年,孙澄等人基于镶嵌几何的原理,应用

拓扑生形的策略,展开自适应表皮形态生成<sup>[5]</sup>。

本文以济南地区办公建筑为例,通过采用动态表皮的方式试图克服因建筑室内空间阳光直射而带来的光环境缺陷。同时,通过性能模拟与遗传算法等技术方法,提供适宜的动态表皮形态,为建筑表皮设计初期提供相应的参考。

### 3 研究方法

本次研究基于 Grasshopper 平台中的 ladybug 插件进行建筑性能模拟,该插件能够与主流的 Radiance 建筑采光性能模拟引擎进行衔接<sup>[6]</sup>。在模拟过程前,设置高于地面平台 0.7m 的模拟平台,用于照度模拟分析,并且将测点网格平台尺寸定为 800mm×800mm。眩光测点设置高度为室内地面高度以上 0.75m,视线方向正对窗户。优化工具选用 Grasshopper 平台的 octopus 插件,octopus 平台可以通过多个评价指标来找寻方案最优解集,适用于研究自适应表皮在建筑室内光环境优化的过程中。

### 4 研究对象

以济南市常见办公建筑为研究对象,同时采取建立简易模型的方式,根据调研寒冷地区办公空间常见设计尺寸标准,形成了基于采光性能模拟的优化模型。

根据调研济南地区办公空间建立的简化模型设计数据如下:朝向正南,面阔 4.2m,进深 6m,层高 3.2m,窗台高 0.9m,窗墙比为 0.63。通过在 grasshopper 软件中对简化模型中的墙体、楼板、窗户、表皮等建筑构件赋予材质的光学属性,并且根据规范选用合适的材质属性完成采光模拟实验。

### 5 模型的建立与参数设置

#### 5.1 优化目标

根据对比不同评价指标,确定本次实验采用的优化指标分别是 UDI、UOD、DGP,其中有效天然采光百分比(UDI)指标可以表示室内有效照度占室内照度的比重。通常认为照度低于 100lx 时,代表着室内照度不足,此时需要开启灯光照明;照度高于 2000 时代表照度过大,需要进行遮阳处理。因此,本次实验设置 100lx~2000lx 作为 UDI 的实验范围。

由于办公建筑采光过于不均匀,实验采用采光均匀度(UOD)作为优化指标,UOD 是指在采光测量

面上照度最小值与平均值的比值<sup>[7]</sup>,其可以很好地反映出室内采光的均匀度问题,UOD 指标越接近于 1 表示室内照度分布越均匀。此外室内人员需考虑眩光的影响,眩光是指视线的亮度高于眼睛习惯的亮度时所产生的不适感,用来评估眩光的最常用评价标准是日常眩光概率(DGP)。

#### 5.2 动态表皮生成

常见的动态表皮往往采用百叶转动、折叠的方式,通过滑动杆与铰链控制表皮的运动,相对于其他方式结构相对简单,易于维修与使用。但在应对太阳光多角度变化的情况下,单轴转动、折叠等二维空间变化不足以满足室内光照的需求,这时需采用复合表皮的形式,使用多种变化方式组合变化。

为实现更好的光线调控,本次实验采取转动、平移相结合的竖向百叶复合表皮形式进行遮阳实验。复合表皮相对于单一变化表皮适用范围更广,可以提供更多的变化方式,具有较强的灵活性;变换角度大,可以应对不同的环境变化。通过实验最终设定三种运动方式,设置三个可变参数。整体变化形式如表 1,旋转 1 通过边线处滑杆旋转 N,旋转 2 通过中线水平轴旋转 M;两侧百叶通过平移的方式向中间百叶移动距离 P。

### 6 模拟与优化过程——以春分日 12:00 为例

#### 6.1 模拟分析

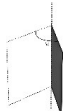
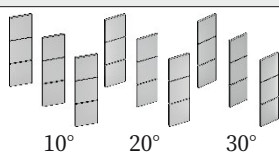
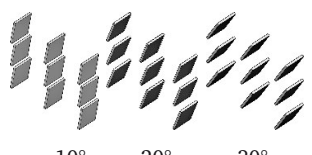
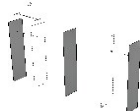
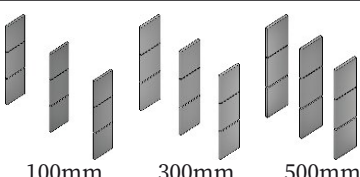
初始模拟通过对无动态表皮办公空间简易模型进行自然采光模拟,得到相应实验数据,为之后的多目标实验作为数据参考。实验前输入济南地区气象数据作为实验气候参考,对于每个时间段进行性能模拟以及多目标优化是个烦琐的过程,且步骤大致相同,因此以春分日 9:00 为例进行实验。

通过对无表皮状态下建筑模型性能模拟分析,在春分日中午时刻建筑室内 UDI 值为 42.8%,采光均匀度为 0.257,同时眩光概率 DGP 为 0.538。通过与初始无表皮状态下数据进行对比,验证动态表皮的合理性。

#### 6.2 多目标优化

在通过 20 代的遗传优化以后,数据逐渐开始收敛,结果变化趋于稳定。通过实验面板可以得知精

表1 动态表皮生成分析

| 运动方式 | 变化形式                                                                              | 参数设定                          | 局部示意图                                                                              |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 旋转1  |  | 旋转范围:-60°~60°<br>旋转分隔:10°/次   |  |
| 旋转2  |  | 旋转范围:0~180°<br>旋转分割:10°/次     |  |
| 平移滑动 |  | 滑动范围:0~1500mm<br>滑动分割:100mm/次 |  |

英集UDI值稳定在65%~85%之间, UOD值在0.32~0.54之间, DGP值大致相同在0.33~0.44之间。结果表明优化过后, UDI最大可达到88%, 最小值也可达到69%, 相比较于无表皮状态下模型室内UDI值具有较大提升, 此外UOD与DGP值也有明显改善。UDI达到最大值88%, 但此时采光均匀度仅为0.21; 同时采光均匀度达到最大值, 此时DGP值达到0.47, 因此需综合考虑三个性能指标决定表皮运动方式。通过最后一代Pareto最优解中筛选出四个最优解(见表2), 在这四个最优解中, 序号1、4侧重于优化目标UDI, 序号2、3侧重于室内眩光与采光均匀度的调节, 在眩光概率DGP大致相同的情况下, 综合考虑UDI与UOD结果, 可以选择序号1为最终表皮形态。

表2 pareto最优解

| 序号 | 旋转1  | 旋转2  | 偏移距离 | UDI值/% | UOD值     | DGP值     |
|----|------|------|------|--------|----------|----------|
| 1  | -20° | 70°  | 500  | 83     | 0.312557 | 0.444684 |
| 2  | 40°  | 60°  | 400  | 75     | 0.263578 | 0.433415 |
| 3  | 20   | 40°  | 100  | 69     | 0.275547 | 0.436634 |
| 4  | 60°  | 130° | 1300 | 72     | 0.234505 | 0.448437 |

运用相同的方式对其余典型时间段进行动态表皮多目标性能模拟实验, 可得到各个时间段表皮最佳运动状态, 并对全年时间段进行寻优, 最后确定动态表皮的变化形态, 用来调节日光进入量从而改善室内光环境。

## 7 结语

通过rhino、grasshopper软件作为建模平台, 以济南地区南向办公空间作为实验对象, 建立具有2种变化方式的动态表皮模型。并通过ladybug平台进行性能模拟, Octopus作为多目标优化工具, 以春分日12:00时刻为例, 建立“建模-模拟-优化-反馈”流程。之后通过相同的工作流程作用于其余典型气候时间, 实验证明了复合动态表皮在优化室内光环境的作用。

## 参考文献

- [1] 胡珊, 张洋, 燕达, 等. 中国建筑领域能耗与碳排放的界定与核算[J]. 建筑科学, 2020, 36 (S2): 288-297.
- [2] 史学鹏, 汪丽君, 解旭东. 建筑自适应表皮概念解析与研究进展[J]. 建筑学报, 2022 (S2): 49-55.
- [3] 韩昀松, 王加彪. 人工智能语境下的寒地建筑表皮智能化演进[J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35 (2): 7-14.
- [4] 苗展堂, 冯刚, 郭娟利. 响应外部环境变化的可变建筑表皮设计研究[J]. 动感 (生态城市与绿色建筑), 2016 (4): 48-55.
- [5] 孙澄, 韩昀松, 王加彪. 建筑自适应表皮形态计算性设计研究与实践[J]. 建筑学报, 2022 (2): 1-8.
- [6] 马智超, 张兰, 郑恩日, 等. 基于天然光模拟的建筑表皮单元光环境性能研究[J]. 建筑技艺, 2022 (S1): 93-96.
- [7] 黄兆旭, 宣蔚. 数据驱动的图书馆阅览空间光环境提升研究[J]. 南方建筑, 2023 (9): 79-87.