

棕地土壤修复与景观设计相结合的途径探究

安雪晴*, 杨云峰#

南京林业大学风景园林学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年7月17日; 录用日期: 2023年9月5日; 发布日期: 2023年9月13日

摘要

本文结合国内外理论研究成果与实践案例总结棕地景观再生的多学科交叉设计思维, 探究棕地土壤修复与地形、水系、植被、游憩四大要素设计相结合的途径, 以为国内项目实践提供理论依据。

关键词

棕地再生, 生态修复, 土壤修复技术, 景观设计, 后工业景观

Study on the Combination Approach of Soil Restoration and Landscape Design in Brownfield

Xueqing An*, Yunfeng Yang#

College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

Received: Jul. 17th, 2023; accepted: Sep. 5th, 2023; published: Sep. 13th, 2023

Abstract

Based on domestic and foreign theoretical research results and practical cases, this paper summarizes the multidisciplinary design thinking of brownfield landscape regeneration, and explores the ways of combining soil restoration with the design of four elements of topography, water system, vegetation and recreation in brownfield, in order to provide theoretical basis for domestic project practice.

Keywords

Brownfield Regeneration, Ecological Restoration, Soil Remediation Technology, Landscape Design, Post-Industrial Landscape

*第一作者。

#通讯作者。

Copyright © 2023 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

新型城镇化发展下我国城市产业结构与城市空间布局发生调整, 曾经作为区域经济发展引擎的工业区逐渐被闲置和荒废, 亟待进行修复改造以适应新时代发展需求。受往昔生产活动的影响, 棕地往往遗留土壤污染问题, 如不消除会影响植被群落的恢复, 影响公众健康。因此, 建立多学科合作机制, 鉴定生态恢复的限制因子, 选择适宜的土壤修复技术方法并使其与景观设计手法相结合尤为关键。本文结合国内外理论与实践案例, 探究风景园林主导的多学科交叉思维下棕地土壤修复与景观设计相结合的途径, 以期为国内的实践提供更广阔的思路与实践指导。

2. 棕地的概念与类型

2.1. 棕地的概念

美国环境保护署(U.S. Environmental Protection Agency, 缩写 EPA 或 USEPA)提出“棕地”(Brownfields)概念, 它指“那些由于现实的和预见的污染而导致未来的再开发变得极为困难的废弃的或者正在使用的工业及商业用地”[1]。将“污染”作为棕地的必要特征。我国学者郑晓笛将棕地定义为“因人类活动而存在已知或潜在污染的场地, 其再利用需要建立在基于目标用途的场地风险评估与修复基础之上”[2]。

2.2. 棕地的类型与特征

依据我国《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)和学者郑晓笛的研究, 棕地分为工业与基础设施废弃地、矿区废弃地和垃圾填埋场[2]。工业与基础设施废弃地包括制造业等工业企业的旧厂区、码头、机场等基础设施闲置地, 此类场地一般地形平坦, 包含工业构筑物等空间要素。矿区废弃地指被采矿活动所破坏的非经治理而无法使用的土地, 往往存在尾矿、废石、矿渣等废弃物。垃圾填埋场在封场经稳定化处理后可以再生设计, 场地内以垃圾渗滤液和填埋气体污染为主。

3. 棕地土壤修复与景观再生研究进展

以美国为代表的欧美国家较早关注了棕地问题。在国家政策层面, 美国国会于1980年通过了《超级基金法》(Superfund Act), 2002年《美国小企业责任减免及棕地振兴法案》(Small Business Liability Relief and Brownfields Revitalization Act)颁布, 进一步促进了美国的棕地项目的开展[3]。我国的棕地土壤修复工作兴起于19世纪80年代, 相对发达国家较晚。国内外有关棕地的研究热点包括棕地相关法规政策与制度的研究、棕地修复技术的研究、棕地管理模式的研究等, 成果集中在环境科学领域。在风景园林学科领域, 棕地土壤修复与景观再生相结合途径是当今一个亟待完善的研究方向。贾绿媛、林箐、王向荣指出, 现阶段有关采石废弃地植被修复的研究多是针对修复技术, 缺乏结合生态修复与风景营建的采石废弃地植被修复策略和方法的整体性研究[4]; 郑晓笛和王玉鑫构建了垃圾填埋场项目的“五要素—三阶段”跨学科合作途径[5]; 清华大学学者郑晓笛提出了以“棕色土方”为基础的风景园林系统, 论述了棕色土方与地形、水体、植被三者的关系, 尝试探索棕地污染土壤与后续景观空间设计的结合方式。

4. 棕地土壤问题与修复方法

4.1. 棕地土壤问题

不同产业类型, 污染物类型和程度都有所不同, 常见土壤问题包括土壤物理特性的破坏、土壤酸碱化、土壤毒性、壤营养条件差等。植物根系的健康生长需要充足的土层以及松散的土壤结构, 而棕地通常存在地表硬化、表层土过薄等情况, 此外, 大型设备的长期碾压还会导致土壤板结严重、缺少氮、磷、钾等营养物质和腐殖质。酸性和碱性土壤环境也会对植被生长产生不利影响, 部分棕地如鼓风炉矿渣地土壤存在盐碱化问题, 使土壤中的磷被固定, 直接危害植物根系, 而酸性环境将减弱植物肥效。重金属污染、有机污染物污染也普遍存在于棕地项目中, 且由于工业流程、生产工艺和原材料的差异, 污染物的类型和分布也存在复杂性。

4.2. 棕地土壤修复方法

土壤修复技术种类相当丰富, 按照原理可分为生物法、化学法、物理法, 按照处理位置可分为原位处理技术和异位处理技术。在棕地土壤修复和景观再生项目中, 项目周期和修复资金往往会对修复技术的选择形成限制, 在污染场地较小、资金充足、工期较短时, 一般会选择较为简单直接的挖掘转移法、换土法以及隔离法, 但此类方法仅仅是隔离了污染风险, 在节约建设成本的同时确保场地达到建设条件。

当项目周期和项目资金条件允许时, 则可以对污染土壤进行“修复”, 方法包括动电法、淋洗法、热脱附法、固化稳定化技术等, 尽管化学和物理方法能够快速高效地实现土壤修复, 但基于目标的“过度修复”往往把重点放在污染物处理效率上, 成本高昂。联合国《2030年可持续发展议程》呼吁城市 and 人类住区具有包容性、安全性、抗风险性和可持续性, 修复行业也正在向可持续方向迈进, “基于风险的土地管理”模式下的“温和的修复方法”(GRO)逐渐受到国内外学者的关注, 包括人工湿地技术、植被修复技术、微生物修复技术、纳米修复材料的绿色合成技术以及生物炭、绿色覆盖物和堆肥技术等[6], 此类环境友好技术适合减轻低至中等浓度的无机和有机污染物带来的风险, 以低成本的修复策略带来土壤功能的净收益。

5. 棕地土壤修复与景观设计结合途径

不同土壤修复技术的作用机制、修复周期、景观效益等存在差异, 在具体实践中, 修复方案的选择与后续地形、水系、植被、游憩系统等景观要素的设计存在耦合关系, 目标用途会影响景观设计意向, 而景观设计意向也会反过来影响设计师对于修复技术的使用倾向。我国的棕地景观改造由于受到认知与政策等多方限制, 通常出现“修复先行, 设计在后”的情况, 目标导向的棕地景观化要求景观设计师在早期就参与到棕地修复工作中, 与环境工程专家密切协作, 除了基于风险评估, 还需要从棕地再生后续的景观价值出发进行综合考量, 选用具备美学效益、环境效益、经济效益与社会效益的土壤修复方法, 并进一步推进土壤修复方法与后续景观空间设计的融合。

5.1. 土壤修复与地形设计相结合

棕地土壤修复中的客土法、挖掘转移法等工程技术的实施可以为后续的地形塑造创造契机。对于原本地形平坦的场地, 可以通过污染土方的挖掘转移塑造丰富的地形景观。西雅图煤气厂公园(Gas Work Park)就是一个典型案例, 原场地内存有石油精和二甲苯等污染物, 理查德·哈格(Richard Haag)针对污染严重的表层土壤采用土壤置换法, 针对深层污染物则是采用生物修复法, 在深层耕种过程中加入能消化石油的生化酶、淤泥、修剪的草屑等有机肥。由于污染在短期内不能完全消除, 场地只具备种植草坪的条件, 为避免单一视觉体验, 哈格调整原有地形, 塑造了一个高约 15 m 的山丘, 舒朗的草坡与高大的石

油分解塔形成强烈对比, 营造了视野开阔、景色宜人的滨水游憩空间[7]。

对于矿区废弃地或垃圾填埋场这类原本就存在山体或下洼地形的场地, 可以结合斜面修复工程保留原有地貌特征, 或通过客土法对破碎地表进行整理, 或采用挖低填高的方式, 使地貌特色更加鲜明。美国芝加哥市帕米萨诺公园(Henry C. Palmisano Park)原为采石场, 后用于堆放建筑垃圾。设计采用保守的覆盖隔离方法, 并对场地内的垃圾进行挖低堆高, 在其上覆盖约 23 cm 厚新土, 低洼空间用于展示采石岩壁风貌, 同时扩大了垂钓水面, 堆高处则构成公园内制高点, 形成起伏鲜明的地形空间, 丰富了游客的视线体验。

大地艺术是棕地景观再生的一种常见的设计手法, 如彼得·沃克(Peter Walker)设计的澳大利亚千禧公园(Millennium Park)为减少土方工程运输成本, 采取原位覆盖隔离法, 运用极简主义设计手法将垃圾山塑造为巨型圆锥山体, 成为独具特色的地标。

5.2. 土壤修复与水系设计相结合

棕地水系设计往往与地形设计相结合, 对于原本有水的场地, 景观设计可在现有水系基础上进行水景营造, 如上海辰山植物园矿坑花园就保留了原有的山水条件, 运用小干预的设计手法, 营造瀑布、天堑、栈道、水帘相生的自然意境。南宁园博园采石场花园也同样面临地形破碎与积水问题, 5 号采石场有 900 m 长的破碎崖壁, 存在塌陷隐患, 设计通过覆土, 将采石场较浅区域抬升至水面之上, 并通过种植水松(*Glyptostrobus pensilis*)等高大乔木营造水上丛林, 固土复绿的同时, 利用水面营造富有生机的自然景观。

对于本身没有水系的场地, 则需要考虑对污水和雨水的治理和调蓄设计。应对存在污染的地下水进行阻隔, 如在韩国兰芝岛蓝天碧草公园土壤安定化工程中, 设计环绕垃圾山建设总长 6017 m 的隔水墙, 阻隔垃圾渗滤液对地下水及汉江水的污染[8]。还可以通过微地形收集雨水, 结合原有工业设施建设人工湿地对水体进行净化。如在美国威尔斯利女子学院(Wellesley College)校友谷景观中, 设计将污染严重的土壤挖掘外运, 对污染较轻的土方进行原位处理, 利用原有土方营造草丘与湿地相结合的原始自然风貌, 湿地系统包括降速池、沉淀前池、沼泽石道、渗透池、石质泄洪道、香蒲湿地等。上海桃浦中央绿地一期工程也将雨洪调蓄作为项目一大目标, 通过“南土北调”, 将南部污染土壤经处理后运至中央绿地北三块用作地形塑造, 结合泵站、溢水管、调蓄池、人工湿地构建完整的雨洪调蓄系统。

垃圾填埋场类型的场地再生设计则必须做到雨污分流, 避免雨水渗入垃圾堆体造成更大范围的污染, 为此, 需要设计排水沟对封场区域内的雨水进行引导, 并对地表水和地下水进行定期检测。

5.3. 土壤修复与植被设计相结合

保留原生植被结构, 模拟自然的植物群落是后工业景观中常见的种植模式。纽约高线公园(High Line Park)植物景观是新自然主义种植的经典作品, 植物设计师皮特·奥多夫(Piet Oudolf)以铁轨间原生植物群落为设计灵感, 试图延续场地的荒野之美。由于高线上种植土层较浅、土壤瘠薄, 设计选择耐瘠薄的浅根性、抗旱性及抗寒性较强的植物, 此外还保留了大部分乡土野生植物, 营造了环境适应性强且具有时序美感的植物景观[9]。

当场地中土壤问题较严重, 缺少原生植物群落时, 就需要借助人干预措施, 加速场地土壤环境恢复, 并进行可持续的补植, 植物应优先选择抗逆性好、适应性强、存活率高的先锋植物。固氮植物可以有效改良土壤基质, 也是棕地的首选植物。另外, 利用植物的生长机制来稳定或提取重金属也是一个常见做法, Brooks 等称这类植物为超富集植物(Hyperaccumulator), 它们不但对重金属环境具有很强的适应能力, 而且可以通过收割减少土壤中的重金属含量。

加拿大布查特花园(The Butchart gardens)的下沉花园原为位于地面以下约 15 m 的采石矿坑, 土层薄且贫瘠, 设计从当地农田中运来肥沃的客土作为种植基础, 根据各区域的土壤具体情况进行种植设计。在土层较浅处选用草坪植被和浅根花卉, 在土层较厚处种植槭树(*Acer miyabei*)等, 而在不利于植物生长的阴暗山岬处, 设计了以蕨类植物景观为主的荫生植物园。北京园博园锦绣谷具有与之相似的土壤条件, 原场地内存在大量建筑垃圾, 理化性质遭到严重破坏, 设计利用既有地形营建下沉式景观花谷。为确保充足的土层结构, 在建筑垃圾堆体上回填 2 m 厚的种植土, 并将回填土进行分层碾压, 又采用了有机肥法, 在局部回填土中加入 20% 草炭和 10% 的有机肥和 70% 田园土, 同时采用飘台、鱼鳞穴、燕窝巢法等水土保持方法, 营造更稳定的种植环境。前身同为采石场的南京汤山矿坑公园, 也面临采石面裸露等问题, 设计进行分区管控, 针对不同植物对土壤酸碱度需求进行有针对性的土壤改良, 宕口处在土方修复的基础上, 保留原有珍稀物种, 补植适应性强的乡土植物如香樟(*Cinnamomum camphora*)、榉树(*Zelkova serrata*)等, 草甸寻踪区则通过混播草种, 营造近自然的植物景观。首钢冬训中心五一剧场地块的保留浓缩池中含有污染物, 设计首先移除表面被污染的土壤, 其次通过化学试剂去除土壤中的污染物, 选取生长迅速、抗性高、耐受力强的植物如狗牙根(*Cynodon dactylon*)和芒草(*Miscanthus*)等, 来应对浓缩池内部的污染物, 营造富有生机的植物景观。

5.4. 土壤修复与游憩设计相结合

与一般景观设计实践不同, 棕地景观再生在置入游憩设施前, 需要根据场地污染程度划分游憩强度分区, 以避免污染物对游人的不良影响。如北杜伊斯堡公园(Landschaftspark Duisburg-Nord)中, 彼得·拉茨(Peter Latz)根据场地污染程度高低分别采用原位修复法、置换法、覆盖隔离法等修复方法, 且不同方法对应了不同的游憩强度。其中, 污染严重且短时间内无法完成修复的区域实施封闭管理, 禁止游人进入; 在被多环芳烃严重污染的煤矿弃土区域, 限制游憩活动; 对于风险较弱的区域, 如料仓花园, 则将场地中的污染土壤集中堆放在原料仓内, 用混凝土封盖隔离, 并覆盖种植土栽植适宜的物种, 配合高架路步行道系统, 形成仅供观赏而不可进入的花园; 而污染轻微的考珀活动场地(Cowper Platz), 在原有挖掘污染土壤场地重新置换新土, 种植树阵。

根据不同的修复阶段分期进行游憩系统的设计也是可持续设计理念下棕地再生的一个重要策略。纽约清泉公园被视为一个生命体, 项目分为三期实施, 每个阶段约十年。第一阶段为土壤恢复阶段, 仅开发少量游憩道路网络, 对垃圾山进行关闭和覆膜; 第二阶段为生态系统恢复阶段, 适量增加游憩设施; 第三阶段为生态过程恢复阶段, 完善基础设施, 修建建筑等。这种渐进引入游憩系统的开发模式将棕地恢复所需周期考虑在内, 且前一阶段运营的收入可为下一步开发提供资金。

6. 结语

在全球可持续倡导和国内生态文明建设背景下, 棕地生态修复与景观再生受到广泛关注。景观设计应作为棕地再生项目的统筹与桥梁, 积极推动多学科合作, 引导生态修复与景观再生两个环节的融合与衔接, 营造科学与艺术、技术与设计相结合的棕地景观。

参考文献

- [1] Kirkwood, N. (2013) *Manufactured Sites: Rethinking the Post-Industrial Landscape*. Spon Press, New York.
- [2] 郑晓笛. 基于“棕色土方”概念的棕地再生风景园林学途径[D]: [博士学位论文]. 北京: 清华大学, 2014.
- [3] 陈卫平, 等. 欧美发达国家场地土壤污染防治技术体系概述[J]. 土壤学报, 2018, 55(3): 527-42.
- [4] 贾绿媛, 等. 风景园林学视角下的采石废弃地植被修复策略[J]. 风景园林, 2022, 29(9): 84-91.
- [5] 郑晓笛, 王玉鑫. 垃圾填埋场封场再生的“五要素-三阶段”跨学科合作设计途径[J]. 中国园林, 2021, 37(6): 6-13.

- [6] Song, Y., Kirkwood, N., Maksimovic, C., *et al.* (2019) Nature Based Solutions for Contaminated Land Remediation and Brownfield Redevelopment in Cities: A Review. *Science of the Total Environment*, **663**, 568-579.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.347>
- [7] 郑晓笛. 工业类棕地再生特征初探——兼论美国煤气厂公园污染治理过程[J]. 环境工程, 2015, 33(4): 156-60.
- [8] 康汉起, 吴海泳. 寻找失落的家园——韩国首尔市兰芝岛世界杯公园生态恢复设计[J]. 中国园林, 2007(8): 55-61.
- [9] 唐桂兰, 李小茹. 派特·欧多夫及其生态智慧视角下的高线公园植物造景[J]. 南京林业大学学报, 2015, 15(2): 85-93.