

# 基于 modeFRONTIER 的建筑性能优化设计研究

## Study on Building Performance Optimization design Based on modeFRONTIER

田一辛

(天津大学建筑学院)

**摘要:** 多目标优化软件 modeFRONTIER 具有自动搜索寻优的功能, 不仅拓展建筑师对设计可能性的探索范围, 还能有效权衡多目标, 实现负相关性能目标的“共赢”。基于 modeFRONTIER 的性能优化设计遵循设计、模拟及评价、优化、数据分析的逻辑搭建优化设计流程。以某办公建筑为例, 利用性能优化设计方法自动搜索的最优方案的节能率为 8%、热不舒适度降低 0.6%、有效天然采光照度提高 2.2%, 即各性能得以同步提升。

**关键词:** 建筑设计、性能优化、多目标优化算法、性能模拟、modeFRONTIER

**Abstract:** IOSO NM, modeFRONTIER, has the function of automatic search, which not only can increase the possibilities of a design solution but also weighs multiple objectives effectively, thereby attaining a win-win of the negatively correlated performance indices. The performance optimization design based on modeFRONTIER will follow the process such as design, simulation, evaluation, optimization, and Data analysis. Taking an office building as an example, the optimization results showed that fractional energy saving was by 8%, and the predicted percentage of dissatisfied was reduced by 0.6%, the useful daylight illuminance was increased by 2.2%, means that the performance has been improved synchronously.

**Key words:** building design, performance optimization, multi-objective optimization algorithm, performance simulation, modeFRONTIER

建筑性能之间存在矛盾关系, 同一建筑设计要素会引起不同性能效果。面对多变量多性能的性能优化设计, 人工寻优会造成建筑师的重复工作并增加时间成本, 且不能保证最终方案的质量<sup>[1]</sup>。基于多目标优化软件的性能优化设计实现了形态设计、性能预测与性能优化的统一, 协调多种性能要素之间的竞争关系, 辅助建筑师提高设计效率。

### 1. 基于 mode FRONTIER 整合参数化性能软件 Grasshopper

modeFRONTIER<sup>[2]</sup>是由意大利 ESTECO 公司开发的商用多目标优化软件, 该软件的优势是多种类的优化算法和数据后处理功能。多目标优化算法擅长解决具有复杂性、约束性、非线性、大规模等特点的问题, 建筑性能设计的性能目标具有多维性且需要同时满足, 所以基于多目标优化算法的建筑性能优化设计逐渐成为研究热点。

Grasshopper 是在 Rhino 环境下采用程序算法生成模型, 通过参数的调整实现模型形态的改变。Grasshopper 的 Ladybug+Honeybee (以下简称 L+H) 插件<sup>[3]</sup>还可以设置性能模拟参数, 通过运算器调用模拟软件的计算内核完成联合模拟。Grasshopper 设计平台是建筑师所熟悉, 基于该平台的多目标优化插件也被设计师所了解。袁磊<sup>[4]</sup>等人探索将多目标优化算法应用于城市设计, 根据尺度和层次的差异将整合优化方法分为区域规划和城市设计两个阶段实施。袁栋<sup>[5]</sup>以瑞士再保险大厦为原型, 以外表皮的日照辐射得热量为目标, 应用多目标优化获得预期的优化解。吴杰<sup>[6]</sup>以住区室外热环境为研究目标, 利用遗传算法寻找住区总平面布局最优解。基于 Grasshopper 平台的多目标优化算法局限于 NSGA-II 和 SPEA2 算法, 而 modeFRONTIER 平台具有进化算法、启发式算法、多策略算法和基于阶梯的优化算法等四大类型共 12 种算法。

参数化建筑性能模拟实现建筑形态变量和建筑性能的统一，多目标优化算法擅长全局搜索和自动寻优，通过寻找目标函数的最小值或最大值选择设计变量的最佳值。基于多目标优化软件 modeFRONTIER 整合参数化性能模拟 Grasshopper/L+H，实现性能导向的设计寻优，辅助建筑师寻找性能较优的设计方案并制定设计决策。基于 modeFRONTIER 整合 Rhino/Grasshopper 不但保留各平台的独特功能，模块化和可视化编程技术使得交互平台便于操作。modeFrontier 的优势是界面友好、数据分析简便且可视化强。Grasshopper/L+H 的优势是参数化设计、耦合多项性能的联合模拟。武汉大学卓尔体育馆设计<sup>[7]</sup>的优化目标是形体、结构、性能等，运用优化平台 modeFrontier 和参数化设计平台 Grasshopper/Kangaroo 实现建筑性能优化设计。modeFrontier 提供相关性、聚类、敏感性等分析，并将数据以表格、散点图、矩阵图等可视化方式呈现，有效辅助建筑师或工程师制定设计决策。

基于 modeFRONTIER 的多性能优化设计提供设计决策所需的性能反馈；辅助建筑师开拓设计搜索领域，提供扩展的设计方案集并对其进行性能评估；根据多标准决策对优化方案进行排序，辅助建筑师的设计决策。基于 modeFRONTIER 的多性能优化设计方法可应用于绿色建筑的各个方面，如节能、室内环境质量、建筑材料选择、城市或住区环境、成本等。

## 2. 基于 modeFRONTIER 的建筑性能优化设计流程

建筑性能优化流程遵循设计、模拟及评价、优化、数据后处理的逻辑组织（见图 1）。首先采用 Rhino / Grasshopper 建立办公建筑几何模型，基于 L+H 输入建筑性能模拟所需信息，然后调用 EnergyPlus 或 Radiance 模拟引擎，计算建筑性能指标。第二步是在 modeFRONTIER 平台设计实验方案，通过确定样本量和抽样方法生成初始种群。抽样方法包括自定义样本、随机抽样、Sobol 抽样、拉丁超立方抽样等。多目标优化是利用优化算法寻求最优设计解集，并记录优化过程。建筑性能优化设计的成功率主要受模拟成功与否的影响。后处理是分析优化解集的数据，包括提取帕累托优化解、对优化解集做聚类分析、利用多标准决策对优化解集排序等。

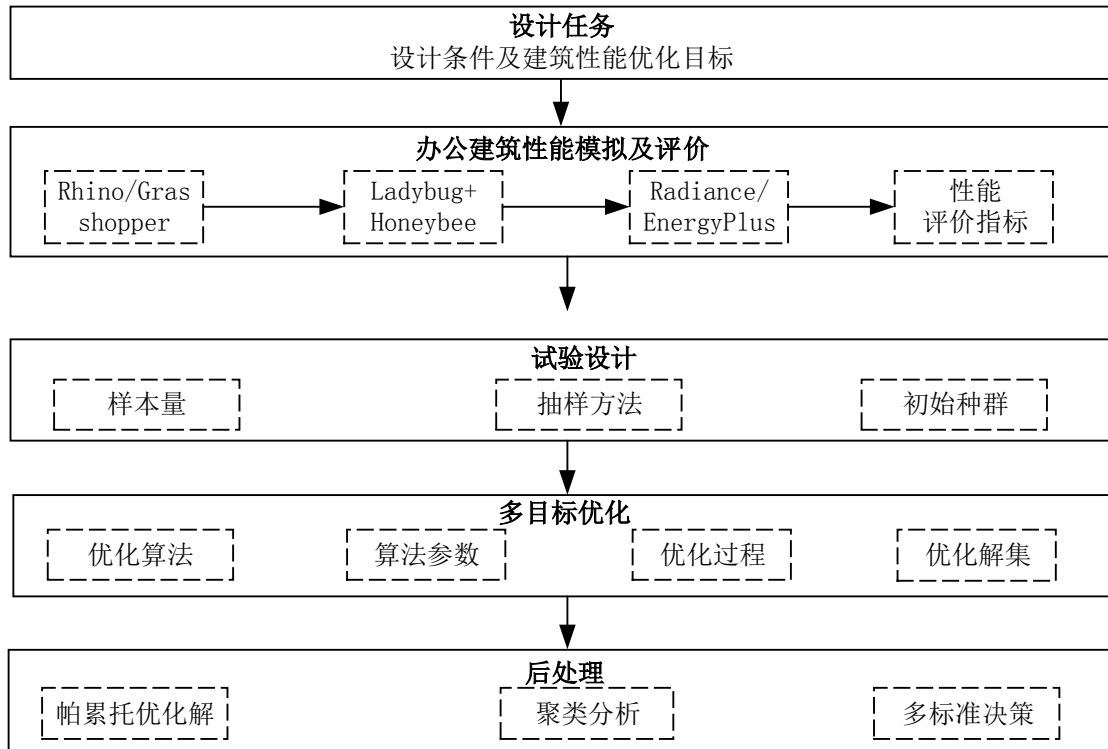


图1 基于modeFRONTIER的性能优化设计流程

### 3.性能优化设计应用

Takenaka 公司的建筑师用以房间之间的联系最大化、办公区锐角面最小化、中厅的锐角面最大化为优化目标，以办公室面积和层高为约束条件，利用多目标优化软件 modeFRONTIER 将本计划耗时几周的人工优化缩短到一天，评估了 3000 个方案并给出最优解<sup>[8]</sup>。

本研究以西安市某商业办公建筑为例，分别以办公楼的外界面、形态和空间要素为变量（11 项变量），以建筑能耗和光热性能为优化目标。第一步，搭建基于 modeFRONTIER 的性能优化设计流程图（见图 2），包括自变量、实验设计、Grasshopper 接口、因变量和性能目标。

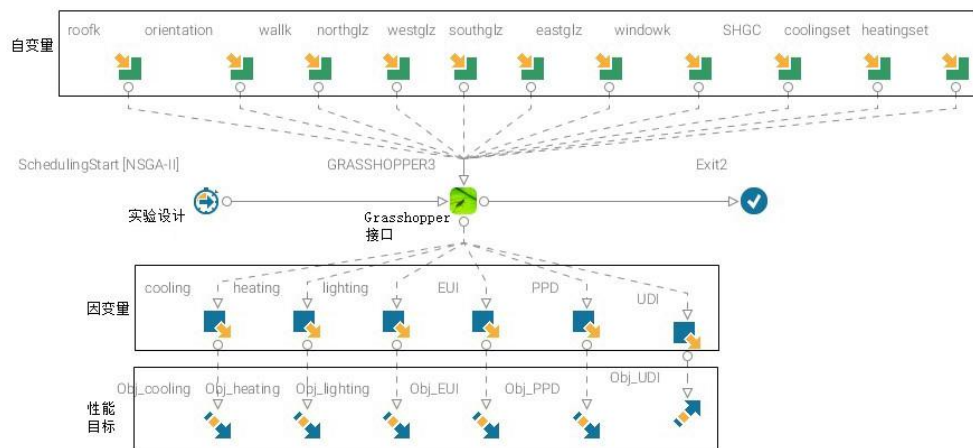


图 2 基于 modeFRONTIER 的性能优化设计流程图

第二步，基于 Grasshopper/L+H 平台搭建性能模拟程序（见图 3）。将几何模型转换为 L+H 模型；进而设置光性能模拟的参数，如区域负荷、照明设备阈值、界面光学性质、网格划分等；最后将气

象文件输入到年自然采光分析器中，利用 Radiance 运算器做光性能模拟，并计算光性能评价指标。

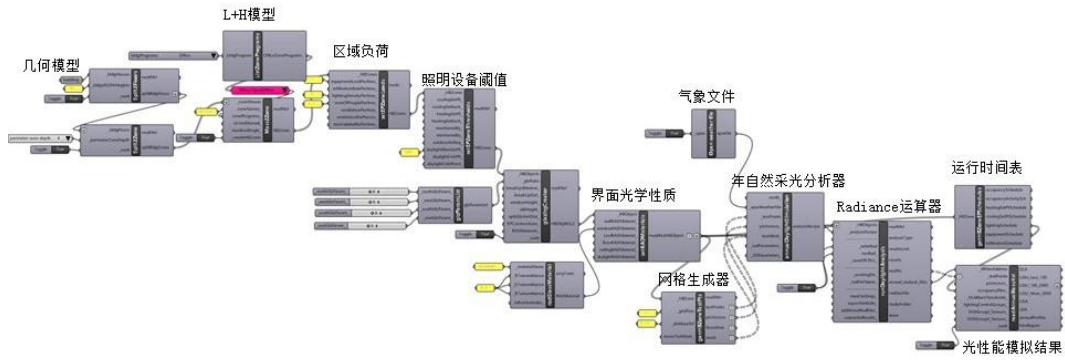


图 3 Grasshopper/L+H 平台的建筑光性能模拟及评价

L+H 模型、区域负荷、设备阈值、界面结构设置是光性能和能耗模拟可以共用的。能耗模拟需设置自然通风方式、运行时间表、HVAC（暖通空调）系统，最后利用 Openstudio 运算器做能耗模拟，并计算能耗评价指标（见图 4）。

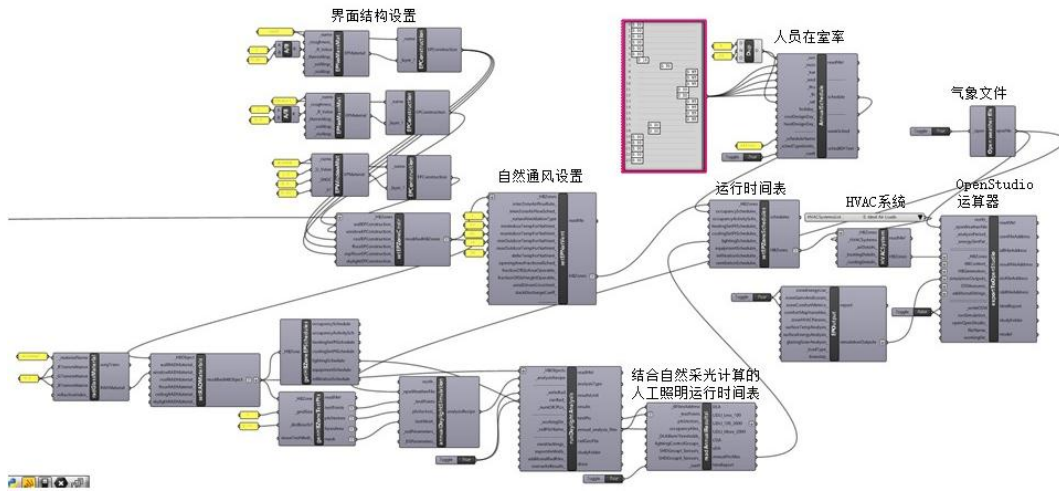


图 4 Grasshopper/L+H 平台的能耗模拟及评价

第三步是多目标优化。利用实验方法在合理的模拟次数下获取最理想的试验数据。本研究采用拉丁超立方抽样，样本量设置为变量数目的五倍（即 55 个），进而生成用于优化的初始种群(见图 5)。根据已有多目标优化算法在建筑性能优化的经验，采用 NSGA-II 算法为多目标优化算法。算法参数选用自主设置，算法策略是精英策略，优化代数是 20 代，突变率是 0.05，交叉率是 1。运行优化并获得优化解共 1100 个，其中帕累托优化解 121 个。

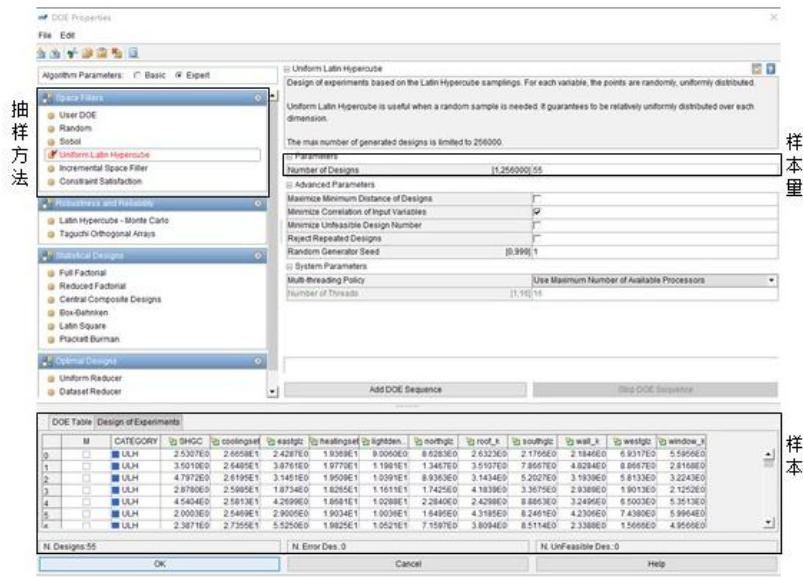


图5 modeFRONTIER 的实验设计界面

第四步是对优化解集的后处理，如聚类分析或多标准决策。聚类分析是将优化解的相似度的统计量为依据，对数据进行分类。类别以簇为单位，簇群以颜色区分，中心是簇的质心，椭圆是置信区间（见图 6）。将光热性能和能耗设为同等重要，运用多标准决策对优化解排序，排名值越高优化解的质量越优。基准方案的能耗是 108.1kWh/m<sup>2</sup>、热不舒适度是 31%、有效天然采光照度是 35.1%，利用多目标优化软件自动搜寻的最优方案的能耗是 100.1kWh/m<sup>2</sup>（节能率 8%）、热不舒适度是 30.4%（降低 0.6%）、有效天然采光照度是 37.3%（提高 2.2%）。

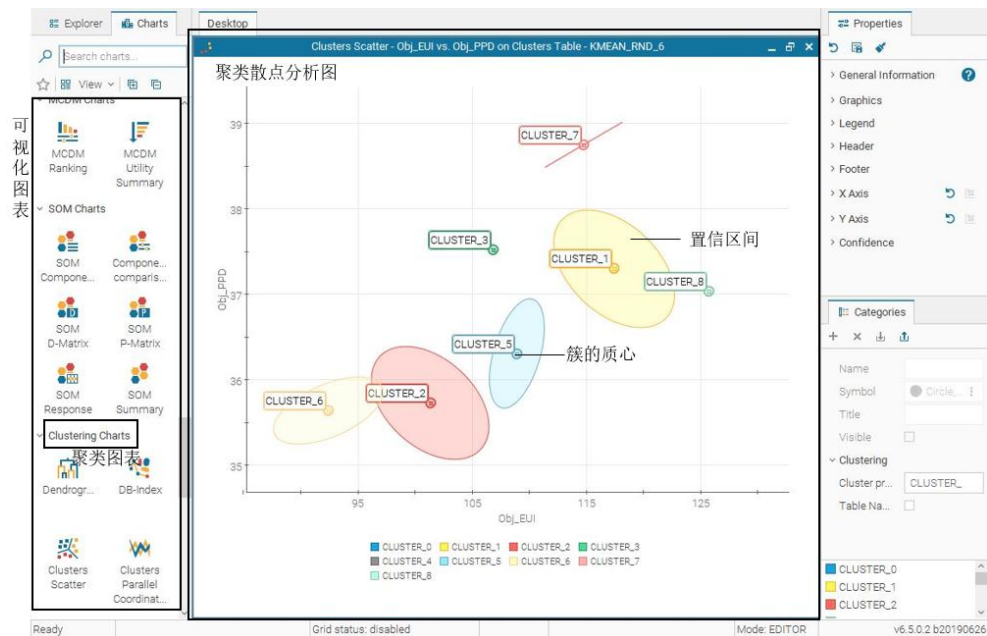


图6 优化解集的聚类分析

## 4.结论

基于 mode FRONTIER 整合参数化性能模拟软件 Grasshopper/L+H 实现形态设计和建筑性能的统一，以性能为导向的自动寻优。基于 modeFRONTIER 的建筑性能优化设计集成参数化设计、性能模拟、多目标优化、数据后处理等功能，遵循设计、模拟及评价、优化、分析的逻辑组织优化设计流程。应用 mode FRONTIER 优化某办公建筑的性能，最优方案的建筑节能率为 8%、热不舒适度降低

0.6%、有效天然采光照度提高 2.2%，达到各性能的同步提升。

图片来源：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

## 5 参考文献

- [1] Design optimization of insulation usage and space conditioning load using energy simulation and genetic algorithm, Xing Shi, Energy36(2011)1659-1667
- [2] Modefrontier. Esteco. Multi-objective optimization and design environment[EB/OL]. <http://www.modefrontier.com/homeMF.html>, 2018.
- [3] Roudsari M S, Pak M. Ladybug: A parametric environment plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design[C]. Proceedings for the 13th International IBPSA Conference held in Lyon, France,2013,8
- [4] 袁磊.冯锦滔.许雪松.使用 MOEA 的城市设计物理环境多目标优化方法[J].南方建筑.2018.4
- [5] 袁栋.孙澄.多目标优化在建筑表皮设计中的应用[J].城市建筑.2018.6
- [6] 吴杰.基于参数化方法的城市住区热环境多目标优化设计研究[D].华南理工大学.2016
- [7] Ding Yang. Shibo Ren. Michela Turrin. Et.al. Multi-disciplinary and multi-objective optimization problem re-formulation in computational design exploration: a case of conceptual sports building design[J]. Automation in Construction. 2018(92): 242-269
- [8] Takenaka, Takenaka Corporation automates simulation-based architectural design, modeFRONTIER case study