

ICSC 2019

Core Competence Enhanced by MBD



IDAJ CAE Solution Conference

## 基于modeFRONTIER的建筑性能优化设计研究

天津大学  
建筑学院 田一辛

# 基于modeFRONTIER的建筑性能优化设计研究

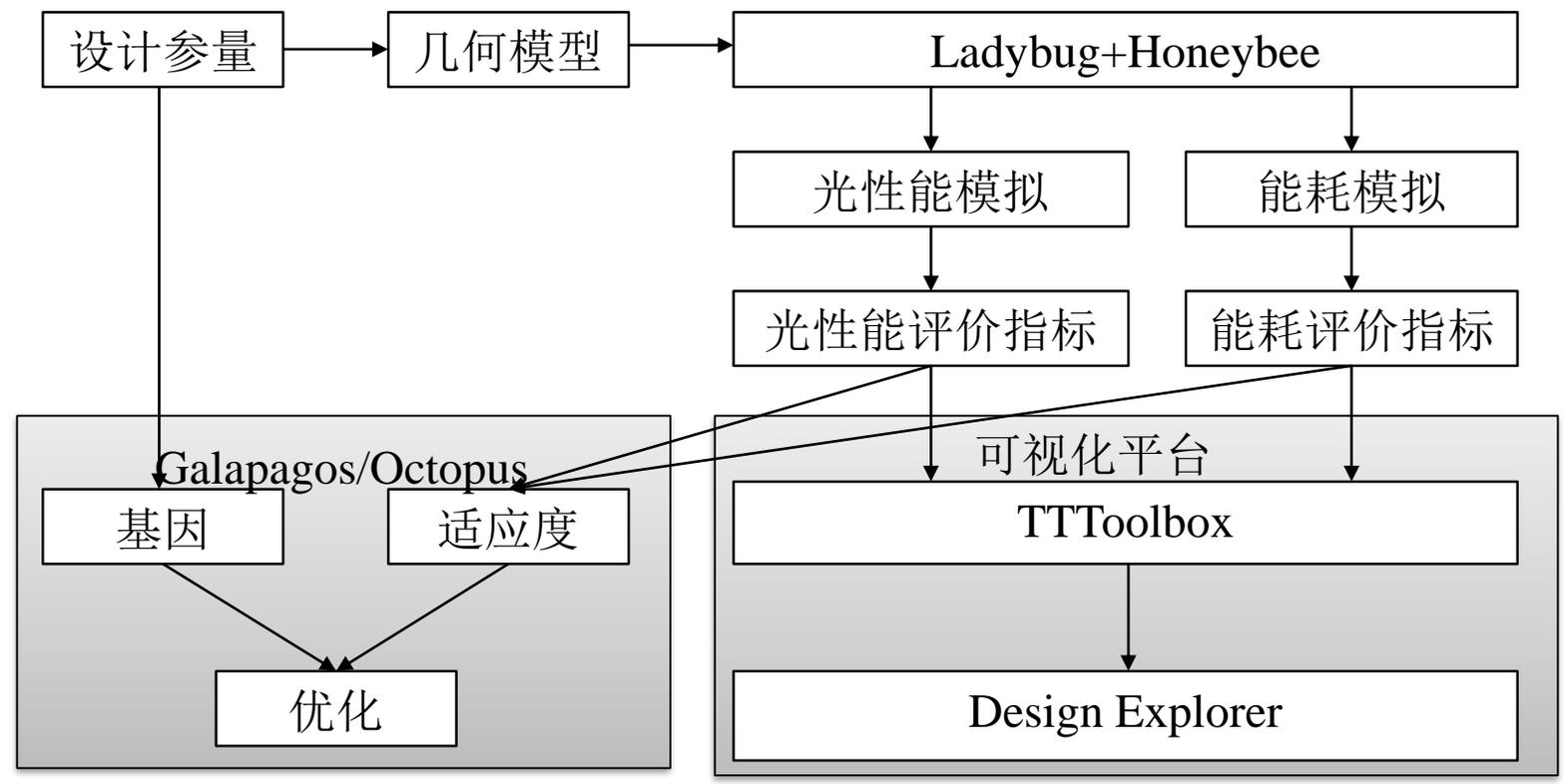
- 1-整合多目标优化和性能模拟的方法
- 2-基于modeFRONTIER的建筑性能优化设计平台的功能
- 3-基于modeFRONTIER的性能优化设计流程及应用

# 1-整合多目标优化算法和性能模拟的方法

- 1-1 参数化设计平台Rhino/Grasshopper
- 1-2 数学软件Matlab和性能模拟软件的跨平台交互
- 1-3 基于多目标优化软件modeFRONTIER整合Grasshopper性能模拟

# 1-1 参数化设计平台——Rhino/Grasshopper

## ■ 基于Grasshopper的性能优化设计



性能模拟插件:

气候分析与可视化插件: Ladybug

能耗和光性能模拟插件: Honeybee  
 模拟引擎: OpenStuido、EnergyPlus、Radiance、Daysim

风环境模拟插件: Butterfly

优化插件:

多目标优化插件: Octopus  
 算法: SPEA2

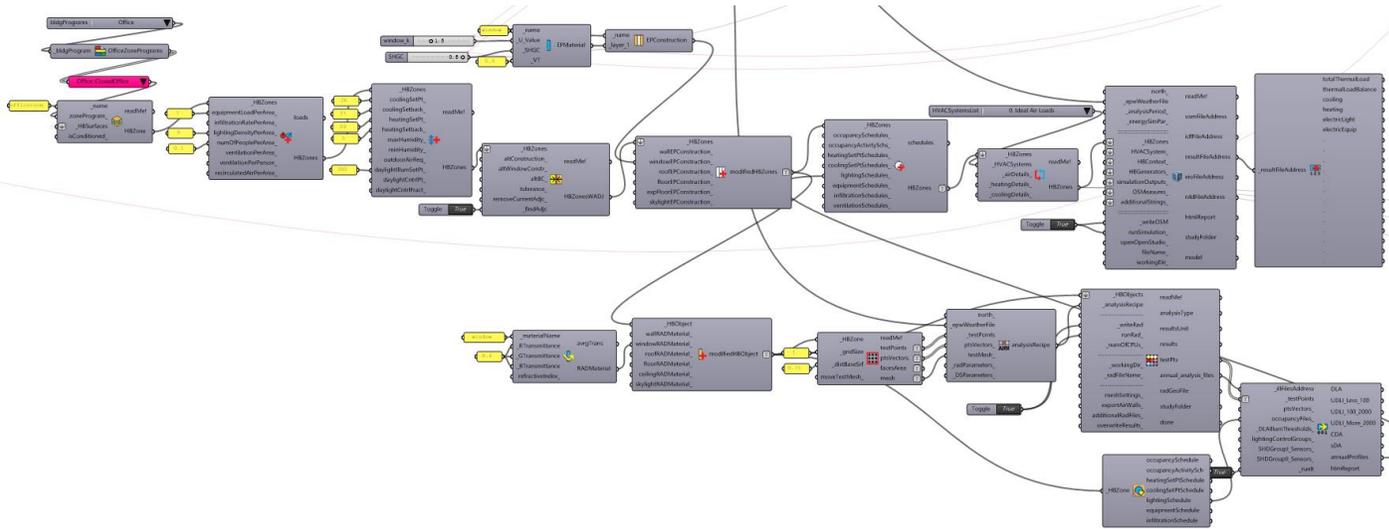
单目标优化插件: Galapagos  
 算法: 退火算法

可视化平台: Design Explorer  
 算法: 穷尽搜索法

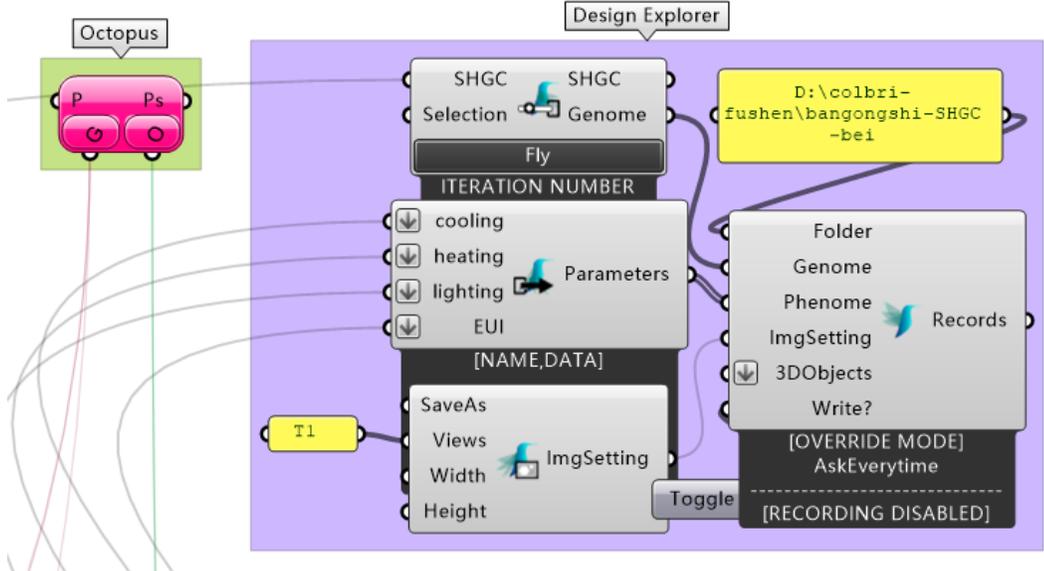
# 1-1参数化设计平台——Rhino/Grasshopper

## ■优势

同平台整合性能模拟和多目标优化，操作简便



能耗和光性能模拟电池组示意图



Octopus和Design Explorer多目标优化电池组

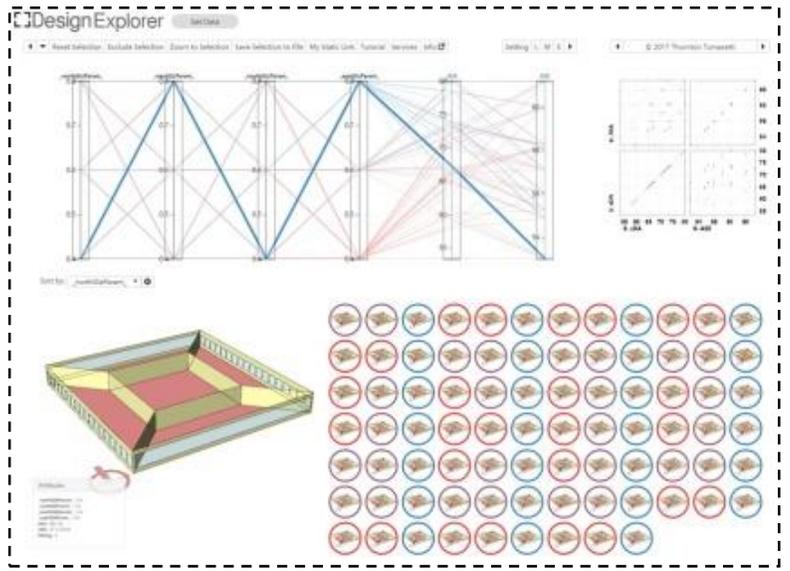
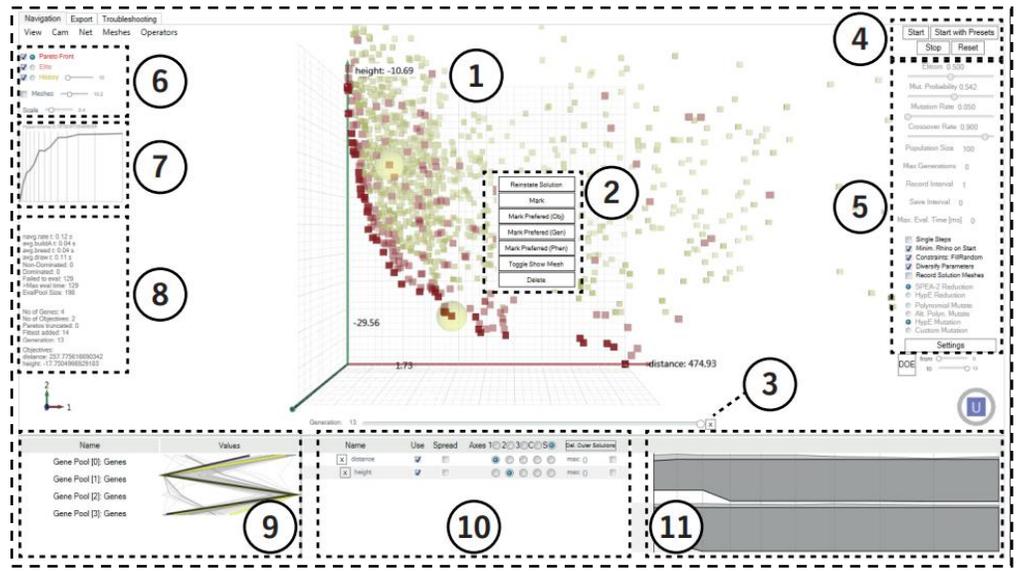
# 1-1参数化设计平台——Rhino/Grasshopper

## ■劣势

优化算法选择有限,缺少对优化解集的统计分析功能, 最优解需人工选择

名称 Octopus  
 算法 SPEA2  
 可视化 散点图  
 界面

DesignExplorer  
 穷尽搜索  
 平行坐标图



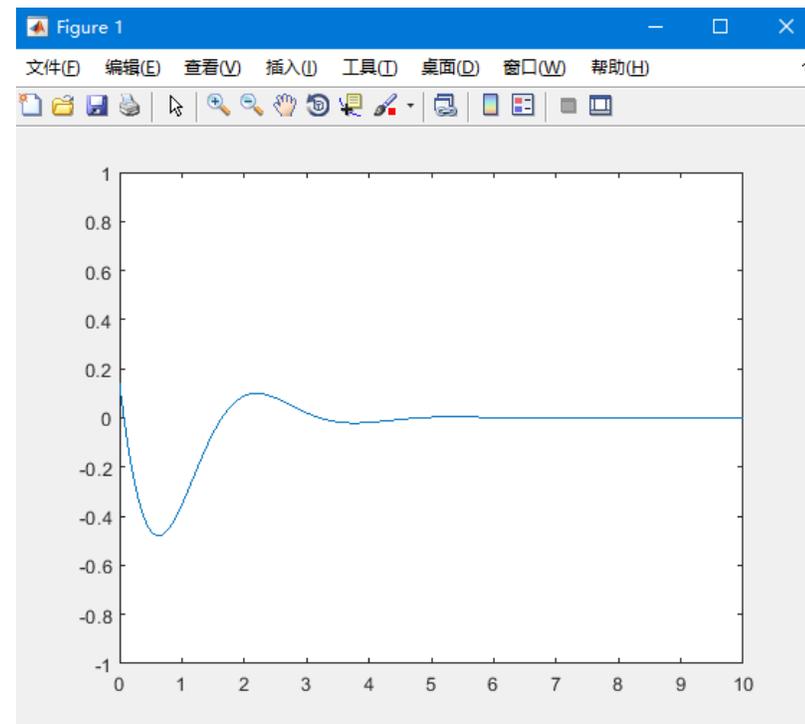
## 1-2数学软件Matlab和性能模拟软件的交互

### ■优势——各平台的功能特征

数学软件： 算法种类繁多并具备算法开发功能、数据可视化、数据分析



Matlab和性能模拟软件的交互



Matlab的可视化图表

# 1-2数学软件Matlab和性能模拟软件的交互

## ■ 劣势

数学软件Matlab需要掌握编程语言；  
跨平台交互需要接口jEPlus,只能与单个模拟软件交互；

```

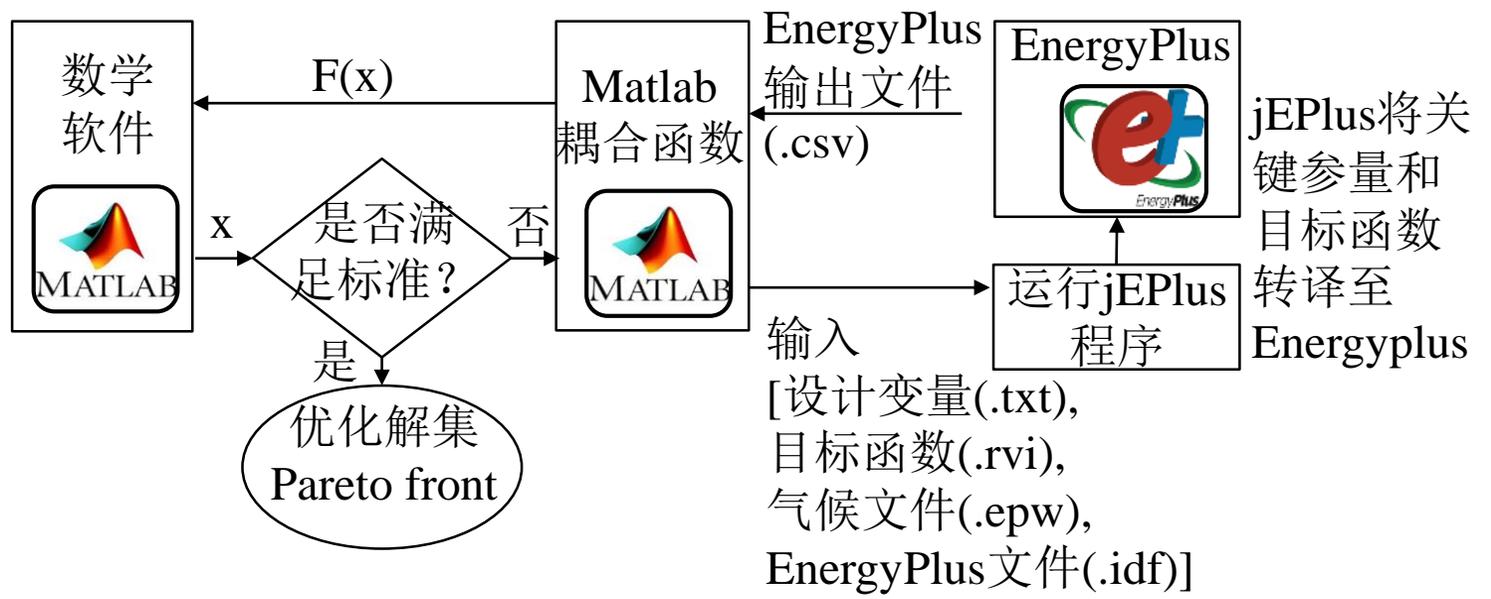
命令窗口
不熟悉 MATLAB? 请参阅有关快速入门的资源。

Trial License -- for use to evaluate programs for possible purchase as an end-user only.

Trial>> edit newfile.m
Trial>> mkdir progs % create directory progs under default directory
chdir progs % changing the current directory to progs
edit prog1.m % creating an m file named prog1.m
Trial>> edit prog1.m
Trial>> prog1
        6170

fx Trial>>
    
```

Matlab的编程界面

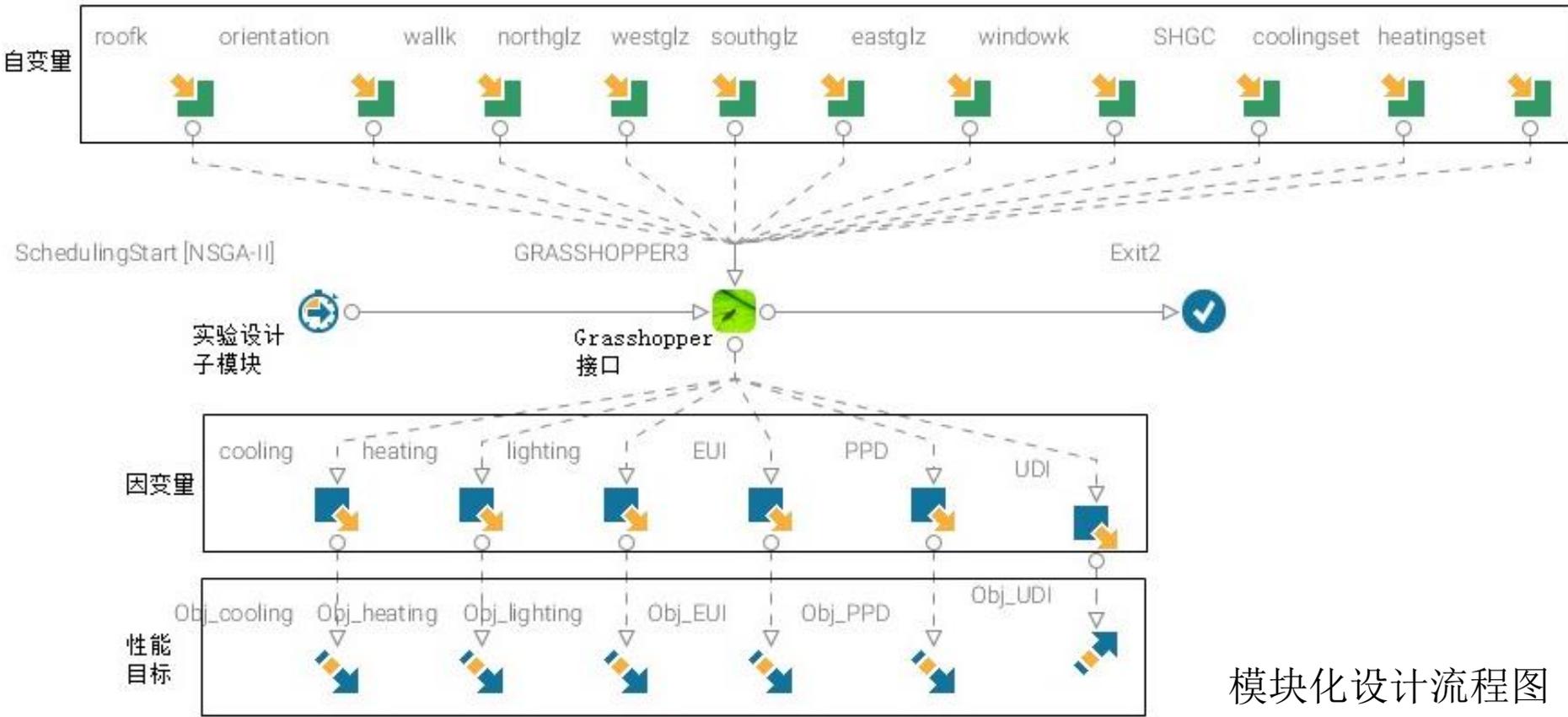


Matlab和能耗模拟软件的交互流程

图片来源: N. Delgarm

# 1-3基于多目标优化软件modeFRONTIER整合参数化性能模拟

## ■优势——模块化编程技术



模块化设计流程图

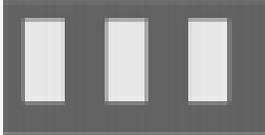
# 1-3 基于多目标优化软件modeFRONTIER整合参数化性能模拟

■ 优势——多维度变量无需做归一化处理

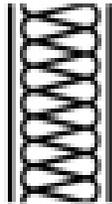
建筑形态



层高/长宽比



窗墙比



围护结构传热系数

.....

主动设备



制冷温度



采暖温度



照明功率密度

使用方式



人员在室率/密度



设备功率密度

# 1-3基于多目标优化软件modeFRONTIER整合参数化性能模拟

■优势——多种优化算法

优化算法种类(四大类):

进化算法

启发式算法

多策略算法

基于梯度的优化算法

共20种算法可供选择

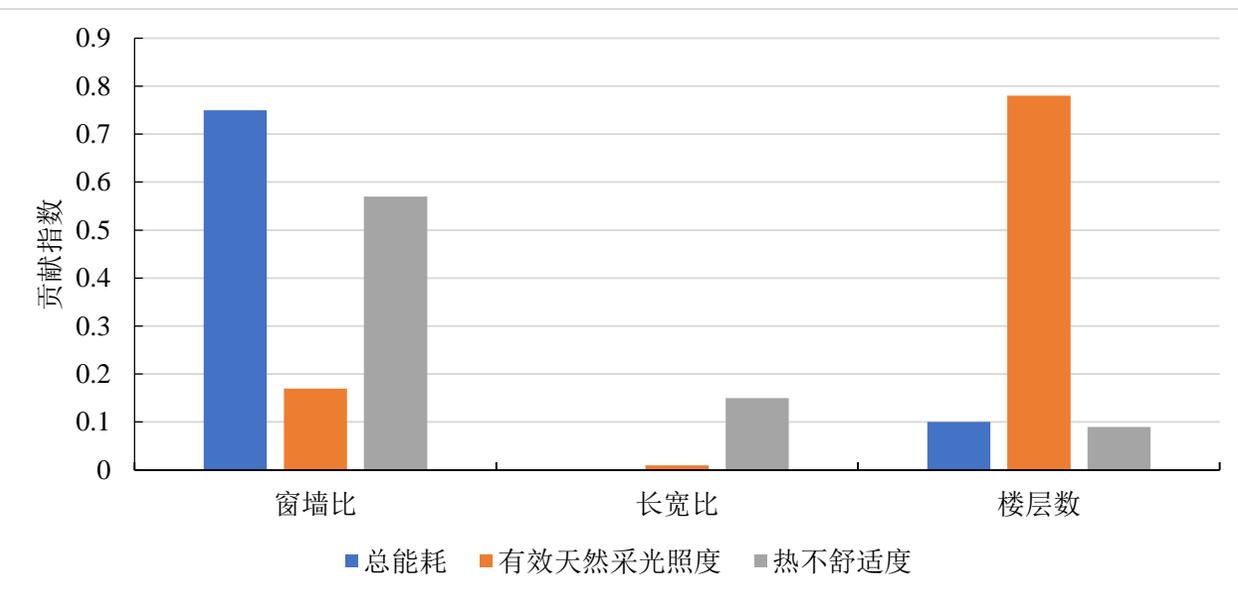


优化算法的界面

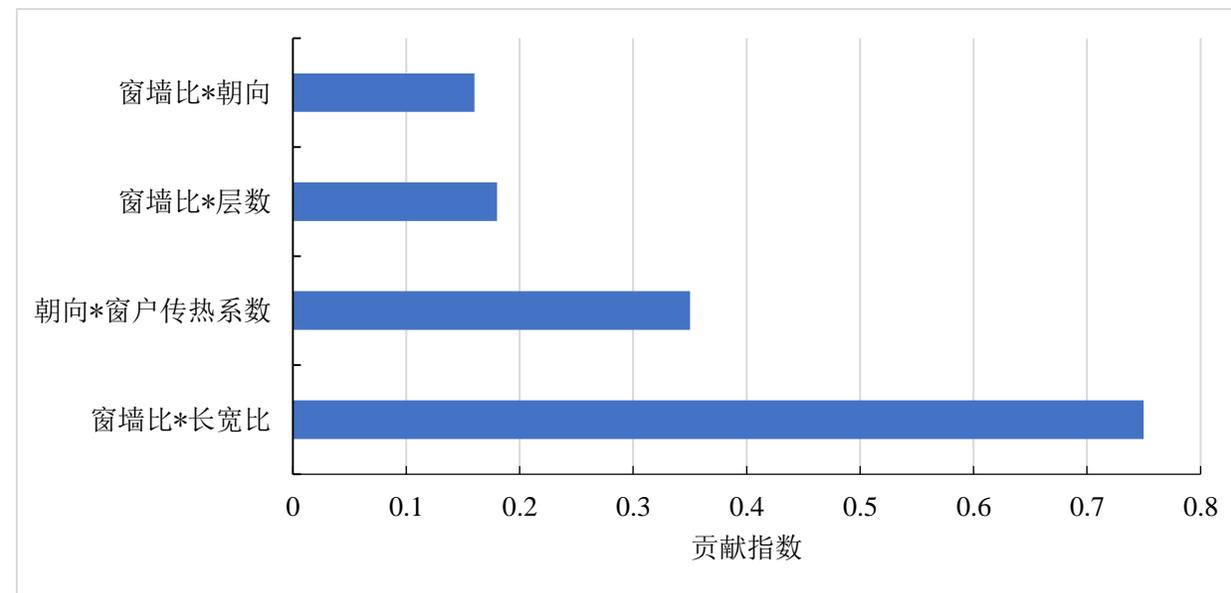
# 1-3基于多目标优化软件modeFRONTIER整合参数化性能模拟

## ■优势

数据后处理功能：聚类分析、相关性分析、敏感度分析



局部敏感度分析



全局敏感度分析

## 1-3基于多目标优化软件modeFRONTIER整合参数化性能模拟

### ■劣势

商用软件，建筑业界普及性较差；

## 2-基于modeFRONTIER的性能优化设计平台的功能

- 2-1 试验设计
- 2-2 性能模拟
- 2-3 多目标优化
- 2-4 数据后处理

## 2-基于modeFRONTIER的性能优化设计平台的功能

### 2-1功能——试验设计

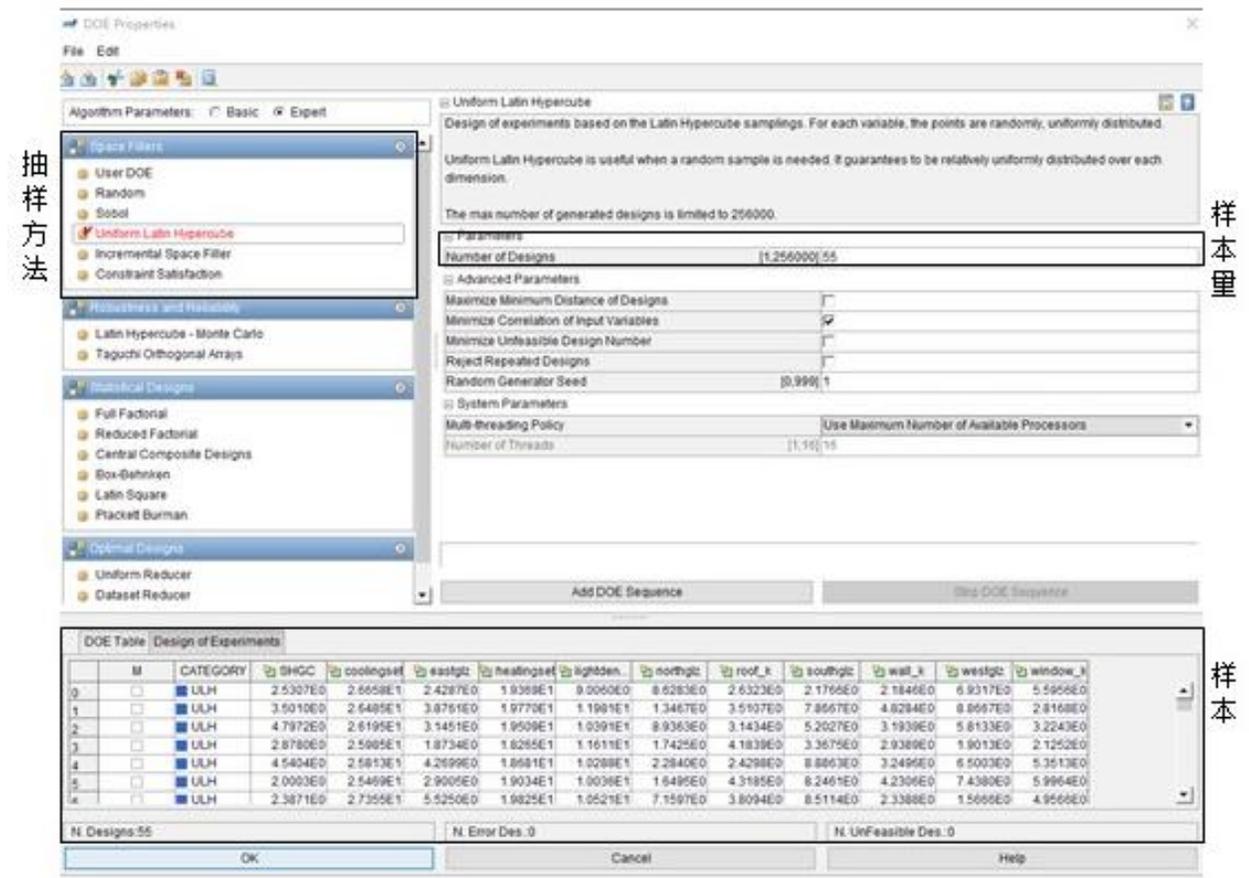
抽样方法：拉丁超立法抽样

随机抽样

Sobol抽样

.....

样本量：设计变量数目的5-10倍



试验设计的界面

# 2-基于modeFRONTIER性能优化设计平台的功能

## 2-2功能——性能模拟

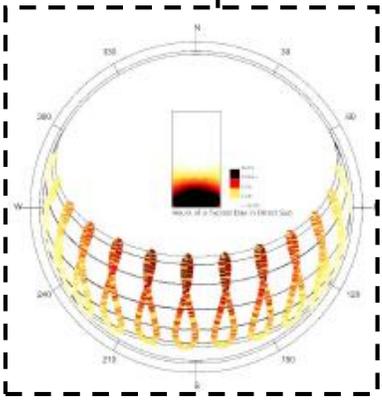


Ladybug



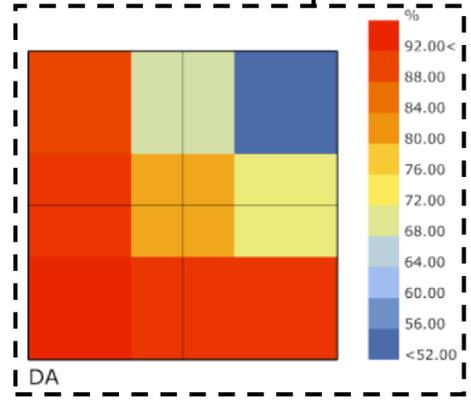
Honeybee

气候分析与可视化



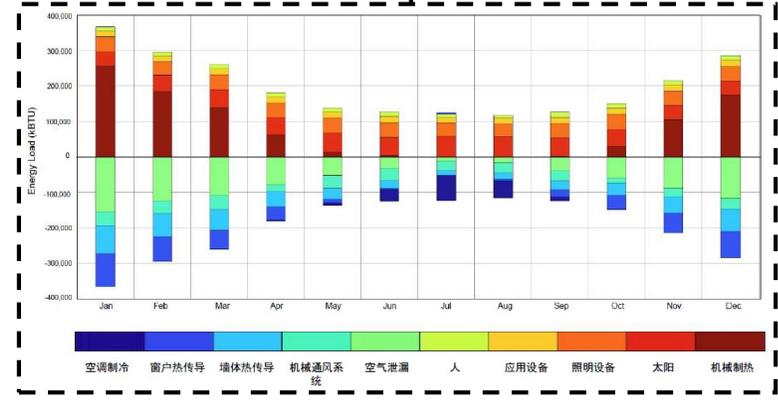
日照轨迹图

天然采光模拟



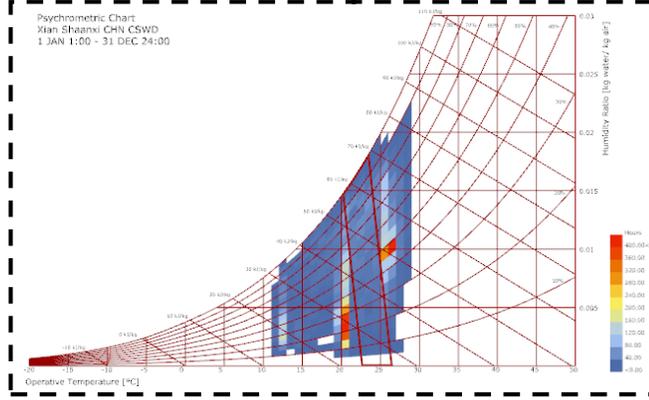
有效天然采光照度平面分布图

能耗模拟



能量平衡图

舒适度模拟



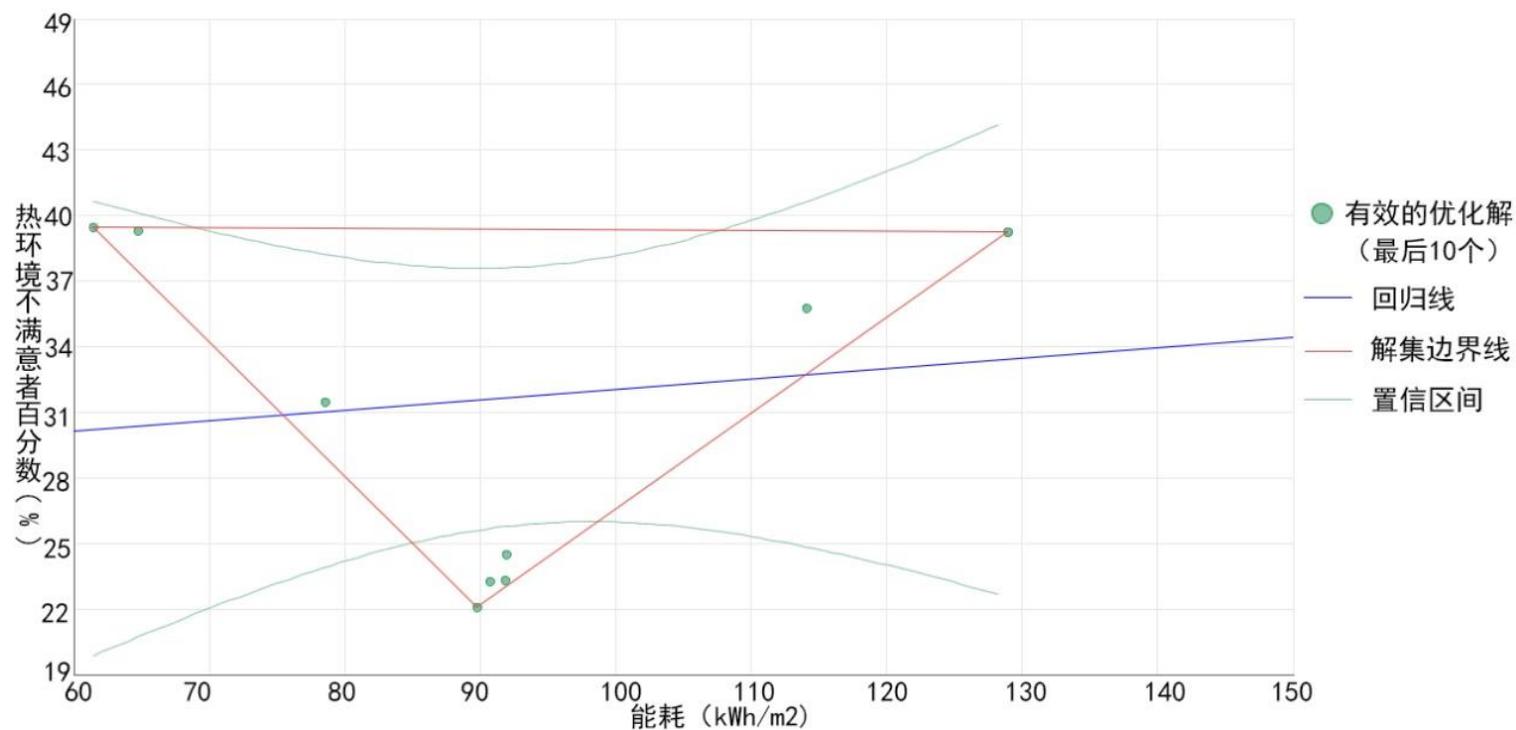
热舒适度

## 2-基于modeFRONTIER的性能优化平台的功能

### 2-3功能——优化

设计列表							
392	393	394	395	396	397	398	399
400	401	402	403	404	405	406	407
408	409	410	411	412	413	414	415
416	417	418	419	420	421	422	423
424	425	426	427	428	429	430	431
432	433	434	435	436	437	438	439
440	441	442	443	444	445	446	447

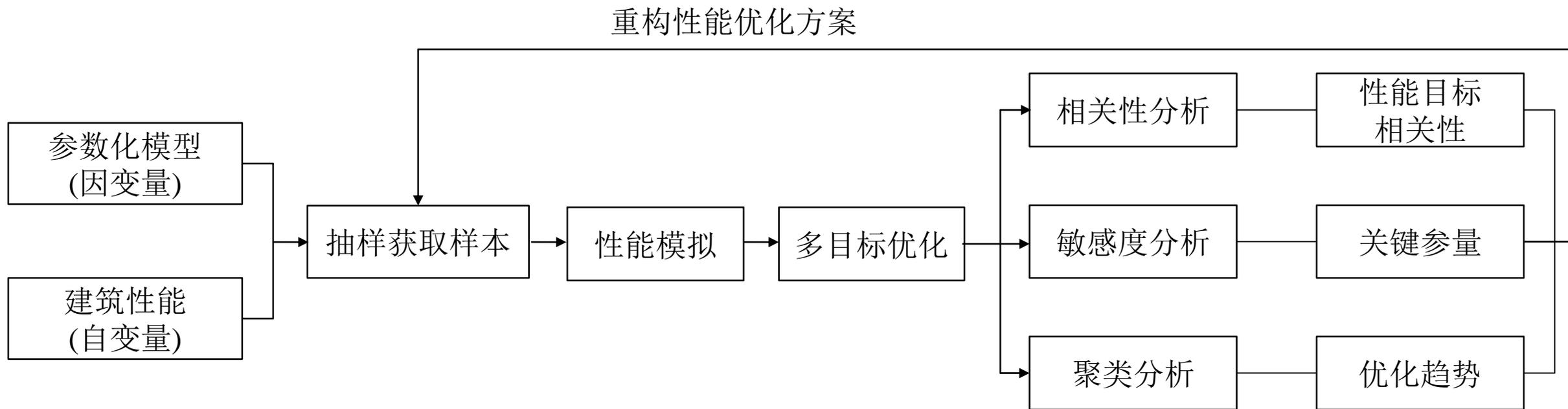
优化解的记录



最后十个最优解保持良好的多样性

## 2-基于modeFRONTIER的性能优化设计平台的功能

### ■2-4功能——数据后处理

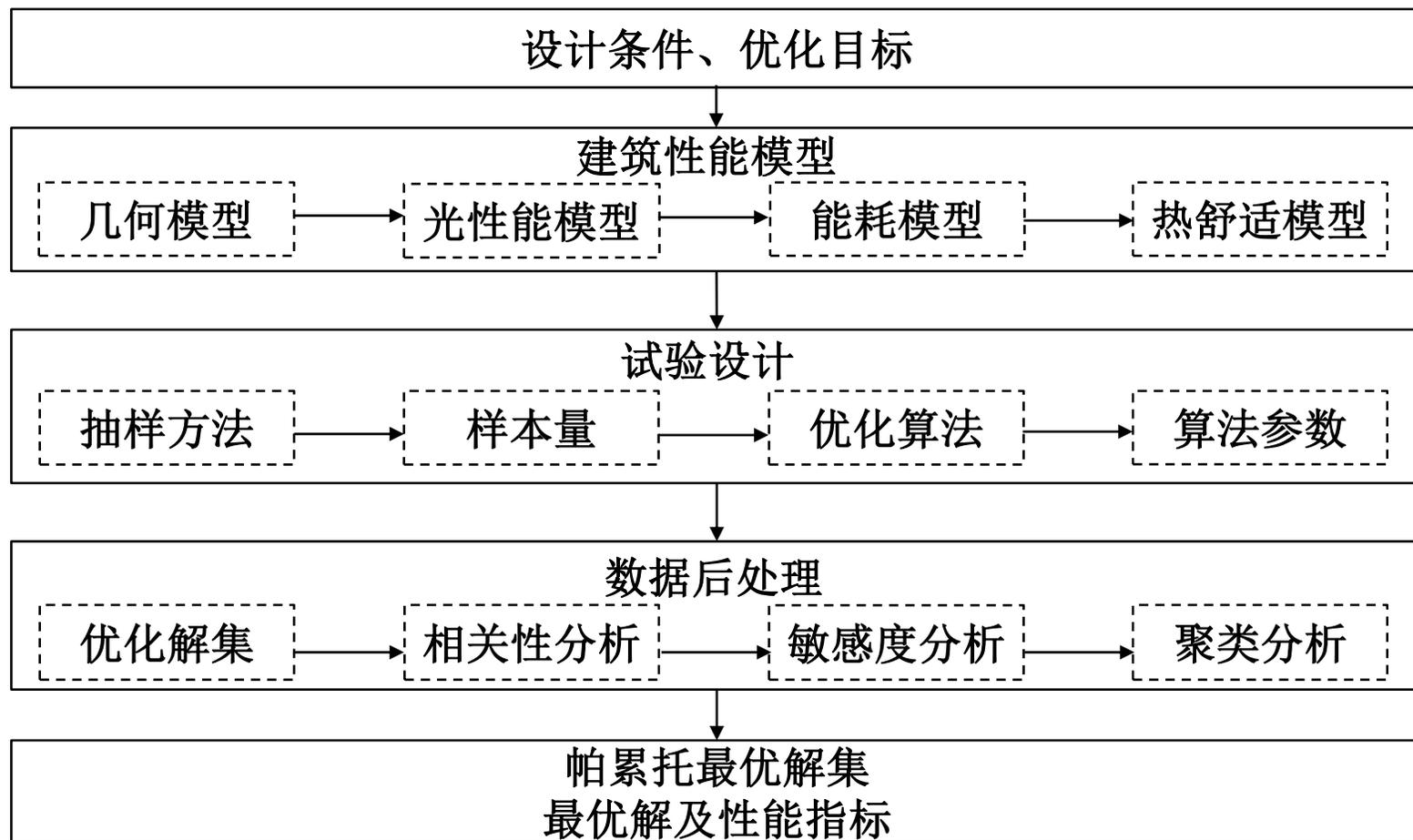


## 3-基于modeFRONTIER的性能优化设计流程及应用

- 3-1 性能优化设计流程
- 3-2 优化算法对比
- 3-3 优化过程对比
- 3-4 应用

### 3-基于modeFRONTIER的性能优化设计流程及应用

■ 3-1 设计流程：参数化设计、模拟及评价、优化、数据分析



### 3-基于modeFRONTIER的性能优化设计流程及应用

#### 3-2 piLOPT算法和NSGA-2算法的对比

	piLOPT算法	NSGA-2算法
算法特征	多目标自适应算法，具有局部搜索和全局搜索的优势	快速非支配排序的遗传算法
优势	优化解质量较优	时间成本低（41h,节约时间33%）
劣势	modeFRONTIER独有的算法，耗时较长（61h）	优化解质量一般，无piLOPT优

#### 3-3 一步式优化、多步式优化、聚类优化等优化过程

一步式优化是将所有设计变量一起优化，适用于变量数目适中、计算时长较短；

多步式优化是按照建筑师偏好、先被动后主动或先形态后表皮等分步式优化，适用于建筑规模较大、变量数目众多；

聚类优化根据优化解的聚类特征，选择某一聚类做再优化，适用于建筑师有明确的优化目标。

优化效率：一步式优化 > 多步式 > 聚类优化

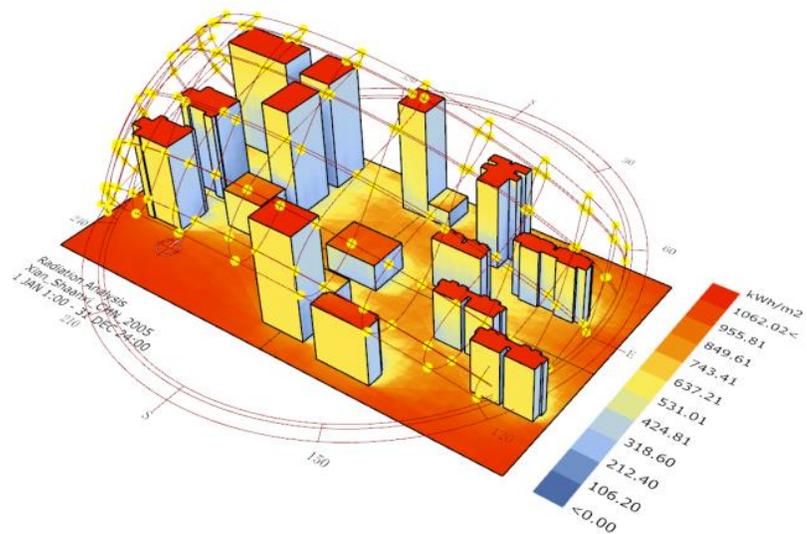
### 3-基于modeFRONTIER的性能优化设计流程及应用

#### ■ 3-4应用

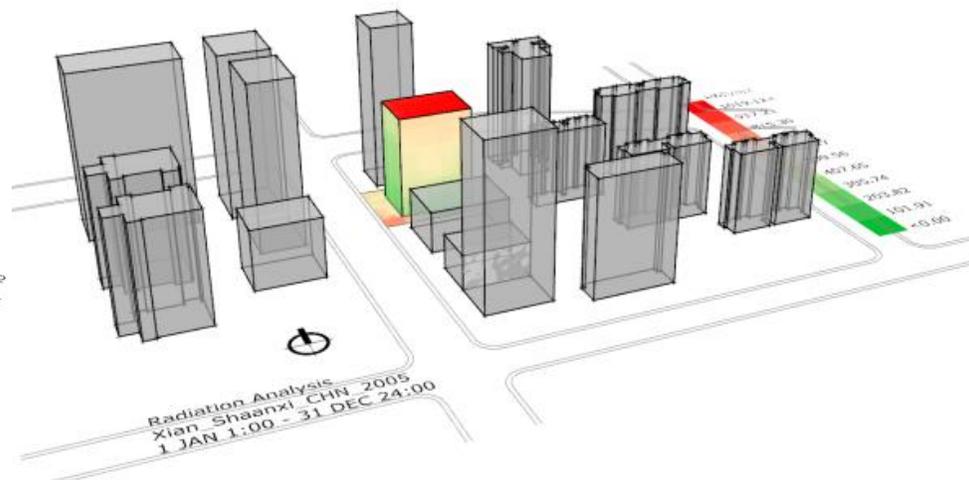
案例:西安市某办公建筑

优化目标: 有效天然采光照度  
 能耗  
 热舒适满意度

设计变量: 层高  
 面积  
 层数  
 窗墙比  
 长宽比  
 .....



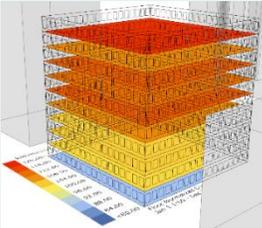
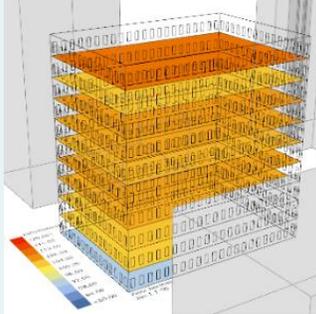
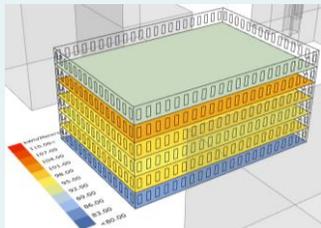
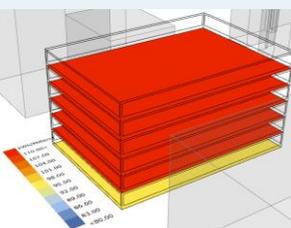
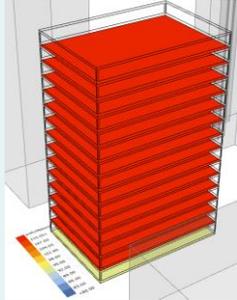
场地辐射强度分析图



太阳辐射增益量最大的建筑形态  
 (用优化算法寻优)

### 3-基于modeFRONTIER的性能优化流程及应用

#### ■ 优化解

	基准方案	综合性能最优解	能耗非支配特征解	PPD非支配特征解	UDI非支配特征解
形态最优方案					
建筑性能	EUI=119kWh/m <sup>2</sup> PPD=35.8% UDI=33.9%	<b>EUI=108kWh/m<sup>2</sup></b> <b>PPD=36.4%</b> <b>UDI=64.5%</b>	EUI=90kWh/m <sup>2</sup> PPD=35.5% UDI=30.6%	EUI=101kWh/m <sup>2</sup> PPD=35.3% UDI=59.3%	EUI=121kWh/m <sup>2</sup> PPD=37.3% UDI=69.8%

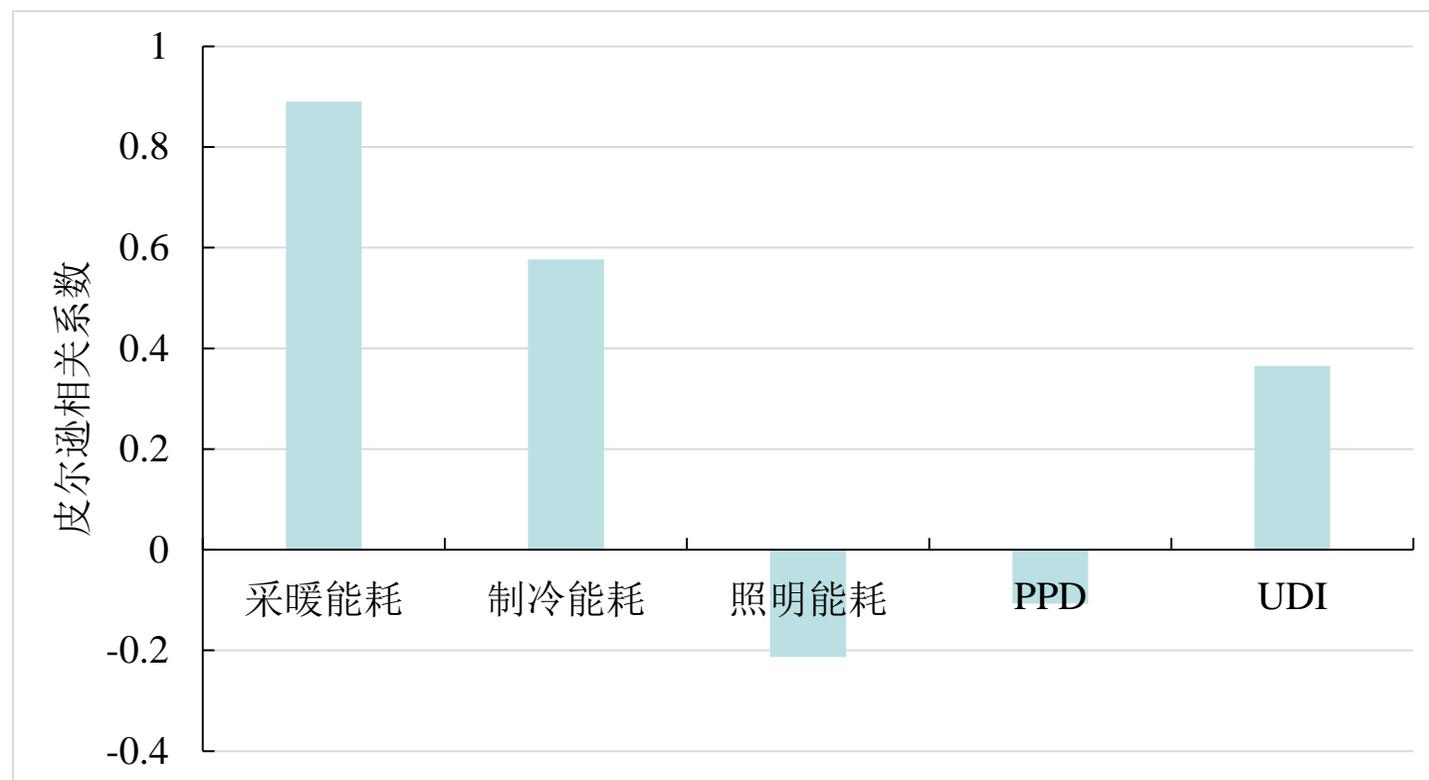
与基准模型相比，综合性能最优解达到了各项性能的同时提升。

### 3-基于modeFRONTIER的性能优化设计流程

#### ■ 优化解集分析——相关性分析

建筑总能耗与不满意者百分数呈负相关，  
建筑总能耗与有效天然采光照度呈正相关；

寒冷地区的建筑总能耗：  
采暖能耗占比最大，  
制冷能耗占比次之，  
最后是照明能耗。



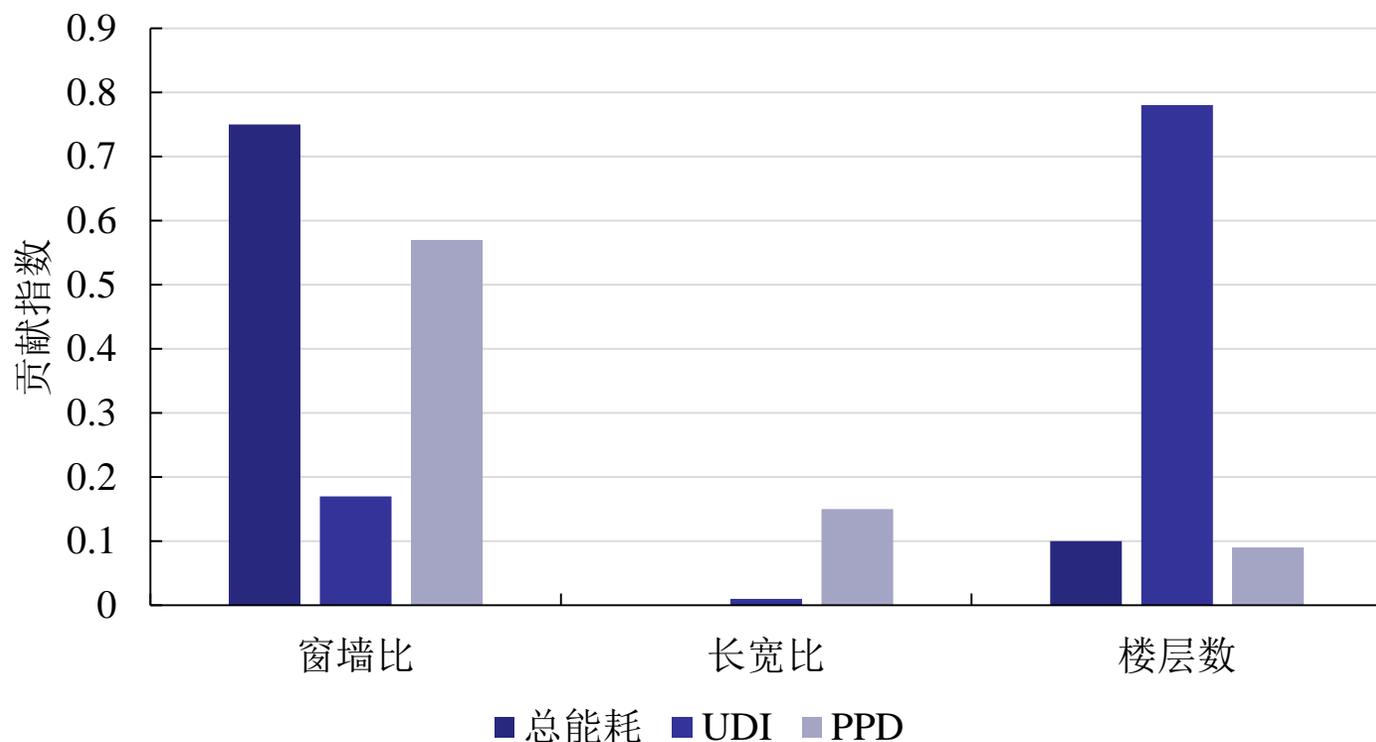
### 3-基于mode FRONTIER的性能优化设计流程

#### ■ 优化解集分析——局部敏感度分析

建筑单体形态要素敏感度分析结果:

影响建筑能耗的关键参量是窗墙比  
(贡献指数是0.75)。

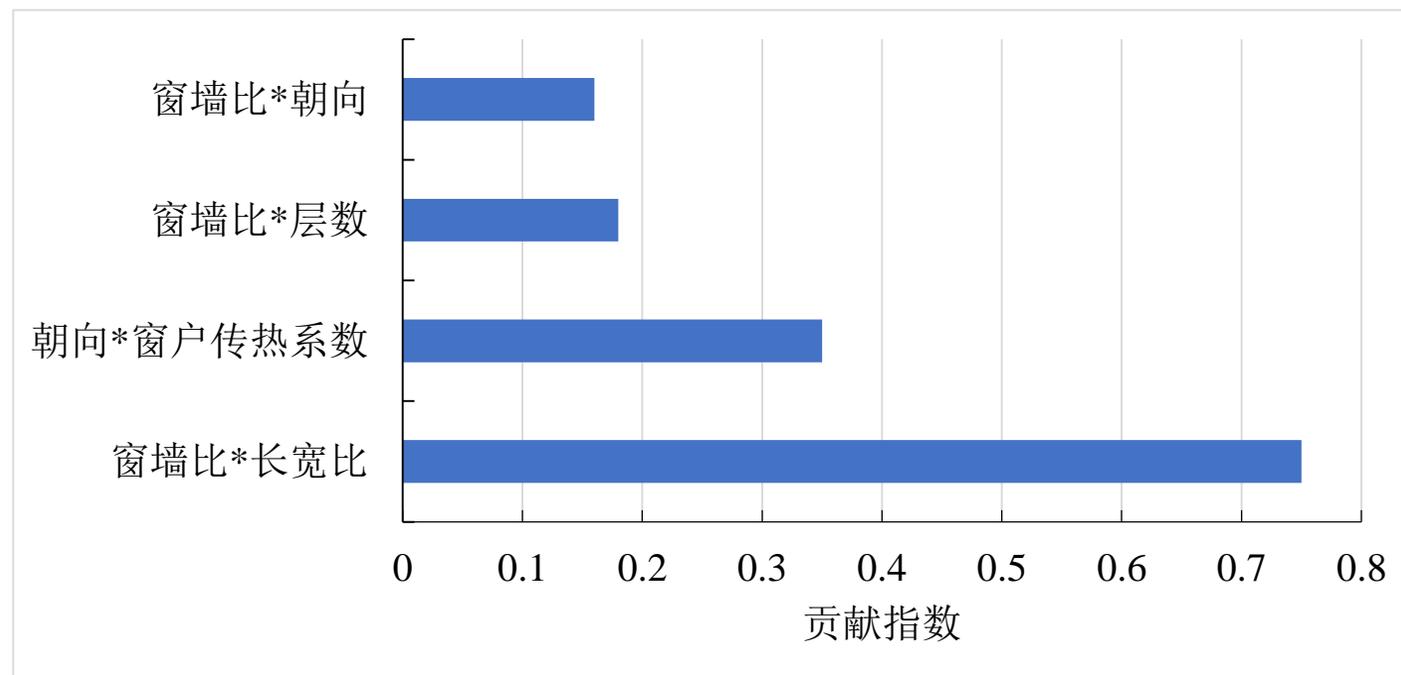
影响建筑热环境不满意者百分数(PPD)的关键参量是窗墙比(贡献指数是0.57)和长宽比(贡献指数是0.15)。



### 3-基于mode FRONTIER的性能优化设计流程

#### ■3-4优化解集分析——全局敏感度分析

影响建筑能耗的主要交互要素是窗墙比和长宽比（贡献指数达0.75），其次是朝向和传热系数，最后是窗墙比和层数、窗墙比和朝向



感谢您的聆听！