

基于参数化技术的兴化金东门历史街区道路空间肌理重构研究

程 涛, 张春霞

扬州大学美术与设计学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2025年5月20日; 录用日期: 2025年6月30日; 发布日期: 2025年7月30日

摘 要

针对兴化金东门历史街区道路空间肌理重构问题, 通过参数化技术框架建立量化分析方法。运用 CityEngine 三维建模技术解析街区空间特征, 开发参数化生成算法形成多维度重构方案。实证研究表明, 该方法有效提升了道路通达性与公共空间可达性, 同时保持了历史街区风貌完整性, 较好地平衡了文脉传承与现代功能需求, 推动街巷空间环境的可持续性发展。具体而言, 参数化算法通过减少道路冗余建设, 显著降低了更新过程中的隐含碳排放, 契合环境经济学中全生命周期评估的低碳城市更新架。所形成的参数化设计流程为历史街区保护更新提供了数字化技术工具, 其技术路径对城市规划、建筑的可持续更新设计与遗产保护领域具有实践参考价值。

关键词

兴化金东门, 道路空间肌理, 参数化技术, CityEngine, 解析与重构

Parametric Technology-Driven Restructuring of Roadway Spatial Texture in Xinghua Jindongmen Historic District: An Urban Morphology Study

Tao Cheng, Chunxia Zhang

College of Fine Arts and Design, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

文章引用: 程涛, 张春霞. 基于参数化技术的兴化金东门历史街区道路空间肌理重构研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(7): 269-278. DOI: 10.12677/sd.2025.157210

Abstract

This study develops a parametric framework to quantitatively analyze and reconstruct the roadway spatial texture of Xinghua Jindongmen Historic District. Utilizing CityEngine 3D modeling to decode spatial features and parametric algorithms to generate multi-dimensional schemes, the method demonstrably enhances road accessibility and public space permeability while preserving historical authenticity. It effectively balances heritage conservation with modern functional needs, promoting sustainable alleyway development. Specifically, the approach reduces embodied carbon emissions by minimizing redundant construction, aligning with low-carbon urban regeneration principles under life cycle assessment. The resulting parametric workflow provides a digital tool for historic district renewal, offering practical value for sustainable urban planning, architectural renovation, and heritage conservation.

Keywords

Xinghua Jindongmen, Road Spatial Texture, Parametric Technology, CityEngine, Analysis and Reconstruction

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

历兴化金东门历史文化街区作为江淮地区明清商贸市镇的典型代表,其“鱼骨状”街巷体系与“前店后宅”空间格局完整保留了传统风水理念与地域营建智慧。现存多处文保单位及传统合院式民居,主街与支巷构成层级分明的道路网络,巷道狭窄蜿蜒,形成独特的空间肌理。然而,快速城市化引发三重矛盾:(1) 交通拥堵与消防通道不足;(2) 商业密集区公共空间匮乏与居住区功能缺失;(3) 路网连通性差、通行效率低下。综上问题导致人与机动车通行效率低下。具体表现为:(1) 狭窄历史巷道(普遍 2~4 米宽)与现代消防规范要求的通行宽度、必要车行需求之间的冲突;(2) 主街“状元坊”区域高强度商业活动引发的人流拥挤、公共空间匮乏,与相邻居住区生活品质需求之间的失衡;(3) 大量断头路、锐角交叉口造成的路网连通性差、通行效率低下、安全隐患突出,难以满足现代交通组织要求。这些具体矛盾亟待解决,以实现保护与发展的平衡。

上述矛盾凸显了传统保护更新方法的局限,既有研究多采用形态类型学与历史地理学方法解析街区肌理,虽揭示了“街-巷-院”的空间层级与文化隐喻,但局限于定性定量描述,缺乏可量化的参数转译机制[1],导致保护更新方案难以平衡风貌延续与现代功能需求。针对此困境,本研究引入 CityEngine 参数化技术,构建“特征提取-规则生成-动态优化”的技术路径[2]。通过采集街巷的宽度、长度、节点密度、角度这些几何参数,建立金东门道路肌理量化数据库;设定道路分级、断面优化、断头路连通等生成逻辑,实现历史肌理原型与机动车通行等现代规范的协同设计,实现道路空间肌理的可持续更新设计。该方法通过数字化工具生成可迭代方案,在保留原有“鱼骨状”肌理的同时,提升路网通达性,为历史街区的保护与更新提供数据驱动的技术支撑(图 1)。

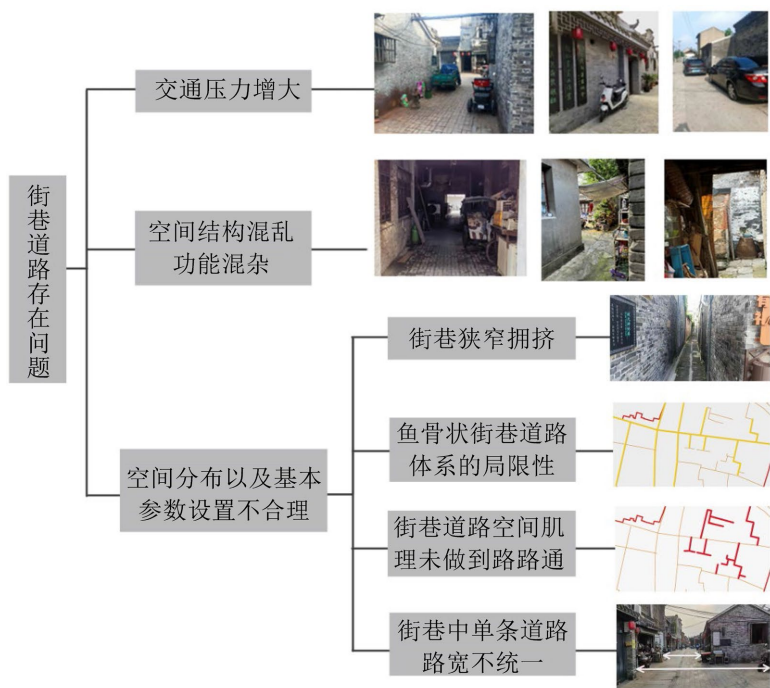


Figure 1. Analysis of problems on street roads
图 1. 街道道路存在问题分析

2. 研究概念界定

道路空间肌理指在街巷道路边界范围内，所有道路垂直投影在历史街区二维平面中的几何形态。历史街区的街巷道路体系包含三个层级：一是主要道路(主街)，二是次要道路，三是支干道路，主街是街区的主要交通干道，承担着主要的交通流量；次要道路则是连接主街与居民区或商业区的辅助道路，通常宽度较小，主要起到集散交通的作用，连接主干道和各分区；支干道路就是微循环和小路，支路在交通中类似于毛细血管，分布广泛，连接各个角落，确保交通的畅通和便捷([3], p. 9)。综上所述，金东门历史文化街区道路空间肌理是指在街区边界的范围内，所有道路垂直投影在城市中的二维平面中的几何形态。

3. 基于空间句法的兴化北门历史街区空间形态分析

空间参数化是用数字关系度量几何关系，建立参数与几何形体的动态关联，通过调整参数值控制几何形态变化的计算机辅助设计技术。其核心是用数字关系表示空间肌理的物质载体，其外在表现为变量构成，改变变量值可改变表达式值。在数字化设计中，通过改变内在变量管理和控制设计对象。参数化技术包括寻找参数、设定规则 and 选择软件平台，有基于文法规则、采用数学模型、结合人工智能三种方法([3], p. 12)，金东门道路空间肌理参数化解析与重构采用前两种方法。参数化技术通过动态匹配道路几何属性与交通需求，可系统性降低建材冗余使用强度，其方法论本质是对资源经济学边际成本递减原则的数字化转译，是可持续更新设计的重要手段。本研究的技术流程依次包含：参数化优化(预处理与规则适配)、参数化解析(特征量化与规则提取)、参数化重构(方案生成与迭代)三个核心环节。

1) 参数化优化

参数化优化是针对道路形态特征的技术方法，其核心是通过参数规则的动态调整实现历史肌理传承与现代功能适配。该过程分为前优化与后优化两阶段：前优化侧重原始数据的标准化预处理，基于形态学原理对复杂路径进行几何简化(道格拉斯-普克算法提取直线骨架)，剔除冗余细节，可以通过减少无效

硬化地面,间接提升街区透水地表比例,践行生态服务价值补偿机制的理论内核,并统一路段属性(宽度、交叉口形态),为后续参数化的生成提供规范化输入;后优化则重点识别并消除与肌理冲突的极端异支(如偏离原始走向的随机分支或过境道路干扰)。参数化优化能够在保持路网小尺度、复杂性等历史特征的基础上,有效协调传统肌理传承与现代功能需求,为道路形态的精准修复提供兼具效率与科学性的技术路径,提供不断发展的可持续设计。

2) 参数化解析

参数化解析是通过量化方法解构出空间形态特征,将其转化为参数集、参数值及生成规则的技术。其核心在于提取空间要素(道路、地块、建筑)的几何关系、特征及形态规律,构建表征肌理的关键参数(道路密度、交叉口角度),并最终提取数值,揭示空间生成的内在逻辑。该方法强调对历史或现状肌理的量化继承,兼顾整体规律提取与现代适应性优化,为重构提供数据支撑。

3) 参数化重构

基于优化与解析阶段建立的规则和参数集,参数化重构利用计算机工具保留了传统肌理核心特征(尺度、密度、拓扑),以融入现代功能需求。通过输入参数、驱动模型、生成方案、迭代优化的流程,支持快速生成和评估多个方案,为修复提供高效科学的技术路径。

4. 兴化东门历史街区空间优化策略

1) 道路优化原则

可持续更新设计需在历史文脉传承与现代功能的提升之间建立动态平衡,通过低干预技术实现街区资源的长效循环利用。金东门历史文化街区道路肌理优化以原真性、适应性与系统性为核心原则,在完整保留传统“鱼骨状”街巷格局与历史建筑空间关系的基础上,注重平衡保护与发展的双重需求。原真性原则强调对历史风貌的尊重,延续街巷肌理的文化特征;适应性原则通过优化道路层级与功能布局,缓解现代交通压力并提升居民生活品质,此外,适应性改造通过优化非机动车路权分配,利于减排,更好推动结构向低碳模式转型,践行可持续发展理念;系统性原则统筹整体空间结构,协调道路、建筑与公共空间的关系,避免局部调整破坏街区历史肌理的完整性。三者共同致力于在传承文化遗产的同时,塑造更具活力的可持续街区环境。

2) 道路优化方法

当前,金东门道路空间的肌理形态错综复杂,有大量与本研究目标无关的干扰因素,这并不方便进行道路空间肌理的参数化解析与重构。因此,有必要对现状肌理开展预处理以及优化工作,具体涵盖单体道路、道路交叉口,以及整体路网这三个层面的处理与优化。

5. 兴化金东门历史街区道路空间肌理的优化、解析与重构实践

5.1. 构建轴线模型

轴线模型作为参数化解析与重构的关键先决条件,在城市空间研究中扮演着至关重要的角色。确立轴线模型有助于将空间肌理特征转化为可量化、标准化的图示语言,从而为深入研究提供便利,推动道路空间肌理的可持续更新设计。通过深度剖析轴线的特征参数及各轴线间的相互关系,可精确解读区域内空间形态的演变规律,为周边区域的空间肌理修复工作提供关键的参考依据。

兴化金东门历史文化街区空间肌理的主要街巷肌理自明清时期延续至今,呈现出典型的“鱼骨状”格局。为达成有效修复,首先从现有肌理图中以及现场调研考察所得的参数集来精确绘制出兴化金东门历史文化街区的道路形态,并依据第二章阐述的道路肌理传统特征优化方法,对道路肌理进行优化。在此过程中,主要采用 Google Earth 高清卫星影像图及金东门道路肌理现状的计算机辅助设计(Computer

Aided Design, CAD)作为数据来源，构建出金东门历史文化街区道路轴线模型图(图 2 和图 3)，为后续的空间分析、肌理优化与修复策略制定提供坚实的基础。

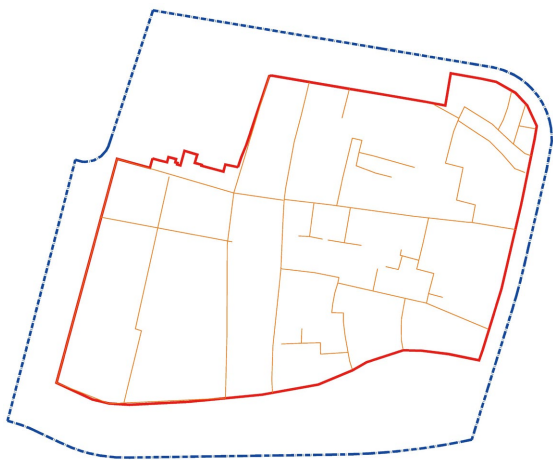


Figure 2. Road network before optimization
图 2. 优化前的道路网络

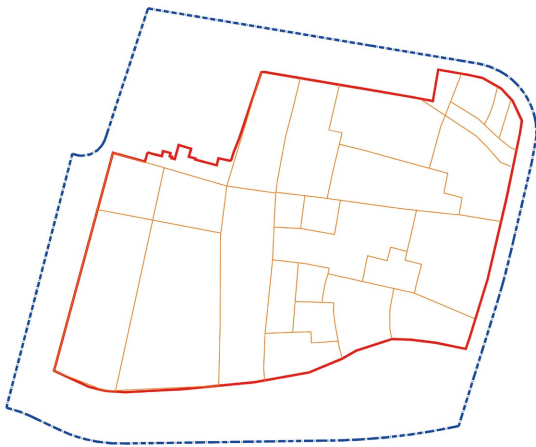


Figure 3. Road network after optimization
图 3. 优化后的道路网络

5.2. 金东门道路肌理的优化策略

5.2.1. 道路交叉口优化

为优化金东门历史文化街区道路状况，从以下步骤进行：① 针对道路交叉口转弯半径，为缓解狭窄历史巷道转弯安全性差同时最大限度保护肌理，严格依据《城市规划编制办法》及《江苏省城镇开发边界内详细规划编制指南(试行)》技术规范，综合街区历史建筑保护需求与实际交通状况，对连接主街、承担必要车流的次要道路交叉口，在满足基本安全通行前提下适度扩大转弯半径(如 5~8 米)；对核心保护区内狭窄历史巷道交叉口，严格维持或仅微调转弯半径(如 3~5 米)，并通过优化交通组织(如单行)、强化微型消防设施等方式进行安全补偿；② 对街区内锐角交叉、多路交汇异形交叉口全面排查，优先整治影响交通与行人安全的节点，通过封闭或改造废弃支路交叉口、调整道路线形或建筑退让简化交叉口形态；③ 针对相邻交叉口路段采用“截断 - 合并”策略，取消次要交叉口，整合交通流量至主交叉口。交叉口

改造方案遵循“最小化扰动、最大化效益”的可持续设计原则, 优先采用本土材料与低影响施工技术。

5.2.2. 单体道路优化

在未经过全面且统一的街区道路空间肌理规划中, 同一道路常存在道路宽度不一致以及道路线型过度曲折等问题, 这给计算机模拟带来困难。鉴于此, 需对道路形态实施如下优化步骤: ① 以道路交叉口节点作为端点, 将整个路网拆解为各独立道路段; ② 针对单体道路开展规整化处理工作, 对于同一道路段进行多次取点采样, 计算各采样点的道路宽度, 并将所有采样点的道路宽度求平均值, 以此平均值作为该段道路的宽度。

5.2.3. 整体路网优化与肌理提取

整体路网优化以提升历史街区道路系统的完整性与功能性为目标, 通过参数化技术实现传统空间逻辑与现代需求的协同设计。首先基于街巷现状数据, 利用 GIS 工具构建拓扑网络模型, 明确主街与支巷的层级分布关系, 重点强化“鱼骨状”街巷体系的轴线特征, 确保主街作为交通干道与空间骨架的核心地位。针对道路形态复杂、连通性不足等问题, 采用几何简化算法对冗余折线进行迭代优化, 在保留历史街巷基本走向的基础上, 消除过度曲折或断裂的局部路段, 形成连贯的路网结构。针对断头路及交通瓶颈区域, 通过路径连通性方法优化节点衔接逻辑, 修复关键路段的空间连续性, 断头路连通通过缩短居民日常出行半径, 直接削弱因路径绕行衍生的能源消耗, 其内在逻辑呼应可持续发展经济学空间正义理论对可达性公平的诉求。

5.3. 金东门道路肌理的解析: 特征提取与规则建立

参数化技术的核心价值在于通过数字化工具, 将可持续设计的抽象目标转化为可量化、可迭代的空間操作规则。金东门道路肌理优化需首要解决的核心矛盾体现在: (1) 尺度矛盾: 传统步行尺度(2~4 米宽)难以容纳必要消防通道、现代服务车辆通行及紧急疏散; (2) 功能矛盾: 状元坊核心商业区人流密集与公共休憩空间不足并存, 居住区内部公共空间匮乏; (3) 系统矛盾: “鱼骨状”主结构下存在断头路割裂路网、锐角交叉口降低通行效率与安全性。针对这些具体冲突, 参数化解析的核心任务是量化提取肌理特征, 为后续针对性优化与重构提供依据。基于此任务目标, 我们首先剖析现状肌理特征: 其空间组织以鱼骨状街巷体系为核心(图 4), 主街与支巷构成非线性的拓扑结构, 虽体现了传统风水学说与居住模式, 但存在路径冗余与导向模糊问题。街道尺度普遍维持在 2~4 米的历史步行维度, 虽保留明清时期的空间叙事性, 却与现代交通需求形成功能错位, 导致通行效率弱化与安全隐患。肌理中普遍存在的丁字形断头路反映出早期规划的非连续性, 割裂了区域空间关联, 并且丁字形路口的高事故风险暴露了传统街巷规划对社会成本内部化原则的忽视, 需通过技术干预重构安全与效率的平衡关系。此外, 道路宽度异质性显著, 局部突变的路幅破坏街巷视觉韵律, 加剧交通流线紊乱。这些特征揭示了传统空间范式与城市化进程的深层矛盾, 需通过系统性干预实现历史逻辑与现代功能的辩证统一。

金东门道路肌理的解析涉及到确定特征参数集与确定参数值的提取算法两个主要的具体步骤。其中确定特征参数集是依据现代生活需求的道路空间肌理传统特征价值的甄选与优化对道路空间肌理特征的选择性, 条件性的继承, 选出在实际的工作过程中, 需要着重对特定的特征点进行细致的梳理与分析[4]。在解析阶段, 需识别并筛选用于参数提取的关键特征点: 首先是要剔除那些不符合要求或者存在明显错误的特征点, 这是确保数据准确性和可靠性的基础步骤。同时, 对于一些需要进一步优化的特征点, 要进行深入地优化处理, 通过科学合理的方法和技术手段, 使其更加完善和精准。而对于那些无需调整可以直接延续使用的特征点, 也要进行妥善的标记和记录。

在完成上述针对特征点的处理工作后, 还需紧密结合一系列相关参数。这些参数涵盖了多个方面的

关键信息，是后续工作的重要依据。在此基础上，对控制道路形态特征的基本参数集进行精心梳理。对于控制道路部分，要关注诸如道路的宽度、长度、走向、等级等基本参数从而全面且准确地梳理出对应的基本参数集。

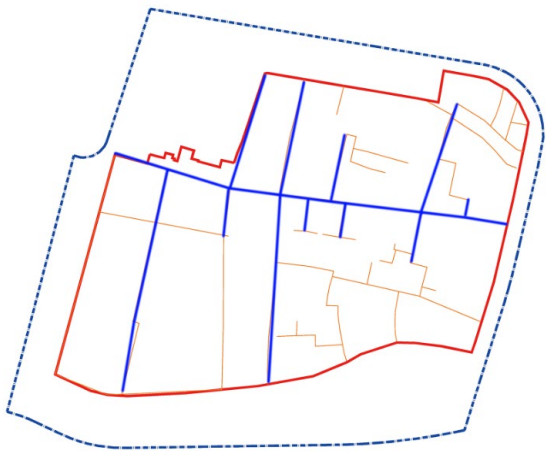


Figure 4. Fishbone shaped street and alley system
图 4. 鱼骨状的街巷体系

在参数值提取算法的确定过程中，主要依托参数化实验展开，同时参考相关文献。

5.4. 金东门道路肌理的重构：方案生成与迭代优化

在金东门历史文化街区道路空间肌理参数化重构研究框架下，通过前期的系统性分析，精准提取了道路几何形态、周边环境特征及与功能区的拓扑关联性等一系列参数。上述参数体系凭借其量化的数值特征与多维属性，为基于 CityEngine 平台的历史街区道路空间参数化建模奠定了科学基础。基于历史真实性原则，本研究通过将参数化指标体系导入 CityEngine 三维建模系统，实施程序化重构算法，最终生成既传承历史文脉又满足当代功能需求的金东门历史文化街区道路空间肌理优化方案。

对主要道路网络开展重构工作。将参数值导入，与已提取的诸如道路长度、宽度、走向等几何属性相结合，借助 CityEngine 中的自动编程规则，把这些参数赋予模型中的道路元素。在 CityEngine 规则设定中，将道路分为三级以针对性解决尺度与功能矛盾：“严格保护级”(宽度锁定历史值，仅步行/非机动车，解决风貌保护)；“适度优化级”(宽度在历史值附近有限调整，允许小型服务车辆，解决必要通行)；“适应性拓宽级”(关键连接段按规范拓宽，解决消防与主干通行)。交叉口规则设计优先保证历史界面连续性，同时嵌入安全转弯逻辑和流线优化算法，以平衡保护与安全效率的需求。随后，将这些规则应用于道路网络要素。

经对参数值进行多轮调整与模拟，CityEngine 生成了一系列三维模型(图 5)，这些模型反映了不同的策略与设计方法，三维模型的动态推演能力为可持续更新提供了多方案比选平台，确保历史保护与生态韧性目标的协同实现。参数化重构后的新路网具备整体性，不仅在直观层面延续了原始街巷的走向、小尺度特征以及空间形态的复杂多样，还在潜在层面融入了兴化历史街区的习俗、制度、生活方式及交通模式等要素，但是这些模型还存在一些与道路空间肌理相冲突的极端异支。依据预设的参数规则集及解决核心矛盾(尺度、功能、系统)的有效性进行方案比选，遴选出契合最终优化要求的最优方案。随后，对该方案实施人工手动优化，识别并消除与肌理相冲突的极端异支(偏离原始走向的随机分支、无用的过境道路干扰)，形成最终重构后的新路网最优方案(图 6)。最终方案通过保留传统肌理基因与现代功能植入，

构建了历史街区可持续更新的空间范式。

经过多轮比选的规划方案显著提升了路网系统的组织效能, 在确保交通功能完整性的基础上, 系统延续了传统街巷的空间特质。该设计框架通过保留核心骨干路网及生活性巷道, 对既有断头路实施有机缝合, 搭建起连通性良好的路网框架, 有效满足片区居民的日常通行诉求。该规划策略在延续历史空间基因的同时, 成功塑造出符合当代生活方式且具有持续生命力的复合型社区空间。

在此过程中, CityEngine 平台的参数化建模技术发挥了关键作用, 其三维空间推演能力为路网形态优化提供了数字化支持。借助其可调节的参数配置系统, 在充分尊重历史空间原型的基础上, 塑造出适应现代城市发展需求的新旧共生空间模式, 促使历史保护维度与城市功能演进需求形成多维度的空间协同关系, 此技术以及不断地优化正是道路空间肌理可持续更新的重要方式。

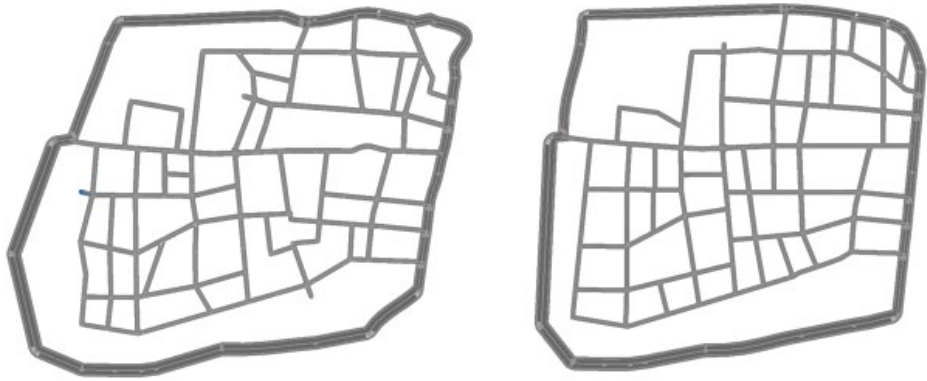


Figure 5. Example of experimental reconstruction of road network model
图 5. 重构的道路网络模型的实验案例



Figure 6. The best solution for reconstructing
图 6. 重构的道路网络模型的最佳方案

6. 比较分析金东门重构后与原始道路形态

在金东门历史文化街区的空间形态数字化重构研究中, 本研究采用新旧肌理形态对比验证方法。基于 CityEngine 平台建构的三维仿真模型, 系统比对了更新方案与历史原型的空间特征, 最终形成的改造方案在延续传统空间特质的基础上, 实现了当代城市功能的有效整合。

比较分析表明, 优化方案有效缓解了核心矛盾: (1) 在保护历史尺度主体(绝大部分巷道维持原宽)的

前提下, 通过关键点适度优化和连通策略, 显著提升了消防通道达标率、减少了断头路数量、缩短了平均出行距离, 回应了尺度与系统矛盾; (2) 在‘状元坊’区域结合流线重组开辟了微型集散空间, 在居住片区增加了公共空间, 改善了公共空间分布, 回应了功能矛盾; (3) 交叉口几何优化和安全规则应用降低了事故风险点, 提升了整体通行效率。

上述效果表明, 优化后的路网体系不仅延续了文化遗产, 更在实践中验证了可持续更新对激发街区经济活力与社会包容性的潜力。更新后的路网体系在维系原有胡同-街巷结构特征的前提下, 对特定区域实施了适应性改造, 包括断面尺度的适度优化和节点空间形态的重新组织。通过历史空间数据的比对验证, 改造措施既延续了传统街巷的拓扑连续性与风貌特质, 又显著提升了交通组织效能。断头巷道的整合重组在保障传统空间密实度的前提下改善了通行条件; 交叉节点的几何优化在降低交通冲突的同时延续了历史界面特征。在功能配置维度, 更新后的道路系统展现出更合理的空间配比, 通过肌理重组实现了可达性系数与空间使用效能的同步提升, 并且步行优先路网的构建通过降低机动化出行依赖度, 间接推动街区交通系统向低碳交通诱导(LCTI)的政策目标靠拢。采用多维度评估方法验证, 这些空间调整对提升居民生活品质与街区活力指数具有显著正向效应。

依托 CityEngine 的动态模拟功能, 本研究构建了新旧肌理的可视化对比体系, 验证了改造方案在历史文脉传承与当代美学诉求间的协调性。该分析体系不仅为项目决策提供可视化支撑, 也为同类型历史街区的更新设计建立技术参照。通过参数化设计工具的迭代运算, 探索出历史空间基因解码与现代功能编码的协同机制, 为金东门区域可持续更新及城市历史空间再生实践提供了创新性技术路径。

7. 结语

本研究针对历史街区保护与现代功能需求的核心矛盾, 运用参数化技术对金东门道路网络进行解构与重组, 提出了文脉传承与使用效能协同提升的创新方案。本次实践验证, 基于数字化技术的可持续设计是破解历史街区保护与再生矛盾的关键路径。依托数字化建模平台, 针对该片区实施道路等级体系重构、封闭巷道疏通及节点空间形态优化, 在维系传统“鱼骨形”空间格局的基础上, 有效疏解主干道交通压力并改善支巷通行安全条件, 整体提升区域交通效率与公共服务效能。实证分析表明, 通过构建量化评价模型与规则生成系统, 该技术方案在历史空间特征保护与当代交通组织需求之间取得平衡, 为历史地段空间修复提供科学决策依据, 也为城市的可持续更新设计方向提供重要案例。实践验证表明, 数字化工具在遗产保护领域具有显著适应性优势。本研究形成的历史城区微更新模式, 为同类型中小尺度街区的精细化更新提供技术参照, 后续研究需着重强化地域文化要素与居民行为特征的参数化转译机制, 构建更具人文关怀的技术应用框架。

基金项目

2024 年度教育部人文社会科学研究青年基金项目“近代江南地区外来建筑式样中国化研究(1840~1949)” (编号: 24YJC760163)阶段性研究成果; 2022 年江苏省社会科学青年基金项目“民国时期江苏早期现代主义建筑艺术风格特征及其价值研究” (编号: 22YSC009)阶段性研究成果; 2024 年度江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目“可持续更新理念下城市历史街区空间肌理参数化重构研究——以兴化城为例” (编号: 202411117021Z)阶段性研究成果。

参考文献

- [1] 伍眉函. 秦汉新城村落空间肌理参数化解析与规划应用研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2022: 11-12.
- [2] 葛丹东, 童磊, 吴宁, 等. 乡村道路形态参数化解析与重构方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2017, 51(2): 279-286.

- [3] 童磊. 村落空间肌理的参数化解析与重构及其规划应用研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2016: 9+12.
- [4] 张春霞, 过伟敏, 谢金之, 等. 基于参数化技术的城市历史街区空间肌理重构——以南京荷花塘为例[J]. 装饰, 2019(3): 80-83.