

海绵城市建设中高密度城市水土保持措施研究

白云

海南省建设项目规划设计研究院有限公司, 中国·海南海口 570100

摘要: 高密度的城市水土流失和水文过程交织在一起, 给海绵城市建设带来了严峻的挑战。本研究以水土保持措施和海绵城市建设协同机理为主线, 对高强度开发过程中土壤侵蚀和地表径流互馈机理进行系统分析。基于此提出源头削减, 过程管控和末端治理3个层次的技术体系, 其中包括立体绿化和透水铺装的优化配置, 生态沟渠和雨水花园的共同调控及调蓄设施和土壤稳固等技术整合。本文以海南海口和三亚为例, 从多维度竖向设计, 立体空间统筹以及以监测评估为主的适应性管理策略进行论述。研究目的是为高密度城区水土保持和雨洪管理协同增效, 提供理论依据和实践路径。

关键词: 海绵城市; 高密度城市; 水土保持; 协同技术; 海南案例

Study on soil and water conservation measures in high-density urban area in the construction of sponge city

Bai Yun

Hainan Province Construction Project Planning and Design Research Institute Co., Ltd., China Hainan Haikou 570100

Abstract: The intricate interplay between high-density urban soil erosion and hydrological processes poses significant challenges to sponge city development. This study systematically analyzes the feedback mechanisms between soil erosion and surface runoff during intensive urbanization, focusing on the synergistic mechanisms between soil conservation measures and sponge city construction. Based on this analysis, a three-tiered technical framework is proposed: source reduction, process control, and end-of-pipe treatment. This framework integrates optimized configurations of vertical greening and permeable pavements, coordinated regulation of ecological ditches and rain gardens, as well as technical solutions such as stormwater retention facilities and soil stabilization. Using Haikou and Sanya in Hainan Province as case studies, the research discusses multidimensional vertical design, spatial coordination, and adaptive management strategies centered on monitoring and evaluation. The objective is to provide theoretical foundations and practical pathways for enhancing the synergistic effects of soil conservation and stormwater management in high-density urban areas.

Keywords: Sponge city; High-density urban development; Soil and water conservation; Synergistic technologies; Hainan case

0 引言

高密度城市的大规模土地开发造成不透水面剧增, 水土流失和内涝风险伴随而来。传统水土保持措施注重施工期拦挡防护, 海绵城市低影响开发理念则强调从源头恢复水文过程, 两者在对象和作用方面存在天然互补性。如何将水土保持和海绵体功能深度结合到有限的空间中成为了目前的一个研究重点。海南城市正处于快速城市化过程中, 承受着频繁台风暴雨和敏感土壤侵蚀的双重胁迫, 对其进行实践探索颇具典型性。本文立足高密度空间约束, 系统构建水土保持与海绵城市建设协同的技术体系与实施路径, 以期同类地区提供科学参考。

1 高密度城市水土流失特征与海绵城市建设耦合机理

1.1 高强度开发下的土壤侵蚀与地表径流互馈机制

高密度城市高强度土地开发中土壤侵蚀和地表径流形成复杂互馈关系并成为加剧水土流失的内在动因。大范围土地平整, 基坑开挖和地下空间建设等破坏了原土壤结构稳定性, 而大量疏松暴露堆土则为水力侵蚀的发生提供了充足物质来源。暴雨情况下高比例不透水下垫面使地表径流系数剧增、汇流时间减少、径流流速增大, 其挟带泥沙能力明显增强, 进而对裸露坡面或者施工场地造成剧烈冲刷^[1]。裹挟在径流中的泥沙, 不仅使表土流失严重, 而且

还会阻塞城市雨水管网、淤塞海绵城市端部调蓄设施等,从而降低了“海绵体”功能。该互馈机制对于海南海口这类滨海城市新区建设表现得尤为突出,雨季大强度降水对裸露红壤产生冲刷作用,产生的含泥沙径流快速汇集,这不仅导致了施工区域的水土流失,还对下游已经建成的雨水花园和透水铺装的渗透效率构成了威胁,从而形成了“愈冲愈蚀,愈堵愈涝”的恶性循环,深刻地揭示高密度城区水土保持和径流调控须协同控制的内在逻辑。

1.2 不透水地表扩张对水文过程及土壤结构的复合影响

高密度城市的一个突出特点是建筑和道路等不透水地表的持续扩张,这一过程对区域的水文循环和残留土壤结构产生了深远的复合影响。在水文过程方面,不透水层在显着降低土壤降雨补给与地下水涵养的同时,阻隔雨水自然入渗至地下,导致地表径流量剧增。在土壤结构上,不透水地表覆盖将大气和土壤之间气热交换完全隔离,导致下垫面下原状土生物活性逐渐消失,土壤动物及微生物群落死亡,有机质含量剧减,土壤由于粒结构被破坏而容重上升,最后趋于致密,板结等“类母质”结构^[1]。海南三亚老城区改造时,由于高密度水泥路面及建筑基底覆盖等原因,使残存少量绿化带内土壤板结严重且渗透系数很低,在暴雨过程中不但不能消纳本身的雨水,而且还会承接周围硬质地表快速交汇,使土壤饱和之后很快形成坡面径流,增加局部积水及水土流失的危险性。这一水文过程和土壤退化交织在一起的复合作用使高密度城区内有限的土壤资源变得易碎,同时抬高了海绵城市发展的生态门槛。

1.3 海绵城市 LID 措施与传统水土保持技术的功能衔接

海绵城市建设低影响开发措施和传统水土保持技术之间并不是互相取代,而是在功能互补基础上深度对接。传统水土保持侧重于通过工程和生物手段“防”与“治”,主要目标是控制土壤侵蚀、拦蓄泥沙;而海绵城市 LID 措施侧重于“渗者,滞者,蓄者,净者,用者,排者也”,核心是恢复水文循环。在高密度城区,两者的功能衔接体现为“从外部到内部、从表面到内部”的协同。如传统水保截排水沟可以改造成海绵城市生态植草沟来完成运输与净化,同时对径流进行疏导;施工期临时沉沙池可以作为海绵设施预处理模块永久化设计,首先将泥沙沉淀后流入雨水花园深度净化^[3]。在海口江东新区的建设过程中,该项目综合运用了传统的水土保持方法,例如在场地周围建立拦沙坝和临时覆盖,有效地控制了开发初期的土壤流失;同时

现场内精心安排下凹式绿地及生物滞留带。雨季时,外围的传统措施拦截了绝大部分粗颗粒泥沙,保障了内部 LID 设施的正常运行,而 LID 设施又进一步消纳了净化后的径流。这种衔接实现了从源头减蚀、过程阻沙到末端净化的全链条管控,是海绵城市理念在高密度约束下的必然选择。

2 面向高密度城区的海绵体构建与水土保持协同技术

2.1 基于源头削减的立体绿化与透水铺装优化配置

在高密度城区土地紧缺的大环境下,立体绿化和透水铺装优化布局是达到水土保持和径流调控双目的的关键途径。立体绿化利用屋顶及垂直绿化对雨水的拦截作用,减弱雨滴溅蚀和径流冲刷的力量,使其成为“空中海绵体”。透水铺装技术通过其多孔的结构设计,使得雨水能够直接渗透到地面,从而将不透水的地表转化为一个可渗透的界面,有效地从源头上切断了径流^[4]。两者需要建立在空间尺度和功能需求的基础上,进行科学结合。以海口美兰国际机场 T2 航站楼附近地区为例,该工程大面积使用高透水率的生态停车场及透水混凝土道路并辅以上千平方米的屋顶绿化。这一“地面渗透加空中滞留”的三维组合方式显著地减少了场地的综合径流系数,从源头上减少了流入市政管网的水量,极大地减轻了雨水径流对裸露地面的冲刷作用,有效地控制了水土流失。实践证明,这种模式最大限度地提高了海绵体的综合效益而又不占用多余土地,为高密度城区水土保持精细化提供了一种范例。

2.2 过程管控中的生态沟渠与雨水花园联合调控

径流迁移期间,生态沟渠和雨水花园共同使用是进行过程管控和治理水土流失的重点。生态沟渠沿着道路或者场地边界呈线性排列,它的作用不只是转输径流,而是通过植被滞缓、拦截、减小流速等方式,将径流中挟带的大颗粒泥沙进行初步析出,将污染物初步滤除^[5]。预处理后径流又有序地导入雨水花园。雨水花园依托下凹地形与改良的种植土层将雨水临时截留,在植物吸收,土壤渗透与微生物的作用下,水质得到进一步的净化,水量得到消纳。两者共同构成了一道动态防线。本文以海南三亚丰兴隆生态公园为研究对象,设计采用公路两旁的生态植草沟对周边主干道的初期雨水进行收集,并采用植物缓流、砾石拦截等方法对沉淀泥沙进行处理。将初步净化径流引入园区雨水花园,深度净化下渗。这种联合调控,有效地控制泥沙随径流出园区,也使雨水资源化,显示过程管控对保持水土平衡的重要性。

2.3 末端治理下的调蓄设施与土壤稳固技术集成

末端治理作为径流泥沙闭环控制的最后一环,其核心是将调蓄设施和土壤稳固技术进行系统集成。人工湿地,地下蓄水池等调蓄设施主要是削峰错峰以存储超出前端处理容量的雨水以及利用沉降及生物作用除去悬浮物等。但该类设施边坡易受水位骤变及水流冲刷而产生水土流失,因此有必要将三维植被网,生态袋护坡及土工格室稳固技术进行整合运用,为了提高土壤的抗剪强度、防止边坡坍塌、保证结构稳定。海口一旧城改造片区内,该工程于最低处修建具有调蓄双重作用的人工湿地。考虑到台风季节强降雨的冲刷危险,驳岸选择了生态袋和蜂巢约束系统结合稳固方案,袋体内填充了当地适合植被生长的基质。这一整合不仅确保行洪安全和边坡稳定,而且通过植被和稳固材料协同不断净化上游来水并有效截留微量泥沙,达到水土保持和水环境改善相统一的目的。

3 高密度空间约束下的实施路径与效能保障体系

3.1 多维度竖向设计与水土保持措施的精细化衔接

竖向设计在协调雨水平衡和土方稳定中处于核心地位,与水土保持措施精细化衔接对工程效能发挥具有重要意义。海绵城市环境下多维度竖向设计需要对径流路径进行精细指导和水土保持设施深度耦合。规划阶段需要综合考虑建筑基底标高,道路坡向,绿地高程和地下空间覆土厚度等因素进行整体系统的规划。采用微地形塑造的方法,将道路和广场的径流有步骤地汇入到下凹式绿地中,以免冲刷地表;通过对建筑物正负零标高的合理设置,减小了周围挖填方边坡的产生,降低了水土流失的危险。海南万宁沿海高密度住宅区中,该工程把水土保持理念渗透到竖向设计过程中,准确地进行土方计算,使基坑开挖和景观微地形创造就近兼顾。同时在建筑物散水和绿地的连接处设计了隐蔽的导流槽及消能设施把屋面落水有秩序地导流到生物滞留带内,不仅避免了滴水溅蚀现象的发生,还涵养了水源。精细化衔接,使得竖向工程自身成为水土保持不可分割的一部分。

3.2 地下-地面-空中立体空间资源统筹与多功能融合

高密度的城市空间资源紧张状况要求水土保持和海绵建设必须走立体化统筹的道路,在地下,地面和空中空间进行功能整合。地下空间可以修建深层调蓄隧道或者大的蓄水池来存蓄过量的雨水,缓解地面排水压力;地面空间需要复合利用,路面采用透水铺装与生态树池相结合的方

式达到雨水渗透的目的,以公园绿地为主的海绵体对雨水进行消纳;空中空间采用立体绿化的方式对雨水进行截留和利用。三者协调配合,可以建立起覆盖整个区域的立体式海绵网络。海口市西海岸新区南片区的发展,对地下水调蓄舱,地面生态草沟网络和建筑屋顶绿化进行整体规划。地下空间调蓄洪峰、地上渗透净化、空中截留滞蓄。该工程以局部地下调蓄空间枯水期兼做停车场、以地面生态廊道为休闲慢行系统、楼顶构建花园式绿色空间等措施,达到高密度环境下生态效益和社会经济效益相统一的目的。

3.3 基于监测评估的长效管护机制与适应性管理策略

海绵城市水土保持措施的效能既体现在建设期科学设计上,也体现在运行期长效管护上,以监测评估为主的适应性管理是达到这一目的的核心途径。高密度城市环境复杂多样,水土流失风险及海绵设施作用将随着时间的推移及周边开发建设不断变化,有必要建设涵盖典型设施及关键节点监测网络,连续追踪径流量,水质变化,土壤渗透系数,植被生长状况和设施淤积程度。科学地评价监测数据能够准确地诊断出设施在运行过程中是否存在板结,哪些地区雨水花园板结以及哪些地区生态沟渠淤积严重等问题。基于评估结果,管理主体可以采取针对性的适应性管理策略,而非一刀切地进行维护。例如,对于因泥沙淤积导致渗透能力下降的设施,应及时组织清淤和表层土翻松;对于植被退化区域,需补种耐淹耐旱的本土物种。在三亚东岸湿地公园的后期运维中,管理方建立了常态化的监测机制,重点监控入湖口预处理带的淤积情况和湿地水体的悬浮物浓度。监测数据显示,雨季某时段入湖泥沙量激增,经溯源排查发现是上游某施工工地管理不善所致。随即启动应急预案,要求该工地加强拦挡措施,并对受影响的预处理带进行了紧急清淤。这一闭环的“监测-评估-响应”机制,确保了公园调蓄和水质净化功能的长效稳定,为同类高密度城区海绵设施的全生命周期管理提供了有益借鉴。

4 结语

本研究揭示了高密度城市水土流失与海绵城市建设的内在耦合机理,明确了二者协同治理的必要性。通过构建“源头削减-过程管控-末端治理”的三级技术体系,并融合海南海口、三亚等地的实践案例,证实了立体绿化与透水铺装、生态沟渠与雨水花园、调蓄设施与稳固技术等组合措施在控制土壤侵蚀与调控径流方面的显著效能。研究进一步指出,在多维度竖向设计、立体空间多功能融合

以及基于监测的适应性管理方面建立长效保障机制,是确保协同措施持续发挥作用的关键。该研究为高密度城区应对水土流失与雨洪问题提供了系统性的解决方案与决策依据。

参考文献:

[1] 吕绍祥,秦朝莹.某学校建设项目水土保持中海绵城市建设的应用[J].河南水利与南水北调,2023,52(11):14-15.

[2] 陈丹,方宗福.海绵城市理念在城市水土保持中的

运用研究[J].价值工程,2022,41(30):102-104.

[3] 张海明,孙生亮.城市建设项目中水土保持理念和实践研究[J].电脑迷,2023(10):79-81.

[4] 李二焕.海绵城市建设理念在城市水土保持中的应用[J].2024(17):43-45.

[5] 杨云梦.基于海绵城市理念的城市水土保持措施[J].河南水利与南水北调,2023,52(3):10-11.

作者简介:白云(1993-),女,汉族,陕西省榆林市,硕士,水土保持工程师,文章方向:水土保持。