

历史地段多尺度层级结构 解析模型的建构及应用

——以南京荷花塘历史文化街区为例

Construction and Application of Analytic Model for Multi-Scale Hierarchical Structure in Historic Residential Areas

A Case Study of Hehuatang Historical and Cultural Block in Nanjing

[宋哲昊] SONG Zhehao¹
[唐芑] TANG Peng^{1,2} (通讯作者)
[王笑] WANG Xiao¹
[宋亚程] SONG Yacheng¹

作者单位

1 东南大学建筑学院(南京, 210096)
2 城市与建筑遗产保护教育部重点实验室
(东南大学)(南京, 210096)

收稿日期

2023/08/11

国家自然科学基金项目(52178008)

DOI: 10.19819/j.cnki.ISSN0529-1399.202310009

摘要

在数字化智能化的背景下,提出数据驱动的解析方法和与之配套的操作工具:基于形态类型学认知历史地段多尺度层级结构的特征,通过数据集转译并反映历史地段各层级上空间元素的形态特征及其关联关系。面向历史地段保护与更新实践中的具体工作,尝试通过计算机编程自行研发数字化工具,完成调研数据的实时解析,并协同多元主体意愿获得设计策略。

关键词

居住型历史地段;保护与更新;多尺度层级;形态类型学;解析模型

ABSTRACT

In the context of digitalization and intelligentization, data-driven analytical methods and matching operational tools are required to complete the conservation and renewal design of historic areas. This paper contends for the multi-scale hierarchical structure of historic areas based on the typomorphology, and translates and reflects the morphological characteristics and related relationships of spatial elements at each level of the historic area through digital methods. Developing a digital tool through programming to focus on the specific work in the practice of conservation and renewal of historic areas, it can complete real-time analysis of research data and collaborate with the wishes of multiple agents to obtain design strategies.

KEY WORDS

historic residential area; conservation and renewal; multi-scale hierarchy; typo-morphology; analytic model

历史地段是国际通用的概念,定义为“保留历史遗存较为丰富,能够比较完整、真实地反映一定历史时期传统风貌和民族、地方特色,存有较多文物古迹、近现代史迹和历史建筑,并具有一定规模的地区。”居住型历史地段是其中的一个类型,在保留了历史空间结构和传统风貌的同时,传承了相应的社会结构与文化传统,是城镇集体记忆的重要物质载体^[1],其保护和更新是城镇化中后期改善人居环境和传承历史文化的重要任务^[2]。在信息化背景下,面广量大的历史地段保护与更新工作更需要智能化的方法。

在历史地段中,居民对生活空间进行了长期持续的自主营建,历史地段也因为居民生活始终在活态发展。在保护与更新工作中产权人、管理部门、投资人、设计师的理念都会影响历史地段的改造措施。设计师在实践中无法采取“先规划编制,再建筑设计”的操作流程,而是首先要收集并协调多方利益与诉求进行解析和判断,才能展开有针对性的设计操作^[3];设计师的工作重点,已从图纸绘制转变为根据利益相关群体的复杂诉求进行综合决策和设计操作^[4],而其所面临的设计前期信息统筹与解析工作更加繁重。第二,历史地段的空间结构

是自下而上逐渐形成的。每一个微观单元的调整,例如立面改造、破墙开门、院落拓展等,都会影响到整个街区的街巷构型和公共空间品质。这正说明了历史地段是一个单元与整体相互关联的、具有多层次结构的有机系统。无论从人的角度,还是物质空间的角度来看,历史地段的更新改造都是一个多元主体共同决策,并寻求多目标最优解集的问题^[5]。以智能化方法求解此命题,就需要明确单元与整体形态之间的关联关系,建立解析与综合决策相关联的数据结构,并研发支撑上述工作的智能化工具。

1 国内外研究进展

1.1 历史地段空间形态的认知与智能化解析

对历史地段进行定量分析与数学建模得益于GIS技术、统计分析软件、智能建模软件、景观分析软件的发展。其空间形态的量化方法通常采用多指标组合的方式,如“边界形状、空间结构、建筑秩序”三组形态指数^[6],又如空间句法基于图论(Graph Theory)来揭示空间形态的深层结构特征,进而建立物质空间结构与空间功能配置的关联^[7]。

中国的历史地段，无论是建筑本身的模数化建造体系，还是院落形式或街巷构型，都有着明确的尺度层级关系。这与分层级进行信息存储和调用，并能够实现快速解析的数字化思维十分适配，适合建立起相应的数据集，继而可以利用智能算法工具获取空间形态的构成规则或对其进行聚类^[8]。西方关于城市物质形态的研究经过多年的发展，形成了城市形态学与建筑类型学两大学派相互印证的形态类型学体系^[9-10]。宋亚程等重点探寻了形态类型学视角下多尺度层级的解析框架与中国城市实际形态的差异，并做出了相应的改进与完善，使既有理论更适应于中国居住型历史地段的复杂空间^[11]。夏青等在陕西省彬县老城开元寺片区的保护更新中解析了从街巷肌理到院落空间，再到细部做法的类型特征，并以此为依据完成了历史地段的重构设计^[12]。韩冬青等在南京小西湖历史风貌区的改造设计中探索了形态类型学方法的“在地化”创新^[13]。形态类型学的方法为中国历史地段的研究提供了有效的认知体系，也为智能化数字化的解析打下了基础。

在形态解析与智能设计方面，张可寒(Kehan Zhang)等以厦门鼓浪屿传统建筑为研究对象，利用类型学方法提取当地传统建筑的平面类型，并转译为形状语法，在Grasshopper中编写了基于规则的相关生成方法，实现了文化遗产的定量分析与智能化建模^[14]。笔者团队在罗马中央火车站周边地区城市更新的研究中，利用

OpenStreetMap(OSM)地图数据建立了案例数据库，基于机器学习中的案例推理获得建筑、地块、街区层级的组合规则并运用到生成设计中获得了初步的成果^[15]。在宜兴蜀山古南街的研究中，基于形状语法建立了从道路、地块到建筑、立面构件等各形态要素的数字化描述方式，形成打通各尺度层级的全数字链关联机制，实现了三维层面的聚落形态智能化生成^[16]。

1.2 众包系统(crowdsourcing system)与群智计算(crowd computing)

1960年代，谢里·阿恩斯坦(Sherry R. Arnstein)在《公民参与的阶梯》(A Ladder of Citizen Participation)中系统论述了城市设计过程中公众参与的层级与阶段，奠定了公共参与的概念和研究基础^[17-18]。国内越来越多的学者开始推动基于多元社会主体参与的历史地段的保护与更新方法，并完成了诸多实践^[19-21]。王建国等在蜀山古南街历史文化街区的更新改造中，采取了针灸式的工作模式，通过关键节点的改造激发街区活力并作为居民自主更新的样板，增强居民的参与感，使街区环境得到持续的改进与提升^[22]。

针对现场调研工作中的多线程和重复劳动，多终端协同理念(Web-based Collaboration)被引入遗产保护中。以ArcGIS Online^[23]为代表，通过多终端的应用进行多主体共同操作，各方可通过网络上管理 and 共享既有的数据。近年来兴起的群智计算是建立在多终端协同理念上的

一种智能化计算模式，主要包括众包系统和群智感知(crowd sensing)系统。马拉·阿德里安娜(Marra Adriana)和法布罗奇诺·乔瓦尼(Fabbricino Giovanni)面对遗产保护中的复杂社会信息，建立并完善了基于多元人群的应用程序，用于综合性条件评估与价值判定^[24]。迪内希·卡特里(D. Katre)提出了文化遗产众包系统的概念(Cultural Heritage Crowdsourcing System, CHCS)，并通过众包社区启发式方法对文化遗产进行详细评估。在系统中允许公众、专家等对遗产对象进行不同信息的录入和版本的更新；同时不同专业背景人员的参与，也支撑了启发式设计及评估相关联的体系^[25]。

目前为止，大多数智能工具研发都基于GIS、Grasshopper、CityEngine等成熟软件。但这些软件的应用并不能完全应对设计师在历史街区更新改造这一特殊工作过程中遇到的问题。本研究尝试通过Java语言编程，直面并回应历史地段保护与更新实践中的具体操作，以设计师身份自行研发面向设计师的智能化解析工具。

2 荷花塘历史文化街区的现状与空间结构

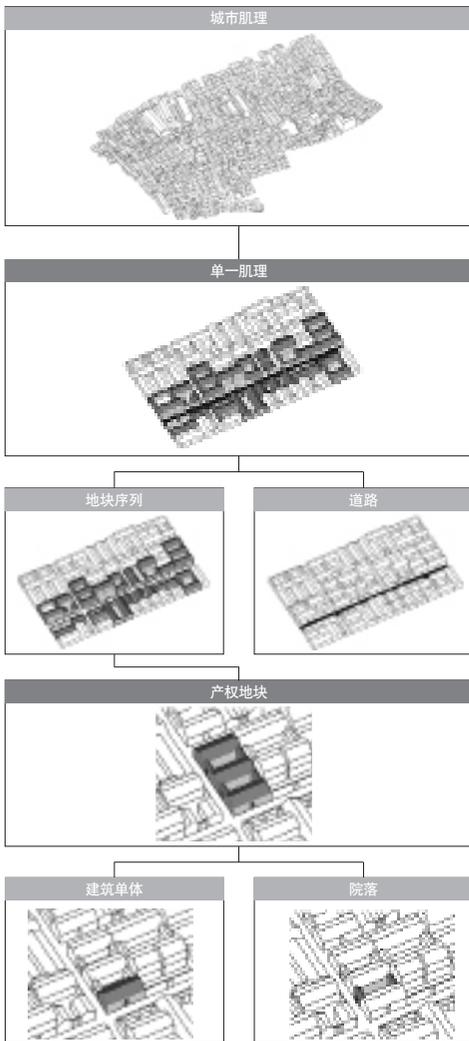
2.1 研究对象概况

荷花塘历史文化街区(以下简称荷花塘)是南京老城南众多居住型历史地段中较有代表性的一个，是南京现存的明清传统住区中历史格局最清晰、传统风貌最完整、历史遗存最丰富的地区之一。荷花塘北侧和东侧临近城市主干道集庆路和中山南路，南接明城墙，西临鸣羊街，与愚园隔街相望，占地12.57hm²。荷花塘的历史可追溯到六朝时期，明清时期奠定了的空间格局一直传承至今。街区内有多处文保单位和大量传统民居。由于长期以来缺乏成体系的规划与保护措施，致使私搭乱建现象严重、空间格局凌乱(图1)。街区内房屋的产权大多因历史问题而错综复杂，同一居住单元内多产权人意愿的协调使保护更新工作困难重重。

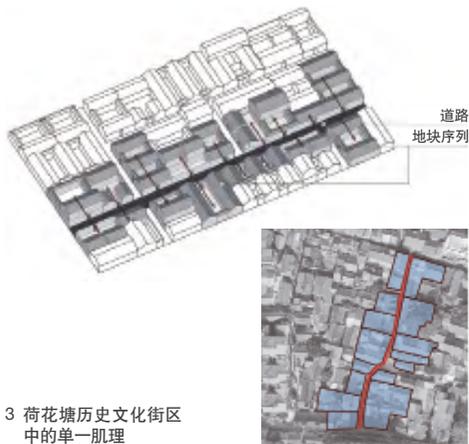
荷花塘的更新改造，需延续街区原有的历史记忆与空间类型特征，并整合政府管理



1 荷花塘历史文化街区周边环境与现状



2 荷花塘历史文化街区的尺度层级结构解析



3 荷花塘历史文化街区中的单一肌理

部门、居民、设计师等多个群体的意见，因而成为居住型历史地段保护与更新的一个典型研究范例。

2.2 荷花塘的形态类型学解读

本研究尝试引入克罗普夫(Kropf Karl)的

表 1 各层级空间元素的形态特征属性

层级	自身属性	外部属性	示例
单一肌理 (道路)	长度 Length 宽度 Width	深度值 连接值 控制度 集成度	
地块	占地面积 $Area=S_1+S_2+S_3+S_4$ 容积率 $FSI=(F_1 \times S_2+F_2 \times S_4)/Area$ 建筑占地率 $GSI=(S_2+S_4)/Area$ 平均层数 $L=FSI/GSI$ 开放空间率 $OSR=(1-GSI)/FSI$	深度值 连接值 控制度 集成度	
建筑	占地面积 S 层数 F 总面积 All $Area=S \times F$ 风貌评估 Feature mark 质量评估 Quality mark	深度值 连接值 控制度 集成度	

街区尺度层级理论^[26]，通过“城市肌理(街区)—单一肌理—地块序列与道路—产权地块—建筑与院落”的尺度层级结构，来认知和标识荷花塘从街区整体到建筑单体的空间组构方式和类型特征。

图 2 描述了荷花塘各尺度层级上空间元素的相互关联，建构了从街区整体到微观单元的层级结构。其中单一肌理、产权地块与建筑单体作为保护与更新工作的直接操作对象，是本研究关注的重点。荷花塘的“城市肌理”体现在道路网络构型上，其道路网由数条主街以及多条支路构成，街道两侧的地块呈鱼骨状排列，街道与其相邻的地块序列即组成一个“单一肌理”(图 3)。“单一肌理”是连接“城市肌理”与“地块序列和道路”的中间类型，是居住型历史地段空间构成的主要要素。

“地块”是“地块序列和道路”的下一层级，多为不规则矩形。在荷花塘漫长的发展过程中，随着政策、土地所有权与分配方式的多次调整，地块被多次重新划分。现有地块划分方式基于产权而非形态边界，同一产权人名下的房屋与院落组成的地块在本文中称为“产权地块”，成为更新设计的直接操作对象^[13]。

“建筑单体与院落”是“产权地块”之下的层级。荷花塘内的现有建筑大多为 1 ~

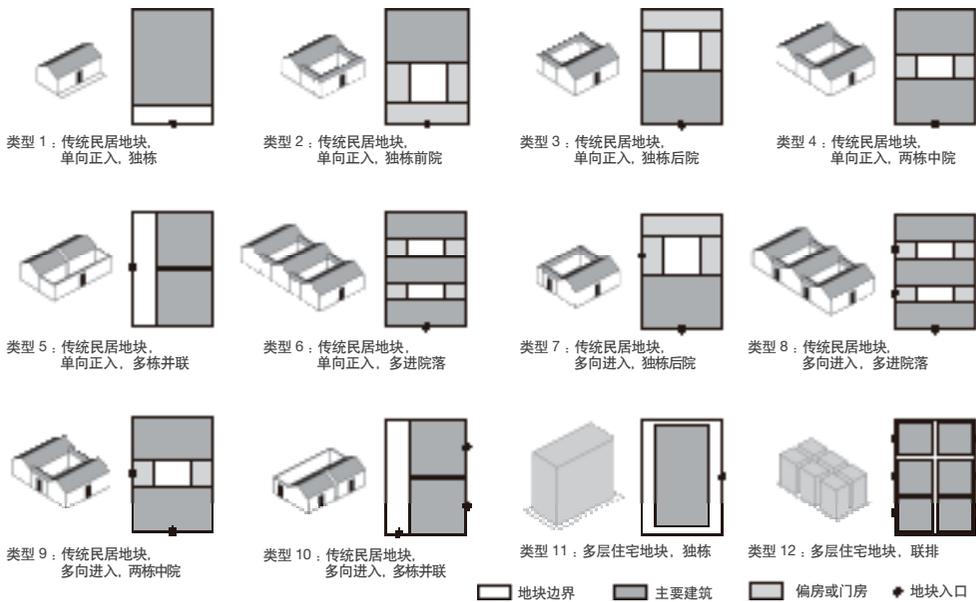
2 层的传统民居，还有少量近年来兴建的多层住宅或公共建筑。建筑临街出入口原本大多位于建筑檐面上，但随着院落不断细分为多户人家共同居住，建筑逐渐新增了山墙面或其他方向的出入口。单体建筑与院落布局模式以此划分为不同模式(图 4)，用来表达“建筑单体与院落”的使用模式、到达方式和公共性。

3 荷花塘多尺度层级结构解析模型的建构与应用

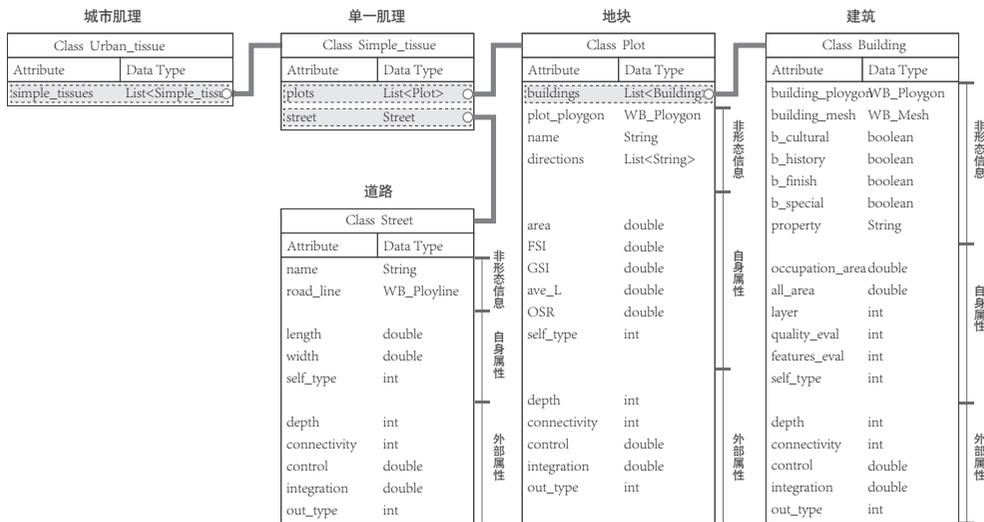
3.1 后端：空间形态特征的数字化转译

针对道路、地块、建筑等空间元素，本研究重点解析两方面形态特征：1) 空间元素自身的几何特征，例如道路的长宽、地块的建筑密度、容积率和建筑的面积等。这些属性反映了空间元素的直观形态，是设计师直接操作的对象，统称为“自身属性”。2) 反映空间元素之间及其与外部空间的关联属性，借用了空间句中深度值、连接值、控制度和集成度^[7] 4 个量化指标描述^[7]，统称为“外部属性”。这些量化指标表达了空间元素在整个街区中的拓扑位置、交通便利程度及与其他元素连接的紧密程度等(表 1)。

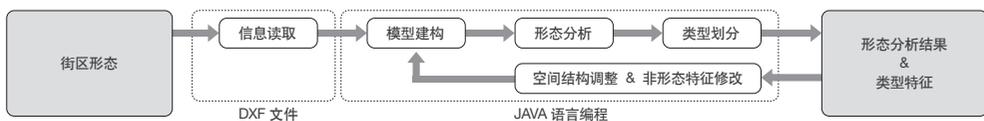
上述特征属性将空间元素的形态进行了数字化转译，因此形态分析结果也是以数据形式呈现，不能给予习惯用形态操作的设计



4 荷花塘历史文化街区中建筑与院落的布局类型举例



5 反映多尺度层级结构的解析模型架构图



6 解析模型中的循环调整与快速分析反馈机制

师以直观的参考。为使解析方法更适应设计师的操作习惯，本研究引入 K-Means 聚类算法²⁾，用以识别同一层级上同类空间元素基于自身属性或外部属性的类型特征。该算法根据需要的类型数量设定相应的集合，并依据给定的多项特征值计算每个元素与集合中心之间的距离，将类似的空间元素纳入距离最近的集合中。每次循环遍历后，集合的中心会重新调整，空间元素则会根据新的集

合中心进行重新分配。经过多次循环直至各类型的空间元素数量不变后，所有道路、地块与建筑就被划分为特征相似的几种类型。此时设计师便可直观地根据空间元素在几何与拓扑层面的聚类结果来选择设计策略。

3.2 中端：解析模型建构

基于上述数字化转译，研究接着通过 Java 程序语言建立起对多尺度层级结构进行系统性描述的数据集，并构建能够实时计

算和输出结果的解析模型。

按照设计师的操作习惯，解析模型架构于研究对象的 CAD 总平面图上。首先在 DXF 文件中将道路的线段以及地块、建筑与院落的图块分别置于对应图层中，程序通过识别图层名将对应的空间元素几何信息纳入解析模型中。同时，从外部输入的空间元素的非形态特征属性，例如历史价值、产权关系等，亦提前标注于 DXF 文件中的图块内，可随时被读取并与相应的空间元素匹配。

解析模型为每个层级定义了一个类，类的不同对象对应该层级上所有的空间元素。每个对象的属性除了该空间元素的形态特征属性与非形态特征属性之外，还包括一个与其关联的下一层级空间元素的数据集。例如，一个产权地块的属性包括了该地块内所有建筑的对象。类对应各个层级，各个层级的数据通过对象的属性相互联动(图 5)。

形态分析过程中，形态类型学的分析方法被转译为相应的几何算法，空间句法中的各评价函数也被写入 Java 程序中。在解析模型中，逐层级应用相应的函数进行计算，即得到所有层级上空间元素的形态分析结果。之后程序运行 K-Means 聚类算法，根据形态分析结果快速给出同种空间元素分别基于内部属性与外部属性的类型特征。在解析模型内形成了数据驱动的“建构—解析—聚类”的形态解析流程。任意历史地段的地形图 DXF 文件按照前述方法导入解析模型平台后都能直接转化为数据信息并实时输出相应的解析与聚类结果。

解析模型还增加了调整与循环更新的功能。一方面，模型中道路、地块与建筑等空间元素的数据集可以随时增加或减少，对应于历史地段保护与更新过程中道路网的调整、地块的再划分与建筑的拆除等操作；另一方面，模拟公众参与的过程，根据产权人的意愿模型中每个空间元素可以进行拆、改、留等操作，建筑属性等也可被修改。在输入条件改变后，解析模型就会对整个历史地段进行模型重建与解析计算，并输出新一轮的形态解析与聚类结果(图 6)，为制定更合理的设计策略提供依据。



7 解析模型可视化界面



8 解析模型的多个显示模式(左上:荷花塘街区内部道路与建筑的自身属性分析总图;右上:道路与地块的外部属性分析总图;左下:地块的历史、产权综合信息图;右下:道路与建筑的外部属性分析三维视图)

3.3 前端：解析模型的可视化交互界面

研究开发了相应的可视化界面，方便多元人群协同操作，也方便设计师、管理方等实时获得分析数据，并进行设计决策³⁾。该界面基于 Java 语言编程平台的运行界面开发，展示街区总平面图和三维模型，以色差显示不同的解析结果。界面左侧为操作菜单栏，可通过简单操作完成空间元素的形态调整和非形态属性的修改。解析模型基于变化实时展现二维或三维视角下自身属性的分析总图、外部属性分析总图、道路与地块的历史、产权综合信息图等。多种界面模式之间可以实时切换，多角度与多维度的分析总图实时展示历史地段内每条道路、每个地块与每座建筑的形态分析结果与类型特征。界面右侧为数据显示栏，一方面实时更新街区整体分析结果(例如所有道路与所有地块的平均深度值)，另一方面可随时点选查看某个空间元素详细的分析结果数值，方便设计师随时从特定微观单元的具体信息中做出应对决策(图7、8)。

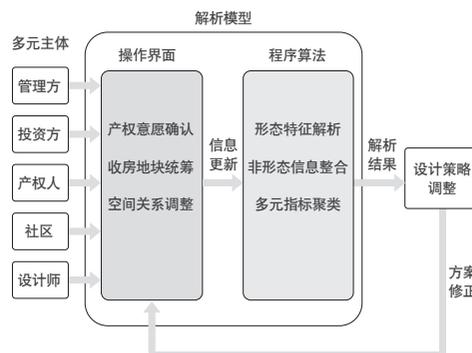
解析模型界面的构建考虑了管理方、投资方、设计方、产权人(居民)及社区管理等各方协同操作的需求。在设计师的主导下，多元人群可以同时进行操作，共同完成街区形态的调整和非形态信息的修改。不同人群拥有不同操作权限，例如产权人可对自家房屋的拆改留提出要求，投资方可对已经完成收房的所有地块进行操作，管理方和设计师等则可修改整个街区所有道路与地块的空间

结构等。每次调整都对应着修改与反馈的循环过程。理想状态下，根据解析模型提供的实时分析结果，设计师能实时把握每一个细小空间元素调整后街区的总体状态和总体评价结果，据此研判更新设计策略方案。各主体亦基于当前方案提出新的意见并通过交互界面重新录入模型中，从而展开新一轮的设计决策，直至满足各方需求。目前尚不能使用此工具直接进行保护更新设计，但基于人机互动的可视化实时解析结果，可省去设计师在调研后的大量重复劳动，而将更多的精力投入到设计中(图9)。

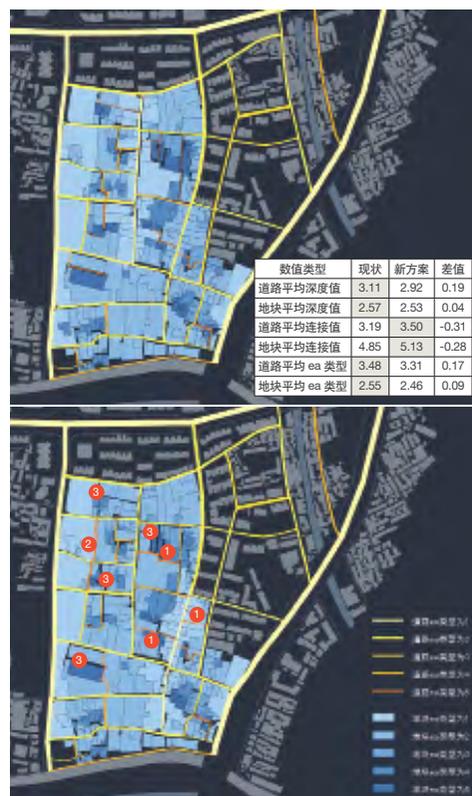
3.4 解析模型的实际应用

将本研究构建的解析模型应用于荷花塘保护与更新的前期决策阶段进行应用与检验。解析模型首先读取荷花塘的地形图数据，并快速给出了街区当前的形态解析结果。随后各位产权人在模型中录入当前改造意愿，设计师结合管理方、投资方等意见和荷花塘面临的实际问题，在解析模型界面内进行调整(图10~12)。

面对荷花塘中道路网凌乱复杂、断头路多带来的交通不便问题，设计师对道路网进行了重新规划。首先打通了孝顺里、水斋庵与磨盘街等几条街区内的多处断头小巷并进行拓宽，以疏解街区东西方向的交通隔阂。同时在谢公巷至鸣羊里之间新增了一条南北走向的通路，以连通街区西侧数条互相孤立的由西向东进入街区的道路，增强街区西侧的连通性。最后删除了部分小断头路，并调



9 多元主体协同的解析工作流程



- ① 打通多处断头小巷并进行拓宽
- ② 新增一条南北向的道路
- ③ 删除部分小断头路

10 荷花塘街区路网调整前(上)后(下)的解析结果对比

整其周围地块的进入方向，使部分原本要通过小巷进入的地块直接与主路连通，降低整个道路网的深度值。完成以上操作的同时，解析模型实时给出了新的分析结果，街区内道路网的平均深度由 3.11 降为 2.92，平均连接值由 3.19 上升为 3.50，道路与地块的其他整体外部属性数值亦向更公共的方向转变（图 10）。

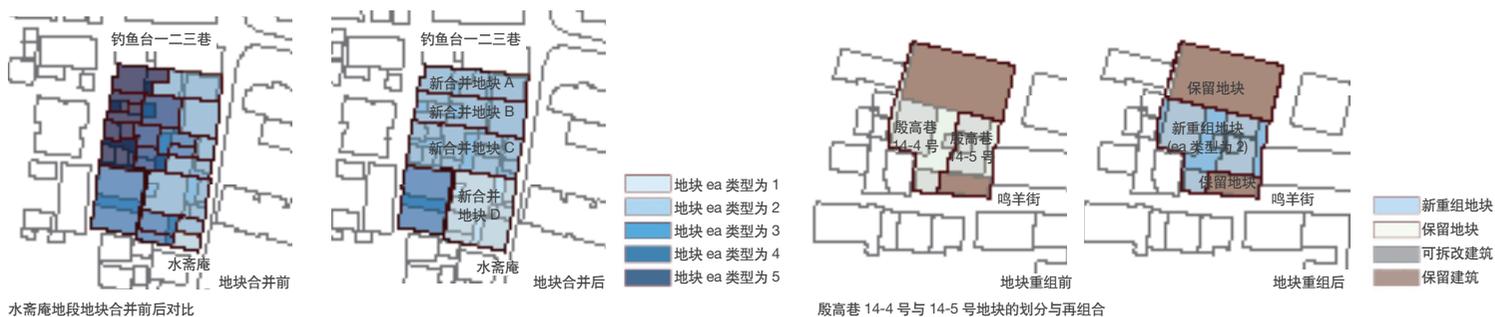
在地块层级上，尊重产权人的意愿重塑街区内地块形态，合理置入新功能成为设计的重点。一种操作是零散地块的重组，例如水斋庵钓鱼台路口西南侧的一些地块，部分不与主街道直接连通的小地块闭塞而狭窄，解析模型显示其外部属性属于最封闭的一类。通过与周围地块合并，形成数个面积较

大的规则且临街的地块，使得新地块的外部属性较为公共，并在未来的建设中适合作为毗邻主路的连续商业空间。另一种操作是地块的重新划分，例如殷高巷 14-5 号地块的产权人不愿意变动地块南侧的房屋，但愿意将地块北侧不临街的几栋房屋协商置换。其西侧紧邻的 14-4 号地块北侧为历史建筑，南侧为待改造房屋。面对这种情况，设计师将两地块中可改造房屋所处的产权地块合并为一个有较大面积的新地块。解析模型快速判断出该地块外部属性较为公共，适合置入商住混合功能。在尊重产权人意愿的基础上，上述操作均实现了街区空间伴随更新改造措施的实时解析和评价，帮助设计师提出了将改造空间价值最大化的策略（图 11），并通

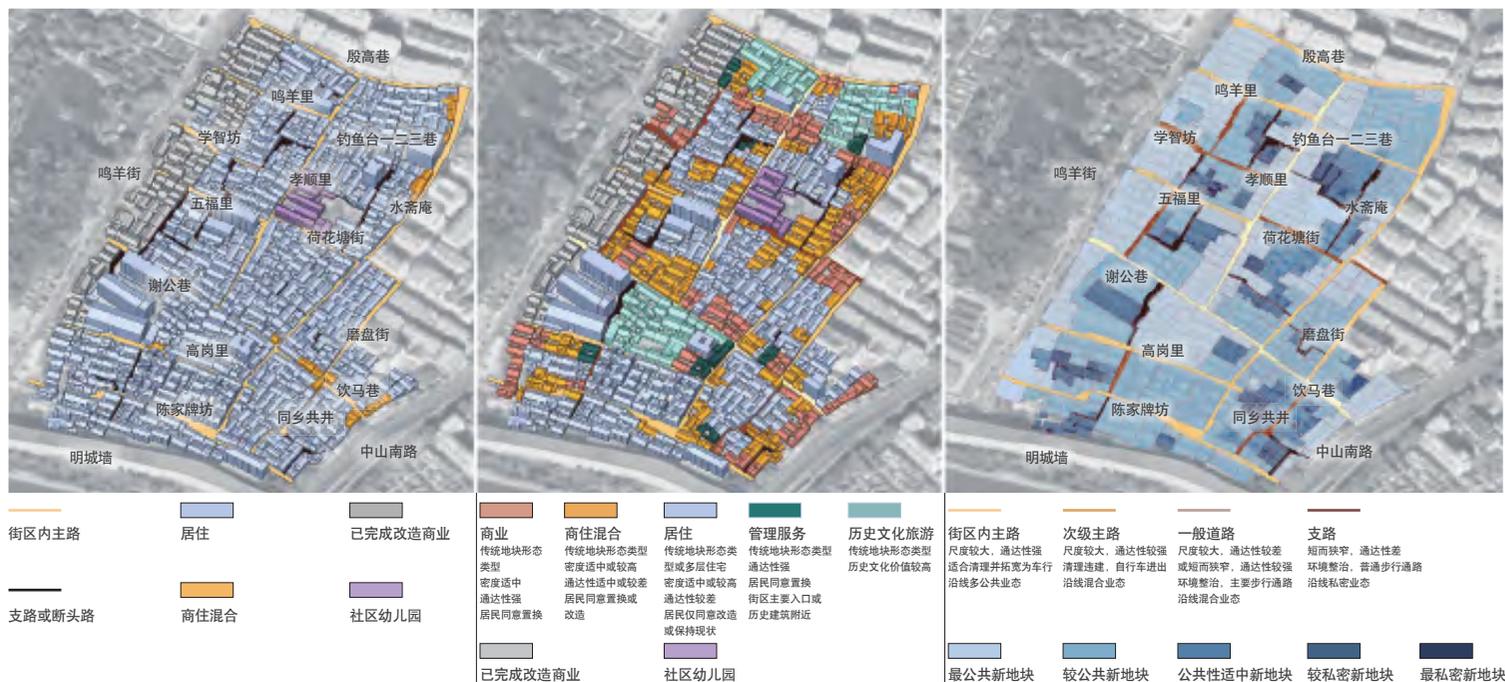
过解析模型输出了 CAD 底图和三维模型作为后续详细方案设计的基础（图 12）。

4 总结与展望

历史地段保护与更新的本质问题是物质空间载体与人的生产生活共同组成的，在这个意义上，保护与更新工作面临着本体问题日益复杂和技术手段不断革新所带来的挑战和机遇。宜兴蜀山古南街历史文化街区、南京小西湖历史风貌区更新改造为代表的典型案例中，多元主体的共同参与成为改造的必然方式，设计团队的统筹协调成为设计的必要前提。当下，居住型历史地段的保护与更新工作重在解决居民的实际需求、提升公共空间环境质量，更需要拓展出更为适用的工



水斋庵地段地块合并前后对比
11 荷花塘中地块的重新划分示例



12 荷花塘的现状与更新策略（左：荷花塘现状；中：荷花塘未来功能导向；右：荷花塘未来更新策略）

作流程和辅助工具。

人类科学研究经历了经验科学、理论科学、计算科学，转向数据密集型科学，而数据密集型科学也正在实现由传统的假设驱动向基于科学数据进行深度探索的转变^[27]。探究数据之间的关联关系，其主要研究模型是智能化工具和算法。以数字化智能化的方法介入历史街区保护与更新的前期分析阶段，减少重复劳动、提高工作效率、提升判断的准确性、合理性是本研究的目标。在荷花塘的实际应用中也证明了本研究所搭建的解析模型的有效性。此外，通过编程语言构建的数据集以数据的方式成功转译和记录了历史地段的多尺度层级结构，将大量复杂零散的空间信息整合为一个联动的系统，使之在形态变化与形态解析之间形成互动与反馈机制，为历史文化的准确传承与合理创新提供了新的思路，也使保护更新工作更具整体性、多元性与协同性。

本研究搭建的解析模型，支撑的仍是设计前期的调研资料整合和解析等辅助决策工作，并未延伸到设计操作本身。后续研究拟进行人机交互的生成设计工具的研发，将形态分析与形态设计联动起来，建构基于数据驱动的“(现状的)形→(解析的)量→(设计的)形”的保护与更新设计全流程工具平台。如此，将历史地段保护与更新的工作模式逐渐由设计师的主观价值判断与方案拟定，转变为数据与智能计算支持下的多主体多专业的协同决策与协同设计，进而在积累了丰富数据和案例的基础上建构智能化的设计方法和设计平台，是本团队这一系列研究所追求的更高层次的技术目标。^[28]

注释

- 1) 空间句法中的4个量化分析值深度值、连接值、控制度与集成度在本研究中的具体算法如下：
深度值：规定空间中两个相邻元素之间距离为一步，则从该元素到达外界的最短步数即为该元素的深度值。对应到历史地段中，道路的深度值即将每条道路抽象成一个空间节点，从外界道路到达当前道路的最小节点转换次数即为当前道路的深度值。地块的深度值为与该地块

相连通的所有道路中深度值最低的那个。建筑的深度值即所处地块相邻道路的深度值加上从道路到达该建筑经过的空间转换次数(必须通过的建筑与院落)，即表达从历史地段外直到进入该建筑总共经历的空间转换次数。

连接值：空间中某节点的邻近节点个数。对应到历史地段中，道路的连接值为与该道路连接的道路总数。地块的连接值等于与该地块相连通的所有道路中连接值最高的那个。建筑的连接值来源于所处的地块。

控制度：每条道路的控制度采用以下公式计算：

$$\sum_{i=1}^n 1/c_i$$

(其中 c_i 为与当前道路相连接的第 i 条道路的连接值，为与当前道路相连接的道路总数)。地块与建筑的控制度来源于相邻的道路。控制度反映了空间元素间相互控制的程度。

集成度：为避免元素数目对“深度值”的干扰，采用以下公式来计算历史地段中每条道路集成度：

$$C = (n - 2) / 2(D - 1)$$

(其中 C 为当前道路的集成度， n 为历史地段中的道路总数， D 为当前道路的深度值)。地块与建筑的集成度来源于相邻的道路。集成度反映了当前空间元素与所有空间元素联系的紧密程度。

- 2) K-means 聚类算法即K均值聚类算法。其原理为首先随机选取K个元素作为聚类中心，基于一定规则计算每个元素与所有聚类中心之间的距离，并将每个元素分配到距离最近的类别中。每分配一个元素，聚类中心就会根据聚类中所有的元素进行重新计算。以上过程不断迭代，直至没有任何一个元素被分配给不同的聚类或者没有聚类中心再发生变化，则输出聚类结果。
- 3) 本研究开发的可视化解析模型已经获得国家版权局计算机软件著作权，历史地段保护更新设计辅助决策软件V1.0(登记号：2023SR0517748)。

参考文献

- [1] 庞志宇，韩冬青，宋亚程，等. 支持居住型历史地段规划建设专项工作衔接的多尺度层次框架[J]. 城市规划学刊，2023(2): 103-109.
- [2] 周岚，丁志刚. 中国规划重塑期的转型和创新应对思考[J]. 城市规划学刊，2022(5): 32-36.
- [3] 董亦楠，韩冬青，黄洁. 从南京小西湖历史地段小尺度、渐进式保护再生看城市设计的过程性和参与性[J]. 时代建筑，2021(1): 51-55.
- [4] 韩冬青. 显隐互鉴，包容共进——南京小西湖街区保护与再生实践[J]. 建筑学报，2022(1): 1-8.
- [5] 王建国. 中国城镇建筑遗产多尺度保护的几个科学问题[J]. 城市规划，2022,46(6):7-24.
- [6] 浦欣成. 传统乡村聚落平面形态的量化方法研究[M]. 南京：东南大学出版社，2013.
- [7] HILLIER B, HANSON J. The Social Logic of Space[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [8] 唐芃，王笑，李金泽，宋哲昊. “形—量—形”视角下历史地段的保护与更新[J]. 世界建筑，2022(11): 58-59.
- [9] MARSHALL S, CALISKAN O. Urban Morphology and Design: Introduction[J]. Built Environment, 2011, 37(4): 381-392.

- [10] 田银生，谷凯，陶伟. 城市形态研究与城市历史保护规划[J]. 城市规划，2010, 34(4): 21-26.
- [11] 宋亚程，韩冬青，张烨. 南京城市街区形态的层级结构表述初探[J]. 建筑学报，2018(8): 34-39.
- [12] 夏青，杨星月，崔楠，高畅. 类型学视角下的老城区保护与更新探索——以陕西省彬县老城开元寺片区规划为例[J]. 新建筑，2015(1): 140-144.
- [13] 董亦楠，韩冬青，沈畅，包宇喆. 适于传统街区保护再生的“类型学地图”绘制与应用——以南京小西湖为例[J]. 建筑学报，2019(2): 81-87.
- [14] ZHANG Kehan, ZHANG Na, QUAN Fangmei, et al. Digital Form Generation of Heritages in Historical District Based on Plan Typology and Shape Grammar: Case Study on Kulangsu Islet[J]. Buildings, 2023, 13(1): 229.
- [15] 唐芃，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.
- [16] 唐芃，王笑，华好. 解码历史——宜兴丁蜀古南街历史风貌保护与更新中的数字技术与实践[J]. 建筑学报，2021(5): 24-30.
- [17] ARNSTEIN S R. A Ladder of Citizen Participation[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1969, 35(4): 216-224.
- [18] 赵秀敏，葛坚. 城市公共空间规划与设计中的公众参与问题[J]. 城市规划，2004(1): 69-72.
- [19] 阮仪三，顾晓伟. 对于我国历史街区保护实践模式的剖析[J]. 同济大学学报(社会科学版)，2004(5): 1-6.
- [20] 钟晓华，寇怀云. 社区参与对历史街区保护的影响——以都江堰市西街历史文化街区灾后重建为例[J]. 城市规划，2015, 39(7): 87-94.
- [21] 李敏，刘敏，黄耀福. 社区参与的新模式——以厦门曾厝垵共同缔造工作坊为例[J]. 城市规划，2018, 42(9): 39-44.
- [22] 王建国. 历史文化街区适应性保护改造和活力再生路径探索——以宜兴丁蜀古南街为例[J]. 建筑学报，2021(5): 1-7.
- [23] Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Online, [2023-07-30]. <https://www.esri.com/zh-cn/arcgis/products/arcgis-online/overview>.
- [24] MARRA A, FABBROCINO G. Crowd-based Tools for Indirect Condition Assessment and Conservation of Cultural Heritage[C]//Euro-Mediterranean Conference. Springer Cham, 2021: 38-50.
- [25] KATRE D. Usability Evaluation of Cultural Heritage Crowdsourcing System (CHCS)[J]. Springer International Publishing, 2021: 273-290.
- [26] KROPF K. Ambiguity in the Definition of Built Form[J]. Urban Morphology, 2014, 18(1): 41-57.
- [27] HEY T, TREFETHEN A. The Fourth Paradigm 10 Years On[J]. Informatic Spektrum, 2020, 42(6): 441-447.

图表来源

文中所有图表均为作者拍摄、绘制，或者是作者编写的程序运行界面截图