



# Research on Green Development Strategy of Urban Park Based on Pedestrian Simulation

Wei Gan<sup>1</sup>, Zongyu Hong<sup>1,\*</sup>, Kaimin Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Architecture and Urban Planning, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China

<sup>2</sup>Wuhan Institute of Landscape Architectural Design CO., LTD, Wuhan, China

## Email address:

49781106@qq.com (Wei Gan), 1784810963@qq.com (Zongyu Hong), 10400690@qq.com (Kaimin Liu)

\*Corresponding author

## To cite this article:

Wei Gan, Zongyu Hong, Kaimin Liu. Research on Green Development Strategy of Urban Park Based on Pedestrian Simulation. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 5, 2022, pp. 314-322. doi: 10.11648/j.sd.20221005.16

Received: September 15, 2022; Accepted: October 10, 2022; Published: October 17, 2022

**Abstract:** With the rapid progress of urbanization, a large number of urban parks have been left idle and wasted because their spatial quality does not meet the needs of current users. Based on field research, this study uses pedestrian simulation methods to simulate the exploration of space by pedestrians in urban parks at the micro level over a period of time, which is equivalent to the activity trajectory of park visitors, to grasp the use of park space, to analyze the problems of existing solutions, and then to propose optimization strategies. The three main design strategies of road optimization to improve spatial accessibility, area expansion to improve node openness, and functional adaptation to improve environmental quality are used to optimize the design of the case park, and the simulation is conducted again after the optimization is completed to compare and analyze the simulation of pedestrians in the case park space before and after the optimization to verify the effectiveness of the optimization scheme. The results of the study prove that the pedestrian simulation method can be applied to the optimal design of urban park optimization: the introduction of pedestrian simulation method in the optimal design of urban park can make the design space layout more reasonable, improve the space utilization efficiency of urban park, and reduce the construction cost in order to achieve the purpose of green development.

**Keywords:** Urban Park, Behavior Simulation, Green Development

## 基于行人模拟的城市公园绿色发展策略研究

甘伟<sup>1</sup>, 洪宗禹<sup>1\*</sup>, 刘凯敏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>华中科技大学建筑与城市规划学院, 武汉, 中国

<sup>2</sup>武汉市园林建筑规划设计研究院有限公司, 武汉, 中国

## 邮箱

49781106@qq.com (甘伟), 1784810963@qq.com (洪宗禹), 10400690@qq.com (刘凯敏)

**摘要:** 随着城市化的快速进展, 大量的城市公园因其空间品质并不能满足当前使用者的需求而造成资源的闲置与浪费。本研究在现场调研的基础上使用行人模拟方法, 从微观层面模拟城市公园中行人活动轨迹, 把握公园空间的使用情况, 分析现存方案所存在的问题, 进而提出优化策略。本研究通过道路优化以提高空间可达性、面积扩展以提高节点开敞度、功能适配以提高环境品质的三大设计策略进行案例公园的方案优化设计, 优化后再次进行模拟, 对比分析优化前后的模拟情况以验证优化方案的有效性。研究结果证明在城市公园优化设计中引入行人模拟方法可以使设计空间布局更加合理, 提高城市公园的空间利用效率, 降低方案试错成本, 以达到绿色发展的目的。

**关键词:** 城市公园, 行为模拟, 绿色发展

## 1. 引言

党的十八大以来, 以习近平同志为核心的党中央将生态文明建设纳入中国特色社会主义“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局, 总书记多次强调“保护生态环境就是保护生产力, 改善生态环境就是发展生产力”[1]。但是在我国快速的城市化进程中, 往往忽视了公共活动空间的品质营造: 城市绿地资源日渐紧缺, 城市人口持续增长, 人均绿化面积逐渐减少, 城市绿地资源的质量得不到有效的保障。城市公园为城市绿地系统的重要组成部分, 不仅能够满足城市居民日常休憩娱乐的需求, 而且有着激发城市生态效益的巨大潜力[2]。因此在当前的高密度城市环境中, 如何让城市公园绿地资源集约化, 发展可持续化, 就成了风景园林、环境设计等相关学科需要思考的重要议题。

在国家政策层面上, 全国各城市都出台了相关政策以推动园林绿化的高质量发展, 以持续提升城市生态品质。例如武汉市在今年的《武汉市2022年绿化工作方案》中提出将以承办《湿地公约》第十四届缔约方大会为契机, 聚焦生态宜居, 计划建设完成各类公园100个(含口袋公园80个), 积极创建国家级生态园林城市。在城市总体规划层面, 武汉市《武汉市都市区绿地系统规划(2011—2020年)》也提出, 将强化城市六大生态绿楔, 向内延伸主城核心, 向外串联城市郊野公园群[3]。城市公园的绿色发展研究有了宏观层面的政策引导, 与中观层面的规划把控, 但在微观层面上, 还需要具体的设计策略来促进城市公园的优化更新。城市公园内部使用者的行为模式与空间的使用情况是在公园发展过程中需要着重考虑的内容, 即自下而上的角度对城市公园环境品质的提升进行把控[4]。行人模拟方法是基于使用者的行为模式, 在特定环境空间中进行模拟与评价, 从而检验设计方案是否合理, 本研究将引入行人模拟方法对城市公园的优化设计进行深入研究, 在协同顶层设计的基础上, 促进城市公园绿色发展建设。

## 2. 行人模拟方法在城市公园优化中应用的可能性

### 2.1. 群体智能理论

行人模拟是基于群体智能理论与智能体模型的计算机模拟, 基于该理论人们开始对环境中的复杂性与适应性进行探索, 在计算机科学、城市规划等相关领域展开了广泛的研究。群体智能(Swarm Intelligence)是指自然界中大量具有集群效应的智能体通过相互协作而实现相对复杂的智能行为[5], 此概念起初是生物学家受到自然界中群体生物对于环境探索规律的启发而产生: 群体中的个体基于周围环境的刺激, 可以做出相应的反应来调整运动模式, 在不断的交互反馈中, 形成适应外界环境变化的最佳状态。

智能体模型被认为是目前模拟仿真领域之中最接近人类行为方式的模型[2]。

### 2.2. 行人模拟的应用特征

行人模拟是指对行人行为的一种仿真分析, 它可分为三个层面: 宏观、中观与微观[6]。宏观模拟将群体视为密度流, 模拟只关注群体变化、运动趋势及行为特征, 不考虑个体的独特性。研究常用于大型场地例如体育场以及地铁站人流疏散行为。中观模拟通过建成环境指引行人运动, 不考虑人与人之间的微观互动性, 例如展览型建筑空间中游客自发性参观行为。微观模拟以独立的多智能体构建, 每一个多智能体被视作理性经济决策者, 采用行为经济学的最大效用理论在特定的空间范围内进行行为决策, 例如多智能体对于寻找对象的前后顺序选择[6]。本文行人模拟研究着眼于微观层面的城市公园游人行为模型模拟。

### 2.3. 行人模拟方法在公园优化中应用的可行性分析

国内关于行人模拟研究的起步较晚, 自二十一世纪以来, 由于我国大力发展基础建设, 例如桥梁道路、公建项目, 这些项目对于布局与流线的要求较高, 直接促进了国内对于行人模拟的研究应用的重视。近年来, 行人模拟在我国建筑学等相关领域中也得到了广泛的研究与应用。例如在建筑疏散方面[7]、商业街的空间布局优化[8]以及城市公园结构优化等方面均有应用。

在城市公园空间结构优化领域, 马婕、成玉宁(2021年)利用集群智能方法与微粒群算法模拟游人漫游行为, 并配合空间句法分析, 通过调整局部道路结构, 改变待优化区域与邻近人流密集区域之间拓扑深度的方式, 实现方案优化设计[2]; 李端杰、王梦晗等(2022年)基于MassMotion平台进行灾时人员避险仿真模拟, 提出应急避险公园边界空间的优化策略, 为城市公园规划设计与服务管理提供参考[9]; 吴尚泽(2016年)利用Legion仿真软件, 结合北京环球影城的实际项目在客流角度上进行模拟, 分析平面布局的薄弱环节和交通设施的布置缺陷, 提出相应的优化措施, 并对优化效果进行仿真模拟检验[10]。

关于行人模拟的研究, 其仿真平台较为完善, 可以进一步探索其应用领域, 目前在建筑疏散、土木、交通方向应用较多, 在城市公园的优化设计中也有应用研究, 但是总体研究数量较少, 当前研究主要存在以下不足:

公园游人游憩行为模型较不完善, 前人研究多注重于紧急情况下行人疏散模型以及休闲购物行为模型的研究。有相关游人行为特征分析, 但未结合行人模拟构建公园游人游憩行为模型。

在城市建成公园的优化设计中, 需要在公园游人调研的基础上进行分析。公园空间环境需要服务多类型的使用者, 对空间应该有多层次的需求, 前人相关研究主要是针对目标场地提出优化方案, 较少有参考性的设计策略提出。

近些年来，国内相关研究发展迅速，在高校的教学培养中，出现大量数字化、参数化计算机辅助设计的相关课程，推动相关研究发展，为本研究提供了重要参考。同时集约化的建设发展目标，让运用在建成环境中的新技术、新理念的推广更加迅速，以行人模拟为代表的计算机辅助设计发展道路具有广阔的研究前景及应用意义。

3. 城市公园行人模拟方法的构建思路

3.1. 核心目标的确定

公园建设应当遵循可持续发展原则，集约化利用有限资源，为居民提供高品质的使用空间。同时也研究表明，城市活动空间空间的使用水平可由空间的质量直接决定[11]。其中可达性是评判空间质量的重要标准，可达性较好的空间更容易引起人们的注意与停留[12]。开敞度也是人们感知空间的重要途径之一，通常开敞度较高的空间人们可以获得更为舒适的空间体验[13]。其次便利性是衡量空间功能设施设置是否合理的重要评判标准，通常人流量较高的区域应配置较为完善的功能设施。

本研究基于行人模拟方法将生物进化机制引入城市公园设计中来，通过计算机技术进行参数化模拟，将方案不断优化过程看作生物不断进化的机制，以达到最优解，以满足公园优化可达性、开敞度高、以及便利性的需求，即形成公园设计中环境空间的最优方案。

3.2. 仿真模型的构建

利用Rhino&Grasshopper参数化平台，加载Quelea动态群体智能仿真插件集，将现场调研的相关数据进行参数化定义，针对不同的使用者行为进行模拟。行人模拟的仿真系统由两部分组成：环境模型与行为模型，环境模型指的是场地环境的力场分布以及界定模拟的范围；行为模型代表使用人群行为的基本特征[14]。

Quelea运用并行算法，可以通过设定群体仿真系统中自主体类型和受力情况来模拟动态的群体智能行为，建构群体仿真系统主要包括四个步骤：智能体参数设置，发射点设置，系统环境范围以及系统中所包含的作用力设置，图1。

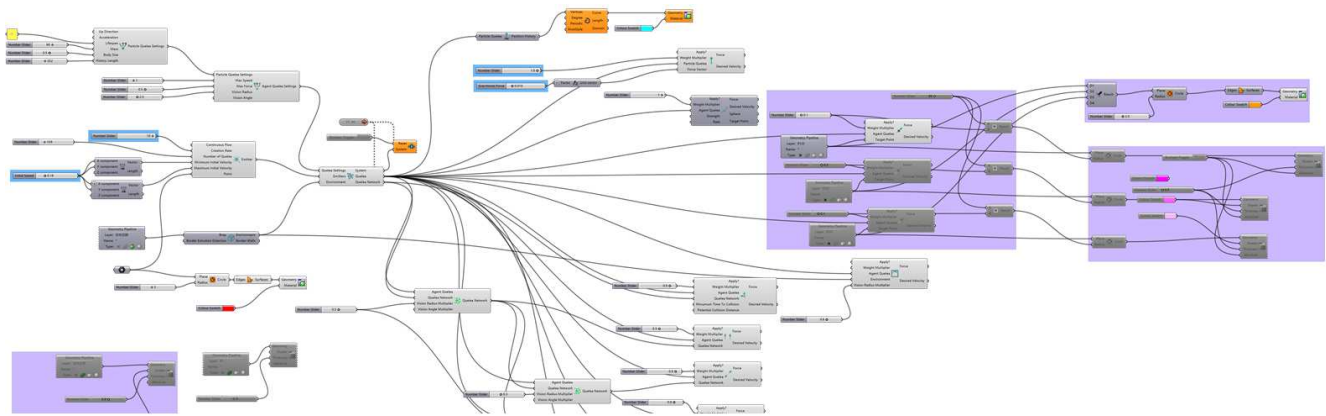


图1 群体系统设定。

3.2.1. 行为模型

智能体：在具体模拟中，智能体的行为表征可分为两类，一类是正常智能体，其在环境中按照预设的路径向目的地前进；另一种是被吸引的智能体，当其在环境中被吸引物所吸引时，会改变原有路径向吸引物偏离。

智能体的参数主要包括初始的方向，加速度，运行时间、质量、体积以及历史记录步数。设置运动过程中的最大速度，受到的最大应力值，视野半径与角度。基本的初速度、数量、运行时间，历史记录时间等[15]。

发射点：发射点为模拟系统中粒子的发出位置，多设置于公园出入口处。

3.2.2. 环境模型

力场分布：在城市公园中，基于重要路径的设置以及功能区的布置生成各类环境因子。根据环境因子与人群产生的交互作用，可看作环境中的力场，例如引力、斥力和阻力。道路的边界，围墙、灌木丛等对人群的目的行为起到一定的限制作用，对人群的活动起到了斥力

的效果；公园中的节点、游乐设施、公共设施等具有吸引游人靠近观赏使用的功能，因此在环境中可看作引力；自然中的水体、山石、丘陵地形等，对人群的流向起到一定的抑制作用，人群可绕行避开等，则是起到了斥力的作用。

模拟区域：获取所需模拟区域的地理信息文件，例如基地的Auto CAD文件，将文件导入Rhino中进行合理的处理与调整，将多智能体可移动区域接入System的Environment端。

3.3. 模拟结果的分析评价

分析评价从交通可达性、空间容量与环境品质三方面来解释。交通可达性评价标准为整个环境空间的路网结构的合理性，是否存在过于拥堵或者过于稀疏的情况。空间容量评价标准为公园内空间节点的活动空间的容量，环境品质则为公园内环境设施的合理性，绿化空间的布置等对游人步行舒适性体验较高的影响元素。

## 4. 案例研究

### 4.1. 案例概况

本研究选择武汉市中山公园作为基地进行后续的研究。武汉市中山公园位于武汉市汉口解放大道旁，毗邻协和医院和医院，周边业态丰富。中山公园历史悠久是全国百家历史名园之一。公园总占地面积达到三十二万平方米，公园绿化覆盖率达到93%。中山公园自1910年建园以来，历经

数代人的辛勤耕耘，现已成为一座具有多活动功能、多生态空间的综合性大公园。

公园分前、中、后三个景区。其中靠后的以游乐设施为主的景区处于修建状态，因此此次研究主要是前中两个景区（如图2红线区域）。公园南侧毗邻武展中心以及武广商业广场，中间以解放大道相隔。东侧是新华路以及新华路体育场。西侧有许多学校以及美食一条街万松园路。公园北侧以住宅区为主。



图2 中山公园平面图。



4.2. 参数设置

智能体参数设置：智能体在系统中通过Quelea Agent和Quelea Particle共同控制。主控制器（System）的Quelea Settings端链接Quelea Agent，而Agent链接Quelea Particle。其中包含一些关键参数，例如Lifespan是用于控制粒子的周期[16]，设置数值为-1则可以让粒子持续存在；此外很多参数表示的是在Timer单位时间中发生的量，设置Timer间隔为20ms，则Max Speed就是表示20ms粒子移动的最大距离。Vision Radius是控制粒子的视觉半径，将该参数设置为2.5（表1）。

表1 智能体参数设置表。

参数名称	设置数值
Lifespan	-1
Max Speed	0.06
Max Force	100
Vision Radius	2.5

系统中的力场：Seek Force是模拟游人在环境中向外探索的力，环境中的人会被不同的环境节点所吸引。研究需确定不同环境因子对游人的吸引力强弱，采取现场问卷调查的方法，让前来中山公园游玩的人们对各个环境因子的强弱进行打分。调研问卷设置四类环境空间共15个环境因子，评价数值为从1到15分代表环境因子的吸引力由弱到强的排序。在工作日和周末各发放现场问卷100分，共计200份。通过调研发现，吸引力大小与不同的节点类型密切相关，在下表中计算出各节点吸引力等级，并将其分类以方便模拟，将环境因子的吸引力等级分为三类分别赋值，III级环境因子赋值为0.3；II级环境因子赋值为0.2；I级环境因子赋值为0.1。将以上三类数值分别连入Seek Force中的Weight Multiplier端，将环境因子的中心点连接至Target Point端，完成对于模拟系统中关于吸引力的设置。如表2所示：

表2 环境因子吸引力等级表。

空间类型		环境因子	编号	均值	吸引力等级
A	广场空间	中山广场	A1	12.0	III
		和平广场	A2	5.6	I
B	自然空间	百年纪念林	B1	4.5	I
		水域	B2	/	/
		文化亭	C1	7.0	II
		映霞亭	C2	8.6	II
		湖心亭	C3	8.6	II
		张公亭	C4	7.8	II
C	建筑空间	铁索桥亭	C5	8.2	II
		松月轩	C6	9.0	II
		迎辉亭	C7	8.8	II
		园史馆	C8	7.6	II
		受降堂	C9	8.6	II
		疾风雕塑	D1	5.0	I
D	小品景观	烟雨桥	D2	8.6	II
		落红桥	D3	8.9	II

Seperate Force是使人避免碰撞而产生的互相排斥力，让粒子的模拟更加自然真实。成年人的肩宽约为0.5m，半径设为R值的0.2倍即0.5m。Contain Force为模拟避开障碍物的力，人在环境中漫游时会自动的避开墙体、绿化带等障碍物，通过Contain Force链接Environment来模拟这种效果。除此之外还设置了相吸力、路径跟随力等。

发射点：发射点的位置为中山公园的主要出入口，在空间上是重要的人群集散节点，在仿真系统中是智能体不断产生的位置。粒子的发射通过Emitter，设置粒子发射的数量（Number of Quelea），粒子发射的速率（Creation Rate）以及粒子最小与最大初速度的设置（Minimum Initial Velocity和Maximum Initial Velocity），该具体数值通过向量控制，基于平面上的模拟，故Z轴向量设为0，表3。

表3 反射点参数设置表。

参数名称	设置数值
Number of Quelea	500
X coordinate (Minimum Initial Velocity)	0.15
Y coordinate (Minimum Initial Velocity)	0.15
X coordinate (Maximum Initial Velocity)	-0.15
Y coordinate (Maximum Initial Velocity)	0.15

模拟区域：模拟区域为中山公园南部，整体为长方形场地，通过现场调研观测场地范围内整体地形较为平缓，交通流线顺畅，范围较为明确，适合作为环境模型导入模拟。

4.3. 行人模拟

根据上文的参数设定启动模拟系统，随着时间移动，代表游人的粒子从设置的发射点持续释放出来，沿着现有

的路径进行空间的探索，同时记录下其运动轨迹，时间经过三分钟左右时，粒子对空间的探索达到了一个比较完善的阶段，此时停止模拟，记录不同时间段的粒子模拟情况得出基于使用者行为的武汉中山公园人流分布图，图3。

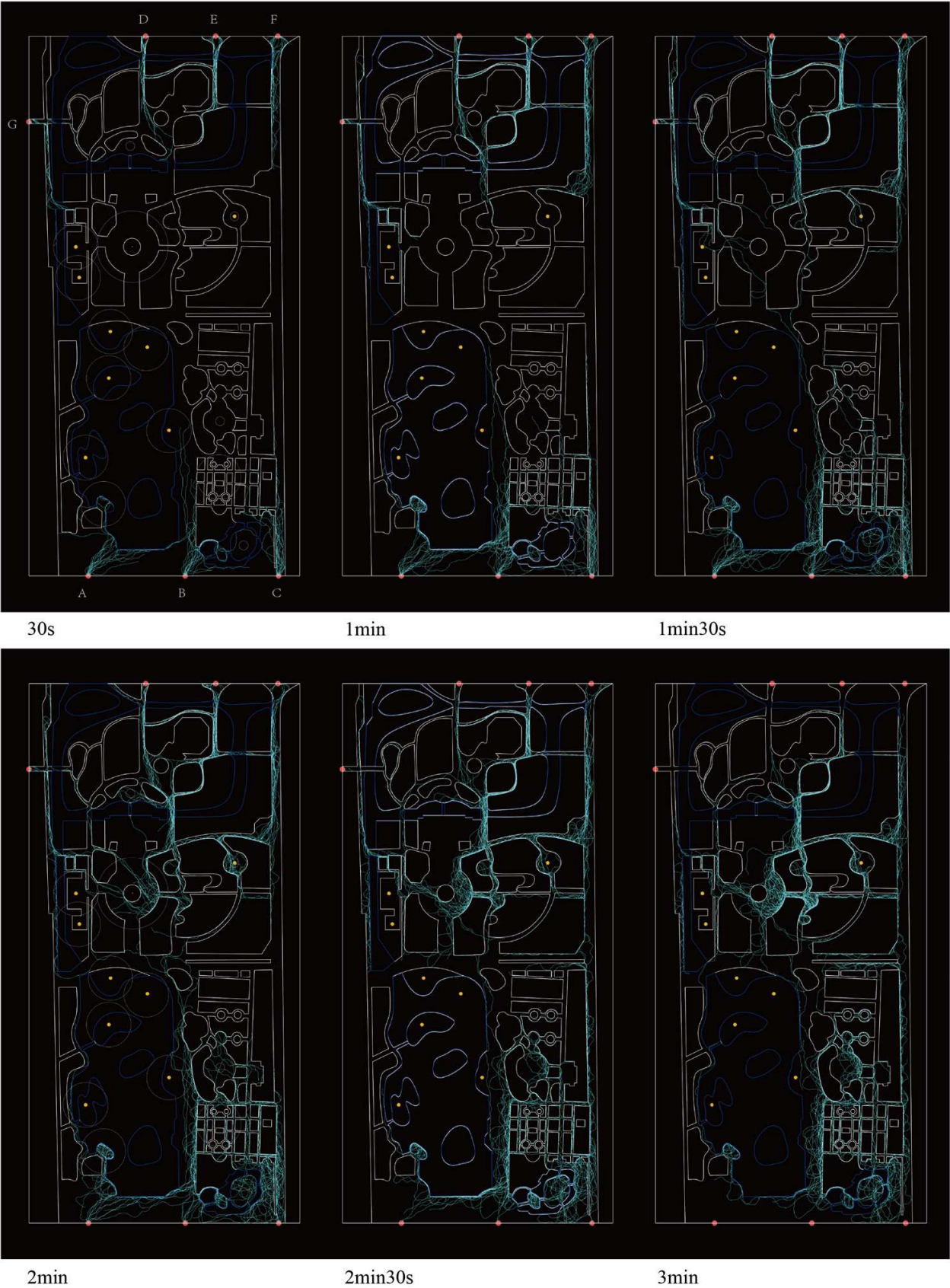


图3 中山公园现状行人模拟分析。

从人流分析最终呈现来看,场地人流呈现出明显的分布不均,疏密不一的情况。模拟开始后,B点设置在公园大门附近,拥有较大的人流,A、C点虽然也为出入口,但是被B场地点方向所吸引,慢慢向B点前方汇聚。西南区为湖面,东南区为规整的绿化休憩区,因为交通较为通畅,人流以较为均衡的密度向公园中心探索。与此同时,北部的E、F、G、H点释放的人流也向公园中心区域进行探索,并在中山广场与百年纪念林交汇的路口形成强大的人流汇聚,这股人流在中山广场东侧造成拥堵,后少量人流继续向南部探索。整体模拟出的人流特征也与现场的观测情况基本相符,同时说明了规划的不合理性。

由此整理出场地空间内的4处不合理的特点:通往中山广场的附近路径较为狭窄,有拥堵情况发生;人流主要聚集在中山广场附近,人流向周边疏散能力较差;场地中部松月轩附近过于冷清,利用效率较低;梅林区域利用较为充分,但现场调研发现该区域座椅设置较少。

#### 4.4. 方案优化

对于以上4处不合理的设计进行改善,提出以下三条设计策略:

通过道路优化以提高空间可达性:公共空间离入口越近、与其他空间之间的交通联系更便捷,该空间的可达性就越高[12]。拓宽中山广场北部与中山展览馆连接部分的道路,新增通向中山广场的道路,以减轻中山广场附近的人流密度较高的问题;优化连接道路转角的弧度,方便游人进入公共空间,增加公共空间的可达性,以创造较为顺畅的人流交通。

通过面积扩展以提高节点开敞度:在中山广场东南侧空地基础上扩大面积,与原有的绿地相结合创造出开敞度更高的公共活动空间,形成小尺度广场,以疏解中山广场附近人流拥堵的问题。

通过功能适配以提高环境品质:在公园梅林节点附近,人流量较大,得益于其道路规划的合理性,该区域并未产生拥堵现象。对于此类区域可适当增加功能性建筑例如商店,以及增加景观小品与座椅,为过往的游人提供驻足之处,以提高游人的空间体验(图4)。

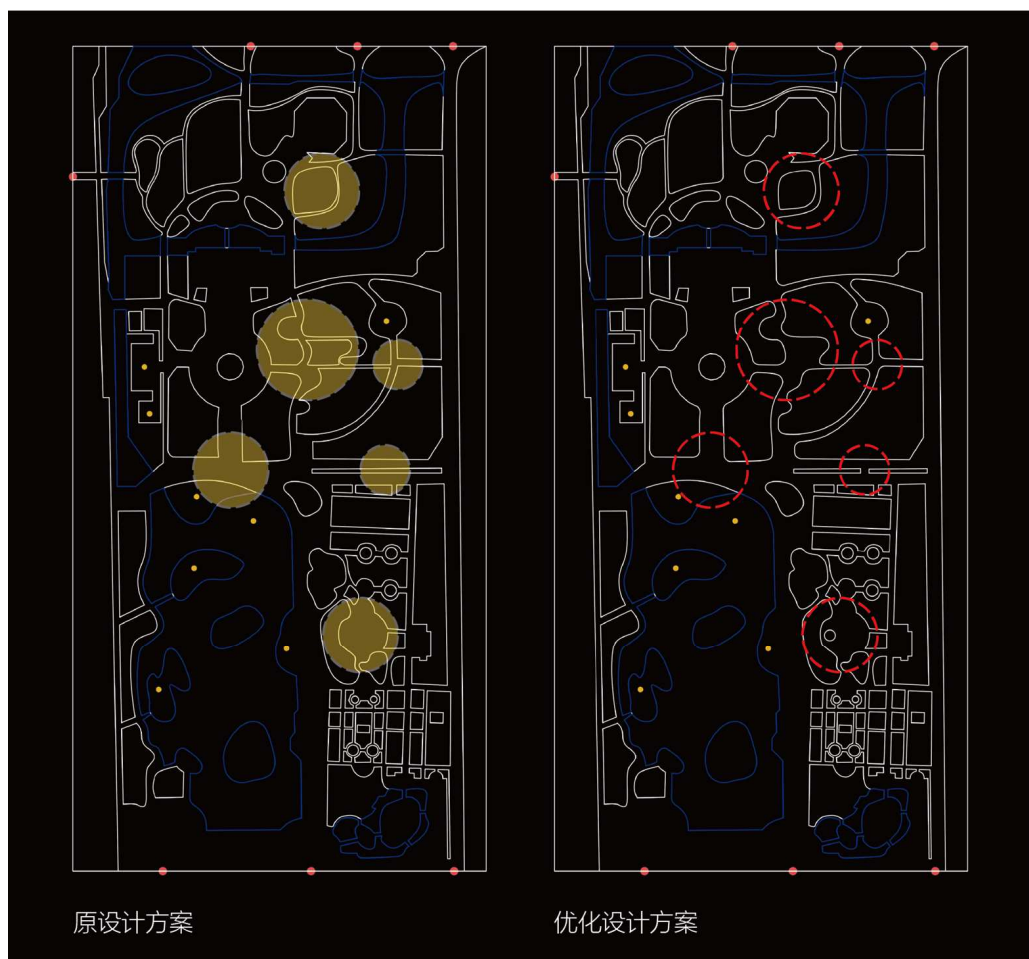


图4 优化区域。

设计优化后再一次进行模拟,模拟结果显示:中山广场附近的拥堵情况有所缓解,人流分布较为均匀;在相同时间下,模拟粒子对于空间探索的完整度高于前文现状模

拟,公园空间资源得到充分的使用。可以预见优化后的方案通过提升公园节点连接效率的角度,提高了游人的步行体验,使整个设计更加合理化(图5)。



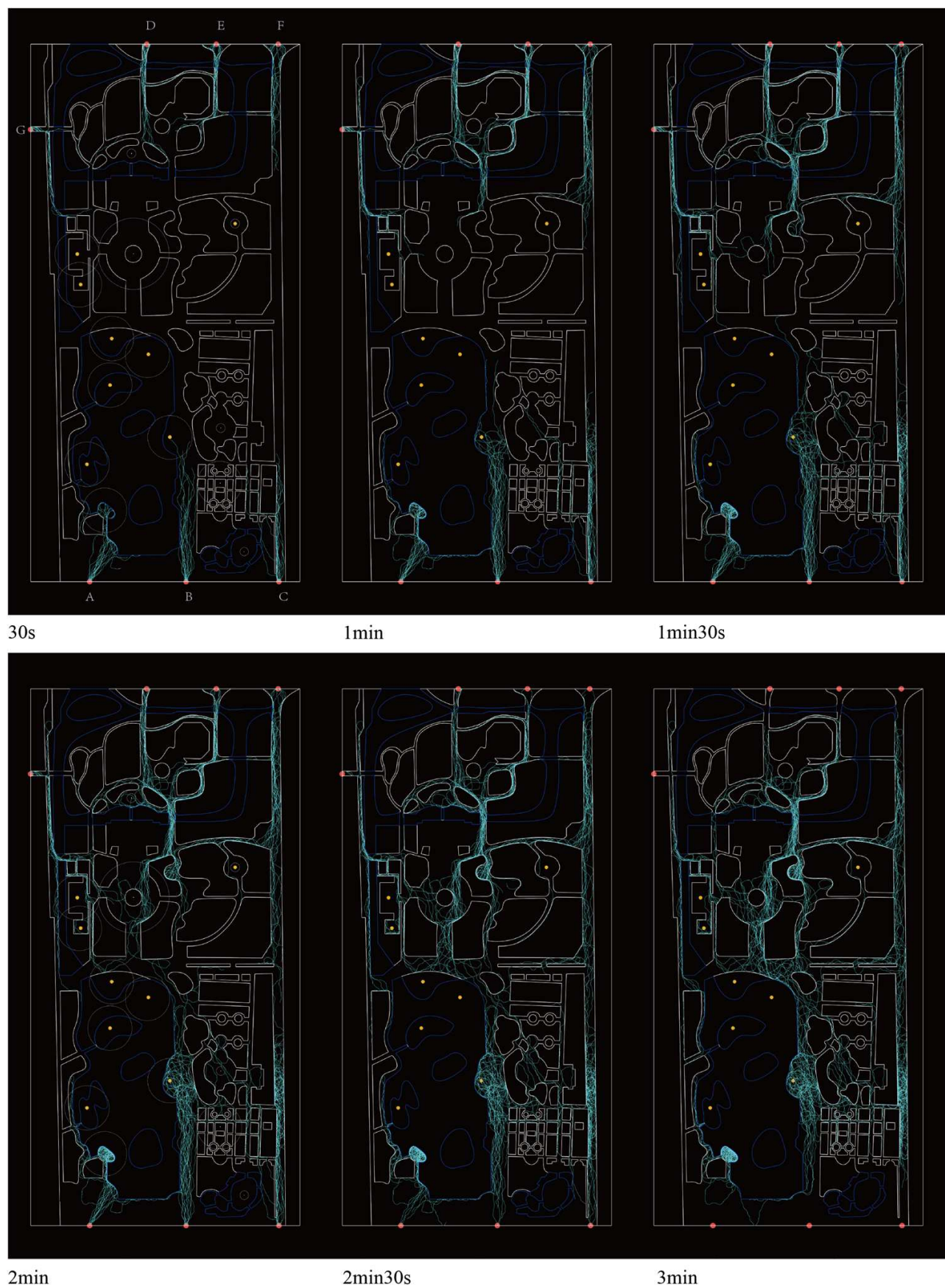


图5 优化方案行人模拟分析。



5. 结语

随着城市绿色发展建设的逐步深入，城市公园作为城市生态环境的一部分，在维持生态安全格局，调节区域微气候，保障动植物多样性等方面发挥着不可或缺的作用。本研究基于城市公园相关文献梳理，结合行人模拟技术，提出城市公园优化设计方案与绿色发展策略，具体结论如下：

公园内部品质提升层面，针对公园道路拥堵、可达性低、功能缺失等方面问题，从道路优化、面积拓展、功能适配三方面策略对公园进行优化，模拟结果显示达到预期优化目标。证明在城市公园的优化设计中，引入行人模拟技术，可以较好满足使用者需求，降低方案试错的成本，充分挖掘空间潜力，以达到可持续发展目标。

致谢

本文为武汉市园林建筑规划设计研究院有限公司2022年科研工作计划的阶段性成果之一。

参考文献

[1] 李雄, 张云路. 新时代城市绿色发展的新命题——公园城市建设的战略与响应 [J]. 中国园林, 2018, 34 (5): 38-43.

[2] 马婕, 成玉宁. 基于集群智能行为模拟与空间句法分析的城市公园优化设计研究 [J/OL]. 中国园林, 2021, 37 (4): 69-74.

[3] 戴菲, 王运达, 陈明, 等. “公园城市”视野下的滨水绿色空间规划保护研究——以武汉长江百里江滩为例 [J]. 上海城市规划, 2019 (1): 19-26.

[4] 苑思楠, 张玉坤. 复杂性城市设计理论研究 [J]. 新建筑, 2012 (5): 132-135.

[5] BONABEAU E, DORIGO M, THÉRAULAZ G, et al. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems [M]. OUP USA, 1999.

[6] 连海涛, 孔宇航, 胡一可, 等. 基于多智能体行人模拟的建筑规划领域研究前沿 [J]. 天津大学学报 (社会科学版), 2020, 22 (1): 52-56.

[7] TAN L, HU M, LIN H. Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency [J/OL]. Information Sciences, 2015, 295: 53-66.

[8] 连海涛. 基于视觉注意力理论的智能体购物行为模型 [J/OL]. 装饰, 2018 (11): 128-129.

[9] 李端杰, 王梦晗, 王洁宁. 基于应急避险行为模拟的城市公园边界空间优化——以济南市泉城公园为例 [J/OL]. 风景园林, 2022, 29 (4): 114-120.

[10] 吴尚泽. 基于行人交通行为微观仿真的大型主题公园交通衔接优化设计研究 [D/OL]. 北京交通大学, 2016 [2022-09-03].

[11] SUGIYAMA T, SHIBATA A, KOOHSARI M J, et al. Neighborhood environmental attributes and adults' maintenance of regular walking. [J/OL]. Medicine and science in sports and exercise, 2015.

[12] 陶聪, 李佳芯, 赖达祎. 城市公共活动空间质量评价与优化策略研究[J]. 规划师, 2021, 37 (21): 75-83.

[13] KAPLAN R, KAPLAN S. The Experience of Nature: A Psychological Perspective [M]. CUP Archive, 1989.

[14] 王绚, 吴昊, 侯鑫. 多主体仿真技术在街区空间研究中的应用 [J]. 建筑学报, 2013 (S1): 194-199.

[15] 陈硕. 基于群体智能的寒地大学校园品质提升设计研究 [D/OL]. 哈尔滨工业大学, 2020 [2022-08-30].

[16] 闫庆, 鲍英华. 基于Quelea系统的交通枢纽内部空间优化方法研究 [J/OL]. 山西建筑, 2016, 42 (33): 5-7.