

# 深度学习与特征参数结合的人工智能城市设计方法研究——以城市多类型建筑群落生成为例

## RESEARCH ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE URBAN DESIGN METHOD BASED ON THE COMBINATION OF DEEP LEARNING AND CHARACTERISTIC PARAMETERS: TAKING THE FORMATION OF URBAN MULTI TYPE BUILDING COMMUNITY AS AN EXAMPLE

杨俊宴 朱晓 孙昊成 | Yang Junyan Zhu Xiao Sun Haocheng

收稿日期: 2022-04-20

**摘要** 近年来人工智能技术极速发展,如机器学习、深度学习的产生,为建筑群形态生成等复杂问题的研究提供了新的视角。本研究基于图像学习的黑箱生成与深度学习的案例特征提取,通过专家系统的规则校验对方案进行优化,提出一种深度学习与参数特征相结合的人工智能城市设计方法。同时,通过深圳、威海、大连等案例地块的深度学习实践案例,提取商业、居住等类型街区的表层特征和内在专业知识语义,进而通过计算机自动生成建筑群落方案并优化设计结果,为建筑群形态智能生成提出新的解决思路。

**关键词** 人工智能城市设计;深度学习;生成式设计;建筑群落;人机交互

**Abstract** In recent years, the rapid development of artificial intelligence technology, such as machine learning and deep learning, has provided new perspectives for the study of the formation of building complexes. In this study, the black box generation and deep learning case feature extraction based on image learning are studied, and the scheme is optimized by the rule check of the expert system, and an artificial intelligence urban design method combining deep learning and parameter features is proposed. Through the deep learning practice cases of Shenzhen, Weihai, Dalian and other case plots, the surface characteristics and inherent professional knowledge semantics of commercial, residential and other types of blocks are extracted, and then the computer automatically generates the building community scheme and optimizes the design results, which puts forward a new solution for the intelligent generation of building group forms.

**Keywords** artificial intelligence; urban design; deep learning; generative design; architectural community

国家自然科学基金重点项目(编号:51838002)

杨俊宴 东南大学建筑学院教授,中国建筑学会高层建筑与人居环境学术委员会副主任  
朱晓 东南大学建筑学院博士研究生  
孙昊成 英国伦敦大学高级空间分析中心硕士研究生

参数化设计(parametric design)<sup>[1]</sup>最早是由于对参数化思维逻辑和理念的应用而提出的。其结合参数和算法,丰富并严谨了设计逻辑,提高了设计效率。传统的参数化方法以人为设置为主,参数和规则在本质上只是对人脑思维的复制与快速再现。近年来,人工智能城市设计的研究取得了突破性进展,为建筑群形态生成提出了新的解决思路。<sup>[2]</sup>通过机器学习大量真实案例,提取案例特征和专业知识,应用人工智能方法挖掘设计规律,计算机自动生成并优化设计结果。人工智能城市设计被提出<sup>[3]</sup>的一个重要目的,是使城市设计走向智能化,解放人的同时亦不脱离人,将设计原理转化为智能化规则交给计算机,将人的精力更多释放至设计决策中,形成一种“人机交互的城市设计”<sup>[4]</sup>。

近年来伴随着技术的进一步发展,深度学习技术成为机器学习领域的研究前沿。深度学习是人工智能的一种,通过逐层特征转换,将样本在原空间的特征转换为更高维度空间的特征,从而使分类或预测更加容易。与人工提取复杂特征的方法相比,利用大数据来学习特征,能够更快速、方便地刻画数据丰富的内在信息(图1)。<sup>[5]</sup>卷积神经网络(CNN)、生成对抗网络(GAN)、对抗神经网络(CGAN)等是深度学习常用的技术手段,众多学者采用其进行了设计生成的尝试。例如:何宛余和杨小荻<sup>[6]</sup>建立了居住区生成系统“小库”,利用成熟建筑方案库对计算机大脑进行训练,同时将日照和建筑间距的相关规范作为底层构架,保证了生成方案的合理性;刘悦中等<sup>[7]</sup>将条件生成对抗网络应用于地块级城市设计中,利用85张小尺度的城市卫星图像,实现指定建筑密度和绿化率控制的平面布局方案及立面剖面方案。在三维空间形态生成上,郑豪等<sup>[8]</sup>通过对多名建筑师的不同高层建筑形态进行收集,利用基于点云数据的优化生成对抗网络模型对高层建筑形态进行学习,获得了多样化的研究成果。

现有基于深度学习的设计生成研究成果,更多局限于规律性较强的住宅或公寓户型平面

图等类别,而对更大尺度的空间形态布局设计进行探索的研究屈指可数。在方法方面,以生成对抗网络及其变种模型为代表,多是“从图像到图像”,数据样本量偏少,以致最后生成的结果与现实城市设计中的规则与特征参数难以衔接,无法判断机器的“黑箱”将产出何种结果。因此,本文基于深度学习技术,结合图像学习的黑箱生成与深度学习的案例特征提取,并通过专家系统的规则校验对方案进行优化,提出一种深度学习方法与参数化特征学习相结合的人工智能城市设计方法,为建筑群形态智能生成提出了新的解决思路。

### 1 现有建筑群落层面生成式设计方法梳理

基于理论层面对建筑群的空间组合与布局研究,以及在技术层面智能生成方法的三阶段研究,国内外学者开始探索将智能生成方法应用在建筑群生成研究中。通过已有研究可以发现,在建筑群生成方面,现有的智能生成方法主要应用于三大场景:针对规则约束的住区强排设计,针对功能单一的建筑群自动生成,针对模数明确的历史聚落肌理设计。

#### 1.1 针对规则约束的住区强排设计

以居住区为主的生成式设计,依托住区设计中体系化的规则参数生成强排方案,并结合日照、消防等指标予以优化评价。凌玲<sup>[9]</sup>根据住区建筑物需要考虑的日照、消防等约束条件,构造了建筑布局的数学模型,实现了矩形地块中建筑物的行列式和周边式自动快速布局。宋靖华<sup>[10]</sup>在居住区方案强排阶段,从符合日照、防火间距及类型分区组团等约束条件方面赋予相应权重值,进行规则限定下的建筑自动生成方法研究。孙澄等<sup>[11]</sup>通过制作不同模式训练数据集并进行比选,综合应用地理信息工具、图像处理工具,生成高层、多层、低层居住区训练数据集,对网络进行交替式训练,得到高层、多层、低层居住区对抗神经网络模型。

#### 1.2 针对功能单一的建筑群自动生成

针对功能单一的建筑群,建筑师从给定的建

筑尺寸属性和数量出发，通过设定和组合建筑单体需要遵循的约束机制，进行建筑群自动生成。张馨元<sup>[12]</sup>以产业园区布局为研究对象，立足于多智能体模拟系统中自组织的行为模式，利用计算机编程和参数化建模，在常用的建模平台上建立起满足建筑间距、日照系数、边界约束、组团聚集等要求的产业园区建筑自动布局模型。林文强<sup>[13]</sup>以Pix2Pix模型作为基础技术模型，训练出了一个能自动、有效地生成小学校园设计布局的机器模型，并从规范制约和传统经验视角，对结果进行有效性验证。

### 1.3 针对模数明确的历史聚落肌理设计

依托传统建筑聚落及街巷肌理特色模数，通过数据挖掘和机器学习技术，建立数字化生成设计工具，生成历史街区形态肌理。熊璐<sup>[14]</sup>应用形式语法理论，提出了适合历史街区城市形态的生成设计方法，并以实际地块为例，探索了城市规划条例与形式语法的关联度。吴宁等<sup>[15]</sup>基于CityEngine平台自带的道路、地块生成规则，以及自定义的生成对抗网络建筑生成规则，探索了传统村落空间形态的解析与重构及在规划中的应用。唐芃等<sup>[16]</sup>通过建立案例样本库以及空间相似性检索，基于案例学习的方法应用于对Termini火车站周边城市肌理的织补和自动生成中，验证了机器学习的方法在城市设计中解决复杂问题的优势。

智能生成方法在建筑群中的应用取得了有效进展，但目前的研究仍存在一定的局限性。现有研究对象往往是便于简化处理的建筑群，在生成过程中，只需考虑一定的内部约束条件以满足必要的建筑规范，忽略了建筑群作为复合功能的载体，其形态自身的复杂性，以及建筑群与周边环境的协调。由于智能生成缺失了部分城市设计的专业知识，在实践中将面临更多问题。

## 2 建筑群落层面人工智能城市设计方法框架

### 2.1 从街区到建筑：建立样本特征学习单元

对于人工智能城市设计，其本质还是一种城市设计的工作行为，应当在大的层面遵循城市设计的流程。对于地块建筑群落的学习与智能生成，不能局限于街区内部样本学习，需要从城市设计视角，考虑街区内外的空间联系，实现案例样本中的街区层面城市设计控制要素多特征学习。

通过建立 $9 \times 9$ 的街区样本，在功能组团内建立参考线，保证同一街道两侧建筑中心线方向，建筑长宽比的相似关系，建筑轮廓的平行对齐关系，人为修正生成结构中轴线形状的方向、长短、大小，刚性指标的满足——容积率、绿化率、日照消防规范等。建筑肌理适应自然环境——测量肌理中心线与地形等高线角度，调整不一致的地方；建筑肌理匹配功能区属性和轮廓——通过围合度、密度等指标进行一次判断；建筑肌理适应周边城市空间——建立建筑肌理中心线与周边东、西、南、北四个街区建筑肌理中心线方向一致性的关联。

### 2.2 从表层特征到内在规则：深度学习建构特征规则库

如果说人工智能城市设计是在传统全人工城市设计的基础之上，尽可能地借助计算机的智能规则，解放人的精力，那么面向人工智能城市设计一个关键性的问题，就是如何将设计中一些模块转变成智能规则。规则化的过程不是一蹴而就的，一方面需要前期将经验规则化以便机器学习的生成设计，另一方面需要结合计算机的实现效果再进行交互反馈。

在深度学习过程中，结合街区高度、建筑间距、建筑围合度、建筑朝向进行模糊判断，给出特征标签。以地块高度特征参数学习为例，通过深度学习将样本地块单元方案进行分功能学习，得到地块高度特征参数分布规律（图2），并通过图片标签建立规则联系，在后续生成中基于将地块开发系数映射到高度分布直方图上，设置生成决策器，使方案样本特征进一步结合现实需求，通过特征参数控制、引导图像生成的方向与多方案区间（图3）。

### 2.3 从黑箱生成到规则优化：建立人机交互反馈机制

打通既有条件、人工预设及智能生成的框架。既有条件指设计中的底图条件。任何一个城市设计几乎都不会是在一张白纸上做设计，现状或既有条件约束本身就是设计重要的底图信息。人工预设是指设计者及市长等城市决策者，对于关键设计意图的提出和构想。这些是机器所不能完成的工作范畴。智能生成是指根据既有条件和人工预设，计算机在海量数据库和经验积累的深

度学习中，生成性地给出各阶段的多情境解决方案。既有条件、人工预设、智能生成，三者不是一个阶段中的绝对前后步骤关系，而应该被理解成一种往复循环关系：一方面，通过智能生成的结果，对于既有条件和人工预设其实是一种情景反馈，触发对于既有条件和人工预设的再思考和再判断；另一方面，对于智能生成的结果，人的智慧也在深度介入——筛选、评价、鼓励，形成对于机器生成的引导机制。

## 3 城市多类型街区下的建筑群落智能生成实验

对城市而言，建筑群落形态在城市空间体系的串联下形成一个完整系统。对建筑而言，建筑群落是不同产权功能所属的建筑体量集合，其意义在于为内部建筑单体形态控制提供一个管理框架。因此，建筑群落形态智能生成的目的，在于针对不同的城市板块，快速并精确地搭建一个符合功能定位的，且对单体建筑形态具有指导作用的三维形体控制框架。本次研究的关键点在于如何回应城市为不同功能街区提供的差异化发展条件，如何全面、客观、有效地量化描述建筑群落形态构成特征，以及如何在城市功能和建筑形态之间建立起有效关联，分析、评价和优化二者的效率关系，从而实现建筑群落的集约化发展。

### 3.1 案例片区的特征参数与限制要素学习

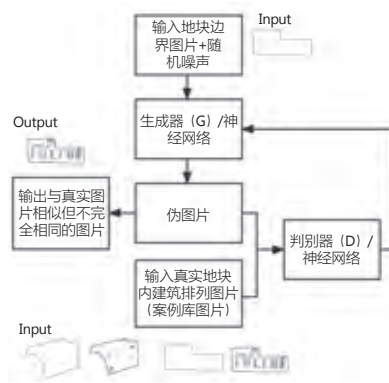
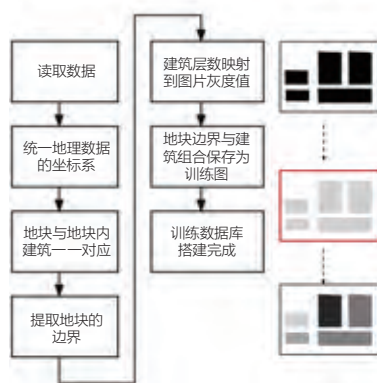
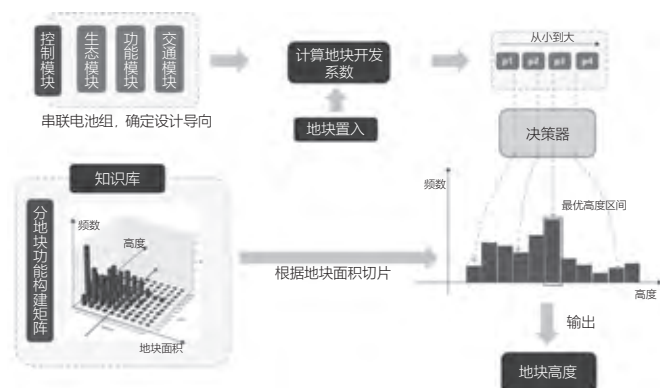
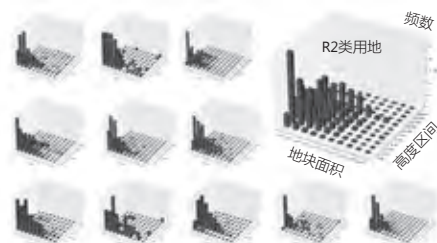
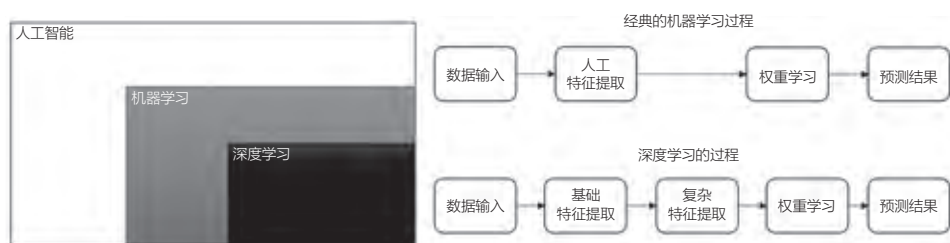
为了满足建筑群落生成的在地性需求，本研究首先对案例片区的特征参数与限制要素进行模型构建。这是一个感性认知与理性思考的过程，主要依托规划学视角下的逻辑推导及计算机语言下的图像及参数学习方法对要素进行提取。在纵向层面，实验对上位规划与控制导则以参数化的形式进行转译；在横向层面，实验对与案例片区相关的现状场地要素进行参数化及图像化转译——两者共同组成外部影响的特征参数与限制要素。

### 3.2 基于深度学习的多类型街区建筑群落智能生成系统搭建

相较于案例片区的特征参数与限制要素的学习过程是对场地特殊性的解读，本次实验的重点——建筑群落智能生成，则是具有通用性的应用方法。本次实验主要分为三个步骤：

第一步，实际空间到案例样本的映射。本次

- 1 深度学习过程中对样本的特征提取关系图
- 2 地块高度特征参数分布规律特征学习图
- 3 地块高度参数生成决策器
- 4 实际空间到案例库样本的映射关系图
- 5 Pix-to-Pix深度学习模型训练过程



实验通过 OpenStreetMap (开源地图) 网站获取建筑、植被绿地、地块等详细地理数据等共计 158 907 条, 包括国内多个大都市中心城区。通过实际街区内的矢量数据抽象提取其建筑群落空间组织模式, 即建筑实体空间与景观公共空间的组合关系, 作为基础学习样本。处理过后的样本图像大小为  $256 \times 256$  像素 (图4)。

第二步，案例库构建。将基础数据进行处理后，得到建筑强度、建筑密度及用地功能等相关指标，对不同街区内的建筑群落类型根据不同空间强度与地块功能进行人为标签化处理，以此构建深度学习的案例库。根据不同的属性类别标签，将案例样本分类对应不同的训练模型，其中训练数据集占比80%，测试数据集占比20%。

第三步，训练深度学习模型。借助Python编程平台构建深度学习模型。本次深度学习选用了Pix-to-Pix，一种条件对抗神经网络的生成器与判别器，训练过程中输入地块边界、用地属性和地

块强度等约束信息(图5)。

### 3.3 不同功能、不同强度的建筑群落智能生成结果

将带有标签属性的地块数据输入实验程序内, 将获得建筑群落的平面生成结果(图6)。利用上述模型进行建筑群落生成, 伴随着噪声的植入和变换, 计算机可以在短短几秒钟给出无数个生成结果。

在获得建筑群智能生成平面的基础上，实验程序将输入地块数据的坐标位置信息重新赋予带有生成建筑的地块数据，并根据生成建筑的灰度值（0~225）自动转换为建筑群落的高度值。此外，由于输入实验程序的地块数据带有地块功能与强度需求的标签，结果会根据不同需求生成不同类型的建筑群落（图7、图8）。结果显示，不同功能类型的地块生成结果差异明显——商业街区内部建筑群落内的高度变化更多样，居住街区内部建筑群的行列式倾向明显，工业街区内部建筑群的间距更短。针对不同强度标签的地块，实

验程序也会输出相应强度的结果。

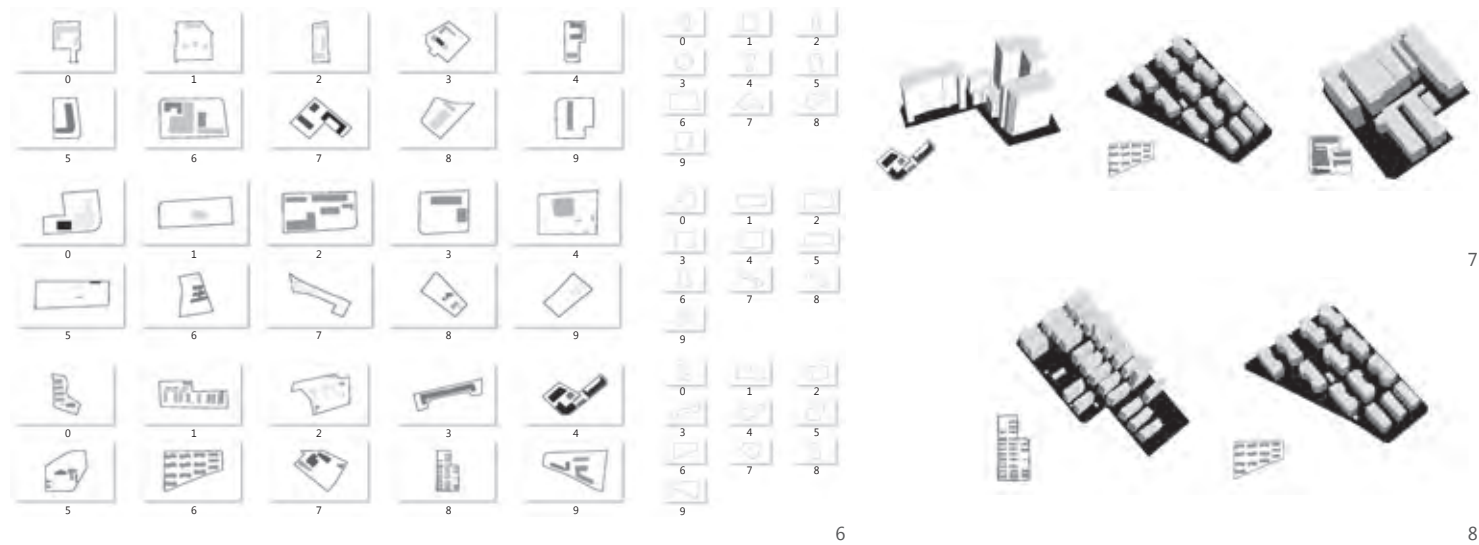
### 3.4 多维迭代人机交互优化

在此次训练的过程中，可以发现伴随模型迭代次数的增加，地块内建筑群落的形态会由颜色模糊与形状粘连的状态逐渐转变为清晰且明确的边界。实验表明，保证每个深度学习模型训练次数至少迭代 50 000 次以上，才能使生成的建筑群落结果收敛至最优效果。

实际上,这是一个多目标优化问题,即在一个问题模型中同时存在多个互相冲突的非线性目标需要同时优化,通过协调权衡使所有目标函数尽量达到最优。对于建筑群形态智能生成,多目标问题的解决需要基于多维迭代算法,反复运用一系列的计算步骤进行建筑群形态生成,并将前一次迭代得到的结果作为下一次迭代的输入,结合生成过程和优化过程,直至结果逐渐收敛便停止计算。因此,在智能优化过程中,实验将多维目标驱动下建筑群形态生成问题集成传统设计



6 建筑群智能生成平面部分结果(自上至下分别为工业、商业和居住类型街区)  
7 建筑群商业、居住、工业三类街区三维形态智能生成结果  
8 建筑群不同强度三维形态智能生成结果,以居住街区为例



流程中“方案设计—方案修改—方案优化”各环节,利用多维迭代算法,实现多目标下建筑群的智能优化。

#### 4 结语

对城市而言,建筑群落形态在城市空间体系的串联下形成一个完整系统;对建筑而言,建筑群落是不同产权功能所属的建筑体量集合。因此,在总结分析传统自动生成方法的基础上,聚焦街区尺度的建筑群落生成,在生成逻辑上将“黑箱式”一键生成方法思路拓展到“上位规划—外部衔接—公共空间—建筑群形—建筑形态”的参数学习与智能生成的思路,建立特征参数与深度学习系统的关联,对于智能生成的结果将设计师的智慧也在深度介入。■

#### 参考文献

[1] 蒋钊源,蒋桦.浅析参数化城市设计[J].建设科技,2013(22):64-65.  
[2] 宋嘉.浅析参数化工具在城市规划和设计中的应用[C/OL].第3届金经昌中国青年规划师创新论坛,2014:178-179.[2022-04-01].[https://www.zhangqiaokeyan.com/academic-conference-cn\\_meeting-2795\\_thesis/02022592311.html](https://www.zhangqiaokeyan.com/academic-conference-cn_meeting-2795_thesis/02022592311.html).

[3] 杨俊宴,朱骁.人工智能城市设计在街区尺度的逐级交互式设计模式探索[J].国际城市规划,2021,36(2):7-15.  
[4] 王建国.基于人机互动的数字化城市设计——城市设计第四代范型刍议[J].国际城市规划,2018,33(1):1-6.  
[5] WANG T C, LIU M Y, ZHU J Y, et al. High-resolution image synthesis and semantic manipulation with conditional GANs [D/OL]. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018: 8798-8807. [2022-04-03]. <https://arxiv.org/abs/1711.11585>.  
[6] 何宛余,杨小荻.人工智能设计,从研究到实践[J].时代建筑,2018(1):38-43.  
[7] 刘跃中,斯托夫斯·卢迪,杨阳.基于条件生成对抗网络的城市设计研究[J].建筑学报,2018(9):108-113.  
[8] ZHENG H, HUANG W X. Understanding and visualizing generative adversarial networks in architectural drawings [EB/OL]. (2018-05-17) [2020-05-07]. <https://www.researchgate.net/publication/325117957>.  
[9] 凌玲,王晓博,李成刚.基于内部可行域的住区建筑物自动布局算法[J].计算机技术与发展,2013(8):1-4,8.  
[10] 宋靖华,胡杨.基于生成式设计的居住区生成强排方案研究[C]//全国高等学校建筑学专业教育指导委

员会建筑数字技术教学工作委员会.数字技术·建筑全生命周期——2018年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2018:169-174.  
[11] 孙澄,曲大刚,黄茜.人工智能与建筑师的协同方案创作模式研究:以建筑形态的智能化设计为例[J].建筑学报,2020(2):74-78.  
[12] 张馨元.基于多智能体系统的产业园区建筑自动布局生成研究[J].建筑发展,2019(4):2.  
[13] 林文强.基于深度学习的小学校园设计布局自动生成研究[D].广州:华南理工大学,2020.  
[14] 熊璐,张红霞,冷天翔.形状语法参数化城市设计模型初探——以江南水乡滨水空间生成为例[J].新建筑,2018(4):24-27.  
[15] 吴宁,温天蓉,童磊.参数化解析与重构在村落空间中的应用研究——以贵州某传统村落为例[J].建筑与文化,2016(5):142-143.  
[16] 唐芑,李鸿渐,王笑,等.基于机器学习的传统建筑聚落历史风貌保护生成设计方法——以罗马Termini火车站周边地块城市更新设计为例[J].建筑师,2019(1):100-105.

图片来源  
图1~图8:作者绘制