硕士学位论文

（专业学位）

陆家嘴核心区现状与更新方案室外热环境比较研究

姓　　名：

学　　号：

所在院系：

学科门类：

学科 专业：

指导教师：

副指导教师：

二〇一九年五月

Comparative Study on the Current Situation and Renewal Scheme of Outdoor Thermal Comfort

—— A case in the Core Area of Lujiazui

Candidate:

Student Number:

School:

Discipline:

Major:

Supervisor:

May, 2019

摘要

中国改革开放以来的新城建设规模宏大，发展迅速，但也存在活力不足，人性化程度不够等问题，面临着空间环境品质提升与更新的需要。热环境和热舒适性是影响空间环境品质的重要因素，是本研究关注的重点。

上海陆家嘴地区作为新城建设的标志性案例，也存在上述问题，是一个典型的研究对象。本文以 XX 大学近几年在陆家嘴地区开展的城市更新的阶段性成果为基础，采用实地测量和软件模拟的手段，分析比较城市现状与更新方案的公共空间热环境品质的变化。在对两者的热环境品质做出总体评价的同时，对步行空间、典型地块等关键要素和节点进行深入评价和比较，探讨传统城市设计方法在新城更新中对公共空间热环境的影响，为新城更新城市设计方案的评估和预测提供一个有益的视角和一套分析的方法。

本研究主要有以下发现，第一，以增加低层高密度建筑为主要手段的新城更新方案与现状相比，总体热环境没有大的变化，但是对街道步行空间等局部热环境品质的提升有积极影响；第二，以组团形式组织低层高密度街区，比仅仅增加单排沿街建筑更有利于改善步行系统的热环境，且街区内部步行系统的热环境要优于沿街部分，南北向步行空间的热环境要优于东西向步行空间；第三，大规模的集中绿地对于自身和周边热环境品质的提升都有积极的意义。

关键词：新城更新，陆家嘴，城市微环境，热环境品质，软件模拟

ABSTRACT

The rapid urban development in China over the past three or four decades are unprecedented. Increasing number of new towns and new districts often show homogeneous urban landscapes that tend to be out of scale, which resulted in impacts to the environmental quality and human comfort. New policies and strategies of urban redevelopment are needed for addressing the above issues.

Urban outdoor thermal environment plays an important role in defining urban quality of life. Changes in urban form lead to changes in urban micro-climate environment. What urban form would perform better to provide a climate sensitive outdoor environment? An urban design experiment was conducted for redeveloping Shanghai's Lujiazui, a typical urban development of new district in China. This paper benchmarks existing Lujiazui urban form with alternative design scenarios by measuring urban form and their relation to urban climate effects using an outdoor thermal comfort measure Physiological Equivalent Temperature (PET).

The results provide findings that the thermal comfort of Lujiazui's walking environment can be improved by keeping the concentrated green space and increasing the low-rise-high-density buildings. It is more obvious to improve the thermal comfort of walking system by adding low-rise-high-density buildings in the form of group than only adding a single row. This paper provides an effective analysis framework for urban micro-climate environment research with data measurement and software simulation.

Key Words: urban renewal； urban micro-environment；outdoor thermal comfort；modeling simulation；comparative study

目录

第 1 章 绪论……7
1.1 研究背景……7
1.1.1 新城更新……7
1.1.2 城市热环境研究……9
1.2 文献综述……9
1.2.1 新城更新的理念与策略……9
1.2.2 人体热舒适评价的技术方法与标准……10
1.2.3 城市街区热气候与热舒适性评价研究……11
1.2.4 总结……12
1.3 研究目的和意义……12
1.3.1 研究目的……12
1.3.2 研究意义……12
1.4 研究对象、范围及尺度……13
1.4.2 确定研究对象及范围……13
1.4.1 界定城市微气候模拟的尺度……15

第 2 章 研究方法设计及工具准备……16
2.1 热舒适性评价指标……16
2.1.1 经验性热舒适评价指标……16
2.1.2 机理性热舒适评价指标……16
2.1.3 本研究选定的评价指标……19
2.2 研究工具……20
2.2.1 微气候数据实测工具 Kestre……21
2.2.2 微气候模拟工具 Envi-met……21
2.2.3 数据对比工具 ArcGIS……25
2.2.4 数据分析工具 SPSS……26
2.3 研究方法……27
2.3.1 研究方法……27
2.3.2 研究内容……29
2.4 可行性分析……29

第 3 章 数据实测与气候参数校准……30
3.1 测量位置及时间安排……31
3.2 实测结果汇总及矫正……33

第 4 章 现状及更新方案模拟……39
4.1 模拟准备……39
4.1.1 模拟范围……39
4.1.2 模拟方案……41
4.1.3 模拟时间……42
4.1.4 模拟条件设置……42
4.2 建模统计……44

第 5 章 模拟结果对比分析……46
5.1.数据转化与可视化……46
5.2 模拟结果总体对比分析……47
5.2.1 基于时间维度的总体分析……48
5.2.2 基于空间维度的总体分析……52
5.3 基于空间元素的对比分析……54
5.3.1 车行系统……55
5.3.2 步行系统……57
5.3.3 重点地块……59
5.3 热环境与天空开阔度关系的探究……64

第 6 章 结论、反思与展望……68
6.1 结论……68
6.1.1 研究结果……68
6.1.2 研究方法……69
6.2 反思与展望……69

参考文献……71
附录 A……73
附录 B……77
附录 C……81

第 1 章　绪论

1.1 研究背景

1.1.1 新城更新

大规模、快速的新城建设是过去三四十年中国城市发展的典型现象。有关数据表明，2010 年中国的城市化率为 47%左右[1]，2050 年将达到 60%以上。未来城市化率年平均将提高 1.0-1.2 个百分点[2]，这表明中国已经进入历史上空前的城市化快速发展阶段。新城建设极大地推动了城市化的进程，但存在很多问题，比如建筑物尺度宏大，过于注重形式和构图；建筑密度过低，没有明确定义的街道和广场，步行环境品质低下；功能单一，混合性不够，对日常生活关注不够等问题，图 1.1 所示就是其中典型问题的场景。这些都是中国城市化进入一个新的阶段以后不得不予以关注的地方。

从城市设计的角度而言，新城往往存在步行体验较差，安全性不够，功能支撑薄弱等问题，尤其是公共空间的品质不高，活力不足，不满足人们对人性化城市的追求。 以上海陆家嘴地区为例，这一地区的新城建设在经济上和形象上是非常成功的，但在这些成功背后同样存在着上述问题。

这些问题也引起了国内外很多学者的关注，从不同的方面展开了研究。其中，XX 大学 XXX 教授团队近几年在上海陆家嘴地区进行了城市更新的设计研究，基于城市设计的经典理论和策略，聚焦于城市公共空间与街道的界面，尺度和数量，偏重于人行尺度的行为与感受，提出了一系列的更新方案，对其他地区的新城更新也有很好的借鉴意义。

[1] 中国统计局：中国城市化率历年统计数据
https://wenku.baidu.com/view/a831d76c814d2b160b4e767f5acfa1c7aa00821c.html
[2] 王碧峰. 城市化问题讨论综述[J]. 经济理论与经济管理, 2001, 3: 74-79.

图 2.8 AcrGIS 可视化界面

2.2.4 数据分析工具 SPSS

SPSS（Statistical Product and Service Solution）是世界上最早采用图形菜单驱动界面的统计软件，主要用于数据的录入、整理、图表统计分析等地方。该软件分析出来的结果快捷、清晰而且直观，被广泛地应用于很多科学研究的领域。本研究主要是想利用 SPSS 探究热舒适数据与空间形态数据的相关性，以便做更加定量的分析，界面如图 2.9 所示。

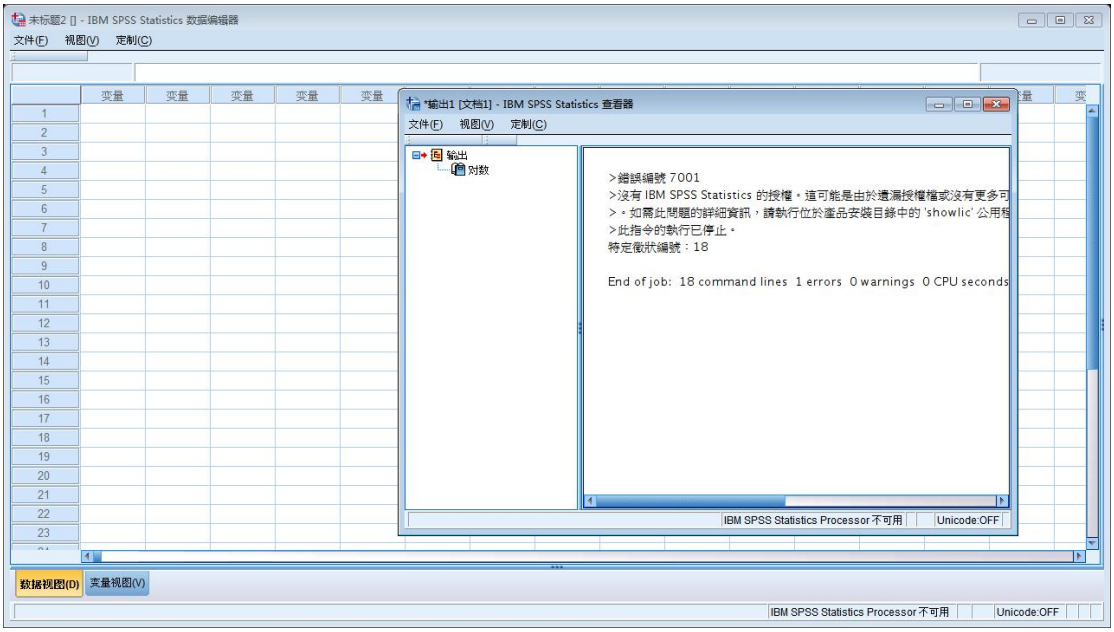


图 2.9 SPSS 界面

2.3 研究方法

2.3.1 研究方法

整体的研究流程从确定研究什么，为什么研究开始，通过大量的文献整理，明确研究的背景、目的和意义，确定研究的对象及范围。然后明确用什么方法和工具来研究，接着进行数据实测、开展现状与更新方案的软件模拟。最重要的部分是对于模拟结果的对比分析，通过将模拟结果的数据导入 ArcGIS 平台，进行不同维度的对比分析，最后提出结论和展望。

详细流程如图 2.10 所示。

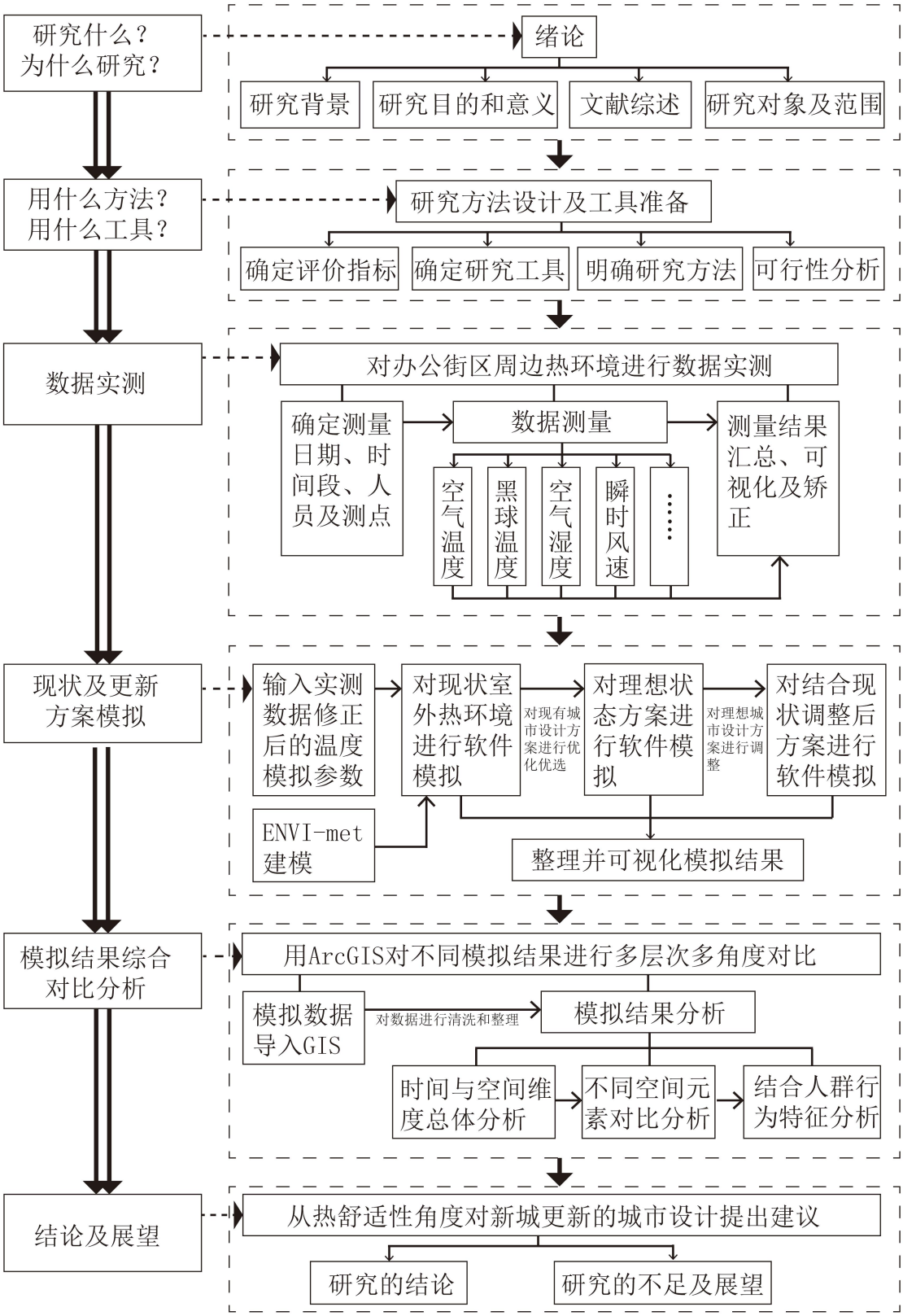


图 2.10 研究框架流程图

2.3.2 研究内容

论文前期内容主要包括阅读与整理文献、梳理论文的结构框架、实测气候数据；中期包括确定模拟参数，模拟多方案模型；后期包括数据整理、比较分析以及结论总结。整体研究方法的框架如下：

第一章——绪论：主要介绍研究的背景、研究的目的与意义、进行相关中英文文献的广泛阅读和归纳整理、确定研究的对象、内容和尺度；

第二章——研究方法设计及工具准备：确定热舒适性的评价指标，确定研究工具，确定研究方法及流程，进行可行性分析；

第三章——数据实测与气候参数校准：确定实测的器材、位置、时间安排等，进行实测，整理实测数据，矫正输入模拟软件的初始气候参数；

第四章——现状及更新方案模拟：确定现状及两种设计方案的空间状态，对现状进行建模和模拟，对现状及设计方案进行初步可视化；

第五章——模拟结果对比研究：将模拟结果进行多层次多角度对比分析，结合不同空间形态特征和重点街区进行专项研究；

第六章——结论、反思与展望：通过分析结果，从城市热环境的角度对新城更新中的城市设计策略提出建议和参考，同时总结出一套定量研究的方法。

2.4 可行性分析

1、XX 大学-XXXXXXX 学院某城市设计实验室自成立以来，进行了很多关于城市微环境以及热舒适性的研究，能够提供专业的测量和模拟设备。

2、研究使用美国原装进口的 Kestrel 手持气象站，可以同时精确测量黑球温度、湿度、风速等热环境数据，精确度高。

3、研究使用国际通用的城市微环境模拟软件 Envi-met 进行模拟，准确度、可信度较高。

4、研究使用 ArcGIS 和 SPSS 对模拟结果进行对比分析，可以发现人眼无法觉察的不同范围、不同层次的差异，进行精确的定量比较。

5、有详细的城市更新设计方案作为原型，使得模拟方案更加真实完善。现有的设计成果为热环境研究提供了成熟的素材，同时，热舒适的研究反过来也可以验证传统城市设计方案的可行性。

第 3 章 数据实测与气候参数校准

微气候的研究离不开对整体气候特点的把握。根据上海的气候数据可知，上海是典型的亚热带海洋性季风气候，特征是：四季分明，春秋较短，冬夏较长，但季节的时间分配还算均匀，同时日照充分，雨量适中，气候温和。具体的降雨量、温度等数据的全年分布概况，如图 3.1 所示[29]。

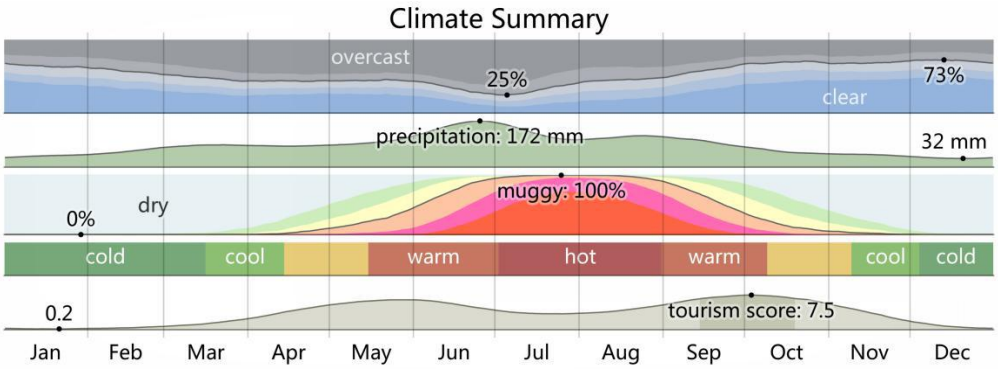


图 3.1 上海气候综合数据评估

由图 3.1 可知，上海 7、8 两月气温最高。这些年上海的夏天越来越热，存在明显的热岛效应，陆家嘴地区也属于热岛效应明显的地区[30]，如图 3.2 所示。

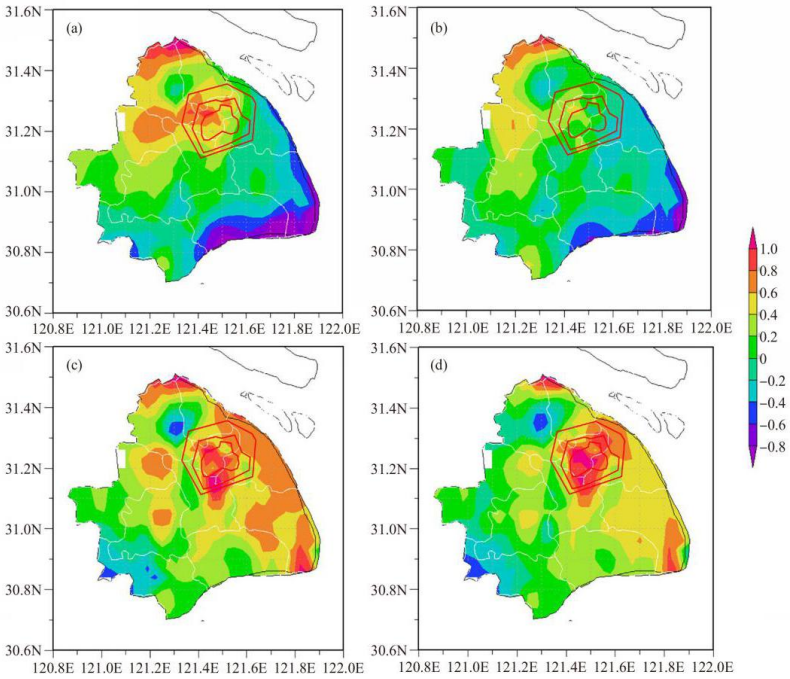


图 3.2 上海市四季热岛效应空间分布图（依次为春夏秋冬）

[29] https://weatherspark.com/y/137446/Average-Weather-in-Shanghai-China-Year-Round
[30] 徐伟, 杨涵洧, 张仕鹏, 等. 上海城市热岛的变化特征[J]. 热带气象学报, 2018, 34(2): 228-238.

城市热岛效应的加剧导致极端气候的出现频率上升，同时降低了室外热舒适性，也扰乱了室外行为的活动规律，是局部热环境研究中必须考虑的因素。所以在温度参数设定的时候，需要根据实测进行校正，以符合陆家嘴核心区因为热岛效应造成的温度升高。同时，由于近地面温度与气候温度有一定的差异，所以从气象站获得的气候数据也并不能准确反映该地区的实际情况，需要通过实测数据进行校正。

3.1 测量位置及时间安排

实测采用三部器材流动测量。为保证测量数据尽可能准确，每个器材每次测量的时间差为十分钟。考虑到模拟区域内下垫面性质的不同，在研究区域内选取 9 个不同属性下垫面的“监测点”。测点分布于模拟范围的中部，且位于设计方案的室外空间，便于对结果进行对比分析。测点分别标注了实际的地理经纬度坐标和模型上的 X、Y 坐标，便于在 ArcGIS 中进行精确比对，具体坐标如表 3.1 所示，分布如图 3.3 所示，测点及周边环境如图 3.4 所示。

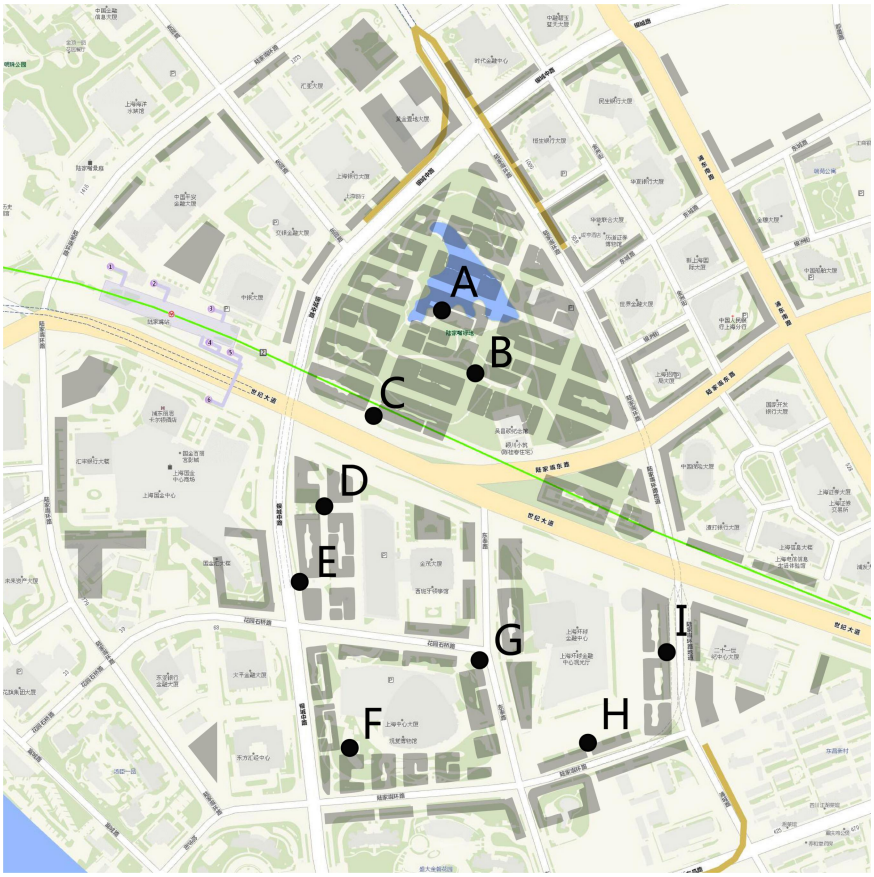


图 3.2 实测测点分布图

图 3.4 实测测点及周边环境

表 3.1 测点分布坐标

测点编号		实测点地理坐标	实测点模型坐标	空间测定类型
1	A	121.513055,31.244384	X= 112; Y= 143	水体空间周边
2	B	121.512965,31.243226	X= 120; Y= 129	大面积绿地空间内部
3	C	121.511654,31.242624	X= 101; Y= 110	大面积绿地空间周边
4	D	121.511025,31.241697	X= 82; Y= 93	超高层 1 周边广场
5	E	121.510737,31.240709	X= 75; Y= 74	超高层 1 周边道路
6	F	121.511294,31.238733	X= 87; Y= 33	超高层 2 周边绿地
7	G	121.513055,31.239644	X= 121; Y= 53	超高层 2 周边道路
8	H	121.514564,31.238996	X= 149; Y= 33	超高层 3 周边广场
9	I	121.515427,31.239984	X= 168; Y= 56	超高层 3 周边道路

对监测点进行逐时测量，时间范围为 8:00—19:00，与软件模拟的可用时间一致。一部仪器轮流测三个点，共测 8 轮，每一轮为 1 小时，采集 6 组数据，每两轮中间间隔 1 小时，具体时间安排如表 3.2 所示。

表 3.2 测量时间安排

仪器	测点	8:00 11:00 14:00 17:00	8:10 11:10 14:10 17:10	8:20 11:20 14:20 17:20	8:30 11:30 14:30 17:30	8:40 11:40 14:40 17:40	8:50 11:50 14:50 17:50	9:00 12:00 15:00 18:00	9:10 12:10 15:10 18:10	9:20 12:20 15:20 18:20	9:30 12:30 15:30 18:30	9:40 12:40 15:40 18:40	9:50 12:50 15:50 18:50
仪器 1	A	√			√			√			√		
	B		√			√			√			√	
	C			√			√			√			√
仪器 2	D	√			√			√			√		
	E		√			√			√			√	
	F			√			√			√			√
仪器 3	G	√			√			√			√		
	H		√			√			√			√	
	I			√			√			√			√

3.2 实测结果汇总及矫正

对实测结果进行初步数据整理，观察各测点差异。为后续与模拟结果对比做准备。空气温度统计如表 3.3 所示，可视化如图 3.5 所示。相对湿度统计如表 3.4 所示，可视化如图 3.6 所示。瞬时风速统计如表 3.5 所示，可视化如图 3.7 所示。

表 3.3 空气温度

时间	测点								
mm:ss	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8:00	24.6	25.3	25.0	25.1	25.0	26.4	24.8	24.8	25.0
8:30	25.7	25.3	25.6	27.0	25.4	26.1	26.3	26.3	25.9
9:00	27.6	26.1	26.4	26.5	25.8	26.1	28.0	26.1	27.0
9:30	28.4	27.3	27.0	26.6	26.5	29.1	27.6	26.5	27.5
11:00	29.7	28.7	27.9	29.8	28.2	29.1	29.5	28.6	28.1
11:30	28.8	29.0	28.1	31.5	28.5	29.9	30.1	28.9	29.9
12:00	32.8	29.0	30.1	29.9	29.0	29.4	30.1	28.5	28.9
12:30	31.1	29.1	29.0	33.5	29.9	30.7	30.4	28.9	29.3
14:00	31.1	28.9	29.1	30.2	29.8	30.7	29.3	28.8	29.0
14:30	30.7	29.4	29.2	32.7	30.2	30.4	29.4	29.0	29.3
15:00	31.6	29.1	28.9	29.7	29.3	29.4	29.8	29.1	29.7
15:30	31.9	29.8	28.8	30.0	29.6	27.8	28.7	29.2	29.6
17:00	28.1	29.4	28.1	27.5	27.8	28.0	28.2	27.6	27.6
17:30	27.7	27.3	27.6	27.5	27.3	27.7	27.6	27.5	27.6

18:00	27.4	27.0	27.4	27.4	27.2	27.6	27.8	27.1	27.1
18:30	26.9	26.5	26.6	26.9	26.7	26.7	27.1	26.6	26.9
标准差	2.29	1.48	1.36	2.33	1.63	1.56	1.49	1.31	1.40

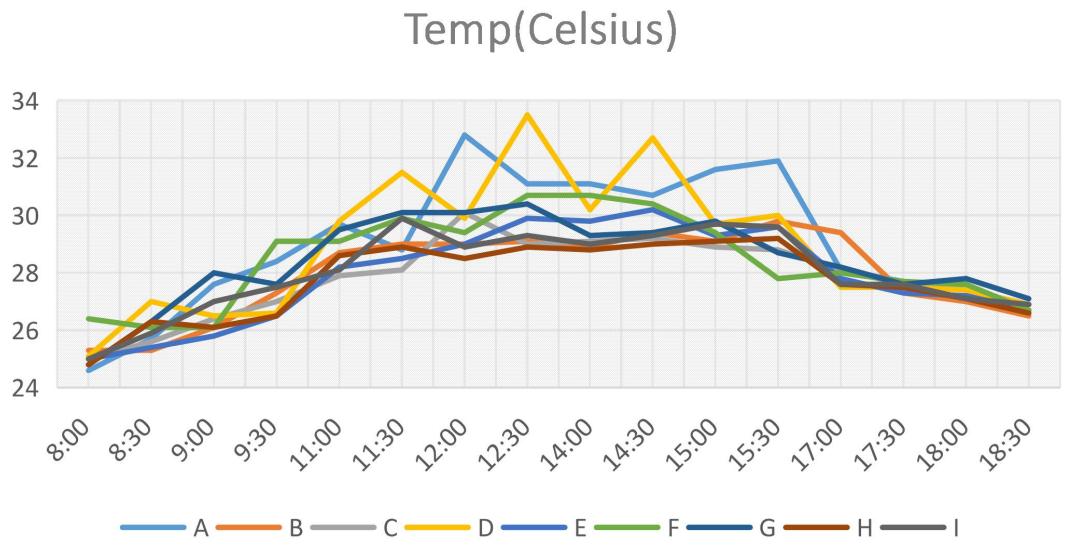


图 3.5 测量温度

表 3.4 相对湿度

时间	测点								
mm:ss	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8:00	70.3	70.3	70.3	70.5	65.8	66.1	67.8	68.9	68.8
8:30	62.8	68.0	66.4	65.9	67.6	65.5	63.8	63.6	63.8
9:00	64.5	65.9	64.3	66.1	66.6	63.2	60.5	65.3	60.6
9:30	56.5	60.9	61.4	64.9	64.2	56.8	60.7	62.2	59.4
11:00	55.4	59.9	58.9	55.0	58.5	57.2	55.4	56.6	57.8
11:30	57.3	58.5	58.8	55.1	58.3	54.6	53.5	57.4	53.4
12:00	51.6	59.8	59.8	57.0	57.3	56.6	55.2	57.8	56.2
12:30	54.6	57.8	55.1	48.7	55.9	52.1	54.8	56.2	53.8
14:00	55.3	57.2	56.7	56.6	55.9	54.5	55.8	56.6	58.8
14:30	53.3	57.7	56.4	53.7	56.1	54.5	56.3	58.2	56.8
15:00	54.9	58.2	57.3	57.7	56.8	56.5	56.4	57.8	59.3
15:30	51.2	59.7	59.5	58.2	55.2	72.7	58.5	59.1	58.2
17:00	61.1	58.3	61.4	63.4	63.2	61.6	59.8	62.4	62.2
17:30	62.3	63.9	62.2	64.3	65.3	62.8	62.1	62.3	62.2
18:00	64.0	65.8	65.8	64.7	64.8	66.3	62.9	64.6	64.5
18:30	65.3	66.8	66.7	67.9	66.4	66.7	63.8	65.9	64.9
标准差	5.34	4.15	4.21	5.92	4.54	5.72	3.98	3.84	4.06

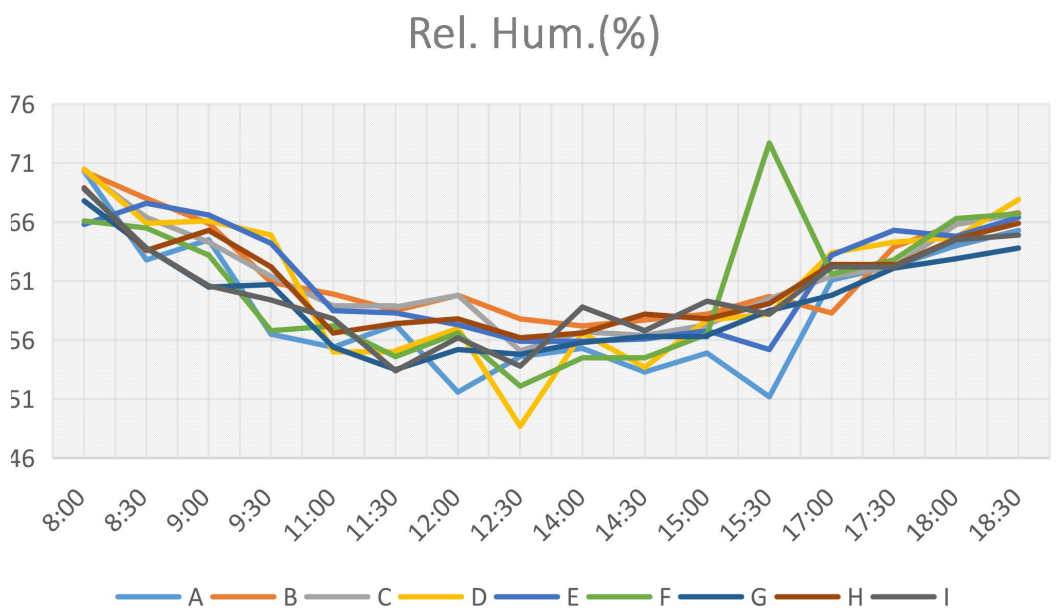


图 3.6 测量相对湿度

表 3.5 瞬时风速

时间	测点								
mm:ss	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8:00	0.6	0.4	0.6	0.8	0.3	1	2.9	0.5	1.2
8:30	1.1	0	0.6	0.6	0	1.7	1.3	0.6	0
9:00	0	0.8	0.7	0.8	0.8	2.7	0.8	0.3	1.5
9:30	0.9	0.6	1.6	1.1	0.5	1	0.9	1	1.3
11:00	0.3	0.5	1.5	0	0.6	0.6	0	0.6	0.7
11:30	1.3	0	0.4	0	0.7	0.8	0.6	0	0.6
12:00	0	0.6	0.7	00.4	0	2.7	1.7	1.7	1.9
12:30	1.3	0.5	2.1	0.8	0.3	0.7	0	1.3	1.4
14:00	0.4	0.7	0.6	3.6	0	2.4	0	2.7	2.7
14:30	0.8	0	1.6	0.5	0	2.1	0.7	0.5	0.3
15:00	0.4	0.4	0.6	2.1	2.3	1.4	0.8	0.6	0.5
15:30	0.7	0.7	0.5	0	0.9	1.5	0.8	0.7	0.8
17:00	0.6	0	0.9	0	0	0	0	0	0.6
17:30	0.8	0.4	0.6	2	0	2.1	1.2	0	0
18:00	0.8	1.1	0.4	0	0	1.5	1.6	1.8	0.4
18:30	1.5	0.7	0	0.5	0.7	1.4	0	0	1.7
标准差	0.43	0.32	0.54	0.96	0.58	0.76	0.77	0.74	0.72

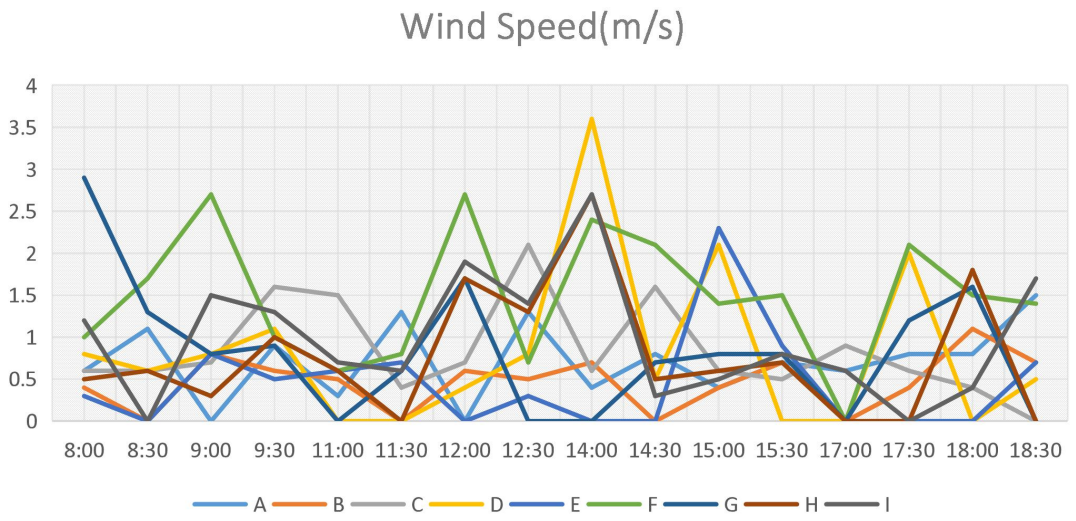


图 3.7 瞬时风速

初步分析可得如下结论：从温度来看，A、D 点波动较为剧烈，C 点和 H 点波动较为平缓，B、E、F、G、I 几个点居中；从相对湿度来看，A、D 点波动较为剧烈，G 点和 H 点波动较为平缓，B、E、F、I 几个点居中；瞬时风速无明显规律。其中，F 点 15:30 的相对湿度数据出现异常，估计是仪器被吹倒或者人为遮挡导致的数据误差，应根据曲线变化趋势予以纠正，便于后期比较。

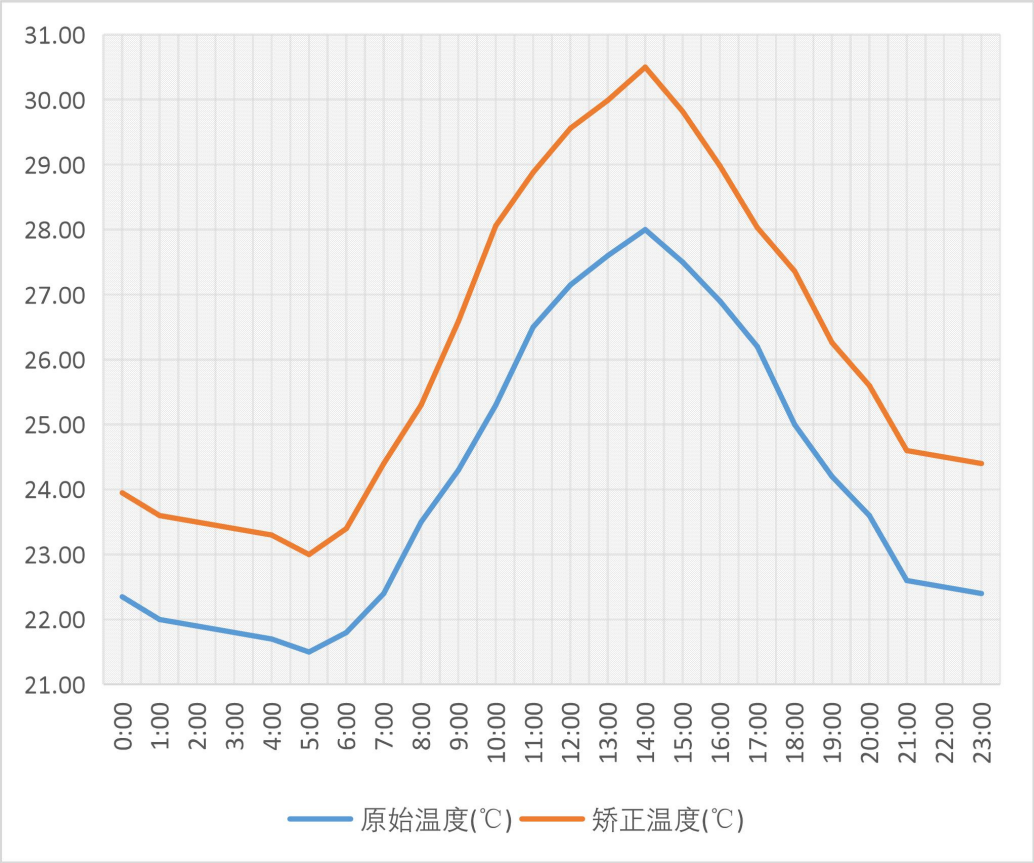
模拟参数设定依据模拟日当天，即 2019 年 7 月 14 日当天上海市气象局公布的逐时气候数据来定，包括空气温度，太阳辐射，相对湿度，风速和风向等一系列数据。模拟的初始气象数据采用国家气象科学数据共享服务平台[31]所发布的浦东气象站（编号 58370）的气象数据。同时用美国怀俄明大学工程学院大气科学系所给出的宝山站（编号 58362）的气候数据进行辅助[32]，收集得到微气候模拟所需要的各种原始数据材料。

结合实测数据，对气象站数据进行校正，校正前后的温度及相对湿度如表 3.6 所示，可视化图像如图 3.8 所示。校正后的温度及相对湿度将作为软件模拟的初始条件输入。

[31] http://data.cma.cn/
[32] http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

表 3.6 矫正前后的温湿度

时间	原始温度/℃	校正温度/℃	原始相对湿度/%	矫正相对湿度/%
0:00	22.35	23.95	80.00	75.00
1:00	22.00	23.60	82.00	77.40
2:00	21.90	23.50	83.00	79.60
3:00	21.80	23.40	83.00	81.00
4:00	21.70	23.30	84.00	81.50
5:00	21.50	23.00	82.00	82.00
6:00	21.80	23.40	82.00	79.50
7:00	22.40	24.40	81.00	76.00
8:00	23.50	25.30	76.00	68.93
9:00	24.30	26.59	73.00	64.27
10:00	25.30	28.06	72.00	60.69
11:00	26.50	28.88	68.00	58.00
12:00	27.15	29.56	65.00	57.13
13:00	27.60	29.99	63.00	56.61
14:00	28.00	30.50	62.00	56.00
15:00	27.50	29.82	61.00	57.24
16:00	26.90	28.98	61.00	59.46
17:00	26.20	28.03	61.00	61.67
18:00	25.00	27.36	61.00	64.89
19:00	24.20	26.26	62.00	66.50
20:00	23.60	25.60	70.00	68.50
21:00	22.60	24.60	74.00	70.00
22:00	22.50	24.50	75.00	72.00
23:00	22.40	24.40	78.00	73.00
最小值	21.50	23.00	61.00	56.00
最大值	28.00	30.50	84.00	82.00



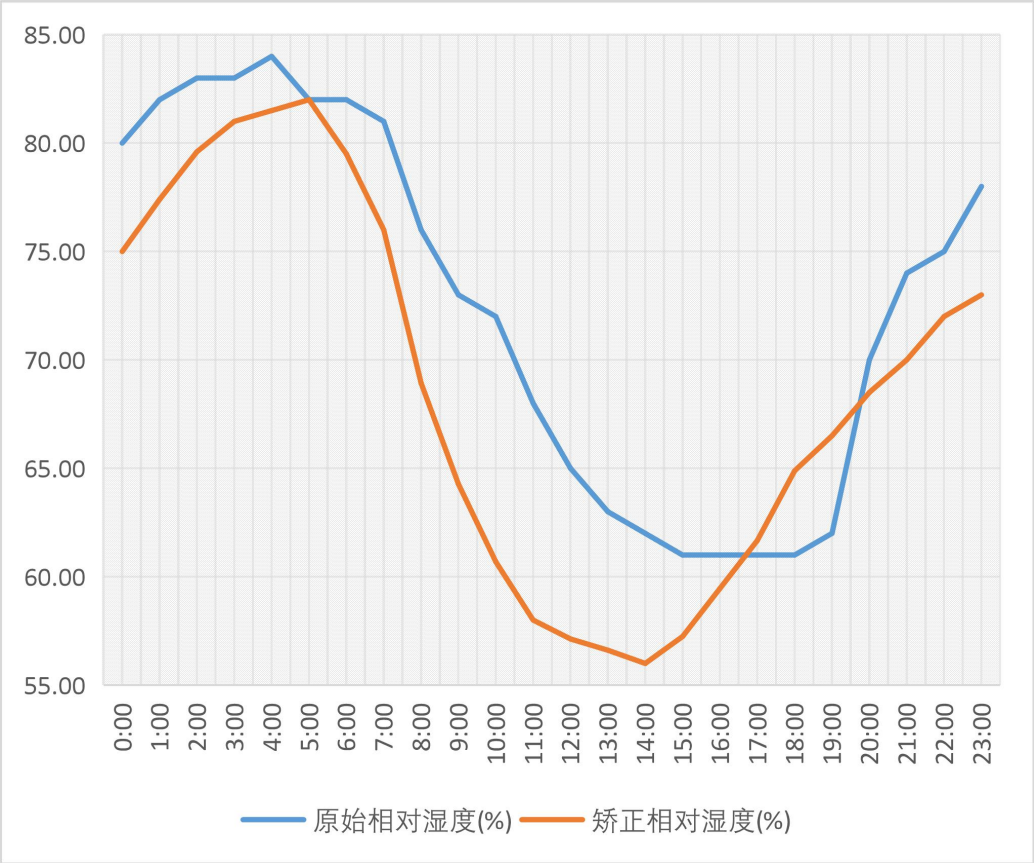


图 3.8 温度矫正曲线（上），相对湿度矫正曲线（下）

第 4 章　现状及更新方案模拟

4.1 模拟准备

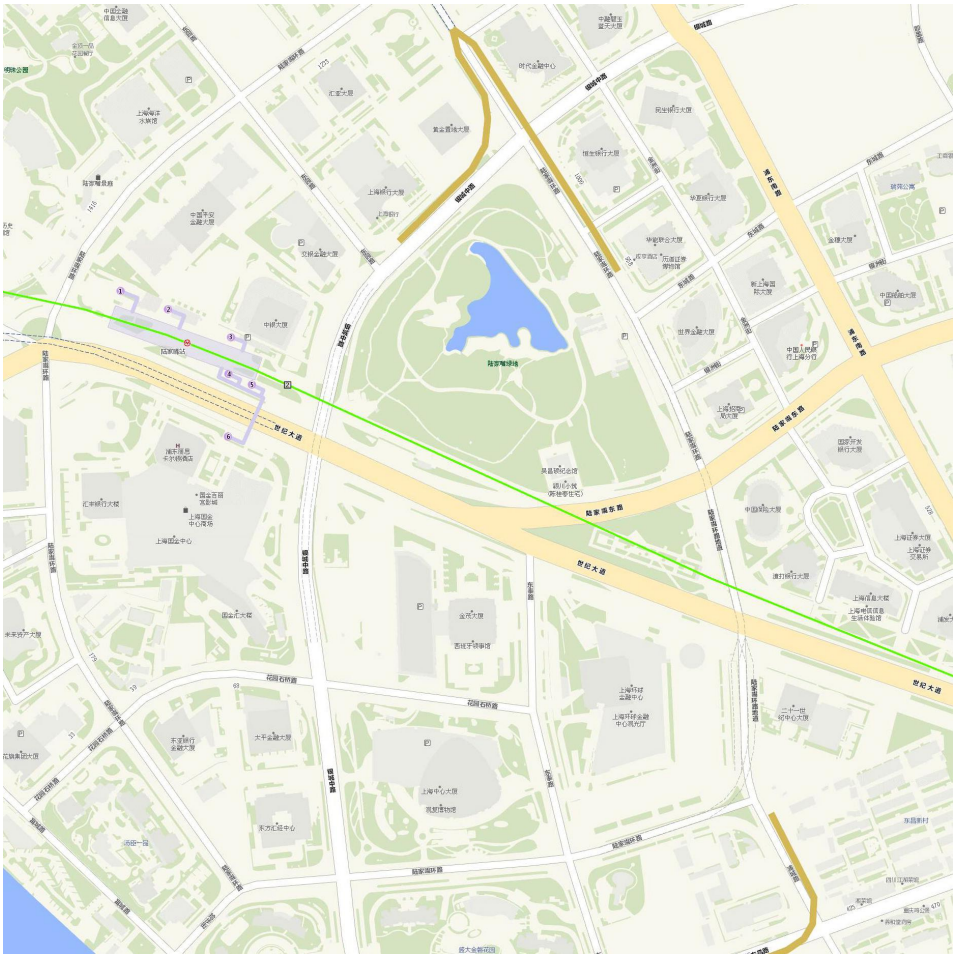
在模拟开始之前，需要明确建模的范围，参与模拟的方案底图，模拟的日期和时长，模拟的初始气候条件等等。明确所有输入值之后，才能正式开始模拟。

4.1.1 模拟范围

根据 Oke 对城市各要素的分析图解，将微尺度的气候模拟分为建筑尺度（长宽高各 10 米）；街谷尺度（长 300 米，宽 30 米，高 10 米）；街区尺度（长宽各 500 米，高度不限）三个层面；本研究所选取的是微尺度中的街区尺度，软件模拟范围要大于研究范围。

模拟选择陆家嘴核心区 500 米*500 米的研究范围，建模需包括所研究地块及周边区域，所以建模范围要大于研究范围。考虑到模型的大小，确定总建模范围为 1000 米*1000 米，模型分辨率为 5 米每格，水平网格数为 220*220（东南西北各多出 10 格作为缓冲区域）。为保证底图的准确性，采用上海市浦东新区规划和自然资源局官网上的电子地图作为原始的素材拼贴而成高清底图[33]。三维模型高度要求 Z≥2Hmax（Z 为模型高度，Hmax 为模拟区域内最高建筑高度）。陆家嘴地区建筑最高为 632 米的上海中心大厦，按照公式计算，模型要高于 1264 米，远超合理的建模范围，所以综合考虑模型大小及计算机模拟速度后，将 Z 轴高度设为 245m（网格数为 81，分辨率为 3m），建模的建筑高度最高限定为 120 米即可。这样的压缩简化，对模拟结果在人行高度的影响可以忽略不计。

[33] 原始素材的网页链接：http://211.136.105.48:8001/pdgt/



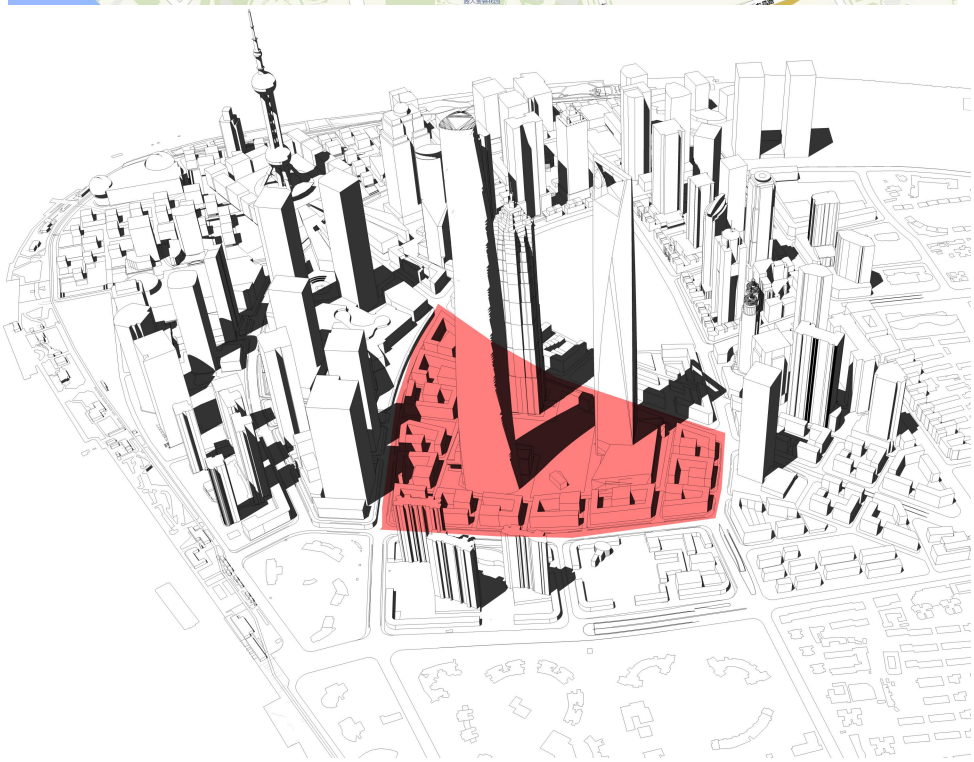


图 4.1 建模参考底图（上），建模高度参考 SU 模型（下）

4.1.2 模拟方案

模拟方案包括现状以及城市设计改造方案。近几年，XX 大学 XXX 教授针对陆家嘴地区做过一系列城市设计改造的课题研究，主要是基于传统城市设计方法得到的结果[34]。本研究以 2018 年对于陆家嘴的四个改造方案为母版，在这些方案的基础上进行优选和优化，作为气候模拟的参考模型。四个方案的改造重点在于陆家嘴中心绿地和金茂大厦、上海中心大厦、上海环球金融中心三栋超高层所在的街区，也兼顾周边街区的沿街建筑。

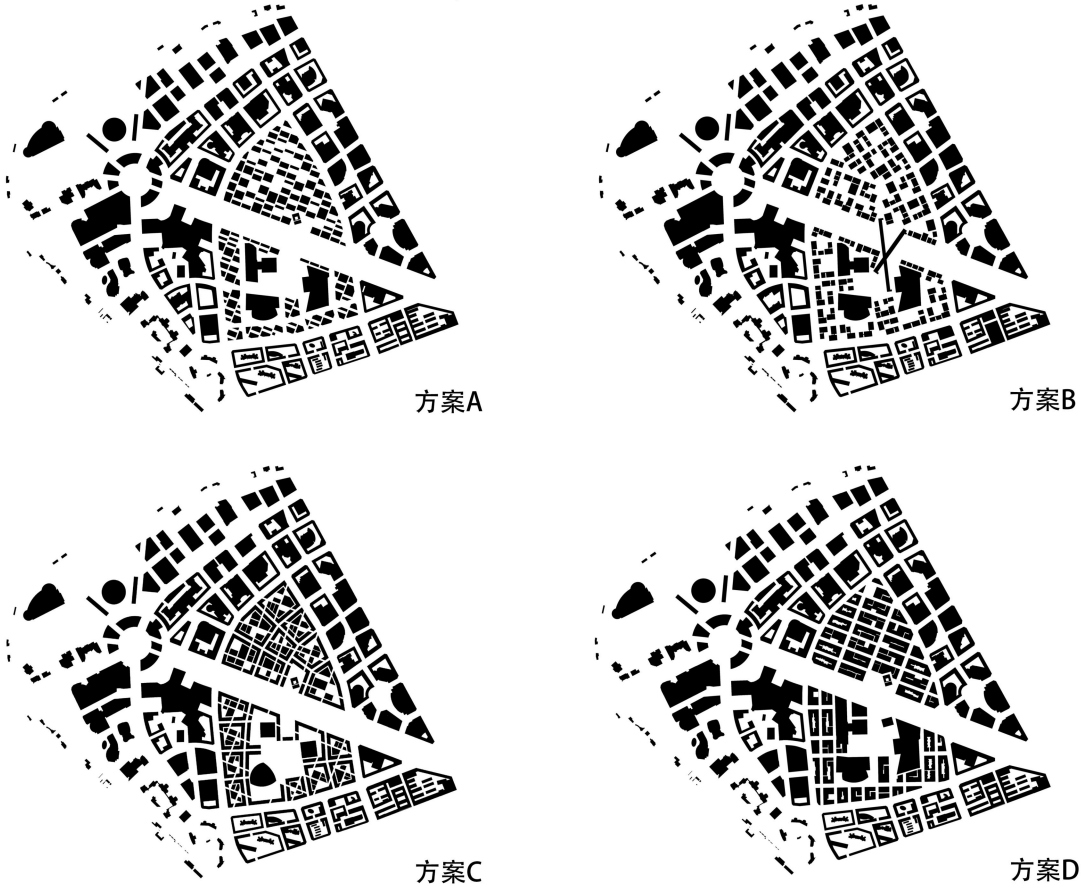


图 4.1 四组改造方案(A、B、C、D)[35]

对四个方案分别进行评估，可以发现：

方案 A：裙房的尺度过小，形成的道路过于均质，未定义空间较多，且 5 米每格的建模精度达不到该方案的要求；

方案 B：底层建筑较为散乱，缺乏一定的组织规律，道路系统不够明确；

方案 C：庭院层次丰富，从传统城市设计的理想角度来看方案较优，但是该

[34] XXX、XX、XX、XX，新城改造中的城市细胞修补术——陆家嘴再城市化的教学实验[J].城市设计,2012,12:64-73.

[35] XX 大学 2018 年陆家嘴再实验 XXX、XX 老师组毕业设计图纸

方案去掉了高层建筑现有的裙房，可实现性较低，且单个建筑较小，建模精度达不到要求；

方案 D：尺度相对合适；道路组织相对有规律，单体建筑比较大，满足建模的精度，可实现性较强。

对比四个设计方案，从可行性、尺度、街道贴线率等要素综合考虑，选择方案 D 作为参照进行底图绘制。设计方案中改变了原有路网，但是为了模拟更加具有可比较性，方便控制变量，所以以不改变原有的主要车行路网为出发点，只是根据设计方案，增加高层建筑周边的建筑密度。最终有 3 组模拟方案，模拟 1 为场地现状模拟，主要是了解场地现状的空间热环境，同时与设计方案进行对比；模拟 3 为理想方案模拟，主要是对理想状态下的城市设计方案进行模拟，对比热环境变化；模拟 2 为过渡方案，周边加建的低层高密度建筑与模拟 2 相同，但是保留了现状的中心绿地，三组建模所依据的底图如图 4.2 所示。

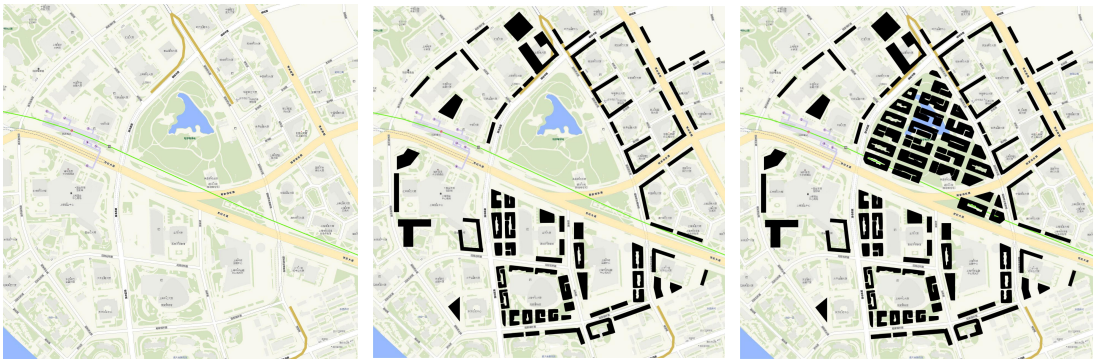


图 4.2 三组模拟的建模底图(从左到右依次为模拟 1，模拟 2，模拟 3)

4.1.3 模拟时间

通过上海的总体气候数据可知，最热月份为 7-8 月。根据实测时间安排，确定实测日期与模拟日期都为 2019 年 7 月 14 日。这一天天气晴朗无云，大气辐射可以很好的传递到地面，也能代表典型的上海夏季天气。Envi-met 软件的模拟时间一般为一整天。初定模拟时间从 0:00 点到 19：00，模拟周期为 19 个小时。软件模拟最开始的几个小时数据不稳定，所以真正的可用时间为 7:00 到 19:00，共计 12 个小时。

4.1.4 模拟条件设置

通过查询气象站数据，结合实测数据纠正空气温度和相对湿度的参数以后，可获得初始模拟时间，即 2019 年 7 月 14 日 0:00 点的气候条件，具体数值如表

4.1 所示：

表 4.1 初始模拟气候条件

参数	数值
十米高度风速	3 米/秒
风向	250
温度最小值	23℃
温度最大值	30.5℃
相对湿度最小值	56%
相对湿度最大值	82%
云量	高中低三层均为 1
太阳辐射系数	0.6
城市下垫面粗糙度	0.1

输出时间间隔为一小时，即每个整点都有一组热环境数据输出。通过实测数据校准当天气象站的气候数据，得到的温湿度输入值如图 4.3 所示：

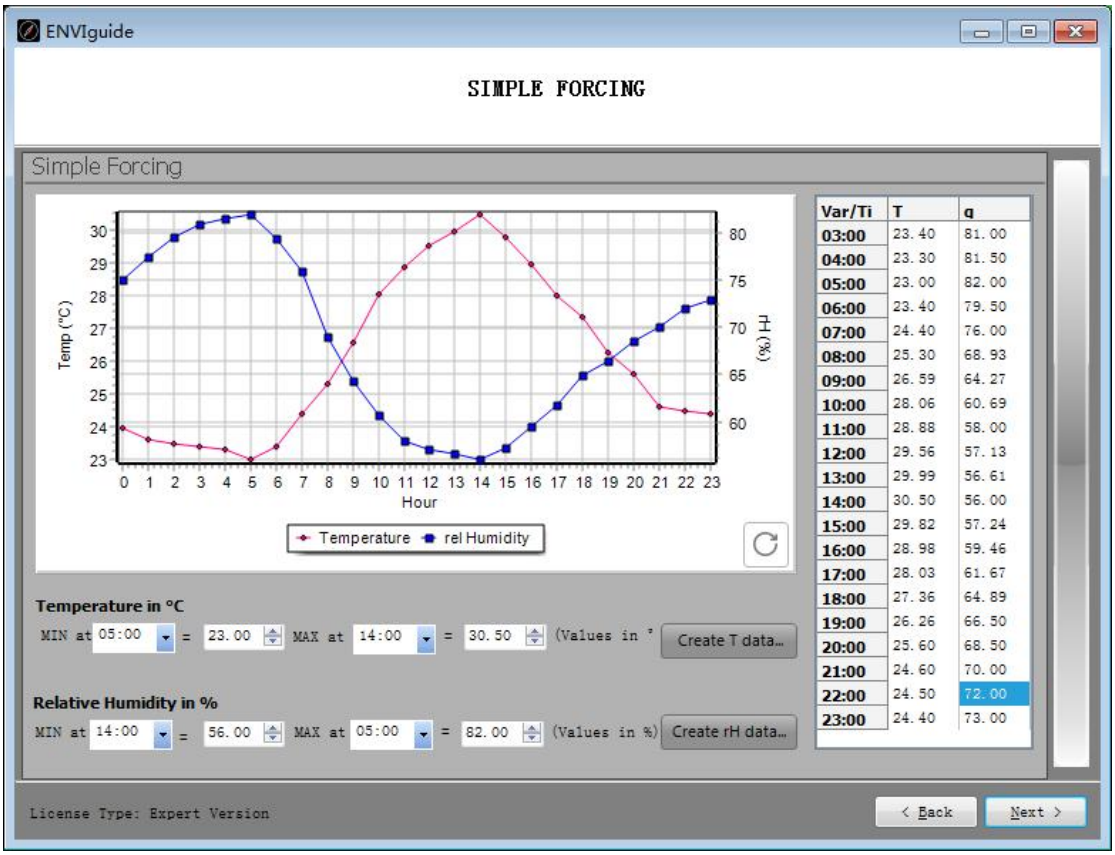


图 4.3 软件输入的矫正后的温度与相对湿度值

下面对部分参数设置做简要说明。云量的设置中包括低云量、中云量和高云

量三个参数。云量无法用仪器测量，气象站也没有相关数据，但是有一定的参考标准，即全天无云，总云量记 0；天空完全为云所遮蔽，记 10；云占全天十分之一，总云量记 1；云占全天十分之二，总云量记 2，其余依次类推。当天天空晴朗少云，为了避免太阳辐射过大影响热舒适测算，所以将高中低三层云量都设置为 1。

太阳辐射系数的软件默认值为 1，Envi-met 软件在模拟夏季热环境的时候，容易高估热辐射因子，使得 PET 值偏高。为了保证最后的 PET 数值在合理的范围内，所以将太阳辐射系数下调为 0.6，这也是软件设置中可以下调的最低值。

模拟初始条件还需要输入地面粗糙度（roughness length at measurement site）。对于城市微气候而言，除地形变化、自然水系等要素外，高度人工化的下垫面已经成为主导城市微气候变化的要素。不同密度和开发量的建筑群、开阔的街道和广场、绿地和植被都组成了复合的城市下垫面。太阳辐射、大气环流等要素会直接作用于城市微气候，而城市下垫面的形态也会间接影响这些要素的强弱和方向。城市下　垫面的粗糙度决定了局地气候的变化尺度，在单个街区中，即便相距 10 米之内的气流也会由于受到周边环境的影响而剧烈变化，广场、街道、建筑、植被、水体等下垫面材质都会影响微气候的分布特征。经过广泛查询和多次试验，最终确定城市下垫面粗糙度为 0.1，过高的城市粗糙度在模拟过程中容易报错，导致模拟结果不可信。

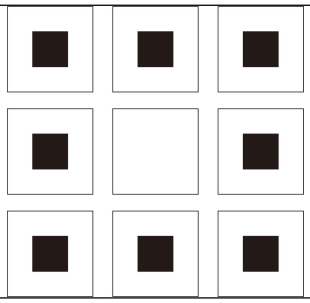
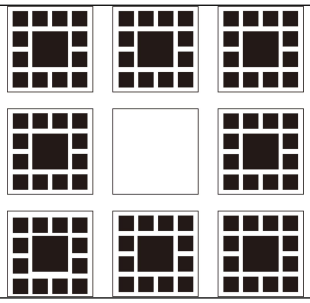
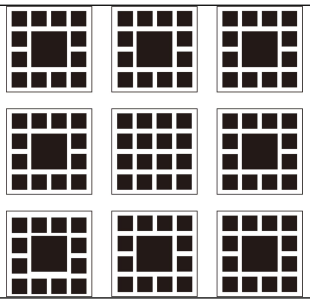
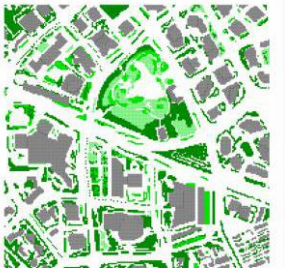
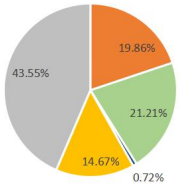
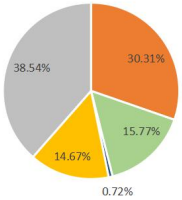
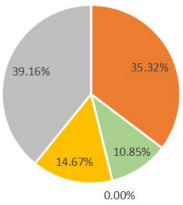
4.2 建模统计

三个模拟的模型平面都是 220*220 格，上下左右各 10 格作为模型缓冲区，所以模型的全部栅格数为 48400，有效栅格数为 200*200 格，共计 40000 格。

从城市设计和可实现性的角度来讲，依旧希望能够在高层环绕的小陆家嘴地区保留一片集中绿地。同时考虑到建筑密度，对理想城市设计方案进行调整，得到更加符合实际的模拟方案。三个模拟方案的建模统计如表 4.2 所示，分别清晰说明和对比了三个方案的抽象模型、建模底图、建筑与植被分布、地面材质分布、统计指标及其图示，后续模拟就在这三个模型的基础上展开。

表 4.2 建模统计表

	模拟 1	模拟 2	模拟 3

抽象模型			
建模底图			
建筑与植物			
地面材质			
统计指标图			
指标统计	建筑 7945（19.86%） 绿地 8482（21.21%） 道路 5866（14.67%） 铺地 17419（43.55%） 水体 288（14.67%） 总数 40000（100.00%）	建筑 12125（30.31%） 绿地 6307（15.77%） 道路 5866（14.67%） 铺地 15414（38.54%） 水体 288（0.72%） 总数 40000（100.00%）	建筑 14129（35.32%） 绿地 4341（10.85%） 道路 4341（14.67%） 铺地 15664（39.16%） 水体 0（0.00%） 总数 40000（100.00%）

第 5 章 模拟结果对比分析

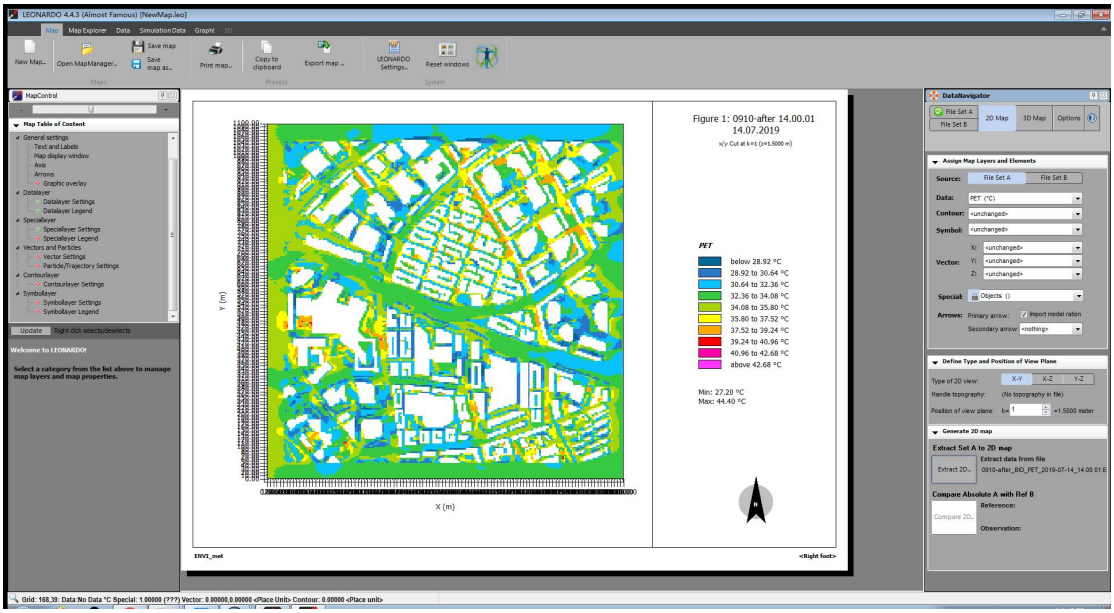
本章主要是做模拟结果的对比分析。分析之前，需要将数据转到 ArcGIS 平台，在平台上进行计算和可视化，结果将以像素格的形式呈现出来，当像素达到 40000 格以后，就可以看到整个空间较高分辨率的热环境状况。既可以看到同一时刻热环境的相对关系，也可以集中显示某个时刻某一范围 PET 值的空间分布状况，既可以基于数据统计做出定量判断，也可以基于空间分布做出定性判断，有利于得到更加准确结果。

分析的内容包括基于空间维度的总体分析，基于时间维度的总体分析，还有空间元素之间的对比分析，涵盖了车行系统，人行系统以及重点地块。最后还进行了热环境与天空开阔度关系的探究，试图在结果的对比之后，寻找热环境与空间形态之间的关联。

5.1. 数据转化与可视化

Envi-met 的模拟结果在自身的平台上只能定性比较而无法定量计算，最多只能进行两个文件之间的比较，而无法对多文件同时进行比较，而且可视化的种类也比较有限，所以需要转到 ArcGIS 平台上做最后的对比分析。

要在 ArcGIS 中进行对比分析，首先要进行文件格式的转化。在 Envi-met 插件 Bio-met 中计算好对应高度的 PET 值，然后在 Envi-met 插件 leonado 中将计算好的 PET 值进行可视化，然后将数据导出为.CSV 格式的表格文件，由 Excel 处理之后就可以导入 ArcGIS。该表格中有建模平面的 XY 坐标信息，ArcGIS 可以识别并显示带有 XY 坐标的点，其他数据则作为该点的属性字段，可以进行计算和可视化，分析界面如图 5.1 所示，具体步骤详解如附录 A 所示。



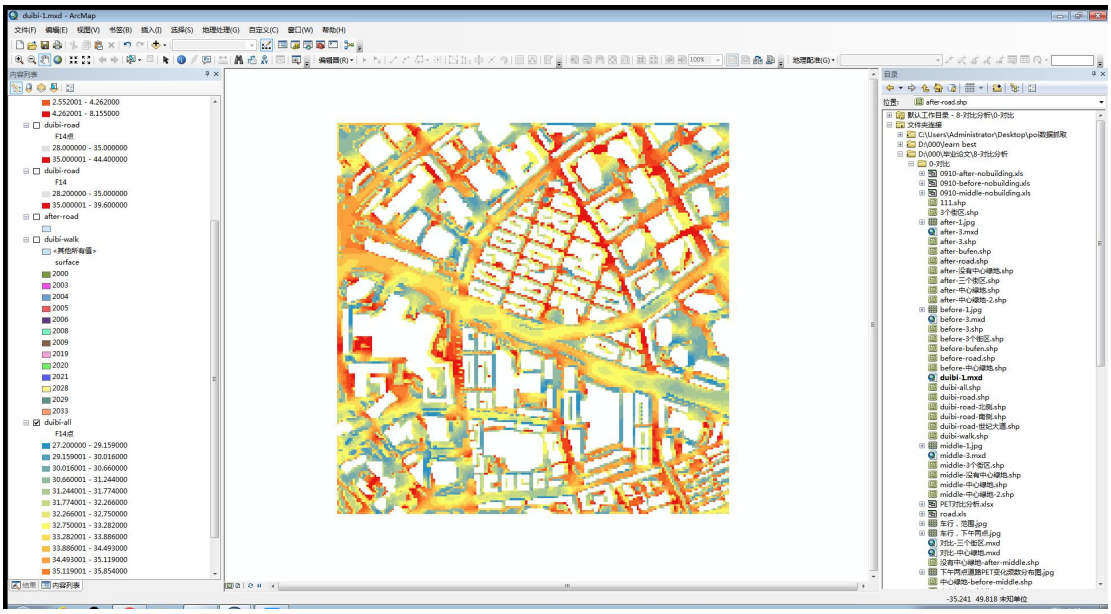


图 5.1 Leonado 可视化界面（上）；ArcGIS 数据分析界面（下）

5.2 模拟结果总体对比分析

在 ArcGIS 中,不仅可以对数据本身做多维度的研究,还可以把热环境数据根据不同空间元素进行分类比较，既可以显示所有 PET 的相对关系，也可以专门显示在某一个范围之内的 PET 值的空间分布。

最终的分析以 Bio-met 插件计算的 1.5 米高度的生理等效温度（PET）为指标进行研究，可以认为 1.5 米高度 的 PET 值最接近人体感觉。为了方便比较，将以上三种情况的 PET 值命名为模拟 1，模拟 2，模拟 3，分别指代现状模拟结

果，过渡方案模拟结果，理想方案模拟结果。首先需要对模拟结果进行时间维度和空间维度的总体对比分析。

5.2.1 基于时间维度的总体分析

模拟的时间段为 2019 年 7 月 14 日的 0:00 至 19:00，其中可用的数据范围为 7:00 至 18:00。不同时刻的 PET 值不仅区间不同，而且分布的离散程度也不同，数据统计详情，请见附录 B。模拟 1，模拟 2，模拟 3 在时间维度上有效数据的模拟结果分别如图 5.2，图 5.3，图 5.4 所示。三组图在同一标度下，以同样的 PET 分类区间进行显示，不同的颜色反应了 PET 值的高低，颜色越冷，PET 值越低，颜色越暖，PET 值越高。可以发现三个方案都是在 14:00 时 PET 值达到最高，各时段的 PET 值从这个层面看没有太大的变化。

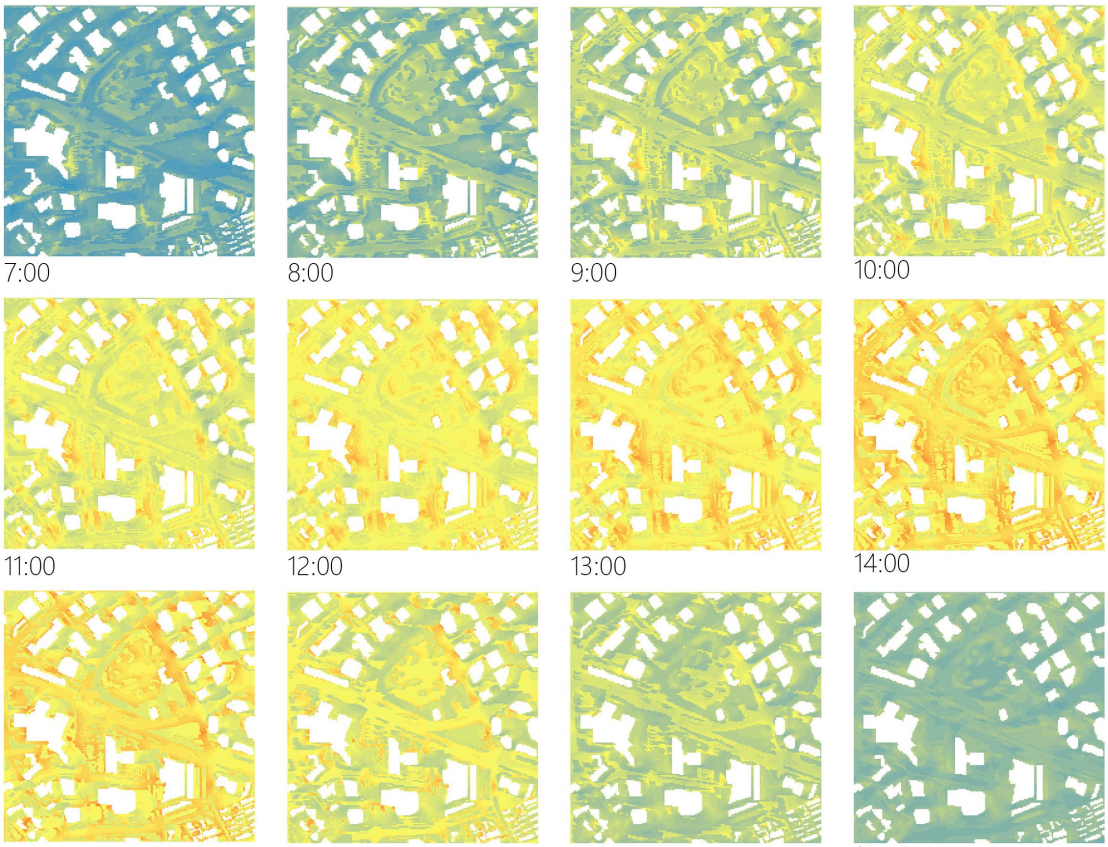


图 5.2 模拟 1 的 PET 值随时间的变化

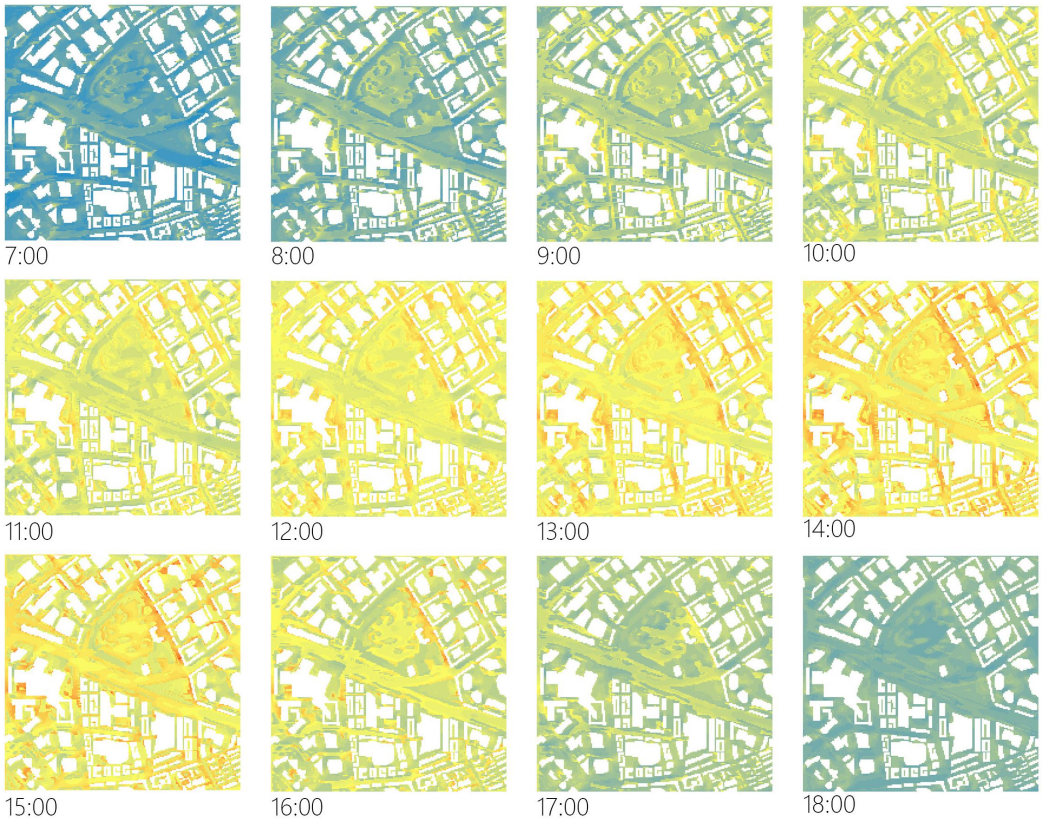


图 5.3 模拟 2 的 PET 值随时间的变化

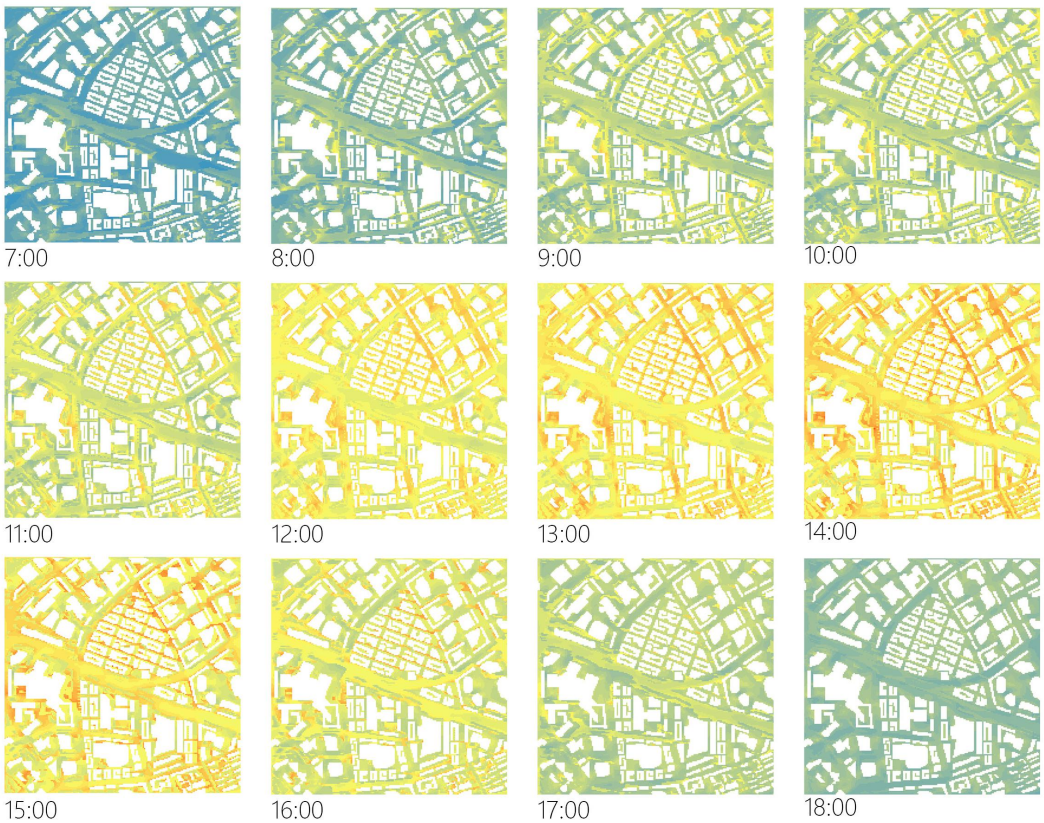


图 5.4 模拟 3 的 PET 值随时间的变化

将三个模拟方案的 PET 最大值，最小值和平均值进行统计，统计结果如表 5.1 所示，可视化结果如图 5.5 所示。由图表分析可知，PET 值从 7:00 逐渐上升，14:00 达到最高，然后一直下降到 18:00，温度下降的速度要高于温度上升的速度。从时间维度来看，三个模拟方案的最小值范围在 18.6℃至 27.6℃之间，基本趋同；最大值范围在 28.7℃至 46.8℃之间，其中在 12:00 至 17:00 范围内差别较明显，在 13:00 最大值与最小值相差 3.8℃，在 14:00 最大值与最小值相差 2.4℃，在 15:00 最大值与最小值相差 2.2 ℃，其他时间段差别不大；但是 PET 平均值在所有时段差异都不大，集中在 21℃至 33℃之间。由此可知，热舒适在整体层面上变化较为微弱，需要在更加局部的空间维度上进行对比。也同时说明，新城更新对空间环境做出的改变，对于整体的热环境没有过大的影响。

陆家嘴人群的室外活动时间有一定的规律性。陆家嘴核心区的人群主要为白领和游客两大类。白领的户外活动主要为上下班通勤，集中在早晚室外舒适较好的时段，研究热环境的针对性不强，所以本研究暂不涉及。陆家嘴核心区室外停留与活动的人群在夏季主要为游客，且集中在中下午时间段，这一段时间活动的人最多，为本研究的重点。

根据上海地铁站的数据统计，可以基本确定上班族在陆家嘴核心区的户外活动时间为早晨 7:30-9:30，下午 5:30-7:30，中午的活动时间为 12:30-13:30。夏季游客在陆家嘴核心区活动比较密集的时间段一般为早晨的 10:30 至下午的 4:30。根据人的行为规律和 PET 的变化规律，聚焦到 13:00 至 15:00 这一时段，以这段时间 PET 的平均值作为研究对象。本文只研究热环境的相对关系，不研究绝对的 PET 值。

表 5.1 三个模拟方案 PET 最大值、最小值、平均值随时间变化表

time	模拟 1 最小值	模拟 1 最大值	模拟 1 平均值	模拟 2 最小值	模拟 2 最大值	模拟 2 平均值	模拟 3 最小值	模拟 3 最大值	模拟 3 平均值
7:00	18.60	31.00	21.76	18.60	30.20	21.67	18.60	30.20	21.60
8:00	20.20	34.40	24.68	20.00	33.60	24.50	20.00	33.60	24.36
9:00	21.60	36.40	27.42	21.60	35.40	27.29	21.40	35.60	27.29
10:00	23.20	37.40	29.66	23.00	37.60	29.54	23.00	37.00	29.62
11:00	24.80	37.60	30.85	24.60	37.80	30.82	24.60	37.20	30.95
12:00	26.24	38.60	31.87	26.20	38.40	31.89	26.22	38.00	32.06
13:00	27.47	41.60	32.74	26.80	43.00	32.71	26.80	39.20	32.86
14:00	27.60	46.80	33.35	27.20	45.80	33.22	27.20	44.40	33.33
15:00	27.00	43.40	32.54	26.60	45.60	32.41	26.60	44.40	32.49
16:00	25.40	38.80	30.44	25.40	40.60	30.30	25.23	38.40	30.30
17:00	23.40	35.60	27.39	23.60	35.60	27.37	23.60	35.40	27.44

18:00	21.80	29.22	23.99	22.00	28.70	24.24	22.00	28.91	24.46

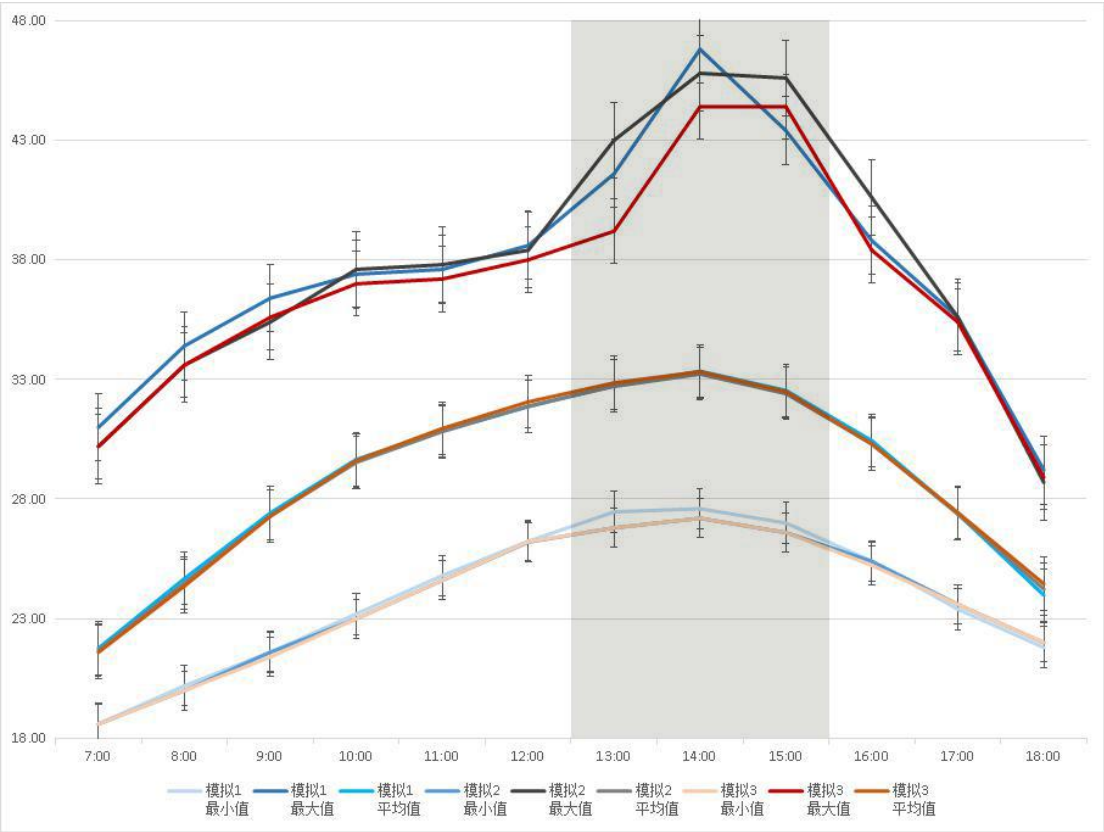


图 5.5 三个模拟方案 PET 值随时间变化图

首先要将 13:00 至 15:00 这一时段的 PET 值做综合处理。软件模拟的结果在每个整点都有一组数据输出，将 13:00、14:00、15:00 三个时间点的 PET 值在每个空间点上求平均值，以此代表 13:00-15:00 这一时间段热舒适的值，作为后续空间维度研究的基础数据。13:00、14:00、15:00 三个时间段 PET 值以及求平均值后的 PET 值的数据分布如图 5.6 所示。

求平均值以后的数据分布与三个时间点的数据分布在范围和聚合度上基本吻合，且平均值的数据更加接近于正态分布，更有典型性，所以用三个时间点 PET 的平均值代表这一时间段的热舒适值更为合适。从图中可以看出，三个时间点的 PET 值都集中在 28℃到 38℃之间，变化不大。从 PET 的分布来讲，都超过了 18℃到 23℃的舒适范围，以绝对标准来看，都属于不舒适。这从上海城市环境的夏季正午热环境来看，属于正常状况。但是本研究关注的重点在于三个模拟结果的相关关系，即使 PET 值都超过了舒适的范围，但是比较依然是有意义的。

这组模拟数据 PET 的值越高，热舒适性就越差，其中以 35℃为界限，35℃以上，人体感觉为热，很热，有强烈和极端的热应激反应，本研究认为，PET 超

过 35℃，在夏季的热舒适就是不合格的。所以后续比较中，除了整体展示 PET 值在空间的分布，还会专门将 PET 值在 35℃以上的区域统计出来，单独分析。可以认为 PET 大于 35℃的格数越少，相对占比越小，热环境品质就越好。

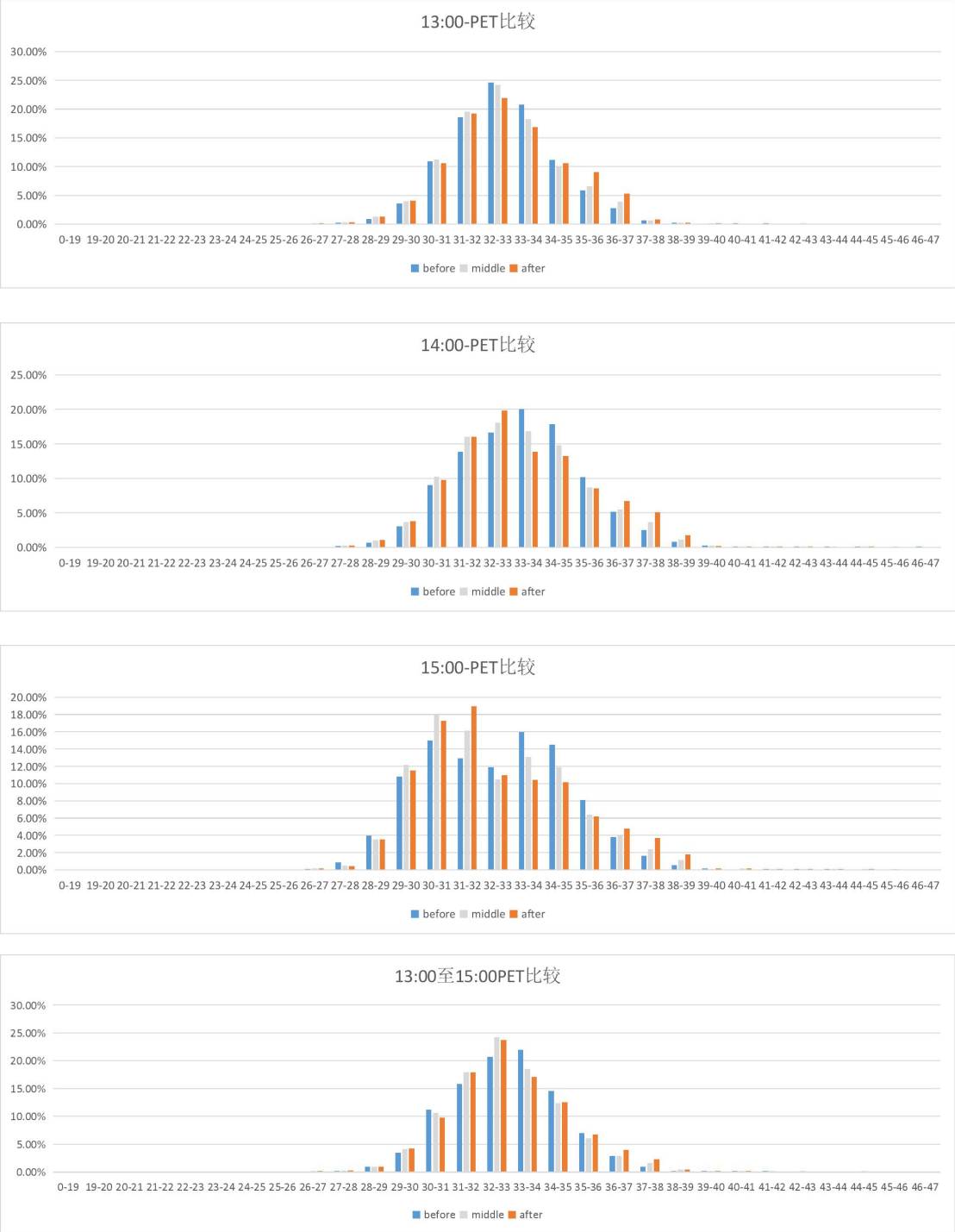


图 5.6 13:00,14:00,15:00 及平均值的 PET 数据分布

5.2.2 基于空间维度的总体分析

在空间维度的总体分析中，我将从数据统计和栅格分布两个维度进行分析，数值统计将以表格的形式呈现，栅格分布将以图的形式呈现。从数值统计中可以进行直接的定量比较，从栅格分布中可以观察热环境优劣的区域在空间上是如何分布的。所有分析都以 13:00 至 15:00 的平均 PET 值作为基础数据，数据统计如表 5.2 所示，栅格分布如图 5.7 所示。

表 5.2 空间分布 PET 值统计表

模拟方案	总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	32055	5542	17.29%
模拟 2	27877	4562	16.36%
模拟 3	25873	4976	19.23%

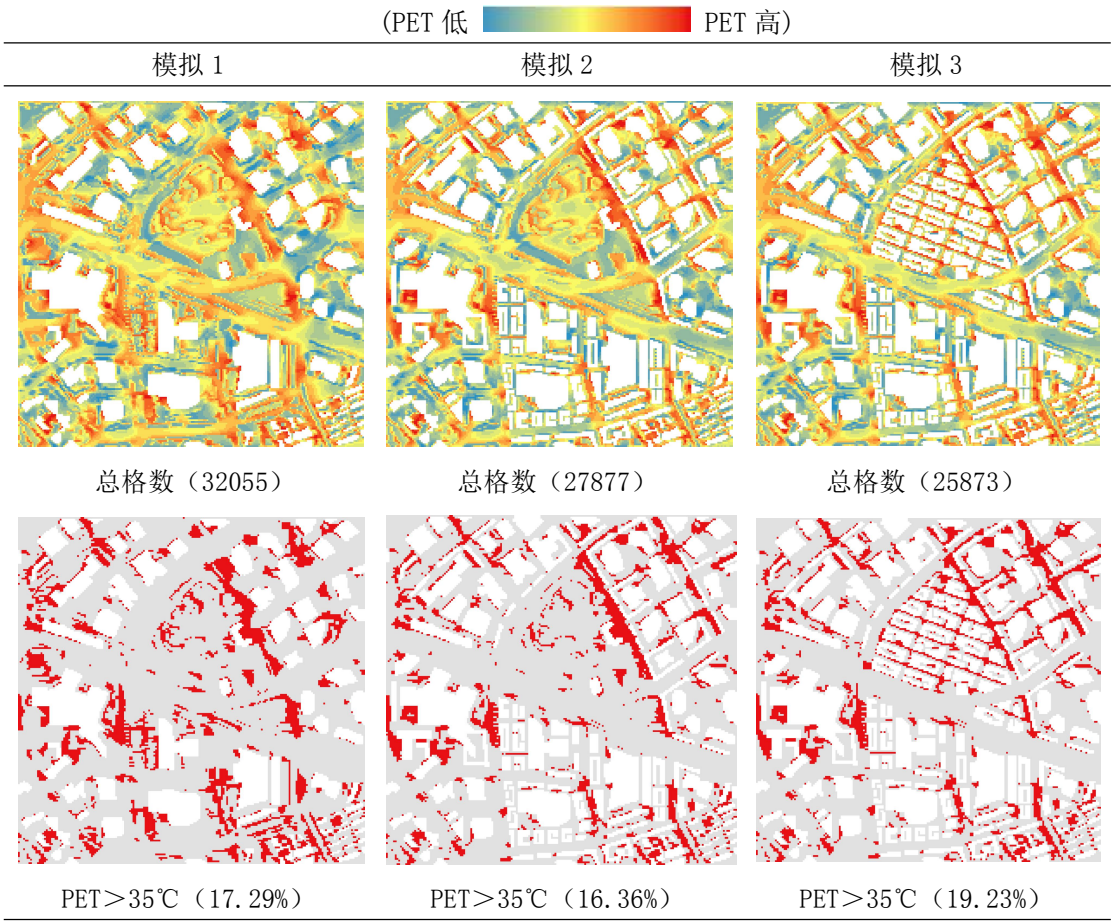


图 5.7 整体 PET 空间分布图

从上述图表中可总结出如下结论：

从数据统计来看：从绝对值来讲，改造后模拟 2 和模拟 1 的 PET 大于 35℃

的栅格数都减少了，因为增加了大量建筑，所以室外环境的栅格数总体减少，很多热舒适不好的地方都变成了室内空间。从相对值来讲，理想状态改造后，整个模拟区域的热环境品质总体有所下降，在保留中央绿地的模拟 2 中，PET 大于 35℃的栅格数占比最低，为 16.36%，所以总体热环境品质相对最好，比现状热环境有所提升。

从栅格分布来看：从模拟 1 和模拟 2 中，热舒适较差的区域集中在中心绿地东北侧街区以及上海国金中心周边。模拟 3 中，改造中心绿地后形成的街区部分，热舒适也较差。模拟 1 和模拟 2 中，热舒适较好的区域集中在中心绿地的林地和草地部分，以及部分高层建筑的东北角附近。模拟 3 中，中心绿地部分的热舒适性变差，原来热舒适较好的高层建筑底部相对也保持了较好的热舒适。

原因分析：热舒适较差的区域在夏季正午容易暴露在日照之中，热舒适较好的区域由于有大量来自植物和建筑的遮挡，使得反应热环境品质的 PET 值即使在夏季正午，也不至于超过 35℃的过热标准。

5.3 基于空间元素的对比分析

在整体分析之后，还需要对不同的空间元素进行对比分析，在建模中，除建筑以外的户外空间，根据材质主要分为三大类：车行道路，步行铺地，以及绿色植物。绿色植物有相当一部分为高大的乔木和贴地的草坪，也是人可以活动的区域，所以综合考虑后，将空间元素分为车行系统和步行系统两大类。三个模拟方案的车行系统都保留了现状车行道，只有增加，没有减少。步行系统的范围是根据实际情况进行提取的。陆家嘴中心绿地和金茂大厦、上海中心大厦、上海环球金融中心三座超高层所在的街区为两个重要节点，需要专门进行分析。其中，陆家嘴中心绿地的分析中也包括总体和步行系统。

三次模拟的具体分类、分布范围及所占格数统计，如图 5.8 所示。需要注意的是，这三个维度的研究范围在三个模拟方案中是不一样的，所以相比于研究热环境参数 PET 的绝对值，研究相对占比具有更重要的意义。

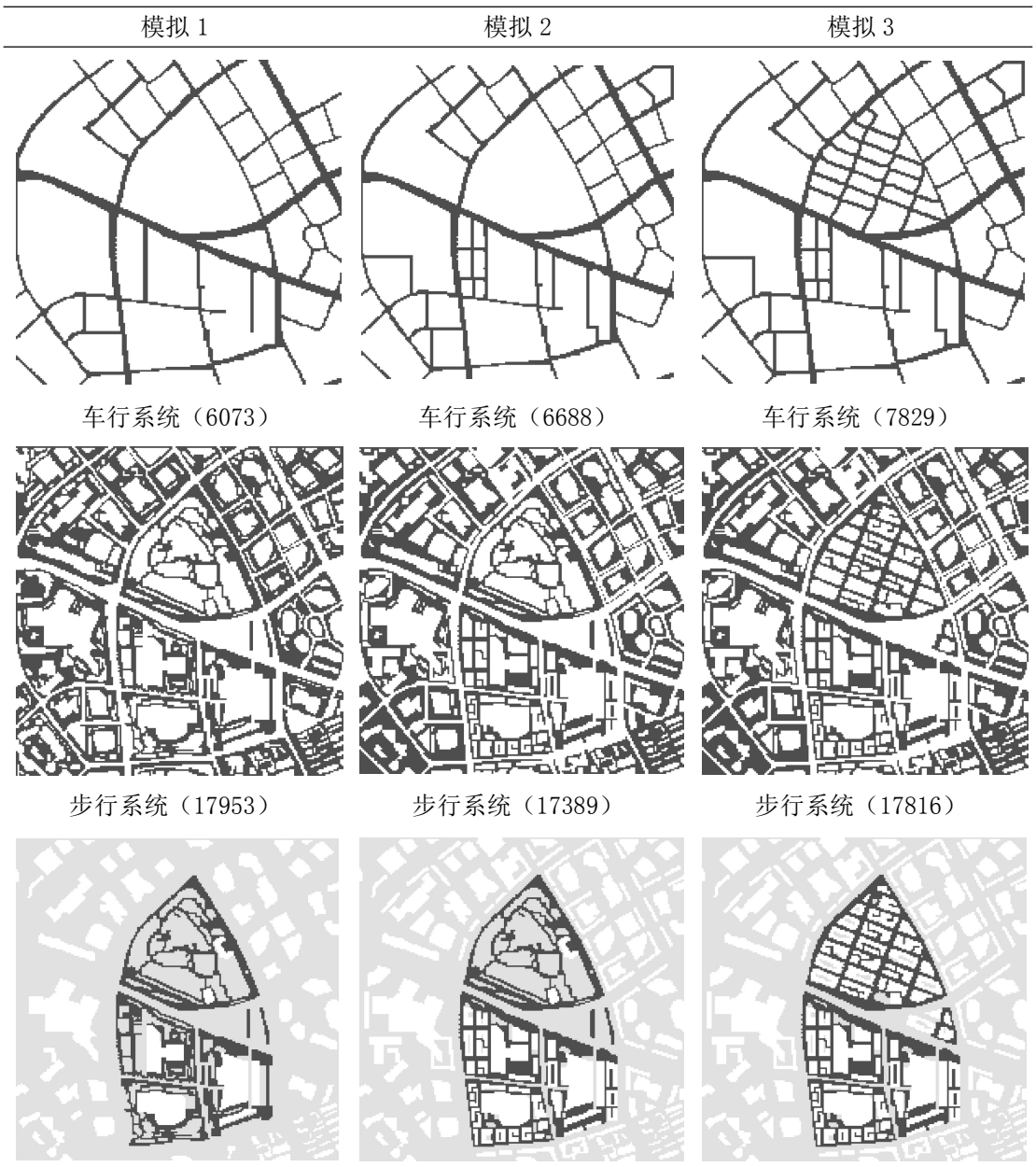


图 5.8 空间元素分析范围图

5.3.1 车行系统

本研究重点关注的是步行空间，但是模拟结果包括车行空间的数据，作为研究的完整性来讲，也需要分析。模拟 2 和模拟 3 都保留了原有的车行系统，还增加了新的车行道路，丰富了车行网络。所有分析都以 13:00 至 15:00 的平均 PET 值作为基础数据，数据统计如表 5.3 所示，栅格分布如图 5.9 所示。

表 5.3 车行区域 PET 值统计表

模拟方案	车行区域总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	6073	1266	20.84 %
模拟 2	6688	1281	19.15 %
模拟 3	7829	1833	23.41 %

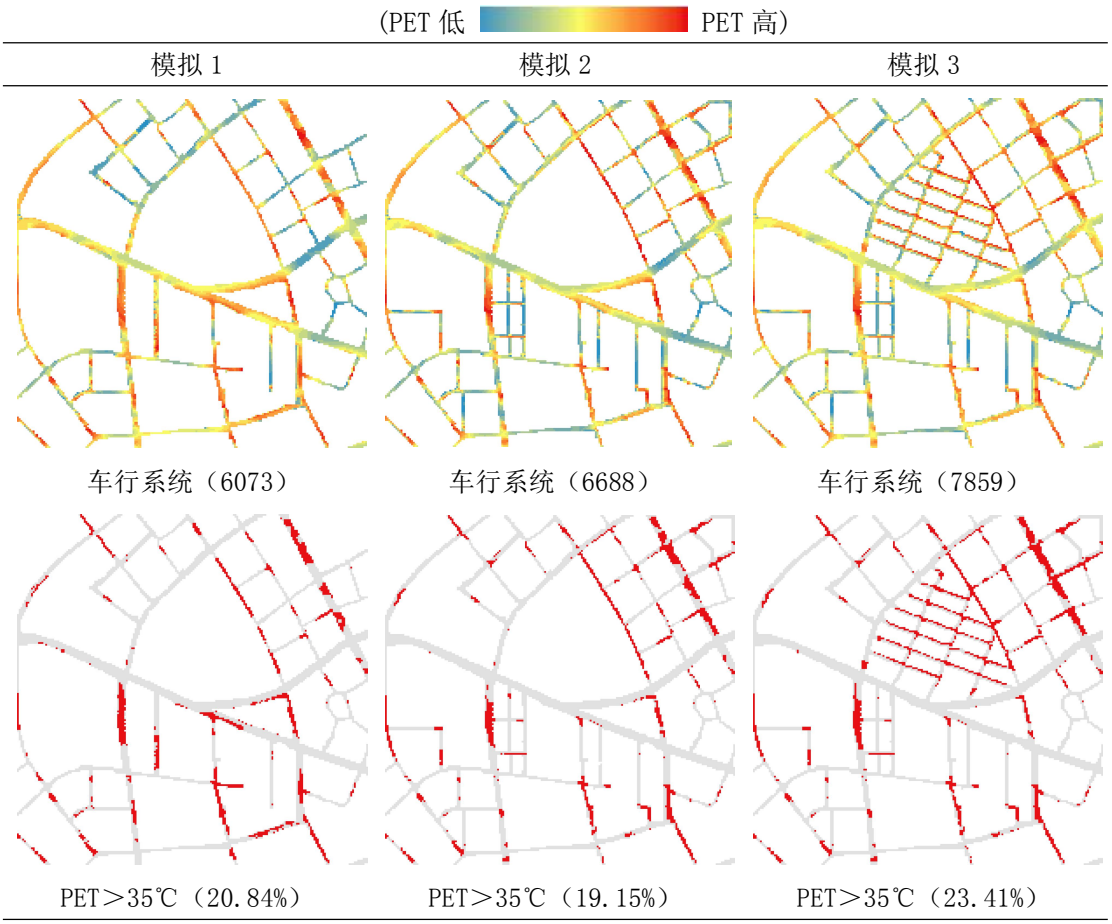


图 5.9 车行系统 PET 空间分布图

从上述图表中可总结出如下结论：

从数据统计来看：虽然绝对值上模拟 1 中 PET 大于 35℃的格数最少，但是因为模拟 2 和模拟 3 的总格数增加了，所以从相对值来讲，模拟 2 的车行系统 PET 大于 35℃的占比最小，为 19.15%，热舒适性最好；模拟 3 的车行系统 PET 大于 35℃的占比最大，为 23.41%，热舒适性最差。

从栅格分布来看：

1、不同性质的街道热舒适状况不同，模拟前后的变化也不同。在三个方案中，世纪大道、银城中路（世纪大道北侧路段），陆家嘴东路等部分路段热舒适较好；陆家嘴环路，浦东南路，银城中路（世纪大道南侧路段）等部分路段热舒

适较差。世纪大道在改造前后热舒适变化不大，其北侧车行路网的 PET 值略有上升，南侧路网的 PET 值略有下降。

原因分析：路网温度的变化不均匀，可能与路网的密度和宽度有关系。世纪大道因为道路很宽，笔直且贯通，所以受周边建筑的影响变化不大，与它所处的区域和连通方向有很大关系。而北侧道路路网密度大，增加建筑以后温度波动相对较大。

2、在小陆家嘴地区，原始道路的 PET 值在不同朝向上的差别不大，新加车行道的南北向热环境优于东西向。

原因分析：陆家嘴原始道路系统的方向性不确定，很多道路方向处在不断变化之中，而且道路较宽，每条道路的周围环境各不相同。高层点式建筑不能形成连续的阴影界面，所以街道热环境受方向的影响不大，而受宽度与周边建筑形态的影响较大。新加道路主要分布在原陆家嘴中心绿地内部，且方向固定，道路宽度较窄。南北向道路的热环境优于东西向道路可能跟日照方向和太阳高度角有密切关系，因为沿街建筑高度不高，所以东西向道路的一部分始终处于太阳直射之下，容易热辐射过大，导致在夏季最热时段的热舒适下降。

5.3.2 步行系统

陆家嘴步行系统的范围在改造前后发生了较大的变化，无法在同一底图上进行比较，所以分为模拟 1，模拟 2 和模拟 3 三个底图进行分析。经过改造后，步行系统本身发生了变化，改造后的步行路径增多，可选择性也增强了。仅关注步行系统，数据统计如表 5.4 所示，栅格分布如图 5.10 所示。

表 5.4 步行区域 PET 值统计表

模拟方案	步行区域总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	17953	3836	21.37%
模拟 2	17389	3154	18.14%
模拟 3	17816	3542	19.88%

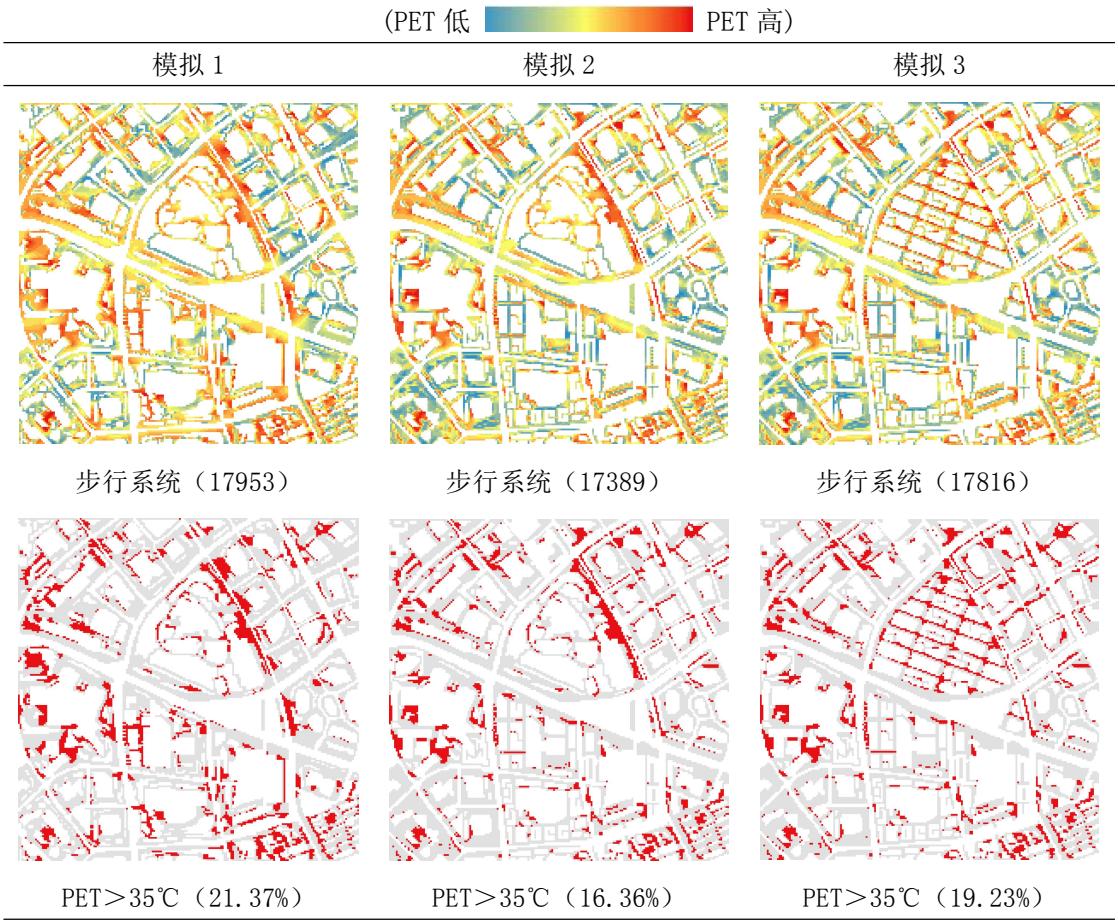


图 5.10 步行系统 PET 空间分布图

从上述图表中可总结出如下结论：

从数据统计来看：PET 大于 35℃的格数无论是绝对值还是相对占比，都是模拟 2 的最小，其中相对占比为 18.14%，所以模拟 2 的步行系统热环境最好。

从栅格分布来看：

1、模拟 1 中，步行系统热环境较好的区域主要分布在中心绿地西南侧，上海证券大厦所在街区，模拟 2 和模拟 3 中，步行系统热环境较好的区域也包括三栋超高层所在的核心街区。

原因分析：增加低层高密度建筑后，人行高度的热环境分布受到了影响，原有热环境较好的区域相对依旧比较好，原有热环境较差的区域有些也通过城市形态的改变而得到优化。

2、改造后的中心绿地，步行系统的热环境品质没有提高，反而下降。

原因分析：原有步行系统处在植被较多的树林草地之中，热环境相对较好，改造后，将中心绿地的属性改变了，热环境自然会发生较大变化，这样的比较其实有一些问题，因为绿地是否算作城市环境，还有待讨论。

5.3.3 重点地块

在步行系统中，还有两个重要的节点，一个是陆家嘴中心绿地，一个是金茂大厦、上海中心大厦、上海环球金融中心三座超高层所在的街区，这两个节点在改造设计中形态变化最大。陆家嘴中心绿地是小陆家嘴地区唯一的大型集中绿地，三栋超高层所在的街区因为街区面积大，从街区边缘到高层建筑附近，有较深的深度增加低层高密度建筑，再加上这两个节点也处于建模的中心位置，模拟准确度要高于周边地区，所以需要做专项研究，重点关注的主要也是步行环境。

核心街区地块热环境对比：

仅关注核心街区，数值统计如表 5.5 所示，栅格分布如图 5.11 所示。

表 5.5 三个核心街区 PET 值统计表

模拟方案	核心街区总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	2768	651	23.52%
模拟 2	2779	345	12.41%
模拟 3	2779	331	11.91%

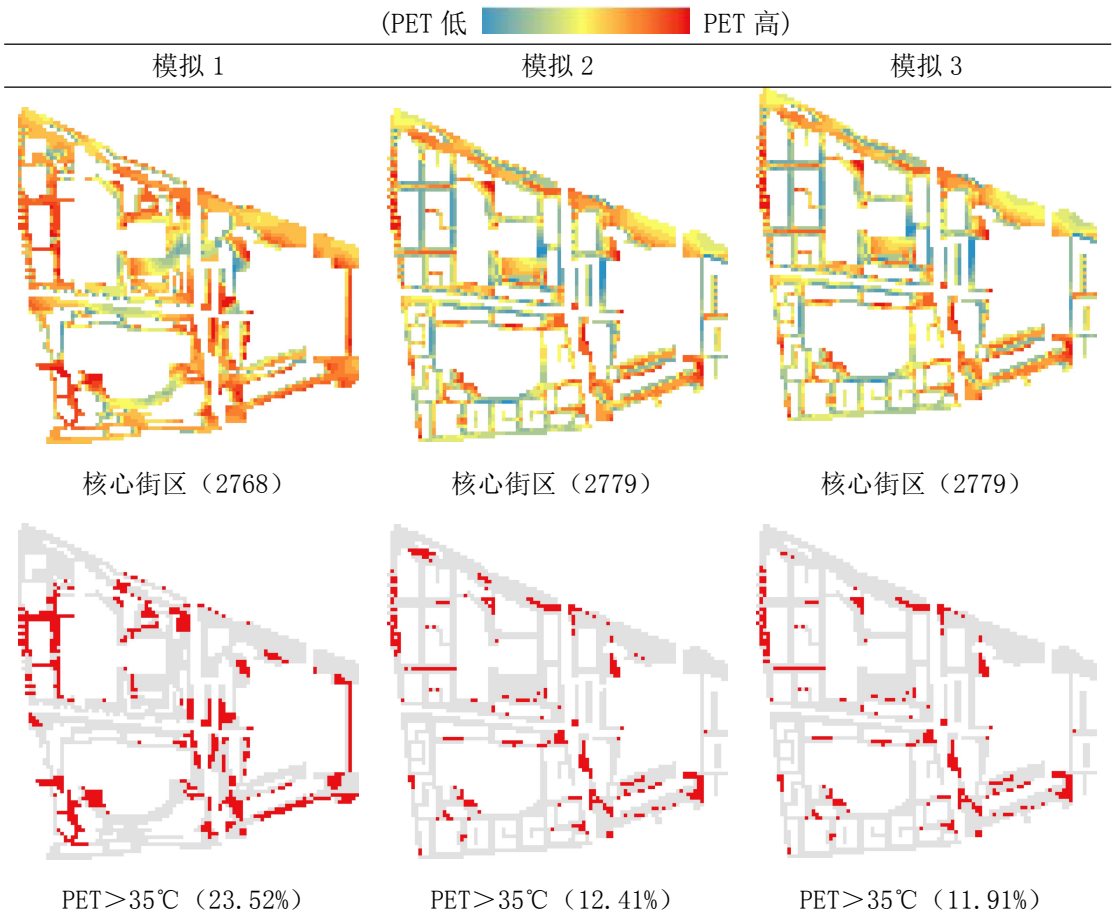


图 5.11 核心街区 PET 空间分布图

从上述图表中可总结出如下结论：

从数据统计来看：这三个街区在增加了低层高密度建筑以后，街区内部步行系统的热舒适性得到了明显提高，而且模拟 2 和模拟 3 的 PET 大于 35℃的栅格数的绝对值和相对值都相较于模拟 1 降低了近一半，远远大于整个步行系统的降低程度，说明这个街区在增加低层高密度建筑以后，热环境的改善要高于平均水平。

从栅格分布来看：

1、模拟 1 中，步行系统热舒适较差的区域集中在高层建筑的西南方向，模拟 2 和模拟 3 中，步行系统热舒适较差的区域集中在紧邻道路的部分，街区内部的热舒适要优于沿街部分。

原因分析：这也和日照较大关系，模拟 1 的街区周边无建筑遮挡，13:00 至 15:00 时段范围内，西南方向受到太阳的辐射较强，所以热舒适较差。当增加了一定量的低层高密度建筑后，有了建筑遮挡，街区内部步行系统的热环境得到了改善，沿街部分因为暴露在太阳辐射中，所以热环境相对就会较差。

2、虽然核心街区的面积不大，但是模拟 2 和模拟 3 的内部道路方向性比较明确，南北向步行系统的热舒适性要优于东西向。

原因分析：主要还是跟日照方向和太阳高度角有关。

中心绿地热环境对比：

中心绿地的研究较为复杂，一方面要比较中心绿地的全部范围，另一方面需要单独对步行系统进行比较。对比模拟 2 和模拟 2 可以研究周围建筑密度增加后对绿地的影响，对比模拟 2 和模拟 3 可以研究将绿地改为以行列式低层高密度建筑为主的街区后，自身热舒适性的改变。除了比较绿地本身，还需要对三个模拟方案中，去除绿地的其他范围进行比较，以探究绿地的存在对于周边环境的影响。

考虑中心绿地的全部范围，数据统计如表 5.6 所示，栅格分布如图 5.12 所示；仅关注中心绿地的步行系统，数据统计如表 5.7 所示，栅格分布如图 5.13 所示。

表 5.6 中心绿地全部区域 PET 值统计表

模拟方案	中心绿地区域总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	4828	687	14.23%
模拟 2	4828	662	13.71%
模拟 3	2822	777	27.53%

表 5.7 中心绿地步行范围 PET 值统计表

模拟方案	中心绿地步行总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	1919	467	24.34%
模拟 2	1919	487	25.38%
模拟 3	2361	696	29.48%

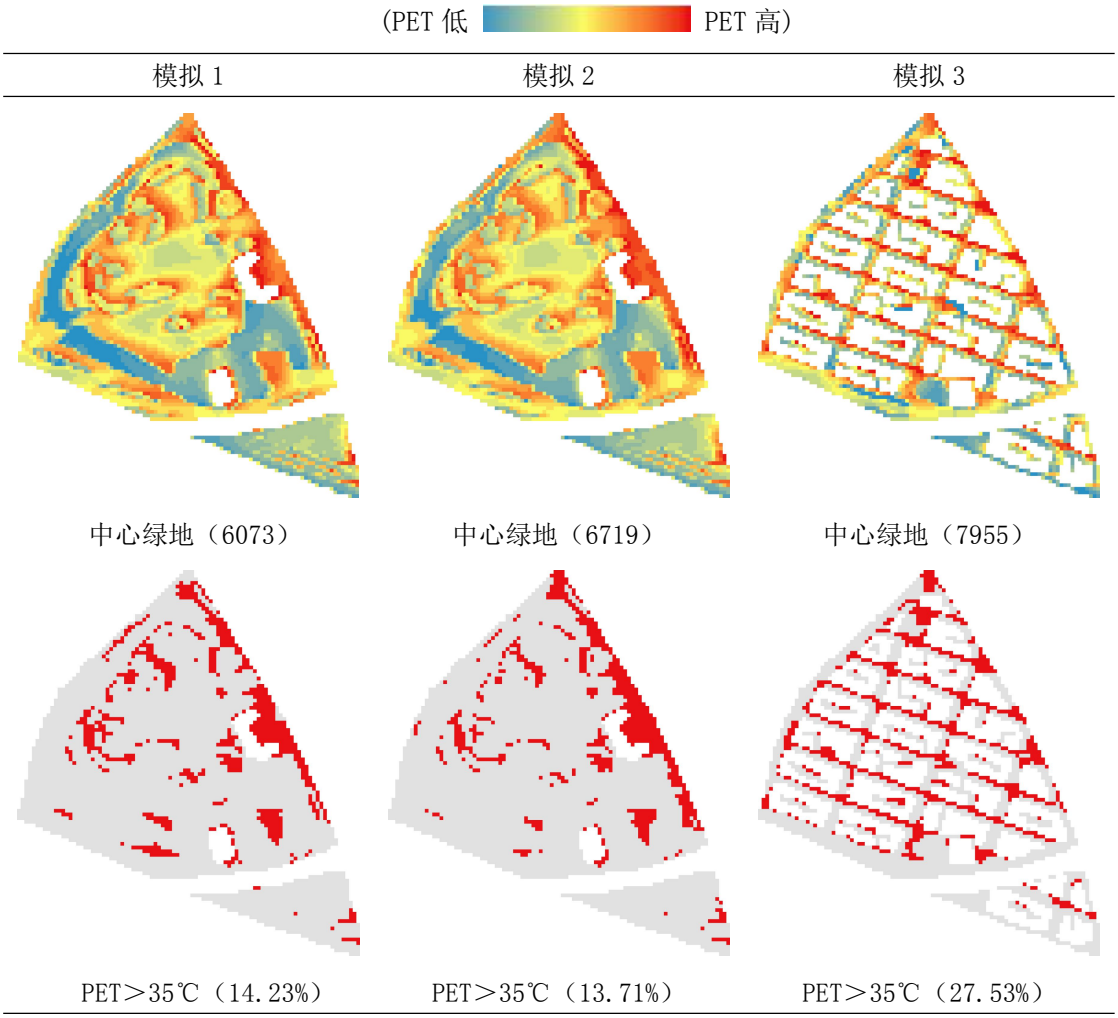


图 5.12 中心绿地全部范围 PET 空间分布图

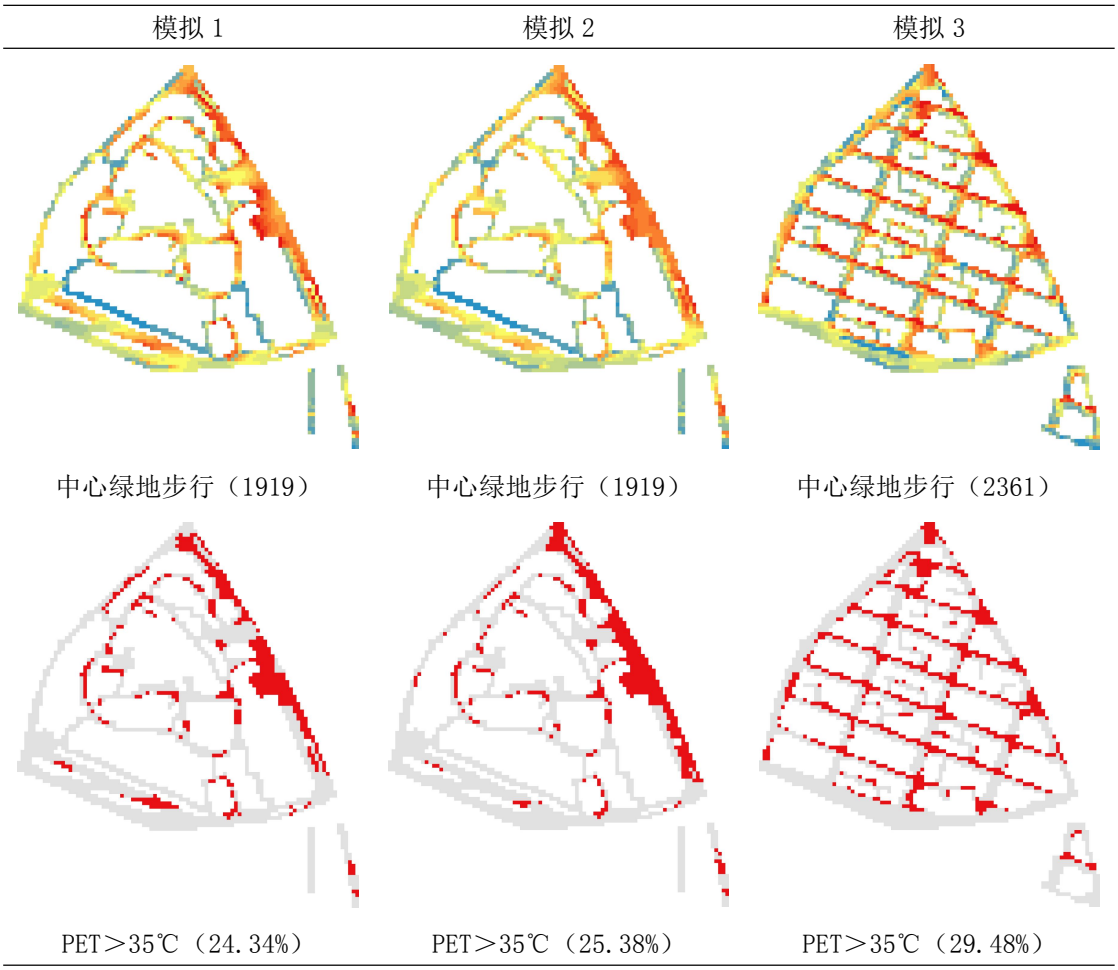


图 5.13 中心绿地步行系统 PET 空间分布图

从上述图表中可总结出如下结论：

从数据统计来看：考虑全部中心绿地范围，对比模拟 1 和模拟 2，热舒适变化不大，对比模拟 2 和模拟 3，热舒适下降显著。所以总体来讲，将中心绿地改为低层高密度建筑群后，热环境变差了。仅从中心绿地中的步行范围来看，模拟 1 和模拟 2 变化不大，模拟 3 略有下降，所以单看步行系统，新城更新后中心绿地的热环境也变差了。

原因分析：下降的原因在于大量绿色植物被移除，这一比较还存在质疑，主要是因为树林绿地的热环境本身就会比城市环境要更优，是否可以跟城市环境放在同一维度上进行比较还需要斟酌。步行系统热舒适变差的程度没有整体那么明显，但是步行环境的热舒适还是受到整体环境的较大影响。当步行系统周围更偏向于自然环境时，其热舒适还是要优于以建筑为主的人工环境。

从栅格分布来看：模拟 1 和模拟 2 中，中心绿地的 PET 值，南侧和西侧热舒适较好，东北侧热舒适较差。

原因分析：一方面跟绿地本身的布局有关，南侧与西侧有大量的林木，所以热舒适较好，东北侧主要为硬质铺地，受太阳辐射影响，热舒适较差，另一方面也受周边环境的影响，因为整个模拟范围内都是东北方向区域的热舒适较差，所以中心绿地靠近东北部分的热环境也相对较差。

对比模拟 2 和模拟 3 中除了中心绿地之外的其他区域（包括车行系统），数据统计如表 5.8 所示，栅格分布如图 5.14 所示。

表 5.8 中心绿地之外的步行范围 PET 值统计表

模拟方案	中心绿地步行总格数	PET>35℃的格数	占比
模拟 1	27227	4855	17.83%
模拟 2	23049	3900	16.92%
模拟 3	23051	4199	19.22%

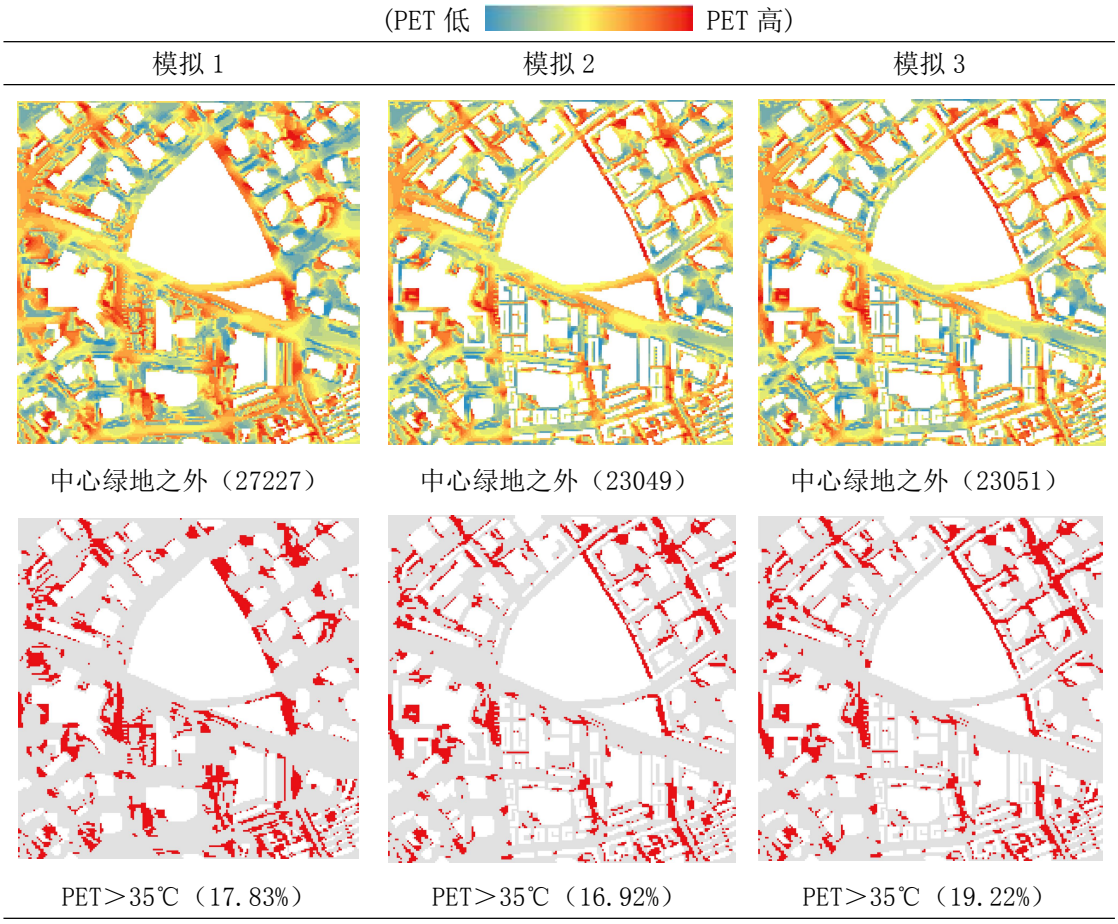


图 5.14 除中心绿地外 PET 空间分布图

从统计数据来看：模拟 2 的热环境最佳。比较模拟 1 和模拟 2 可知，中心绿地不变，周围增加低层高密度建筑后，绿地周边环境的热舒适得到提升；对比模拟 2 和模拟 3 可知，周边环境相同的情况下，有中心绿地部分的热舒适性更好，所以在高密度的建筑环境中，中心绿地有助于改善周围环境的热舒适。

从栅格分布来看：比较模拟 2 和模拟 3，可以看出中心绿地有助于提高周围的热环境品质。从局部来看，绿地变化对于东北方向的影响最大，当中心绿地变为低层高密度住宅以后，紧邻绿地的东北方向街道热舒适性提高了，但是东北方向的几个街区热舒适性却下降了。

原因分析：由于世纪大道的隔离，中心绿地对于东北方向的影响要大于对西南方向的影响。紧邻绿地的道路由于建筑遮挡而热辐射减小，东北方向的几个街区由于周边绿色植物的减少而热环境变差。

5.3 热环境与天空开阔度关系的探究

前面的数据分析只对比模拟结果，原因分析都带有一定程度的猜想和推测，并未探究这些结果是由什么原因导致的。但是从一般性的科学原理来说，城市热环境一定受到各种各样的城市形态的影响，包括建筑的高度、界面的连续性以及有没有树木等等，这些因素可以被综合为一个形态要素，就是天空开阔度，也叫天空可见因子。虽然热环境与天空开阔度的关系不是本文的研究重点，也值得分析一下。

从文献阅读可知，城市内部热条件和超高温指标的差异强度强烈地依赖于天空开阔度（sky view factor）SVF、建成率和绿地率[36]（Oke,1980）。所以有必要进一步探究热舒适与天空开阔度的关系。球面 SVF 的计算基于每个方位角 α（经常定位为 1°）的水平区域和障碍物高度之间的角度 β，其计算公式为式 5.1 所示：

$$\mathrm{SVF} = 1 - \sum_{i=1}^{n} \sin^2 \beta_i \left(\frac{\alpha_i}{360^\circ} \right) \tag{5.1}$$

SVF 是一个介于 0（完全看不见天空）和 1（自由半球）之间的无量纲参数，表示给定位置的几何比，即天空占据的上半球部分[37]（Johnson & Watson,1984;

[36] Oke T R. Climatic impacts of urbanization[M]//Interactions of energy and climate. Springer, Dordrecht, 1980: 339-361.

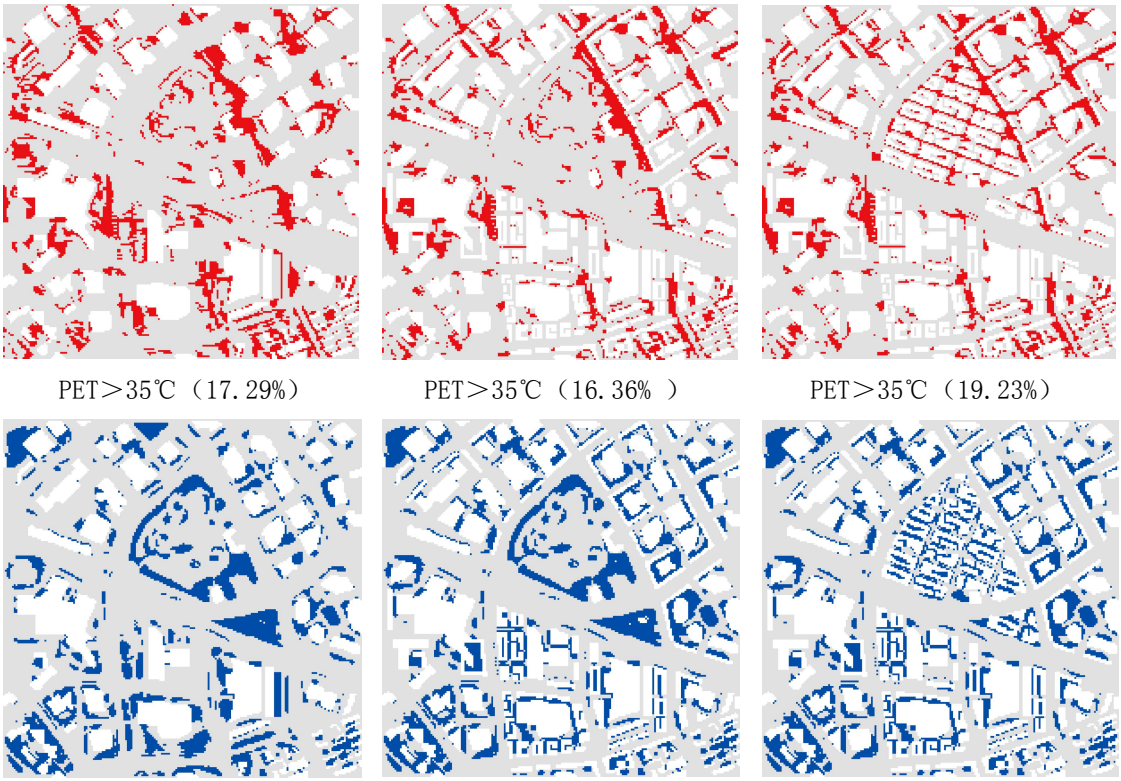
[37] Watson I D, Johnson G T. Graphical estimation of sky view - factors in urban environments[J]. Journal of

Steyn, 1980）。天空可见因子考虑了地形、建筑物和植被。[38]

在 Envi-met 软件中，可以根据模型直接得到 SVF，如表 5.9 所示。在 Leonado 插件中可视化以后导出至 ArcGIS，与 PET 值进行整合分析。三个方案中，PET 值大于 35℃的栅格分布，天空可见度小于 0.15 的栅格分布，以及二者的重合区域分布如图 5.15 所示（红色为 PET 值超过 35℃，即热或过热状态的分布；蓝色为 SVF 值小于 0.15，即建筑相互遮挡较强的区域，黑色点为同时满足 PET 大于 35℃和 SVF 小于 0.15 的栅格）。

表 5.9 PET 与 SVF

模拟方案	PET>35℃的占比	SVF＜0.15 的占比	重合率
模拟 1	17.29%	18.72%	0.65%
模拟 2	16.36%	25.00%	1.28%
模拟 3	19.23%	26.23%	2.51%



Climatology, 1987, 7(2): 193-197.

[38] Ketterer C, Matzarakis A. Mapping the Physiologically Equivalent Temperature in urban areas using artificial neural network[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 150: 1-9.

重合率 0.65%　　重合率 1.28%　　重合率 2.51%

图 5.15 热舒适与天空开阔度对比图

从统计数据来看：将三个方案的 SVF 指标与 PET 值进行比对，可以发现 PET 值大于 35℃的区域与 SVF 小于 0.15 的区域重合率极低，说明城市形态对夏季室外热环境有一定的影响，天空可见度偏小的地方，夏季正午的热舒适性往往较好。

原因分析：天空可见度小有两种原因，一种是种植大量乔木，使得人行高度的天空可见度降低，树冠对热辐射的水平遮挡较强，树木的蒸腾作用也会带走周围空气中不少的热量。另一种是建筑密度大，道路狭窄，建筑墙体对热辐射的侧面遮挡比较强，局部小气候特征得到充分展现。

从栅格分布来看：热舒适较差的区域分布有一定的规律，大部分分布在高层建筑西南侧的空旷地带。在图中，较宽的车行道路部分尤其是世纪大道不符合这个规律，其天空可见度较高，但是热舒适也相对较好。

原因分析：猜测这一方面是受到风环境的影响，笔直宽阔的道路风速较大，而且世纪大道垂直黄浦江，江风有降温作用，另一方面是由于陆家嘴核心区的建筑以点状高层或超高层为主，投影可覆盖到较远的区域，所以在车行道上，虽然可见度较高，但是也会受到高层和超高层建筑的阴影遮挡。

进一步用 SPSS 软件对步行系统的 PET 和 SVF 的相关性进行计算，两者的相关性分析如表 5.10 所示。可以发现相关性指数为 0.275，在 0.2 至 0.4 之间，呈现弱相关。两者的散点分布如图 5.16 所示，可以发现，当 SVF 指数低于 0.15 时，PET 值主要分布在 30℃至 33℃之间，热舒适较好。当 SVF 指数升高到 0.15 至 0.5 的范围时，PET 值有增大的趋势，当 SVF 指数超过 0.5 之后，PET 值又整体有所降低。之所以呈现弱相关，可能是因为热舒适受到众多不同因素的影响，是一个综合的热舒适指标，而 SVF 主要影响的是热辐射，在夏季虽然热辐射对热环境有非常重要的影响，但也不能忽略其他因素。

表 5.10 模拟 2 中步行范围 PET 与 SVF 相关性分析

		PET	SVF
PET	相关性	1	0.275
	显著性		0.000
	样本量	17389	17389
SVF	相关性	0.275	1
	显著性	0.000	
	样本量	17389	17389

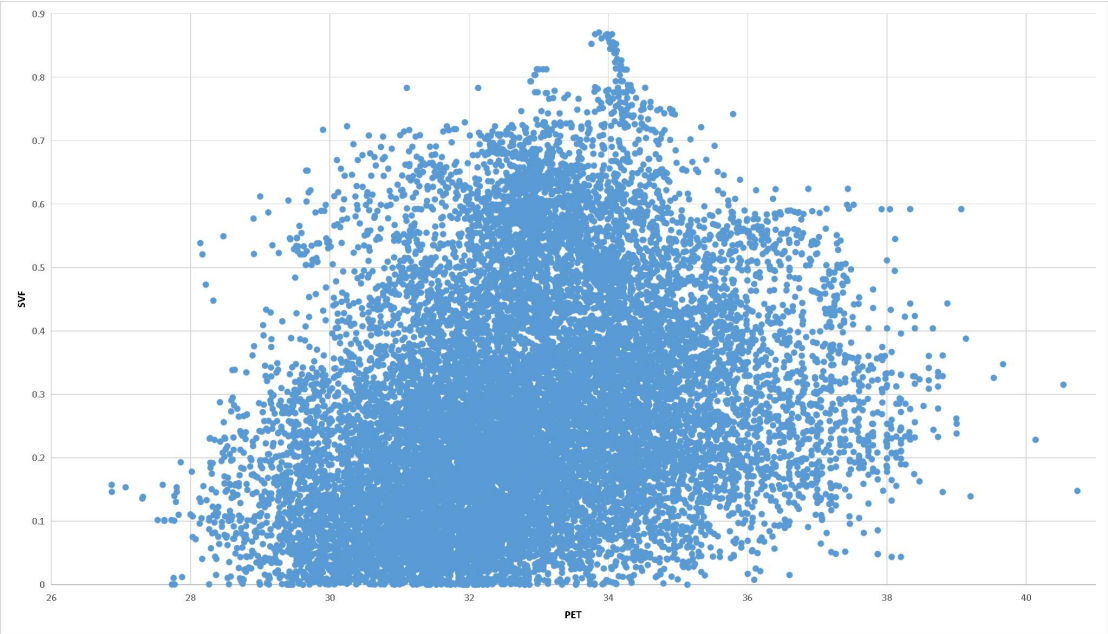


图 5.16 模拟 2 中步行范围 PET 与 SVF 相关关系散点图

本章图纸众多，基本都以对比表格的形式出现，图纸比较小，分辨率也不高，所以，本章所有结果的高清图纸都在附录 C 中再次汇编。

第 6 章 结论、反思与展望

6.1 结论

本文的研究通过对陆家嘴核心区室外现状与更新方案热环境模拟数据的定性与定量分析，取得了一些初步结论，现总结如下：

6.1.1 研究结果

1、仅从数值大小上评价三个模拟方案的热环境，无论是从总体空间上、总体时间上还是典型时间段，差别都不大，但是在空间分布上有差别。可以认为新城更新中，以增加低层高密度建筑为主要手段的设计方法，对整体热环境影响不大，但是对改善局部微环境有积极的作用。

原因推论：整体热环境受到更大范围的城市状态的影响，所以在大环境保持不变的同时，整体热环境也会相对稳定。但是局部空间的热环境会受到周边城市形态的影响，改变局部的城市形态，就可以改变局部的城市热环境。

2、从整体空间和步行系统来看，增加低层高密度建筑的同时保留绿地的新城更新方案，对于热环境的改善效果最好。集中绿地对于提升自身和周边区域的热环境品质都有积极的作用。

原因推论：增加低层高密度建筑以后，界面变化了，街峡空间也变化了。建筑之间的相互遮挡减少了太阳的直接辐射，改善了热环境。虽然大面积的集中绿地受到一些城市设计师的质疑，但是从热环境改善的角度来讲，还是有必要保留面积较大的绿地。

3、天空可见度较小的区域，夏季正午的热环境品质往往越好。此结论在步行系统部分较为明显，在车行系统部分较弱。

原因推论：天空可见度小有两种原因，一种是种植大量乔木，使得人行高度的天空可见度降低，树冠对热辐射的水平遮挡较强，树木的蒸腾作用也会带走周围环境的空气中不少的热量。另一种是建筑密度大，道路狭窄，建筑墙体对热辐射的侧面遮挡比较强。

4、以组团形式组织低层高密度街区，比仅仅增加单排沿街建筑更有利于改善步行系统的热环境。且街区内部步行系统的热舒适性要优于沿街部分，南北向步行系统的热舒适要优于东西向。

原因推论：这也和日照较大关系，街区周边无建筑遮挡时，西南方向受到太阳的辐射较强，所以热舒适较差。当增加了一定量的低层高密度建筑后，有了建

筑遮挡，街区内部步行系统的热环境得到了改善，沿街部分暴露在太阳辐射中，所以热环境相对就会较差。

6.1.2 研究方法

本次研究不仅得到了一些关于陆家嘴核心区热环境定性与定量的研究结论，也探索了一套基于 Envi-met 与 ArcGIS 软件的热环境研究方法。对于一个区域的热环境研究，既要考虑总体，也要探究局部关键要素，因为总体有时候往往体现不出差异性。既可以通过数据统计进行精确的定量研究，也可以通过空间分布进行有依据的定性研究，再辅助以一定的推论与探究。

从具体操作上来讲，研究通过实测气候数据，再结合气象站的数据矫正软件模拟的原始参数，然后在同一条件下进行多方案模拟，用 Envi-met 模拟出的气候数据直接计算出热环境评价的常用参数（如 PMV,PET，UTCI 等），最后将热环境评价参数导入 ArcGIS 平台，以栅格为单位进行量化统计和比较，还可以通过 SPSS 软件，进一步探究数据之间的相关关系，具体的研究方法如图 6.1 所示。

。

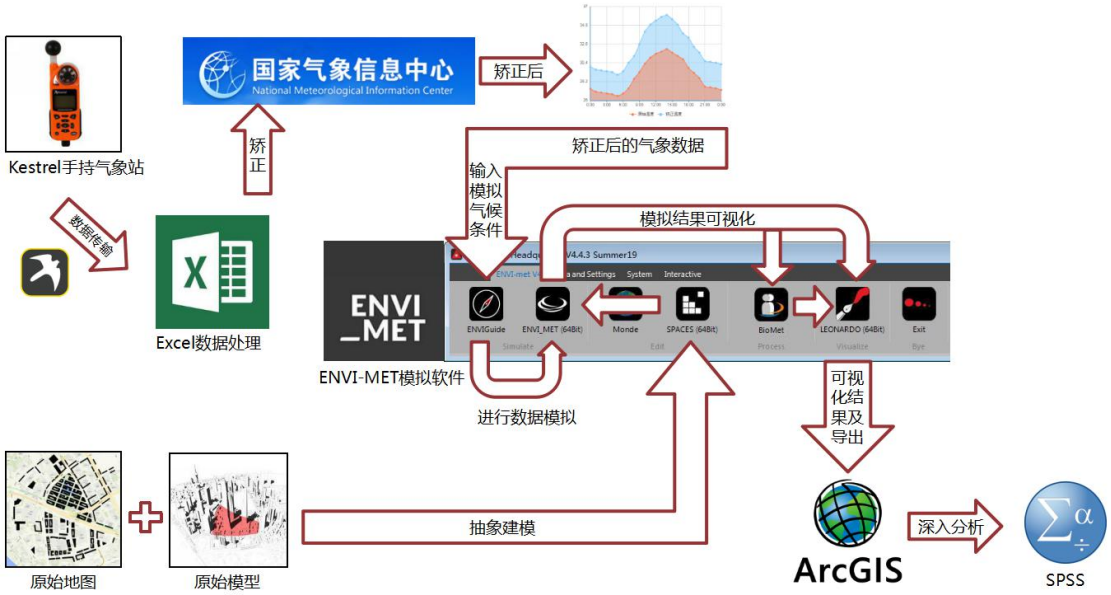


图 6.1 具体研究方法示意图（作者自绘）

6.2 反思与展望

本文的研究虽然取得了初步的成功，但依然还有许多值得进一步深入研究的工作，这里择其要者简要讨论如下。

1、研究时间段较短：虽然仅仅模拟分析夏季某典型日 12 个小时的热环境数据，足以发现一些差异性，但是没有考虑其他季节，其他日期的热环境状况。上海一年四季的气候变化较大，也许换一个时段规律就变了。所以还应该对其他季节的微气候进行模拟测试，同时加强每一次模拟的天数，才能更完整地反应以“增加低层高密度建筑”为主要策略的新城更新方法对于城市微环境在不同时间的影响。

2、模拟范围较小：考虑到模型计算的时间和复杂程度，最终的模拟范围较最初的设想略有缩小，高度也进行了压，。这在一定程度上提高了模拟速度，但是也会导致数据的准确性下降。同时模拟范围减小，也会导致可比较的点变少，研究证据变少，结论的可靠性下降。

3、没有进行控制变量的专项研究：因为三个模型是根据陆家嘴核心区的实际情况所建，相对比较复杂，所以很多结论的总结缺少控制变量的专项研究。如果要进一步对所发现的结论进行验证，还需要建立简化后的控制变量的模型，进行反复测试。

4、对模拟的误差考虑较少：在对于模拟结果进行分析评估时，PET 值的差异都相对较小，有些都在 1℃左右，很难确定是真的由于环境变化导致的微气候的热舒适变化，还是因为模拟误差导致的微环境热舒适性的变化。论文中所有结论都是建立在认为模拟绝对准确的基础上进行的，还需要进一步的验证。

5、缺少现状模拟结果验证环节：在大量的文献阅读中发现，Envi-met 软件模拟结果与实测数据的相关性已得到国内外学者的广泛证实[39]，又因为本文研究的重点在于比较三个用 Envi-met 模拟的方案之间的相对变化关系，所以我省略了验证环节，但从更加严谨的角度来看，还是应该自己重新加以验证。

6、可结合人的行为规律或其他评价城市品质的要素分析热环境：目前只针对空间形态本身做了热舒适的分析，如果可以调研出现状条件下人的行为规律以及预测空间改变后人的行为的变化，就可以进一步结合人的分布规律及行为规律研究空间的热舒适，进而研究热舒适较好的区域与人活动频繁的区域是否匹配等问题。同时，空间形态的变化不仅带来了热环境的变化，还有诸如功能配置，活动场所等一系列城市品质的变化。如果能将热环境与其他城市品质的衡量指标结合在一起，就可以更加全面评估新城更新所能带来的综合效应的提高。

[39] 杨阳, 唐晓岚, 吉倩妘, 等. 基于 ENVI-met 模拟的南京典型历史街区微气候数值分析[J]. 苏州科技大学学报 (工程技术版), 2018 (3): 6.

参考文献

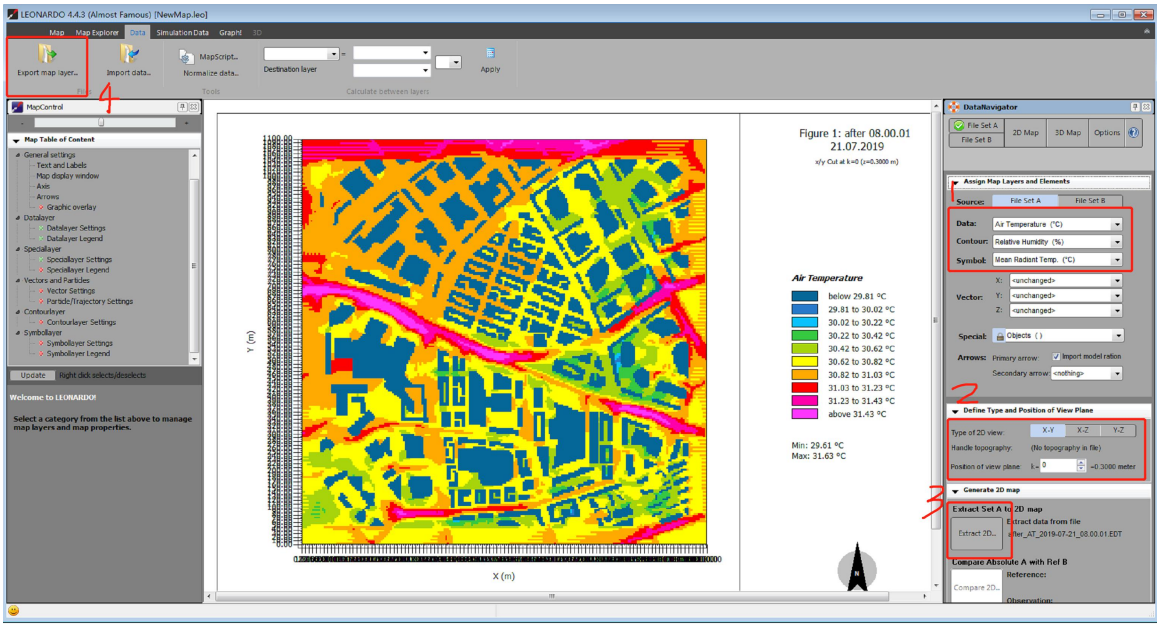
[1] 孙施文. 城市中心与城市公共空间——上海浦东陆家嘴地区建设的规划评论[J]. 城市规划, 2006, 30(8): 66-74.
[2] 刘晓星, 陈易. 对陆家嘴中心区城市空间演变趋势的若干思考[J]. 城市规划学刊, 2012 (2012 年 03): 102-110.
[3] 桂家友. 浦东城市化模式分析与转型路径[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2011, 11(6): 80-86.
[4] 蔡永洁, 许凯, 张溱, 等. 新城改造中的城市细胞修补术——陆家嘴再城市化的教学实验[J]. 城市设计, 2018, 1(015): 64-73.
[5] 李贞. 基于 GIS 的陆家嘴公共文化设施空间布局及优化研究[J]. 上海城市规划, 2016 (6): 51-56.
[6] 刘蔚巍, 邓启红, 连之伟. 室外环境人体热舒适评价[J]. 制冷技术, 2012 (1).
[7] Wang Y, de Groot R, Bakker F, et al. Thermal comfort in urban green spaces: a survey on a Dutch university campus[J]. International journal of biometeorology, 2017, 61(1): 87-101.
[8] Galindo T, Hermida M A. Effects of thermophysiological and non-thermal factors on outdoor thermal perceptions: The Tomebamba Riverbanks case[J]. Building and Environment, 2018, 138: 235-249.
[9] Ahmed K S. Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments[J]. Energy and Buildings, 2003, 35(1): 103-110.
[10] 孙欣,杨俊宴,温珊珊.基于 ENVI-met 模拟的城市中心区空间形态与热环境研究--以南京新街口为例[C].//中国城市规划学会.2016 中国城市规划年会论文集.2016:1-16.
[11] Taleghani M, Kleerekoper L, Tenpierik M, et al. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands[J]. Building and environment, 2015, 83: 65-78.
[12] 史源, 任超, 吴恩融. 基于室外风环境与热舒适度的城市设计改进策略——以北京西单商业街为例[J]. 城市规划学刊, 2012 (2012 年 05): 92-98.
[13] 王一, 栾沛君. 室外公共空间夏季热舒适性评价研究——以上海当代大中型住宅区为例[J]. 住宅科技, 2016 (11): 52-57.
[14] 马舰,陈丹.城市微气候仿真软件 ENVl-met 的应用[J].绿色建筑,2013,(5):56-58.
[15] 曾煜朗. 步行街道微气候舒适度与使用状况研究[D]. 西南交通大学, 2014.
[16] 著者王振. 绿色城市街区:基于城市微气候的街区层峡设计研究[M]. 东南大学出版社, 2010.
[17] Szokolay S V. Environmental science handbook for architects and builders[M]. Construction Press, 1980.
[18] Oke, T. R. (1984). Methods in urban climatology. Applied Climatology, 14, 19-29.
[19] 吴志丰,陈利顶.热舒适度评价与城市热环境研究:现状、特点与展望[J].生态学杂

志,2016,35(5):1364-1371.
[20] Ansi/Ashrae Stan dard 55-1992. Thermal environmental conditions for human occupancy
[21] Fanger P O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering[J]. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering., 1970.
[22] 朱颖心.建筑环境学[M].中国建筑工业出版社,2010.
[23] Steadman R G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science[J]. Journal of applied meteorology, 1979, 18(7): 861-873.
[24] 于付涛, 狄育慧. 城市户外热环境指标评价[J]. 洁净与空调技术, 2011, 4: 26-30.
[25] Havenith G. Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response[J]. Journal of Applied Physiology, 2001, 90(5): 1943-1954.
[26] Fanger P O. moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort[J]. ISO 7730, 1984.
[27] Chen L, Ng E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade[J]. Cities, 2012, 29(2): 118-125.
[28] Bruse M. ENVI-met 3.0: updated model overview[J]. University of Bochum. Retrieved from: www. envi-met. com, 2004.
[29] 徐伟, 杨涵洧, 张仕鹏, 等. 上海城市热岛的变化特征[J]. 热带气象学报, 2018, 34(2): 228-238.
[30] Oke T R. Climatic impacts of urbanization[M]//Interactions of energy and climate. Springer, Dordrecht, 1980: 339-361.
[31] Ketterer C, Matzarakis A. Mapping the Physiologically Equivalent Temperature in urban areas using artificial neural network[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 150: 1-9.
[32] Watson I D, Johnson G T. Graphical estimation of sky view‐factors in urban environments[J]. Journal of Climatology, 1987, 7(2): 193-197.
[33] 郭恒. 济南小街区内部空间风环境影响因素研究[D]. 山东建筑大学, 2018.
[34] 祝家顺, 马黎进. 四川传统民居微气候研究--以福宝镇传统民居为例[J]. 四川建筑, 2015 (2015 年 05): 31-33, 35.
[35] 王建国, 徐小东. 基于生物气候条件的绿色城市设计生态策略[J]. 建筑与文化, 2006 (8): 6.
[36] 许亘昱. 夏热冬暖地区住区室外公共空间微气候营造策略研究[D]. 西安建筑科技大学, 2018.
[37] 方法菊. 从自发形成的活动场地看住区活动场地设计[J]. 安徽建筑, 2014 (5): 282-283.
[38] 杨阳, 唐晓岚, 吉倩妘, 等. 基于 ENVI-met 模拟的南京典型历史街区微气候数值分析[J]. 苏州科技大学学报 (工程技术版), 2018 (3): 6.
[39] 吴志丰.城市居住小区景观空间配置对热环境的影响研究[D].中国科学院大学,2017.

附录 A

关于 Envi-met 模拟结果转化为 ArcGIS 可识别文件过程的详细说明。

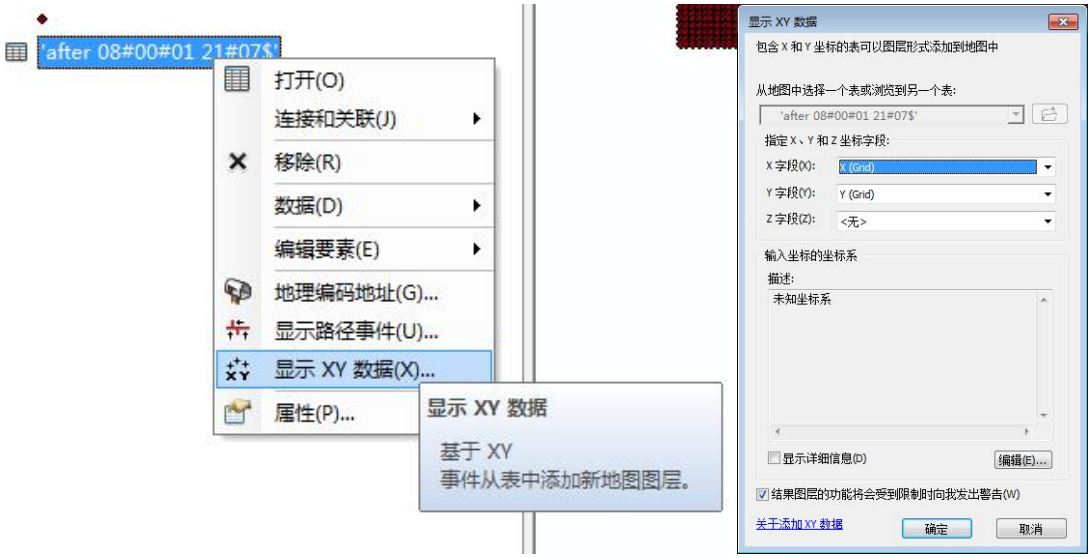
1 LEONARDO 中 Data、Contour、Symbol 各选一个不同参数，view plane 高度选择 1.4 米左右，EXTRACT 2D 之后 在 DATA 菜单点 EXPORT MAP LAYER 勾选 Data、Contour、Symbol 导出 CSV 文件。



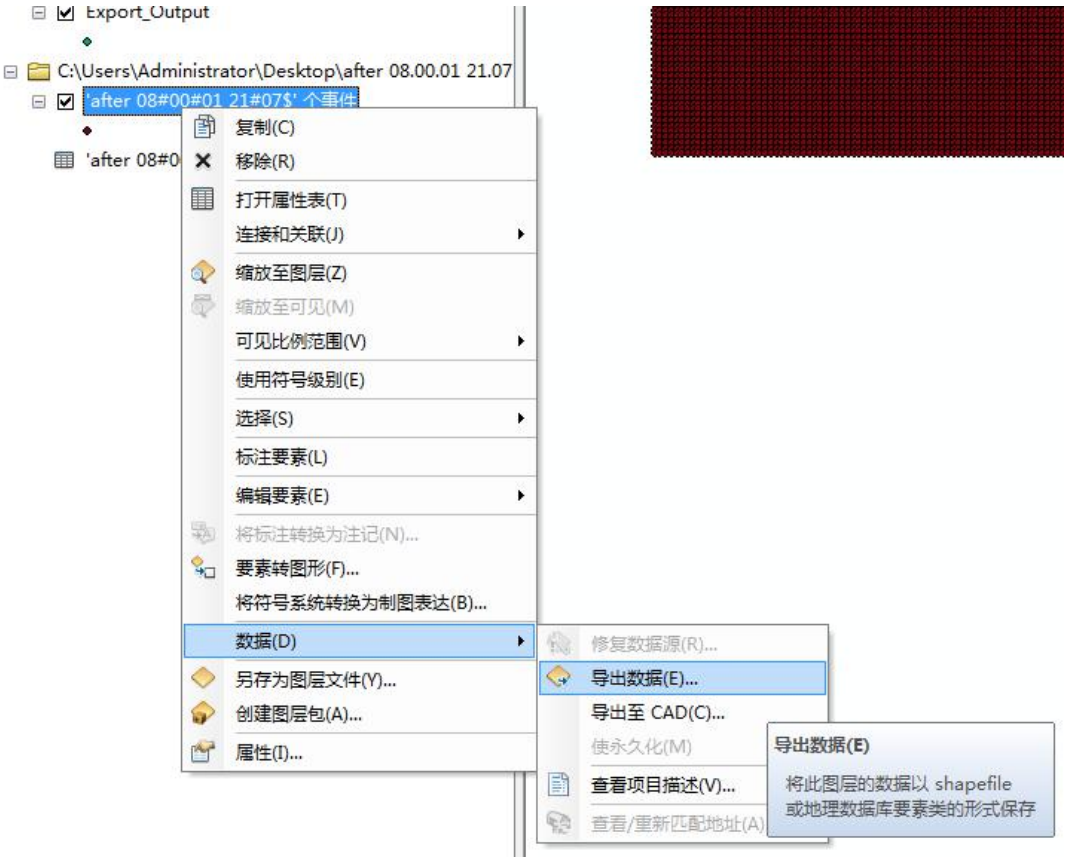
2 .csv 文件只保留坐标信息及数据信息，删掉 X.Y 的第一列。可直接在 Excel 中改好表头（删掉空行，保证第一行是表头）另存为.xls 文件。后续如果要连接更多数据，可在 Excel 里合并好后，再一起导入 ArcGIS 更加方便。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X,Y	X (Grid)	Y (Grid)	X (m)	Y (m)	温度	相对湿度	平均辐射温度
2	0,219	0	219	2.5	2.5	31.132	86.65	59.788
3	1,219	1	219	7.5	2.5	31.134	86.638	59.787
4	2,219	2	219	12.5	2.5	31.134	86.641	59.785
5	3,219	3	219	17.5	2.5	31.133	86.644	59.783
6	4,219	4	219	22.5	2.5	31.133	86.647	59.801
7	5,219	5	219	27.5	2.5	31.132	86.651	59.793
8	6,219	6	219	32.5	2.5	31.131	86.653	59.776
9	7,219	7	219	37.5	2.5	31.131	86.654	59.776
10	8,219	8	219	42.5	2.5	31.131	86.654	59.773
11	9,219	9	219	47.5	2.5	31.131	86.654	59.777
12	10,219	10	219	52.5	2.5	31.131	86.653	59.787
13	11,219	11	219	57.5	2.5	31.132	86.652	59.797
14	12,219	12	219	62.5	2.5	31.132	86.651	59.812
15	13,219	13	219	67.5	2.5	31.132	86.65	59.785
16	14,219	14	219	72.5	2.5	31.133	86.647	59.804
17	15,219	15	219	77.5	2.5	31.133	86.645	59.82
18	16,219	16	219	82.5	2.5	31.134	86.641	59.832

3 在 ArcGIS 文件目录中找到保存的 Excel 文件（没有的话右键刷新），拖到中间的空白区域。左边的内容列表中出现一个表格数据文件，右键——显示 XY 数据 ——X 字段和 Y 字段分别选择 X,Y 坐标——确定——形成点阵数据——右键点阵数据“导出数据”——存到工作文件夹下形成.shp 文件——（将不需要的点阵图层和表格图层移除）

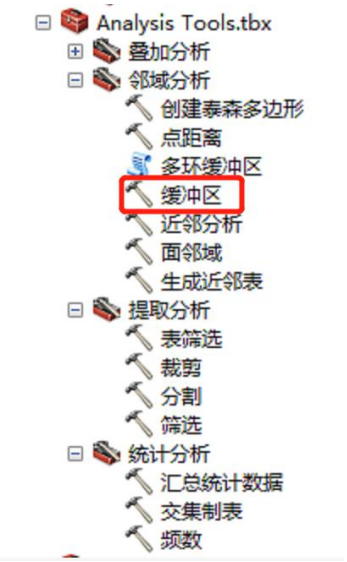


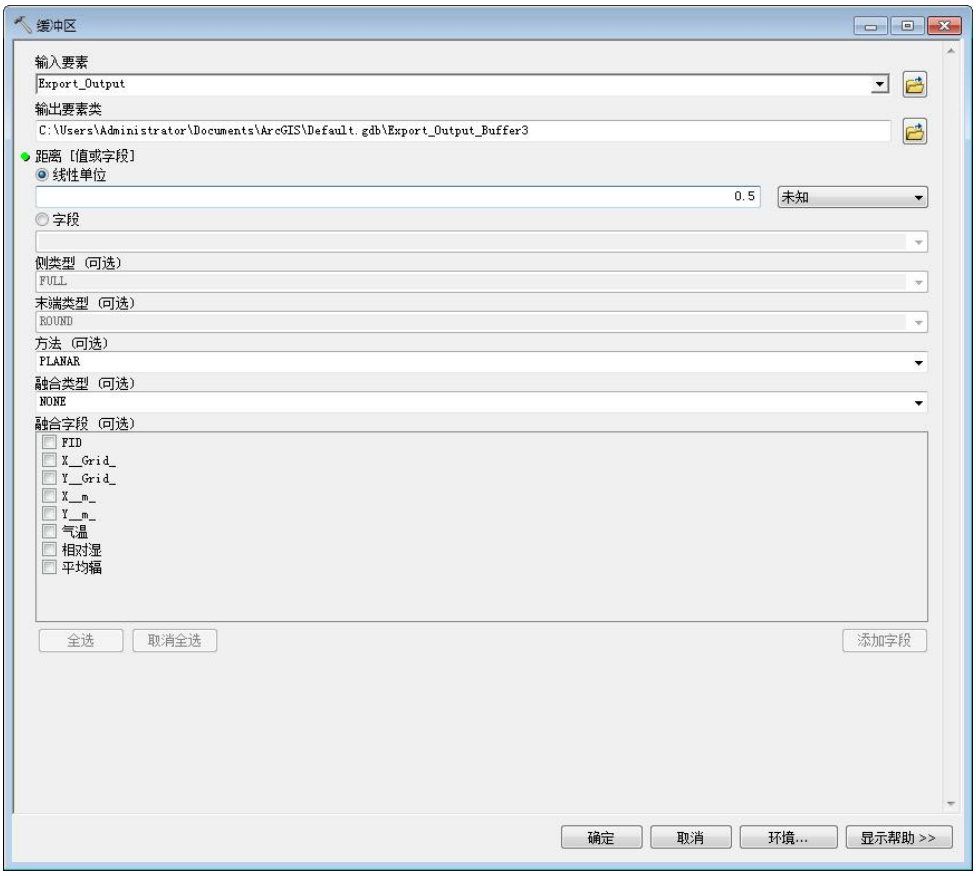
表格数据



点阵数据导出点阵 shp

4. 以 shp 点阵为圆心,建立缓冲区（buffer），以 0.5（格）为半径。然后用“要素包络矩形转面”将圆形阵列变成正方形阵列（点在正方形中心），然后修改正方形阵列图层的属性，按数值显示可以复原 LEONARDO 里的图（可在属性中去掉色块的黑色描边，是的图面显示更为清楚）。



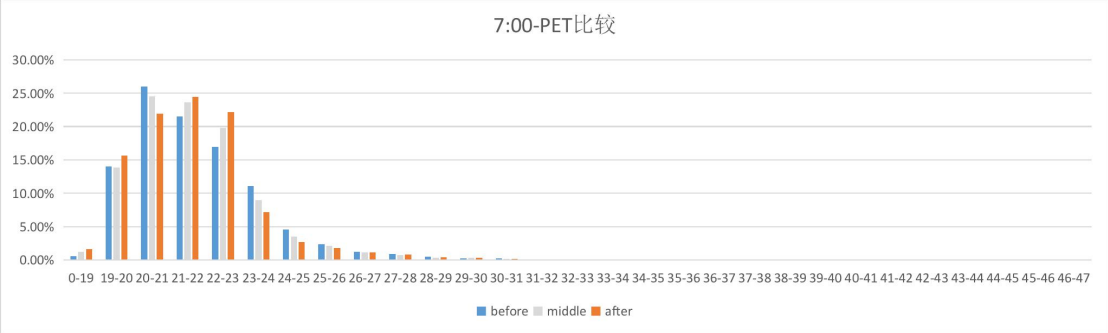


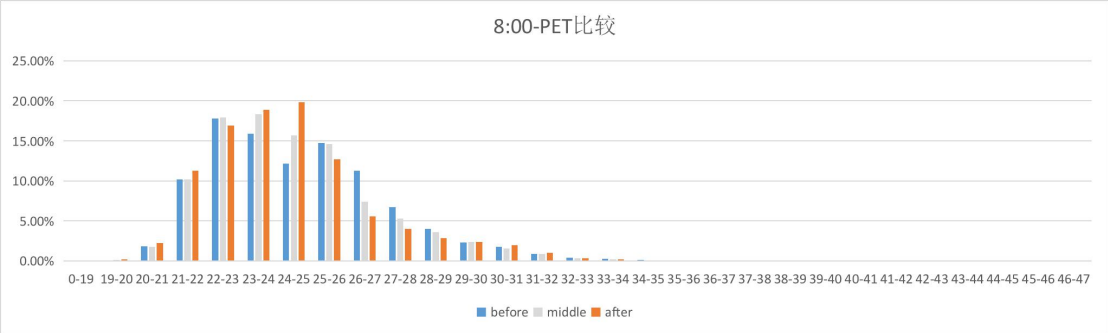
生成缓冲区的步骤

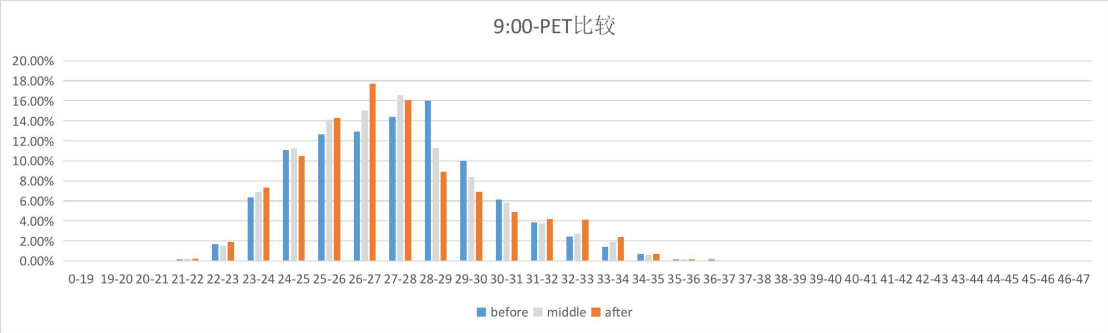
要素包络矩形转面的步骤

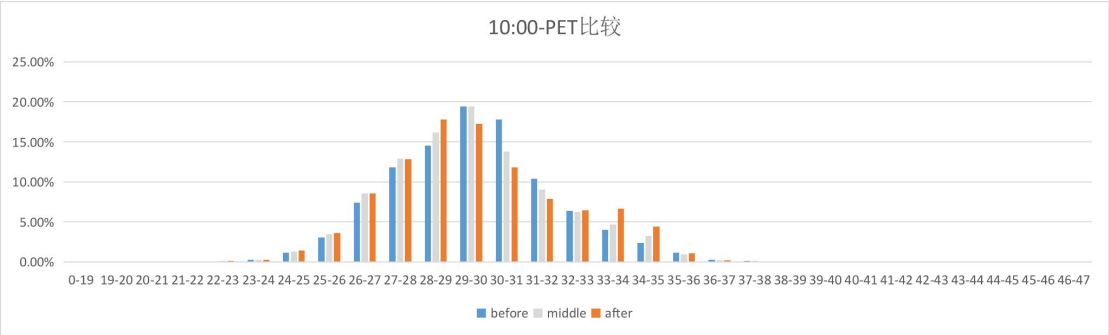
附录 B

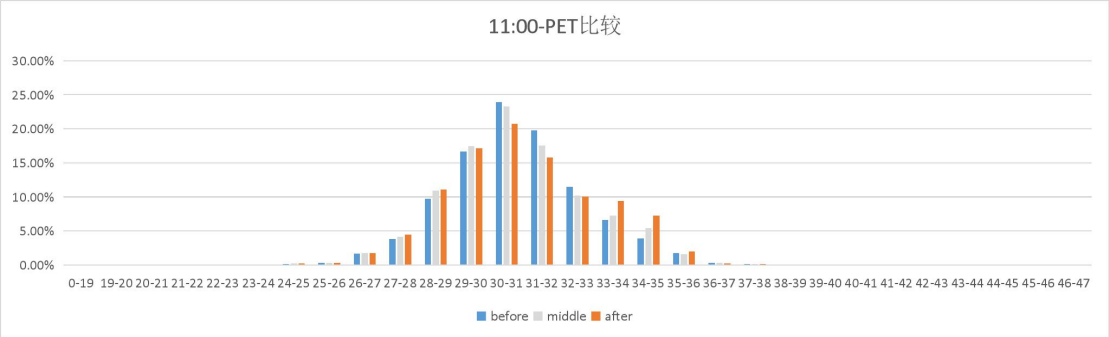
以下是对于整体环境的 PET 评价比较表汇总。从 7:00 至 18:00，每个整点都有一组数据输出，统计其中 40000 个点的 PET 值分布后如下图所示（蓝色为模拟 1，灰色为模拟 2，橙色为模拟 3，所有图纸都在同一个分类标准下呈现），可发现每个时段峰值不同，分布范围也有所不同。

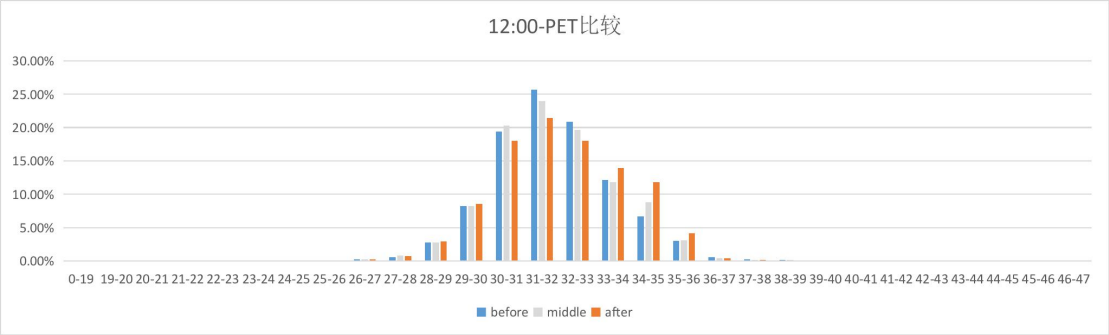


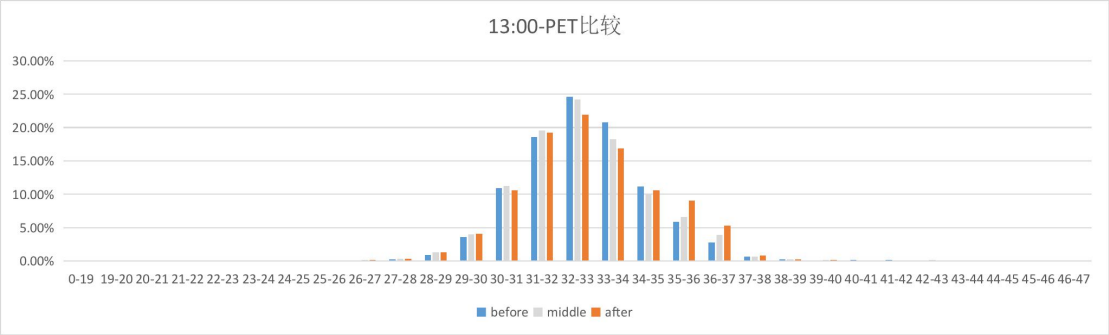


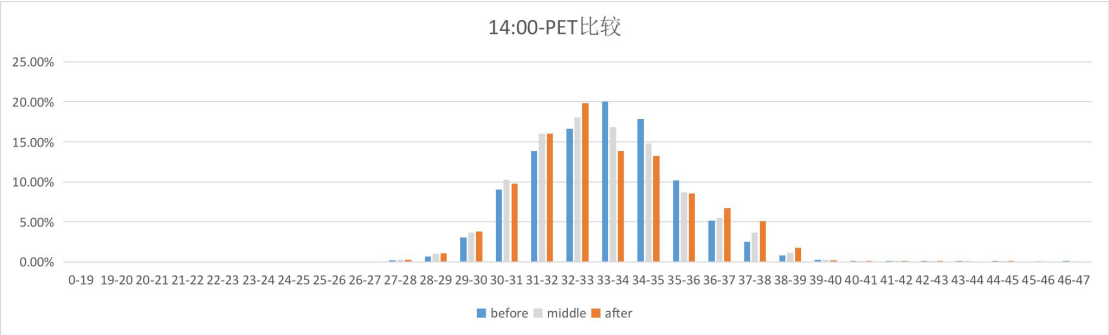


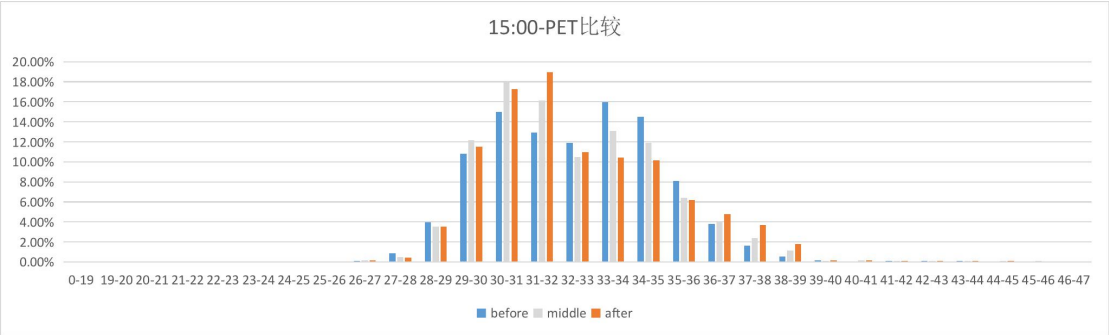

10:00-PET比较
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after

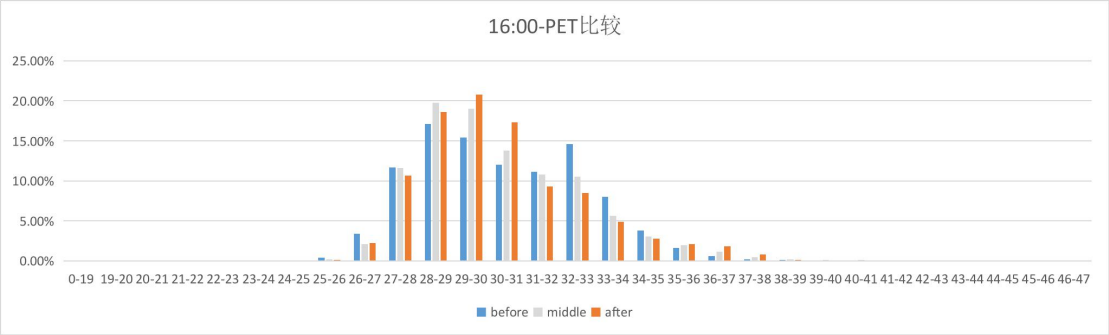

11:00-PET比较
30.00%
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after

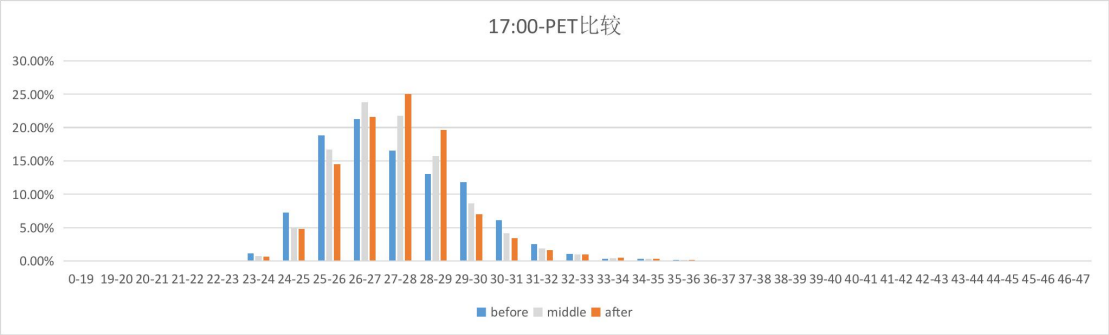

12:00-PET比较
30.00%
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after

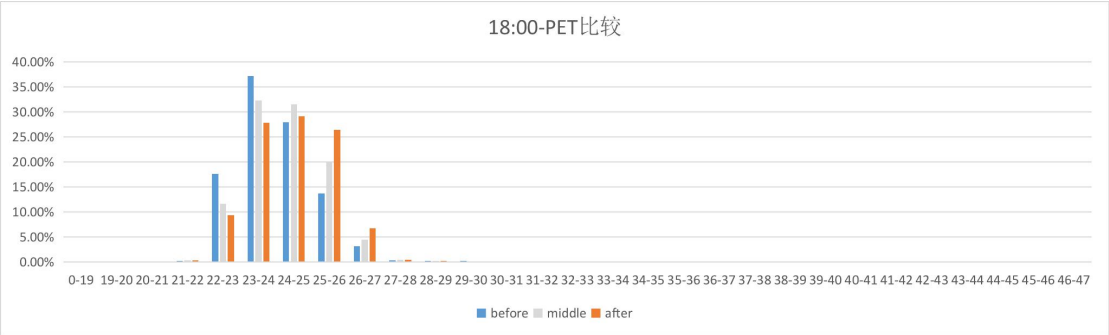

13:00-PET比较
30.00%
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after


14:00-PET比较
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after


15:00-PET比较
20.00%
18.00%
16.00%
14.00%
12.00%
10.00%
8.00%
6.00%
4.00%
2.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after

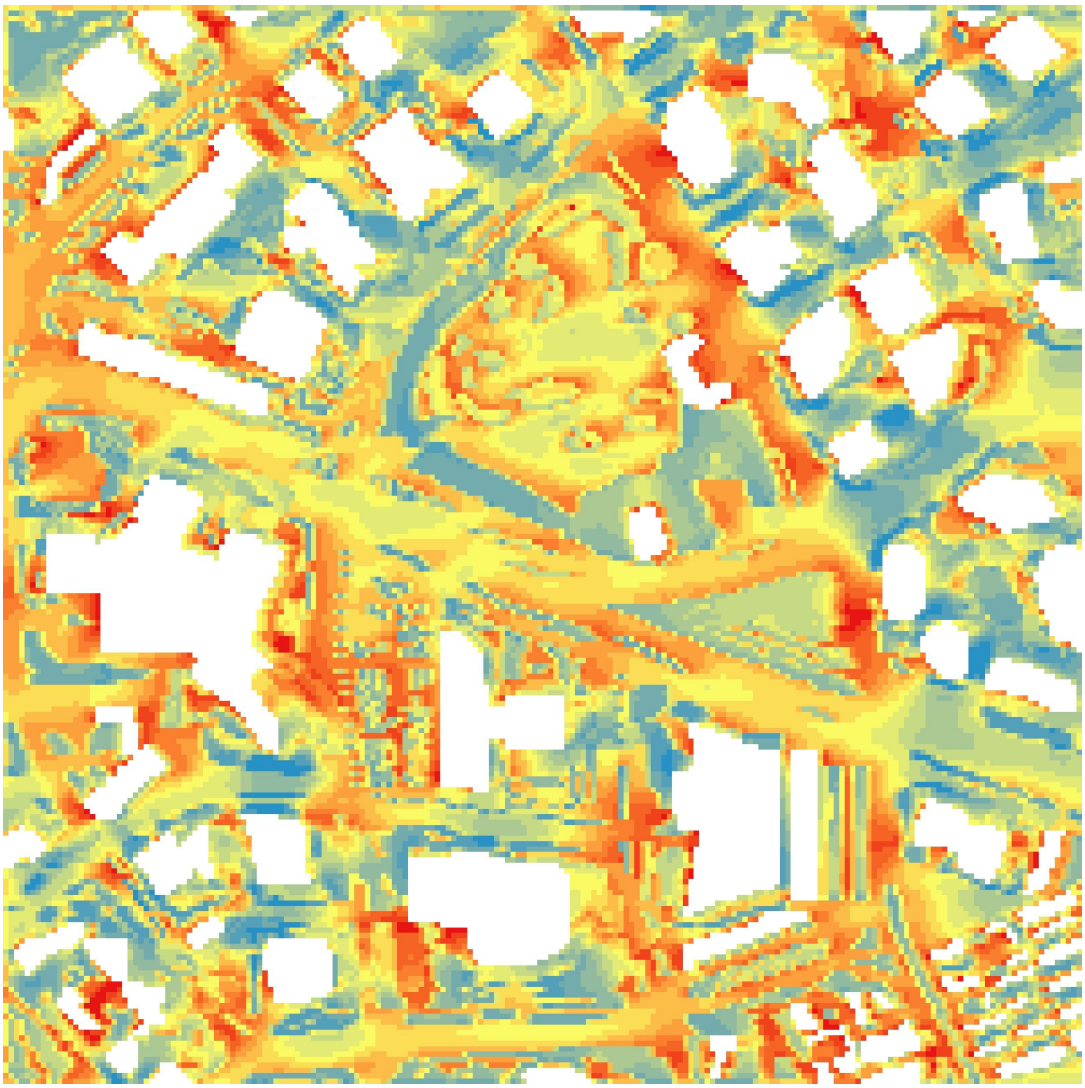

16:00-PET比较
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after


17:00-PET比较
30.00%
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after

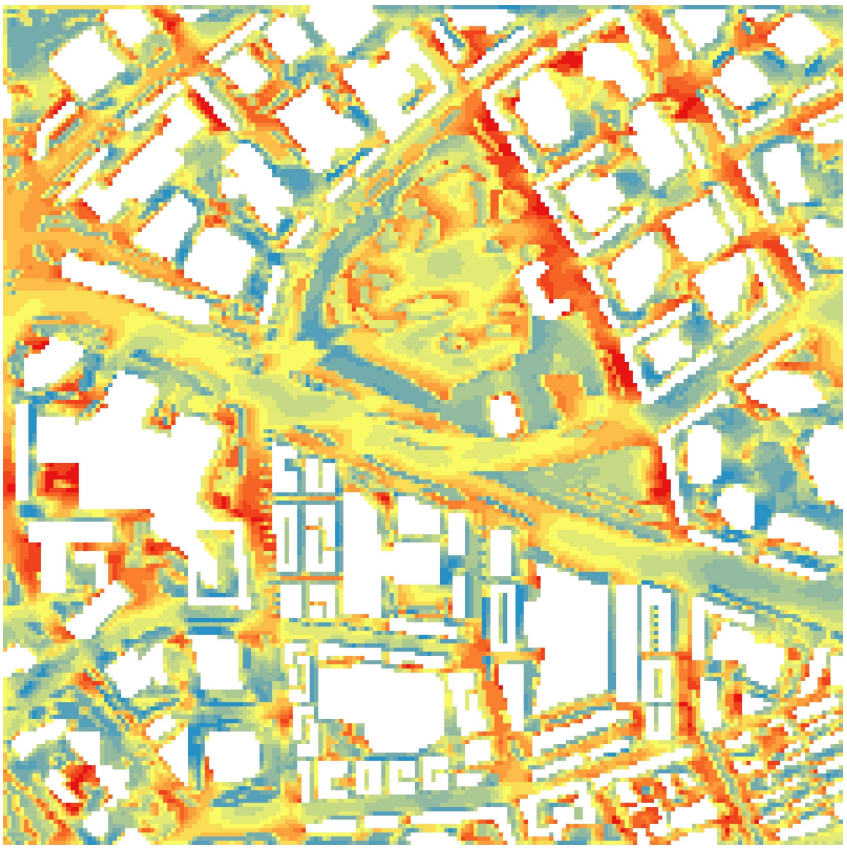

18:00-PET比较
40.00%
35.00%
30.00%
25.00%
20.00%
15.00%
10.00%
5.00%
0.00%
0-19 19-20 20-21 21-22 22-23 23-24 24-25 25-26 26-27 27-28 28-29 29-30 30-31 31-32 32-33 33-34 34-35 35-36 36-37 37-38 38-39 39-40 40-41 41-42 42-43 43-44 44-45 45-46 46-47
before middle after

附录 C

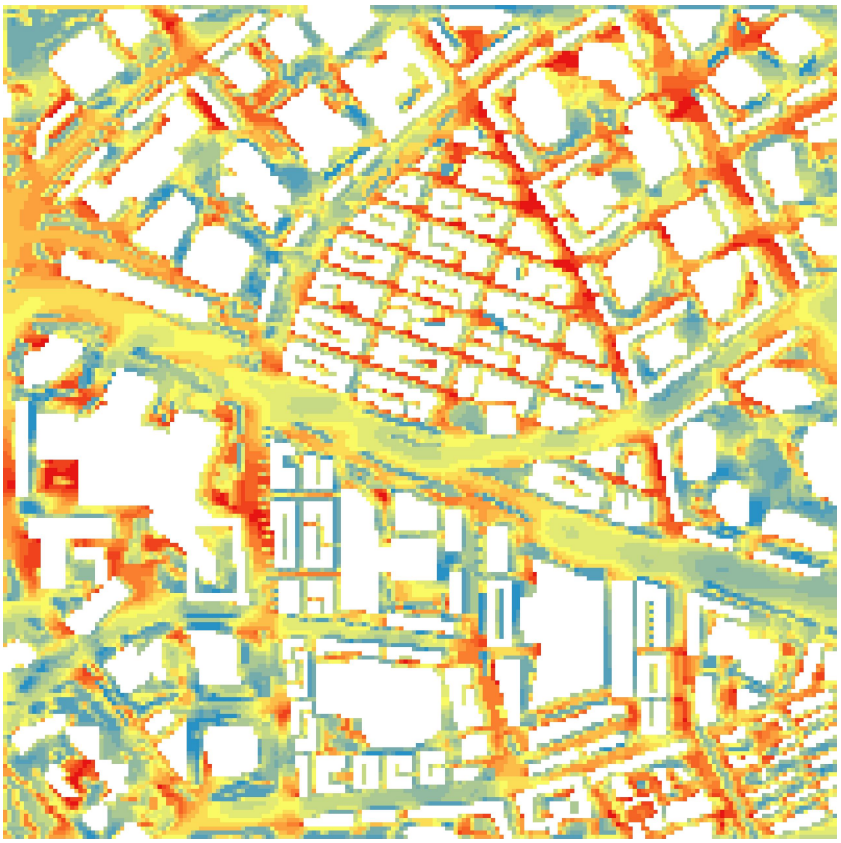
对第五章模拟结果对比分析中的高清大图。



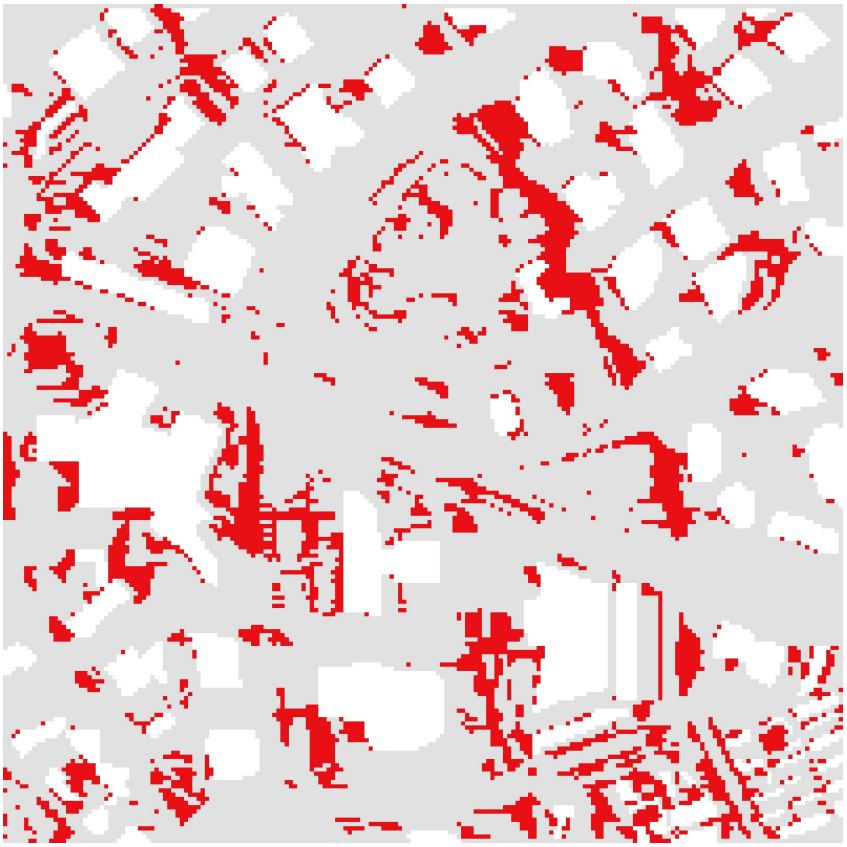
空间维度总体分析-模拟 1-全部



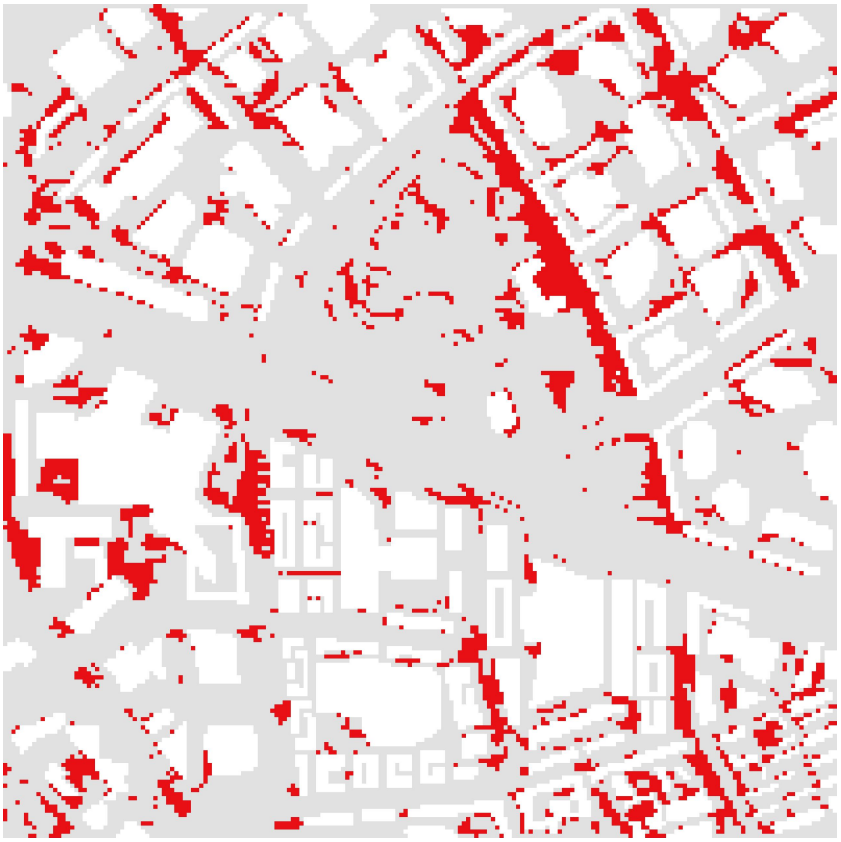
空间维度总体分析-模拟 2-全部



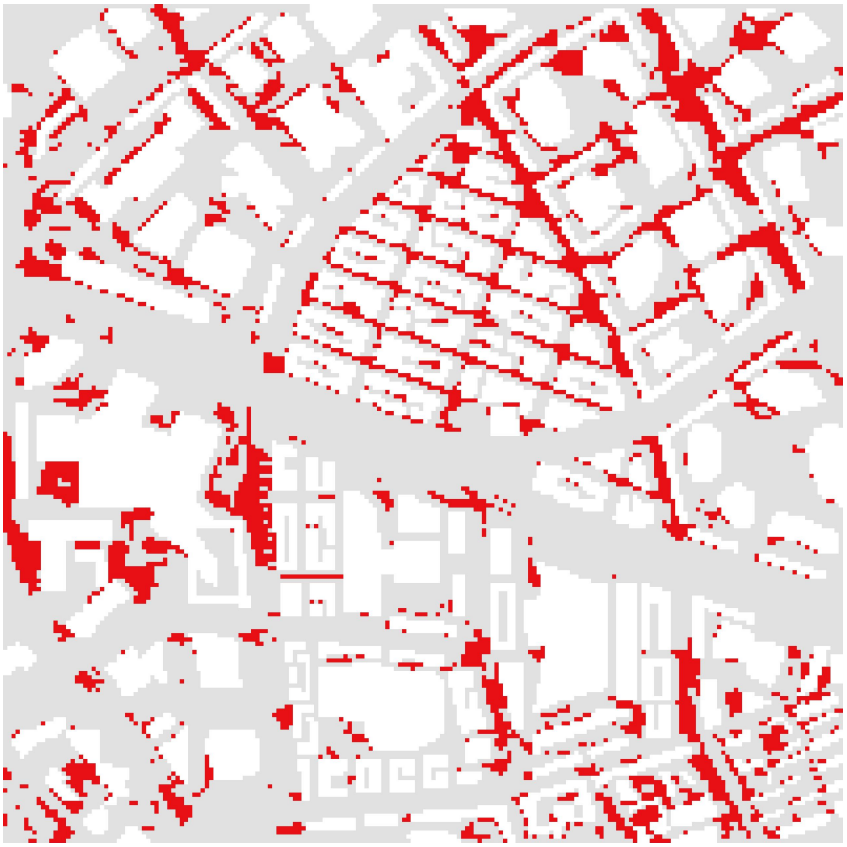
空间维度总体分析-模拟 3-全部



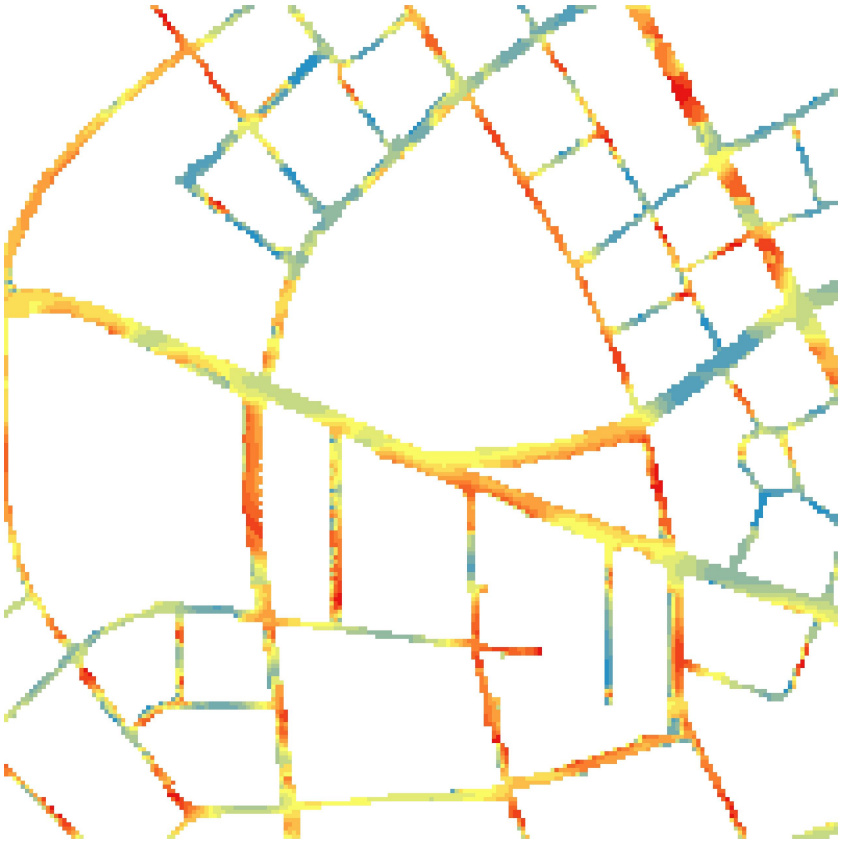
空间维度总体分析-模拟 1-PET>35℃



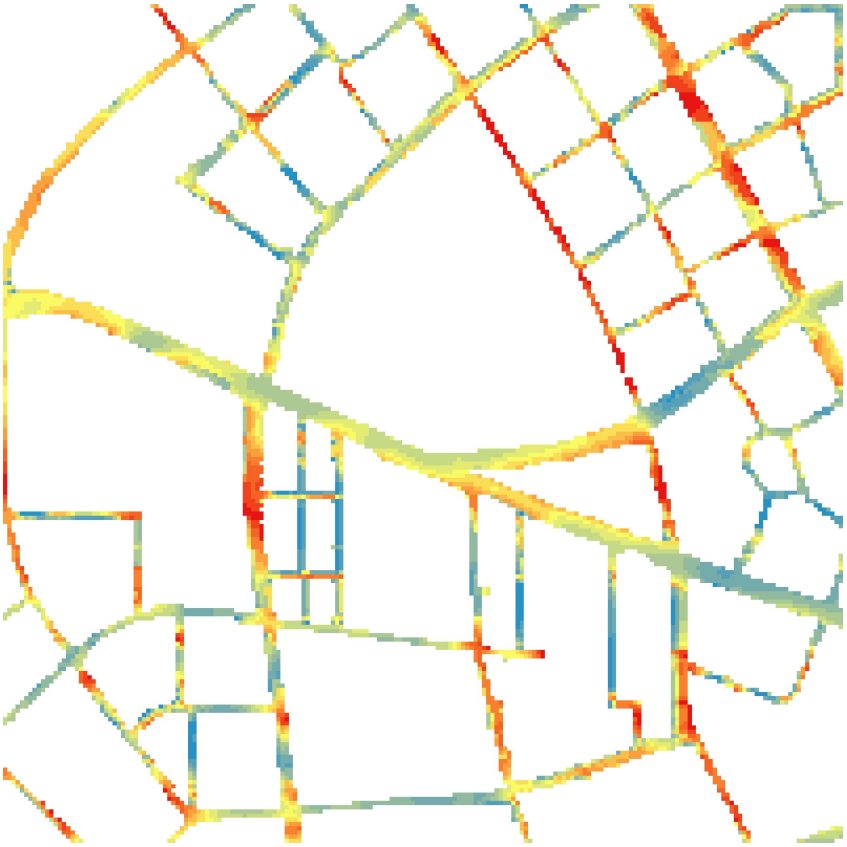
空间维度总体分析-模拟 2-PET>35℃



空间维度总体分析-模拟 3-PET>35℃

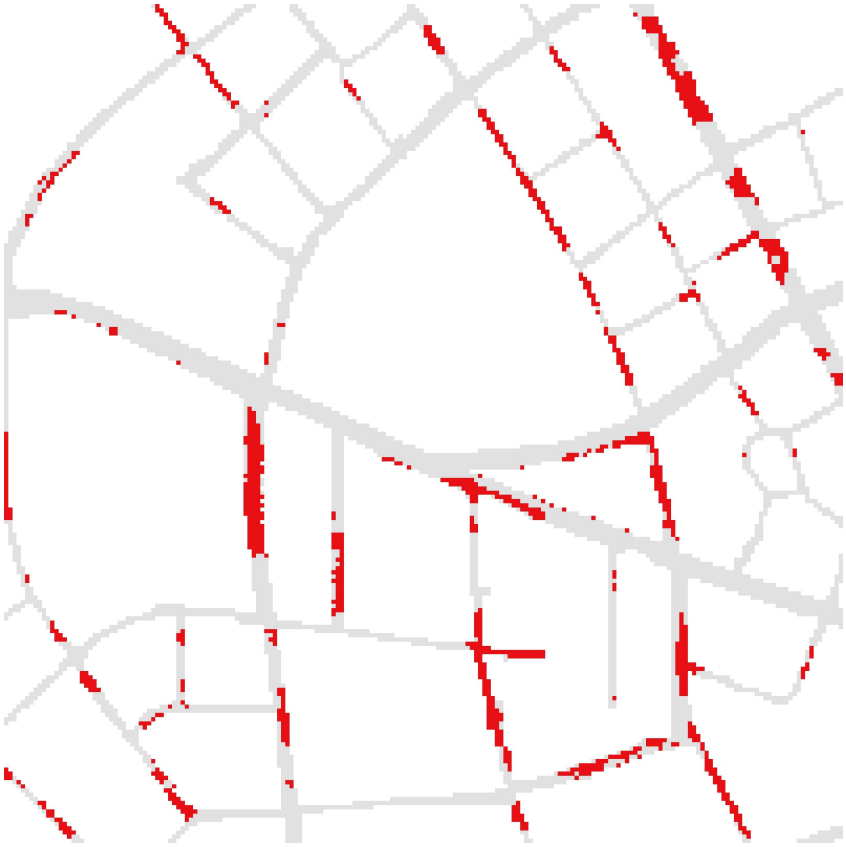


车行系统总体分析-模拟 1-全部

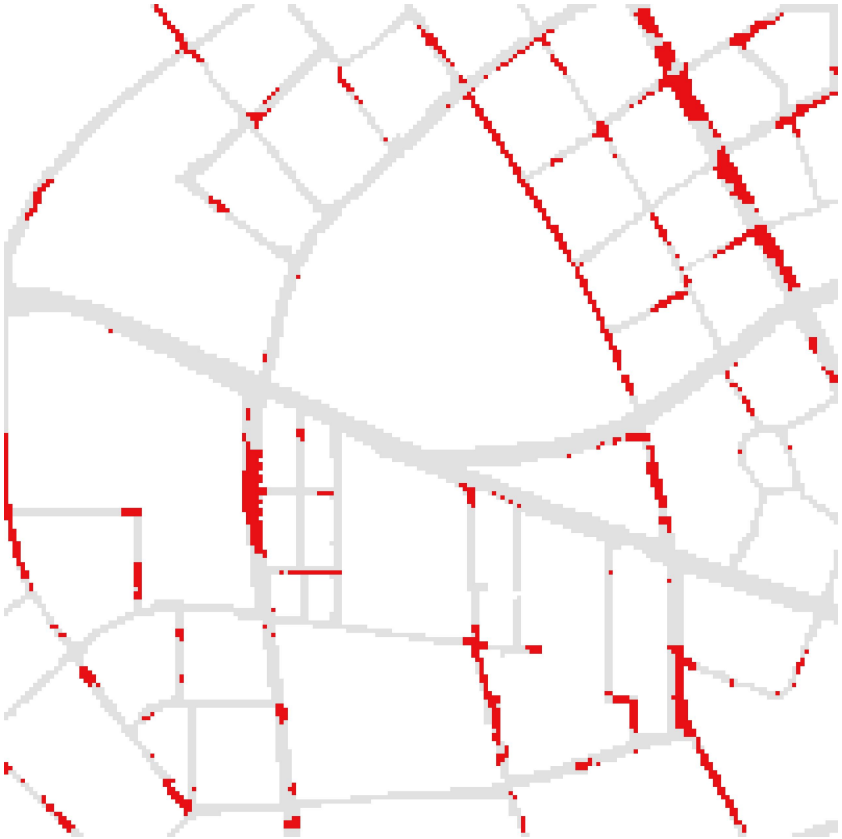


车行系统总体分析-模拟 2-全部

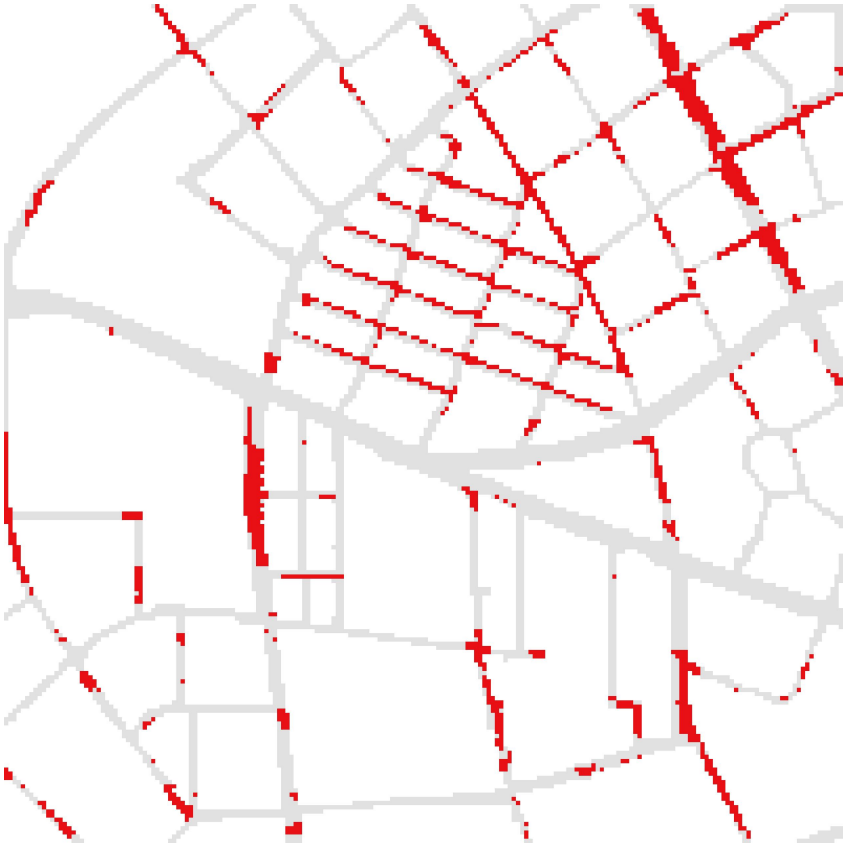
车行系统总体分析-模拟 3-全部



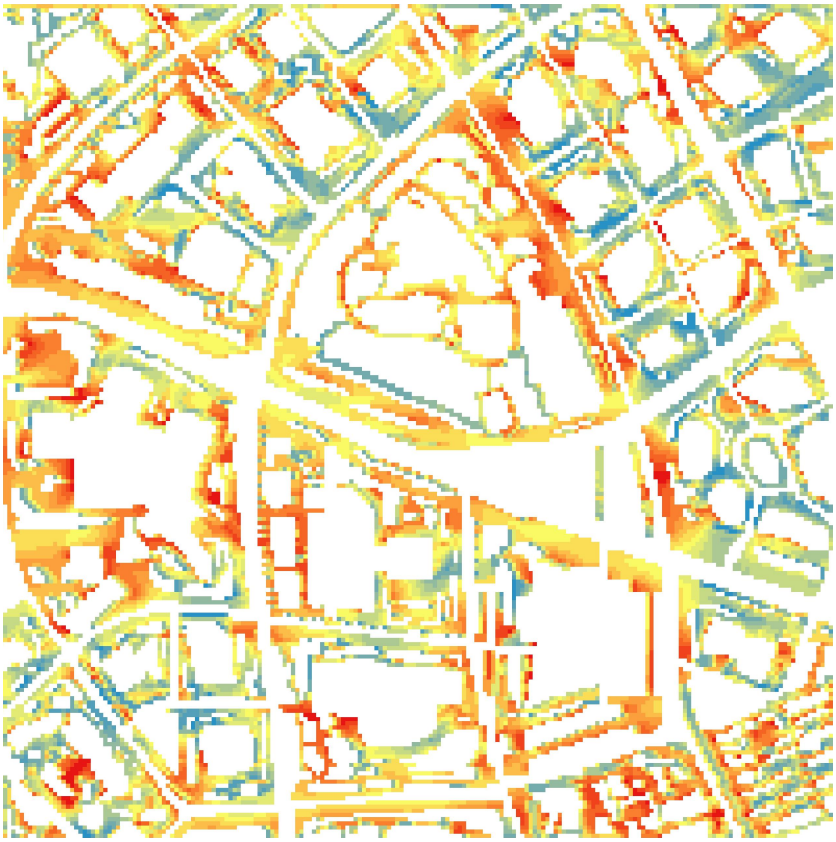
车行系统总体分析-模拟 1-PET>35℃



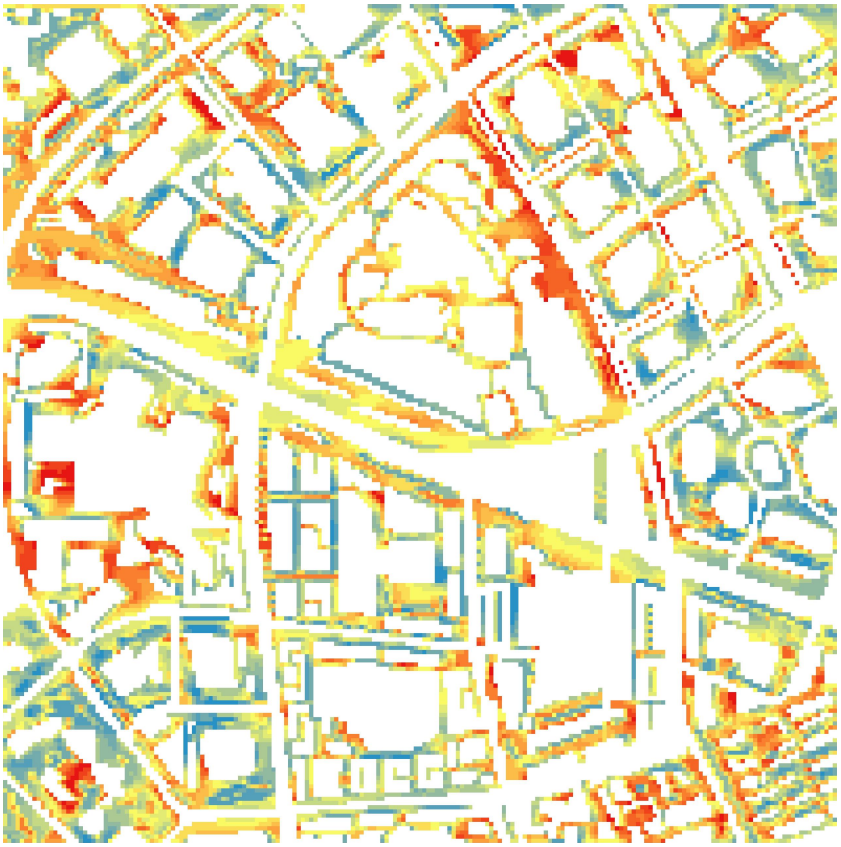
车行系统总体分析-模拟 2-PET>35℃



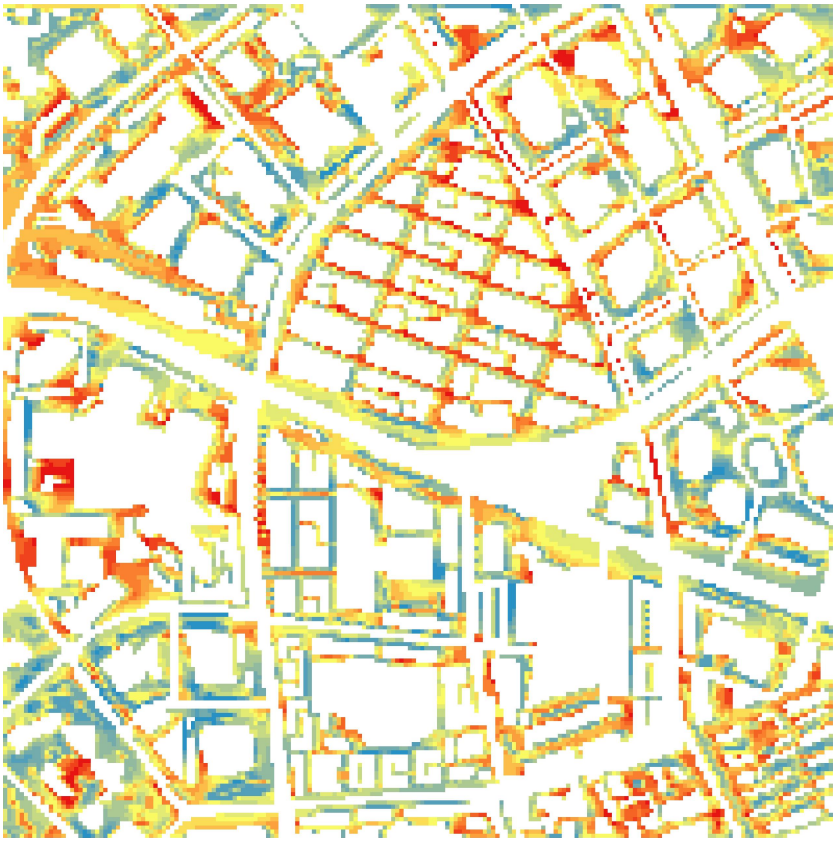
车行系统总体分析-模拟 3-PET>35℃



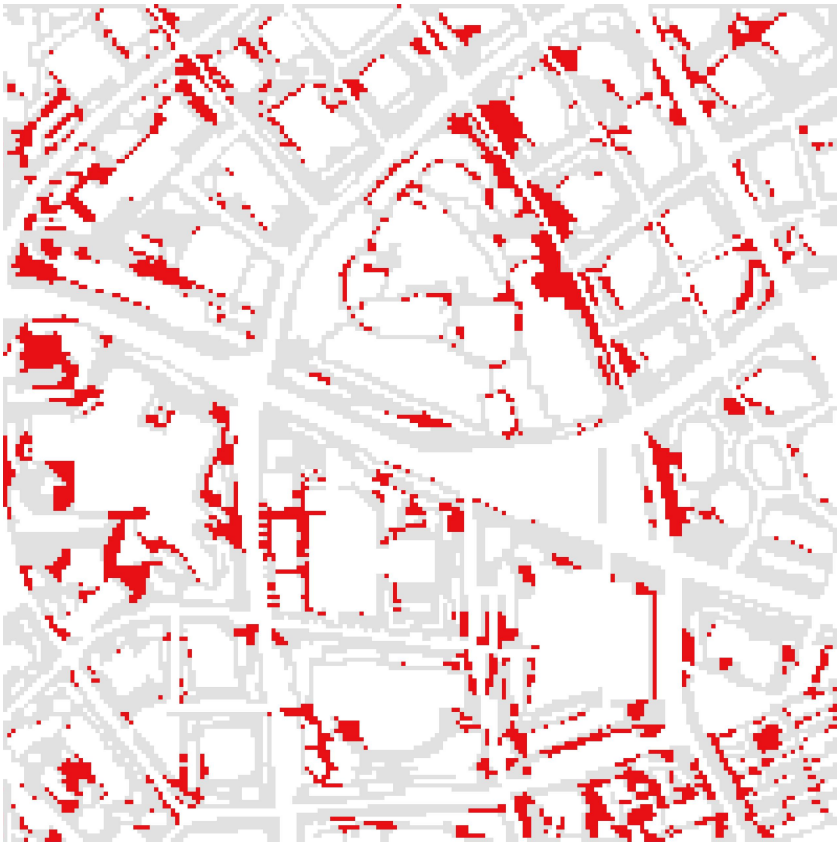
步行系统总体分析-模拟 1-全部



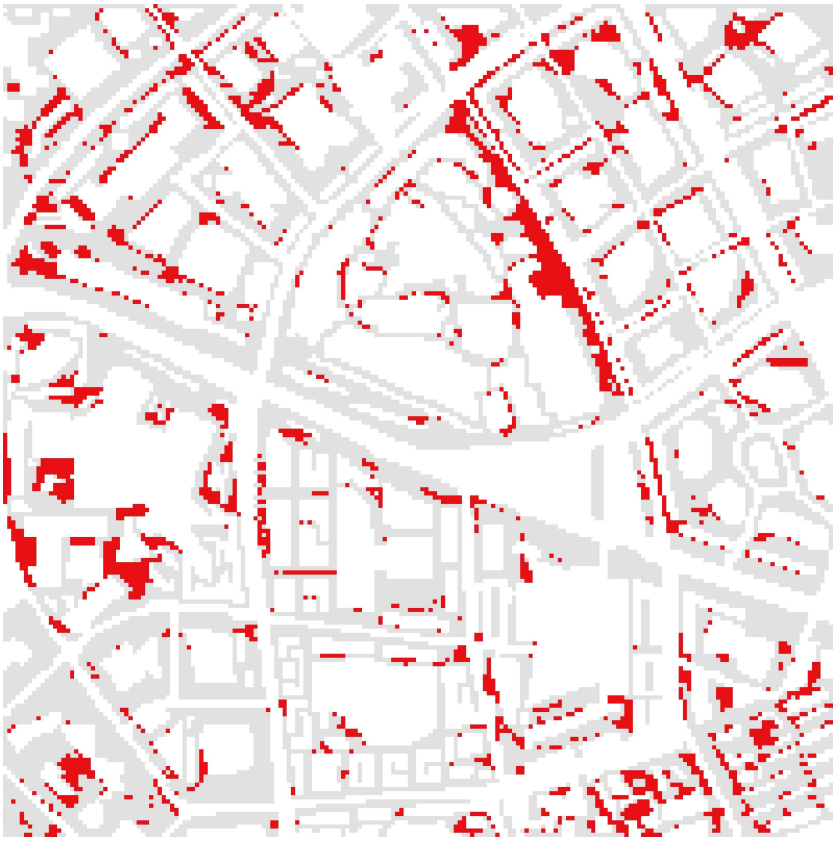
步行系统总体分析-模拟 2-全部



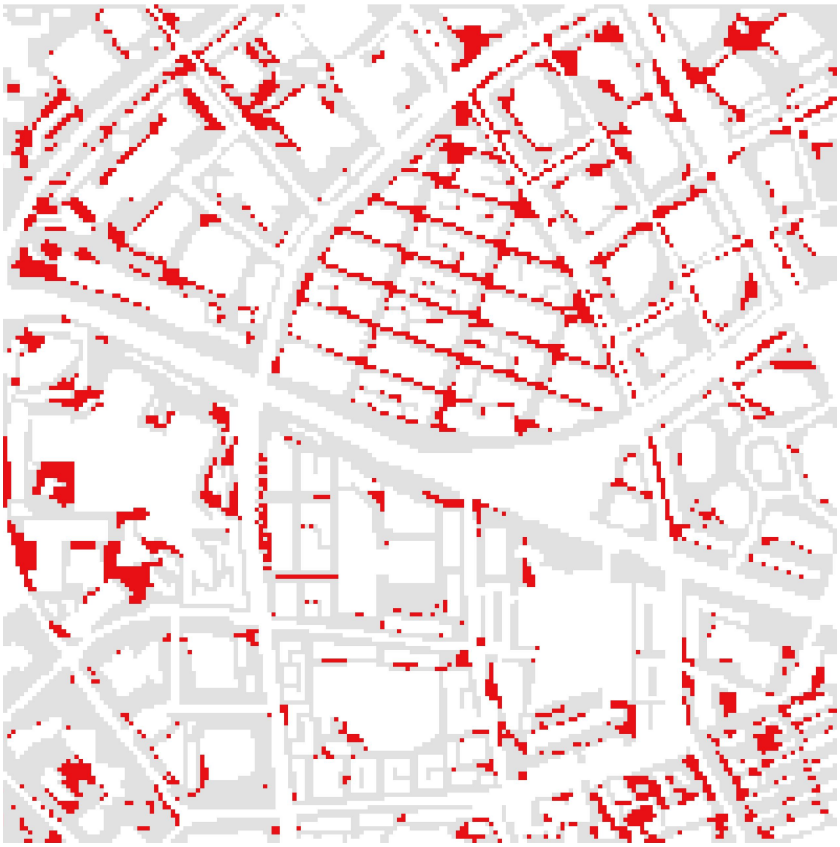
步行系统总体分析-模拟 3-全部



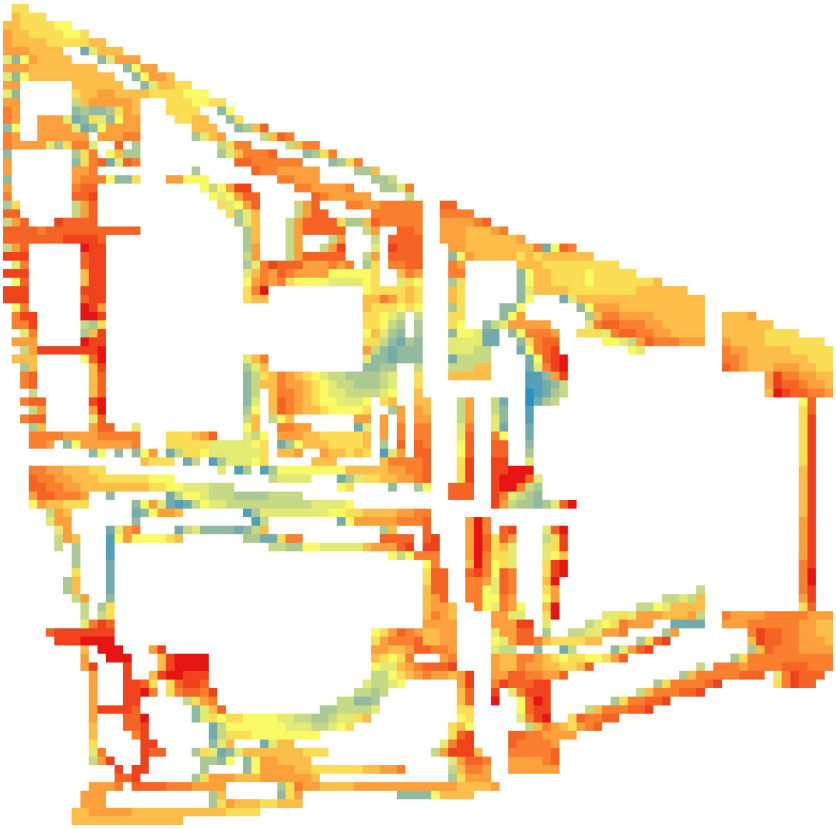
步行系统总体分析-模拟 1-PET>35℃



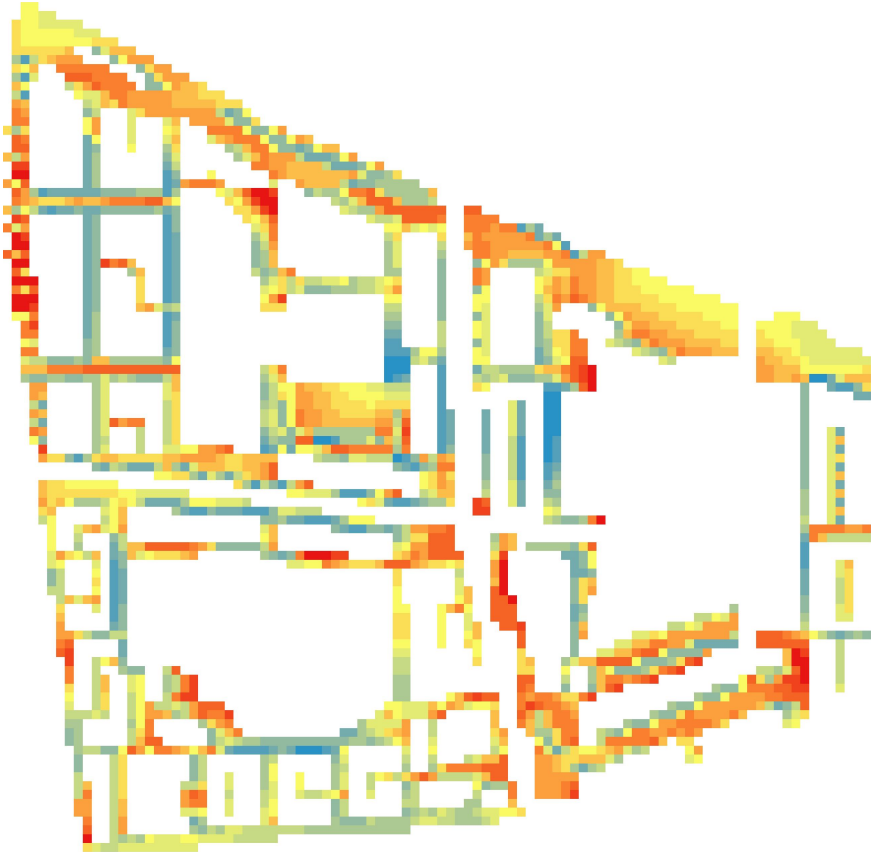
步行系统总体分析-模拟 2-PET>35℃



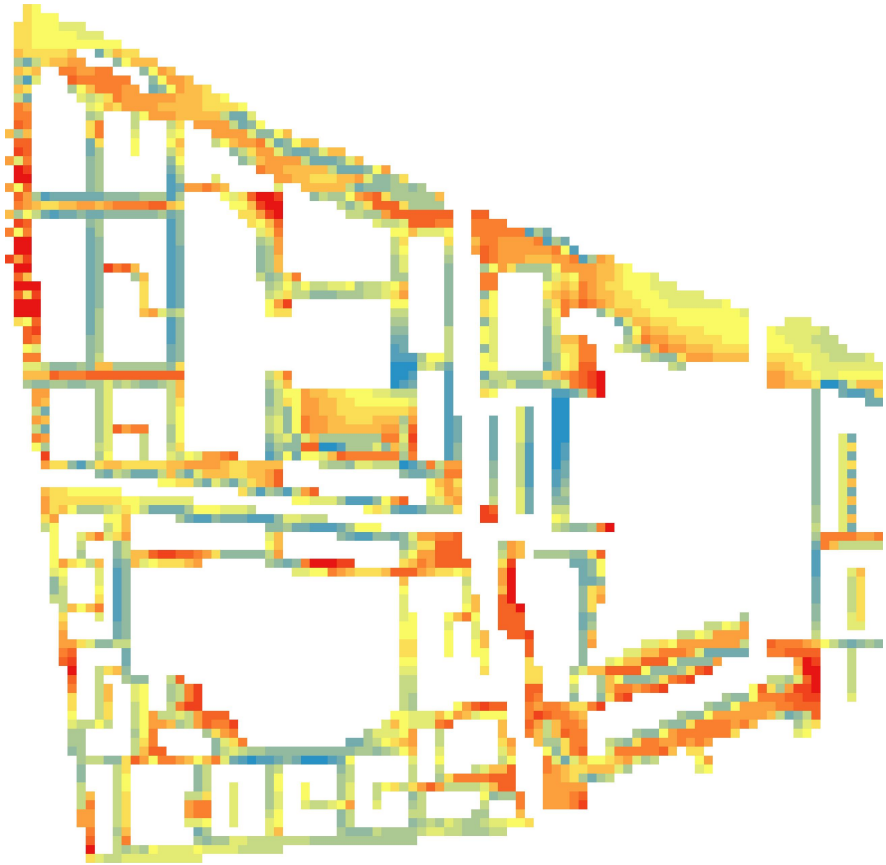
步行系统总体分析-模拟 3-PET>35℃



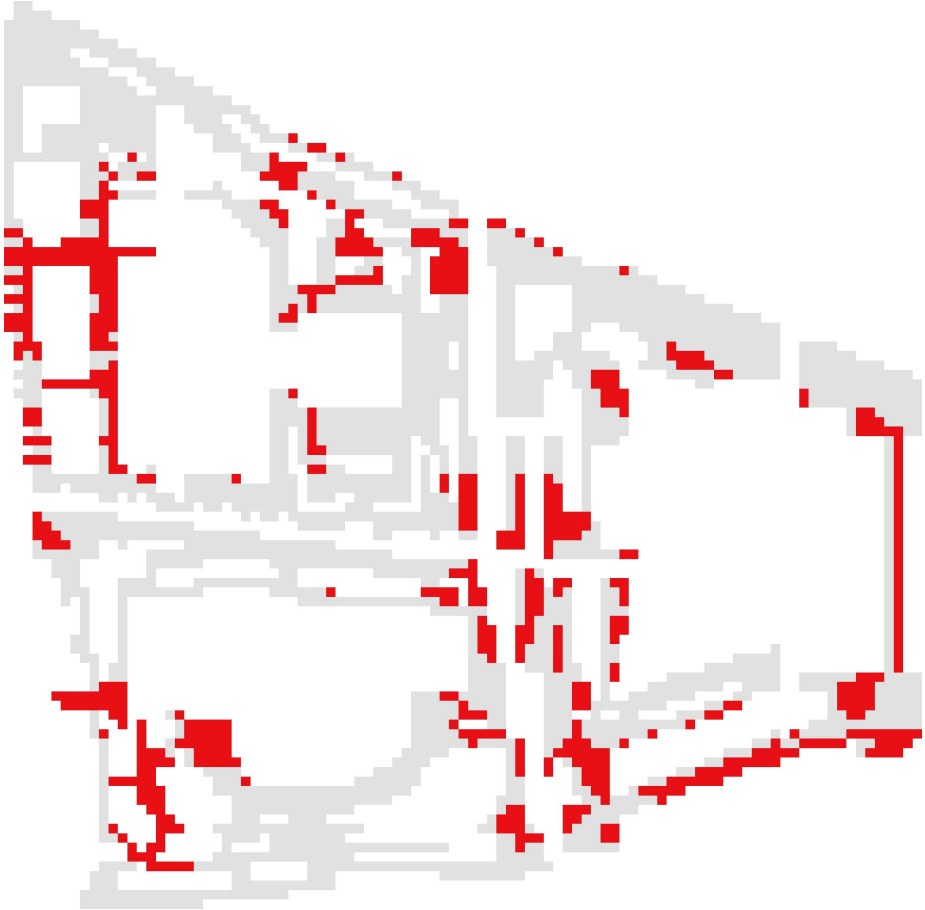
核心街区分析-模拟 1-全部



核心街区分析-模拟 2-全部

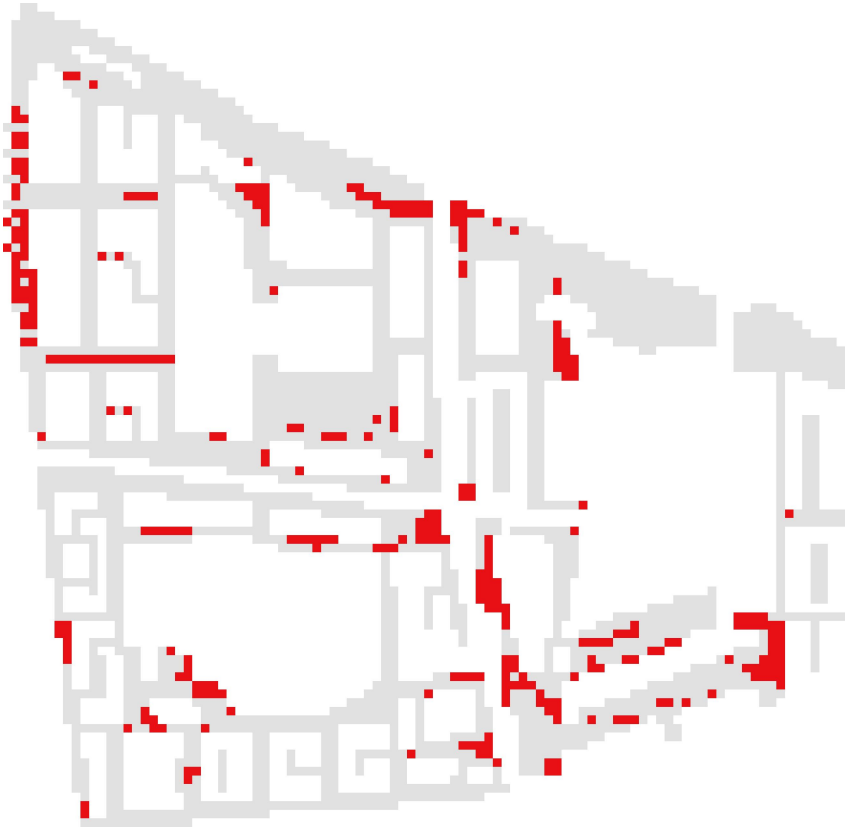


核心街区分析-模拟 3-全部

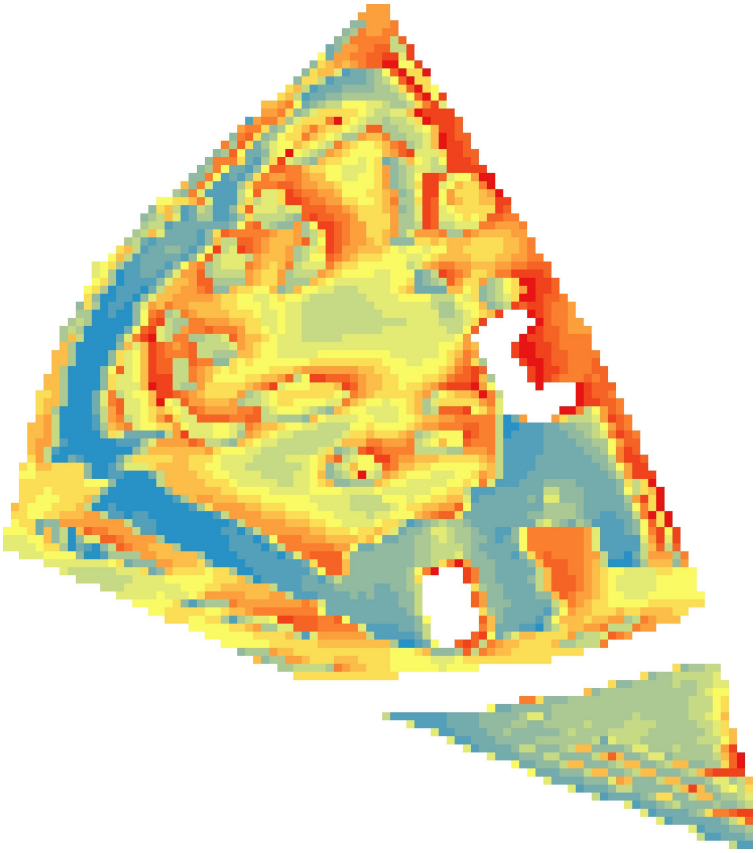


核心街区分析-模拟 1-PET>35℃

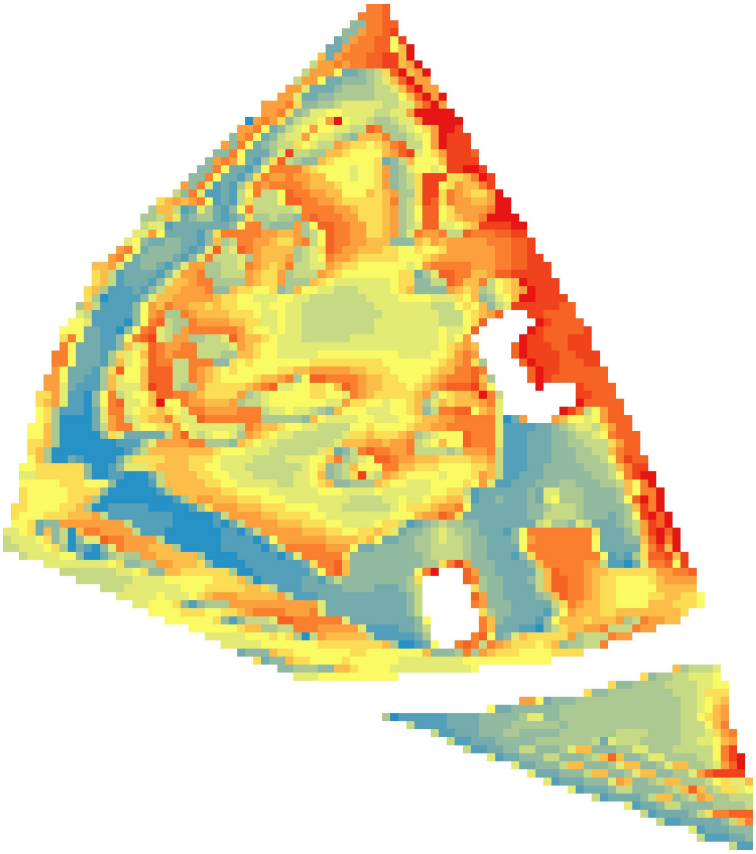
核心街区分析-模拟 2-PET>35℃



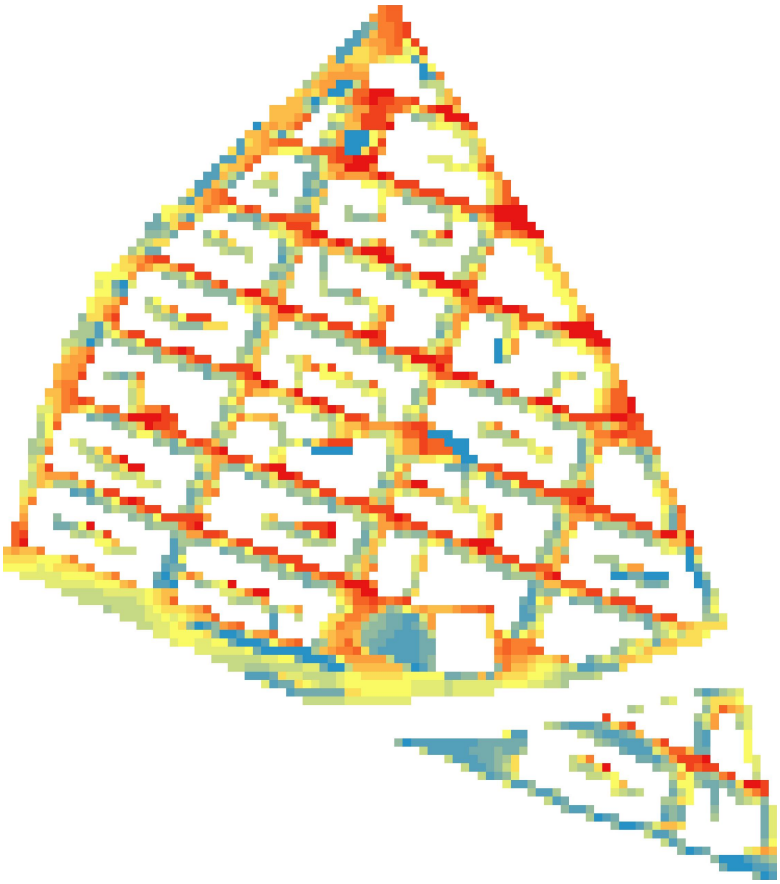
核心街区分析-模拟 3-PET>35℃



中心绿地总体分析-模拟 1-全部

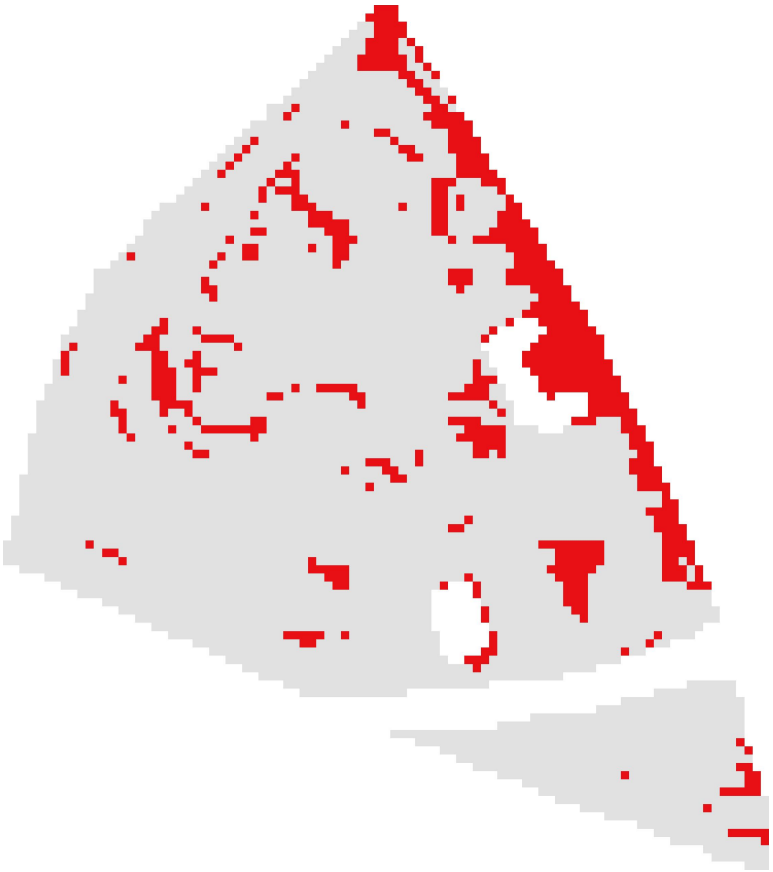


中心绿地总体分析-模拟 2-全部

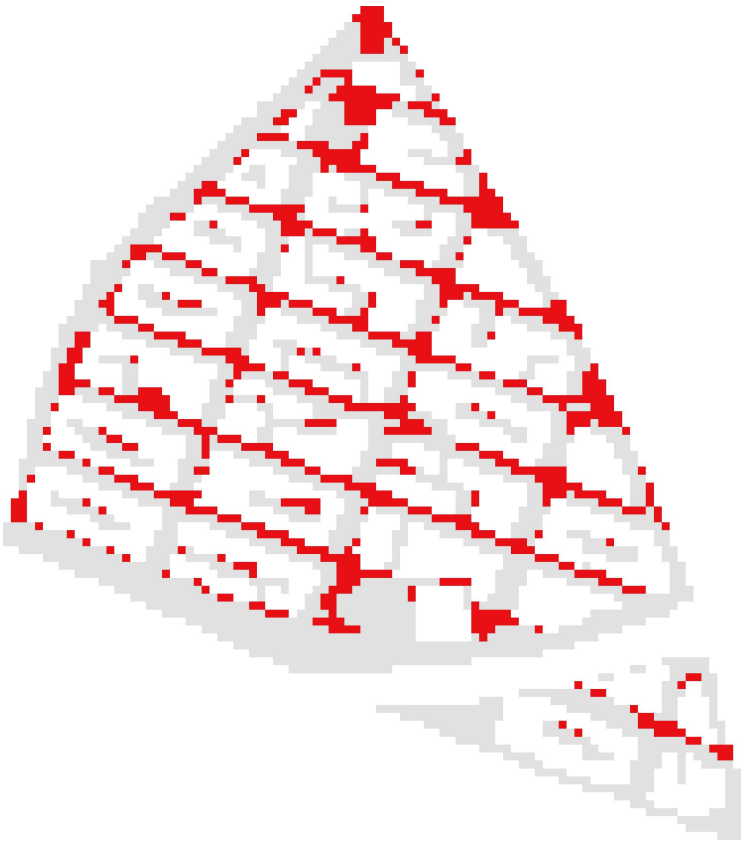


中心绿地总体分析-模拟 3-全部

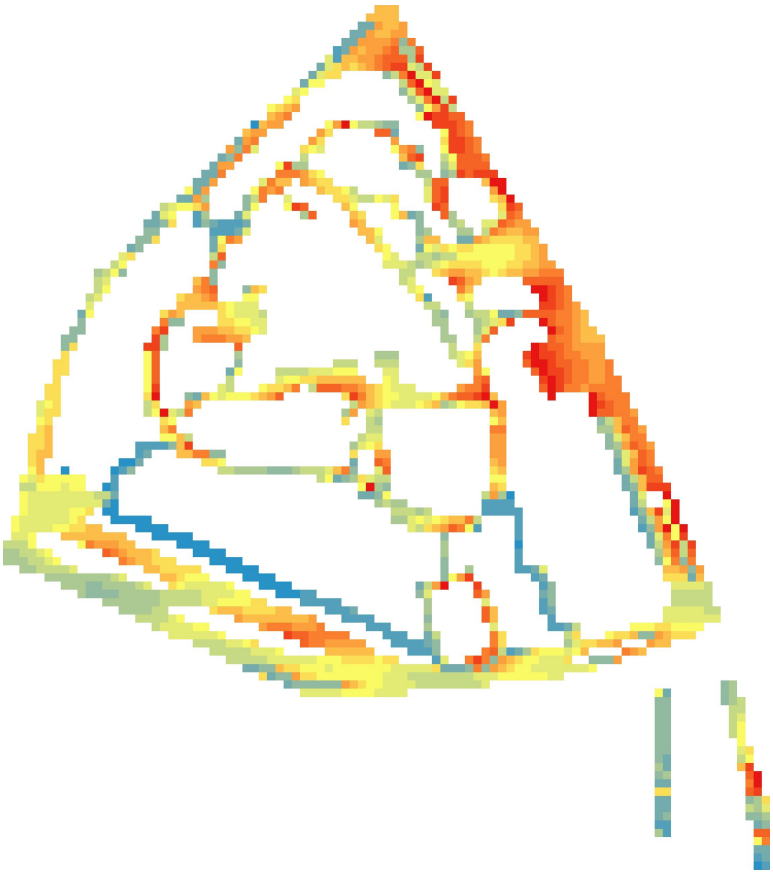
中心绿地总体分析-模拟 1-PET>35℃



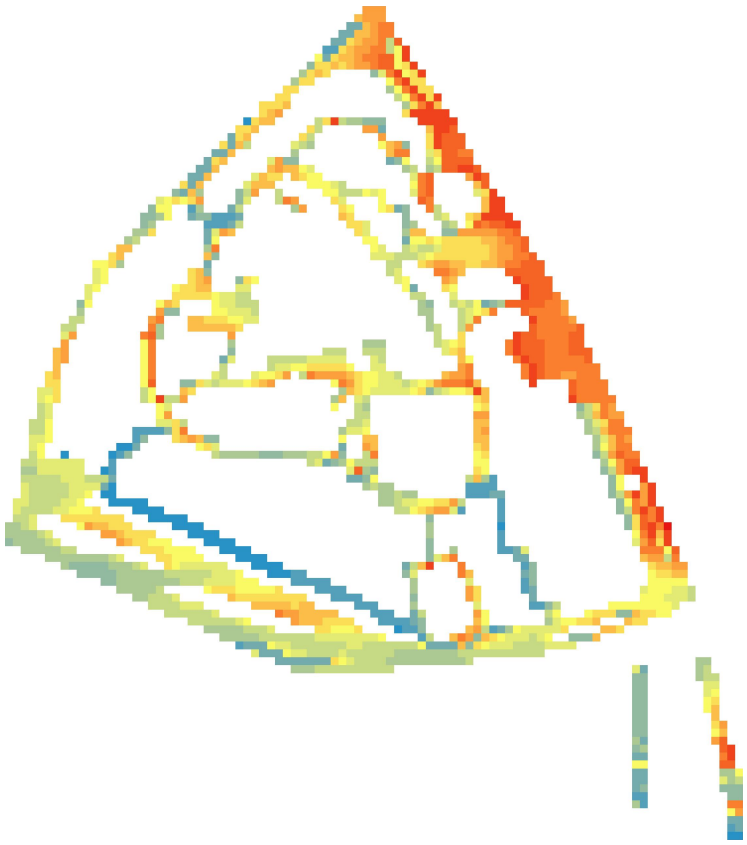
中心绿地总体分析-模拟 2-PET>35℃



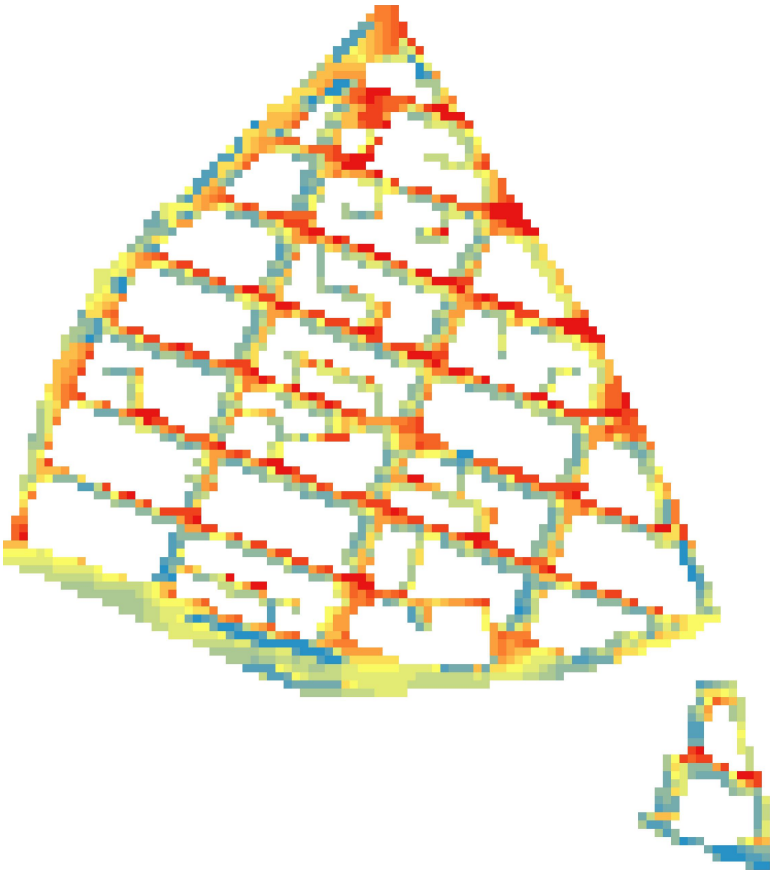
中心绿地总体分析-模拟 3-PET>35℃



中心绿地步行系统分析-模拟 1-全部



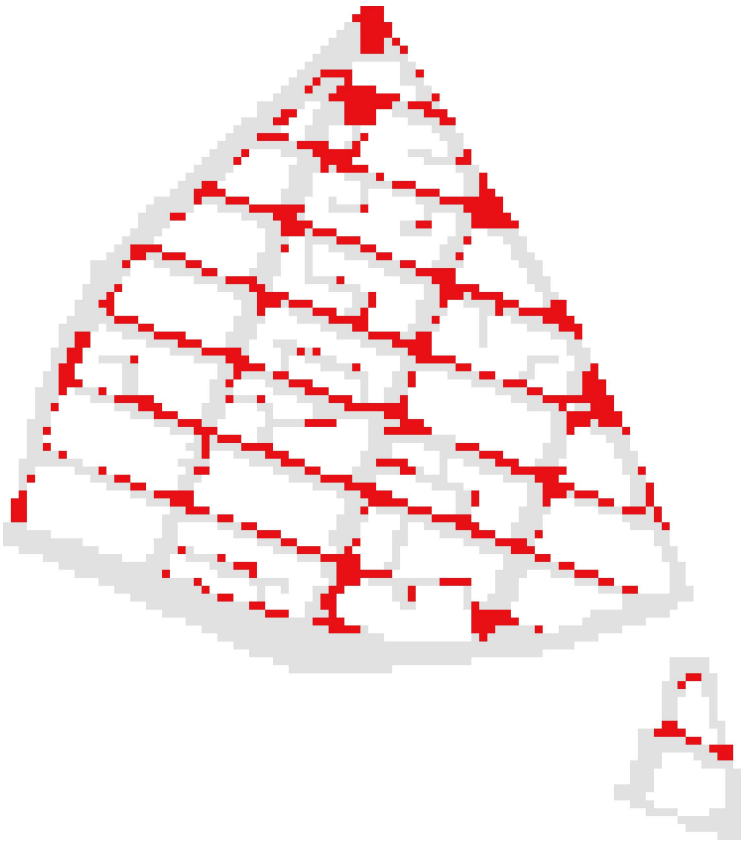
中心绿地步行系统分析-模拟 2-全部



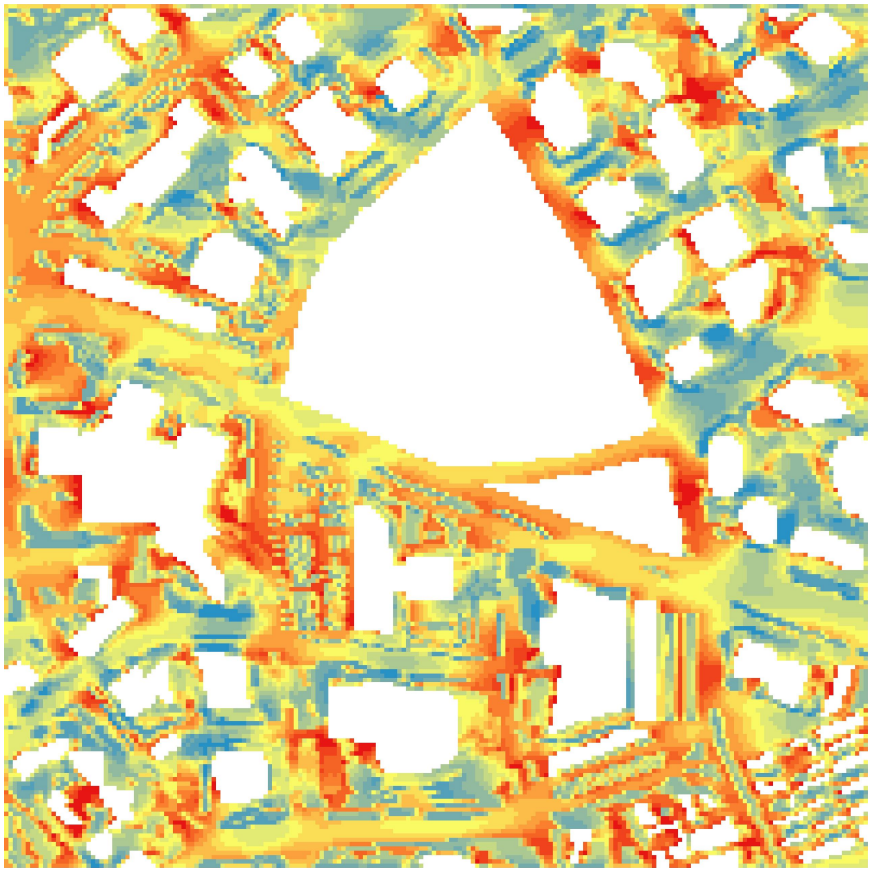
中心绿地步行系统分析-模拟 3-全部

中心绿地步行系统分析-模拟 1-PET>35℃

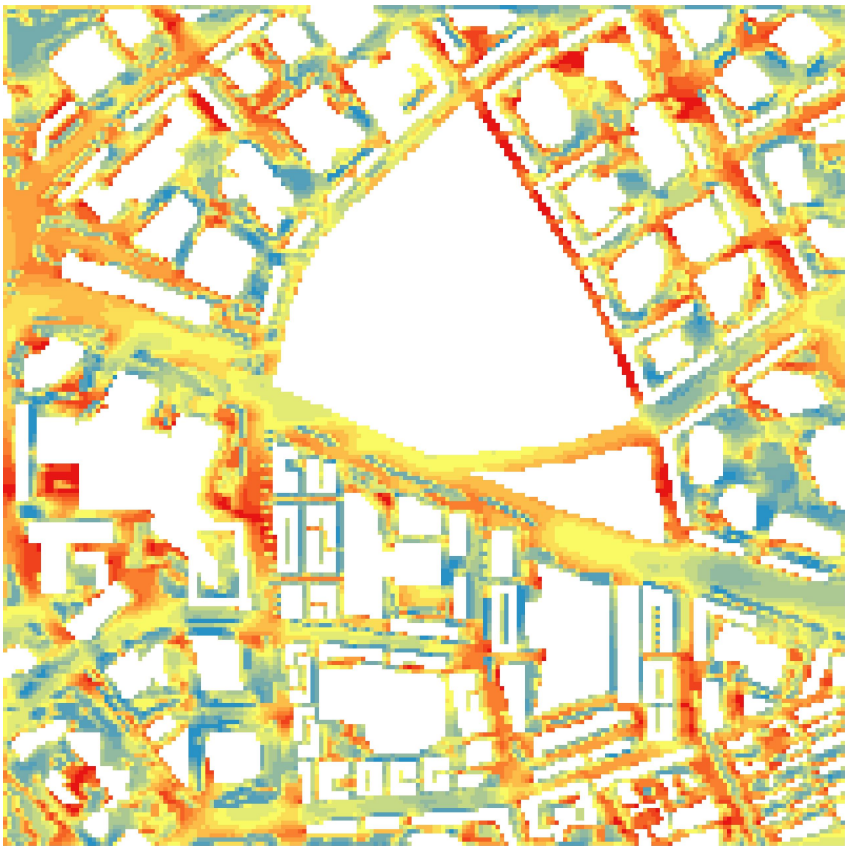
中心绿地步行系统分析-模拟 2-PET>35℃



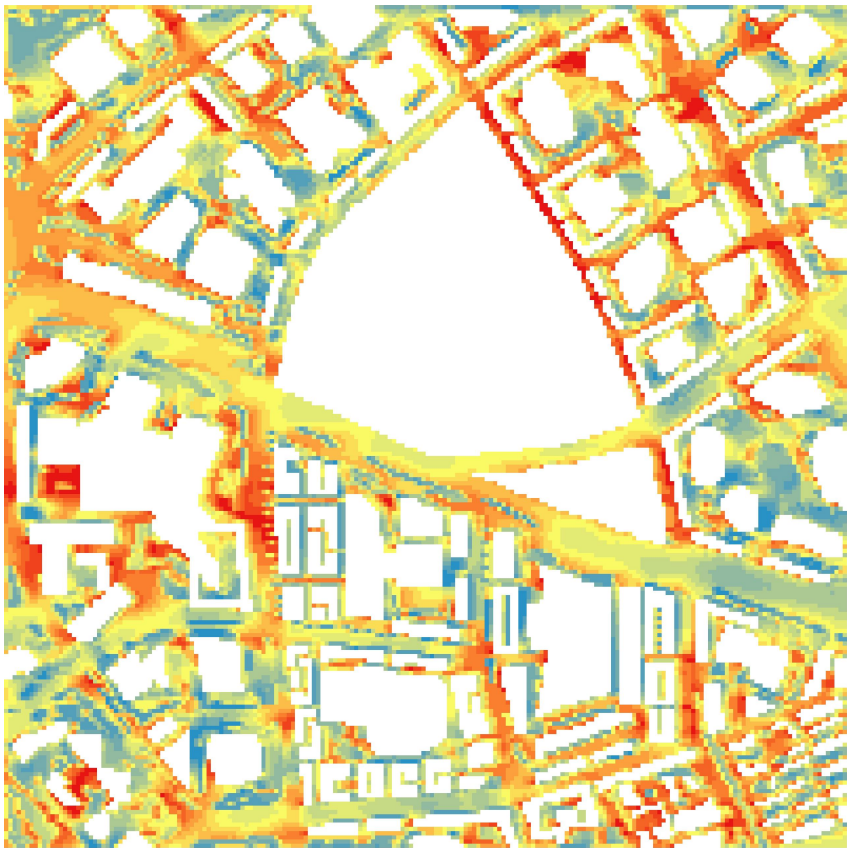
中心绿地步行系统分析-模拟 3-PET>35℃



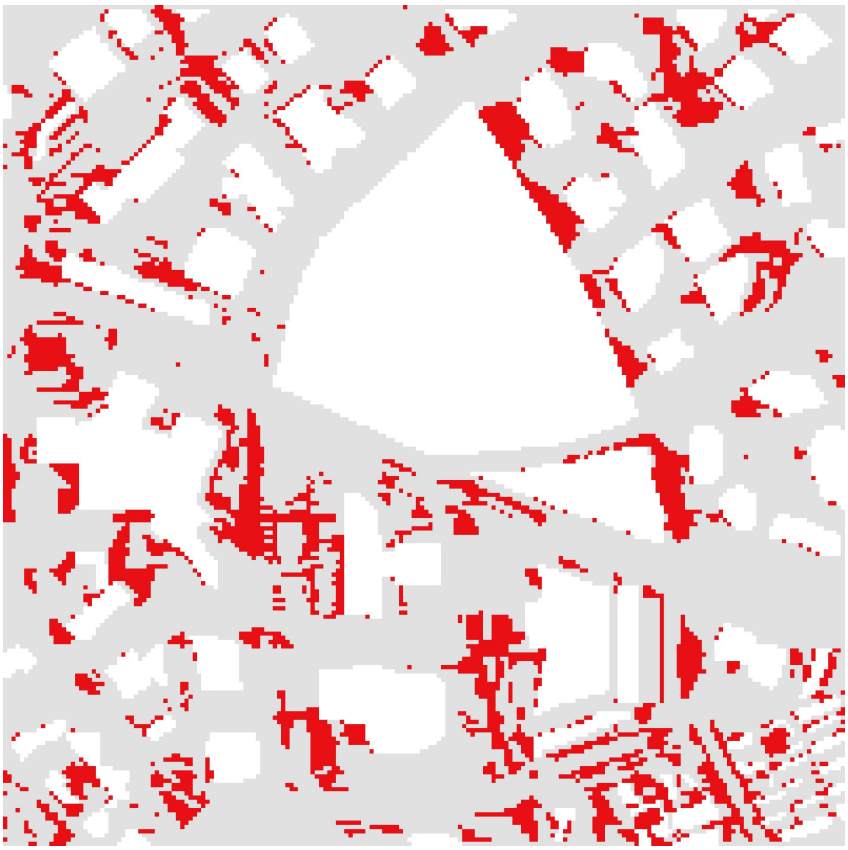
中心绿地之外分析-模拟 1-全部



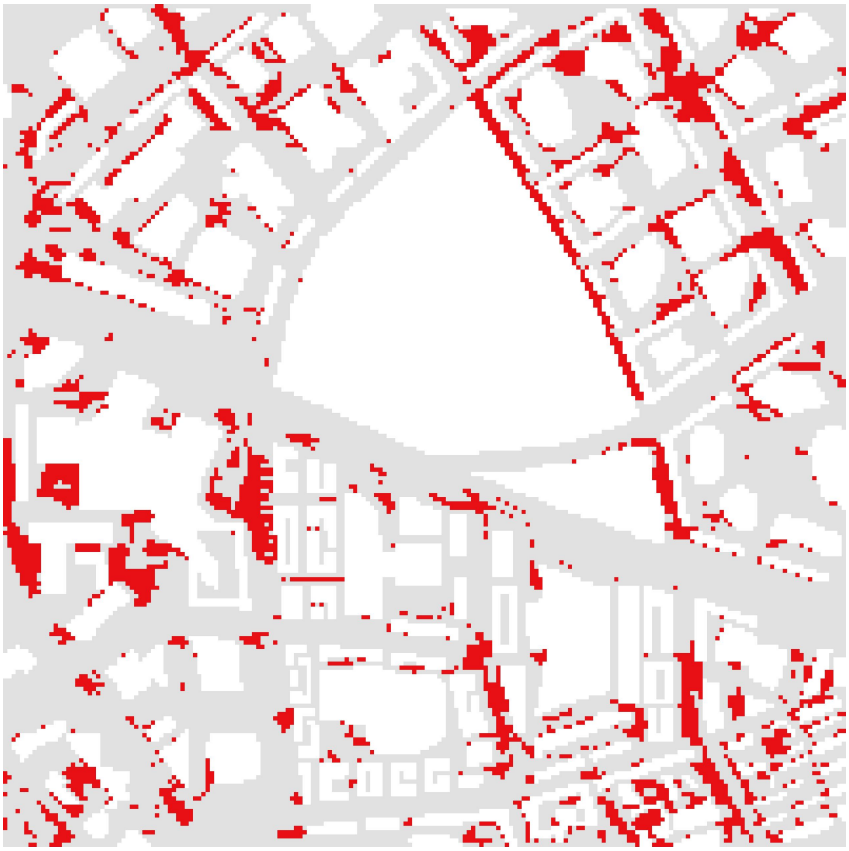
中心绿地之外分析-模拟 2-全部



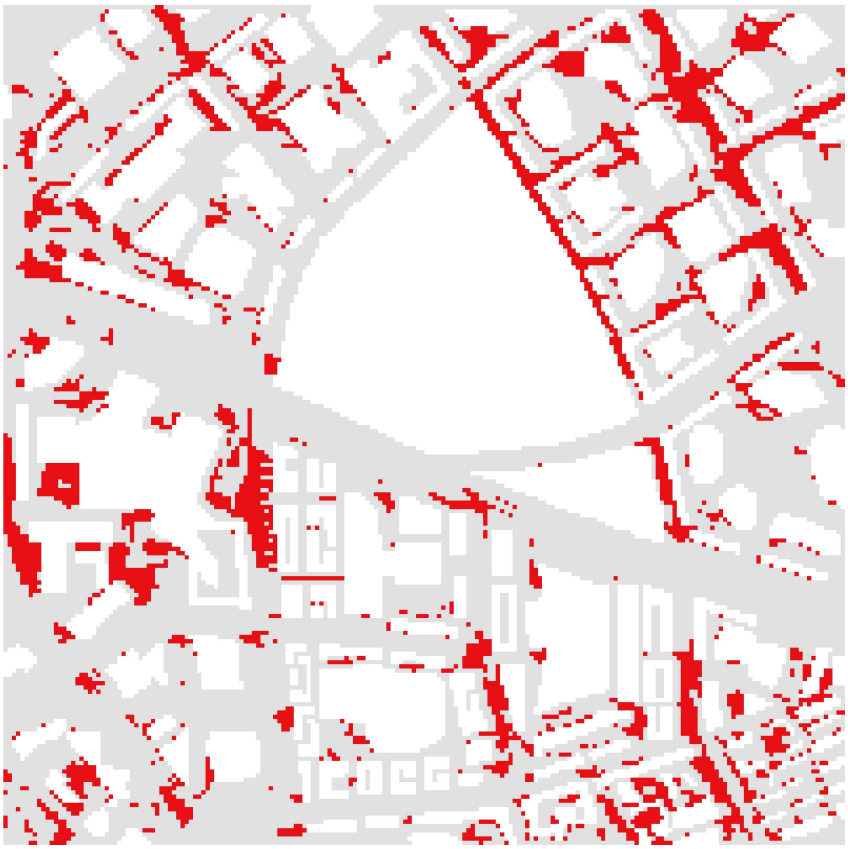
中心绿地之外分析-模拟 3-全部



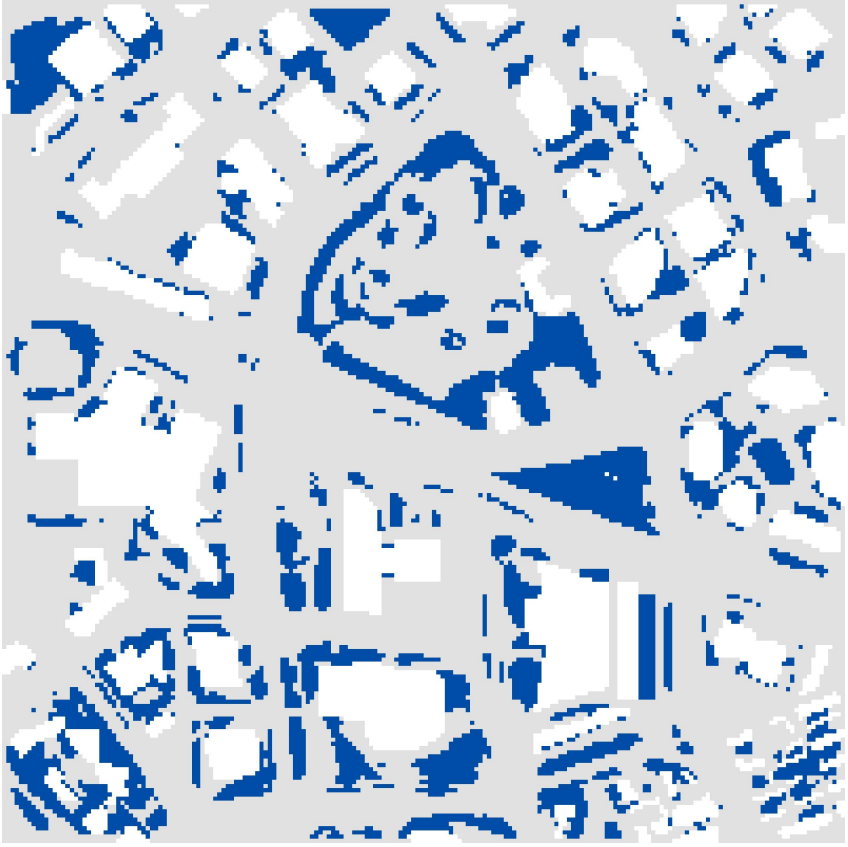
中心绿地之外分析-模拟 1-PET>35℃



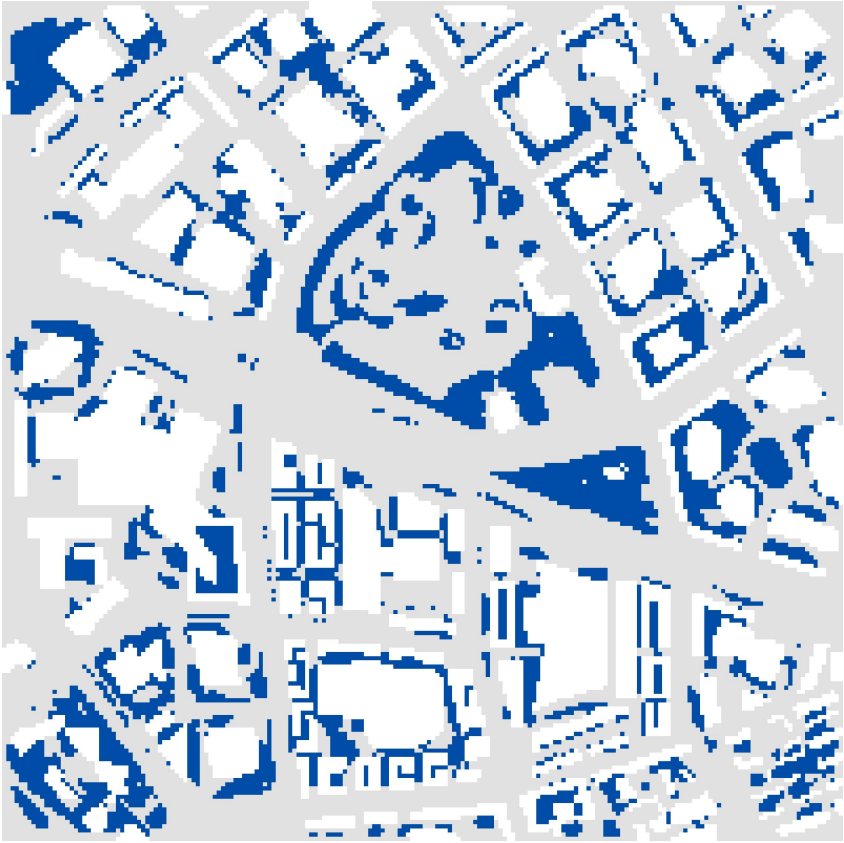
中心绿地之外分析-模拟 2-PET>35℃



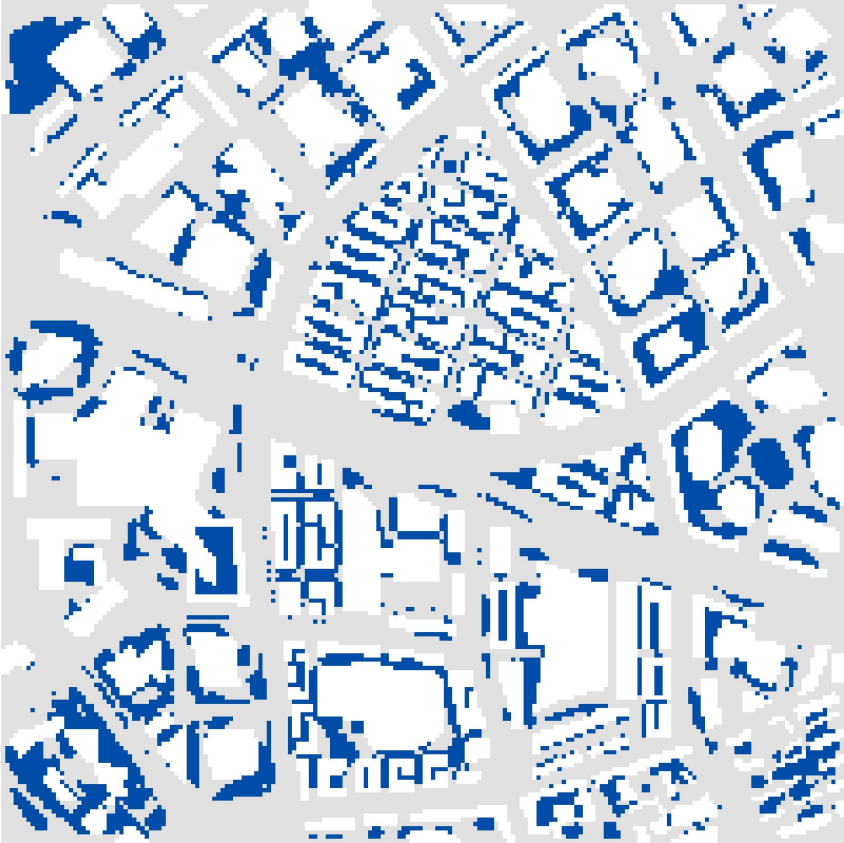
中心绿地之外分析-模拟 3-PET>35℃



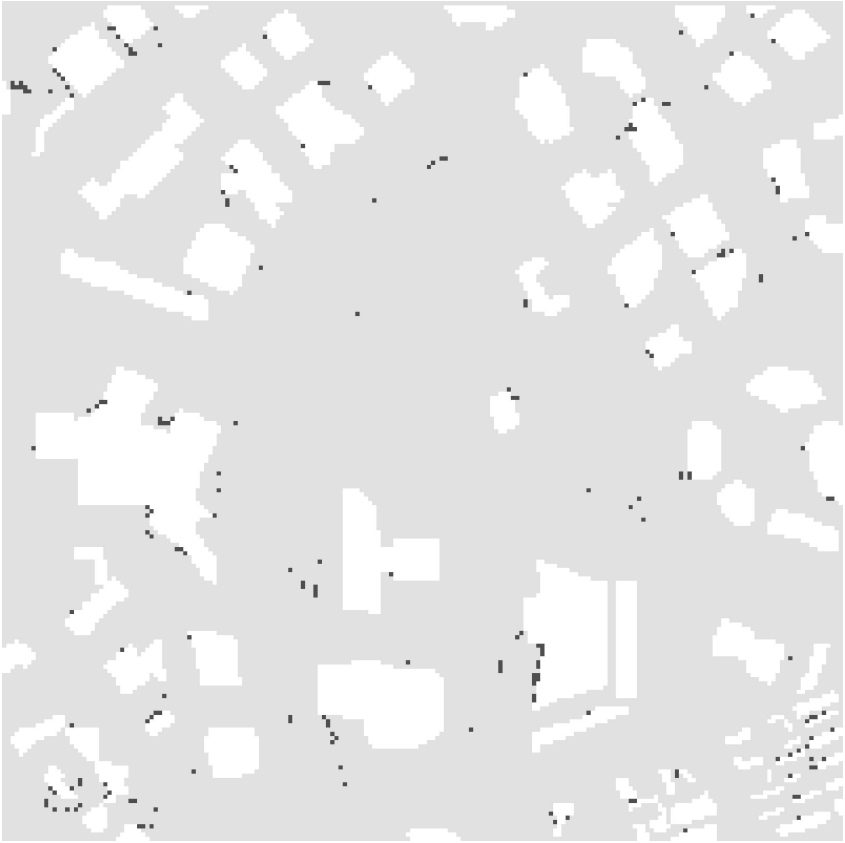
天空开阔度-模拟 1-SVF＜0.15



天空开阔度-模拟 2-SVF＜0.15



天空开阔度-模拟 3-SVF＜0.15



模拟 1-SVF＜0.15&PET>35℃

模拟 2-SVF＜0.15&PET>35℃

模拟 3-SVF＜0.15&PET>35℃