

# 多目标规划模型支持下全龄友好社区空间分时利用更新规划方法\*

黄 璜 周 哲 刘 骝 唐馨芸

**提 要** 立足社区公共空间分时利用策略,识别可优化的社区空间和存在行为相互干扰的公共空间,进而根据社区公共空间利用的效益最大化构建计算目标,将空间利用矛盾背后的不同年龄人群差异化需求,转译为多目标规划模型支持的情景优化决策过程。具体以上海同济新村为例,直观展示该建模方法对更新规划决策的支持及其有效性。与传统的单一目标最优决策不同,发展了基于多目标优化决策逻辑的规划建模方法创新,所提出的新方法可用于支持人民城市社区人居空间的更新实践。

**关键词** 全龄友好;社区微更新;空间分时利用;多目标决策;上海

Community Regeneration Towards All Age-Friendliness: A Multi-Objective Simulation Approach to Time-Sharing Utilization of Community Spaces

HUANG Huang, ZHOU Zhe, LIU Liu, TANG Xinyun

**Abstract:** This research explores community regeneration from the perspective of time-sharing utilization of community public spaces. By investigating and identifying public spaces with optimization potential and addressing space use conflicts among different user groups, the research defines computational goals for maximizing the utilization of these spaces. It transforms the conflicts in space utilization resulting from diverse needs into a multi-objective scenario planning optimization and decision-making process. Using Tongji New Village in Shanghai as a case study, the research exhibits the effectiveness of the proposed modelling approach for regeneration planning and decision-making. Different from conventional single-objective practices, this paper develops and applies an innovative modelling framework based on multi-objective optimization and decision-making. The findings contribute to all-age friendly community regeneration practices under the concept of a 'people's city'.

**Keywords:** all-age friendly; community micro-regeneration; time-sharing space utilization; multi-objective decision-making; Shanghai

## 1 全龄友好社区的空间矛盾和分时利用更新思路

根据第七次全国人口普查,我国大城市社会人口结构正向老龄少子化方向快速演变,预计2035年我国60岁及以上人口将突破4亿人,进入深度老龄化阶段<sup>[1]</sup>,城市社区仍将长期是养老空间的主要承载<sup>①</sup>。另外,我国少子化趋势也日渐明显,如何更有效适应“Z世代”等年轻人的育儿需求、关爱儿童成长也成为社区更新和场所空间营造的另一个重要话题<sup>[2]</sup>。因此,开展“适老适幼、全龄友好”社区营造对于建设新时代人民城市具有重要意义<sup>[2-4]</sup>。

我国大城市“全龄友好社区”的营造工作涉及新建和更新两种主要场景。其中:一方面,新建住区公共空间相对充裕,往往可通过提升相应建设标准来满足不同年龄人群的空间和设施需求;而另一方面,大城市诸多年轻人群也往往择居于靠近就业岗位且居

中图分类号 TU984 文献标志码 A  
DOI 10.16361/j.upf.202406011  
文章编号 1000-3363(2024)06-0079-08

### 作者简介

黄 璜,同济大学建筑与城市规划学院、自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室,助理教授, hhuang@tongji.edu.cn

周 哲,上海大学上海美术学院硕士研究生

刘 骝,同济大学建筑与城市规划学院、自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室,副教授,通信作者, l.liu@tongji.edu.cn

唐馨芸,上海大学上海美术学院硕士研究生

\* 国家自然科学基金项目“基于多层网络的城乡交接地区乡村聚落空间组织特征及机制研究”(项目编号:52208075);“流形互动视角下大都市跨界活动的空间影响及机理研究”(项目编号:52278069);上海市自然科学基金资助项目“AI与数字孪生支持下社区更新规划的效能评估及优化方法”(项目编号:24ZR1469300);上海市曙光计划“人民城市理念下开放式大学设计机制研究”(项目编号:23SG36);上海市白玉兰人才计划浦江项目“长江三角洲地区‘城乡融合’发展的空间机理研究”(项目编号:21PJC113);中央高校基本科研业务费专项基金

住成本相对较低、但原住民深度老龄化的中心城老旧社区。受制于中心城区的较高密度,上述社区有限的公共空间难以同时满足不同年龄人群的差异化需求,例如老年人与年轻人争夺运动空间、亲子活动与宠物冲突、社区停车侵占绿化空间及临时停车阻碍应急救护通道等现象屡见不鲜。

在公共空间规模难以增加的背景下,如何有效提升各类公共空间利用效率和共享水平成为全龄友好社区营造的一个重要议题。由于社区公共空间在兼顾空间可达性与包容性、美观与安全、便捷与舒适、设施及开放空间服务水平等方面<sup>[5]</sup>仍有相当多的矛盾。因此,社区更新规划需要提升精准匹配人群差异化需求特征的能力,寻求尽最大可能通过“时空腾挪”来挖掘有限公共空间的利用潜力。这就需要在机理层面深入解析空间分时利用的特征规律、不断归纳提炼适应社区分时利用导向的存量更新规划工作方法。

随着数字技术的不断进步,空间计量模型相关研究日益成为城市规划和城市社会学交叉研究的重要前沿领域,也为优化社区存量更新方法提供了更有效的分析工具。本文立足社区公共空间分时共享思路,对主要人群空间差异化需求进行深入挖掘和刻画,采用遗传算法及相应建模方法开展多情景、多目标规划支持的全龄友好社区公共空间分时共享利用机制探索,力图为新时期我国全龄友好社区更新工作提供新思路和方法创见。

## 2 全龄友好社区规划的潜在数字化需求

全龄友好是当代城市社区发展建设的重要目标之一<sup>[6-7]</sup>,其概念可以追溯到约瑟夫·朗特里基金会(Joseph Rowntree Foundation)、哈宾特格住宅协会(Habinteg Housing Association)和相关学者在本世纪初提出的“全龄住宅”(Lifetime Homes),强调应对不断变化的人群多样需求,为不同年龄段的居民提供包容的、高质量的宜居环境,且不因居民年龄增长、身体机能或认知能力下降而区别对待<sup>[8]</sup>。

2007年,世界卫生组织正式提出“全龄友好型城市和社区”的建设框架,旨在通过有效的空间和政策设计,支持各年龄段人口(尤其是老人、儿童)安全健康地生活并保持积极的社区参与度。随着大城市老龄少子化趋势的日益显现,我国学者也开展了面向“全龄社区”的诸多规划研究。在城市尺度上,多关注老年友好城市和儿童友好城市住区更新政策、提出相应设施布局目标和指标等<sup>[9-11]</sup>;中观尺度主要从“15分钟生活圈”层面研究用地结构、设施配置、交通组织等规划策略<sup>[9]</sup>;微观尺度相关研究则往往关注具体项目的适老、适幼化改造举措<sup>[9,11-12]</sup>。总体而言,尽管我国人居语境下的“全龄友好社区”多尺度研究取得了丰富成果,但既有研究囿于方法限制,尚缺乏与不同年龄人群公共空间使用方式相匹配的多情景计量研究,故也难以预判社区更新方案实施后的潜在矛盾及成效。

近年来,数字化模拟技术的长足发展为评估规划方案的潜在成效提供了有利条件<sup>[13-14]</sup>。例如情景模拟法通过构建多个未来情景,认识不同变量对预测结果产生的影响<sup>[15]</sup>。为避免所构建的情景带入较强的主观性,研究者需考虑引入实际情景约束条件作为决策依据。例如有学者<sup>[16]</sup>针对城市骑行路网规划进行情景分析,识别出不同情景中的共性区域和街道。也有学者<sup>[17]</sup>构建了情景约束和规划目标,并利用遗传算法计算了特定区域最适宜的地块容积率。但值得注意的是,情景分析的结果往往依赖于参数设定和所采用的数据、模型质量,因而需要在充分调研的基础上开展建模分析,计量测度规划的潜在影响作用,并根据反馈更精准地调整规划方案,以接近设计目标<sup>[18]</sup>。本文中全龄友好社区的应用场景涉及多目标优化问题,其情景模型需要权衡不同目标间的冲突,通过顾及各利益相关方的潜在反馈,实现提高规划策略的可行性<sup>[16-17]</sup>。

## 3 全龄友好社区公共空间分时利用及优化研究方法

### 3.1 面向社区公共空间利用的优化

社区公共空间被认为是与城市公共

生活联系最紧密的空间之一<sup>[19]</sup>。面向全龄友好的社区空间更新的一大难题是不同年龄人群多元化诉求难以在有限公共空间中得到有效兼顾。传统的城市空间优化模拟方法往往面向低碳、韧性、水环境、空气质量等单项目标的系统研究场景。但在空间资源约束条件下,单项目标的最优与其他目标的实现之间往往存在“此消彼长”的关系<sup>[20]</sup>,因而需要依赖多目标、多维度的协同优化策略<sup>[21]</sup>。

相对大尺度的多目标研究涉及极其复杂的要素关系,微观尺度的社区公共空间更新利用亦是一类具有综合性的空间研究场景。对多个目标赋予相应权重,可将多目标问题转化为单目标计算,通过综合计算方法(如层次分析法等)可形成多因素综合的评价结果<sup>[22-23]</sup>。然而这一过程通常会对权重极为敏感,且可能产生单一评价结果而导致无法提供其他备选方案<sup>[24]</sup>。此外,该方法难以表达多个目标之间的关联及冲突。例如,权重的确定需综合考虑各利益相关方诉求,如何在冲突的相关目标之间分配权重是一项难点<sup>[25]</sup>。而且,同一类人群对社区公共空间的利用需求是动态的<sup>[26]</sup>,会伴随早晚时间和季节差异而变化。当然,专家的经验判断可以为权重选择提供参考,但其不可避免具有主观偏好。因此,要获取一个理想中符合全龄人群的所谓“最优”方案在更新规划实践中具有很大的难度。

尽管如此,社区公共空间的分布特征和利用潜力是客观存在的。当前多目标优化方法可以综合、客观地分析社区真实需求和实际使用数据<sup>[16-17]</sup>,支持计算多个备选方案进行比较,并可对规划策略的优化程度进行合理性判断。由于更新规划需要满足不同年龄人群对空间利用的差异化选择,且利用方式多样,因此本文选择多目标优化模型来实现:①在不同时段最大化公共空间利用率;②在不同时段最小化空间冲突。为此,研究者需要调研提取全龄居民在公共空间的活动类型及时段使用偏好、社区中公共空间在不同时段的实际使用情况和利用潜力,并将其作为多目标优化模型构建的基础,进而开展不同价值情景导向下的帕累托最优(Pareto Optimality)推演,实现以技术赋能社区规划并提升社

区空间的利用效率<sup>[27]</sup>。

### 3.2 多目标优化研究框架及建模思路

基于上述研究思路可以建立全龄友好社区公共空间多目标优化的研究框架(图1)。本研究将从社区公共空间物理特征和居民使用特征进行交叉分析,识别具有优化潜力的空间以及产生行为干扰的空间,在不改变居民时空行为特征和公共空间需求的前提下,甄别可以通过分时利用优化的空间、提出优化目标、构建多目标优化模型并通过多目标遗传算法形成多个备选的量化优化方案<sup>②</sup>,以支持规划设计决策。

本研究采用具有良好性能和适用性的进化算法(如多目标遗传算法)构建多目标函数,并计算出多个“可能的”最优利用结果,即根据社区公共空间利用及设施要素配置效益,实现多目标优化的不同情景(多方案)导向下尽可能提升效益的最优利用方式。而后,根据研究社区的人口分布和年龄结构等具体特征,考察分析空间利用率解集值域的上限和下限、选择合理取值,为社区公共空间分时利用更新规划方案的制定和精细化治理提供计量参考。

### 3.3 社区公共空间优化模拟的实施路径设计

本文研究的社区公共空间主要涵盖与居民日常生活息息相关的室外公共空间,如社区绿地、室外活动场地、小区道路等。其空间优化模拟的实施路径设计如下:

(1) 调研不同人群活动的空间特征,形成优化模拟的数据基础

通过调研确定老人、儿童、上班人群等对社区公共空间的使用需求,根据公共空间使用行为特征,确定使用集中时段并展开多情景分析,支撑公共空间分时利用的可能性研判。

(2) 甄别可共享的公共空间,形成提高社区空间利用率的潜力基底

通过实地踏勘社区公共空间已使用以及可能被转换为公共空间的地块,确认其具体空间位置、面积等参数,并形成空间数字底板。

(3) 量化分析不同类型活动的空间使用潜力

甄别社区公共空间用途的特征和矛盾(如机动车和人群活动的矛盾),确定不同空间的优化目标,并考察不同时段公共空间的共享潜力。

基于上述三个步骤,可对社区的公共空间构建多目标优化模型,并采用多目标遗传算法 NSGA-II<sup>③</sup>进行解算。该方法可解算决策变量的帕累托最优近似解集,从而量化公共空间所能承载的不同类型需求(活动)的能力。针对分时使用约束的多目标,通过帕累托最优解的多种结果,为优化社区公共空间利用提供定量依据和方案基础,支持对更新的空间干预决策。需要指出,规划师需在模型解算基础上,综合考虑社区特征及其经济、人文因素等,以确定符合实际的社区公共空间分时利用的最终优化方案。

下文以社区老龄化程度较高但也具有相当数量年轻人群聚居的上海同济新村为例,针对“老年人活动健身”与“年轻人停车”需求在社区空间利用的主要矛盾,实践多目标优化支持的社区更新规划方法。

## 4 多目标优化支持的同济新村公共空间分时共享

### 4.1 同济新村公共空间矛盾调研归纳

同济新村(以下简称“新村”)始建于1950年代初,位于上海市四平路东南侧,历经了近半个世纪的分批建设、拆除替换等,在1990年代建成<sup>[28]</sup>。新村用地面积约18 hm<sup>2</sup>,建筑面积约19.46万 m<sup>2</sup>,容积率为1.22。新村现有3819户住户,约8923居民<sup>[29]</sup>,居民构成在年龄结构、职业和家庭规模等方面都呈现多元特征,其中60岁以上的老年人约占居民总数的65%。另外,新村内有业主自住、租房居住和单位保障租房等多种形式的住房(深度访谈,同济新村居委,2023年)。

新村现有公共空间主要为公共绿地、公共活动场地及机动车和非机动车停车空间。其中,有3处规模较大的公共绿地结合室外活动场地,使用频率相对较高。由于新村始建时间早,规划机动停车位置有限,目前机动车辆主要靠沿主路、组团道路和宅间路等停放,侵占公共绿地、人行通道等现象十分突出。小区内上下班主要道路拥堵,消防、救护车等生命通道也存在阻塞隐患。此外,居民还在楼前和绿地等随意停放非机动车,也给日常通行和消防安全带来不利

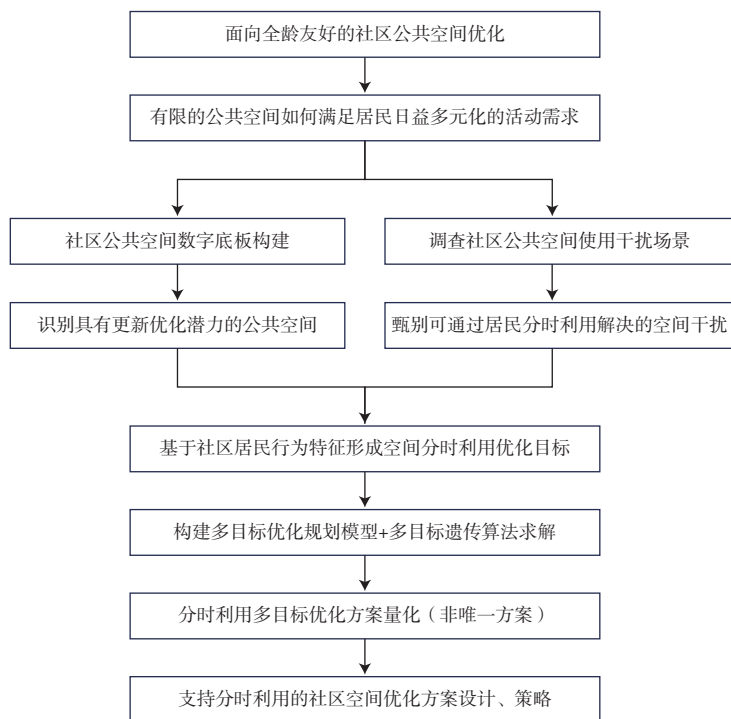


图1 全龄友好社区分时利用更新研究框架

Fig.1 Research framework for time-sharing space utilization in the regeneration of all-age friendly communities

影响(图2)。

根据实地调研与访谈,新村的公共空间利用主要存在功能冲突、利用率不足两方面问题。其中,停车等设施配给总量不足是空间功能冲突的根本原因之一<sup>④</sup>。另一方面,新村公共空间利用率仍然不高,存在相当多可以挖潜利用的公共空间。如小区集中新建了多处非机动车停车棚,但是原有停车空间却处于低效使用状态。

新村公共空间利用差异主要体现在“朝九晚五”上班族与老年人、儿童群体之间。上班族的主要需求集中在机动车、非机动车停车空间,该类需求主要发生在下班后到次日上班前时段,而对社区其他公共活动空间需求不高。老年人及儿童是社区公共活动场所的主要使用者,其空间活动主要发生在小区俱乐部周边、主入口处活动广场、组团绿地等区域,时间主要集中在清晨、上午买菜后以及午后时段。基于上述需求及矛盾分析,下文以机动车停车对于公共活动空间的干扰和隐患为例,展开多目标优化方法

的应用。

#### 4.2 社区公共空间分时共享利用的数字底座构建与模拟思路

规划拟在不减少现有绿地等公共活动空间面积的前提下,从优化未充分利用的公共空间以及提升空间分时利用率等两方面进行挖潜,并建立多目标优化的空间底座。

(1) 统计标注具有优化潜力的公共空间作为数字图底

根据调研统计、标注新村利用率低的公共空间,并对居民日常生活中的空间矛盾进行落位。具体包括停车对于公共空间和绿地的侵占、易引发小区道路交通事故的遮挡位置等,将其作为设置优化目标的图底基础。

(2) 基于居民时空需求特征的公共空间的分时利用设计

将具有潜力的公共空间进行改造、提出分时使用的设想。例如,新村现状多个局部公共空间[图3(a)]存在分时利用改造的可能性,上述场所白天可以改造

为老龄人口及亲子活动的场所[图3(b)],夜间则成为停车空间[图3(c)]。通过对社区局部空间逐一推敲、开展空间分时利用设计,从而形成社区空间分时利用情景选择的建模基础。

由于不同人群对公共空间改造意愿各不相同,无论是规划师还是居民都难以准确判断传统的整体更新规划方案能在多大程度上提高新村内的公共空间利用效率。但基于数字模拟辅助设计的方法,可以明确不同情景选择下最大化提升场地的时空利用率的可能性,有助于获得社区居民的最大共识下的合理更新优化方案。

相应的模拟思路如下:首先,根据优化公共空间布局的规划设计重新整理场地功能,通过对未利用空间的整理,确定可增加的场地面积数量。其次,针对分时共享的公共空间,通过挖掘场地的分时利用潜力,优化其在时间维度上的利用安排,以满足居民不同时段的公共空间利用需求。

本文优化算法基于多目标规划方法,



图2 机动车、非机动车停放侵占公共绿地和交通通道情况  
Fig.2 The encroachment of public green spaces and traffic pathways by motorized and non-motorized vehicle parking



图3 社区空间分时利用示意图  
Fig.3 Illustration of time-sharing utilization of community spaces

致力于协调目标之间的内在冲突,利用启发式算法<sup>④</sup>对社区公共空间不同时段的可利用方式进行评估。其中,本文聚焦量化年轻人停放机动车、老幼群体休憩活动等两种不同的主要用途对空间的占地、使用时段要求,并以公共空间所承载的不同类型个体的数量为决策变量,针对不同时段中各用途的最大化利用目标进行求解。

#### 4.3 不同规划情景方案的模拟和成效研判过程

为直观展现模型建构、规划成效研判及辅助决策过程,下文根据新村改造的两种不同的规划情景,通过多目标模型开展对规划成效的计量分析。所谓“规划成效”的差异体现在新村具体公共空间优化的功能、面积、位置以及分时利用的选择等方面,并据此提出更进一步的规划优化策略。

情景方案一:以解决停车问题为价值目标的分时利用成效评价。该方案基于社区内部停车分时利用特征,协调小区内居民停车情景,致力于形成更为便捷、安全、充分的停车空间分时利用方案。其中,白天允许外来车辆停放,下班高峰17点开始限制外来车辆,21点后仅支持小区居民车辆过夜。模型将每天时间分为3个时段,即 $t_1=07:00-17:00$ , $t_2=17:00-21:00$ , $t_3=21:00-07:00$ (次日)。决策变量 $x_1$ 代表可停放的内部居民机动车数量, $x_2$ 代表可停放的社区外部机动车数量,用向量 $x=[x_1, x_2]^T$ 表示为该优化问题的一个解。所有可供停车的实际使用空间面积记为 $M_1$ (包括‘规划的机动车位’和‘未规划但已停车的地块’,见图4),并将机动车个体的标准占地面积记为 $r$ (包括了必要停车间距)。

假设在 $t_3$ 时段不支持停放外来的机动车,仅提供居民停车位。此外,在 $t_2$ 时段内规定部分位于小区主要通道的地块不可停车[图4(b)中 $c_1-c_6$ 、 $c_{11}$ 、 $c_{15}-c_{17}$ ],剩余的可停车空间面积记为 $M_2$ 。该场景对应的优化模型<sup>⑥</sup>如下:

$$\min \sum_{i=1}^2 (M_i - x_1^i r - x_2^i r) \quad (1)$$

$$\min (x_1^1 r) \quad (2)$$

$$\min (x_1^2 r + x_2^2 r) \quad (3)$$

$$s.t. \ 0 \leq x_1^i r + x_2^i r \leq M_i, \ \forall i=1,2 \quad (4)$$

$$0 \leq x_1^1 r \leq M_2/2, \quad (5)$$

$$0 \leq x_2^2 r \leq M_1/3, \quad (6)$$

$$x_1^i \geq 0, \ x_2^i \geq 0 \ \forall i=1,2 \quad (7)$$

情景方案二:以解决空间活动和停车冲突为价值目标的分时利用成效评价。该情景致力于探讨机动车停车需求和老幼人群公共活动需求的时空分时利用优



(a) 已规划的停车位(红色)和未规划但已停放机动车的位置(蓝色)



(b) 规定白天时段不允许停车的地块

图4 已停放机动车的公共空间

Fig.4 Public spaces occupied by parked motor vehicles

化分配方案。其中，白天主要保障老幼人群公共活动空间，下班高峰17点后到21点前需协调老幼人群的活动舒适程度，21点后主要保障停车空间。同情景方案一，将每天分为时段 $t_1=07:00-17:00$ 、 $t_2=17:00-21:00$ 和 $t_3=21:00-07:00$ （次日）。决策变量 $x_1$ 代表可停放的机动车数量， $x_2$ 代表居民个体数量。 $r_1$ 、 $r_2$ 分别对应机动车、行人个体所对应的占地面积，设定为一个常数正值。通过现状调研和前述潜力挖掘分析，机动车的潜在停车空间面积为7640 m<sup>2</sup>，而需要优化利用的公共空间面积为 $M=2826$  m<sup>2</sup>（图5中a\_2、a\_12、a\_15、a\_18、a\_23和a\_24）。在公共空间 $M$ 中，考虑3个时段内机动车停车和居民活动的潜在冲突，定义如下情景优化模型<sup>⑦</sup>：

$$\min \sum_{i=1}^3 (M - x_1^i r_1 - x_2^i r_2) \tag{1}$$
$$\max (1 - x_1^0 r_1 / M) (1 - x_2^0 r_2 / M) \tag{2}$$
$$\min x_2^0 r_2 \tag{3}$$
$$s.t. \ 0 \leq x_1^i r_1 + x_2^i r_2 \leq M, \ \forall i=1,2,3 \tag{4}$$
$$0 \leq x_1^0 r_1 \leq M \times 2/3, \tag{5}$$
$$0 \leq x_1^0 r_1 \leq M/2, \tag{6}$$
$$x_1^i \geq 0, \ x_2^i \geq 0 \ \forall i=1,2,3 \tag{7}$$

基于上述两种情景，分别对社区内部和外部机动车的停车需求冲突以及指定开放空间中停车和居民活动的冲突进行优化。对目标1、目标2剩余使用公共空间的计算值进行升序排序，表1、2中分别列出了情景一和情景二的前20个非支配解<sup>⑧</sup>。围绕所设置的决策变量 $x$ ，针对存在矛盾的多个优化目标，提供了可供决策者权衡的一组不同最优解。通过对上述情景下新村内外停车的不同配比，为更新规划提供更准确的机动车停放数量及其可能组合。

情景一针对停车的矛盾，设计停车分时利用的多目标规划模型，考虑对停车空间在所有时段的使用最大化、白天时段允许外来车辆临时停放、下班到夜间时段尽量减少外来及居民停车等目标，计算并提供社区内部居民机动车数量 $x_1$ 、可停放的社区外部机动车数量 $x_2$ 的不同优化组合配置（表1）。规划师可根据不同的 $x_1$ 和 $x_2$ 组合，考察多个目标的实现情况，权衡选择符合实际的内外停车的管制数量。



图5 可供机动车停放（蓝色、棕色）和公共活动的潜在开放空间（橙色）  
Fig.5 Potential spaces for motor vehicle parking (blue and brown) and public activities (orange)

表1 面向以剩余公共空间面积最小的机动车分时停车的优化设计结果（情景一）  
Tab.1 Optimization results for time-sharing motor vehicle parking design targeting scenarios with minimal residual public space area (scenario 1)

| 目标1-剩余使用空间 / m <sup>2</sup> | 目标2- $t_1$ 时段居民停车面积 / m <sup>2</sup> | 目标3- $t_2$ 时段所有停车面积 / m <sup>2</sup> | $t_1$ 时段居民停车数( $x_1$ ) / 辆 | $t_1$ 时段外部停车数( $x_2$ ) / 辆 | $t_2$ 时段居民停车数( $x_1$ ) / 辆 | $t_2$ 时段外部停车数( $x_2$ ) / 辆 |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 8.00                        | 5028.00                              | 8448.00                              | 419                        | 285                        | 495                        | 209                        |
| 104.00                      | 5028.00                              | 8376.00                              | 419                        | 283                        | 489                        | 209                        |
| 260.00                      | 5100.00                              | 8196.00                              | 425                        | 279                        | 458                        | 225                        |
| 356.00                      | 4968.00                              | 8160.00                              | 414                        | 285                        | 466                        | 214                        |
| 416.00                      | 4992.00                              | 8124.00                              | 416                        | 281                        | 495                        | 182                        |
| 452.00                      | 4956.00                              | 8388.00                              | 413                        | 259                        | 489                        | 210                        |
| 524.00                      | 4920.00                              | 8040.00                              | 410                        | 285                        | 462                        | 208                        |
| 596.00                      | 5328.00                              | 7944.00                              | 444                        | 253                        | 469                        | 193                        |
| 620.00                      | 4848.00                              | 8400.00                              | 404                        | 253                        | 472                        | 228                        |
| 728.00                      | 5232.00                              | 7812.00                              | 436                        | 261                        | 500                        | 151                        |
| 776.00                      | 4848.00                              | 8268.00                              | 404                        | 251                        | 488                        | 201                        |
| 896.00                      | 5208.00                              | 7620.00                              | 434                        | 265                        | 484                        | 151                        |
| 1076.00                     | 5196.00                              | 7464.00                              | 433                        | 264                        | 444                        | 178                        |
| 1160.00                     | 4668.00                              | 7656.00                              | 389                        | 285                        | 495                        | 143                        |
| 1208.00                     | 5148.00                              | 7392.00                              | 429                        | 263                        | 454                        | 162                        |
| 1256.00                     | 5544.00                              | 7212.00                              | 462                        | 241                        | 460                        | 141                        |
| 1340.00                     | 4812.00                              | 7464.00                              | 401                        | 274                        | 458                        | 164                        |
| 1460.00                     | 4980.00                              | 7284.00                              | 415                        | 265                        | 451                        | 156                        |
| 1520.00                     | 5352.00                              | 7008.00                              | 446                        | 252                        | 410                        | 174                        |

类似地, 情景二针对老幼居民的活动与停车之间的冲突, 在指定公共空间中, 提出对应的多目标规划模型, 考虑白天保障老幼人群公共活动空间、下班到夜间时段保障老幼人群的活动舒适程度、保障夜间的停车使用面积等目标, 计算而得所有时段可停放的机动车数量 $x_1$ 和居民个体数量 $x_2$ 的不同组合(表2)。同样地, 规划师可根据目标达成的情况, 选择适合的优化组合作为更新设计的基础。

以上两个情景及其多目标优化模型解算结果表明, 上述方法能实现社区公共空间分时段利用的不同优化组合问题, 从而为社区更新设计方案提供趋向于多目标最优的可选配置组合, 进而有效比较不同规划情景方案的成效差异, 从而更精准地辅助规划决策。

## 5 结论

如何依托有限的公共空间尽可能满足不同人群多元需求, 是全龄友好社区营造需要回应的一项重要议题。本文基于对社区不同年龄居民的空间诉求和行为特征的差异性分析, 提出了对社区公共空间分时利用的更新思路, 并依托数字模拟技术展开社区公共空间的更新方法探讨。

为实现对空间精细化分时利用并支持更新规划决策, 本文提出了一种面向居民多元需求的社区公共空间分时共享的多目标优化规划方法, 通过对社区现有公共空间调研, 构建反映空间分时利用潜力的数字底座, 并基于空间需求交叉匹配形成多个优化目标, 以多目标遗传算法解算不同利用方式组合, 以支持多情景空间共享规划设计研究。

本文已将该方法运用于对上海同济新村的改造设计。这一分时共享优化的示例表明, 可计量、多目标优化模型、多情景推演的辅助决策技术可以更直观地实现对更新方案成效的评价, 其定量分析过程也有助于提升社区居民对更新规划的参与和认同度, 从而促进“人民城市人民建”的公众参与过程。因此, 多目标导向的优化模拟技术可以有效支持全龄友好社区研究理论和实践研究, 无论在学理和方法层面都具有积极意义。

表2 面向以 $t_3$ 时间段剩余公共空间面积最小的公共空间分时利用优化结果(情景二)

Tab.2 Optimization results for time-sharing utilization of public spaces targeting minimal residual public space area during  $t_3$  time period (scenario 2)

| 目标1-空地<br>剩余使用面<br>积/ $m^2$ | 目标2- $t_2$ 时段<br>车辆和人员的<br>密度指示量 | 目标3- $t_3$ 时段<br>人员使用面积/<br>$m^2$ | $t_1$ 时段停<br>车数/ $x_1$ | $t_1$ 时段人<br>员数/ $x_2$ | $t_2$ 时段停<br>车数/ $x_1$ | $t_2$ 时段人<br>员数/ $x_2$ | $t_3$ 时段停<br>车数/ $x_1$ | $t_3$ 时段人<br>员数/ $x_2$ |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 2673                        | 0.87                             | 0                                 | 113                    | 438                    | 31                     | 1                      | 230                    | 0                      |
| 2850                        | 1.00                             | 0                                 | 124                    | 444                    | 0                      | 0                      | 234                    | 0                      |
| 1077                        | 0.47                             | 3                                 | 114                    | 486                    | 72                     | 308                    | 232                    | 1                      |
| 1878                        | 0.50                             | 3                                 | 110                    | 486                    | 17                     | 433                    | 193                    | 1                      |
| 2391                        | 0.83                             | 6                                 | 121                    | 450                    | 3                      | 149                    | 233                    | 2                      |
| 2772                        | 0.97                             | 9                                 | 122                    | 444                    | 0                      | 31                     | 234                    | 3                      |
| 2571                        | 0.90                             | 15                                | 123                    | 445                    | 8                      | 63                     | 233                    | 5                      |
| 1692                        | 0.62                             | 15                                | 114                    | 475                    | 36                     | 250                    | 233                    | 5                      |
| 1158                        | 0.48                             | 21                                | 114                    | 471                    | 83                     | 250                    | 231                    | 7                      |
| 981                         | 0.43                             | 27                                | 114                    | 486                    | 88                     | 300                    | 224                    | 9                      |
| 870                         | 0.39                             | 30                                | 116                    | 447                    | 103                    | 295                    | 227                    | 10                     |
| 1482                        | 0.57                             | 36                                | 123                    | 447                    | 47                     | 273                    | 230                    | 12                     |
| 1425                        | 0.55                             | 39                                | 123                    | 449                    | 50                     | 281                    | 229                    | 13                     |
| 1800                        | 0.64                             | 42                                | 115                    | 482                    | 82                     | 18                     | 231                    | 14                     |
| 1257                        | 0.51                             | 48                                | 117                    | 467                    | 50                     | 336                    | 230                    | 16                     |
| 276                         | 0.29                             | 54                                | 119                    | 448                    | 112                    | 424                    | 230                    | 18                     |
| 2547                        | 0.87                             | 63                                | 113                    | 482                    | 29                     | 2                      | 226                    | 21                     |
| 1629                        | 0.60                             | 66                                | 123                    | 433                    | 45                     | 244                    | 228                    | 22                     |
| 201                         | 0.29                             | 66                                | 119                    | 465                    | 113                    | 424                    | 230                    | 22                     |
| 1338                        | 0.53                             | 69                                | 119                    | 465                    | 52                     | 296                    | 228                    | 23                     |

当然, 社区公共空间更新具有非常复杂的空间矛盾。在我国全龄友好社区更新推进的背景下, 本研究仅聚焦特定案例中“年轻人停车需求与老年人活动健身需求”这一对常见矛盾展开计量探讨。未来工作将延续多目标情景模拟思路 and 分时利用优化方法, 针对不同地区人群行为特征和空间差异化需求展开进一步的研究探索。

感谢匿名评阅人的指导和帮助, 文责自负。

## 注释

- ① 如北京市提出“9064”、上海市提出的“9073”养老模式(90%老龄人口的居家养老; 6%-7%的老年人通过社区居家养老服务养老; 3%-4%的老年人机构养老)<sup>[12]</sup>。
- ② 具体的模型建构逻辑是: 以公共空间分时利用为切入点, 研究社区公共空间利用效

率挖潜, 并根据不同情景价值导向, 基于社区的真实数据构建多个不同目标; 同时在对多目标问题的优化求解过程中, 考虑目标之间的量纲不同, 选择合理的量化方式以实现计量比较。模型建构首先需要充分调研社区公共空间的利用情况, 基于不同人群对社区空间利用的特征进行分析, 整理归纳不同居民在社区公共空间利用过程中存在的主要矛盾, 并与居民行为特征进行交叉分析, 甄别其中可以通过空间分时利用解决的矛盾, 设定相应的分时利用协调方法及空间目标, 并以此构建目标函数。

- ③ NSGA-II 算法常用于快速解算具有多个目标函数的优化问题, 并可计算具有多个相互矛盾的优化目标的问题。与其他遗传算法相比, NSGA-II 采用非支配排序方法, 不断基于进化和选择来生成一组最优解。其可支持本文中多目标规划的快速解算, 提供一组不同的备选方案。
- ④ 启发式算法是一类面向复杂问题计算的方法, 主要针对复杂性高、较难利用一般数学方法求解的情况, 其目标往往是在合理

的计算时间内,找出足够近似的最优解。

- ⑤ 按照现行的居住区规划标准《建筑工程交通设计及停车库(场)设置标准》,90 m<sup>2</sup>以下的住宅配建停车位的标准是1.0个/户,据此同济新村机动车停车位的需求约为3819个。非机动车方面,目前共有室内停车棚约1130 m<sup>2</sup>,按照《上海市街坊群(小区)公共建筑项目规模指标》规定,设置自行车棚的标准是500辆/千户,新村共需要自行车棚约3.8×500×1.5 m<sup>2</sup>=2850 m<sup>2</sup>,室外停放需求量较大,因此对非机动车的停放尚需进一步挖掘空间潜力。
- ⑥ 其中,式(1)~(3)是目标函数,(1)表示在每个时段中都尽量对停车空间的使用最大化,即充分停车。式(2)针对 $t_1$ 时段(07:00—17:00),最小化机动车停车数量,即在尽可能满足小区居民停车的基础上,同时提供外部车辆到访、临时停车的可能。式(3)代表在 $t_2$ 时段(17:00—21:00),由于包括了居民下班回家时段,因而首先考虑最小化外来机动车的停放;此外由于居民活动在该时段增加,同时在目标函数中也加入了最小化居民机动车的停放,并避免在设定公共活动空间停车形成视线遮挡。式(4)~(7)是约束条件,(4)表示所有机动车的停放不能超过社区提供的停车空间 $M_1$ ,式(5)限制 $t_1$ 时段的外部车辆停放空间不超过 $M_2$ 的一半,而式(6)则限制 $t_2$ 时段的外部车辆停放空间不超过 $M_1$ 的1/3。最后,式(7)保证每个时段的解 $\{x_1, x_2\}$ 不为负值。
- ⑦ 类似地,式(1)~(3)为目标函数,式(4)~(7)是约束条件。式(1)中目标1考虑最大化空地的使用效率;而在时间段 $t_2$ ,即公共活动活跃的时间段,考虑优化空间使用的舒适度,同时最小化机动车辆和人员的密度[见式(2)]。式(3)表明在休息时段 $t_3$ ,最小化居民的使用面积。式(4)表示所有机动车和人员的使用面积不能超过公共空间 $M$ 。式(5)限制 $t_1$ 时段的车辆停放空间不超过 $M$ 的2/3;而式(6)限制 $t_2$ 时段的车辆停放面积不超过 $M$ 的一半。
- ⑧ 将机动车的通用占地面积设为12 m<sup>2</sup>,居民个体的通用占地面积设为3 m<sup>2</sup>。在情景一中, $M_1=8452$  m<sup>2</sup>(包含了“规划机动车位”及“未规划已停机动车”等场地面积), $M_2=6912$  m<sup>2</sup>(即 $M_1$ 减去 $t_2$ 时段规定不可停车地块的面积)。针对情景二,采用相同算法解算决策变量 $x$ 。需优化利用的开放空间面积为 $M=2826$  m<sup>2</sup>。在得到的200个非支配解中,对目标3的计算值进行升序排序,即 $t_3$ (21:00—次日7:00)

时段机动车停车最大化。本文利用NSGA-II算法来解算决策变量 $x$ ,计算的种群规模设为200个,最后获得情景一、二的各200个非支配解(帕累托/Pareto解)。

## 参考文献

- [1] 孟庆伟. 2035年左右进入重度老龄化 多部委推动高质量养老[N]. 中国经营报, 2022-09-26(A04).
- [2] 孙一民, 司马晓, 邓东, 等. “人民城市设计: 创新实践与思考”学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2023(3): 1-11.
- [3] 古颖, 李秋实, 尹维娜. 以社区街道为主体的上海市普陀区石泉路街道城市微更新路径探索[J]. 城市规划学刊, 2022(S2): 161-166.
- [4] 李晴, 林妮. “人民城市”视角下社区微更新参与式规划设计的新模式探索: 以上海市YF里弄微更新为例[J]. 城市规划学刊, 2023(6): 87-96.
- [5] KEYES L, RADER C, BERGER C. Creating communities: Atlanta's lifelong community initiative AU - Keyes, Laura[J]. Physical & Occupational Therapy in Geriatrics, 2011, 29(1): 59-74.
- [6] 住房和城乡建设部办公厅. 完整居住社区建设指南[EB/OL]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/12/content\\_5667815.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/12/content_5667815.htm). 2021-12-17
- [7] 科技部, 住房和城乡建设部. “十四五”城镇化与城市发展科技创新专项规划[EB/OL]. [https://www.safec.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/fgzc/gfxwj/gfxwj2022/202212/t20221206\\_183776.html](https://www.safec.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/fgzc/gfxwj/gfxwj2022/202212/t20221206_183776.html). 2022-12-06.
- [8] 李小龙. 包容性设计: 面向全龄社区目标的公共空间更新策略[J]. 城市发展研究, 2019, 26(11): 27-31.
- [9] 汪劲柏, 常海兴. 全龄友好社区的“场景化”设计策略研究: 以中部某市老旧小区连片改造设计为例[J]. 上海城市规划, 2021(1): 38-44.
- [10] 詹运洲, 吴芳芳. 老龄化背景下特大城市养老设施规划策略探索: 以上海市为例[J]. 城市规划学刊, 2014(6): 38-45.
- [11] 张菁, 刘昆轶, 余波, 等. 行动导向下的儿童友好空间建设重点与实施路径建议[J]. 城市规划学刊, 2022(5): 74-80.
- [12] 惠英, 廖佳妹, 张雪诺, 等. 基于行为活动模式的儿童友好型街道设计研究[J]. 城市规划学刊, 2021(6): 92-99.

- [13] 叶钟楠. 城市规划设计中计算机模拟技术的遴选与运用: 以武汉新区四新生态新城“方岛”区域城市设计为例[J]. 规划师, 2014(4): 40-46.
- [14] 杨春侠, 徐思璐, 耿慧志, 等. 基于多代理行为模拟的上海市北外滩滨水公共空间诊断和优化[J]. 风景园林, 2022, 29(12): 78-84.
- [15] 戴铜, 吕飞. 存量规划管控技术体系中的情景分析框架研究[J]. 城市发展研究, 2016, 23(9): 34-39.
- [16] 王超凡, 张永平, 林雕, 等. 多目标组合优化的城市骑行路网规划设计[J]. 风景园林, 2023, 30(9): 29-36.
- [17] 陈惠斐, 萧敬豪. 基于遗传算法的最适容积率规划研究: 以广州棠涌片区为例[J]. 现代城市研究, 2021(5): 53-58.
- [18] 龙瀛. 北京城乡空间发展模型: BUDEM2[J]. 现代城市研究, 2016(11): 2-9.
- [19] TÖNNIES F. Gemeinschaft und gesellschaft[M]. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2010.
- [20] 颜文涛, 李子豪, 付磊. 基于“形态-网络-功能”的城市韧性评估方法: 以十堰市中心城区为例[J]. 上海城市规划, 2023(1): 1-8.
- [21] 颜文涛, 任婕, 张尚武, 等. 上海韧性城市规划: 关键议题、总体框架和规划策略[J]. 城市规划学刊, 2022(3): 19-28.
- [22] 贾巍杨. 社区适老性评价指标体系研究初探[J]. 城市规划, 2016, 40(8): 65-70.
- [23] 刘鹏程, 胡纹, 齐一帆. 基于层次分析法-空间可视化的社区更新评价方法: 以重庆市七牌坊社区为例[J]. 华中建筑, 2022, 40(11): 54-59.
- [24] 骆骏杭, 黄钰. 社区生活圈视角下老龄化社区居住空间环境规划提升策略分析[J]. 城市建筑, 2018(36): 17-22.
- [25] 于一凡, 朱霏颀, 贾淑颖, 等. 老年友好社区的评价体系研究[J]. 上海城市规划, 2020(6): 1-6.
- [26] 黄钰, 张真. 山地城市安置社区公共空间场所依恋研究及其更新启示[J]. 城市发展研究, 2024, 31(4): 82-89.
- [27] 孔宇, 甄峰, 张姗姗, 等. 智能技术支撑的社区规划: 概念模型与技术框架[J]. 城市规划, 2023, 47(1): 15-24.
- [28] 治是建筑工作室YeAS. 工作室中的同济新村1.0[J]. 时代建筑, 2017(2): 56-67.
- [29] 刘敏, 柯婕, 肖宁菲, 等. 基于CRS建筑策划理论的城市旧住区适老性改造策略研究: 以同济新村为例[J]. 住区, 2015(4): 80-87.

修回: 2024-11