



梁 伟 张翼维 李尝君 / 主编



# 生态海绵城市 建设先行者

天泉生态治理技术及案例分析

PIONEER OF ECOLOGICAL  
SPONGE CITY CONSTRUCTION



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



梁 伟 张翼维 李尝君 / 主编

# 生态海绵城市建设先行者

天泉生态治理技术及案例分析

PIONEER OF ECOLOGICAL  
SPONGE CITY CONSTRUCTION



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn

长沙

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

生态海绵城市建设先行者: 天泉生态治理技术与案例分析 / 梁伟, 张翼维, 李尝君著. --长沙: 中南大学出版社, 2018. 1

ISBN 978 - 7 - 5487 - 2635 - 7

I. ①生… II. ①梁… ②张… ③李… III. ①城市环境—生态环境—环境综合整治—研究—中国 IV.

①X321. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 294427 号

---

生态海绵城市建设先行者

——天泉生态治理技术与案例分析

梁 伟 张翼维 李尝君 著

---

□责任编辑 唐天赋

□责任印制 易红卫

□出版发行 中南大学出版社

社址: 长沙市麓山南路

邮编: 410083

发行科电话: 0731 - 88876770

传真: 0731 - 88710482

□印 装 湖南众鑫印务有限公司

---

□开 本 720 × 1000 1/16 □印张 17. 25 □字数 345 千字

□版 次 2018 年 1 月第 1 版 □2018 年 1 月第 1 次印刷

□书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 2635 - 7

□定 价 78. 00 元

---

图书出现印装问题, 请与经销商调换

# 编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

生态海绵城市建设先行者  
——天泉生态治理技术与案例分析

顾 问

刘 波 焦 胜

主 编

梁 伟 张翼维 李尝君

副主编

陈善湘 简有志 许 诺

参 编

周泉钢 刘 畅 马 攀

# 总序

Preface

生态海绵城市建设是我国新型城镇化建设的重要方向之一。近年来,随着我国大规模快速城市化的推进,城市土地利用/覆被变化剧烈,水文生态系统的各项功能被显著削弱,造成全国各地雨洪灾害发生的频率和强度不断增大,影响了城市安全格局的构建,也制约了城市社会经济的发展。以本人长期研究的长沙市中心城区为例,自中华人民共和国成立以来,就有41年成灾,易淹易涝点已达57处。这种情况在全国其他地区有过之而无不及。

在过去几十年的城市建设中,一方面投入巨资进行城市集中排水管网工程、渠化硬化工程等“灰色基础设施”建设,破坏了自然生态水系统的完整和健康;另一方面又投入巨资进行城市美化工程建设,热衷于引种奇花异草、兴建“化妆式”园林工程。这些设施对城市雨洪管理和水质净化并未起到关键作用,反而因为这些绿地、园林需要大面积灌溉,加剧了水生态治理的负担。这些问题告诉我们,城市的美化必须与城市的生态修复和环境治理相结合,城市的雨洪管理必须与具有地域适宜性的绿色生态基础设施工程技术相结合。

梁伟及天泉草业团队,经过近20年的潜心研究和深入实践,以“草”为载体,围绕生态草业的生产、工程等应用,研发出一系列绿色生态基础设施工程技术。本书的出版,对于生态海绵城市建设和生态治理技术,无疑是雪中送炭。

首先,书中对“生态海绵城市”的概念,给出了全面的定义,明确了生态海绵城市建设的基本要素,梳理了国内外生态海绵城市建设的理论、方法、技术及现阶段存在的问题。

其次,从生态基础设施、低影响开发措施的角度出发,总结了生态海绵城市建设的主要途径,提出了天泉草业生态草毯生产技术在海绵城市护坡工程、矿山生态治理工程及河流生态改造工程中的应用。

最后,从具体的技术介绍、施工程序、施工工艺三个方面,结合自身实践工程案例,高度总结了城市生态草坪、屋顶绿化、立体绿化及人工湿地在生态海绵城市建设中的应用经验,为行业人士和生态建设工作者提供了借鉴与参考。

除此之外,本人认为本书集合了天泉草业近20年的研究成果,操作应用性强,值得学习和应用推荐。

鉴于以上原因，我非常乐意将此书推荐给正在探寻生态海绵城市生态建设与环境治理的工作者。我期待《生态海绵城市建设先行者——天泉生态治理技术与案例分析》一书在全国海绵城市建设中发挥重要作用。

焦 胜

湖南大学建筑学院副院长、博士生导师

2018 年 1 月



# 自序

Preface

我是天泉草业的创始人——“小草皇后”梁伟。

我从小在城市里长大，不仅在这里度过了我小学到大学的求学生涯，最后工作也扎根于此。然而，初中时的一次“跳级”，我曾转到一所农村中学去读书，这才让我有幸接触到了大自然。每天上学都要翻山越岭、穿行乡间小路，到处是稻田、油菜地、林地、草地，经常跟同学一块到田里面摘瓜果吃，还会挖花生、拍芝麻，这些都给我留下了难忘的记忆，也让我从此深深爱上了大自然（农村）。我对一花一草、一树一木、一山一水喜欢至极，喜欢到山里面，喜欢一步一步踏在山地上的感觉，悄悄跟树叶说话，轻轻抚摸着叶片，好像我们前世就是好朋友，树叶摇晃着点头，一副能听懂我说的话的样子。经常我会蹦出一个想法：500年前，我一定是山的女儿！

大学学中医看来是我的幸运！我学了整整五年中医学理论和临床，主要是研究人。由于中医从天地四时变化来对应人的生理、病理变化，实际上是学习了整体的自然知识。中医学的关键是把人看作大自然的一个部分，根据人与自然的关系来构建中医诊断体系和治疗体系。而且，根据四时变化和中医药自然调理，很多身体的疾病会疗愈。“天人合一，回归自然”的理念从此就在我内心扎下了根。

毕业留校任教后，当我剪着整齐的刘海站到讲台上上课时，看到有些学生比我年纪还大，我们可以一起讨论各种问题，我喜欢上了当老师！我带着学生学习、办实验工厂，周末开设第二素质教育课堂，还有各种各样的大学生团体活动：美术大赛、歌咏比赛、舞蹈大赛……那段岁月特别单纯，特别开心。中间我又考上华中师大继续深造，对哲学、伦理学、政治经济学尤感兴趣。这时，一个有点偏的学科让我怦然心动，那就是“生态伦理学”！除了少数研究者外，当时“生态伦理学”这门学科并没有引起人们的注意。

从二十世纪以来，人类社会的生产力以前所未有的速度迅猛发展，与此同时，地球的生态环境也在以前所未有的速度急剧恶化。一个企业或者个人排放任何污染物，都会直接或间接影响全球的生态平衡，造成全球环境的损害，影响到人类的生存。最早以科学形态提出生态伦理学思想的是法国哲学家、诺贝尔和平奖获得者史怀泽。他在1923年出版的著作《文明的哲学：文化与伦理学》中提出了“尊重生命的伦理学”，后来又在《敬畏生命》一书中进一步阐述这个观点。史

怀泽认为生命是大自然的伟大创造，人类对一切生命都要给予极大的尊重——“保护、完善和发展生命”应当是“人类与自然的准则”和“善”的观念的重要内容，“善就是保护生命和发展生命，恶就是毁灭生命和妨害生命”。美国哲学家利奥波德 1949 年出版的《大地伦理学》被誉为“拓宽道德研究的范围，实现伦理观念的变革”的著作。他在书中主张：扩大伦理学的边界，改变人类的地位，确立新的伦理价值尺度。他提出了“大地共同体”概念，认为人类不是大自然的征服者和统治者，不是大自然的主人，大自然的一切生物也不是仅为人类而生存的奴隶，人和一切生命都是大自然这个大家庭中的“普通一员和公民”，人类“应当尊重他的生物同伴”，“以同样的态度尊重大地社会”。其他的生态伦理学代表人物如罗尔斯顿、史托斯、特来普等，也都主张“尊重生物的生存权利”和反对以人类为中心的“人类沙文主义”，呼吁改善生态环境、协调人与自然的关系。他们以平等为核心的道德原则和以协调为宗旨的道德目的，创建了一种新型的伦理学——生态伦理学，把传统伦理学从人与人关系的领域扩大到人与自然关系的领域。

当老师的生活状态很惬意，我们的授课课时不多，有寒暑假。但我在想：当生态环境以飞快的速度在恶化时，社会不缺大学教师，但是缺环保创业者，也许我该负起更大的责任和使命！于是在 1999 年，沿着“生态伦理学”这门学科的研究方向，我走入社会，深入一线，创办了天泉草业（天泉科技）公司，以非常不起眼的小草为载体，做水土保持，修复生态。当时没人理解一个大学老师下海来种草是图什么。我也没去多想，就是去做，这一做就是十八年。我带着团队坚持下来了，很多员工就算知道不能赚大钱，仍然怀着一份执着和热爱在坚持“种植绿色，创造美丽”，一直到我们做成了“小草背后的大产业”——从草的生产、草的品种及种植研究、生态应用、运动体验、美景打造，形成了以草（自然）为核心的全产业链，创造了“天泉生态草世界”，实现了经济效益、社会效益和生态效益的统一。

党中央在十九大报告中提出：“人与自然是生命共同体，人类必须尊重自然、顺应自然、保护自然。人类只有遵循自然规律才能有效防止在开发利用自然上走弯路，人类对大自然的伤害最终会伤及人类自身，这是无法抗拒的规律。”所以我们应当在内心深处树立尊重自然、与自然和谐相处的伦理观，这样我们才会有足够的动机去选择可持续发展的经济发展模式。天泉草业十八年来坚持在生态草业、海绵城市建设上进行探索和实践，并对一个个案例进行了总结，希望能够与同行进行一些有益的交流与探讨。新时代要做一流的企业，就必须树立企业环境伦理观，因为走可持续发展之路，实现人与自然的和谐，已经成为全人类的认识。

我们的使命就是——用小草的力量守护大地！

梁 伟

2017 年 12 月



# 前言

Foreword

当前,中国城镇化的快速发展、城市规模的不断扩大带来了一系列的城市生态问题,如城市内涝、城市热岛等。建设海绵城市,缓解城市人居环境矛盾,成为中国城市发展理念和价值转型的重要标志。但由于认识较晚、规划设计不到位、技术创新应用不够等因素,海绵城市建设行业在中国的发展既是机遇也是挑战。

天泉草业是1999年成立的一家生态型企业。以“草”为载体,开展生态种植、生态修复和生态创新,经过近20年的研发与推广,围绕生态草业的生产、工程应用研制出上百项生态绿色的专利和专有技术,完成了数千万平方米的生态绿化海绵城市建设和生态治理工程。天泉草业最先推出无土栽培生态草毯,回收农村农业废弃物加工成营养基质,再来培植、生产草,坚持十八年保护耕地、改良土壤及推广应用,是公认的“生态草毯的缔造者”,同时也是“自然生态修复的开拓者”和“海绵城市建设的先行者”。我们坚持以生态的方式生产草毯,坚持以自己的方式修复被破坏的山体、尾矿、边坡,坚持以海绵生态产品投入城市生态文明建设。本书主要从海绵城市建设的理念出发,结合天泉草业的生态治理技术的工程实践,阐述了城市生态环境的修复和景观建设新工艺、新产品,为行业人士和生态建设工作提供了解途径,为规划、建设部门在海绵城市和生态建设领域中提供借鉴与参考。

本书结合了天泉草业近20年的研究成果和实践案例,具有较强的操作应用性,值得学习和应用推广。

鉴于编者水平有限,错误、纰漏在所难免。编著《生态海绵城市建设先行者——天泉生态治理技术与案例分析》,权当抛砖引玉,恳请读者批评指正。

编者

2017年12月

# 目录

Contents

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第一章 生态海绵城市概述                    | 1  |
| 1.1 概念                          | 1  |
| 1.1.1 生态海绵城市概念                  | 1  |
| 1.1.2 生态海绵城市建设的六大要素             | 2  |
| 1.1.3 城市雨洪管理相关理论及方法             | 4  |
| 1.1.4 城市生态系统服务                  | 8  |
| 1.1.5 城市生态安全                    | 10 |
| 1.2 国外生态海绵城市建设历史与现状             | 12 |
| 1.2.1 美国海绵城市发展历程                | 12 |
| 1.2.2 其他国家海绵城市发展历史与现状           | 13 |
| 1.3 国内生态海绵城市建设现状                | 14 |
| 1.3.1 城市内涝频发催生中国海绵城市建设思路        | 15 |
| 1.3.2 海绵城市建设为解决我国城市水资源短缺问题提供新思路 | 15 |
| 1.3.3 海绵城市建设助力缓解城市雾霾和城市热岛       | 16 |
| 1.3.4 试点政策及多渠道融资途径助推中国海绵城市建设    | 16 |
| 1.4 生态海绵城市建设的发展趋势               | 17 |
| 1.4.1 中国生态海绵城市建设的现实意义           | 17 |
| 1.4.2 中国生态海绵城市建设行业现状            | 20 |
| 1.4.3 中国生态海绵城市建设相关政策            | 24 |

|            |                              |           |
|------------|------------------------------|-----------|
| <b>第二章</b> | <b>生态海绵城市建设的主要途径</b>         | <b>29</b> |
| 2.1        | 原生态系统的保护                     | 29        |
| 2.1.1      | 水生态敏感区的保护                    | 29        |
| 2.1.2      | 绿地生态保护                       | 29        |
| 2.1.3      | 湿地生态保护                       | 30        |
| 2.2        | 生态恢复和修复                      | 32        |
| 2.2.1      | 生态植被恢复                       | 32        |
| 2.2.2      | 生态护坡                         | 33        |
| 2.2.3      | 水生态修复                        | 33        |
| 2.2.4      | 湿地生态修复                       | 34        |
| 2.3        | 低影响开发措施                      | 36        |
| 2.3.1      | 低影响开发概述                      | 36        |
| 2.3.2      | 绿色屋顶                         | 39        |
| 2.3.3      | 下沉式绿地                        | 39        |
| 2.3.4      | 生物滞留设施                       | 40        |
| 2.3.5      | 植草沟                          | 41        |
| 2.3.6      | 人工雨水湿地                       | 42        |
| 2.3.7      | 透水铺装                         | 43        |
| 2.3.8      | 雨水调蓄池                        | 44        |
| <b>第三章</b> | <b>生态草毯生产技术及其在海绵城市建设中的应用</b> | <b>47</b> |
| 3.1        | 生态草毯及其生产技术                   | 47        |
| 3.1.1      | 生态草毯概述                       | 47        |
| 3.1.2      | 天泉生态草毯技术及产品优势                | 48        |
| 3.1.3      | 天泉生态草毯产品分类                   | 51        |
| 3.1.4      | 生态草毯生产技术                     | 52        |
| 3.1.5      | 草毯的应用                        | 89        |
| 3.2        | 生态草毯在生态护坡工程中的应用              | 91        |
| 3.2.1      | 生态护坡的机理及研究发展状况               | 91        |
| 3.2.2      | 生态护坡与边坡修复技术比较                | 94        |

|            |                                      |            |
|------------|--------------------------------------|------------|
| 3.2.3      | 天泉生态草毯护坡工程的主要技术                      | 102        |
| 3.2.4      | 天泉强力生态护坡草毯技术优势                       | 111        |
| 3.2.5      | 实施案例——“南水北调”中线工程核心水源区丹江口生态<br>护坡治理工程 | 114        |
| 3.3        | 生态草毯在矿山生态治理工程中的应用                    | 115        |
| 3.3.1      | 矿山生态治理的一般过程                          | 115        |
| 3.3.2      | 矿山边坡分类及植物选择                          | 117        |
| 3.3.3      | 矿山生态治理技术                             | 118        |
| 3.3.4      | 实施案例——山西平遥矿山边坡治理工程                   | 119        |
| 3.4        | 生态草毯在河流生态改造工程中的应用                    | 121        |
| 3.4.1      | 天泉生态草毯河岸护堤工程技术                       | 121        |
| 3.4.2      | 天泉生态沟渠改造技术                           | 123        |
| 3.4.3      | 实施案例——皂市水库生态护堤工程                     | 127        |
| <b>第四章</b> | <b>城市生态草坪及其在海绵城市建设中的应用</b>           | <b>130</b> |
| 4.1        | 生态草坪快速建植技术                           | 130        |
| 4.1.1      | 技术介绍                                 | 130        |
| 4.1.2      | 施工程序与施工工艺                            | 131        |
| 4.1.3      | 天泉生态草坪广场技术优势                         | 131        |
| 4.1.4      | 实施案例——湖北郧阳樱桃沟生态草坪广场项目                | 132        |
| 4.2        | 天泉运动场草坪建植技术                          | 132        |
| 4.2.1      | 技术概述                                 | 132        |
| 4.2.2      | 施工程序与施工工艺                            | 132        |
| 4.2.3      | 天泉运动场草坪技术优势                          | 135        |
| 4.2.4      | 实施案例——湖南广益中学足球运动场                    | 136        |
| 4.3        | 草坪精细化生态养护技术                          | 137        |
| 4.3.1      | 草坪修剪                                 | 138        |
| 4.3.2      | 草坪灌溉                                 | 138        |
| 4.3.3      | 草坪施肥                                 | 139        |
| 4.3.4      | 草坪交播                                 | 139        |
| 4.3.5      | 其他特殊养护措施                             | 140        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <b>第五章 屋顶绿化在海绵城市中的应用</b>   | <b>142</b> |
| 5.1 屋顶绿化概述                 | 142        |
| 5.1.1 屋顶绿化发展概述             | 142        |
| 5.1.2 屋顶绿化的生态经济效益          | 145        |
| 5.1.3 屋顶绿化过程中要解决的技术问题      | 147        |
| 5.1.4 屋顶绿化在政策和措施上还存在很多瓶颈   | 147        |
| 5.2 屋顶绿化技术                 | 148        |
| 5.2.1 屋顶绿化需要解决的技术问题        | 148        |
| 5.2.2 屋顶绿化重点技术             | 151        |
| 5.2.3 天泉集成式种植盘屋顶绿化技术       | 153        |
| 5.2.4 草毯屋顶绿化技术             | 157        |
| 5.3 天泉屋顶绿化技术规程             | 160        |
| 5.3.1 总则                   | 160        |
| 5.3.2 术语                   | 161        |
| 5.3.3 植被屋顶的荷载              | 161        |
| 5.3.4 植被屋顶的防水与排水           | 162        |
| 5.3.5 植被屋顶的类型和构造形式         | 163        |
| 5.3.6 植被屋顶工程施工             | 166        |
| 5.3.7 植被屋顶的养护和管理           | 168        |
| <b>第六章 立体绿化在海绵城市建设中的应用</b> | <b>171</b> |
| 6.1 立体绿化的发展情况和研究进展         | 171        |
| 6.1.1 传统城市建设模式催生立体绿化潜力     | 171        |
| 6.1.2 我国立体绿化发展还不成熟         | 172        |
| 6.1.3 立体绿化模式待创新,公众参与需加强    | 172        |
| 6.2 立体绿化的形式及技术             | 172        |
| 6.2.1 垂直绿化                 | 172        |
| 6.2.2 屋顶绿化                 | 174        |
| 6.2.3 阳台绿化                 | 175        |
| 6.3 立体绿化的植物选择              | 176        |



|                 |     |
|-----------------|-----|
| 6.3.1 垂直绿化的植物选择 | 176 |
| 6.3.2 屋顶绿化的植物选择 | 180 |
| 6.3.3 阳台绿化的植物选择 | 186 |
| 6.4 天泉立体绿化技术及实例 | 188 |
| 6.4.1 天泉藤毯扩繁技术  | 188 |
| 6.4.2 天泉立体绿化技术  | 188 |
| 6.4.3 天泉屋顶绿化技术  | 189 |
| 6.4.4 天泉生态阳台技术  | 191 |

## 第七章 人工湿地在海绵城市建设中的应用 193

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1 常用污水处理工艺             | 193 |
| 7.1.1 以物理、化学处理技术为核心的工艺   | 193 |
| 7.1.2 以生物处理技术为核心的工艺      | 193 |
| 7.1.3 以膜技术为核心的工艺         | 194 |
| 7.1.4 以人工湿地系统为核心的生态处理技术  | 194 |
| 7.2 常用污水深度处理再生技术及其比较     | 195 |
| 7.2.1 膜处理技术(MBR)         | 195 |
| 7.2.2 曝气生物滤池(BAF)        | 197 |
| 7.2.3 人工湿地处理技术           | 198 |
| 7.3 天泉流域水体净化系统技术         | 202 |
| 7.3.1 流域水体净化系统设计         | 202 |
| 7.3.2 处理工艺技术             | 205 |
| 7.3.3 植物选择               | 206 |
| 7.4 生态浮岛                 | 207 |
| 7.5 实施案例——天泉人工湿地污水生态净化系统 | 209 |

# 第一章 生态海绵城市概述

本章介绍了生态海绵城市的概念、要素及相关理论,并结合国内外生态海绵城市建设现状,从中国生态海绵城市建设的现实意义、行业现状、相关政策等方面出发,对生态海绵城市发展趋势进行了系统分析。

## 1.1 概念

### 1.1.1 生态海绵城市概念

行业内和学术界习惯用“海绵”来形象地表达事物的收放能力。在倡导生态城镇建设的过程中,学者将“海绵”用以比喻城市或土地的雨涝调蓄能力,并将“海绵城市”定义为:能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水“释放”并加以利用的城市类型。实质上,“海绵城市”的概念形象地描述了一种生态雨洪管理模式,与之类似,“城市海绵”“绿色海绵”“海绵体”等这些非学术性概念也在学术界被广泛使用,其表达的核心思想基本一致,但侧重点不同(俞孔坚等,2015)。

在城市建设与发展中,生态雨洪管理仅仅是其中的一部分,城市人地关系协调、物质-能量-信息流动循环、城市小气候等同样是良性城市生态系统的重要组成部分,以此为基础的城市生态良性循环、城市生态绿地规划建设作为生态城市建设的重要内容,同样备受关注。“生态城市”概念的提出早于“海绵城市”,它是指按生态学原理建立起来的一类社会、经济、自然协调发展,物质、能量、信息高效利用,生态良性循环的人类聚居地。“生态城市”与“海绵城市”,两者侧重点有所差异,前者侧重于城市良性生态系统的构建,后者偏重于雨洪管理与控制;但它们之间也有相通相容之处,主要体现在城市生态绿地建设及水资源管理利用两个方面,如海绵城市建设提倡的雨洪调蓄利用及低影响开发绿地景观,既是建设海绵城市的主要手段,也可以作为生态城市绿地生态系统的重要组成部分。

在上述概念的基础上,不少学者又提出了“生态海绵城市”的概念,其实质是

利用生态学原理对“海绵城市”概念的一种扩充。生态海绵城市指城市生态系统能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,能够很好地调控城市水、热及生物环境并加以利用,逐步改善并恢复城市的自然生态系统平衡(刘昆,2015;谢映霞,2015)。

生态海绵城市的建设不仅仅涵盖生态雨洪管理建设,同样也应注意城市生态环境建设和自然生态平衡。生态海绵城市建设遵循生态优先、人与自然和谐等原则,将自然生态过程与人工措施相结合,在确保城市生态安全、防止灾害的前提下,最大限度地实现雨洪优化管理与控制,以促进雨水资源的净化利用以及生态环境保护(李志启,2015)。在生态海绵城市建设过程中,应统筹自然水、地表水及地下水的系统性,协调水循环、水安全、水补给、水利用、水净化等环节,综合考虑其复杂性和长期性,采取适当的措施进行城市良性水生态系统的构建,具体包括雨洪管理、生态防洪、水质净化、地下水补充、棕地修复、生物栖息地的营造、公园绿地营造,以及城市微气候调节等内容(李志启,2015;吴书驰,2015)。

### 1.1.2 生态海绵城市建设的六大要素

在生态海绵城市建设过程中,归纳起来,可以通过“渗、滞、蓄、净、用、排”六种手段,统筹解决城市内涝、雨水资源化利用等问题。经验表明,在正常的气候条件下,典型的生态海绵城市可以截留80%以上的雨水(杜建东,2015;魏剑&赵立伟,2016)。这部分的雨水若能加以利用,则能够大大降低城市水资源承载力,缓解旱区或旱季水资源短缺问题。

#### 1. 渗

渗,即使雨水渗透至土壤。传统城市建设中,以水泥、混凝土等硬质铺装为主,绿地面积不足,下垫面过硬,不透水、不渗水,改变了原有生态环境的自然生态本底和水文特征,导致城市雨时地表不纳水、雨水不下渗、径流难汇集、地下水得不到有效补充等问题,严重时甚至会造成城市内涝、地表下陷等自然灾害。因此,城市建设过程中,应当加强自然雨水的渗透,以供城市植物生长,并补充地下水,尽可能地减少城市建设对原有自然生态本底和水文特征的影响。海绵城市中,常用的维持下垫面雨水下渗功能的低影响开发手段有透水铺装、草坪渗透池、渗透树池、雨水调蓄池、植草沟、人工雨水湿地、雨水花园等,这些手段可以尽可能地减少地表径流,减缓雨水汇集过程,减轻管网排水负荷,同时,通过植物、土壤净化雨水,补充并涵养地下水,还可改善城市微气候(如空气湿度、温度),减轻城市热岛效应。

#### 2. 滞

滞,即截留雨水,延缓雨水径流的形成。其主要作用是减少短时间内形成的



雨水径流量,限制径流的高峰,减轻城市排水压力,以防止城市内涝发生。常用的方法包括微地形调节,即让雨水慢慢地汇集到一个地方,用时间换空间。具体形式包括:雨水花园、生态滞留池、植被缓冲带、植草沟、渗透池、人工湿地、屋顶雨水收集系统等。

### 3. 蓄

蓄,即把雨水蓄积起来。当前的城市建设,过分追求土地平整,破坏了原始自然地形地貌,致使雨水短时间内就往地势低洼处汇集,形成内涝。而生态海绵城市在规划和建设过程中,会充分尊重自然地形地貌,预留生态保育区,仅进行低影响合理开发,能够维持原有的地貌水文特征,使降雨得到自然散落。生态海绵城市建设提倡通过必要的蓄积手段,把降雨蓄起来,蓄积的雨水可作为市政用水(如消防、城市绿地灌溉)、生活用水(如冲厕、洗车等)、生产用水等,以达到调蓄、错峰、减少内涝发生、缓解城市供水压力的目的。常用的手段包括:雨水调蓄池、雨水塘、人工湿地、地下塑料蓄水模块、雨水收集器等。

### 4. 净

净,即净化径流雨水。土壤渗透或植被、绿地系统的生物作用,都能对水质产生净化作用。经过净化处理的径流雨水,加以利用即可回补城市水资源。雨水净化系统应根据区域环境的不同设置不同的净化体系,现阶段较为熟悉的净化过程分为三个环节:

(1)土壤渗滤净化,通过土壤对雨水杂质的物理拦截和吸附作用进行雨水净化;

(2)人工湿地净化,通过多级人工湿地净化池,采用填料吸附过滤、湿地植物吸收等过程对雨水径流进行净化,并通过水泵实现雨水径流循环修复;

(3)生物净化,雨水径流通过生物处理单元,去除雨水中过量的氮、磷等营养元素、杂质等,减少雨水的生化耗氧量。这一过程对雨水中悬浮物的去除率可达90%以上。

### 5. 用

用,即用水。不管是丰水地区还是缺水地区,雨水收集利用在公众参与程度较高时,不仅能缓解洪涝灾害,还可以减轻城市水资源承载压力,特别是经过土壤渗滤净化、人工湿地净化、生物处理多层净化之后的雨水,能够应用于绿地养护、洗车、生活用水等。由此可见,生态海绵城市是通过“渗”涵养水源,是通过“滞”和“蓄”把水留住,再通过“净”把水“用”在原地。

### 6. 排

排,即排水。生态海绵城市建设提倡通过城市竖向与工程设施相结合、排水防汛设施与天然水系河道相结合、地面排水与地下雨水管渠相结合的方式,来实