

# 深圳市住宅小区海绵城市设计“先绿后灰”原则优化海绵设施配置研究

李 月

深圳市建设科技促进中心, 广东 深圳

收稿日期: 2024年11月26日; 录用日期: 2024年12月22日; 发布日期: 2024年12月30日

## 摘 要

海绵城市建设应遵循生态优先等原则, 在确保城市排水防涝安全的前提下, 采用因地制宜的措施, 将自然途径与人工措施相结合。在工程设计上, 通过优化海绵设施配置, 利用绿色基础设施来管理雨水。文章通过对住宅小区建设项目海绵设施容量的合理计算, 探究住宅小区建设项目海绵设施合理布局和优化配置措施。

## 关键词

住宅小区, 海绵城市设计, 优化, 海绵设施

# Research on Optimizing the Configuration of Sponge Facilities in Shenzhen Residential District Sponge City Design Based on the Principle of “Green First, Gray Later”

Yue Li

Shenzhen Construction Technology Promotion Center, Shenzhen Guangdong

Received: Nov. 26<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2024; published: Dec. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Sponge city construction should follow the principle of ecological priority and adopt measures adapted to local conditions to combine natural approaches with artificial measures on the premise

文章引用: 李月. 深圳市住宅小区海绵城市设计“先绿后灰”原则优化海绵设施配置研究[J]. 土木工程, 2024, 13(12): 2418-2423. DOI: 10.12677/hjce.2024.1312265

of ensuring the safety of urban drainage and flood prevention. In engineering design, by optimizing the configuration of sponge facilities, green infrastructure is used to manage rainwater. This paper explores the reasonable layout and optimization configuration measures of sponge facilities in residential district construction projects through the reasonable calculation of the capacity of sponge facilities in residential district construction projects.

## Keywords

Residential District, Sponge City Design, Optimization, Sponge Facilities

Copyright © 2024 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

海绵城市建设是落实生态文明建设、推进城市可持续发展的重要举措。“先绿后灰”是海绵城市设计的重要原则之一，旨在通过优先利用绿色基础设施来管理雨水，减少对传统灰色基础设施(如雨水调蓄池)的依赖。在实际建设工程项目设计中，存在未落实“先绿后灰”原则、海绵设施布局不合理、缺少多专业融合设计等问题。在海绵设施消纳容量和配置比例方面也缺少相关研究，往往出现过度设置的情况，造成资源浪费。

结合深圳实际，本文通过对住宅小区海绵设施容量和设置比例进行计算，探究住宅小区建设项目海绵设施合理布局和优化配置措施，为落实海绵城市“先绿后灰”设计原则提供数据参考。

## 2. 设计要求

2017 年发布的《深圳市房屋建筑工程海绵设施设计规程》[1]，提出房屋建筑工程海绵城市设计应满足年径流总量控制率、面源污染总削减率等控制性指标要求。2022 年发布的《深圳市海绵城市建设管理规定》<sup>1</sup>明确提出应当按照“先绿后灰”的原则合理布局海绵设施，优先使用屋顶绿化、透水铺装、下沉绿地、生物滞留设施等绿色设施。此外，建设项目占地面积大于 5000 平方米的建筑类项目应当提高可渗透地面面积比例，其中，新建居住类项目可渗透地面面积比例应当大于 60%。

## 3. 常见设计问题

### 3.1. 未落实“先绿后灰”原则

部分项目仍采用大面积的硬质铺装，主要依靠雨水调蓄利用设施满足年径流总量控制率目标要求。设计时，雨水调蓄利用设施容量设置偏大，远大于项目绿化、浇洒等雨水回用需求量，收集的雨水无法及时、充分回用。同时，因雨水蓄水池长期储水，没有足够空间吸纳后续降雨，如未全部回用而直接排空，则失去了海绵设施实际意义，不满足海绵城市年径流总量控制及面源污染总削减率的要求。

### 3.2. 海绵设施平面布局不合理

因缺少海绵设施容量和设置比例数据依据，海绵设施布置时，下沉绿地面积往往偏大，对应汇水面积与其蓄水容积不匹配，且部分临近场地未向下沉式绿地放坡，无法收集足量地面雨水，从而无法达到其理论有效蓄水容积，形成无效海绵。同时，下沉绿地面积偏大，超量闲置的海绵设施也造成了前期投

<sup>1</sup> 深圳市人民政府令(第 344 号)。

资浪费。

### 3.3. 缺少多专业协同

大部分项目海绵设施设计时，仅从各自专业角度出发，排水、园林绿化、建筑、道路等缺少专业融合设计，最终仅由海绵城市设计专业“打补丁”，通过灰色设施雨水调蓄池解决年径流总量控制率的要求，未能发挥绿色海绵设施的作用。

## 4. 海绵设施配置探究

对于住宅小区建设项目来说，既要充分发挥海绵设施的作用，也要节约投资成本，那就需要结合室内外雨水排水系统对海绵设施进行合理配置布局，合理设置下沉绿地面积占比、雨水调蓄利用设施容量等。

### 4.1. 雨水排水系统设置

深圳住宅小区多为高层与超高层建筑，按照常规做法，建筑屋面雨水一般排至室外雨水检查井。实际设计中，为满足规范要求，不透水铺装和硬质道路雨水排放主要通过两种途径：一是进入下沉绿地等绿色海绵设施；二是经雨水口收集，与屋面雨水汇合进入末端蓄水池，并设置雨水调蓄利用设施。超出年径流控制目标的雨水经下沉绿地溢流口或者调蓄池溢流管排至室外雨水管网。本文按照不透水铺装和硬质道路雨水排放两种途径，分别计算下沉绿地面积占比、雨水调蓄利用设施容量，探究最优设置容量。

### 4.2. 雨水调蓄利用设施与海绵设施容量分配

根据《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》(GB 50400-2016) [2]、《深圳市雨水利用工程技术规范》(SZDB/Z49-2011) [3]等规范要求，雨水调蓄利用设施容量不超过 5 日绿化、浇洒等雨水回用需求量。超量的部分无法及时、充分回用，长期占用蓄水池空间，造成没有足够空间吸纳后续降雨，不能发挥海绵设施功效，因此不计入年径流总量控制率计算。为达到年径流总量控制率目标，雨水调蓄利用设施以外的控制雨量则需由下沉绿地等绿色海绵设施进行消纳。

### 4.3. 海绵设施配置计算

#### 4.3.1. 基础数据

##### (1) 各类下垫面面积比例

依据常见住宅小区下垫面分布面积占比，即绿化率 30%，建筑覆盖率 30% (其中绿化屋面 15%，硬质屋面 15%)，硬质道路、人行道及其他铺装占比 40%。按照《深圳市海绵城市建设管理规定》，新建居住类项目可渗透地面面积比例应当大于 60%。设项目用地面积为  $A(\text{m}^2)$ ，可透水铺装面积占比为  $S$ ，则可渗透地面面积比例 = (绿地率 + 透水铺装率)/(1 - 建筑覆盖率) > 60%，即：(30% +  $S$ )/(1 - 30%) > 60%。

可得，可透水铺装面积占比应大于 12%，即人行道及其他铺装等可透水铺装面积占比至少为 12%，不透水铺装和硬质路面面积占比为 40% - 12% = 28%。各类下垫面面积占比见表 1。

##### (2) 综合雨量径流系数

在满足年径流总量控制率、面源污染总削减率等控制性指标要求的同时，海绵设施实际汇水量等于所需蓄水容量，且雨水调蓄利用设施蓄水量与回用量达到水量平衡，可认为达到海绵城市设计的最优配置状态。

根据《深圳市房屋建筑工程海绵设施设计规程》[1]，综合雨量径流系数  $\psi_z$  按下式计算：

$$\psi_z = \sum F_i \psi_i / F$$

式中： $\psi_z$ ——综合雨量径流系数；

$F$ ——汇水面各类下垫面面积之和( $\text{m}^2$ ), 即  $F = \sum F_i$ ;  
 $F_i$ ——汇水面各类下垫面面积( $\text{m}^2$ );  
 $\psi_i$ ——不同种类下垫面的径流系数。  
根据表 1 中各类下垫面径流系数和面积占比, 可得综合雨量径流系数  $\psi_z$  为 0.48。

**Table 1.** Rainfall runoff coefficient and area ratio of various underlying surfaces  
**表 1.** 各类下垫面雨量径流系数与面积占比

| 下垫面种类      | 雨量径流系数 | 面积占比 |
|------------|--------|------|
| 硬化屋面       | 0.85   | 0.15 |
| 绿化屋面       | 0.30   | 0.15 |
| 不透水铺装和硬质路面 | 0.80   | 0.28 |
| 透水铺装       | 0.30   | 0.12 |
| 绿地         | 0.15   | 0.3  |

(3) 下沉绿地面积占比

下沉绿地面积占比 = (需控制的径流总量 - 调蓄池容量)/下沉绿地蓄水深度。其中, 需控制的径流总量应同时满足年径流总量, 以及控制径流峰值。

**年径流总量需控制的径流总量  $Q$ 。**根据深圳降雨量, 年径流总量控制率取常用值 70%, 对应设计降雨量  $h$  为 31.3 mm。据此计算, 需控制的径流总量  $Q$  按下式计算:

$$Q = F\psi_z h = A \times 0.48 \times 31.3 \times 10^{-3} = 15 \times 10^{-3} A \text{ (m}^3\text{)}$$

**控制径流峰值需控制的径流总量  $W$ 。**新建的建筑与小区降雨的年径流总量和径流峰值的控制应达到建设开发前的水平, 控制径流峰值所对应的径流系数可按 0.30 取值, 设计日降雨量根据《深圳市雨水利用工程技术规范》[2], 按 50 mm 取值。需控制的径流总量  $W$  按下式计算:

$$W = 10(\psi_c - \psi_0) h_y F$$

式中:  $W$ ——需控制及利用的雨水径流总量( $\text{m}^3$ );

$\psi_c$ ——雨量径流系数;

$\psi_0$ ——控制径流峰值所对应的径流系数;

$h_y$ ——设计日降雨量(mm);

$F$ ——硬化汇水面面积( $\text{hm}^2$ ), 应按硬化汇水面水平投影面积计算。

因绿地雨水主要经下沉绿地的溢流口排放, 故与硬化面雨水共同进行计算, 为应对雨水径流峰值, 需控制的径流总量  $W = 10(\psi_c - \psi_0) h_y F = (0.48 - 0.30) \times 50 \times A \times 10^{-3} = 9 \times 10^{-3} A \text{ (m}^3\text{)}$ 。

综上, 需控制的径流总量应取  $Q$ 、 $W$  两者大值, 即  $15 \times 10^{-3} A \text{ (m}^3\text{)}$ 。

**调蓄池容量。**小区雨水回用一般用于室外绿化浇洒、道路铺装冲洗以及车库冲洗, 实际车库冲洗时间间隔较长, 不能及时有效利用雨水, 计算雨水调蓄利用设施容量时可不予考虑, 仅计算室外绿化浇洒、道路铺装冲洗用水量。用水定额取  $2 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 则 5 日雨水回用需求量为:  $A \times (30\% + 40\%) \times 2 \times 10^{-3} \times 5 = 7 \times 10^{-3} A \text{ (m}^3\text{)}$ 。

**下沉绿地面积占比。**下沉绿地蓄水深度取 0.15 m, 可得下沉绿地面积占比为  $(15 \times 10^{-3} A - 7 \times 10^{-3} A)/0.15 = 5.3\%$ 。

4.3.2. 不同汇水分区划分对海绵设施配置的影响

根据实际雨水排水系统设置，绿地、人行道等透水铺装地面记为汇水分区一，雨水均进入下沉绿地等绿色海绵设施。建筑屋面记为汇水分区二，雨水进入末端蓄水池，并设置雨水调蓄利用设施。不透水铺装和硬质路面记为汇水分区三。汇水分区划分与按平面区域划分方式不同，本计算模型对雨水去向进行划分，能够更准确计算不同海绵设施的容量及其对应的汇水量。经计算，汇水分区一、二、三雨量综合径流系数分别为 0.19、0.58、0.80，详见表 2~4。

Table 2. Comprehensive rainfall runoff coefficient for catchment area 1

表 2. 汇水分区一综合雨量径流系数

| 下垫面种类    | 雨量径流系数 | 面积占比 |
|----------|--------|------|
| 透水铺装     | 0.30   | 0.12 |
| 绿地       | 0.15   | 0.30 |
| 综合雨量径流系数 | 0.19   | 0.42 |

Table 3. Comprehensive rainfall runoff coefficients for catchment area 2

表 3. 汇水分区二综合雨量径流系数

| 下垫面种类    | 雨量径流系数 | 面积占比 |
|----------|--------|------|
| 硬化屋面     | 0.85   | 0.15 |
| 绿化屋面     | 0.30   | 0.15 |
| 综合雨量径流系数 | 0.58   | 0.30 |

Table 4. Comprehensive rainfall runoff coefficients for catchment area 3

表 4. 汇水分区三综合雨量径流系数

| 下垫面种类      | 雨量径流系数 | 面积占比 |
|------------|--------|------|
| 不透水铺装和硬质路面 | 0.8    | 0.28 |

据此计算，各汇水分区需控制的径流总量分别为  $2.5 \times 10^{-3} A$ 、 $5.5 \times 10^{-3} A$ 、 $7.0 \times 10^{-3} A \text{ m}^3$  (详见表 5)。

Table 5. Total runoff volume to be controlled in each catchment area

表 5. 各汇水分区需控制的径流总量

| 汇水分区 | 面积     | 径流系数 | 降雨量 mm | 需控制的径流总量 $\text{m}^3$   |
|------|--------|------|--------|-------------------------|
| 一    | 0.42 A | 0.19 | 31.3   | $2.5 \times 10^{-3} A$  |
| 二    | 0.30 A | 0.58 | 31.3   | $5.5 \times 10^{-3} A$  |
| 三    | 0.28 A | 0.80 | 31.3   | $7.0 \times 10^{-3} A$  |
| 总计   | A      | 0.48 | 31.3   | $15.0 \times 10^{-3} A$ |

1) 汇水分区一、二内雨水去向一般比较固定。当汇水分区三与汇水分区一合并，即硬质道路雨水进入下沉绿地时，需由下沉绿地等绿色海绵设施进行消纳的雨量为： $2.5 \times 10^{-3} A + 7.0 \times 10^{-3} A = 9.5 \times 10^{-3} A (\text{m}^3)$ 。下沉绿地蓄水深度 0.15m，可得下沉绿地面积占比为： $9.5 \times 10^{-3} / 0.15 = 6.3\%$ 。雨水调蓄利用设施

容积为  $5.5 \times 10^{-3} \text{ A (m}^3\text{)}$ ，满足 4 日雨水回用水量需求。

2) 当汇水分区三与汇水分区二合并，即硬质道路雨水进入末端雨水调蓄利用设施时，因  $5.5 \times 10^{-3} \text{ A} + 7.0 \times 10^{-3} \text{ A} = 12.5 \times 10^{-3} \text{ A}$  大于 5 日雨水回用需求量  $7 \times 10^{-3} \text{ A (m}^3\text{)}$ ，需由下沉绿地等绿色海绵设施进行消纳的雨量仍为  $8 \times 10^{-3} \text{ A (m}^3\text{)}$ ，下沉绿地蓄水深度 0.15 m，可得下沉绿地面积占比为： $8 \times 10^{-3} / 0.15 = 5.3\%$ 。调蓄池容积为  $7 \times 10^{-3} \text{ A (m}^3\text{)}$ ，满足 5 日回用水量需求。

综上，考虑实际设计时影响道路雨水去向的因素较多，可能同时存在进入下沉绿地与雨水调蓄利用设施的情况，海绵设施设计时，下沉绿地面积占比取较大值 6.3%，同时雨水调蓄利用设施容量取  $7 \times 10^{-3} \text{ A (m}^3\text{)}$ ，即可以满足年径流总量控制率、面源污染总削减率径流峰值等控制性指标的需要。

## 5. 结论

对于住宅小区建设项目，当项目下垫面布置与上述计算模型相近时，下沉绿地面积占比达到 6.3%，雨水调蓄利用设施容量达到  $7 \times 10^{-3} \text{ A (m}^3\text{)}$ ，可实现满足年径流总量控制率、径流峰值、雨水调蓄利用需求量，同时将雨水调蓄利用设施与下沉绿地海绵设施容量控制在最低合理值，能达到最优经济效益。

## 参考文献

- [1] 深圳市住房和建设局. SJG 38-2017 深圳市房屋建筑工程海绵设施设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50400-2016 建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016
- [3] 深圳市市场监督管理局. SZDB/Z49-2011 深圳市雨水利用工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.