

基于生物多样性提升的固废消纳绿地生境营造策略

Research on the Habitat Creation Strategy of Solid Waste Consumption Green Space Based on Biodiversity Improvement

朱爱青¹ 张浪^{2*} 罗玉兰² 张冬梅²
ZHU Aiqing¹ ZHANG Lang^{2*} LUO Yulan² ZHANG Dongmei²

(1.上海城建职业学院, 上海 200438; 2.上海市园林科学规划研究院, 城市困难立地生态园林国家林业和草原局重点实验室, 国家林业和草原局城市困难立地绿化造林国家创新联盟, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232)

(1. Shanghai Vocational College of Urban Construction, Shanghai, China, 200438; 2. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Ecological Landscaping of Challenging Urban Sites, National Innovation Alliance of National Forestry and Grassland Administration on Afforestation and Landscaping of Challenging Urban Sites, Shanghai Engineering Research Center of Landscaping on Challenging Urban Sites, Shanghai, China, 200232)

文章编号: 1000-0283(2023)06-0075-06

DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 06. 0075. 009

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2022-12-30

修回日期: 2023-03-09

摘要

固废垃圾就地消纳形成的绿地是城市困难立地的一种类型, 在此类场地进行快速生态修复和景观营建的过程中, 其绿地生境的生物多样性提升对加快绿色、低碳、无废城市建设尤为重要。选择天津南翠屏公园、上海延中绿地、江苏无锡金匮公园等固废消纳绿地作为研究对象, 从生物多样性角度对植物群落景观构建、竖向地形重塑和节水供应等方面进行深入研究, 提出适合该类绿地生境营造的相关策略, 包括植物选择及群落结构优化方法; 地形坡度控制及分层构筑地形堆体的措施; 结合人工智能化操控技术, 多种生态技术手段并用, 处理场地内部的水文平衡策略等, 最终形成安全、稳固、可持续循环的再生立地生态环境。

关键词

固体废弃物; 植物群落景观; 生境; 生物多样性; 困难立地

Abstract

The green space formed by the on-site disposal of solid waste is a type of difficult urban site. In the process of rapid ecological restoration and landscape construction of such sites, the improvement of biodiversity of such green space habitats is particularly important for accelerating the construction of green, low-carbon, and waste-free cities. The author team selected Tianjin Nancuiping Park, Shanghai Yanzhong Green Space, Jiangsu Wuxi Jinkui Park, and other green spaces for solid waste disposal as research objects, conducted in-depth research on plant community landscape construction, vertical terrain remodeling and water-saving supply from the perspective of biodiversity, and put forward relevant strategies suitable for such green space habitat construction, including plant selection and community structure optimization methods; (Terrain slope control) and measures for layered construction of terrain pile; Combined with the artificial intelligence control technology, the combination of various ecological technology means, and the treatment of the hydrological balance strategy within site, finally forming a safe, stable, sustainable recycling ecological environment of the regeneration site.

Keywords

solid waste; plant community landscape; habitat; biodiversity; difficult sites

朱爱青

1980年生/女/安徽淮北人/硕士/副教授/
研究方向为景观生态规划研究

张浪

1964年生/男/安徽合肥人/博士/教授级
高工(二级)、博士生导师/上海领军人才、享受国务院特殊津贴专家/上海市园林科学规划研究院院长, 兼任城市困难立地园林绿化国家创新联盟理事长、上海城市困难立地绿化工程技术研究中心主任、城市困难立地生态园林国家林草局重点实验室主任/主要从事生态园林规划设计与技术研究/本刊主编

罗玉兰

1975年生/女/上海人/硕士/教授级高工/
研究方向为园林植物遗传育种、栽培及应用

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: zl@shsyky.com

基金项目:

国家自然科学基金面上项目“城市生态廊道多尺度结构与功能连接度的关联机制”(编号: 32171569); 上海市科委重点攻关项目“基于生物多样性的城市困难立地高质量园林绿化智能技术及示范”(编号: 22dz1202200)

运输与消纳处置的压力日益剧增^[2]。诸如此类固体废弃物垃圾占地面积大、环境污染性强、处理和运输成本较高。如何资源化利用使其变废为宝，是当今生态环境建设中的热点议题。

文章围绕此议题，将此类废弃物分层填筑在景观绿地表层种植土以下，形成地形内部主体结构，利用园林绿化植物废弃物做土壤堆肥，地上构建具有不同构景模式的生境空间，进而改善废弃地生态环境，维护生物多样性。

1 研究背景

1.1 固废消纳绿地在生物多样性提升中的作用

固废消纳绿地指经过初处理后的固体废弃物垃圾就地回用到原地而形成的景观用地环境，包括与该类环境产生密切关系的各类环境因子（土壤、地形、水体、动植物等）的总和。其中固体废弃物垃圾主要指建设工程项目中产生的建筑垃圾和园林工程垃圾。这种通过消纳大量固体废弃物形成的特殊绿地生境，可形成一种独特小气候，增加了城市异质性空间和环境多样性类型，直接为一些生物提供保护、避难、引种、驯化、发展的有利条件和空间，更为生物多样性保护提供了良机。同时该类绿地乔灌木合理配置的乡土植物群落景观，不仅使地域性的植物资源得到保护和培育，也使城市生态空间的生物多样性效益得到显著提升。

1.2 固废消纳绿地生境的研究现状

当前国内外许多专家学者对固废利用展开大量的研究，主要集中在固废资源化利用的技术、管理以及再生产品的性质上，研究涉及政策制定，以及资源化技术、工艺、模

式、成效等领域较多。如Liu等^[3]以印度为例，对发展中国家的建筑垃圾4种不同管理方案进行环境影响评价，包括当前、将来的建筑垃圾填埋方案和无转运站、有转运站的回收利用方案。王进丹等^[4]重点研究了国内园林废弃物的典型资源化利用方式：制成肥料、饲料、沼气或者用于发电等。而通过消纳固废形成绿地景观的生境研究较少，尤其是综合地上植物栽植、水肥供应、地形竖向等要素构建特殊困难绿地的生态修复绿地空间方面的研究尚未有人提及。

1.3 固废消纳绿地生境存在的问题

通过调查发现，固体废弃物堆体地上土壤贫瘠、土层薄、水土极易流失，地下大多为建筑垃圾，缺少水肥供给通道，而且固废垃圾大多混合堆置，内部水分输送和空气流通的环境较差，直接影响植物根系的生长，即使优选本地乡土树种，也很难建成容易存活且生长速度优越的植物群落^[5-8]。当前为了保证地上植物的成活率，很多固废消纳绿地增加大量地面覆土，直接造成土方造价的飙升。因此如何提升该类困难绿地的景观效果，同时节约用土、降低工程造价，是构建生物多样性丰富的固废消纳绿地生境亟需解决的问题。

2 调查样地概况

本研究选取5处典型固体废弃物就地堆置而成的公共绿地为调研对象，分别是天津南翠屏公园、上海延中绿地、江苏无锡金匮公园、徐州九里山生态公园和北京南海子郊野公园，该5处用地旧址均有大量的建筑垃圾，其中上海延中绿地建造在旧房危房密度较高的商业核心区，徐州九里山生态公园为一处建筑垃圾填埋场修复地，用地均采用

传统的堆山理水造景方法，就地消纳固废垃圾，进而营造合理的植物群落景观空间。

3 研究方法

本研究采用法瑞学派的典型选择原则，综合利用文献搜集法和样线调查法，对植物类型、数量和空间位点进行调查^[9]，选取能反映群落结构特征的可进入式典型群落样地，以路缘、林缘为界确定样地范围，对于大面积且边界不清晰的群落样地，则设立20 m×20 m标准样地进行调查记录。同时对固废消纳绿地堆置地形、供水方式等进行摸查，以求完整覆盖现状尚存的固废消纳绿地生境典型要素。

4 结果分析

通过研究，总结当前固废消纳绿地的回收可利用垃圾主要分为建筑工程和园林绿化工程固废物两大类，具体材料类型和成分见表1。

通过详细调研，记录5处典型固废消纳绿地地形特征、植物群落特征、植物配比、给排水系统特征等信息，详见表2。

（1）固废消纳绿地植物景观方面。该类绿地植物选择上必须做到适地适树，优选适应固废立地环境的各类乡土树种，植物配置上注重群落结构和各类生物适宜生境空间的营建，形成生物多样性丰富的植物生态环境，便于形成优美的植物景观效果，同时利于该类绿地绿化养护管理的可持续发展。

（2）固废消纳绿地竖向设计方面。该类绿地竖向地形需要进行合理设计以保证绿地骨架的稳定性，设计时需综合考虑堆体的高度、坡度以及填充材料性能对绿地结构的影响，可通过分层铺设建筑工程固废物、土壤和园林绿化工程固废物，以保证植物根系的

表1 固废消纳绿地材料分类表
Tab. 1 Classification of green space materials for solid waste disposal

固废材料类型 (大类) Types of solid waste materials (major categories)	固废材料类型 (小类) Types of solid waste materials (subclass)	主要成分 Main components	主要用途 Main application
建筑工程固体废物	大粒径	钢筋混凝土、素混凝土	分层填筑地形内部, 增强土体稳定性和承载力
	中粒径	素混凝土、废砖、废瓦、废瓷砖	
	小粒径	素混凝土、碎石块、碎砖瓦块、碎玻璃、碎瓷片	
园林绿化工程固体废物	粗绿化植物	乔灌木修剪物、草坪修剪物、杂草、落叶、枝条、花园和花坛内废弃草花的废弃物, 粒径20~40 mm	改善固废地贫瘠土壤的养分条件, 同时降低土壤盐碱性
	细绿化植物	乔灌木修剪物、草坪修剪物、杂草、落叶、枝条、花园和花坛内废弃草花的废弃物, 粒径小于13 mm	

表2 典型固废消纳绿地生境调查表
Tab. 2 Questionnaire on typical solid waste disposal greenbelt habitat

绿地名称 Green space name	竖向地形特征 Vertical terrain features	植物群落景观特征 Landscape characteristics of plant community		给排水系统特征 Characteristics of water supply and drainage system
		植物群落类型 Plant community type	代表性植物群落结构 Representative plant community structure	
天津南翠屏公园	作为建筑工程垃圾填埋场的核心部分, 山体主景区占地面积约12.1 hm ² , 由6座山峰组成: 一座50 m高、两座30 m高、两座25 m高、一座20 m高。在山体主景区东侧还有分别高15 m和19 m的两座小山。堆山共使用211.5万 m ³ 的建筑垃圾和45万 m ³ 市政淤泥, 土体表面覆种植土厚度为0.5~1.2 m不等	以常绿阔叶林、落叶阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林地带性植物群落为主, 主要包括生态湿地、林带地被、人工林地植物群落; 乔木: 灌木: 地被比为5:2.5:4.5	栎树+大叶樟—红叶李—薰衣草+石竹—千屈菜+茭白; 墨西哥落羽杉+女贞—鼠尾草+金边叶麦草—金叶苔草+细叶芒草—鸢尾+石蒜; 银杏—桂花—金银木+迎春—活血丹+蛇莓; 以栎树、银杏为主的纯林群落; 以榉树、臭椿为主的纯林群落	公园山峰处修一蓄水槽, 将市政中水引入山上, 通过密布于全园的喷灌系统灌溉绿地, 实现资源再利用及节能环保
上海延中绿地	上海高密度旧房危房原址堆置而成的公共绿地, 地形自然高低起伏, 连绵不断, 山体高度在20 m以下	以常绿阔叶林、落叶阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林地带性植物群落为主; 乔木: 灌木: 地被比为8:5:7	香樟+银杏+广玉兰—桂花+棕榈+紫叶李+鸡爪槭—麦冬+大吴风草+醉浆草; 香樟+悬铃木+朴树—八角金盘+海桐+珊瑚树+樱花—麦冬+常春藤+醉浆草; 水杉+池杉—棕榈+珊瑚树—八角金盘+红花继木—麦冬; 雪松+白玉兰—桂花—大叶黄杨+杜鹃—麦冬	利用现代低影响开发技术, 通过设置生物滞留池、下凹绿地、雨水回收等整套绿色基础设施, 实现可持续给排水循环利用
江苏无锡金匮公园	规划山体基底面积54.39 hm ² , 南北向长约820 m, 东西向长约950 m, 山体南北轴线长510 m, 山体坡度15°~30°, 由主峰及东西两座次峰组成, 主峰高度为58 m, 东西两座次峰高度分别为19 m和23 m, 总土方量约350万 m ³	以亚热带常绿阔叶林为主; 乔木: 灌木: 地被比为6:2:4	水杉+池杉—红枫+孤槭—八角金盘+红花檵木—麦冬; 法桐+雪松—红枫—大叶黄杨+杜鹃—麦冬	山体地基采用清表碾压处理, 地基采用砂井排水系统, 用袋状砂井埋至地表以下, 穿透承压水层, 在地表铺设砂垫层, 在砂垫层外围设计多条盲沟与之连通, 形成排水系统
徐州九里山生态公园	山体面积约112 hm ² , 东西长4 500 m (九里), 九里山南坡形成大型采空宕口, 山体遭到严重破坏, 经过多年的填埋堆积, 共接纳建筑垃圾和工程渣土上亿万立方米, 主峰高度约52 m	人工混交林为主, 群落垂直结构分层现象明显, 可分为乔木层、灌木层、草本层, 各层次种群组成复杂, 偶尔存在渗透和镶嵌分布现象, 层间植物丰富; 乔木: 灌木: 地被比为8:3:6	女贞人工林地: 白蜡树、地榆、草木樨、美丽胡枝子、达呼里胡枝子、艾蒿、地黄、心叶堇菜、猪殃殃、求米草; 苦楝人工林地: 一年蓬、小飞蓬、抱茎苦蕒菜、艾蒿、地黄、威灵仙、求米草; 雪松人工林地: 达呼里胡枝子、白苏、鹅观草、心叶堇菜、求米草	结合生态修复工程, 依据规范要求, 合理布置场地沿线雨污水管和给水管, 针对山体上园林植物采用人工灌溉方式补给水分
北京南海子郊野公园	150万 m ³ 的建筑垃圾堆置成三座山体, 其中两座位于地段西南部, 彼此相连, 高约30 m; 另一座体量较小, 位于地段东南角	以落叶阔叶树、常绿针叶树为主; 乔木: 灌木: 地被比为7:6:7	蓝花鼠尾草+红瑞木+天目琼花+绛柳; 红花醋浆草+白三叶+紫穗槐+侧柏+杜梨+雪松; 月季+锦带+绣线菊+黄栌	利用公园东侧的开阔水域作为水源调节池, 引水灌溉

正常生长。

(3) 固废消纳绿地给排水设计方面。固废消纳绿地与普通绿地结构不同, 水分调节能力较弱, 可借鉴当前海绵城市建设经验, 结合人工智能化操控技术, 利用地面引排, 地下渗透、过滤、储存、回用等生态技术手段来处理场地内部的水文平衡问题。其中灌溉系统营建需根据不同地形类型与植物种类进行布置。

5 生境营造策略

通过详细调研与分析, 结合当前固体废弃物就地资源化处理和利用的生态技术手段, 重点从地上和地下空间的植物群落景观构建、竖向地形重塑、节水供应等方面提出该类绿地生境营造的策略, 大幅度减少垃圾处置费用和能耗的同时, 构建一种安全、稳固、生物多样性丰富的再生立地生态环境。

5.1 植物群落景观构建策略

通过对典型固废消纳绿地植物群落的分布与质量调研发现, 植物群落树种、结构和群落类型的单一不利于形成生物多样性丰富的生境, 因此在构建固废消纳绿地植物群落空间时, 因地制宜补植乔木、灌木、地被以及蜜源和鸟嗜植物, 优选植物树种, 优化植物群落结构, 丰富群落类型以及动植物食物链, 从而形成可吸引各种动物栖息的生境, 有利于提升该类生境的生物多样性。具体策略如下:

(1) 优选适合固废消纳绿地的植物树种。树种选择是植物群落构建的关键, 基于固废地的特殊性, 推荐从固氮、抗旱、耐贫瘠、生长快的乡土树种中优选树种, 特别是根系发达、根型呈水平、倾斜形态的、利于相互牵拉固着地下建筑工程固废物的乔灌木,

以及能够稳固覆土层土壤、拦截水流、减少水土流失的地被植物和草坪。

(2) 丰富栖息地植物群落类型。固废消纳绿地的植物群落类型丰富度直接影响植物景观异质性, 丰富度越高, 异质性越强。根据不同地域植物分布, 构建不同类型的群落组合体, 不仅能够增强植物生境与周围环境的交流, 也有利于形成适宜的动植物栖息地生境。

(3) 优化固废消纳绿地植物群落结构。固废消纳绿地植物生境中乔灌木的结构与层次对群落多样性有一定的影响。在植物群落垂直结构上, 根据不同景观功能的需求, 注重乔灌木层次的搭配: 生态保育型植物群落景观以纯林和混交林为主, 植物配置为乔—灌—草和乔—草复层模式居多; 观赏游览型植物群落依据园林美学原理, 兼顾乔—灌—草、灌—草和乔—草配置模式; 休闲活动型植物群落景观多采用开阔草坪式、封闭草地式、疏林草地式和冠下活动式, 因此植物群落垂直结构呈现多种层次搭配组合型。在植物群落水平结构上, 常绿与落叶树种相搭配, 多采用不同株型种类, 以吸引多种类型的鸟类栖息^[10]。

(4) 增加蜜源和鸟嗜植物的使用。在固废消纳绿地建设和调整时, 充分体现“人与自然协调共生”理念^[11], 多用蜜源和鸟嗜植物种类, 使绿地、林地在为人类利用的同时, 成为动植物的生息空间, 这不但能够为群落景观添加活力, 而且能够丰富用地环境的生物多样性, 对维持城市生态系统具有很好辅助作用。

5.2 竖向地形重构策略

地形竖向设计是组织水文分布及土壤含水率分布的最有效手段^[12]。堆山造景工程

中山体设计的关键是如何控制地基沉降和山体稳定性^[13]。依照《建筑垃圾处理技术规范》, 建筑垃圾堆体的顶面坡度不小于5%, 堆体边坡坡度不超过33%, 当坡度超过10%时边坡需要设置安全平台^[14]。目前国内利用建筑垃圾、工程弃土进行堆山造景中, 规模相对较大的有辽宁铁岭凤冠山景观(42 m高)、北京奥林匹克森林公园(48 m高)、天津堆山公园(50 m高)、江苏无锡金匮公园(54 m高)^[15-17]。堆体高度和坡度主要取决于地形再造所采用的建筑固废材料的物理性质, 其中经过筛选后的建筑垃圾级配参数是一个重要的影响因素^[18-19]。

根据前期团队研究成果, 参考张浪团队在发明专利“建筑物固体废弃物的就地分层利用及在降低土壤盐碱上的应用”内容, 提出分层构筑山体地形的方法, 可以提升堆山的安全性并且促进植物根系的生长。具体方法如下: 由固体废弃物构建的基础从下到上依次为大颗粒、中颗粒和小颗粒的建筑工程垃圾填充物, 在上表面覆盖种植土。不同规格和根系类型的植物选择不同的覆土厚度, 大规格深根性的乔灌木植物覆土厚度为2.5 ~ 3 m, 小规格浅根性的乔灌木覆土厚度为1 ~ 1.5 m, 地被、花卉及草皮覆土厚度为20 ~ 40 cm。针对乔灌木, 单独设置种植穴, 种植穴内混合土壤和固废垃圾。

5.3 水平衡技术构建策略

由于固体废弃物大多为废弃混凝土沙石、废砖、废瓦、废石材等颗粒状垃圾, 采用大量该类材料堆置的地形在蓄水、保肥方面存在较大问题, 极易出现水肥流失现象, 不利于构建生物多样性丰富的生境。基于低影响开发理念指引下雨水对于补充地下水、改善生态环境和完善水循环方面的重要性^[20], 深

入挖掘地上和地下水平衡技术，在水源水量评估的基础上，结合固废消纳绿地的场地布局，合理汇集和优先利用降水及其径流，使绿地在供、需水量平衡的基础上发挥最大的生态效益。

5.3.1 地上水平衡技术构建策略

地上水平衡技术利用引排的方式，将雨水进行拦截、蓄存。在固废消纳绿地表层，根据不同地形特征，布设鱼骨式、鱼鳞式、闭合环式、水波纹式等形态地面浅沟，形成截留沟网络，将雨水收集截留至沟体附近的绿地下面，用于植物生长所需水分供给。

根据固废消纳绿地地形条件，按照自流原则选择不同方式的拦截雨水方式，结合不同植物种植方式形成地面雨水收集布线网络，具体方案详见表3。

5.3.2 地下水平衡技术构建策略

地下水平衡技术是利用渗透、过滤、储

存、回用等生态技术来处理场地内部的水文平衡，在此过程中融入人工智能化操控技术，便于全程跟踪监测及调控。根据地上植物需水量不同，将地下空间划分为深根种植区和浅根种植区两种类型，深根种植区以需水量较大的深根性乔灌木栽植为主，浅根种植区以浅根性乔灌木、地被、花卉和草皮为主。

深根种植区的地下分层结构从上到下依次为表土层、回填土层、碎石层（阻根层）、防水层、水泥砂浆找平层、固体废弃物填充层（图1）；而浅根种植区地下分层结构依次为表土层、回填土层、固体废弃物填充层。深根种植区比浅根种植区增加了碎石层（阻根层）、防水层、水泥砂浆找平层，目的是阻止雨水携带土壤中的养料继续通过固废颗粒层而流失，其中碎石阻根层可以有效防止由于植物根系生长过快而穿透防水层造成水肥渗漏的现象。

整个地下水平衡技术方案（图2）的具体措施要点如下：（1）地面截留沟一般设置在乔

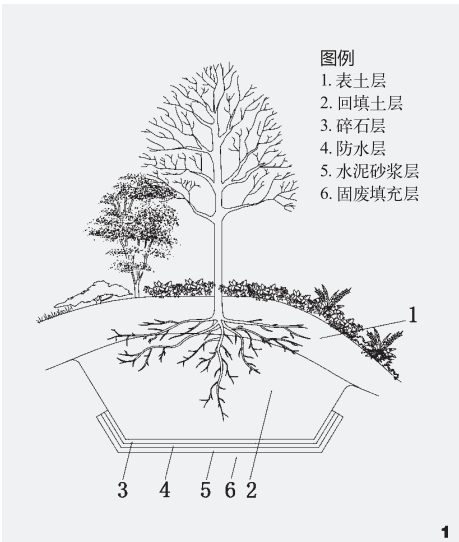


图1 深根种植区地下结构
Fig. 1 Underground structure of deep root planting area

木区之间的下凹绿地处，用于收集雨水；截留沟底部铺设废弃砖瓦片，起到缓慢渗水作用；其下紧接表土层，为了防止土壤层内的水分离失，在表土层下铺设防水层，汇集的雨水向两侧表土入渗，给两侧植物提供水分及养料。

表3 地上雨水截留沟特征表
Tab. 3 Characteristics of above-ground rainwater interception ditch

布置形式 Layout form	鱼骨式 Herringbone type	鱼鳞式 Fish scale type	闭合环式 Closed loop type	水波纹式 Water ripple type
平面布局示意图				
适用地形	单坡向或多坡向的规则坡面	阶梯状台地	山丘或者盆地	自然山脊或山谷
特征描述	园址坡面平整，截留沟布置为鱼骨形式，可考虑沿着截留沟规则式种植乔灌木	园址呈梯田式结构，截留沟顺着地形设置成鱼鳞状形态，可围绕每个截留沟进行组团式种植植物	园址处于山坞状地形，地势周边高中间低或者周边低中间高，截留沟顺着等高线呈环形布置，可以自然式种植为主	园址为自然起伏地形，截留沟顺着地势呈水波纹形分布，可结合脊线和谷线形成溪流景观

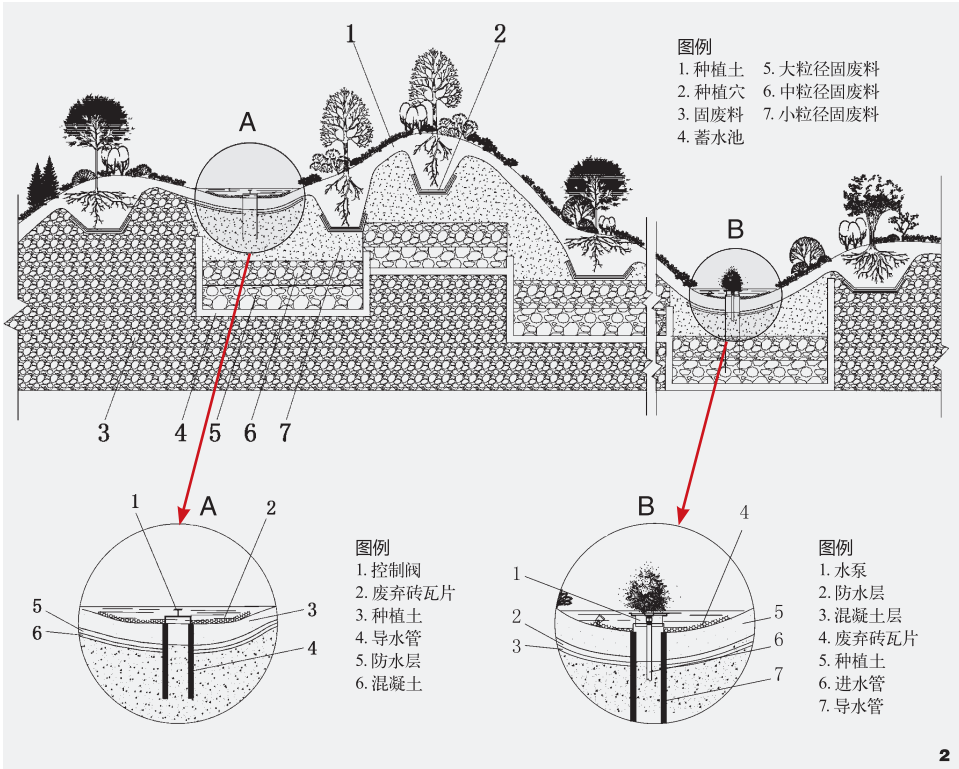


图2 水平衡技术方案示意图
Fig. 2 Schematic diagram of the water balance technology

(2) 截留沟底部最低处使用打桩装置打入地下，形成下水通道，通道上端设置自动排水阀，可以调节丰水期和枯水期下水的流量，将雨水集中收集到地下蓄水池中；高水位蓄水池与低水位蓄水池之间形成连通器，在雨水丰盛的时候，高水位蓄水池的水通过连通器，从低水位蓄水池对应的地面截留沟涌出，形成喷泉景观；地面干燥雨水不足时，可以抽取蓄水池内存水用于景观灌溉。(3) 地下蓄水池内部分层铺设固废料，从上到下依次为大颗粒、中颗粒和小颗粒，方便过滤和疏导雨水。(4) 控制阀与第一控制器连接，水泵与第二控制器连接，第一控制器及第二控制器均与监控中心无线连接；所述监控中心与天气数据库连接，用于调取降水数据，在雨量充沛时，开启阀门，将水储存在蓄水池中。

6 结语

固废消纳绿地生境构建是低碳城市建设中一种行之有效的生态技术，关键处理好土壤、地形、水体与植物等不同要素之间的关系，通过适当的人为干预，在“借助并顺应自然生态规律”这一生态修复思想指导下，从植物群落景观构建、竖向地形重塑、节水供应等方面构建固废消纳绿地生境，从而资源化利用城市固体废弃物，变废为宝。本文尝试探索基于生物多样性提升的固废消纳绿地生境营造策略，旨在解决固废消纳地土壤量少、土层承载力弱、水肥流失严重等因素与植物群落景观营建之间的矛盾，同时亦是对生物多样性丰富的固废消纳绿地生境构建方法的探究，以期为该城市困难绿地的生态修复提供有利参考。

参考文献

- [1] 张浪. 城市困难立地概念及其分类辨析[J]. 上海建设科技, 2020(3): 107-109.
- [2] 肖建庄, 张青天, 段珍华, 等. 建筑废物堆山造景工程探索[J]. 结构工程师, 2019, 35(4): 60-66.
- [3] LIU J, NIE J J, YUAN H P. Interactive Decisions of the Waste Producer and the Recycler in Construction Wasterecycling[J]. Journal of Cleaner Production, 2020: 256.
- [4] 王进丹, 张苏, 吴晓华. 园林绿化废弃物资源化利用的探讨[J]. 浙江农业科学, 2013(08): 1034-1038.
- [5] 刘晓露, 于丽华, 秦飞. 徐州市金龙湖(东珠山)采石宕口生态修复与景观重建[J]. 园林, 2019(8): 32-37.
- [6] 张冬梅, 张浪, 有祥亮, 等. 气候障碍因子对城市绿化适生树种选择的影响——以上海世博公园为例[J]. 中国园林, 2020, 36(5): 94-98.
- [7] 毛佳园. 长三角地区主要城市森林群落景观区域特征分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [8] 贾培义, 郭湧, 王晔月, 等. 可持续景观设计: 场地设计方法、策略与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [9] 席力蒙, 孙秋慧, 胡月楠, 等. 生物多样性评价在生态修复工程中的应用[J]. 水利水电工程设计, 2021, 40(3): 44-47.
- [10] 马嘉, 高宇, 陈茜, 等. 城市湿地公园的鸟类栖息地生境营造策略研究——以北京莲石湖公园为例[J]. 中国城市林业, 2019, 17(05): 69-73.
- [11] 节约型园林植物群落构建方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [12] 刘晖, 许博文, 邹子辰, 等. 以水定绿: 西北地区城市绿地生态设计方法探索[J]. 中国园林, 2021, 37(07): 25-30.
- [13] 吴忠诚, 杨志银, 罗小满, 等. 疏排桩锚——土钉墙组合支护结构稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 25(2): 3607-3613.
- [14] 王诗滢. 基于棕地再生的建筑垃圾填埋场景观规划设计研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [15] 郭院成, 周同和, 宋建学. 桩锚与土钉联合支护结构的工程实例[J]. 郑州大学学报(工学版), 2003, 24(2): 26-28.
- [16] 郭院成, 杨庆, 黄广华, 等. 桩锚与土钉联合支护结构的优化选型[J]. 河南科学, 2004, 22(3): 35-38.
- [17] 郭院成, 秦会来, 王立明. 桩锚与土钉联合支护结构中的土压力分配模式[J]. 郑州大学学报(工学版), 2004, 25(3): 52-55.
- [18] 杨瑞, 赵静波, 刘波. 人工堆筑山体变形及地基深层水平位移研究[J]. 工程勘察, 2013(3): 15-18.
- [19] 陈国栋. 大面积堆山造景工程填筑体压实处理分析[J]. 工程勘察, 2014, 42(01): 21-24.
- [20] 李晨, 苏晓蕾, 张妍, 等. 干旱半干旱地区城市节水景观营造策略[J]. 中国城市林业, 2016, 14(5): 64-67.