

城市更新视角下面向内涝防治的地表空间布局优化

陈明发, 马星, 赵耀龙, 杜勇

Optimal design of surface layout for alleviating urban flood in urban renewal

CHEN Mingfa, MA Xing, ZHAO Yaolong, DU Yong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20220111003>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

SCS-CN模型改进及其径流预测

Improvement and runoff prediction of SCS-CN model

水利水电工程学报. 2018(3): 32 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.03.005>

基于降雨情景模拟的城市社区尺度暴雨内涝研究

Study on rainstorm waterlogging on urban community scale based on rainstorm scenario simulation

水利水电工程学报. 2021(1): 26 <https://doi.org/10.12170/20200914001>

城市洪涝灾情评估与风险管理初探

Urban flood disaster assessment and risk management

水利水电工程学报. 2019(6): 139 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.06.016>

城镇化背景下我国城市洪涝灾害演变特征

Study on evolvement law of urban flood disasters in China under urbanization

水利水电工程学报. 2018(2): 10 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.02.002>

石家庄市暴雨内涝精细化水动力模型应用

Application and research of fine model for Shijiazhuang rainstorm waterlogging

水利水电工程学报. 2017(3): 41 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.03.006>

基于MIKE FLOOD的城区溃坝洪水模拟研究

Simulation research of urban dam break flood based on MIKE FLOOD model

水利水电工程学报. 2017(5): 67 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.05.010>



扫码进入官网, 阅读更多精彩文章



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20220111003

陈明发, 马星, 赵耀龙, 等. 城市更新视角下面向内涝防治的地表空间布局优化 [J]. 水利水运工程学报, 2023(3): 19-28. (CHEN Mingfa, MA Xing, ZHAO Yaolong, et al. Optimal design of surface layout for alleviating urban flood in urban renewal[J]. Hydro-Science and Engineering, 2023(3): 19-28. (in Chinese))

城市更新视角下面向内涝防治的地表空间布局优化

陈明发¹, 马 星¹, 赵耀龙^{2,3}, 杜 勇¹

(1. 广东省城乡规划设计研究院有限责任公司, 广东 广州 510220; 2. 华南师范大学 地理科学学院, 广东 广州 510631; 3. 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广东 广州 510663)

摘要: 城市暴雨内涝已成为威胁人民生命财产安全的重要灾害之一。随着我国步入“存量规划”时代, 城市更新日渐成为存量空间布局优化、解决城市问题的重要手段。针对面向内涝防治的地表空间布局优化在城市更新规划中的应用及方法创新问题, 通过耦合 SCS-CN 水文模型与多元线性规划算法, 构建地表空间布局优化模型, 减少城市建筑空间布局对地表径流的影响, 从而降低暴雨内涝的发生风险。以广东佛山为例, 平均减少城市建筑空间布局对地表径流的影响为 18.11%, 最大达 20.63%。地表空间布局优化模型通过减少极低与极高密度地表空间, 增加低、中、高密度地表空间的方式进行, 且以地表空间布局的小规模优化调整为主, 可较好地与城市更新规划原则衔接, 具备较强实用性。通过建筑密度总量控制及地表空间布局调整的方式, 将优化结果纳入国土规划工作, 从而降低暴雨内涝的发生风险。

关 键 词: 城市更新; 内涝防治; 空间布局优化; SCS-CN 模型; 多元线性规划

中图分类号: X43; TU984.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2023)03-0019-10

暴雨内涝已成为威胁社会生产与居民生活的重要灾害之一, 2020 年广州“5·22”、2021 年郑州“7·20”特大暴雨均造成了重大生命财产损失。近年来, “逢雨必涝”“城区看海”更是成为常态。城市内涝实质上是地表降雨循环不畅而产生汇集、堵塞的现象^[1]。城市化过程中, 原有的农田、绿地等透水面逐渐被城市硬化地面所取代, 从而造成城市内涝。针对此类“城市病”的解决方法, “海绵城市”建设、排水系统改造等措施在项目运营成本、城市环境影响等方面均存在相应不足^[2-4]。随着我国城市发展由传统“增量扩张”向“存量提质”转变, 城市更新已成为优化城市空间结构、解决“城市病”的重要手段^[5]。暴雨内涝防治在城市规划中的重要性也愈发凸显^[6]。如广州市明确规定了中心城区须应对不低于 50 年一遇标准下的暴雨内涝风险, 规划部门也提出通过国土空间规划实现城市防涝目标。暴雨内涝防治已成为城市更新改造的重要目标, 开展面向暴雨内涝防治的城市更新规划将是一次极具意义的尝试。

不透水地表是指人造的、雨水难以渗透的地表, 如建筑屋顶、停车场、广场地面及沥青道路等, 常通过像元百分比的形式表示, 即采用百分比表示相同大小网格内的建设密度^[7-8]。大量研究证实, 不透水地表面积与地表径流具有极强的正相关关系, 即不透水地表面积扩张增加了地表径流, 打破了地区的水文平衡, 从而造成城市内涝^[9-10]。事实上, 由于空间格局的差异, 同等面积下不透水地表对地表径流的影响也不尽相同。如 Poff 等^[11]发现不同土地利用类型对地表径流的影响差异显著; 权瑞松等^[12]通过 SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) 模型构建发现不同时期土地利用类型引起的地表平均径流深度变化也

收稿日期: 2022-03-09

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2020YFB2103904); 国家自然科学基金资助项目(41871292); 广东省科技计划资助项目(2018B020207002, 2021B1212100003)

作者简介: 陈明发(1995—), 男, 福建尤溪人, 助理工程师, 硕士, 主要从事国土空间规划新技术应用等研究。

E-mail: Mingfa.Chen@foxmail.com

有所不同;李彬烨等^[13]研究发现广州市主城区的建设用地扩张与内涝发生地点具有显著正相关,可采用空间布局优化的方式进行调整;Yu 等^[14]基于地理加权回归模型的研究发现,由不透水地表扩张引起的地表径流系数具有空间异质性,因此造成各地内涝影响程度与发生风险的差异。

同时,相关学者尝试引入地理模拟优化思想,开展面向城市内涝防治的地表空间格局优化研究。梁志承等^[15]提出耦合蚁群算法与 SCS-CN 水文模型,通过划分水文单元进行不透水地表空间格局优化,将高密度不透水地表划分为中高密度不透水地表、集聚中低密度不透水地表,可减少地表径流系数,降低内涝发生风险;Yu 等^[16]在文献 [15] 基础上构建了不透水地表空间优化模型,并发现不同水文单元的优化结果存在异质性,因此面向内涝防治的城市更新策略应有所不同。

上述研究验证了地表空间布局对城市内涝的差异性影响,以及通过城市空间布局优化降低地表径流系数与内涝发生风险的可行性。但由于应用领域的特殊性,更须进一步探索如何将研究方法及相关结论应用于城市更新规划中,即现有研究如何更好地与城市更新规划工作进行衔接。此外,相关研究在优化单元划分、空间布局模拟、建筑总量控制等优化方法上仍具有改进与提升空间。在上述研究的基础上,本文以广东省佛山市为例,通过耦合 SCS-CN 水文模型与多元线性规划算法构建面向暴雨内涝防治的地表空间布局优化模型,并尝试与国土空间规划逻辑相衔接,提出一种面向暴雨内涝防治的城市更新规划路径。

1 研究区域与数据

佛山市地处广东省中部、珠三角腹地,2020 年全市常住人口数达到 949.89 万。佛山市地处亚热带季风性湿润气候,2020 年降雨量达 1 642.3 mm,极端短时强降雨频发。据不完全统计,1990 至 2018 年间,全市内涝发生次数呈逐年上升趋势,至 2018 年底已达 632 次。本研究将市级国土空间总体规划中确定的佛山市中心城区作为研究区,包括张槎街道、祖庙街道、石湾街道、桂城街道、狮山镇、里水镇、大荔镇、南庄镇、乐从镇、北滘镇、陈村镇等 11 个镇街,总面积 1 035.25 km²(图 1)。由于城市的建设扩张覆盖了已有透水地区,研究区范围内发生内涝的频次远大于其他地区,且有逐渐加剧的趋势(图 2)。图 2 中内涝数据来自相关报道^[17],2010s 为 2010 至 2018 年数据。

使用数据包括房屋面测绘、地形、土壤等基础数据及国土空间规划相关数据(表 1)。进行以下数据预处理工作:考虑到城市环境、道路交通、空间规划等布局,选取包括湖泊河流、道路(主干道、高速公路)与大型绿地(公园、生态林地)等空间作为禁止优化区域,避免对此类用地空间格局的优化;区别于传统的水文单元,以控制性详细规划单元为基础形成 216 个城市更新单元,确保结果符合政府治理与城市更新的实际需要(图 3)。除白云、黄埔等部分大型生态绿地地区外,多数城市更新单元面积为 0.8~



图 1 研究区地理位置及范围

Fig. 1 Geographical location and scope of the study area

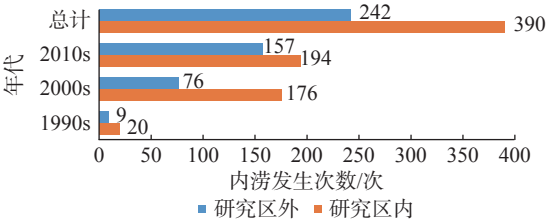


图 2 佛山市 1990—2018 年内涝发生频率

Fig. 2 Frequency of waterlogging occurrence in Foshan from 1990 to 2018

20.0 km², 平均面积为 7.90 km²。基于《佛山市暴雨公式及计算图表(设计用表)》, 计算得佛山市 50 年一遇暴雨强度为 105.28 mm/h。

表 1 使用数据及其来源
Tab. 1 Data and its sources

数据名称	格式	来源	用途
房屋面测绘	矢量	地籍测量	生成地区的建筑密度
控制性详细规划单元	矢量	佛山市级国土空间总体规划	划分城市更新单元
城镇开发边界一级分区	矢量	佛山市级国土空间总体规划	提取禁止优化区域
土地利用分类	矢量	第三次全国国土调查	计算SCS模型CN值
1 : 100万中国土壤数据	栅格	中国科学院南京土壤研究所	计算SCS模型CN值
30 mDEM地形	栅格	地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)	生成坡度

在无资料地区, 不透水地表估算通常采用遥感技术^[18]。本研究使用房屋面测绘数据(即建筑轮廓)将研究区划分形成 30 m×30 m 格网, 并计算所在格网的空间建筑密度, 从而模拟形成城市地表空间布局(图 4), 即不透水地表(Impervious Surface Area, ISA), 该方法避免了采用遥感技术造成的精度误差。



图 3 城市更新单元及禁止优化区域

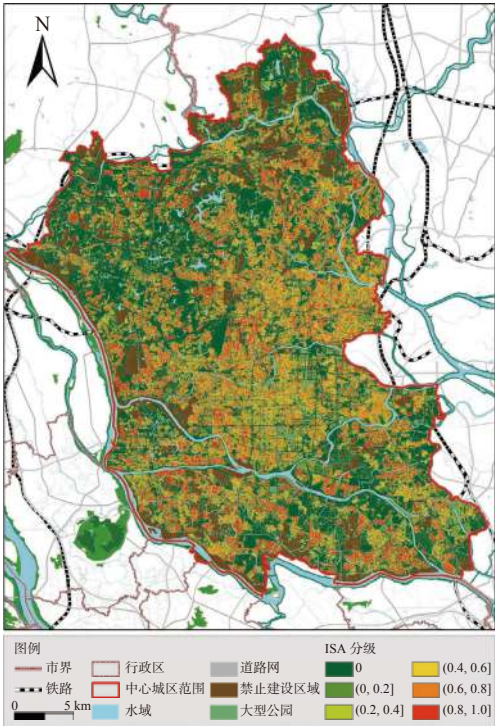


图 4 现状地表空间布局模拟分布

Fig. 3 Urban renewal units and prohibited optimization areas Fig. 4 Simulation distribution of current surface space layout

2 研究方法

2.1 SCS-CN 水文模型

SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number)模型为美国水土保持局于 1950s 提出的经验水文模型, 适用于无资料或资料较少地区。模型假设雨水下渗量与流域总水量之比等于产流量与降雨量之比^[19],

并基于水量平衡方程进行公式推导:

$$\begin{cases} Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S), & P > 0.2S \\ Q = 0, & P \leq 0.2S \end{cases} \tag{1}$$

$$S = 25\,400 / C - 254 \tag{2}$$

式中: S 为流域潜在最大滞水量; Q 为地表直接径流量; P 为降雨量; C 为反映区域水文特征的综合参数。作为 SCS-CN 模型的重要特征参数, C 受土壤类型、土地利用类型、前期土壤含水量等多种因素的影响, 因此在实际使用中需要对其进行修正^[20]。基于美国国家工程手册水文学章节的 AMCII 条件与土地利用类型、土壤属性、水文土壤组分等数据划分形成研究区初始的 C 值^[21]。由于本区城市化过程中的建筑密度及坡度对地表径流量具有显著影响^[22], 故在实际应用中须对 C 值进行修正。

$$C_{II} = C + p(98 - C) \tag{3}$$

$$C_{III} = C_{II} \exp[0.006\,73(100 - C_{II})] \tag{4}$$

$$C_{IIS} = \frac{(C_{III} - C_{II})}{3} [1 - 2\exp(-13.86S_a)] + C_{II} \tag{5}$$

式中: p 为城市建筑密度, C_{II} 和 C_{III} 分别为 AMCII 和 AMCIII 条件下的径流曲线系数; C_{IIS} 代表修正后的径流曲线系数; S_a 代表区域内的平均坡度。将修正后的 C_{IIS} 作为 C 值代入式(2)计算流域潜在滞水量 S 。

2.2 多元线性规划算法

线性规划算法产生于运筹学, 作为研究线性约束条件下线性目标函数最优化极值问题的重要数学理论和方法, 已广泛应用于军事、经济、工程和社会研究等领域。线性规划算法一般由目标函数、约束条件与非负变量(式(6)~(8))三部分组成。

$$f = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3 \tag{6}$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \leq b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 \leq b_3 \end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{cases} x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \end{cases} \tag{8}$$

式中: f 为线性目标函数; 不同应用领域中 a 、 b 、 c 对应不同的维度, 可为系数或常数项; x_1 、 x_2 为自变量。线性规划算法通过构建目标函数与一定约束条件下的可行域, 算法非负变量的可行解(最优解)一般可在可行域的边界处取得(图 5)。

由于 SCS-CN 模型基于栅格单元计算的特性, 区域内各栅格单元的地表径流量最小化之和便为区域总地表径流量的最小化, 同时可将单一栅格单元内地表径流量 Q 的最小化求解转化为 $p(98 - C)$ 的最小化^[23], 从而计算区域总地表径流量。基于地表产流量最小化目标, 并考虑城市规划实际情况设置约束条件。其中: 研究区内城市建设密度总量不变; 栅格单元内部的城市建筑密度变化约束值 m 位于 $[0.7, 0.9]$, 确保空间格局优化仅在邻近单元中调整。构建多元线性规划算法的优化目标函数(式(9))与约束条件(式(10))。

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^n (p_i C_i) \right) \tag{9}$$

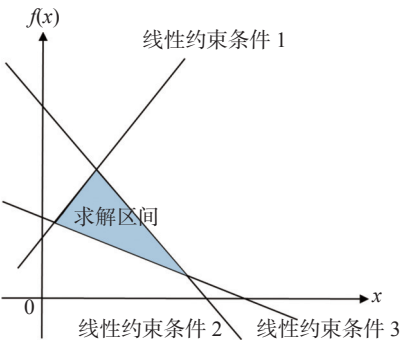


图 5 一般线性规划原理示意

Fig. 5 General linear programming principle

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n p_i = P_s \\ m p_{i0} \leq p_i \leq m(p_{i0} - 1) + 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中: f 为目标函数, 即栅格单元内的城市建筑密度与 C 值差值的数量积; n 为参与优化的栅格数量; p_i 为第 i 个栅格的不透水地表密度; C_i 为第 i 个栅格的 C 值差值, 即 $(98 - C)$; P_s 为研究区内优化前的城市建筑密度总和; p_{i0} 为第 i 个栅格单元优化前的不透水地表密度; p_i 为第 i 个栅格单元优化后的不透水地表密度。

本研究耦合 SCS-CN 水文模型与多元线性规划算法, 进行城市地表空间布局优化模型构建(图 6): (1)结合城市地表空间布局(即格网化计算后的城市建筑密度)、坡度等地理变量修正初始 C 值; (2)基于地表产流量最小化总目标, 构建算法的目标函数; (3)采用控制性详细规划单元划分城市更新单元, 应用于地表空间格局优化; (4)结合城市更新规划需求与研究区实际情况, 设置算法的约束函数与禁止优化区域, 实现地表径流最小化导向下的城市地表空间布局优化; (5)将优化后的地表空间布局结果与现状进行对比评价。

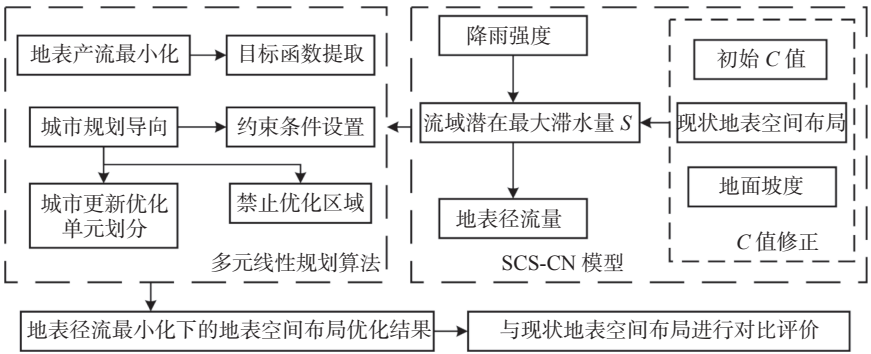


图 6 耦合 SCS-CN 模型与多元线性规划算法的城市地表空间布局优化模型技术框架
Fig. 6 Technical framework for optimization model of urban surface space layout

3 结果分析与讨论

3.1 城市地表径流优化率及建筑密度的空间优化特征

采用优化率评价城市地表空间布局优化前后对地表径流的影响程度, 从而评价城市建设对地表径流下渗的影响。城市更新单元的优化率见图 7。可见, 城市单元平均优化率为 18.11%, 即地表径流受城市地表建筑的空间布局影响降低了 18.11%。而多数单元的优化率超 20%, 最大优化率达到 20.63%, 最小优化率为 4.75%。从空间分布上看, 优化率高值地区主要集中在西北部, 而优化率相对较低的地区主要位于中部区域(图 8)。由于建筑密度总量及单元间变化量的算法限制, 高密度城市更新单元的优化调整空间相较有限, 因此在优化结果上表现出优化率与城市建筑密度呈负相关。

为挖掘城市地表建筑密度的空间转换规律, 结合相关研究将城市建筑密度按照 $(0, 0.2]$ 、 $(0.2, 0.4]$ 、 $(0.4, 0.6]$ 、 $(0.6, 0.8]$ 、 $(0.8, 1.0]$ 划定为极低、低、中、高、极高等 5 类密度空间(图 9)^[8,24]。经优化后, 极低密度与极高密度城市空间面积分别减少了 3.05 和 18.04 km²; 低密度与中密度城市空间面积分别增加了 10.43 和 9.23 km², 而高密度城市空间仅增加 1.43 km², 面积变化较小(图 10)。

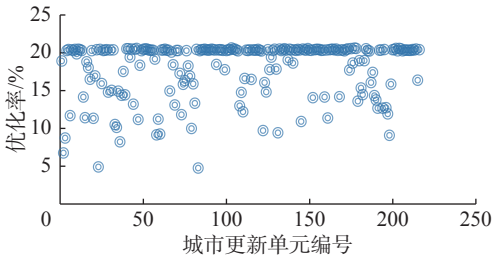


图 7 城市更新单元的优化率
Fig. 7 Optimization rate of each urban renewal unit

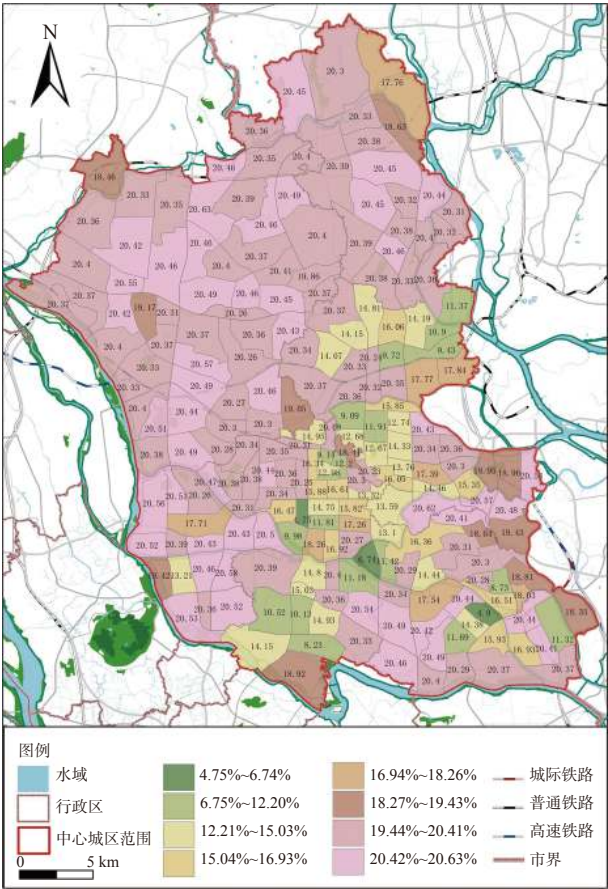


图 8 Spatial distribution of surface runoff optimization rates

采用转移矩阵对优化前后的城市建筑类间变化情况进行分析。从总量上看,现状极低、低、中、高、极高密度建筑在优化后仍为本类型的面积占比分别为 85.32%、44.46%、42.66%、32.73%与 66.19% (图 11)。现状极低密度城市空间以类型内优化为主,11.12% 优化至低密度空间;现状低、中密度在类型内优化的同时,也优化至相邻的类型;现状高密度城市空间优化至中密度占比达 42.18%,超过类型内优化的比例;而现状极高密度城市空间优化至高密度的占比为 20.97%。整体表明城市空间主要以本类型与相邻类型的单元优化为主,跨类型与大尺度优化的面积占比较少。

以优化前后的部分城市范围为例,城市空间的密度优化在空间分布上并未出现大范围升降,此结论符合“城市更新不大规模改造地表”的总原则(图 12)。综上,降低暴雨内涝发生风险的城市空间布局优化整体可通过增加中低密度、降低极高密度城市地表空间布局的方式进行。上述方法在不降低城市建筑密度(即建设总量)的前提下,通过改变城市空间布局减少了城市建设对地表径流下渗的影响程度,对城市内涝防治具有积极意义。

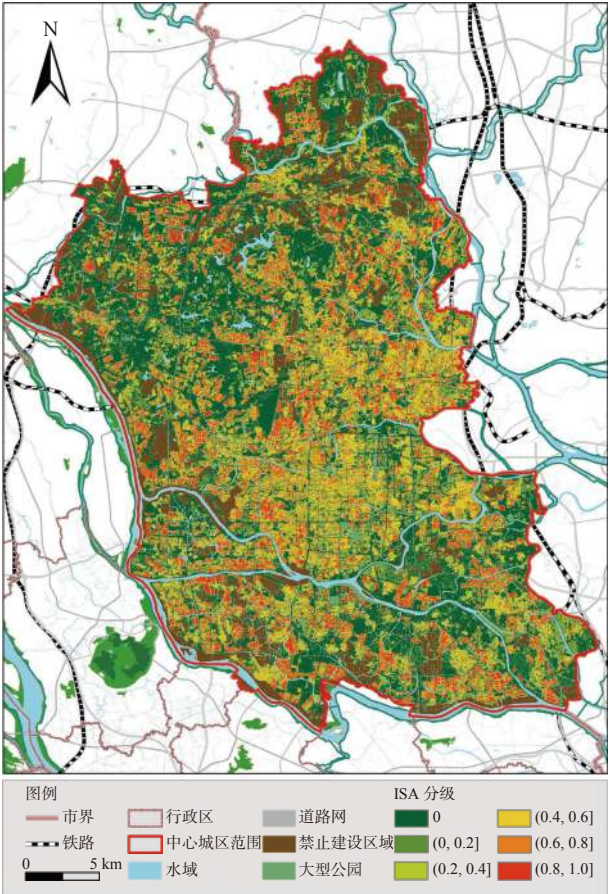


图 9 Optimization results of urban surface density

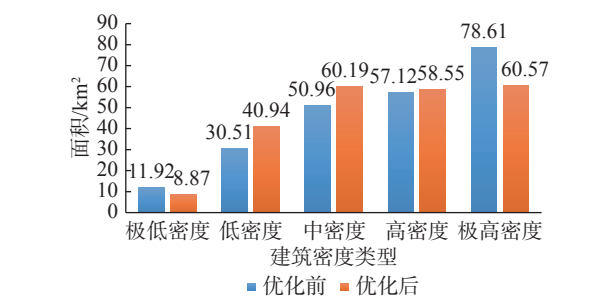


图 10 优化前后的地表建筑密度面积变化

Fig. 10 Surface building density area change before and after optimization

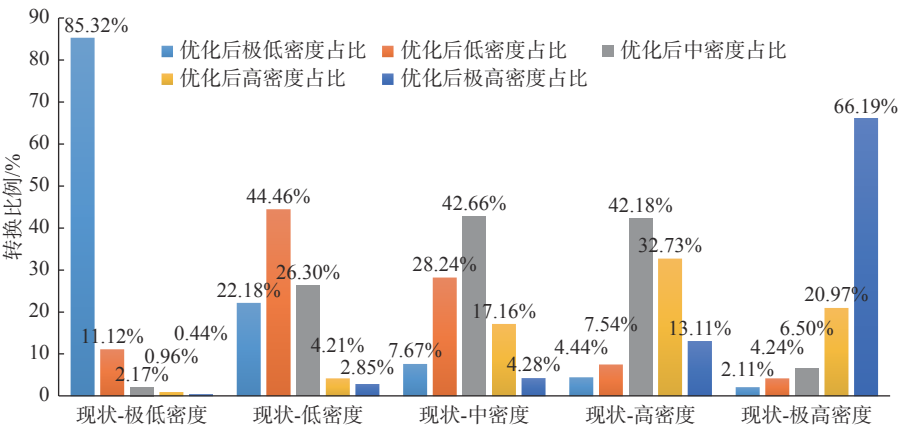


图 11 不同类型地表密度优化后的转换比例

Fig. 11 Optimized conversion ratio of different types of surface density

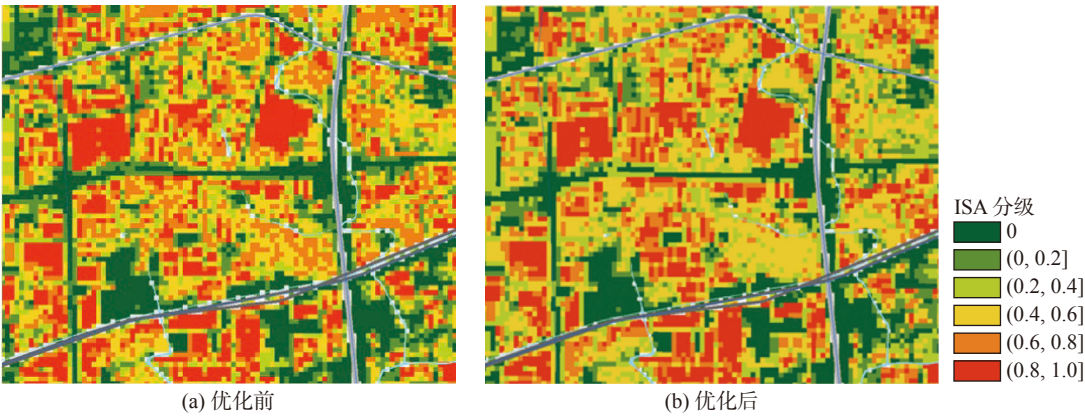


图 12 部分区域城市地表空间密度优化前后对比

Fig. 12 Comparison before and after optimization of urban surface spatial density in some regions

3.2 面向内涝防治的城市更新规划路径

城市更新已成为国土空间“存量规划”时代的重要地表改造方式,暴雨内涝在区域发展与城市建设过程中也成为不可避免的城市问题。因此,城市更新更应将暴雨内涝防治纳入系统性规划中考虑。

结合上述研究结论,提出一种内涝防治“总目标设定+分层级规划落实”的城市更新规划路径:在规划场景中,一方面设定内涝防治目标并将其逐层级落实至市级、县级、乡镇级国土空间总体规划具体要求中;另一方面,在城市更新专项规划、城市设计、控制性详细规划单元修编或调整等工作中综合考虑城市地表空间优化结果。在区域发展目标及控规(地块)功能定位等基础上,前瞻性规划范围内的建筑形态与空间密度;同时在区域范围内开展面向内涝防治的城市空间布局优化工作,并将优化结果纳入规划方案,从总量与地块空间布局等两个维度开展针对性优化调整工作,根据不同的密度类型采取相应的调整方式(表 2);最后将规划建设密度及改造方案落实至单元,采用再开发、综合整治与保护修复等方式调整各类地块与建筑的空间位置与面积占比。

表 2 不同密度类型城市单元的更新规划策略

Tab. 2 Urban renewal planning strategies for urban units of different density types			
单元类型	单元密度	单元特征	调整方式
较低密度	[0, 0.6]	既有用地产业布局不尽合理,改造成本较低	适当发展规模经济,集聚密度,打破连通性
高密度	(0.6, 0.8]	功能布局分散,单位面积土地价值高,利益涉及群体广	类内集群安置、类间间隔分布,构建类型相间的城市密度格局
极高密度	(0.8, 1.0]		类内小范围聚集,类间间隔分布,适当规模化集聚

此外,可将部分结论与“海绵城市”、低影响开发(LID)思想相结合,适当辅助采用部分 LID 措施进行区域内各地块空间的链接,即在空间分布上尽可能构造间断式的高-低-高分布格局,打破各地表建筑间的连通性,从而增加地表径流的渗透量,降低城市内涝发生风险。上述相关结论也符合韧性城市的治理理念。

4 结 语

城市更新已成为存量空间布局优化与地表改造的重要手段,暴雨内涝防治在城市更新规划中的重要性也愈发凸显。针对面向内涝防治的地表空间布局优化问题,本文通过构建地表空间布局优化模型提出面向城市内涝防治的城市更新规划路径,得到以下结论:

(1)通过构建耦合 SCS-CN 水文模型与多元线性规划算法的地表空间布局优化模型,进行城市空间布局模拟,可减少城市建筑空间布局对地表径流的影响,从而减小城市内涝风险。在广东省佛山市的研究验证中,平均减小城市建筑空间布局对地表径流的影响为 18.11%,最大达 20.63%。

(2)地表空间布局优化模型通过减少极低与极高地表空间面积、增加低、中、高地表空间面积的方式进行,在空间上表现为类型内及相邻类型的优化调整为主,跨类型与大尺度优化的面积比例较低。上述优化方式在遵循“城市更新防止大拆大建”的前提下,降低了城市建设对地表径流的影响。

(3)提出通过“总目标设定+分层级规划落实”的方式开展面向内涝防治的城市更新规划工作。首先在各层级国土空间总体规划设定并细化城市内涝防治目标;同时在城市更新专项规划、城市设计、控规单元调整修编工作中考虑本研究的优化结果,通过建筑密度总量控制与地表空间布局调整两个维度开展单元和地块尺度的空间布局优化,从而降低城市建设对地表径流的影响,减小暴雨内涝风险。

随着我国城镇化进程迈入中后期,以存量空间为对象的城市更新既是客观趋势,也是推进城市实现内涵式集约发展的主要途径。城市的内涝防治能力涉及社会公共利益,需要依托政府主体的规划统筹,强化城市水安全韧性。本文尝试从城市更新规划顶层设计的视角,给出面向内涝防治的城市空间布局优化方案及实施路径,提升城市内涝防范能力。

参 考 文 献:

- [1] 谢映霞. 从城市内涝灾害频发看排水规划的发展趋势[J]. 城市规划, 2013, 37(2): 45-50. (XIE Yingxia. Development of drainage planning in view of frequent urban waterlogging disasters[J]. City Planning Review, 2013, 37(2): 45-50. (in Chinese))
- [2] BRYNDAL T, FRANCZAK P, KROCZAK R, et al. The impact of extreme rainfall and flash floods on the flood risk management process and geomorphological changes in small Carpathian catchments: a case study of the Kasiniczanka River (Outer Carpathians, Poland)[J]. *Natural Hazards*, 2017, 88(1): 95-120.
- [3] 俞孔坚, 李迪华, 袁弘, 等. “海绵城市”理论与实践[J]. 城市规划, 2015, 39(6): 26-36. (YU Kongjian, LI Dihua, YUAN Hong, et al. “Sponge city”: theory and practice[J]. *City Planning Review*, 2015, 39(6): 26-36. (in Chinese))
- [4] 王强, 付厚利, 秦哲, 等. 基于LID模式的雨水管控能力模拟与综合效益评估[J]. 人民长江, 2018, 49(19): 21-25. (WANG Qiang, FU Houli, QIN Zhe, et al. Simulation of rainwater control capability based on LID mode and its comprehensive benefit evaluation[J]. *Yangtze River*, 2018, 49(19): 21-25. (in Chinese))
- [5] 阳建强. 中国城市更新的现况、特征及趋向[J]. 城市规划, 2000, 24(4): 53-55, 63. (YANG Jianqiang. The status quo, characteristics and tendency of urban renewal in China[J]. *City Planning Review*, 2000, 24(4): 53-55, 63. (in Chinese))
- [6] 秦虹, 苏鑫. 城市更新[M]. 北京: 中信出版集团股份有限公司, 2018. (QIN Hong, SU Xin. Urban regeneration[M]. Beijing: CITIC Publishing Group, 2018. (in Chinese))
- [7] SCHUELER T R. The Importance of imperviousness[J]. *Watershed Protection Techniques*, 1994, 3(1): 100-111.

- [8] 肖荣波, 欧阳志云, 蔡云楠, 等. 基于亚像元估测的城市硬化地表景观格局分析[J]. *生态学报*, 2007, 27(8): 3189-3197. (XIAO Rongbo, OUYANG Zhiyun, CAI Yunnan, et al. Urban landscape pattern study based on sub-pixel estimation of impervious surface[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3189-3197. (in Chinese))
- [9] SIMPSON A R, MAIER H R, FONG W K. Selection of parameters for ant colony optimization applied to the optimal design of water distribution systems[J]. *Canberra: Int Congress on Modelling and Simulation*, 2001, 23: 1931-1936.
- [10] AFSHAR M H. Rebirthing genetic algorithm for storm sewer network design[J]. *Scientia Iranica*, 2012, 19(1): 11-19.
- [11] POFF N L, BLEDSOE B P, CUHACIYAN C O. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems[J]. *Geomorphology*, 2006, 79(3/4): 264-285.
- [12] 权瑞松, 刘敏, 侯立军, 等. 土地利用动态变化对地表径流的影响——以上海浦东新区为例[J]. *灾害学*, 2009, 24(1): 44-49. (QUAN Ruisong, LIU Min, HOU Lijun, et al. Impact of land use dynamic change on surface runoff: a case study on Shanghai Pudong new district[J]. *Journal of Catastrophology*, 2009, 24(1): 44-49. (in Chinese))
- [13] 李彬烨, 赵耀龙, 付迎春. 广州城市暴雨内涝时空演变及建设用地扩张的影响[J]. *地球信息科学学报*, 2015, 17(4): 445-450. (LI Binye, ZHAO Yaolong, FU Yingchun. Spatio-temporal characteristics of urban storm waterlogging in Guangzhou and the impact of urban growth[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2015, 17(4): 445-450. (in Chinese))
- [14] YU H F, ZHAO Y L, FU Y C, et al. Spatiotemporal variance assessment of urban rainstorm waterlogging affected by impervious surface expansion: a case study of Guangzhou, China[J]. *Sustainability*, 2018, 10(10): 3761.
- [15] 梁志承, 赵耀龙, 付迎春. 耦合蚁群算法和SCS-CN水文模型的城市不透水面空间格局优化[J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(10): 1315-1326. (LIANG Zhicheng, ZHAO Yaolong, FU Yingchun. Optimization of spatial pattern of urban imperviousness based on the integration of SCS-CN hydrological model and the ant colony algorithm[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(10): 1315-1326. (in Chinese))
- [16] YU H F, ZHAO Y L, FU Y C. Optimization of impervious surface space layout for prevention of urban rainstorm waterlogging: a case study of Guangzhou, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(19): 3613.
- [17] 彭长江. 一场豪雨苦煞几多路人[N]. *佛山晚报*, 2003-08-20(A1). (PENG Changjiang. People suffer from a heavy rain[N]. *Foshan Evening News*, 2003-08-20(A1). (in Chinese))
- [18] 徐涵秋, 王美雅. 地表不透水面信息遥感的主要方法分析[J]. *遥感学报*, 2016, 20(5): 1270-1289. (XU Hanqiu, WANG Meiya. Remote sensing-based retrieval of ground impervious surfaces[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(5): 1270-1289. (in Chinese))
- [19] LI J, LIU C M, WANG Z G, et al. Two universal runoff yield models: SCS vs. LCM[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(3): 311-318.
- [20] LAL M, MISHRA S K, PANDEY A. Physical verification of the effect of land features and antecedent moisture on runoff curve number[J]. *CATENA*, 2015, 133: 318-327.
- [21] Dept of Agriculture, Soil Conservation Service. SCS national engineering handbook. Section 4. Hydrology[M]. USDA-SCS: Soil Conservation Service, USDA, 1985: 78-84.
- [22] FAN F L, DENG Y B, HU X F, et al. Estimating composite curve number using an improved SCS-CN method with remotely sensed variables in Guangzhou, China[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(3): 1425-1438.
- [23] YU H F, ZHAO Y L, XU T, et al. A high-efficiency global model of optimization design of impervious surfaces for alleviating urban waterlogging in urban renewal[J]. *Transactions in GIS*, 2021, 25(4): 1716-1740.
- [24] WANG Y X, LI X S, ZHANG C, et al. Influence of spatiotemporal changes of impervious surface on the urban thermal environment: a case of Huai'an central urban area[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 79: 103710.

Optimal design of surface layout for alleviating urban flood in urban renewal

CHEN Mingfa¹, MA Xing¹, ZHAO Yaolong^{2,3}, DU Yong¹

(1. *Guangdong Urban & Rural Planning and Design Institute Company Limited, Guangzhou 510220, China*; 2. *School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China*; 3. *Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Areas of South China, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510663, China*)

Abstract: Urban waterlogging has become an important disaster that threatens people's lives and property. As China enters the era of “stock planning”, urban renewal has become an important way to optimize spatial layout and solve urban problems. Existing studies have shown that land expansion and land use layout are important causes of urban waterlogging. The optimization of urban space layout has positive significance for alleviating waterlogging. Aiming at the innovation of the application mode of urban layout optimization in urban renewal planning under waterlogging prevention, we proposed an urban renewal planning path for alleviating waterlogging by constructing an urban spatial layout optimization model. Taking Foshan, China as an example, the model reduced the impact of urban building layout on surface runoff by 18.11% on average. The optimization process did not change the surface space on a large scale. An urban renewal planning model for alleviating waterlogging was proposed. The above work is expected to be realized through the control of total building density and the adjustment of urban surface layout in urban renewal planning work.

Key words: urban renewal; waterlogging prevention; spatial layout; Soil Conservation Service-Curve Number Model; multivariate linear programming algorithm